

新電力ネットワークシステム実証研究
新電力ネットワーク技術に係る総合調査
経過報告

【第一部】

電力ネットワーク技術実証研究に係わる経過報告

平成 18 年 3 月

財団法人 エネルギー総合工学研究所

目 次

まえがき.....	
電力ネットワーク技術実証研究に関わる調査の概要.....	概 1～概 14
第1章 配電系統構成等の実態調査.....	1-1
1.1 国内の配電系統構成等の実態.....	1-1
1.1.1 調査項目の抽出.....	1-1
1.1.2 項目毎の調査結果.....	1-6
1.1.3 まとめ.....	1-75
1.2 海外の配電系統構成等の実態.....	1-77
1.2.1 英国.....	1-77
1.2.2 ドイツ.....	1-83
1.2.3 米国.....	1-89
1.2.4 まとめ.....	1-94
第2章 規制、基準等の動向調査.....	2-1
2.1 電力品質.....	2-1
2.1.1 国際規格.....	2-2
2.1.2 欧州規格.....	2-13
2.1.3 英国.....	2-20
2.1.4 ドイツ.....	2-22
2.1.5 米国.....	2-24
2.1.6 日本.....	2-32
2.1.7 まとめ.....	2-39
2.2 分散型電源の系統連系要件.....	2-41
2.2.1 国際規格.....	2-41
2.2.2 欧州.....	2-41
2.2.3 英国.....	2-42
2.2.4 ドイツ.....	2-45
2.2.5 米国.....	2-47
2.2.6 日本.....	2-55
2.2.7 まとめ.....	2-60
2.3 配電機器・システム.....	2-65
2.3.1 規制・基準.....	2-65
2.3.2 規格.....	2-84
2.3.3 まとめ.....	2-110

第3章 技術動向調査.....	3-1
3.1 海外の技術動向調査.....	3-1
3.1.1 学会.....	3-1
3.1.2 政府等による研究開発プロジェクト.....	3-57
3.1.3 個別技術開発.....	3-113
3.1.4 まとめ.....	3-129
3.2 国内の技術動向調査.....	3-130
3.2.1 学会.....	3-130
3.2.2 個別技術開発.....	3-166
3.2.3 まとめ.....	3-200
3.3 基礎技術動向調査.....	3-203
3.3.1 半導体技術.....	3-203
3.3.2 IGBT.....	3-206
3.3.3 SiC 半導体素子.....	3-211
3.3.4 配電系統への半導体技術の適用.....	3-216
3.3.5 まとめ.....	3-217
第4章 実証試験の技術評価.....	4-1
4.1 試験内容、試験結果の評価.....	4-1
4.1.1 LBC の要求機能の検討.....	4-1
4.1.2 まとめ.....	4-7
4.2 実系統適用評価.....	4-8
4.2.1 シミュレーションの構築.....	4-9
4.2.2 シミュレーション実施のための各種設定.....	4-21
4.2.3 導入影響シミュレーション.....	4-52
4.2.4 対策効果シミュレーション.....	4-63
4.2.5 まとめ.....	4-85
第5章 システム経済性評価.....	5-1
5.1 各種対策費用算定方法.....	5-1
5.2 シミュレーションによる対策の経済性評価.....	5-6
5.3 まとめ.....	5-11
第6章 まとめ.....	6-1

まえがき

環境への貢献と電力自由化による経済活動の活性化を図るため、新エネルギー等の分散型電源の導入が自由に行えることや新エネルギーを主体とする分散型電源を活用した将来的な電力安定供給のあり方を明らかにしていくことが要望されている。

現状、新エネルギー等の分散型電源を大量に系統連系した場合、周波数変動や電圧上昇、及び短絡容量の増大や保護協調・保護リレーの動作への影響等の問題点が指摘されているものの、その影響や新エネルギー等の分散型電源を有効に活用しつつ対策を行う技術については十分に明らかになっていない状況にある。

また、既存の電力系統に新エネルギーによる分散型電源を大量に連系するためには、系統電力と分散型電源の調和を図るための技術開発が不可欠である。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、新エネルギー等の分散型電源が大量に連系された場合でも系統の電力品質（適正電圧維持）に悪影響を及ぼさないための系統制御技術（電力ネットワーク技術）について、平成16年度から平成19年度まで実証研究を行い、当該技術の有効性を検証することとしている。

本調査は、NEDO 委託事業である電力ネットワーク技術実証研究の効率的、効果的進捗を図るため、及び現状と今後の新エネルギーを主体とした分散型電源と調和の取れた電力ネットワークの技術的課題や研究開発の方向性並びに経済性を明らかにすることを目的に実施しており、ここに平成17年度までの途中経過を紹介する。

検討にあたっては、委託元である NEDO をはじめ、実証試験実施者の電力中央研究所、及び「電力ネットワーク技術総合調査委員会（斎藤浩海委員長（東北大学教授）ほか7名の委員で構成）」の関係者各位、プロジェクトリーダー（内田直之東京理科大教授）など多くの方に審議・指導をいただいた。心より謝意を表す次第である。

本調査が電力の安定供給、新エネルギーの普及の一助になれば幸いである。

平成18年3月

財団法人 エネルギー総合工学研究所

電力ネットワーク技術実証研究に関わる調査の概要

「電力ネットワーク技術実証研究」の効率的、効果的な進捗を図るため、及び実証システムの技術的課題や研究開発の方向性並びに経済性を明らかにするため、「電力ネットワーク技術実証研究」に資する配電系統構成等の実態調査、規制・基準等の動向調査、技術動向調査、実証試験の技術評価、システム経済性評価を実施している。

実証試験と本調査の相互のやりとりを示す電力ネットワーク実証研究の全体構想図を次ページに示す。また、本調査の各調査項目の実施概要は以下のとおりである。

【実施概要要約】

(1) 配電系統構成等の実態調査

国内外の配電系統構成等の実態を文献・ヒヤリングにて調査を実施した。調査の結果、実証研究において留意すべき配電系統構成等の実態（分割連系方式、SVR の整定、大型機器設置の課題など）が明らかになった。

これらの成果は引き続き、実証試験における各種条件設定検討の資料に活用していくとともに、実系統適用時の実証システムの有効性、各種課題の明確化のためのシミュレーションに今後、活用していく予定である。

(2) 規制・基準等の動向調査

国内外の配電系統の電力品質基準、系統連系基準や LBC 開発に関する規制・基準を調査した。調査の結果、LBC 開発に留意すべき事項の洗い出し、評価指標を明確にすることができた。

これらの成果は引き続き、対策システムの開発・改良の資料に活用していくとともに、実証システムの各種課題抽出に今後、活用していく予定である。

(3) 技術動向調査

国内の配電系統の電圧調整を目的とした機器、システムについて調査し、得失を整理した。整理結果より、実証研究（実証試験、実系統適用評価）に適用すべき機器について提案を実施した。また、国外における対策機器・システムの開発状況が明らかになった。

(4) 実証試験の技術評価

実証研究側の提案する実証試験の試験方法、LBC 仕様に対し、技術評価、検討支援を実施した。また、実系統のモデル配電線により各種対策の技術的有効性について、比較評価した。

これらの成果は引き続き、実証研究側の LBC 仕様検討や今後の実証試験内容の改善に活用していくとともに、引き続き、実系統適用時の実証システムの有効性の比較評価を行い、各種実系統における代表的な対策システムの提案や技術的課題、運用的課題の抽出に活用していく予定である。

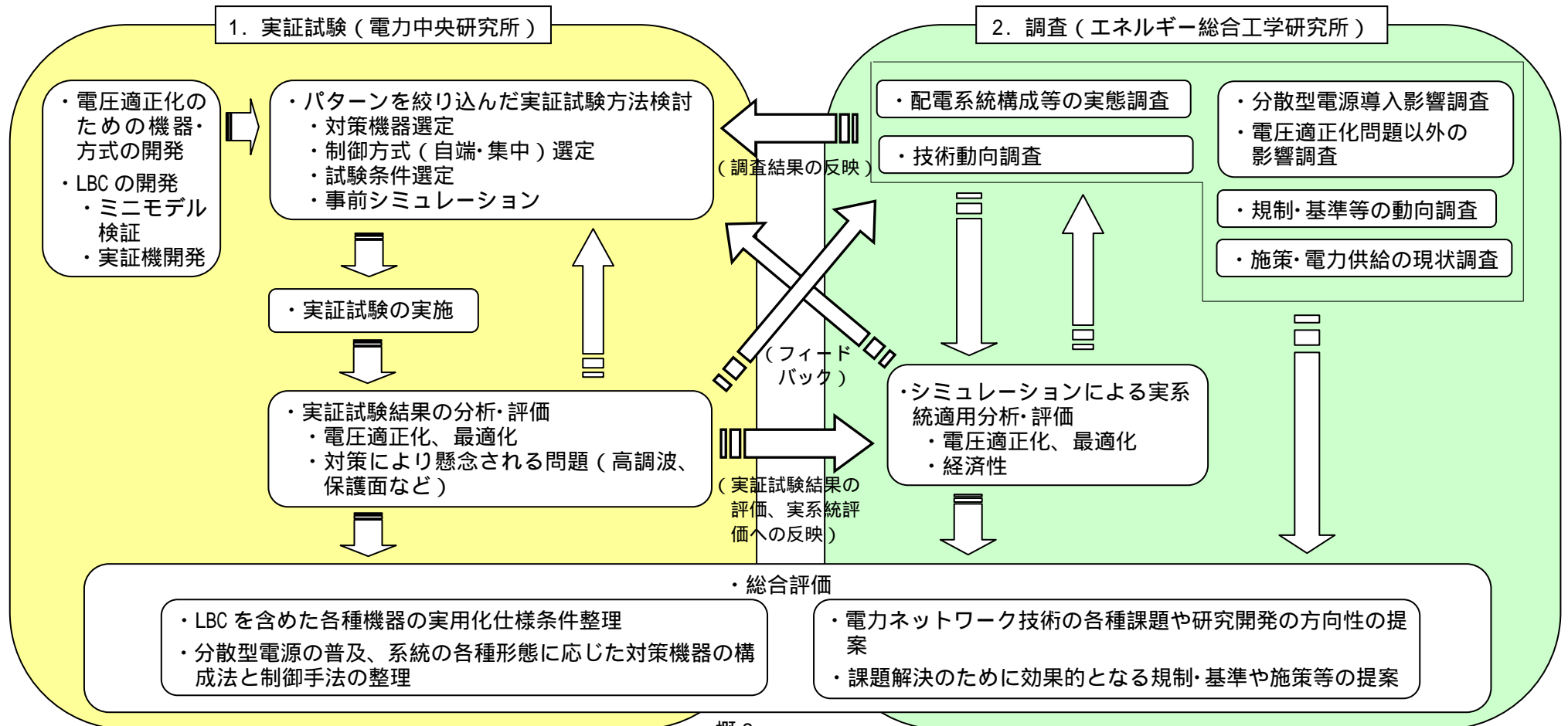
(5) システム経済性評価

実系統のモデル配電線により電圧変動問題に対する各種対策の経済性について比較評価した。これらの成果は引き続き、実証研究側の実証試験内容の改善に活用していくとともに、引き続き、実系統適用時の各種対策の経済性について比較評価を行い、実系統適用時の経済的課題の抽出に活用していく予定である。

電力ネットワーク技術実証研究（実証試験、総合調査）の全体構想

最終目標：

- ・ 新エネルギー等の分散型電源が大量に系統連系された場合でも、系統制御機器の適切な制御により系統安定化（主に電圧適正化）を図り、系統電力の供給が円滑に行われるようなシステムの開発を行う。
- ・ 模擬配電系統において対策機器の効果的な設置方法と効果に関する実証試験を行う。
- ・ 国内外の調査や試験結果を基にシミュレーションによる各種推測を行い、知見を実証試験にフィードバックするとともに、電力ネットワーク技術の各種課題や研究開発の方向性を明らかにする。



【実施概要詳細】

(1) 配電系統構成等の実態調査

国内の配電系統構成等の実態

実証研究に資する国内の配電系統構成等の実態について、文献、ヒヤリング調査を実施した。

1) 調査対象

文献調査：電力会社、関連団体のホームページ（電事連、各電力会社、電力系統利用協議会のHPなど）、報告書（電協研、電気学会技術報告など）、図書（電気工学ハンドブック、配電技術総合マニュアルなど）

ヒヤリング調査：国内電力会社（10社）

2) 調査項目

分類	調査項目
設備形成全般	電圧階級、電気方式、中性点接地方式、系統保護方式、系統構成（バンク数・バンク容量、引出回線数、系統の種類、多分割多連系の方式、回線容量区分、運用容量と過負荷容量）
配電設備	配電線（電圧階級別回線数・巨長、供給地域別回線数、架空・地中別回線数）、電線種類、柱上変圧器（容量毎の設置割合、1回線あたりバンク数、1変圧器あたり需要家数）、開閉器の種類・設置数、自動化システムの方法・普及率、設備監視システムの監視項目・機器構成、伝送路の種類・方式、電圧調整機器（LRT、SVR、SVC、SC/SR、その他）
負荷	供給地域別の負荷特性、回線間負荷アンバランス
管理基準	電圧、その他（高調波、短絡容量）
運用的課題	大型機器・半導体機器、その他、設備費用・工事費用

3) 調査結果（抜粋）

次ページの概要図のとおり

海外の配電系統構成等の実態

実証研究に資する海外の配電系統構成等の実態について、文献調査を実施した。

1) 調査対象国

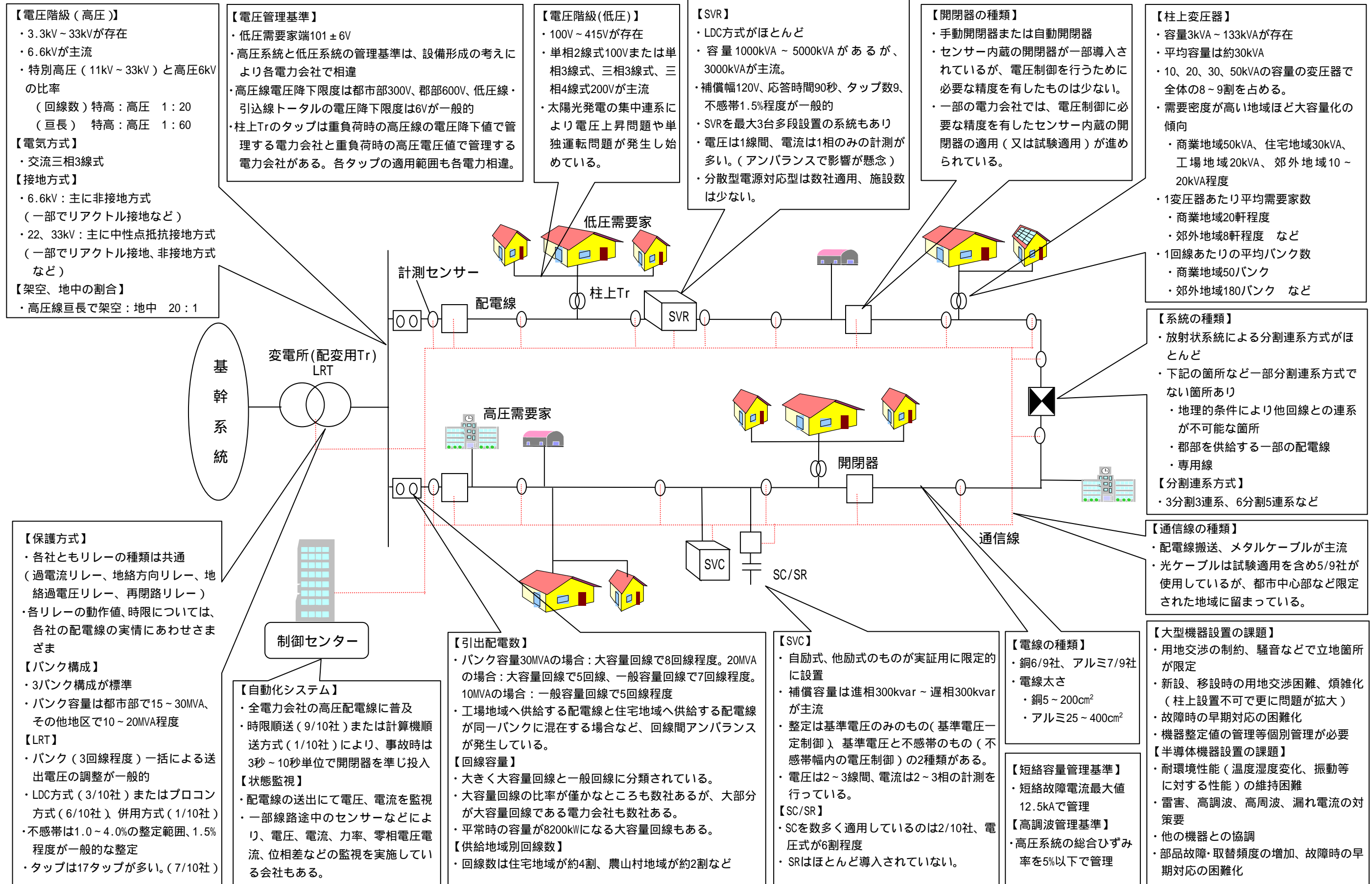
英国、ドイツ、米国

2) 調査項目

国内調査項目に準じ可能な限り調査を実施。

3) 調査結果（抜粋）

調査項目	調査結果（抜粋）		
	英国	ドイツ	米国
電圧階級	特高 22 ~ 132kV、高圧 6.6 ~ 11kV、低圧 230 ~ 415V	中圧 6 ~ 35kV、低圧 230 ~ 400V	一次電圧 2.4kV ~ 34.5kV 二次電圧 120 ~ 600V
接地方式	高圧：非接地方式など	中圧：消弧リアクトル接地方式など	中性点直接接地など
系統構成	放射状など	放射状、網状など	放射状など
電圧制御機器	送出、SVR、SC、柱上 Tr タップなど	送出、柱上 Tr タップなど	送出、単相電圧調整器、SC など



配電系統構成等の実態調査結果概要図

(2) 規制・基準等の動向調査

国内外の配電システムの電力品質基準、系統連系要件や LBC 開発に関する規制・基準を調査した。
電力品質

1) 調査対象

国際規格 (IEC)、地域規格 (CENELEC)、英国 (BS EN)、ドイツ (DIN ほか)、米国 (ANSI、IEEE ほか)、日本 (電気事業法ほか)

2) 調査項目

標準電圧、常時電圧変動幅、フリッカ、ディップ (スウェル)、電圧不平衡、周波数変動、高調波

3) 調査結果 (抜粋)

次ページの一覧表のとおり

分散型電源の系統連系要件

1) 調査対象

国際規格 (IEC)、地域規格 (CENELEC)、英国 (ER)、ドイツ (DKE)、米国 (IEEE ほか)、日本 (系統連系技術要件ガイドラインほか)

2) 調査項目

電気方式、逆潮流、力率、電圧変動 (常時、瞬時)、フリッカ、短絡容量、単独運転防止、高調波など

配電機器・システム

新たに開発する配電機器 (LBC: ループバランスコントローラ、BTB 機器)・システム (集中制御システム) を日本国内の実系統に適用する際に要求される規制・基準・規格の調査を実施し、整理を行った。

1) 調査対象

規制・基準: 電気事業法、電気設備に関する技術基準を定める省令 (電技)、電気設備の技術基準の解釈 (電技解釈)、その他 (配電規程等)

規格: 日本工業規格 (JIS)、JEC 規格、電力用規格、JEM 規格

2) 調査項目と調査結果 (抜粋)

調査項目	調査結果 (抜粋)	
	法令根拠、規格名	内容
【規制・基準】 ・保安 - 他の設備への障害	電技 第 16 条	他の設備に電氣的又は磁氣的な障害を与えないように施設
・支持物 - 設計強度	電技 第 32 条	支持物設計に考慮すべき風圧荷重を用いた B 種鉄筋コンクリート柱で、基礎の安全率 2 以上、支線を設ける場合は風圧荷重の 1/2 以上の強度を保有するように施設
・公害 - 騒音	電技 第 19 条 騒音関連法	施設箇所によるが、最も厳しい値で 40 デシベル以下が望ましい。
【規格】 ・自励半導体電力変換装置	JEC-2440-1995	自励半導体電力変換装置に関する用語の定義や仕様項目、試験方法等
・半導体電力変換装置	JEC-2410-1998	半導体電力変換装置に関する用語の定義や仕様項目、試験方法等。特に、電磁環境に対するイミュニティのクラス等

表 各国の供給電力品質規定文献調査結果一覧表

規定の種類		国際規格	欧州	英国	ドイツ		米国			日本			
		公的基準 (IEC)	公的基準 (EN)	法令	法令	自主管理値	法令	公的基準	自主管理値	法令	公的基準	自主管理値	
電 圧	低圧供給電圧	IEC60038(2002) 50Hzにおいて、 230/400V 他	EN50160 230V	規則 2002 230V	規則 2002 220V	DREWAG 社、HEW 社 230V	(テキサス州) ANSI C84.1 に 準拠	ANSI C84.1 120/240V		電気事業法施 行規則 100V 200V	JEC0222(2002) 100V 200V		
	常時電圧変動 (低圧)	IEC60038(2002) 定格 ± 10%	EN50160 (95%/週) ± 10% (全ての時間) + 10%、-15%	規則 2002 + 10%、-6%	規則 2002 できる限り一 定に保つこと	DREWAG 社 + 6%、- 10% HEW 社 + 6%、- 10%	(ニューヨーク州) ANSI C84.1 に 準拠 (カリフォルニア州) ANSI C84.1 に 準拠 【住宅・商業用 は + 0%、- 5%】 (テキサス州) ANSI C84.1 に 準拠	ANSI C84.1 Range A ± 5% Range B + 5.8%、- 8.3%	(カリフォルニア州) Rule2 ANSI C84.1 に 準拠 【住宅・商業用 は + 0%、- 5%】	電気事業法施 行規則 101 ± 6V 202 ± 20V 電技 高圧配電線： 7000V 以下			
	(測定方法)	IEC61000-4-30 基本測定周期 50Hz：10 サイクル 60Hz：12 サイクル 評価期間 1 週間 評価手法 種々	EN50160 基本測定周期 10 分間 評価期間 1 週間 評価手法 95% 値及び全 数								電気事業法施 行規則 基本測定周期 30 分間 評価期間 24 時間 評価手法 最大値、最小 値		
	フリッカ (低圧)	IEC61000-3-7 Pst：0.9 以下 Plt：0.7 以下	EN50160 (95%/週) Plt：1 以下			HEW 社 Plt：0.8 以下		IEEE 1453 IEC61000-4-15 を採用				電協研 20-8 V10 0.45V	一般的に V10 0.45V
	ディップ (低圧)					DREWAG 社 4%以下		IEEE P1564 を検 討中				(参考) 系統連系技術 要件ガイドライン ±10%以下	(参考) 10%としている 会社もある
	三相不平衡 (低圧)	(参考) 2% ^{*1}	EN50160 (95%/週) 0 ~ 2%			HEW 社 2%以下		ANSI C84.1 (補 足 D) 推奨値として 3%以下				(参考) 電技解釈 交流式電気鉄 道 3%以下	一般的に 3%以下
周波数変動			EN50160 (99.5%/週) ± 1% (全ての時間) + 4%、- 6%		規則 2002 できる限り一 定に保つこと	DREWAG 社 ± 0.5% HEW 社 ± 0.1Hz	(テキサス州) NERC オペレーティ ングマニュアル準拠	NERC オペレーティ ングマニュアル 限度値の記載 なし		電気事業法施 行規則 供給する電気 の標準周波数 に等しい値		各社基準 ± 0.1 ~ ± 0.3Hz	
高調波	電圧	IEC61000-3-6 THD：8%以下	EN50160 THD：8%以下			HEW 社 THD：6%以下	(テキサス州) IEEE 519-1992 に準拠	IEEE 519-1992 各次：3%以下 THD：5%以下			電力利用基盤 強化懇談会 THD：5%以下	一般的に THD：5%以下	

*1: 限度値の記載が無い場合、両立性レベルを記載

(3) 技術動向調査

海外の技術動向調査

1) 調査対象と調査内容

学会：CIGRE/PES、CIRED、IEEE、DistribuTECH の各種学会より、分散型電源の大量導入による電力系統への影響評価、系統側電圧上昇対策、分散型電源に関する配電系統関連の研究、その他(関連する規制・基準、施策)に関する論文を調査した。

政府等による研究開発プロジェクト:本実証研究に類似する海外の国プロジェクトとして、以下のプログラムの検討状況を調査した。

- ・EU(欧州連合)のクラスタープログラム
- ・英国 OFGEM(ガス電力市場局)の DGCG(Distributed Generation Coordinating Group)での検討
- ・ドイツ経済労働省助成のプロジェクトである EDISON プロジェクト
- ・米国エネルギー省(DOE)における GridWorks プログラム、Electric Distribution プログラム、DUIIT プログラム、GridWise プログラム

個別技術開発:本実証研究に類似する機器、システムの技術開発を個別に実施している以下のメーカー、団体の検討状況を調査した。

- ・SIMENS 社の BTB 機器
- ・ABB 社の BTB 機器
- ・米国におけるコンソーシアム“Distribution Vision 2010, LLC”で検討されている配電システム

国内の技術動向調査

1) 調査対象と調査内容

学会:電気学会の各種論文(全国大会、電力・エネルギー部門大会、論文誌、研究会の論文)を中心に電圧上昇対策に関する論文、文献、及び実証研究に関連した個々の新技術(系統解析・シミュレーション手法、保護制御システム、自動化システム、計測(センサー)・通信システム)に関する論文、文献を調査した。

個別技術開発:配電系統で、分散型電源多連系による電圧上昇対策に適用が考えられる機器、システムについて、電気学会資料(論文誌、技術報告書など)、電協研報告書、関連企業(機器開発メーカー、電力会社)の資料、メーカーヒヤリングなどにより調査した。また、調査結果を体系的に整理し、各対策機器を制御性、運用性、信頼性、経済性の観点から比較した。(次ページの表参照)

基礎技術動向調査

新たに開発する配電機器(LBC:ループバランスコントローラ、BTB 機器)開発のキーテクノロジーとなる IGBT、SiC 半導体素子の研究開発状況について調査を実施した。

表 調査を実施した機器・システム一覧

【対策機器】

適用箇所	調整原理	機器名	方式・種類	
変電所送出	変圧比	LRT	プログラムコントロール方式	
			LDC方式	
高圧系統	変圧比	SVR	一般型	
			逆送切換型	
			分散型電源対応型	
		TVR		
	無効電力出力	SC/SR	SVC(他励式)	タイマー式
				電圧式(SCC)
				電圧式(SSR)
				磁束制御型可変リアクトル
				TCR(HVCなど)
				TSC
	無効電力出力 潮流制御	SVC(自励式)・ STATCOM・SVG	SSSC	SVR協調型
				UPFC
自励式BTB				
低圧系統	変圧比	柱上変圧器	固定タップ型	
			自動タップ型(電圧維持管理装置 など)	
		バランサ		
	LVR			
	無効電力出力	SVG		

【対策システム】

適用箇所	制御方法	システム名	方式・種類
配電系統	遠隔制御	集中制御	集中型電圧制御方式
			高圧配電線電圧管理システム センサー情報に基づく送出し電圧 制御方式
	自端制御	自律制御	マルチエージェントシステム

表 各機器に対する評価項目

制御性	運用性	信頼性	経済性
電圧補償範囲 応答性 電圧変動幅 他機器との協 調性	設置箇所 重量、寸法 高圧系統変更対応(短期、長 期) メンテナンス 分散型電源対応	配電系統への接続方式 半導体部品の適用有無 高調波 寿命 実系統適用実績 研究開発状況	機器コスト 機器の電力損失

(4) 実証試験の技術評価

試験内容、試験結果の評価

実証研究側の提案する LBC 仕様に対し、LBC の要求機能の検討を実施した。

LBC の実システムでの適用を目指した要求機能案について、仕様項目毎に整理した。

LBC の仕様項目毎の要求仕様案整理結果（抜粋）

仕様項目	整理結果（抜粋）	
	要求仕様案	根拠または補足説明
定格 - 系統電圧	<ul style="list-style-type: none">国内配電システムに適用可能な電圧	<ul style="list-style-type: none">系統電圧範囲は 6300 ~ 6900V が一般的であるが安全率を考慮した範囲に設定が必要電圧不平衡に対し安全率を考慮した範囲に設定が必要 など
定格 - 容量	<ul style="list-style-type: none">電圧適正化に必要な容量現行の系統間の融通に支障のない容量柱上設置可能な容量	<ul style="list-style-type: none">配電線の常時容量 2500 ~ 5000kVA、3 分割 3 連系の系統構成を考慮地上設置による用地取得の困難化、経済性を考慮
性能 - 効率	<ul style="list-style-type: none">現状の配電線効率を含む全体の電力損失を悪化させない程度の効率	<ul style="list-style-type: none">ループ化による損失減少と直流機器による通電損失増加を含め全体の損失が悪化しない程度の効率の維持

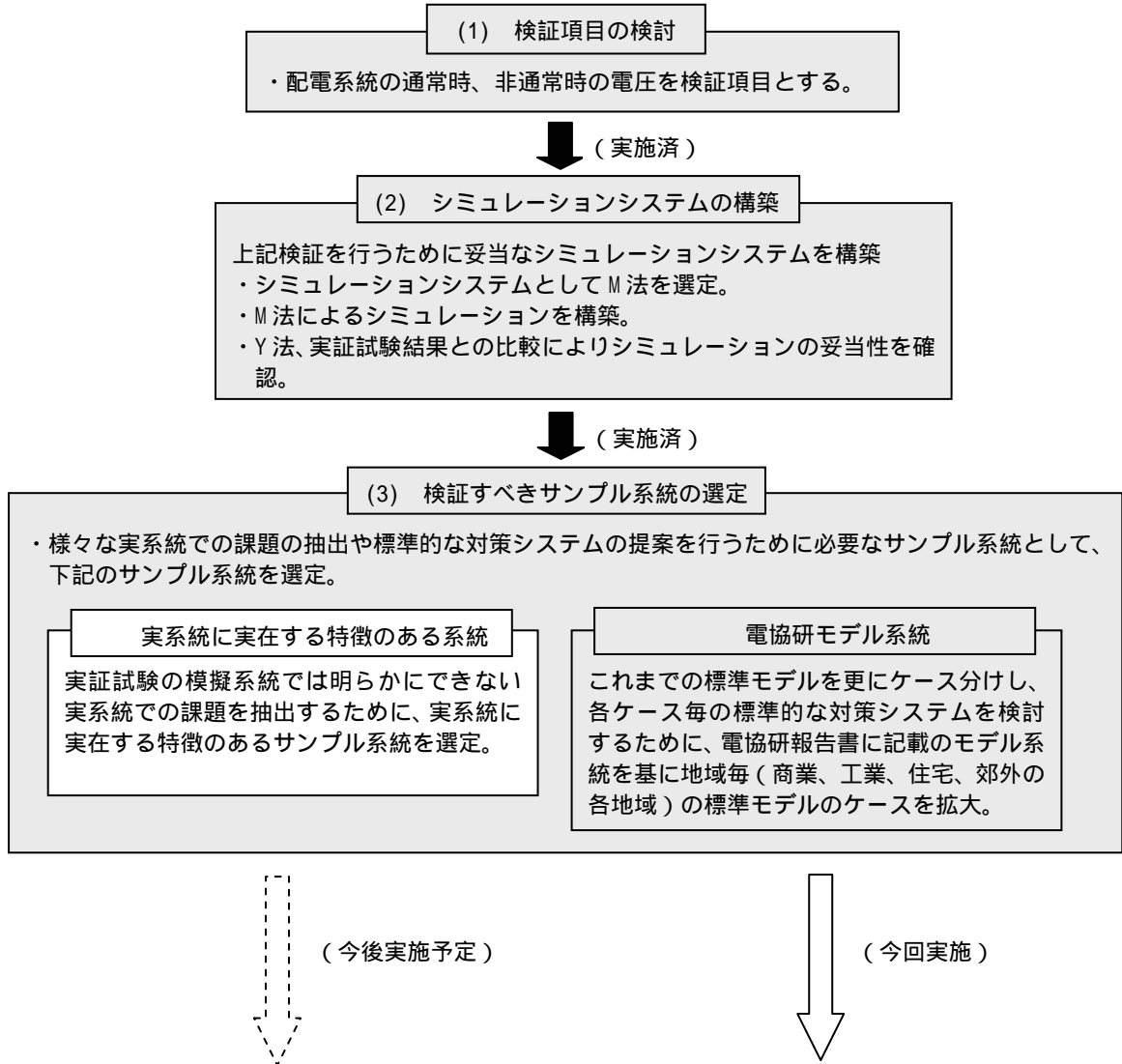
実システム適用評価

実証試験の模擬システム（1 幹線システム・分岐無し）では明らかにされないより現実的な実システムでの課題の抽出、様々な実システムモデルで分類した標準的な対策システムを検討するために、サンプルシステムを用いた実システム適用限界、対策効果に関する検証を実施した。本評価は、実証試験が終了する H19 年度まで実施予定であり、H17 年度までの検討では、電協研サンプルシステムに焦点をあて、対策時の効果確認分析までの一部の作業を実施した。

H17 年度までの実施内容、及び実施結果の主な要点は下記作業フローに記載のとおりである。

今後は系統の種類、電圧管理基準等の条件の違いなどで更に検証事例を増やし、どのような指標により効果的な対策を分類することができるか更に分析を行う必要がある。

*作業フロー中 箇所
が H17 年度までに実施(又は一部
実施)した箇所



(フローは次ページに続く)

(次ページの続き)

↓ (今後実施予定)

↓ (今回実施)

(4) モデル系統の条件選定 (今回は電協研モデル系統による検証での条件選定)

サンプル系統によるシミュレーションを実施するための各種条件(負荷、電圧管理基準、分散型電源の種類・出力)を選定。

負荷

NEDO等で過去に実施されている調査で使用された季節毎の負荷パターンを適用。負荷は系統に均等に分布していると想定。

電圧管理基準

配電系統構成等の実態調査結果から得られた国内電力会社の代表的な基準(または考え方)を基に、以下の手順により系統各部の柱上Trのタップ値と各季節のプロコン整定値を決定した。また、左記の方法により、各季節において分散型電源未導入時に適正電圧を逸脱しないことを確認した。

(系統各部の柱上Trタップ値の決定)

- ・重負荷時の系統各部の電圧値を基に系統各部の柱上Trのタップ値を決定。(重負荷時の送出電圧は6900Vとした。)



(各季節の送出電圧のプロコン整定値を決定)

- ・系統負荷中心点の電圧が各季節の24時間でほぼ一定になるように各季節のプロコン整定値を決定。



(管理基準の妥当性確認)

- ・各季節において分散型電源未導入時のシミュレーションを行い、系統全体の適正電圧が逸脱しないことを確認した。(適正電圧の範囲はTr内部電圧降下を考慮しTr2次側で101~107Vの範囲とした。)

分散型電源の種類・出力

各地域毎に普及が予想される分散型電源を選定。分散型電源の出力パターンは、同期発電機は一定ベース運転、太陽光発電は日射強度に比例した出力とした。また、分布は均等分布と末端集中とした。

↓ (今回一部実施)

(5) 未対策時の影響確認

7つの電協研モデル系統毎に分散型電源の導入量を系統容量に対する割合(導入率)で変化させ、未対策時のシミュレーションを実施し、分散型電源の普及状況毎の影響を把握。主な結果は以下のとおり。

- ・分散型電源均等分布時の導入率30%、50%での影響について確認を実施し、全てのモデル系統において適正電圧を逸脱する結果となった。
- ・モデル系統毎に個別に分析すると、以下の傾向があることが分かった。
 - ・必ずしも全ての配電系統が適正電圧範囲に余裕がないわけではない。(現行の電圧管理基準は配電線損失の低減などの理由から、適正電圧上限値に近い管理がなされていることから適正電圧の下限値に余裕がある傾向が見られる。余裕があれば、既存設備の調整による対策により、より経済的な対策が実施できる可能性がある。)
 - ・柱上Trタップ変更点の多い配電系統(言い換えれば、長巨長の配電系統)が適正電圧を逸脱しやすい傾向がある。(適正電圧幅に余裕がなく、機器設置による対策が有効となる可能性がある。)
 - ・配電系統の一部の狭いエリアだけが適正電圧を逸脱するケースもある。(スポット的な対策により、より経済的な対策が実施できる可能性がある。)

↓ (今回一部実施)

(フローは次ページに続く)

(次ページの続き)

↓ (今回一部実施)

(6) 対策方法検討

実証試験の実施内容、技術動向調査結果、及び未対策時の影響確認結果より以下のとおり対策システム毎に対策機器を選定。

また、各対策機器、システムのモデルを構築した。

但し、本対策によるシミュレーションで改善点が生じれば、都度対策方法を変更していくものとした。

既存設備の改良

- ・ 柱上 Tr のタップ変更
- ・ LRT プロコン整定値見直し

自端制御システム

- ・ SVR 設置
- ・ SVC (または ShR) 設置
- ・ LBC 設置
- ・ LRT (プロコンを LDC に変更)
- ・ 柱上 Tr (自動タップ型) 設置

集中制御システム

- ・ SVR 設置
- ・ SVC (または ShR) 設置
- ・ LBC 設置
- ・ LRT 遠隔制御

↓ (今回一部実施)

↓ (今後実施予定)

(7) 対策時の効果確認・分析

モデルシステム毎に分散型電源の導入量を系統容量に対する割合(導入率)で変化させ、各対策時のシミュレーションを実施し、分散型電源の普及状況毎の対策効果を把握。

今回は既存設備の改良による対策と自端制御による対策の効果を3つのモデルシステムで実施した。主な結果は以下のとおり。

- ・ 既存設備の改良となる柱上 Tr のタップ変更見直しや LRT プロコン整定値見直しで対応可能な系統(今回のケースでは C01 系統)が存在することが確認された。
- ・ これに対し、既存設備の改良では対策不可能であり、実証システムで検証している機器による対策が有効な系統(今回のケースでは B03、D01 系統)も存在することが確認された。従って、実証システムの実システムの適用範囲を検討する場合は、既存設備の改良も考慮に入れ適用範囲の明確化を行っていく必要があることがわかった。
- ・ 今回の検討は、上記傾向をつかむための数例の検討であったが、今後は系統の種類、電圧管理基準等の条件の違いなどで更に検証事例を増やし、どのような指標により効果的な対策を分類することができるか更に分析を行う必要がある。

また、今後は対策機器の設置位置の変更や複数の対策機器の組合せによる対策方法の変更などにより、より効果の高い対策方法への改善を検討し、シミュレーションを行う。

↓ (今後実施予定)

(8) 標準的な対策システム提案・実システムでの課題抽出

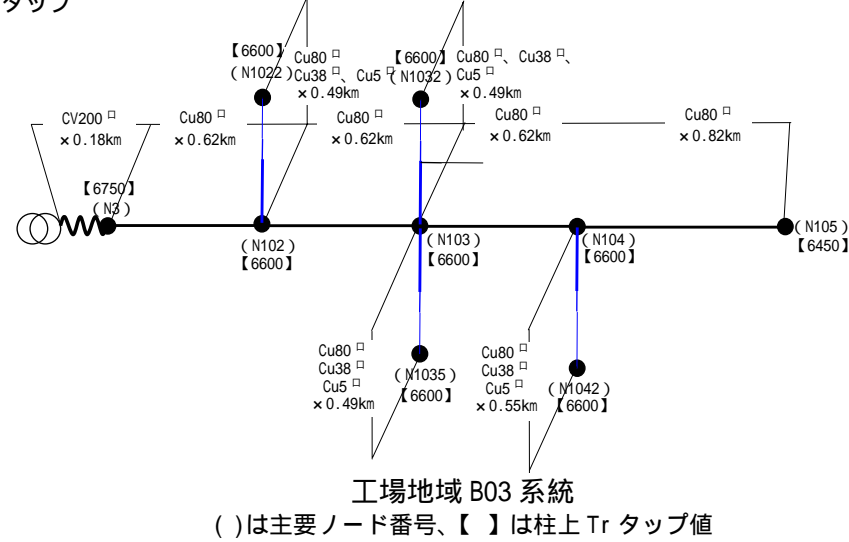
対策時の効果確認・分析により、

- ・ 実証試験の模擬システムでは明らかにされない実システムでの課題、改善策を抽出予定。
- ・ 様々な実システムモデルで分類した標準的な対策システムを提案予定。

各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析内容の一例
 (工場地域系統 B03 系統、DG (同期発電) 均等分布・全日運転ケース - 対策: SVC 設置)

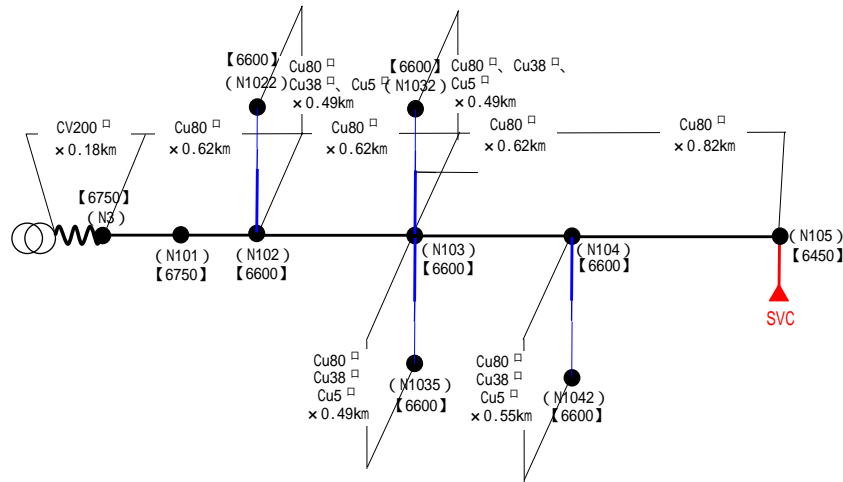
1. 系統の特徴

- 工場地域の架空系統
- Cu80[□]の一般容量回線
- 幹線巨長 2.86km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 4.88km
- 重負荷時最大電圧降下 317.1V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450 の 3 タップ



2. 対策内容

- タップ変更点直後 (N102 ノード) 及び末端 (N105 ノード) が適正電圧を逸脱していることから、配電線の末端に SVC を設置した。(下図のとおり)
- SVC の整定値は適正電圧の逸脱状況にあわせ以下のとおりとした。
 (導入率 30%時)
 基準電圧上限値: 高圧電圧 6680V (低圧換算値 106.3V)
 基準電圧下限値: 高圧電圧 6350V (低圧換算値 101.0V)
 (導入率 50%時)
 基準電圧上限値: 高圧電圧 6650V (低圧換算値 105.8V)
 基準電圧下限値: 高圧電圧 6350V (低圧換算値 101.0V)

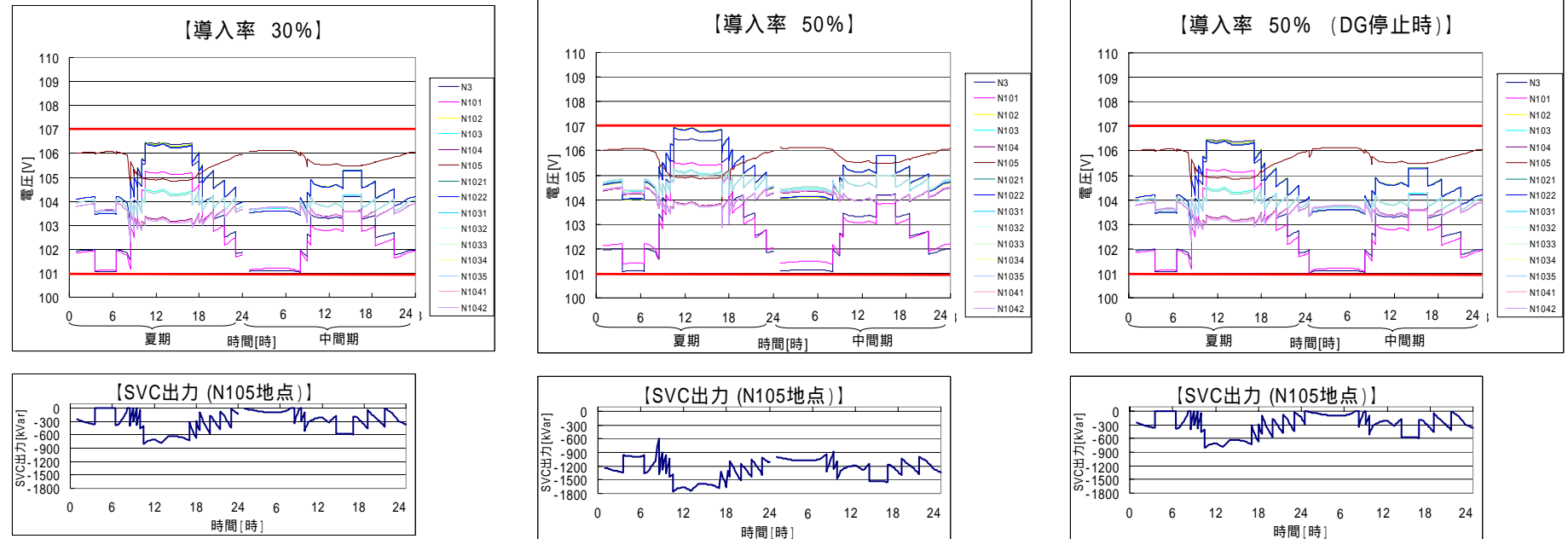


5. 結論

- 本ケースでは、SVC の設置により導入率 50% までは適正電圧維持可能である。

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

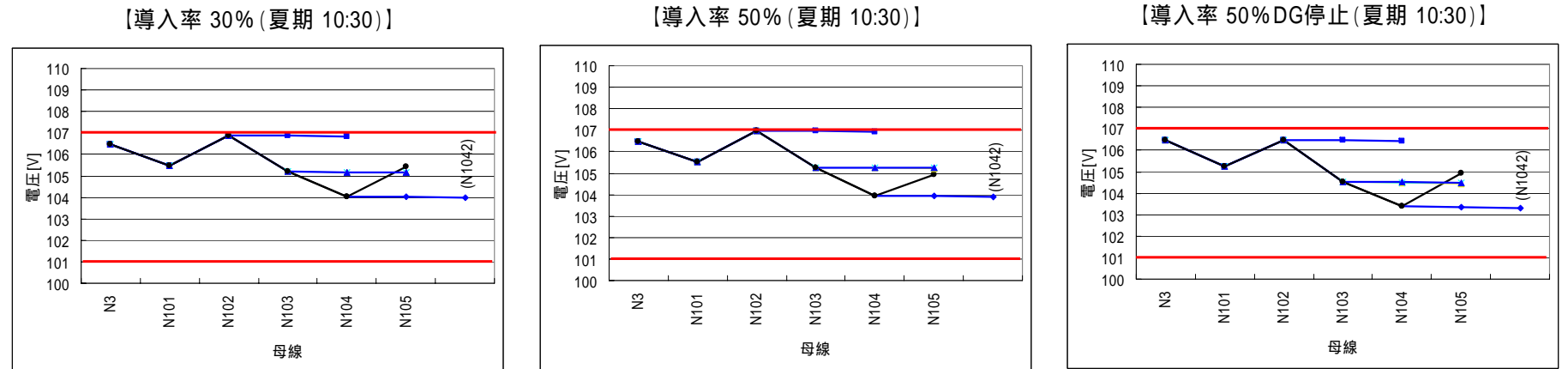
- 導入率 30%、50% のどちらのケースにおいても、SVC による無効電力の出力により、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持できることが分かった。SVC の最大出力は導入率 30% で 806kvar、50% で 1759kvar であった。



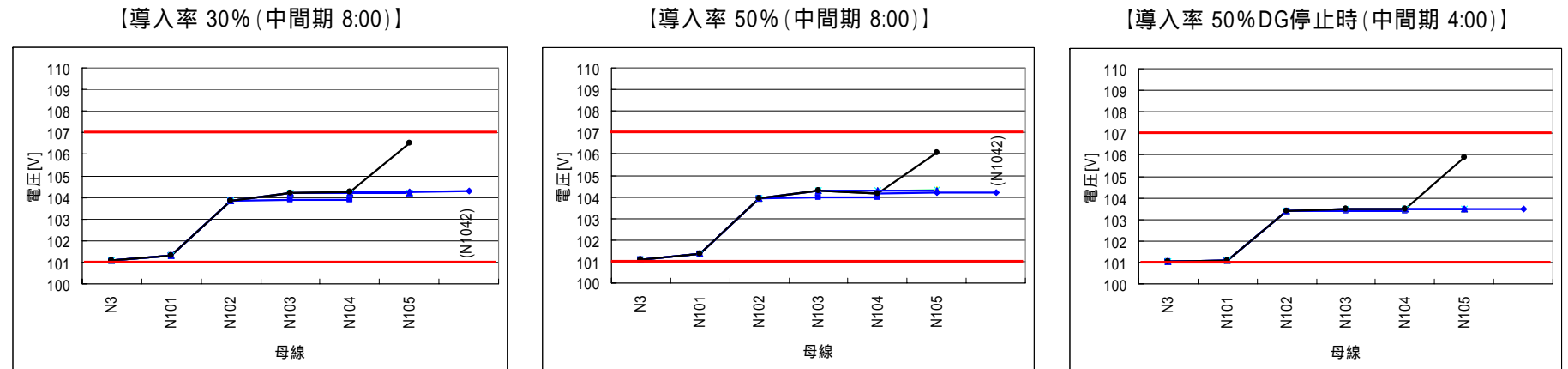
4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

- 最大電圧時においてもタップ変更点直後、及び末端付近の電圧が適正電圧上限値内となっている。

(1) 最大電圧発生時



(2) 最小電圧発生時



5) システム経済性評価

実系統のモデル配電線により電圧変動問題に対する各種対策の経済性について比較評価した。H17年度までのシステム経済性評価は、第4章で実施した実系統適用評価において検討した下記の対策について実施した。

- (1) 柱上 Tr タップ変更
- (2) LRT プロコン整定値の見直し
- (3) SVR 設置
- (4) SVC 設置
- (5) 自動タップ柱上 Tr 設置

これまでの検討では検討数が少なく一般的な評価を行うことは難しいが、技術的な制約と適正電圧逸脱箇所の範囲、配電系統の特徴（線路リアクタンスなど）が経済性に大きく影響を与える因子であることがわかった。

今後は、サンプル系統による検証数を増やし、また、新規開発の LBC などの対策ケースも含めた経済性評価を実施していく予定ある。また、単純な工事費のみではなく、運用も含めた総合的な評価を実施する予定となっている。

表 郊外地域 D01 系統における分散型電源導入率に対する対策費検討例

対策	0%		30%		50%	
	工事数	工事費 [千円]	工事数	工事費 [千円]	工事数	工事費 [千円]
柱上 Tr タップ変更	0	0	対策不可		対策不可	
LRT プロコン	0		対策不可		対策不可	
SVR 設置	0	0	対策不可 ^{*1}		対策不可 ^{*1}	
SVC 設置	0	0	5	85,000	8	136,000
自動タップ型柱上 Tr	0	0	89	89,000	150	150,000

*1: SVR の整定値が適切でない可能性があり継続検討予定

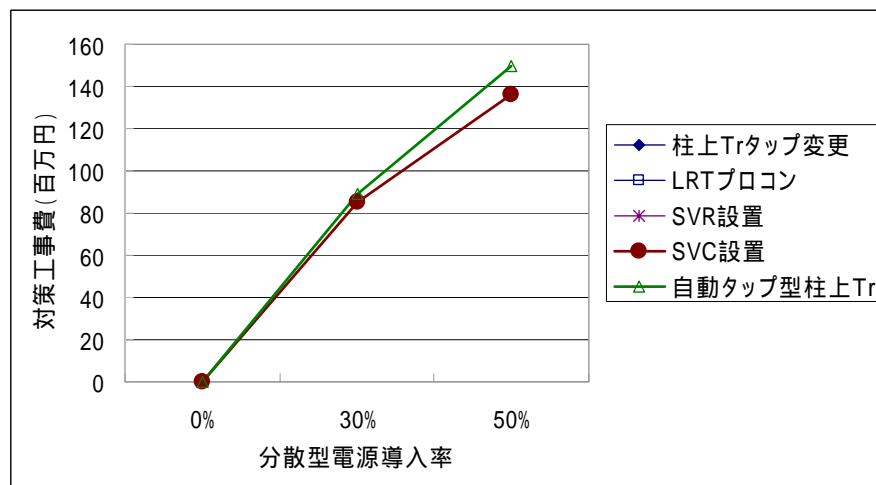


図 D01 系統における分散型電源導入率に対する対策費比較例

第1章 配電系統構成等の実態調査

1.1 国内の配電系統構成等の実態

実証研究の妥当性評価（実証試験方法の設定、システム・機器の開発根拠、実系統適用評価における各種設定）及び各種動向調査の背景分析のために国内の配電系統構成等の実態調査を実施した。

実態調査にあたり、まず調査する必要がある項目を抽出し、調査項目の活用目的について整理を行った。

実態調査は、文献調査を基本とし、文献調査では把握できない調査項目について国内全電力会社を対象にヒアリング調査を行い、結果を整理した。

なお、本研究においては特定の電力会社の実態を調査することが目的ではないため、ヒアリング結果については情報提供していただいた個別会社名については示していない。

1.1.1 調査項目の抽出

配電系統構成等の実態調査を効率的に実施するため、まず調査する必要がある項目を抽出した。

実証研究においては、大きく次に挙げる三項目が研究項目として挙げられている。それぞれの研究項目の概要及び抽出した調査項目を以下に示す。

システム・機器開発

【概要】

新エネルギー等の分散型電源が大量に系統連系された場合でも、系統制御機器の適切な制御により系統安定化（電圧適正化）を図り、系統電力の供給が円滑に行われるようなシステム（機器・方式）の開発を行う。

【抽出した調査項目】

- 1 LBC（ループバランスコントローラ）の開発（仕様検討）に資する調査
 - ・ LBC 設置箇所の検討に資する調査
 - 【系統の種類】、【多分割多連系の方式】
 - ・ LBC 設置による地絡、短絡電流への影響、対策検討に資する調査
 - 【系統保護方式（短絡、地絡保護リレー）】
- 2 システムの機器構成検討に資する調査
 - 【適用予定機器（LRT、SVR、SVC、LBC）以外の電圧調整機器の開発・適用状況】
- 3 遠隔制御を行う場合のシステム開発（仕様検討）に資する調査
 - ・ 各電圧調整機器への制御指令方式検討に資する調査
 - 【自動化システムの種類・普及状況】、【LRT、SVR、SVC の各種設定内容】
 - ・ 配電線の状態監視方式検討に資する調査

【設備監視状況】、【センサー開閉器の適用状況】、【伝送路の種類・通信方式】
模擬配電線による実証試験

【概要】

模擬配電系統において対策機器の効果的な設置方法と効果に関する実証試験を行う。

【抽出した調査項目】

- 1 試験条件設定に資する調査
- ・模擬配電線の基本条件設定に資する調査
【電圧階級】、【電気方式】、【接地方式】、【系統保護方式】、【系統の種類】、【回線容量】、
【供給地域】、【架空・地中配電線の割合】
- ・模擬配電線の設備構成に関する試験条件設定に資する調査
【電線種類】、【柱上変圧器の容量・1回線あたりの設置数・1変圧器あたりの需要家数】、
【電圧管理基準】
- ・対策システム（機器）に関する試験条件設定に資する調査
【電圧調整機器（LRT、SVR、SVC）の各種設定内容】
- 2 評価基準に資する調査
【電圧、高調波、短絡容量の管理基準】

シミュレーションによる実系統適用評価

【概要】

配電系統構成等の調査や試験結果を基にシミュレーションによる各種推測を行い、知見を実証試験にフィードバックするとともに、電力ネットワーク技術の各種課題や研究開発の方向性を明らかにする。

【抽出した調査項目】

- 1 シミュレーション条件設定に資する調査
- ・サンプル系統の基本条件設定に資する調査
（電圧階級、電気方式、接地方式、系統保護方式、系統の種類、回線容量、供給地域、
架空・地中配電線の割合に加え、）【バンク数・バンク容量、引出回線数】
*シミュレーションではLRTによるバンクー括制御の効果、LBCを用いたループ系統
による電圧適正化効果のシミュレーションを予定している。
- ・サンプル系統の設備構成に関する条件設定に資する調査
（電線種類、柱上変圧器の容量・1回線あたりの設置数・1変圧器あたりの需要家数、
電圧管理基準に加え、）【実系統で起こりうる特異なサンプル系統（線路諸元含む）】
- ・対策システム（機器）に関する試験条件設定に資する調査
【電圧調整機器（LRT、SVR、SVC）の各種設定内容】
- ・分散型電源、負荷に関する試験条件設定に資する調査
【回線間負荷アンバランスの実態】
- 2 評価基準に資する調査

【電圧管理基準】

- 3 実系統適用時のその他課題抽出に資する調査

・運用的課題抽出に資する調査

【大型機器・半導体機器設置による課題】、【その他運用面の課題】

・経済的課題抽出に資する調査

【設備費用・工事費用】

調査項目の実証研究への活用目的一覧

調査項目			実証研究（実証試験、シミュレーション）への活用目的	
大項目	小項目	細目		
1. 設備形成全般	(1)電圧階級		・ 本実証研究で検証する電圧階級、電気方式、接地方式の妥当性判断材料。	
	(2)電気方式			
	(3)中性点接地方式			
	(4)系統保護方式		・ LBC の設置に伴う零相電流の増加、分散型電源導入による短絡電流増加などの課題検証時に、実系統で一般的な地絡、短絡保護リレーの設定状況の把握が必要。 ・ 配電線事故復旧時のシステムの信頼性を実証する試験において、一般的な再開路リレーの動作時間の把握が必要。	
	(5)系統構成	バンク数・バンク容量		・ バンク単位での検証を行う場合に使用。 ・ フィーダー間で負荷や分散型電源の連系にアンバランスが生じた場合の、送出電圧の調整による対策の限界検証、LBC を用いたループ系統で対策を行った場合の対策効果の検証などの条件設定に使用。
		引出回線数		
		系統の種類		・ 実証研究の条件設定に使用（特に、配電線事故時の対策システムの問題点を検証する場合に融通範囲をどこまで設定するか実系統の状況に合わせた設定が必要）。
多分割多連系の方式			・ LBC 仕様、適用箇所の検討資料（現時点の実証試験側の構想では、LBC は他回線と連系した常開点に設置することとなっているが、実系統で実現可能か検討が必要。）	
回線容量区分			・ 実系統適用評価シミュレーションにおいて「大容量回線」と「一般回線」等に分けて評価を行う必要性検討のため。	
	運用容量と過負荷容量		・ 実証研究の条件設定に使用（特に、配電線事故時の対策システムの問題点を検証する場合に融通範囲をどこまで設定するか実系統の状況に合わせた設定が必要）。	
2. 配電設備	(1)配電線	電圧階級別回線数、亘長	・ 実証研究で検証する電圧階級、供給地域、架空・地中の種類の条件設定に使用。 ・ 対策規模の把握、実系統適用時の経済性評価の基礎資料。	
		供給地域別回線数		
		架空・地中別亘長		
	(2)電線	種類	・ 実証研究における電線種別設定に使用。	
	(3)柱上変圧器	容量毎の設置割合	・ 実証研究におけるモデル柱上変圧器設定時の変圧器容量、1回線あたりのバンク数、1変圧器あたりの需要家数の条件設定に使用。 ・ 柱上変圧器により対策を実施した場合の経済性評価の基礎資料。	
		1回線あたりのバンク数		
		1変圧器あたりの需要家数		
	(4)開閉器	種類、設備数	・ 実証研究の条件設定に使用（特に、配電線事故時の対策システムの問題点検証では、事故復旧時の開閉器の操作方法をどのようにするかを実系統の実施状況に合わせ設定で行うことが必要）。	
	(5)自動化システム	方法、普及率	・ 配電自動化システムの普及状況の把握（実証システムの実系統適用時に配電自動化システムを新たに設備構築または改良する必要があるかの判断）。	
	(6)設備監視システム	監視項目、機器構成	・ 対策システム（集中制御システム）のシステム構成の検討資料。 ・ 対策システムの実系統適用における課題抽出のための基礎資料。	
	(7)伝送路	種類、通信方式	・ 実証研究における対策システムに用いる通信設備の選定検討に使用。 ・ 実証システムの実系統での適用にあたり、各種課題（通信線の設備構築実態からの適用範囲の制約等）の抽出判断材料。	
		(8)電圧調整機器	LRT	・ 実証研究における LRT、SVR、SVC の設定（方式、不感帯、動作時限等の設定）に使用。
	SVR		・ 対策機器として LRT、SVR、SVC を用いる場合の制御手法の基礎資料（例えば、LRT を制御する場合、タップを直接制御するか基準電圧の設定を制御するかなどの検討）。	
SVC（自励式、他励式）				
SC/SR	・ 実証研究における SC/SR 適用の検討資料。 ・ 対策機器として SC/SR を用いる場合の制御手法の基礎資料。			
その他	・ 実証システムの新たな構成機器としての適用の検討資料。			
3. 負荷	(1)供給地域別の負荷特性	分類	・ 実証研究において供給地域毎に検証を実施することの検討資料。	
	(2)回線間負荷アンバランス		・ バンク単位での検証を行う場合の回線間負荷アンバランスの条件設定に使用（例えば、フィーダー間で負荷や分散型電源の連系にアンバランスが生じた場合の、送出電圧の調整による対策の限界検証、LBC を用いたループ系統で対策を行った場合の対策効果の検証などの前提条件設定に使用）。	

調査項目			実証研究（実証試験、シミュレーション）への 活用目的
大項目	小項目	細目	
4. 管理基準	(1)電圧		・ 本実証研究で検証する配電系統の電圧管理基準の設定検討資料。
	(2)その他	高調波、短絡容量	・ 対策機器の適用により増加が懸念される高調波の検証資料。 ・ 分散型電源の普及や対策にループ系統を適用した場合に増加が懸念される短絡容量の検証資料。
5. 運用的課題	(1)大型機器・半導体機器	実績、課題	・ 対策機器適用（大型機器、半導体機器適用）に伴う運用上の課題抽出。
	(2)その他		・ 分散型電源の普及により、実運用（例えば、系統変更時、配電線事故時、分散型電源一斉解列時、その他）で苦慮している現状の課題、将来懸念される課題抽出。 ・ 対策機器（システム）を実系統に適用する場合に懸念される運用面の課題抽出。
	(3)設備費用、工事費用		・ 対策システムの経済性評価のための資料。
6. 分散型電源連系			・ 実証研究による分散型電源の普及量の条件設定検討資料。
7. サンプル系統			・ 実系統適用評価シミュレーションによる各種課題抽出のため。

1.1.2 項目毎の調査結果

項目毎の調査結果を示す。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
1. 設備形成全般	(1) 電圧階級	特別高圧 / 高圧	
活用目的			
<ul style="list-style-type: none"> 各社の配電系統の電圧階級を調査し、本実証研究（実証試験、シミュレーション）で検証する電圧階級の妥当性判断材料とする。 			
調査結果（文献調査結果）			
<ul style="list-style-type: none"> 国内の特別高圧・高圧配電系統には、公称電圧 33kV、22kV、11kV、6.6kV、3.3kV の配電系統が存在する。 国内のほぼ全ての電力会社で高圧配電系統には 6.6kV を採用している。^{*1}一部の電力会社に 3.3kV があるが、高圧モータのように 6.6kV 化されない負荷に供給する専用線路など、一部に残っているに過ぎない。^{*2} 			
【参考文献等】			
*1：各社公表の設備形成ルール			
*2：電気工学ハンドブック（第6版），電気学会，P1329			
考察			
<ul style="list-style-type: none"> 電圧階級別に最も普及している配電系統は、6.6kV 配電系統であり、特別高圧（7kV を超えるもの）の配電系統も少しずつ増加傾向ではあるが、高圧系統に比べるとかなり少ない。3.3kV 配電系統はかなり少なく減少の傾向。 日本の高圧配電系統においては、一般的には 6.6kV が用いられている。 高圧（6.6kV）配電系統は、特別高圧配電系統と比較し、電圧が低いことから分散型電源普及に伴う電圧上昇も顕著となることが考えられる。 			
実証研究の妥当性評価			
<ul style="list-style-type: none"> 実証研究（実証試験、シミュレーション）における検討対象は、6.6kV で妥当であると考えられる。 			

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
1. 設備形成全般	(1) 電圧階級	低圧	
活用目的			
<p>・ 本実証研究（実証試験、シミュレーション）で検証する電圧階級の妥当性判断材料とする。</p> <p>（配電線路内において、低圧連系の分散型電源（太陽光発電など）が集中連系した場合などの電圧上昇対策として、低圧系統で対策（例えば、自動タップ切替等の手法）を実施した方が高圧系統で対策を行うよりも効果的であるか検証を行う必要がある。）</p>			
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）			
<p>・ 低圧では公称電圧 100、200、100/200、415、240/415V がある。*1</p> <p>・ わが国では低圧配電線の電圧には 100V または 200V（6.6kV/100・200V 方式）が主として採用されている。*1</p> <p>・ 都市部において 22kV 級/400V 方式が一部導入されている。*2</p> <p>・ 分散型電源（主に低圧連系）普及に伴う実態（現状の問題点・課題）及び現状の対策について、各電力会社のヒヤリング調査結果は下表のとおりであった。*3</p>			
分散型電源の普及に伴う現状の問題点・課題		<ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電の逆潮流による電圧上昇の問題が増加している。 単独運転問題、電力品質問題（能動信号による高調波、高周波、直流分流出、フリッカ等）電圧上昇抑制機能の無効電力出力による損失増大などが問題点・課題である。 系統連系審査や現地確認等の業務が増加している。 連系後、配電系統の運用を行うにあたり分散型電源の把握が煩雑化している。 小規模の単独系統で太陽光発電の多連系により周波数への影響が懸念されている。 	
低圧系統での集中連系に関して	集中連系箇所の有無	<p>（柱上 Tr 以下の集中連系ケース）</p> <ul style="list-style-type: none"> マンションへの太陽光集中連系の事例あり。 太陽光発電設備の補助事業が実施されるある特定の地域において発生。 住宅地域においても自然増による集中連系箇所が発生し始めている。 <p>（広域の集中連系のケース）</p> <ul style="list-style-type: none"> 国の実証研究が実施されるある特定地域、太陽光発電設備の補助事業が実施されるある特定地域で発生。 	
	問題点・課題	<ul style="list-style-type: none"> 常時電圧変動、瞬時電圧変動、単独運転、変圧器過負荷などで対策を要する事例の増加が懸念。 複数台連系ケースでの技術検討（電圧変動計算など）が複雑化。 電圧上昇により発電電力が抑制される事例が増加しており、その対応業務が増加。 逆潮流により SVR のタップの誤判定による不適正動作が懸念。 複数の太陽光発電の設置により単独運転機能が正常に動作せず、単独運転となることが懸念。 太陽光発電の一斉解列による系統への影響（電圧低下など）が懸念。 	
	対策方法（費用負担の考え方も含む）	<ul style="list-style-type: none"> 対策工事については、負担金工事または分散型電源設置者による工事にて対策を実施。いずれにしても原則、連系する分散型電源設置者が負担としている。 審査業務をシステム化し、効率化を行っている。システム化した費用の回収方法が問題となる。 単独運転問題の対策ではインバータの種類（同一メーカーか否か）により審査方法を変えている。単独運転の感度低下が懸念される場合、複数台連系時の試験成績書を提出してもらっている。 電圧上昇問題に対する対策は、負荷分割、引込線・低圧線の太線化、Tr タップ切替、SVR 整定変更等で対応している。 	

【参考文献】

- *1：電気工学ハンドブック（第6版），電気学会，P1329
- *2：配電技術総合マニュアル，オーム社，P9
- *3：国内各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 100Vの電気機器と200Vの電気機器（エアコン、電気温水器、電磁調理器など）を併用可能な需要家屋内配線への移行（単3化）により、現在、低圧配電線で最も普及しているのは100/200Vであると考えられる。
- ・ 特別高圧（7kVを超えるもの）の配電システムの普及により415V低圧配電システムも少しずつ増加傾向ではあるが、100/200V低圧配電システムに比べるとかなり少ない。
- ・ 100/200V低圧配電システムは、415V低圧配電システムと比較し、電圧が低いことから分散型電源普及に伴う電圧上昇も顕著となることが考えられる。
- ・ 低圧システムに連系する分散型電源により低圧システムでの検証では、単相3線式（100/200V）の不平衡（アンバランス）による問題があると考えられる。
- ・ 実システムにおいても太陽光発電の低圧システムへの連系により、電圧上昇問題や単独運転の問題が発生し始めている。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証試験では低圧システムによる検証の実施計画はないが、近年、低圧システムで連系される分散型電源の電圧上昇対策に低圧システムでの対策機器が開発されており、低圧システムでの対策機器を含めた評価が必要。従って、低圧システムでの対策を含めたシミュレーションを実施する。
- ・ 低圧システムでの対策の検証シミュレーションでは、上記調査結果より単相3線式（100/200V）により検討することが妥当である。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
1. 設備形成全般	(2) 電気方式	特別高圧 / 高圧	
活用目的			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）における電気方式の妥当性評価資料とする。 			
調査結果（文献調査結果）			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 各社とも交流三相 3 線式を原則または標準としている。^{*1} ・ 将来とも交流三相 3 線式とする必要がないと予想される場合、交流単相 2 線式を採用することもある。^{*1} 			
<p>-----</p> <p>【参考文献】</p> <p>*1：各社公表の設備形成ルール</p>			
考察			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 交流単相 2 線式は、配電系統の末端付近で動力負荷（三相負荷）のない場合に部分的に採用されることがあると考えられるが、そのような配電系統でも基本的には大部分が交流三相 3 線式となっていると考えられる。 			
実証研究の妥当性評価			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）では、交流三相 3 線式を採用することは妥当である。 			

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

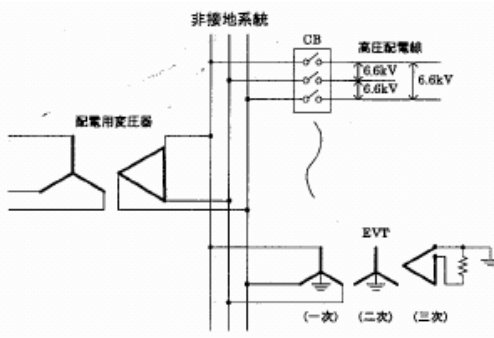
調査項目			
大項目	小項目	細目	
1. 設備形成全般	(2)電気方式	低圧	
活用目的			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）における電気方式の妥当性評価資料とする。（配電線路内において、低圧連系の分散型電源（太陽光発電など）が集中連系した場合などの電圧上昇対策として、低圧系統で対策（例えば、自動タップ切替等の手法）を実施した方が高圧系統で対策を行うよりも効果的であるか検証を行う必要がある。） 			
調査結果（文献調査結果）			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 各種方式（単相 2 線式、単相 3 線式、三相 4 線式、三相 3 線式）がある。*1 ・ 単相 2 線式、単相 3 線式は主に電灯負荷への供給、三相 3 線式は主に動力負荷への供給、三相 4 線式は、単相 3 線式と三相 3 線式を組み合わせた方式であり、電灯負荷と動力負荷の混在するエリアに供給する方式である。*1 ・ 現状では単相 3 線式（100/200V）または三相 4 線式が主流となっている。*1 			
【参考文献】			
*1：電気工学ハンドブック（第 6 版），電気学会，P1330			
考察			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 100V の電気機器と 200V の電気機器（エアコン、電気温水器、電磁調理器など）を併用可能な需要家屋内配線への移行（単 3 化）により、現在、低圧配電線で最も普及しているのは単相 3 線式（100/200V）、三相 3 線式（200V）、または三相 4 線式であると考えられる。 ・ 低圧系統に連系する分散型電源による低圧系統での検証では、単相 3 線式（100/200V）の不平衡（アンバランス）による問題も想定される。（昨年度の新電力研究会では、低圧シミュレーションを実施したが、電気方式にはこだわらず検討している。） 			
実証研究の妥当性評価			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証試験では低圧系統による検証の実施計画はないが、低圧系統で連系される分散型電源の電圧上昇対策に低圧系統での対策機器が開発されており、低圧系統での対策機器を含めた評価が必要。従って、低圧系統での対策を含めたシミュレーションを実施する。 ・ 低圧系統での対策の検証シミュレーションでは、上記調査結果より単相 3 線式（100/200V）により検討することが妥当である。 			

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
1. 設備形成全般	(3)中性点接地方式	特別高圧	
活用目的			
<ul style="list-style-type: none"> 特別高圧のシミュレーション妥当性検証資料 			
調査結果（文献調査結果）			
<ul style="list-style-type: none"> 中性点抵抗接地方式を原則として採用している会社が多い。^{*1} 消弧リアクトル接地方式や非接地方式も一部で採用されている。 			

【参考文献】			
*1：各社公表の設備形成ルール			
考察			
<ul style="list-style-type: none"> 高圧系統で一般的に採用されている中性点非接地方式では、一線地絡時の対地電圧上昇が大きい上に、地絡点に間欠アークが発生する恐れがあることから、特別高圧系統では中性点接地方式が採用されている。 当面、特別高圧の検討を行う予定がないため、各種接地方式の詳細な実態調査は不要とする。 			
実証研究の妥当性評価			
<ul style="list-style-type: none"> 不要（実証研究（実証試験、シミュレーション）では、特別高圧系統は取り扱わない。） 			

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
1. 設備形成全般	(3) 中性点接地方式	高圧	
活用目的			
・ 実証試験やシミュレーションの妥当性検証資料			
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 6.6kV 高圧配電系統では、非接地方式が標準で採用されている。^{*1} ・ 配電用変圧器の巻線から右図のように引き出して、地絡電圧検出用の零相変圧器（EVT）を設置し、その一次側中性点を設置している。この方式は完全な非接地とはならないが、三次側巻線の開放端に数十～数百の制限抵抗を接続しているため、一次側からみれば数千以上の高抵抗が接地されたことになり、その影響はほとんど無視できる。^{*2} ・ 非接地系統の進み位相の故障点電流を補償するためのリアクトル接地、大都市ケーブル系統の拡大に伴う地絡継電器の検出感度低下の防止のための低抵抗（40～90Ω）接地方式が一部採用されているが、特別な理由がない限り非接地方式が採用されている。^{*3} ・ 母線にリアクトルを設置し、地絡事故電流を3A^{*6}に抑制することにより、B種接地工事費の低減（B種接地抵抗値200Ω以下^{*6}）を図っているところもある。^{*4} ・ アメリカでは、配電系統にも直接接地系が適用されている。^{*5} 			
 <p style="text-align: center;">※ 地絡事故時には、配電線線間電圧は変化しない。 国内の代表的非接地系統^{*2}</p>			
【参考文献】			
*1：各社公表の設備形成ルール			
*2：電気学会技術報告第1025号「分散型電源有効活用のための電力系統技術」, 2005.6, P17			
*3：電気工学ハンドブック（第6版）, 電気学会, P1330			
*4：電気学会技術報告第1006号「負荷供給系統保護リレーシステムの現状とその動向」, 2005.3, P8			
*5：電気学会技術報告第1006号「負荷供給系統保護リレーシステムの現状とその動向」, 2005.3, P128			
*6：電力会社へのヒヤリング結果			
考察			
<ul style="list-style-type: none"> ・ この方式（中性点非接地方式）では、一線地絡事故が発生した場合、バンク全体の対地静電容量により零相電流が流れるが、高圧系統では対地静電容量が小さいため問題は発生しない。また、高低圧混触時の電位上昇や通信線電磁誘導障害の問題に有利な方式である。（他国に比べ、国土が狭く、かつ人口密度が高い日本では同一支持物に高低圧電線、通信線を併架する事が避けられない。） 			
実証研究の妥当性評価			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）での接地方式は、中性点非接地方式を採用することは妥当である。 ・ 非接地方式以外（リアクトル接地方式、低抵抗（40～90Ω）接地方式）の箇所へのLBC等対策機器設置時の留意点について、整理が必要と考えられる。 			

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
1. 設備形成全般	(4) 系統保護方式	高圧	
活用目的			
<ul style="list-style-type: none"> 対策機器である LBC の配電線保護装置との協調を考慮したリレー整定の検討、及び対策機器の設置に伴う感度低下、分散型電源大量導入による誤検出等の検証などに活用。 配電線事故を想定した対策システムの信頼性を実証する試験において、一般的な再閉路リレーの動作時間の把握が必要。 			
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）			
<ul style="list-style-type: none"> 各社とも地絡保護、短絡保護を目的とした継電器（リレー）方式を標準としている。 *1 また、瞬時故障に対する停電時間短縮の観点から、事故検出一定時間後に遮断器を自動投入する再閉路継電器、方式を標準としている。*1 再閉路時間については、一般の高圧配電線では 1 分程度との記述あり。*2 一般的なリレー整定の考え方については、文献 3 に記載されている。 			
配電線保護装置の整定の考え方*3			
6.6 kV	過電流リレー (瞬時要素)	51S	動作値 過負荷可能電流で動作しないこと 最大負荷電流または直列機器の許容電流の最小値に対し150%~200%程度 配電線末端短絡事故電流で動作すること
			時限 振動または衝撃によって誤動作しない範囲で最小とする。
	過電流リレー (瞬時要素)		動作値 配電線至近端短絡事故電流相当を検出できること
			時限 瞬時
	地絡方向リレー	67G	動作値 配電線地絡検出感度により決定 3kΩ~6.6kΩ程度以上としている。 常時の残留電圧で誤動作しないこと
			時限 需要家と時限協調をとる。 B種接地工事により定まる。
	地絡過電圧リレー	64	動作値 常時の残留電圧で誤動作しないこと
			時限 -
	再閉路リレー	79	動作値 -
			時限 無電圧時間は、配電線区分閉器数を考慮 再閉路は1回目と2回目の2段方式
22 kV ・ 33 kV	過電流リレー	51	動作値 配電線末端事故を確実に検出できる値とする。 最大負荷または設備容量の150%~200%程度としている。 過負荷運転可能電流で動作しない値とする。
			時限 需要家と時限協調をとる。
33 kV	地絡方向リレー	67G	動作値 配電線地絡事故を確実に検出できる値とする。 地絡事故検出目標を 6 kΩ ~ 6.6 kΩ 程度としている。
			時限 1 秒以内に事故除去できる値

- 6kV 配電線の各種保護装置（過電流リレー、地絡方向・過電圧リレー、再閉路リレー）の動作値、時限についての各電力会社へのヒヤリング調査結果は下表のとおりであった。^{*4}

6kV 配電線の各種保護装置（過電流リレー、地絡方向・過電圧リレー、再閉路リレー）の一般的な動作値、時限についての各電力会社へのヒヤリング調査結果^{*4}

電力会社 (順不同)	リレー名								
	過電流リレー (OCR)				地絡方向 リレー (67G、DGR)		地絡過電圧 リレー (64、OVGR)		再閉路 リレー
	限時要素		瞬時要素		動作値	時限	動作値	時限	
	動作値	時限	動作値	時限					動作値
A社	最小設備容量の140%	1000% 0.2秒	-	-	15V ^{*1}	0.7秒 ^{*1}	20V	0.7秒 ^{*1}	60秒
B社	6A (CT比400/5)	0.5秒	12A	0.2秒	6000 地絡検出	0.5秒 ^{*2}	6000 地絡検出	5秒 ^{*2}	60秒 ^{*3}
C社	最小設備容量の150%	0.2秒 程度 ^{*4}	-	-	6000 ^{*5}	-	^{*6}	0.5秒	30秒
D社	最大負荷電流の150%程度 ^{*7}	0.2秒 以下 ^{*8}	受電母線 最小電流の 70%	瞬時	I ₀ : 0.2A	瞬時	V ₀ (1次側 換算) 600V程度	0.8秒	30秒 ^{*9}
E社	640A	0.2秒 ^{*10}	-	-	0.2~ 0.4A	0.8秒	6000 地絡検出	5秒 (後備 保護)	15秒 ^{*11}
F社	(低整定)		(高整定)		V ₀ : 347V I ₀ : 0.2A	1.8秒 ^{*1}	V ₀ : 695V	1.8秒 ^{*1}	30秒 ^{*11}
	最大負荷電流の150%以上、 末端短絡電流85%以下のAND 条件	1.0秒	低整定の 200%	0.2秒					
G社	最小設備容量の150%	0.5秒 ^{*12}	限時要素の 200%	0.2秒	200mA 20V、15V	0.9秒	30V	5秒	60秒
H社	最小設備容量の150%	0.2秒 ^{*13}	受電母線 2線短絡故障 電流の 60~70%	-	6600 地絡検出	1.0秒 ^{*1}	6600 地絡検出	0.6~ 0.7秒	15秒
I社	最大負荷電流の150% ^{*7}	0.2秒 以下 ^{*8}	最大負荷電流の500 ~1500%	0.05秒	最大残留 電圧の 150% 以上 ^{*14}	0.5秒 ^{*15}	最大残留 電圧の 150% 以上	0.5秒 ^{*15}	30秒
J社	5A (CT比600/5) 1A (CT比600/1)	0.2秒	-	-	【I ₀ 】 0.2A 【V ₀ 】 6000 地絡検出	瞬時	6000 地絡検出	0.9秒	60秒

*1: DGR と OVGR の AND 条件

*2: B10G 用

*3: 再々閉路は 180 秒

*4: 振動または衝撃によって誤動作しない範囲で最小接点間隔

*5: 保護区間以外の事故で誤動作しない整定

*6: 常時の残留電圧で誤動作しない範囲で高感度の整定

*7: 平常時の最大負荷電流の値、融通電流などにより整定値は変化する。

*8: 高圧お客さまとの時限協調が困難な場合は、0.4 秒以下とする。

*9: 再々閉路は 90 秒または 120 秒

*10: 整定タップの 10 倍の場合

- *11：再々閉路は 60 秒
- *12：デジタル形の場合、静止形は反限時特性による。
- *13：配電線第 1 区間内の最小短絡電流で 0.2 秒
- *14：最大感度角 60° を限度
- *15：高圧お客さまとの時限協調が困難な場合は、1.0 秒以下とする。

【参考文献】

- *1：各社公表の設備形成ルール
- *2：電気工学ハンドブック（第 6 版），電気学会，P1370
- *3：電気学会技術報告第 1006 号「負荷供給系統保護リレーシステムの現状とその動向」，2005.3，P65
- *4：各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 各電力会社ともリレーの種類（地絡保護、短絡保護、再閉路）は共通である。
- ・ 各リレーの動作値、時限については、各社の配電線の実情に合わせて決定しているものと考えられる。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目																																				
大項目	小項目	細目																																		
1. 設備形成全般	(5)系統構成	バンク数・バンク容量																																		
活用目的																																				
<ul style="list-style-type: none"> バンク単位での検証を行う場合に使用する。 例えば、フィーダー間で負荷や分散型電源の連系にアンバランスが生じた場合の、送電電圧の調整による対策の限界検証、LBC を用いたループ系統で対策を行った場合の対策効果の検証などの前提条件設定に使用する。 																																				
調査結果（文献調査結果）																																				
<ul style="list-style-type: none"> 国内の電力会社で標準的に使用される配電用変電所の設備容量に関する文献調査結果は、下表のとおりである。 																																				
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>電気工学ハンドブック記載の 配電用変電所の標準容量^{*1}</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>地域区分</th> <th>バンク容量 [MVA]</th> <th>バンク数</th> <th>最終容量 [MVA]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">都市部</td> <td>15</td> <td>3</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>3</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>3</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">一般地区</td> <td>10</td> <td>3</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>3</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>配電技術総合マニュアル記載の 配電用変電所設備容量の状況^{*2}</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>地域</th> <th>設備容量</th> <th>需要密度の目安</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>過密地区</td> <td>20～30MVA ×3</td> <td>24MW/km² 以上</td> </tr> <tr> <td>都市部</td> <td>15～20MVA ×3</td> <td>4～24 MW/km²</td> </tr> <tr> <td>その他地区</td> <td>10MVA ×3</td> <td>4MW/km² 未満</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>				地域区分	バンク容量 [MVA]	バンク数	最終容量 [MVA]	都市部	15	3	45	20	3	60	30	3	90	一般地区	10	3	30	20	3	60	地域	設備容量	需要密度の目安	過密地区	20～30MVA ×3	24MW/km ² 以上	都市部	15～20MVA ×3	4～24 MW/km ²	その他地区	10MVA ×3	4MW/km ² 未満
地域区分	バンク容量 [MVA]	バンク数	最終容量 [MVA]																																	
都市部	15	3	45																																	
	20	3	60																																	
	30	3	90																																	
一般地区	10	3	30																																	
	20	3	60																																	
地域	設備容量	需要密度の目安																																		
過密地区	20～30MVA ×3	24MW/km ² 以上																																		
都市部	15～20MVA ×3	4～24 MW/km ²																																		
その他地区	10MVA ×3	4MW/km ² 未満																																		
<p>【参考文献】</p> <p>*1：電気工学ハンドブック（第6版），電気学会，P1280</p> <p>*2：配電技術総合マニュアル，オーム社，P15</p>																																				
考察																																				
<ul style="list-style-type: none"> バンク構成（1変電所当たりのバンク数）は一般的に3バンク構成が標準と考えられる。 バンク容量は供給地域の需要密度等を勘案して決定されており、都市部（過密地区含む）で15～30MVA、その他地区で10～20MVA程度の容量となっていると言える。 																																				
実証研究の妥当性評価																																				
<ul style="list-style-type: none"> 実証試験では、2バンク構成、バンク容量2MVAとなっているが、実証試験設備構築費用上、3バンク構成にすること、バンク容量を増加させることは困難である。 シミュレーションでバンク構成の設定が必要になった場合は3バンク構成で設定を行う。 																																				

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目																									
大項目	小項目	細目																							
1. 設備形成全般	(5) 系統構成	引出回線数																							
活用目的																									
<ul style="list-style-type: none"> バンク単位での検証を行う場合に使用する。 例えば、フィーダー間で負荷や分散型電源の連系にアンバランスが生じた場合の、送出電圧の調整による対策の限界検証、LBC を用いたループ系統で対策を行った場合の対策効果の検証などの前提条件設定に使用する。 																									
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）																									
<ul style="list-style-type: none"> 大容量（600A）配電線の場合は10MVAバンクでは4回線、20MVAバンクで5から6回線、30MVAバンクで6から8回線程度引き出している。引出回線数が少ない（2から3回線）場合には充電電流不足により、地絡方向リレーの検出感度面で問題になる場合がある。 *1 配電技術総合マニュアル記載の配電線の回線数例は下表のとおり。*2 																									
配電技術総合マニュアル記載の 配電線の回線数例 ^{*2}																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">変電所容量 (MVA)</th> <th rowspan="2">配電線の 回線数</th> <th colspan="2">(IAE 補足)</th> </tr> <tr> <th>1バンクの 容量 (MVA)</th> <th>1バンク当 たりの回線数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30</td> <td>12～18</td> <td>10</td> <td>4～6</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>18～21</td> <td>15</td> <td>6～7</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>18～24</td> <td>20</td> <td>6～8</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>18～36</td> <td>30</td> <td>6～12</td> </tr> </tbody> </table>				変電所容量 (MVA)	配電線の 回線数	(IAE 補足)		1バンクの 容量 (MVA)	1バンク当 たりの回線数	30	12～18	10	4～6	45	18～21	15	6～7	60	18～24	20	6～8	90	18～36	30	6～12
変電所容量 (MVA)	配電線の 回線数	(IAE 補足)																							
		1バンクの 容量 (MVA)	1バンク当 たりの回線数																						
30	12～18	10	4～6																						
45	18～21	15	6～7																						
60	18～24	20	6～8																						
90	18～36	30	6～12																						
(注) 1バンク当たりの容量、回線数は、1変電所3バンク構成であつた場合の想定値																									
<ul style="list-style-type: none"> 各社公表の設備形成ルールでは、一部の電力会社が標準的な引出回線数を公表している。(下表のとおり)*3 																									
設備形成ルールに記載の標準引出回線数 ^{*3}																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>電力会社</th> <th>東京電力</th> <th>北陸電力</th> <th>関西電力</th> <th>沖縄電力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>引出回線数</td> <td>30MVA : 8 20MVA : 7 10MVA : 6</td> <td>6 以下</td> <td>30MVA : 12 以下 20MVA : 8 以下 6MVA : 5 以下</td> <td>30MVA : 8 20MVA : 6 15MVA : 6 10MVA : 4 6、3MVA : 2</td> </tr> </tbody> </table>				電力会社	東京電力	北陸電力	関西電力	沖縄電力	引出回線数	30MVA : 8 20MVA : 7 10MVA : 6	6 以下	30MVA : 12 以下 20MVA : 8 以下 6MVA : 5 以下	30MVA : 8 20MVA : 6 15MVA : 6 10MVA : 4 6、3MVA : 2												
電力会社	東京電力	北陸電力	関西電力	沖縄電力																					
引出回線数	30MVA : 8 20MVA : 7 10MVA : 6	6 以下	30MVA : 12 以下 20MVA : 8 以下 6MVA : 5 以下	30MVA : 8 20MVA : 6 15MVA : 6 10MVA : 4 6、3MVA : 2																					

- 各電力会社の配電用変圧器容量別の標準的な引出回線数について、ヒヤリングを実施した。結果は下表のとおりである。^{*4}

各電力会社の配電用変圧器容量別の標準的な引出回線数（ヒヤリング結果）^{*4}

電力会社 (順不同)	配電用変圧器の容量 (MVA)							
	3MVA	6MVA	7.5MVA	10MVA	15MVA	20MVA	25MVA	30MVA
A社	-	-	-	-	-	大容量 6	-	大容量 6
B社 ^{*1}	-	-	-	一般容量 4	一般容量 6	一般容量 6	-	一般容量 8
C社	-	2	-	4		6	-	8
D社 ^{*2}	一般容量 1~2	一般容量 3~4	-	一般容量 5~6	一般容量 の場合 7~8 大容量 の場合 4~5	大容量 5~6	-	大容量 7~8
E社	-	一般容量 2 ^{*3}	-	一般容量 3	一般容量 の場合 4 大容量 の場合 3	一般容量 の場合 5 大容量 の場合 3	-	大容量 5
F社	-	一般容量 の場合 2 ^{*3} 大容量 の場合 1 ^{*3}	-	一般容量 の場合 7 大容量 の場合 4(6) ^{*4}	一般容量 の場合 8 大容量 の場合 4(6) ^{*4}	大容量 7(8) ^{*4}	-	大容量 8(10) ^{*4}
G社	-	-	-	一般容量 の場合 6 大容量 の場合 3	一般容量 の場合 9 大容量 の場合 5	一般容量 の場合 12 大容量 の場合 6	一般容量 の場合 14 ^{*5} 大容量 の場合 7 ^{*5}	-
H社	-	-	小容量 3	小容量 3~4	小容量 の場合 5 中容量 の場合 3	小容量 の場合 6~7 中容量 の場合 4 大容量 の場合 4	-	大容量 5~6
I社	-	-	-	-	一般容量 4	一般容量 6	一般容量 7	一般容量 8
J社 ^{*1}	一般容量 1 ^{*3}	一般容量 5以下 または 2以下 ^{*3}	-	一般容量 5以下 または 4以下 ^{*3}	-	一般容量 8以下	-	一般容量 12以下

*1：大容量に関しては、負荷電流に応じた設備形成を都度、計画。

*2：上記回線数は、引出回線数の容量を統一した場合の標準的な回線数であり、容量の異なる配電線を混在させる場合は上記によらない。

*3：配電塔のケース

*4：()内数字は未自動化配電線の場合

*5：配電用変圧器の容量 25MVA の欄に記載しているが、正確には配電用変圧器の容量 26MVA のケース

【参考文献】

- *1：電気学会技術報告第 1006 号「負荷供給系統保護リレーシステムの現状とその動向」, 2005.3, P10
- *2：配電技術総合マニュアル, オーム社, P15
- *3：各社公表の設備形成ルール
- *4：各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 各種資料を勘案すると、配電線の引出数はバンク容量が大きいものほど多くなる傾向にあると言える。
- ・ バンク容量別の標準的な回線数は以下のとおりであると言える。
 - ・ 30MVA の場合、大容量回線で 8 回線程度
 - ・ 20MVA の場合、大容量回線で 5 回線程度、一般容量回線 7 回線程度
 - ・ 10MVA の場合、一般容量回線で 5 回線程度

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証試験では、配電線の引出回線数は 4 回線となっているが、実証試験設備構築費用上、回線数を増加させることは困難である。
- ・ シミュレーションで回線数の設定が必要になった場合は、上記調査結果を基に設定を行う。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目													
大項目	小項目	細目	小細目										
1. 設備形成全般	(5) 系統構成	系統の種類	高圧										
活用目的													
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）の条件設定の妥当性評価資料（特に、配電線事故時の対策システムの問題点を検証する実証試験、シミュレーションでは融通範囲をどこまで設定するか実系統の状況に合わせた設定が必要となる。） ・ LBC 適用可能箇所を選定資料（現時点の実証試験側の構想では、LBC は他回線と連系した常開点に設置することとなっている。従って、実系統での系統構成を把握する必要がある。） 													
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）													
<ul style="list-style-type: none"> ・ 各社表現は様々であるが、各社とも放射状系統による分割連系方式を標準としていると考えられる。^{*1}（特別高圧ではスポットネットワーク方式等もある。） <p style="text-align: center;">設備形成ルールに記載の系統構成の各社表現^{*1}</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>電力会社</th> <th>系統構成</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>北海道電力、中部電力、北陸電力、中国電力、四国電力、九州電力</td> <td>放射状系統による分割連系方式</td> </tr> <tr> <td>東北電力</td> <td>ループ方式または樹枝状方式 *ループ方式は常開開閉器による</td> </tr> <tr> <td>東京電力</td> <td>多分割多連系方式</td> </tr> <tr> <td>関西電力</td> <td>多回線ループ系統</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> ・ 日本の放射状系統に対して、欧州・アメリカの配電系統では格子状構成（グリッド構成）が中心になっている。^{*2} ・ 国内の 6kV の配電系統に閉ループ系統はない。^{*3} ・ 基本的には全て分割連系方式であるが、以下の事例などのように正規の分割連系方式でない配電線もある。^{*3} <ul style="list-style-type: none"> ・ 地理的条件により他回線への連系が不可能な箇所 ・ 郡部地域へ供給する一部の配電線 ・ 専用線 				電力会社	系統構成	北海道電力、中部電力、北陸電力、中国電力、四国電力、九州電力	放射状系統による分割連系方式	東北電力	ループ方式または樹枝状方式 *ループ方式は常開開閉器による	東京電力	多分割多連系方式	関西電力	多回線ループ系統
電力会社	系統構成												
北海道電力、中部電力、北陸電力、中国電力、四国電力、九州電力	放射状系統による分割連系方式												
東北電力	ループ方式または樹枝状方式 *ループ方式は常開開閉器による												
東京電力	多分割多連系方式												
関西電力	多回線ループ系統												
<p>【参考文献】</p> <ul style="list-style-type: none"> *1：各公表の設備形成ルール *2：電気学会技術報告第 1006 号「負荷供給系統保護リレーシステムの現状とその動向」, 2005.3, P128 *3：各電力会社へのヒヤリング結果 													
考察													
<ul style="list-style-type: none"> ・ 配電設備の単一事故時に極力その影響が限定的な供給支障にとどめるべく、日本の配電系統では多分割多連系の系統を標準としている。 ・ 特別高圧系統ではスポットネットワーク方式などもあるが、今回検討の対象とはしない。 													
実証研究の妥当性評価													
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証試験での配電線も多分割多連系となっている。 ・ シミュレーションで正規の分割連系方式でない系統での効果の検証を実施する場合、上記調査結果を基に設定を行う。 													

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目				
大項目	小項目	細目		
1. 設備形成全般	(5)系統構成	多分割多連系の方式		
活用目的				
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）の条件設定の妥当性評価資料（特に、配電線事故時の対策システムの問題点を検証する実証試験、シミュレーションでは融通範囲をどこまで設定するか、実系統の分割連系方式の状況に合わせた設定が必要となる。） ・ LBC 適用可能箇所の選定資料（現時点の実証試験側の構想では、LBC は他回線と連系した常開点に設置することとなっている。従って、実系統での系統構成を把握する必要がある。） 				
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）				
<ul style="list-style-type: none"> ・ 「各社公表の設備形成ルール」*1 に一部電力会社が標準例として図示したものはあるが、詳細は不明。（図示している内容は下表のとおり） 				
各社の標準的な分割連系方式(例)*1				
	電力会社	系統構成	出典、補足	
	東京電力	(大容量配電線) 6分割3連系方式 (一般容量配電線) 3分割3連系方式	「各社公表の設備形成ルール」に形態例として図示	
	北陸電力	6分割5連系	「各社公表の設備形成ルール」に系統構成の標準例として図示	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証試験での融通範囲を設定するのにあたり、各電力の分割連系方式が何分割何連系であるかについてヒヤリング調査した。結果は下表のとおりである。*2 				
各電力会社の分割連系方式に関するヒヤリング結果*2				
	電力会社 (順不同)	分割連系方式		
		大容量	中容量	一般容量
	A社	8分割6連系	8分割6連系	4分割3連系
	B社	-	-	3分割3連系
	C社	3分割3連系	-	3分割3連系
	D社	*1	-	*1
	E社	*2	*2	*2
	F社	4分割3連系	-	4分割3連系
	G社	8分割8連系	-	4分割4連系
	H社	6分割3連系	-	3分割3連系
	I社	最大14分割13連系	-	最大8分割7連系
	J社	6分割5連系	-	4分割3連系
<p>*1：1回線事故時に他の健全2回線で融通できる系統構成を標準としている。</p> <p>*2：回線の容量による分類ではなく、地域によって連系方式を分類している。大都市地域：環状（3分割多重ループ）都市地域：環状、その他地域：樹枝状</p>				

【参考文献】

*1：各社公表の設備形成ルール

*2：各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 各社の設備形成の考え方（例えば、連系箇所を増やすことで平常時運用容量を常時容量に近く運用する方法や、常時運用容量を常時容量から余裕を持たせ連系箇所を少なくする方法などの考え方の違い）により、同じ多分割多連系でも各電力会社で考え方が異なる。
- ・ 一部の電力会社では、平常時の容量が 8200kW の大容量回線もあり、実証システム適用にあたり特異な問題の発生が懸念される。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証試験での配電線も多分割多連系となっているが、実証試験設備構築費用上、連系数を増加させることは困難である。
- ・ シミュレーションで分割連系数の設定が必要になった場合は、上記調査結果を基に設定を行う。
- ・ シミュレーションで特異な配電システムでの効果検証を実施する場合、上記調査結果を基に設定を行う。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
1. 設備形成全般	(5) 系統構成	回線容量区分	
活用目的			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実系統適用評価において使用予定の標準モデルでは、「大容量回線」と「一般回線」に分けて評価を行うことを検討中のため。 			
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 電力会社において表現は異なるものの、「大容量回線」と「一般回線」を区分している会社が多い*1。 ・ 各社が公表した設備形成ルールでは、区分の考え方に関し2社が記載しており経済性等を考慮して決定している。*1 			
設備形成ルールに記載の配電線容量の区分に関する各社表現*1			
電力会社	配電線容量の区分に関する表現	区分の考え方	
北海道電力	大容量と小容量	記載なし	
東北電力、中部電力、中国電力	記載なし（2種類以上の標準電線の設定はあり）	記載なし	
東京電力、北陸電力	大容量と一般容量（または普通容量、標準）	記載なし	
関西電力		標準配電線では供給力不足が生じる配電線で、1回線増強、連系増強、22kV昇圧よりも経済的な有利な場合に大容量とする。	
九州電力		経済性、引出可能な回線数等を考慮のうえ決定する	
四国電力	大容量と中容量と小容量	記載なし	
沖縄電力	記載なし	記載なし	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 各電力会社の配電線容量の区分の内容、考え方、及び大容量回線の比率等についてヒヤリング調査を実施した。結果は下表のとおりである。*2 			

各電力会社の配電線容量の区分の内容、大容量回線の比率等のヒヤリング調査結果*2

電力会社 (順不同)	配電線容量の区分	区分の考え方	大容量回線の比率*1
A社	大容量と一般容量	・都市及びその周辺を供給するユニット容量 10MVA 以上の変電所、または左記以外で一般容量の配電線では経済的、技術的に困難な箇所に大容量配電線を適用。	95%
B社	大容量と一般容量	・需要密度、供給信頼度、支持物の強度などを考慮のうえ選定	84%
C社	大容量と一般容量	・回線新設時に初期最大負荷が 2,500 kW 以上であって、将来の負荷増加が見込まれる場合や引出ルートなどの点で、大容量が有利な場合に適用。	3%
D社	なし	-	-
E社	大容量と小容量	・バンク容量、経済性、引出可能な回線数等を考慮のうえ決定する。	約 50%
F社	大容量と標準容量	・標準配電線では供給力不足が生じる配電線で、1 回線増強、連系増強、22 kV 昇圧よりも経済的な有利な場合に大容量とする。	ごく僅か
G社	大容量と普通容量	・新規の配電線新設時は原則大容量としている。	66%
H社	なし	-	-
I社	大容量と中容量と小容量	・都市部は大容量、郡部は中容量を適用する。小容量は大容量回線や中容量回線が分割した回線をいう。	19%
J社	大容量と一般容量	・経済性、引出可能な回線数等を考慮のうえ決定する。	80%

*1：6kV 配電線における比率

【参考文献】

*1：各社公表の設備形成ルール

*2：各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 回線容量に関し、経済性等を考慮して 2~3 の区分を各社実施している。
- ・ その区分の考え方については、主に経済性、技術性(建設可能か)によるところが多い。
- ・ 大容量回線の比率が僅かのところも数社あるが、大部分が大容量回線である電力会社も数社ある。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証試験での配電線は一般容量回線となっているが、実証試験設備構築費用上、電線等の設備容量を変更することは困難である。
- ・ シミュレーションで配電線容量の設定が必要になった場合は、上記調査結果を基に設定を行う。(大容量回線での検証も実施する。)

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目				
大項目	小項目	細目	細細目	
1. 設備形成全般	(5) 系統構成	運用容量と過負荷容量	高圧・架空	
活用目的				
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）の条件設定の妥当性評価資料（特に、配電線事故時の対策システムの問題点を検証する実証試験、シミュレーションでは融通範囲をどこまで設定するか、実系統の状況に合わせた設定が必要となる。） 				
調査結果（ヒヤリング調査結果）				
<ul style="list-style-type: none"> ・ 各社の回線容量(系統変更時を考慮した平常時の容量)についてヒヤリングを実施した。結果は下表のとおりである。*1 				
各電力会社の回線容量に関するヒヤリング結果*1				
電力会社 (順不同)	回線容量			
	大容量回線		一般容量回線	
	平常時の容量*1	過負荷容量*2	平常時の容量*1	過負荷容量*2
A 社	4500kW	6500kW	3500kW	4500kW
B 社	8200kW	9600kW	5200kW	6300kW
C 社	-	-	4500kW	6000kW
D 社*3	600A	675A	300A	375A
E 社	400A	600A	335A (300A) *4	400A (350A) *4
F 社	450 ~ 530A	600A	230 ~ 270A	300 ~ 360A
G 社	420A	540A	240A	300A
H 社	450A	600A	270A	360A
I 社	4200kW	6300kW	2500kW	3750kW
<p>*1：平常時の容量とは事故時の他回線への融通を想定し、あらかじめ余裕を持たせた平常時の管理値 *2：過負荷容量とは事故時に他回線へ融通したときの管理値 *3：他に中容量回線では、平常時の容量 500A、過負荷容量 575A としている。 *4：() 内の数字は、400A 化対象外（引留バインド箇所がある配電線等）の場合</p>				
【参考文献】				
*1：各電力会社へのヒヤリング結果				
考察				
<ul style="list-style-type: none"> ・ 上記表より、各社とも平常時の容量は、過負荷容量の 2/3 以上となっていると考えられることから、過酷時を想定した場合、融通範囲は回線全体の 1/3 の負荷を融通する範囲を想定すればよいと言える。 				
実証研究の妥当性評価				
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）で配電線容量、融通範囲の設定が必要になった場合は、上記調査結果を基に設定を行う。 				

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目																																																																																	
大項目	小項目		細目																																																																														
2. 配電設備	(1)配電線		電圧階級別回線数、亘長																																																																														
活用目的																																																																																	
・ 6.6kVでの検討を行う妥当性評価																																																																																	
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）																																																																																	
<ul style="list-style-type: none"> 特別高圧配電線と高圧配電線の回線数、及び亘長の文献調査結果は下表のとおり。一部電力会社では、特別高圧配電線を送電設備として整理しているものと考えられる。 																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">電力会社</th> <th colspan="2">回線数</th> <th colspan="2">亘長 [km]</th> <th rowspan="2">出典^{*1} ()は調査年月</th> </tr> <tr> <th>特高</th> <th>高圧</th> <th>特高</th> <th>高圧</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>北海道電力</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>記載文献なし</td> </tr> <tr> <td>東北電力</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>記載文献なし</td> </tr> <tr> <td>東京電力</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>521</td> <td>150357</td> <td>関東の電気事業と東京電力-電気事業創始から東京電力 50 年への軌跡(資料編)(H11.3 末)</td> </tr> <tr> <td>中部電力</td> <td>180</td> <td>16579</td> <td>170</td> <td>103793</td> <td>中部電力五十年史(H13.3 末)</td> </tr> <tr> <td>北陸電力</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>記載文献なし</td> </tr> <tr> <td>関西電力</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>5080</td> <td>84713</td> <td>関西電力五十年史(H13.3 末)</td> </tr> <tr> <td>中国電力</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>619</td> <td>58043</td> <td>中国電力五十年史(H13.3 末)</td> </tr> <tr> <td>四国電力</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>記載文献なし</td> </tr> <tr> <td>九州電力</td> <td>179</td> <td>3416</td> <td>1467</td> <td>79201</td> <td>「第三配電物語」(H11.3 末)</td> </tr> <tr> <td>沖縄電力</td> <td></td> <td></td> <td>117</td> <td>6880</td> <td>沖縄電力 HP 会社概要(H16.3 末)</td> </tr> </tbody> </table>						電力会社	回線数		亘長 [km]		出典 ^{*1} ()は調査年月	特高	高圧	特高	高圧	北海道電力	-	-	-	-	記載文献なし	東北電力	-	-	-	-	記載文献なし	東京電力	-	-	521	150357	関東の電気事業と東京電力-電気事業創始から東京電力 50 年への軌跡(資料編)(H11.3 末)	中部電力	180	16579	170	103793	中部電力五十年史(H13.3 末)	北陸電力	-	-	-	-	記載文献なし	関西電力	-	-	5080	84713	関西電力五十年史(H13.3 末)	中国電力	-	-	619	58043	中国電力五十年史(H13.3 末)	四国電力	-	-	-	-	記載文献なし	九州電力	179	3416	1467	79201	「第三配電物語」(H11.3 末)	沖縄電力			117	6880	沖縄電力 HP 会社概要(H16.3 末)						
電力会社	回線数		亘長 [km]		出典 ^{*1} ()は調査年月																																																																												
	特高	高圧	特高	高圧																																																																													
北海道電力	-	-	-	-	記載文献なし																																																																												
東北電力	-	-	-	-	記載文献なし																																																																												
東京電力	-	-	521	150357	関東の電気事業と東京電力-電気事業創始から東京電力 50 年への軌跡(資料編)(H11.3 末)																																																																												
中部電力	180	16579	170	103793	中部電力五十年史(H13.3 末)																																																																												
北陸電力	-	-	-	-	記載文献なし																																																																												
関西電力	-	-	5080	84713	関西電力五十年史(H13.3 末)																																																																												
中国電力	-	-	619	58043	中国電力五十年史(H13.3 末)																																																																												
四国電力	-	-	-	-	記載文献なし																																																																												
九州電力	179	3416	1467	79201	「第三配電物語」(H11.3 末)																																																																												
沖縄電力			117	6880	沖縄電力 HP 会社概要(H16.3 末)																																																																												
* 特高は、11kV～33kVの配電線																																																																																	
<ul style="list-style-type: none"> 従って、各社の特高、高圧配電線の回線数と亘長についてヒヤリング調査を実施した。結果は下表のとおり^{*2} 																																																																																	
各社の特高、高圧配電線の回線数と亘長（各電力会社へのヒヤリング結果） ^{*2}																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">電力会社 (順不同)</th> <th colspan="2">回線数</th> <th colspan="2">亘長 [km]</th> <th rowspan="2">調査年月</th> </tr> <tr> <th>特高^{*1、*2}</th> <th>高圧^{*2}</th> <th>特高^{*1、*2}</th> <th>高圧^{*2}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A 社</td> <td>27</td> <td>2359</td> <td>243</td> <td>54400</td> <td>H17.3 末</td> </tr> <tr> <td>B 社</td> <td>20</td> <td>6577</td> <td>313</td> <td>96729</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>C 社</td> <td>10</td> <td>743</td> <td>122</td> <td>6911</td> <td>H17.3 末</td> </tr> <tr> <td>D 社</td> <td>59</td> <td>1636</td> <td>165</td> <td>32755</td> <td>H17.7 末</td> </tr> <tr> <td>E 社</td> <td>264</td> <td>3774</td> <td>894</td> <td>61071</td> <td>H17.3 末</td> </tr> <tr> <td>F 社</td> <td>12</td> <td>8612</td> <td>37</td> <td>110000</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>G 社</td> <td>1271</td> <td>19176</td> <td>2294</td> <td>140700</td> <td>H17.3 末</td> </tr> <tr> <td>H 社</td> <td>24</td> <td>1880</td> <td>167</td> <td>24473</td> <td>H17.3 末</td> </tr> <tr> <td>I 社</td> <td>196</td> <td>3566</td> <td>1691</td> <td>81313</td> <td>H16.3 末</td> </tr> <tr> <td>J 社</td> <td>1572</td> <td>13367</td> <td>5273</td> <td>86146</td> <td>H17.3 末</td> </tr> <tr> <td>10 社計</td> <td>3455</td> <td>61690</td> <td>11199</td> <td>697798</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>						電力会社 (順不同)	回線数		亘長 [km]		調査年月	特高 ^{*1、*2}	高圧 ^{*2}	特高 ^{*1、*2}	高圧 ^{*2}	A 社	27	2359	243	54400	H17.3 末	B 社	20	6577	313	96729	-	C 社	10	743	122	6911	H17.3 末	D 社	59	1636	165	32755	H17.7 末	E 社	264	3774	894	61071	H17.3 末	F 社	12	8612	37	110000	-	G 社	1271	19176	2294	140700	H17.3 末	H 社	24	1880	167	24473	H17.3 末	I 社	196	3566	1691	81313	H16.3 末	J 社	1572	13367	5273	86146	H17.3 末	10 社計	3455	61690	11199	697798	-
電力会社 (順不同)	回線数		亘長 [km]		調査年月																																																																												
	特高 ^{*1、*2}	高圧 ^{*2}	特高 ^{*1、*2}	高圧 ^{*2}																																																																													
A 社	27	2359	243	54400	H17.3 末																																																																												
B 社	20	6577	313	96729	-																																																																												
C 社	10	743	122	6911	H17.3 末																																																																												
D 社	59	1636	165	32755	H17.7 末																																																																												
E 社	264	3774	894	61071	H17.3 末																																																																												
F 社	12	8612	37	110000	-																																																																												
G 社	1271	19176	2294	140700	H17.3 末																																																																												
H 社	24	1880	167	24473	H17.3 末																																																																												
I 社	196	3566	1691	81313	H16.3 末																																																																												
J 社	1572	13367	5273	86146	H17.3 末																																																																												
10 社計	3455	61690	11199	697798	-																																																																												
*1：特高は、11kV～33kVの配電線。配電塔と変電所を結ぶ配電線を含めた値。但しC社については含んでいない。																																																																																	
*2：架空と地中を含めたトータル値																																																																																	

【参考文献】

*1：文献調査結果は表中に参考文献を記載

*2：各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 電圧階級別に最も普及している配電系統は、高圧（6.6kV）配電系統であり、特別高圧（11kV～33kV）の配電系統も少しずつ増加傾向ではあるが、高圧系統に比べるとかなり少ない。（特別高圧配電線の巨長は高圧配電線の約2%程度）
- ・ 高圧（6.6kV）配電系統は、特別高圧配電系統と比較し、電圧が低いことから分散型電源普及に伴う電圧上昇も顕著となることが考えられる。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）における検討対象は、高圧（6.6kV）配電系統で妥当であると考えられる。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目																					
大項目	小項目	細目																			
2. 配電設備	(1)配電線	供給地域別回線数																			
活用目的																					
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）の条件の妥当性評価 ・ 対策規模の把握 																					
調査結果（文献調査結果）																					
<ul style="list-style-type: none"> ・ 電協研では、全国の電力会社より配電線が無作為抽出し高圧配電線のインピーダンスと巨長の調査を実施している。これによると、無作為に抽出した配電線の供給地域別の回線数の内訳は以下のとおりとなっている。^{*1} 																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>地域</th> <th>繁華街</th> <th>工業地域</th> <th>住宅地域</th> <th>農山村</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>回線数</td> <td>96</td> <td>103</td> <td>265</td> <td>146</td> <td>610</td> </tr> <tr> <td>割合 [%]</td> <td>16</td> <td>17</td> <td>43</td> <td>24</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>				地域	繁華街	工業地域	住宅地域	農山村	合計	回線数	96	103	265	146	610	割合 [%]	16	17	43	24	100
地域	繁華街	工業地域	住宅地域	農山村	合計																
回線数	96	103	265	146	610																
割合 [%]	16	17	43	24	100																
【参考文献】																					
*1：電気協同研究第 60 巻第 2 号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」, H17.3 , P214																					
考察																					
<ul style="list-style-type: none"> ・ サンプル調査ではあるが、地域別回線数の内訳では住宅地域の割合が最も多く 43%、次いで農山村（郊外地域）24%となっている。 																					
実証研究の妥当性評価																					
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証試験では、全ての地域を想定した試験は工程、費用の観点から困難と考えられる。供給地域別の分散型電源の普及実態なども考慮する必要があるが、実系統で回線数の多い住宅地域を優先的に試験実施することが効果的であるといえる。 ・ シミュレーションではすべての地域にて検証を行うことで検討する。 																					

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目																																																																							
大項目	小項目	細目																																																																					
2. 配電設備	(1)配電線	架空・地中別巨長																																																																					
活用目的																																																																							
<ul style="list-style-type: none"> 架空配電線での検討を行う妥当性の評価 																																																																							
調査結果（文献調査結果）																																																																							
<ul style="list-style-type: none"> 架空配電線と地中配電線の巨長に関する文献調査結果は下表のとおり。^{*1} <p style="text-align: center;">各電力会社の（高圧/低圧）配電線の架空線/地中線の巨長（2003年度末）^{*1}</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="3">電力会社</th> <th colspan="4">巨長 [km]</th> </tr> <tr> <th colspan="2">高圧</th> <th colspan="2">低圧</th> </tr> <tr> <th>架空</th> <th>地中</th> <th>架空</th> <th>地中</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>北海道電力</td> <td>53145</td> <td>1112</td> <td>30563</td> <td>89</td> </tr> <tr> <td>東北電力</td> <td>96184</td> <td>2317</td> <td>74507</td> <td>188</td> </tr> <tr> <td>東京電力</td> <td>140134</td> <td>15823</td> <td>180713</td> <td>1138</td> </tr> <tr> <td>中部電力</td> <td>101670</td> <td>3265</td> <td>66099</td> <td>474</td> </tr> <tr> <td>北陸電力</td> <td>23391</td> <td>909</td> <td>16828</td> <td>139</td> </tr> <tr> <td>関西電力</td> <td>80298</td> <td>5200</td> <td>39850</td> <td>348</td> </tr> <tr> <td>中国電力</td> <td>58568</td> <td>2278</td> <td>35539</td> <td>188</td> </tr> <tr> <td>四国電力</td> <td>32102</td> <td>653</td> <td>19786</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>九州電力</td> <td>79728</td> <td>1585</td> <td>80936</td> <td>277</td> </tr> <tr> <td>沖縄電力</td> <td>6610</td> <td>270</td> <td>3482</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>671830</td> <td>33412</td> <td>548303</td> <td>2915</td> </tr> </tbody> </table>				電力会社	巨長 [km]				高圧		低圧		架空	地中	架空	地中	北海道電力	53145	1112	30563	89	東北電力	96184	2317	74507	188	東京電力	140134	15823	180713	1138	中部電力	101670	3265	66099	474	北陸電力	23391	909	16828	139	関西電力	80298	5200	39850	348	中国電力	58568	2278	35539	188	四国電力	32102	653	19786	70	九州電力	79728	1585	80936	277	沖縄電力	6610	270	3482	4	合計	671830	33412	548303	2915
電力会社	巨長 [km]																																																																						
	高圧		低圧																																																																				
	架空	地中	架空	地中																																																																			
北海道電力	53145	1112	30563	89																																																																			
東北電力	96184	2317	74507	188																																																																			
東京電力	140134	15823	180713	1138																																																																			
中部電力	101670	3265	66099	474																																																																			
北陸電力	23391	909	16828	139																																																																			
関西電力	80298	5200	39850	348																																																																			
中国電力	58568	2278	35539	188																																																																			
四国電力	32102	653	19786	70																																																																			
九州電力	79728	1585	80936	277																																																																			
沖縄電力	6610	270	3482	4																																																																			
合計	671830	33412	548303	2915																																																																			
【参考文献】																																																																							
*1：電気事業連合会 Web																																																																							
考察																																																																							
<ul style="list-style-type: none"> 高圧配電線における架空と地中の巨長比率は約 20 : 1 となっている。 架空高圧配電線と架空低圧配電線の巨長は高圧が若干多い。 																																																																							
実証研究の妥当性評価																																																																							
<ul style="list-style-type: none"> 実証研究（実証試験、シミュレーション）における検討対象は、6.6 kV、架空配電線で妥当であると考えられる。 																																																																							

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目				
大項目	小項目	細目		
2. 配電設備	(2)電線	種類		
活用目的				
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）における電線種別設定の妥当性評価 				
調査結果（文献調査結果）				
<ul style="list-style-type: none"> ・ 各電力会社の標準的な高圧（架空）配電線の電線の種類は下表のとおり。*1 ・ 昭和 51 年の電気設備技術基準の改正により高圧架空電線は、公衆感電の恐れのない箇所を除きすべて絶縁電線を使用することが定められている。*2 ・ 電線種類毎の施設数については、定量的な文献は見当たらない。 				
各社の設備形成ルール*1記載の各電力会社の高圧（架空）配電線の電線の種類				
電力会社	導体の材質	絶縁電線 使用の有無	電線の種類、太さ(導体断面積)[cm ²]	
			銅	アルミ
北海道電力	銅またはアルミ	使用	単線：5 より線：38,60,125	32,58,95,200
東北電力	銅（原則）	使用	単線：5 より線：60,150	
東京電力	アルミ（原則）	使用		（一般回線） SN-OE-ACSR32,120 （大容量系統幹線） SN-OC-HAI 240
中部電力	銅またはアルミ	使用	OE 5 OC 60,125	ACSR-OE 32 AAAC-OC 110
北陸電力	銅またはアルミ	使用	（分岐） OC-5 （大容量配電線） OC-W150	ACSR-OC-L120
関西電力	銅	使用	（負荷 40A 以上） SB-OCW(A)80 （負荷 40A 未満） SN-OC(A)5 （大容量配電線） OC-WL150	
中国電力	アルミ	使用		ACSR-OC-S0 25,58 ACSR-OE 25,58 HAL-OC-S0 200 HAL-OE 200
四国電力	銅またはアルミ	使用	OCW 38,80,150,200	ACSR-OC 32,120
九州電力	アルミ	使用		ACSR-OE 25,58,120 ACSR-OC 200,400
沖縄電力	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
実証試験	銅	使用	OE60	

* SN-OC：屋外用難着雪架橋ポリエチレン絶縁電線
 SN-OE：屋外用難着雪ポリエチレン絶縁電線
 ACSR：鋼心アルミより線 HAI：硬アルミより線導体
 (A)は樹木対策箇所用耐摩耗型

【参考文献】

*1：各社公表の設備形成ルール

*2：電気工学ハンドブック（第6版），電気学会，P1345

考察

- ・ 上表より全国的に見ると銅とアルミがほぼ同程度使用されていることが分かる。（銅を標準仕様としている電力会社が6/9社、アルミが7/9社）また、使用されている電線の太さ（導体断面積）は、銅については5～200 cm²、アルミについては25～400 cm²の範囲であった。

実証研究の妥当性評価

（導体の材質について）

- ・ 全国大の使用実績から見ると銅とアルミがほぼ同程度使用されているが、実証試験設備構築費用上、銅線とアルミ線の回線をそれぞれ設備構築することは困難であると考えられる。従って、実証試験では銅線を使用することは妥当と判断。また、シミュレーションではアルミを使用する回線でも検証を実施することとする。

（電線の種類、太さについて）

- ・ 実証試験で使用される電線（銅 0E60）は、一般回線（大容量回線でなく）に適用されることが多い電線であると考えられる。実証試験設備構築費用上、大容量回線/一般回線に分けて実証試験を実施することは困難であると考えられる。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目																																																																			
大項目	小項目	細目																																																																	
2. 配電設備	(3)柱上変圧器	容量毎の設置割合																																																																	
活用目的																																																																			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証試験、実系統適用シミュレーションにおけるモデル柱上変圧器設定時の変圧器容量の妥当性評価 ・ 柱上変圧器により対策を実施した場合の経済性評価の基礎資料 																																																																			
調査結果（文献調査結果）																																																																			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 柱上変圧器の定格容量は3、5、7.5、10、15、20、30、50、75、100、133kVAのものがある。^{*1} ・ 電気事業便覧には各電力会社の2003年度末時点の配電用変圧器の容量が記載されている。（表1）^{*2} ・ 各電力会社の配電用変圧器容量と台数が記載された文献を整理したものを表2に示す。また、電気事業連合会にてサンプル調査した結果を表3に示す。^{*3}これらより柱上変圧器の1台あたりの平均容量は約30kVA程度であると想定される。 																																																																			
<p>表1. 電気事業便覧記載の各電力会社の配電用変圧器の容量（2003年度末）^{*2}</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">電力会社</th> <th colspan="2">配電用変圧器容量 [× 10³kVA]</th> </tr> <tr> <th>架空</th> <th>地中</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>北海道電力</td><td>12938</td><td>592</td></tr> <tr><td>東北電力</td><td>23646</td><td>1083</td></tr> <tr><td>東京電力</td><td>71277</td><td>19501</td></tr> <tr><td>中部電力</td><td>55581</td><td>1413</td></tr> <tr><td>北陸電力</td><td>6541</td><td>224</td></tr> <tr><td>関西電力</td><td>57177</td><td>357</td></tr> <tr><td>中国電力</td><td>14949</td><td>874</td></tr> <tr><td>四国電力</td><td>7845</td><td>54</td></tr> <tr><td>九州電力</td><td>29813</td><td>679</td></tr> <tr><td>沖縄電力</td><td>3080</td><td>19</td></tr> <tr><td>合計</td><td>282847</td><td>24796</td></tr> </tbody> </table>				電力会社	配電用変圧器容量 [× 10 ³ kVA]		架空	地中	北海道電力	12938	592	東北電力	23646	1083	東京電力	71277	19501	中部電力	55581	1413	北陸電力	6541	224	関西電力	57177	357	中国電力	14949	874	四国電力	7845	54	九州電力	29813	679	沖縄電力	3080	19	合計	282847	24796																										
電力会社	配電用変圧器容量 [× 10 ³ kVA]																																																																		
	架空	地中																																																																	
北海道電力	12938	592																																																																	
東北電力	23646	1083																																																																	
東京電力	71277	19501																																																																	
中部電力	55581	1413																																																																	
北陸電力	6541	224																																																																	
関西電力	57177	357																																																																	
中国電力	14949	874																																																																	
四国電力	7845	54																																																																	
九州電力	29813	679																																																																	
沖縄電力	3080	19																																																																	
合計	282847	24796																																																																	
<p>表2. 各電力会社の配電用変圧器容量と台数記載の文献抜粋</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">電力会社</th> <th colspan="4">配電用変圧器容量と台数</th> <th rowspan="3">【IAE追記】 1台あたりの 平均容量(架空) [kVA/台]</th> <th rowspan="3">出典</th> </tr> <tr> <th colspan="2">台数</th> <th colspan="2">容量 [× 10³kVA]</th> </tr> <tr> <th>架空</th> <th>地中</th> <th>架空</th> <th>地中</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>東京電力</td> <td>2067743</td> <td>228374</td> <td>70285</td> <td>17297</td> <td>34.0</td> <td>関東の電気事業と東京電力-電気事業創始から東京電力50年への軌跡(資料編)(H13.3末)</td> </tr> <tr> <td>中部電力</td> <td>1500247</td> <td>16952</td> <td>55581</td> <td>1413</td> <td>37.0</td> <td>中部電力HP(H16.3末)</td> </tr> <tr> <td>北陸電力</td> <td>331236</td> <td>1701</td> <td>6253</td> <td>176</td> <td>18.9</td> <td>北陸電力五十年史(H13.3末)</td> </tr> <tr> <td>関西電力</td> <td>1752421</td> <td>2850</td> <td>55937</td> <td>316</td> <td>31.9</td> <td>関西電力五十年史(H13.3末)</td> </tr> <tr> <td>中国電力</td> <td colspan="2">754731</td> <td colspan="2">15331</td> <td>*20.3</td> <td>中国電力五十年史(H13.3末)</td> </tr> <tr> <td>九州電力</td> <td>801157</td> <td>3284</td> <td>27799</td> <td>648</td> <td>34.7</td> <td>「第三配電物語」(H11.3末)</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>7207535</td> <td></td> <td>231186</td> <td></td> <td>32.1</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>				電力会社	配電用変圧器容量と台数				【IAE追記】 1台あたりの 平均容量(架空) [kVA/台]	出典	台数		容量 [× 10 ³ kVA]		架空	地中	架空	地中	東京電力	2067743	228374	70285	17297	34.0	関東の電気事業と東京電力-電気事業創始から東京電力50年への軌跡(資料編)(H13.3末)	中部電力	1500247	16952	55581	1413	37.0	中部電力HP(H16.3末)	北陸電力	331236	1701	6253	176	18.9	北陸電力五十年史(H13.3末)	関西電力	1752421	2850	55937	316	31.9	関西電力五十年史(H13.3末)	中国電力	754731		15331		*20.3	中国電力五十年史(H13.3末)	九州電力	801157	3284	27799	648	34.7	「第三配電物語」(H11.3末)	合計	7207535		231186		32.1	-
電力会社	配電用変圧器容量と台数				【IAE追記】 1台あたりの 平均容量(架空) [kVA/台]	出典																																																													
	台数		容量 [× 10 ³ kVA]																																																																
	架空	地中	架空	地中																																																															
東京電力	2067743	228374	70285	17297	34.0	関東の電気事業と東京電力-電気事業創始から東京電力50年への軌跡(資料編)(H13.3末)																																																													
中部電力	1500247	16952	55581	1413	37.0	中部電力HP(H16.3末)																																																													
北陸電力	331236	1701	6253	176	18.9	北陸電力五十年史(H13.3末)																																																													
関西電力	1752421	2850	55937	316	31.9	関西電力五十年史(H13.3末)																																																													
中国電力	754731		15331		*20.3	中国電力五十年史(H13.3末)																																																													
九州電力	801157	3284	27799	648	34.7	「第三配電物語」(H11.3末)																																																													
合計	7207535		231186		32.1	-																																																													
* 箇所は地中分を含む数値																																																																			

表3. 電協研記載の柱上変圧器インピーダンスの分布^{*3}
 (1999年、サンプル数：電力会社5社のすべての柱上変圧器 3184565台)

変圧器容量 [kVA] (a)	容量別平均インピーダンス			比率 (b)	【IAE追記】 平均容量 [kVA] (a x b)
	R [m]	jX [m]	Z [m]		
133	2.7	6.1	6.7	0.05	27.9
100	2.4	6.3	6.7	1.46	
75	3.4	8.9	9.5	3.91	
50	5.0	8.2	9.6	18.45	
30	9.3	16.4	18.9	21.65	
20	15.2	19.5	24.7	25.69	
15	25.7	24.4	35.5	0.16	
10	37.6	34.3	50.9	22.75	
7.5	61.7	37.7	72.3	0.23	
5	97.3	58.3	113.4	5.64	

- NEDO 報告書記載の標準モデル^{*4}、IAE 報告書記載の標準モデル^{*5}では柱上変圧器の容量を30kVAで設定している。
- NEDO 実証研究「集中連系型太陽光発電システム実証研究」では、太陽光発電の集中連系箇所モデル柱上変圧器の容量を50kVAで設定している。^{*6}
- 供給地域別では表4に示すように電協研の報告書にて調査結果が記載されている。^{*7}

表4. 電協研記載の供給地域別柱上変圧器の平均容量 (H2年)^{*7}

供給地域		変圧器 平均容量 [kVA]	サンプル バンク数
繁華街	一般	52.3	344
	大容量	65.5	414
工場	一般	18.5	514
	大容量	22.8	710
住宅	一般	27.1	1016
	大容量	26.1	1399
農山村	一般	16.2	1663
	大容量	18.4	1839
単純平均		30.9	-

*変圧器は電灯用、灯動共用変圧器を対象

【参考文献】

- *1：電気工学ハンドブック（第6版），電気学会，P1346
- *2：電気事業便覧 平成16年度版
- *3：電気協同研究第60巻第2号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」，H17.3，P217
- *4：平成11年度NEDO成果報告書「太陽光発電システムの実証研究（高密度連系技術の研究）」
- *5：エネルギー総合工学研究所「電力系統制御システム技術検討会」報告書，H16.6
- *6：平成14年度NEDO成果報告書「集中連系型太陽光発電システム実証研究」
- *7：電気協同研究第46巻第2号「配電系統における高調波とその対策」，H2.6，P134

考察

- ・ 柱上変圧器の1台あたりの平均容量は約30kVA程度であると想定される。
- ・ 但し、供給地域毎に見ると商業地域（50kVA程度）、住宅地域（30kVA程度）、工場地域（20kVA程度）、郊外地域（10または20kVA程度）の順に平均容量が高くなっている。これは需要密度の高い地域ほど変圧器の容量が大きくなる傾向を示しているものと考えられる。
- ・ 使用されている割合の高い変圧器は、10、20、30、50kVAの容量の変圧器で、これらにより全体の8割～9割を占めるものと想定される。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証試験では、当面、高圧システムによる対策を実施する計画であり、柱上変圧器のモデル設定は実施しない。
- ・ シミュレーションでは低圧システムでの対策を含めた検討を予定しており、本調査結果を柱上変圧器のモデル設定時に活用する。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
2. 配電設備	(3)柱上変圧器	1回線あたりのバンク数	
活用目的			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証試験、実系統適用シミュレーションにおけるモデル柱上変圧器設定時の1回線あたりのバンク数の妥当性評価 ・ 柱上変圧器により対策を実施した場合の経済性評価の基礎資料 			
調査結果（文献調査結果）			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 電気協同研究にてサンプル調査を各種実施している。これらより1回線あたりのバンク数の調査結果を整理すると下表のとおりとなる。*1、*2 			
電気協同研究に記載の各種調査結果*1、*2			
供給地域	1回線あたりの平均バンク数		
	電協研 第60巻第2号*1 (H17年)	電協研 第46巻第2号*2 (H2年)	
		一般回線	大容量回線
繁華街	55	43	52
工業地域	89	57	89
住宅地域	154	113	175
農山村	180	185	263
サンプル 回線数	102回線	35回線	31回線
<ul style="list-style-type: none"> ・ NEDO 報告書記載の標準モデル*3、IAE 報告書記載の標準モデル*4では1回線あたりのバンク数をそれぞれ、90バンク、80バンクで設定している。 			
【参考文献】			
*1：電気協同研究第60巻第2号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」, H17.3, P37			
*2：電気協同研究第46巻第2号「配電系統における高調波とその対策」, H2.6, P134			
*3：平成11年度 NEDO 成果報告書「太陽光発電システムの実証研究（高密度連系技術の研究）」			
*4：エネルギー総合工学研究所「電力系統制御システム技術検討会」報告書, H16.6			
考察			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 電気協同研究における H2 年の調査結果から、H17 年の調査結果の傾向は変わっておらず、1回線あたりの平均バンク数は、郊外地域（180程度）、住宅地域（150程度）、工業地域（90程度）、商店地域（50程度）の順に多くなっている。 			
実証研究の妥当性評価			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証試験では、当面、高圧系統による対策を実施する計画であり、柱上変圧器のモデル設定は実施しない。 ・ シミュレーションでは低圧系統での対策を含めた検討を予定しており、本調査結果を柱上変圧器のモデル設定時に活用する。 			

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
2. 配電設備	(3)柱上変圧器	1変圧器あたりの需要家数	
活用目的			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証試験、実系統適用シミュレーションにおけるモデル柱上変圧器設定時の1変圧器あたりの需要家数の妥当性評価 			
調査結果（文献調査結果）			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 電気協同研究にてサンプル調査を各種実施している。これらより1変圧器あたりの需要家数の調査結果を整理すると下表のとおりとなる。*1、*2 			
電気協同研究に記載の各種調査結果*1、*2			
供給地域	1変圧器あたりの平均需要家数		
	電協研 第60巻第2号*1 (H17年)	電協研 第46巻第2号*2 (H2年)	
繁華街	19	21	
工業地域	10	9	
住宅地域	12	17	
農山村	9	8	
サンプル 変圧器数	10636	7341	
<ul style="list-style-type: none"> ・ NEDO 報告書記載の標準モデル*3、IAE 報告書記載の標準モデル*4では1変圧器あたりの需要家数をそれぞれ20、15で設定している。 			
【参考文献】			
*1：電気協同研究第60巻第2号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」, H17.3, P37			
*2：電気協同研究第46巻第2号「配電系統における高調波とその対策」, H2.6, P134			
*3：平成11年度NEDO成果報告書「太陽光発電システムの実証研究（高密度連系技術の研究）」			
*4：エネルギー総合工学研究所「電力系統制御システム技術検討会」報告書, H16.6			
考察			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 電気協同研究におけるH2年の調査結果から、H17年の調査結果の傾向は変わっておらず、1変圧器あたりの平均需要家数は、商業地域（20程度）、住宅地域（15程度）、工業地域（10程度）、郊外地域（8程度）の順に多くなっている。 			
実証研究の妥当性評価			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証試験では、当面、高圧系統による対策を実施する計画であり、柱上変圧器のモデル設定は実施しない。 ・ シミュレーションでは低圧系統での対策を含めた検討を予定しており、本調査結果を柱上変圧器のモデル設定時に活用する。 			

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目						
大項目	小項目	細目				
2. 配電設備	(4)開閉器	種類、設備数				
活用目的						
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）の試験条件の妥当性評価 ・ センサー内蔵開閉器の普及状況の把握(実証システムの実系統適用時にセンサー内蔵開閉器を新たに設備構築する必要があるかの判断) 						
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）						
<ul style="list-style-type: none"> ・ 開閉器は操作ひもによって開閉操作する手動開閉器と、制御装置と組み合わせた自動開閉器がある。また、自動開閉器にはセンサーを内蔵した開閉器も使用されている。*1 ・ 各電力会社の設備数、設置の考え方についてヒヤリング調査を実施した。調査結果は下表のとおりである。*2 						
各電力会社の開閉器（6kV配電線）の施設状況（ヒヤリング結果）*2						
電力会社 (順不同)	施設数			設置の考え方		調査年月
	手動 開閉器	自動開閉器		自動開閉器	センサー内蔵 自動開閉器	
		センサー なし	センサー 内蔵			
A社	9560	0	3366*1	-	・ 基本的には導入完了*1	H17.3末
B社	337464	127643	41	・ 効果の高い箇所へ順次導入	・ 試験実施段階	H17.3末
C社	490885	63796	110*2	-	-	H17.3末
D社	99384	32942	2409*3	・ 新規設置は行わず再配置で対応		H17.3末
E社	224577	0	114100*4	・ ほぼ導入完了	・ 区間分割が8区間を超える配電線に取付	H17.3末
F社	30775	13080	40	・ 自動逆送に必要な配電線に設置	・ 一部の営業所で実施	H17.3末
G社	166584	4804	36674*5	・ 新設する自動開閉器は全てセンサー内蔵型を導入		H17.8
H社	48984	21872	521*6	・ 区分開閉器4台に1台の割合で設置	-	H17.3末
I社	32665	16469	0	・ 分割連系方式に係わる主要箇所に導入	(開閉器内蔵ではないが外付電流センサーを導入(制御線方式全箇所、搬送方式約4割導入済))	H17.3末
J社	112490		4447	-	・ 長亘長配電線に設置	H17.3末

*1：遠隔で開閉制御が可能なセンサー内蔵開閉器の数。15秒周期で電圧（計測誤差不明）、電流、力率の瞬時値が収集可能。

*2：計測指示実行時に電圧（計測誤差不明）、電流値の収集が可能。

*3：電圧（計測誤差5%）、電流、零相電圧・電流の収集が可能なものが2352台、リクローザが57台。

*4：電圧（計測誤差（PT誤差含まず）±2%）のみ計測可能なものが112077台、更に電流、零相電流が計測可能なものが2023台（H13.3末）。

*5：5～15分周期で電圧（計測誤差±10%）、電流値の収集が可能。

*6：リクローザ521台

【参考文献】

*1：電気工学ハンドブック（第6版），電気学会，P1347

*2：各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 各電力会社ともに、高圧配電線の幹線部分については地域によらず自動開閉器を導入しているものと考えられる。
- ・ センサー内蔵開閉器が一部導入されているが、電圧制御を行うために必要な精度を有したものは少ないものと考えられる。
- ・ 一部の電力会社では電圧制御を行うために必要な精度を有した開閉器の適用（または試験適用）が進められていると想定される。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証試験では集中制御方式の試験においてセンサー内蔵開閉器を使用予定である。現在各電力で導入が指向されており方向性としては妥当であると考えられる。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目									
大項目	小項目	細目							
2. 配電設備	(5)自動化システム	方法、普及率							
活用目的									
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）の試験条件の妥当性評価（特に、配電線事故時の対策システムの問題点を検証する実証試験、シミュレーションでは、事故復旧時の開閉器の操作方法をどのようにするか、実系統の実施状況に合わせ設定で行う必要がある。） ・ 配電自動化システムの普及状況の把握（実証システムの実系統適用時に配電自動化システムを新たに設備構築または改良する必要があるかの判断） 									
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）									
<ul style="list-style-type: none"> ・ 配電自動化システムには大きく時限順送方式と計算機順送方式がある。*1 ・ 時限順送方式は変電所遮断器の再閉路動作と協調を取り自動開閉器を順次投入（変電所の再閉路により開閉器の電源側が充電されると X 時限後に開閉器が投入され、投入後 Y（< X）時限後以内に変電所の CB が開放されなければ、次の開閉器が投入）するしくみとなっている。各社の X 時限、Y 時限は下表のとおり）*2 ・ 計算機順送方式は電算機を用いて高速に開閉器の順次投入（一般的には 3～4 秒単位で投入）を行う方式。*1 									
時限順送方式による各社の自動開閉器の投入時限、検出時限例*2 （単位：秒）									
電力会社 （順不同）	A 社	B 社	C 社	D 社	E 社	F 社	G 社	H 社	I 社
投入時限 （X 時限）	9	7、10	7	6、7	7	10	14	7	7
検出時限 （Y 時限）	6	5	5	4、6	5、6	5	12	6	5.5
（参考） ループ点 投入 時限	120 ～ 300	120 ～ 420	90 ～ 240	90	90 ～ 240	60 ～ 180	90 ～ 102	90 ～ 240	90 ～ 180
<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動化システムの方法、普及率等のヒヤリング調査を実施した。結果は下表のとおりである。*3 									

各電力会社の配電自動化システムの普及状況（ヒヤリング結果）*3

電力会社 (順不同)	方式	自動化率	自動化率 の定義	導入状況	投入時限等
A社	時限順送	86%	遠制開閉器導入支店の割合	一部の箇所では自動融通計算に対応していない。	X時限 10秒
B社	計算機順送	100%	営業所への制御用計算機（自動融通機能有）導入率	全営業所に導入済	最短 3.75秒単位で投入
C社	時限順送	営業所 100% 電気所 95%	各事業所への導入率	他社発電所等を除き自動化導入済	X時限 7秒
D社	時限順送	98%	自動化配電数の割合	効果の高い箇所より順次導入	X時限 7秒
E社	時限順送	83%	自動化配電数の割合	全営業所に導入済	X時限 9秒
F社	時限順送	100%	営業所への自動化システムの導入率	全営業所に導入済	X時限 10秒
G社	時限順送	100%	自動開閉器の取付配電線数の割合	全営業所に導入済	X時限 7秒
H社	時限順送	100%	自動化配電数の割合	全営業所に導入済	X時限 7秒
I社	時限順送	100%	営業所への自動化システムの導入率	全営業所に導入済	X時限 7秒
J社	時限順送	100%	遠制開閉器導入配電線数の割合	全営業所に導入済	X時限 5秒

【参考文献】

*1：配電技術総合マニュアル，オーム社，P463

*2：エネルギー総合工学研究所「新電力供給システム技術検討会」報告書-資料編-，H14.3

*3：各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 各電力会社ともに、全高圧配電線については地域によらずほぼ自動化システムの導入が完了している。
- ・ 方式別では、1電力会社を除き時限順送方式である。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証試験では集中制御方式の試験において、配電線事故時の試験を実施予定であり、本調査結果を参考にする。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目																																				
大項目	小項目	細目																																		
2. 配電設備	(6)設備監視システム	監視項目、機器構成																																		
活用目的																																				
<ul style="list-style-type: none"> 対策システム（集中制御システム）のシステム構成の妥当性検討資料 対策システムの実系統適用における課題抽出のための基礎資料 																																				
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）																																				
<ul style="list-style-type: none"> 各社公表の系統運用ルールでは、送出電圧、電流値を監視している模様。^{*1} <p style="text-align: center;">系統運用ルールに記載の各電力会社の配電設備の監視内容^{*1}</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>電力会社</th> <th>監視項目</th> <th>監視方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>北海道電力</td> <td>配電設備の運転状況、電圧、系統電流などの系統状況</td> <td>系統監視装置、関係箇所との連絡等により常に把握する</td> </tr> <tr> <td>東北電力</td> <td>送出電圧、電流</td> <td>系統監視装置または関係箇所からの連絡</td> </tr> <tr> <td>東京電力</td> <td>配電設備の運転状況、電圧、系統電流などの系統状況</td> <td>配電用遠隔表示装置（配電 SV: スーパービジョンの略）ならびに関係箇所からの連絡</td> </tr> <tr> <td>中部電力</td> <td>（記載なし）</td> <td>（記載なし）</td> </tr> <tr> <td>北陸電力</td> <td>配電設備の運転状況、電圧、系統電流などの系統状況</td> <td>監視制御装置、関係箇所からの連絡など</td> </tr> <tr> <td>関西電力</td> <td>（記載なし）</td> <td>送出電圧は、当該配電線、変電所変圧器の負荷曲線を把握のうえ、適切な制御を行う</td> </tr> <tr> <td>中国電力</td> <td>（記載なし）</td> <td>系統状況の管理、分析に努め、供給信頼度の維持、向上を図る</td> </tr> <tr> <td>四国電力</td> <td>電圧、フィーダー電流等</td> <td>自動制御装置、関係箇所からの連絡等により把握する</td> </tr> <tr> <td>九州電力</td> <td>運転状況、電圧電流等</td> <td>監視制御装置、関係箇所からの連絡など</td> </tr> <tr> <td>沖縄電力</td> <td>遮断器および線路用開閉器の開閉情報、送出電圧・電流、保護装置の動作情報等</td> <td>配電線自動制御システム、関係箇所からの連絡等</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> 自動開閉器にはセンサーを内蔵した開閉器も使用されている。^{*2} 上記以外の詳細な監視内容が記載された文献は見当たらない。 配電線路の監視状況をヒヤリング調査した。結果は下表のとおりである。^{*3} 				電力会社	監視項目	監視方法	北海道電力	配電設備の運転状況、電圧、系統電流などの系統状況	系統監視装置、関係箇所との連絡等により常に把握する	東北電力	送出電圧、電流	系統監視装置または関係箇所からの連絡	東京電力	配電設備の運転状況、電圧、系統電流などの系統状況	配電用遠隔表示装置（配電 SV: スーパービジョンの略）ならびに関係箇所からの連絡	中部電力	（記載なし）	（記載なし）	北陸電力	配電設備の運転状況、電圧、系統電流などの系統状況	監視制御装置、関係箇所からの連絡など	関西電力	（記載なし）	送出電圧は、当該配電線、変電所変圧器の負荷曲線を把握のうえ、適切な制御を行う	中国電力	（記載なし）	系統状況の管理、分析に努め、供給信頼度の維持、向上を図る	四国電力	電圧、フィーダー電流等	自動制御装置、関係箇所からの連絡等により把握する	九州電力	運転状況、電圧電流等	監視制御装置、関係箇所からの連絡など	沖縄電力	遮断器および線路用開閉器の開閉情報、送出電圧・電流、保護装置の動作情報等	配電線自動制御システム、関係箇所からの連絡等
電力会社	監視項目	監視方法																																		
北海道電力	配電設備の運転状況、電圧、系統電流などの系統状況	系統監視装置、関係箇所との連絡等により常に把握する																																		
東北電力	送出電圧、電流	系統監視装置または関係箇所からの連絡																																		
東京電力	配電設備の運転状況、電圧、系統電流などの系統状況	配電用遠隔表示装置（配電 SV: スーパービジョンの略）ならびに関係箇所からの連絡																																		
中部電力	（記載なし）	（記載なし）																																		
北陸電力	配電設備の運転状況、電圧、系統電流などの系統状況	監視制御装置、関係箇所からの連絡など																																		
関西電力	（記載なし）	送出電圧は、当該配電線、変電所変圧器の負荷曲線を把握のうえ、適切な制御を行う																																		
中国電力	（記載なし）	系統状況の管理、分析に努め、供給信頼度の維持、向上を図る																																		
四国電力	電圧、フィーダー電流等	自動制御装置、関係箇所からの連絡等により把握する																																		
九州電力	運転状況、電圧電流等	監視制御装置、関係箇所からの連絡など																																		
沖縄電力	遮断器および線路用開閉器の開閉情報、送出電圧・電流、保護装置の動作情報等	配電線自動制御システム、関係箇所からの連絡等																																		

各電力会社の配電線の監視状況（ヒヤリング結果）*3

電力会社 (順不同)	監視 箇所	監視 機器	監視 項目	通信線	計測相	計測周期	計測誤差		
A社	送出	変電 TC	電流 電圧	光 又は々々	1相 1線間	瞬時値 瞬時値			
	線路 途中	自動開閉 子局	電流 電圧	々々（都市部） 又は配搬	1相 （赤相） 1線間	15分又は 1時間周期 15分又は 1時間周期			
B社	送出	変電 TC	電流 電圧	CDT（HDLC）	赤相 黑白相	200bps 4.62秒（CDT）*10 瞬時値	*1		
	線路 途中	センサ 開閉器 （試験適用）	電流	公衆回線・光	全相	1分間（サプリアク 1秒、蓄積は30 分毎）	±0.5% （40～700A）		
			電圧		±0.5% （2640～7920V）				
			力率		±0.02%				
			零相電圧 零相電流		±0.5%*7				
			位相角 高調波		±1.0% ±0.3%*8				
	送出	SV	電流 電圧	光・々々	2相 2相	1時間間隔 1時間間隔	PT2%以下*2 CT1%以下*2		
線路 途中	センサ 開閉器	電力量	々々	2相 2相	1時間間隔 計測指示 実行時	3%以下*2			
		電流 電圧 力率							
D社	送出	SV	電流 電圧	光・々々 ・配搬	1相 2相	3秒 3秒	1% 1%		
E社	送出	SV （TM）	電流 電圧 零相電圧	々々	B相電流 A-C間電圧	1分 （記録1時間）	±0.5%*3		
	線路 途中	センサ 開閉器 （モニタリ ング センサ付SW）	電流 電圧		配電自動化 伝送路全般	零相 B相電流 A-C間電圧	30分 （記録1時間）	±1.5%*3 ±5% ±2%*4	
			両側電圧 位相差、零 相電流	両側電圧 零相		±2%*4			
			電流 電圧	配電自動化 伝送路全般		A-C間電圧		1時間 （記録1時間）	±2%*4
			両側電圧 位相差			両側電圧			±2%*4
	線路 途中	自動区分 開閉器	電流 電圧	配電自動化 伝送路全般	A-C間電圧	1時間 （記録1時間）	±2%*4		
両側電圧 位相差			両側電圧		±2%*4				
F社	送出	SV	電流 電圧	光・々々	中線1相 1線間	*5 常時	±5% ±5%		
	線路 途中	センサ 開閉器	電流 電圧	々々・配搬	3相 6相	5～15分	±5% ±10%		
G社	送出	SV	電流 電圧	々々	1相 1線間	10秒×監視電気 所数（1～12）の 間隔	±1% ±1%		
	線路 途中	センサ 開閉器*6	電流 電圧		々々	3相 1線間	30秒×監視電気 所数（1～12）の 間隔	±15% 1V*9	
			零相電圧	1相		±10%			
H社	送出	TM （S/STC）	電流 電圧	光・々々	選択した相	3秒 3秒	1% 1%		
I社	送出	SV	電流 電圧	光・々々 ・無線	B相 AC相	1時間平均値 1時間平均値	1%以内 1%以内		
	線路 途中	センサ 開閉器	電流 電圧 力率	々々	A、B、C相 AC相 AC相	15秒周期の瞬時 値			
J社	送出	SV・TM	電流	光・々々	1線または 3線平均	10秒	±1.0%以下		
			電圧		1線間または 3線間平均	10秒	±1.0%以下		
	線路 途中	センサ 開閉器	電流 電圧 力率	光・々々	3線 3線間 3線	30分移動平均値 を30分間隔で 計測	±2.0%以下 ±1.0%以下 ±5.0%以下		
			地絡電流、 電圧		3線				

*1：精度については、TCの入力値に対しては、総合誤差定格値入力力の1%±1LSD。但し、MC（CUB）の計器用変成器誤差があるため仕上がりは不明。

*2：読値誤差不明。

- *3：変電所子局のみ（PT等の誤差は含まず）
- *4：PT誤差は含まず
- *5：人の操作による選択計測 または子側の TC 仕様により値の更新周期は異なる（常時もしくは選択更新）
- *6：上記センサー開閉器の計測項目はリクローザに関するもの。その他、標準配備している開閉器に同様の計測機能はない。
- *7：零相電圧 $\pm 0.5\%$ （190～3000V） 零相電流 $\pm 0.5\%$ （0.3～10A）
- *8：電圧歪み率の計測誤差
- *9：低圧換算値
- *10：配電システムは10分に1回更新

【参考文献】

- *1：各社公表の系統運用ルール
- *2：電気工学ハンドブック（第6版），電気学会，P1347
- *3：各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 送出箇所での監視は回答の得られた全社が電流、電圧の監視を実施している。
- ・ 送出箇所の計測相はほとんどが1相・1線間であり、計測周期は常時から1時間までさまざま
- ・ 線路途中の監視は試験実施を含み各社が電流、電圧の監視をセンサー開閉器を用いて実施している。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証試験ではセンサー内蔵開閉器（送出箇所のセンサー内蔵開閉器含む）の監視情報のみで制御を予定している。送出箇所の SV 情報を含めて制御を行った場合、計測相、計測周期、計測誤差の違いにより誤制御の可能性が高いと考えられることから妥当な判断と考えられる。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目				
大項目	小項目	細目		
2. 配電設備	(7)伝送路	種類、通信方式		
活用目的				
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究における対策システムに用いる通信設備の妥当性についての検討材料とする。 ・ 実証システムの実システムでの適用にあたり、各種課題（通信線の設備構築実態からの適用範囲の制約等）の抽出判断材料とする。 				
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）				
<ul style="list-style-type: none"> ・ 配電自動化システムで一般的に使用されている伝送路の種類は、無線、配電線搬送、メタルケーブル（ペアケーブル、同軸ケーブル）、光ケーブルなどがある。また、伝送路の選定にあたっては、配電自動化システムの機能、情報量から決まる伝送速度、地域特性並びに経済性などを総合勘案のうえ決定する必要がある。^{*1} ・ 電気事業便覧には、電力会社毎の保安通信設備の回線延長等が記載されている。^{*2}但し、本施設数は配電自動化に使用する伝送路以外の施設数も多く含まれているものと考えられる。 				
電気事業便覧記載の各電力会社の保安通信設備の伝送路別の施設数(抜粋) ^{*2} [km]				
電力会社	光ケーブル (延長)	メタルケーブル (延長)	電力線搬送 (こう長)	固定無線回線 (多重通話路) (延長)
北海道電力	8564	3641	3629	333607
東北電力	22643	33782	3251	397432
東京電力	73257	22676	188	841315
中部電力	31580	14486	51	385703
北陸電力	2201	1611	250	152084
関西電力	5729	39462	5987	685444
中国電力	10217	21215	809	303433
四国電力	7325	3293	462	309372
九州電力	10940	10173	1197	295563
沖縄電力	1289	550	11	4324
合計	173745	150889	15835	3708277
<ul style="list-style-type: none"> ・ 配電線路の監視状況をヒヤリング調査した。結果は下表のとおりである。^{*3} 				

各電力会社の配電自動化システムに適用している通信設備（ヒヤリング結果）^{*3}

伝送路種別	電力会社 (順不同)	適用範囲	施設数	選定理由	その他 (将来的な計画)
光 ケーブル	A社	都市部地域 に導入	詳細データなし	将来的な高速伝送に 対応可能。	将来的に主流の伝送 路と位置付けている。
	B社	1営業所のみ	亘長 65km		廃止予定
	C社				
	D社				
	E社	同軸共用伝 送路の幹線	延長 359km	CATV との伝送路共用 を行う場合に適用す る。	具体的な計画なし
	F社	都市部	86km	将来の高度化運用に 向けた実証試験地域 として都市部の過密 地域、地中化が多い 箇所を選定	
	G社	市部	不明		メタルケーブルの劣化張替 に伴い光化
	H社				研究完了
	I社	なし ^{*1}			

伝送路種別	電力会社 (順不同)	適用範囲	施設数	選定理由	その他 (将来的な計画)	
メタル ケーブル	A社	全地域に 導入	亘長 12,827km	架空地線よりも伝送 路としての信頼度が 高い。	都市部地域は将来的 に光ケーブルに移行す る。	
	B社	電気所から 約 3km の電 源側区間	亘長 27,025km ^{*2}	配電線路途中から効 率的に配電信号を注 入するため、電気所 から約 3km の地点ま でメタルケーブルによる通 信線搬送方式を適用 している。		
	C社	TC 親局と各 子局とをペア ケーブル 2 芯で 接続	H16 年度末 亘長 5,646km 延長 19,097km	伝送距離 30km を確保 するため	オーライズされたものは なし	
	D社	全域	亘長 1,390km 延長 7,588km ^{*3}	伝送情報量が少な く、高速伝送も不要 であったため、経済 性および伝送技術が 確立されていること を考慮	特になし	
	E社	同軸	CATV 共用エ リア	延長： 11,254km	CATV との伝送路共用 を行う場合に適用す る。	具体的な計画なし
		ペア	一般エリア	延長 16,781km	ペア方式を基本とし ている。	
	F社		遠方制御器 受信不能が ある配電線	130km	配電線搬送信号の受 信不能箇所	
	G社		郡部	不明		順次光に張替
	H社		都市中心部	123km	供給信頼度向上	
I社		営業所 SV - 電気所 SV 間 電気所 SV - 柱上子局間	不明	低コストで保守が容易 なため	特になし	

伝送路種別	電力会社 (順不同)	適用範囲	施設数	選定理由	その他 (将来的な計画)
配電線 搬送	A社	都市部地域 以外に導入	巨長 4,187km	既設の架空地線を伝 送路として使用でき る。	将来的にメタルケーブルに 移行する
	B社	電気所から 約 3km 以降 の負荷側区 間	巨長 69,704km ^{*2}	通信線工事費低減の ため、電気所から約 3km 以降の負荷側は 配電線搬送方式を適 用している。	
	C社				
	D社				
	E社	郡部	58 変電所	線路が長巨長であ り、新たな伝送路構 築の費用が大きくな る場合に適用する。	具体的な計画なし
	F社	標準	140700km		
	G社				
	H社	都市中心部 以外	都市中心部を除 く全ての高圧線 に適用	低コスト化	
	I社				

伝送路種別	電力会社 (順不同)	適用範囲	施設数	選定理由	その他 (将来的な計画)
無線	A社				
	B社				
	C社				
	D社	離島 2 支店 の市街地	PHS を通信端 末として利 用。 (各支店 65 台前後)	メタルケーブルと PHS の併 用による通信線工事 費用の抑制	特になし
	E社				
	F社				
	G社				
	H社				
	I社				

*1: 電気所 SV - 柱上子局間の通信に一部適用している箇所もあるが僅少。(配電部門所管)

*2: 自動化用のメタルケーブル, 配電線搬送に用いている配電線は管理していないため, いずれも
推定距離。

*3: メタルケーブルの延長は 巨長×ペア数 で算出

*4: 営業所 SV - 電気所 SV 間の通信に一部適用している箇所もある。(他部門所管)

【参考文献】

*1: 電気工学ハンドブック(第6版), 電気学会, P1380

*2: 電気事業便覧 平成16年度版、電気事業連合会統計委員会編、P38

*3: 各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 現状で光ケーブルを使用しているのは 9 社中 5 社。少なくとも将来的には 3 社が使用する見込み。
- ・ コスト、信頼性の優位性からメタル又は配電線搬送が主流。配電線搬送適用箇所が多く、対策システムを実系統に適用する場合、通信コストの負担が懸念される。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）では、遠隔制御を行う対策システムの伝送路として光ケーブルを使用予定。上記調査結果も踏まえ実証試験での通信線の妥当性を検討する。
- ・ また、実系統適用時の通信線に関する各種課題抽出の資料とする。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
2. 配電設備	(8) 電圧調整機器	LRT	
活用目的			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）における LRT の設定（方式、不感帯、動作時 限等の設定）の妥当性評価 ・ 対策機器として LRT を用いる場合の制御手法の基礎資料（例えば、LRT を制御する場合、 タップを直接制御するか基準電圧の設定を制御するかなどの検討） 			
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 変電所送出の自動電圧調整方法には、プログラム調整方式（プロコン方式）と LDC（線路 電圧降下補償器）方式の 2 とおりがある。*¹ ・ LRT のタップは 17 タップのものが多く、上記のプログラムタイマ又は LDC からの指令で タップ制御を行っている模様。なお、LRT のタップ切替器の寿命（約 20 万回以上）を考 慮して、不感帯幅を設けている。（約 1～2%）*² ・ 昭和 43 年の電協研報告書*³に各電力会社の方式の実態が報告されているが、近年の状況 に関する文献は見当たらない。 			
昭和 43 年電協研報告書記載の各電力会社の送出電圧調整状況* ³			
電力会社	方式	補足	
北海道電力	LDC 方式	LDC のみで調整困難な場合は、一部 LDC + プロコン併用方式	
東北電力	LDC 方式	バンク容量が 3000kVA 未満でプロコンで調整可能な場合、プロ コン方式	
東京電力	LDC 方式	LDC のみで調整困難な場合は、一部 LDC + プロコン併用方式	
中部電力	プロコン方式	-	
北陸電力	LDC 方式	LDC のみで調整困難な場合は、一部 LDC + プロコン併用方式	
関西電力	LDC 方式	LDC のみで調整困難な場合は、プロコン方式等	
中国電力	LDC 方式	LDC のみで調整困難な場合は、一部 LDC + プロコン併用方式	
四国電力	LDC 方式	LDC のみで調整困難な場合は、一部 LDC + プロコン併用方式	
九州電力	プロコン方式	-	
沖縄電力	記載なし	-	
<ul style="list-style-type: none"> ・ LRT に関する実態をヒヤリング調査した。結果は下表のとおりである。*⁴ 			

各電力会社の LRT 適用範囲（ヒヤリング結果）*4

電力会社 (順不同)	適用範囲		
	LDC	プロコン	LDC プロコン併用型
A 社	LDC1 台と電圧調整継電器を組み合わせて、一般に標準として採用する。	配電バンク容量 3MVA 未満で LDC を設置しなくとも調整可能な場合やその他 LDC 制御が不適当な場合に適用	
B 社	配電塔より引出された配電線（数回線）	左記以外のほとんどの配電線	なし
C 社	LDC 単独は原則無し	標準	郡部で採用しているが数は少ない
D 社		標準で使用	必要により使用
E 社		全域	
F 社	全適用		
G 社	バンク負荷特性と一般電灯負荷特性の差が小さい場合等に適用。主に郡部へ適用。	バンク負荷特性と一般電灯負荷特性の差が大きい場合等に適用。主に都市部へ適用。	新規整定時の標準として適用。左記で適正電圧の維持が困難な場合にも適用。
H 社		全配変	
I 社	配電用変電所	二次変電所以上	LDC で保証し得ない部分がある場合
J 社		全域	

各電力会社の LRT の設定等（ヒヤリング結果）

電力会社 (順不同)	不感帯 (90 リレー) 【一般値】	動作時限 (90 リレー) 【一般値】	計測項目 (計測相)	タップ数 タップ間隔
A 社	1.1 ~ 1.5%	積算方式の場合、不感帯端より 10% 偏差で 15 秒 時限方式の場合、30 秒	電流 1 相 電圧 1 線間	17 タップ 一次側電圧上限 72000V、 中間 64500V、下限 57000V を 16 分割
B 社	± 1.0 ~ 4.0% 【± 1.0 ~ 2.5%】	0 ~ 200 秒 【60 ~ 120 秒】	電圧 (UV 相間) 電流 (U 相、W 相の合成電流) 力率 (U 相、W 相の合成力率)	19 タップ 1.39% (約 90V)
C 社	1.0%			17 タップ 約 1,000V (66/77kV 側)
D 社	± 1.0 ~ 4.0%	20 ~ 120 秒	電流 (2 相) 電圧 (1 線間)	17 タップ 1560V
E 社	1.0%	40 ~ 200 秒	電圧 3 相	17 タップ
F 社	± 1.0 ~ 4.0%	20 ~ 200%秒	電圧 U-V 相 電流 V 相 (CDT) 全相 (HDLC)	17 タップ (20MVA) 21 タップ (30MVA) 1 次側 (66kV) で 940V
G 社	1.0 ~ 1.5%	5 ~ 20 秒	電流 1 相 電圧 1 線間	17 タップ 1 次側 (66kV) で 940V
H 社	1.5%	5 分	電圧 2 相	23 タップ 30V ステップ
I 社	± 1.0 ~ 4.0% 【1.5%】	0 ~ 200 秒 【60 ~ 120 秒】	A-C 相間電圧	17 又は 21 タップ 1.09 ~ 1.1V
J 社	1.5%	60%秒	電圧	21 タップ 1 タップ 90V

【参考文献】

- *1：電気工学ハンドブック（第6版），電気学会，P1378
- *2：エネルギー総合工学研究所「電力系統制御システム技術検討会」報告書，H16.6，P96
- *3：電気協同研究第24巻第4号「配電線の電圧調整と管理」，S43.12，P12
- *4：各電力会社へのヒヤリング

考察

- ・ 昭和 43 年の調査結果では LDC 方式がプロコン方式に比べ採用されている割合が高い。（LDC 方式 7/9 社、プロコン方式 2/9 社）
- ・ ヒヤリングの結果、標準採用方式として LDC3/10 社、プロコン 6/10 社、併用 1/10 社。
- ・ 不感帯は 1.0～4.0%の設定範囲が多く、一般的な整定は 1.5%程度といえる。
- ・ タップ数は 17 タップ 7/10 社、19 タップ 1/10 社、21 タップ 3/10 社、23 タップ 1/10 社であった。

実証研究の妥当性評価

- ・ ヒヤリング調査結果を分析し、実証研究へ反映する。（必要であれば、LDC 方式での試験追加を提案する。）

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目																									
大項目	小項目	細目	小細目																						
2. 配電設備	(8) 電圧調整機器	SVR	適用実績、方法、設定																						
活用目的																									
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）における SVR の設定（方式、不感帯、動作時間等の設定）の妥当性評価 ・ 対策機器として SVR を用いる場合の制御手法の基礎資料（例えば、SVR を制御する場合、タップを直接制御するか基準電圧の設定を制御するかなどの検討） 																									
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）																									
<ul style="list-style-type: none"> ・ 高圧配電線の電圧調整を行う最も一般的な機器であり、供給電圧対策として、すべての電力会社で使用されている。^{*1} ・ H17 年に発行された電気協同研究に SVR の仕様例が表 1 のとおり記載されている。^{*1} ・ 各社公表の設備形成ルールでは SVR の標準容量が表 2 のとおり記載されている。^{*2} ・ SVR のタップ間隔は 1.25～2.5%（約 80V～160V）、タップ数は 4～9 タップが一般的であり、タップ切換器の寿命を考慮して、不感帯を設けている。（約±1.5～±2.5%）^{*3} 																									
<p>表 1. 平成 17 年電協研報告書記載の SVR 仕様例^{*1}</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>仕様例</th> <th>【IAE 追記】 実証試験適用 SVR の仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>定格容量 (kVA)</td> <td>1000、1500、2000、3000、 4500、5000、6000 など</td> <td>3000</td> </tr> <tr> <td>補償幅</td> <td>82V ステップ 9 タップ 100V ステップ 9 タップ 120V ステップ 9 タップ 150V ステップ 6 タップ 150V ステップ 9 タップ など</td> <td>120V ステップ 9 タップ</td> </tr> <tr> <td>応答時間 (秒) (設定値)</td> <td>45、60、90、120、150、 180 など</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>制御方式</td> <td>・ LDC 機能（一部プロコンもあり） ・ 双方向（逆送タップ固定）型 ・ 分散型電源対応型</td> <td>LDC 機能 (分散型電源対応型)</td> </tr> </tbody> </table>				項目	仕様例	【IAE 追記】 実証試験適用 SVR の仕様	定格容量 (kVA)	1000、1500、2000、3000、 4500、5000、6000 など	3000	補償幅	82V ステップ 9 タップ 100V ステップ 9 タップ 120V ステップ 9 タップ 150V ステップ 6 タップ 150V ステップ 9 タップ など	120V ステップ 9 タップ	応答時間 (秒) (設定値)	45、60、90、120、150、 180 など	45	制御方式	・ LDC 機能（一部プロコンもあり） ・ 双方向（逆送タップ固定）型 ・ 分散型電源対応型	LDC 機能 (分散型電源対応型)							
項目	仕様例	【IAE 追記】 実証試験適用 SVR の仕様																							
定格容量 (kVA)	1000、1500、2000、3000、 4500、5000、6000 など	3000																							
補償幅	82V ステップ 9 タップ 100V ステップ 9 タップ 120V ステップ 9 タップ 150V ステップ 6 タップ 150V ステップ 9 タップ など	120V ステップ 9 タップ																							
応答時間 (秒) (設定値)	45、60、90、120、150、 180 など	45																							
制御方式	・ LDC 機能（一部プロコンもあり） ・ 双方向（逆送タップ固定）型 ・ 分散型電源対応型	LDC 機能 (分散型電源対応型)																							
<p>表 2. 各社公表の設備形成ルール記載の SVR の標準容量^{*2}</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>電力会社</th> <th>標準容量 (kVA)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>北海道電力</td> <td>記載なし</td> </tr> <tr> <td>東北電力</td> <td>記載なし</td> </tr> <tr> <td>東京電力</td> <td>3000 5000</td> </tr> <tr> <td>中部電力</td> <td>記載なし</td> </tr> <tr> <td>北陸電力</td> <td>3000 4000</td> </tr> <tr> <td>関西電力</td> <td>1000 2000 3000</td> </tr> <tr> <td>中国電力</td> <td>3000 4000</td> </tr> <tr> <td>四国電力</td> <td>記載なし</td> </tr> <tr> <td>九州電力</td> <td>記載なし</td> </tr> <tr> <td>沖縄電力</td> <td>記載なし</td> </tr> </tbody> </table>				電力会社	標準容量 (kVA)	北海道電力	記載なし	東北電力	記載なし	東京電力	3000 5000	中部電力	記載なし	北陸電力	3000 4000	関西電力	1000 2000 3000	中国電力	3000 4000	四国電力	記載なし	九州電力	記載なし	沖縄電力	記載なし
電力会社	標準容量 (kVA)																								
北海道電力	記載なし																								
東北電力	記載なし																								
東京電力	3000 5000																								
中部電力	記載なし																								
北陸電力	3000 4000																								
関西電力	1000 2000 3000																								
中国電力	3000 4000																								
四国電力	記載なし																								
九州電力	記載なし																								
沖縄電力	記載なし																								

- SVR に関する実態をヒヤリング調査した。結果は下表のとおりである。*4

各電力会社の SVR 適用範囲と施設数（ヒヤリング結果）*4

電力会社 (順不同)	一般型	双方向型 (逆送タップ固定型)	分散型電源対応型
A 社	双方向型適用箇所以外の 箇所に適用	融通回数が多く、遠隔地の箇所に 適用 約 1,000 台	
B 社	従来仕様	標準仕様 1,507 台	試験適用
C 社	116 台	4,849*1 台	4 台
D 社		電圧降下値が 300V を超過する 配電線 2,894 台	
E 社		1,822 台	
F 社		電圧改善を要する箇所に適用 6,594 台	
G 社		旧標準 2000、3000kVA 1,282 台	現行標準 2000、3000、4000kVA 69 台
H 社	SVR 新規適用箇所全箇所に双方向型を適用（一般型は既 設置機器のみ）	1,961 台	
I 社		配電線の電圧改善のための電 線張替や柱上 Tr タップ変更 に比べ経済的な場合等に適用 1,021 台	
J 社	末端負荷への電圧改善 対策として使用 8 台	電圧改善対策として逆送電可 能な線路上に設置 173 台	

*1：双方向型については、67 リレーを有し、SVR へ逆方向から送電された際に電圧調整できるものを対象とした。

各電力会社の一般型・双方向型 SVR 設定値 (ヒヤリング結果) *4

電力会社 (順不同)	各設定項目 【代表的な設定値】				計測項目	補償電圧 タップ数 タップ間隔
	基準電圧 (負荷中心点)	%R, %X	不感帯	動作時限		
A社			2%	60, 90, 120 秒など	電圧: 1相間 電流: 1相	600V、900V、 1200V など 5、9タップなど 150V
B社	95 ~ 119.5V (5.7kV- 7.17kV)	0 ~ 24% 1%単位	±1 ~ ±4%	0, 40, 80, 120, 160, 200(%秒)	電圧: UV相 電流: V相	6100 ~ 6900V (100V 単位)
C社	95 ~ 119.5V 【110V】	0 ~ 24%	1 ~ 4% 【1%】	45, 60, 90, 120, 150, 180 秒	1次、2次電圧 通過電流(V相)	9タップ (100V 単位)
D社			1 ~ 3% 【1 ~ 1.5%】	0 ~ 180 秒 【60 秒】	電圧: UW相 電流: U-W相	6930-6270V 9タップ 1.25%
E社			±1 ~ ±4%	45 ~ 180 秒	電圧: 1線間 電流: 2相	6600V 9タップ 150V
F社			±1 ~ ±4%	45, 60, 90, 120, 150, 180 秒	電圧 1相	-150 ~ +300V (素 通しタップ2の 場合) 4、150V
G社	95 ~ 119.5V (巻線比 6700/110) 【106V】	0 ~ 24% 【補償電 圧換算 420V】	1 ~ 4% 【1.1%】	45 ~ 180 秒 【90 秒】	2次電圧: UW相 線間 2次電流: UW相 逆接続合成タ ップ値	100V ステップ 9タップ (素通し3タップ)
H社			1 ~ 4% 【1.5 ~ 2%】	45, 60, 90, 120, 150, 180 秒 【60 ~ 120 秒】	電圧: UV相 電流: UW相の 合成電流 力率: UW相の 合成力率	600V 9タップ 120V
I社	6720 ~ 6420V	未使用	1 ~ 1.5%	80 ~ 120%秒	電圧: 1相間 電流: 2相	700V 8タップ 100V
J社			2%	120 秒		600V 9タップ 120V

各電力会社の分散型電源対応型 SVR 設定値 (ヒヤリング結果) *4

電力会社 (順不同)	各設定項目 【代表的な設定値】				計測項目	補償電圧 タップ数 タップ間隔
	基準電圧 (負荷中心点)	%R, %X	不感帯	動作時限		
B社	95 ~ 119.5V (5.7kV- 7.17kV)	0 ~ 24% 1%単位	±1 ~ ±4%	0, 40, 80, 120, 160, 200(%秒)	電圧: UV相 電流: V相	6100 ~ 6900V (100V 単位)
C社	95 ~ 119.5V 【110V】	0 ~ 24%	1 ~ 4% 【1%】	45 ~ 180 秒 (1秒ステップ) 【45 秒】	1次、2次電圧 (V相) 1次、2次電流 1次、2次力 -ダンス	9タップ (100V 単位)
G社	6000 ~ 7000V 【6450V】	0 ~ 99% 【補償電 圧換算 420V】	0 ~ 9.9% 【1.1%】	10 ~ 200 秒 【90 秒】	二次電圧(三相 平均) 二次電流(三相 平均) 電力位相角 タップ値	100V ステップ 9タップ (素通し3タップ)

【参考文献】

- *1：電気協同研究第 60 巻第 2 号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」, H17.3, P131
- *2：各社公表の設備形成ルール
- *3：電気協同研究第 24 巻第 4 号「配電線の電圧調整と管理」, S43.12, P53
- *4：各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 制御方式は、ほぼ LDC 方式が採用されている。
- ・ 定格容量については、各種容量が採用されているが、3000kVA を標準容量としている電力会社が多い模様。
- ・ 以前は一般型 SVR が普及していたが、双方向型 SVR への移行が進められている。分散型電源対応型 SVR は数社が適用しているが施設数はまだ少ない。
- ・ 各社の SVR の設定値はまちまちではあるが、不感帯は $\pm 1.5\%$ 、動作時限は 90 秒程度が一般的である。
- ・ 補償電圧は 1 タップ 100～150V、9 タップの SVR が多く普及している。
- ・ 計測項目は電圧、電流が一般的ではあるが、電圧は 1 線間、電流は 1 相のみの計測が多く、電圧、電流の不均衡回線では計測誤差が生じる可能性がある。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証試験適用予定の SVR について各仕様の妥当性は下記のとおり
 - ・ 定格容量 (3000kVA) については、各電力の採用する SVR の標準的な容量であると考えことから妥当と判断。
 - ・ 補償幅については種々の仕様の中間値である 120V、タップ数は最も標準的と考えられる 9 タップで妥当と判断。
 - ・ 応答時間については 45 秒としているが、応答時間の最も短い過酷値での応答性の問題点抽出を実施するものとし、妥当と判断。(但し、45 秒で問題点が明らかとならなければ設定見直しによる再試験を提案する。)
 - ・ 制御方式については、最も採用されている LDC 方式が妥当。また、分散型電源多連系時には一般型、双方向 (逆送タップ固定) 型では対応困難であることは明らかであることから、分散型電源対応型とすることは妥当と判断。
 - ・ 不感帯については、ハンチング防止のために補償幅の 70%以上程度にすることが妥当であり、今回の実証試験の場合、 $(120 \times 0.7) / 6600 \pm 1.3\%$ 以上とすることが妥当である。(現在は $\pm 1.0\%$ で設定) 従って、見直しを提案する。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目						
大項目	小項目	細目	小細目			
2. 配電設備	(8) 電圧調整機器	SVC (自励式、他励式)	適用実績、方法、設定			
活用目的						
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究 (実証試験、シミュレーション) における SVC の設定 (方式、不感帯、動作時 限等の設定) の妥当性評価 ・ 対策機器として SVC を用いる場合の制御手法の基礎資料 (例えば、SVC を制御する場合、 無効電力を直接制御するか基準電圧の設定を制御するかなどの検討) 						
調査結果 (文献、ヒヤリング調査結果)						
<ul style="list-style-type: none"> ・ 一部の電力会社で実系統適用または実証用に設置されている模様。 ・ H17 年に発行された電気協同研究に各種 SVC (自励式 SVC、他励式 SVC) の仕様例が下表 のとおり記載されている。^{*1} ・ 不感帯については記載された文献は見当たらない。 						
平成 17 年電協研報告書記載の SVC 仕様例 ^{*1}						
	【IAE 追記】 実証試験適用 SVC					
方式	自励式	他励式 (TCR 型)	自励式			
定格補償容量	進相 300kVar ~ 遅相 300kVar など	進相 300 kVar ~ 遅相 300 kVar など	進相 300 kVar ~ 遅相 300 kVar			
応答時間	40msec (80%補償時間) (電圧一定制御) など	100msec 以内 など	100msec (90%補償時間) (電圧一定制御)			
<ul style="list-style-type: none"> ・ SVC に関する実態をヒヤリング調査した。結果は下表のとおりである。^{*2} 						
各電力会社の自励式 SVC の設置状況、整定内容等 (ヒヤリング結果) ^{*2}						
電力会社 (順不同)	適用範囲	設置数	設定項目	設定範囲 または 代表的な値	計測項目 (計測相)	停電時制御
A 社	フリッカ 対策	数台	基準電圧 不感帯	6600V なし		
B 社	瞬時電圧 変動の大き い系統に 適用	1 台			電圧 2 線間 電流 2 相×2 (電源側 2 相 + 負荷側 2 相)	復電後 120 秒間 系統監視後に再 起動
C 社	個別適用	20 台	基準電圧 不感帯	6300 ~ 6900 ±1%	電圧 : 3 相間 電流 : 2 相	
D ~ J 社	なし					

各電力会社の他励式 SVC (TCR) の設置状況、整定内容等 (ヒヤリング結果)

電力会社 (順不同)	適用範囲	設置数	設定項目	設定範囲 または 代表的な値	計測項目 (計測相)	停電時制御
A 社	フリッカ 対策	数台				
B 社	無し					
C 社	個別適用	1 台	基準電圧 不感帯	6300 ~ 6900 ± 1%	電圧 : 3 相間 電流 : 2 相	
D 社	瞬時電圧 変動やフ ェランチ 現象の対 応で真に やむを得 ない場合 進相 300kVar ~ 遅相 300kVar	77 台	不感帯	なし (一定電圧)	電圧 (3 線間) 電流 (3 線) 無効電力 (3 線) * その他 必要により SVR 協調制 御機能付	電圧復帰後、1 秒後 に運転開始
E ~ J 社	無し					

【参考文献】

* 1 : 電気協同研究第 60 巻第 2 号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」, H17.3, P135

* 2 : 各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 実系統に適用されている SVC (自励式、他励式) の定格補償容量は進相 300kVar ~ 遅相 300kVar が一般的と言える。
- ・ 導入量は少ないものの、自励式、他励式 (TCR) が導入されている。
- ・ 制御方式としては、不感帯を設け一定の電圧幅を逸脱した時に無効電力を出力させる方式と、不感帯を設けず一定電圧を維持するように無効電力を出力させる方式の 2 つの方式がある。
- ・ 計測項目は電圧、電流が一般的であり、電圧は 2 ~ 3 線間、電流は 2 ~ 3 相の計測を行っている。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証試験適用 SVC は一般的に実系統に設置されている SVC と同等の定格補償容量、応答時間を有するものであると考えられる。
- ・ 実証試験において、自励式、他励式 (TCR) の適用は妥当と考えられる。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目																																																																																																																										
大項目	小項目	細目	小細目																																																																																																																							
2. 配電設備	(8) 電圧調整機器	SC/SR	適用実績、方法、設定																																																																																																																							
活用目的																																																																																																																										
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）における SC/SR 適用の妥当性評価 ・ 対策機器として SC/SR を用いる場合の制御手法の基礎資料 																																																																																																																										
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）																																																																																																																										
<ul style="list-style-type: none"> ・ SC の全国の配電線設置合計容量は 2000 年度末で約 860MVar である。*1 ・ SC の制御方式としては手動や固定によるもの他に電圧、無効電力、電流、時間等により自動で制御するものがある。*1 ・ SR の回路電圧 3.3～6.6kV の全国の設備合計容量は 2000 年度末で約 105MVar である。但し、これらは変電所構内設置分も含まれていると考えられ、配電線（中間及び末端）に設置されている SR の設備合計容量は明らかになっていない。*2 		<p>各電力会社の回路電圧 3.3～6.6 kV に設置した分路リアクトルの設備容量*1（変電所設置分含む）</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>電力会社</th> <th>設備容量 [Mvar]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>北海道電力</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>東北電力</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>東京電力</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>中部電力</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>北陸電力</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>関西電力</td><td>80.0</td></tr> <tr><td>中国電力</td><td>12.0</td></tr> <tr><td>四国電力</td><td>5.8</td></tr> <tr><td>九州電力</td><td>2.7</td></tr> <tr><td>沖縄電力</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>合計</td><td>104.5</td></tr> </tbody> </table>		電力会社	設備容量 [Mvar]	北海道電力	0.0	東北電力	4.0	東京電力	0.0	中部電力	0.0	北陸電力	0.0	関西電力	80.0	中国電力	12.0	四国電力	5.8	九州電力	2.7	沖縄電力	0.0	合計	104.5																																																																																															
電力会社	設備容量 [Mvar]																																																																																																																									
北海道電力	0.0																																																																																																																									
東北電力	4.0																																																																																																																									
東京電力	0.0																																																																																																																									
中部電力	0.0																																																																																																																									
北陸電力	0.0																																																																																																																									
関西電力	80.0																																																																																																																									
中国電力	12.0																																																																																																																									
四国電力	5.8																																																																																																																									
九州電力	2.7																																																																																																																									
沖縄電力	0.0																																																																																																																									
合計	104.5																																																																																																																									
<p>各電力会社の配電線（中間及び末端）に設置した電力用コンデンサの設備容量*1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">電力会社</th> <th colspan="7">設備容量 [Mvar]</th> <th rowspan="3">合計</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">固定</th> <th rowspan="2">手動開閉</th> <th colspan="4">自動開閉</th> <th rowspan="2">その他</th> </tr> <tr> <th>電圧</th> <th>無効電力</th> <th>電流</th> <th>時間</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>北海道電力</td><td></td><td>1.0</td><td></td><td></td><td>1.5</td><td></td><td></td><td>2.5</td></tr> <tr><td>東北電力</td><td>2.9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2.9</td></tr> <tr><td>東京電力</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0</td></tr> <tr><td>中部電力</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0</td></tr> <tr><td>北陸電力</td><td></td><td>6.0</td><td></td><td>6.0</td><td></td><td>1.0</td><td></td><td>13.0</td></tr> <tr><td>関西電力</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0</td></tr> <tr><td>中国電力</td><td>35.5</td><td></td><td>475.2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>510.7</td></tr> <tr><td>四国電力</td><td>0.1</td><td>0.3</td><td>0.6</td><td></td><td></td><td>0.2</td><td></td><td>1.2</td></tr> <tr><td>九州電力</td><td>0.5</td><td>56.2</td><td>20.5</td><td></td><td>121.1</td><td>118.6</td><td>14.9</td><td>331.8</td></tr> <tr><td>沖縄電力</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0</td></tr> <tr><td>合計</td><td>39.0</td><td>63.5</td><td>496.3</td><td>6.0</td><td>122.6</td><td>119.8</td><td>14.9</td><td>862.1</td></tr> </tbody> </table>				電力会社	設備容量 [Mvar]							合計	固定	手動開閉	自動開閉				その他	電圧	無効電力	電流	時間	北海道電力		1.0			1.5			2.5	東北電力	2.9							2.9	東京電力								0.0	中部電力								0.0	北陸電力		6.0		6.0		1.0		13.0	関西電力								0.0	中国電力	35.5		475.2					510.7	四国電力	0.1	0.3	0.6			0.2		1.2	九州電力	0.5	56.2	20.5		121.1	118.6	14.9	331.8	沖縄電力								0.0	合計	39.0	63.5	496.3	6.0	122.6	119.8	14.9	862.1
電力会社	設備容量 [Mvar]							合計																																																																																																																		
	固定	手動開閉	自動開閉				その他																																																																																																																			
			電圧	無効電力	電流	時間																																																																																																																				
北海道電力		1.0			1.5			2.5																																																																																																																		
東北電力	2.9							2.9																																																																																																																		
東京電力								0.0																																																																																																																		
中部電力								0.0																																																																																																																		
北陸電力		6.0		6.0		1.0		13.0																																																																																																																		
関西電力								0.0																																																																																																																		
中国電力	35.5		475.2					510.7																																																																																																																		
四国電力	0.1	0.3	0.6			0.2		1.2																																																																																																																		
九州電力	0.5	56.2	20.5		121.1	118.6	14.9	331.8																																																																																																																		
沖縄電力								0.0																																																																																																																		
合計	39.0	63.5	496.3	6.0	122.6	119.8	14.9	862.1																																																																																																																		

- ・ SC、SR に関する実態をヒヤリング調査した。結果は下表のとおりである。*3

各電力会社の SC/SR 適用状況（ヒヤリング結果）*3

電力会社 (順不同)	配電系統への導入容量		今後の適用	
	SC	SR	SC	SR
A 社	0.7 Mvar		予定なし	予定なし
B 社	一部導入	一部導入	系統連系に伴い、SC を取付する場合は、原則お客さま費用負担で設置	系統連系に伴い、SR を取付する場合は、原則お客さま費用負担で設置
C 社	なし	1.2Mvar (試験導入)	なし	不明
D 社	330,181kVA	73,420kVA	6kV 配電線の電圧改善及びロス低減対策として、他の対策に比べ有利な場合に適用。	なし（一部フェランチ対策用に試用として適用）
E 社	507 Mvar	4.7 Mvar	あり	あり
F 社～ J 社	なし			

【参考文献】

- *1：電気学会技術報告第 986 号「わが国における電力用並列コンデンサの設置状況、稼働状況および無効電力配分状況に関する調査結果」、2004.9、P24
- *2：電気学会技術報告第 986 号「わが国における電力用並列コンデンサの設置状況、稼働状況および無効電力配分状況に関する調査結果」、2004.9、P30
- *3：各電力会社へのヒヤリング

考察

- ・ SC を実系統に一定規模適用している電力会社は 10 電力会社中 2 社であり、SC 適用に関し、各電力会社の考え方の違いがあるものと考えられる。
- ・ SR については、試験導入はあるものの、本格導入はされていない。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証試験では、H17 年度に SC/SR を対策機器として適用予定。SC/SR の適用は、対策システムの低コスト化のためには有効であり、上記ヒヤリング結果を踏まえ実証研究での適用を今後検討。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
2. 配電設備	(8)電圧調整機器	その他	
活用目的			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究の新たな対策機器としての適用の検討。 			
調査結果（文献調査結果）			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在、研究開発が実施されている機器で、実証研究（実証試験、シミュレーション）で新たに適用が考えられる対策機器は以下のとおり <p>【LRT 遠隔制御】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 東京電力において研究開発が実施^{*1} <p>【TVR】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 北海道電力において研究開発が実施^{*2} <p>【磁束制御型可変リアクトル】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 東北電力において研究開発が実施^{*3} <p>【電圧維持管理装置（柱上変圧器自動タップ調整装置）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 東京電力において研究開発が実施^{*4} 			
<p>-----</p> <p>【参考文献】</p> <p>*1：吉永他「配電系統における集中型電圧制御方式の開発」, H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 30</p> <p>*2：佐々木他「高速応答を可能にした TVR とその実証試験」, 電気学会論文誌 B123-9, PP1105～1111</p> <p>*3：大日向他「磁束制御による 6.6kV300kVA 級無効電力調整装置の開発」, H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 396</p> <p>*4：滝他「分散型電源集中連系に対応した電圧調整変圧器・単独運転防止装置の開発」, H17 電気学会全国大会 6-009</p>			
考察			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 遠隔制御を実施する場合、配電線途中で制御を行う SVR、SVC などと同様に、送出での調整となる LRT の遠隔制御は重要であると考えられる。 ・ TVR は SVR に高速性能を有した機器であり、また、磁束制御型可変リアクトルは低コスト化し SVC と同種の機能を有した機器と考えられる。 ・ 電圧維持管理装置（柱上変圧器自動タップ調整装置）は太陽光発電の集中連系箇所での適用が経済的に効果的であると考えられる。 ・ これらの機器の開発状況、実証研究への適用検討については別途、技術動向調査結果にて整理している。 			
実証研究の妥当性評価			
<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒヤリング調査結果を踏まえ、実証研究（実証試験、シミュレーション）での適用を検討する。 			

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
3. 負荷	(1)供給地域別の負荷特性	分類	
活用目的			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証試験、シミュレーションにおいて供給地域区分により分類し、検証を実施することの妥当性評価 ・ 分散型電源の導入限界等の検証を行うための指標（パラメータ）として、下記の指標の妥当性を評価 <p>（供給地域による分類は、以下の指標を分類しているものと想定される）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 負荷の経時特性 ・ 負荷の有効電力、無効電力の割合 ・ 負荷率 ・ 普及が予想される分散型電源の種類 ・ 配電線の巨長等の線路諸元 <ul style="list-style-type: none"> ・ 電協研モデル^{*1、*2}の妥当性評価 			
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 電協研での高調波の解析では、供給地域で分類した配電線モデルにて検証を実施している。^{*1、*2} ・ また、電協研での配電系統の電力品質の現状調査でも、サンプルデータ収集を供給地域毎に実施している。^{*3} ・ 電気学会等の各種学会による論文においても、配電系統の常時電圧に関する研究では、供給地域により分類し研究を実施した論文が多い。^{*4、*5} ・ 文献6では、分散型電源の系統連系に関して、系統電圧分布に影響する要因を以下としている。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 系統条件（巨長、線路インピーダンス（線路の種類）、電圧調整機器の種類・設定） ・ 負荷条件（最大・最小負荷、力率（有効・無効電力の割合）、負荷分布） ・ 分散型電源条件（種類（出力、力率）） ・ 供給地域の分類の考え方については各種文献に記載なし。 ・ 各社の配電系統の地域毎の分類に関する実態をヒヤリング調査した。結果は下表のとおりである。^{*7} 			

配電系統の地域分類に関する実態調査結果（ヒヤリング結果）*7

電力会社 (順不同)	供給地域や大容量回線 /一般回線による分類 以外の分類方法の有無	地域の分類内容	
		種類	分類の基準
A社	あり	市部・郡部	市部：都市規模に応じて5ランク 郡部：需要密度により2ランク
B社	管理するエリア（管理区という）をランク付けし、差別化した投資の目安としている	信頼性地域区分（～）	ランク分けは、5ランクに分類し、停電影響度やお客さま迷惑度の高い管理区から順次、管理区数の均等化を行い、対策の効率化を目的とした隣接管理区の同化、大口お客さま等の個別考慮によるランク補正をする。
C社	エリア毎の分類を行っている（配電線を供給地域毎には分類していない）	A、B、C、D号地の管理	- (都市部 A D郡部)
D社	大都市地域（ランクA）	地域分類の考え方 都市の高度化が進み、各種機能が集中しており、停電の社会生活に与える影響が特に大きい地域	対象地域 県庁所在地およびこれに準ずる都市の中心部で法定容積率400%以上の地域およびこれに隣接する地域
	都市地域（ランクB）	大都市地域ほど集積度は高くないが、設備事故時に地域社会生活および生産活動等に与える影響が少なくない地域	大都市地域周辺の人口集中地域、地方都市（町制を含む）の中心市街地および工業団地
	その他地域（ランクC）	個別に見た場合には高信頼度の確保を要するお客さまもあるが、地域としてそれほどまとまっていない上記以外の地域	上記以外の地域
E社	あり	都市部・郡部	都市部：一般市制地域をいう。但し、人口僅少な地域は除く。 郡部：都市以外の地域をいう。
F社	あり	A地区、B地区、C地区	A地区：需要密度が概ね10MW/km ² 以上の地域 B地区：需要密度が概ね1MW/km ² 以上、かつ10MW/km ² 未満の地域 C地区：上記以外の地域
G社～I社		なし	

【参考文献】

- *1：電気協同研究第 37 巻第 3 号「配電系統の高調波障害防止対策」, S56.10, P97
- *2：電気協同研究第 46 巻第 2 号「電力系統における高調波とその対策」, H2.6, P136
- *3：電気協同研究第 60 巻第 2 号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」, H17.3, P36
- *4：例えば、松田、上村、「分散型電源連系時の配電系統電圧管理手法の検討」, H15 年電気学会全国大会, 6-043
- *5：例えば、近藤、横山、馬場、「太陽光発電が多数導入された配電系統の FACTS 機器を用いた電圧制御」, H16 年電気学会電力・エネルギー部門大会, 50
- *6：窪田、元治、「分散型電源連系可能容量の電力密度モデルによる解析的検討」, 電気学会論文誌 B125-5, P475
- *7：各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 配電線を分類する指標としては、供給地域による分類が考えられるが、明確に供給地域を配電線毎に分類し、管理している電力会社は少ない。
- ・ ヒヤリングの結果、都市部、郡部の分類をしている会社が複数存在する。
- ・ 文献 6 による影響要因で考察した場合、供給地域による分類は、需要家の負荷で決定する負荷条件を端的に分類した指標であると言える。
- ・ なお、系統条件の中で巨長、線路インピーダンスについては、上記設備形成の考え方(大容量回線/一般回線)にかなり相関が高いと考えられる。

実証研究の妥当性評価

- ・ 実証試験では、供給地域により分類したモデル系統にて検討を実施する予定であり、妥当であると考えられる。大容量回線/一般回線による分類は実施していないが、実証試験設備構築費用上、大容量回線/一般回線に分けて実証試験を実施することは困難であると考えられる。
- ・ ヒヤリング結果を踏まえ、シミュレーションでは供給地域、大容量回線/一般回線による分類の検討を行う。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目											
大項目	小項目	細目									
3. 負荷	(2)回線間負荷アンバランス	高圧									
活用目的											
<ul style="list-style-type: none"> ・ バンク単位での検証を行う場合に使用する。 ・ 例えば、フィーダー間で負荷や分散型電源の連系にアンバランスが生じた場合の、送電電圧の調整による対策の限界検証、LBC を用いたループ系統で対策を行った場合の対策効果の検証などの前提条件設定に使用する。 											
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）											
<ul style="list-style-type: none"> ・ 各種文献には、回線間負荷アンバランスに関する定量的な記載は見当たらない。 ・ 回線間アンバランスの実態をヒヤリング調査した。結果は下表のとおりである。*1 											
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>回線間アンバランスのケースとアンバランスの度合い*1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>・ 昼にピークが来る昼負荷型と夕方～夜にピークがくる夜負荷型が混在している。</td> </tr> <tr> <td>・ 同一バンクでやむを得ず工場地域に供給する配電線と住宅地域に供給する配電線が混在するケースなど回線間の負荷アンバランスが大きくなる。（定量的な実態は不明）</td> </tr> <tr> <td>・ 亘長が長い配電線ほど、末端にいけばアンバランスは大きくなるケースがある。</td> </tr> <tr> <td>・ 現状では各回線とも供給電圧が適正電圧範囲内に収まるよう構築できているため、回線間アンバランスのデータは特に収集していない。</td> </tr> <tr> <td>・ 大容量回線と小容量回線が隣接するエリアなどは、回線間負荷のアンバランスが大きくなることが想定される。</td> </tr> <tr> <td>・ 変電所バンク内の回線毎の負荷アンバランスは次のようなものがある。 同一バンクで工業地域と住宅地域を同時に供給しているケース（需要曲線の違い） バンク内の線路に変電所母線まで突上げる逆潮流あり発電設備が連系しているケース 同一バンクで長亘長線路と短亘長線路を同時に供給しているケース（長亘長線路では、電圧低下限界もしくは SVR・FR の通過電流制限から、常時の運用容量を低く設定していることがある）</td> </tr> <tr> <td>・ アンバランスの度合いは、把握していないが、特に のケースでは、潮流方向自体が異なり、大きなアンバランスと言える。</td> </tr> </tbody> </table>				回線間アンバランスのケースとアンバランスの度合い*1	・ 昼にピークが来る昼負荷型と夕方～夜にピークがくる夜負荷型が混在している。	・ 同一バンクでやむを得ず工場地域に供給する配電線と住宅地域に供給する配電線が混在するケースなど回線間の負荷アンバランスが大きくなる。（定量的な実態は不明）	・ 亘長が長い配電線ほど、末端にいけばアンバランスは大きくなるケースがある。	・ 現状では各回線とも供給電圧が適正電圧範囲内に収まるよう構築できているため、回線間アンバランスのデータは特に収集していない。	・ 大容量回線と小容量回線が隣接するエリアなどは、回線間負荷のアンバランスが大きくなることが想定される。	・ 変電所バンク内の回線毎の負荷アンバランスは次のようなものがある。 同一バンクで工業地域と住宅地域を同時に供給しているケース（需要曲線の違い） バンク内の線路に変電所母線まで突上げる逆潮流あり発電設備が連系しているケース 同一バンクで長亘長線路と短亘長線路を同時に供給しているケース（長亘長線路では、電圧低下限界もしくは SVR・FR の通過電流制限から、常時の運用容量を低く設定していることがある）	・ アンバランスの度合いは、把握していないが、特に のケースでは、潮流方向自体が異なり、大きなアンバランスと言える。
回線間アンバランスのケースとアンバランスの度合い*1											
・ 昼にピークが来る昼負荷型と夕方～夜にピークがくる夜負荷型が混在している。											
・ 同一バンクでやむを得ず工場地域に供給する配電線と住宅地域に供給する配電線が混在するケースなど回線間の負荷アンバランスが大きくなる。（定量的な実態は不明）											
・ 亘長が長い配電線ほど、末端にいけばアンバランスは大きくなるケースがある。											
・ 現状では各回線とも供給電圧が適正電圧範囲内に収まるよう構築できているため、回線間アンバランスのデータは特に収集していない。											
・ 大容量回線と小容量回線が隣接するエリアなどは、回線間負荷のアンバランスが大きくなることが想定される。											
・ 変電所バンク内の回線毎の負荷アンバランスは次のようなものがある。 同一バンクで工業地域と住宅地域を同時に供給しているケース（需要曲線の違い） バンク内の線路に変電所母線まで突上げる逆潮流あり発電設備が連系しているケース 同一バンクで長亘長線路と短亘長線路を同時に供給しているケース（長亘長線路では、電圧低下限界もしくは SVR・FR の通過電流制限から、常時の運用容量を低く設定していることがある）											
・ アンバランスの度合いは、把握していないが、特に のケースでは、潮流方向自体が異なり、大きなアンバランスと言える。											
<p>【参考文献】</p> <p>*1：各電力会社へのヒヤリング</p>											
考察											
<ul style="list-style-type: none"> ・ やむを得ぬ事情により、工場地域へ供給する配電線と住宅地域や郊外地域に供給する配電線が同一バンクから供給された場合など、回線間負荷アンバランスが大きくなるものと想定される。 											
実証研究の妥当性評価											
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証研究（実証試験、シミュレーション）において、LBC を用いたループ系統で対策を行った場合の対策効果の検証などで、回線間負荷アンバランスの設定が必要になった場合、本調査結果を基に設定を行う。 											

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目									
大項目		小項目			細目				
4. 管理基準		(1) 電圧							
活用目的									
<ul style="list-style-type: none"> 各社の配電系統の電圧管理基準を調査し、本実証研究（実証試験、シミュレーション）で検証する配電系統の電圧管理基準の妥当性判断材料とする。 									
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）									
<ul style="list-style-type: none"> 1991 年に出版された配電技術総合マニュアル^{*1} において記載されている国内電力会社（9 社）の電圧管理基準は下表のとおり 									
[V]									
電力会社	高圧線電圧降下			低圧線電圧降下		引込線電圧降下		【IAE 追記】 低圧線・引込線トータル電圧降下	
	電圧降下限度		最大電圧降下	電圧降下限度		電圧降下限度		電圧降下限度	
	都市部	郡部		電灯	電力	電灯	電力	電灯	電力
A 社	300	600	(注1) 1800	4	(注3) 20	2	(注5) -	6	20
B 社	600		(注1) 1800	6	-	2	4	8	4
C 社	300	600		3	(注3) 20	3	(注5) -	6	20
D 社	300	600	(注1) 1800	(注4) 3	15	(注6) 3	5	6	20
E 社	300	600	(注1) 1800	4	16	(注7) 2	(注8) 4	(注10) 6	(注11) 20
F 社	300		(注2) 600	6	(注3) 6	(注5) -		6	6
G 社	600		(注2) 1200	5	10	2	-	7	10
H 社	600		(注1) 1800	6	20	(注9) 2	-	(注12) 8	20
I 社	200	600	(注1) 1800	6	20	3	4	9	24

(注1): SVR3 台設置の場合
 (注2): SVR2 台設置の場合
 (注3): 引込線含む
 (注4): 都市部の基準、郡部は 4V
 (注5): 低圧線に含む
 (注6): 市部の基準、郡部は 2V
 (注7): 一般変圧器の基準、専用変圧器の場合 6V
 (注8): 一般変圧器の基準、専用変圧器の場合 20V
 (注9): 変圧器直下の基準、変圧器直下以外の場合 6V
 (注10): 一般変圧器の基準、専用変圧器の場合 10V
 (注11): 一般変圧器の基準、専用変圧器の場合 36V
 (注12): 変圧器直下の基準、変圧器直下以外の場合 12V

- H17 年に出版された電気協同研究では管理基準の一例が下表のとおり記載されている。

^{*2}

6.6kV 高圧配電線、低圧配電線の電圧降下限度値(例) ^{*2}

6.6kV 高圧配電線		低圧線		引込線	
都市部	郡部	単相 100V	三相 200V	単相 100V	三相 200V
300	600	3	(注1) 20	3	(注2) -

(注1): 引込線含む
 (注2): 低圧線に含む

- ・ 電圧管理基準に関する実態をヒヤリング調査した。結果は下表のとおりである。*3

[V]

電力会社 (順不同)	高圧線電圧降下		低圧線電圧降下		引込線電圧降下		低圧線・引込線トータル電圧降下		
	電圧降下限度		最大 電圧降下	電圧降下限度		電圧降下限度		電圧降下限度	
	都市部	郡部		電灯	電力	電灯	電力	電灯	電力
A社	200	600	1800	6	20	3	4	7	24
B社	300	600	*1 1800	*2 8	*2 20	*3 -	*3 -	8	20
C社	*4 150	600	*1 1800	5	20	2	4	7	24
D社	300	*5 600	*6 -	4	-	2	-	*7 7	*8 20
E社*10	300	600	1000	3	*9 A	3	*9 B	6	20
F社	300	600	6000V 未 満にならない事	4	16	2	4	6	20
G社	*11 300	*11 600	*1 1800	6	-	2	4	8	-
H社	300	600	*12 -	*13 ㊿(4)	15	*13 ㊿(2)	5	6	20
I社	600		-	5	-	-	-	6	20
J社*15	300	300	*14 1200	*16 6	*16 6	3	10	*16 9	*16 16
				*16 8	*16 8	4	12	*16 12	*16 20

*1：SVR3台設置の場合

*2：引込線含む

*3：低圧線に含め記載

*4：大都市部の場合

*5：運用上の管理目標値は500Vとして扱っている。

*6：郡部配電線ではSVR直列3段を限度としている。

*7：柱上変圧器(2V) + 低圧線(4V) + 引込線(2V)に不等率を加味し、総合電圧降下値を7Vとしている。

*8：柱上変圧器・低圧線・引込線を含めた総合電圧降下値を20Vとしている。

*9：A+B=20

*10：標準設計における電圧降下限度の例

*11：都市部・郡部という分類ではなくAランク、Bランクという分類を行っている。

Aランク(軽負荷時の送出電圧6.7kV±100V) Bランク(軽負荷時の送出電圧6.4kV±100V)で管理している。

*12：電圧降下が柱上変圧器タップ電圧から300Vまで

*13：()内は郡部の値

*14：SVR3台(最大)設置の場合(各SVR300V+フィーダ部300V)

*15：低圧線、引込線の電圧降下限度は、高圧線の電圧降下が150V超過の場合は上段、高圧線の電圧降下が150V未満の場合は下段の値としている。

*16：柱上変圧器内部の電圧降下を含む

- ・ 柱上変圧器の使用タップに関する実態をヒヤリング調査した。結果は下表のとおりである。^{*3}

電力会社 (順不同)	地域	使用タップ					
		6750	6600	6450	6300	6150	6000
A社	郡部	6800V以上	6800～6600V	6600～6400V	6400V未満	-	-
	都市部	6750V以上	-	-	-	-	-
B社	全域	6900～6750V	6750～6600V	6600～6450V	6450～6300V	6300～6150V	-
C社	全域	6900～6750V	6750～6600V	6600～6450V	6450～6300V	-	-
D社	全域	6900～6740V	6740～6590V	6590～6440V	6440V以下	-	-
E社	全域	6870～6570V	6720～6420V	6570～6270V	6420～6120V	-	-
F社	全域	6878～6493V	6725～6349V	6572～6204V	6420～6060V	-	-
G社	全域	全ての柱上変圧器の変圧比が、6600/210・105Vである。					
H社	郡部	0<150V	150～300V	300～450V	450～600V	600～750V	750～900V
	都市部	-	0～300V	-	300～600V	-	-
I社	郡部	0～200V	160～350V	310～500V	-	-	-
	都市部	0～200V	160～350V	-	-	-	-
J社	全域	100V未満	100～300V	300～500V	500V以上	-	-

*1：斜体で記載している数値は重負荷時の電圧降下値で管理。それ以外は重負荷時の高圧線電圧値で管理

【参考文献】

*1：配電技術総合マニュアル，オーム社，P397

*2：電気協同研究第60巻第2号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」，H17.3，P128

*3：各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 各電力の設備構成の考え方の違い（例えば、変電所を少なくし配線線長を長くする。または、変電所を多くし配線線長を短くするなどの違い等）により、高圧線、低圧線、引込線の電圧降下限度は各社相違している。
- ・ 高圧線の電圧降下限度は都市部 300V（7/10社）、郡部 600V（9/10社）が一般的といえる。
- ・ 低圧線・引込線の電圧降下は低圧線・引込線トータルで 6V（4/10社）が一般的といえる。
- ・ 高圧線の最大電圧降下は SVR の最大 3 段設置を想定し、1800V（600V×3台）としている電力会社が多い。（4/10社）
- ・ 柱上変圧器の使用タップは、重負荷時の電圧降下値で管理する電力会社と重負荷時の高圧電圧値で管理する電力会社がある。重負荷時の高圧電圧値で管理する場合、タップ 6750 では 6900～6750V、タップ 6600 では 6750～6600V、タップ 6450 では 6600～6450V、タップ 6300 では 6450～6300V 程度で使用タップを決定していると言える。

実証研究の妥当性評価

- ・ ヒヤリング調査結果を踏まえ、実証研究（実証試験、シミュレーション）の状況に応じた各種基準の適用を検討する。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目																											
大項目	小項目	細目																									
4. 管理基準	(2)その他	高調波、短絡容量																									
活用目的																											
<ul style="list-style-type: none"> 対策機器の適用により増加が懸念される高調波に関して、電力会社の管理基準を調査し、対策機器の適用の妥当性の判断材料とする。 分散型電源の普及や対策にループ系統を適用した場合に増加が懸念される短絡容量に関して、電力会社の管理基準を調査し、対策システム検討の判断材料とする。 																											
調査結果（文献調査結果）																											
<p>（高調波について）</p> <ul style="list-style-type: none"> 高調波の管理値については一般的に、電力利用基盤強化懇談会報告、電協研第 46 巻第 2 号の提言をもとに、6.6kV 配電系統において 5%（総合電圧ひずみ率）としていることが多い。^{*1} <p style="text-align: center;">電協研記載の配電系統に対して設けられる電力品質規定(国内)抜粋^{*1}</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>電力品質事象</th> <th>法令</th> <th>公的基準</th> <th>電力会社管理値（目標値）</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>供給電圧</td> <td>供給電圧 101 ± 6V, 202 ± 20V（電気事業法） 高圧配電系統 7000V 以下（電技）</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td>標準電圧 100V 101 ± 6V 標準電圧 200V 202 ± 20V</td> </tr> <tr> <td>電圧ディップ （瞬時電圧低下）</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td>常時電圧の 10%以内 （系統連系技術要件ガイドライン）</td> <td>常時電圧の 10%以内 （ただし、100V 回路の場合は 90V を下限値とすることがある）</td> </tr> <tr> <td>電圧フリッカ</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td>V_{10} 0.45V （電気協同研究第 20 巻第 8 号） （分散型電源系統連系技術指針）</td> <td>V_{10} 0.45V （ただし、需要家 1 軒につき V_{10} 0.32V（同一系統に 2 軒） V_{10} 0.23V（同一系統に 4 軒） を上限とすることがある）</td> </tr> <tr> <td>電圧不平衡</td> <td>参考：交流式電気鉄道の変電所受電点において 3%以下（電技解釈）「交流式電気鉄道の単相負荷による電圧不平衡率の限度値」</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td>3%以下</td> </tr> <tr> <td>高調波</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td>総合電圧ひずみ率 特別高圧系統 3%以下、 高圧系統 5%以下 （電力利用基盤強化懇談会） 各次数電圧ひずみ率 3 次：3%（高圧），2%（特高）， 5 次：4%（高圧），2.5%（特高）， 7 次：3%（高圧），2%（特高）， 11 次・・・ （電気協同研究第 46 巻第 2 号）</td> <td>総合電圧ひずみ率 高圧系統 5%以下</td> </tr> </tbody> </table>				電力品質事象	法令	公的基準	電力会社管理値（目標値）	供給電圧	供給電圧 101 ± 6V, 202 ± 20V（電気事業法） 高圧配電系統 7000V 以下（電技）	-	標準電圧 100V 101 ± 6V 標準電圧 200V 202 ± 20V	電圧ディップ （瞬時電圧低下）	-	常時電圧の 10%以内 （系統連系技術要件ガイドライン）	常時電圧の 10%以内 （ただし、100V 回路の場合は 90V を下限値とすることがある）	電圧フリッカ	-	V_{10} 0.45V （電気協同研究第 20 巻第 8 号） （分散型電源系統連系技術指針）	V_{10} 0.45V （ただし、需要家 1 軒につき V_{10} 0.32V（同一系統に 2 軒） V_{10} 0.23V（同一系統に 4 軒） を上限とすることがある）	電圧不平衡	参考：交流式電気鉄道の変電所受電点において 3%以下（電技解釈）「交流式電気鉄道の単相負荷による電圧不平衡率の限度値」	-	3%以下	高調波	-	総合電圧ひずみ率 特別高圧系統 3%以下、 高圧系統 5%以下 （電力利用基盤強化懇談会） 各次数電圧ひずみ率 3 次：3%（高圧），2%（特高）， 5 次：4%（高圧），2.5%（特高）， 7 次：3%（高圧），2%（特高）， 11 次・・・ （電気協同研究第 46 巻第 2 号）	総合電圧ひずみ率 高圧系統 5%以下
電力品質事象	法令	公的基準	電力会社管理値（目標値）																								
供給電圧	供給電圧 101 ± 6V, 202 ± 20V（電気事業法） 高圧配電系統 7000V 以下（電技）	-	標準電圧 100V 101 ± 6V 標準電圧 200V 202 ± 20V																								
電圧ディップ （瞬時電圧低下）	-	常時電圧の 10%以内 （系統連系技術要件ガイドライン）	常時電圧の 10%以内 （ただし、100V 回路の場合は 90V を下限値とすることがある）																								
電圧フリッカ	-	V_{10} 0.45V （電気協同研究第 20 巻第 8 号） （分散型電源系統連系技術指針）	V_{10} 0.45V （ただし、需要家 1 軒につき V_{10} 0.32V（同一系統に 2 軒） V_{10} 0.23V（同一系統に 4 軒） を上限とすることがある）																								
電圧不平衡	参考：交流式電気鉄道の変電所受電点において 3%以下（電技解釈）「交流式電気鉄道の単相負荷による電圧不平衡率の限度値」	-	3%以下																								
高調波	-	総合電圧ひずみ率 特別高圧系統 3%以下、 高圧系統 5%以下 （電力利用基盤強化懇談会） 各次数電圧ひずみ率 3 次：3%（高圧），2%（特高）， 5 次：4%（高圧），2.5%（特高）， 7 次：3%（高圧），2%（特高）， 11 次・・・ （電気協同研究第 46 巻第 2 号）	総合電圧ひずみ率 高圧系統 5%以下																								

(短絡容量について)

- すべての電力会社において高圧（6.6kV）配電線においては短絡故障電流の許容最大値を12.5kAとし管理している。^{*2}
- JIS規格の「キュービクル式高圧受電設備」において推奨遮断電流を12.5kAとしている。^{*3}

各社公表の設備形成ルール記載の
高圧系統の短絡故障電流の許容最大値^{*2}

電力会社	短絡故障電流の許容最大値 (kA)
北海道電力	12.5
東北電力	12.5
東京電力	12.5
中部電力	12.5
北陸電力	12.5
関西電力	12.5
中国電力	12.5
四国電力	12.5
九州電力	12.5
沖縄電力	12.5

【参考文献】

- *1：電気協同研究第60巻第2号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」, H17.3, P17
- *2：各社公表の設備形成ルール
- *3：電気学会技術報告第1025号「分散型電源有効活用のための電力系統技術」, 2005.6, P23

考察

- 特定の需要家から流出する高調波に関しては、「高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン」に従い、高調波流出量を計算し、管理基準値を超過する場合は需要家にて必要な対策を実施していると考えられる。
- 高圧系統に連系する分散型電源による系統の短絡容量の増加に関しては、「系統連系技術要件ガイドライン」に従い、遮断器の遮断容量等を上回る恐れがあるときは発電設備設置者にて短絡電流を抑制する装置を設置していると考えられる。

実証研究の妥当性評価

- 実証試験の評価において、対策機器（SVC、LBC等）設置による高調波の増加、ループ系統による短絡電流の増加の検証を実施する場合、上記、電力会社の管理基準を評価の目安とする。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目									
大項目	小項目	細目							
5. 運用的課題	(1)大型機器・半導体機器	実績、課題							
活用目的									
<ul style="list-style-type: none"> 大型機器、半導体機器設置に伴う運用上の課題抽出（LBC 等対策機器設置における課題の抽出） 									
調査結果（ヒヤリング調査結果）									
<ul style="list-style-type: none"> 実系統に適用されている大型機器としては、配電塔、SVC、SVR、実系統で実証試験が行われた大型機器としてはUPFC、TVR 等があるものと考えられる。 実系統に適用されている半導体機器としては、配電塔、SVC、開閉器用子局、実証試験設備としてはUPFC、TVR 等があるものと考えられる。 各機器の導入実態及びその問題点について、詳細な文献は見当たらない。 									

【参考文献】									
考察									
<ul style="list-style-type: none"> 大型機器や半導体機器実系統適用時に懸念される問題点は下表の内容が考えられるが、下表以外にも問題となる項目があることが予想される。 									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>懸念される問題点</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>大型機器設置 に関して</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 立地箇所が限定される。または立地箇所がない。 用地交渉が困難となる。 柱上設置できない。 機器の個別管理（定期点検等含む）が必要になる。 </td> </tr> <tr> <td>半導体機器設置 に関して</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 耐環境性能（温度変化、湿度変化、振動等に対する性能）の維持困難 上記による部品故障による信頼性低下 機器の個別管理（定期点検等含む）が必要になる。 </td> </tr> </tbody> </table>		項目	懸念される問題点	大型機器設置 に関して	<ul style="list-style-type: none"> 立地箇所が限定される。または立地箇所がない。 用地交渉が困難となる。 柱上設置できない。 機器の個別管理（定期点検等含む）が必要になる。 	半導体機器設置 に関して	<ul style="list-style-type: none"> 耐環境性能（温度変化、湿度変化、振動等に対する性能）の維持困難 上記による部品故障による信頼性低下 機器の個別管理（定期点検等含む）が必要になる。
項目	懸念される問題点								
大型機器設置 に関して	<ul style="list-style-type: none"> 立地箇所が限定される。または立地箇所がない。 用地交渉が困難となる。 柱上設置できない。 機器の個別管理（定期点検等含む）が必要になる。 								
半導体機器設置 に関して	<ul style="list-style-type: none"> 耐環境性能（温度変化、湿度変化、振動等に対する性能）の維持困難 上記による部品故障による信頼性低下 機器の個別管理（定期点検等含む）が必要になる。 								

- 各電力会社にヒヤリングを行った結果、上表に加え下表の内容の懸念事項が挙げられた。

項目	懸念される問題点
大型機器設置 に関して	<ul style="list-style-type: none"> 騒音、うなり音により立地場所が制約される。 設置後の機器の移設が困難となり適正配置に支障が出る。 実用が少なく懸念される問題も不明。 単柱設置できなければ、立地が困難化する。 機器自体のコスト増が懸念される。 故障時の対応（代替機器の確保が難しく、故障時の緊急取替えに対応できないなど） 特殊機器の場合、整定値等の日常的な管理・運用が必要になる。
半導体機器設置 に関して	<ul style="list-style-type: none"> 高調波の発生を押さえる必要がある。 実用が少なく懸念される問題も不明。 線路に直列に挿入された半導体機器の漏れ電流が懸念される。 従来の機器（SVR等）との不協調動作が懸念される。 機器自体のコスト増が懸念される。 雷害 故障時の対応（代替機器の確保が難しく、故障時の緊急取替えに対応できないなど） 特殊機器の場合、整定値等の日常的な管理・運用が必要になる。 高周波の騒音が大きく設置箇所が限定される。 機器のメンテナンス（特に半導体部分）が煩雑になることが懸念される。
応答性のニーズ	<ul style="list-style-type: none"> 応答性のニーズは高い。 SVRの応答性では調整しきれない急峻な電圧変動の調整が期待される。 線路電圧を適正範囲に維持するための必要な応答速度が必要。 費用によるができる限り早くなることが望ましい。

実証研究の妥当性評価

- ヒヤリング調査結果を分析し、実証研究へ反映する。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目		
大項目	小項目	細目
5. 運用的課題	(1)その他	
活用目的		
<ul style="list-style-type: none"> 分散型電源の普及により、実運用（例えば、系統変更時、配電線事故時、分散型電源一斉解列時、その他）で苦慮している現状の課題、将来懸念される課題を抽出する。 対策機器（システム）を実系統に適用する場合に懸念される運用面の課題を抽出する。 		
調査結果（文献、ヒヤリング調査結果）		
<ul style="list-style-type: none"> 系統変更時、配電線事故時、分散型電源一斉解列時の運用面の課題を考慮した対策システムの検討を実施している。^{*1} 分散型電源の普及により、実運用で苦慮している現状の課題、将来懸念される課題、及び対策機器を実系統に適用する場合に懸念される運用面の課題について、各電力会社にヒヤリングを実施した。結果は下表のとおりである。^{*2} 		
項目	内容	
	電圧問題	その他
分散型電源普及により実運用で苦慮している現状の課題	<ul style="list-style-type: none"> 逆潮流による電圧上昇、電圧管理の困難化、インバータの解列対応 風力発電や誘導発電機による急峻な電圧変動 配電線実負荷の想定が困難化 回線間のアンバランスによる送出電圧の調整困難化 	<ul style="list-style-type: none"> 審査業務の増加、複雑化 単独運転防止対策 配電自動化システムの融通に制約がされている。（分散型電源の脱落を考慮した融通の方法が困難） 系統変更時の発電機解列の交渉困難化、対応業務の増加、系統切替の困難化 他フィーダ事故時のOVGR動作による発電機の解列 逆潮流発生回線の事故時の探査が困難化
分散型電源普及により将来懸念される課題	<ul style="list-style-type: none"> 上記問題の拡大 回線間アンバランス 発電機の一斉解列 リアルタイム計測が必要となり費用増大 	<ul style="list-style-type: none"> 上記問題の拡大 高調波、直流出量の増加 周波数に与える影響 設備利用率低下、予備力確保の問題、設備計画困難化 発電機一斉解列による過負荷
対策機器を実系統に適用する場合に懸念される運用面の課題	<ul style="list-style-type: none"> 現行でも膨大な配電設備の管理が必要な上に、対策機器の設置で管理の複雑化が懸念。 他の電圧調整機器との協調 費用負担 配電自動化システムの監視・制御方法の見直し LBCによる融通時の対地静電容量不足による残留V0の増加やリレーの誤動作 制御不能・機器故障時の電圧維持管理 	
配電線のループ運用に対する課題	<ul style="list-style-type: none"> 系統再構築に伴う費用増 保護協調（波及事故の防止等） 配電自動化システムの対応変更 異バンク間ループ時の横流制限に伴うバンク送出電圧の調整困難化 残留零相電圧、電流の変化に伴う地絡保護方式への影響 故障区間の切離し SVR等既存設置機器の位置見直し 事故保護 常時系統の考え方整理 事故時、切替時等の電圧維持管理 各所リレーの協調整定、性能向上 電圧変動、事故等があった時の影響が広範囲に拡大 	

【参考文献】

*1：エネルギー総合工学研究所「電力系統制御システム技術検討会」報告書，H16.6，P44

*2：各電力会社へのヒヤリング結果

考察

- ・ 運用面での課題として、系統変更時、配電線事故時、分散型電源一斉解列時については実証研究でも検討項目として抽出している。それ以外の課題についても、今後、検討の可否を検討していく。

実証研究の妥当性評価

- ・ ヒヤリング結果に基づき実運用面での課題、その解決策の検討を行う。

配電系統構成等の実態調査【項目別調査票】

調査項目			
大項目	小項目	細目	
5. 運用的課題	(2)設備費用、工事費用		
活用目的			
・ 対策システムの経済性評価のための基礎データの収集。			
調査結果（文献調査結果）			
・ 「電力系統制御システム技術検討会」では各対策機器の設備費を下表のとおり設定している。*1			
対策機器の概略仕様及び電圧対策設備費*1			
対策機器	概略仕様	電圧対策設備費	
		総額	kW、kVA単価
SVC	自励式 容量：300kVA 寸法：W2,040×D2,400×H1,950mm 重量：2.6t	1,500万円	5万円/kVA
新制御 SVR (逆潮流対応含む)	容量：3,000kVA 寸法：W1,260×D1,215×H990mm 重量：2.1t	500万円	0.16万円/kW
SC・SR 自動制御	SR 自動制御 (SR、CB、制御装置一体型) 容量：450kVA(調相 150、300、450) 寸法：W1,570×D1,450×H2,510mm 重量：3.3t	500万円	1.1万円/kW
高速遮断器	真空遮断器 7.2kV、1,200A 定格遮断：20kA 開極：2ms 閉極：20ms 屋内形 寸法：W1,000×D2,000×H2,300mm 重量：1.3t	1,500万円	
ループコントローラ	容量：500kVA 寸法：開発中 重量：5t 程度 基本構成：BTB 方式 (PWM AC/DC コンバータ×2) 制御項目：潮流、無効電力	目標値 3,000万円	6万円/kVA

* エネ総工研調査
* 電圧対策設備費には、設置工事費は含んでいない。

通信設備の概略仕様及び電圧対策設備費^{*1}

機 器	概略仕様	電圧対策設備費（千円）
系統情報センサー （電圧）	・ 開閉器内蔵（精度±1%）	300（目標値）
	・ 外付け（精度±5%）	300（目標値）
通信インターフェイス （センサー～通信線）	・ 電圧 3 相の実効値演算処理（1 秒間隔）	600（目標値）
通信インターフェイス （通信線～対策機器）	・ D I/O 8（機器制御指令用）	1,000（目標値）
通信ソフト開発費		1,100（目標値）
通信回線費		10,000（概算値）
合 計		13,000（目標値）

* エネ総工研調査

* 電圧対策設備費には、設置工事費及び営業所等に設置する親局等の費用は含んでいない。

【参考文献】

*1：エネルギー総合工学研究所「電力系統制御システム技術検討会」報告書，H16.6，P17

考察

- ・ 上記費用の妥当性、その後の変化等について検証が必要。
- ・ 工事費用については調査された文献はなく、新たに調査を実施する必要がある。

実証研究の妥当性評価

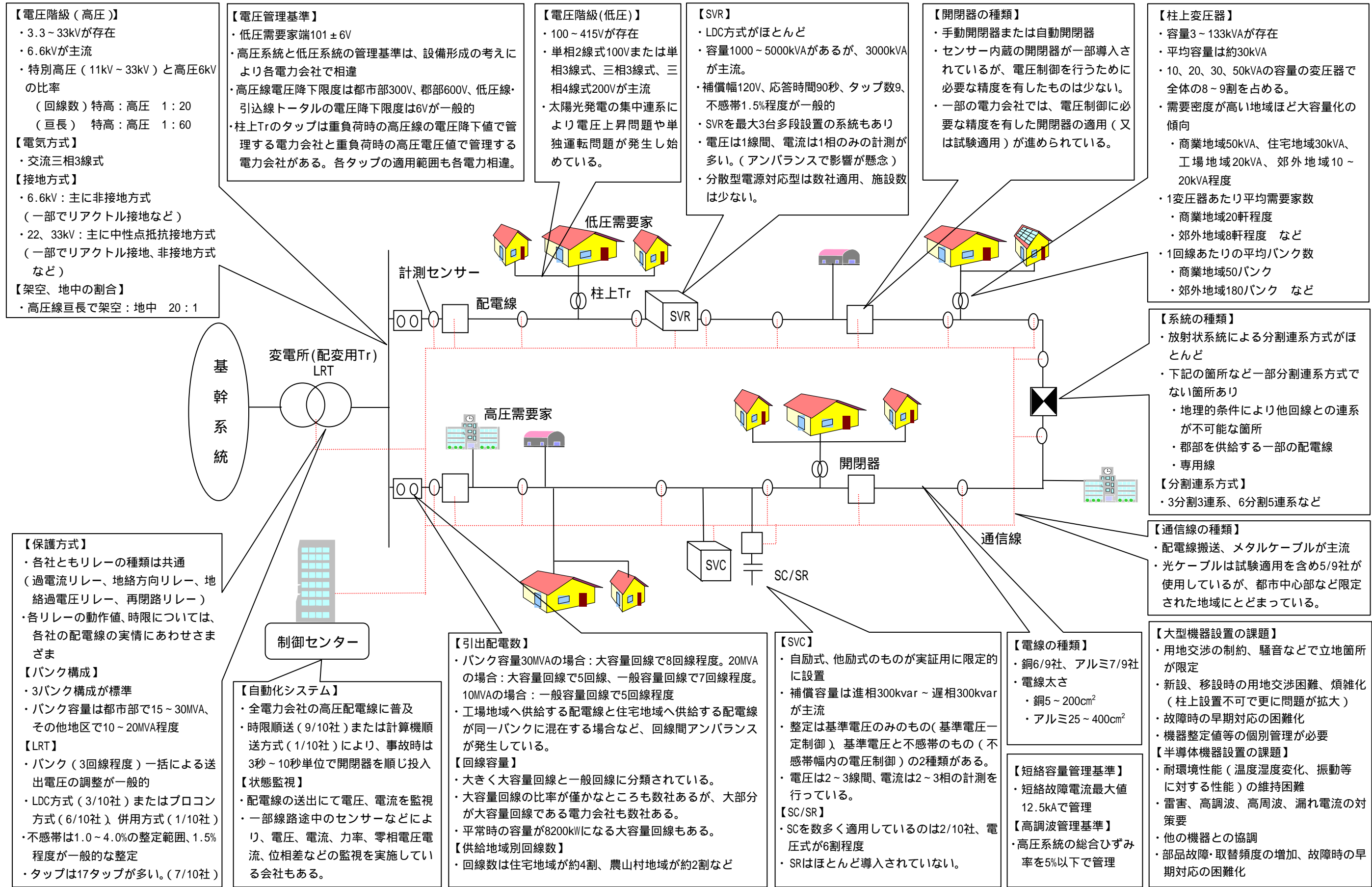
- ・ 各種対策システムの経済性評価を実施する場合に活用する。

1.1.3 まとめ

実証試験の妥当性評価や各種動向調査の背景分析のために国内の配電系統構成等の実態について調査した。

実態調査にあたり、まず調査する必要がある項目を抽出し、調査項目の活用目的について整理を行った。実態調査は、文献調査を基本とし、文献調査では把握できない調査項目について国内全電力会社を対象にヒアリング調査を行い、結果を整理した。

主な調査結果の概要は次頁の「配電系統構成等の実態調査結果概要図」のとおりである。



配電系統構成等の実態調査結果概要図

1.2 海外の配電系統構成等の実態

各種動向調査の背景分析のために海外の配電系統構成等の実態調査を実施した。

調査項目は国内の配電系統構成等の実態調査に準じ、文献調査、及び文献調査では把握できない調査項目について一部ヒアリング調査を行い、結果を整理した。

1.2.1 英国

配電系統に使用されている標準電圧は、132kV-33kV-11kV-415/240V となっている。これらの他、66kV、22kV、6.6kV の配電系統もあるが、いずれも新規設備としては採用されていない。また、最近では、高負荷密度地域を対象として 132kV から 11kV へ直接降圧する変電所を採用する配電会社もある。

都市部における高圧配電線は地中線方式となっており、負荷切替、事故時の対応のため、同一変電所あるいは隣接変電所間で連系され、オープンリング方式で運用されている。11kV から 415/240V に降圧する変電所は需要家家屋の一部、住宅地の一角に設置されており、通常路上や地中には設置されない。

低圧系統では三相 4 線式で三相 415V あるいは単相 240V で低圧需要家に供給されている。都市部では低圧配電線は地中線方式で、地中に設置されたリンクボックスによりできるだけ他のバンクと連系する努力が払われている。

郡部における高圧配電線は通常、樹枝状の架空線方式である。事故多発地区や長時間停電地区については他フィーダとの連系化が図られている。

なお、英国は従来 240/415V から欧州の電力規格である 230/400V へ移行中である。また、地中化率は全国平均で 57% であるが、ロンドンではほぼ 100%、北スコットランドでは 30% 程度と開きがある。農村部では木柱による架空配電が一般的である。地中ケーブルには高圧、低圧ともにアルミ導体紙絶縁ケーブルが使用されている。

電圧と周波数¹は 2002 年電気安全・品質・導通規則（第 7 部 27 条）で規定されている。周波数は 50Hz ± 1%、電圧は配電事業者と需要家との間で合意がなされた場合を除き、低圧（230V）が -6% / +10% 以内、132kV 未満の高圧が ± 6% 以内、132kV 以上の高圧が ± 10% 以内と規定されている。

¹ “海外諸国の電気事業 第 1 編 2003 年”では「電圧と周波数は電力供給規則で規定されている。周波数は 50Hz ± 1%、電圧は配電事業者と需要家との間で合意がなされた場合を除き、132kV 未満の系統では ± 10% と規定されている。」と記述。

表 1- 1 配電設備の概要 (2000 年度)

配電事業者名	需要家密度 [軒/km ²]	最大電力 [万 kW]	配電線 (回線延長) [km]		
			地 中	架 空	合 計
East Midlands	149	507	44,053	24,049	68,102
Midlands	176	490	35,936	24,202	60,138
London	3,128	472	30,342	42	30,384
Manweb	150	311	28,230	21,483	49,713
Northern	105	289	27,274	17,293	44,567
Norweb	181	455	43,962	13,857	57,819
Seaboard	253	426	32,900	12,300	45,200
Southern	160	614	45,750	27,850	73,600
Eastern	162	620	55,749	35,042	90,791
South Wales	85	207	16,387	18,597	34,984
South Western	95	269	19,406	29,867	49,273
Yorkshire	199	430	15,556	40,000	55,556
Scottish Hydro Electric	12	163	14,184	30,500	44,684
Scottish Power	90	438	40,897	24,456	65,353
Northern Ireland Electricity	49	169	12,527	29,689	42,216
合計/平均	117	...	463,153	349,227	812,380

[出典] Electricity Association²

< 参考 : 送電設備 >

英国内の送電系統運用者 (兼所有者) は Scottish Hydro electric Transmission 社、Scottish Power 社、National Grid 社の 3 社である。系統運用事業者として 1 日 24 時間、分刻みで需給バランスを調整している。顧客は発電事業者、配電事業者、供給事業者、相互接続線利用者、数件の大規模直結利用者である。

イングランド・ウェールズ地域 (E&W 地域) の送電系統 (グリッド) は「スーパーグリッド」と呼ばれ、400kV 系統と 275kV 系統で構成される。この内、275kV 系統はマンチェスター、リバプール等の工業都市周辺やロンドン周辺での利用に限られ、基幹送電系統としての役割は 400kV 系統によって果たされている。初期の送電系統 (132kV) は、その大部分が 1964 年に現在の配電会社に移管された。スコットランドの送電系統は 400kV、275kV、132kV 系統で構成されている。

400kV 系統はグラスゴー周辺で運用されている。北アイルランドの送電系統は主に 275kV 系統と 110kV 系統で構成されている。

E&W 地域とスコットランドの系統は 2 ルート (400kV) で連系されている。2002 年現在の送電容量は 160 万 kW であるが、2003 年までに 220 万 kW に拡充する等の計画も進められている。北アイルランドとスコットランドは海底直流ケーブル (50 万 kW) で連系されている。

² 同協会は 2003 年 9 月 30 日に閉鎖され、下記の 3 協会が業務を承継。
 ・ Association of Electricity Producers, <http://www.aepuk.com>
 ・ Energy Networks Association, <http://www.energynetworks.org>
 ・ Energy Retail Association, <http://www.energy-retail.org.uk>

国際連系については、フランスとイングランド・ウェールズ地域が定格電圧±270kV、200万kWの海底直流ケーブルで、アイルランドと北アイルランドが275kV、30万kWで連系されている。



[出典] DTI, Digest of United Kingdom Energy Statistics 2005³

図 1-2-1 英国の電力供給系統（2004年現在）

³ <http://www.dti.gov.uk/energy/inform/dukes/dukes2005/index.shtml>

表 1-2-2 送電設備の概要

会社名	送電線 (回線延長)[km]		最大 電力 [万 kW]	送電 電力量 [億 kWh]	接続 発電所数
	架空線	地中線			
National Grid	13,891	621	5,101	3,020	70
Scottish Power	3,851	247	438	329	4
Scottish Hydro Electric	4,700	56	164	118	54
Northern Ireland Elec.	1,268	39	166	76	4

〔出典〕Electricity Association²

平均的な電気料金（230 ポンド〔付加価値税を除く〕）の内訳は下記の通り。送電費用は全体の3%とわずかである。

◆ The average domestic bill is ~£230 (excl. VAT). It is made up of the following components:

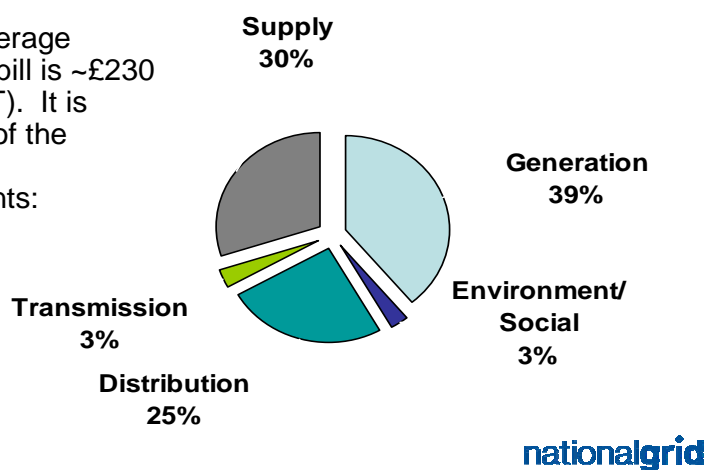
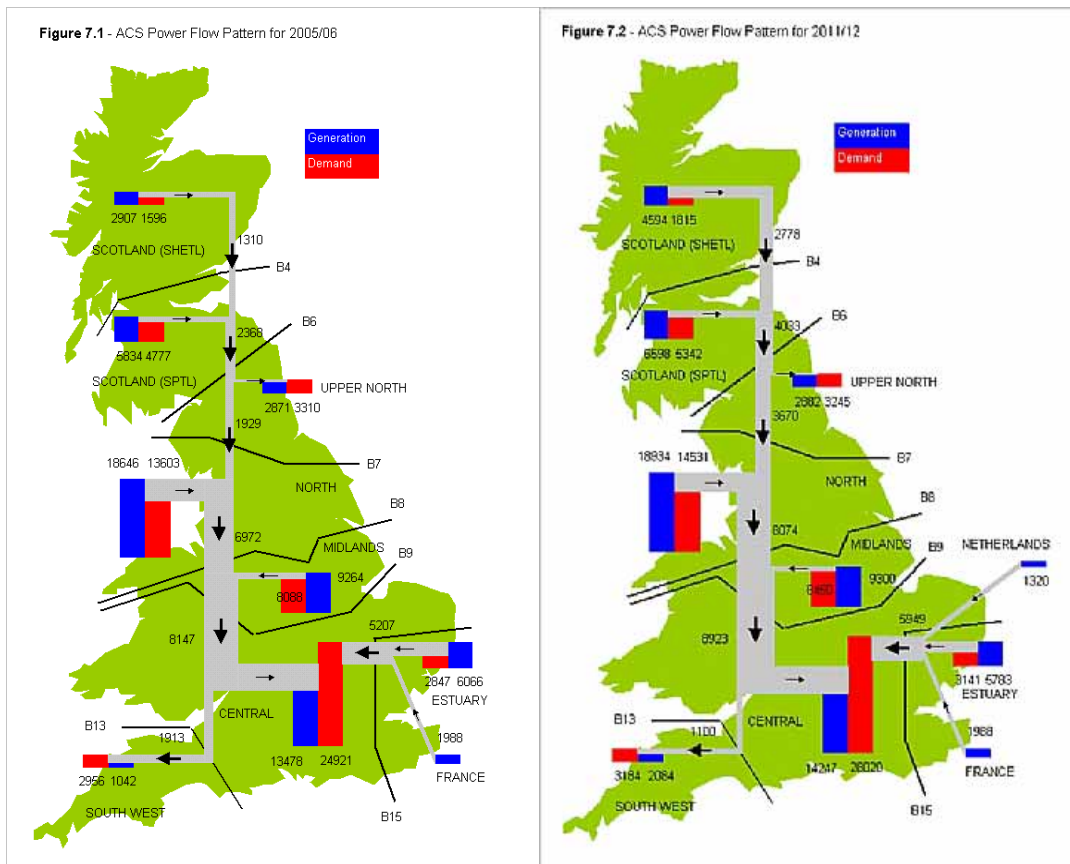


図 1-2-2 平均的な電気料金の内訳



[出典] NGC, “Seven Year Statement”⁴

図 1-2-3 冬季最大電力時の潮流状況

⁴ <http://www.nationalgrid.com/uk/library/documents/sys05/print.asp?chap=7>

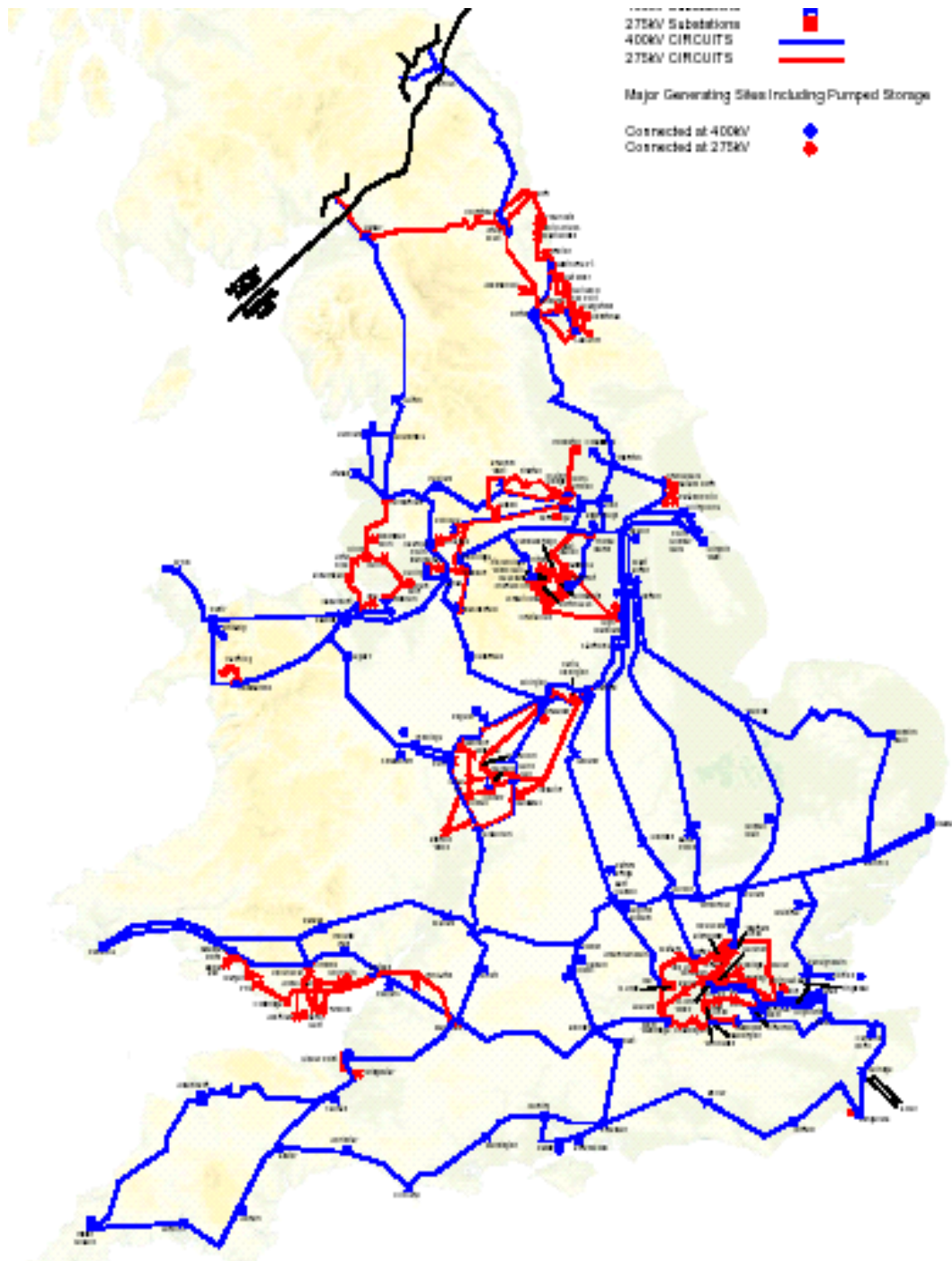


図 1-2-4 National Grid 社の送電系統

1.2.2 ドイツ

ドイツ電気事業者は、1990年代に総投資額の50%以上（年間平均30億ユーロ）を送配電線の建設に振り向け、2000年現在では総回線延長150万kmのネットワークを形成している。

送配電線の電圧階級⁵は、特別高圧（220kV、380kV）、高圧（60kV以上、110kVが一般的）、中圧（1～60kV）、低圧（230V、400V）に区分される。下表に架空・地中送電線の電圧別の回線延長、変電設備の容量・個数を示す。

表 1-2-3 電気事業用架空送電線の回線延長 [km]

電圧 \ 年	1991	1992	1993	1994	1995	1996
1kV 未満	262,060	251,900	240,915	229,419	222,610	212,924
1kV 以上 10kV 未満	30,330	29,203	29,175	27,688	26,396	25,300
10kV 以上 15kV 未満	20,011	20,290	18,448	17,749	17,173	15,914
20kV	135,956	133,731	132,203	131,360	129,302	128,456
20kV 以上 60kV	10,713	10,522	9,985	9,470	8,953	8,455
110kV	69,018	69,253	69,851	70,202	70,302	70,122
220kV	39,834	40,033	39,933	40,256	40,458	40,601
合 計	567,922	554,932	540,510	526,144	515,194	501,772

〔出典〕VDEW

表 1-2-4 電気事業用地中送電線の回線延長 [km]

電圧 \ 年	1991	1992	1993	1994	1995	1996
1kV 未満	633,148	651,513	674,411	696,714	721,300	743,829
1kV 以上 10kV 未満	120,650	122,327	122,841	123,465	124,623	127,572
10kV 以上 15kV 未満	17,400	18,107	18,212	19,068	18,992	19,077
20kV	120,928	127,322	131,130	136,758	142,286	148,715
20kV 以上 60kV	8,961	8,819	8,492	8,742	8,029	7,276
110kV	4,163	4,263	4,379	4,424	4,648	4,674
220kV	82	94	94	99	102	93
合 計	905,332	932,445	959,559	989,270	1,019,980	1,051,236

〔出典〕VDEW

⁵ “海外諸国の電気事業 第1編 2003年”では「超高压(220/380kV)、高压(36～110kV)、中压(6～36kV)、低压(0.4～6kV)」と記述。

表 1-2-4 電気事業用変電設備容量と個数

電圧 \ 年	1991	1992	1993	1994	1995	1996
10kV 未満						
個数	210,536	209,046	213,194	216,615	214,069	210,480
MVA	91,623	91,612	95,127	96,312	96,624	96,373
10kV 以上 20kV 未満						
個数	43,635	44,710	42,842	40,279	39,085	37,404
MVA	16,466	16,636	16,683	17,002	15,457	15,243
20kV						
個数	282,343	285,475	286,973	295,750	300,296	304,005
MVA	105,913	107,584	109,216	113,199	115,626	120,101
20kV 以上 60kV 未満						
個数	5,937	5,740	5,702	5,655	5,476	5,369
MVA	43,083	41,813	40,110	39,842	38,364	36,086
110kV						
個数	7,030	7,064	7,130	7,292	7,407	7,326
MVA	242,400	244,986	247,660	255,832	257,357	256,130
220kV						
個数	739	793	762	740	733	712
MVA	147,523	146,708	145,055	145,760	142,535	139,960
380kV						
個数	370	365	386	378	399	409
MVA	161,166	159,281	165,909	165,153	167,262	171,250
合 計						
個数	550,644	553,193	556,989	566,709	567,465	565,705
MVA	808,174	808,620	819,760	833,100	833,225	835,143

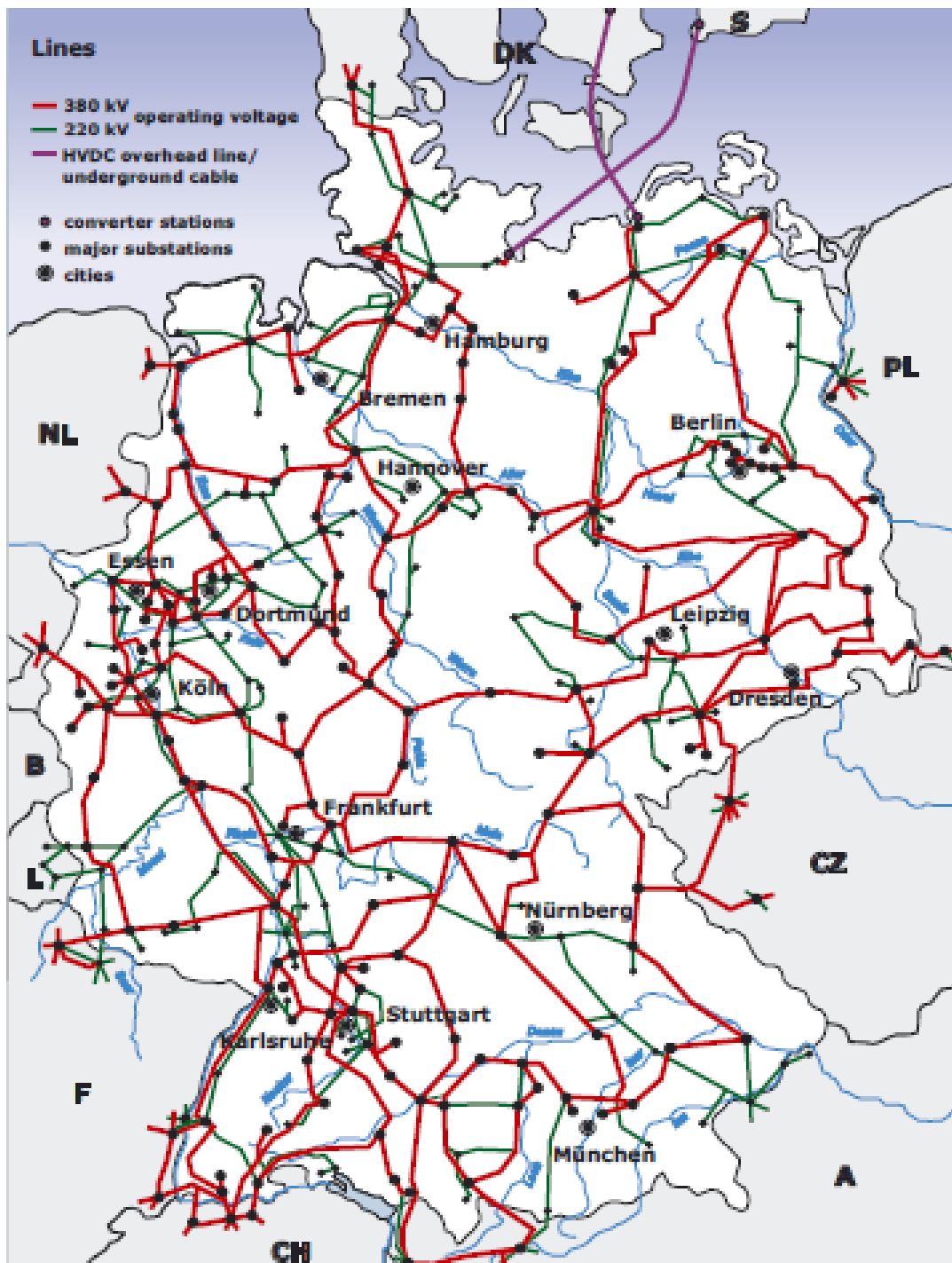
〔出典〕 VDEW

ドイツ国内の系統運用の技術規則は、「ドイツ系統運用者協会 (VDN:本部、ベルリン市)」により取り纏められている。VDN の前身である大手電力会社により組織されていた「ドイツ送電協会 (DVG)」は、2001 年 6 月に大手電力会社以外の地方自治体営電力会社と地域エネルギー供給会社も加盟するドイツ全国の系統運用者大の組織として改組された。DVG は VDEW とは独立した組織であったが、VDN は VDEW の下部組織機関として位置付けられている。同協会には、2001 年 11 月現在で送電系統運用者 4 社、地域エネルギー供給会社 38 社、地方自治体営電力会社 189 社が加盟している。

<参考：送電設備>

回線延長 38,600km (2000 年現在) の超高圧送電線は、他の大陸欧州諸国と同期運転し、安定供給に資するとともに、国境を越えた発電設備の経済的運用を可能としている。送電系統運用の国際協調は、フランスのパリに本部を置く「欧州発送電協調連盟」(UCPTE) を通じて実施されてきた。欧州大での電力部分自由化が開始された後、UCPTE は「欧州・送電協調連盟」(Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity: UCTE) と名称変更し、旧来の加盟国である西側大陸諸国に加え、ポーランド、スロバキア、チェコ、ハンガリーなどの東欧諸国もメンバーに加えて、西側系統 (UCTE) と東側系統 (CENTREL) との連系強化を図っている。

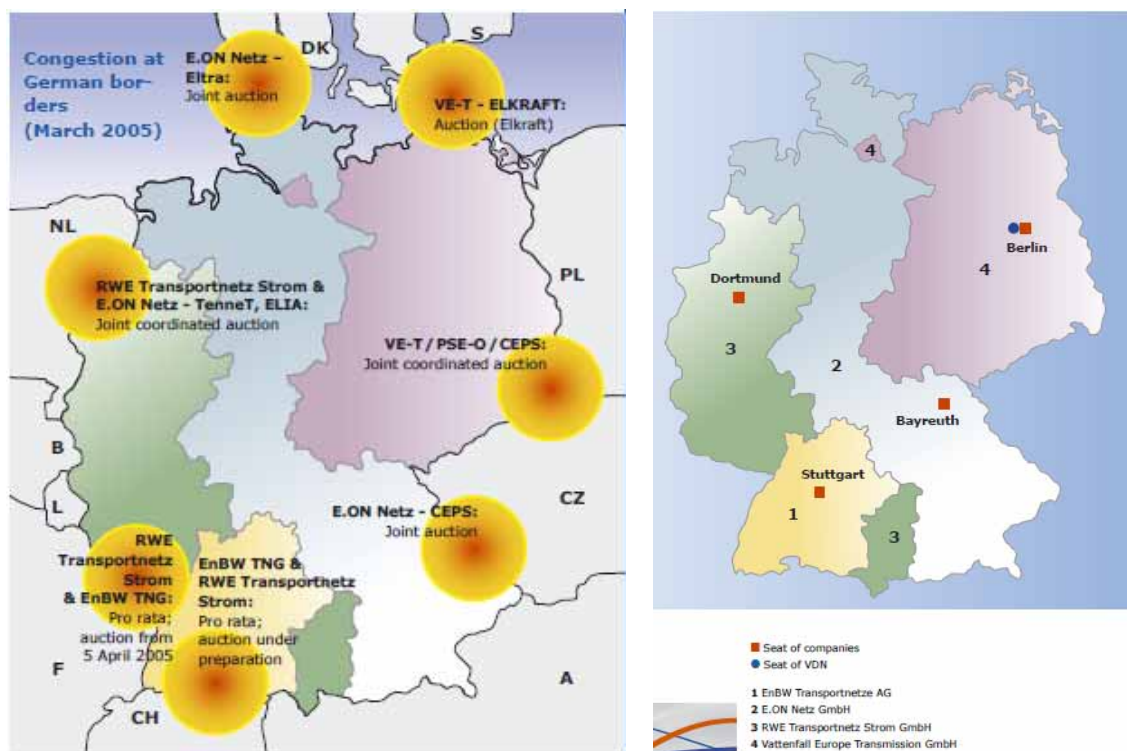
ドイツ国内の超高圧送電線を運用する送電系統運用者には、RWE ネット社、E.ON ネット社、EnBW トランスポートネット社、及び Vattenfall ヨーロッパ・トランスミッション社の 4 社があり、これら 4 社間の電力取引、ドイツの送電系統運用者と UCTE 系統及び CENTREL 系統に属する欧州諸国の系統運用者との電力輸出入については、RWE ネット社の中央給電指令所が調整を行なっている。



〔出典〕VDN、" Facts and Figures Electricity Networks in Germany in 2004 " ⁶

図 1-2-5 ドイツの送電系統と系統運用地域

⁶ http://www.vdn-berlin.de/facts_figures.asp、<http://www.vdn-berlin.de/global/downloads/english/service/facts+figures2005.pdf> (<http://www.vdn-berlin.de/global/downloads/english/service/facts+figures2004.pdf>)



[出典] VDN、 ” Facts and Figures Electricity Networks in Germany in 2004 ”⁷

図 1-2-6 ドイツの主要電力会社

Vattenfall ヨーロッパ・トランスミッション社

同社は欧州超高压基幹送電系統の一部であり、また東西ヨーロッパおよび南北ヨーロッパの結節点として、電力の融通においても重要な役割を担っている。同社の 380/220kV 送電系統はドイツ国内の超高压送電系統（E.ON Netz 社の系統と連系）以外に、東欧諸国（ポーランド、チェコ両国）及びスカンジナビア諸国の系統と連系している（基本データは次表参照、2004 年 1 月現在）。

⁷ http://www.vdn-berlin.de/facts_figures.asp、<http://www.vdn-berlin.de/global/downloads/english/service/facts+figures2005.pdf> (<http://www.vdn-berlin.de/global/downloads/english/service/facts+figures2004.pdf>)

表 1-2-5 Vattenfall Transmission 社の系統関連データ等

送電系統延長	
380 kV	6.700 km
220 kV	2.865 km
高圧直流ケーブル 400 kV	14 km
変電所	
380/220/110 kV	7
380/220 kV	3
380/110 kV	25
220/110 kV	19
開閉器	
380 kV	6
従業員	533

1.2.3 米国

米国の電力系統は歴史的な経緯、需要密度などの背景を異にし、電圧パターンにもかなりの相違が見られる。例えば、東部のPSE&G社では500kV、230kV、138kV、69kV、26kV、13kV（配電）、4kV（配電）を採用している。他方、内陸部のコモンウェルス・エジソン社では765kV、345kV、138kV、79kV、34kV、12kV（配電）、4kV（配電）、独立系統のテキサス州の電圧階級は345kV、138kV、69kV、24.9kVなどとなっている。

配電部門の管理している電圧は、一般的に線間電圧（Y結線）4kV、12kV、13kV、34.5kVであるが、69kV以下を配電設備とする電気事業者も多い。このうち4kV系統は送電容量アップと送電ロス低減を目的に各社とも12kVまたは13kVに昇圧している。

架空配電線の支持物の大半は木柱で、都市部の中心部では地中配電系統が形成されている。需要家別の供給方式と標準電圧は下表のとおりである。周波数は60Hzである。

表 1-2-6 配電線供給方式と標準電圧

供給方式	標準電圧	主たる対象需要家
単相 2 線式	120V	家庭用需要家
単相 3 線式	120V/240V	一般需要家
3 相 3 線式	240V 及び 480V	工業需要家
3 相 4 線式 Y	120/208V	商業需要家
3 相 4 線式 Y	277/480V	商工業需要家

表 1-2-7 PG&E 社の供給電圧・電気方式⁸

Distribution Voltages			Transmission Voltages
Single-phase Secondary	Three-phase Secondary	Three-phase Primary	Three-phase
120/240, 3-wire	240/120, 4-wire	2,400, 3-wire*	60,000, 3-wire
120/208, 3-wire	240, 3-wire*	4,160, 3-wire*	70,000, 3-wire
	208Y/120, 4-wire	4,160Y/2,400, 4-wire*	115,000, 3-wire
	480/3-wire**	12,000, 3-wire	230,000, 3-wire
	480/277, 4-wire	12,000Y/6,930, 4-wire*	
	480Y/277, 4-wire	17,200, 3-wire	
		20,780, 3-wire	
		20,780Y/12,000, 4-wire	

⁸ Pacific Gas and Electric Company, Rule 2 DESCRIPTION OF SERVICE, <http://www.pge.com/tariffs/doc/ER2.doc>

<参考1：家庭用配電電圧>

- ・ 低圧配電

米国では日本と同様に単相3線方式による120/240V供給方式が一般的である。ニューヨーク市マンハッタン地区のような高負荷密度地区では1次電圧13.8kV、2次電圧120/208V(Y結線)が採用されており、一部の大容量負荷に対しては2次電圧277/460Vのスポットネットワーク方式により供給されている。

- ・ 引込線と屋内配線

引込線はアルミ電線(銅線換算14mm²相当以上)が使用されている。120V回路の屋内配線では15A、20A回路が標準的であり、1.5kW程度までの電気機器の利用が可能である。さらに240V回路として、20A、30A、50A、60Aなどの大容量分岐回路が専用のに設けられている。なお、分岐回路数は、専用回路も含め一般家庭で概ね10~15回路程度となっている。このほか、台所には20Aの分岐回路を2回線設けること、洗濯場、屋外、地下室にはコンセントを設けること等も定められており、大型機器が利用しやすい基盤整備が図られている。

- ・ コンセント・プラグ

標準的なコンセント・プラグは125V、15Aの接地極付きの平刃角型ピンであり、これに加えて250Vのものとしては電流量に応じて形状の異なる角型ピンが用いられている。

- ・ 電気機器

中小容量の電気機器は120V機器であり、240V機器としては、電気レンジ、電気乾燥機、スタックタイプ洗濯・乾燥機、ビルドイン型電子レンジ、電気温水器、セントラルエアコン、及びウィンドウエアコンの一部となっている。これらの240V機器では、230V仕様で製作したり、208/240Vの電圧切り替えを可能とする機能を付けたり、208Vでも240Vでも使用できるようにしている場合が多い。

- ・ 安全対策

安全対策は主として機器接地で行い、一部の使用場所において漏電遮断器が使われている。電気スタンドやAV機器などを除き、コンセントは接地極付きが標準となっている。保護接地線は分電盤内で中性線に接続されており、機器ケースにおける地絡事故は過電流遮断器で保護している。漏電遮断器は屋外、浴室、ガレージなどに設置するコンセントに取り付けることを義務付けている。定格感度電流は 5 ± 1 mAと高感度であるが、動作時間は5mAで7秒以内、30mAで0.6秒以内などと比較的長い。

<参考2：送電設備>

電圧別送電線は次表のようになっており、総回線延長は517,116マイルである。

表 1-2-7 電圧別送電線（2000年）

電圧 [kV]	回線延長 [マイル]
22 未満	902
22-30	2,502
31-40	27,447
41-50	33,383
51-70	103,604
71-131	98,643
132-143	74,161
144-188	24,264
189-253	73,056
254-400	47,215
401-600	29,145
601-800	2,754
合計	517,116

〔出典〕海外電力調査会，諸外諸国の電気事業，第1篇，2003年

北米系統は東部系統、西部系統、テキサス系統からなる3同期系統で構成されている。1977年に東西の系統が直流で結ばれ、テキサス系統も一応東西両系統と直流で結ばれているが、系統容量などに限界があることから、実質的に米国本土の系統は3大単独系統とみなすことができる。

Figure 2.6. NERC Regions and Control Areas

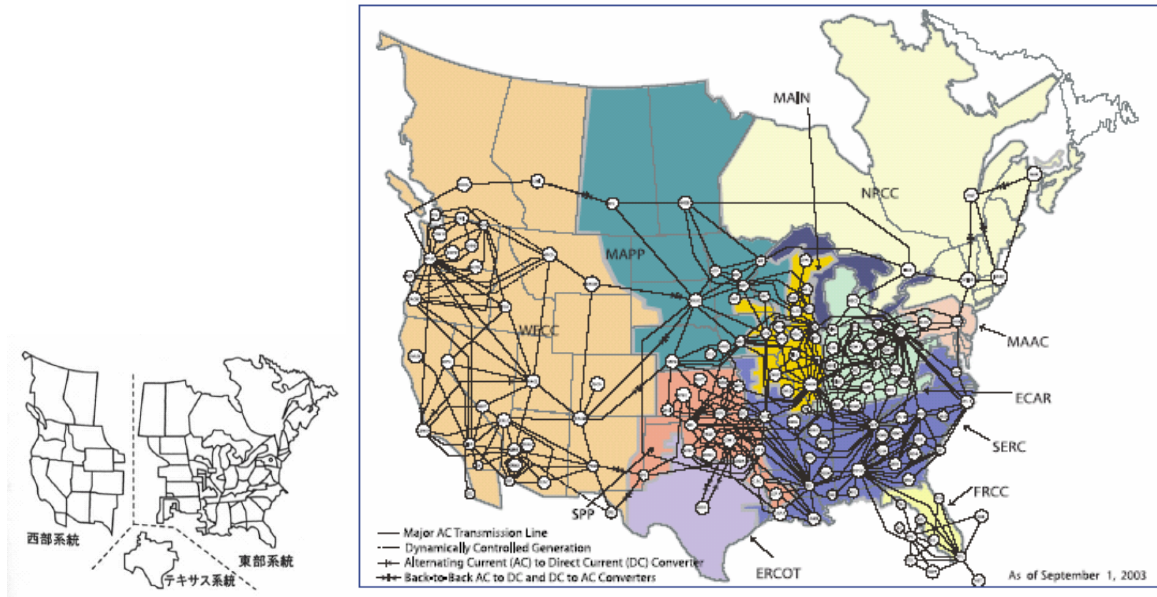


図 1-2-7 北米系統概要（左図）⁹と主要送電系統（右図）¹⁰

交流送電の最高電圧は 765kV であり、アメリカン電力（AEP）の系統で 1969 年 5 月から運用されている。運用中の 765kV の大半は中東地域信頼度協調協定（ECAR）域内の AEP 系統のものである。

直流送電は大規模電力系統間の非同期連系、さらには、遠隔地の水力や石炭火力を負荷中心地に運ぶ手段として導入されている。非同期連系のはしりは 1977 年に運用を開始したスティーガルである。東・西両連系系統との間の位相差角に関係なく、常時どちらの系統とも送受電可能となった。

東・西両連系系統と比較して相対的に小さな連系系統であるテキサスを中心とする ERCOT と東・西両連系系統の間にもエディーカウンティー、オクラユニオン、ウォーカーカウンティーの 3 箇所直流非同期連系が 1984 年から 1985 年にかけて運用を開始した。

西北部の水力をカリフォルニア州のロサンゼルス地域に送るパシフィックインタータイ直流送電線が運開したのは 1970 年、その後、産炭地火力発電所と負荷中心地を結ぶいくつかの直流送電線が建設された。西部では現在 2 つの高圧直流送電線が運転されており、西部 13 州、カナダ 3 州及びメキシコの一部からなる西部系統調整評議会（WSCC）で重要な役割を果たしている。

東部の系統とは前述のスティーガルを含む 4 箇所の交直変換所（Back to Back）を介して連系されている。しかし、その変換出力は 200MW、ないしこれ未満であり、東西系統間で利用可能な送電容量は十分とはいえない。±500kV 直流連系線（DC インタータイ）は DOE ボンネビル電力局（BPA）のセリ口変換所とロサンゼルス市営水道電気局のシルバー変換所（オレゴン州）を結び、その延長は 844 マイルに達している。同直流連系線は、カリフォルニア州において海側を通る 2 回線の 500kV

⁹ 海外電力調査会，諸外諸国の電気事業，第 1 篇，2003 年

¹⁰ U.S.-Canada Power System Outage Task Force, “Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations”, April 2004, p.12

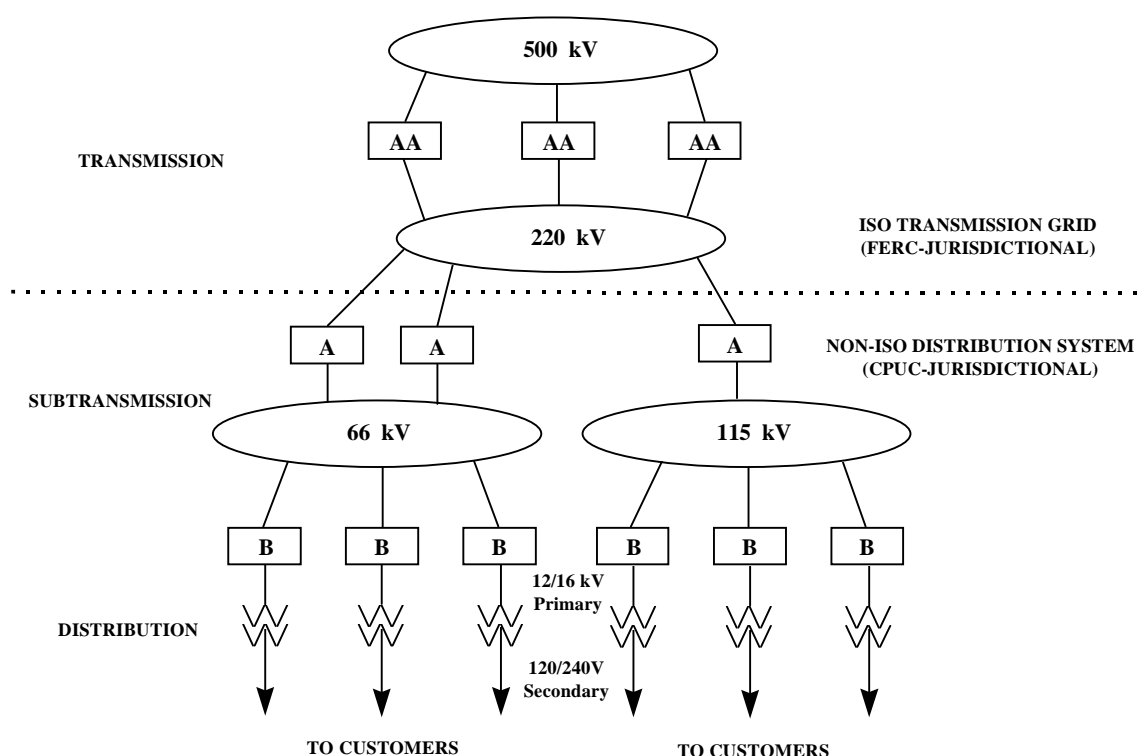
交流連系線（AC インタータイ：1968 年送電容量 2,200MW で運転開始、現在は 3,200MW）と実質的に並列運転され、米国北西部並びにカナダ南西部の豊富低廉な電力を送電している。

もう一方の直流連系線は、ユタ州中部のインターマウンティン石炭火力発電所で発生する電力を、インターマウンティン変換所からロサンゼルス市営水道電気局のアデラント変換所に送る延長 490 マイルのインターマウンティン連系線である。WSCC の東側は 345/500kV 交流送電線の送電容量が小さいこともあって、AC インタータイに比べ並列運転を行う能力は小さい。

DC インタータイは当初、電圧±400kV、送電容量 1,440MW で 1970 年 5 月に運転を開始した。その後、改良拡充工事が実施され、1989 年からは±500kV、3,100MW で運転している。

西部の系統ではカリフォルニア州の需要の伸びが相対的に急である半面、同州内における大規模電源立地が進まず、勢い周辺部への電源依存を深めている。流通設備の形成面でも十分ではなく、意図しない送電線を電力が流れ、送電線を過負荷状態にする、いわゆるループフローあるいはパラレルフローの問題が現に発生している。直流送電線は、これを回避する手段ともなっている。更に、交流系統に位相調整器を設置する対策が講じられており、1989 年にはコロラド - ニューメキシコ間に、また 1991 年にはユタから南下する潮流を防止するために設置されている。

図 1-2-8 サザンカリフォルニア・エジソン社による電力供給の基本構成¹¹



¹¹ 2003 General Rate Case, Transmission & Distribution, Volume 2 Operation & Maintenance, Chapters I-V, Figure I-8, “SCE Power Delivery System”

1.2.4 まとめ

各種動向調査の背景分析のために海外（英国、ドイツ、米国）の配電系統構成等の実態調査を実施した。主な調査結果を下表に示す。

項目	調査国・調査先			
	英国 ¹²	ドイツ ¹³	米国	
			サザンカリフォルニア・エジソン社	ジョージア・パワー社
(1) 設備形成全般				
電圧階級 (低圧系統含む)	<ul style="list-style-type: none"> 特別高圧：22、33、66¹、132kV(イングランド・ウェールズ) 高圧：6.6、11kV² 低圧：240、415V(230、400Vに移行中) <ul style="list-style-type: none"> 1 22、66kVは新規設備では不採用 2 6.6kVは新規設備では不採用 送電：132、275、400kV(スコットランド) 	<ul style="list-style-type: none"> 中圧(1～60kV)：6、10、15、20、30、35kV 低圧：230、400V¹ <ul style="list-style-type: none"> 1 500Vもあるが殆ど使用されず 特別高圧(送電)：220kV、380kV 高圧(60kV以上)：110kV 	^{14,15} <ul style="list-style-type: none"> 配電電圧(33kV以下)： <ul style="list-style-type: none"> - 標準：一次-12、16kV、二次-120、240V - 他：2.4、4.16、4.8、6.9、13.8、14.4、24.9、33kV、208、277、480V 送電(161kV以上)：220、500kV 副送電(55～138kV)：66、115kV 	¹⁶ <ul style="list-style-type: none"> 一次電圧：2.4、4.16、7.2、8、12.47、13.8、14.4、24.94、34.5 kV 二次電圧：120、208、240、277、480、600V
電気方式	<ul style="list-style-type: none"> 特別高圧：3相3線式 高圧：3相3線式 低圧：単相/2線式、3線式 3相/3線式、4線式 	<ul style="list-style-type: none"> 中圧：3相/10kV(架空線) - 3線式、 10kV(地中線) - 3線式、 30kV - 2線式 低圧(動力)：3相/3線式、5線式 低圧(照明)：単相/2線式 	¹⁷ <ul style="list-style-type: none"> 240、480V、2.4～33kV：3相3線式 120/208、120/240、277/480V、4.16～16.5kV： 3相4線式 120/208、120/240、240、240/480、277/480V： 単相3線式 120V：単相2線式 	¹⁸ <ul style="list-style-type: none"> [小売用架空配電線] 480V：3相3線式 277/480V：3相4線式¹ 120/240V：3相4線式、単相3線式 120/208V：3相4線式(通常30kW以上) 120V：単相2線式 [小売用地中配電線] 277/480V：3相4線式² 120/208V：3相4線式 120V：単相2線式 [送電線・卸売用配電線] 7.2/12.47、8/13.8、14.4/24.94kV：3相4線式 7.2kV：単相2線式 240、480、600V、2.4kV：3相3線式 120/208、277/480V、2.4/4.16kV：3相4線式 1 60kW以上の需要に対してのみ 2 300kW以上の需要に対してのみ

¹² 諸文献（表末の 1 参照）、現地専門家への聞き取り等に基づく現地コンサルタントの調査結果による。

¹³ 表末の 2 参照。

¹⁴ 2003 General Rate Case, Transmission & Distribution, Volume 2 Operation & Maintenance, Chapters I-V, Figure I-1, “SCE Power Delivery System Voltage Classifications”, [http://www3.sce.com/law/cpucproceedings.nsf/F24E7B86369DB8C888256BB200752A5C/\\$File/sce4v2p1.doc?OpenElement](http://www3.sce.com/law/cpucproceedings.nsf/F24E7B86369DB8C888256BB200752A5C/$File/sce4v2p1.doc?OpenElement)

¹⁵ Southern California Edison, Rule 2: Description of Service, <http://www.sce.com/NR/sc3/tm2/pdf/Rule2.pdf>

¹⁶ 現地専門家からの聞き取りによる。

¹⁷ Electrical Service Requirements (ESR) 2005 Fourth Quarter, Table 5 3, p. 1-18 to 1-20, 2-5, 3-5, 5-34, <http://www.sce.com/SC3/AboutSCE/Regulatory/distributionmanuals/esr.htm>

¹⁸ Georgia Power Company - Rules and Regulations for Electric Service, <http://www.southerncompany.com/gapower/pricing/gpc-pdf/section-a.pdf>

項目	調査国・調査先			
	英国 ¹²	ドイツ ¹³	米国	
			サザンカリフォルニア・エジソン社	ジョージア・パワー社
接地方式	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特別高圧：中性点抵抗接地方式 ・ 高圧：非接地方式, PME(Protective Multiple Earthing)/ PNB(Protection Neutral Bonding) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 中圧：消弧リアクトル接地方式(標準的) ・ 低圧：直接接地方式 	¹⁶ <ul style="list-style-type: none"> ・ 副送電：所内接地(通常3線式) ・ 配電：所内接地、3線式は野外地せず、4線式は野外地 ・ 接地方式：中性点直接接地方式(標準的)、抵抗接地方式 	¹⁶ <ul style="list-style-type: none"> ・ 中性点直接接地方式(需要家の要請に基づく抵抗接地方式もあるが極めて稀)
標準的系統構成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配電用変電所変圧器容量：16、32MVA ・ 1バンク当り引出回線数：4回線 ・ 回線の種類：殆どが放射状 ・ 回線容量：2.5～5MVA 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配電用変電所変圧器容量¹： 16、20、31.5、40MVA(稀に63、80MVA) ・ 1バンク当り引出回線数：3～20回線程度 ・ 回線の種類： 中圧(10、30kV) - 環状系統を最も利用(開閉器で放射状運用)。網状系統も一部で利用。 低圧 - 放射状(樹枝状)系統 ・ 回線容量²：10kV - 5.1～12MVA 20kV - 12.8～24MVA 1 DIN 42508 による 2 DIN VDE 0298 による 	¹⁶ <ul style="list-style-type: none"> ・ 配電用変電所変圧器容量：3、4～28、30MVA(標準は28MVA) ・ 引出回線数：1変電所当り2～15回線 1バンク当り1～6回線 ・ 回線の種類：主に放射状¹⁹ ・ 回線容量：600A(12kV架空線、継電器は700kVに設定) 	¹⁶ <ul style="list-style-type: none"> ・ 配電用変電所変圧器容量：10～50MVA ・ 1バンク当り引出回線数：1～6回線 ・ 回線容量：変電所から600A、負荷分配用に小容量の回線
(2) 自動化システム				
開閉器の種類	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動開閉器、手動開閉器 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動開閉器(一般的)、手動開閉器(配電用変電所等) 	¹⁶ <ul style="list-style-type: none"> ・ 手動開閉器(但し、全開閉所において無人化が進行中) ・ 再閉器：ガス入り、油入り 	¹⁶ <ul style="list-style-type: none"> ・ 自動開閉器(一般的)、油入り回路再閉器
配電線事故時の開閉器制御	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電源側開閉器による自動投入(完全ではない) ・ 事故点から負荷側の区間は他回線から可能な限り融通 ・ 通信設備：配電線搬送、メタルケーブル(近年は光ケーブル普及の兆し) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電源側から自動投入 ・ 下流側では融通 ・ 通信設備：配電線、光ケーブル、搬送波伝送方式(中圧以上)、無線・直流データ搬送(近距離・低速のみ) 	^{20, 21} <ul style="list-style-type: none"> ・ 遠隔制御開閉器、分岐線ヒューズ、故障表示器、回線・自動再閉器ロックアウト警報 	¹⁶ <ul style="list-style-type: none"> ・ 現場にて検出、通信機能はなし

¹⁹ 2003 General Rate Case, Transmission & Distribution, Volume 3 Capital, Chapter IV, Sec. C2 "Our Planning Programs", p.39,
[http://www3.sce.com/law/cpucproceedings.nsf/42D823A326FD50EE88256BB200752A61/\\$File/sce4v3p2.doc?OpenElement](http://www3.sce.com/law/cpucproceedings.nsf/42D823A326FD50EE88256BB200752A61/$File/sce4v3p2.doc?OpenElement)

²⁰ 2003 General Rate Case, Transmission & Distribution, Volume 2 Operation & Maintenance, Chapters I-V, Sec. D1, "Power Delivery Reliability", p. 18

²¹ 2003 General Rate Case, Transmission & Distribution, Volume 3 Capital, Chapter IV, Sec. D4a(2)

項目	調査国・調査先			
	英国 ¹²	ドイツ ¹³	米国	
			サザンカリフォルニア・エジソン社	ジョージア・パワー社
状態監視	<ul style="list-style-type: none"> 配電用変電所：送出電圧、電流（電流量による） 高圧線途中：33kV - 完全監視 11kV - 一部のみ 〔主に可動域、品質・電圧トリップ、アラーム等を監視〕 	<ul style="list-style-type: none"> 配電用変圧器：開閉器の開閉状況（表示・制御）変圧器温度、負荷設定、電流、送出電圧など 経路上：電圧（中圧線） 	²² <ul style="list-style-type: none"> 開閉所と配電運用所により電圧・VAR 補助機器を遠隔制御・監視 	¹⁶ <ul style="list-style-type: none"> 変電所にて電圧・電圧・遮断器の状態を監視 回線監視機能はなし
(3) 電圧制御				
制御機器の設置箇所・種類	<ul style="list-style-type: none"> 配電用変圧器：33kV - 自動制御、11kV - 手動制御 高圧線途中：SVR、SC（STATCOM は殆ど使用されず） 低圧線：柱上変圧器の固定タップ 	<ul style="list-style-type: none"> 配電用変圧器の電圧調整：LRT（自動） 中圧：稀に FACTS SVC、STATCOM、TCSC、SSSC 低圧：タップ 	¹⁶ <ul style="list-style-type: none"> 12、16kV 線：電圧・VAR 用の変電所キャパシタによる補助、線路のスイッチキャパシタバンクによる電圧の感知と補償 4kV 線：変電所の電圧調整器と線路のキャパシタ 低圧線(600V 未満)：需要家電圧用センサはなし(需要家からの苦情に対応) 	¹⁶ <ul style="list-style-type: none"> 殆どの回線で単相電圧調整器を設置、R+jX 線路電圧降下補償機能あり 変圧器タップ切替器による電圧調整は非一般的

²² 2003 General Rate Case, Transmission & Distribution, Volume 3 Capital, Chapter IV, Sec. D1, Overview, D4a(3), Substation Automation Project, Technical Description

1 英国に関する参照資料

1. Distribution Code and Guide to the Distribution Code of Great Britain
2. Governance of Electrical Standards
3. The Electricity Safety, Quality and Continuity Regulations
4. Engineering Recommendations
5. Long Term Development Statements
6. BS EN60076 : Power Transformers
7. BS EN60947 : Specification for low-voltage switchgear and control gear
8. BS EN50300 : Low-voltage switchgear and control gear assemblies - general requirements for low-voltage substation cable distribution boards
9. IEC 60694 : Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards
10. IEC 61634 : High voltage switchgear and controlgear - Use and handling of SF6 in high voltage switchgear and controlgear
11. EATS²³35-1 : Distribution transformers (from 16 kVA to 100 kVA)
12. EATS 41-36 : Distribution Switchgear for Service up to 36 kV (cable and overhead conductor connected)
13. EATS 41-18 : Partial discharge testing of bushings, capacitors, instrument transformers and switchgear of rated voltage 7.2kV-420kV inclusive

2 ドイツに関する参照資料

(書籍)

1. Wolfgang Kaufmann Planung öffentlicher Elektrizitätsverteilungs-Systeme (公共配電システムの計画) 1995
2. Klaus Heuck, Klaus-Dieter Dettmann Elektrische Energieversorgung (電気エネルギー供給) 1999
3. Manfred Zobel, Udo Markgraf Der Netzmeister (系統管理者教本) 2003
4. Jürgen Schlabbach Elektroenergieversorgung (電気エネルギー供給) 2003
5. Eckhard Spring Elektrische Energienetze (電気エネルギー系統) 2003
6. René Flosdorff, Günther Hilgarth Elektrische Energieverteilung (配電) 2003
7. Hans-Joachim Geist Elektroinstallation-Planung und Ausführung (電気設備、計画と施工) 1997
8. Hennig Gremmel Schaltanlagen (開閉器) 1999
9. Niemand, Sieper, Dürschner Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV (定格電圧 1 kV 以上の強電設備の設置) 2002
10. Komitee 224 Betrieb von elektrischen Anlagen (電気設備の運転) 2005
11. V.Crastan Elektrische Energieversorgung 1 (電気エネルギー供給 1) 2000
12. V.Crastan Elektrische Energieversorgung 2 (電気エネルギー供給 2) 2004
13. Hosemann Elektrische Energietechnik Band 3: Netze (電気エネルギー技術、第 3 巻『系統』) 2001
14. Friedhelm Noack Einführung in die elektrische Energietechnik (電気エネルギー技術概論) 2003

(論文、専門誌等)

1. ABB AG Ölgefüllte Große Verteilungstransformatoren (大型油入変圧器) 04.04.2000
2. envia NETZ- Richtlinie (ENVIA 社技術基準) 01.05.2005
3. ABB, AREVA, EnBW, eon Hanse, RWE, SIEMENS, Solvay www.solvay-fluor.com SF6-GIS-Technologie in der Energieverteilung "Mittelspannung" (中圧配電系統用 SF6 GIS テクノロジー)
4. ABB AG Gasisolierte Mittelspannungs-Schaltanlagen (ガス絶縁中圧開閉器) 2005
5. VDN Technische Richtlinie-Transformatorstationen am Mittelspannungsnetz (中圧系統変電所技術要件) Juni 2003
6. DVG Deutsche Verbundgesellschaft E.V. Gridcode 2000-Netz- und Systemregeln der deutschen Übergangsnetzbetreiber (グリッド・コード 2000) 20.April 2000
7. Dipl.-Ing. Rüdiger Winkler VDEW e.V. Ausblick auf den DistributionCode (ディストリビューション・コードの展望) 13.-14. Juni 2000
8. Gieseler Elektrische Energietechnik (電力エネルギー供給) 11.02.2005
9. Prof.Dr.-Ing.E.Sauer (Universität Essen) Allgemeine Technologie-Energieumsatz (エネルギー変換技術概要) WS 2002/2003

第2章 規制、基準等の動向調査

2.1 電力品質

これまで電気事業者は、電力品質を向上させるべくたゆまぬ努力を積み重ねてきた。しかし、近年の電気事業を取り巻く様々な環境の変化により、電力品質に与える影響が懸念されている。本実証研究も、分散型電源の大量導入における電力品質の維持(主に適正電圧の維持)を目標とした実証研究であり、配電系統における電力品質の規制、基準等の動向を調査することは実証研究の評価などに資するものと考えられる。

電力品質とは、供給される電力の様々なパラメータの変化の幅であり、一般には法令や規格、電力会社の自主管理値などで規定されたある幅に収まるように努力されている。

本調査においては、電力品質の中で実証研究に関連する下記項目について調査を行った。

- ・ 標準電圧
- ・ 常時電圧変動
- ・ フリッカ
- ・ ディップ(スウェル)
- ・ 電圧不平衡
- ・ 周波数変動
- ・ 高調波

また、調査対象として、先進諸国の主要な規格を網羅する目的で国際規格、地域規格(欧州)、英国、ドイツ、米国、日本を選定した。

なお、調査結果は平成17年度末時点でのものであるため、随時最新版を参照することが必要である。

2.1.1 国際規格

(1) 電力品質規格概要

電力品質に関する国際規格としては、国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission：IEC¹）において、電磁両立性（Electro Magnetic Compatibility：EMC）規格の一部として取り扱われている。EMC は電場もしくは磁場の存在によって電磁誘導や静電誘導などにより「影響を及ぼす側」と「影響を受ける側」があり、両者が問題なく存在できる状態を「両立性レベル」と一般に定義されている。

IEC の 61000 シリーズと呼ばれる規格においては、両立性レベルの観点からの電力品質を規格付けている。61000 シリーズは下記の規定を持つ。

IEC61000-1：一般事項（基本的な用語の定義など）

IEC61000-2：環境（電磁環境の説明、両立性レベルなど）

IEC61000-3：限度値（各事象のエミッションレベル、イミュニティレベルなど）

IEC61000-4：試験及び測定（各事象の試験方法、測定方法など）

IEC61000-5：導入対策ガイド（各事象の対策方法やデバイスなど）

IEC61000-6：共通規格

等があり、特に

IEC61000-2-2：公共低電圧電源系統における低周波伝導妨害、及び信号発生
の両立性レベル

IEC61000-2-8：統計的測定結果を含む公共電源系統の電圧ディップ、及び短時間停電

IEC61000-4-11：試験及び測定技術 - 電圧ディップ、停電及び電圧変動イミュニティ試験

IEC61000-4-30：試験及び測定技術 - 電力品質測定方法

において各種定義がなされている。

なお、機器のイミュニティについては各規格群の他、EU 指令（89/336/EEC：EMC 指令）により適合機器への CE マークの表示に関する指令が存在する。

¹ <http://www.iec.ch/>

(2) 各電力品質規格の概要

項目	小項目	規定組織
電圧	標準電圧	IEC
定義		
IEC60038 (2002)		
「IEC 標準電圧」		
・標準電圧について、下記が示されている。		
三相 4 線または 3 線		
定格[V]		
50Hz	60Hz	
230/400 ¹	120/208	
400/690	240	
1,000	277/480	
	480	
	347/600	
	600	
<p>1：注において、220/380V と 240/415V のシステムは 230/400V に可能な限りすみやかに、2003 年までに発展させるべきであるとしている。また、切替時においては、220/380V は 230/400V (+6%、-10%)、240/415V は 230/400V (+10%、-6%) とし、最終的には 230/400V (±10%) にするようにとの記載がある。</p>		

項目	小項目	規定組織
電圧	常時電圧変動	IEC
定義		
IEC60038 (2002) 「IEC 標準電圧」		
通常のシステム状態で供給地点における供給電圧の変動幅		
測定方法		
IEC61000-4-30 (2003) 「電磁両立性 (EMC) - 第 4 部 : 試験及び測定技術 - 電力品質測定方法」		
<ul style="list-style-type: none"> ・基本計測周期 : 50Hz の場合 10 サイクル、60Hz の場合 12 サイクル ・データ処理の周期については、次の 3 種類が示されている。 <ul style="list-style-type: none"> 3 秒周期 : 50Hz の場合 150 サイクル、60Hz の場合 180 サイクル 10 分周期 : 基本計測周期で測定したデータを 10 分間収集 2 時間周期 : 12 個の 10 分間周期 ・測定精度 : 公称電圧の $\pm 0.1\%$ ・また、添付文書には電力品質の契約に関する測定のガイドラインが示されており、下記の測定が推奨されている。 <ul style="list-style-type: none"> ・測定期間 : 1 週間以上 ・評価方法 : 上下限界を逸脱したデータ数または百分率を係数するか、最悪値と所定の上下限界の比較、1%値と下限値の比較、95%値と上限値の比較、連続して所定の上下限界を超えるデータ数の計測など 		
限度値 (計画レベル)		
IEC60038 (2002) 「IEC 標準電圧」		
<ul style="list-style-type: none"> ・常時の供給電圧の変動について、通常のシステムの状態においては、供給点における電圧が定格電圧の $\pm 10\%$ を超えないようにすることが推奨されている。 ・なお、注において、220/380V と 240/415V のシステムは 230/400V に可能な限りすみやかに、2003 年までに発展させるべきであるとしている。また、切替時においては、220/380V は 230/400V (+6%、-10%)、240/415V は 230/400V (+10%、-6%) とし、最終的には 230/400V ($\pm 10\%$) にするようにとの記載がある。 		

項目	小項目	規定組織
電圧	フリッカ	IEC
定義		
IEC61000-2-1 (1990) 「電磁両立性 (EMC) - 第 2 部 : 環境 - 第 1 部 : 環境の概要 - 一般電源における低周波伝導妨害、及び信号発生 of 電磁環境」		
電圧中に含まれる周期的変化、またはその大きさが IEC60038 (標準電圧) に記載の運転電圧変化の範囲 (±10%) を通常超えない一連の不規則な電圧変化		
測定方法		
IEC61000-4-30 (2003) 「電磁両立性 (EMC) - 第 4 部 : 試験及び測定技術 - 電力品質測定方法」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 基本計測周期 : 50Hz の場合 10 サイクル、60Hz の場合 12 サイクル ・ データ処理の周期については、次の 3 種類が示されている。 <ul style="list-style-type: none"> 3 秒周期 : 50Hz の場合 150 サイクル、60Hz の場合 180 サイクル 10 分周期 : 基本計測周期で測定したデータを 10 分間収集 2 時間周期 : 12 個の 10 分間周期 ・ 測定精度 : 公称電圧の ±0.1% ・ また、添付文書には電力品質の契約に関する測定のガイドラインが示されており、下記の測定が推奨されている。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 測定期間 : 1 週間以上 ・ 評価方法 : 10 分間 Pst と 2 時間の Plt による評価。フリッカの数の計数、一週間における Pst の 99%信頼区間での評価、または一週間における Plt の 95%信頼区間での評価 		
IEC61000-4-15 (1997) 「電磁両立性 (EMC) - 第 4 部 : 試験及び測定技術 - 第 15 章 : フリッカメータ - 機能及び設計仕様」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ フリッカ測定装置の仕様が規定されている。 		
両立性レベル		
IEC61000-2-2 (1990) 「電磁両立性 (EMC) - 第 2-2 部 : 環境 - 第 2 章 : 公共低電圧電源系統における低周波伝導妨害、及び信号発生 of 両立性レベル」		
<p>低圧 (公称電圧が単相 240V または三相 415V までの低電圧系統) が対象だが、IEC61000-2-4 低・中圧が対象の「電磁両立性 (EMC) - 第 2-4 部 : 環境 - 産業プラントにおける低周波伝導妨害の両立性」において、中圧の規定がないため、一般電力系統の PCC における両立性レベルの規定は、IEC61000-2-2 の低圧電力系統の両立性レベルと同じとみなされる</p>		

とある。

- ・現時点では方形波電圧を使い繰返し率を変化させて両立性レベルを示すことができるとし、表を提示。フリッカを引き起こす電圧変動の標準的な限度値として、公称電圧の 3% が示されているが、最高約 8%の段階的電圧変化の発生の可能性にも触れている。
- ・また、負荷時タップ切換装置の作動までの数十秒間は標準的な動作許容範囲を逸脱した電圧になる可能性が記載されている。
- ・フリッカの両立性レベルについては、IEC61000-3-7 (1996) に低圧・中圧系統を対象として次の両立性レベルが示されている。

短期フリッカ強度：Pst (10 分の計測値)

長期フリッカ強度：Plt (短期 (10 分間) の計測を 2 時間行い、下記式に当てはめた値)

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} P_{stj}^3}$$

で規定され、下記が両立性レベルとして示されている。

	両立性レベル
Pst	1.0
Plt	0.8

限度値 (計画レベル)

IEC61000-3-7 (1996)

「電磁両立性 (EMC) - 第 3 部：限度値 - 第 7 章：MV 及び HV 電源における変動負荷の放射限度値評価 - 基本 EMC 出版物」

- ・中圧 (1 ~ 35kV) におけるフリッカの限度値として、下記の計画レベルが示されている。

	計画性レベル	
	中圧	高圧、超高压
Pst	0.9	0.8
Plt	0.7	0.6

備考

IEC におけるフリッカの規格では 230V ランプを対象にした視感度フィルタの仕様が規定されているため、日本への適用に関しては配慮が必要²³であり、2003 年 1 月に IEC SC 77A 国内委員会が「日本で採用すべき IEC フリッカメータの基本的仕様」を公表している⁴。

² 電力中央研究所，電中研報告 T99041「電圧変動評価手法の問題点と今後の課題」

³ 電力中央研究所，電中研報告 T00040「電圧変動の評価方法と限度値」

⁴ 電気協同研究会，電気協同研究第 60 巻第 2 号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」，P35

項目	小項目	規定組織
電圧	ディップ・短時間停電	IEC
定義		
IEC61000-2-1 (1990) 「電磁両立性 (EMC) - 第 2 部：環境 - 第 1 部：環境の概要 - 一般電源における低周波伝導妨害、及び信号発生 of 電磁環境」		
<ul style="list-style-type: none"> ・電圧ディップ：電力系統のある時点で電圧が突然減少し、続いて半サイクルから数秒の短時間後に電圧が回復する現象 ・短時間停電⁵：1 分以内の時間で供給電圧が消滅すること。100%の大きさの電圧ディップとみなすことができる。 		
測定方法		
IEC61000-4-30 (2003) 「電磁両立性 (EMC) - 第 4 部：試験及び測定技術 - 電力品質測定方法」		
<ul style="list-style-type: none"> ・電圧のディップとスウェルの計測は基本的に、1 サイクルの電圧実行値を半サイクル毎に計算した Urms (1/2) で測定する。 ・ディップは残存電圧 Ures またはディップ深さ (公称電圧 残存電圧、通常公称電圧の% で表現される) と継続時間の 2 つのデータで特定する。 ・継続時間は Urms (1/2) の値が規定値 (例えば公称電圧の 90%) に達した時点から、規定値 + ヒステリシスの値に回復したときまでの間の時間で表す。 ・スウェルはディップと同様。 ・残存電圧、及びスウェル電圧の測定誤差は公称電圧の 0.2% 以下 ・継続時間の測定誤差はディップまたはスウェルの開始時の誤差 (半サイクル) に終了判定時の誤差 (半サイクル) を足したもの。 ・また、添付文書には電力品質の契約に関する測定のガイドラインが示されており、下記が推奨されている。 測定期間：1 年間以上 		
両立性レベル		
IEC61000-2-2 (1990) 「電磁両立性 (EMC) - 第 2-2 部：環境 - 第 2 章：公共低電圧電源系統における低周波伝導妨害、及び信号発生 of 両立性レベル」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどの電圧低下の持続時間として、100ms-1500ms であることが記載されている。 ・また、自動再閉路装置の型式によっては十分の数秒から数十秒続く停電の状態となることが記載されている。現在、おおよその指針として、都市の個々の需要家が公称電圧の 		

⁵ 機器のイミュニティ試験に用いる規格 IEC 61000-4-11 : 2004 での定義では継続時間・電圧低下の大きさが除かれている。

10%を超えるディップが1~4回/月発生していることを示している。持続時間は60ms~3sの間であるが、障害がヒューズによって取り除かれる場合は約10msの持続時間を示している。

上記は欧州での値であることが注釈として示されている。

限度値（計画レベル）

項目	小項目	規定組織
電圧	三相不平衡	IEC
定義		
IEC61000-2-1 (1990)		
「電磁両立性 (EMC) - 第 2 部 : 環境 - 第 1 部 : 環境の概要 - 一般電源における低周波伝導妨害、及び信号発生 of 電磁環境」		
<ul style="list-style-type: none"> ・三相電圧の振幅が異なる状態、あるいはそれぞれの正規の 120° の位相関係からずれている状態、あるいはこれら両方の状態。 		
測定方法		
IEC61000-4-30 (2003)		
「電磁両立性 (EMC) - 第 4 部 : 試験及び測定技術 - 電力品質測定方法」		
<ul style="list-style-type: none"> ・基本計測周期 : 50Hz の場合 10 サイクル、60Hz の場合 12 サイクル ・基本計測周期で測定した実効値電圧を用いて、下記の計算式により三相不平衡率を算出する。 		
$u_2 = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad \text{ここで、} \quad \beta = \frac{U_{12}^4 + U_{23}^4 + U_{31}^4}{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)^2}$		
<p>U_{12} は 1 相と 2 相の間の線間電圧</p>		
<ul style="list-style-type: none"> ・データ処理の周期については、次の 3 種類が示されている。 <ul style="list-style-type: none"> 3 秒周期 : 50Hz の場合 150 サイクル、60Hz の場合 180 サイクル 10 分周期 : 基本計測周期で測定したデータを 10 分間収集 2 時間周期 : 12 個の 10 分間周期 ・また、添付文書には電力品質の契約に関する測定のガイドラインが示されており、下記が推奨されている。 <ul style="list-style-type: none"> 測定期間 : 1 週間以上 評価方法 : 10 分値または 2 時間値での計数、最悪値、一週間の 95% 信頼区間の値等 		
両立性レベル		
IEC61000-2-2 (1990)		
「電磁両立性 (EMC) - 第 2-2 部 : 環境 - 第 2 章 : 公共低電圧電源系統における低周波伝導妨害、及び信号発生 of 両立性レベル」		
<ul style="list-style-type: none"> ・低圧系統における逆相電圧不平衡の両立性レベルは 2% としている。 		
限度値 (計画レベル)		

項目	小項目	規定組織
周波数	周波数変動	IEC
定義		
IEC61000-2-1 (1990)		
「電磁両立性 (EMC) - 第 2 部 : 環境 - 第 1 部 : 環境の概要 - 一般電源における低周波伝導妨害、及び信号発生の電磁環境」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 一般供給系統の周波数は、通常の状態においては周波数変動が通常小さな帯域幅を持った公称値 (50Hz または 60Hz) であり、一般に電力会社によって公表されているとある。 		
測定方法		
IEC61000-4-30 (2003)		
「電磁両立性 (EMC) - 第 4 部 : 試験及び測定技術 - 電力品質測定方法」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 基本計測周期 : 10 秒 ・ 測定精度 : $\pm 0.01\text{Hz}$ 		
両立性レベル		
IEC61000-2-2 (1990)		
「電磁両立性 (EMC) - 第 2-2 部 : 環境 - 第 2 章 : 公共低電圧電源系統における低周波伝導妨害、及び信号発生の両立性レベル」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 最も一般的な電力系統の場合、周波数の変動は通常その公称値より $\pm 1\text{Hz}$ 以下であるとしている。 		
限度値 (計画レベル)		

項目	小項目	規定組織																																																																					
高調波	電圧	IEC																																																																					
定義																																																																							
IEC61000-2-1 (1990)																																																																							
「電磁両立性 (EMC) - 第 2 部 : 環境 - 第 1 部 : 環境の概要 - 一般電源における低周波伝導妨害、及び信号発生 of 電磁環境」																																																																							
<ul style="list-style-type: none"> ・高調波は、電気供給システムが動作するように設計されている周波数(例えば、50Hz または 60Hz)の倍数の周波数をもつ全ての正弦波の電圧、または電流であると定義されている。 ・また、総合電圧ひずみ率として、下記式が定義されている。 																																																																							
$D = \sqrt{\sum_{n=2}^N u_n^2}$																																																																							
ここで、D : 総合電圧ひずみ率、n : 高調波次数、Un : n 次高調波電圧の大きさとし、N については、実際上 40 としてよいとされている。																																																																							
測定方法																																																																							
IEC61000-4-30 (2003)																																																																							
「電磁両立性 (EMC) - 第 4 部 : 試験及び測定技術 - 電力品質測定方法」																																																																							
<ul style="list-style-type: none"> ・電圧高調波及び次数間高調波の測定には、IEC61000-4-7 : 2002 を利用することが規定されている。 																																																																							
両立性レベル																																																																							
IEC61000-2-2 (1990)																																																																							
「電磁両立性 (EMC) - 第 2-2 部 : 環境 - 第 2 章 : 公共低電圧電源システムにおける低周波伝導妨害、及び信号発生 of 両立性レベル」																																																																							
<ul style="list-style-type: none"> ・両立性レベルについて、下記が規定されている。 																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">奇数高調波 3 の非倍数</th> <th colspan="2">奇数高調波 3 の倍数</th> <th colspan="2">偶数高調波</th> </tr> <tr> <th>高調波次数 n</th> <th>高調波電圧 [%]</th> <th>高調波次数 n</th> <th>高調波電圧 [%]</th> <th>高調波次数 n</th> <th>高調波電圧 [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>6</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>5</td> <td>9</td> <td>1.5</td> <td>4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>3.5</td> <td>15</td> <td>0.3</td> <td>6</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>3</td> <td>21</td> <td>0.2</td> <td>8</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>2</td> <td>>21</td> <td>0.2</td> <td>10</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>1.5</td> <td></td> <td></td> <td>12</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>23</td> <td>1.5</td> <td></td> <td></td> <td>>12</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>1.5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>>25</td> <td>0.2+0.5*25/n</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						奇数高調波 3 の非倍数		奇数高調波 3 の倍数		偶数高調波		高調波次数 n	高調波電圧 [%]	高調波次数 n	高調波電圧 [%]	高調波次数 n	高調波電圧 [%]	5	6	3	5	2	2	7	5	9	1.5	4	1	11	3.5	15	0.3	6	0.5	13	3	21	0.2	8	0.5	17	2	>21	0.2	10	0.5	19	1.5			12	0.2	23	1.5			>12	0.2	25	1.5					>25	0.2+0.5*25/n				
奇数高調波 3 の非倍数		奇数高調波 3 の倍数		偶数高調波																																																																			
高調波次数 n	高調波電圧 [%]	高調波次数 n	高調波電圧 [%]	高調波次数 n	高調波電圧 [%]																																																																		
5	6	3	5	2	2																																																																		
7	5	9	1.5	4	1																																																																		
11	3.5	15	0.3	6	0.5																																																																		
13	3	21	0.2	8	0.5																																																																		
17	2	>21	0.2	10	0.5																																																																		
19	1.5			12	0.2																																																																		
23	1.5			>12	0.2																																																																		
25	1.5																																																																						
>25	0.2+0.5*25/n																																																																						
<ul style="list-style-type: none"> ・また、総合電圧ひずみ率の両立性レベルとして、8%が記載されている⁶。 																																																																							

⁶ これらの値については、欧州の配電電圧である 230V を踏まえたものであり、そのまま日本に適用できないと思われる。

限度値（計画レベル）

IEC61000-3-6（1996）

「電磁両立性（EMC） - 第3部：限度値 - 第6章：MV 及び HV 電源におけるひずみ負荷に対する放射限度値評価」

- ・中圧（1～35kV）の高調波電圧の計画レベルの一例として、下記が記されている。
- ・両立性レベルについて、下記が規定されている。

奇数高調波 3の非倍数		奇数高調波 3の倍数		偶数高調波	
高調波次数 n	高調波電圧 [%]	高調波次数 n	高調波電圧 [%]	高調波次数 n	高調波電圧 [%]
5	5	3	4	2	1.6
7	4	9	1.2	4	1
11	3	15	0.3	6	0.5
13	2.5	21	0.2	8	0.4
17	1.6	>21	0.2	10	0.4
19	1.2			12	0.2
23	1.2			>12	0.2
25	1.2				
>25	$0.2+0.5*25/n$				

- ・また、総合電圧ひずみ率の計画性レベルとして、8%が記されている。

2.1.2 欧州規格

(1) 電力品質規格概要

欧州における規格としては、欧州電気標準化委員会（European Committee for Electrotechnical Standardization : CENELEC⁷）が制定する EN 規格がある。EN 規格は CEN（非電気分野）と CENELEC（電気分野）との共同体制で制定されている欧州統一規格であり、欧州各国は、原則として欧州規格（EN）そのものを自国規格として採用している。

なお、CENELEC の規格において、50000～59000 までの番号が付けられた規格は CENELEC 独自開発の規格、60000～69999 までの番号の付けられた規格は IEC 規格を CENELEC 規格として履行したものである。

電力品質に関する規格では、EN50160：1999「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」が基本となっている。

(2) 各電力品質規格の概要

項目	小項目	規定組織
電圧	標準電圧	CENELEC
定義		
EN50160（1999） 「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
・電源端子で、与えられた時間におけるある計測周期における実効値		
限度値（計画レベル）		
EN50160（1999） 「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
・標準公称電圧は下記が定められている。		
低電圧（1kV 以下） ⁸		
三相 4 線式の場合：中性線 相間電圧で 230V		
三相 3 線式の場合：相間で 230V		
中電圧（1kV 以上 35kV 以下）		
・大きさは宣言電圧 U_c で示される。		

⁷ <http://www.cenelec.org/Cenelec/Homepage.htm>

⁸ 注として、2003年まではHD472S1に従って230Vと異なっても良いことが記載されている。

項目	小項目	規定組織
電圧	常時電圧変動	CENELEC
定義		
EN50160 (1999)		
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
・通常、配電系統の全負荷または一部の負荷の変動による電圧の増加または減少		
測定方法		
EN50160 (1999)		
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
・低圧、中圧共に		
基本計測周期：10 分間		
データ処理：平均実効値電圧		
測定精度：規程なし		
測定期間：1 週間		
評価方法：測定した平均実行値電圧の規程範囲からの逸脱率		
両立性レベル		
限度値（計画レベル）		
EN50160 (1999)		
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
・低圧 ⁹		
・1 週間の内、10 分間の平均実効値電圧の 95%が公称電圧 ± 10%の範囲内になければならない。（すなわち、230V の場合 207 ~ 253V）		
・全ての 10 分間平均実効電圧が公称電圧の+10%、及び-15%の範囲内になければならない ¹⁰ 。（すなわち、230V の場合 195.5 ~ 253V） ¹¹		
・中圧		
・1 週間の内、10 分間の平均実効値電圧の 95%が宣言電圧 ± 10%の範囲内になければならない。		

⁹ 注として、2003 年までは HD472S1 に従って上記と異なっても良いことが記載されている。

¹⁰ 規格には、長亘長の配電線の場合などで、この範囲を逸脱する場合は顧客が知らせるべきと書かれている。

¹¹ 参考として、1995 年の同規格では、この条項は規定されていなかった。

項目	小項目	規定組織
電圧	フリッカ	CENELEC
定義		
EN50160 (1999)		
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
<ul style="list-style-type: none"> ・下記定義がなされている。 		
フリッカ：その輝度または分光分布が時間と共に揺らぐ光の刺激により引き起こされる視覚の不安定な印象		
フリッカ重大度：短期と長期の定義がなされている。		
短期：10分間に渡って測定する (Pst)		
長期：短期 (10分間) の計測を2時間行い、下記式に当てはめた値 (Plt)		
$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$		
測定方法		
EN60868 (1993) (IEC60868 に準拠)		
「フリッカメータ 機能及び設計仕様書」		
<ul style="list-style-type: none"> ・フリッカの測定に用いられるフリッカメータについて規定されている。 		
両立性レベル		
限度値 (計画レベル)		
EN50160 (1999)		
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
<ul style="list-style-type: none"> ・値としては、通常な動作条件のもとで任意の一週間における長期フリッカ重大度が時間の95%に対して $P_{lt} \leq 1$ であることが望ましいとしている。 		

項目	小項目	規定組織
電圧	瞬時電圧変動	CENELEC
定義		
EN50160 (1999)		
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 下記定義がなされている。 ・ 急速な電圧の変動を電源電圧が公称電圧の 90%と 1%の間の値までの突然の減少 ・ 特に、公称電圧の 90%以下に至らない電圧変化は瞬時電圧変動に含めないとしている。 		
測定方法		
EN50160 (1999)		
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 測定方法について記載はないが、ディップの深さとして、最小平均実効値と宣言電圧の差という定義がされている。 		
両立性レベル		
限度値 (計画レベル)		
EN50160 (1999)		
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 頻度などについては予測できないため規定していない。ただし、一般的には年間 2~30 回から上限 1000 回程度の瞬時電圧低下が起こることがあるとしている。 		

項目	小項目	規定組織
電圧	三相不平衡	CENELEC
定義		
EN50160 (1999) 「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 下記定義がなされている。 ・ 三相方式における相電圧の実行値かまたは連続する相の間の位相角が等しくない状態 		
測定方法		
EN50160 (1999) 「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 限度値の記載から、10 分間の平均実行値を 1 週間測定することとされている。 		
両立性レベル		
限度値 (計画レベル)		
EN50160 (1999) 「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 1 週間の間、電源電圧の逆相分の 10 分間平均実行値の 95%が正相分の 0~2%の範囲内になければならないとし、単相または 2 相負荷の接続した地域では上限 3%としている。 		

項目	小項目	規定組織
周波数	周波数変動	CENELEC
定義		
EN50160 (1999)		
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 下記定義がなされている。 ・ 公称周波数：50Hz 		
測定方法		
EN50160 (1999)		
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 限度値の記載から、10秒間の平均値を1週間測定することとされている。 		
両立性レベル		
限度値 (計画レベル)		
EN50160 (1999)		
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 通常の動作状況の下で、10秒間にわたって測定された基本周波数の平均値は <ul style="list-style-type: none"> - 相互接続システムに同期接続されたシステムの場合 <ul style="list-style-type: none"> 1週間の99.5%¹²の間、50Hz ± 1% (すなわち、49.5 ~ 50.5Hz) 全ての時間において、50Hz + 4%、-6% (すなわち、47 ~ 52Hz) - 相互接続システムに同期接続されていないシステムの場合 (例えば、離島など) <ul style="list-style-type: none"> 1週間の95%の間、50Hz ± 2% (すなわち、49 ~ 51Hz) 全ての時間において、50Hz ± 15% (すなわち、42.5 ~ 57.5Hz) 		

¹² 参考まで、1995年の同規格では、95%と規定されていた。

項目	小項目	規定組織			
高調波	電圧	CENELEC			
定義					
EN50160 (1999)					
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」					
<ul style="list-style-type: none"> 電源電圧の基本周波数の整数倍に等しい周波数を持つ正弦波形電圧と定義され、基本波電圧 U_1 に対する h 次の相対振幅 u_h によって計算される総合高調波ひずみ率 (THD) が下記定義されている。 					
$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2}$					
測定方法					
EN50160 (1999)					
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」					
<ul style="list-style-type: none"> 限度値の記載から、10 分間の平均値を 1 週間測定することとされている。 					
両立性レベル					
限度値 (計画レベル)					
EN50160 (1999)					
「公共配電系統で供給される電気の電圧特性」					
<ul style="list-style-type: none"> 通常の動作状況の下で、10 分間平均実効値の 95% が、下記以下でなければならないとしている。 					
奇数高調波 3 の非倍数		奇数高調波 3 の倍数		偶数高調波	
高調波次数 h	相対電圧	高調波次数 h	相対電圧	高調波次数 h	相対電圧
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6...24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25					
<ul style="list-style-type: none"> 注として、次数 40 までの制限は慣習的なものであること、25 次以上の値は通常小さいが、予測不能なため示されないことが記載されている。 総合高調波ひずみ率 (THD) は 8% 以下が規定されている。 					

2.1.3 英国

(1) 電力品質規格概要

英国においては、電気事業の許認可に係わる要件として 1988 年までは電力供給規則 (Electricity Supply Regulations 1988) が制定されており、2002 年には上記規則は廃止され、電気安全・品質・導通規則 (Electricity Safety, Quality and Continuity Regulations 2002) に置き換えられている (1989 年電気法の 29 条、30 条(3) 項、60 条に基づく国務大臣権限による)。この規則において電力品質も法的に規定されている。

また、英国では英国規格協会 (British Standards Institution : BSI¹³) が規格を策定しており、基本的に欧州 EN 規格を自国の規格として採用している。

電力品質の規格としては、EN50160 (1999) を自国規格 BS EN50160 (2000) として採用している。

¹³ <http://www.bsi-global.com/index.xalter>

(2) 各電力品質規格の概要

項目	小項目	規定組織
電圧	標準電圧	英国
限度値（計画レベル）		
The Electricity Safety, Quality and Continuity Regulations 2002 「電気安全、品質、持続性規則 2002」		
<p>・配電事業者と供給事業者、顧客との間で特別な契約がない限り、供給する電圧は下記に定められている。</p> <p> 低圧：230V</p>		

項目	小項目	規定組織
電圧	常時電圧変動	英国
限度値（計画レベル）		
The Electricity Safety, Quality and Continuity Regulations 2002 「電気安全、品質、持続性規則 2002」		
<p>・配電事業者と供給事業者、顧客との間で特別な契約がない限り、供給する電圧の変動は下記が許容されている。</p> <p> 低圧：宣言電圧に対して+10%、-6%以内</p> <p> 低圧以上、132kV 以下：宣言電圧に対して±6%以内</p> <p> 132kV 以上：宣言電圧に対して±10%以内</p>		

項目	小項目	規定組織
電圧	周波数変動	英国
限度値（計画レベル）		
The Electricity Safety, Quality and Continuity Regulations 2002 「電気安全、品質、持続性規則 2002」		
<p>・配電事業者と供給事業者、顧客との間で特別な契約がない限り、供給する電圧の変動は下記が許容されている。</p> <p> 宣言周波数（50Hz）に対して±1%以内</p>		

2.1.4 ドイツ

(1) 電力品質規格概要

ドイツにおいては、料金表需要家向け電力供給に関する一般条件に関する規則¹⁴で電力供給品質が法的に規定されている。

また、ドイツ規格協会（Deutsches Institut für Normung：DIN15）が規格を策定している。電力品質に関しては、欧州規格を自国規格として取り入れており、DIN EN50160（2000）として採用している。

(2) 各電力品質規格の概要

項目	小項目	規定組織
電圧	標準電圧	ドイツ連邦経済省
限度値（計画レベル）		
Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Elektrizitätsversorgung von Tarifkunden 「料金表需要家向け電力供給に関する一般条件に関する規則」2002 第4条		
・電力供給事業者はそれぞれの一般料金、及び条件のもと、三相交流で約380Vまたは約220V、交流で約220Vまたは110Vを提供する。		

項目	小項目	規定組織
電圧	常時電圧変動	ドイツ連邦経済省
限度値（計画レベル）		
Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Elektrizitätsversorgung von Tarifkunden 「料金表需要家向け電力供給に関する一般条件に関する規則」2002 第4条		
・電圧及び周波数はできる限り一定に保つこと。一般に普及している消費器具は支障なく動作すること。需要家がこの要件を上回る電力品質を要求する場合には、需要家自身が使用する機器・設備が支障なく運転できる方策を講ずる責任をもつ。		

¹⁴ Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Elektrizitätsversorgung von Tarifkunden（AVBELtV、連邦経済省規則1979年、最新改正2002年）
<http://bundesrecht.juris.de/avbeltv/>

¹⁵ <http://www2.din.de/index.php>

また、参考として配電系統運用者による自主管理値の例を以下に示す。

DREWAG 社¹⁶ (ドイツ東部ドレスデン市のガス電力供給会社、2004 年度電力販売量 2717GWh)

供給電圧の規定項目 Kriterien der Versorgungsspannung	DREWAG 社の独自基準
周波数 (変動) Frequenz	50Hz ± 0.5% (49.75Hz から 50.25Hz)
供給電圧変動 Langsame Spannungsänderungen	+6%、-10% (207V から 244V)
急速電圧変動 Schnelle Spannungsänderungen	4%以下

HEW 社¹⁷ (ハンブルク電力会社、現在 Vattenfall Europe 社の一部、2004 年度電力販売量 9400 GWh)

供給電圧の規定項目 Kriterien der Versorgungsspannung	HEW 社の独自基準
周波数 (変動) Frequenz	概ね 49.9Hz から 50.1Hz の範囲で運用。電気時計への精度影響を抑えるため、平均周波数が 50Hz となるように調整。
供給電圧変動 Langsame Spannungsänderungen	低圧：-10%、+6% (= 207V から 244V)
急速電圧変動 Schnelle Spannungsänderungen	欧州規格に準拠。低圧における最大フリッカ値：0.8 (欧州規格では 1.0 以下)
短時間停電 (<3 min) Kurze Versorgungsunterbrechung	統計データ：年間 1 から 2 回、平均停電時間 1 秒以下
長時間の偶発的停電 (>3 min) Zufällige lange Versorgungsunterbrechung	統計データ：5 年に 1 回程度、90 分程度
過渡過電圧 Transiente Überspannungen	大都市のみに電力を供給するため、低圧系統は地中ケーブルとなっており、欧州規格の最大 6 kV は発生しないと考えられる。
電圧不平衡 Spannungssymmetrie	例外を含め 2%以下
高調波電圧 Oberschwingungsspannung	総合歪率 (THD) 6%以下

¹⁶ <http://www.drewag.de/>

¹⁷ <http://www.hew.de/vattenfall/>

2.1.5 米国

(1) 電力品質規格概要

連邦レベルでの電力供給品質に関する法的な規制はなく、各州の公益事業委員会などが独自に電力品質に関する規定を実施している。例として NY 州、テキサス州、及びカリフォルニア州の例を記載する。また、電力品質の規格は電気・電子分野における世界最大の学会である IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers : 電気電子学会) が専門委員会を開催して技術標準を定めている。なお、IEEE は 1963 年に AIEE (American Institute of Electrical Engineers : 米国電気学会) と IRE (Institute of Radio Engineers : 無線学会) が合併して発足した。本部はニューヨーク。世界 150 カ国に 38 万人以上の会員がいる。

また、ANSI (American National Standard Institute : アメリカ規格協会) がアメリカ国内の各種規格を承認している。

(2) 各電力品質規格の概要

項目	小項目	規定組織
電圧	常時電圧変動	ニューヨーク州 (NYPSC)
限度値 (計画レベル)		
電力供給信頼性標準変更採用令 (2004年10月12日/Case 02-E-1240, Case 02-E-0701)		
・電圧変動幅は、配電システムにおいては ANSI 規格 C84.1 に従うことが記されている ¹⁸ 。		

項目	小項目	規定組織
電圧	常時電圧変動	カリフォルニア州 (CPUC)
限度値 (計画レベル)		
配電事業者向け保護電圧低減プログラム (1976年/D.91107, 2 CPUC2d 596, 718) ¹⁹ Rule2 ²⁰		
<ul style="list-style-type: none"> ・カリフォルニアでは、下記の供給電圧が規定されている。 <ul style="list-style-type: none"> ・農業用・工業用系統：ANSI C84.1 Range A に準拠 ・住宅用・商業・業務用：ANSI C84.1 Range A より上限値が 5%低い電圧 (例：120/120-114V, 240/240-228V) 		
備考		
<ul style="list-style-type: none"> ・上記電圧の変動幅に関しては、配電電圧の上限値を低めに設定することによる使用電力量の低減を目的としたプログラムであり、住宅・商業・業務用においても上記限度値を確保できない場合は通常の ANSI C84.1 Range A (±5%) で供給する。 		

¹⁸ <http://www.dps.state.ny.us/standard.htm>

¹⁹ CPUC Conservation Voltage Reduction program instituted in 1976 for all distribution utilities (D.91107, 2 CPUC2d 596, 718) :

http://www.cpuc.ca.gov/published/comment_decision/12993-02.htm (参考)

CPUC：カリフォルニア州公益事業委員会

²⁰ サザンカリフォルニア・エジソン社：<http://www.sce.com/NR/sc3/tm2/pdf/Rule2.pdf>

パシフィック・ガス&エレクトリック社：<http://www.pge.com/tariffs/pdf/ER2.pdf>

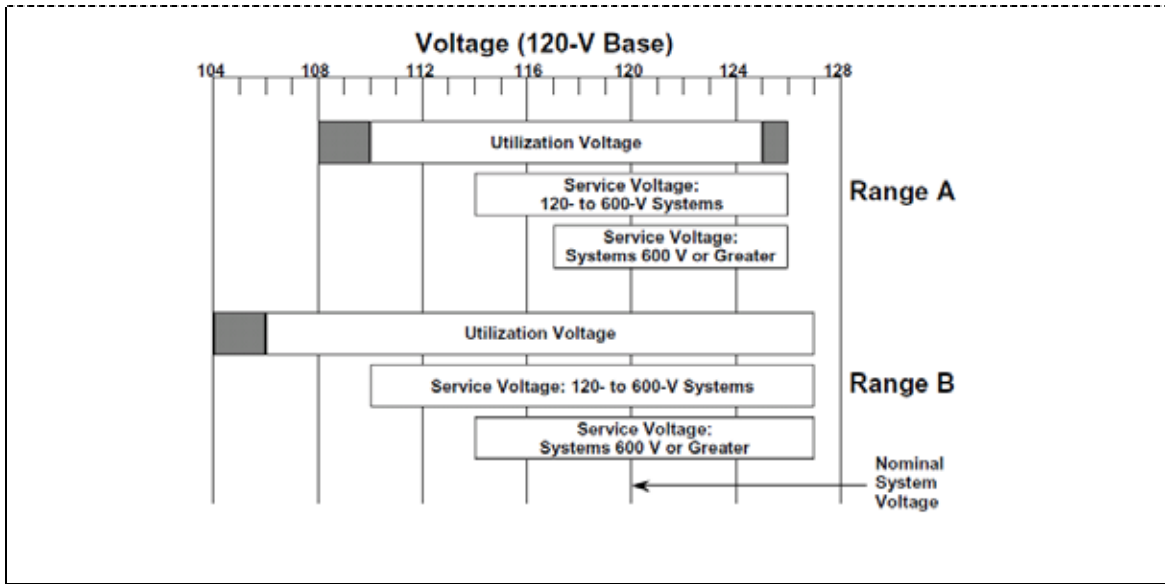
サンディエゴ・ガス&エレクトリック社：<http://www.sdge.com/tm2/pdf/ERULE2.pdf>

項目	小項目	規定組織
電圧	常時電圧変動	テキサス州
限度値（計画レベル）		
Texas Administrative Code, TITLE 16 ECONOMIC REGULATION, PART 2 PUBLIC UTILITY COMMISSION OF TEXAS, CHAPTER 25 SUBSTANTIVE RULES APPLICABLE TO ELECTRIC SERVICE PROVIDERS, SUBCHAPTER C QUALITY OF SERVICE, RULE §25.51 Power Quality		
<ul style="list-style-type: none"> ・供給電力の電圧変動幅は配電システムにおいては、ANSI 規格 C84.1 に従うこと、送電システムにおいては定格電圧の±10%に従う必要があることが記されている。 		

項目	小項目	規定組織
周波数	周波数変動	テキサス州
限度値（計画レベル）		
Texas Administrative Code, TITLE 16 ECONOMIC REGULATION, PART 2 PUBLIC UTILITY COMMISSION OF TEXAS, CHAPTER 25 SUBSTANTIVE RULES APPLICABLE TO ELECTRIC SERVICE PROVIDERS, SUBCHAPTER C QUALITY OF SERVICE, RULE §25.51 Power Quality		
<ul style="list-style-type: none"> ・供給電力の周波数は 60Hz とすること、北米信頼度協会（NERC）の定めるマニュアルに沿って運用することが定められている。 		

項目	小項目	規定組織
電圧	常時電圧変動	ANSI
定義		
ANSI C84.1 (1995) 「Electric Power Systems and Equipment - Voltage Ratings (60 Hz)」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 供給電圧の常時変動に関して、下記の定義が定められている。 <ul style="list-style-type: none"> 範囲 A - 供給電圧 <ul style="list-style-type: none"> ・ 電気供給設備は、供給電圧のほとんどが範囲 A として指定された限度内に維持されるよう設計かつ運転されるものとする。これらの限度を外れた供給電圧は稀にしか起こらないものとする。 範囲 B - 供給電圧と利用電圧 <ul style="list-style-type: none"> ・ 範囲 B には、供給設備と利用者設備の実際上の設計・運転条件に起因して必然的に生じる形で範囲 A の上下限を超える電圧が含まれる。そうした状態は実際の運転の一部ではあるが、その範囲と頻度、継続時間は制限されるものとする。そうした状態が生じた場合、合理的な時間内に是正措置を講じ、範囲 A の要件を満足するように電圧を改善するものとする。利用機器は実際に可能な限り、範囲 B の上限と下限の利用電圧において、範囲 A での良好な性能と必ずしも同等ではないながらも許容し得る性能が得られるよう設計されるものとする。 		
測定方法		
<ul style="list-style-type: none"> ・ IEEE 1159 (1995) IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality に測定についての記述があるが、具体的数値は見当たらない。 		
両立性レベル		
限度値 (計画レベル)		
ANSI C84.1 (1995) 「Electric Power Systems and Equipment - Voltage Ratings (60 Hz)」		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 上記規格においては、供給電圧の限度値として、下記範囲が示されている。 <ul style="list-style-type: none"> ・ Range A : 標準電圧 $\pm 5\%$ ・ Range B : 標準電圧 $-8.3 \sim +5.8\%$ <p>(参考) Range A と Range B の許容電圧範囲²¹</p>		

²¹ http://www.epri-peac.com/td/pdfs/pq_impact_dg.pdf



項目	小項目	規定組織
電圧	三相不平衡	ANSI
定義		
ANSI C84.1 (1995) 「Electric Power Systems and Equipment - Voltage Ratings (60 Hz)」 Annex D 「Polyphase Voltage unbalance (多相電圧不平衡)」		
<ul style="list-style-type: none"> 多相電力供給における不平衡の大きさの定義として、下記が示されている。 $\text{不平衡率(\%)} = 100 \times \frac{\text{平均電圧からの最大の変動値}}{\text{平均電圧}}$ <ul style="list-style-type: none"> 例として、相間電圧が 230V、232V、225V の場合 平均電圧：229V、最大変動値：4V として、不平衡率 = $100 \times (4/229) \approx 1.75$ [%] という計算となる。 		
測定方法		
<ul style="list-style-type: none"> IEEE 1159 (1995) IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality に測定に関する記述があるが、具体的数値は見当たらない。 		
両立性レベル		
ANSI C84.1 (1995) 「Electric Power Systems and Equipment - Voltage Ratings (60 Hz)」 Annex D 「Polyphase Voltage unbalance (多相電圧不平衡)」		
<ul style="list-style-type: none"> 参考として、モータの耐量調査を実施し、平均で 3.0%以下という値が記載されている。 		
限度値 (計画レベル)		
ANSI C84.1 (1995) 「Electric Power Systems and Equipment - Voltage Ratings (60 Hz)」 Annex D 「Polyphase Voltage unbalance (多相電圧不平衡)」		
<ul style="list-style-type: none"> 電力会社の供給電圧における三相不平衡率の実態調査の結果、98%が 0~3%の値であり、66%が 0~1.0%以下であったことを示し、電力供給システムへの推奨値として、最大 3.0%までの値で設計するべきであることが記載されている。 		

項目	小項目	規定組織
電圧	電圧変動・フリッカ	IEEE
備考		
<ul style="list-style-type: none"> ・瞬時電圧変動については、現在、IEEE1564 を策定中²² ・フリッカについては、IEEE std 1453-2004-IEEE Recommended Practice for Measurement and Limits of Voltage Fluctuations and Associated Light Flicker on AC Power Systems が策定された。内容は IEC 61000-4-15 : 1997+A1 : 2003 「電磁両立性 (EMC) - 第 4 部 : 試験及び測定技術 - 第 15 章 : フリッカメータ - 機能及び設計仕様」を採用。 ・また、SCC-22 と呼ばれる WG において、電力品質の定義に関する規格 IEEE-1433 が検討されている⁴。 		

²² <http://grouper.ieee.org/groups/sag/>

項目	小項目	規定組織												
高調波	電圧	IEEE												
定義														
IEEE 519-1992 「IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems」														
<p>・高調波に関しては、下記の定義がなされている。</p> $DF = \sqrt{\frac{\sum V_n^2}{V^2}}$ <p>ここで、DF : Distortion Factor V_n : n 次の高調波電圧の実効値 V : 基本波電圧の実効値</p>														
測定方法														
IEEE 519-1992 「IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems」9. Measurements														
<p>・各種測定方法が規定 測定誤差 : 許容値の 5%以内</p>														
両立性レベル														
限度値 (計画レベル)														
IEEE 519-1992 「IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems」11. Recommended Practice for Utilities														
<p>・供給地点 (PCC) における最大値の推奨値が下記のように規定されている。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PCC における電圧</th> <th>各次の電圧ひずみ [%]</th> <th>総合電圧高調波ひずみ THD [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>69kV 以下</td> <td>3.0</td> <td>5.0</td> </tr> <tr> <td>69.001 ~ 161kV</td> <td>1.5</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>161.001kV 以上</td> <td>1.0</td> <td>1.5</td> </tr> </tbody> </table>			PCC における電圧	各次の電圧ひずみ [%]	総合電圧高調波ひずみ THD [%]	69kV 以下	3.0	5.0	69.001 ~ 161kV	1.5	2.5	161.001kV 以上	1.0	1.5
PCC における電圧	各次の電圧ひずみ [%]	総合電圧高調波ひずみ THD [%]												
69kV 以下	3.0	5.0												
69.001 ~ 161kV	1.5	2.5												
161.001kV 以上	1.0	1.5												

2.1.6 日本

(1) 電力品質規格概要

日本における電力品質に係わる法令としては、電気事業法、電気事業法施行規則、電気設備に関する技術基準を定める省令があげられる。

なお、電気設備に関する技術基準は、電気設備に必要な機能を定めた省令であり、具体的内容を記載した「電気設備の技術基準の解釈」具体的な基準を満たしている例を記している位置付けのものであり、解釈以外の方法でも技術的根拠を示せば電気設備に関する技術基準を満足していると考えてよい。

また、法令以外の公的な規格としては日本工業規格が定める JIS があり、国際的な規格との整合を取りつつ日本に適合した規格を定めているが、供給電力の品質に対する規格は現在策定されていない。

公的な基準として扱われることが多いものとして、社団法人電気協同研究会の発行する「電気協同研究」が挙げられる。電気協同研究会は日本国内の電気に係わる電気事業者やメーカ、有識者などが会員となり電気技術の諸問題に関する調査・研究、及びその成果の提供等を行うことにより、電気設備の工事・維持・運用に関する技術の進歩、及び電気技術者の資質の向上を図り、低廉かつ安定した電気の供給及び安全かつ効率的な電気の使用に資することにより、わが国産業の発展と国民生活の向上に寄与することを目的として調査を実施し、報告書を発行している²³。

²³ <http://www.etra.or.jp/>

(2) 各電力品質規格の概要

項目	小項目	規定組織						
電圧	供給電圧・常時電圧変動	日本						
測定方法								
電気事業法施行規則第 45 条（電圧及び周波数の測定方法等）								
<p>・電圧の測定方法は、次のとおりとすることが定められている。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一 測定は、別に告示するところにより選定した測定箇所において行うこと。 二 測定は、測定箇所ごとに、毎年、供給区域または供給地点を管轄する経済産業局長（中部経済産業局電力・ガス事業北陸支局長を含む。）が指定する期間において一回、連続して二十四時間行うこと。 三 同一の発電所または変電所の引出しに係る配電線路に属する測定箇所における測定は、同一の日時において行うこと。 四 測定は、記録計器を使用して行うこと。 <p>・3 法第二十六条第三項 の経済産業省令で定める記録方法は、次のとおりとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一 電圧の測定の結果については、測定箇所ごとに次の事項を記録すること。 <ul style="list-style-type: none"> イ 標準電圧 ロ 測定箇所が属する配電線路の引出しに係る発電所または変電所の名称及び当該測定箇所に係る高圧配電線路の名称 ハ 測定年月日 ニ 測定電圧の三十分平均最大値及び三十分平均最小値並びにそれぞれの発生時 ホ 測定計器の型式及び番号 ヘ 測定者の氏名 								
限度値（計画レベル）								
電気事業法 第 26 条第 1 項（電圧及び周波数）								
<p>・「供給する電気の電圧及び周波数の値を経済産業省令で定める値に維持すること」と定められている。</p>								
電気事業法施行規則第 44 条（電圧及び周波数の値）								
<p>・供給する電圧の範囲については、下記が定められている。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>標準電圧</th> <th>維持すべき値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 ボルト</td> <td>101 ボルトの上下 6 ボルトを超えない値</td> </tr> <tr> <td>200 ボルト</td> <td>202 ボルトの上下 20 ボルトを超えない値</td> </tr> </tbody> </table>			標準電圧	維持すべき値	100 ボルト	101 ボルトの上下 6 ボルトを超えない値	200 ボルト	202 ボルトの上下 20 ボルトを超えない値
標準電圧	維持すべき値							
100 ボルト	101 ボルトの上下 6 ボルトを超えない値							
200 ボルト	202 ボルトの上下 20 ボルトを超えない値							
電気設備に関する技術基準を定める省令 第 2 条（電圧の種別等）								
<p>・交流にあっては、600V を超え、7000V 以下のものが高圧と定義されている。</p> <p>すなわち、高圧配電線において 7000V を超過した場合、特別高圧とみなされる。</p>								

項目	小項目	規定組織																								
電圧	フリッカ	電気協同研究会																								
定義																										
電協研第 20 巻第 8 号「照明フリッカ基準値調査専門委員会」																										
<p>・下記の V_{10} と呼ばれる指標でフリッカを定義している⁴。</p> <p>・ V_{10} は、変動周波数 f_n で分類されるそれぞれの電圧変動幅に対し、ちらつき視感度係数（下図参照）により各電圧変動に重み付けをし、次式により求められる。</p> $V_{10} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (n \cdot V_n)^2}$ <p>ここに、V_{10}：電圧フリッカ[V]、V_n：変動周波数 f_n の電圧変動分（実効値）[V] n：周波数 f_n における視感度係数で、ちらつきを最も感じやすい 10Hz を 1 とした場合の視感度係数（下図）</p> <div style="text-align: center;"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Hz</th> <th>ちらつき視感度係数 α_n</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.01</td><td>0.026</td></tr> <tr><td>0.05</td><td>0.055</td></tr> <tr><td>0.1</td><td>0.075</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>0.169</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.26</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>0.563</td></tr> <tr><td>5.0</td><td>0.78</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>15.0</td><td>0.845</td></tr> <tr><td>20.0</td><td>0.655</td></tr> <tr><td>30.0</td><td>0.357</td></tr> </tbody> </table> <p>正弦波状電圧変動の周波数 f_n[Hz]</p> </div>			Hz	ちらつき視感度係数 α_n	0.01	0.026	0.05	0.055	0.1	0.075	0.5	0.169	1.0	0.26	3.0	0.563	5.0	0.78	10.0	1.0	15.0	0.845	20.0	0.655	30.0	0.357
Hz	ちらつき視感度係数 α_n																									
0.01	0.026																									
0.05	0.055																									
0.1	0.075																									
0.5	0.169																									
1.0	0.26																									
3.0	0.563																									
5.0	0.78																									
10.0	1.0																									
15.0	0.845																									
20.0	0.655																									
30.0	0.357																									
測定方法																										
電協研第 60 巻第 2 号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」																										
<p>・測定データの処理方法として、電気学会技術報告（部）72 号に記載の定義を紹介している。</p> <p>測定期間：極力長期が望ましい。</p> <p>対象データ：1 時間測定値に含まれる最大から 4 番目²⁴に大きい V_{10} の値が最大のデータ</p>																										
限度値（計画レベル）																										
電協研第 20 巻第 8 号「照明フリッカ基準値調査専門委員会」																										
<p>・ V_{10} の限度値として、認識率 50% 時の値であった 0.45V が示されている。</p> <p>・電協研第 60 巻第 2 号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」には、一般的に電力会社の管理値として $V_{10} = 0.45V$ を適用するケースが多いと記載されている。</p>																										

²⁴ 4 番目最大値は、1 分間測定データで 1 時間分の正規分布 95% 値を示しているとあり、データ測定は 1 分値が用いられていることを示唆している。

項目	小項目	規定組織
電圧	ディップ	
備考		
<ul style="list-style-type: none"> ・ディップに関して、公的な基準値、管理値を規定する法令はない。 ・参考として、系統連系技術要件ガイドラインにおいて、系統連系に伴う電圧低下の規定値として、常時電圧の10%が示されており、ひとつの目安とされている。 ・また、電協研第60巻第2号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」には電力会社によっては電圧低下率10%を一つの基準としているとの記述がある。 		

項目	小項目	規定組織
電圧	三相不平衡	
備考		
<ul style="list-style-type: none"> ・三相不平衡に関して、公的な基準値、管理値を規定する法令はない。 ・参考として、電気設備に関する技術基準を定める省令55条（電圧不平衡による障害の防止）において、交流式電気鉄道への機器への障害の防止が、電技解釈第260条に具体的数値として3%という値がある。 ・また、電協研第60巻第2号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」には、一般的に日本の電力会社の管理目標値として、6.6kV配電系統では3%としているという記述がある。 		

項目	小項目	規定組織
周波数	周波数変動	日本
測定方法		
電気事業法施行規則第 45 条（電圧及び周波数の測定方法等）		
<ul style="list-style-type: none"> ・周波数の測定方法は、次のとおりとすることが定められている。 <ul style="list-style-type: none"> 一 測定は、別に告示するところにより選定した測定箇所において行うこと。 二 測定は、測定箇所ごとに、毎年、供給区域または供給地点を管轄する経済産業局長（中部経済産業局電力・ガス事業北陸支局長を含む。）が指定する期間において一回、連続して二十四時間行うこと。 三 同一の発電所または変電所の引出しに係る配電線路に属する測定箇所における測定は、同一の日時において行うこと。 四 測定は、記録計器を使用して行うこと。 ・2 法第二十六条第三項 の経済産業省令で定める周波数の測定方法は、電力系統ごとに、記録計器を使用して常時測定するものとする。 ・3 法第二十六条第三項 の経済産業省令で定める記録方法は、次のとおりとする。 <ul style="list-style-type: none"> 一 周波数の測定の結果については、電力系統ごとに次の事項を記録すること。 <ul style="list-style-type: none"> イ 標準周波数 ロ 測定周波数の日最大値及び日最小値並びに月間積算周波数偏差 ハ 測定計器の型式及び番号 ニ 測定者の氏名 三 測定の結果の記録は、三年間保存すること。 		
限度値（計画レベル）		
電気事業法 第 26 条第 1 項（電圧及び周波数）		
<ul style="list-style-type: none"> ・「供給する電気の電圧及び周波数の値を経済産業省令で定める値に維持すること」と定められている。 		
電気事業法施行規則第 44 条（電圧及び周波数の値）		
<ul style="list-style-type: none"> ・周波数については、「その者が供給する電気の標準周波数に等しい値とする」とのみ定められており、変動幅に対する規定はなされていない。 		

項目	小項目	規定組織		
周波数	周波数変動	電力会社管理値		
評価方法				
<ul style="list-style-type: none"> ・日本国内の電力会社においては、連系する系統毎（北海道、東地域、中西地域、沖縄）で異なる評価方法で目標値を定め、系統を運用している。 				
<ul style="list-style-type: none"> 北海道、東地域、沖縄：管理目標値の設定 中西地区：時間滞在率 95%の目標値の設定 				
限度値（計画レベル）				
<ul style="list-style-type: none"> ・日本国内の電力会社においては、連系する系統毎（北海道、東地域、中西地域、沖縄）で周波数維持目標を立てて系統を運用している。 				
<ul style="list-style-type: none"> ・資源エネルギー庁が調査した各電力会社における管理目標値を示す²⁵。これより、管理目標値は±0.1～±0.3Hzの間にあることがわかる。 				
参考資料				
<h3>(3) 電力会社の周波数許容偏差と管理実績</h3>				
電力会社	周波数許容偏差 (Hz)	周波数許容偏差 逸脱回数	周波数許容偏差内 時間滞在率	備考
北海道	±0.3 【管理目標値】	43回/年	—	至近3年平均
東北	±0.2 【管理目標値】	—	99.99904%	至近10年平均
東京	±0.2 【管理目標値】	—	99.99904%	〃
中部	±0.1 【目標滞在率95%】	—	98.84%	〃
北陸	±0.1 【目標滞在率95%】	—	98.84%	〃
関西	±0.1 【目標滞在率95%】	—	98.84%	〃
中国	±0.1 【目標滞在率95%】	—	98.84%	〃
四国	±0.1 【目標滞在率95%】	—	98.84%	〃
九州	±0.1 【目標滞在率95%】	—	98.84%	〃
沖縄	±0.3 【管理目標値】	118回/年	—	至近3年平均

※資源エネルギー庁調べ

²⁵ 資源エネルギー庁「風力発電の系統連系について」, H16.11.1, 規制改革・民間開放推進会議 第2回エネルギー・運輸WG

項目	小項目	規定組織																																	
高調波	電圧	電力利用基盤強化懇談会																																	
測定方法																																			
電力使用基盤強化懇談会																																			
<p>・高調波に関しては、下記が定義されている⁴。</p> $\text{第 } n \text{ 調波電圧ひずみ率}[\%] = \frac{V_n}{V} \times 100$ $\text{総合電圧ひずみ率}[\%] = \sqrt{\sum_{n \geq 2} \left(\frac{V_n}{V_1}\right)^2} \times 100$ <p>ここに、</p> <p>V_n : 第 n 調波電圧の実効値</p> <p>V : 公称電圧 (EN50160) もしくは基本波電圧の実効値 (IEC61000-4-30 (IEC61000-4-7))</p> <p>V_1 : 基本波電圧の実効値</p>																																			
限度値 (計画レベル)																																			
電力使用基盤強化懇談会																																			
<p>・「わが国の当面の高調波環境レベルは、高調波の実態や海外の考え方を参考にして、総合電圧ひずみ率で 6.6kV 配電系 5%以下、特高系 3%とすることが妥当である」とされている。</p>																																			
電協研第 46 巻第 2 号 (高調波対策専門委員会)																																			
<p>・各次数における高調波抑制目標値として、下記が示されている。</p> <p style="text-align: right;">[%]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>次数</th> <th>3</th> <th>5</th> <th>7</th> <th>11</th> <th>13</th> <th>17</th> <th>19</th> <th>23</th> <th>25 ~ 39</th> <th>総合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>配電系統</td> <td>3.0</td> <td>4.0</td> <td>3.0</td> <td>2.0</td> <td>2.0</td> <td>1.5</td> <td>1.5</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> <td>5.0</td> </tr> <tr> <td>特高系統</td> <td>2.0</td> <td>2.5</td> <td>2.0</td> <td>1.5</td> <td>1.5</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>3.0</td> </tr> </tbody> </table>			次数	3	5	7	11	13	17	19	23	25 ~ 39	総合	配電系統	3.0	4.0	3.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	5.0	特高系統	2.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	3.0
次数	3	5	7	11	13	17	19	23	25 ~ 39	総合																									
配電系統	3.0	4.0	3.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	5.0																									
特高系統	2.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	3.0																									
<p>・また、電協研第 60 巻第 2 号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」においては、電力会社の環境目標レベルとして一般的には総合電圧ひずみ率 5%としていることが多いとの記述がある。</p>																																			

2.1.7 まとめ

各国の供給電力品質に関する規制・基準・規格を調査した。なお、各国の電力品質に関する基準・規格は電力供給の実情の違いから、一概に同列で比較することは難しく、また電力品質の評価方法も異なっているため単純な比較は避けることが望ましい。

調査結果を一覧表にまとめると次頁のようになる。また、電圧変動の許容幅について下図に記す。

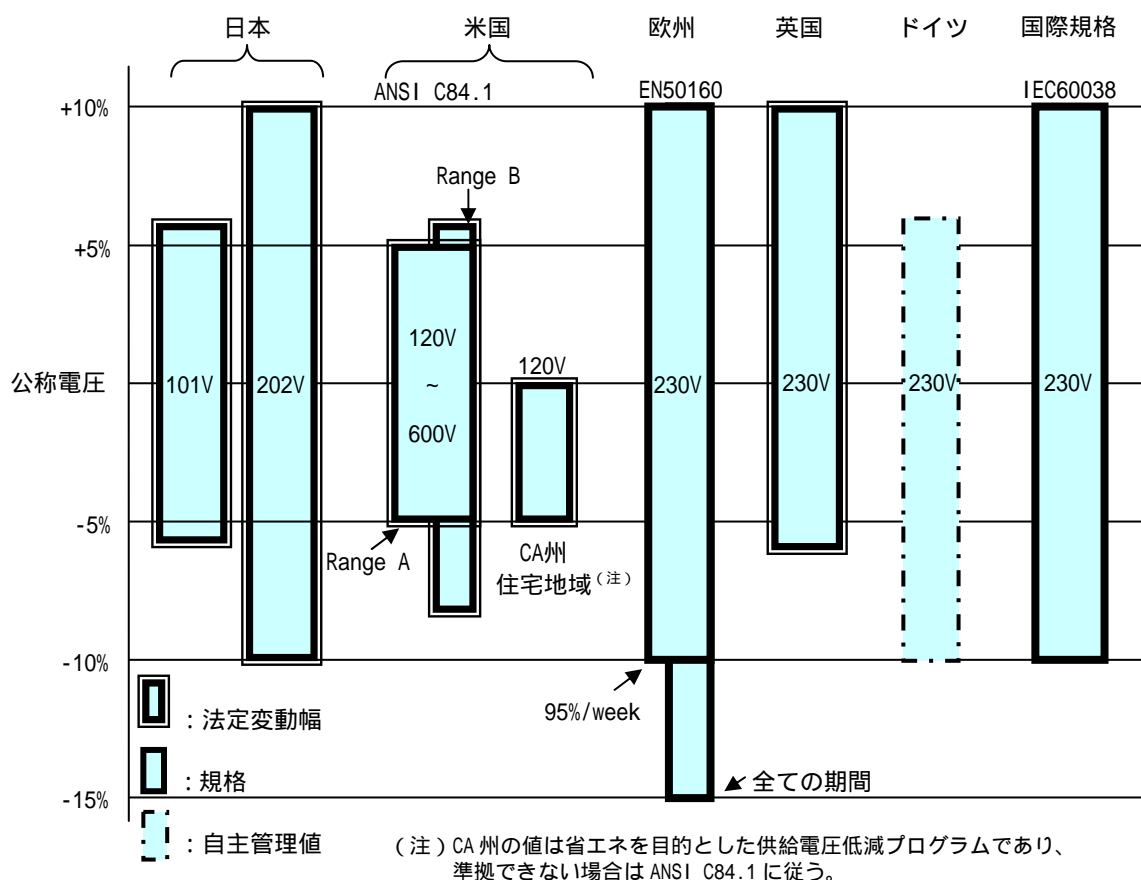


図 供給電圧の許容変動幅の国際比較

表 各国の供給電力品質規定文献調査結果一覧表

規定の種類		国際規格	欧州	英国	ドイツ		米国			日本			
		公的基準 (IEC)	公的基準 (EN)	法令	法令	自主管理値	法令	公的基準	自主管理値	法令	公的基準	自主管理値	
電 圧	低圧供給電圧	IEC60038(2002) 50Hz において、 230/400V 他	EN50160 230V	規則 2002 230V	規則 2002 220V	DREWAG 社、HEW 社 230V	(テキサス州) ANSI C84.1 に 準拠	ANSI C84.1 120/240V		電気事業法施 行規則 100V 200V	JEC0222(2002) 100V 200V		
	常時電圧変動 (低圧)	IEC60038(2002) 定格 ± 10%	EN50160 (95%/週) ± 10% (全ての時間) + 10%、-15%	規則 2002 + 10%、-6%	規則 2002 できる限り一 定に保つこと	DREWAG 社 + 6%、- 10% HEW 社 + 6%、- 10%	(ニューヨーク州) ANSI C84.1 に 準拠 (カリフォルニア州) ANSI C84.1 に 準拠 【住宅・商業用 は + 0%、- 5%】 (テキサス州) ANSI C84.1 に 準拠	ANSI C84.1 Range A ± 5% Range B + 5.8%、- 8.3%	(カリフォルニア州) Rule2 ANSI C84.1 に 準拠 【住宅・商業用 は + 0%、- 5%】	電気事業法施 行規則 101 ± 6V 202 ± 20V 電技 高圧配電線： 7000V 以下			
	(測定方法)	IEC61000-4-30 基本測定周期 50Hz：10 サイクル 60Hz：12 サイクル 評価期間 1 週間 評価手法 種々	EN50160 基本測定周期 10 分間 評価期間 1 週間 評価手法 95% 値及び全 数								電気事業法施 行規則 基本測定周期 30 分間 評価期間 24 時間 評価手法 最大値、最小 値		
	フリッカ (低圧)	IEC61000-3-7 Pst：0.9 以下 Plt：0.7 以下	EN50160 (95%/週) Plt：1 以下			HEW 社 Plt：0.8 以下		IEEE 1453 IEC61000-4-15 を採用			電協研 20-8 V10 0.45V	一般的に V10 0.45V	
	ディップ (低圧)					DREWAG 社 4%以下		IEEE P1564 を検 討中			(参考) 系統連系技術 要件ガイドライン ±10%以下	(参考) 10%としている 会社もある	
	三相不平衡 (低圧)	(参考) 2% ^{*1}	EN50160 (95%/週) 0 ~ 2%			HEW 社 2%以下		ANSI C84.1 (補 足 D) 推奨値として 3%以下			(参考) 電技解釈 交流式電気鉄 道 3%以下	一般的に 3%以下	
周波数変動			EN50160 (99.5%/週) ± 1% (全ての時間) + 4%、- 6%		規則 2002 できる限り一 定に保つこと	DREWAG 社 ± 0.5% HEW 社 ± 0.1Hz	(テキサス州) NERC オペレーティ ングマニュアル準拠	NERC オペレーティ ングマニュアル 限度値の記載 なし		電気事業法施 行規則 供給する電気 の標準周波数 に等しい値		各社基準 ± 0.1 ~ ± 0.3Hz	
高 調 波	電圧	IEC61000-3-6 THD：8%以下	EN50160 THD：8%以下			HEW 社 THD：6%以下	(テキサス州) IEEE 519-1992 に準拠	IEEE 519-1992 各次：3%以下 THD：5%以下		電力利用基盤 強化懇談会 THD：5%以下	一般的に THD：5%以下		

*1：限度値の記載が無い場合、両立性レベルを記載

2.2 分散型電源の系統連系要件

分散型電源の系統への連系に際しては、現状の電力供給システムが分散型電源の設置を前提とした設計となっていないため、供給電力の品質維持・保安確保のためには通常の負荷と異なる要件が必要となる。

分散型電源大量導入に対する対策を調査する際の背景資料として、各国における系統連系要件を調査した。

2.2.1 国際規格

(1) IEC

IEC は電気電子分野の国際規格を制定する機関である。WTO (World Trade Organization: 世界貿易機関) の TBT (Technical Barriers to Trade: 貿易に関する技術的障壁) 協定 (1995 年 1 月発効) において、経済や物流のグローバル化が進展する中での貿易の効率化・活性化のために共通の規格が重要とされ、IEC が設立された。

日本は古くから IEC に加盟しているが、近年国際競争力強化のための標準化戦略の中で、この規格策定にさらに関与すべきとされており、国内での重要性も高まっている。

IEC で実際に規格を策定するのは TC (Technical Committee: 専門委員会) である。TC の中には SC (Subcommittee: 分科委員会)、WG (Working Group: 作業グループ) その他のグループが存在し、作業を分担する場合がある。現在 TC の種類 (番号) は、途中いくつかの欠番があるが 110 ほどある。

IEC では系統連系に関する規格を策定すべく作業中である。分散型電源、及び系統連系に関連する TC には現在以下がある。

- ・ TC8: 系統連系に関する全体のコーディネート、システム
- ・ TC82: 太陽光発電
- ・ TC88: 風力発電
- ・ TC105: 燃料電池
- ・ TC57: 系統連系に関する通信

2.2.2 欧州

(1) CENELEC

CENELEC は系統連系に関する欧州規格を検討中である。検討は TC8X 委員会で行っている。現状では、欧州各国が独自の系統連系基準を設けている。欧州においては、系統連系に関する統一基準がなく、各国の円滑化の度合いもまちまちである。系統連系が円滑化している国としてはオランダがあり、分散型電源の普及に向けて系統連系問題に取り組んでいる国として英国、系統連系の円滑化が十分に進んでいない国としてフランス等が挙げられる。

IEC の規格制定作業と CENELEC の規格制定作業が重複すれば、IEC が行うことになっている。また、IEC が先に決まれば CENELEC は IEC の決定事項を優先する。IEC の規格制定が遅れれば CENELEC が作業を進めることとなっている。

2.2.3 英国

英国における分散型電源の系統連系に関連する規定に技術推奨 (Engineering Recommendation: ER) がある。この文書は、エネルギーネットワーク協会 (ENA = Energy Networks Association、英国のガス会社、送電会社、配電会社が 2003 年 10 月 1 日に設立した団体) により発行されている。技術推奨は上記団体により定められた技術基準的な意味合いに近い位置付けを持つ文書であり、法的拘束力は持たないが事実上の連系要件として配電事業者等により採用されている。

分散型電源の系統連系に関しては、文書番号 “ER G83/1” が低圧連系の小型電源 (SSEG)²⁶向け (16A/相以下) の技術推奨であり、それ以上の発電設備 (20kV 以下の系統への連系でかつ出力 5MW 以下) が対象の “ER G59/1”、5MW 以上を対象とした “ER G75” が挙げられる。以下、“ER G83/1” 及び “ER G59/1” について記載する。

(1) 小規模電源の連系 (ER G83/1)

SSEG の低圧系統への連系に関する技術推奨 ER G83/1 の特徴は、SSEG が単独か複数のユニットかにより Stage1 または Stage2 に分類している点にある。Stage1 の接続 (単独ユニット) の場合、配電網への影響が少ないとして配電事業者 (DNO) への連系通知が事後 (連系後 30 日以内) でよいという点が特徴となっている。

Stage1 (1 台のみ設置)²⁷

1 軒の顧客の設備内に 1 台のみ SSEG ユニットの設置し、それを一般低圧配電網に並列に接続する場合はたいてい、配電網の運用に与える影響は看過できるほど小さい。従って、DNO は、SSEG の接続が配電網に与える影響を、それほど詳細に検討する必要はないと考えられる。設置者は、“電気安全・品質・導通規則” に基づいて DNO に通知するのに加え、SSEG を供用開始してから 30 日以内に、必要な全ての情報を提供しなければならない。

Stage2 (複数の SSEG の設置/計画的設置)

複数の SSEG ユニットの地理的に近接しあった地域に設置する計画的な SSEG 設置プロジェクトの場合、設置者は可能な限り早期に、当該の設置プロジェクトについて地元の DNO と協議することが強く推奨される。DNO はそのようなプロジェクトが配電網に与える影響を事前に評価し、接続条件を特定する必要がある。DNO による接続条件の確認は、申請から 30 日以内に行わなければならない。Stage2 の事例としては、次のようなケースが考えられる：

- ・ 同一街路に面した住宅の改築プロジェクト
- ・ 新規の住宅開発プロジェクト

(2) 5MW 以下の分散型電源の連系 (ER G59/1)

ER G59/1 については、1985 年に第一版が発行され、1991 年に法律の改正などを取り込んで改正が行われている。

²⁶ 英国においては、低圧に連系する小型の発電装置を SSEG (Small Scale Embedded Generator) と呼んでいる。

²⁷ Ena「Engineering Recommendation G83/1」, Sep.2003

(3) 各技術推奨の概要

小規模電源向けの連系技術推奨：G83/1

連系要件	国	英国
	地域	イングランド及びウェールズ
	電力会社	-
	技術要件名	小規模発電装置（1相当あたり 16A 以下）の低圧配電システムへの連系に関する技術勧告 G83/1
対象電源	連系系統	低圧
	電源種類	SSEG（小規模連系電源全般）：本文には具体的な種類の規定はないが、Annex で CHP（コージェネレーション）、PV、燃料電池、小規模水力に関する詳細規定がある（小規模風力は検討中としている）。
	電源容量	単相 16A 以下。単相/複相 230/400V
系統品質確保	力率	遅れ・進みともに 95%以内
	常時電圧変動対策	EN61000-3-3 に準拠（標準電圧から ±4%以内）
	瞬時電圧変動対策	EN61000-3-3 に準拠（標準電圧から ±4%以内）
	高調波	EN61000-3-2 に準拠（クラス A）
系統品質・保安確保	自動負荷制限	-
	逆潮流制限	-
保安確保	短絡電流制限	SSEG からの短絡電流の最大の寄与（コントリビューション）とそれが最大になる条件を DNO に通知。寄与の計測方法を詳細に記述。
	発電設備故障検出	以下に対応する保護機器（解列装置）を設置すること。 過電圧：264V（+14.7%） 不足電圧：207V（-10%） 周波数上昇：50.5Hz（+1%） 周波数低下：47Hz（-6%）
	系統側事故検出	
	単独運転検出	

小規模電源向けの連系技術推奨：G59/1

連系要件	国	英国
	地域	イングランド及びウェールズ
	電力会社	-
	技術要件名	公共電力供給者による配電系統への系統連系発電設備の接続に関する技術推奨 G59/1
対象電源	連系系統	高圧（20kV 以下）
	電源種類	同期発電機、非同期発電機（本線励磁、力率改善、自励式）、制止型インバータ（自励式、他励式）
	電源容量	出力が 5MW を超えないもの
系統品質確保	力率	・小規模 LV 施設：保護装置の設置で十分 ・大規模 LV 施設：保護要件の設計時に力率改善装置の影響を考慮
	常時電圧変動対策	共通接合点において 1%を超えない
	瞬時電圧変動対策	同期運転時に共通接合点において 3%を超えない
	高調波	技術推奨 G5/4 に準拠
系統品質・保安確保	自動負荷制限	-
	逆潮流制限	-
保安確保	短絡電流制限	-
	発電設備故障検出	以下に対応する保護機器（解列装置）を設置すること。 過電圧：+10.0% 不足電圧：-10% 周波数上昇：+1% 周波数低下：-6%
	系統側事故検出	
単独運転検出		

2.2.4 ドイツ

ドイツでは DKE (the German Electrotechnical Commission of DIN and VDE) が電気機器関係の標準化を実施している。DKE は DIN と VDE (Verband der Elektrotechnik , Elektronik & Informationstechnik e.V) の連合組織である。DKE では、CENELEC、IEC、ETSI と連携を図りながら標準化を実施している。

系統連系及び系統運用・制御に係る標準化は、DKE の Division 2、3、4、5、9 が担当している。ただし、ドイツでは独自に系統連系規格を作成する予定はなく、IEC の規格が制定されれば、それがドイツ規格となる見通しである。

(参考：高電圧系の連系要件)

ドイツの系統連系要件の要約

連系要件	国	ドイツ																																																					
	地域	連邦レベル																																																					
	策定機関	VDN (送電系統運用者連合会)																																																					
	技術要件名	再生可能電源 (= 再生可能エネルギー法に適した電源) の高圧・特別高圧系統への連系に関するガイドライン																																																					
対象電源	連系系統	高圧及び特別高圧の送配電 (110kV、220kV、380kV)																																																					
	電源種類	再生可能エネルギー法の適用対象に含まれる発電プラント (風力発電、小型水力発電、及びバイオマス熱電併給など)																																																					
	電源容量	記述なし																																																					
系統品質保持	電圧変動	<table border="1"> <thead> <tr> <th>voltage level *)</th> <th>maximum voltage short-time operation</th> <th>U_{bmax} highest operating voltage during normal operation</th> <th>U_{bmin} lowest operating voltage during normal operation</th> <th>minimum voltage short-time operation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>380 kV</td> <td>440 kV</td> <td>420 kV</td> <td>360 kV</td> <td>350 kV</td> </tr> <tr> <td>220 kV</td> <td>253 kV</td> <td>245 kV</td> <td>210 kV</td> <td>193 kV</td> </tr> <tr> <td>110 kV</td> <td>127 kV</td> <td>123 kV</td> <td>100 kV **)</td> <td>96 kV</td> </tr> </tbody> </table> <p>*) rated voltage **) in coastal regions also 96 kV</p>				voltage level *)	maximum voltage short-time operation	U_{bmax} highest operating voltage during normal operation	U_{bmin} lowest operating voltage during normal operation	minimum voltage short-time operation	380 kV	440 kV	420 kV	360 kV	350 kV	220 kV	253 kV	245 kV	210 kV	193 kV	110 kV	127 kV	123 kV	100 kV **)	96 kV																														
	voltage level *)	maximum voltage short-time operation	U_{bmax} highest operating voltage during normal operation	U_{bmin} lowest operating voltage during normal operation	minimum voltage short-time operation																																																		
	380 kV	440 kV	420 kV	360 kV	350 kV																																																		
220 kV	253 kV	245 kV	210 kV	193 kV																																																			
110 kV	127 kV	123 kV	100 kV **)	96 kV																																																			
力率	記述なし																																																						
高調波	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Ordinal number v, μ</th> <th colspan="3">Admissible, related harmonics current $i_{v,\mu}$ admiss in A/GVA</th> </tr> <tr> <th>110 kV network</th> <th>220 kV network</th> <th>380 kV network</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>2.6</td> <td>1.3</td> <td>0.74</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>3.75</td> <td>1.9</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>2.4</td> <td>1.2</td> <td>0.68</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>1.6</td> <td>0.8</td> <td>0.46</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>0.92</td> <td>0.46</td> <td>0.26</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>0.70</td> <td>0.35</td> <td>0.20</td> </tr> <tr> <td>23</td> <td>0.6</td> <td>0.23</td> <td>0.13</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>0.32</td> <td>0.16</td> <td>0.09</td> </tr> <tr> <td>> 25 or even-numbered</td> <td>5.25/v</td> <td>2.6/v</td> <td>1.5/v</td> </tr> <tr> <td>$\mu < 40$</td> <td>5.25/μ</td> <td>2.6/μ</td> <td>1.5/μ</td> </tr> <tr> <td>$\mu > 40$ ¹⁾</td> <td>16/μ</td> <td>8/μ</td> <td>4.5/μ</td> </tr> </tbody> </table> <p>1) integral and non-integral within a range of 200 Hz</p>				Ordinal number v, μ	Admissible, related harmonics current $i_{v,\mu}$ admiss in A/GVA			110 kV network	220 kV network	380 kV network	5	2.6	1.3	0.74	7	3.75	1.9	1.1	11	2.4	1.2	0.68	13	1.6	0.8	0.46	17	0.92	0.46	0.26	19	0.70	0.35	0.20	23	0.6	0.23	0.13	25	0.32	0.16	0.09	> 25 or even-numbered	5.25/v	2.6/v	1.5/v	$\mu < 40$	5.25/ μ	2.6/ μ	1.5/ μ	$\mu > 40$ ¹⁾	16/ μ	8/ μ	4.5/ μ
Ordinal number v, μ	Admissible, related harmonics current $i_{v,\mu}$ admiss in A/GVA																																																						
	110 kV network	220 kV network	380 kV network																																																				
5	2.6	1.3	0.74																																																				
7	3.75	1.9	1.1																																																				
11	2.4	1.2	0.68																																																				
13	1.6	0.8	0.46																																																				
17	0.92	0.46	0.26																																																				
19	0.70	0.35	0.20																																																				
23	0.6	0.23	0.13																																																				
25	0.32	0.16	0.09																																																				
> 25 or even-numbered	5.25/v	2.6/v	1.5/v																																																				
$\mu < 40$	5.25/ μ	2.6/ μ	1.5/ μ																																																				
$\mu > 40$ ¹⁾	16/ μ	8/ μ	4.5/ μ																																																				
電圧フリッカ	長期フリッカ強度が 0.37 以下																																																						
保安確保	単独運転検出	47.5Hz 以下か 51.5Hz 以上になった時点で即時解列。公称電圧の 80%未満が 5 秒継続すれば解列																																																					
	再接続	記述なし																																																					
	発電設備故障検出	記述なし																																																					
	系統側故障検出	内部故障検出装置の設置																																																					

2.2.5 米国

米国における系統連系要件は、IEEE 策定の規格 IEEE1547 シリーズが技術的な規格として策定されており、事実上の標準的な要件として各州の系統連系要件の一部として組み込まれている。

(1) IEEE1547

IEEE 1547 の制定状況と概要

米国における分散電源の系統連系に関する標準は、IEEE 1547 の本体において規定されている。同標準は 2003 年 6 月に IEEE のスタンダードボードで承認され（承認のためには参加者の 90%の同意が必要）、7 月に公表された。同標準は IEEE の Web から有料で入手することができる。以下、その概略を示す。

- 1) 本標準は系統連系の技術的仕様書であり、系統連系の検査を目的としている。
- 2) 本標準では、系統連系の性能、運転、試験、安全性、維持管理の要件を提供している。その他一般要件、異常時の対処、電力品質、単独運転（意図的な単独運転）、試験仕様書をはじめ、設計、生産、設置評価、試運転、定期検査等の要件も提示されている。
- 3) 規定要件は一般に、同期機、誘導機、パワーインバータ/コンバータなども含めた、分散型電源の連系に必要とされるものである。これらの要件の基準は、PCC（Point of Common Coupling:電力系統との連系点）において総容量 10MVA 以下の全ての分散電源が通常の一次、二次ネットワーク配電システムに連系される場合に適用される。

1547 シリーズの周辺標準の検討状況

1547 シリーズの周辺標準（1547 本体を補完する標準）としては、P1547.1（系統連系装置の 1547 標準適合性試験の手順）、P1547.2（1547 標準のアプリケーション・ガイド）、P1547.3（系統連系された分散電源のモニタリング、情報交換、及び制御のガイド）があり、いずれもドラフト段階で検討中である。これらは概ね 2005 年末前後に成立するものと見込まれている。

1547 標準の本体にはキーワードのみ書かれているため、具体的な適合性試験やアプリケーション機器等の解説が必要であり、これらのガイドブックが P1547.2 と P1547.3 である。一方、P1547.3 は分散電源に関する情報（のやり取り）の標準化を目指すものである。以下、これらの概要を示す。

1) P1547.1（系統連系装置の標準適合試験手順）

P1547 をサポートする標準規格で、現在ドラフト段階。2005 年末を目途に制定される見通し（NREL ヒアリング結果）。

2) P1547.2（ドラフトアプリケーションガイド）

P1547 の単なる解説書ではなく、基準を適用する際の色々な方法や実例を提供するもので、精力的に検討されている。現在ドラフト段階。2005 年末を目途に制定される見通し（NREL ヒアリング結果）。

3) P1547.3（系統連系した分散型電源のモニタリング、情報交換、制御に関するガイドライン）

現在はドラフト段階であり、2005年の末を目途に制定される見通し（NREL ヒアリング結果）。

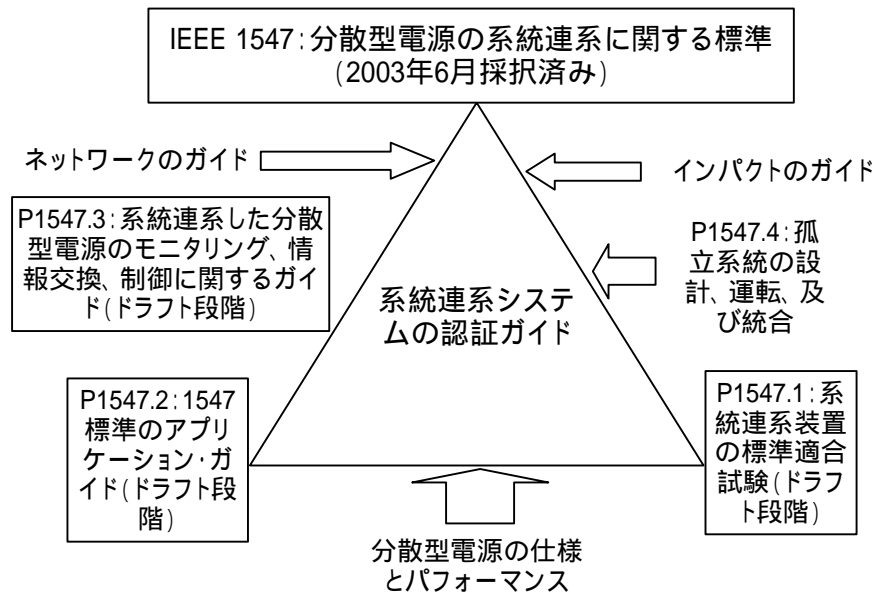


図 IEEE1547 標準シリーズの体系図

IEEE1547 の要約

連系要件	国	米国																									
	地域	連邦レベル																									
	策定機関	IEEE																									
	技術要件名	分散型リソースの電力系統への連系のためのIEEE標準																									
対象電源	連系系統	放射状の一次及び二次配電系統（スポットネットワークは含まない）																									
	電源種類	全ての分散型リソース（DR）（種類は規定せず）。分散型リソース（DR）= 大容量送電系統に直接接続していない電源及び電力貯蔵装置																									
	電源容量	連系点における集結容量が10MVA以下の分散型リソース																									
系統品質確保	力率	規定なし																									
	電圧変動	<ul style="list-style-type: none"> 標準電圧の±5%以下 DRによるPCCにおける電圧の能動的な制御不可 DRの接地方式は系統に連系している装置の定格を超える過電圧をもたらしたり、地絡Ryの強調を乱してはならない 並列装置は系統定格電圧の220%の耐圧をもつこと 																									
	フリッカ	系統の顧客へ悪影響を及ぼすフリッカを発生しないこと																									
	高調波	<p>表3に示す限度を超えてはならない</p> <p style="text-align: center;">Table 3—Maximum harmonic current distortion in percent of current (I)^a</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Individual harmonic order h (odd harmonics)^b</th> <th>h < 11</th> <th>11 ≤ h < 17</th> <th>17 ≤ h < 23</th> <th>23 ≤ h < 35</th> <th>35 ≤ h</th> <th>Total demand distortion (TDD)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Percent (%)</td> <td>4.0</td> <td>2.0</td> <td>1.5</td> <td>0.6</td> <td>0.3</td> <td>5.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>^a I = the greater of the Local EPS maximum load current integrated demand (15 or 30 minutes) without the DR unit, or the DR unit rated current capacity (transformed to the PCC when a transformer exists between the DR unit and the PCC).</p> <p>^b Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.</p>	Individual harmonic order h (odd harmonics) ^b	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	Total demand distortion (TDD)	Percent (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0											
Individual harmonic order h (odd harmonics) ^b	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	Total demand distortion (TDD)																					
Percent (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0																					
系統品質・保安確保	自動負荷制限	規定なし																									
	逆潮流制限	規定なし																									
保安確保	短絡電流制限	DRの連系により定格容量および短絡容量が超過しないこと																									
	発電設備故障検出	規定なし																									
	系統側事故検出	規定なし																									
	単独運転検出	<p>系統の電源がない場合に給電してはならない</p> <p>系統に障害が発生した場合、給電を停止すること</p> <p>表1に示す電圧になった場合、表1に示す時間内に給電を停止すること</p> <p>30kW以下のDRの場合、除去時間は固定または現地調整可</p> <p>表2に示す周波数になった場合、表2に示す時間内に給電を停止すること</p> <p>周波数が59.3～60.5Hzになるまで、再並列不可</p> <p>DRが系統の1/3未満でUPR+RPRまたは、周波数または電圧注入、または、転送遮断または、逆ゲインの調速機、AVR</p> <p style="text-align: center;">Table 1—Interconnection system response to abnormal voltages</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Voltage range (% of base voltage)^a</th> <th>Clearing time(s)^b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V < 50</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>50 ≤ V < 88</td> <td>2.00</td> </tr> <tr> <td>110 < V < 120</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>V ≥ 120</td> <td>0.16</td> </tr> </tbody> </table> <p>^aBase voltages are the nominal system voltages stated in ANSI C84.1-1995, Table 1.</p> <p>^bDR ≤ 30 kW, maximum clearing times; DR > 30kW, default clearing times.</p> <p style="text-align: center;">Table 2—Interconnection system response to abnormal frequencies</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>DR size</th> <th>Frequency range (Hz)</th> <th>Clearing time(s)^a</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">≤ 30 kW</td> <td>> 60.5</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>< 59.3</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">> 30 kW</td> <td>> 60.5</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>< {59.8 – 57.0} (adjustable set point)</td> <td>Adjustable 0.16 to 300</td> </tr> <tr> <td>< 57.0</td> <td>0.16</td> </tr> </tbody> </table> <p>^aDR ≤ 30 kW, maximum clearing times; DR > 30 kW, default clearing times.</p>	Voltage range (% of base voltage) ^a	Clearing time(s) ^b	V < 50	0.16	50 ≤ V < 88	2.00	110 < V < 120	1.00	V ≥ 120	0.16	DR size	Frequency range (Hz)	Clearing time(s) ^a	≤ 30 kW	> 60.5	0.16	< 59.3	0.16	> 30 kW	> 60.5	0.16	< {59.8 – 57.0} (adjustable set point)	Adjustable 0.16 to 300	< 57.0	0.16
	Voltage range (% of base voltage) ^a	Clearing time(s) ^b																									
V < 50	0.16																										
50 ≤ V < 88	2.00																										
110 < V < 120	1.00																										
V ≥ 120	0.16																										
DR size	Frequency range (Hz)	Clearing time(s) ^a																									
≤ 30 kW	> 60.5	0.16																									
	< 59.3	0.16																									
> 30 kW	> 60.5	0.16																									
	< {59.8 – 57.0} (adjustable set point)	Adjustable 0.16 to 300																									
	< 57.0	0.16																									
再接続	<p>再閉路を阻害してはならない</p> <p>系統の再閉路前に系統への給電を停止すること</p> <p>単独運転発生から2秒以内で系統への供給を停止すること</p>																										

(2) ニューヨーク州

ニューヨーク州の系統連系要件の要約

連系要件	国	米国
	地域	ニューヨーク州
	策定機関	ニューヨーク州公益サービス委員会
	技術要件名	電力会社の配電系統に並列連系される2MW以下の新規分散型電源のための標準的な連系要件及び申請手続き
対象電源	連系系統	電力会社の配電系統
	電源種類	新規の分散型電源、及び既存の分散型電源の変更（連系点に影響する場合）
	電源容量	公称定格出力2MW以下
系統品質確保	力率	連系点で測定された平均力率が（進み力率または遅れ力率として）0.9未満の場合、発電設備の設置に伴って必要になる力率補正機能について、電力会社との間で商業面も考慮した話し合いが行われるべき。 誘導発電機を使用する設備の場合、発電機所有者は自らの費用負担で、電力会社の系統から無効電力の供給を受けることができる。発電機所有者が連系点の自施設側に無効電力調整装置を設置しようとする場合、設置に先立って、電力会社の審査と許可が必要。
	電圧変動	（同期発電機の場合） 発電機所有者は、同期発電機の無効電力出力を適度に調整することで、基準電圧の5%までの電圧変動に耐えられるようにしなければならない。 電圧制御装置は必須であり、定常運転時の発電機の出力電圧の変動を任意の設定電圧の $\pm 1.5\%$ の範囲内に維持できなければならない。しかも出力電圧は発電機の定格電圧の $\pm 5\%$ の範囲内に留まらなければならない。
	フリッカ	電力利用者の発電設備が連系されたことで電力会社の系統に生じる電圧変動は、IEEE規格519に収録される可視的フリッカ限度曲線が示す許容範囲内に維持されなければならない。
	高調波	電気設備から生じる高調波についてはIEEE規格519に従い、共有結合点の電力会社側において、個々の高調波周波数での電圧振幅については基本周波数での電圧振幅の3%以下、電圧波形の総高調波歪みについては5%以下に抑えなければならない。
系統品質・保安確保	自動負荷制限	規定なし
	逆潮流制限	規定なし
保安確保	短絡電流制	規定なし
	発電設備故障検出	発電機は、電圧が公称値の88%から110%に留まっている間は運転を継続しなければならない。電圧がこの範囲を逸脱する場合、保護デバイスが作動し、IEEE規格1547に定められた解列処理を自動的に開始し、電力会社の系統との接続を断たなければならない。
	系統側事故検出	発電機の運転要求範囲は、周波数が59.3Hzから60.5Hzの範囲に留まっている間は運転を継続しなければならない。周波数がこの範囲を逸脱した場合には保護デバイスが作動し、IEEE規格1547に定められた解列処理を自動的に開始し、電力会社の系統との接続を断たなければならない。
	単独運転検出	系統連系される発電設備は、電力会社の配電系統において単独運転が発生しないように、設計および運用されなければならない。本書に定める各種要件は単独運転の防止を意図したものである。
	再接続	保護デバイスの作動によって発電設備が解列された後、発電機所有者の発電機は、電力会社の系統の電圧と周波数が正常に戻り、少なくとも5分間以上正常範囲内に留まったことが確認されるまでは、解列状態を維持しなければならない。インバータ式のインターフェイスを持たない15kWを超えるシステムの場合、電力会社の許可を得た場合を除いては、自動再閉路デバイスを使用してはならない。

(3) カリフォルニア州

カリフォルニア州の系統連系要件の要約

連系要件	国	米国
	地域	カリフォルニア州
	策定機関	PG&Eが策定 州の公益事業委員会が承認
	技術要件名	ルール21-発電設備の系統連系
対象電源	連系系統	PG&E社の配電系統
	電源種類	種類の規定なし
	電源容量	容量の規定なし
系統品質確保	力率	発電設備中の個々の発電装置は、進み力率0.9～遅れ力率0.9の範囲内の力率で運転できなければならない。ただし、発電設備が発生させる無効電力が施設内負荷によって消費される場合、あるいはPG&E社との規約に基づいて無効電力を提供する場合、この範囲外の力率で運転してもよい。発電設備を力率補償に利用している場合、発電責任者はPG&E社にこれを知らせなければならない。
	常時電圧変動	公称定格総出力が11kVA以下の発電設備は、PG&E社の配電系統の正常な運用中に発生しうる電圧変化に耐えて運転を継続できなければならない。公称電圧120Vの場合、運転電圧範囲は、106～132Vの範囲内で不要トリップの頻度が最小となるように設定しなければならない（公称電圧の88～110%）。共通結合点の電圧がこの許容運転電圧範囲から逸脱したときには、発電設備はPG&E社の電気回路への給電を停止しなければならない。 公称定格総出力が11kVA以下の発電設備は、PG&E社の配電系統の正常な運用中に発生しうる電圧変化に耐えて運転を継続できなければならない。公称電圧120Vの場合、運転電圧範囲は、106～132Vの範囲内で不要トリップの頻度が最小となるように設定しなければならない（公称電圧の88～110%）。共通結合点の電圧がこの許容運転電圧範囲から逸脱したときには、発電設備はPG&E社の電気回路への給電を停止しなければならない。
	瞬時電圧変動	誘導発電装置の始動電力や高速負荷変動は、PG&E社の配電系統の電圧に悪影響を及ぼすことがある。補償用スイッチドキャパシタ等による対策が必要でありうるが、それが有害な鉄共振を発生させる可能性もある。共通結合点の発電責任者側にこの種の対策（キャパシタの追加など）を導入する場合、PG&E社は当該の対策を審査する必要がある。
	フリッカ	発電設備が連系点に発生させるフリッカ（電圧変動）は、IEEE規格519「電力系統における高調波の抑制に関する推奨遵守事項と要件」に収録された「有害影響限度曲線」が示す限度を超えてはならない。
	高調波	IEEE規格519に準拠。ただし例外として、需用家の施設内に発電設備が設置されている場合、高調波歪みに関して、発電設備に適用される評価基準は、施設中の負荷に適用される評価基準に準じたものとする。
系統品質・保安確保	自動負荷制限	規定なし
	逆潮流制限	規定なし
	短絡電流制限	短絡電流寄与率（SCCR）が0.05を超える同期発電装置には自動同期機能が必須である。短絡電流寄与率が0.05を超える同期発電装置には、同期が失われた場合にそれを感知し、PG&E社の配電系統から発電装置をすぐに解列させることができる保護機能も必要である。 発電設備の短絡電流寄与率が0.1を超える場合、または偶発的単独運転への対策として以下に挙げたいずれの方法も採用していない場合、配電系統に障害（線間短絡障害または地絡障害）が発生した場合にそれを感知し、PG&E社の配電系統から発電装置をすぐに解列させる。
	発電設備故障検出	（発電設備の故障のみに対応した要件ではなく、他の要件に包含されている）
	系統側事故検出	PG&E社の配電系統の電圧が一定の規模で基準電圧値（通常120V）から逸脱した場合、発電設備の保護機能が作動して、発電装置（単数複数に拘らず）をPG&E社の配電系統から切り離さなければならない。

<p>単独運転検出</p>	<p>11kVA以下の場合、公称電圧120Vの場合、運転電圧範囲は、106～132Vの範囲内で不要トリップの頻度が最小となるように設定しなければならない(公称電圧の88～110%)。</p> <p>発電設備の公称定格総出力が11kVAを超える場合、PG&E社は運転電圧範囲を個別に指定することがあり、運転電圧範囲の設定を調整可能とするように要求することもある。そのような要求がなかった場合、発電設備は、所定の連系電圧の88～110%の範囲で運転を継続しなければならない。</p> <table border="1" data-bbox="507 452 1367 719"> <thead> <tr> <th data-bbox="507 452 938 517">共通結合点の電圧(基準電圧 120V の場合)</th> <th data-bbox="938 452 1367 517">最大トリップ時間 (系統周波数 60 サイクル/秒の場合)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="507 517 938 555">60V 未満</td> <td data-bbox="938 517 1367 555">10 サイクル</td> </tr> <tr> <td data-bbox="507 555 938 593">60V 以上 106V 未満</td> <td data-bbox="938 555 1367 593">120 サイクル</td> </tr> <tr> <td data-bbox="507 593 938 631">106V 以上 132V 以下</td> <td data-bbox="938 593 1367 631">正常運転</td> </tr> <tr> <td data-bbox="507 631 938 692">132V を超えるが 165V 以下</td> <td data-bbox="938 631 1367 692">120 サイクル (11kVA を超える発電設備では 30 サイクル)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="507 692 938 719">165V を超える</td> <td data-bbox="938 692 1367 719">6 サイクル</td> </tr> </tbody> </table> <p>公称定格総出力が11kVA以下の発電設備の場合、運転周波数範囲は59.3～60.5Hzに固定しなければならない。PG&E社の配電系統の周波数がこの範囲を逸脱した場合、発電設備はPG&E社の配電系統への電力供給を10サイクル以下の遅延時間の経過後に停止しなければならない。公称定格総出力が11kVAを超える発電設備の場合、PG&E社は、運転周波数範囲の設定を調整可能とするように求めることがある。</p>	共通結合点の電圧(基準電圧 120V の場合)	最大トリップ時間 (系統周波数 60 サイクル/秒の場合)	60V 未満	10 サイクル	60V 以上 106V 未満	120 サイクル	106V 以上 132V 以下	正常運転	132V を超えるが 165V 以下	120 サイクル (11kVA を超える発電設備では 30 サイクル)	165V を超える	6 サイクル
共通結合点の電圧(基準電圧 120V の場合)	最大トリップ時間 (系統周波数 60 サイクル/秒の場合)												
60V 未満	10 サイクル												
60V 以上 106V 未満	120 サイクル												
106V 以上 132V 以下	正常運転												
132V を超えるが 165V 以下	120 サイクル (11kVA を超える発電設備では 30 サイクル)												
165V を超える	6 サイクル												
<p>再接続</p>	<p>配電系統の電圧と周波数がPG&E社の指定する範囲内に戻って60秒以上安定するまでは発電設備が配電系統に再連系しないようにする。</p>												

(4) テキサス州

テキサス州の系統連系要件の要約

連系要件	国	米国	
	地域	テキサス州	
	技術要件名	オンサイト分散型電源の系統連系に係る技術要件のルール § 25.212	分散型電源の系統連系マニュアル
対象電源	連系系統	送電及び配電	送電及び配電
	電源種類	オンサイト分散型発電(種類の規定なし)	オンサイト分散型電源(種類の規定なし)
	電源容量	10MW 以下	10MW 以下
系統品質確保	力率	記述なし	記述なし
	常時電圧変動	公称電圧から+5.0%または-10%を超える持続的電圧偏差が 30 秒以上継続してはならない。	公称電圧に対し 90-105%
	瞬時電圧変動	公称電圧から+10%または-30%を超える持続的電圧偏差が 10 サイクル以上継続してはならない	
	高調波	IEEE519 に準拠	IEEE519 に準拠
	電圧フリッカ	IEEE519 に準拠	IEEE519 に準拠
保安確保	短絡電流制限	記述なし	記述なし
	発電設備故障検出	記述なし	記述なし
	系統側事故検出	共通連結部の回路遮断器またはその他の遮断装置は、発生する可能性のある最大故障電流を遮断できなければならない。2MW を超え、電気事業者への送出を行う設備については、定格用途に適した記載装置を使用している場合を除き、回路遮断器を余分に設置すること。	系統保護装置を設置

単独運転検出	<p>1 つ以上の位相電圧が公称電圧の-30%未満まで低下した場合、10 サイクル以内に解列。</p> <p>系統故障検出に関しては、共通連結部の回路遮断器またはその他の遮断装置は、発生する可能性のある最大故障電流を遮断できなければならない。2MW を超え、電気事業者への送出を行う設備については、定格用途に適した記載装置を使用している場合を除き、回路遮断器を余分に設置すること。</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">許容範囲</th> <th colspan="2">トリップタイミング^[2]</th> </tr> <tr> <th>公称電圧値に対する割合</th> <th>電圧値^[1]</th> <th>秒</th> <th>サイクル</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 70%</td> <td><84</td> <td>0.166</td> <td>10 (遅延)、10 (トリップ)</td> </tr> <tr> <td>70 ~ 90%</td> <td>84 ~ 108</td> <td>30.00、0.166</td> <td>1800 (遅延)、10 (トリップ)</td> </tr> <tr> <td>90 ~ 105%</td> <td>108 ~ 126</td> <td></td> <td>正常運転範囲</td> </tr> <tr> <td>105 ~ 110%</td> <td>126 ~ 132</td> <td>30.0、0.166</td> <td>1800 (遅延)、10 (トリップ)</td> </tr> <tr> <td>> 110%</td> <td>> 132</td> <td>0.166</td> <td>10 (遅延)、10 (トリップ)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>周波数 (Hz)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>< 59.3</td> <td>0.25</td> <td>15 (トリップ)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>59.3 ~ 60.5</td> <td></td> <td>正常運転範囲</td> </tr> <tr> <td></td> <td>> 60.5</td> <td>0.25</td> <td>15 (トリップ)</td> </tr> </tbody> </table>		許容範囲		トリップタイミング ^[2]		公称電圧値に対する割合	電圧値 ^[1]	秒	サイクル	< 70%	<84	0.166	10 (遅延)、10 (トリップ)	70 ~ 90%	84 ~ 108	30.00、0.166	1800 (遅延)、10 (トリップ)	90 ~ 105%	108 ~ 126		正常運転範囲	105 ~ 110%	126 ~ 132	30.0、0.166	1800 (遅延)、10 (トリップ)	> 110%	> 132	0.166	10 (遅延)、10 (トリップ)		周波数 (Hz)				< 59.3	0.25	15 (トリップ)		59.3 ~ 60.5		正常運転範囲		> 60.5	0.25	15 (トリップ)
	許容範囲		トリップタイミング ^[2]																																												
公称電圧値に対する割合	電圧値 ^[1]	秒	サイクル																																												
< 70%	<84	0.166	10 (遅延)、10 (トリップ)																																												
70 ~ 90%	84 ~ 108	30.00、0.166	1800 (遅延)、10 (トリップ)																																												
90 ~ 105%	108 ~ 126		正常運転範囲																																												
105 ~ 110%	126 ~ 132	30.0、0.166	1800 (遅延)、10 (トリップ)																																												
> 110%	> 132	0.166	10 (遅延)、10 (トリップ)																																												
	周波数 (Hz)																																														
	< 59.3	0.25	15 (トリップ)																																												
	59.3 ~ 60.5		正常運転範囲																																												
	> 60.5	0.25	15 (トリップ)																																												
再接続	<p>再接続の数値基準なし。通常状態に復帰後、系統が安定した時点で再接続。</p>	<p>通常状態に復帰後、2 分後または申請者と TDU の間で合意されたこれよりも短い時間にわたって安定状態を保った時点で再連系</p>																																													

注) [1] 電圧値：公称電圧 120V の場合の電圧値。

[2] トリップタイミングサイクル：表を完全なものとするため、州規則 § 25.212 の主旨に則った PUCT プロジェクト No. 22318 で決定された電圧異常時のトリップ時間が追記されている。

2.2.6 日本

(1) 国レベルでのガイドライン及び周辺規格

系統連系の技術的要件に関する標準的指針は、国の「系統連系技術要件ガイドライン」(昭和61年制定、その後平成7年、平成10年(10資公部第68号)に改定)に記載されている。またガイドラインの解説として、民間の技術規格である「分散型電源系統連系技術指針」(日本電気技術規格委員会：JESC Z0001(2001))がある。また、出力10kW未満の小型太陽光発電装置については、任意認証制度に基づき、(財)電気安全環境研究所が発行している「小型太陽電池発電システム系統連系保護装置等の試験方法」において、その試験内容が定められている。

分散型電源系統連系技術指針 (JESC Z0001 (2001)) の概要

JESC 規格番号	規格名	
JESC Z0001 (2001)	分散型電源系統連系技術指針 (JEAG 9701-2001)	
委員会での承認日	関係専門部会	所管団体
2001.9.18	分散型電源系統連系 専門部会	(社)日本電気協会
規格の概要		
<p>本指針は、資源エネルギー庁がまとめた「系統連系技術要件ガイドライン」の目的を踏まえ、発電設備(太陽光、風力、小型のガスタービン、燃料電池、内燃力等の発電設備)を商用電力系統に連系することを可能にするために必要となる技術的要件を明確にするとともに、その秩序ある導入と人身及び設備の安全確保並びに供給信頼度の維持に資するため、ガイドラインの内容を実務者向けにより具体的に示した民間の自主規格で、平成4年に、(社)日本電気協会の電気技術指針として制定されたものである。</p> <p>平成7年及び平成10年のこのガイドラインの改正を受け、ガイドラインとの整合を図るとともに、これまでの連系実績を踏まえ、系統連系用保護装置の構成例や電圧変動の計算例等、具体的検討にあたって参考となる内容の充実を図るため改定が行なわれたものを、新たに JESC 規格として承認した。</p>		

出所) 日本電気技術規格委員会 (http://www.jesc.gr.jp/standard/private/jesc_z0001_01.htm)

(2) 電力会社の系統連系技術要件等

各電力会社では、太陽光発電、自家発、その他新エネルギー電気（RPS法関連）からの余剰電力購入に係る系統連系については、国の系統連系技術要件ガイドラインに従うものとしているほか、風力発電との連系については自社独自の風力発電系統連系に関する発電事業者の技術要件（特高、高圧、低圧）等、PPS（特定規模電気事業者）及びその受電者との連系については、自社独自の系統連系技術要件（国の系統連系技術要件ガイドラインに沿って作成されている）、発電設備系統連系サービス要綱、接続供給約款等を定めている。

なお、系統連系技術要件は、平成16年3月末までの適用分については、接続供給約款別冊、及び振替供給約款別冊として作成されているが、電気事業法改正に伴い、平成17年4月以降の適用分については、託送供給約款別冊となる。

(3) 系統連系技術要件ガイドラインに関する検討・改訂

- ・系統連系に係る技術要件に関する検討結果について（2003年5月）

原子力安全・保安院の電力安全課は、その後の国の調査・実証試験成果等を踏まえてその一層の明確化等を図る観点から、系統連系技術要件ガイドラインの内容について検討を行い、2003年5月に報告書「系統連系に係る技術要件に関する検討結果について」を発表した。

本報告によって、ガイドラインの解釈について明確化された点は、

既に2000kWを超えて特別高圧でなく高圧で供給を受けている需要家には、一定の技術的条件が満たされれば、高圧の連系要件で対応可能

受電点設置が一般的であった短絡方向継電器を発電機近傍設置も可能

地絡事故時の保護用として地絡過電圧検出機能付き開閉器を用いることが可能

低圧連系、高圧連系における「逆潮流なし」の場合であっても、一定の条件を満たせば、「逆潮流あり」の条件で連系することが可能

等である。

- ・「電気設備の技術基準の解釈」（改正案）及び「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」（案）について（平成16年8月パブリックコメント）

経済産業省では、分散型電源を商用電力系統へ連系する際の技術的指標をまとめた「系統連系技術要件ガイドライン」（10資公部第68号）を公表してきたが、保安の観点から扱うべき事項の明確化と法令準則への反映の必要性、電気事業制度改革に伴う分散型電源導入の環境整備の必要性の増大にかんがみ、現行の「系統連系技術要件ガイドライン」について所要の整理を検討し、以下の通り整理した。

- a) 「電気設備の技術基準の解釈（改正案）」について

従来より、電気設備の保安の観点から、電気事業法第39条及び第56条に基づく「電気設備に関する技術基準を定める省令」（平成9年通商産業省令第52号、以下「電技省令」という。）においては、分散型電源の系統への連系に係る事項についても対象として含まれていたが、これまで「電気設備の技術基準の解釈」（略して「電技解釈」）には、その内容が示されていなかった。

そこで、分散型電源を系統へ連系するにあたって「電技省令」を満足する設備の一例を「電技解釈」に具体的に追記することにより、分散型電源の系統への連系に

関する電技省令の内容を明確化することとなった。

b)「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン(案)」について

電気事業制度改革の進展に伴い、多様な供給力調達手段が確保されるようになってきている。こうした中で、多様な特性を有する分散型電源についても、その導入の環境整備を図り多層的供給構造を作ることが、安定供給を支える柔軟な供給構造を作ることにつながる。このような観点から、保安以外の電力品質確保の環境整備の一環として、現行の「系統連系技術要件ガイドライン」の該当箇所に基づき、「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン(案)」が作成された。

なお、上記の文書の改正及び制定に伴い、現行「系統連系技術要件ガイドライン」(10資公部第68号)は廃止することとなった。

上記の2案はパブリックコメントにかけられ、平成16年9月下旬までに公衆の意見が集められた。この結果、平成16年10月1日より、

- ・「電気設備の技術基準の解釈」の改正
- ・従来の「系統連系技術要件ガイドライン」の廃止
- ・「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」(新通達)の制定

が実施・適用された。すなわち、旧ガイドラインのうち保安に係る部分は「電気設備の技術基準の解釈」に新たに盛り込まれ、旧ガイドラインのうち電力品質確保に係る部分は新ガイドラインに盛り込まれることとなった。

日本の系統連系技術要件ガイドライン等の要約

国		日本			
技術要件名		電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン（2004.10）、及び電気設備の技術基準の解釈（2004.10）			
連系系統		低圧（100/200V）	高圧（6.6kV）	スポットネットワーク（22kVまたは33kV）	特別高圧（7kV超）
対象電源	電源種類	一般電気事業者以外の発電設備等	同左	同左	同左
	電源容量	原則 50kW 未満	原則 2MW 未満	原則 10MW 未満	原則 10MW 未満
系統品質確保	力率	逆潮流無し：原則 85%以上（インバータ連系の場合 95%以上）、逆潮流有り：原則 85%以上（例外あり）	逆潮流無し：原則 85%以上、逆潮流有り：低圧と同様	高圧連系の逆潮流無しの場合と同様	高圧に準ずる。逆潮流有りの場合は系統の電圧を適正に維持できるように定める
	常時電圧変動	電気事業法施工規則の $101 \pm 6V$ 、 $202 \pm 20V$ に維持。逸脱のおそれがある場合は無効電力 / 出力制御	発電設備の脱落または逆潮流により、低圧需要家の電圧が適正值（ $101 \pm 6V$ 、 $202 \pm 20V$ ）を逸脱するおそれがあるときは、自動負荷制限または自動電圧調整	個別に検討。発電設備等の脱落等により系統の電圧が適正值を逸脱するおそれがある時は、発電設備等設置者において自動的に負荷を制限する対策を行う	常時電圧の $\pm 1 \sim 2\%$ 以内。逸脱のおそれがある場合は自動電圧調整
	瞬時電圧変動	並解列時の瞬低は常時電圧の 10%以内。逸脱のおそれがある場合は限流リアクトル等で対策	同左	同左	常時電圧の $\pm 2\%$ を目安。逸脱のおそれがある場合は限流リアクトル等で対策
	高調波	（高調波抑制ガイドラインによる）	同左	同左	同左
系統品質・保安確保	自動負荷制限	-	発電設備等の脱落時等に連系された配電線路等が過負荷となるおそれがあるときは、自動負荷制限対策を実施	同左	同左

国		日本			
技術要件名		電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン（2004.10）、及び電気設備の技術基準の解釈（2004.10）			
連系系統		低圧（100/200V）	高圧（6.6kV）	スポットネットワーク（22kVまたは33kV）	特別高圧（7kV超）
	逆潮流制限	-	当該発電設備等を連系する配電用変電所のバンクにおいて、常に逆潮流が生じないようにする	-	-
保安確保	短絡電流制限	逆変換装置無し の連系により、 系統の短絡容量 が発電設備等設 置者以外の者の 遮断器の遮断容 量または電線の 瞬時許容電流等 を上回るおそれ があるときは、 限流リアクトル 等の短絡電流制 限装置を設置	系統の短絡容量 が発電設備等設 置者以外の者の 遮断器の遮断容 量または電線の 瞬時許容電流等 を上回るおそれ があるときは、 限流リアクトル 等の短絡電流制 限装置を設置	同左	同左
	発電設備故障 検出	別表 22 に基づ き保護継電器等 の解列装置を設 置	別表 23 に基づ き保護継電器等 の解列装置を設 置	別表 24 に基づ き保護継電器等 の解列装置を設 置	別表 25 に基づ き保護継電器等 の解列装置を設 置
	系統側事故 検出	別表 22 に基づ き保護継電器等 の解列装置を設 置	別表 23 に基づ き保護継電器等 の解列装置を設 置	別表 24 に基づ き保護継電器等 の解列装置を設 置	別表 25 に基づ き保護継電器等 の解列装置を設 置
	単独運転検出	別表 22 に基づ き保護継電器等 の解列装置を設 置	別表 23 に基づ き保護継電器等 の解列装置を設 置	別表 24 に基づ き保護継電器等 の解列装置を設 置	単独運転可能。 適正電圧・周波 数は個別協議。 保護装置の規定 あり（ガイドラ イン）

2.2.7 まとめ

分散型電源の系統連系に際して発電事業者側の発電設備に求められる連系要件を整理した。電圧階級や接地条件、保護に関する違いなど電力設備の構成が各国で異なっているため、連系要件の比較には注意が必要であり、単純な評価はできない。

今後、国際的な連系要件の規格が制定されていくと思われるが、わが国においてもそういった動静を注意深く観察していく必要があると思われる。

本調査結果は本プロジェクトにおける各種課題の整理に活用していくこととなる。

要件項目	日 本							
	低圧連系				高圧連系			
	交流発電設備		直流発電設備+逆変換装置		交流発電設備		直流発電設備+逆変換装置	
	同期発電機	誘導発電機	自励式	他励式	同期発電機	誘導発電機	自励式	他励式
電気方式	連系する系統の電気方式と同一。ただし、容量が小さく相間の不平衡による影響が実態上問題にならない場合等は除く。							
逆潮流	無し		無し/有り		無し/有り			
力率	原則として85%以上（系統側から見て進み力率とならないようにする）。							
常時の電圧変動	低圧需要家の電圧：101±6V、202±20V				低圧需要家の電圧：101±6V、202±20V			
上記の対策			進相無効電力制御機能 出力制御機能（電圧調整） 配電線の増強		自動的に負荷を制限する対策 自動的に電圧を調整する対策 配電線の増強、専用線による連系			
瞬時の電圧変動	系統の電圧が常時電圧の10%以内				系統の電圧が常時電圧の10%以内			
上記の対策	自動同期検定装置 制動巻線付き	限流リアクトル等 同期発電機の採用	自動的に同期がとれる機 能	限流リアクトル等 配電線の増強等 自励式の採用	自動同期検定装置 制動巻線付き	限流リアクトル等 同期発電機の採用	自動的に同期がとれる機 能	限流リアクトル等 自励式の採用
	風力発電等、出力変動や頻繁な並解列による電圧変動は発電設備の設置者にて電圧変動の抑制や並解列の頻度を低減する。対応できない場合は、配電線の増強等または、専用線による連系とする				風力発電等、出力変動や頻繁な並解列による電圧変動は発電設備の設置者にて電圧変動の抑制や並解列の頻度を低減する。対応できない場合は、配電線の増強等または、専用線による連系とする			
フリッカ	上記風力発電による電圧変動に関連 分散型電源系統連系技術指針 新設発電設備で判定する場合： V10 0.23V 連系前の電圧フリッカを考慮する場合： V10 0.45V				上記風力発電による電圧変動に関連 分散型電源系統連系技術指針 新設発電設備で判定する場合： V10 0.23V 連系前の電圧フリッカを考慮する場合： V10 0.45V			
短絡容量	発電設備等の連系により、系統の短絡容量が発電設備等設置者以外の者の遮断器の遮断容量又は電線の瞬時許容電流等を上回るおそれがある場合は、発電設備等設置者において、限流リアクトル等、短絡電流を制限する装置を施設すること				発電設備等の連系により、系統の短絡容量が発電設備等設置者以外の者の遮断器の遮断容量又は電線の瞬時許容電流等を上回るおそれがある場合は、発電設備等設置者において、限流リアクトル等、短絡電流を制限する装置を施設すること			
単独運転防止	UPR+UFR+RPR+単独運転検出装置 単独運転検出装置は混触保護用（受動的方式） 単独運転検出装置で単独運転が検出できる場合はRPR省略可 発電容量が小さく上記で単独運転が検出できる場合はUPR省略可		[逆潮流有り] OFR+UFR+単独運転検出装置（受動的方式と能動的方式がそれぞれ一方式以上） [逆潮流無し] UFR+RPR+単独運転検出装置（受動的方式と能動的方式がそれぞれ一方式以上） 単独運転検出機能はUVR+UPRの組み合わせにより構成される逆充電検出機能を有する装置でも可		[逆潮流有り] OFR+UFR+（転送遮断装置又は単独運転検出装置） 単独運転検出装置は能動的方式一方式以上 誘導発電機を用いる風力設備でOFR+UFRで単独運転を高速かつ確実に検出できる場合は、（転送遮断装置又は単独運転検出装置）を省略可 [逆潮流無し] UFR+RPR 専用線でRPRにより高速で検出できる場合はUFRを省略可 構内低圧連系で、発電容量が小さく、単独運転検出装置で高速に検出できる場合は、RPRを省略可			
SV、TM								
線路無電圧確認装置 （自動再開路）	連系された電力系統の事故時の再開路時に発電設備が当該系統から解列されていること				連系された電力系統の事故時の再開路時に発電設備が当該系統から解列されていること 再開路時の事故防止のため、線路無電圧確認装置を設置する。ただし、以下の場合省略可 ・専用線連系で、発電設備者が自動再開路を必要としない場合 ・逆潮流ありで、転送遮断又は単独運転検出機能等で解列できる場合 ・逆潮流なしで、Ry、PCT、CB、制御用電源配線が二系列化され、これらが相互予備となっている場合			
高調波	総合電圧ひずみ率5%以内				総合電圧ひずみ率5%以内			
自動負荷制限・発電抑制					発電設備等の脱落時等に連系された配電線路が過負荷になる恐れがある場合は、発電設備等設置者において、自動的に自身の構内負荷を制限する対策を行うこと			

要件項目	米国	ニューヨーク州																									
		IEEE1547 IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems 2003年7月	配電系統に連系した分散型電源（2MW以下）に関する 標準化された系統連系要件及び適用プロセス New York State Standardized Interconnection Requirements and Application Process for New Distributed Generators 2 MW or Less Connected in Parallel with Utility Distribution Systems 2004年11月																								
	スポットネットワークの二次送電網は現在検討中																										
電気方式	60Hzを想定																										
逆潮流	通常電圧の±5%以下																										
力率	DRによるPCCにおける電圧の能動的な制御不可																										
常時の電圧変動	DRの設置方式は系統に連系している装置の定格を超える過電圧をもたらしたり、地絡Ryの強調を乱してはならない 並列装置は系統定格電圧の220%の耐圧をもつこと																										
上記の対策																											
瞬時の電圧変動																											
上記の対策																											
フリッカ	系統の顧客へ悪影響を及ぼすフリッカを発生しないこと																										
短絡容量	DRの連系により定格容量および短絡容量が超過しないこと																										
単独運転防止	<p>系統の電源がない場合に給電してはならない 系統に障害が発生した場合、給電を停止すること 表1に示す電圧になった場合、表1に示す時間内に給電を停止すること 30kW以下のDRの場合、除去時間は固定または現地調整可 表2に示す周波数になった場合、表2に示す時間内に給電を停止すること 周波数が59.3～60.5Hzになるまで、再並列不可 DRが系統の1/3未満でUPR+RPRまたは、周波数または電圧注入、または、転送遮断または、逆ゲインの調速機、AVR</p> <p>Table 1—Interconnection system response to abnormal voltages</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Voltage range (% of base voltage)^a</th> <th>Clearing time(s)^b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V < 50</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>50 ≤ V < 88</td> <td>2.00</td> </tr> <tr> <td>110 < V < 120</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>V ≥ 120</td> <td>0.16</td> </tr> </tbody> </table> <p>^aBase voltages are the nominal system voltages stated in ANSI C84.1-1995, Table 1. ^bDR ≤ 30 kW, maximum clearing times; DR > 30kW, default clearing times.</p> <p>Table 2—Interconnection system response to abnormal frequencies</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DR size</th> <th>Frequency range (Hz)</th> <th>Clearing time(s)^a</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">≤ 30 kW</td> <td>> 60.5</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>< 59.3</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">> 30 kW</td> <td>> 60.5</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>< {59.8 – 57.0} (adjustable set point)</td> <td>Adjustable 0.16 to 300</td> </tr> <tr> <td>< 57.0</td> <td>0.16</td> </tr> </tbody> </table> <p>^aDR ≤ 30 kW, maximum clearing times; DR > 30 kW, default clearing times.</p>	Voltage range (% of base voltage) ^a	Clearing time(s) ^b	V < 50	0.16	50 ≤ V < 88	2.00	110 < V < 120	1.00	V ≥ 120	0.16	DR size	Frequency range (Hz)	Clearing time(s) ^a	≤ 30 kW	> 60.5	0.16	< 59.3	0.16	> 30 kW	> 60.5	0.16	< {59.8 – 57.0} (adjustable set point)	Adjustable 0.16 to 300	< 57.0	0.16	IEEE1547に準拠
Voltage range (% of base voltage) ^a	Clearing time(s) ^b																										
V < 50	0.16																										
50 ≤ V < 88	2.00																										
110 < V < 120	1.00																										
V ≥ 120	0.16																										
DR size	Frequency range (Hz)	Clearing time(s) ^a																									
≤ 30 kW	> 60.5	0.16																									
	< 59.3	0.16																									
> 30 kW	> 60.5	0.16																									
	< {59.8 – 57.0} (adjustable set point)	Adjustable 0.16 to 300																									
	< 57.0	0.16																									
SV、TM	250kVA以上の場合、連系状態、P、Q、Vを監視する規定を定める																										
線路無電圧確認装置（自動再閉路）	再閉路を阻害してはならない 系統の再閉路前に系統への給電を停止すること 単独運転発生から2秒以内で系統への供給を停止すること	保護デバイスの作動によって発電設備が解列された後、発電機所有者の発電機は、電力会社の系統の電圧と周波数が正常に戻り、少なくとも5分間以上正常範囲内に留まったことが確認されるまでは、解列状態を維持しなければならない。インバータ式のインターフェイスを持たない15kWを超えるシステムの場合、電力会社の許可を得た場合を除いては、自動再閉路デバイスを使用してはならない。																									
高調波	表3に示す限度を超えてはならない	IEEE規格519に準拠																									
	<p>Table 3—Maximum harmonic current distortion in percent of current (I)^a</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Individual harmonic order h (odd harmonics)^b</th> <th>h < 11</th> <th>11 ≤ h < 17</th> <th>17 ≤ h < 23</th> <th>23 ≤ h < 35</th> <th>35 ≤ h</th> <th>Total demand distortion (TDD)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Percent (%)</td> <td>4.0</td> <td>2.0</td> <td>1.5</td> <td>0.6</td> <td>0.3</td> <td>5.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>^aI = the greater of the Local EPS maximum load current integrated demand (15 or 30 minutes) without the DR unit, or the DR unit rated current capacity (transformed to the PCC when a transformer exists between the DR unit and the PCC). ^bEven harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.</p>	Individual harmonic order h (odd harmonics) ^b	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	Total demand distortion (TDD)	Percent (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0												
Individual harmonic order h (odd harmonics) ^b	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	Total demand distortion (TDD)																					
Percent (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0																					
自動負荷制限・発電抑制																											
その他	定格出力電流最大値の0.5%を超える直流電流を供給しないこと																										

（注1）IEEE規格519は主に高調波に係わる規格を定めたものである。

要件項目	カリフォルニア州	テキサス州												
		RULE21 - 発電設備の系統連系 RULE 21 GENERATING FACILITY INTERCONNECTIONS 2002年12月	オンサイト分散型電源の系統連系に係る技術要件のルール § 25.212 Substantive Rule § 25.212 Technical Requirements for Interconnection Of On-site Distributed Generation (DG) 1999年12月											
電気方式														
逆潮流														
力率														
常時の電圧変動		公称電圧から+5.0%または-10%を超える持続的電圧偏差が30秒以上継続してはならない												
上記の対策														
瞬時の電圧変動		公称電圧から+10%または-30%を超える持続的電圧偏差が10サイクル以上継続してはならない												
上記の対策														
フリッカ	IEEE規格519に準拠	IEEE519に準拠し、電圧の3%を超えてはならない												
短絡容量	短絡電流寄与率 (SCCR) が0.05を超える同期発電装置には自動同期機能が必須である。短絡電流寄与率が0.05を超える同期発電装置には、同期が失われた場合にそれを感知し、PG&E社の配電系統から発電装置をすぐに解列させることができる保護機能も必要である。 発電設備の短絡電流寄与率が0.1を超える場合、または偶発的単独運転への対策として以下に挙げたいずれの方法も採用していない場合、配電系統に障害 (線間短絡障害または地絡障害) が発生した場合にそれを感知し、PG&E社の配電系統から発電装置をすぐに解列させる													
単独運転防止	11kVA以下の場合、公称電圧120Vの場合、運転電圧範囲は、106~132Vの範囲内で不要トリップの頻度が最小となるように設定しなければならない (公称電圧の88~110%)。 発電設備の公称定格総出力が11kVAを超える場合、PG&E社は運転電圧範囲を個別に指定することがあり、運転電圧範囲の設定を調整可能とするように要求することもある。そのような要求がなかった場合、発電設備は、所定の連系電圧の88~110%の範囲で運転を継続しなければならない。 <table border="1" data-bbox="635 1014 1590 1318"> <thead> <tr> <th>共通結合点の電圧 (基準電圧 120V の場合)</th> <th>最大トリップ時間 (系統周波数 60 サイクル / 秒の場合)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60V 未満</td> <td>10 サイクル</td> </tr> <tr> <td>60V 以上 106V 未満</td> <td>120 サイクル</td> </tr> <tr> <td>106V 以上 132V 以下</td> <td>正常運転</td> </tr> <tr> <td>132V を超えるが 165V 以下</td> <td>120 サイクル (11kVA を超える発電設備では 30 サイクル)</td> </tr> <tr> <td>165V を超える</td> <td>6 サイクル</td> </tr> </tbody> </table> 公称定格総出力が11kVA以下の発電設備の場合、運転周波数範囲は59.3~60.5Hzに固定しなければならない。PG&E社の配電系統の周波数がこの範囲を逸脱した場合、発電設備はPG&E社の配電系統への電力供給を10サイクル以下の遅延時間の経過後に停止しなければならない。公称定格総出力が11kVAを超える発電設備の場合、PG&E社は、運転周波数範囲の設定を調整可能とするように求めることがある。	共通結合点の電圧 (基準電圧 120V の場合)	最大トリップ時間 (系統周波数 60 サイクル / 秒の場合)	60V 未満	10 サイクル	60V 以上 106V 未満	120 サイクル	106V 以上 132V 以下	正常運転	132V を超えるが 165V 以下	120 サイクル (11kVA を超える発電設備では 30 サイクル)	165V を超える	6 サイクル	1つ以上の位相電圧が公称電圧の-30%未満まで低下した場合、10サイクル以内に解列 系統故障検出に関しては、共通連結部の回路遮断器またはその他の遮断装置は、発生する可能性のある最大故障電流を遮断できなければならない。2MWを超え、電気事業者への送出を行う設備については、定格用途に適した記載装置を使用している場合を除き、回路遮断器を余分に設置すること。
共通結合点の電圧 (基準電圧 120V の場合)	最大トリップ時間 (系統周波数 60 サイクル / 秒の場合)													
60V 未満	10 サイクル													
60V 以上 106V 未満	120 サイクル													
106V 以上 132V 以下	正常運転													
132V を超えるが 165V 以下	120 サイクル (11kVA を超える発電設備では 30 サイクル)													
165V を超える	6 サイクル													
線路無電圧確認装置 (自動再開路)	配電系統の電圧と周波数がPG&E社の指定する範囲内に戻って60秒以上安定するまでは発電設備が配電系統に再連系しないようにする	再接続の数値基準なし。通常状態に復帰後、系統が安定した時点で再接続												
高調波	IEEE規格519に準拠。ただし例外として、需用家の施設内に発電設備が設置されている場合、高調波歪みに関して、発電設備に適用される評価基準は、施設中の負荷に適用される評価基準に準じたものとする。	IEEE519に準拠												
自動負荷制限・発電抑制														
その他														

要件項目	英国	
	ER G83/1(2003) 低圧連系のみ 1相あたり16A以下	ER G59/1(1991) 20kV以下の系統、定格出力5MW以下の発電設備
発電機		同期発電機、誘導発電機、インバータ連系等
電気方式	単相又は複相交流	
逆潮流	有り	
力率	遅れ0.95～進み0.95	力率改善装置を使用する場合もある
常時の電圧変動		
上記の対策		PCCにおいて±1%以下 同期運転時に±3%以下
瞬時の電圧変動	EN61000-3-3に準拠(dc=4%最大) 電圧変動±4%以下	
上記の対策	フリッカPst=1.0以下、Plt=0.65以下	
フリッカ		
短絡容量	所定の計算式で計算し、DNO(電事業者)に通達	
単独運転防止	OVR 264V(230+14.7%) 1.5sec UVR 207V(230-10%) 1.5sec OFR 50.5Hz(50Hz+1%) 0.5sec UFR 47.0Hz(50Hz-6%) 0.5sec 単独運転検出 必要(能動的方法は不可) 例として周波数変化方式、ベクトルシフト方式などが記載	低圧連系 比較的小規模(<150kVAの場合) UVR 全相 -10% 0.5sec OVR 全相 +10% 0.5sec UFR 1相 -6% 0.5sec OFR 1相 +1% 0.5sec 高圧連系 OVR、UVR、OFR、UFR: 整定は送電事業者と協議 単独運転検出 必要 他、中性電圧変位、過電流、地絡、逆電力など
線路無電圧 確認装置 (自動再閉路)	連系系統の状態により、保護装置が作動した場合、 3分間以内には再閉路してはならない。	
高調波	EN61000-3-2に準拠(Aクラス) 3次2.3A、5次1.14A...	G5/3に準拠
自動負荷制限・ 発電抑制		
その他	直流分の流出が20mA以下	
(注)UFR:周波数低下継電器、OFR:周波数上昇継電器、UPR:不足電力継電器、UVR:不足電圧継電器、RPR:逆電力継電器		

2.3 配電機器・システム

新たに開発する配電機器・システムを日本国内の実システムに適用する際に要求される規制・基準・規格の調査を実施し、整理を行った。

2.3.1 規制・基準

国内の配電線路に新たに開発した配電機器を適用される際に要求される規制・基準として下記が挙げられる。

- ・電気事業法（施行規則等含む）
 - ・電気設備に関する技術基準を定める省令（以下「電技」という。）
 - ・電気設備の技術基準の解釈（以下「電技解釈」という）
 - ・その他（配電規程²⁸等）
- 以下にその調査結果を記す。

(1) 一般事項

電気事業法及び関係法令の体系を下図に示す。

電気事業法第 39 条第一項及び第 56 条第一項により、事業用電気工作物は電気設備に関する技術基準を定める省令に適合することが求められている。

電技において、第 1 章「総則」、及び第 2 章「電気の供給のための電気設備の施設」により、電気設備が満たすべき機能について規定されている。特に関係すると思われる条項の概要を次頁以降に記述する。

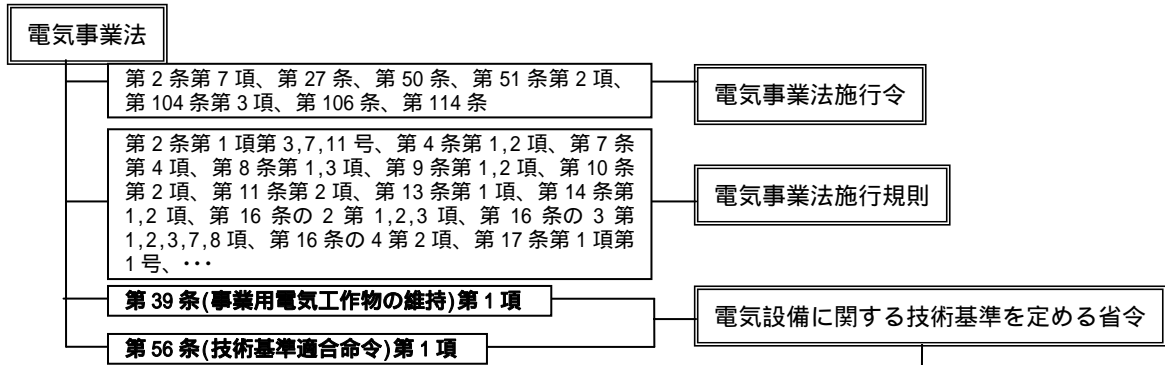
また、配電規程には下記記述があり、新規開発する機器については施設者の自己責任により設置することができる。

配電規程 第 100 節 一般事項

100 - 3 新技術・新機材等による施設

特別な理由等により、この規程に定める以外の（電気設備の技術基準の解釈（以下、「解釈」という。）に示された技術的内容によらないで）電気工作物を施設する場合は、【省令（IAE 注：電気設備に関する技術基準を定める省令）】に照らして、十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠を持って、施設者の自己責任により設置することができる。

²⁸ 配電規程は（社）日本電気協会が定めた規程であり、配電設備の設計、工事、検査、及び保守の業務に従事する人が保安上守るべき技術的事項を定めた民間規程である。日本電気技術規格委員会（JESC）により承認された規格となっている。



第1章 総則

第1節 定義(第1条、第2条)

第2節 適用除外(第3条)

第3節 保安原則：第1款 感電、火災等の防止(第4条 第11条)
 第2款 異常の予防及び保護対策(第12条 第15条)
 第3款 電氣的、磁氣的障害の防止(第16条、第17条)
 第4款 供給支障の防止(第18条)

第4節 公害等の防止(第19条)

第2章 電気の供給のための電気設備の施設

第1節 感電、火災等の防止(第20条 第27条)

第2節 他の電線、他の工作物等への危険の防止(第28条 第31条)

第3節 支持物の倒壊による危険の防止(第32条)

第4節 高圧ガス等による危険の防止(第33条 第35条)

第5節 危険な施設の禁止(第36条 第41条)

第6節 電氣的、磁氣的障害の防止(第42条、第43条)

第7節 供給支障の防止(第44条 第51条)

第8節 電気鉄道に電気を供給するための電気設備の施設(第52条 第55条)

第3章 電気使用場所の施設

第1節 感電、火災等の防止(第56条 第61条)

第2節 他の配線、他の工作物等への危険の防止(第62条)

第3節 異常時の保護対策(第63条 第66条)

第4節 電氣的、磁氣的障害の防止(第67条)

第5節 特殊場所における施設制限(第68条 第73条)

第6節 特殊機器の施設(第74条 第78条)

附則

(事業用電気工作物の維持)

第三十九条 事業用電気工作物を設置する者は、事業用電気工作物を経済産業省令で定める技術基準に適合するように維持しなければならない。

2 前項の経済産業省令は、次に掲げるところによらなければならない。

一 事業用電気工作物は、人体に危害を及ぼし、または物件に損傷を与えないようにすること。

二 事業用電気工作物は、他の電氣的設備その他の物件の機能に電氣的または磁氣的な障害を与えないようにすること。

三 事業用電気工作物の損壊により一般電気事業者の電気の供給に著しい支障を及ぼさないようにすること。

四 事業用電気工作物が一般電気事業の用に供される場合にあつては、その事業用電気工作物の損壊によりその一般電気事業に係る電気の供給に著しい支障を生じないようにすること。

(技術基準適合命令)

第五十六条 経済産業大臣は、一般用電気工作物が経済産業省令で定める技術基準に適合していないと認めるときは、その所有者または占有者に対し、その技術基準に適合するように一般用電気工作物を修理し、改造し、若しくは移転し、若しくはその使用を一時停止すべきことを命じ、またはその使用を制限することができる。

2 第三十九条第二項(第三号及び第四号を除く。)の規定は、前項の経済産業省令に準用する。

図 電気事業法令の基本体系²⁹

²⁹ 図中の太線部は特に関連が深いと思われる部分。

大項目	小項目
保安	公衆の安全
法令	
<p>【電技】</p> <p>第一章 総則/第三節 保安原則/第一款 感電、火災等の防止 (電気設備における感電、火災等の防止)</p> <p>第四条 電気設備は、感電、火災その他人体に危害を及ぼし、または物件に損傷を与えるおそれがないように施設しなければならない。</p>	
備考(電技解釈・規格等)	

大項目	小項目
保安	絶縁
法令	
<p>【電技】</p> <p>(電路の絶縁)</p> <p>第五条 電路は、大地から絶縁しなければならない。ただし、構造上やむを得ない場合であって通常予見される使用形態を考慮し危険のおそれがない場合、または混触による高電圧の侵入等の異常が発生した際の危険を回避するための接地その他の保安上必要な措置を講ずる場合は、この限りでない。</p> <p>2 前項の場合にあっては、その絶縁性能は、第二十二条及び第五十八条の規定を除き、事故時に想定される異常電圧を考慮し、絶縁破壊による危険のおそれがないものでなければならない。</p> <p>3 変成器内の巻線と当該変成器内の他の巻線との間の絶縁性能は、事故時に想定される異常電圧を考慮し、絶縁破壊による危険のおそれがないものでなければならない。</p>	
備考(電技解釈・規格等)	
<p>【電技解釈】</p> <p>・第14条(電路の絶縁抵抗及び絶縁耐力)によると、高圧の電路は最大使用電力の1.5倍の電圧を10分間印加した試験に耐える必要がある。 また、変圧器は使用電圧の1.5倍の電圧を10分間印加することが記載されている。</p> <p>・第18条によると、開閉器や遮断器等の器具の接続線、及び母線は最大使用電圧の1.5倍の電圧(直流の充電部分については、最大使用電圧の1.5倍の直流電圧または1倍の交流電圧)を10分間印加して耐えられる必要がある。</p> <p>JESC E7001(1998)「電路の絶縁耐力の確認方法」の「3.2 変圧器の電路の絶縁耐力の確認方法」「3.3 器具等の電路の絶縁耐力の確認方法」による場合は、前項の規定によらないことができる」とあるが、当該JESCには例えばLBC等新規開発する機器は該当規格無いため、上記の値で試験する必要があると思われる。</p>	

大項目	小項目
保安	熱的強度
法令	
<p>【電技】</p> <p>第一章 総則/第三節 保安原則/第一款 感電、火災等の防止 (電気機械器具の熱的強度)</p> <p>第八条 電路に施設する電気機械器具は、通常の使用状態においてその電気機械器具に発生する熱に耐えるものでなければならない。</p>	
備考(電技解釈・規格等)	
<p>【電技解釈】</p> <p>・第29条の3によると、電路に施設する変圧器、遮断機、開閉器、電力用コンデンサ、計器用変成器その他の電気機械器具は、JESC E7002(1999)電気機械器具の熱的強度の確認方法(電路に施設する電気機械器具の熱的強度の確認方法について、JIS、JEC、JEMの指定する規格を挙げ、工場においてそれぞれの規格で定めた温度上昇試験の実施により、電気設備技術基準に定める、「通常の使用状態においてその電気機械器具に発生する熱に耐えられる」と判断できることを定めたもの)に規定する熱的強度に適合することで確認できる。</p>	

大項目	小項目
保安	公衆の安全
法令	
<p>【電技】</p> <p>第一章 総則/第三節 保安原則/第一款 感電、火災等の防止 (高圧または特別高圧の電気機械器具の危険の防止)</p> <p>第九条 高圧または特別高圧の電気機械器具は、取扱者以外の者が容易に触れるおそれがないように施設しなければならない。ただし、接触による危険のおそれがない場合は、この限りでない。</p> <p>2 高圧または特別高圧の開閉器、遮断器、避雷器その他これらに類する器具であつて、動作時にアークを生ずるものは、火災のおそれがないよう、木製の壁または天井その他の可燃性の物から離して施設しなければならない。ただし、耐火性の物で両者の間を隔離した場合は、この限りでない。</p>	
備考(電技解釈・規格等)	
<p>【電技解釈】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第30条(高圧用の機械器具の施設)によると、高圧用の機械器具は次のいずれかを満たす必要がある。 <ul style="list-style-type: none"> ・<u>周囲に人が触れるおそれがないように適当なさく、へい等を設け、さく、へい等の高さ</u>とさく、へい等から充電部分までの距離との和を5m以上とし、かつ、危険である旨の表示をする場合。 ・<u>機械器具を地表上4.5m(市街地外においては4m)以上の高さに施設し、かつ、人が触れるおそれがないように施設する場合。</u> ・<u>機械器具をコンクリート製の箱またはD種接地工事を施した金属製の箱に収め、かつ、充電部分が露出しないように施設する場合。</u> ・充電部分が露出しない機械器具を人が容易に触れるおそれがないように施設する場合。 ・また、機械器具に用いる引下げ用高圧絶縁電線についても規定がなされている。 	

大項目	小項目
保安	電気設備の接地
法令	
<p>【電技】</p> <p>第一章 総則/第三節 保安原則/第一款 感電、火災等の防止 (電気設備の接地)</p> <p>第十条 電気設備の必要な箇所には、異常時の電位上昇、高電圧の侵入等による感電、火災その他人体に危害を及ぼし、または物件への損傷を与えるおそれがないよう、接地その他の適切な措置を講じなければならない。ただし、電路に係る部分にあっては、第五条第一項の規定に定めるところによりこれを行わなければならない。 (電気設備の接地の方法)</p> <p>第十一条 電気設備に接地を施す場合は、電流が安全かつ確実に大地に通ずることができるようにしなければならない。</p>	
備考(電技解釈・規格等)	
<p>【電技解釈】</p> <p>・第29条(機械器具の鉄台及び外箱の接地)によると、高圧の電路に施設する機械器具の鉄台及び金属製外箱には、A種接地工事(接地抵抗10以下)を行うことが求められている。ただし、高圧用の機械器具を人が触れるおそれのないように木柱その他これに類するもの³⁰上に施設する場合は除くことが記されている。</p>	

大項目	小項目
保安	過電流・地絡保護
法令	
<p>【電技】</p> <p>第一章 総則/第三節 保安原則/第二款 異常の予防及び保護対策 (過電流からの電線及び電気機械器具の保護対策)</p> <p>第十四条 電路の必要な箇所には、過電流による過熱焼損から電線及び電気機械器具を保護し、かつ、火災の発生を防止できるよう、過電流遮断器を施設しなければならない。 (地絡に対する保護対策)</p> <p>第十五条 電路には、地絡が生じた場合に、電線若しくは電気機械器具の損傷、感電または火災のおそれがないよう、地絡遮断器の施設その他の適切な措置を講じなければならない。ただし、電気機械器具を乾燥した場所に施設する等地絡による危険のおそれがない場合は、この限りでない。</p>	
備考(電技解釈・規格等)	

³⁰ 配電規程 125-6 には、「木柱、鉄筋コンクリート柱その他これに類するもの」とある。

大項目	小項目
保安	雷保護
法令	
<p>【電技】</p> <p>第二章 電気の供給のための電気設備の施設/第7節 供給支障の防止 (高圧及び特別高圧の電路の避雷器等の施設)</p> <p>第四十九条 雷電圧による電路に施設する電気設備の損壊を防止できるよう、当該電路中次の各号に掲げる箇所またはこれに近接する箇所には、避雷器の施設その他の適切な措置を講じなければならない。ただし、雷電圧による当該電気設備の損壊のおそれがない場合は、この限りでない。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一 発電所または変電所若しくはこれに準ずる場所の架空電線引込口及び引出口 二 架空電線路に接続する配電用変圧器であって、過電流遮断器の設置等の保安上の保護対策が施されているものの高圧側及び特別高圧側 三 高圧または特別高圧の架空電線路から供給を受ける需要場所の引込口 	
備考(電技解釈・規格等)	
<p>【電技解釈】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・41条(避雷器の施設)によると、下記箇所またはこれに近接する箇所には避雷器を施設するようにとの記述がある。 <ul style="list-style-type: none"> 一 発電所または変電所若しくはこれに準ずる場所の架空電線引込口及び引出口 二 架空電線路に接続する第33条の配電用変圧器の高圧側及び特別高圧側 三 高圧架空電線路から供給を受ける受電電力の容量が500kW以上の需要場所の引込口 四 特別高圧架空電線路から供給を受ける需要場所の引込口 <p>【配電規程】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・225-3(避雷装置)によると、上記の他、次の箇所に避雷器を取り付けることが望ましい。 <ul style="list-style-type: none"> (1) 架空電線路の末端 (2) 開閉器の施設箇所(常時開放の開閉器については両側) (3) 架空電線とケーブルとの接続点 (4) 柱上変圧器の施設箇所付近 (5) 電圧調整器等の機器の施設箇所(直列機器の場合はその両端) 	

大項目	小項目
保安	電氣的・磁氣的障害の防止
法令	
<p>【電技】</p> <p>第一章 総則/第三節 保安原則/第三款 電氣的・磁氣的障害の防止 (電気設備の電氣的、磁氣的障害の防止)</p> <p>第十六条 電気設備は、他の電気設備その他の物件の機能に電氣的または磁氣的な障害を与えないように施設しなければならない。</p>	
備考(電技解釈・規格等)	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 解釈には第十六条に関する記述は無い。 ・ 「電線路」に対する基準として、第四十二条第一項の電波障害の防止の基準は存在する。 ・ 解釈第 53 条第 2 項には、電線路から直角に 10m の地点、地上 1m での電界強度が 526.5kHz から 1606.5kHz の周波数帯において 36.5db(準せん頭値)であることが規定されており、SVC を対象に上記規定値の検討を行った事例がある³¹。 	

大項目	小項目
保安	供給支障
法令	
<p>【電技】</p> <p>第一章 総則/第三節 保安原則/第四款 供給支障の防止 (電気設備による供給支障の防止)</p> <p>第十八条 高圧または特別高圧の電気設備は、その損壊により一般電気事業者の電気の供給に著しい支障を及ぼさないように施設しなければならない。</p> <p style="padding-left: 2em;">2 高圧または特別高圧の電気設備は、その電気設備が一般電気事業の用に供される場合にあっては、その電気設備の損壊によりその一般電気事業に係る電気の供給に著しい支障を生じないように施設しなければならない。</p>	
備考(電技解釈・規格等)	

³¹ 電気評論社「無効電力補償装置(SVC)の放射雑音の低減」, 電気評論 2006.1, P77

大項目	小項目
支持物	設計強度
法令	
<p>【電技】</p> <p>第二章 電気の供給のための電気設備の施設/第3節 支持物の倒壊による危険の防止 (支持物の倒壊の防止)</p> <p>第三十二条 架空電線路または架空電車線路の支持物の材料及び構造(支線を施設する場合は、当該支線に係るものを含む。)は、その支持物が支持する電線等による引張荷重、風速四十メートル毎秒の風圧荷重及び当該設置場所において通常想定される気象の変化、振動、衝撃その他の外部環境の影響を考慮し、倒壊のおそれがないよう、安全なものでなければならない。ただし、人家が多く連なっている場所に施設する架空電線路にあつては、その施設場所を考慮して施設する場合は、風速四十メートル毎秒の風圧荷重の二分の一の風圧荷重を考慮して施設することができる。</p> <p>2 特別高圧架空電線路の支持物は、構造上安全なものとする等により連鎖的に倒壊のおそれがないように施設しなければならない。</p>	
備考(電技解釈・規格等)	
<p>【電技解釈】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第57条(風圧荷重の種別とその適用)により、風圧荷重の算定には下記を用いて計算することが求められている。 <ul style="list-style-type: none"> 甲種風圧荷重：風速40m/s以上の風速に基づいた荷重 乙種風圧荷重：甲種風圧荷重の1/2を基礎として計算した荷重。架渉線には着雪を考慮 風圧荷重の適用については、氷雪の多い地方、低温季に最大風圧を生じる地方などにより異なる。 ・また、支持物の形状によって考慮する荷重が定められているが、例えばH柱への設置の場合、下記荷重を考慮することが求められている。 <ul style="list-style-type: none"> 電線路と直角の方向：支持物のその方向における前面結構、架渉線及びびがいし装置 電線路の方向：支持物のその方向における前面結構及びびがいし装置 <p>【配電規程】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・200-2(用語の定義)において、支持物の種類の定義がなされているが、重量物をH柱上に施設する場合など、個別に基礎の強度計算を実施するものは「B種鉄筋コンクリート柱」と定義している。 ・205-2(支持物の強度)において、B種鉄筋コンクリート柱に想定すべき荷重を記載している。また、205-4(鉄筋コンクリート柱及び鉄柱(結構構造のものを除く。))の強度計算において、鉄筋コンクリート柱の強度計算の式が示されているが、単柱の場合を想定している計算例であり、H柱の計算は別途実施する必要がある。 ・210-3(支線の強度)において、支線の強度の算出式が記載されている。 	

【電技解釈】

- ・ 第 58 条（架空電線路の支持物の基礎の安全率）においては、基礎の安全率について、個別計算する場合には常時想定荷重に対しては安全率 2 以上であることを求めている。
- ・ 第 62 条（支線の使用）において、支持物の鉄筋コンクリート柱において、支線を用いて荷重を分担させる場合は風圧荷重の 1/2 以上に耐える強度を持つ支線を用いることが要求されている。

大項目	小項目
支持物	耐震設計
法令	
耐震対策について、電技には定められたものは無い。	
備考（電技解釈・規格等）	
【配電規程 付録】	
・ 配電設備の耐震設計について、昭和 56 年 6 月に発生した宮城県沖地震を契機に資源エネルギー庁公益事業部からの要請に基づき、検討した結果が記載されている。支持物に関する検討の結果、多くの地震動による加速度が 0.3G 以下であることから、電技解釈に定められた風圧荷重で設備すれば、安全率は 3 以上あり直接的な折損の心配はないとしているが、一般的な柱上変圧器に対する検討であることから、新型機器の柱上設置に関する設計時には上記検討を参考にした耐震設計が望ましいと思われる。	

(2) 公害

配電線路に施設する電気設備に対しては、下記が定められている。

大項目	小項目
公害	騒音・振動
法令	
【電技】 第一章 総則/第三節 保安原則/ 第四節 公害等の防止 (公害等の防止) 第十九条 発電用火力設備に関する技術基準を定める省令（平成九年通商産業省令第五十一号）第四条第一項 及び第二項 の規定 ³² は、変電所、開閉所若しくはこれらに準ずる場所に設置する電気設備または電力保安通信設備に附属する電気設備について準用する。 ～ 一部略 ～ 8 <u>騒音規制法</u> （昭和四十三年法律第九十八号）第二条第一項 の規定による <u>特定施設</u> を設置する発電所または変電所、開閉所若しくはこれらに準ずる場所であって同法第三条第一項 の規定により <u>指定された地域内</u> に存するものにおいて発生する騒音は、同法第四条第一項 または第二項 の規定による <u>規制基準</u> に適合しなければならない。 9 <u>振動規制法</u> （昭和五十一年法律第六十四号）第二条第一項 の規定による <u>特定施設</u> を設置する発電所または変電所、開閉所若しくはこれらに準ずる場所であって同法第三条第一項 の規定により <u>指定された地域内</u> に存するものにおいて発生する振動は、同法第四条第一項 または第二項 の規定による <u>規制基準</u> に適合しなければならない。	
備考（電技解釈・規格等）	
<ul style="list-style-type: none">・騒音、振動については上記のように騒音規制法、振動規制法によることとされている。騒音・振動に係る法令の基本体系を図 1 に示す。・また、騒音規制法施行令で指定する特定施設を図 2 に、指定地域の例（東京都及び宮城県）を 図 3 に、騒音の規制値を以後にそれぞれ示す。・電気設備、特に配電機器に関しては、特定施設には該当しない³³ためこれらの条項には直接抵触しないが、配電機器の施設箇所により上記規制値に適合する必要があると思われる。・条例による規制の最も厳しい値は敷地の境界における騒音値が 40 デシベル、振動値が 55 デシベルである。	

³² 大気汚染防止法に関連した条項

³³ 例えば東京都においては、「日常生活等に適用する規制基準」として、同じ規制が何人に対しても課せられている。都民の健康と安全を確保する環境に関する条例 第 136 条

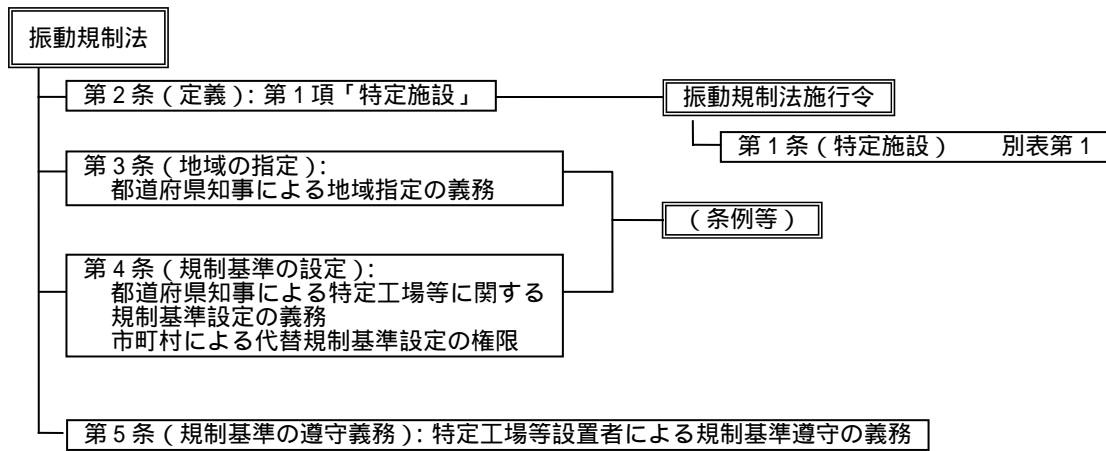
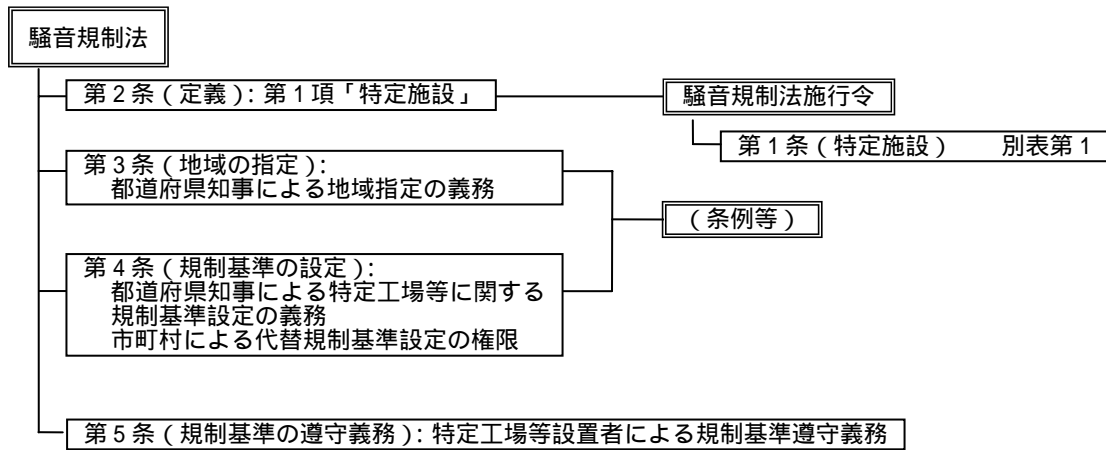


図 1 騒音・振動に関する規制法令の基本体系

別表第一（第一条関係）
一 金属加工機械
イ 圧延機械（原動機の定格出力の合計が二・五キロワット以上のものに限る。）
ロ 製管機械
ハ ベンディングマシン（ロール式のものであつて、原動機の定格出力が三・七五キロワット以上のものに限る。）
ニ 液圧プレス（矯正プレスを除く。）
ホ 機械プレス（呼び加圧能力が二九四キロニュートン以上のものに限る。）
ヘ せん断機（原動機の定格出力が三・七五キロワット以上のものに限る。）
ト 鍛造機
チ ワイヤフォーミングマシン
リ プラスト（タンブラスト以外のものであつて、密閉式のを除く。）
ヌ タンブラー
ル 切断機（といしを用いるものに限る。）
二 空気圧縮機及び送風機（原動機の定格出力が七・五キロワット以上のものに限る。）
三 土石用または鉱物用の破碎機、摩砕機、ふるい及び分級機（原動機の定格出力が七・五キロワット以上のものに限る。）
四 織機（原動機を用いるものに限る。）
五 建設用資材製造機械
イ コンクリートプラント（気ほうコンクリートプラントを除き、混練機の混練容量が〇・四五立方メートル以上のものに限る。）
ロ アスファルトプラント（混練機の混練重量が二〇〇キログラム以上のものに限る。）
六 穀物用製粉機（ロール式のものであつて、原動機の定格出力が七・五キロワット以上のものに限る。）
七 木材加工機械
イ ドラムパーカー
ロ チッパー（原動機の定格出力が二・二五キロワット以上のものに限る。）
ハ 碎木機
ニ 帯のご盤（製材用のものにあつては原動機の定格出力が一・五キロワット以上のもの、木工用のものにあつては原動機の定格出力が二・二五キロワット以上のものに限る。）
ホ 丸のご盤（製材用のものにあつては原動機の定格出力が一・五キロワット以上のもの、木工用のものにあつては原動機の定格出力が二・二五キロワット以上のものに限る。）
ヘ かな盤（原動機の定格出力が二・二五キロワット以上のものに限る。）
八 抄紙機
九 印刷機械（原動機を用いるものに限る。）
一〇 合成樹脂用射出成形機
一一 鋳造型機（ジヨルト式のものに限る。）

図 2 政令で定める特定施設

<p>【指定地域：東京都の例】</p> <p>振動規制法（昭和 51 年法律第 64 号）第 3 条第 1 項の規定に基づき知事が指定する地域は、市の区域（都市計画法（昭和 43 年法律第 100 号）第 8 条第 1 項第 1 号の工業専用地域、日本国とアメリカ合衆国との間の相互協力及び安全保障条約第 6 条に基づく施設及び区域並びに日本国における合衆国軍隊の地位に関する協定（昭和 35 年条約第 7 号）第 2 条第 1 項の施設及び区域の存する区域（府中空軍施設の区域を除く。）並びにこれらに接する地先及び水面を除く。）とする。</p> <p>【指定地域：宮城県の例】</p> <p>一 騒音規制の指定地域</p> <p>石巻市、塩釜市、古川市、気仙沼市、白石市、名取市、角田市、多賀城市、岩沼市、登米市、栗原市、東松島市、大河原町、村田町、柴田町、亘理町、松島町、七ヶ浜町、利府町、大和町、富谷町、大衡村、三本木町、岩出山町、小牛田町、女川町及び南三陸町の区域のうち、都市計画法（昭和四十三年法律第百号）第五条の規定により知事が指定した区域で同法第八条第一項第一号に規定する用途地域（工業専用地域を除く。）及び同項第二号の規定により指定された文教地区</p>

図 3 県知事等の指定する地域

【東京都の例】³⁴

騒音の規制基準

区域の区分		時間の区分		音量
種別	該当地域			
第一種区域	都市計画法（昭和四十三年法律第百号）第八条第一項第一号の規定により定められた第一種低層住居専用地域、及び第二種低層住居専用地域 平成十一年東京都告示第二百五十九号により地域の類型 AA の該当地域として指定された地域 前二号に掲げる地域に接する地先及び水面	朝	午前六時から午前八時まで	四十デシベル
		昼間	午前八時から午後七時まで	四十五デシベル
		夕	午後七時から午後十一時まで	四十デシベル
		夜間	午後十一時から翌日午前六時まで	四十デシベル
第二種区域	都市計画法第八条第一項第一号の規定により定められた第一種中高層住居専用地域（第一種区域に該当する地域を除く。）、第二種中高層住居専用地域、第一種住居地域、第二種住居地域及び準住居地域 都市計画法第八条第一項第一号の規定により定められた近隣商業地域、商業地域、準工業地域及び工業地域のうち第一種区域に接する地域であつて第一種区域の周囲三十メートル以内の地域（以下「第一特別地域」という。） 都市計画法第八条第一項第一号の規定による用途地域として定められていない地域であつて第一種区域、第三種区域及び第四種区域に該当する区域を除く地域	朝	午前六時から午前八時まで	四十五デシベル
		昼間	午前八時から午後七時まで	五十デシベル
		夕	午後七時から午後十一時まで	四十五デシベル
		夜間	午後十一時から翌日午前六時まで	四十五デシベル
第三種区域	都市計画法第八条第一項第一号の規定により定められた近隣商業地域、商業地域及び準工業地域であつて第一特別地域に該当する地域を除く地域 都市計画法第八条第一項第一号の規定により定められた工業地域（第一特別地域に該当する地域を除く。）のうち第二種区域（第一特別地域を除く。）に接する地域であつて第二種区域の周囲三十メートル以内の地域（以下「第二特別地域」という。） 前二号に掲げる地域に接する地先及び水面	朝	午前六時から午前八時まで	五十五デシベル
		昼間	午前八時から午後八時まで	六十デシベル
		夕	午後八時から午後十一時まで	五十五デシベル
		夜間	午後十一時から翌日午前六時まで	五十デシベル
第四種区域	都市計画法第八条第一項第一号の規定により定められた工業地域（第一特別地域及び第二特別地域に該当する地域を除く。） 前号に掲げる地域に接する地先及び水面	朝	午前六時から午前八時まで	六十デシベル
		昼間	午前八時から午後八時まで	七十デシベル
		夕	午後八時から午後十一時まで	六十デシベル
		夜間	午後十一時から翌日午前六時まで	五十五デシベル

ただし、第二種区域、第三種区域または第四種区域の区域内に所在する学校教育法（昭和二十二年法律第二十六号）第一条に規定する学校、児童福祉法（昭和二十二年法律第百六十四号）第七条に規定する保育所、医療法（昭和二十三年法律第二百五号）第一条の五第一項に規定する病院及び同条第二項に規定する診療所のうち患者の収容施設を有するもの、図書館法（昭和二十五年法律第百十八号）第二条第一項に規定する図書館並びに老人福祉法（昭和三十八年法律第百三十三号）第五条の三に規定する特別養護老人ホームの敷地の周囲おおむね五十メートルの区域内（第一特別地域及び第二特別地域を除く。）における規制基準は、当該各欄に定める当該値から五デシベルを減じた値とする。

【備考】

- ・デシベルとは、計量法（平成4年法律第51号）別表第2に定める音圧レベルの計量単位をいう。以下騒音に関して同じ。
- ・騒音の測定は、計量法第71条に規定する条件に合格した騒音計を用いて行うものとする。この場合において、周波数補正回路はA特性を、動特性は速い動特性（FAST）を用いることとする。

³⁴ http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kaizen/kisei/souon/koujo/souon_kijun.htm

- ・騒音の測定方法は、日本工業規格 Z8731 に定める騒音レベル測定方法により、騒音の大きさの値は、次に定めるところによる。
 - ・騒音計の指示値が変動せず、または変動が少ない場合は、その指示値とする。
 - ・騒音計の指示値が周期的、または間欠的に変動し、その指示値の最大値がおおむね一定の場合は、その変動ごとの指示値の最大値の平均値とする。
 - ・騒音計の指示値が周期的、または間欠的に変動し、その指示値の最大値がおおむね一定の場合は、その変動ごとの指示値の最大値の平均とする。
 - ・騒音計の指示値が不規則かつ大幅に変動する場合は、指示値の 90%レンジの上端の数値とする。
 - ・騒音計の指示値が周期的または間欠的に変動し、その指示値の最大値が一定でない場合は、その変動ごとの指示値の最大値の 90%レンジの上端の数値とする。

振動の規制基準

区域の区分		時間の区分	工場及び指定作業場の敷地と隣地との境界線における地盤の振動の大きさ(単位 デシベル)
種別	該当地域		
第一種区域	一 第一種低層住居専用地域 二 第二種低層住居専用地域 三 第一種中高層住居専用地域 四 第二種中高層住居専用地域	午前八時から午後七時まで	六〇
	五 第一種住居地域 六 第二種住居地域 七 準住居地域 八 無指定地域(第二種区域に該当する区域を除く。)	午後七時から翌日午前八時まで	五五
第二種区域	一 近隣商業地域 二 商業地域 三 準工業地域 四 工業地域	午前八時から午後八時まで	六五
	五 前各号に掲げる地域に接する地先及び水面	午後八時から翌日午前八時まで	六〇
<p>ただし、次の各号に掲げる工場または指定作業場に対するこの基準の適用は、それぞれ当該各号に定めるところによる。</p> <p>一 学校、保育所、病院、診療所、図書館及び老人ホームの敷地の周囲おおむね五十メートルの区域内の工場または指定作業場当該値から五デシベルを減じた値を適用する。</p> <p>二 振動規制法第三条第一項の規定に基づき知事が指定する地域内の工場または指定作業場のうち同法第二条第二項に規定する特定工場等である工場または指定作業場 第八十一条第三項(第八十二条第二項において準用する場合を含む。)において適用する場合を除き、適用しない。</p> <p>三 国または地方公共団体その他の公共団体が工場または指定作業場を集団立地させるため造成した用地内に設置されている工場または指定作業場は適用しない。</p>			

備考

- ・デシベルとは、計量法別表第 2 に定める振動加速度レベルの計量単位をいう。
- ・振動の測定は、計量法第 71 条に規定する条件に合格した振動レベル計を用い、鉛直方向について行うものとする。この場合において、振動感覚補正回路は、鉛直振動特性を用いることとする。
- ・振動の測定方法は、日本工業規格 Z 8735 に定める振動レベル測定方法により、振動の大きさの値は、次に定めるところによる。
 - ・測定器の指示値が変動せず、または変動が少ない場合は、その指示値とする。

- ・ 測定器の指示値が周期的または間欠的に変動する場合は、その変動ごとの指示値の最大値の平均値とする。
- ・ 測定器の指示値が不規則かつ大幅に変動する場合は、5 秒間隔・100 個、またはこれに準ずる間隔・個数の測定値の 80%レンジの上端の数値とする。

【宮城県の例】³⁵

騒音の規制基準

時間の区分及び区域の区分ごとの騒音の規制基準は、次の表のとおりとする。ただし、同表に掲げる第二種区域、第三種区域、第四種区域の区域内に所在する学校教育法（昭和二十二年法律第二十六号）第一条に規定する学校、児童福祉法（昭和二十二年法律第百六十四号）第七条に規定する保育所、医療法（昭和二十三年法律第二百五号）第一条の五第一項に規定する病院、及び同条第二項に規定する診療所のうち患者を入院させるための施設を有するもの、図書館法（昭和二十五年法律第百十八号）第二条第一項に規定する図書館並びに老人福祉法（昭和三十八年法律第百三十三号）第五条の三に規定する特別養護老人ホームの敷地、及びその周囲おおむね五十メートルの区域内における当該基準は、同表に定める値からそれぞれ五デシベルを減じた値とする。

地域の区分 \ 時間の区分	昼間 (午前八時から午後七時まで)	朝 (午前六時から午前八時まで) 夕 (午後七時から午後十時まで)		夜間 (午後十時から翌日の午前六時まで)
第一種区域	五〇デシベル	四五デシベル	四〇デシベル	
第二種区域	五五デシベル	五〇デシベル	四五デシベル	
第三種区域	六〇デシベル	五五デシベル	五〇デシベル	
第四種区域	六五デシベル	六〇デシベル	五五デシベル	

- (注)1 第一種区域とは、都市計画法に基づく第一種低層住居専用地域、第二種低層住居専用地域及び文教地区とする。ただし、都市計画法及び建築基準法の一部を改正する法律（平成四年法律第八十二号）により改正された都市計画法による用途地域の指定を受けず、従前の用途地域が存続している地域については、第一種住居専用地域、第二種住居専用地域及び文教地区とする。
- 2 第二種区域とは、都市計画法に基づく第一種中高層住居専用地域、第二種中高層住居専用地域、第一種住居地域、第二種住居地域及び準住居地域（文教地区として指定された区域を除く。）とする。ただし、都市計画法及び建築基準法の一部を改正する法律により改正された都市計画法による用途地域の指定を受けず、従前の用途地域が存続している地域については、住居地域（文教地区として指定された区域を除く。）とする。
- 3 第三種区域とは、都市計画法に基づく近隣商業地域、商業地域及び準工業地域とする。
- 4 第四種区域とは、都市計画法に基づく工業地域とする。

振動の規制基準

振動規制法（昭和五十一年法律第六十四号）第三条第一項の規定により、指定する地域及び同法第四条第一項の規定による規制基準は、次のとおりとする。その関係図面は、関係市役所、関係町役場及び宮城県庁（環境生活部環境対策課）に備えおいて、一般の縦覧に供する。

一 振動規制の指定地域

気仙沼市、石巻市、塩釜市、古川市、白石市、名取市、角田市、多賀城市、岩沼市、登米市、栗原市、東松島市、大河原町、村田町、柴田町、亘理町、松島町、七ヶ浜町、利府町、大和町、富谷町、大衡村、三本木町、岩出山町、小牛田町、女川町及び南三陸町の区域のうち、都市計画法（昭和四十三年法律第百号）第八条第一項第一号に規定する用途地域（工業専用地域を除く）

³⁵ http://www.pref.miyagi.jp/sibun/reiki_int/reiki_honbun/a7000572001.html

く。)

二 振動の規制基準

時間の区分及び区域の区分ごとの振動の規制基準は、次の表のとおりとする。ただし、同表に掲げる区域内に所在する学校教育法(昭和二十二年法律第二十六号)第一条に規定する学校、児童福祉法(昭和二十二年法律第百六十四号)第七条に規定する保育所、医療法(昭和二十三年法律第二百五号)第一条の五第一項に規定する病院及び同条第二項に規定する診療所のうち患者を入院させるための施設を有するもの、図書館法(昭和二十五年法律第百十八号)第二条第一項に規定する図書館並びに老人福祉法(昭和三十八年法律第百三十三号)第五条の三に規定する特別養護老人ホームの敷地の周囲おおむね五十メートルの区域内における基準は、同表に定める値からそれぞれ五デシベルを減じた値とする。

区域の区分\時間の区分 昼間(午前八時から午後七時まで) 夜間(午後七時から翌日の午前八時まで)

区域の区分\時間の区分	昼間 (午前八時から午後七時まで)	夜間 (午後七時から翌日の午前八時まで)
第一種区域	六十デシベル	五十五デシベル
第二種区域	六十五デシベル	六十デシベル

備考

- 1 第一種区域は、都市計画法第八条第一項第一号に規定する第一種低層住居専用地域、第二種低層住居専用地域、第一種中高層住居専用地域、第二種住居専用地域、第一種住居地域、第二種住居地域及び準住居地域(ただし、都市計画法による用途地域の指定を受けておらず、都市計画法及び建築基準法の一部を改正する法律(平成四年法律第八十二号)による改正前の都市計画法(以下「旧都市計画法」という。)第八条第一項第一号に規定する用途地域が存続している市町村については、旧都市計画法第八条第一項第一号に規定する第一種住居専用地域、第二種住居専用地域及び住居地域)とする。
- 2 第二種区域は、近隣商業地域、商業地域、準工業地域及び工業地域とする。

(3) まとめ

調査結果から、新規配電機器の開発に考慮すべきと思われる事項をまとめた結果を示す。

項目		根拠法令	内容
保安	公衆の安全	電技 第 4 条	感電・火災その他人体への危害、物件への損傷がないように施設
		電技 第 9 条	公衆が容易に触れるおそれのないように施設 ・さく、へい等の設置 ・4.5m 以上の高さに設置 ・D 種設置工事の金属製の箱に収め、充電部露出しないように施設
	絶縁	電技 第 5 条	絶縁抵抗及び絶縁耐力を下記で確認 印加電圧：最大使用電圧の 1.5 倍の電圧（直流の充電部分については、最大使用電圧の 1.5 倍の直流電圧または 1 倍の交流電圧） 印加時間：10 分間
	接地	電技 第 10 条 第 11 条	地上設置の場合、金属製外箱に A 種接地工事
	熱的強度	電技 第 8 条	通常の使用状態においてその電気機械器具に発生する熱に耐えること。
	保護	電技 第 14 条	過電流・地絡からの保護
		配電規程 225-3	避雷器の設置（機器の両側）が望ましい
	他の設備への障害	電技 第 16 条	他の設備に電氣的または磁氣的な障害を与えないように施設 <small>第 42 条も参照</small>
供給支障	電技 第 18 条	損壊により電気の供給に著しい支障を生じないように施設	
支持物	設計強度	電技 第 32 条	支持物設計に考慮すべき風圧荷重を用いた B 種鉄筋コンクリート柱で、基礎の安全率 2 以上、支線を設ける場合は風圧荷重の 1/2 以上の強度を保有するように施設
	耐震設計	配電規程 付録	地震による最大加速度 0.3G 以上の条件を用いた耐震設計が望ましい。
公害	騒音	電技 第 19 条 騒音関連法	施設箇所によるが、最も厳しい値で 40 デシベル以下が望ましい。
	振動	電技 第 19 条 振動関連法	施設箇所によるが、最も厳しい値で 55 デシベル以下が望ましい。

2.3.2 規格

例えば、LBC 等の新型配電機器を設計する際に準拠することが適当、または参考となる現時点で有効な規格を調査した。なお、調査対象とした規格群は下記の通りであり、網羅的に配電機器、電気設備に使用されている機器に関する規格を抽出し、実証研究で開発する新型機器、特に LBC 等の機器構成や機能を基に関係の深いものを抜粋した。

(1) 規格の概要

・ JIS 規格（日本工業規格）

・ 工業標準化法に基づいて、すべての工業製品について定められる日本の国家規格。調査研究や業界自主作成の規格を原案として、専門委員会・部会などでの審議を経て官報に公示されることにより制定される。制定は日本工業標準調査会（JISC: Japanese Industrial Standards Committee）が責任を持つ。また、規格の発行は日本規格協会（SA: Japanese Standards Association）が受け持つこととされている。

・ JEC 規格

・（社）電気学会が定める学会規格。電気規格調査会標準規格と呼ばれ、高圧電気機器や電気技術の基本事項を中心に整備している。

・ 電力用規格

・ 電気事業連合会が編集し、（社）日本電気協会が発行する規格。事故の未然防止と機器価格の低減を目的に、電力会社が使用する汎用性の高い機器並びに機材のうち、JIS・JEC に該当規格がないものについて規定してある。

・ JEM 規格

・（社）日本電機工業会が定める業界規格。取扱製品基準表に定める電気機器に係わる設計、製造、試験及び使用に係わる事項について規格として制定したもの。

なお、実際の電力機器の製作に際しては各電力会社における社内規格の準拠を求められる場合もあるが、今回の調査では一般的に公開されている規格のみを調査対象としている。

(2) 個別の規格

規格策定箇所	規格番号 (制定年)	規格名												
電気学会	JEC-2440-1995	自励半導体電力変換装置												
適用範囲 (抜粋)														
この規格は可制御のバルブデバイスを用いた自励順変換装置、自励逆変換装置及び自励交流間接変換装置 ³⁶ に適用する。この規格で特に指定しない項目については JEC-2410- 1989 (半導体電力変換装置) による。(以下略)														
項目														
1. 適用範囲 2. 用語の意味 3. 使用状態 4. 種類・電流定格・特性 5. 試験 6. 表示 付属書 解説														
規格内容 (抜粋)														
<p>2.8.2【自励半導体電力変換装置の耐電磁環境レベル】</p> <p>・電氣的じょう乱のレベルを規定したものであって表 1 にそ種類を示す。自励半導体電力変換装置は F レベル以下の電氣的じょう乱では所要の性能を満足し、T レベル以下では運転を継続し、D レベル以下では破損しないように設計される。</p> <p style="text-align: center;">表 1 自励半導体電力変換装置の耐電磁環境レベル</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>耐電磁環境レベルの種類</th> <th>記号</th> <th>レベルを超えたときの結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>機能保証レベル</td> <td>F</td> <td>性能の低下</td> </tr> <tr> <td>保護装置動作レベル</td> <td>T</td> <td>保護装置による運転中断</td> </tr> <tr> <td>破損レベル</td> <td>D</td> <td>永久破壊 (ヒューズは除く)</td> </tr> </tbody> </table>			耐電磁環境レベルの種類	記号	レベルを超えたときの結果	機能保証レベル	F	性能の低下	保護装置動作レベル	T	保護装置による運転中断	破損レベル	D	永久破壊 (ヒューズは除く)
耐電磁環境レベルの種類	記号	レベルを超えたときの結果												
機能保証レベル	F	性能の低下												
保護装置動作レベル	T	保護装置による運転中断												
破損レベル	D	永久破壊 (ヒューズは除く)												
<p>5.4.16 騒音の測定</p> <p>・試験法及び試験条件については使用者と製造者の協議による。</p> <p>5.4.19 高調波成分の測定</p> <p>・5.4.8 ひずみ率の測定に準じて行う。自励半導体電力変換装置が発生する系統側の高調波の測定が必要な場合は、その試験法と試験条件は使用者と製造者の協議による。</p>														
備考														
<p>・本規格は自励半導体電力変換装置について制定されたものであり、実証研究において開発する LBC に関係が深いと思われる。特に開発する機器の用語の定義や耐電磁環境レベル、試験方法、付属書における「照会または注文の際にあげるべき事項」などが参考になる。</p>														

³⁶ 順変換器と逆変換器とが直流部を共通に組み合わせて構成され、交流変換を行う半導体電力変換装置。

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
電気学会	JEC-2410-1998	半導体電力変換装置
適用範囲（抜粋）		
この規格は、可制御もしくは非可制御の半導体バルブデバイスを用いた他励変換装置、及びこれらに使用される半導体スタック・半導体電力変換器に適用する。（以下略）		
項目		
1. 適用範囲 2. 用語の意味 3. 使用状態 4. 種類・電流定格・特性 5. 試験 6. 表示 付属書 解説		
規格内容（抜粋）		
<p><u>2.13.10（電源系統の）じょう乱</u></p> <p>・配電系統の負荷変動、開閉過渡現象、電源系統構成の変更のような多くの原因によるじょう乱。これは統計的な値によってのみ規定できる。</p> <p>（1）過電圧・開閉過渡現象・雷衝撃</p> <p>（2）電動機始動、コンデンサ開閉、及び一線地絡・相間短絡のような故障もしくは故障除去による電圧変化</p> <p>（3）継続的な電圧不平衡</p> <p>（4）周波数変動・位相変位</p> <p>（5）リップルコントロール信号</p> <p>（6）電圧・電流の基本波周波数より高い全ての周波数成分</p> <p><u>2.13.11（半導体電力変換装置の）発生じょう乱</u></p> <p>・半導体電力変換装置の運転によって生じる電氣的じょう乱。このような電氣的じょう乱の例を以下に示す。</p> <p>（1）電圧の低下・上昇 一連の定常状態間の実効値の差で指定する。</p> <p>（2）高調波電流 運転状態を指定し、次数、実効値及び位相関係について、次の値を考慮する。</p> <p>（ ）平均 長時間にわたって最も起こりそうな値</p> <p>（ ）最大 短時間（たとえば1分間）のみ継続する値</p> <p>（3）転流ノッチ 時間幅、電圧変動量及び電圧時間積によって指定する。</p> <p>（4）転流による繰返し過渡電圧 エネルギー・最大値・上昇率などによって表現した短いインパルスとして指定する。</p> <p>（5）非繰返し過渡電圧 変圧器の投入、または半導体電力変換装置の内部・外部故障の発生もしくはその除去などの際に発生しうる。</p> <p>（6）その他の高調波電流 運転状態を指定し、周波数、実効値、及び位相関係によって示す。</p> <p><u>3.3 半導体電力変換装置の電磁環境</u></p> <p>・半導体電力変換装置は、ほかに指定しないかぎり本項で指定する電氣的じょう乱に対するイミュニティをもつものとする。電氣的じょう乱は、当該の半導体電力変換装置を交流電源回路に接続して運転した状態での値である。また、これらの値は定格の基準とし</p>		

て与えるもので、半導体電力変換装置の接続点における電源系統を定義するものではない。

- ・半導体電力変換装置のイミュニティのクラスは、特に指定しないかぎりクラス B を適用する。以下に掲げる(1)～(4)の項目について、それぞれ異なったクラスを指定してもよい。

【周波数】

	イミュニティのクラス			イミュニティのレベル
	A	B	C	
変動範囲 [%]	±2	±2	±1	F
変化率 [%/s]	±2	±1	±1	F

【交流電圧】

		イミュニティのクラス			イミュニティのレベル
		A	B	C	
定常的な変動範囲 [%]		±10	±10	+10 -5	F
短時間(1秒以下)の変動範囲 (定格直流電流時)	順変換運転のみの場合 [%]	±15	+15 -10	+15 -10	T
	逆変換運転を含む場合 [%]	±15	+15 -10	+15 -7.5	T

備考 周波数の降下と交流線路電圧の上昇が同時に発生することはないものとする。

【電圧の不均衡(不均衡の大きさは不均衡率(逆相分の正相分に対する%)で表示)】

		イミュニティのクラス			イミュニティのレベル
		A	B	C	
定常状態 [%]		5	5	2	F
短時間(1秒以下)	順変換運転のみの場合 [%]	8	5	3	T
	逆変換運転を含む場合 [%]	5	5	2	T

【交流電圧波形(定常状態)】

		イミュニティのクラス			イミュニティのレベル
		A	B	C	
電圧総合ひずみ率 [%]		25	10	5	F
電圧各次高調波率	定常状態				
	奇数次 [%]	12.5	5	2.5	F
	偶数次 [%]	2	2	1	F
転流ノッチ	電圧変動量 U_{VM} に対する [%]	100	40	20	T
	電圧時間積 [%・el]	625	250	125	T

備考

- ・半導体電力変換装置の保有すべきイミュニティレベルについての記述が、開発する機器の参考になると思われる³⁷

³⁷ IAE 注: LBC 等電力系統に直列接続する機器については、変換装置の故障が配電系統に与える影響が大きいと予想され、クラス A の適用が望ましいと思われるため、表では色を付けて示している。

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電機工業会	JEM-TR221（2003）	公共、商業及び工業地域で用いられるパワーエレクトロニクス装置
適用範囲（抜粋）		
<p>交流 7,200V 以下または直流 1,800V 以下の電路に接続された公共、商業及び工業地域で用いられるパワーエレクトロニクス装置に適用し、安全及び信頼性に関して均一の技術レベルを確保するためにパワーエレクトロニクス装置の設計及び組立の最小限の要求事項を規定する。個別の製品規格または製品群規格によって安全、及び信頼性が規定されているパワーエレクトロニクス装置については、対象外とする。対象外の例は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> - UPS（無停電電源装置） - 可変速駆動システム - 電鉄用パワーエレクトロニクス装置 - 電気自動車用充電機器 		
項目		
1. 適用範囲 2. 引用規格 3. 定義 4. システム全体に対する要求事項 5. 安全要求事項 6. 環境に関する要求事項及び条件 7. EE に関する要求事項 8. EE の組込みに関する要求事項 9. 試験 附属書 A（参考）追加情報 附属書 1（参考）JEM-TR と対応する国際規格との対比表 解説		
規格内容（抜粋）		
<p>・例えば、5. 安全要求事項においては、電気機器の感電に対する保護対策の要約が記載されている。</p> <p>・6. 環境に関する要求事項及び条件においては、電気機器の周囲環境条件が記載されている。</p> <p style="padding-left: 40px;">種別 C：屋外の、雨に対して簡単に保護されているかまたは保護されていない場所で、個別にラックまたは盤に取り付けられた装置、高熱装置の付近に取り付けられた装置</p> <p style="padding-left: 40px;">温度：-20～+55</p> <p style="padding-left: 40px;">相対湿度、及び絶対湿度：4～100%、0.9g/m³～36g/m³</p> <p>・また、冷却媒体を用いた場合の冷却媒体の温度については、液体冷却の場合、5～30 としている。</p>		
備考		
<p>・本規格は基本的に国際規格である IEC62103 を翻訳した技術資料であるため、そのまま日本国内の配電機器に適用はできないが、参考となる。</p>		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本規格協会	JIS C 0920-2003	電気機械器具の外郭による保護等級（IPコード）
適用範囲（抜粋）		
<p>定格電圧が 72.5kV 以下の電気機器の外郭による保護等級の分類。ここでいう外郭とは、規定以外の点では個別製品規格で規定する正常な使用条件に適合するものであり、また、外郭の材料及び仕上げり状態は、通常の使用状態で表示した保護等級を維持できることを前提としている。</p> <p>この規格は、保護する対象の内蔵される電気製品について、試験条件一般の規定に適合する場合であり、更に特定の保護構造を持つものであれば、内部に電気機器がない外殻についても適用できる。</p> <p>以下の周囲環境条件下における外郭の保護、及び外郭内の電気機器の保護並びに外郭外で動いている危険な箇所（ファンなど）への接触にたいする保護については、各個別製品規格で規定する。</p> <p>～中略～</p> <p>人に対する安全のための外郭外側に設けるバリア及び障壁については、外郭の一部とはみなさず、この規格では規定しない。</p>		
項目		
<p>1．適用範囲 2．引用規格 3．定義 4．指定方法 5．第一特性数字で表される危険な箇所への接近、及び外来固形物に対する保護等級 6．第二特性数字で表される水の浸入に対する保護等級 7．付加文字で表される危険な箇所への接近に対する保護等級 8．補助文字 9．IP コードによる表示例 10．表示 11．試験の一般的要求事項 12．第一特性数字によって表される危険な箇所への接近に対する保護に対する試験 13．第一特性数字によって表される外来固形物に対する保護の試験 14．第二特性数字によって表される水に対する保護等級の試験 15．付加文字によって表される危険な部分への接近に対する保護のための試験 附属書</p>		
規格内容（抜粋）		
<ul style="list-style-type: none"> ・ IP コード（IPXX）で表される保護等級の内容が解説してある。 ・ 第一特性文字は危険な箇所への接近、及び外来固形物に対する保護等級を、第二特性文字は水の浸入に対する保護等級をそれぞれ定義している。 <p>定義例</p> <p style="padding-left: 2em;">第一特性文字：5：防じん型「じんあいの侵入を完全に防止することはできないが、電気機器の所定の動作、及び安全性を阻害する量の侵入があってはならない」</p> <p style="padding-left: 2em;">第二特性文字：3：散水に対して保護する。「鉛直から両側に 60 度までの角度で噴霧した水によっても有害な影響を及ぼしてはならない」</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 上記の 2 つの特性を要求する場合は、IP53 と表現される。 		
備考		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 国際規格 IEC60529 を日本へ適合された規格。配電機器の保護等級を指定する場合に使用できる。 		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本規格協会	JIS C 4304-1995	配電用 6kV 油入変圧器
適用範囲（抜粋）		
一般の配電の目的に使用する単相または三相 6kV の屋外用自冷式油入変圧器のうち、定格容量 500kVA 以下、定格周波数 50Hz または 60Hz のもの		
項目		
1. 適用範囲 2. 引用規格 3. 定義 4. 標準使用状態 5. 特殊使用状態 6. 耐汚損特性区分 7. 定格 8. 性能 9. 構造 10. 試験 11. 製品の呼び方 12. 表示		
備考		
変圧器の規格		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
電気学会	JEC-2200-1995	変圧器
適用範囲（抜粋）		
下記以外の変圧器（単巻変圧器を含む）		
<ul style="list-style-type: none"> - 単相 1kVA 未満及び三相 5kVA 未満の変圧器 - 配電用 6kV 油入変圧器（JIS C 4304 に規定されるもの） - 配電用 6kV モールド変圧器（JIS C 4306 に規定されるもの） - 計器用変圧器 - 接地変圧器及び消弧変圧器 - 半導体電力変換装置用変圧器 - 始動変圧器（始動補償器） - 誘導電圧調整器及び移相器 - 試験用変圧器 - 車両用変圧器 - 溶接用変圧器 - 通信用変圧器 		
項目		
1. 一般 2. 温度上昇 3. 絶縁 4. 短絡強度 5. 騒音レベルの決定 付属書 参考 解説		
備考		
・ JIS に規定されていない変圧器に対する規格。		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電気協会	電力用規格 C-501（1998）	配電用 6kV 油入変圧器
適用範囲（抜粋）		
配電線路に使用する定格容量 100kVA 以下の配電用単相 6kV 屋外用油入自冷式変圧器		
項目		
1. 適用範囲 2. 使用条件 3. 定格 4. 構造及び材料 5. 特性 6. 試験方法 7. 試験解説		
規格内容（抜粋）		
耐食性：錆によって通常の使用に支障とならないこと 塗装色：箱及び蓋の外面の色はマンセル記号 N5.5 とすること 騒音：定格周波数の正弦波に近い定格電圧で測定した場合、測定箇所での騒音が 50db 以下であること。なお、低騒音仕様とする場合は「平均 45db」以下とする。		
備考		
・ 配電用の単相変圧器に関する規格であり、直接は適用されないが構造、及び材料、騒音の規格値などが参考となる		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電機工業会	JEM-1118（1998）	変圧器の騒音レベル基準値
適用範囲（抜粋）		
特に変圧器の騒音レベルを保証する必要がある場合にだけ適用し、二巻線変圧器としての等価容量に対し、単相、三相及び 50Hz、60Hz の別なく適用。ただし、整流器用、電鉄用、及び電気炉用変圧器の騒音並びに負荷時タップ切替装置をもつ変圧器の開閉器が、動作中に発生する騒音は対象外。		
項目		
1. 適用範囲 2. 引用規格 3. 裕度 4. 変圧器の騒音レベル基準値 解説		
備考		
各種変圧器の騒音の基準値の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電機工業会	JEM-1419（2000）	電力用半導体変換装置用コンデンサ
適用範囲（抜粋）		
<p>電力用半導体を含む機器に組み込み、転流・保護・フィルタなどを目的として使用するコンデンサで以下のもの</p> <ul style="list-style-type: none"> - 電極として金属はく、または蒸着金属を用い、含浸された紙、プラスチックフィルムこれらの複合体、または非含浸フィルムを誘導体として用いた密閉構造のもの - 電力用半導体を含む機器に組み込み使用しているもので、機器の外部に接続して高調波の阻止・吸収などに使用するコンデンサは除外。また、放電灯回路に使用されるもの・雑音防止装置に使用するものも除外 - 力率改善用・電動機用・誘導加熱装置に使用するものは除外 		
項目		
1．適用範囲 2．引用規格 3．定義 4．標準使用状態 5．種類 6．定格 7．性能 8．構造 9．試験 10．検査 11．製品の呼び方及び表示 付属書 解説		
備考		
・国際規格 IEC61701などを基に作成した規格。電力用半導体を含む機器に組み込むコンデンサに適用		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
電気学会	JEC-2300-1998	交流遮断器
適用範囲（抜粋）		
<p>周波数 50 または 60Hz の三相回路で、公称電圧 3.3kV 以上の電路に使用する交流遮断器。ただし、人力により閉路操作するものは除外。</p> <p>故障電流を遮断して、引き続いて投入し、通電を続けるような繰返し動作に耐える構造と性能をもった三相回路用三極遮断器に適用するが、単相回路用遮断器や 3.3kV 未満の高圧用遮断器あるいは故障電流の遮断・投入のほかに、リアクトル電流やコンデンサ電流の開閉能力のある遮断器で、年間開閉回数 2000 回程度の場合、適当な保守基準のもとで使用されるときなどは、準用可能。なお、人力により閉路操作するものは適用外としているが、動作責務、閉路性能以外の性能がこの規格に適合している場合は、その旨を明記したうえで、この規格による旨の表示を行ってもさしつかえない。適用外となるのは、遮断を電力ヒューズに頼るもの、電力用コンデンサやリアクトルの開閉専用、電気炉専用のもの。</p>		
項目		
1．適用範囲 2．用語の意味 3．使用状態 4．定格 5．動作責務と動作状態 6．回路条件 7．構造 8．銘板 9．形式試験 10．受入試験 11．参考試験 付属書		
規格内容（抜粋）		
<p>遮断器の定格電圧：使用回路の公称電圧 6.6kV の場合、7.2kV</p> <p>定格耐電圧：定格電圧 7.2kV の場合、雷インパルス、短時間商用周波（実効値）などが定められている。</p>		
備考		
・配電機器の事故時の耐電圧等の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本規格協会	JIS C 1731-1 -1998	計器用変成器（標準用及び一般計測用） 第一部：変流器

適用範囲（抜粋）

商用周波数範囲において、標準用及び一般計測用に使用する新しく製造された変流器について、以下の状態で使用するもの。

- a) 周囲温度が、最高 40、最低 - 20 の範囲を超えないで、しかも、24 時間の平均周囲温度が 35 以下の場合
- b) 設置場所が、標高 1000m を超えない場合
- c) 次に示す特殊使用状態のいずれにも該当しない場合

以下の特殊使用状態でも適用可能だが、この場合特に指定しなければならない。

- a) 設置場所の標高及び周囲温度が、前記の範囲以外の場所で使用する場合
- b) 潮風を著しく受ける場所で使用する場合
- c) 湿潤な場所で使用する場合
- d) 過度の水蒸気または過度の油蒸気がある場所で使用する場合
- e) 爆発性、可燃性、その他有害なガスがある場所及び同ガスが襲来するおそれがある場所で使用する場合
- f) 過度のじんあいがある場所で使用する場合
- g) 異常な振動または衝撃を受ける場所で使用する場合
- h) 氷雪の特に多い場所で使用する場合
- i) 蒸気のほか、特殊な条件の下で使用する場合

項目

1. 適用範囲 2. 定義 3. 使用状態 4. 構造 5. 種類・定格 6. 性能 7. 試験 8. 端子 9. 表示 附属書

規格内容（抜粋）

一般計測用変流器の比誤差及び位相角の限度

確度階級	比誤差 [%]			位相角 [分]		
	0.05 In	0.2 In	1.0 In	0.05 In	0.2 In	1.0 In
0.5 級	±1.5	±0.75	±0.5	±90	±45	±30
1.0 級	±3.0	±1.5	±1.0	±180	±90	±60
3.0 級	0.5In~1.0In ±3.0			0.5In~1.0In ±180		

備考

・配電機器制御用、集中制御用に仕様する CT の精度の参考など

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本規格協会	JIS C 1731-2 -1998	計器用変成器（標準用及び一般計測用） 第二部：変圧器

適用範囲（抜粋）

商用周波数範囲において、標準用及び一般計測用に使用する新しく製造された計器用変圧器について、以下の状態で使用するもの。

- a) 周囲温度が、最高 40、最低 -20 の範囲を超えないで、しかも、24 時間の平均周囲温度が 35 以下の場合
- b) 設置場所が、標高 1000m を超えない場合
- c) 次に示す特殊使用状態のいずれにも該当しない場合

以下の特殊使用状態でも適用可能だが、この場合特に指定しなければならない。

- a) 設置場所の標高及び周囲温度が、前記の範囲以外の場所で使用する場合
- b) 潮風を著しく受ける場所で使用する場合
- c) 湿潤な場所で使用する場合
- d) 過度の水蒸気または過度の油蒸気がある場所で使用する場合
- e) 爆発性、可燃性、その他有害なガスがある場所及び同ガスが襲来するおそれがある場所で使用する場合
- f) 過度のじんあいがある場所で使用する場合
- g) 異常な振動または衝撃を受ける場所で使用する場合
- h) 氷雪の特に多い場所で使用する場合
- i) 蒸気のほか、特殊な条件の下で使用する場合

項目

1. 適用範囲 2. 定義 3. 使用状態 4. 構造 5. 種類・定格 6. 性能 7. 試験 8. 端子 附属書

規格内容（抜粋）

一般計測用計器用変圧器の比誤差及び位相角の誤差

確度階級	比誤差 [%]	位相角 [分]
	0.7 ~ 1.1Vn	0.7 ~ 1.1Vn
0.5 級	±0.5	±20
1.0 級	±1.0	±40
3.0 級	±3.0	±120

備考

配電機器制御用、集中制御用に仕様する計器用変圧器の精度の参考など

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電機工業会	JEM-TR129（1981）	計器用変成器適用指針
適用範囲（抜粋）		
<p>（「はじめに」より）</p> <p>計器・継電器の進歩、保護システムの開発と高度化などによって、計器用変成器を組み合わせた場合の特性、短時間の規格値以上の使用、規格などの標準値で製作されたものの非標準値における適用など、計器用変成器の経済的な適用が考慮されるようになったことを踏まえ、使用者・製造業者何れにとっても便利で経済的運用を図るための適用指針を作るべく検討を行い、今までに問題となった事項をまとめ、本適用指針を作成。</p>		
項目		
1．計器用変成器の一般的特性と選定 2．変流器に関する適用指針 3．計器用変圧器に関する適用指針		
備考		
・配電機器制御用、集中制御用に仕様する変成器の参考など		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本規格協会	JIS C 3611-1991	高圧機器内配線用電線
適用範囲（抜粋）		
公称電圧 6.6kV のキュービクル式受電設備内の高圧配線に使用する絶縁電線		
項目		
1．適用範囲 2．種類及び記号 3．特性 4．材料、構造及び加工方法 5．試験方法 6．検査 7．包装 8．製品の呼び方 9．表示		
備考		
・配電機器内部に使用する配線の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
電気学会	JEC-2500-1987	電力用保護継電器
適用範囲（抜粋）		
<p>電力機器または電力線の保護に使用され、かつ電気量、または物理量に対応した電気量で駆動される継電器</p> <p>過電流継電器・不足電圧継電器・距離継電器などを内蔵した複合形継電器についても基本的に従来の継電器と同一視される項目については適用。</p>		
項目		
1．適用範囲 2．用語の意味 3．使用状態 4．定格 5．構造 6．試験・検査 7．表示 参考 解説		
備考		
・配電機器の保護協調設計の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
電気学会	JEC-2510-1989	過電流継電器
適用範囲（抜粋）		
<p>電力機器、または電力線の保護に使用する単相形過電流継電器</p> <ul style="list-style-type: none"> - 一つの外箱に1個または複数個収納された過電流継電器 - 一つの外箱に異種の継電器とともに収納された過電流継電器 - 方向継電器・電圧継電器などで制御される過電流継電器 <p>対象外の継電器は以下の通り</p> <ul style="list-style-type: none"> - 電圧抑制付き・高調波抑制付きなどの過電流継電器 - 零相変流器と組み合わせ調整され、一次電流で動作値が目盛りされている継電器 - 三相電流の最大値・正相あるいは逆相などに応動する三相形継電器 - 三相の過電流・過負荷・欠相・反相などの複合機能を持つ継電器 - 入力電流から機器の温度を計算して、過負荷保護を行う継電器 <p>なお、対象外とみなされる過電流継電器に対しても、適用可能な項目については本規格を準用することが望ましい。</p>		
項目		
1. 適用範囲 2. 用語の意味 3. 使用状態 4. 種類・定格・標準値 5. 構造 6. 性能・試験・検査 7. 表示 解説		
備考		
・ 配電機器の保護協調設計の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
電気学会	JEC-2511-1995	電圧継電器
適用範囲（抜粋）		
電力機器、または電力線の保護に使用される過電圧継電器、地絡過電圧継電器、及び不足電圧継電器		
<p>(1) 相・相間及び零相電圧に直接応動する電圧継電器</p> <p>(2) 各相の相電圧（Y回路電圧）入力より算出される零相電圧または相間電圧に応動する電圧継電器。</p> <p>また、この規格の対象外となる継電器の例は、以下の通り。</p> <p>(1) 異種の電圧による抑制付などの電圧継電器</p> <p>(2) 電流補償付などの電圧継電器</p> <p>(3) コンデンサの断線、短絡保護用に用いられる電圧平衡継電器、積分形の電圧調整継電器など特殊な継電器</p> <p>(4) 三相電圧の正相分・逆相分・欠相あるいは反相などに応動する三相形継電器</p> <p>なお、対象外とみなされる電圧継電器に対しても、適用可能な項目については準用することが望ましい。</p>		
項目		
1. 適用範囲 2. 用語の意味 3. 使用状態 4. 種類・定格・標準値 5. 構造 6. 性能・試験・検査 7. 表示 解説		
備考		
・ 配電機器の保護協調設計の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電気協会	電力用規格 B-402（1997）	デジタル形保護継電器及び保護継電装置
適用範囲（抜粋）		
電力会社の変電所及び開閉所で使用するデジタル形の保護継電器、及び保護継電装置。特殊な用途・構造・特性のものなどについては、適用できる事項について準用。		
項目		
1. 総則 2. 使用状態 3. 定格 4. 一般仕様 5. 構造 6. 性能 7. 試験 8. 検査 9. 展開接続図		
備考		
・ 配電機器の保護協調設計の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
電気学会	JEC-1201-19936	計器用変成器（保護継電器用）
適用範囲（抜粋）		
保護継電器とともに使用する商用周波数範囲の新しく製造される計器用変成器		
項目		
1．総則 2．変流器 3．零相変流器 4．計器用変圧器 附属書 参考 解説		
備考		
・配電機器に使用する保護要素の設計の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
電気学会	JEC-210-1981	低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準
適用範囲（抜粋）		
公称電圧 3.3～500kV の三相交流回路に接続される電力機器の低圧制御回路。電気事業用の施設（発電所、開閉所、通信所、制御所、給電所など）ならびに特別高圧自家用のこれに準ずる施設の保護、制御、操作、計測、監視用などの装置器具に関連する回路（交流 600V 以下、直流 750V 以下）及び計器用変圧器、変流器の二次、三次回路。		
項目		
1．適用範囲 2．耐電圧試験の種類 3．試験電圧値 4．試験方法 付録		
備考		
・配電機器、集中制御システム等の制御回路の絶縁試験の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電機工業会	JEM-1021（1996）	制御機器の絶縁抵抗及び耐電圧
適用範囲（抜粋）		
交流 7200V 以下または直流 1800V 以下の電路で使用される制御機器の絶縁抵抗、及び耐電圧		
項目		
1．適用範囲 2．用語の定義 3．標準使用状態 4．絶縁抵抗 5．耐電圧 6．試験 附属書（参考） 解説		
備考		
・配電機器、集中制御システム等の制御回路の絶縁試験の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電機工業会	JEM-1314（1971）	電気事業用電力機器の低圧制御回路の耐電圧
適用範囲（抜粋）		
3kV以上の電気事業用電気所に設置され、その構内に施設された交流、及び直流220V以下の低圧制御ケーブル（例えば、制御、監視、計測、補助ケーブルなど）に接続される電力機器の低圧制御回路		
項目		
1. 適用範囲 2. 引用規格 3. 耐電圧 解説		
備考		
・配電機器、集中制御システム等の制御回路の絶縁試験の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電気技術規格委員会	JESC E7002（1999）	電気機械器具の熱的強度の確認方法
適用範囲（抜粋）		
電路に施設する電気機械器具の熱的強度の確認方法		
項目		
1. 電気機械器具の熱的強度野確認方法（JESC E7002） 2. 解説		
備考		
・配電機器、集中制御システムに関する熱的強度の確認帆法について ・現地における温度上昇試験の合理化の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本規格協会	JIS C 60068-1-1998	環境試験方法 - 電気・電子 - 通則
適用範囲（抜粋）		
一連の環境試験方法、及びその適切な厳しさ、さらに、輸送、貯蔵及び使用のすべての状況で予期される条件で、供試品が所有する能力を評価するための測定、及び試験に対する各種の環境条件を規定。 主として電気製品を対象としているが、それらに限定せずに、他の分野にも適用可能。供試品特有の環境試験方法は、製品企画に規定してもよい。		
項目		
1. 適用範囲 2. 目的 3. 用語の定義 4. 標準大気条件（標準試験状態） 5. 試験方法の適用 6. 一連耐候性試験 7. 部品耐候性カテゴリー 8. 試験の適用 9. ある量を表す数値の意味 附属書		
備考		
・配電機器、集中制御システムの環境試験の条件の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本規格協会	JIS C 60068-2-61-1996	環境試験方法 - 電気・電子 - 一連対候試験
適用範囲（抜粋）		
<p>供試品が一連の温度、湿度、必要があれば減圧などの環境ストレスから構成された環境条件におかれたとき、供試品の適応性を決めるための組合せ試験方法を規定する。</p> <p>劣化の機構が同じであり、試験に対する規定の要求が満足されていれば、他の電気製品にも適用可能。</p>		
項目		
1. 目的 2. 引用規格 3. 定義 4. 試験機器 5. 厳しさ 6. 前処理 7. 初期測定 8. 試験 9. 後処理 10. 最終測定 11. 製品規格に規定する事項 附属書		
備考		
・ 配電機器、集中制御システムの環境試験の条件の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本規格協会	JIS C 60068-3-3-2000	環境試験方法 - 電気・電子 - 機器の耐震試験方法の指針
適用範囲（抜粋）		
<p>主として電気・電子機器に適用するが、他の機器及び部品への適用も可能。動的試験によるデータに基づいた検証だけに制限し、振動台上で試験することができる原寸大の機器の耐震試験だけを扱う。</p>		
項目		
1. 目的 2. 一般的考察 3. 定義 4. 耐震性能に関する考察 5. 試験手順 6. 試験条件 7. 標準振幅試験方法 8. 計算振幅試験方法 9. 試験パラメータ 10. 試験手順 11. 試験条件 12. 試験波形の選択 13. 試験波形 14. 試験条件 15. 単軸及び多軸試験 附属書		
規格内容（抜粋）		
電子 P.512 表2 試験レベル		
備考		
・ 配電機器の耐震試験の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本規格協会	JIS C 60721-3-4-1997	環境条件の分類 環境パラメータとその厳しさのグループ別分類 屋外固定使用の条件
適用範囲（抜粋）		
<p>屋外に設置する製品がさらされる環境パラメータとその厳しさの分類について規定。さらされる時間には、設置作業、非稼働時間、保守及び修理時間を含む。</p> <p>屋外条件とは、製品が常時または一時的に設置される地上及び沖合いの場所であり、車両の中及び車両の上での条件を除外する。</p> <p>この規格で定める環境条件は、製品の性能に直接影響を及ぼすものに限定し、そのような環境条件だけを考える。環境条件の製品に対する影響については、特に規定しない。</p> <p>火災や爆発に直接関係する環境条件、及び電離放射線に関する条件は除外する。その他の予測されない事象も除外する。特別な場合には、このような事象が発生する可能性を考慮することが望ましい。製品内の局所的な条件は除外する。</p> <p>屋内固定使用の条件、携帯及び可動使用の条件、車両及び船舶内設置の条件、保管及び輸送の条件、並びに製品内の局所的な条件は、IEC 60721-3 の他の規格に示す。</p>		
項目		
1. 適用範囲 2. 引用規格 3. 定義 4. 一般事項 5. 環境パラメータ及びその厳しさの分類 6. 環境条件の組合せの記号表示 附属書		
備考		
・ 配電機器の設計環境仕様に関する参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電機工業会	JEM-TR125（1979）	遠方監視装置の設置基準
適用範囲（抜粋）		
一般産業用設備の遠方監視制御を目的としたサイクリック方式の遠方監視制御装置の設置基準		
項目		
1. 適用範囲 2. 引用規格 3. 環境基準 4. 接地基準 5. 保安装置仕様 6. 保守基準 7. 工事仕様 附属書		
備考		
・ 集中制御システムの環境仕様他の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電機工業会	JEM-1337（1974）	集中制御用遠方監視制御装置
適用範囲（抜粋）		
一般産業用設備の遠方監視制御を目的としたサイクリック方式の集中制御用遠方監視制御装置（1：1対向方式及び1：N対抗方式）		
項目		
1．適用範囲 2．引用規格 3．使用状態 4．電源 5．伝送路 6．遠制装置容量 7．信号の受渡条件 8．集中制御方式 9．選択制御方式 10．複数ルートからの同時制御 11．二重選択防止 12．表示警報方式 13．計測値の伝送・表示方式 14．渋滞・回線断表示と子局ロック 15．遠方・直接の切換 16．遠方・直接時の表示警報 17．二重化及びバックアップ 18．伝送時間 19．符号構成 20．符号検定方式 21．符号伝送速度 22．信号伝送装置 23．計測精度 24．絶縁耐力 25．遠制装置の構造寸法 26．電話機の実装 27．論理部・入出力部の構成部品 28．点検及び試験機能 29．工場及び現地試験 30．予備品・付属品 31．外部配線工事 32．表示 解説		
備考		
・集中制御システムの通信方式、電源他の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電機工業会	JEM-1352（1976）	遠方監視制御装置のインターフェース
適用範囲（抜粋）		
一般産業用設備の遠方監視制御を目的としたサイクリック方式による遠制装置とそれに接続される他装置とのインターフェース		
項目		
1．適用範囲 2．引用規格 3．監視制御盤とのインターフェース 4．情報処理装置とのインターフェース 5．他の遠制装置、テレメータ装置とのインターフェース 6．信号伝送路、信号伝送装置とのインターフェース 7．被監視制御装置とのインターフェース 8．電源とのインターフェース 付属書 解説		
備考		
・集中制御システムの通信方式の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
電気学会	JEC-2500-1987	電力用保護継電器
適用範囲（抜粋）		
周波数 50Hz または 60Hz の正弦波交流 1500V 以下の電路に使用する半導体整流素子、半導体制御整流素子の保護用、または故障素子部分の除外用などに使用されるヒューズリンク		
項目		
1. 適用範囲 2. 用語の意味 3. 常規使用状態 4. 定格 5. 性能 6. 構造及び材質 7. 試験方法 8. 検査 9. 製品の呼び方 10. 表示 11. 明示 付属書 解説		
備考		
・保護協調の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
日本電機工業会	JEM-1383（1979）	半導体保護用ヒューズ
項目		
1. 適用範囲 2. 用語の意味 3. 使用状態 4. 種類・電流定格・特性 5. 試験 6. 表示 付属書 解説		
備考		
・保護協調の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
電気学会	JEC-2401-2002	ターンオフサイリスタ
適用範囲（抜粋）		
半導体電力変換装置、電力制御装置などに半導体バルブデバイスとして使用されるターンオフサイリスタ（pゲート）		
項目		
1. 適用範囲 2. 用語の意味 3. 使用状態 4. 定格・特性 5. 試験 6. 表示 解説		
備考		
・電力用半導体機器の規格の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
電気学会	JEC-2403-1996	逆阻止三端子サイリスタ
適用範囲（抜粋）		
半導体電力変換装置、電力制御装置またはその他の装置に使用される逆阻止三端子サイリスタ（pゲート）。ターンオフサイリスタは除外。		
項目		
1．適用範囲 2．用語の意味 3．使用状態 4．定格・特性 5．試験 6．表示 解説		
備考		
電力用半導体機器の規格の参考として		

規格策定箇所	規格番号（制定年）	規格名
電気学会	JEC-2404-1999	バイポーラパワートランジスタ
適用範囲（抜粋）		
半導体電力変換装置、電力制御装置などの装置において、主にスイッチング用途に使用されるバイポーラパワートランジスタ		
項目		
1．適用範囲 2．用語の意味 3．使用状態 4．定格・特性 5．試験 6．表示 解説		
備考		
・電力用半導体機器の規格の参考として		

(3) まとめ

開発する配電機器（LBC等）の製作に参考となるとと思われる規格群は以下の通りであり、関係するLBCの構成要素を適用対象の欄に記す。

規格作成箇所	規格番号	規格名	適用対象
LBC 全般			
電気学会	JEC-2440-1995	自励半導体電力変換装置	LBC 全般に関する用語の定義や仕様項目、試験方法等
電気学会	JEC-2410-1998	半導体電力変換装置	LBC 全般に関する用語の定義や仕様項目、試験方法等 特に、電磁環境に対するイミュニティのクラス等
日本電機工業会	JEM-TR221(2003)	公共、商業及び工業地域で用いられるパワーエレクトロニクス装置	LBC 全般において安全や使用環境に関する国際規格における規程事項等。
日本規格協会	JIS C 0920-2003	電気機械器具の外郭による保護等級（IPコード）	LBC の固体または水の浸入に対する保護等級に関して適用
変 圧 器			
日本規格協会	JIS C 4304-1995	配電用 6kV 油入変圧器	現状技術型 LBC に用いられる変圧器部に準用
電気学会	JEC-2200-1995	変圧器	現状技術型 LBC に用いられる変圧器部に準用
日本電気協会	電力用規格 C-501 (1998)	配電用 6kV 油入変圧器	現状技術型 LBC に用いられる変圧器部に準用
日本電機工業会	JEM-1118 (1998)	変圧器の騒音レベル基準値	現状技術型 LBC に用いられる変圧器部の参考として
付 属 機 器			
日本電機工業会	JEM-1419 (2000)	電力用半導体変換装置用コンデンサ	LBC の内部に用いるコンデンサに関する規格
電気学会	JEC-2300-1998	交流遮断器	機器の事故時の耐電圧等の参考
日本規格協会	JIS C 1731-1-1998	計器用変成器（標準用及び一般計測用）第一部：変流器	LBC の制御に用いる CT の精度等の参考として
日本規格協会	JIS C 1731-2-1998	計器用変成器（標準用及び一般計測用）第二部：変圧器	LBC の制御に用いる PT の精度等の参考として

規格作成箇所	規格番号	規格名	適用対象
日本電機工業会	JEM-TR129(1981)	計器用変成器適用指針	LBCの制御に用いるCT、PTの適用の参考
日本規格協会	JIS C 3611-1991	高圧機器内配線用電線	LBC内部に使用する配線用絶縁電線に適用
保 護 機 能			
電気学会	JEC-2500-1987	電力用保護継電器	LBCの保護機能の参考
電気学会	JEC-2510-1989	過電流継電器	LBCの保護機能の参考
電気学会	JEC-2511-1995	電圧継電器	LBCの保護機能の参考
日本電気協会	電力用規格 B-402(1997)	デジタル形保護継電器及び保護継電装置	LBCの保護機能の参考
電気学会	JEC-1201-19936	計器用変成器(保護継電器用)	LBCの保護機能の参考
試 験			
電気学会	JEC-210-1981	低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準	LBCの制御回路の絶縁試験条件等
日本電機工業会	JEM-1021(1996)	制御機器の絶縁抵抗及び耐電圧	LBCの制御回路の絶縁試験条件等
日本電機工業会	JEM-1314(1971)	電気事業用電力機器の低圧制御回路の耐電圧	LBCの制御回路の絶縁試験条件等
日本電気技術規格委員会	JESC E7002 (1999)	電気機械器具の熱的強度の確認方法	LBCの熱的強度の確認方法の参考
日本規格協会	JIS C 60068-1-1998	環境試験方法 - 電気・電子 - 通則	LBCの環境試験方法の条件等
日本規格協会	JIS C 60068-2-61-1996	環境試験方法 - 電気・電子 - 一連対候試験	LBCの環境試験方法、特に屋外設置における劣化に対する試験の条件等
日本規格協会	JIS C 60068-3-3-2000	環境試験方法 - 電気・電子 - 機器の耐震試験方法の指針	LBCの環境試験方法、特に地震動に対する試験の条件等
日本規格協会	JIS C 60721-3-4-1997	環境条件の分類 環境パラメータとその厳しさのグループ別分類 屋外固定使用の条件	LBCの使用環境条件の設定

集中制御システムの製作に参考となると思われる規格群は以下の通り。

規格作成箇所	規格番号	規格名	適用対象
集中制御システム全般			
日本電機工業 会	JEM-TR125(1979)	遠方監視装置の設置 基準	集中制御システムの設置に関する 環境、接地、保守など
日本電機工業 会	JEM-1337 (1974)	集中制御用遠方監視 制御装置	集中制御システムの方式、電源、 警報など
日本電機工業 会	JEM-1352 (1976)	遠方監視制御装置の インターフェース	集中制御システムの信号の受け 渡し手法など
保 護 機 能			
日本電気協会	電力用規格 B-402 (1997)	デジタル形保護継 電器及び保護継電装 置	集中制御システムにおける配電 用変電所保護機能との協調検討 に使用
電気学会	JEC-2500-1987	電力用保護継電器	集中制御システムにおける配電 用変電所保護機能との協調検討 に使用
電気学会	JEC-2510-1989	過電流継電器	集中制御システムにおける配電 用変電所保護機能との協調検討 に使用
電気学会	JEC-2511-1995	電圧継電器	集中制御システムにおける配電 用変電所保護機能との協調検討 に使用
電気学会	JEC-2512-2002	地絡方向継電器	集中制御システムにおける配電 用変電所保護機能との協調検討 に使用
試 験			
電気学会	JEC-210-1981	低圧制御回路絶縁試 験法・試験電圧標準	集中制御システムの制御回路の 絶縁試験条件等
日本電機工業 会	JEM-1021 (1996)	制御機器の絶縁抵抗 及び耐電圧	集中制御システムの制御回路の 絶縁試験条件等
日本電機工業 会	JEM-1314 (1971)	電気事業用電力機器 の低圧制御回路の耐 電圧	集中制御システムの制御回路の 絶縁試験条件等
日本規格協会	JIS C 60068-1 -1998	環境試験方法 - 電 気・電子 - 通則	集中制御システムの環境試験方 法の条件等
日本規格協会	JIS C 60721-3-4 -1997	環境条件の分類 環境パラメータとそ の厳しさのグループ 別分類 屋外固定使 用の条件	集中制御システムの使用環境条 件の設定

その他参考となると思われる規格群は以下の通り。

規格作成箇所	規格番号	規格名	適用対象
日本電機工業 会	JEM-1383 (1979)	半導体保護用ヒューズ	パワーエレクトロニクス機器に対する規格の参考
電気学会	JEC-2401-2002	ターンオフサイリスタ	パワーエレクトロニクス機器に対する規格の参考
電気学会	JEC-2403-1996	逆阻止三端子サイリスタ	パワーエレクトロニクス機器に対する規格の参考
電気学会	JEC-2404-1999	バイポーラパワートランジスタ	パワーエレクトロニクス機器に対する規格の参考

2.3.3 まとめ

本章においては、新たに開発する配電機器・システムの実系統適用機仕様決定時に必要となると思われる事項について整理した。

配電機器に対する規制・基準の調査の結果、特に公衆の安全や支持物設計・騒音値等の設計に必要な数値を明らかにした。

また、関係すると思われる規格を調査することにより、新たな配電機器・システムの設計時、試験時に参考となる事項を列挙した。

これらの調査結果は 第4章 実証試験の技術評価において LBC 等に求められる具体的な仕様・要件に活用した。

第3章 技術動向調査

3.1 海外の技術動向調査

本実証研究の効果的な推進に資する目的で、分散型電源の導入が電力系統に及ぼす影響を緩和する目的を主眼とした類似する機器やシステムの研究開発動向を調査した。

3.1.1 学会

電力系統、及び配電技術に関係する学会の中で、本調査においては主に米国及び欧州における国際学会の論文を調査した。

調査対象とした学会は下記の通り。

(1) CIGRE/PES¹

CIGRE(国際大電力システム会議)は民間の非営利団体で、1921年にフランスの Jean T. Laspierre 氏によって設立された。1906年に創立された IEC²が電気に関する標準を定める機関であるのに対し、IEC から独立して送変電に関する技術問題を討議する組織である。

CIGRE のカバーする領域は、一方では水力発電所、火力発電所、送電線、ケーブル及び、変電所の高電圧機器の技術であり、他方では送電及び、系統連系システムの開発である。システムの保護、遠方制御、通信機器に関する問題も CIGRE で取り扱う。なお、CIGRE は基本的に配電は対象外としているが、変電の分野で関連する議題があることが予想されるため、今回調査の対象とした。

(2) CIRED³

CIRED は英国 ERA (UK Electrical Research Association) 及び IEE (Institution of Electrical Engineers) によって、配電技術に関する国際会議の必要性から開催されるようになった。初めての会合は 1971 年に開催され、以後 2 年毎に基本的にはベルギーまたは英国で開催されている。

取り上げる領域としては配電及び関連サービスであり、技術的側面を中心に、コスト低減や環境、組織なども含まれる。

(3) IEEE⁴

正式名称は、"The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc." というアメリカに本部がある世界最大の電気・電子関係の技術者組織である。「アイ・トリプル・イー」と呼称され、世界 150 カ国に 377,000 人以上の会員を擁する非営利団体。IEEE は、コンピュータ、バイオ、通信、電力、航空、電子等の技術分野で指導的な役割を担ってい

¹ <http://www.cigre-jnc.org/outline.cgi>、日本 CIGRE 国内委員会ホームページ

² 「International Electrotechnical Commission: 国際電気標準会議」の略。電気、電子、通信、原子力などの分野で各国の規格・標準の調整を行う国際機関。1906年に設立され、1947年以降は ISO の電気・電子部門を担当している。本部はスイスのジュネーブ。

³ <http://www.cired.be/>

⁴ <http://www.ieee-jp.org/section/tokyo/adm/info/faq.htm#A1>

る。37の専門部会(Society)と4つのTechnical Council(関連Societyの連合:略称TC)があり、国際会議の開催、論文誌の発行、技術教育、標準化などの活動を行っている。

PES(Power Engineering Society)は全世界的な電力技術に関する専門部会であり、様々なカンファレンスやシンポジウムが開催されている。配電系統や分散型電源にかかわるものとしては、PSCE(Power Systems Conference & Exposition)とTransmission & Distribution Conferenceがある。

(4) DistribUTECH

DistribUTECHは、米国において開催される世界最大規模の電気・ガス・水道の総合技術展である。参加者は米国、ヨーロッパ、南米、東南アジア、中東など。4,000人程度の参加者がある大規模な展示会であり、カンファレンスも同時開催される。

調査結果は、論文の内容毎に以下の分類で整理した。また、技術動向に加え、背景資料としての施策や規制・基準に関する論文も併せて調査し、調査結果は別途【第三部】電力供給の現状調査経過報告に織り込んで記載してある。

分散型電源の大量導入による電力系統への影響評価

系統側電圧上昇対策

- 1 パワエレ機器以外
- 2 パワエレ機器
- 3 対策システム

分散型電源に関する配電系統関連の研究

- 1 研究開発プロジェクト
- 2 実証試験

その他

- 1 規制・基準
- 2 施策

【分散型電源の大量導入による電力系統への影響評価】

	講演題目	著者	国	概要	備考
4	CIRED 2003/05 TOWARDS A FRAMEWORK FOR MANAGING ACTIVE NETWORKS	Dave OPENSHAW	英国	英国では現在受動的な配電系統であるため、分散型電源を受けいれる範囲は限られている可能性がある。最大・最小負荷条件下での電圧変動は既に法定限度に近いかもしれないとの記述あり。 他の問題として、事故電流の増大（超伝導故障電流制限器の対策が記述）発電機の過渡安定度を記述。	
18	IEEE PES T&D Conference 2003/09 Meshed Vs. Radial MV Distribution Network in Presence of Large Amount of DG	Gianni Celli, Fabrizio Pilo, Giuditta Pisano, Vittorio Allegranza, Rocco Cicoria and Adriano Iaria	イタリア	分散型電源大量導入時のメッシュ状系統と放射状系統の得失を整理している。 メッシュ状にも段階を設け、分散型電源の導入率と併せて各種の評価基準（損失、電圧分布、利用率、短絡電流）から評価している。 結論として、種々の対策を施した上でのメッシュ状系統への移行を提案している。	

*表中の NO. は後述する各文献の整理番号に対応。

- 1 【系統側電圧上昇対策（パワエレ機器以外）】

	講演題目	著者	国	概要	備考
5	CIRED 2003/05 IMPACT OF DG AND VOLTAGE REGULATOR INTERACTION ON DISTRIBUTION SYSTEM VOLTAGE REGULATION	Ljubomir KOJOVIC	米国	分散型電源が配電系統に接続された際の電圧調整について、SVR 設置箇所の潮流方向の変化による変電所方向の誤判定の問題を指摘している。また、その解決策として、SVR の負荷側に他の負荷がないときには逆潮流時にも反転しないコジェネレーションモード、系統構成の変更を考慮して、無効電力潮流を監視する無効双方向モードについて記述している。 シミュレーションにより、上記動作を確認。	SVR の動作は日本の機器とほぼ同一と思われる。 無効電力潮流の方向を基に制御を行う無効双方向モードと呼ばれるモードがある。
6	CIRED 2003/05 AN ACTIVE 11 kV VOLTAGE CONTROLLER : PRACTICAL CONSIDERATIONS	Martin HIRD, Nick JENKINS, Phil TAYLOR	英国	系統状態データ（電圧・電流値）を収集し、変電所送出タップを適正な位置に制御する装置（AVC : Automatic Voltage Controller）について記載されている。検討では、タップは 1.43%刻み、デッドバンド 2.5%。 実測負荷データを用いてシミュレーションを実施し、AVC を用いることにより分散型電源の連系可能量が増加することを確認。	シミュレーションでは1年間分の30分データを用い検証。詳細な効果確認は、10秒データによる検証が必要と指摘。
7	CIRED 2003/05 HYBRID CONTROL OF DISTRIBUTED GENERATORS CONNECTED TO WEAK RURAL NETWORKS TO MITIGATE VOLTAGE VARIATION	Aristides E. KIPRAKIS A.Robin WALLACE	英国	分散型電源の普及による配電系統の電圧上昇に伴う分散型電源の出力抑制問題について、分散型電源の力率制御と電圧制御のハイブリッド方式による対策を提案。 変電所送出電圧のタップ切替（OLTC）による制御でもある程度は対応可能だが、動作回数の増加による影響が懸念と記載。	

* 表中の NO. は後述する各文献の整理番号に対応。

- 2 【系統側電圧上昇対策（パワエレ機器）】

	講演題目	著者	国	概要	備考
1	CIGRE/PES 2003/10 The impact of dispersed power generation in Distribution systems	B. M. Buchholz and C. Boese	ドイツ	MVDC (Medium Voltage Direct Current) と呼ばれる BTB 機器を異なるフィーダの配電線路末端に適用。DEMS と呼ばれるシステムと同時に使用したシミュレーションにより供給信頼度の向上、有効及び無効電力の供給により電圧品質の向上が図れることを確認。	実系統適用にはより詳細な解析が必要との記述あり。
9	CIREC 2003/05 Power quality improvement through generation and power exchange on distribution level	B. Buchholz, C. Boese, N. Lewald	ドイツ	Edison プロジェクトに関する報告。 IGBT を用いた MVDC coupler を用いた有効・無効電力の調整。 BTB 機器。 制御は DEMS と呼ばれる、負荷制御を含めた集中制御システムを想定。	
13	IEEE PES T&D Conference 2003/09 Optimal Power Flow Incorporating FACTS Devices-Bibliography and Survey	Abdel-Moamen M. A Narayana Prasad Padhy	インド	電力系統に適用する FACTS 機器を総括。	
14	IEEE PES T&D Conference 2003/09 EXPERIENCE WITH A DYNAMIC VOLTAGE RESTORER FOR A CRITICAL MANUFACTURING FACILITY	Roger Affolter, Bill Connell	米国	ABB の Dynamic Voltage Restorer (DVR) Series Voltage Restorer (SVR) に関する論文。 SVR については、ある程度までの系統電圧の上昇と低下を持続的に補償することが可能と記述している。	

15	IEEE PES T&D Conference 2003/09 How FACTS Controllers Benefit AC Transmission Systems	John J. Paserba	米国	米国 IEEE の送配電委員会による電力系統適用 FACTS 機器に関する報告。基本的には送電系統が対象ではあるが、各種 FACTS 機器の原理や実系統適用時の検討項目など、参考となる。	
----	--	-----------------	----	---	--

*表中の NO. は後述する各文献の整理番号に対応。

- 3 【系統側電圧上昇対策（対策システム）】

	講演題目	著者	国	概要	備考
1	CIGRE/PES 2003/10 The impact of dispersed power generation in Distribution systems	B. M. Buchholz and C. Boese	ドイツ	非集中型エネルギー管理システム（DEMS）と呼ばれるシステムを提唱。気象条件と負荷予測に基づき分散型電源の発電量を制御。MVDC（BTB 機器）、電力貯蔵、分散型発電機を組み合わせることで供給信頼度向上を図る。	DEMS は実証済みと記述。
4	CIREN 2003/05 TOWARDS A FRAMEWORK FOR MANAGING ACTIVE NETWORKS	Dave OPENSHAW	英国	分散型電源導入に対応するためのシステムとして、変電所送電電圧の制御に関して、AVC（Automatic Voltage Controller）とLDCを組み合わせて電圧を適正範囲に制御する Active Management Network を提唱している。	AVCはEconnect社ではGenAVCという製品名。
8	CIREN 2003/05 REAL-TIME VOLTAGE REGULATION OF DISTRIBUTION NETWORKS WITH DISTRIBUTED GENERATION	H. Leite, H.Y. Li, N. Jenkins, P.F.Gale	英国	変電所送電電圧の制御に使用する基準電圧の値を、系統から測定した電圧により適切に決定する手法について提案。シミュレーション（RTDS 使用）により効果を確認。	
9	CIREN 2003/05 Power quality improvement through generation and power exchange on distribution level	B. Buchholz, C. Boese, N. Lewald	ドイツ	Edison プロジェクトに関する報告。DEMS と呼ばれるエネルギー管理システムについて記述がある。DEMS は発電装置及び負荷・電力貯蔵装置、電力融通装置（MVDC を想定）を制御し、「仮想発電所」を実現する。	
11	IEEE PES T&D Conference 2003/09 Advanced Distribution System Automation	Ljubomir A. Kojovic, Timothy R. Day,	米国	Peer-to-peer 通信を用いた配電自動化コンセプトに関する論文。配電線に存在する機器間の通信制御方式について。論文では開閉器の通信の検討を行っているが、適用先として電圧調整機器やLRTなどの記述がある。通信プロトコルについて。	

16	IEEE PES T&D Conference 2003/09 Distribution Voltage and Reactive Power Control at Georgia Power Company	Lee E. Welch	米国	Georgia Power Company 社における電圧管理に関する報告。 同社では、SCADA システムと負荷タップ切替器、電力用コンデンサ の設置により、電圧を調整して送電効率を高めるプログラム (DEP : Distribution Efficiency Program) を実施して成果を挙げている。	一部を除いて、同社 の配電システムでは系統 途中における電圧制 御装置は設置してい ないとの記述あり。
18	IEEE PES T&D Conference 2003/09 Meshed Vs. Radial MV Distribution Network in Presence of Large Amount of DG	Gianni Celli, Fabrizio Pilo, Giuditta Pisano, Vittorio Alleganza, Rocco Cicoria and Adriano Iaria	イタリア	分散型電源大量導入時のメッシュ状系統と放射状系統の得失を整理 している。 メッシュ状にも段階を設け、分散型電源の導入率と併せて各種の評 価基準 (損失、電圧分布、利用率、短絡電流) から評価している。 結論として、種々の対策を施した上でのメッシュ状系統への移行を 提案している。	
21	DistribuTECH 2004/01 "Premium Operating Districts" Provide Superior Reliability for Industrial Customers using the DV2010 Primary Voltage Network	Fanning, Russel We Energies	米国	We Energies が参加する配電ビジョン 2010 の紹介。高供給信頼性配 電システムを計画。 POD と呼ばれる高速開閉器と SCADA システムを用いて停電時間を最 小にするプロジェクト。 集中制御対象として、将来は電圧制御機器や負荷時タップ切替器の 制御なども含まれている。	実証試験を実施中 であるが、電圧制御機 器については後年度 の様相。

*表中の NO. は後述する各文献の整理番号に対応。

- 1 【分散型電源に関する配電系統関連の研究（研究開発プロジェクト）】

	講演題目	著者	国	概要	備考
9	CIRED 2003/05 Power quality improvement through generation and power exchange on distribution level	B. Buchholz, C. Boese, N. Lewald	ドイツ	Edison プロジェクトに関する報告。 IGBT を用いた MVDC (Medium Voltage Direct Current) coupler を用いた有効・無効電力の調整。BTB 機器。非集中型エネルギー管理システム (DEMS)。	
17	IEEE PES PSCE 2004/10 Towards Realizing the GridWise™ Vision: Integrating the Operations and Behavior of Dispersed Energy Devices, Consumers, and Markets	Sunil Cherian, Spirae, and Ron Ambrosio, IBM Research	米国	DOE (米国エネルギー省) における GridWise プロジェクトについて。 IT 技術を用いて需要家が積極的に電力市場に参加し、分散型電源の運転を決定する手法についての報告。	
20	DistribuTECH 2004/01 Microgrids - Providing Power Quality, Reliability, Security, and Economic Development	Coffman, Eric; Steigelmann, William	米国	Microgrids に関するレビュー。 米国の各種マイクログリッドプロジェクトの紹介が記載。 マイクログリッドについては参考となる。	

*表中の NO. は後述する各文献の整理番号に対応。

- 2 【分散型電源に関する配電系統関連の研究（実証試験）】

	講演題目	著者	国	概要	備考
10	CIRED 2003/05 A flexible test bench for the test and development of power electronic devices connected to the distribution network	I. Etxeberria Otañui, R. Reyero, S. Bacha	スペイン	パワエレ機器の電力系統への実験施設に関する論文。 系統模擬線に直列及び並列のインバータを BTB で接続し、各種装置の試験ができる施設。直列インバータ側を分散型電源模擬、並列インバータ側を系統への連系点などと模擬できる。 DVR（動的電圧補償装置）、アクティブフィルタの例が記載。	
20	DistribUTECH 2004/01 Microgrids - Providing Power Quality, Reliability, Security, and Economic Development	Coffman, Eric; Steigelmann, William	米国	Microgrids に関するレビュー。 米国の各種マイクログリッドプロジェクトの紹介が記載。 マイクログリッドについては参考となる。	
21	DistribUTECH 2004/01 "Premium Operating Districts" Provide Superior Reliability for Industrial Customers using the DV2010 Primary Voltage Network	Fanning, Russel We Energies	米国	We Energies が参加する配電ビジョン 2010 の紹介。高供給信頼性配電系統を計画。 POD と呼ばれる高速開閉器と SCADA システムを用いて停電時間を最小にするプロジェクト。 集中制御対象として、将来は電圧制御機器や負荷時タップ切替器の制御なども含まれている。	実証試験を実施中であるが、電圧制御機器については後年度の模様。

*表中の NO. は後述する各文献の整理番号に対応。

- 1 【その他（規制・基準）】

	講演題目	著者	国	概要	備考
2	CIRED 2003/05 POWER SYSTEM AUTOMATION AND THE IEEE STANDARD ON DISTRIBUTED RESOURCE INTERCONNECTIONS WITH ELECTRIC POWER SYSTEMS	William , J. ACKERMAN	米国	米国の分散型電源系統連系要件である IEEE1547 の成立過程や現状に関する論文。	
3	CIRED 2003/05 CONNECTION REQUIREMENTS FOR SMALL-SCALE DISTRIBUTED GENERATION (UP TO 16A PER PHASE) OPERATING IN PARALLEL WITH PUBLIC DISTRIBUTION NETWORKS	John SINCLAIR , Peter THOMAS	英国	英国の分散型電源系統連系要件である ER G83 の成立過程や数値の根拠等に関する論文。	
12	IEEE PES T&D Conference 2003/09 IEEE P1547-Series Of Standards For Interconnection	Thomas S. Basso Richard D. DeBlasio	米国	米国の分散型電源系統連系要件である IEEE1547 の成立過程や現状に関する論文。	

18	IEEE PES T&D Conference 2003/09 Meshed Vs. Radial MV Distribution Network in Presence of Large Amount of DG	Gianni Celli, Fabrizio Pilo, Giuditta Pisano, Vittorio Allegranza, Rocco Cicoria and Adriano Iaria	イタリア	イタリアにおいては、分散型電源は一定力率運転が定められているとの記述がある。	
----	---	--	------	--	--

* 表中の NO. は後述する各文献の整理番号に対応。

- 2 【その他（施策）】

	講演題目	著者	国	概要	備考
4	CIRED 2003/05 TOWARDS A FRAMEWORK FOR MANAGING ACTIVE NETWORKS	Dave OPENSHAW	英国	序文に英国の再生可能エネルギーが 2010 年 10%、CHP10GW、更なる提案として 2020 年再生可能エネルギー20%の普及目標を記載。分散型電源接続時の費用負担についても記述。浅めの費用負担には規制資産基準(RAB)が関係してくることなどを記述。提案として「浅めの費用負担」を提案。	目標数値データは英国政府のエネルギーレビュー。
19	DistribuTECH 2004/01 Electricity Sector - Framework for the Future	Gabriel, Mark A.	米国	EPRI の電力部門の将来構想に関する論文。	
20	DistribuTECH 2004/01 Microgrids - Providing Power Quality, Reliability, Security, and Economic Development	Coffman, Eric; Steigelmann, William	米国	報告の中で PURPA (公共事業規制政策法) や FERC (連邦エネルギー規制委員会) による QF (有資格施設) などの経緯が記されている。	

*表中の NO. は後述する各文献の整理番号に対応。

整理番号 1

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国(筆頭著者)
CIGRE/PES	2003/10	モントリオール/カナダ	B. M. Buchholz, Siemens C. Boese, Siemens	ドイツ
講演題目				
The impact of dispersed power generation in distribution systems 配電系統における分散型電源の影響				
要約				
<p>電力自由化の流れの中で、分散型発電装置から配電系統への給電量が増加しつつある。新たな分散型システムの構成要素が及ぼす影響を調査することによって、経済性と電力品質の両面で最も優れた運転を実現しなければならない。風力タービンや太陽光発電施設などの分散型電源は、不連続的で需給バランスをとることが不可能であるという特性を持っているため、再生可能エネルギー発電のシェアが大きい系統では、負荷変動全体に関するエネルギー管理と負荷潮流解析が必要である。一般的な分散型電源の静的・動的挙動に関するシミュレーションモデルが新たに開発されている。</p> <p>MVDC (Midium Voltage Direct Current system) などを用いた新しい配電系統構成及び運転管理手法を 2 つの自治体の配電系統に適用し、その結果、需要家と分散型電源の距離が近いことや配電レベルでの電力融通が可能になることにより、経済的かつ環境に優しい配電系統構成となる可能性を秘めていることが確認された。この方法は、供給信頼性と電圧品質の両面を含め、高いレベルの電力品質を提供するものである。</p>				
キーワード				
経済性、エネルギー管理、エネルギー貯蔵、配電、発電、電力系統シミュレーション、電力品質、信頼性評価				
抜粋				
<p><i>A : 信頼性評価</i></p> <p>現在、具体的な信頼度指数を提供する確率論的手法が、電力系統計画用の画期的なソフトウェアツールに採用されている。電力系統の構成要素に関するデータの他、トポロジーや保護の概念、電力系統の構成要素の停止の頻度や継続時間に関する統計データなどが解析ツールの入力データとして扱われる。信頼性調査では、適切な指数を用いることにより、供給信頼性について詳細に説明される(表1参照)。</p>				

表 I 確率論的信頼度指数

TABLE I
PROBABILISTIC RELIABILITY INDICES

Index	Sym.	Unit
Frequency of supply interruptions	F_i	1/a
Average duration of supply interruption	T_i	h
Probability of supply interruption (also: non-availability)	Q_i	1, or min/a
Interrupted power (cumulative)	P_i	MVA/a
Energy not delivered in time (cum.)	E_i	MWh/a
Monetary evaluation	C_i, R_i	€/a

これらの指数により、電力系統全体、単一の変電所、電力系統の設備、及び個々の需要家の品質に関する定量的評価が可能となる。

このようにして、差別化した評価が可能となり、(n-1) 基準の補足として使用することができる。

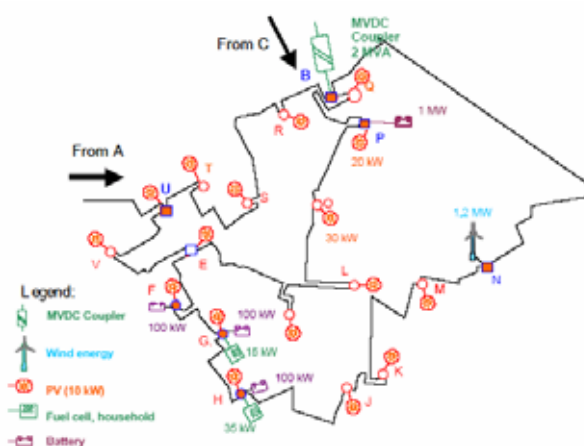


Fig. 7. Allocation of the dispersed generation, storage and MVDC Coupler in Net3

図 ある地域における分散型電源、貯蔵、及び MVDC カプラーの配置

考察

本発表を行っている著者は SIEMENS 社所属であり、ここで想定されている MVDC は SIEMENS の商品名 SIPLINK であると思われる。

本検討は全て机上の検討ではあるが、BTB 機器である MVDC を配電システムの末端に接続し、電圧の維持及び電力融通に使用していることは興味深い。

但し、本報告では分散型電源の導入による電圧上昇には触れていない。

また、MVDC の最適利用のためには分散型電源出力や負荷抑制を集中制御的に行うシステムと併せて用いることが示唆されている。

整理番号 2

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国(筆頭著者)
CIREC	2003/05	バルセロナ	William J.ACKERMAN, ABB	米国
講演題目				
POWER SYSTEM AUTOMATION AND THE IEEE STANDARD ON DISTRIBUTED RESOURCE INTERCONNECTIONS WITH ELECTRIC POWER SYSTEMS 電力システムの自動化及び分散型電源の電力システムとの連系に関する IEEE 規格				
要約				
<p>IEEE P-1547 は、分散型供給源をエリア電力システムへ技術的に問題なく連系するための、全世界で必要とされる必須で最低限の機能的技術要件を規定するよう提案している。明示的に述べられてはいないが、このような連系のほとんどは、配電システムレベルで実施されると予想されている。</p> <p>本稿は、P-1547 の目的、及び今日までの研究、ならびにその現状に関してまとめたものである。また、提案する後継プロジェクトのいくつかについて説明する。提案する規格は、規制機関による分散型電源関連の決定、及び要求事項に影響を与えることになるだろう。</p> <p>投票による最終決定に至る規格作成作業部会の努力は、広範囲に及び、また多くの争点を包含するものである。「ユーザー」グループ (DR (:Distributed Resources) の連系先である電力会社、DR 所有者、及び DR 設置者を含む) の利益は、「製造者」(DR 装置メーカー) 及び「公共の利益」グループ (政府機関、権利擁護団体、及び環境保護団体) の利益と相反すると見られることが多い。本稿では、すべての関係者の立場についての説明を試み、最終的にどこで合意できるかを予測する。</p> <p>あるエリアの電力システムに DR を追加すると、その電力システムの制御と運転は著しい影響を受ける。DR の普及率が増加すると、変電所に対する現在の監視・制御・自動化計画を大幅に変更 (おそらくは全面的に刷新) する必要があるが出てくる。大きな潜在的影響のいくつかを指摘する。</p>				
キーワード⁵				
IEEE1547、分散型電源の定義、系統連系基準				

⁵ 学会論文抄録中にキーワードが記載されていないため、エネルギー総合工学研究所でキーワードを記載している。

抜粋

IEEE1547 の検討過程として、企画調整委員会 (SCC-21) の審議過程について、ドラフト7～10 までに行われた修正の概要について、記載がある。

また、ドラフトに対する賛成・反対票の分析を行い、「ユーザー」、「製造者」そして「公共の利益その他」グループに投票者を分類している (右表)。

ドラフト8からドラフト9で大きく変更された点は、他の規格や文書で扱う方が適切と思われる情報を削除した点である。例えば、手順要件、適用指針、安全対策、諸手続、装置別の基準などがこれに含まれる。ドラフト9は作業部会の会合で再検討され、これを基にドラフト10 が作成され、あらためて投票実施のために提出された。

Vote Count - Draft 7			
Voter Category	Affirmative	Negative	Totals
User	31	23	54
Producer	37	12	49
General Interest	30	15	45
Totals	98	50	148

Table 1: P-1547 Ballot Results - Draft 7

Vote Count - Draft 8			
Voter Category	Affirmative	Negative	Totals
User	25	33	58
Producer	43	6	49
General Interest	35	14	49
Totals	103	53	156

Table 2: P-1547 Ballot Results - Draft 8

考察

米国 IEEE1547 に関する検討状況が記載されている。上記内容のほかにも、検討の際に考慮すべき事項などが記載されている。なお、規格番号の P は提案段階であり、規定されていない状態を示す。

なお、IEEE1547 シリーズとしては、上述の 1547.1～3 以外にも 1547.4～6 までが制定予定である。⁶

⁶ Web サイト <http://grouper.ieee.org/groups/scc21/> より

整理番号 3

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国（筆頭著者）
CIREC	2003/05	バルセロナ	John SINCLAIR, Electricity Association Peter THOMAS, Scottish Power	英国
講演題目				
CONNECTION REQUIREMENTS FOR SMALL-SCALE DISTRIBUTED GENERATION (UP TO 16A PER PHASE) OPERATING IN PARALLEL WITH PUBLIC DISTRIBUTION NETWORKS 公共配電系統に並行運転される小規模分散型電源（位相あたり 16A 以下）の接続要件				
要約				
<p>1997 年、環境汚染を抑制することを目的とした京都議定書が調印された。これにより、英国政府は努力目標として、2010 年における電力供給の目標値を次のように定めた。</p> <p>・「電力供給量の 10%を再生可能エネルギー源から調達する。さらに、10 GW (e) を熱電併給 (CHP) とする。」</p> <p>1997 年以前、住宅敷地内に配置される小規模発電装置の市場は、一部の製品が開発中だったとはいえ、ほとんど存在しなかった。英国政府が設定した目標値は、そのような小規模発電装置の開発に新たな弾みを与えた。</p> <p>英国内の配電系統運営者 (DNO) には、効率的かつ非差別的な態様で、新たな電源及び需要 (負荷) の接続を受け入れる義務がある。また DNO には、電圧及び周波数についての法定限度を逸脱することなく、需要家に電力を供給し続ける認可上の義務がある。</p> <p>DNO とその需要家の両方を支援するため、英国電力業界では接続についての要求事項を規定する多数の文書を作成している。これらの文書は強制力のない作業標準であり、系統運営者が供給品質の面で法定義務を遵守することを担保するものとして広く認識されている。</p> <p>2002 年以前にも分散型電源の接続に関する要求事項を扱った文書は存在したが、「小規模」電源に一般的に適用される文書はなかった。小規模電源への関心が高まるにつれて、DNO はそれに合わせた接続の文書を作成する必要があることを認識するようになった。この文書は、以下の 2 つの大きな役割を果たす必要がある。</p> <p>第一に、分散型電源のレベルが増加しても、DNO 系統の十分な運転の継続が確保できること。</p> <p>第二に、現行の規格や推奨事項は本来、大規模発電所向けに書かれたものであるが、新たに作成する文書は特に小規模電源の接続を容易にするものであること。特に家庭用量販用発電装置でこれを容易にするには、新たに作成する文書は、小規模発電機のメーカーや設置業者が簡単に管理できるものでなくてはならない。さらに、一般消費者などのエンドユーザーから当該文書が障壁と思われないようにすることが特に重要である。</p>				

キーワード⁷

ER G83、系統連系基準、保護

抜粋

一般的要求事項として、右表のような保護が要求されている。

- ・単独運転検出機能では、認知された技術（該当する付属書で定義）を使用すること。DNO 系統から電流パルスを引き出し、あるいは AC 電流を注入するインピーダンス測定技術を用いた能動方式は不適切。
- ・力率 DNO の低圧系統上の VAR の潮流を減少させるには、力率を 0.95（遅れ）から 0.95（進み）までの範囲とする。

TABLE 1 ER G83 Interface Protection settings

Parameter	Trip setting (maximum range)	Trip time (maximum value)
Over Voltage	264 volts (230 +14.7%)	1.5 seconds
Under Voltage	207 volts (230 – 10%)	1.5 seconds
Over Frequency	50.5 Hz (50 Hz +1%)	0.5 seconds
Under Frequency	47 Hz (50 Hz –6%)	0.5 seconds
Loss of Mains	# Operate	0.5 seconds

4.7 自立運転

自立運転（DNO からの給電がない場合も発電機が需要家負荷への給電を継続すること）は、明確に ER G83 の規定対象範囲の外に置かれている。これには次の 2 つの理由がある。

- ・DNO には、自立運転または連系状態から自立運転への移行もしくはその逆について、要求事項を定める意志がない。
- ・ER G83 の作成時、作業部会の発電を行う側の代表者には、SSEG 装置に自立運転機能を持たせるという差し迫った意志がなかった。但し、SSEG 装置が市場に出回るようになれば、DNO は、それぞれのケースに個別に対応するか、ER G83 の文言を改訂するかのいずれかによって対処することになるであろう。

考察

英国における実質上の系統連系基準となる G83⁸の数値設定根拠が記載されている。また、英国の配電系統の実態についても様々な示唆を与える発表となっている。

⁷ 学会論文抄録中にキーワードが記載されていないため、エネルギー総合工学研究所でキーワードを記載している。

⁸ 現在（2005/07 時点）では、一部改定された G83/1 が用いられている。

整理番号 4

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国（筆頭著者）
CIRE	2003/05	バルセロナ	Dave OPENSHAW, LE Group	英国
講演題目				
TOWARDS A FRAMEWORK FOR MANAGING ACTIVE NETWORKS アクティブネットワーク管理の枠組みへ向けて				
要約				
<p>京都議定書の戦略を支援するため、英国政府は再生可能エネルギー発電と良質な熱電供給（CHP）の水準向上を提案した。目標は、2010年までに、全発電量に占める再生可能エネルギーの割合を10%とすること、及び10MWのCHPを達成することである。英国政府のPerformance and Innovation Unitによる報告では、2020年までに、再生可能エネルギー発電とCHPの水準を更に上げるよう提案している。この野心的な目標では、2020年までに、全発電量に占める再生可能エネルギーの割合を20%にすることを目指している。</p> <p>この再生可能エネルギー発電とCHPの多くは送電システムよりも配電システムに接続されるので、技術的、商業的、及び規制上の難題が生じる。本稿は、その中でも重要ないくつかの課題について概説し、システム運営者が将来必然的に活発化するシステムを管理できるように、商業上及び規制上の枠組みの基礎を提案する。このような枠組みの実現を容易にするため、本稿では最重要課題に焦点を絞り、可能性のある解決策についての概要を説明するという手法を取る。</p>				
キーワード⁹				
アクティブネットワーク、GenAVC、能動的、費用負担				
抜粋				
<p>以下の図1は、単純な受動的系統の特徴を例示したものである（負荷潮流は単位アンペアで表示）。</p> <p>これに対し、図2は能動的系統の特徴をいくつか示したものである。</p>				
Fig 1 Passive distribution network		Fig 2 Active distribution network		

⁹ 学会論文抄録中にキーワードが記載されていないため、エネルギー総合工学研究所でキーワードを記載している。

能動的系統の特徴は以下のとおりである。

- ・ 電力と無効電力の潮流の方向が変わる
- ・ 実際の電力潮流と無関係な無効電力潮流
- ・ 変動し、潜在的に小さい力率
- ・ 無効電力潮流が過大な場合に増大する損失
- ・ 発電及び変化する障害レベルによる複雑な保護機能調整
- ・ 潜在的に高い障害レベル
- ・ 以下のような潜在的電力品質問題
 - ・ 過渡的トルク脈動（一部の風力タービン）
 - ・ 発電機のオン/オフ切り替えによる電圧ステップ
 - ・ 高調波（変換器接続）

考察

本論文は英国における分散型電源大量導入に対する配電系統への技術的影響、及びその解決方法の提案、商業上及び規制上の提案を行ったものである。AVC と LDC を組み合わせたアクティブネットワークを提案している。

分散型電源導入の影響としての電圧問題や故障電流、過渡安定度の問題が記述。

費用負担の議論も行い、「浅めの費用負担」を提案している。

整理番号 5

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国（筆頭著者）
CIRE	2003/05	バルセロナ	Ljubomir KOJOVIC, Cooper Power systems	米国
講演題目				
IMPACT OF DG AND VOLTAGE REGULATOR INTERACTION ON DISTRIBUTION SYSTEM VOLTAGE REGULATION 配電系統電圧制御における DG と電圧調整器の相互作用の影響				
要約				
<p>電力及び配電変圧器や線路インピーダンスを通る負荷電流は、負荷での電圧の大きさを減少させる電圧低下を引き起こす。供給場所での電圧の大きさは、指定された範囲内に維持しなくてはならない。</p> <p>これはシステムの固定的な設計（例：導体選択、変電所及び配電変圧器のタップ切替器の設定、固定コンデンサバンク）と、自動負荷タップ切替器、ステップタイプ電圧調整器（SVR）及び切替えコンデンサなどの電圧制御装置によって達成される。</p> <p>フィーダの固定的な設計は、負荷曲線が概して予測可能なパターン（フィーダ上の電流は変電所からの距離が大きくなるに従って単調に低下する）に従うという前提に基づいている。SVR 制御は絶え間なく電圧と負荷電流を監視し、それに応じてタップ位置を調整する。</p> <p>分散型電源（DG）を配電系統と連系する場合は、系統電圧曲線に影響し、SVR 制御の運用と相互に作用することがある。</p>				
キーワード¹⁰				
分散型電源、電圧調整、SVR、LDC、潮流方向				
抜粋				
<p>通常の双方向モード</p> <p>SVR 制御は、有効電力潮流の方向に基づき運転方向（フォワードまたはリバース）を決定する。この運転モードは、DG が接続されているフィーダには適していないことがある。</p> <p>図 1 では、DG は SVR 下流のフィーダ負荷よりも真の発電量が少ない。SVR を通る有効電力潮流（kW）は、左から右の方向である（変電所から DG まで）。標準の双方向センサを使用している場合、調整器はフォワードモードで、DG 側の電圧を調整する。この制御モードは、このような系統条件の間は許容される。</p> <p>DG の真の発電量が SVR と DG の間の需要家需要を超えると、SVR を通る有効電力潮流（kW）は DG から変電所までとなり、調整器はリバースモード</p>				
Figure 1. Normal Bi-Directional Mode (Forward Mode)				

¹⁰ 学会論文抄録中にキーワードが記載されていないため、エネルギー総合工学研究所でキーワードを記載している。

ードで動作して、変電所側の電圧を調整する（図2）。電源側電圧（変電所側）がSVRの設定点電圧より大きい場合、SVRは電圧を下げようとしてタップダウンする。変電所電圧は「固定されている」ので、実質的效果としてはDG側の電圧を上げることになる。これは調整器が最小タップになるまで続けられ、最終的にはSVRのDG側で10%（以上）の過電圧になる。従って、DGを接続している系統の運転にこの制御モードは使用できない。

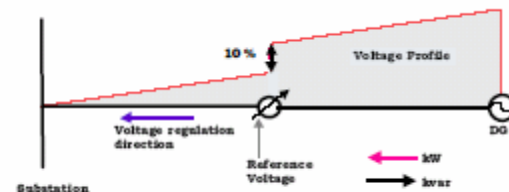


Figure 2. Normal Bi-Directional Mode (Revered Mode)

コジェネレーションモード

図3は集中負荷のためのコジェネレーションモード運転の原理を示している。ローカルDGの発電量が負荷を満たしていないとき、系統から有効電力を一部インポートする。SVRは前項で説明したように、フォワードモードで需要家の位置（Bus2、図3）での電圧を調整する。

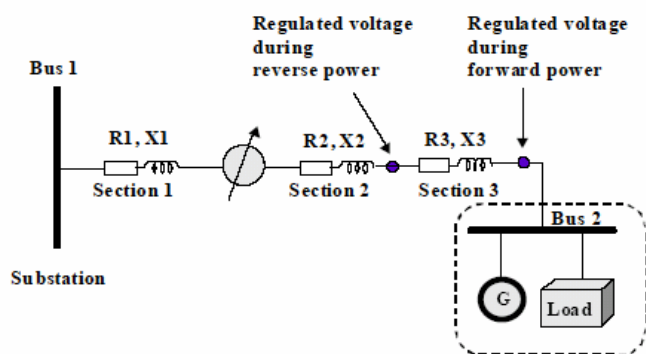


Figure 3. Co-Generation Regulation Points

図3. コジェネレーションの調整地点

DGの有効電力が負荷を超えると、有効電力の一部が系統に逆潮流される。SVRは、前と同じ側で電圧を制御し続ける。これは、逆電力が検出されても制御感知入力電圧を反転させないことによって達成される。このよう

な電力潮流方向の変化を考慮に入れて、交互のLDC設定をプログラムすることができる。

しかし、負荷がフィーダ上に分布している場合、DGがSVRのLDC動作に影響を与えることがある。DGがなければ、負荷曲線の形状が一定である限り、SVRはフィーダ上で（選択した等価のR値及びX値に基づき）選択した負荷集中部を一定電圧に調整する。

DGがフィーダ上にあると、この調整点は必ずしもRとXが選択された位置にあるというわけではない。これはDGが有効または正味の負荷曲線形状を混乱させるからである。このような調整の混乱は、DGがローカル負荷レベルを超えていない場合でも生じる。

無効双方向モード

図4は、連系開閉器が通常開いていて、DG（一定力率制御）が系統から無効電力をいくらか消費しているループ状の体系を示している。DGがなければ、変電所 S/S1 はフィーダ上の負荷に電力を供給し、SVR が負荷側の電圧を制御する。DGがあると、通常の双方向モードで説明した問題を避けるため、

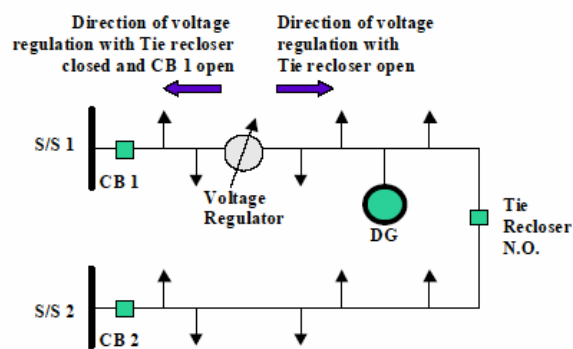


Figure 4. Application of Reactive Bi-Directional Mode Voltage Control for Loop Schemes

SVRで監視されるように、両方向になるDGの有効電力潮流に関係なく、SVRは同じ側（DG側）の電圧を制御し続ける。しかし、連系開閉器が閉じてCB1が開いているとき、SVRはCB1側で負荷の電圧を調整する必要がある。この場合、SVRを通る無効電力が変化する。

SVR制御は、電流の有効成分と無効成分とを感知することによって、無効電力潮流の方向に基づき動作方向を決定する。

無効成分の大きさが負の方向のしきい値を超えると、制御は必ず順方向に動作する。これは、電源から負荷までの間に調整器を経由する無効電力潮流に一致している。有効電力潮流の方向は、制御の動作方向に影響を与えない。

無効成分の大きさが正の方向のしきい値を超えると、制御は必ずリバース設定を用いて逆方向に動作する。これは負荷から電源までの間に調整器を経由する無効電力潮流に一致している。

この動作モードは、並列コンデンサがSVRとDGとの間にあるとき、逆方向の無効電力潮流がSVRを通過することで影響を受ける。この影響を考慮に入れるには、しきい値を調整する必要がある。

考察

SVRと分散型電源の相関関係については、日本国内で認識されている問題点と同じ。無効双方向モードが最も分散型電源に適した制御として取り扱われている。

整理番号 6

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国（筆頭著者）
CIRE	2003/05	バルセロナ	Martin HIRD, Econnect Nick JENKINS, UMIST Phil TAYLOR	英国
講演題目				
AN ACTIVE 11 kV VOLTAGE CONTROLLER : PRACTICAL CONSIDERATIONS 能動的な 11kV 電圧制御器：実用に関する考察				
要約				
<p>欧州では、気候変動に関する 1997 年の京都議定書に依りて政府が設定した再生可能エネルギーと熱電供給に対する強気な国家目標により、多くの電源が配電系統と接続されるようになってきた。このような分散型電源プロジェクトの容量を制限する 3 つの要素は、障害レベル、温度限度、及び電圧限度である。電圧限度による電源容量の限界を克服するのに用いられる 3 つの方法は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 自動電圧制御（AVC）継電器の目標電圧を下げる 電源無効電力インポートを増やす 電源有効電力エクスポートを減らす <p>AVC 継電器は、変電所で 1 つ以上のタップ切り替え変圧器を制御して、低電圧側の電圧を設定した範囲内に維持する。本論文は、AVC 継電器の目標電圧を制御する電圧制御器について説明し、英国の 33/11kV の一次変電所においてこれを導入する際に検討すべき実際的問題のいくつかについて検討する。</p>				
キーワード¹¹				
分散型電源、電圧変動、LRT、シミュレーション				

¹¹ 学会論文抄録中にキーワードが記載されていないため、エネルギー総合工学研究所でキーワードを記載している。

抜粋

図 1 は、電圧制御器の機能図である。状態評価と制御の 2 ブロックがある。黒い矢印で示した測定値、評価、及び AVC 継電器の目標電圧はリアルタイム信号である。白い矢印で示した他の入力はおフラインデータである。

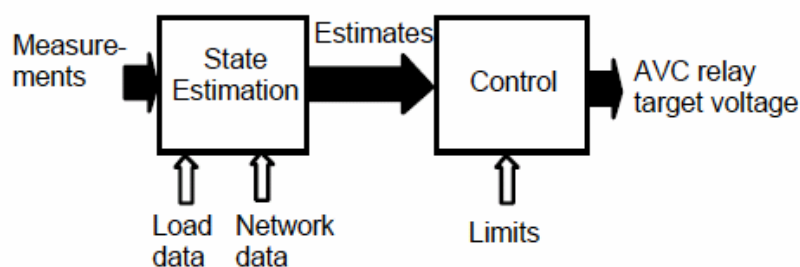


Figure 1: Voltage Controller Block Diagram

状態評価ブロックは、制御する系統の各ノードにおける電圧振幅の予測値と標準偏差を計算する。その際、電圧及び電力の測定値、負荷の履歴データ、及びトポロジーや導体インピーダンスなどの系統データを使用する。ニュートン・ラブソン法によって求めた加重最小自乗アルゴリズムを使用し、状態変数標準偏差も計算する。

考察

系統状態を観測し、変電所送出電圧のタップ制御のみで分散型電源の導入可能量の増加を確認している。

本報告ではシミュレーション結果のみであるが、変電所での実証試験の予定も記載されている。

電圧目標に対するタップの制御演算手法が参考となる。

整理番号 7

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国（筆頭著者）
CIRE	2003/05	バルセロナ	Aristides E. KIPRAKIS and A. Robin WALLACE The University of Edinburgh	英国
講演題目				
HYBRID CONTROL OF DISTRIBUTED GENERATORS CONNECTED TO WEAK RURAL NETWORKS TO MITIGATE VOLTAGE VARIATION 弱い過疎地域系統に接続する分散型電源の電圧変動を緩和するためのハイブリッド制御				
要約				
<p>通常、分散型電源は自動力率制御で運転されるが、配電系統の弱い地域ではこれが困難な場合がある。長く制限のない放射状フィーダに分散型電源が接続されていることが多く、X/R比が低く抵抗が高いためである。制約のない双方向の電力潮流は、許容不可能な電圧変動を発生して、発電機またはその他の系統保護を作動させることがある。配電系統運営者(DN)にとって、定電圧モードでの電源運転を許容できるのは時々でしかない。制御のできない分散型電源が、自動電圧制御装置の設定と矛盾する電圧に維持しようとすることがあるからである。配電線電圧上昇補償(LRC)は、定常状態の過電圧を下げられる系統制御技術である。</p> <p>本論文では、系統 LRC 制御の影響、結果、利点を分散型電源の力率、及び電圧の柔軟な制御と比較して検討する。</p>				
キーワード¹²				
分散型電源、電圧上昇、自動力率制御、自動電圧制御、ハイブリッド方式、OLTC				
抜粋				
<p>終端電圧を許容範囲内に保持するため、オンラインタップ切り替え器(OLTC)と自動電圧制御(AVC)装置の付いた単巻変圧器(AT)がDNでは長く使用されてきた(図5)。AT(母線3)の二次巻線の電圧が測定され、一次巻線のタップ切り替え機構が電圧V_3を事前に定義した帯域内に保つように調整される。しかし、フィーダ(母線4)のもう一端の電圧レベルに関する情報は全く提供されておらず、高負荷/低発電量または低負荷/高発電量の場合、遠く離れた母線の電圧V_4は、AVCがV_3を保つように動作していても、それぞれ最小または最大の電圧許容レベルを超過させる可能性がある。</p>				

¹² 学会論文抄録中にキーワードが記載されていないため、エネルギー総合工学研究所でキーワードを記載している。

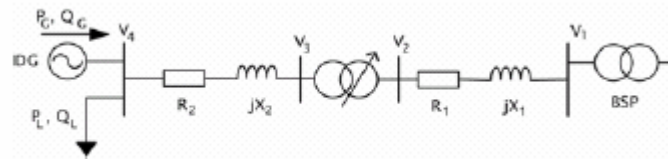


Figure 5 – AT with OLTC in the DN

図 5 - DN における OLTC 付き AT

配電線電圧降下補償（LDC）は、弱い配電系統の母線上で局所的負荷が大きいときに基幹供給点に近い母線の電圧を適切に制御することによって大きな電圧低下を緩和するという、これまで使用されてきた技術である。電圧調整対象の配電線を、線路に値を合わせた抵抗器とインダクタ（ R_2 、 X_2 ）によってシミュレートする。図 5 に示す AT の二次巻線の電圧をこのシミュレーション回路に適用し、わずかな線電流を給電することによって、線路に比例した電圧低下が抵抗器とインダクタの間に生じる。次にこの電圧を OLTC の制御信号として使用し、遠く離れた母線上の電圧 V_4 を許容帯域内に維持する。この技術を拡大した配電線電圧上昇補償（LRC）は、配電線電圧降下と同様に配電線電圧上昇にも対応するもので、DG を接続した DN 母線の電圧曲線を改善することから、容量の大きな電源の接続を可能にすると期待されている。

考察

配電系統に連系した分散型電源が電圧上昇のために有効電力出力を抑える機能に関して、自動力率制御と自動電圧制御のハイブリッド方式を提案し、シミュレーションによりその効果（系統への発電量が増加）を確認している。

変電所送出し電圧のタップ切り替え（OLTC）による制御のみでは動作回数が多くなり、系統運用者の維持費増から問題があるとしている。

整理番号 8

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国（筆頭著者）
CIREC	2003/05	バルセロナ	H.Leite, H.Y. Li, N. Jenkins UMIST	英国

講演題目

REAL-TIME VOLTAGE REGULATION OF DISTRIBUTION NETWORKS WITH DISTRIBUTED GENERATION
分散型電源を接続した配電系統のリアルタイム電圧調整

要約

配電系統で現在行われている電圧制御は、主にオンロードタップ切り替え（OLTC）変圧器と自動電圧制御（AVC）継電器で実行される。OLTC 変圧器の二次側電圧制御に影響する AVC 継電器は、電力潮流が単方向の受動的配電系統用に設計されている。分散型電源の配電系統への接続が増えることにより、許容できない電圧上昇が生じる可能性がある。従って、配電系統に接続される分散型電源の容量は、AVC 継電器の動作によって制限される。配電フィーダに沿って重要な電圧点を測定することにより、自動電圧基準設定装置からの指令値が AVC 継電器の電圧基準設定に適用される。次に AVC 継電器と OLTC 変圧器を使用して、分散型電源を接続している配電系統の電圧上昇を制御する。自動電圧基準設定装置の開発について説明する。リアルタイムのデジタルシミュレータに基づく閉ループ試験設備を製作し、装置の試験に使用した。

本論文は、その結果について検討し、この装置をどのように使用すれば AVC 継電器の基準電圧を動的に設定できるのかを考察する。

キーワード

分散型電源、電圧調整、自動電圧制御、自動電圧基準設定装置

抜粋

図 1 は自動電圧基準設定（AVRS）装置を用いた基本的なフィーダ電圧制御システムである。

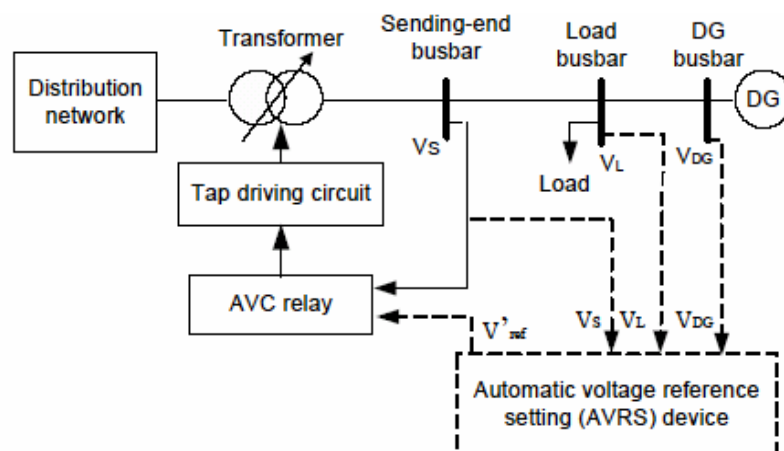


Fig.1 A basic feeder voltage control system with AVRS

図 1 . AVRS を用いた基本的フィーダ電圧制御システム

基本的な電圧制御システムは、OLTC 変圧器と AVC 継電器で構成される。AVC 継電器は、送電側母線電圧 V_s を測定して、 V_s をデッドバンド電圧上限値 V_d^{up} 及び下限値 V_d^{low} と比較する。

V_d^{up} と V_d^{low} の差が V_d に等しいとき、 $V_d^{up} = V'_{ref} + 1/2 V_d$ 及び $V_d^{low} = V'_{ref} - 1/2 V_d$

となる。 $V_s - V_d^{up} > 0$ (すなわち $V_s - V'_{ref} > V_d/2$)

または $V_s - V_d^{up} < 0$ (すなわち $V_s - V'_{ref} < -V_d/2$) のとき、

AVC 継電器は OLTC 変圧器にタップ変更の指示を出す。従って、AVC 継電器は式 (1) の不等式を使用して、OLTC 変圧器をタップ変更するかどうかを決定する。

$$|V_s - V'_{ref}| > \frac{\Delta V_d}{2} \quad (1)$$

AVC 継電器は局所的測定値 V_s のみを使用するので、フィーダ上の別の場所で発生した電圧上昇や電圧降下には気付かない。このためフィーダに沿って臨界電圧を測定するために AVRS 装置が追加される。

図 1 のフィーダに関しては、3 つの臨界電圧測定値があるとみなされる。第一にフィーダ送電側電圧 V_s 、第二に負荷母線、第三に発電機母線である。

AVRS 装置は三つの臨界電圧 V_s 、 V_L 、 V_{DG} を測定した後、AVC 継電器のために V'_{ref} を計算する。 V'_{ref} が変化すると、AVC 継電器のデッドバンド電圧上限値 V_d^{up} と下限値 V_d^{low} も変化する。フィーダの負荷需要と DG 出力に応じて V'_{ref} を設定することにより、フィーダ上の臨界電圧がフィーダの規制限度を超えた場合に、AVRS 装置が AVC 継電器の動作を確認する。

考察

変電所送出電圧制御に関して、負荷時タップ切替装置 (OLTC) のタップ制御に使用する基準電圧の設定手法。系統の各所における電圧を測定し、基準電圧設定装置 (AVRS) に取り込んで演算、タップ切替リレー (Micro TAPP) に基準電圧を伝達する。

送出電圧制御のみを用いた集中制御システムと考えられる。

整理番号 9

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国(筆頭著者)
CIRE	2003/05	バルセロナ	Bernd Michael BUCHHOLZ Siemens AG	ドイツ
講演題目				
POWER QUALITY IMPROVEMENT THROUGH GENERATION AND POWER EXCHANGE ON DISTRIBUTION LEVEL 配電レベルの発電及び電力融通による電力品質の改善				
要約				
<p>配電系統は、分散型電源、貯蔵及び配電系統間の電力融通によりますますその独立性を高めていくと予測される。但し、分散型電源は出力が気象条件に左右されるものがほとんどで、需要に応じた継続的な出力は不可能である。再生可能エネルギーによる発電の不連続な性質を系統計画に組み込み、非集中型エネルギー管理を行う手法について検討する。</p> <p>模擬系統での調査結果からは、高いレベルの電力品質を提供する手段としては、需要家に近接した分散型電源と配電レベルでの電力融通の方が系統を強化するよりも経済的にも環境的にも優れていることが明らかになった。</p>				
キーワード¹³				
経済性、エネルギー管理、エネルギー貯蔵、配電、発電、電力系統シミュレーション、電力品質、信頼性評価、DEMS、BTB、MVDC				
抜粋				
<p>DEMSの原理を右図に示す。DEMSの制御出力は、通信リンクを介してエネルギー管理プロセスに加わっているすべての装置へ接続される。すべての発電装置、及び制御可能な負荷の目標値は、事前に計算されたスケジュールに従い、15分間隔で設定され、緊急時はこれより短い間隔または手動で設定される。目標とするところは、制御可能な負荷環境と複数の発電装置及び貯蔵装置とが存在する環境において、需要に応じて出力が確定される「仮想発電所」を稼働させることである。</p> <p>ここ数十年の間に、パワーエレ</p>				

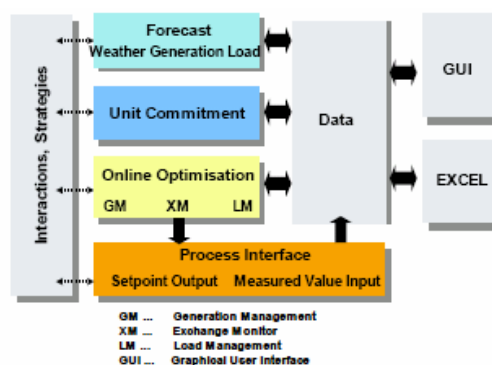


Figure 1. Structure and functionality of the decentralized energy management system "DEMS"

図1. 非集中型エネルギー管理システム (DEMS) の導入と運用

¹³ 学会論文抄録中にキーワードが記載されていないため、エネルギー総合工学研究所でキーワードを記載している。

クトロニクスは、効率、信頼性、そして柔軟性の優れた技術へと進歩している。そして、IGBT 素子を用いた自励型コンバータに基づく中電圧直流（MVDC）カプラーの適用は、配電レベルにおける直流による異系統の接続に関する複数のプロジェクトにおいて、経済的なメリットがあることが明らかにされている。

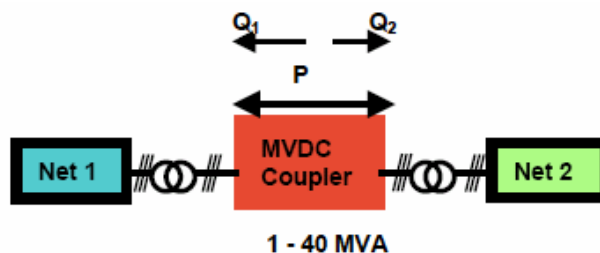


Figure 2. Principle of a MVDC Coupler

MVDC カプラーの原理は、図 2 に示すとおりである。

考察

論文後半のシミュレーションによる検討については、別の発表¹⁴に詳しいが、この発表では BTB 機器の MVDC のモード移行時の波形が記載されている。

異なる配電線間の電力融通を IGBT を用いた BTB 機器を用いて行っている。また、電力貯蔵装置や負荷制御を BTB 機器と統括してコントロールする DEMS についても記述がある。

¹⁴ B. M. Buchholz, Boese, "The impact of dispersed power generation in distribution systems", CIGRE/PES 2003/10

整理番号 10

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国（筆頭著者）
CIREC	2003/05	バルセロナ	Ion ETXEBERRIA OTADUI, Raúl REYERO, CIDAE -University Research Institute Spain, Seddik BACHA,L EG Laboratoire d Electrotechnique de Grenoble	スペイン
講演題目				
A FLEXIBLE TEST BENCH FOR THE TEST AND DEVELOPMENT OF POWER ELECTRONIC DEVICES CONNECTED TO THE DISTRIBUTION NETWORK 配電系統に接続するパワーエレクトロニクス機器の試験、及び開発のための柔軟な試験台				
要約				
<p>本論文は、配電グリッドに接続するパワーエレクトロニクス機器の試験及び開発に使用する試験台についての研究をまとめたものである。この試験台は、グリッド接続するインバータの主な2つの用途である、電力品質（PQ）強化と分散型電源（DG）とのインターフェースのために設計された。</p> <p>試験台の主な特徴は3つの観点での柔軟性である。まずトポロジーの観点では、直列及び並列の電圧型インバータ（それぞれ定格10kVA）で構成されるので、直列、並列、ユニバーサル の主要なグリッド接続の解析を可能にする。次に制御アルゴリズム開発の観点からは、制御機構上の制御プログラムをシミュレーションファイルから直接自動実装できる Matlab/Simulink RTWを組み込んだソフトウェア構造である。最後に適用の観点からは、PQ 強化とDGインターフェースという、グリッド接続したパワーエレクトロニクス機器の主要な 適用での解析に使用できるということである。</p> <p>本論文は、試験台の主な特徴を説明するとともに、すでに試験を実施したシステムとして、 DVRと高調波電力アクティブフィルタ（PAF）の例を紹介する。</p>				
キーワード¹⁵				
パワエレ、試験装置、系統連系、電力品質				

¹⁵ 学会論文抄録中にキーワードが記載されていないため、エネルギー総合工学研究所でキーワードを記載している。

抜粋

試験台の主な特徴は 3 つの観点での柔軟性である。

a) トポロジー

試験台は 2 つの電圧型インバータで構成され（どちらも定格は 10kVA）、一つは系統と直列接続し（LC フィルタ及び結合変圧器を使用）、もう一方は並列接続する（L フィルタ及び変圧器を使用）。従って、試験台はパワーエレクトロニクス機器の主なグリッド接続トポロジー（直列、並列、ユニバーサル）の研究に使用できる。

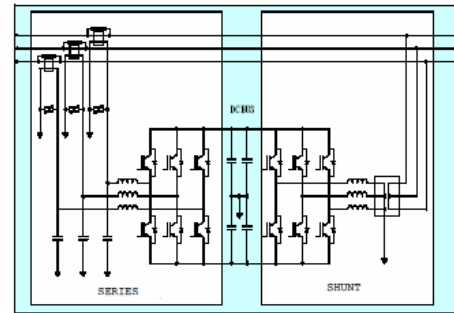


Figure 1. Power Structure of the test bench.

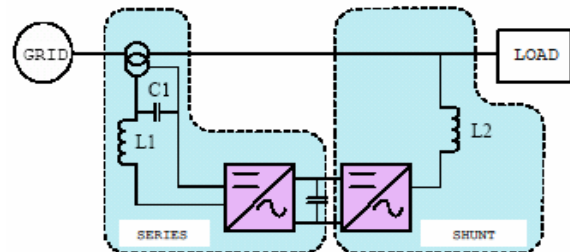


Figure 3. Configuration used for the Power Quality application.

図 電力品質への適用に使用される構成

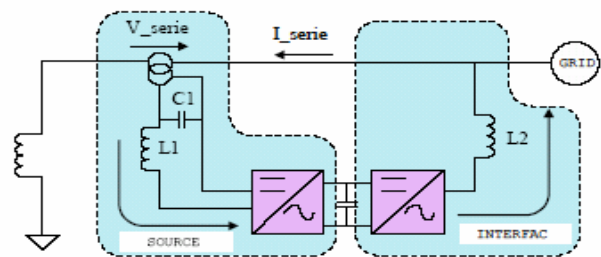


Figure 4. Configuration used for the Dispersed Generation application.

図 分散型電源への適用に使用される構成

考察

電力系統とパワエレ機器の試験台に関する報告。直列型及び並列型のインバータで構成され、制御アルゴリズムを Simulink 上で作成し、その制御ロジックをインバータに実装できる。実験の例として、DVR 及びアクティブフィルタの結果が記されている。

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国（筆頭著者）
IEEE PES Transmission & Distribution Conference	2003/09	ダラス	Ljubomir A. Kojovic Timothy R. Day Cooper power systems	米国
講演題目				
Advanced Distribution System Automation 配電系統先進自動化技術				
要約				
<p>複数の開閉器間でのピアツーピア（双方向）通信方法として、フレキシブルで使いやすく、高度の自動化を実現する方法を紹介する。</p> <p>この方法では、無線通信、光ファイバまたはツイストペア銅線により、多数の開閉器や制御機器の間での同報通信を実現する。通信ネットワークは、容易にプログラミングでき、デバイスへの適用も簡単である。</p>				
キーワード				
配電系統、自動化、通信、再閉路制御、保護継電器				
抜粋				
<p>．ループ方式での保護動作</p> <p>放射状フィーダに比べると、ループ方式（LS）では、停電が生じる確率が大幅に減る。LSでは動作制御はプログラミング可能な開閉器 3 台または 5 台によって実現され、それらには分割モードと結合モード（tie mode）とがある。分割モードでは、通常「閉」の開閉機の電源側電圧を監視し、この電圧が失われたときに開放される。結合モードでは、LS は、通常「開」の開閉器の両側の電圧を監視し、いずれかの側で電圧が失われたときに開放される。</p> <p>開閉器 3 台を使ったループ方式では、3 台の開閉器（デバイス 1B、2B、3）を使用し、それらはデバイス 1A 及びデバイス 2A と協調的に動作する（図 1）。</p> <p>放射状フィーダに比べると、停電が生じる確率は 50%まで減少しうる。F1 の位置で障害が発生すると、給電線用の開閉器もしくは遮断器（1A）が開いて開閉器を開放する。開閉器 1B の LS 制御機能により電源側電圧の喪失が検出され、開閉器 3 の LS 制御機能により 1B 側電圧の喪失が検出される。いずれの制御動作でもタイマが始動する。開閉器 1B のほうが動作遅延時間の到達が早く、まずこちらが開いて開閉器を開放する。その後、開閉器 3 の遅延時間が到達し、接点を閉じて 1B と 3 の間の健全な給電線区間へ</p>				

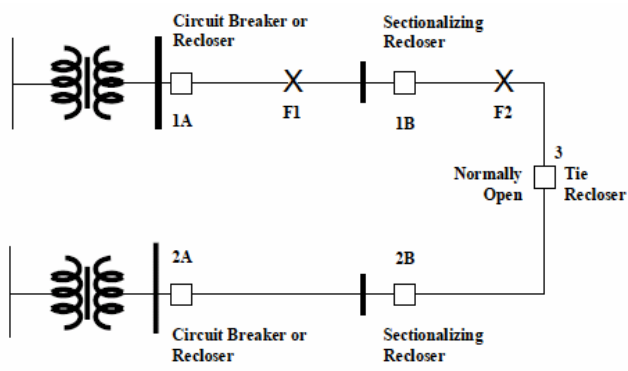


Figure 1. Three-Recloser Loop Scheme

の給電を再開する。F2 の位置で障害が発生した場合、開閉器 1B が、自身の障害保護シーケンスの後、開放する。開閉器 3 は 1B 側電圧の喪失を検出する。所定の動作遅延時間の経過後、開閉器 3 は接点を閉じて故障電流を検出し、その後にトリップしロックアウトする。1A と 1B の間の健全な給電線区間への給電は途絶えない。

考察

配電自動化方式について、機器同士の通信方式に関する。ピアツーピア通信方式(PeerComm) を提唱している。直接電圧上昇問題には関係してはこないが、電圧調整機器や LBC と集中制御装置間の通信方式の検討時に参考となる。

整理番号 12

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国(筆頭著者)
IEEE PES Transmission & Distribution Conference	2003/09	ダラス	Thomas S. Basso, NREL Richard D. DeBlasio, NREL	米国
講演題目				
IEEE P1547-Series Of Standards For Interconnection IEEE P1547 系統連系規格群				
要約				
<p>IEEE P1547「分散型電源系統連系規格」(Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System)は、IEEE P1547 系統連系規格群のうち最初に策定されたものであり、今後策定される複数の規格類によって補われる必要がある。電力系統(電力会社の運用する系統)で分散型電源を整然と利用できる体制への移行、すなわち分散型電源と電力系統の統合を実現するにおいて、それを阻んでいるいくつかの大きな問題が存在する。系統連系の運用方法と必要設備の認証に関する米国全土に共通の標準規格と試験手順がないこと、ならびに米国全土で共通の建築規則・電気規則・保安規則がないことが問題視されているが、それらの規則の策定と発行にはそれなりの時間がかかる。</p> <p>P1547 規格は、IEEE 規格の策定における意思統一プロセスの点で記念すべき規格であり、米国全土に適用される他の規格群の策定に向けて、あるいは米国の電力系統の現代化に向けてのその後のめざましい活動のモデルケースとなるものである。</p>				
キーワード				
認証、通信、分散型発電、分散型電源、分散型エネルギー源、分散型蓄発電、燃料電池、系統連系、監視制御、電力系統、太陽光発電システム、配電、発電、規制、規格、試験				
抜粋				
<p>． P1547 規格群</p> <p>1998 年 12 月、組織拡大後の SCC21 の最初の公式ミーティングがワシントン DC で開かれ、米国エネルギー省(DOE)がホスト役を務めた。この会議で、系統連系規格策定プロジェクトが出席者から提案された。この提案は圧倒的支持を受けた。策定されるべき文書は、「指針」(Guideline)あるいは「推奨遵守事項」(recommended practice)ではな</p>				
		<p>図 1 IEEE SCC21 が担当する P1547 系統連系規格群</p>		

く、「IEEE 規格」(IEEE Standard) とすることに決まった。1999 年 3 月、IEEE 規格委員会は、SCC21 委員長 (兼 P1547 スポンサー) である R. DeBlasio 氏が提出したプロジェクト承認申請 (PAR : Project Authorization Request) を承認した。追加的 IEEE 系統連系規格群の策定プロジェクトは、2001 年 1 月の P1547 策定会議で最初に討議され、IEEE の承認を受け、現在「P1547 系統連系規格群」として推進されている。

考察

IEEE1547 の成立過程における合意形成方法などが詳述されている。また、規格で取り入れるべきではない項目、規格に制定するには難しい項目などが列挙されている。

整理番号 13

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国(筆頭著者)
IEEE PES Transmission & Distribution Conference	2003/09	ダラス	Abdel-Moamen M. A ,b Narayana Prasad Padhy Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology	インド
講演題目				
Optimal Power Flow Incorporating FACTS Devices-Bibliography and Survey FACTS デバイスの導入による電力潮流最適化 文献の目録と概要				
要約				
<p>近年、大口需用家からの電力需要の増加に伴い、民間発電事業者の数が急速に増えつつある。その結果として既存の送電線に生じる過負荷は系統安定度を損ないかねない。過負荷の一因は、発電母線から負荷母線への安価な電力の輸送からも生じうる。送電線の増設も、既存の送電系統への FACTS デバイスの導入も、送電線の過負荷への対策として有効である。しかし、全体的効果の点で、現代的電力系統においては FACTS デバイスの導入が好ましい。</p> <p>過去 20 年にわたり、系統安定度を損なうことなく安価な電力を需要家に供給できるようにするために、電力潮流に関係した新しいアルゴリズムやモデルの開発、更には FACTS デバイスを利用して電力潮流を最適化する方法の開発が、数々の研究者によって進められてきた。今日の混雑管理問題に対処するために、FACTS デバイスを効果的に利用する方法に関する研究は現在も続けられている。</p> <p>本調査の目的は、この分野での研究に従事する研究者が研究を進めるにあたって参考とできるように、この分野での既存の文献から情報を収集することである。この論文には、FACTS デバイスを使った電力潮流最適化の分野で現在までに発表された文献の完全な目録と、それら文献の概要に関する説明を収めている。</p>				
キーワード				
電力潮流最適化、FACTS デバイス				
抜粋				
<p>フレキシブル交流送電系統 (FACTS) とは、ひとつの技術的概念であり、送電線インピーダンス、位相角、電圧などを主に制御することにより、有効電力、及び無効電力の潮流の完全な動的制御が実現されるものをいう。FACTS では、送電設備の動作を必要に応じて制御することで、既存の送電系統の最大活用をはかり、安定度レベルと発熱レベルの差を最小化する。</p> <p>FACTS ならびに FACTS 制御機器という概念は、1988 年、Hingorani によって初めて提唱され、FACTS 制御機器という用語は、電力潮流の制御と安定度の改善に使用される高電力用電</p>				

子デバイスを指す用語として電力業界で一般的に使われるようになった。FACTS 制御機器は、機械式の制御機器の多くに代わるものとして使われだした。そして今では、現代的な電力システムの運用と制御において重要な役割を果たしている。

静止型無効電力補償装置 (SVC) は、既に広く使われている重要な FACTS デバイスである。これはサイリスタを利用した第一世代の FACTS 制御機器である。SVC は分路式無効電力補償制御装置であり、固定コンデンサ (FC) またはサイリスタ切換式コンデンサをサイリスタ制御リアクトル (TCR) と組み合わせた構成 (FC-TCR 構成) になっている。SVC はほぼ 30 年前から使われている。

サイリスタ制御直列補償装置 (TCSC) は第二世代の FACTS 制御機器である。TCSC は、可変リアクタンスの直列挿入によって送電線の実効リアクタンスを制御する。可変リアクタンスは、FC-TCR 複合回路ならびに機械式開閉器付きコンデンサを系統に直列に挿入することで得られる。

静止型同期式直列補償装置 (SSSC) は、ほぼ正弦波形を有する振幅可変の電圧を注入するソリッドステート式電圧源インバータであり、系統に直列に挿入される。装置出力の電圧と系統電流の位相とは、ほぼ直角位相である。

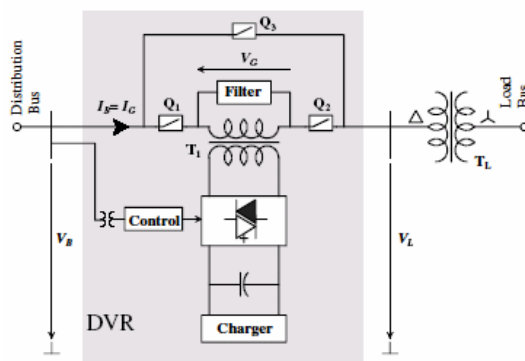
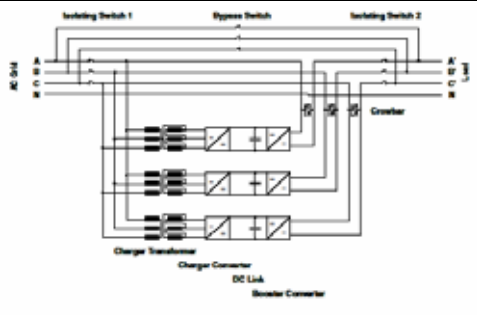
静止型同期式補償装置 (STATCOM) は、GTO (ゲートターンオフ) 型サイリスタを使用した SVC である。従来型の SVC に比べると、高圧送電系統への誘導性/容量性無効電力の注入において大型の誘導性素子/容量性素子を必要としない。しかも、系統電圧が低い状態で比較的の高い無効電力を出力でき、その際、STATCOM を系統電圧に左右されない電流源と考えることができる。STATCOM は、ほぼ 5 年前から使われている。

Gyugyi は、統合型電力潮流制御装置 (UPFC) の基本コンセプトについて説明するなか、UPFC は二つの制御可能素子から構成されると述べている。そのひとつは系統に直列に挿入された電圧源である。もうひとつは系統に並列に接続された電流源である。電圧源については電圧の振幅と位相の両方が制御可能だが、電流源については電流の大きさだけが制御可能である。

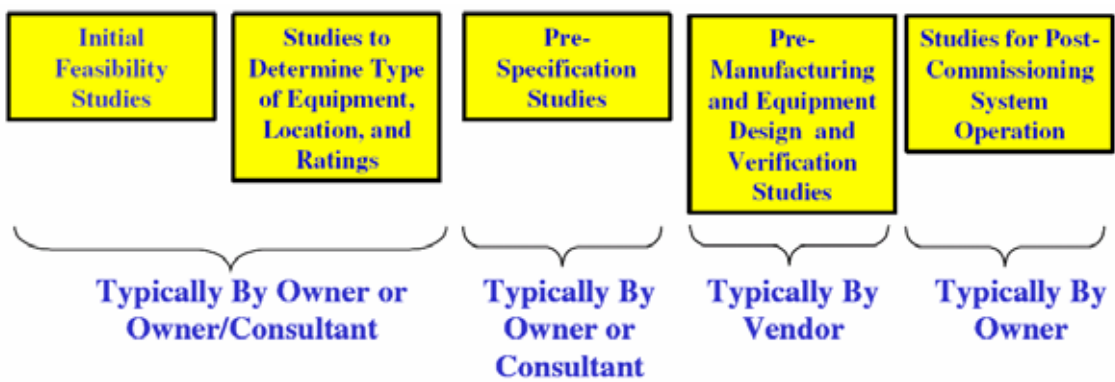
考察

本論文は電力系統に適用できる FACTS 機器の現状についてレビューしており、開発の歴史や主要な関連 Web サイトなどが参考となる。

整理番号 14

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国(筆頭著者)
IEEE PES Transmission & Distribution Conference	2003/09	ダラス	Roger Affolter, ABB Switzerland Bill Connell, ABB Inc.,	スイス
講演題目				
EXPERIENCE WITH A DYNAMIC VOLTAGE RESTORER FOR A CRITICAL MANUFACTURING FACILITY 重要な生産施設への DVR の導入事例				
要約				
<p>本稿は、ダラスで開催された IEEE T&D Show 2003 での、「Custom Power Applications and Issues」と題されたパネルセッションでの発表をまとめたものであり、動的電圧回復装置（DVR）の導入目的に関する概要説明の後、過去数年間における ABB 社での経験、ならびに同技術の利用可能性とこれをめぐるトレンドについて述べている。本稿は、2000 年に供用開始された DVR システムに言及している。この DVR システムは持続時間 600ms までの電圧サグから 22.5MVA 負荷を保護できる。単相サグならば 50%まで、三相サグならば 35%までの電圧低下を補償できる。</p>				
キーワード				
電力品質、電圧サグ、専用電力、動的電圧回復装置（DVR）、直列形電圧回復装置（SVR）				
抜粋				
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Figure 1: Basic Configuration of DVR</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Figure 2: Principal Diagram of a Series Voltage Restorer</p> </div> </div>				
考察				
<p>イスラエルの配電系統（22kV）への DVR（Dynamic Voltage Restorer）の適用例。電圧サグの対策として導入された。</p>				

整理番号 15

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国（筆頭著者）
IEEE PES Transmission & Distribution Conference	2003/09	ダラス	John J. Paserba, Mitsubishi Electric Power Products, Inc	米国
講演題目				
How FACTS Controllers Benefit AC Transmission Systems FACTS 制御機器の導入による交流送電システムの性能改善				
要約				
<p>本稿は、IEEE の送配電委員会の DC and FACTS 小委員会の DC and FACTS Education 作業部会が開催するセッションで、「FACTS の基本」というトピックのもとで行われる予定の3つのプレゼンテーションのうちの一つの要約となっている。本稿は、セッションのパート で扱う内容に関係し、FACTS 制御機器を交流電力システムに導入するにあたっての考慮事項、ならびにこの導入のメリットについてまとめている。FACTS 導入プロジェクトの枠内での系統調査と系統解析のプロセス全般について、ならびに FACTS 制御機器モデルの必要性についても論じている。また、何種類かの FACTS 制御機器について基本回路を紹介し、それらの系統性能改善特性などについて論じている。</p>				
キーワード				
フレキシブル交流送電システム、FACTS、パワーエレクトロニクス応用機器、電力システム安定度、電力システム制御				
抜粋				
 <p style="text-align: center;">Figure 4. Phases of power system studies for FACTS installation projects</p>				
<p>図 FACTS 導入プロジェクトのための系統調査活動の諸段階</p>				

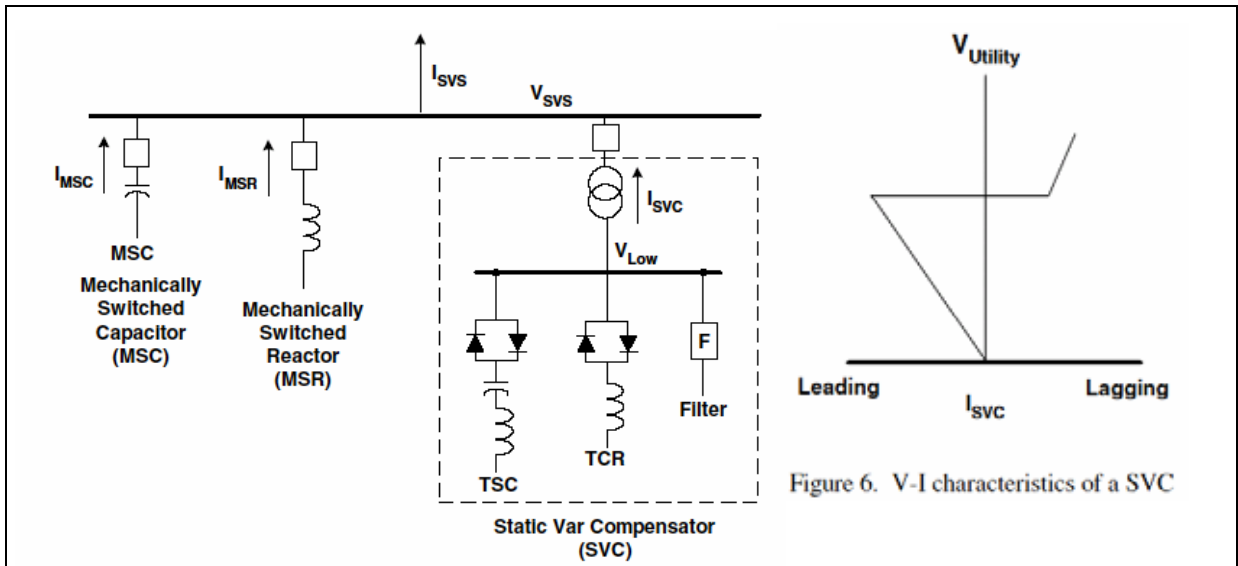


Figure 5. Circuit for a Static Var Compensator (SVC)

図 無効電力補償装置の制御モード

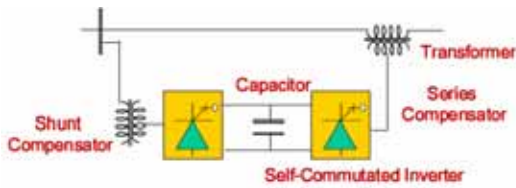


Figure 9. Circuit for a Unified Power Flow Controller (UPFC)

図 統合型電力潮流制御装置 (UPFC) の回路

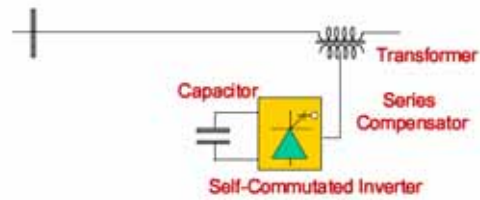


Figure 10. Circuit for a Static Synchronous Series Compensator (SSSC)

図 静止型同期式直列補償装置 (SSSC) の回路



Figure 11. UPFC operation

図 UPFC の働き

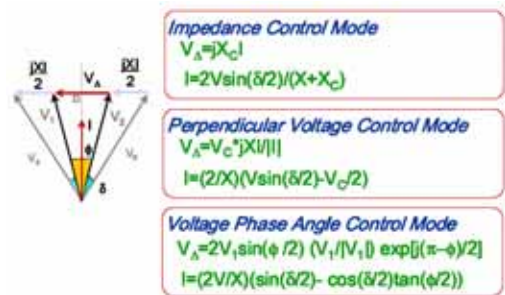


Figure 12. Control modes of the series compensator

図 直列補償装置 (UPFC または SSSC) の制御モード

考察

FACTS 機器の適用に関して、IEEE の送配電委員会がまとめた報告。

基本的には送電システムが対象の報告ではあるが、FACTS 機器の動向及び原理等での参考となる。


学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国（筆頭著者）
IEEE PES Transmission & Distribution Conference	2003/09	ダラス	Lee E. Welch, Georgia Power Company	米国
講演題目				
Distribution Voltage and Reactive Power Control at Georgia Power Company ジョージア電力における配電電圧と無効電力の制御				
要約				
この論文は、ジョージア電力における配電電圧と無効電力の制御について、「2003 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition」のパネルセッションでの発表内容を要約したものである。配電系統の設計面と運用面でのジョージア電力の取り組みとの関係で、電圧制御とコンデンサバンクについて論じている。				
キーワード				
コンデンサ、コンデンサ切替、損失、配電制御、電力品質、無効電力、無効電力制御、電圧制御				
抜粋				
<p>A. 電圧制御装置と負荷タップ切替器</p> <p>配電電圧の制御は、まず変電所で始まる。ジョージア電力の一部の変電所では母線単位での電圧制御が行われている。それらの変電所では、変圧器に組み込まれた負荷時タップ切替器（LTC）によって母線単位で電圧を制御している。それ以外の変電所では、配電線ごとに3台の単相電圧制御装置を設けている。それらは標準的な円柱状の電圧制御装置であり、変電所内のコンクリートの基礎の上に設置されている。</p>				
				
<p>Fig. 1. Feeder regulation with single phase regulators offers voltage control with flexibility on the distribution system.</p>				
<p>図1. 相ごとに設けられた給電線電圧制御装置（配電系統の電圧をフレキシブルに制御可能）</p>				



Fig. 2. Switched capacitor banks improve voltage control and reduce system losses. (Note the white radio antenna at lower right for status monitoring by SCADA.)

図 2 . スイッチ付コンデンサバンクによる電圧制御の改善、及び系統損失の軽減
(写真右下の白いアンテナは SCADA による状態監視のための無線通信に使用)

考察

ジョージア電力における電圧管理に関する報告。

主に SCADA と LRT の制御、加えて電力用コンデンサの設置による送電効率改善プログラムについて。

同社では特殊な場合を除いて線路途中における電圧制御機器（コンデンサバンクを除く）は導入していない旨の記述がある。

整理番号 17

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国(筆頭著者)
IEEE PES PSCE	2004/10	ニューヨーク/ 米国	Sunil Cherian, Spirae Ron Ambrosio, IBM Research	米国
講演題目				
Towards Realizing the GridWise™ Vision : Integrating the Operations and Behavior of Dispersed Energy Devices, Consumers, and Markets GridWise™構想の実現に向けて：分散型エネルギー機器、消費者及び市場の運用及び行動の統合				
要約				
<p>GridWise とは、米国エネルギー省、パシフィックノースウェスト研究所及び業界からの参加者により考案された構想・概念であり、情報、通信及びインテリジェント制御技術の深い浸透に伴う電力システムの価値連鎖を通して、大きな価値が実現されるという信念に基づくものである。</p> <p>最近の研究では、様々なインテリジェントシステムの最適化戦略によって潜在的に創出される、システムレベルの利益の正味現在価値は、300 億ドルから 1200 億ドル以上にまで及ぶと評価されている。しかし、これらの潜在的利益を有意に獲得するために必要な技術、ビジネスモデル、及び規制環境については全く理解されていない。</p> <p>本稿では、主な技術的ハードルの一つを解決するための取り組みを提示する。その取り組みとは、エネルギー供給事業者が分散した物的資産、エネルギー消費者、及びエネルギー市場を統合するビジネスプロセスをモデル化して実現し、新たな価値を創出し獲得するための安価で拡張性に優れたプラットフォームを開発するというものである。</p>				
キーワード				
ビル管理システム、経営学、分散制御、エネルギー管理、エネルギー供給源、情報技術、インターネット、最小エネルギー制御、電力事業、技術革新				
抜粋				
<p>本稿は、米国エネルギー省 (DOE) 「高度通信制御研究開発プログラム」から一部資金提供を受け、ペンシルバニアのある大規模ショッピングモールのエネルギー設備を中心に実施されたプロジェクトについて、実施に至る経緯、及びその結果について説明する。プロジェクトの目標は Energy Services Hub™ (ESH) の概念を実証することであった。この概念は、分散型エネルギー供給源 (DER) を集約し、これをエネルギー市場と統合するもので、公共グリッドへ利益を提供し、エネルギー供給事業者 (ESP) を介して事業需要家の市場への参加を促進することを目的とする。</p> <p>プロジェクトの主な目的は、以下のような機能検証システムを設計し、実証することにあった。</p>				

- ・ ESP は、エンドユーザーに包括的なエネルギー、及び設備管理サービスを提供する DER システムと装置を構成し、管理する。
- ・ 末端の機器から企業を経由してエネルギー市場へ、という価値創出ビジネスのプロセスをモデル化し、実現する。
- ・ インターネット制御システム (iCS) は、大規模な (企業またはインターネット規模の) 分散型制御の統合のために、ミドルウェアとソフトウェアのフレームワークを提供する。
- ・ Energy Services Hub は、現場機器との通信や制御、需要家とのやりとりの管理、エネルギー市場とのやりとり、適切な分散型電源用アプリケーションへのアクセス、需要反応などを行うための統合プラットフォームを提供する。

考察

米国 DOE が推進している GridWise に関して、需要家がより積極的に参加するためのシステムの検討。エネルギー供給事業者が主体となり、分散型電源を保有する需要化 (サービス加入者) のエネルギー管理を電力市場の動向、需要の予測、発電費用などの情報を元に総合的に判断し、分散型電源の「発電か買電か」を指令するシステム。

GridWise 構想における統合システムの概要が把握できる。

整理番号 18

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国（筆頭著者）
IEEE PES PSCE	2004/10	ニューヨーク/ 米国	G. Celli, Cagliari Univ. F. Pilo, Member, Cagliari Univ. G. Pisano, Cagliari Univ. V. Allegranza, CESI R. Cicoria, and A. Iari, CESI	イタリア
講演題目				
Meshed vs. Radial MV Distribution Network Presence of Large Amount of DG 多数のDGが存在するMV配電システムにおけるメッシュ方式と放射状方式との比較				
要約				
<p>従来、配電システムは、送電システムの受動的終端部であって、放射状構造を持ち、電力潮流が単方向で、単純かつ効率的な保護方式が取られているものとみなされてきた。しかし多数の分散型電源（DG）が存在する場合、配電システムも徐々に新しい種類の能動的なシステムへと変化していかざるを得ない。</p> <p>多数の分散型電源（DG）を効率的に割り当てるために必要とされる最も革新的な変化は、メッシュシステムアーキテクチャの採用であろう。そのようなことから、本稿では新たな可能性のある配電システムの方式について探究し、放射状方式と比較した。イタリアに実際に存在する配電システムの一部を対象に、定常状態、及び動的なシミュレーションを実施した。また、電圧プロフィール、電力損失、短絡電流、及びグリッド信頼性について解析した。</p>				
キーワード				
分散型電源、配電システム計画、メッシュ方式及び放射状方式の系統				
抜粋				
<p>最後にまとめると、クローズドループシステムは極めて容易に導入できるが、その長所を最大限に活かすには、保護協調に何らかの変更を行い、短絡電流を制限し、新たな電圧制御を適用することが不可欠である。言い換えれば、メッシュシステムはシステムの電源対応能力を向上させるには妥当な選択肢かもしれないが、その開発は配電の革命的な変化を伴うものでなければならない。これは、真に能動的なシステムを実現するための第一歩であると考えられる。</p>				
考察				
<p>結論としては、クローズドループシステム（既存の常開ループシステムの常開点を閉じたシステム）に多くの利点があることが確認されたが、保護協調、短絡電流、新しい電圧制御方式を導入する必要があることが記されている。</p>				

整理番号 19

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国(筆頭著者)
DistribuTECH	2004/01	オーランド/米国	MarkA.Gabriel, EPRI	米国
講演題目				
Electricity Sector Framework for the Future - Summary 未来に向けての電力業界の枠組み概要文書				
要約				
<p>本書は、「未来に向けての電力業界の枠組み (ESFF : Electricity Sector Framework for Future)」を扱った 3 つの報告書のうち第一のものである。「概要文書」と名付けられた本書は、ESFF に関する主要な調査結果と勧告事項をまとめている。「Volume I」は、それらの事項について一層詳しく説明し、主な利害関係者の観点からそれらの事項に評価を加えている。「Volume II」は参考文書であり、それには主な利害関係者の聴取やワークショップの結果を反映し、問題を深く掘り下げた 8 つの「専門的検討文書」が含まれている。</p>				
キーワード¹⁶				
電力系統、戦略				
抜粋				
<p style="text-align: center;">5. 新技術の導入</p> <p>現在の投資環境とは異なり、新技術に関する見通しはこの上なく明るい。各種の新技術が開発され、それらを利用することで電力系統の物理的動作や性能を改善することができる。すなわち、電力自由市場の複雑な様相と急速な変化への対応、デジタル時代への完全対応、信頼性・弾力性・セキュリティの大幅な向上、よりクリーンでより多様な発電ミックス、などが可能となる。</p> <p>技術改革が実現されないなら、今日の電力系統は、経済の繁栄と生活水準の改善の基盤としてのその役目を十分に果たせなくなる恐れがある。電力系統を変容させるために必要な新技術の導入を支援し、ますます強まる社会と経済からの要請によりよく応えることのできる新しい政策が、緊急に必要とされている。しかし、電力系統のコスト削減と効率改善の取り組みがあまりにコスト削減に偏るならば、新技術の導入に向けられた電力事業者・需要家・社会のインセンティブは、それだけ減ってしまう。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 電力系統のデジタル制御 <ul style="list-style-type: none"> 比較的に応答の遅い今日の機械電気式開閉操作を、リアルタイムのデジタル電子制御で置き換える。 				

¹⁶ 学会論文抄録中にキーワードが記載されていないため、エネルギー総合工学研究所でキーワードを記載している。

- 通信ネットワークとの統合化
通信ネットワークと統合されたダイナミックかつインタラクティブな電力システムを実現する。情報と電力のリアルタイムの交換を実現する新しい「超巨大インフラストラクチャ」の創造である。
- 電力と情報の双方向ポータルとしてのメーター
料金信号、意思決定、通信、ネットワーク・インテリジェンスなどに関するデータのリアルタイム双方向通信を電力事業者と需要家の間で実現する。
- 分散型電源の組み入れ
電力システムの信頼性強化と容量拡大のための資産として組み入れる。
- 最終的エネルギー利用効率の改善
電力バリューチェーンのいたるところに先進デジタル技術を導入し、効率改善を図る。

考察

EPR I が公表した米国における電力業界の将来に関する報告。
戦略的な側面での記述が大部分ではあるが、技術的な進むべき将来についても記述がある。分散型電源は電力システムの信頼性強化と容量拡大のための資産と位置づけている。

整理番号 20

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国(筆頭著者)
DistribuTECH	2004/01	オーランド/米国	William Steigelmann, Eric R. Coffman AspenSystems Corp.	米国
講演題目				
Microgrids Providing Power Quality, Reliability, Security, and Economic Development マイクログリッド 高い電力品質、信頼性、セキュリティ、経済成長の実現				
要約				
マイクログリッドに関する総括				
キーワード¹⁷				
マイクログリッド、電力品質				
抜粋				
<p style="text-align: center;">マイクログリッドの導入事例と導入計画例</p> <p>【Fort Bragg 基地 (ノースカロライナ州)】</p> <p>この大きな軍基地の既存の分散型発電能力を強化するための大型プロジェクトが、Encorp 社が主要請負業者となり実施された。</p> <p>プロジェクトの目的は、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 電力セキュリティ、発電機の信頼性、及びマイクログリッド内での電力潮流の双方向性を許容する完全な並列系統連系の実現 ・ 複数の発電機を中央制御型ネットワークに組み入れて遠隔制御を可能とすることによる電力コスト削減と制御能力の改善 ・ ならびにプライムパワー運転に向けた既存の予備発電機群の能力改善 <p>であった。地元の電力会社から購入する電力の需要全般ならびにピーク需要の削減を通じて、このプロジェクトは、大きな経済的メリットをもたらした。現在、分散型発電システムのラインアップは、15 台のディーゼル発電機 (合計出力 8 MW 強) と小型燃料電池 (5 kW) である。米国エネルギー省が推進する統合エネルギーサービス計画 (Integrated Energy Services Award) の一環として、2004 年には、5 MW 級のガスタービン発電機が導入される予定である。</p> <p>設計チームは、一連の先進制御技術を既存の予備発電機群に適用し、次の 2 つを実現するコスト効果の高いマイクログリッドを構築した。セキュリティの強化、及び多様な危機的状況下で Fort Bragg 基地が機能を維持する能力の強化；そして 基地の運用コストの削減。</p>				

¹⁷ 学会論文抄録中にキーワードが記載されていないため、エネルギー総合工学研究所でキーワードを記載している。

【Irvine University Research Park (カリフォルニア州)】

Irvine University Research Park は、University of California が開発を進めている最先端技術研究施設である。同施設では、各種の分散型発電装置が建物の内部と屋上に設置される予定である。燃料電池、太陽光発電用ソーラーパネル、太陽熱利用システム、マイクロタービンなどの導入が計画されている。

プロジェクトの目的のひとつは、研究者が各種の給電指令方式について調査し、多様な負荷条件と気象条件のもとで系統電力と自家発電電力の最適な組み合わせ方を特定できるようにすることである。

【Pleasanton Power Park (カリフォルニア州)】

この企業団地の開発プロジェクトでは、太陽光発電モジュール、燃料電池、内燃機関発電機、タービン発電機などの導入が計画されている。Pleasanton Power Park 開発チームは、技術提供と資金援助の母体となる様々な利害関係者の協力を取り付けている。カリフォルニア州のエネルギー委員会 (Energy Commission) とエネルギー省の Utility Photovoltaic Group が、助成金及び利子補助として合計 270 万ドルを提供している。必要技術は、電力設備メーカーならびに装置メーカーが提供する。

このプロジェクトは、クリーンエネルギーの提供、及び需給が逼迫するピーク時における配電システムの安定化によって Pleasanton Power Park の価値を高めるとともに、優良なテナントを誘致し、マイクログリッド技術と再生可能エネルギー利用技術/クリーン発電技術の普及に貢献することを目指している。

【Delaware Premium Power Park (オハイオ州)】

Delaware Premium Power Park の特徴は、高度な電力品質改善装置群の導入である。自家発電設備を設ける代わりに、独立した給電線 3 回線から受電する方式によって高い信頼性を実現している。動的電圧回復装置が電圧ディップと電圧スウェルを防止し、グリッドを監視するスイッチが必要に応じて給電線を切り替え、ASVC (Advanced Static VAr Compensator) が複数サイクルにわたる擾乱を給電線から除去するとともに力率を補正する。

Delaware Premium Power Park の第一次テナント募集は 2002 年 12 月に終了し、12 のテナントが得られた。しかし、「プレミアム電力サービス」に契約したのは、そのうちの 1 社だけだった。American Electric Power (AEP) 社によると、このテナントは電力品質改善装置群の性能にとっても満足している。

AEP 社はこれ以外にも複数のプロジェクトを支援し、電力品質改善装置やピーク抑制用蓄電池 (約 6~8 時間にわたり 100 kW の出力を維持可能) の導入を行っている。

【DTE Hydrogen Power Park (ミシガン州)】

米国エネルギー省と DTE Energy 社は、合同の事業として、ミシガン州 Southfield に米国初の Hydrogen Power Park を建設する予定である。2003 年 11 月のプレスリリースによると、300 万ドルの予算と 5 年の期間を要するこのパイロットプロジェクトの許認可手続きは順調に進んでおり、現在の計画では、いずれも再生可能エネルギーであるバイオマスと太

陽光エネルギーから敷地内で水素が生産され、これが燃料電池に使用される予定である。

この Hydrogen Power Park はミシガン州の SmartZone のひとつに建設される。SmartZone とは、技術ベース企業と研究機関との協力関係の育成を目的に Michigan Economic Development Corporation が設けた区域である。SmartZone には、新しい特許技術の開発、新技術の商品化、あるいは他の研究事業を追求する企業がまとまって誘致される予定である。Hydrogen Power Park プロジェクトには、DTE Energy 社の子会社多数（DTE Energy Technologies 社など）ならびに DTE Energy 社の支援を受けて設立された主要な燃料電池開発企業（Plug Power 社）が関与している。

【Northern Power Systems 社の Mad River Park プロジェクト（バーモント州）】

2003 年 8 月 18 日、Northern Power Systems 社は、バーモント州 Waitsfield の Mad River Park 内に、系統連系される蓄配電ネットワークを設計及び構築する計画を発表した。これは、登録商標 MicroGrid を使った電力ネットワークとしてこれまでにない種類のものであり、品質と信頼性にすぐれた電力を住宅施設と産業施設の両方に供給する。プロジェクトの主要推進者は、Washington Electric Cooperative、Vermont Public Service、米国エネルギー省である。

このシステムは、多様な発電装置と蓄電装置を組み合わせ、5 つの商業/産業施設ならびに最大 12 の住宅施設に電力を供給する。プロパンを燃料とする往復機関とマイクロタービン、太陽光発電アレイ、小型風力タービンなどにより、総発電容量 350 kW を実現する。発電機から副産物として生じる熱エネルギーは、ネットワークに接続された施設群での熱需要の一部を満たすために利用される。のちの段階では、燃料電池、スターリンエンジン、先進型フライホイールなど、新技術を利用した発電と蓄電も行われるかもしれない。

Northern Power Systems 社の業務執行副社長 Dan Reicher 氏は次のように言う 「大きな視点から見ると、マイクログリッドは、広域停電や米国各地で頻発する信頼性問題からの深刻な影響を回避するために導入しうる現実的な配電ソリューションの代表例である」。

考察

マイクログリッド関連の米国における進展についての論文。

系統側の対策としては直接には関連しないが、米国における分散型電源の位置づけの一つとして、考え方を知る一助となる。

特に米国の PURPA に関連する認定施設（QF）に関する記述などが参考となる。

整理番号 21

学会	開催年月	開催場所	著者・所属	国(筆頭著者)
DistribuTECH	2004/01	オーランド/米国	Russell P. Fanning P.E, We Energies	米国
講演題目				
<p>“ PREMIUM OPERATING DISTRICTS ” PROVIDE SUPERIOR RELIABILITY FOR INDUSTRIAL CUSTOMERS USING THE DV2010 PRIMARY VOLTAGE NETWORK</p> <p>DV2010 一次電圧配電ネットワーク設計と Premium Operating District による産業用高信頼性電力の提供</p>				
要約				
<p>需要家にとって、「信頼性」はサービス享受率（アベイラビリティ）を意味する。放射状配電システムの信頼性はふつう 99.98%程度である。SAIDI（顧客の停電時間 合計 / 顧客数）. と言うならば、年間平均停電時間は 100 分程度である。配電自動化技術の導入によって放射状配電システムの信頼性を高めることは可能だが、それでも短時間の供給支障は起こりうる。しかし、商業上の処理手順や産業施設の工程に先進技術が導入された現在、一部の需要家にとっては、いかなる種類の停電も許容できないものとなっている。ある種の需要家にとっては、1 秒の停電も 1 時間の停電も同じである。重要工程が瞬間的な停電によっても制御を失い、製品のロスによって多額の損害が生じるためである。</p> <p>ネットワーク配電システムは、上述のようなセンシティブな工程が電力供給に関して求める高い信頼性を実現できる。POD（Premium Operation District）コンセプトは、従来型の放射状配電システムをベースにした一次電圧配電ネットワーク、先進技術を利用したハードウェアとソフトウェア、そして高速通信機能によって、高いサービス能力と信頼性を発揮するマルチソース配電ネットワークを実現する。</p> <p>この文書は、米国の電力会社 6 社が Distribution Vision 2010, LLC を設立した際に合同で行った研究開発活動から生まれた一次電圧配電ネットワーク技術を利用して We Energies 社が導入を進めている装置・理念・系統設計について説明する。</p> <p>We Energies 社は、2004 年のパイロットプロジェクトで DV2010 ネットワーク設計を採用し、ウィスコンシン州で最大の既存の工業団地内に POD を構築する予定である。既存の配電線を活かして構築される予定の DV2010 ネットワークは、高い信頼性を約束し、停電と見なされうる供給支障が需要家に発生するのは年間 1 分未満、すなわち供給信頼度 99.9998% が実現されるはずである。</p>				
キーワード¹⁸				
供給信頼度、POD、高速開閉器、集中制御				

¹⁸ 学会論文抄録中にキーワードが記載されていないため、エネルギー総合工学研究所でキーワードを記載している。

DV2010 の 4 階層自動化設計

DV2010 一次電圧配電ネットワーク設計は、線路機器、変電所 IED(Intelligent Electronic Device)、系統レベルの制御装置に対し、それぞれ独自の特徴を有する 4 つの階層での自動化を実行する。各階層とも、その下の階層での制御を土台にして、一層高度な制御を追加的に実現し、二次側グリッドネットワークで需要家が享受するのと同じ信頼性が得られるようにする。系統では、変電所の両側で各種装置がシステムの統合化され、高速の故障電流除去、系統回復、電圧制御、遠隔監視制御、供給支障検出が実現される。

高速応答型一次電圧配電ネットワークには、従来からの方向性過電流保護機能に加えて配電自動化機能と高速通信機能が導入され、需要家は高い信頼性を享受できる。障害発生時には、ネットワーク中のほんの一部に 3~5 サイクルの瞬間的な停電が発生するだけであり、障害発生箇所周辺の狭い区域の外部では、すべての需要家に対する途切れない電力供給が維持される。

これは POD (Premium Operating District) と呼ばれる複数の自動制御エリアに一次電圧配電ネットワークを分割することで可能になった。単一の POD を単一の需要家が利用することもあれば、複数の需要家が共用することもある。ネットワーク中で需要家と需要家の間の長い区間が POD になっていることもある。POD 群は互いに結ばれてネットワークを構成し、このネットワークは 2 つ、3 つ、あるいはそれ以上の電源から、それぞれ独立した母線を通じて電力供給を受ける。電源からの個々の給電線の始端には高性能 IED が設置されている。個々の POD の境界に位置する開閉器と故障電流遮断器にも高性能 IED が使われている。

POD とは、その境界に位置する複数の自動開閉器の開放によって完全に隔離されうる回路部分である。言うまでもなく、大半の POD は 2 つの自動開閉器にはさまれた回路区間であり、これを「2 点 POD」と呼ぶ。ネットワーク中には 3 点 POD や 4 点 POD も存在しうる。回路中に挿入された自動開閉器で切り離されうる回路終端部は 1 点 POD として存在しうる。

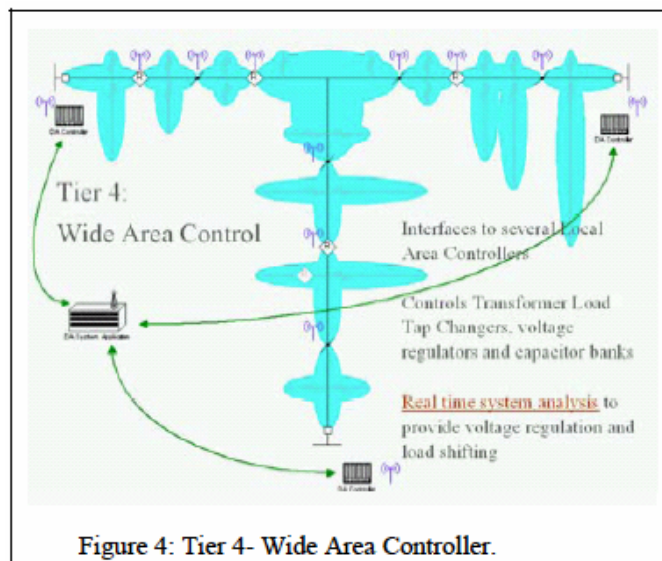


図 4：階層 4 ワイドエリアコントローラ

DV2010 パイロットプロジェクト：New Berlin Premium Power Park

We Energies 社は、DV2010 一次電圧配電ネットワークの最初のパイロットプロジェクトを Wisconsin 州 New Berlin で進めている。ネットワークの運用は 2004 年に始まる予定である。

考察

米国 We Energies 社による高品質電力供給方式に関する論文。

放射状構成の配電システムにおいて、供給信頼度を既存の設備を活かして向上させるため、POD と呼ばれる概念を用いた。POD は新しい自動開閉器で囲われた配電区間を指し、POD 内で事故が発生した場合は当該 POD を速やかに隔離することで事故波及を防止する。POD の考え方とシステムのループ化、多重化などと組み合わせて供給信頼度を向上させている。

高度な配電自動化システムという考え方ではあるが、4 階層でのコンセプトでは電圧調整用機器（コンデンサ）、負荷タップ切替装置の操作、電圧制御装置の操作などを行っており、基本的には系統側の対策のみで課題（循環電流の増加）を解決しようとしている。

実証試験を Wisconsin 州で 2004 年度から計画している。

分散型電源の大量導入による電圧変動対策という着眼点とは異なるが、系統制御という観点からは着目できる。

3.1.2 政府等による研究開発プロジェクト

(1) クラスタ (EU)

第5次フレームワークプログラム (FP) において、分散型電源に関わる研究領域は「クラスタ : Cluster “ Integration of Renewable Energies + Distributed Generation¹⁹」と呼ばれ、現在も研究が進められている。

(目的)

分散エネルギーのEU域内、地域レベルのネットワークとの統合による安定供給及び信頼性の確保を目的とした研究開発を実施。

(国際連携)

本プログラムでは、分散型電源を含めた新しい電力供給システムの構築を図るため、次世代の技術プログラムの策定と既存のルールを打ち破る新しいシステムの構築を目指した国際協同プログラムである。

(予算と概要)

総予算は3.4億ユーロ (約440億円) であり、EUは1.9億ユーロ (約250億円) の補助金を提供している。概要は以下のとおり。

- ・分散電源システムの統合 (系統連系等) のための国際基準の検討
- ・安定供給、電力品質の観点からの分散電源の系統連系の課題に関する国際協同研究
- ・分散電源の資源、及び環境の観点からの評価
- ・マイクログリッド、パワーパークの国際協同研究

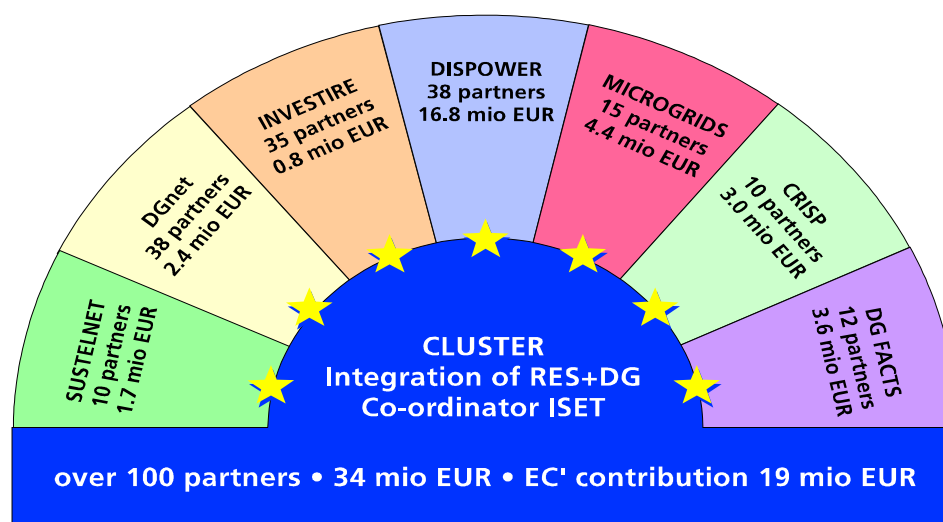


図 クラスタプログラムの構成¹⁹

¹⁹ <http://www.clusterintegration.org/>

クラスタープログラムの具体的内容は下記²⁰のとおりとなっており、本報告では特に分散型電源に関連し、本事業に密接に関連すると思われるプロジェクトについて調査した結果を紹介する。

(目的)

・EUフレームワークプログラム(FP)においては、分散型電源や再生可能エネルギーに関する各種の個別プロジェクトが進められてきたが、新たに「分散型電源および再生可能エネルギーの電力系統への統合」というテーマのもとに、FP5の下で始まった既存の7プロジェクトをClusterプログラム(Cluster “Integration of RES + DG”)という形でまとめた。その目的は、分散型電源および再生可能エネルギーを大規模電力系統に統合することによりエネルギーの安定供給と電力の信頼性確保を図るための研究開発である。具体的には、以下の7プロジェクトにおいて開発が進められている。



(各プロジェクトのミッション)

- ①DISPOWER: 再生可能エネルギー等を活用した分散型電源に関する研究開発(2002.1~2005.12)
- ②MICROGRID: マイクログリッドに関する研究開発(2003.1~2005.12)
- ③CRISP: 分散型電源や再生可能エネルギーを大量導入した場合の電力系統のモニタリング、管理、制御のためのITを活用した先進インテリジェント技術に関する研究開発(2002.10~2005.9)
- ④INVESTIRE: 不安定な再生可能エネルギーのための電力貯蔵技術の評価(2001.5~2003.10)
- ⑤ENIRDGnet: 再生可能エネルギーおよび分散型電源の欧州電力系統への統合に関する研究開発(2001.12~2004.11)
- ⑥SUSTELNET: 分散型電源の電力系統への統合および持続可能ネットワークのための政策・規制面でのロードマップの策定(2002.1~2004.6)
- ⑦DG FACTS: パワーエレクトロニクスを応用した分散型電源ネットワークの品質の向上に関する研究開発(2003.1~2005.12)

注)上記7プロジェクトは全てFP5のEESD(エネルギー、環境および持続的開発)の下に位置付けられている。

DISPOWER

(Distributed Generation with High Penetration of Renewable Energy Sources)

(2002.1~2005.12)

(「再生可能エネルギーを用いた分散形電源の導入促進技術開発及び導入支援を行うプロジェクトであり、38組織が参加し予算は1.68億ユーロである。Integrationプログラムのメインプロジェクトといえる。」²¹)

DISPOWERのWeb上には、概要として以下の記述がある。

【Abstract²²】

再生可能エネルギー源及び分散型電源の導入量増大によって様々な技術的課題が生じてくる。電力供給の信頼性と経済性の維持のためには、電力ネットワーク、RESと分散型電源の導入形態、負荷のマネジメントを技術的、社会経済的に実施しなくてはならない。

²⁰ 経済産業省，“欧米のエネルギー技術開発政策について”，総合資源エネルギー調査会需給部会第2回会合，Dec 2003

²¹ NTT-BTI，“レゾナントコミュニケーションを支える分散形電源ネットワーク化の動向”，杉浦利之，2004，<http://www.ntt-bti.co.jp/kenkyu/index.html>

²² <http://www.dispower.org/>

このプロジェクトは現状のエネルギー供給形態がさらに分散化され、市場に適合した構造になることをサポートすることを目的としている。

【Overview】

このプロジェクトの目的はヨーロッパ内（地域的、部分的な）または独立の電力系統に連系される、分散型電源への備えを目的としている。

このような基本的構造の変化を計画のため、各方面からアプローチを実施する。

WP1、2 では基礎的な面を検討し、計画、トレーニング、及びオペレーションツールを WP4、9 で開発する。二つの研究室を WP6（系統安定性と制御）、WP8（電力品質の検討）で準備する。

また、エネルギーマネジメントや電力取引のために経済的な貢献も含めて、情報通信関係の研究も行う（WP5）。

開発した機器をヨーロッパの各地の電力系統でデモンストレーションする（WP7、10）。

最終的に、消費者に DG テクノロジーが与えるインパクトを社会経済的な観点から調査し（WP3）、全体的な評価を WP11 で実施する。

その他文献調査結果を下記に記す。

【DISPOWER の構成】

DISPOWER においては、細分化した目標を達成するために 11 のワークパッケージ（WP）を設け、研究開発を実施している²³。また、各 WP の元には実行すべきタスクが設定され、計画的な研究開発の推進を実施している。

WP 1: Grid stability and control

電力系統の安定性と制御、WP のリーダーは UMIST

系統制御の利用可能な技術の調査から、分散型発電機器の発電量制御方法まで、分散型電源大量導入に対応する技術の机上の検討が主と思われる。

WP 2: Power quality and safety

電力品質と安全性、WP のリーダーは Arsenal

単独運転から過電流保護など、主に保護協調面での机上の検討が主だと思われる。

WP 3: Socio-economic issues

社会経済的課題、WP のリーダーは ECN

情報通信技術（ICT）を用いて、分散型電源が配電ネットワークに及ぼす影響を検討する。

WP 4: Planning, training and operation tools for regional supply systems

地域供給システムに関する計画、実習、運転ツール、WP のリーダーは Alstom T&D

分散型電源導入の際に必要な制御用ツールを開発する。主な開発予定のツールは下記。

Task 4.1: 分散型電源対応の系統計画ツールの改良

²³ <http://www.dispower.org/>

Task 4.2 : 風力発電の系統統合用ツールの開発

Task 4.3 : 分散型電源及び制御可能タイプの負荷の SCADA システム

Task 4.4 : 分散型電源対応型の運用トレーニングシミュレーター

上記のような Task において、WP1 から制御の考え方、WP2 から電力品質と安全に関する情報を得て開発を行い、成果を WP7 へ適用する。

WP 5 : Information, communication and electricity trading

情報通信、電力取引、WP のリーダーは ISET

情報通信技術 (ICT) を用いて分散型電源のデータベースの作成や予測システム等の開発

WP 6 : Test facilities for grid stability and control

電力システムの安定性と制御の試験設備、WP のリーダーは ISET

WP1 で計画され、開発された各種機器のテスト設備の構築。

WP 7 : Implementation of RE technology for regional supply systems

地域電力供給システムへの再生可能エネルギー技術の適用、WP のリーダーは Electricite de France

各 WP で開発された結果の普及、ケーススタディ、デモンストレーション、EU への分散型電源普及のシナリオ作成など。

WP 8 : Test facilities for power quality in DG grids

DG グリッドにおける電力品質の試験設備、WP のリーダーは CESI

開発した機器、ソフトウェアテスト用の低圧配電系統試験設備の構築。

WP 9 : Operation and quality management tools in low voltage grids

低圧配電系における分散電源の運転及び電力品質管理装置、WP のリーダーは FHG ISE
分散型電源の有効電力、無効電力の制御により低圧配電系統の電圧問題を最小コストで解決する手法の開発。

WP 10 : Pilot installations and monitoring of distributed power generators in low voltage grids

低圧配電系における分散電源のパイロット試験、及びそのモニタリング。WP のリーダーは MVV Energie AG

各 WP で開発された機器、ソフトウェアの試験導入。

WP 11 : Overall assessment of DG in local power supply systems

地域電力供給システムでの DG の全体的評価、WP のリーダーは CESI

各 WP における成果の評価、普及を目的とする。

【Project Highlight】

DISPOWER における成果については、ISET によってインターネットに公開されている。以下はインターネットから入手したプロジェクトハイライトの概要を記す。

- (1) インターネット上のプロジェクト管理システムの開発
- (2) 風力予測システムの適用
- (3) 分散型電源用の実験用電力系統

各 WP における新技術のテストを行うための試験設備を構築した。DeMoTec と呼ばれる試験設備には、合計出力約 200 kW の各種発電機（ディーゼル、インバータータイプ、CHP、誘導型風力モデルなど）が用意されている。また、各発電機は SCADA システムでモニタリング可能である²⁴。

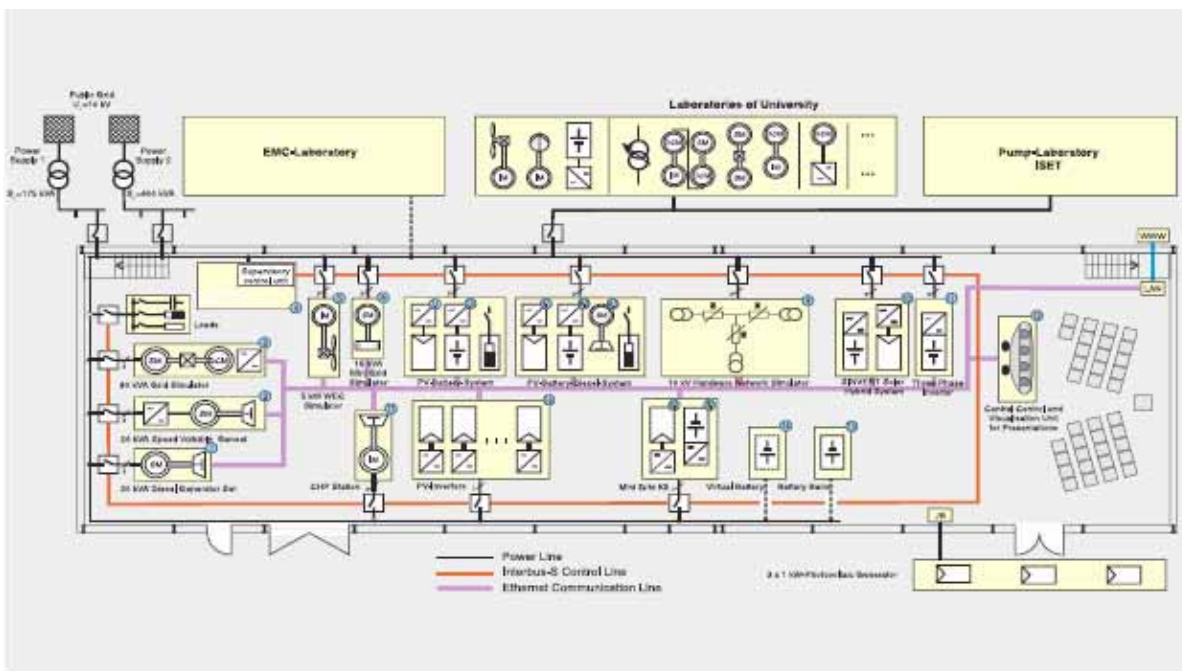


図 Overview of the plants in DeMotec²⁴

- (4) CESI における分散型電源試験設備

分散型電源の実証試験のための設備構築の第一段階が終了した。2003 年末から試験を開始する。テスト設備は中圧と低圧の供給設備が利用可能。2004 年末には改良型のインバータとプログラム可能な負荷のシステムが試験設備に加わる予定である。インバータは蓄電システムに用いられる。

- (5) EUROSTAG (シミュレーションシステム) 用風力発電モデルの作成
- (6) 分散型電源用住友バナジウムレドックスフロー電池
 - 45 kW-2 時間容量の VRB を CESI に導入した。
- (7) 分散型電源用 URENCO 高速フライホイール

²⁴ Thomas Degner, ISET, Project Highlight No.3, “Laboratory Grid for Distributed Generation”, 2003.11.25

- (8) CESI EuroDish 太陽光発電
- (9) 分散型電源対応の系統運用トレーニング
- (10) 再生可能エネルギーハイブリッドシステム
- (11) AREVA による SCADA システムの導入
- (12) eGrid for WindPRO : 電力系統のデザイン及び計算用新しいソフトウェア
- (13) 分散型電源からのアンシラリーサービスの契約構造の開発
- (14) Wind Strategist - バランスマーケットを通じた風力発電の導入
- (15) CESI における分散型電源実証試験設備の管理システム
- (16) CESI の Turbec T100 マイクロタービン CHP システム

現在得られている情報を総合的に判断すると、DISPOWER において研究されている項目のうち、本実証研究に大きく関連してくる研究項目は WP1、WP2 における基礎的な研究が主だと思われる。

DISPOWER の研究はその基本的思想として分散型電源及び負荷の統合的な制御により電力系統を安定させる構想が採用されている模様であり、本実証研究における、「系統運用者側の対策設備」としての構想は基本的に用いられていない。

但し、前述のような基礎的な検討及び実証試験設備の構築などは本実証研究にも参考となるとと思われる。

今後、DISPOWER は研究期間が終了して報告書が出てくるとと思われる。主に上記のような視点で経過を観察していく。

DGFACTS

EUでは、1998年より実施されている第5次フレームワークプログラム（FP5）において、電力網の安定、電力品質及び信頼度の問題に対処するため、DG浸透率の高い系統にもFACTS パワーエレクトロニクス概念を拡大するプロジェクト「DGFACTS」が立ち上がり、分散型電源の浸透率の高い電力網に関する最適供給要件を特定するとともに、「孤立式」DG電力網と、より大きな供給運用に統合されたDG電力網で運転するためDGFACTSの原型装置を製造し、検証するプロジェクトが実施されている。以降、このDGFACTSプロジェクトの内容（目的、機器構成、機能、役割、制御方法、技術課題、今後の展開）について報告する。

2003年1月に始まった3カ年のプロジェクト「DGFACTS」は、欧州7カ国から12の団体が参加するコンソーシアムによって実施されている。参加している団体は、LABELIN財団（技術センター、プロジェクトのコーディネータ）、スペインのIBERDROLA社（電力事業者）とARTECHE社（変圧器と保護装置の製造業者）、ドイツのISET社（技術センター）とSMA社（インバータ製造業者）とカッセル大学、オーストリアのARSENAL社（技術センター）とVERBUNDPLAN社（電力事業者）、英国のマンチェスター大学、ノルウェーのSINTEF社（技術センター）、イタリアのSEI社（電気機器製造業者）、スロベニアのリュブリャナ大学である。

プロジェクトの目的は、現在及び今後の配電系統への再生可能エネルギーと分散型電源の浸透率を高めていくために、供給品質を改善できるモジュールシステム（いわゆる

DGFACTS)を開発することである。

下図に、配電ネットワークにおける DGFACTS 装置の適用を示す。DGFACTS で開発している FACTS 機器は、配電系統(特に低圧配電系統)に接続されるであろう分散型電源(太陽光発電や燃料電池など)に FACTS 機能(無効電力調整機能、高調波フィルター機能など)を付加することで、配電系統の電力品質を高め、分散型電源の普及を高めるような新しい特徴をインバータの通常特性に加えることを目指している。(DG に FACTS 機能を付加する意味でプロジェクト名が「DGFACTS」となっている。)

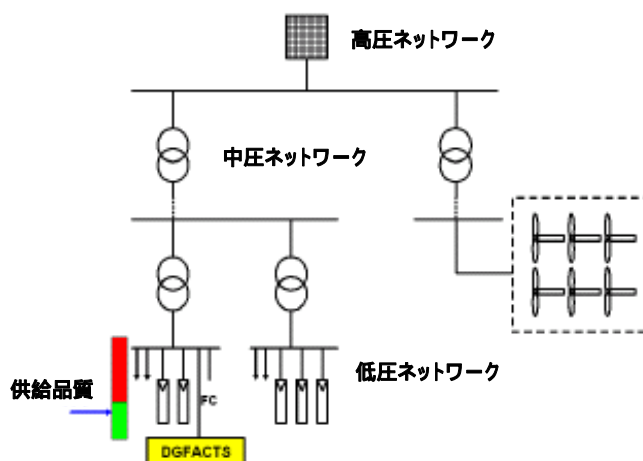


図 プロジェクト DGFACTS - DG ネットワークの供給品質の向上概念図

DGFACTS における FACTS 機器は、接続方法により直列接続型 (sDGFACTS) と並列接続型 (pDGFACTS) の 2 つのタイプの開発を実施している。²⁵

sDGFACTS 装置は、負荷と系統によって、pDGFACTS より 10 倍から 50 倍も少ない無効電力をネットワークに注入し、電圧を補償する。一方、sDGFACTS の効率は負荷依存型(ネットワーク内に誘導負荷があれば効率が上昇)であり、変圧器によって pDGFACTS よりも内部損失が大きく、非常に速いバイパスが必要である。

pDGFACTS 装置は、系統パラメータ、特にインピーダンスに敏感である。R/X 率が低ければ低いほど、無効電力の注入による電圧の補償が高くなる。pDGFACTS が全く電力を注入しないとき、接続変圧器は全く損失を経験せず、同じ無効電力では、pDGFACTS の方が sDGFACTS よりも電力の損失が少ない。

概して、どちらのトポロジーも互いに比較すれば利点も欠点もあるが、欠点のほとんどは有効電力の注入により解決できる。

DGFACTS 原型の最終仕様に向けた実際の研究は、sDGFACTS の十分に高速なバイパスに使

²⁵ “ DGFACTS : Improvement of the QS in DG networks through the integrated application of power electronic techniques“ ,First International Conference on the Integration of Renewable Energy Sources and Distributed Energy Resources, Brussels, December 2004.

用すべき要素と有効電力の注入を可能とするコンデンサの蓄電容量に焦点が当てられている。

DGFACTS 装置は、配電ネットワークにおける機能によって、統合型あるいは独立型に分類できる。独立型 DGFACTS は、戦略上、配電ネットワーク内に散在させた DGFACTS 装置で、主たる目的は、ピーク負荷状態（電圧減少）といったネットワーク内で必要なとき、あるいは、分散型電源過剰（電圧増加）のときに電圧値を公称限度内に回復させることである。

統合型 DGFACTS は、DG ユニットをネットワークに接続するのに共通の電子式コンバータを持ち、その制御ユニットも電力品質を向上するためのアルゴリズムを統合する。このように、ネットワーク内に散在する複数の統合型 DGFACTS の動作は、DG の浸透率を可能とする電圧の安定性という点から有益であると考えられる。これを背景に、電力品質の向上に向けて共に作用する統合型 DGFACTS において実施できる特定のアルゴリズムについても、研究を行った。

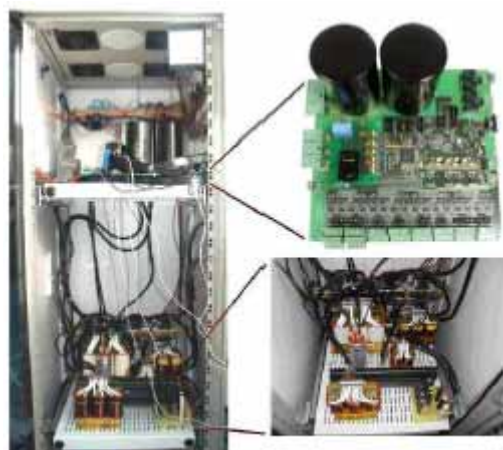


図 pDGFACTS の基本ハードウェア



図 SMA 社が試作した統合型の pDGFACTS (50kW 三相システム) 機器の概観

現在、独立型、及び統合型の sDGFACTS、pDGFACTS は試作品が製作され、その性能について工場内での検証が進められている。(統合型の pDGFACT は SMA 社 (50kW 三相システム)、ARTECHE 社 (10kW 三相システム)、SEI 社 (5kW 単相システム)、独立型の pDGFACT は SMA 社 (5kW 単相システム) と SEI 社 (5kW 単相システム)、sDGFACTS は ARTECHE 社 (10kW 三相システム) が製作)

(2) DGCG (英国 : Distributed Generation Coordinating Group) ²⁶

【位置づけ】

DGCG (分散型電源コーディネーショングループ) は、英国の電力システムの一部である分散型電源と電熱併給 (CHP) の接続と普及を妨げている様々な障害 (規制、商業、技術面の様々な課題) の除去に関して、DTI と OFGEM (政府のガス電力市場局) に助言するために設置された。

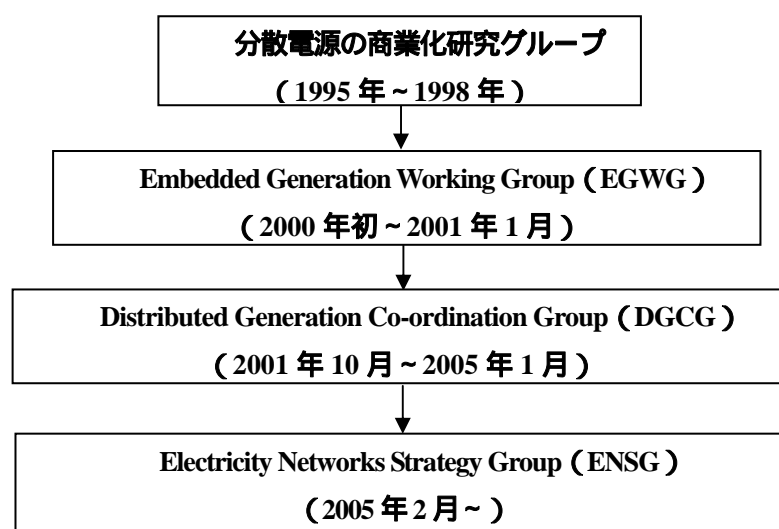
DGCG では、DTI と OFGEM が事務局となり、2001 年 10 月 (第 1 回会合) から 6 つのワーキンググループにおいて、系統連系や分散型電源のオペレーションに関するテーマについて、検討を行っている。参加メンバーは DTI、OFGEM、系統運用者、発電事業者、配電事業者、大学関係者、コンサルタント等である。

【経緯】

Distributed Generation と電熱併給 (CHP) の接続と普及を妨げている様々な障害に関しては、DGCG の前に活動した旧 EGWG (Embedded Generation Working Group) の提言 (2001 年 1 月の報告) によって指摘された。

Ofgem の流通価格統制再検討など、作業の多くは既存の組織と官庁の手で実施され、DGCG は課題の特定の面で支援し、産業全体の討論の場となった。他の面でも、電力産業、大手コンサルタント会社、研究機関、官庁の協力を得て、DGCG とそのテクニカル・ステアリング・グループ (TSG : Technical Steering Group) は、解決策のとりまとめを行った。

その結果、2005 年 1 月の時点で、DGCG はそれらの障害のほとんどは既に取り除かれたと報告している。そして、いくつかの長期 TSG プロジェクトは新設の ENSG (Electricity Networks Strategy Group) に引き継ぐことになった。



²⁶ http://www.distributed-generation.gov.uk/coord_group.php

【実証研究に関連する DGCG の TSG の概要】

DGCG では、政策や制度の検討だけでなく、TSG において、技術的な問題に関する検討を行っている。TSG には以下の 6 つのワークストリーム (WS) があり、それぞれ種々の検討を行っている²⁷。特に WS3 (短期的ソリューションの検討)、WS5 (長期的ソリューションの検討) においては、Active Network Management (能動的な系統制御) に関する検討が行われている。

【WS3 (短期的な電力系統のソリューション (~3 年以内)) の概要】

分散型電源の活用拡大のための技術的な、制度的での、及び商業化のための電力系統問題の検討を実施した。

特に、現行の安全基準の下での分散型電源の電力系統セキュリティ、及び適正運用への短期的活用方策の確認 (例 : Active Network Management、Free Active Power、保護装置の導入等) をした。

WS3 では分散型電源が配電事業者 (DNOs) に提起する現下の課題の解決策を生み出すプロジェクトを実施した。

表 WS3 (短期的な電力系統のソリューション (~3 年以内)) の検討状況

プロジェクト	タイトル	状況
1	安全負担金 (ER P2/5)	完了 ワークストリーム 2 に付託
2	基本的なアクティブネット ワーク管理	完了 ²⁸
3	小規模分散型電源 (SSEGs) が LV ネットワークに与える 影響	完了 ²⁹
4	Is リミッタ安全ケース	現在許容可能な安全ケースの開発作業を進めているが、その後作業をワークストリーム 5 に付託する。
5	ネットワーク分割 (splitting)	完了
6	連続切換え安全ケース	ワークストリーム 5 が計画している「Is リミッタ安全ケース」の作業結果待ち

²⁷ 他の TSG の検討項目については、施策調査報告書に記載している。

²⁸ Alan Collinson, et al., “ SOLUTIONS FOR THE CONNECTION AND OPERATION OF DISTRIBUTED GENERATION ”, May 2003

²⁹ Steve Ingram, et al., “ The Impact of Small Scale Emvedded Generation on the Operating Parameters of Distribution Networks ”, 2003

【WS5（長期的な電力系統の概念と選択肢）の概要】

WS5では、技術問題を解決する新技術やアクティブ管理の可能性など、分散型電源の長期的影響について作業を進めている。

供給の質と信頼度を維持する上で DNOs が、（例えば、ネットワーク・サービスを契約したり、孤立モードで運転能力を持つためにネットワークの再編パートを契約するなどして、）どの程度まで分散型電源を利用できるかが重要な側面のひとつになる。

ER P2/5 以降の系統安全性の問題も WS5 の委任事項になるが、ここでの作業は他の WS の成果に左右され、またより長期的な取組みになるので、WS5 のプロジェクトの多くは、他の作業の完成を待たねば先に進めない。

表 WS5（長期的な電力系統の概念と選択肢）の検討状況

プロジェクト	タイトル	状況
1	故障レベル	進行中。既存作業は 2005 年 3 月に完了。 Is リミッタに関し進行中の作業はワークストリーム 3 から継承。
2	電圧制御	進行中。2005 年初に完了見込み
3	能動管理	プロジェクト・チームと作業案を設定
4	安全性	他の活動の成果待ちで延期
5	アイランド化	完了
6	補助（アンシラリー）サービス	完了 ³⁰
7	電力の質	2010 年まで重大な問題にならないという EU プロジェクト分析の結果を踏まえ、作業を実施せず。
8	ネットワーク設計	作業進行中 分散発電・持続可能電気エネルギー・センターと協力して実施中。
9	安全性	他の活動の成果待ちで延期
10	新技術	進行中。報告書案完了
11	ネットワーク・ロス	進行中。2005 年 4 月完了見込み

次ページ以降、関係する（表で色づけしてある部分）の報告書概要を記載する。

また、他にも WS5 の長期的なソリューションに関し、SCADA システムを用いた広範囲な能動

³⁰ Iiex Energy, UMIST, “ANCILLARY SERVICE PROVISION FROM DISTRIBUTED GENERATION”, 2004

的配電システムの制御のフィジビリティスタディーも実施されている³¹。

分散型電源の配電システムへの多連系における各種影響としては、大きく短絡容量増加の問題、適正電圧維持（電圧上昇）の問題、過負荷の問題を挙げている。

図 DCGG の抽出した障害内容と解決のための技術検討項目

障害内容	技術解決策検討項目	
	短期的	長期的
短絡容量増加	<ul style="list-style-type: none"> 配電システムの構成変更（再構成、分割） Is 制限器 複数電源の順次開閉 積極的な短絡容量管理 	<ul style="list-style-type: none"> 非線形限流インピーダンス 超伝導装置
適正電圧維持	<ul style="list-style-type: none"> 電圧調整器 キャンセレーション CT 仮想 VT アクティブネットワーク 	<ul style="list-style-type: none"> 統合電圧調整器 STATCOM アクティブネットワーク
過負荷	<ul style="list-style-type: none"> 過負荷時分散型電源出力規制 動的な過負荷許容値管理 	<ul style="list-style-type: none"> デマンドサイドマネージメント

【各方策の技術開発状況（目的、機器構成、機能、役割、制御方法、技術課題、今後の展開）詳細】

本節では、英国で検討された短期的な解決策について、障害内容毎に技術開発状況概説する。

（1）短絡容量増加について

配電システムの構成変更（再構成、分割）

英国の配電システムは、障害時の対応、及び保守目的で一部の回路を切断する対応のために、日本の配電システムと同様、システム構成を変更できるように設計されている。また、常時開放用の開閉器は、樹枝状システムの最遠端箇所や、2本の配電線の結合で隣接変電所との連系ができる箇所に設けられることが多い。下図に、英国の典型的な配電システム構成の一例を示す。

配電システムを再構成するという手法では、故障電流の経路変更、または配電システムに電力を運ぶ並列配電線数の削減によって故障電流レベルを下げるができる。故障電流の経路を変更するもっとも簡単な方法のひとつは、単純に常開点の位置を動かすことである（常開点を閉じ、その代わりとなる常時閉路開閉器を開く）。この方法で、発電機と変電所間の電氣的距離を長くして、開閉装置への故障電流の流入を減らすことができる。または、常開点の位置を動かす方法を配電網接続設計の一部として採用し、故障電流が問題とならない隣接配電網の一部に発電

³¹ DTI, “ NETWORK MANAGEMENT SYSTEMS FOR ACTIVE DISTRIBUTION NETWORKS A FEASIBILITY STUDY ”, 2004

機が接続されるようにしてもよい。これらは、配電事業者の間で、一般的な方法として確立されている。

(相互接続されたメッシュ構造の配電系統ではなく、)放射状配電系統の場合、並列回路の数を減らすというもうひとつの方法は、配電系統に物理的改造を施すことなく、配電系統を複数の部分に分割することで実現できる。それは一般的に次のような方法である。

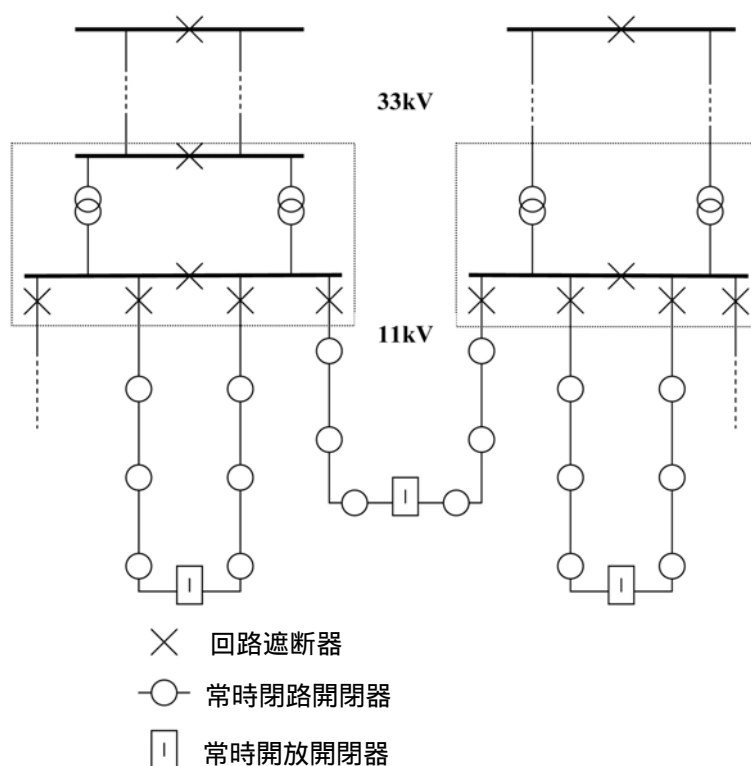


図 英国の 11kV 配電系統の典型的な回路例

母線区間分割器の接点を開放しての運用

変圧器遮断器の接点を開放しての運用 (但し、すぐに閉路可能)

いずれの場合も、上流で障害が発生した場合に遮断器の接点を閉じるための自動閉路スキームが必要である。

配電系統を分割することにより、母線バーに発生する故障電流のレベルを大幅に下げることができる。しかし、これをすると、系統損失、高調波電圧レベル、瞬時電圧低下、フリッカが増し、電源インピーダンスの増大によって電力品質が全般的に低下する。電源喪失のリスク、ならびに顧客が体験する一時的停電の頻度も増す。留意を要する重要なこととして、母線を複数の区間に恒久的に分割し、

多数の分散型電源の接続を許可した後で、この措置の結果として電力品質が許容不可能なほどに低下することが判明した場合、以前の変電所接続形態に戻るのはいかなるコストになるかもしれない。

このソリューションに関して留意を要するもうひとつのこととして、保守のために変圧器を切り離す前には、複数の母線区間の結合が必要である。ふつうその間、分散型電源の使用を制限する必要がある。

この配電システムの分割構成は、配電網中に発生する故障電流のレベルを大幅に下げることが、その一方で多くの問題を発生させるので、それらの問題についてソリューションの導入前に検討と対処が必要である。低電圧システムの分割から生じる影響を軽減する方法（特に短時間停電を回避もしくは最小化する方法）、ならびに故障電流レベルを下げることのメリットと、配電網の分割によるコスト面と性能面でのデメリットの数値的評価に特別の注意を向ける必要があるとしている。

また、配電網の分割は、配電網の設計と運用を大きく変えることを意味する。配電網を分割する方法は多数あり、それぞれの方法ごとに、故障電流レベルの低下度と顧客への影響は異なる。また、各種の悪影響を軽減しつつも故障電流のレベルを下げることを可能とする技術的手段が複数ある。今後の研究での主要な課題は、それらの技術的手段を明らかにし、それらの技術的手段が配電網分割の悪影響を緩和する能力を評価することであるとしている。故障電流レベルの低下度、顧客への影響、妥当な影響緩和策の導入コストとの間での良好なバランスを達成する選択肢を見いだすための解析が必要としている。

Is 制限器

配電システムの構成変更は、並列回路の数を減らすことで配電システムのインピーダンスを恒久的に高める方法であった。Is 制限器による方法は、故障電流が流れた時にだけ配電システムのインピーダンスを高めるという方法である。この方法では、Is（故障電流）制限器として知られる装置を使う。この種の装置を使うことの主要なメリットは、配電システムが正常な状態にあるときには配電システムのインピーダンスを低くしておけることであり、それ故に、配電システムのインピーダンスを恒久的に高めた場合とは違って、配電システムのセキュリティに関係したリスクの増大、損失の増大、電圧制御の問題が生じないことになる。配電システム中での Is 制限器の挿入位置には多数の選択肢があるが、母線区間遮断器あるいは発電機接続専用回路に直列に挿入するのがもっとも一般的としている。

下図に Is 制限器の構成を示す。Is 制限器は、配電システム中での障害発生時配電システムの急峻な電圧上昇を感知すると火花放電を起こし、それによって主回路を断つ構成となっている。電流は制限され、並列に挿入されたヒューズによって遮断される。Is 制限器はきわめて高速に動作し、電流の最初のピークの到来（10ms）前に電流を遮断するので、開閉装置の投入時間、及び遮断時間の枠内で、デバイス

を通過する故障電流を効果的に除去できる。

多くの変電所では配電盤の容積に余裕がないので、既存の配電盤に Is 制限器を格納するのは困難と考えている。作動後に Is 制限器を交換できるよう、断路器スイッチと地絡スイッチを追加する必要がある。Is 制限器は作動後に毎回交換を要するので、運転費の問題、ならびに作動から交換までに要する時間の問題を考慮する必要があるとしている。

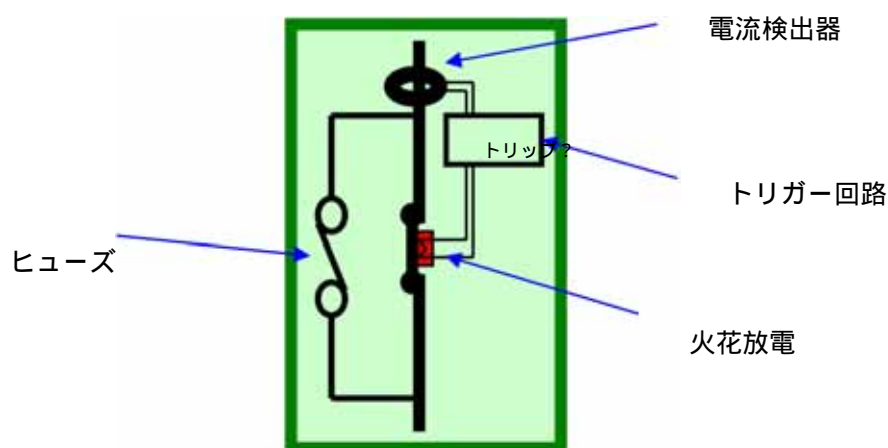


図 Is 限器の構成

しかし、英国の配電事業者は、Is 制限器の仕様について、主として安全に関する以下の懸念を抱いていることから、あまり適用された実績はない。(ドイツではかなり使用されている)

- ・ Is 制限器は本質安全装置 (フェイルセーフ等) ではない。
- ・ トリガー回路を動作させるに足るだけの電流が検出されるかの不安。
- ・ Is 検出器は動作テストができない。
- ・ 組み合わせて使える「バックアップ」装置が見当たらない。
- ・ 配電法には、この種の装置の使用に関する懸念が表明されている。

今後の課題としては、Is 制限器の使用に関しては安全面での懸念が強いことから、この種の装置を公共配電システムで使用することの妥当性を評価するための作業が必要であると考えられている。また、この評価でポジティブな結果が出たならば、配電システム設計の不可欠の要素として Is 制限器を使用するための最適の方法を見つけるためのさらなる研究が必要になると考えられている。

複数電源の順次開閉

順次開閉とは、障害発生区間を切り離す前に、故障電流の発生に寄与する複数の電源を切り離す方法である。下図の例を使って順次開閉コンセプトを説明する。

この例では、3 台の装置（変圧器 1、変圧器 2、発電機 1）が故障電流の発生に寄与する。図に示した箇所の障害は、ふつうは回路遮断器 5 で直接的に除去する。しかし、発電機 1 によって故障電流レベルが上がっているため、定格を上回る故障電流が回路遮断器 5 を流れるかもしれない。これに対処するには、回路遮断器 1、回路遮断器 2、回路遮断器 3、回路遮断器 6 のいずれかが動作するまで回路遮断器 5 が動作しないようにすればよい。

この方法を採用すれば、回路遮断器の定格容量を上げることなく、発電機の接続を許容することができる。

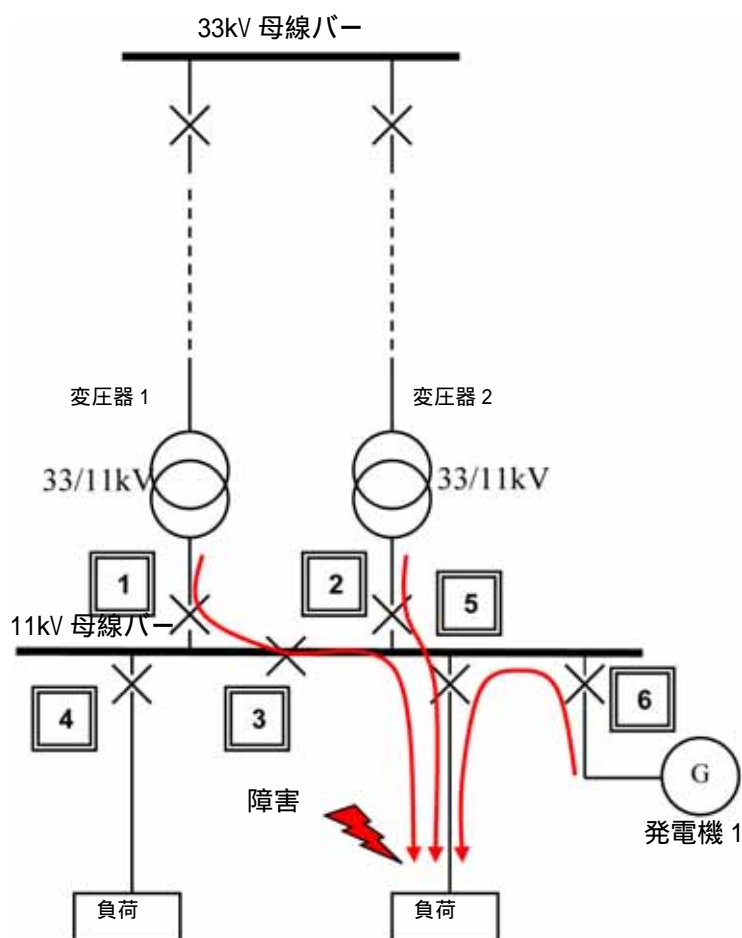


図 順次開閉のしくみ概念図

本方式は、132kV 配電系統の故障電流レベルを抑えるための一時的な（開閉装置の交換と配電系統構成の改善が完了するまでの約 2 年間の暫定的な）解決策として適用された実績がある。以下にその概要を記す。

【順次開閉方式の暫定的な導入事例】

South 変電所（400/132kV）でスーパーグリッド変圧器（SGT）の容量アップが必要になった。しかし、時を同じくして、East 配電網への分散型発電機の接続を求める申請があった。交換後のスーパーグリッド変圧器と分散型発電機の両方からの出力により、3 つの変電所の既存の 132kV 開閉装置の定格を大幅に上回る故障電流が発生する可能性が生じた。

将来に向けての動きを見据えた戦略が確定するまでの間、これらの変電所への高額な設備投資を延期するための方法について調べることが必須となった。East 変電所に順次開閉方式を導入し、障害を起こした給電線の回路遮断器を動作させる前に、故障電流の複数の供給源を切り離すという方法が提案された。

132kV 母線バーが二重化された East 変電所は、メイン母線バー（M）の区間遮断器（BS）と 2 つの母線カプラー（BC）の接点を閉じた状態で運用されていた。予備母線バー（R）の母線区間分割器の接点は通常は開状態であり、いずれかの母線カプラーがトリップしたときには、母線区間の片方が配電網の残りの部分から切断されるようになっていた。East 変電所は South 変電所からは 2 本の給電線で、North 変電所からは 4 本の給電線で受電している。South 変電所からの 2 本の給電線は予備母線バーの一区間に接続され、この区間をメイン母線バーに接続する母線カプラーは順次開閉方式の適用対象に含まれている。

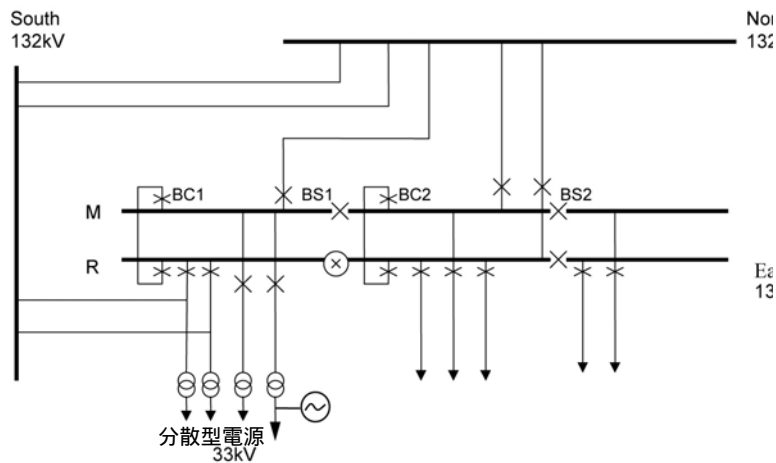


図 順次開閉方式の暫定的な導入箇所の回路図

順次開閉方式は、外に出て行く給電線すべてに取り付けられたハイセット地絡継電器によって開始される。地絡継電器は、しかるべき母線カプラーを瞬時にトリップさせて、South 変電所からの給電線を切り離し、自系統中の 4 台のグリッド変圧器のうち 2 台だけが受電した状態にする。すべての給電線遮断器のトリップ回路には 100 ミリ秒の遅延時間が設定されている。どんな障害の発生時にもこの遅延回路は動作し、三相障害の発生時にさえ、回路遮断器が動作するときまでに、直流オフセットと誘導モーターからの電流は微々たるものになっている。

母線カプラーは妥当な遅延時間の経過後に再開路する（障害が発生した給電線の遅延時間後の自動再接続）。これにより、開閉装置の定格を超えない条件下で開閉装置の接点を閉じられる。East 変電所で給電線遮断器の接点を手動で閉じる場合も、外に出ていく給電線への通電前に、South 変電所と North 変電所からの給電線を手動で切り離す必要がある。

埋込発電出力が増すにつれ、一部の回路での三相障害、及び一部の受電回路での单相障害をカバーできるようにスキームを拡大する必要があったが、この方式は、開閉装置の交換と配電網の構成改善が 2000 年/2001 年に実現されるまで有効に機能した。

それまでの期間において最大の懸念となった問題のひとつは、障害除去所要時間の増加によって発電機が不安定になるというリスクであった。これを回避するための定期保守が発電パターンに課す制約が最小となるよう、埋込発電機の運用者と配電系統運用者との間で注意深い相互連絡が必要とされた。

上記のように英国内で順次開閉技術を導入した事例が少数あるが、この技術の導入に関しては、以下に示すいくつか大きな問題があり、これらの問題に対処するために、さらなる取り組みが必要であると考えられている。

(安全性)

- ・配電網中施設、配電網作業員、一般人に対するリスクの増加する。安全面でのリスクが増加するというのは、順次開閉方式がうまく機能せず、故障電流が十分に減る前に回路遮断器の接点が開く可能性があるためである。しかも、障害除去所要時間は全体として長くなるので、障害発生箇所での安全面でのリスクが高まる。従って、安全性を絶対的に優先させるなら、リスクを高めるこのソリューションは受け入れがたい。
- ・しかし、リスク評価のアプローチを採用するなら、特定の状況下では、リスクの増加は許容可能な範囲にとどまると判断されるかもしれない。

(複雑性)

- ・順次開閉方式の採用は、配電網の設計と運用の複雑性を増加させる。順次開閉方式で複数のサイトの装置を扱う場合には、これは特に顕著である。その結果、技術的故障あるいは操作員の判断ミスによる停電を顧客が体験するリスクが高まることは避けられない。
- ・操作ミスのリスクを最小化するには、設計・保守・運用上のあらゆる手続きで、いっそう高い知識と技量を持つエンジニアや技術者に頼る必要がある。

(適合性)

- ・保護装置の動作遅延時間を意図的に設けることは、配電事業者と分散型電源運用者の両方に、技術的問題をもたらすかもしれない。配電系統運用者にとって、これは故障電流の持続時間が増すことを意味し、それによって配電網中のコンポーネントへのストレスやダメージが増すかもしれない。分散型電源運用者にとっても、発電機の安定度問題を回避するために保護装置の高速応答が必要なことが多い、クリティカルな状況下での障害除去時間の増加は問題かもしれない。

積極的な短絡容量管理

「設置した後は放置」から「積極的管理」へと配電系統の管理を進化させたなら、運用段階と計画段階の両方で故障電流レベルの管理ができる。基本的なところでは、故障電流レベルの積極的管理は、配電網中の開接点位置の移動という前述の方法など、単純な形をとりうる。しかし、故障電流レベルのより動的かつ積極的な管理を実現するには、配電系統を更にフレキシブルなものにする必要がある。配電系統に物理的な変更を加えるのは困難なので、配電系統の運用面と計画面での変更によって柔軟性を作り出すのがもっとも効果的である。このアプロー

ちは、ローカル発電量が大幅に増し、分散型電源の連系/解列に伴って故障電流レベル等の配電網パラメータが大幅に変化する状況に対する、最も妥当な対応策と考えられているのである。

配電網の分割、Is 制限器、リアクトル、順次開閉方式など、これまでに説明してきた故障電流レベル管理ソリューションの多くは、従来の配電網強化手段と併用されることで、配電網の柔軟性の向上に寄与できる。従って、故障電流レベルの積極的管理は、それらのソリューションをまとめあげ、一貫性のある単一の配電網設計アプローチとするための作業である。

「設置した後は放置」の方針から「積極的管理」のアプローチへの移行には、短絡電流レベルのモニタリングなどで取得した、より大量の配電網情報が役立つであろう。短絡電流レベルのモニタリングは故障電流レベルの積極的管理に閉ループのフィードバックを提供し、これまでに取り上げたソリューションの多くが是正措置として採用されるであろう。

この解決策には技術面、商業面、規制面で、さらに理解、及び解決すべきべき問題がある。また、これまでに取り上げてきたより高度な故障電流レベル管理ソリューションの多くと密接に関係しているので、故障電流レベルの積極的管理技術は、それらの解決策（特に配電網分割、Is 制限器、順次開閉方式）に関する研究が済んでから、その後を追う形で導入されていくべきとされている。（従って、この解決策に関するさらなる研究は、他のソリューションの研究が終わるまで待つことが望ましいとしている。）

(2) 適正電圧維持について

電圧調整器

線電圧調整器の使用は、配電系統上の有効電圧制御の拡張と見なすことができる。線電圧調整器を給電線内に戦略的に配置し、電圧調整器及び発電機が一体となって機能して下流電圧を制御し、同時に既存の変電所の OLTC 及び自動電圧制御スキーム (AVC) が受動系統の残り部分を通常の方法で制御するようにできる。線電圧調整器は、配電事業者数社が、長亘長配電線の電圧分布の管理に役立てるために使用している。しかし、英国では電圧調整器を分散型電源と併用することはあまりなかった。

線電圧調整は、Scottish Power/Manweb 社の実証プロジェクトにおいて 11 kV の地方放射状ネットワークに使用された。以下にその概要を記す。

【線電圧調整器による対策事例】

Scottish Power/Manweb 社において、系統を変更せずに発電機を 11kV 地方ネットワークに接続するための制限は、実験式及び一般経験則によって下式により説明することができる。

発電機容量 (MVA) \times 発電所からの距離 (km) ≤ 4

すなわち、1MVA の発電機は、発電所から 4km、2MVA の発電機は 2km、あるいは 4MVA 発電機は 1km の所に接続することが可能である。制限を超えた場合、系統調査を実施しなければならず、

その調査結果に基づいて適切な処置を取らなければならない。

このプロジェクトにおいて、発電機運用者は、発電容量を 600kW から 2.3MW (1×600kW FSIG + 2×850kW DFIG) へ増加することを希望した。発電機のサイトは、一次変電所から 12km の距離にあり、従って 2.3 MW は、「4MVA.km」の経験則からの限界を超過する。このことは、許容不可能な電圧制御問題を近傍に生じさせることになる。この場合の従来型ソリューションは、接続を 11kV から 33kV に変更することであったが、その接続費用は高額となった。(代表的な地方 33 kV 接続費用は、11kV (£ 50k~£ 100k) 接続と比較して約£ 500k~£ 1M である。)

そこで、提案された新しいタービンを 11 kV で接続できるように、電圧の法定限度超過対策に線電圧調整器が配電系統の幹線部分に導入された。電圧調整器は、風力タービンへの引き込み線が接続するタップ・ポイント付近の幹線部分に 1 台設置された。この費用は、1 台につき約 £ 20,000 である。設置された。追加措置として、DFIG 発電機 2 基の力率を 1 ではなく 0.95 (輸入 VAR) に固定した。下図にレイアウトを示す。

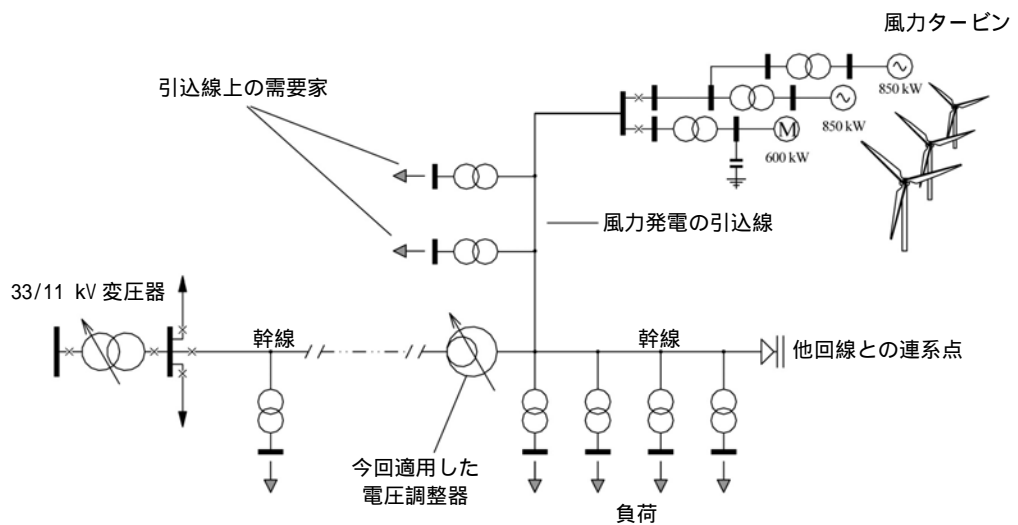


図 電圧調整器による対策事例

運転を監視するために、戦略点における電圧及び電力潮流が SCADA システムによって監視された。監視点は、主に変電所、電圧調整器、分散型電源サイトである。監視及びシミュレーションの結果は、系統電圧が、夏季負荷及び最大発電を含むすべての状況下で要求限度範囲内にあり、このソリューションが電圧制御観点から実行可能であることを示した。

また、この解決策では、最大発電及び最小負荷時に一次変電所を通過する逆電力潮流が一次変電所母線上の電圧を低下させる問題(この副次的な悪問題は、AVC 制御器内部で使用された負荷中心点一定制御を起因とした問題)が生じることが懸念されているが、一次変電所、電圧調整器、及び発電機の電圧制御設定を最適化することでこのソリューションの利用が改善されるとしている。最適な電圧制御機器の配置・設定により、系統の容量をさらに増加し、分散型電源の受け入れが可能になるとしている。また最適化は、発電機がほぼ力率 1 で作動することも可能にし、それによって発電機の無効電力課金及び系統損失が低減するとしている。

今後は、OLTC、AVC、電圧調整器、及び発電機制御装置間の相互作用に関する研

究開発や電圧調整器と分散型電源の併用に関する最適設計方法論の研究開発が必要であるとしている。

キャンセレーション CT

キャンセレーション CT とは、分散型電源の逆潮流により誤った制御を行う変電所の LDC (線路電圧降下補償装置) を補正するための装置である。

キャンセレーション CT を用いた配電系統例を下図に示す。本ケースは、1つの配電用変圧器から 3つの配電線へ電力を供給する構成となっている。本ケースにおいて配電線 A に大規模な分散型電源が接続された場合、配電線 A は電圧降下曲線が変化するものの、配電線 B、C においては電圧降下曲線に変化はない。しかしながら、3つの配電線の送出電圧を一括して制御している変電所の LDC (線路電圧降下補償装置) は、配電用バンクを通過する電流が減少することで、まったく負荷に変化のない配電線 B、C の負荷が減少したと誤解してしまうことになり(また、大幅に負荷が変化した配電線 A の負荷が少ししか変化していないと誤解してしまうことになり)、不適切な制御を行う事象が発生する。

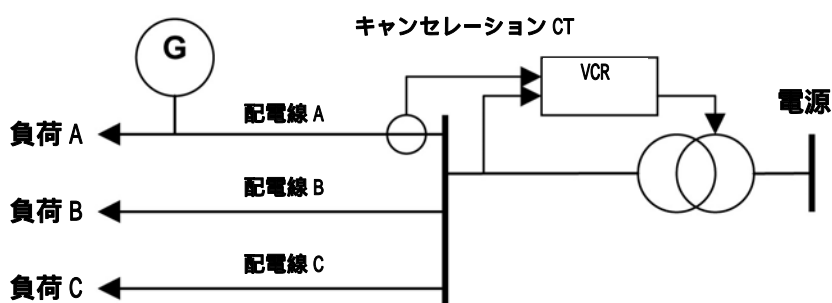


図 キャンセレーション CT を用いた配電系統例

そこで、大規模な分散型電源が連系する配電線(図中配電線 A)の回線送出箇所に大規模な分散型電源が連系する配電線の負荷のみを計測する CT (これをキャンセレーション CT という) を設置し、配電用変圧器の 2 次側で計測するバンク一括電流から大規模な分散型電源が連系する配電線の回線電流を取り除き、LDC が配電線 B、C に対し適切な送出電圧の制御を実施できるようにした。

このキャンセレーション CT と LDC とのインターフェースは既に VA Tech 社などで製品化されており、配電事業者 1 社は、数ヶ所の一次変電所に導入している。また、他の配電事業者はその使用を検討中である。

この解決策では、一部の配電線に大規模な分散型電源が導入されたケースでは適用可能であるが、その場合においても配電線 A の電圧調整の対策を線電圧調整器などの別の解決策を講じる必要がある。また、各配電線に分散型電源の導入が

進んだ場合などでは、各分散型電源連系に伴う各配電線の負荷変動に追従が困難になると考えられる。

仮想 VT

仮想 VT は、力率一定制御でなく、電圧一定制御を行う分散型電源が連系されたローカル系統で適用される解決策である。

下図は、電圧一定制御の分散型電源がローカル負荷系統を供給し、この系統が遠隔電源から長い送電線によっても供給されているケースを示す。分散型電源が電圧一定制御で運転している時、ローカル系統の電圧は、分散型電源により電圧が支持され、逆に分散型電源が停止している時は、大規模電源の電圧に支持される。

仮想 VT は、このような変化が起こってもローカル系統の電圧を適正な電圧に維持するために、線電圧調整器の LDC に追加機能を設けたものである。

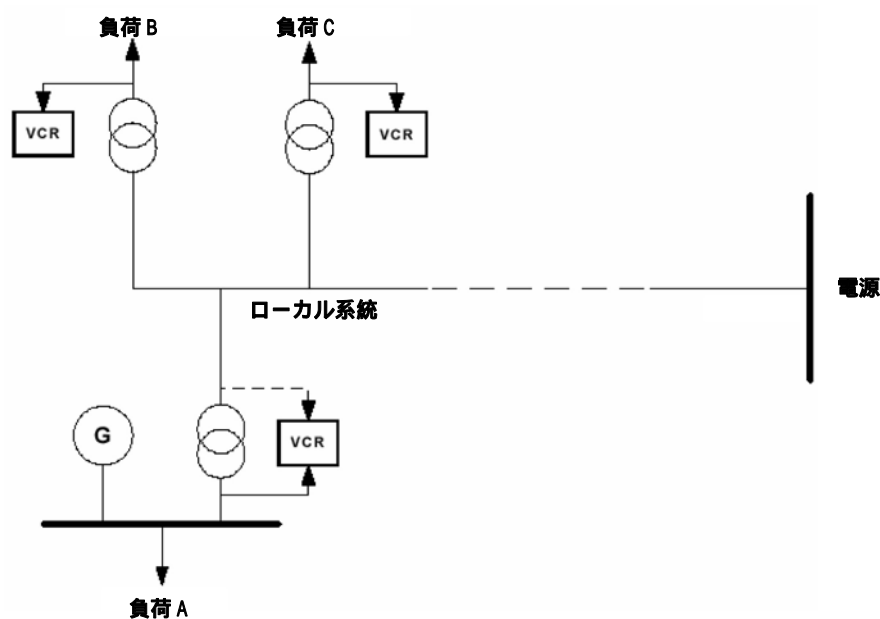


図 ローカル配電系統における仮想 VT 適用事例

分散型電源が運転停止している場合、電源電圧に支持され LDC は線電圧調整器の二次側の電圧を通常の LDC 機能により制御する。分散型電源が運転し、線電圧調整器の電源側の電圧を調整する必要がある場合、下図に示すように CT により逆潮流を検出し運転モードを変更する。逆潮流の運転モードの場合、LDC 機能に非測定側の端子電圧を計算し新たな VT を設けることなく電源側の電圧を適正電圧に制御するようにタップが動作することになる。

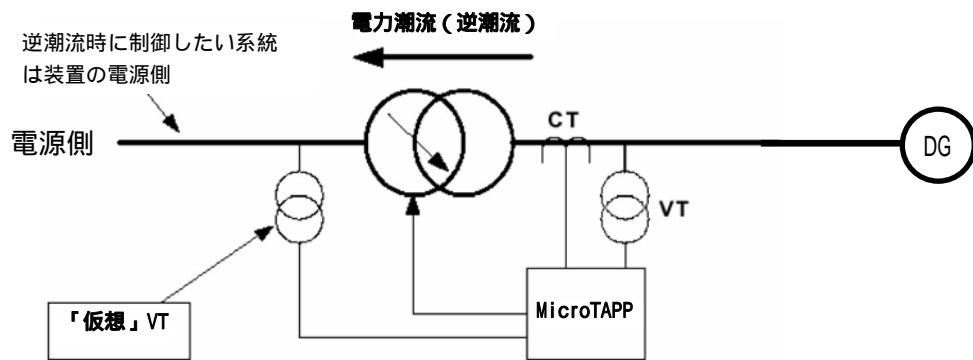


図 仮想 VT を基に電源側電圧を制御する AVC

アクティブネットワーク（リモートセンシングを使用した能動的電圧制御）

アクティブネットワークは、配電系統の電圧ネックになると考えられるポイントにセンサを設置し、その計測情報により配電系統の状態を推定し、電圧調整機器（主に配電用変電所の LRT）を制御するシステムである。

下図にアクティブネットワークシステムの概念図を示す。配電系統のセンサは RTU（Remote Terminal Unit）と呼ばれ、設置箇所の有効電力、無効電力、電圧、力率を測定する。測定された各センサの情報は変電所に設置された DMS コントローラ（Distributed Management System Controller）が収集し、配電系統の状態を推定する。状態推定結果により配電系統全体の電圧が適正電圧になるように LRT の 90 リレーの基準電圧の設定変更指令を出す。下図の概念図では分散型電源へ有効電力、無効電力の制御指令を出すように記載されているが、現状では送出電圧の調整だけでは解決できない事例が起こっており分散型電源の制御指令は構想段階であるということであった。将来的には分散型電源の出力制御指令のほかにも SVR、SVC、貯蔵装置、負荷などへの制御指令も必要になると考えている。

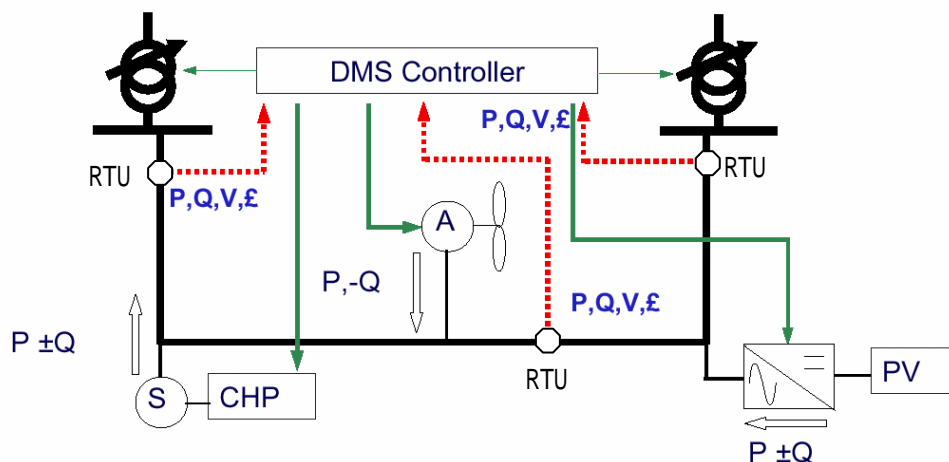


図 UMIST で検討している能動的配電系統制御の概念図

下図に DMS コントローラのシステムブロック図を示す。DMS コントローラは大きく状態推定ブロック (State Estimation Block) と制御ブロック (Control Block) に分けることができる。

状態推定ブロックは、制御されている系統の各ノードにおける電圧の大きさの期待値、標準偏差を計算する。これを行なうために、電圧及び電力測定値、過去の負荷データよりあらかじめ想定される負荷パターン、系統の接続状況、及び導線電気抵抗などの系統データを使用する。負荷パターンの最も単純なパターンは各負荷の契約容量により単純に按分するであるが、予備測定により配電線各部の精度の高い負荷パターンが想定できれば更に精度の良い状態推定が可能になる。状態推定は、ニュートン・ラプソン法を使用して解かれる加重最小二乗アルゴリズムを使用し、これも状態変数標準偏差を計算する。これらの電圧振幅の推定値は、制御ブロックに委譲される。OPT (最適潮流計算) は将来構想では適用を考えているがまだ研究の段階であるとのことであった。

制御ブロックでは、各推定値が「制御範囲」内にあることを確認する。各ノードの制御範囲は、その電圧振幅推定値の許容値の範囲として定義される。推定値が制御範囲に入らない場合、制御ブロックが 90 リレーの基準電圧の設定変更指令を行い (結果してタップ切換操作が開始され)、高圧系統全体が適正電圧範囲内になる。設定値は 1 日に 1~2 回の変更を想定しており、風力発電などの出力変動に対応した制御を考えていないことが分かった。

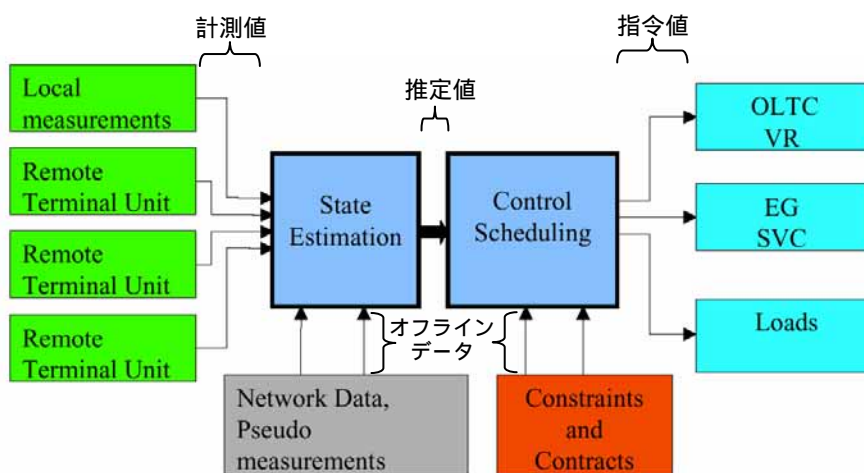


図 UMIST で研究している DMS Controller のシステムブロック図

計測は、系統の一次変電所やより大きい電圧変動が予想される発電機接続点付近などの遠隔サイトなどの複数地点で実施される。一般にタップの切替は 30 秒か

ら 2 分の遅延後に動作するので、遠隔測定値は数秒ごとに制御器に伝達される。低出力無線または公衆回線網が適切な連絡技術と考えられている。タップへ直接切替指令を出さず、90 リレーの基準電圧の設定変更指令を行うのは、タップ変更回数に機械的な制約があることを考慮したものである。

電圧制御器が通信を失うか、または故障すると AVC リレーが独立操作に戻る。また、制御器からの入力がない場合、90 リレーの基準電圧をもとの設定値に戻す。これは AVC リレー・ターゲット電圧入力のハードウェアリフレッシュ機能という機能を用いて実行される。

状態推定アルゴリズムは、ノード電圧大きさの推定値を正常としてモデル化し、各ノードの期待値及び標準偏差を計算する。リアルタイム測定値が負荷データに基づく想定値よりはるかに正確なので、リアルタイム測定値の追加は、状態推定精度を向上させるといえる。しかし、リアルタイム測定は高価なので、許容可能な制御範囲を提供するために必要な最小数を使用することが望ましいとしている。

このアクティブネットワークは、Econnect 社、Hathaway 社、マンチェスター大学、24 Seven 社、United Utilities 社によって合同で研究が進められている。また、Econnect は「GenAVC」と呼ばれる DMS コントローラを製品化し、2003 年に 2 基の基本的な能動的系統管理制御器を 24 Seven 社及び United Utilities 社の系統に設置した。GenAVC システムは、この実証プロジェクトにおいて 2 つの実際の系統に設置され、制御ユニットを使用不能状態にして（実際の制御指令は出さない状態にして）、監視モードで 1 年間運転した。現在、United Utilities 社では制御指令を使用状態にして適用すべくサイト選定を実施しているところである。また、EDF Energy 社は、風力 4MW でフィード長 4km で 18 ヶ月モニタリング（装置を設置し計測は行うものの実際の制御は行わない試験）を実施した後、実系統につなげ、コントロールループをフィードバック制御している。

(3) 小規模分散型電源 (SSEGs) が LV ネットワークに与える影響²⁹

本研究は、英国 DGCG の TSG (WS3) において実施された検討であり、PB Power 社が受託して報告を行っている。研究には TSG 参加の配電会社や小規模分散型電源製造者から例えば配電システムデータや機器の詳細データの提供を受け、実施している。なお、小規模分散型電源 (Small Scale Embedded Generation) とは 1 相につき定格 16A 以下の発電ユニットを指す。

この研究ではモデルの作成に Alternative Transients Programme (ATP) と呼ばれる手法を用いている³²。

【解析対象】 33kV 変電所変圧器から 11kV 配電システム及び 400V 低圧システム

【SSEG モデル】 公称 230V、50Hz、1.1kW 単相、力率 0.95

【浸透率の定義】 1.1kW の SSEG の保有率

浸透率 100% : 全需要家が 1.1kW の SSEG を保有、300% : 全需要家が 3.3kW の SSEG を保有

【評価項目】 電圧、電圧不平衡、電流、故障電流、電圧の階段状変化

【要約抜粋】 下線は IAE 追記

本研究は 2 つの段階を踏んで実施された。研究の第一段階では、IEC の技術報告書 60725 で引用される低圧基準インピーダンスに基づく都市配電システムの比較的単純なモデル (段階 1A モデル) を用いた。このモデルを用いたのは、英国における接続顧客インピーダンスの 90~98% に関係する、電圧調整にあたって最も面倒な条件をもたらす比較的単純な配電網において、配電網への影響を調査するためだった。また、そのモデルは、他の大型家電製品で利用されるのと同じような、電力品質に対する製品型アプローチも SSEG のために提供する。

複数の SSEG がこの単純化された配電網の電圧、電力潮流、故障レベルに与える影響を決定するために、様々な研究が行われた。そして、その結果、適正なシステム運転の維持が可能な SSEG 接続量の限界が、いくつかの主要な配電網設計要因に依存することがわかった。これらの主要な要因のうち最も重要なものが、システムのインピーダンスである。IEC 60725 基準インピーダンスに基づく、配電網の運転に影響を与えうる SSEG 接続量の限界に関する指針がかなり保守的になる可能性があるということが研究の過程で明らかになった。

そのため、研究の第二の段階では、33kV の変電所から 230V の低圧配電網までの配電網 (段階 1B の配電網) を表現するより詳細な一般モデルを開発した。この詳細なモデルは、配電網運営事業者 (DNO) が自らの特定の配電網設計を解析するのに用いることができる Excel スプレッドシートの形態になっている。そのスプレッドシートは、幅広い配電網パラメータを受け入れられる柔軟性を有している。

³² EMTP の一種、<http://www.powersystemconsultant.com/htm/emtp.htm>

それは、SSEG の浸透レベルが異なる場合に関して、電圧、電圧不均衡度、電力潮流、及び故障レベルを計算する。

予測できる結果について説明すること、及び適正なシステム運転の維持が可能な SSEG 接続の限界に影響を与える主要な要因を特定することを目的に代表的な都市型配電網を研究するため、このスプレッドシートが用いられた。そして、主要な要因が、システムのインピーダンス、発電位置、発電機の特性、及びシステム負荷であることが確認された。

この研究結果に基づき、決定流れ図が開発された。これによって、研究対象の一般配電網に関して、システム運転の変更または機器の変更が必要とされるかもしれない SSEG 浸透の様々な閾値が特定された³³。配電網運営事業者は、複数の SSEG の接続を容易にし、必要とされる配電網投資を特定するにあたって、このアプローチを用いることができる。

研究対象の配電網に関する決定流れ図では、最も低い閾値は、低圧配電網の 48% の需要家で 1.1kW の SSEG ユニットが接続されている場合に生じた。これは、SSEG ユニットのすべてが同時に全出力で運転しているという保守的な仮定に基づいていた。この閾値は、低圧システムの先端における電圧上昇が法定限界を超えることによって生じたものだった。決定流れ図では、33/11kV の変圧器を通じた電力の逆流による閾値を考慮しなかった。

このプロジェクトのために開発されたスプレッドシート・ツールを、DNO 及びその他の関係者が幅広く利用できるようにするため、さらに開発することを推奨する。また、SSEG 浸透レベルが高い場合に生じるシステムの問題を解決するのに用いることのできる最も費用効果の高い配電網及び機器の改造を決定するための研究を行うことも推奨する。

³³ 後頁に参考として流れ図を記載 (IAE 追記)

【参考：第2段階の解析モデル】

Figure 2.1 33/11/0.4 kV power system model used in the simulations

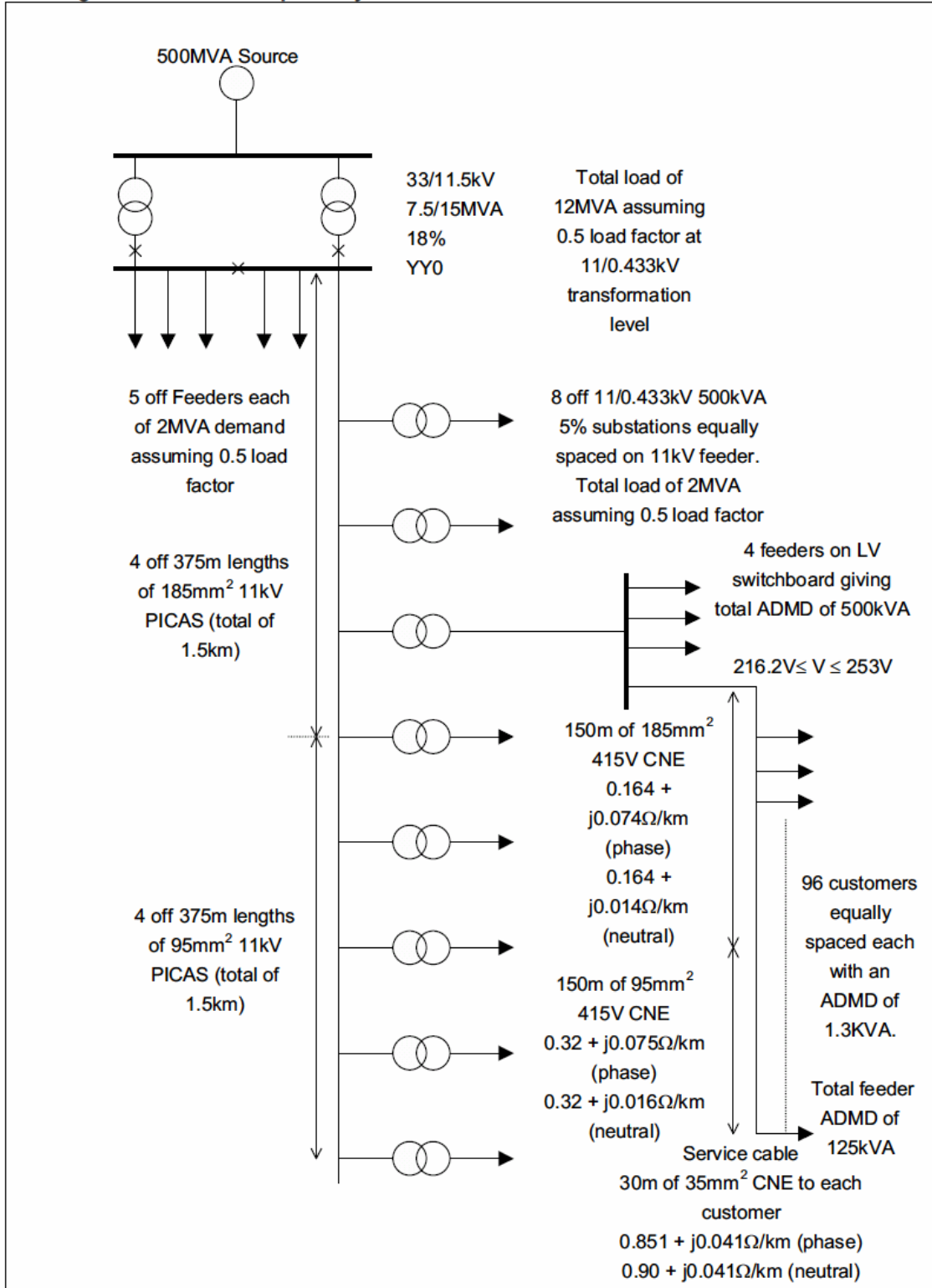
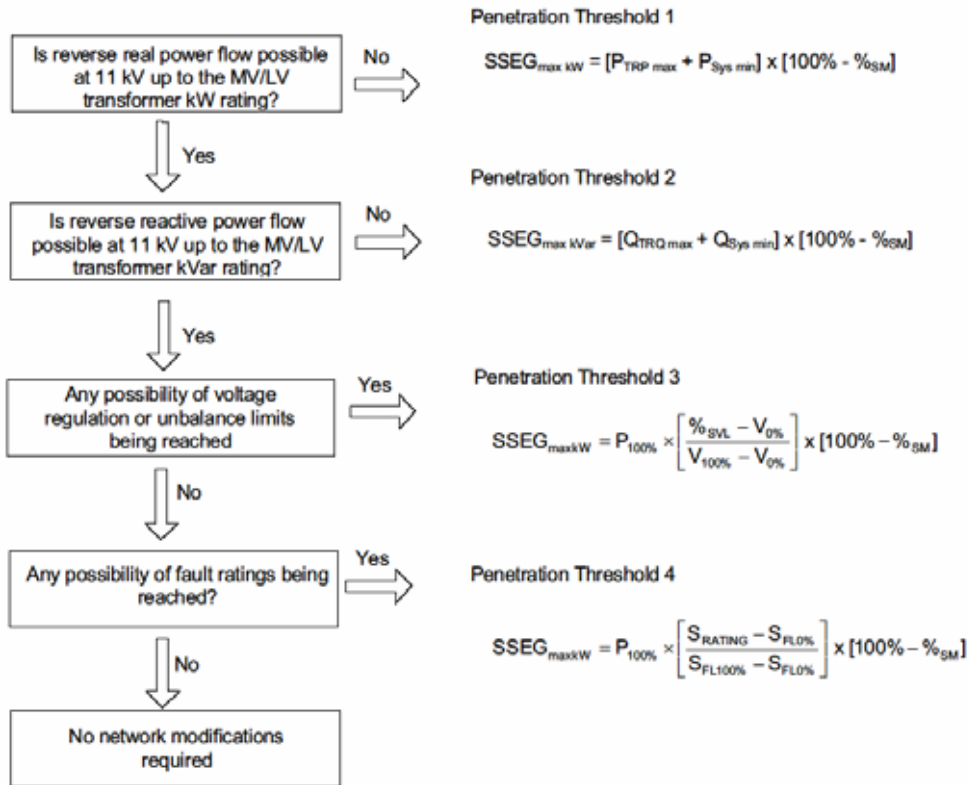


図 解析に用いた配電システムモデル²⁹ P.12

【参考：浸透レベルの閾値決定流れ図】



- $SSEG_{max\ kW}$ = 低圧システムに接続できる発電機の閾値 [kW]
- $SSEG_{max\ kVar}$ = 低圧システムに接続できる発電機の閾値 [kVar]
- $P_{TRP\ max}$ = 中圧/低圧変圧器における有効電力逆潮流容量 [kW]
- $Q_{TRQ\ max}$ = 中圧/低圧変圧器における無効電力逆潮流容量 [kVar]
- $P_{Sys\ min}$ = 低圧システムの最小負荷 [kW]
- $Q_{Sys\ min}$ = 低圧システムの最小負荷 [kVar]
- $\%_{SM}$ = 計算誤差及び非線形性を考慮するためのマージン [%]
- $\%_{SVL}$ = 低圧システムの法定電圧限界（上限）（通常、110%）
- $P_{100\%}$ = 低圧システムの SSEG 浸透率 100% の場合の接続発電総量 [kW]
- $V_{100\%}$ = SSEG 浸透率 100% の場合の低圧システム最大電圧（公称値に対する%）。通常は、最小システム負荷の場合
- $V_{0\%}$ = SSEG 浸透率 0% の場合の、 $V_{100\%}$ と同じ負荷条件のもとでの低圧システム電圧（公称値に対する%）
- S_{RATING} = 低圧システムの故障定格 [kA]
- $S_{FL100\%}$ = SSEG 浸透率 100% の場合の低圧システム最高故障レベル [kA]。通常は、最大システム負荷の場合
- $S_{FL0\%}$ = SSEG 浸透率 0% の場合の、 $S_{FL100\%}$ と同じ負荷条件のもとでの低圧システム故障レベル [kA]

上の流れ図の結果は、以下のマトリックスによって解釈することができる。

浸透率の限界	浸透率の限界を超えることによる影響
電圧調整閾値	変圧器タップ設定または電圧制御設定の調整によって、正常なシステムの運転を回復することができる。
電圧不平衡度閾値	最小の悪影響が生じる発電のレベル。
有効電力逆流変圧器閾値	システムが、機器またはシステムの変更を必要とするかもしれない。
無効電力逆流変圧器閾値	システムが、機器またはシステムの変更を必要とするかもしれない。
故障定格閾値	システムが、機器またはシステムの変更を必要とするかもしれない。

負荷及び発電の多様性による影響は上のマトリックスに含めなかった。解析で用いられる負荷及び発電のレベルに適切な多様性係数を適用することにより、より高い浸透の限界を得ることができる。

(3) EDISON project (ドイツ)

ドイツにおける再生可能エネルギー増大に伴い、電力系統のトップダウン型から分散型への変革が予想されるため、経済労働省 (BMWi)³⁴の助成を受け、統合された配電網の経済的・技術的な限界条件を考慮した EDISON (革新的な生産、貯蔵、情報・通信システムを利用したインテリジェント・エネルギー供給網)³⁵の検討を行い、具体的な検証を行っている。

(実施内容)

このプロジェクトのために、1999年に11人のメンバーからなるプロジェクト・コンソーシアムが形成された。これは、研究所及び学術的な技術者団体とともに産業界及びエネルギー供給会社の関係者で構成されている。

研究の主な目的及び構想は下記³⁶

【目的】

分散電源システム群を最適管理

分散型電源の利用を通じてコスト削減及び電力網の強化

電力品質の向上

電力網及び総合情報通信システムの新しい基本システムを開発

【構想】

燃料電池システム、エネルギー貯蔵

+

高度な情報通信システム

+

分散型電源マネジメントシステム (DEMS)

||

将来の電力系統構成

また、エネルギー供給会社2社(シュタットヴェルク・カールスルーエ有限会社とEnBW)は、理論的に見いだされた手掛かりを基にして実際に検証し、研究所と技術者団体のアイデアまたは開発案件を電力系統に現実に反映させることができるように、実証試験のために選ばれた電力系統の特定区域をこのプロジェクトのために提供して自由に利用させた³⁵。

³⁴経済技術省 (BMWi)。2002年9月に連邦労働省を吸収し、BMWA (Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit) に名称を変更した。

³⁵ Lewald, Norbelt., "Das BMWA Leitprojekt EDISON", Referentenbeiträge zum 2. Aachener Anwenderforum für Bioenergienutzung in Stadt und Region. 27. - 28. April 2005, forum M, Aachenitteilungen 2005,

³⁶ http://www.eurosolar.org/new/de/Referenten_Aachen2005.html

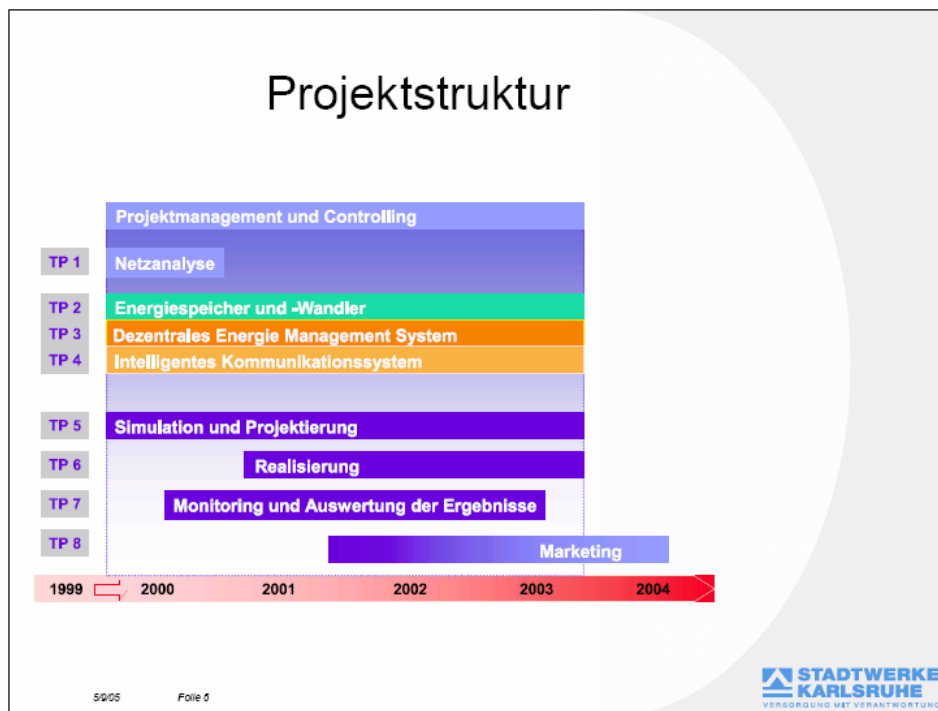


図 プロジェクト概要³⁷

【主要設備】

- A) EnBW (送電系統運用事業者(ドイツの4つの事業者のうちの一つ))
 現在デモンストレーションは終了。温泉プールへの熱供給に燃料電池を使用。
 実証の結果、燃料電池の技術的課題が明確になった。
- 250 kW_{eI} PEM 型燃料電池 (ALSTOM)
 - offline and online DEMS-Systems (SIEMENS)
- B) SWK (カールスルーエ公社)
- 2 MVA SIPLINK (SIEMENS)³⁸
 - 2 x 100kW 2h 可動バッテリーコンテナ (Hagen/EUS)
 - 5kW_{eI} PEM 燃料電池 (ZSW/FHG)
 - offline and online DEMS-Systems (SIEMENS)
 - 100 kW 2h 電力貯蔵装置
 - 10 x 1kW_{eI} SOFC 燃料電池 (Sulzer)
 - 1MVA PQ-System

³⁷ “Das BMWA Leitprojekt EDISON Der dezentral orientierte Ansatz aus der Sicht des Anwenders”, SKW, 27. - 28. April 2005, forum M, Aachenitteilungen 2005

³⁸ BTB 機器であり、詳細は別途。

【EDISON の特徴（メリット）】

- ・ 運転コストの低減（最適化）
- ・ ピークシェーピングの最適化
- ・ 系統全体の電力品質の維持
- ・ 各設備の利用の最適化
- ・ 再生可能エネルギーの統合による最適利用
- ・ 系統増設コストの低減

（実施結果）

2005 年 4 月時点での報告によると³⁵、研究の結果、技術的には燃料電池にやや問題があるものの、ほとんどは利用可能であること、通信技術としては既存の通信プロトコルでは比較的安価な配電線搬送（PLC）を用いても高価すぎること、PQ 測定システムについても同様に、現在の価格では高価すぎて適用が難しいことが記載されている。

また、プロジェクト開始当時はこういった統合システムは公益運用者が使用するものと思われていたが、ドイツにおける自由化の進展に伴い公益事業者はそういったことができなくなっていると指摘している。

なお、ヒアリングの結果、2004 年春の段階でプロジェクトは終了し、設備関係は撤去されている。また、カールスルーエ公社では新たな同様の技術開発は実施していない。

(4) GridWorks プログラム (米国)

米国エネルギー省 (DOE) の組織である OEDER³⁹ (Office of Electricity Delivery and Energy Reliability) により、2005 年より開始されたプログラムの内の一つで、ケーブルとコンダクタ (高温超伝導など) 変電所と保護システム、及びパワー・エレクトロニクス (スイッチ、コントローラ、キャパシタ、コンデンサなど) といったキー・グリッド・コンポーネントの近代化によって電力システムの信頼度を改善することを目的としている⁴⁰。

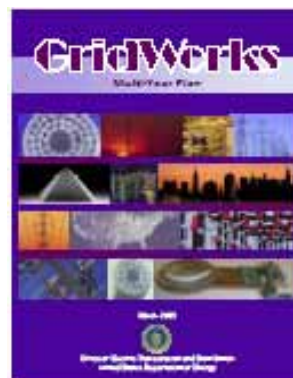


図 GrodWorks Mulch year Plan⁴¹

2005 年、GridWorks の障害となる事項、行うべき技術開発、ゴールなどを記述したマルチヤープランを GridWorks の関係者により作成し、公開した⁴¹。

現在、GridWorks は大きく、下表に示す 3 つの分野で研究開発を推進している。これらの 3 つの領域において、今後 2025 年を目指して研究開発を推進していく。

表 GridWorks プログラムの研究開発項目

研究開発項目	目的
ケーブル・電線	・送電分野におけるケーブル・電線の改良を図る。現状の ACSR に比較して送電容量の増加、ロス低減などを目的とする。
変電所及び保護システム	・変電所に関して、変圧器、ブレーカなどを改良して負荷率の高い変電所デザインを確立する
パワーエレクトロニクス	・高機能なデバイスを開発し、価格的にも適当な電力機器の開発を目指す。

パワエレ機器に関しては、2008 年度にテスト施設を稼動すること、2009 年に SiC のフィールドテストを開始することが記載されている。

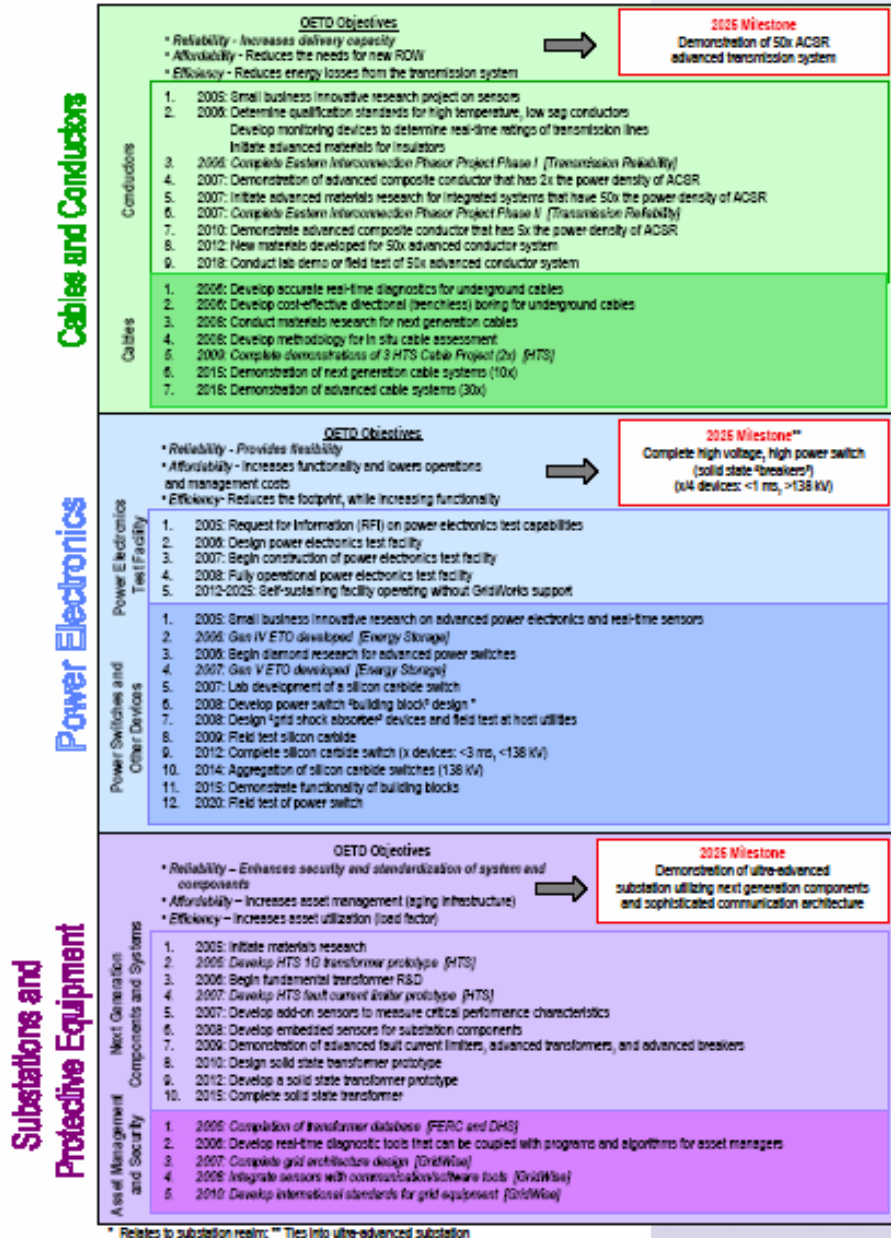
変電所及び保護システムにおいては、GridWise からの成果も活かしつつ、次世代変電所への変革を目指している。

GridWorks は 2005 年度に開始したプロジェクトであり、特に FACTS 機器の開発動向など、今後経過を注視していく必要がある。

³⁹ 2005 年、旧 OETD と Office of Energy Assurance が合併して OEDER となった。

⁴⁰ <http://www.energetics.com/gridworks/index.html>

⁴¹ DOE, OETD, “GridWorks Multi- Year Plan”, March 2005



(5) Electric Distribution Program (米国)

OEDER 内のこの分野のプログラムは、アドバンスドセンサーの開発・適用、通信、制御、GridWise に適用できる IT 技術等をすべての配電システムと構成機器に用いることにより、配電システムの近代化をサポートすることを目的としている⁴²。

このプログラムにおける主なクリティカルな技術としては、“国家送電技術ロードマップ”、及び“Grid2030”にて定義された、分散されたセンサー、インテリジェンス、スマートコントロール、分散型電源が挙げられる。

この Electric Distribution Program では、配電変革プログラム (Electric Distribution Transformation (EDT) Program) と GridWise Initiative を実施している。両者ともに DOE の管轄で実施され、米国内の配電システムの近代化・拡張を助け、経済的・国家安全的に保証するためのものである。



図 配電プログラム⁴³

Electric Distribution Program は研究開発ロードマップ⁴³に沿って下記 4 分野にて研究開発が実施されている。

表 Electric Distribution Program の研究開発分野

研究分野	目的等
アーキテクチャと通信標準	<ul style="list-style-type: none"> ・ 需要家が電力品質と経済性を市場を通して選択できる配電システムのプラットフォーム構築を目指す。 ・ そのため、プラットフォームの設計及び通信、情報システム、制御、市場システムの標準を確立する。
モニタリング及び負荷マネジメント	<ul style="list-style-type: none"> ・ 需要化が選択するにあたり、事故検出と対応、使用可能な資産の適合、市場と価格に関する透明性の確保などを可能とすることにある。 ・ センシングの統合、情報解析、配電事故検出/保護/制御の技術、及びピークロードの低減を包含する。
先進的配電技術及び運用コンセプト	<ul style="list-style-type: none"> ・ このプログラム分野の目的は、分散型電源を電力システムに連系するための改良型プラグアンドプレイ連系・制御技術の開発にある。加えて、IEEE1547 シリーズの技術的なサポートを行い、IEC の TC8 を通して国際的な系統連系基準を作ることにある。 ・ また、配電系統統合テスト (DUIIT) など含まれる。
モデリング及びシミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・ このプログラム分野の目的は、様々な検討を行うためのシミュレーションモデルの構築にある。

特に、表中研究分野 について詳細を記載する。

⁴² <http://www.electricdistribution.ctc.com/index.htm>

⁴³ DOE, OETD, “Electric Distribution Multi- Year Research, Development, Demonstration, and Deployment Technology roadmap Plan : 2005-2009 ” , Dec.2004

・現在進行中のプロジェクト

- ・ Standards Development and Validation : National Renewable Energy Laboratory
IEEE1547 シリーズ等分散型電源の系統連系要件の作成に関する活動
- ・ Interconnection Testing at NREL : National Renewable Energy Laboratory
分散型電源と電力系統の試験サイト。ネバダ州にある試験場において、分散型電源のシステムの特性評価、系統への影響、運用のテストを実施している。特に IEEE1547 シリーズの策定に試験結果を用いている。
- ・ Innovative Distributed Power Interconnection and Control Systems : Gas Technology Institute and Encorp
- ・ Distribution Utility Integration Test (DUIT) : Distributed Utility Associates
DUIT については、本プロジェクトと関係が深いと思われるため、詳細を別途記載する。
- ・ Distributed Energy Systems Certification, Testing, and Validation : Concurrent Technologies Corp.
- ・ Micro-Distributed Generation Prototype in Vermont : Northern Power Systems
- ・ Navajo Electrification Demonstration Project : Navajo Tribal Utility Authority_
- ・ Natural Energy Laboratory in Hawaii to Continue Development and Deployment of Distributed Energy Systems : University of Hawaii
- ・ Automated Energy Distribution and Reliability Systems in Indiana : NiSource Energy Technologies

(6) DUIT (米国)

Distribution Utility Integration Test (DUIT) は DOE (OEDER) の配電プログラム (Distribution Program) において実施されている研究であり、DUA (Distributed Utility Associates) が研究を行っている。

NREL の報告書⁴⁴から、DUIT の概要を記載する。

【背景】

このプロジェクトは、分散型電源が配電系統へ浸透した際に配電系統へ与える影響を調査するための試験を提案するものである。

一般に、分散電源の安全性、健康への影響、経済性、利用可能性、信頼性は十分に知られていない。また、配電系統あるいは需要家の施設と分散電源の連系あるいはインターフェイスについても十分な知識が得られていない。

現在、IEEE1547 委員会が連系基準のたたき台を作成しているが、配電線における分散型電源の浸透可能レベルについては意見が分かれている。

このような連系の問題を解決、あるいは少なくとも明確化するために、DOE は DUA (Distributed Utility Associates) 社に依頼して試験を実施するものである。

【目的】

本プロジェクトの目的は次の3つである。

- ・実現可能性を実証
- ・種々の分散発電・貯蔵技術を配電系統に統合する利点を測定する。
- ・配電系統に接続した複数の分散電力技術の間でのプラス、あるいはマイナスの相互作用の監視、及び計測の試験の基礎を作る。

DUIT は以下の DOE の課題を明確化する。

- ・系統連系に関する既存、及び改良型/将来の設計、要件、試験など分散電源と電力系統のユニバーサルな連系技術
- ・連系機器の性能、及び機能の確認、据付試験方法の計画、開発、実証、及び書面化
- ・連系のためのコマンド、制御、通信、監視、遠隔及びオンサイト・インテリジェント制御
- ・連系機器/技術の試験、及び手順
- ・連系用機器、及びオンサイト連系の認定を行う業界規模の第三者団体設立のための企画、及び整備の要件

【試験設備】

試験設備の候補は複数提案されていたが、DUIT のための試験設備のアップグレードコスト、スタッフ、設備などを考慮して PG&G 社の試験設備 (カリフォルニア州) が選

⁴⁴ NREL, DUA “DUIT: Distributed Utility Integration Test”, Aug. 2003

定された。

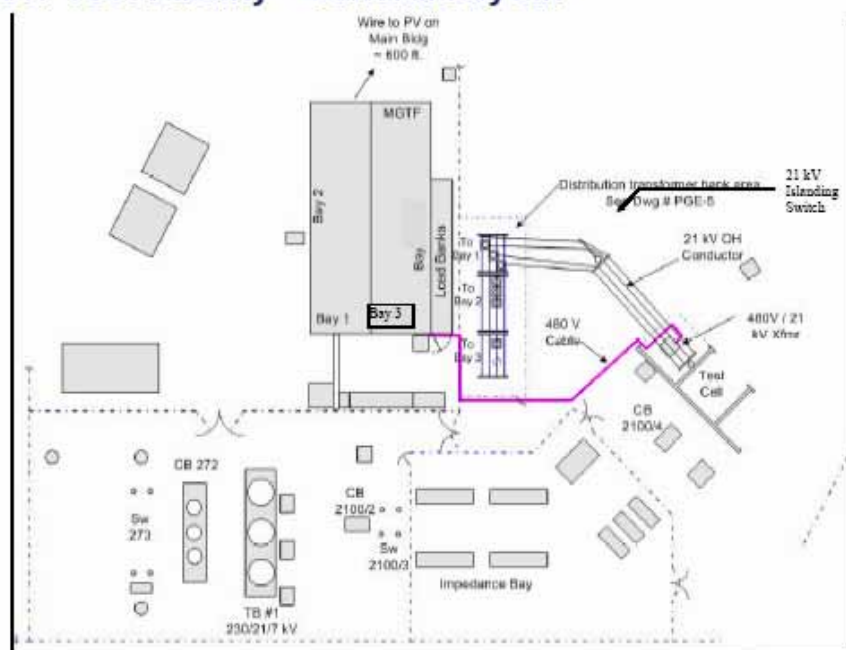
電力系統は 230/21kV の変電所を介した高圧系統、及び低圧系統（240V、480V）で構築されている。設備内の模擬系統は 3 つの区画 (Bay) に区分され、それぞれ住宅地区、商業地区、工業地区を模擬している。現在は樹枝状系統であるが、将来はスポットネットワークも構想にはある。



ELECTRIC DISTRIBUTION TRANSFORMATION PROGRAM



DUIT Test Facility - General Layout



11

図 DUIT 試験設備 (PG&G 社)⁴⁵

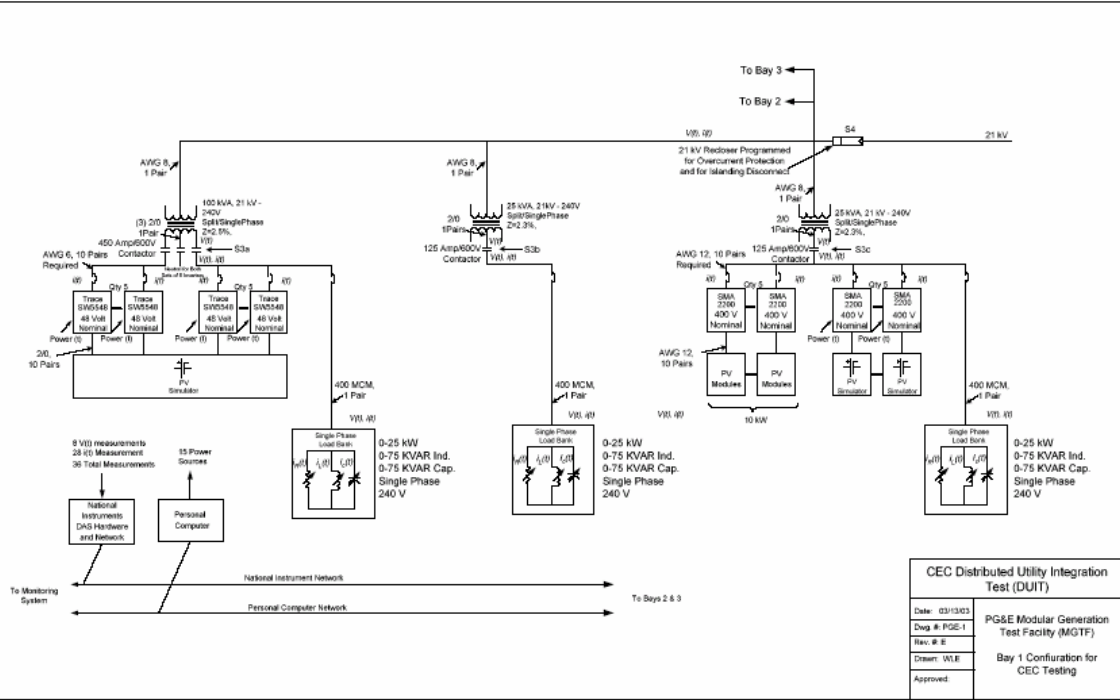
⁴⁵ DUA, Susan Horgan et al., "Distributed Utility Integration Test", 2004 Annual Program and Peer Review Meeting, October 28-30, 2003, Coronado (San Diego), California



ELECTRIC DISTRIBUTION TRANSFORMATION PROGRAM



Bay 1



ELECTRIC DISTRIBUTION TRANSFORMATION PROGRAM

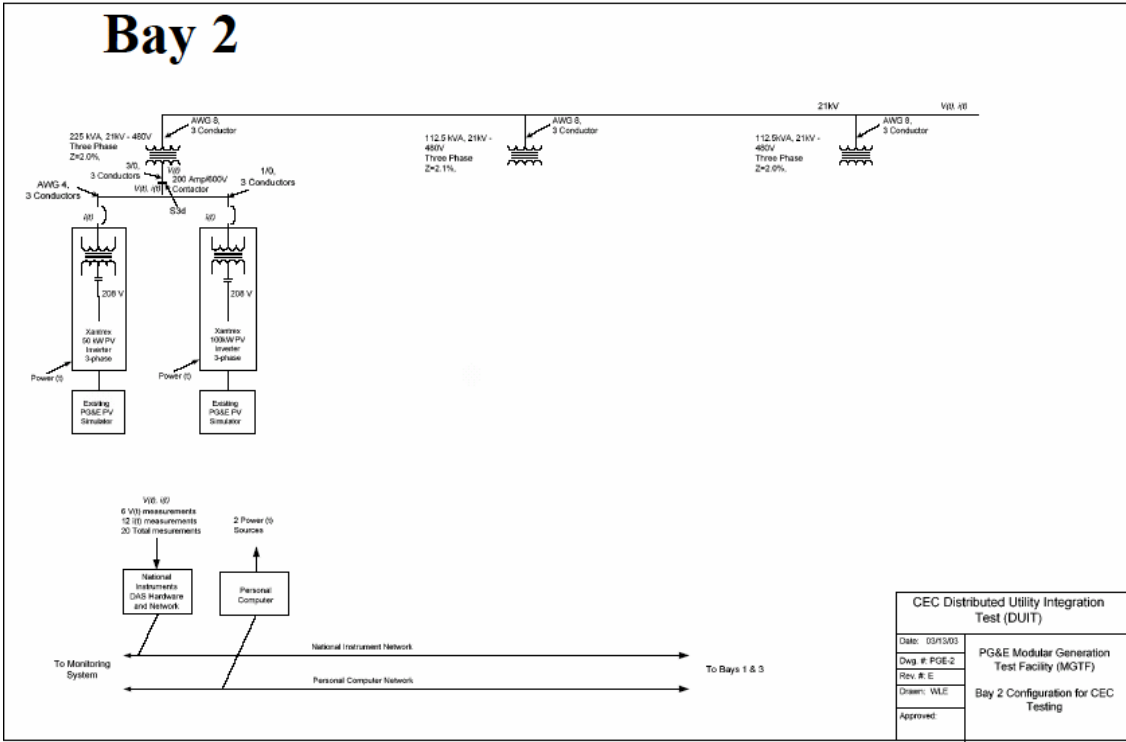


View of Bay 1

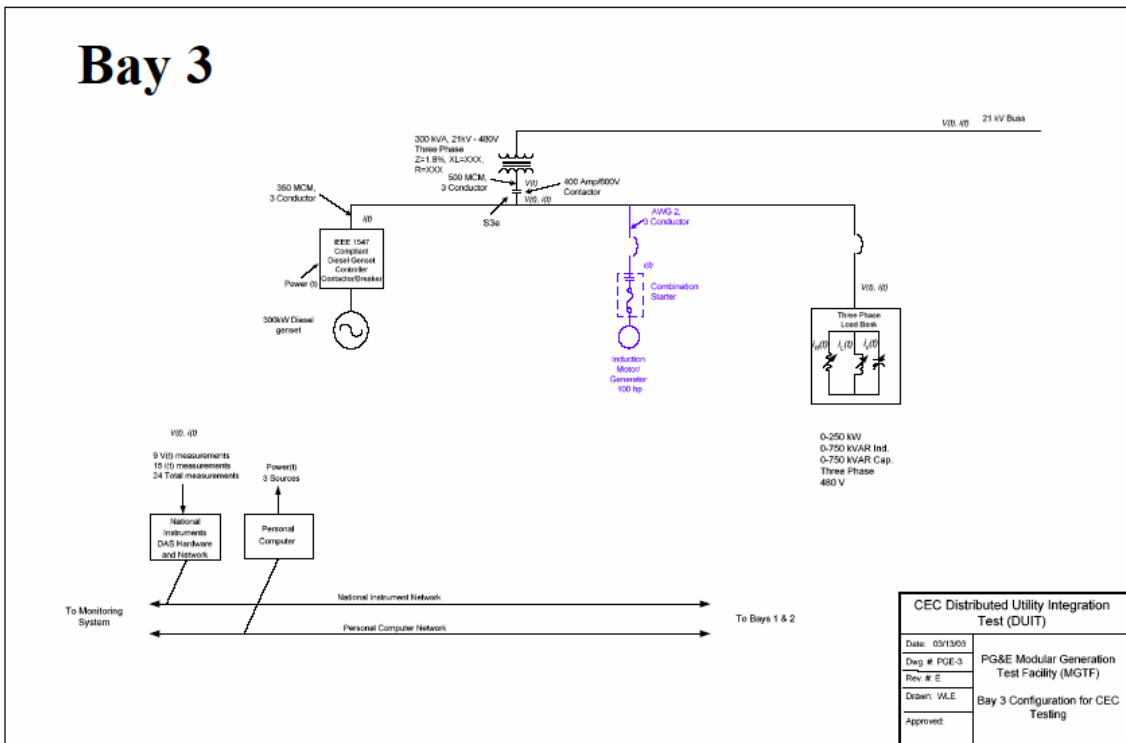




ELECTRIC DISTRIBUTION TRANSFORMATION PROGRAM



ELECTRIC DISTRIBUTION TRANSFORMATION PROGRAM



【試験項目】

試験項目は単独運転検出試験、電圧調整機器の試験、遮断機、スイッチング、短絡試験など各種計画されているが、特に下記「電圧調整器の試験」について記載する。

以下は、報告書⁴⁴の翻訳を引用（本文中の下線は IAE 追記）

・電圧調整器の試験

本セクションの試験は、DR 装置と併せて使用される変電所の変圧器、長距離の配電用給電線、自動電圧調整装置の本来の電圧調整能力の調査を目的としている。IEEE P1547 によれば、DR 装置は、地域配電システムの電圧レベルを頻繁に ANSI C84.1 範囲 A の制限値外へ超過させてはならない。本セクションの試験は、電圧の調整に影響するすべての要素とそれらの要素の相互作用について調べる。試験では、現在広範囲に使用され、伝統的なシステムを代表すると考えられる単方向性運転用に設計された電圧調整器と、それほど広範囲に使用されていないが、今後 DR の普及につれて広まると予測される双方向性電力フローの調整器について評価する。

4.3.1 給電線と自動電圧調整装置の特徴

この試験では、典型的な放射状配電システムの電圧調整に影響する構成要素の特徴を評価する。最初の試験では、給電線の最後への DR の単純な追加と、それが給電線全体の電圧調整に及ぼす影響について考察する。

4.3.1.1 基本となる IEEE 1547、CA 規則 21、及びその他の文書のセクション

IEEE1547 :	§ 4.1.1 電圧調整
	§ 4.2.1 電圧障害
CA 規則 21 :	§ D.2.a.1、D.2.a.2、D.2.a.3 通常電圧運転範囲
UL 1741 :	§ 42 最大電圧測定
	§ 46.2 電力会社の電圧と周波数変動試験
	§ 55 過電圧試験

4.3.1.2 試験の目的

この試験の目的は、長距離の放射状の給電システム内の基本的な電圧調整要素の特徴を明らかにすることである。試験結果を測定する拠り所となる基準は、IEEE1547 に明記されるとおり、ANSI C84.1 標準に含まれている。電圧は、多岐にわたる負荷条件下で上記の標準に適合していることを確認するため、給電線の様々なポイントで測定される。この電圧が、次に、給電線の性能の特徴を明らかにするのである。次に、通常の電圧調整器と、給電線の最後の 1ヶ所に追加された DR 付き電圧調整器の 2種類の追加試験を実施する。

4.3.1.3 主要な試験パラメータ

特性試験における主要な試験パラメータは、給電線上の負荷量と給電線上の予め定められたポイントにおける測定電圧値である。

4.3.1.4 予測結果

予測結果は、負荷が上昇するにつれすべてのポイントの電圧が下降するが、ANSI C84.1 に規定された範囲内にとどまるといことである。さらに、給電線の最後に DR を追加すると電圧調整器は、調整機能のない長距離の給電線の場合よりも小さな範囲で作動するようになる。DR が電圧調整装置そのものの必要性をなくさせる可能性もある。

4.3.1.5 試験手順

1. 長距離の給電線（30 マイル）を使用し、当該給電線を、単位力率あたり 25% の増分を見込んで、変電所の定格容量一杯まで負荷する。変電所と給電線に沿って 10 マイル、20 マイル、30 マイルのポイントの電圧を測定する。この最初の試験中は、電圧調整装置を利用することはない。下図（a）参照。
2. ステップ 1 の試験を繰り返す。但し、給電線の最後に DR を追加する。DR の発電量はそれが負荷と同等になるよう調整する必要がある。下図（b）参照。
3. 20 マイルのポイントに電圧調整器を投入する。ステップ 1 で説明した試験を繰り返す。ステップ 1 の説明どおり、電圧調整器で 2 種類の測定を実施しデータを記録する。下図（c）参照。
4. 電圧調整器を 20 マイル地点に投入した状態で、ステップ 2 で説明した試験を繰り返す。ここで再度 DR が負荷と同等になるよう調整すべきである。下図（d）参照。
5. ステップ 1 から 4 までの試験を力率 0.9 及び 0.8 で繰り返し実施する

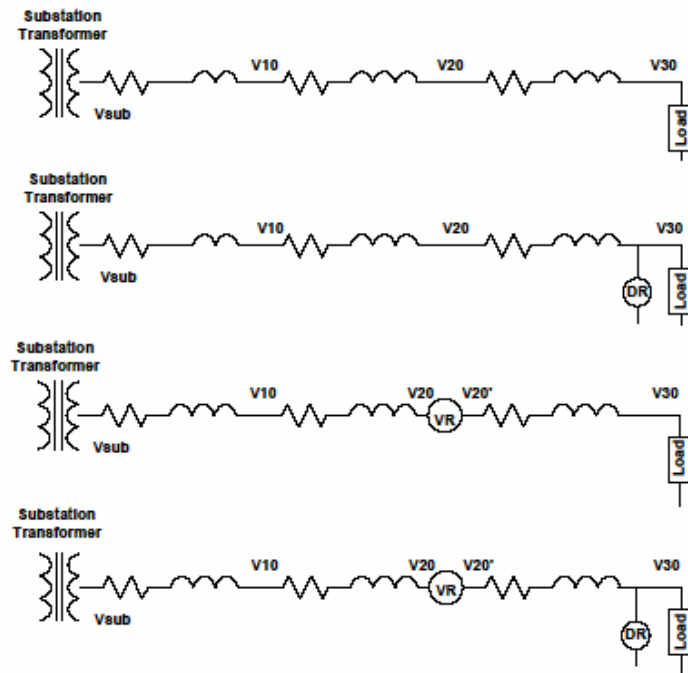


Figure 19. Test configuration

4.3.1.6 データ収集要件

給電線と自動電圧調整装置の特性調査に関するデータ収集要件

Table 32. Feeder and Automatic Voltage Regulating Device Characterization Data Acquisition Requirements

Parameter	Units	Range (Nom)	Accuracy	Sampling Rate	Recording Rate
Voltage (12 required)	Kilovolts	0–21	±0.5%	600 Hz	600 Hz
Current (9 required)	Amperes	0–300	±0.5%	600 Hz	600 Hz
Grid-interconnected synchronous generator MG set (watts, volt-amperes reactive, volts, amps)					

4.3.1.8 施設要件

試験施設は、配電系統の電圧で運転され、変電所のメガボルト - アンペアレートに負荷可能な長距離の給電線システムが必要である。給電線上の様々なポイントで電圧を測定し、20 マイルのポイントに電圧調整装置を設置する能力も要件の1つである。

4.3.1.9 DR 要件

グリッドに接続された同期発電機：1,000 kW、IEEE1547 を遵守

4.3.1.11 モデル化要件

この問題は、標準的な電圧予測負荷フローソフトウェアを使用したモデル化に役立つ。この試験は、電圧調整モデル化プログラムの検証に利用することができる。モデル化は、周波数または時間の領域について実施可能である。

4.3.2 電力の逆流に対する電圧調整装置の性能

今後 10 年から 15 年ほどの間に、電力会社に配電系統には、大量の DR が導入されると予測される。ここで1つ問題となるのは、保護装置や電圧調整装置を通じた電力の逆流である。保護装置や電圧調整器は、本来、その種の運転用に設計されていない。この試験では、グリッドと負荷にエクスポートする DR が、配電系統のいくつかのポイントで追加され、電圧調整装置を通じて電力の逆流を形成する。合格の基準は、電圧調整器が給電線上のあらゆるポイントを ANSI C84.1⁴⁶の電圧トランスの範囲内に維持する能力を持っているかどうかということである。さらに、この試験では、電圧調整器の製品寿命の減少、あるいは延長を示唆する動的な運転形態が存在するのかどうか決定する。最後に、調整器に誤った運転をさせるような状況や条件を決定する。

⁴⁶ (IAE 追記) 供給点における電圧が 114V - 126V (公称 120V、60Hz)、Range A

4.3.2.1 基本となる IEEE 1547、CA 規則 21、及びその他の文書のセクション

IEEE1547 :	§ 4.1.1 電圧調整
	§ 4.2.1 電圧障害
CA 規則 21 :	§ D.2.a.1、D.2.a.2、D.2.a.3 通常電圧運転範囲
UL 1741 :	§ 42 最大電圧測定
	§ 46.2 電力会社の電圧と周波数変動試験
	§ 55 過電圧試験

4.3.2.2 試験の目的

この試験の目的は、単一方向性の電圧調整器が装備された伝統的な配電系統が、電力の逆流に対処する際、電圧を ANSI C84.1 の基準内に維持するかどうか決定することである。配電系統は、電圧調整装置を通して様々なレベルの逆流電力を形成するよう意図的に設定される。給電線上のいくつかのポイントで電圧を測定し、ANSI C84.1 への適合性を決定するとともに、ある種の調整器が不適合となるような原因を作る条件を定義する際の考察の一助とする。

4.3.2.3 主要な試験パラメータ

主要な試験パラメータは、単一方向性電圧調整要素を通じた逆流電力と給電線上の電圧レベルである。

4.3.2.4 予測結果

(全部ではないが)一部の電圧調整器は、負荷側の電圧を「間違っただ」方向(すなわち、装置の単一方向性ゆえに通常の調整とは矛盾する)に駆動させることが予測される。従って、電圧調整要素がどの程度まで誤った方向に移動するか、または所定の標準が維持されるかどうかを理解することが重要である。

4.3.2.5 試験手順

- 1) 配電系統、DR、負荷、及び図 20 に示したとおりに配線された単一方向性の電圧調整器を使って、定格負荷の 25%、50%、75%、100%の負荷をかける。変電所にこの負荷を発生させ、変電所と 10 マイル、20 マイルのポイントでの電圧を記録する。
- 2) ステップ 1 を繰り返す。但し、今回は負荷レベルまで上昇させた DR を用いるので、変電所はまったく負荷を供給しない。再度、変電所と 10 マイル、20 マイルのポイントでの電圧を記録する。
- 3) ステップ 1 と 2 を双方向性の電力フロー調整器を使って繰り返す。

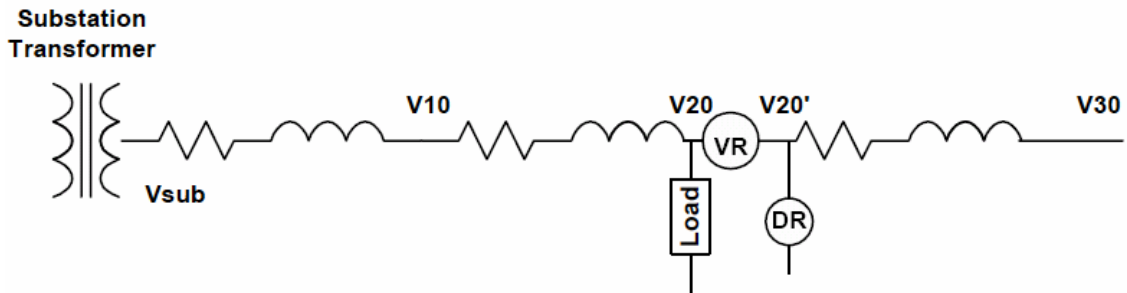


Figure 20. Reverse power flow voltage-regulating test

4.3.2.6 データ収集要件

Table 34. Performance of Voltage-Regulating Device With Reverse Power Flow Data Acquisition Requirements

Parameter	Units	Range (Nom.)	Accuracy	Sampling Rate	Recording Rate
Voltage (12 required)	Kilovolts	0–21	+/-0.5%	600 Hz	600 Hz
Current (9 required)	Amps	0–300	+/-0.5%	600 Hz	600 Hz
Grid-interconnected synchronous generator MG set (watts, volt-amperes reactive, volts, amps)					

4.3.2.7 制御要件

この試験では、DR 上で IEEE P1547 に適合した制御装置を使用する必要がある。それ以外の制御は不要である。

4.3.2.8 施設要件

この試験では、配電電圧で運転される長距離の給電システムを持ち、変電所のメガボルト - アンペア級の負荷をかけることが可能な装置が必要である。給電線上の様々なポイントにおける電圧測定能力と 20 マイルポイントへの電圧調整装置の設置能力も、要件に含まれる。

4.3.2.9 DR 要件

グリッドに接続された同期発電機：1,000 kW、IEEE 1547 適合機器

4.3.3 電圧調整機能付き DR を使った複数 DR の安定性試験

配電用給電線上に複数の DR を設置することで懸念される問題点の一つは、電圧調整された DR が相互に作用し合い、電圧の安定性問題を形成し、給電線電圧の劣化を導くかどうかである。この試験は、DR の相互作用と配電用給電線インピーダンスが

その相互作用に及ぼす影響に関する問題に解答を提供するものである。予測としては、複数の DR が分散して設置されている場合、生じるにしてもごくわずかな問題しか生じないが、給電線のインピーダンスのために変電所から遠く離れた位置に接続されている場合、重大な問題が発生する可能性がある。

5.5.3 電圧調整

5.5.3.1 概要

地域電力系統や局所電力系統での電圧調整の一手段は、コンデンサの使用である。分散電源が提供する大きなメリットのひとつは、コンデンサを使用せずに（よってコンデンサの使用に伴う問題なしに）、局所電力系統の電圧を意図的に安定させ、さらにそれによって、地域電力系統の電圧安定性を改善できることである。分散電源による電流の注入は、それが局所的負荷の軽減という形をとる場合も、地域電力系統への電力の移出という形をとる場合も、いやおうなしに電圧に影響する。その影響が地域電力系統にとって有益かそれとも有害かは、具体的な状況によって異なる。

分散電源は、局所電力系統のライン電圧に、意図しない大きな影響を及ぼすことがある。分散電源の出力電流は、局所電力系統及び地域電力系統のインピーダンスの作用により、局所的な電圧レベルを上昇させることがある。電圧上昇幅は、主として分散電源浸透率、すなわち地域電力系統の定格容量（kVA）に対する分散電源（または集合化された分散電源群）の発電量の割合によって決定する。IEEE P1547 の用語である「スチッフ率」は、分散電源が電圧に及ぼす意図せざる影響の目安となるかもしれない。スチッフ率とは、共有結合点に発生する短絡電流の合計値（地域電力系統側＋分散電源側）を分散電源側に発生する短絡電流の値で割ったものである。分散電源（なかでも電力を移出する分散電源）は、ふつうは正規の電圧範囲内に留まるはずの線路区間の電圧を正規の範囲外に押し出すのではないかと、電力事業者は懸念している。一部の地域には、電力消費を抑えることを目的に、[物理的な]許容範囲の下限近くの電圧で系統を運用することを義務付ける規則があり、その場合、分散電源の浸透率が大きく高まったときには、電圧は[規則上の]上限を超えてしまうかもしれない。

有効電力の注入を受けると、局所電圧は必ず上昇する。しかし、負荷に応じた力率で動作する無補償の誘導発電機など、ある種の分散電源は、局所電力系統の電圧に意図せざる低下をもたらす。この種の発電機は、有効電力を注入する一方で無効電力を消費するため、電圧を低下させる傾向がある。これは、誘導発電機を使用した大型風力発電装置に伴う問題として、昔から有名なものである。力率制限は、ひとつにはこの問題に対処するためのものである。

新しい分散電源技術の多くは、一定の範囲内で意図的に無効電力を注入または吸収する能力を持つため、局所電力系統の電圧を調整するため、あるいは少なくとも局所電力系統の電圧に多少の影響を及ぼすために利用できるかもしれない（無効電力補

償)。その場合、分散電源は、電圧調整設定点に応答し、有効電力の大きさに見合った適切な大きさの無効電力を供給する。ほとんどの場合、分散電源は、並列に挿入されたコンデンサバンクが供給するであろうものと同等の無効電力を供給する。

コンデンサバンクに比較すると、分散電源には、2つの大きな利点がある。

- スイッチングが発生しない。スイッチングの問題が付随しない。
- 無効電力の供給量を微妙に調整できる。ふつうコンデンサバンクでは、比較的に大きなステップ単位での調整しかできない。

5.5.3.2 考えられる試験手順

- 分散電源が提供する無効電力補償機能の特徴と価値について実証する。そのためには、選ばれた共有結合点の電圧を監視し、単数または複数の分散電源システムによってその電圧を調整しようと試みる。
- 複数の分散電源システムが各自の出力端子における地域電力系統電圧を独立して制御しようと試みることで発生する両立性の問題について評価する。安定性への悪影響について、特に評価が必要である。
- 分散電源からの電力移出（意図せざる影響）及び分散電源による無効電力補償に対する電力事業者側の電圧調整装置の反応について評価する。

【試験の現状】

DUAの2003年10月の報告⁴⁵によると、2003年9月から単独運転検出(Anti-Islanding Testing)が開始されている。なお、試験項目には優先順位が付けられ、単独運転検出が筆頭に、また安定性と電圧調整が次に位置づけられている。

2004年の計画では、試験設備を7MVAへアップグレードすること、制御システムをアップグレードすること、単独運転検出試験を完了することなどが予定されている。

【以前のヒアリング情報】

2004年2月に実施したヒアリング⁴⁷では、下記の情報が得られている。

- 電圧安定性は動的及び静的なものを想定している。動的な電圧安定性とは、DG同士の干渉による不安定性、静的な電圧安定性とは、DGによる電圧上昇を含む電圧変動
- 最終的には50～60%の導入率での試験を行う。カリフォルニアのルール21では15%が上限に定められている。
- 現在SVC、SVR等はいっていない。15%の導入制限があるため、必要性がない。しかし、15%以上の導入率となればそういった系統機器による対策も必要となる。

【ヒアリング結果(2005/10)】

2005年10月にDUITについてヒアリングを実施した。下記の情報が得られている。

⁴⁷ (財)エネルギー総合工学研究所、“電力系統制御システム技術検討会報告書”、2005/6

- ・ 現在、単独運転検出について試験を継続している。
- ・ 試験の結果、いくつかのインバータにおいて米国の規定である 2 秒以上の単独運転が見られた。
- ・ しばらくは複数の形式のインバータの組み合わせで試験を続ける。
- ・ 次のステップとしてはスポットネットワークに関する試験を予定している。
- ・ 電圧調整に関しては、将来的には実施する予定だが現在はその詳細な予定までは決定していない。

(7) GridWise Program

【概要】

米国エネルギー省送配電局のレポート⁴⁸によると、Grid Wise Program の概要は下記のように記されている。

「グリッドワイズ計画とは、ビジネスや教育、エンタテインメントを変革したように、情報技術が電力系統の計画・運用を根底から変革するとの基本前提に立ち、電力系統の未来を見据えたビジョンである。

現状維持シナリオで考えると、人口増加と経済の需要に応えるためだけに、米国は今後 20 年間におよそ 4,500 億ドルを在来の電力インフラストラクチャ、すなわち発送配電設備に投資することになる。インフラストラクチャの抵当で支払う利息が電力料金のおお半を占めることを考えると、経済の繁栄と我々の生活は、このような資産をもっと活用することにより、新たなインフラストラクチャの必要を最小限に抑えられるかどうかにかかっている。

グリッドワイズ計画による仮想インフラストラクチャを展開することにより、既存の資産を最大限に活用できる。分野は何であれ、情報技術を活用して新たなインフラストラクチャの代わりに情報技術を活用し、あるいは情報技術の活用で新たなインフラストラクチャの整備を延期することができれば、圧倒的に大きな費用効果を達成できる見込みがある。電力系統に情報技術を導入することにより、発電から送電、配電、末端消費に至るまで、従来の分散型資産を統合し、電力系統の運用責任を分かち合う設備の共同「社会」を構築できる。

【グリッドワイズの使命】

グリッドワイズ計画は、電力会社や新規参入第三者、需要家などの市場関係者が、インフラストラクチャに代わり、業種と規制の垣根を越えた IT ソリューションを開発・展開することにより、価値を創造して行く過程で、爆発的な技術革新をもたらすことをその使命としている。グリッドワイズ計画の実現により次のことを達成する。

- ・ 需要家、及び第三者の資産と既設の系統資産を統合する動機を与え、時間依存的・場所依存的な電力の真の価値を浮き彫りにすることにより、コストを抑えつつ、信頼性を高める。
- ・ ますますユビキタスな存在になりつつあるブロードバンド通信をてこ入れし、浮き彫りになった電力の価値をリアルタイムで共有することにより、資産統合の基盤を整備する。
- ・ 明確になった統合の機会を活かし、分散型制御装置や電子ビジネス応用例の急激な進歩を通じ、見返りに得られた価値を捕捉する手段を供与する。

⁴⁸ OE, “GridWise™ Program Rethinking Energy From Generation to Consumption”, 2005, <http://www.energy.gov/engine/content.do>

【計画分野】

グリッドワイズ計画では、コンセンサスを構築し、ビジョンを拡大し、計画的かつまとまりのある方法で改革を実現するために、必要な研究及び実証の種子をまくことを計画している。計画では、グリッドワイズのビジョン実現のために活動する業界団体であるグリッドワイズ・アライアンスを通じ、産業界との連携を重点的に推進する。具体的には、グリッドワイズ計画では次の分野に投資する。

- ・通信アーキテクチャと通信規格は、発電会社、送配電会社、エネルギーサービス会社、需要家が情報を共有し、統合ネットワークを形成することを可能とする。
- ・シミュレーション・分析ツールは、エネルギー市場とエネルギー・システムのシミュレーションを行い、ビジョンの有効性を検証するのに必要なものである。コンセプトの多くは有望ではあっても、十分深く掘り下げて検討あるいは試験されているとはいえない。こうしたツールは、影響を把握し、公平性を確保するため、変革が実施されるのに伴い、活動と経済性を単独のモデルに取り込み、システムの分析・監視を行うものである。
- ・変革の後押しをするためには、産業界と政府のスマートテクノロジーが必要である。産業界は利益が見込めそうな分野に投資するが、連邦計画では、民間企業がリスクをおそれて手をつけないような技術の種子を育てる。
- ・テストベッドと実証プロジェクトは、大規模に実験を行い、こうした技術の価値を確認し、あるいはその短所を調べるものである。テストベッドと実証プロジェクトにより変革に弾みをつけ、リスク感を緩和し、変革電力系統のコンセプトが一般に受け入れられることを目指す。
- ・こうした技術の開発・発展に伴う革新的環境を支える新たな規制・制度・市場の枠組みを検討する必要がある。

(8) Advanced Distribution Automation (米国)

米国における電力関係の研究所である EPRI (Electric Power Research Institute) が研究開発を進めている次世代配電システムのコンセプトが、Advanced Distribution Automation (ADA) である。ADA の研究は、IntelliGrid Consortium の中に位置づけられている。

ADA はパワエレ機器と IT を用いて、従来にない配電網を構築するもので、例えば高品質の電力供給や分散型電源の系統側での制御による配電システム運用への寄与などを可能とする。

ADA の構成機器として Intelligent Electronic Devices (IEDs) が提案されており、特にパワエレ技術を用いた Intelligent Universal Transformer (IUT) が現在試作段階にある。

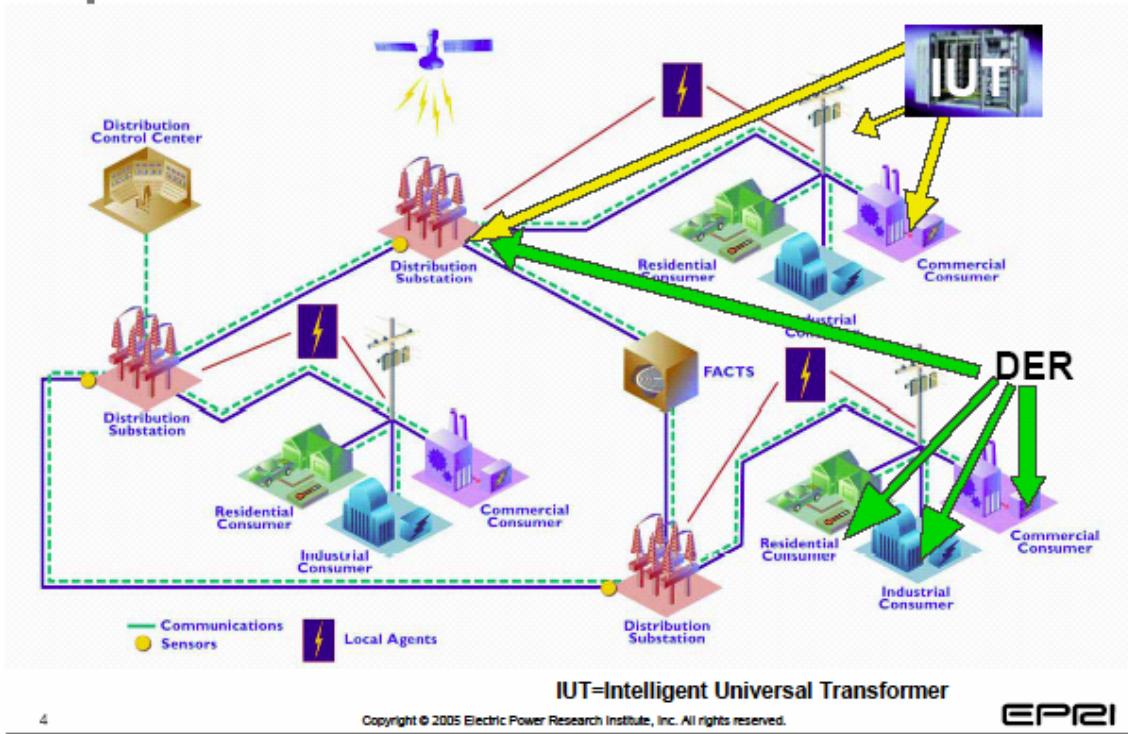
【ADA のビジョン】

- ・ 従来の配電自動化
 - スwitching の自動化
 - 無効電力制御
 - 他の通常の機能
- ・ ADA
 - 全ての制御可能な機器及び機能の自動化
 - 通信と制御インフラ
 - パワエレ機器の適用による配電システムの多機能化
 - マイクログリッドを含む分散型電源の統合

ADA の実現により、信頼性と電力品質の向上、運用コスト低減、停電復旧時間の短縮、顧客サービスのオプション増加、分散型電源の統合、顧客の統合が図れるとしている⁴⁹。

⁴⁹ Frank R. Goodman, Jr., “Advanced Distribution Automation Creating the Distribution System of the Future”, 2005/10/13, ヒアリング時に入手

DER integration is a component of ADA



【Intelligent Universal Transformer】⁵⁰

ADAの研究においては、IUTと呼ばれる機器の開発が行われている。IUTはパワエレを用いた柱上変圧器であり、下記機能が可能となる。

- ・交流低圧供給（240/120V、60Hz）
- ・高周波低圧供給（120V、400Hz）
- ・直流供給（48V）

また、直流供給部に直接分散型電源（例えば太陽光発電）の直流出力を接続し、高圧側に逆潮流を流すことも可能となる。

現時点では、IUTに用いるデバイスに関して、適当な高電圧低電流のデバイスが見当たらないためにカスタムメイドになり、高コストとなることが判明している。将来的にはSiCの適用も考慮している。

スケジュールとしては下記

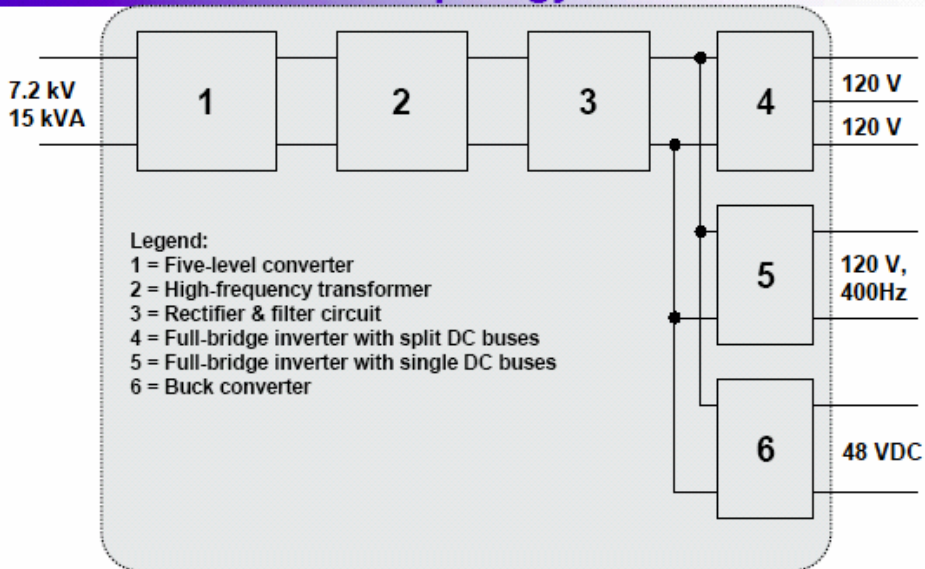
2004-2005 研究室でのベンチモデル

2006-2007 プロトタイプでのフィールド試験

2008 設計完了、パッケージング、商用化

⁵⁰ Frank R. Goodman, Jr., "Intelligent Universal Transformer IUT Project History", 2005/09/29, ヒアリング時に入手

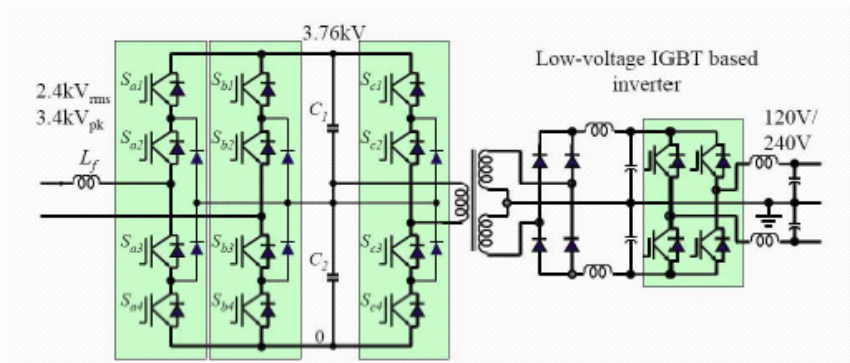
First Core Technology Needed: Advanced High-Voltage, Low-Current Power-Electronic Circuit Topology



© 2005 Electric Power Research Institute, Inc. All rights reserved.

19

3-Level Bench Model



© 2005 Electric Power Research Institute, Inc. All rights reserved.

20

3.1.3 個別技術開発

(1) SIEMENS 社による BTB 機器

【SIEMENS 社の概要⁵¹】

SIEMENS 社は世界 190 カ国に拠点を持ち、幅広い分野（電気通信から医療機器、輸送部門他）で事業を展開している。2004 年の売上高、750 億ユーロのうちすでに本国ドイツ以外での売上が 80%を占め、従業員 430,000 人のうち 60%がドイツ以外の国で働いている。

【配電システムに適用する BTB 機器「MVDC」の技術開発状況】

ドイツでは、分散型電源の革新的な発電・貯蔵、情報通信システムを含めたインテリジェント配電ネットワークの開発を目指し、政府が資金提供する大規模な実証プロジェクト、「EDISON」プロジェクトが実施された。この「EDISON」プロジェクトでの注目すべき技術開発としては、MVDC の技術開発が実施されている。

MVDC はその適用ケースによりさまざまな活用価値があるとしているが、適用の大きな目的は下記の 3 つに大別することができる。

（適用目的）

- ・配電レベルでの有益な電力交換（電力購入の最適化によるコスト低減）
- ・供給信頼度、電圧品質（常時電圧、瞬低、高調波など）の向上
- ・ネットワーク拡張方法の代替方法のための投資の低減

MVDC の構成を下図に示す。システムは本実証研究で開発されている BTB 機器であるループバランスコントローラ（トランス有）と同様の構成となっている。（トランスレス化の構想はニーズがないため考えていないとのことであった。）

MVDC を開発した SIEMENS 社は MVDC の特徴を以下のとおりとしている。

（MVDC の特徴）

- ・異なる種類の中性点接地システムの結合（連系）が可能
- ・システムの結合（連系）による短絡容量の増加を抑制
- ・異なる周波数、電圧のシステムの結合（連系）が可能
- ・非同期システムの結合（連系）が可能
- ・システムの結合（連系）による残留電流の抑制（両方のネットワークは中性補償されているが、残留電流は制限に近い）
- ・不都合な電力品質または頻繁な外乱との分離

⁵¹http://www.siemens.com/index.jsp?sdc_p=t15c87z2s3uo1222973pf113mi1226369&sdc_s_id=17581035599&sdc_bcpath=1222973.s_3,:1226369.s_3,&、シーメンスジャパン HP

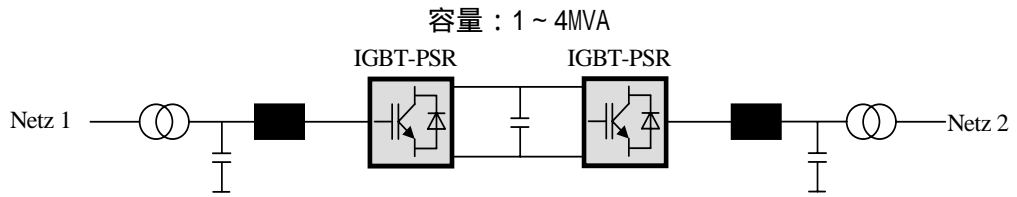


図 MVDC の機器構成

MVDC の機能については、2 つの系統を電氣的に分離することが大きな機能であるが、それ以外に 2 つの系統間の有効電力潮流の制御、連系した各系統への独立した無効電力の高速制御の機能を有する。下図に MVDC の基本原理、制御指令の概念図を示す。有効電力 P は、双方向で系統要件を満たすように調整される。自励技術により、MVDC はさらに無効電力 Q も制御し、結果的に両方の系統の電圧を独立して制御できる。

また、下図に示すように、無効電力電力の高速応答が可能であり、あわせて高調波を補償することができる。基本的には自端制御、遠隔制御のどちらにも対応可能としているが、遠隔制御の場合、遠隔制御を待たず MVDC が自分の判断で高速に制御すべきか検討中とのことであった。また、BTB の効率は 95% であり、今のところ SiC 適用などによる効率改善は考えておらず、現在までに開発した技術で販売することを考えている。

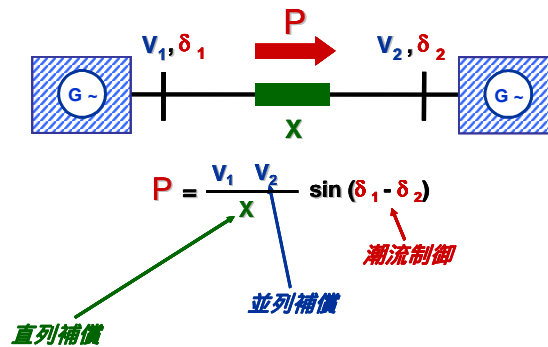


図 MVDC の基本原理

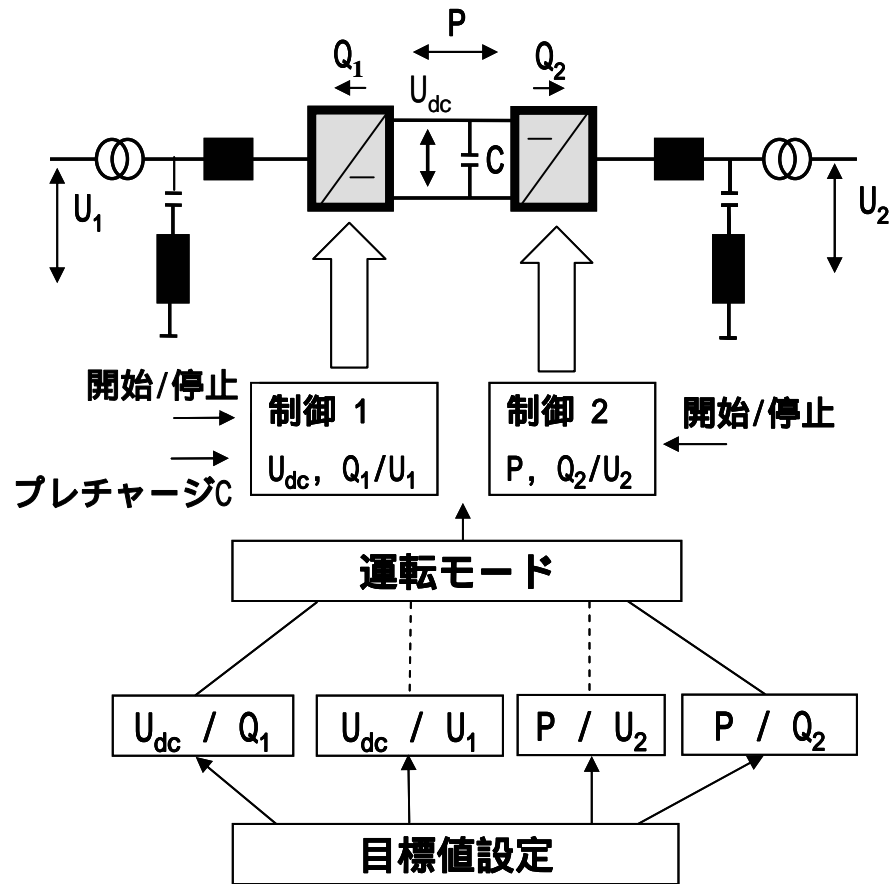


図 制御指令の概念図 (図中 U は電圧)

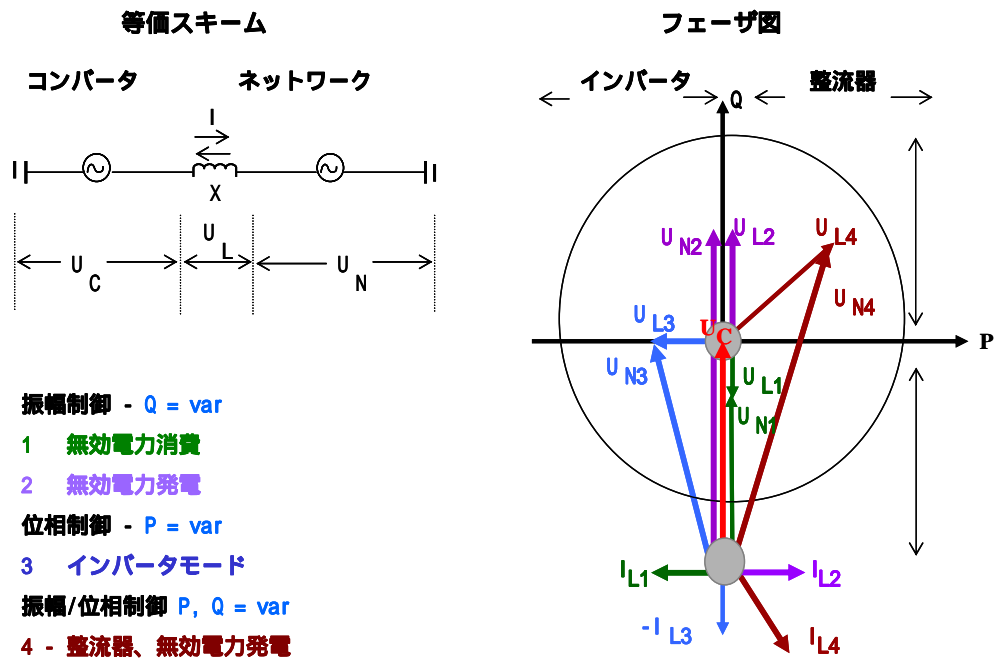


図 MVC 制御のフェーザ図

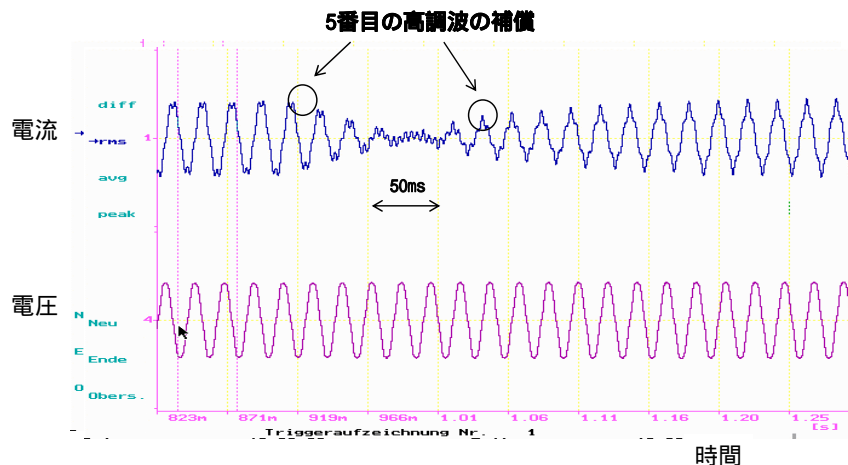


図 MVDC の動作モードの変更と高調波の除去

EDISon プロジェクトによる MVDC の適用事例（報告例）を以下に記す。⁵² MVDC の実証は分散型電源の多数連系された 20kV 配電系統に MVDC を適用することにより、供給信頼度が大幅に改善されたことが実証されている。但し、これは一般的な見解ではなく、系統再構築の手法において、実現可能性の限界と最適な配置や運転条件を明らかにするための詳細な解析を行い、ケース毎に有効性を確認する必要があるとしている。

【EDISon プロジェクトによる MVDC の適用事例報告例】

1. 20 kV 系統の再構築

(1) 初期の系統の状況

新規の発電、貯蔵、MVDC 結合、及び DEMS 技術の適用の事例を、遠隔過疎地の系統区間を有する実際の自治体系統で解析した。右図にこの系統のトポロジーを示す。

系統区間 Net3 及び Net4 は、残存電流制限のために切り離される。Net3 には架空線 2 のみを經由して供給され、この線路が機能停止した場合、系統 Net3 への供給が中断され、(n-1) 基準は達成されない。

さらに、線路 1 の機能停止は系統区間 Net1 を通過する電力輸送の限度超過を引き起こすので、負荷制限が必要となる。線路 3 の機能停止は、系統区間 Net4 の最後の 2 つのリングにある主要装置 C 及び D の需要家への供給中断を引き起こす。

系統区間 Net3 では、2 つの低圧系統に、夜間にエネルギー消費量の多い暖房機器が多数接続されている。冬期の夜間には、20/0.4 kV の供給変圧器が約 2 時間にわたり最大 26% の過負荷となる(ケース 4)。このような状況はすべて、需要家にとって許容できない低レベルの供給信頼性をもたらすものであり、信頼度指数は以下の通りである。

Fig. 6. Topology of the 20 kV network and critical situations

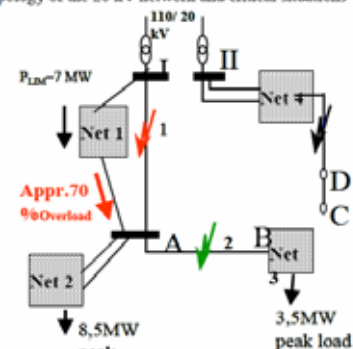


図 20 kV 系統のトポロジーと危機的状況

⁵² B. M. Buchholz, Siemen, C. Boese, Siemens, "The impact of dispersed power generation in distribution systems", CIGRE/PES, 2003/10

- ・ 時間内に供給されない予測エネルギー量：3.1 MWh/a
 - ・ Net3 における機能停止の予測継続時間：1.15 h/a
- (2) 再構築の可能性
 新技術の導入に関する潜在性解析から、下図に示すような可能性が明らかになった。

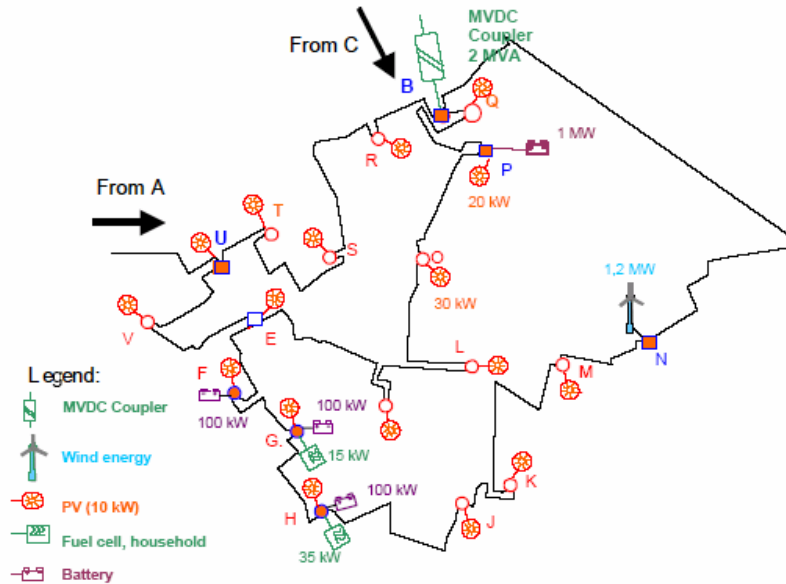


Fig. 7. Allocation of the dispersed generation, storage and MVDC Coupler in Net3

図 Net3 における分散型電源、貯蔵、及び MVDC カプラーの配置

- 2MVA (1.7MW) MVDC カプラーによる Net3 と Net4 の最後のリングにある主要装置 D との接続
- NET2 の分散型電源：
- ・ 継続的にプロセス加熱の需要がある工場でのガスタービン・コジェネレーション装置、1.5MW
 - ・ 温水槽用燃料電池コジェネレーション装置 250kW
- NET3 の分散型電源 (低圧)：
- ・ 家庭用燃料電池 10 × 5kW
 - ・ 分散型太陽光発電装置 200kW
 - ・ 夜間ピーク時に変圧器の過負荷がある供給変電所 F、G、H の系統区間に 3 × 100kW 電池 (600kWh)
- NET3 の分散型電源 (20kV)：
- ・ 風力発電 1.2MW、1MW (2MWh) 電池

右図は、風の弱い 1 日の Net3 の電力プロフィールを示している。
 Net3 への分散型構成機器の供給

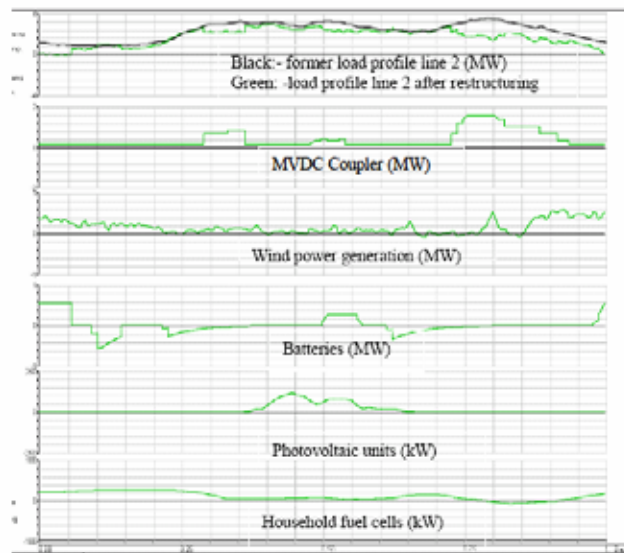


Fig. 8. Power profiles of the infeed in Net 3 via overhead line 2, via MVDC Coupler and of the dispersed generation/storage units

図 架空線 2、MVDC カプラー及び分散型電源/貯蔵装置を経由した、Net 3 への供給電力プロフィール

電力量は最大で 4.45MW である。これはピーク負荷を 1MW 上回る。但し、確実に瞬時給電可能な供給電力量はわずか 3.05MW であり、これは Net 3 のピーク負荷より 0.45MW 少ない。

線路 2 の機能停止時、Net3 では高い確率で、すべての分散型構成要素の出力と単独ネットワークへの MVDC 結合のみを使用した省力運転が行われる。

但し、単独運転に陥った Net3 については、DEMS のデマンドサイドマネジメント機能を使用している場合は、省力運転が明らかに可能なので、最悪でもピーク負荷の 12.8%が減少する。

(3) 再構築による改善

再構築した系統の調査結果の概要は以下のとおりである。

- ・危機的な機能停止状況すべてにおいて、(n-1) 基準は満たされており、停電中に系統構成要素の過負荷は発生しない。
- ・動的に変化する発電条件における負荷潮流及び短絡計算（前述のシミュレーションモデルを使用）から、この再構築手法の実現可能性が実証された。
- ・NET3 の電池は夜間ピーク時の暖房機器への供給を支援し、20/0.4kV 変圧器の過負荷を低減する

再構築した系統の信頼性解析から、前述の信頼度指数の大幅な改善が以下のように実証された。

- ・時間内に供給されない予測エネルギー量：0.12MWh/a
- ・Net3 における機能停止の予測継続時間：2 分/a

但し、この改善は、障害除去後の変換器が接続された発電装置の同期化を含めて、復旧のための自動開閉シーケンスが提供される場合に達成される。

さらに、再構築は電圧品質の改善に大きな影響を与える。

1 日の中で、負荷潮流の変化の結果、当該系統の最も遠いところにある Net3 で最大の電圧低下が発生する。供給変電所内の電圧制御器は、電圧許容差を帯域幅以内に保つ必要があり、ある程度のタップ切替も要求される。

Net3 の電圧低下で最悪のケースは、最大の負荷変動が生じる冬期に線路 1 が機能停止に陥ることである。これは、供給変電所と Net3 との間で系統インピーダンスが著しく増大するためである。

最悪のケースにおける Net3 の電圧変動について、3 つのケースを下図に示す。

ケース 1 は、既存系統における挙動を反映している。電圧を帯域幅以内に保つには、タップを切り替える必要がある。但し、最大電圧低下は -5% である。

ケース 2 は、力率を一定にして送電を行うためのみに MVDC カプラーを使用する場合において、説明された方法で系統を再構築した後の電圧変動である。ピーク負荷時に分散型電源と MVDC カプラーからの電力供給があるため、電圧低下は -3% に抑えられる。

ケース 3 は、MVDC カプラーが電圧制御モードで作動した場合の電圧変動の改善状態を示している。DEMS スケジュールの目標値に従って有効電力を供給するのに加え、電圧を目標水準の 100.5 % に維持するために、MVDC カプラーが無効電力を発生する。

このように、検討する系統を再構築することにより、系統の遠くに位置する区間の電圧品質が大幅に向上する。電圧コントローラに連動して分散型装置が無効電力を発生できれば、すばらしい改善効果もたらされる。

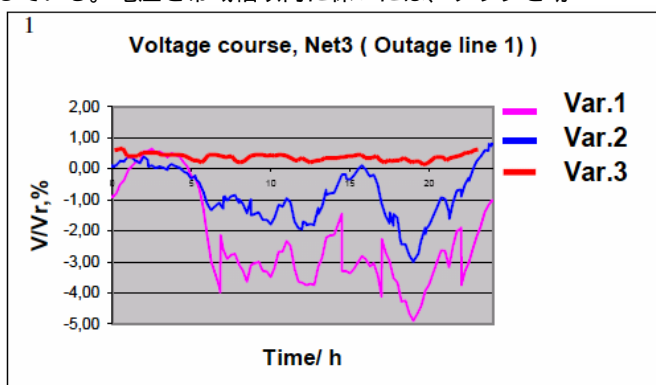


Fig. 8. Voltage profiles for the original network (Var.1) and after restructuring without V-control (Var. 2) and with V-control of the MVDC Coupler (Var.3) in the case of line 1 outage

図 線路 1 機能停止において、既存系統（ケース 1）、電圧制御をせずに再構築した後の系統（ケース 2）、MVDC カプラーの電圧制御を行った系統（ケース 3）の各電圧プロフィール

EDISON プロジェクト以外での実系統で適用状況は、5 箇所で実施されているとのことであった。その中で電圧調整を目的とした適用は、1 箇所でその他は他の使用用途（周波数の違う系統の連系、電圧階級の違う系統の連系など）で適用されている。下図に MVDC の実系統での適用事例を示す。

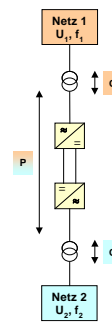
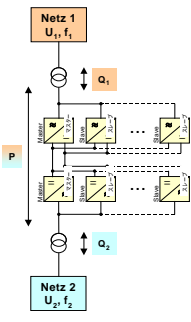
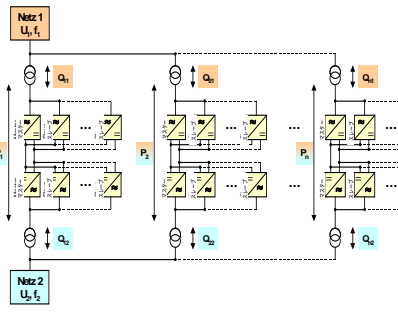
 <p>単一回路 bis 最大 1,2 MVA</p>	 <p>マスター - スレーブ、最大 5 MVA</p>	 <p>マルチパラレル・スキーム マスター - スレーブ 最大40 MVA</p>
<p>適用事例</p> <p>適用箇所（納入先;国） SW-フランクフルト / M; ドイツ</p> <p>MVDCの容量 2x 0,1MVA</p> <p>連系線の電圧 400/400V</p> <p>連系線の周波数 50/60Hz</p> <p>運転状況 2000年3月より運転中</p> <p>適用事例</p> <p>適用場所（納入先;国） Flender-Werft; ドイツ</p> <p>MVDCの容量 1MVA</p> <p>連系電圧 400/450V</p> <p>連系周波数 50/60Hz</p> <p>運転状況 2002年4月より運転中</p>	<p>適用事例</p> <p>適用箇所（納入先;国） シュタットベルケ カールスルーエ ; ドイツ</p> <p>MVDCの容量 2MVA</p> <p>連系線の電圧 20/20kV</p> <p>連系線の周波数 50Hz</p> <p>運転状況 2002年6月より運転中</p>	<p>適用事例</p> <p>適用箇所（納入先;国） MIC; サウジアラビア</p> <p>MVDCの容量 6x5MVA</p> <p>連系線の電圧 33/10kV</p> <p>連系線の周波数 60/50Hz</p> <p>運転状況 現在（2005年10月）建設中</p> <p>;;</p>

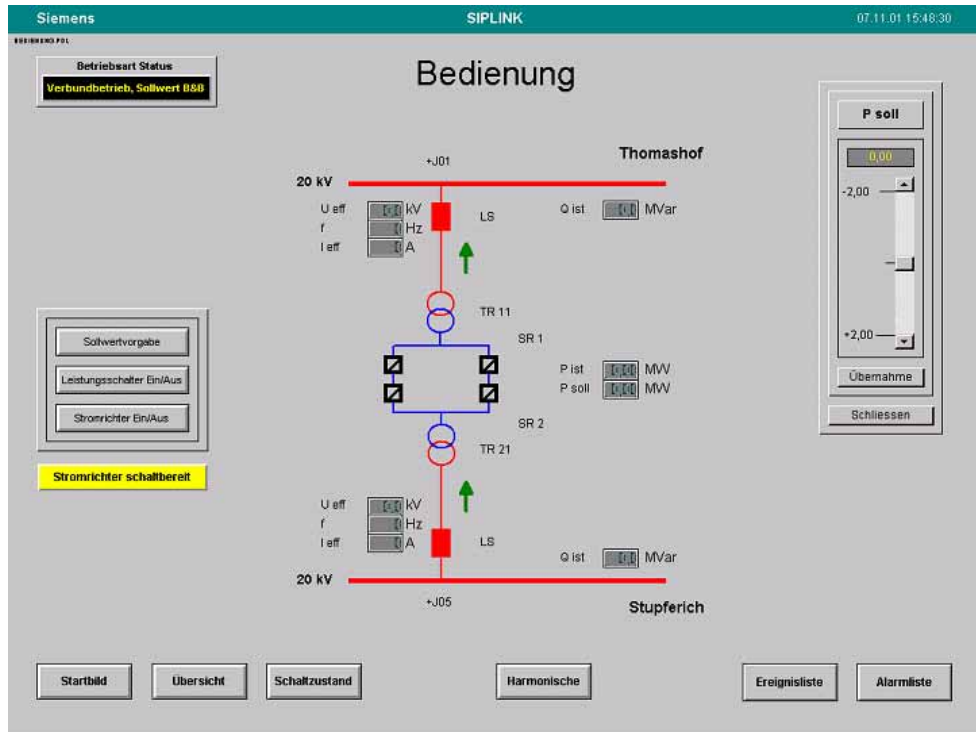
図 MVDC の適用事例



図 容量 2MVA の MVDC の概観



図 容量 2MVA の MVDC の内部装置の配置の状況



☒ MVDC の制御スクリーン（切替及び目標値の設定画面）

(2) ABB 社による BTB 機器

【ABB 社の概要】

スウェーデンで 1883 年に創立したアセア社とスイスで 1891 年創立したブラウン・ボベリ社が 1988 年に合併して ABB 社（アセア・ブラウンボベリ）となった。世界各国で重電事業を展開しており、電力分野の実績も多い。

【BTB 機器（HVDC）の概要】

HVDC（High Voltage Direct Current）は直流高電圧送電とも呼ばれ、交流電力を直流に変換し、再度交流に変換することにより送電を行う。基本的には超高压送電に用いられ、日本でも周波数変換設備などに用いられている。

HVDC Light は主に数十 kV から数百 kV の系統に用いられる。

【導入事例】

HVDC は各地で多数採用されているが、配電系統に適用された例は少ない。現在、最も低電圧な系統に採用された事例が、デンマーク Tjæreborg の 10.5kV に適用された例である。

但し、この事例はデンマークにおける大規模洋上風力発電所のパイロットプラントとして試験的に導入されたもので、風力発電所からの出力変動を緩和する目的で採用されている。

基本的に直流送電用ケーブルにより遠距離送電を行うものであり、IGBT を用いた BTB 機器ではあるが本プロジェクトの機器とは使用目的が異なる。

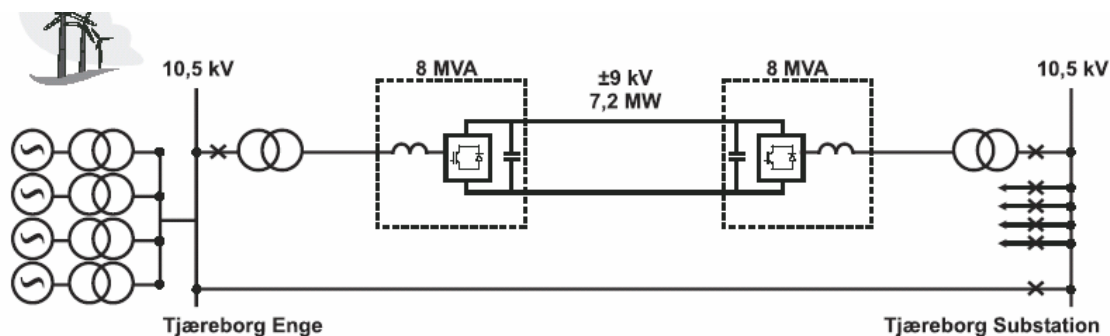


図 Tjæreborg における HVDC-Light 適用事例⁵³

【機器仕様】

定格電力：8MVA/7.2MW

変換周波数：1950Hz

直流電圧： ± 9 kV

⁵³ ABB, “Tjæreborg HVDC Light project”, www.abb.com

直流電流：358A

交流電壓：10.5kV

(3) DV2010

DV2010 プロジェクトは、米国ウィスコンシン州の配電・発電会社である We Energies 社が中心となり、進めているプロジェクトである。電力会社と機器メーカーが集まり、2002年にコンソーシアム“Distribution Vision 2010, LLC”を設立して研究開発活動を展開している。

DV2010の目的は、既存の配電システムを最大限活用しつつ高い供給信頼度を最小のコストで実現するというもので、基本的には開閉器の高速動作により、配電線末端の需要家に対しても年間の停電発生時間を変電所付近の需要家と同等にするというものである。

【DV2010の目標】

郊外における電力供給信頼度をミルウォーキーのダウンタウンと同等にまで向上させること

反応的なオペレーション（何かが発生した場合に、それに対応する）から予防的なオペレーションへの変換

配電システムに関する十分な情報の入手（故障が発生した場合等の検知）等を目指している。

【DV2010のパートナー】

- ・ 電気事業者側：AEP EmTech, LLC、Alliant Energy Corporation、BC Hydro、OG&E Electric Services、LIPA、Public Service Electric & Gas、SRP、Wisconsin Energy Corporation
- ・ ベンダー側：Novatech、SPL、COOPER Power Systems

【DV2010のビジョン】

- ・ 再閉器及びその制御システムの改善
 - ・ PODシステムの開発
 - ・ 通信システムの改善
 - ・ ローカルエリアコントローラの開発
 - ・ ワイドエリアコントローラの開発
 - ・ オープンループとクローズドループの組み合わせからなる一次配電システム
 - ・ 人手による配電指令の排除
 - ・ リアクティブモードからプロアクティブモードへの移行
- * プロアクティブは予防とは異なり、何かが起こった時にリアルタイム（3～5サイクル）で対応できることを意味する。

【DV2010のロードマップ】

以下のロードマップに沿って、2010年までに目標とする配電システムを達成する計画である。

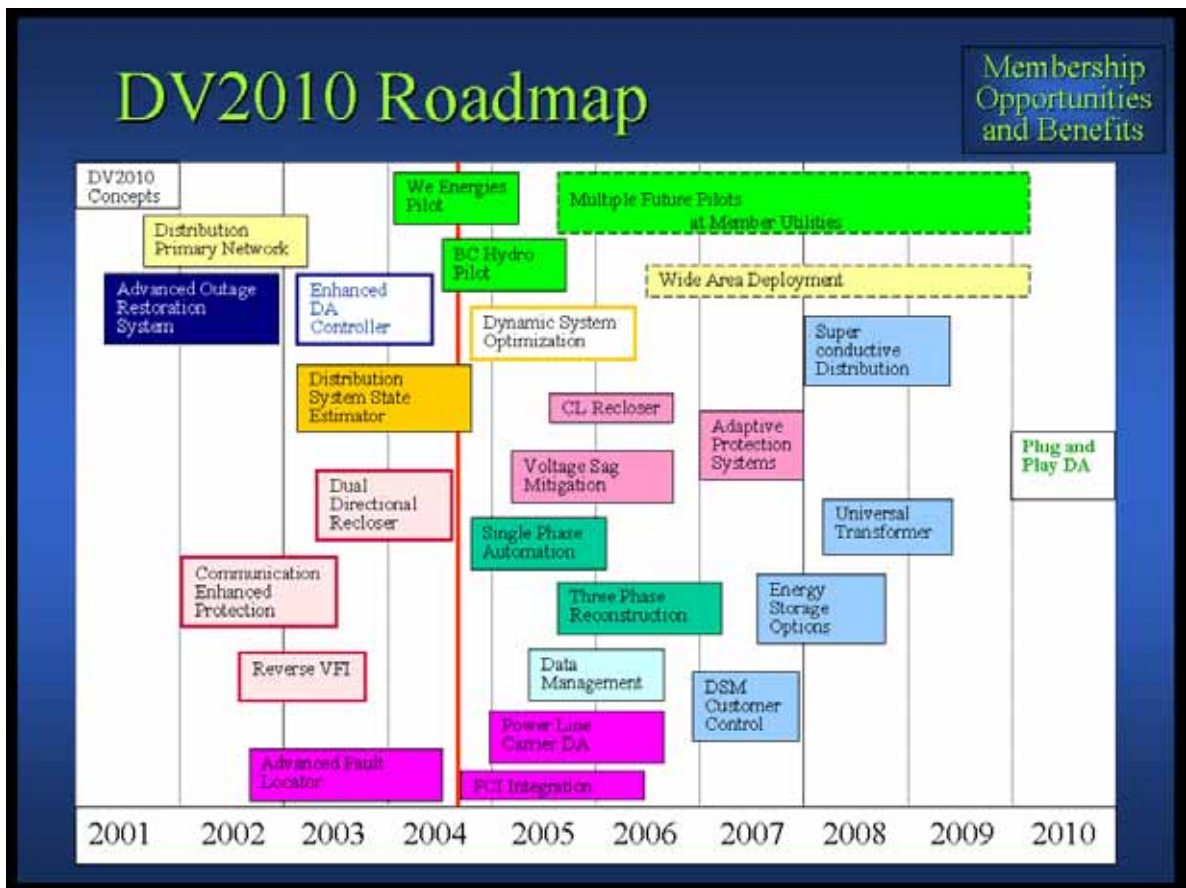


図 DV2010 のロードマップ⁵⁴

【高品質運転区域 (POD : Premium Operating Districts)】

下図に示す配電システムの導入を検討している。従来のスイッチをリクローザ (R) で置き換える。POD の区域は左右から電力供給できる。リクローザは通常オープンであり、異常時にクローズされる。

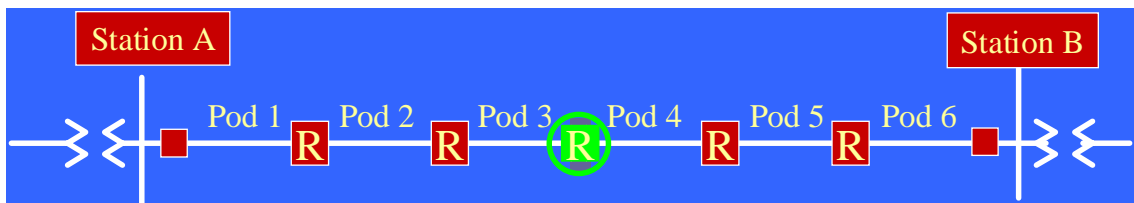


図 高品質運転区域 (POD) ⁵⁴

⁵⁴ We energies 社より入手

【POD の定義】

POD とは、2 つまたはそれ以上の遮断装置で区切られた需要家、または複数の需要家のグループであり、異常時にも電力供給ができるよう、いずれの方向からも十分な容量を有するものである。

【POD の信頼性】

POD の信頼度とは、配電システムの信頼度ではなく、需要家にとっての信頼度である。小規模の POD ほど信頼度が高い。通常の放射状配電システムでは、変電所から遠いほど信頼度が低下するが、POD の場合は変電所からの遠近ではなく、POD の大きさ（小ささ）が重要となる。

【POD のトポロジーと異常検出】

POD システムでは、自動開閉は好きなだけ出来、ループをいくらでもつなげる。フレキシブルな（任意の）トポロジーが可能である。異常検出は時間×電流ではなく、装置（再閉器）間のコミュニケーションに基づく。すなわち、2 つの再閉器の電流を比較して、その相違を見ることにより、3~5 サイクルで再閉器をオープンにできる。

【DV2010 コンソーシアムの目標】

高度な通信と高度な技術、配電システムの自動化、ネットワーク化された一次配電システムを組み合わせることにより、信頼度を大きく改善できると考えている。平均的な需要家の年間停電時間（現状で 120 分）を 5~10 分にすることが目標となっている。

【システム設計】

本システムは、分散型のロジックを基本としている。具体的には以下の 4 層のロジックから構成され、特に第二層（ ）が最も重要と考えている。

第一層 自律的保護

第二層 分散型自動化ロジック

第三層 ローカルエリアコントロール（変電所レベル）

第四層 ワイドエリアコントロール（地域レベル）

第一層において、電流障害が発生した際にリクローザがオープンになるが、現時点では、2~3 のリクローザが開いた場合、第二~四層との連携がうまくいかないという問題がある。

本システムは故障時のバックアップ、セーフティーネットを充分配慮したものであるが、特に保護協調のための通信システムが重要と考えている。

【動的な電圧管理】

DV2010 のコンセプトは、いわゆる配電自動化の一種であるが、広域の調整を行う段階（上記第 4 層）レベルでは、配電線各部の電圧電流を測定し、コンデンサの入切、負荷タップ切替装置の操作、電圧調整機器の制御などを実行して動的な電圧管理を実

施するという構想がある⁵⁵。階層 4 においては、CES International⁵⁶社が作成したコントローラが、階層 3 の DA コントローラから 1 分毎に送られてくるデータをもとに潮流と電圧分布をリアルタイムに計算し、適切な指示を階層 3 の DA コントローラに送信するとの記載がある。

⁵⁵ Russell P.Fanning, “ PREMIUM OPERATING DISTRICTS ” PROVIDE SUPERIOR RELIABILITY FOR INDUSTRIAL CUSTOMERS USING THE DV2010 PRIMARY VOLTAGE NETWORK ” , DistribuTECH, Orland, 2004/01

⁵⁶ 2004 年に SPL 社と合併した模様

3.1.4 まとめ

本節では、実証試験資する技術情報の蓄積、実証試験実施者への情報提供及び実証システムに関わる各種課題（技術的課題、運用的課題、経済的課題）の抽出、研究開発の方向性に資する技術情報の蓄積を目的とし、電力ネットワーク技術に係る海外の技術動向について調査を実施した。

調査の結果、海外における類似技術開発として英国におけるアクティブネットワークやドイツにおける MVDC の開発状況等を明らかにした。

これらの調査結果は実証研究システムの集中制御手法の検討や LBC の活用方法、効率等の仕様項目の設定の検討等に活用していく。

3.2 国内の技術動向調査

3.2.1 学会

配電系統で、分散型電源多連系による電圧上昇対策に関する論文、本実証試験に有益となる個々の技術に関する国内論文、文献を調査した。

国内における論文では、最も関連論文の多いと考えられる電気学会の各種論文（全国大会、電力・エネルギー部門大会、論文誌、研究会の論文）を中心に調査を行った。

また、調査結果は、論文の内容ごとに以下の分類で整理した。

(1) 電圧上昇対策に関する論文、文献

系統側対策機器

- 1 パワエレ機器
- 2 パワエレ機器以外

系統側対策システム

- 1 需要地系統
- 2 需要地系統以外のループ系統
- 3 その他の対策システム

分散型電源側対策システム

(2) 実証研究に関連した個々の新技術に関する国内論文、文献

系統解析・シミュレーション手法

- 1 系統解析・シミュレーション手法
- 2 状態推定手法
- 3 系統解析運用システム

保護制御システム

自動化システム

計測（センサー）・通信システム

(1) 電圧上昇対策に関する論文、文献

系統側対策機器

-1 パワエレ機器

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H14 電気学会 全国大会 (2002/3/26～ 29)	6-224	SVR 協調型配電 線電圧変動補償 装置(直列型) の実線路試験	上野雅史・深津尚 明・藤原信行(東 京電力)・佐藤達 則・前川英洋・中 田篤史(明電舎)	75kVA 直列型電圧変動補償装置 を装柱し、実線路試験にて性能 検証を実施。ポンプ負荷による 電圧低下を整定値 5%以内に抑 え、実線路にて本装置の補償性 能の有効性を確認。
H14 電気学会 全国大会 (2002/3/26～ 29)	6-225	SVR 協調型配電 線電圧変動補償 装置(並列型) の開発及び実線 路試験	上野雅史・深津尚 明・藤原信行(東 京電力)・福田康 彦・原田光一・三 宅修司(ダイヘ ン)	SVR 協調型電圧変動補償装置を 開発し、実線路試験で瞬間的な 電圧変動を SVC が補償し、その 電圧調整量を SVR に移行する協 調制御が妥当であることを確 認。
H14 電気学会 全国大会 (2002/3/26～ 29)	6-227	サイリスタ電圧 調整器を用いた 電圧補償の高速 化	吉田隆彦(北海道 電力)・渡辺敏之・ 齊藤裕治・関長隆 (北芝電機)	第 1.5 世代 TVR は、第 1 世代 TVR に対して高速応答特性ほかいく つかの機能向上を図った。北海 道電力管内で行ったフィールド 試験の中から、主に高速応答特 性について紹介。
H14 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2002)	14	配電線電圧変動 補償装置(直列 型)の実線路検 証	上野雅史・深津尚 明・藤原信行(東 京電力)・佐藤達 則・前川英洋・中 田篤史(明電舎)	単柱装柱かつ効果的な電圧補償 を目指して開発した装置容量 75kVA の直列型電圧変動補償装 置について装柱方法ならびに実 線路試験の評価を実施。
H15 電気学会 論文誌 B (2003)	123-9	高速応答を可能 にした TVR とそ の実証試験	佐々木裕治・吉田 隆彦(北海道電 力)・関長隆・渡 辺敏之・齊藤裕 治(北芝電機)	TVR の諸特性の改良、とりわけ 瞬時電圧変動に対する追従性能 等の改良を行った結果をフィー ルドで検証し、そこで得られた 知見を基に更なる改良を図る。
H16 電気学会 論文誌 B (2004)	124-11	6.6kV、1MW トラ ンスレス BTB 方 式ループコント ローラ	米谷心助・藤田英 明・赤木泰文(東 京工業大学)・岡 田有功(電力中央 研究所)	6.6kV、1MW トランスレス BTB 方 式ループコントローラの基本設 計を行い、主回路には 5 レベル 変換器が適していることを明ら かにした。
電気学会研究 会 - 電力系統 技術研究会 (2004)	PSE-04-6	UPFC を用いた配 電系統の電圧制 御 - 異バンク間 ループに関する 検討 -	近藤太郎・横山明 彦・馬場旬平(東 京大学)	交流的には切断されている BTB によるループ運用とは異なり、 何らかの問題が生じると考えら れる UPFC の異バンク間ループ について検討。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	50	太陽光発電が多数導入された配電システムの FACTS 機器を用いた電圧制御	近藤太郎・横山明彦・馬場旬平(東京大学)	太陽光発電が大量導入された住宅地域配電システムの FACTS 機器を用いた電圧制御において、複数の FACTS 機器をそのコストに直結すると考えられるインバータの必要最小容量を指標として比較。ループ化を含めた様々な配電システムの運用ケースを解析して各機器を評価。
H16 電気学会論文誌 B (2004)	124-9	UPFC のデジタルリアルタイムモデルの開発	木村操・宮崎保幸・野呂康宏(東芝)・高橋長衛・岸部英人(東北電力)・飯尾尚隆(TMT&D)	実用化されているパワエレ機器の中で最も多機能である UPFC のリアルタイムモデルの開発と RTDS™ と接続した場合の解析精度について報告。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	473	BTB 式ループコントローラと過渡的な需給バランスのシミュレーション	市川雅英・黒川浩助(東京農工大学)・岡田有功(電力中央研究所)	配電システムのループ・メッシュ化に半導体電力変換技術を用いたループコントローラ(LPC)を導入し系統故障等により配電用変電所の遮断器が開放された場合に、LPC により他の回線と非同期連系している区間の特性をシミュレーション解析により明らかにした。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	472	BTB 式ループコントローラと需給バランスの検討	市川雅英・黒川浩助(東京農工大学)・岡田有功(電力中央研究所)	配電用変電所の遮断器が開放され、ループコントローラにより他の回線と非同期連系している区間の特性を解析的にアプローチする方法の検討とその一例を報告。
電気評論 (2005.1)		分散型電源普及拡大対応機器の開発 - 電圧維持管理装置	東京電力	太陽光発電の集中連系に対する電力系統側の対策の一方策として開発した電圧維持管理装置を概説。
H17 電気学会論文誌 B (2005)	125-4	6.6kV-100kVA BTB 式ループコントローラの制御試験	岡田有功(電力中央研究所)・黒川浩助(東京農工大学)	線路と負荷など系統の基本情報を用い最適潮流計算(OPF)で求めた動作パターンに基づき最小二乗法を用いて決定した制御係数による分散制御方式の動作検証を実施。
H17 電気学会論文誌 B (2005)	125-4	自端情報によるループコントローラの制御と係数の決定法	岡田有功(電力中央研究所)・黒川浩助(東京農工大学)	LPC の自端情報を用いた分散制御を対象として、過去の検討をまとめ、分散制御方式の全体的な構造を示し、本制御方式の実用化に必要な制御係数の決定手法を提案。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	195	トランスレスループバランスコントローラの片端ブロック時の零相電流	高崎昌洋・岡田有功(電力中央研究所)・酒井洋満・伊藤智道・古関庄一郎(日立製作所)	装置を小型化できるトランスレスのループバランスコントローラを対象として解析、評価。系統事故時の保護動作として片側変換器をゲートブロックした際に零相電流が流れることが判明。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	154	風力発電が連系された配電系統における FACTS 機器による電圧制御	都留大和・横山明彦(東京大学)・川上仁志・和田大志郎(四国総研)	分散型電源による逆潮流による電圧以上分布に対する FACTS 機器を用いた制御において、そのコストに直結すると考えられているインバータの設備容量の観点から、シミュレーションによって複数の FACTS 機器の比較検討を実施。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	F-3	インバータ故障診断技術の研究	森田祐志(きんでん)	インバータ故障の主要因である平滑コンデンサの劣化とインバータ二次側の電圧との相関関係から劣化状況の予測ができることを確認。さらに、この方法を取り入れた劣化診断装置を試作。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	6-034	低圧需要家内電圧の適正維持に必要な低圧側設置 SVC の定格容量およびスローリアクタンス	榊原邦晃・飯岡大輔・横水康伸・松村年郎(名古屋大学)・出原範久(中部電力)	低圧需要家内の電圧を適正範囲 $101 \pm 6V$ に維持するために、PV を有する低圧需要家内に無効電力補償装置(SVC)を設置することを検討。需要家内電圧を適正範囲に維持するために必要な SVC の定格容量 P_{SVC} およびスローリアクタンス X_s を求めた。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	6-035	BTB 式 LPC が連系する区間の特性と簡易推定法の検討	市川雅英・黒川浩助(東京農工大学)・岡田有功(電力中央研究所)	配電システムのループ・メッシュ化に半導体電力変換技術を用いた BTB 式ループコントローラ(LPC)を導入し系統故障等により配電用変電所の遮断器が開放された場合に、LPC により他の回線と非同期連系している区間の特性を簡易な方法で把握することを目的とし、係数マトリックスを用いた表現を EMTP による詳細な解析と比較。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	6-033	階調制御型自励式無効電力補償装置の提案	羽田野伸彦(関西電力)・岸田行盛・岩田明彦(三菱電機)	「階調制御」を SVG に適用するにあたっての課題と、それに対して考案した制御手法について概説。シミュレーションによる検証の結果、考案した手法が良好に動作していることを確認。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	4-054	マトリクスコンバータを用いたループコントローラの制御法	牧 洋 佑・伊 瀬 敏史・三浦友史(大阪大学)	需要地系統で用いられるループコントローラにマトリクスコンバータを適用した場合の制御方式について検討。シミュレーションにより有効、無効電力の独立制御が可能であることを示した。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	4-168	オープン巻線変圧器と2台のインバータを用いた新しい SVG	藤井洋介・八幡直樹・堀井美和・川畑良尚・川畑隆夫(立命館大学)	新しい SVG を提案し、モデル実験から良好な結果が得られることを確認。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	4-166	単相 PWM コンバータをベースにしたトランスレス STATCOM - 始動法と直流コンデンサ電圧の均一制御 -	三宅靖彦・赤木泰文(東京工業大学)	単相電圧形 PWM コンバータをベースにした 6.6kV、1MVA のトランスレス STATCOM について検討。始動法を検討し、さらに直流コンデンサ電圧の不均一を抑制する制御を提案し、シミュレーションによって有効性を確認。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	4-171	STATCOM における部分的アクティブフィルタ動作	小島広雄・中村峻輔・松井景樹(中部大学)	STATCOM に機能を追加し系統で問題とされる 5・7 次調波のような低次調波などコンバータ等の動作に伴って発生する高調波を低減させることを検討。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	6-009	分散型電源集中連系に対応した電圧調整変圧器・単独運転防止装置の開発	滝 祥 治・吉 永 淳・望月一寿(東京電力)・島村秀彦・小川謙治(日立製作所)・平井義浩(東北電機製造)	太陽光発電多数台集中連系における電力系統側の対策の一方策として、電圧調整変圧器と単独運転防止装置を開発。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2005)	PE-05-44 PSE-05-51	2 層近傍タップサーチを用いた送電容量増加のための UPFC 最適配置問題への解法	前田幸宏・森啓之(明治大学)	送電容量増加のための UPFC (Unified Power Flow Controller) 最適配置問題に対し、2 層近傍タップサーチ (TLTS) を用いた手法を提案。

-2 パワエレ機器以外

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
電気学会研究会 - マグネティックス研究会 (2001)	MAG-01-2 31	可変インダクタとその応用	一之倉理・中村健二(東北大学)・前田満・大日向敬・赤塚重昭・佐藤博道(東北電力)	直交磁心型可変インダクタを用いた電力系統機器について紹介するとともに、積層平行型可変インダクタや磁束制御型変圧器など大容量化、高性能化、および多機能化を志向した可変インダクタについて紹介。
H14 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2002)	12	分散電源の連系を考慮した電圧制御機器の高速最適整定方式の開発	大森俊也・元治崇・由良俊樹(関西電力)・高山信一・渡辺拓也・福山良和(富士電機)	分散電源連系の有無及び負荷の状態に関わらず系統電圧が常に規定値範囲に収まる事をねらいとした新たな整定方式を開発。実配電システムを模擬したモデル系統において、複数台の電圧制御機器の最適整定数値を従来最適整定方式より高速に求める事が可能であることを確認。
H14 電気学会全国大会 (2002)	6-226	分散型電源連系に対応した新制御方式 SVR の開発について	平野伸一郎・唯野幸雄・佐藤文彦(東北電力)・白石喜一・村越潤・平井義浩(東北電機製造)	実測データを用いて、インピーダンス判定法により SVR からみた変電所側と負荷側を正常に判定できることを確認。
H14 電気学会論文誌 B (2002)	122-4	田形磁路による可変インダクタの特性	前田満・大日向敬・葵木智之・赤塚重昭・川上峰夫・佐藤博道・一之倉理(東北大学)	可変インダクタの性能を更に高め、電流歪み改善のための楔形間隙を必要としない簡単な構成で、直列回路にも使用可能な田形磁路による可変インダクタを開発。
H14 電気学会全国大会 (2002)	6-026	SVR とパワエレ機器を用いた協調制御方式の配電シミュレータによる検証	窪田善之・元治崇・宮里健司(関西電力)・林巨己・徳田寛和・福山良和(富士電機)	急峻な出力変動に伴う電圧変動の制御方式である、逆潮流対応の SVR と新設パワエレ機器の協調制御方式について、実回路モデルによる検証実験結果を報告。
H14 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2002)	269	電圧無効電力(AVQC)ファジーエキスパート制御方式における機能向上対策の検討	鈴木晶弘・門間栄吉・皆川保(東北学院大学)・佐々木賢一(東北大学)	変圧器タップの不必要な動作を軽減し、且つハンチングを防止する制御パラメータ決定手法の基礎検討を実施。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H15 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2003)	306	分散型電源に対応した新型高圧自動電圧調整器の開発	松浦進・大場達也(北陸電力)・松嶋学(北陸電機製造)	分散型電源の連系に対応する新型 SVR を開発。制御装置をデジタル化し、複数の制御方式をコンパクトに低コストで組み込んでおり、従来型と同等な価格を実現。
H15 電気学会全国大会 (2003)	6-185	分散型電源に対応した新制御方式 SVR の実証試験結果	平野伸一郎・安孫子堅二(東北電力)・村越潤・平井義浩(東北電機製造)	逆潮流が流れ込む場合でも、適正に電圧調整を行う「新制御方式 SVR」を開発。
H15 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2003)	167	配電線の最適電圧管理手法検討	壁村克樹・吉武淳一(九州電力)・橋本圭一郎・高浪隆・菅井信輔(キューキ)・中西要祐(富士電機)	配電線の最適電圧管理手法の 1 手法として、実測値を用いたシミュレーションをベースとした送出し電圧、SVR の整定方法について検討しシミュレーションにより例証。
電気学会研究会 - 電力系統技術研究会 (2004)	PSE-04-5	分散電源導入を考慮したリアクティブタブー探索法による SVR 最適配置	杉本淳司郎・横山隆一(東京都立大学)・福山良和(富士電機アドバンステクノロジー)	高圧配電線の途中に設置可能という自由度を有する電圧調整器(SVR)に着目し、それをメタヒューリスティックスの一つである Reactive Tabu Search (RTS) に基づき最適配置する配電系統拡張計画手法を提案。
H16 電気学会全国大会 (2004)	6-005	新型 SVR の開発 ~ 分散型電源に対応した電圧調整機能の高度化	佐々木裕治・長谷川聖(北海道電力)・安保均(北海道電気技術サービス)	従来型 SVR の問題点を改善した新型 SVR および遠制機能と電圧調整機能を一体化・高度化した SVR 制御装置を開発し、これらを組み合わせてフィールドテストを実施し、良好な結果が得られた。
H16 電気学会論文誌 B (2004)	124-7	SVC と SVR の協調のための時間スケール分割による電圧制御方式	餘利野直人・三木崇裕・大和右季・造賀芳文・佐々木博司(広島大学)	電圧制御機器群の応動時間を考慮して特異摂動理論を適用し、時間スケール分割(TSS: Time Scale Separation)に基づく協調制御法を提案。SVC や分散電源の装置構成(電圧一定制御機構)に簡単な外付け回路を追加設置するだけで実現可能。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	396	磁束制御による6.6kV300kVA 級無効電力調整装置の開発	大日向敬・赤塚重昭・川上峰夫・皆澤和男(東北電力)・佐々木彰・平野准一・関長隆(北芝電機)・一之倉理(東北大学)	磁束制御による無効電力調整装置を開発し、無効電力制御特性や制御応答特性など良好な基本特性を確認。
H16 電気学会全国大会 (2004)	416	分散型電源の系統連系を考慮したNAS電池システムによる電圧制御手法	内田晶人・大高聡也・岩本伸一(早稲田大学)	逆潮流に係わる問題の対策として、「NAS電池を用いた電圧制御手法」を提案。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	432	分散型電源の出力変動を考慮したRTS法によるSVR最適配置	杉本淳司郎・横山隆一(東京都立大学)・福山良和(富士電機アドバンステクノロジー)	配電系統拡充計画におけるSVRの最適配置手法について提案。提案手法を用いることで、他の調相設備にも適用することが可能。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	430	分散型電源が連系された配電系統における送出し電圧の最適決定手法	林泰弘・松木純也・鈴木良治(福井大学)・武藤英司(東京電力)	分散型電源が連系された配電系統において、配電用変圧器タップ切替回数が最小となり、かつ、電圧余裕の二乗の重み付け和が最小となる送出し電圧の最適決定手法として厳密解法に基づく手法を提案し、配電系統モデル上で数値計算を行いその妥当性を検証。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2004)	PE-04-85 PSE-04-85	分散型電源が連系された配電系統における最適送出し電圧決定手法	林泰弘・松木純也・鈴木良治(福井大学)・武藤英司(東京電力)	分散型電源が連系された配電系統において、配電線の各地点の電圧を柱上変圧器タップによる高圧側適性電圧範囲内に収めるという制約のもとで、配電用変圧器タップの切替回数と電圧余裕の二乗和の重み付け和が最小となる送出し電圧を決定するために、厳密解法であるROBDDに基づく手法を提案。また、配電系統モデル上で数値計算を行いその妥当性を検証。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H17 電気学会 論文誌 B (2005)	125-5	配電系統用 SVC の安定性評価に 関する検討	清水慶一・元治崇 (関西電力)・中 沢親志・中西要祐 (富士電機アド バンステクノロ ジー)	配電系統における単機 SVC、2機 SVC の不安定現象、SVC と SVR の 相互干渉問題を検討し、特に SVC を含む系統のサドル・ノード分 岐点とホップ分岐点(局所分岐) に注目し SVC が安定に動作でき る領域を明確化した。
電気評論 (2005/1)		磁束制御型無効 電力調整装置の 開発	東北電力	磁束制御技術を適用し電圧変動 の抑制機能を持つ 6.6kV、300kVA 無効電力調整装置の実証器を開 発。
H17 電気学会全 国大会 (2005)	5-239	磁束制御による 6.6kV300kVA 無 効電力調整装置 の実証試験	赤塚重昭・有松健 司・大日向敬・皆 澤和男(東北電 力)・平野准一・ 佐々木彰・我妻幸 博・関長隆(北芝 電機)・一之倉理 (東北大学)	開発した 6.6kV300kVA 無効電力 調整装置(MFCR 実証器)につい て、実系統での実証試験に関し 報告。
H17 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2005)	117	需給インターフ ェイスによる太 陽光逆潮流時の 電圧上昇抑制手 法	浅利真宏・小林広 武(電力中央研究 所)	電中研が提案している需給イン ターフェイス(需給 IF)を用い た電圧抑制手法について概説。
H17 電気学会全 国大会 (2005)	6-011	分散型電源多数 台連系時の低圧 配電線の電圧適 正化機器に関す る検討	松田勝弘・和田勝 (東北電力)・内 藤慎也・平井義浩 (東北電機製造)	分散電源多数台連系時における 低圧配電線の電圧上昇抑制に資 する対策機器について検討。
H17 電気学会全 国大会 (2005)	6-164	配電系統におけ る供給信頼度向 上を目的とした NAS 電池システ ムによる電圧制 御	内田晶人・岩本伸 一(早稲田大学)	供給信頼度向上対策として「NAS 電池を用いた電圧制御手法」を 提案。
H17 電気学会全 国大会 (2005)	6-165	配電系統への SVR 及び SVC の協 調的最適配置手 法	杉本淳司郎・横山 隆一(東京都立大 学)・福山良和(富 士電機アドバン ストテクノロジー)	SVR および SVC の協調的最適配 置手法としてリアクティブタブ サーチ(RTS)を用いた手法を提 案し、その有用性を検証。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	14	電力密度モデルを用いた SVR の最適配置決定の解析的検討	窪田善之・元治崇 (関西電力)	SVR が設置された系統において負荷を電力密度モデルで表現することにより、SVR の動作状態も考慮した系統の電圧プロフィールを求める方程式を導出し、この方程式を用いて SVR (1台設定) の最適配置位置を決定する方法を検討。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2005)	PE-05-134 PSE-05-141	配電系統における分散型電源の系統連系を考慮した送出し電圧決定手法	内田晶人・岩本伸一 (早稲田大学)	配電系統に分散型電源が連系してできたときの問題点を分散型電源の連系の仕方の場合分けした上で問題点を考察し、分散型電源の連系に対応できる提案手法を示し、シミュレーションにより検証し、有効性を確認。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2005)	PE-05-100 PSE-05-107	SVR 設置系統における電力密度モデルによる分散型電源の連系可能容量の検討	窪田善之・元治崇 (関西電力)	DG の連系系統における各種要因の電圧分布への影響を体系的に把握するため、分散性が強い状態の連系形態に適用する解析法として、電力密度モデルを使った解析手法を開発し、検討を実施。さらに、系統内に SVR (自動電圧調節器) が設置された場合についても電力密度モデルを使った電圧プロフィールの解析法を検討し、その方法を用いて DG の連系可能容量 (電圧管理限界値および設備容量を逸脱しない DG 出力の最大値) を求め、各種パラメータの影響を評価。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2005)	PE-05-106 PSE-05-113	分散電源導入による SVR の最適配置について	長谷川巧・青木秀憲・水谷芳史 (東海大学)	電圧調整器 (SVR) を遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて解析し、配電系統における SVR の最適配置問題を検討。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2005)	PE-05-55 PSE-05-62	電圧適正範囲を考慮した電圧安定性指標の提案	片岡佳史・岩本伸一 (早稲田大学)	電圧適正範囲、特に電圧下制限約点を考慮した電圧安定性指標 VMPI を提案。さらに、VMPI を用いた電圧安定運用および電圧安定化対策に対する電圧制御手法を提案し、シミュレーションを実施。VMPI が電圧適正範囲を考慮した電圧制御に効果的な指標であることを検証。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2005)	PE-05-57 PSE-05-6 4	配電系統におけるSVRおよびSVCの協調配置手法	杉本淳司郎・横山隆一(東京都立大学)・福山良和(富士電機アドバンステクノロジー)	ステップ式自動電圧調整機(SVR)および静止型無効電力補償装置(SVC)の協調配置手法を提案。

系統側対策システム

-1 需要地系統

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2002)	PE-02-153 PSE-02-163	自律分散的な手法による需要地系統の電圧分布制御	辻 隆 男・大 山 力 (横浜国立大学)	自律分散的な手法により需要地系統の電圧分布適正化について検討し、需要地系統を構成する各機器が必要に応じて信号を送出し、互いの状態を推定し合うような制御手法を提案。限られた情報をもとに、電圧固定点が適切に移動する方式によって、柔軟な制御の可能性が示された。
H14 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2002)	10	需要地系統運用制御のためのモバイルエージェントシステムにおける優先処理方式	大谷哲夫・三沢雅一 (電中研)	分散型電源のフリーアクセスを可能とする需要地系統に対し、モバイルエージェントベースの情報通信システムで、平常時の処理と事故時の処理を統合的に扱うため、事故時処理を優先的に扱うための方式を提案。
H14 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2002)	157	配電系統のループ運用に関する基礎検討 (その2) - 供給地域別の傾向 -	松田勝弘・上村敏 (電中研)	ループコントローラの制御量を各評価項目の重み付けにより決定する手法を提案。また、各評価項目に対して最適となる制御量、及びこれらの重み付けにあたっての地域別傾向を明らかにするとともに、ループコントローラの必要容量などを用意に推定できることを示した。
H16 電気学会論文誌 B (2004)	124-3	自律的な分散方式による需要地系統の電圧制御	辻 隆 男・大 山 力 (横浜国立大学)・熊野照久 (電中研)・河野良之 (三菱電機)・伊与田功 (TMT&D)	分散型電源の導入に対応した自律分散的な電圧分布制御手法を提案し、需要地系統を対象としたシミュレーションでその動作状況を検討。基本制御方式により適正範囲内に電圧分布を調整し、マルチエージェントシステムによってさらに電圧分布の最適化が図れることが確認された。
IEEJ Journal (2005)	125-3	新たな電力供給システムの実証プロジェクト - 2 新電力ネットワークシステム実証研究 (需要地系統)	小林広武 (電中研)	電中研が実施している新電力ネットワークシステム技術関連の研究概要について紹介。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	191	需要地系統における保護制御システムの実証検討 - 事故区間の高速分離と単独運転防止手法 -	小林広武・上村敏・岡田有功・大谷哲夫(電中研)	通信を活用し、事故の検出、分離、および単独運転停止を含めた事故除去を区間単位で実施する自律分散型の保護制御方式の確立に向け、実証試験により、事故の検出・除去の確実性と処理時間に焦点を当てた同制御方式の妥当性の検証、ならびに制御不全時などのバックアップ保護方式について明らかにした。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2005)	PE-05-129 PSE-05-136	需要地系統の事故区間分離に関する運用管理システムの性能評価	大谷哲夫・小林広武(電中研)・幸田賀之(東北電力)	需要地系統の運用管理システムについて、実際の電力機器を用いた事故区間分離試験の結果を示し、それに基づいて本運用管理システムの実用化に関する考察を行った。

-2 需要地系統以外のループ系統

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2003)	PE-03-132 PSE-03-143	配電系統におけるループ運用システム導入に関する基礎検討	本郷保二・和田勝・二階堂吉穂(東北電力)・西島一夫・島村秀彦・小川謙治(日立製作所)	ループ運用時における問題点を整理し、その対策案、ループ運用システムの系統構成案および保護要素について検討。また、シミュレーションによる検証、ループ運用時のロスミニ効果を評価。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	434	配電系統のループ運用システム向け故障検出装置の試作	本郷保二・和田勝・齊藤武彦(東北電力)・島村秀彦・小川謙治(日立製作所)	複数の検出端末と通信線を組み合わせて、配電系統ループ運用に対応した事故区間判定、事故区間切離しシステムを試作し、デジタルシミュレータを用いて、地絡事故および短絡事故の試験ケースについて動作検証を実施。
H17 電気学会全国大会 (2005)	7-128	配電系統におけるループ運用について	上田玄・塚原潔(中部電力)・石橋千尋(石橋技術士事務所)・山田安二(中央製作所)	6kV 配電系統で潮流制御装置を用い、実用的なループ運用が可能であることを実験的に示した。
H17 電気学会全国大会 (2005)	6-161	お客さま用低圧潮流制御装置の開発	石田雅宏・上田玄(中部電力)・勝崎将典(デンソーファシリティーズ)・紺屋憲(石橋技術士事務所)・山田安二(中央製作所)	低圧配電線の常時ループ運用方式を可能とする低圧潮流制御装置を開発。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2005)	PE-05-66 PSE-05-73	ループ状配電系統への三相線返潮流計算手法の適用に関する基礎検討	林泰弘・松木純也・細川慎平(福井大学)・多田泰之(東京電力)	ループ状配電系統の潮流計算を簡便な三相線返潮流計算手法を用いて実施する方法を提案し、分散型電源が連系された樹枝状配電系統の一部をループ運用したモデル上で、N-R法との計算精度の比較を実施し、提案法がN-R法と同程度の計算精度でループ系統の潮流計算を行えることを確認。また、系統モデルで採用可能な二つのループ構成について、最低電圧と配電損失の観点から比較を実施。

-3 その他の対策システム

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H7 電気学会電力・エネルギー部門大会 (1995)	32	高圧配電線電圧管理システムの開発	副裕宣・矢加部秀雄・柿本仁司・林武博(九州電力)・叶井実(日立製作所)	より安定した電圧を供給するために、負荷変動や系統変更に対して常時演算を行い配電線用の電圧調製機器を統合して制御し適正な電圧を維持することで、柱上変圧器のタップ変更を不要とする「高圧電圧管理システム」を開発。
H12 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2000)	280	変電所 LRT フィードバック制御システムの開発	壁村克樹・粟屋茂(九州電力)・原雅則(九州大学)	配電線の実測データを活用し、配電線電圧管理の適正化、送出電圧調整業務の省力化を目的とした配電用変電所 LRT (Load Ratio Transformer) フィードバック制御システムを開発し、実フィールドでの実証試験において効果を確認。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2002)	PE-02-82 PSE-02-92	電圧・無効電力制御のための配電系統における SVR と SVC の協調制御	餘利野直人・三木崇裕・佐々木博司(広島大学)・森洋一郎(日立製作所)	これまでの自律分散形電圧制御では、考慮していなかった、過渡的な電圧変動(フリッカ成分)に対する制御方式として、既存の電圧制御機器(SVR)と FACTS 機器(SVC)における協調制御方式を提案。提案法は、高速制御器の設計に一般的に適用可能。
H14 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2002)	13	自律分散型電圧調整装置の実高圧配電線路への適用	壁村克樹・米倉和彦・塚本孝徳(九州電力)・橋本圭一郎(キューキ)・原雅則(九州大学)	ピーク時での配電線の電圧降下が顕著な長亘長配電線及びオフピーク時での配電線のフェランチ現象が顕著な工場地区へ供給する配電線による実線路での自律分散型電圧制御の有効性を検証。
H14 電気学会全国大会 (2002)	6-017	タップ平衡点に基づく自律分散形電圧制御	餘利野直人・森洋一郎・三木崇裕・佐々木博司(広島大学)	電力系統において多数分散設置された電圧制御機器の協調制御問題に関し、自律分散形電圧制御方式を提案するとともにその有効性を提示。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2002)	PE-02-143 PSE-02-153	分散電源連系可能容量への配電系統電圧制御方式の影響評価	窪田善之・元治崇・宮里健司(関西電力)・高山信一・福山良和(富士電機)	大容量の分散電源が連系されても支障のない系統運用を行うため、発電機容量(出力)電圧制御方式、系統構成、負荷状態、発電機の運転特性といった諸要因の変化に対して、1配電線で許容できる分散電源の連系容量を潮流計算により求めた。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H15 電気学会全 国大会 (2003)	6-043	分散型電源連系 時の配電系統電 圧管理手法の検 討 - SVC による 制御と柱上変圧 器タップ変更の 見直し -	松田勝弘・上村敏 (電力中央研究 所)	系統連系時の電圧管理上の問題 点を抽出し、配電系統の電圧を 適正に維持するための一方策と して、SVC による制御と柱上変圧 器タップ変更の見直しについて モデル配電線を用いた計算機シ ミュレーションにより検討。
H16 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2004)	61	分散型電源を含 む配電系統の電 圧調整法に関す る考察	近藤潤次・安芸裕 久・山口浩・村田 晃伸・石井格(産 業技術総合研究 所)	分散型電源の大量導入を可能と する将来の配電システムについ て、電圧調節のための分散型電 源の無効電力制御と需給バラン ス調節のための負荷制御を提 案。また、上記の提案が実現し た電力システムの制御法とし て、独立制御と協調制御を提案。 さらに、アナログシミュレータ を用いて、配電系統の電圧調整 の実験を実施。
H16 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2004)	30	配電系統におけ る集中型電圧制 御方式の開発	吉永淳・平井崇 夫・本橋準(東京 電力)・高野富裕 ・渡辺峰生(三菱電 機)・小和田靖之 (TMT&D)	配電系統における通信インフラ の普及・整備を背景に、配電網に 電圧/電流センサを適宜設置し、 その計測情報を基に、変電所バン クの LRT (Load Ratio Control Transformer) や配電線上に設置 された SVR (Step Voltage Regulator) のタップを集中制御 する電圧制御方式を提案。
H16 電気学会 論文誌 B (2004)	124-1	分散電源連系可 能容量への配電 系統電圧制御方 式の影響評価	窪田善之・元治 崇・宮里健司(関 西電力)・高山信 一・福山良和(富 士電機)	現状の配電系統への風力発電等 の連系に伴い現実的に想定され る電圧制御方式を複数想定し、 負荷条件と DG 連系条件を統一し て、その条件に対する各電圧制 御方式の制御性を評価。
IEEJ Trans. PE (2005)	125-9	分散型電源が連 系された配電ネ ットワークにお ける最適送出し 電圧の決定手法	林泰弘・松木純 也・鈴木良治(福 井大学)・武藤英 司(東京電力)	配電線各点の電圧を許容範囲内 に収めるという制約のもとで、 配電用変圧器の長寿命化と電圧 変動余裕の最大化を目指し、タ ップ切替回数の総和と電圧目標 値誤差二乗和が最小となるよう な送出し電圧の 24 時間プロフ ィールを効率良く決定する手法を 提案。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H17 電気学会全 国大会 (2005)	6-167	分散型電源が連 系された配電ネ ットワークにお ける最適送出し 電圧決定手法	林 泰 弘・松 木 純 也・鈴木良治(福 井大学)・武藤英 司(東京電力)	分散型電源が連系された配電系 統の高圧配電線の三相電圧が適 正範囲内であり、かつ、配電用 変圧器の長寿命化と電圧変動余 裕の最大化を踏まえた最適な送 出し電圧プロフィールを厳密な 組合せ最適化のアプローチに基 づき決定する手法を提案し、負 荷想定誤差許容範囲を算出。
H17 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2005)	15	自律分散型電圧 無効電力制御シ ステム高度化を 目指したNN法に よる地域需要予 測法の開発	鈴 木 修・皆 川 保 (東北学院大学)	より高度な電圧無効電力制御を 行うために以下の2手法を提案。 ・ 電気所の高度化を目的とし た自律分散型電圧無効電力 制御方式 ・ 短絡容量を把握するための 地域需要予測システム
電気学会研究 会 - 電力技術・ 電力系統技術 合同研究会 (2005)	PE-05-52 PSE-05-5 9	階層的最適化を 用いた配電系統 における電圧無 効電力制御アル ゴリズムの開発	古田篤広・森啓之 (明治大学)	階層的最適化を用いた配電系統 における電圧・無効電力制御アル ゴリズムを提案。
電気学会研究 会 - 電力技術・ 電力系統技術 合同研究会 (2005)	PE-05-53 PSE-05-6 0	Particle Swarm Optimization を 用いたキャパシ タ最適配置によ る電圧無効電力 制御に関する検 討	山本宗義・柳田将 臣・石亀篤司(大 阪府立大学)	PSO (Particle Swarm Optimization) のアルゴリズム に改良を施すことにより、解空 間探索において局所的探索と大 域的探索 - エージェントの集中 化と多様化のバランスを考慮し た Balance 型 PSO を提案。従来 型 PSO だけでなく、GA (Genetic Algorithm: 遺伝的アルゴリズム とも比較を行うことでその 有効性を検証。
電気学会研究 会 - 電力技術・ 電力系統技術 合同研究会 (2005)	PE-05-54 PSE-05-6 1	配電系統におけ る自律的な電圧 制御方式に関す る一研究	餘利野直人・造賀 芳文・甲斐雅行・ 小林美奈(広島大 学)・杉原弘章(中 国電力)	今後出現する可能性のある自律 型小規模ネットワークを考え、 その課題である電圧制御方式に ついて、マルチエージェントシ ステムを用いた新しい制御方式 を提案。シミュレーションによ り既発表の自律分散方式との比 較を実施し、提案法が自律分散 方式と同等の電圧制御ができ、 電圧制御に対する有効性を検 証。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2005)	PE-05-91 PSE-05-98	最適潮流パターン実現のための需要側電力貯蔵装置用制御エージェント	古川健太・佐々木直樹・斎藤浩海 (東北大学)	小規模電力貯蔵装置が配電システムに多数連系してきた将来の電力システムにおいて、その貯蔵装置を有効活用するための制御方法の一つとして、モバイルエージェントによる貯蔵装置の分散制御の方法を(SDC エージェントという貯蔵装置制御プログラムと SDM エージェントというモバイルエージェントの情報交換)を提案。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2005)	PE-05-93 PSE-05-100	需要家設置の電力貯蔵装置による配電システムの電圧適正化～協調運用のためのインセンティブに関する考察～	福田陽一・古澤健・杉原英治・辻毅一郎 (大阪大学)	電力貯蔵装置を導入する需要家に対して電気事業者が補助金を支払う代わりに、電気事業者は貯蔵装置の一部を配電システムの制御に利用できることを想定し、分散型電源が多数導入される配電システムにおける、電圧適正化の効果について評価を実施。

分散型電源側対策システム

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H11 電気学会電力・エネルギー部門大会 (1999)	115	太陽光発電用インバータの電圧上昇抑制機能が運転特性に与える影響について	山本文雄・松岡武彦・宮島勝利・本郷徹・松田弘・北村章夫(関西電力)	数社のガイドライン認証PVインバータに対し、無効電力および出力抑制制御の特性を実証試験を通して評価し、PVインバータの電圧上昇抑制機能の問題点を整理。
H12 年度日本太陽エネルギー学会講演論文 (2000)		太陽光発電システム複数台連系時における運転特性評価 - 電圧上昇抑制機能の検討 -	石川崇・黒川浩助(東京農工大学)・岡田有功・滝川清(電力中央研究所)	1 フィーダを想定した配電システムモデルに電圧上昇抑制機能を持ったPVシステムを複数台連系させた時の運転特性を解析。また、抑制機能の制御速度を変えて解析を行い、連系位置による制御量の差を低減する手法を検討。
H14 電気学会全国大会 (2002)	6-229	分散型電源を含む配電ネットワークでの自律分散型電圧制御	辻隆男・大山力(横浜国立大学)	ループコントローラを含む需要地システムを対象とし、限られた情報の中で、システムを構成する各運営者が自律的に情報をやり取りしながら解決を目指す、自律分散型制御の検討を実施。
電気学会研究会 - 電力技術・電力システム技術合同研究会 (2002)	PE-02-152 PSE-02-162	分散電源の自律制御による需要地システムの負荷平準化 ~ 電圧変動への影響 ~	奥山賢治・杉原英治・加藤丈佳・鈴置保雄(名古屋大学)・舟橋俊久(明電舎)	提案した負荷平準化を目的とした各分散電源の自律的な出力制御による電圧制御機器設置点の下流側の系統における電圧変動への影響を評価。また、電圧変動を抑制するために分散電源の出力を制限し、逆潮流電力を制限する場合について逆潮流電力の制限値と負荷平準化効果との関係を算定。
H14 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2002)	164	分散型電源の無効電力容量を活用した時の系統電圧維持効果	植村正隆・川田明・林重雄(関西電力)	横流補償を有する電圧制御運転時と力率100%の定力率運転時における末端電圧の変化を比較。横流補償付電圧制御運転を行うことにより、分散型電源の横流許容制限内において電圧制御能力を活用し、より良い電圧維持特性が得られることを確認。
明電舎 月電時報 (2003.No.5)	292	集中連系形太陽光発電システム実証研究	田邊隆之・北村清之・田中哲司(明電舎)	NEDO 公募事業「集中連系形太陽光発電システム実証研究」の実施計画と取組みについて概説。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	48	系統に導入された分散型電源の協調的な制御に関する検討	山本公宏・原亮一・大山力(横浜国立大学)	集中制御と自律分散制御の中間的な制御形態としてトークンを使った協調的な制御を提案し、ローカルな地域において各分散型電源の出力を制御可能であるかを経済的な要素も含めて検討。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2004)	PE-04-104 PSE-04-104	需要家設置の電力貯蔵装置と配電系統の協力システムに関する研究	福田陽一・古澤健・杉原栄治・辻毅一郎(大阪大学)	配電用変電所における送出電圧の調整も考慮した上で、需要家設置の電力貯蔵装置の電圧適正化への効果を検討。電力貯蔵装置の無効電力出力の制御により電力貯蔵装置を設置した母線のみではなく、他のフィードにも影響を与えることができることを確認。
電気学会研究会 - 電力系統技術研究会 (2004)	PSE-04-8	分散型電源による配電電圧制御の効果	菅原健作・石津正太・三島裕樹・佐藤泰司・奈良宏一(茨城大学)	多数の分散型電源の集中制御による配電電圧制御の効果をさまざまな条件のシミュレーションにより検討。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	415	分散型電源の自律分散制御による配電系統電圧制御効果	菅原健作・石津正太・三島裕樹・佐藤泰司・奈良宏一(茨城大学)	多数の分散型電源の自律分散制御による配電電圧制御の効果をさまざまな条件のシミュレーションにより検討。
電気学会研究会 - 電力系統技術研究会 (2004)	PSE-04-7	分散型電源の力率制御による配電系統の電圧調整効果	内山倫行・楯身優・大野康則・中村知治(日立製作所)・村上純一(エネルギー総合工学研究所)	住宅地域の配電系統に多数の太陽光発電システム(PV)が連系した場合を想定し、これらの力率を統合的に制御した時の受電点の電圧調整効果、及び配電線で生じる電力損失への影響についてシミュレーションにより検討。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	418	需要家設置の電力貯蔵装置と配電ネットワークの協力システムに関する基礎的研究 - 電圧適正化と配電損失低減効果 -	福田陽一・古澤健・杉原栄治・辻毅一郎(大阪大学)	需要家設置の電力貯蔵装置を用いた配電系統の電圧適正化と配電損失低減の効果を検討。無効電力出力だけではなく無効電力の出力を適度に調整することによって効果が大きくなるが、需要家に生じるデメリットも大きいことを確認。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	449	集中連系型太陽光発電システム実証研究におけるシステム運転性能の測定評価手法	植田 謙・大関 崇・黒川 浩助(東京農工大学)・伊藤 孝充・北村 清之(明電舎)・宮本 裕介・横田 昌治・杉原 裕征(関電工)	蓄電池付きPVシステムを出力抑制回避技術の一例として用いることにより、実証実験サイトに多数台連系されたPVシステムの運転特性の評価及び出力抑制回避機能の効果等を検証するために必要なデータ収集方法の検討と評価手法の開発、特にSophisticated Verification(SV)法を用いた損失分離を実施。
H16 電気学会全国大会 (2004)	7-036	集中連系型太陽光発電システム実証研究の概要	宮本 裕介・横田 昌治・西川 省吾・杉原 裕征(関電工)	NEDO 事業「集中連系型太陽光発電システム実証研究」の全体計画の概要を紹介。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	52	系統連系型太陽光発電システムにおける出力抑制による発電量損失の定量化手法	植田 謙・大関 崇・黒川 浩助(東京農工大学)・伊藤 孝充・北村 清之(明電舎)・宮本 裕介・横田 昌治・杉原 裕征(関電工)	住宅用PVシステムが配電系統に局所集中的に連系された場合に、懸念事項となる出力抑制機能による発電量の低下について、発電量の損失を定量的に評価できる手法を開発。今までの1時間値を基本とした評価手法では難しかった動作点が最大電力点からずれる事による損失を、1分値を用いてデータごとに動作点を推定し、抑制状態かどうかを判断する事により定量化。
H17 電気学会全国大会 (2005)	7-127	需要家設置の電力貯蔵装置による配電系統の電圧適正化に関する研究	福 田 陽 一・古 澤 健・杉 原 英 治・辻 毅 一 郎(大阪大学)	電力貯蔵装置を導入する需要家に対して電気事業者が補助金を支払う代わりに、電気事業者は貯蔵装置の一部を配電系統の制御に利用できることを想定し、分散型電源が多数導入される配電系統における、電圧適正化の効果について評価。
H17 電気学会全国大会 (2005)	7-023	小規模分散ネットワーク構成の太陽光発電システムにおけるオンライン電圧制御手法の検討	若 尾 真 治・田 邨 文 人・三 上 朋 之(早稲田大学)	分散ネットワークPVシステムにおいてシステム内電圧の適正範囲への維持、特に逆流時における電圧上昇の抑制を目指し、オンラインモニタリングに基づいた蓄電装置の充放電制御アルゴリズムを開発し、基礎的な検証実験を実施。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H17 電気学会全 国大会 (2005)	6-149	分散型電源の無 効電力制御によ る電圧制御効果	石津正太・三島裕 樹・佐藤泰司・奈 良宏一(茨城大 学)	地域に広がる多数のフィードがある場合に、特定のフィードに、多数の分散型電源が接続された場合について、分散型電源の電圧制御の効果を検証。
H17 電気学会全 国大会 (2005)	6-037	自端情報による 分散型電源の無 効電力分担制御 に関する実験的 検討	八太啓行・小林広 武(電力中央研究 所)	電圧上昇抑制制御時の分散型電源間の出力不均等化を防ぐため、自端情報による分散型電源間の無効電力分担制御手法を提案。この制御手法を実験的に検討し、有効性を確認。
H17 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2005)	171	自端情報による 分散型電源の無 効電力分担制御 の実証検討 - 適 用範囲の検討 -	八太啓行・小林広 武(電力中央研究 所)	分散型電源の電圧上昇抑制制御に起因する有効電力の不均等を改善するため、自端情報による無効電力分担手法について検討。
太陽/風力エネ ルギー講演論 文集 (2005)	53	配電システムの電圧 変動からみた分 散型電源の導入 可能性に関する 統計的評価	加藤丈佳・杉本寛 幸・鈴置保雄(名 古屋大学)	地域メッシュ統計データを用いて、1km×1kmの地域単位で分散型電源の最大導入可能量を算出し、電圧上昇との関係性を評価。その結果に基づき、需要家規模・構成およびこれに伴う分散型電源の導入容量が異なる11種類の配電システムモデルを構築し、分散型電源の導入潜在量について、その出力によって発生する電圧上昇によって評価。
H17 電気学会 論文誌 B (2005)	125-11	MPPT 制御の調整 による PV システ ム出力平準化の 経済性評価	加藤丈佳・伊奈信 彦・鈴置保雄(名 古屋大学)	MPPT(最大電力追従制御)において出力造花速度に上限を設けることによって出力を平準化することに着目し、経済性の観点から蓄電池を用いて平準化を行う場合との比較を実施。
H17 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2005)	106	需要家設置の電 力貯蔵装置	福田陽一・古澤 健・杉原英治・辻 毅一郎(大阪大 学)	需要家に電力貯蔵装置が導入される場合に、電気事業者が補助を与えてより大きな容量を導入させることで、配電系統内の電圧適正化に利用できる可能性について評価。試算の結果、需要家の負荷パターンによって効果が異なり、特に電圧制御の時間帯と負荷ピークの発生する時間帯が異なる需要家の場合には、従来より経済的に電圧変動を抑制することができることを示した。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2005)	PE-05-13 3 PSE-05-1 40	分散型電源による配電系統の電圧制御効果	石津正太・三島裕樹・佐藤泰司・奈良宏一 (茨城大学)	分散型電源を自律分散制御する場合に、無効電力に加え、有効電力も制御したときの電圧調整効果について基礎的な検討を実施。

(2) 実証研究に関連した個々の新技術に関する国内論文、文献

系統解析・シミュレーション手法

-1 系統解析・シミュレーション手法

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
富士時報 (1996)	69-3	系統解析技術の 現状と動向	伊原木永二郎・鈴 木智宏・中西要祐 (富士電機)	富士電機の系統解析技術を、コ ンピュータプログラムによる解 析技術と系統解析シミュレータ による解析技術の両面から概 括。
富士時報 (1996)	69-3	三相不平衡潮流 解析技術	福山良和・中西要 祐(富士電機)	近年電力系統の解析分野でトピ ックスとなっている三相不平衡 潮流解析技術について述べ、富 士電機の三相不平衡潮流計算プ ログラムについて概要を紹介。
電気学会研究 会 - 電力技術・ 電力系統技術 合同研究会 (1999)	PE-99-11 1 PSE-99-1 08	分散電源の連系 を考慮した配電 系統潮流計算用 機器モデルの開 発	藤根栄・元治崇・ 由良俊樹(関西電 力)・福山良和・ 渡辺拓也・中西要 祐(富士電機総 研)	分散電源が導入された場合の電 圧・電流分布を求める配電系統 向け高速潮流計算に対して、さ まざまな分散電源、電圧制御機 器、負荷等の実用的な配電機器 モデルを開発。各種モデルを利 用することにより、分散電源の 導入環境における実用的な定常 潮流解析が可能。各種モデルは、 実系統モデルを利用して有効性 を確認。
富士時報 (2001)	74-6	電力系統のアナ ログシミュレー ション技術	仁井真介(富士電 機)	最近の電力事情を踏まえなが ら、最新のアナログシミュレー ション技術について紹介。
富士時報 (2001)	74-12	分散型電源連系 系統の解析技術	中西要祐・小島武 彦・仁井真介(富 士電機)	分散型電源を考慮したより一層 効率のよい電力系統を構築す るために分散型電源連系時の課題 を整理。
H14 電気学会 論文誌 B (2002)	122-9	配電系統におけ るシミュレーシ ョン技術	中西要祐(富士電 機)	一般配電系統で発生する系統現 象を扱う最近の解析技術とし て、シミュレーションプログラ ムやシミュレータによる各種シ ミュレーション手法および、そ の適用に関して解説。
H14 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2002)	159	配電系統の電圧 無効電力制御の ための階層的 00-TS	森啓之・齊藤政人 (明治大学)	配電系統における電圧無効電力 制御問題に対し、新しい手法を 提案。階層的最適化を用いたタ ブサーチ(TS)に Ordinal Optimization法(00法)を用い ることで計算時間の高速化を図 る。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2002)	PE-02-155 PSE-02-165	配電系統の電圧無効電力制御への階層的 00-PTS	森啓之・齊藤政人 (明治大学)	配電系統の電圧無効電力制御に対し、階層的最適化手法を用いた並列タブサーチ (TS) に近傍探索の効率化を図った Ordinal Optimization Method (OO 法) を適用することによって計算時間の高速化を図る。
H14 電気学会論文誌 B (2002)	122-2	配電系統向け高速三相不平衡潮流計算用機器モデルの開発	大森俊也・元治崇・由良俊樹 (関西電力)・渡辺拓也・高山信一・福山良和 (富士電機)	分散電源が導入された場合の電圧・電流分布を求める配電系統向け高速三相不平衡潮流計算に対して、様々な分散電源、電圧制御機器、負荷等の実用的な配電機器モデルを開発。
富士時報 (2003)	76-4	分散型電源のシミュレーション技術	小島浩・中西要祐 (富士電機)	富士電機がこれまで培ってきた分散型電源についてのシミュレーション技術について紹介。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2003)	PE-03-149 PSE-03-160	系統への影響解析用インバータ型分散電源のモデル化について	須崎志郎 (関西電力)・小島浩 (富士電機)	INV 型分散電源に対してマイクロガスタービンモデル、太陽光発電モデル、燃料電池モデルを瞬時値解析モデルとして作成。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2004)	PE-04-100 PSE-04-100	配電系統キャパシタ配置問題への VN-TS の適用	角川真吾・森啓之 (明治大学)	配電系統のキャパシタ配置問題に対し、複数の近傍作成アルゴリズムの切り替えにより探索を行う可変近傍タブサーチ (VN-TS) を適用する手法を提案。
電気学会研究会 - 電力系統技術研究会 (2004)	PSE-04-1	配電系統向け三相潮流計算プログラム DPFLOW の開発	小柳薫 (テプコシステムズ)・H.D.Chiang (コーネル大学)	分散型電源を含む三相配電系統の電圧分布や各線路の潮流分析を計算するための解析ツール DPFLOW を開発。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	47	配電系統におけるキャパシタ制御に対する双対タブサーチの開発	飯村吉典・森啓之 (明治大学)	配電系統における電圧無効電力制御の一種であるキャパシタ制御問題に対し、新しいメタヒューリスティクスである双対タブサーチ (DTS : Dual Tabu Search) を提案。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	395	配電系統のキャパシタ配置問題への可変近傍タブサーチの適用	角川真吾・森啓之 (明治大学)	配電系統のキャパシタ配置問題に対し、複数の近傍作成アルゴリズムの切り替えにより探索を行う可変近傍タブサーチ (VN-TS) を適用する手法を提案。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	128	三相線返潮流計算手法の計算精度の評価	林泰弘・松木純也・大橋正芳(福井大学)・多田泰之(東京電力)	樹枝状システムに対して、負荷電流の足し込みと電圧降下の差し引きを繰り返す潮流計算手法(三相線返潮流計算手法)が従来の潮流計算手法(N-R法)と比べてどの程度の計算精度を有するのかを評価。評価にあたっては、20ノードの樹枝状システムモデル(配電システムモデル)での潮流計算を実施し、N-R法を用いた潮流計算結果と比較。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	130	風力発電の系統連系時の電圧変動に関する解析的手法	大崎聡志・根本孝七(東工大)・田中和幸・高橋一弘(電中研)	配電システムにおいて誘導発電機による風力発電を起因とする、需要家を得る電圧変動を解析的に算出する方法を提案。いわゆる確率潮流計算と簡略的な潮流計算手法を用いて、風力発電の出力である有効電力・無効電力を確率変数として扱い、これによって、電圧変動を解析的に算出。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	209	配電線システムの電圧解析手法	神部晃・桑原祐・佐藤徹(愛知電機)	配電システムに特化したより簡便で新しい解析手法を開発。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	429	分散型電源の連系許容出力範囲に関する基礎検討	林泰弘・松木純也・細川慎平(福井大学)・多田泰之(東京電力)	任意の時間における任意の系統連系点での分散型電源の連系許容出力限界を、系統運用上の制約を踏まえて計算する手法を提案し、「分散型電源の連系許容出力範囲」として、連系点での分散型電源の24時間分の出力許容範囲を提示。また、配電システムモデルでの数値計算を通して、提案手法と分散型電源の連系許容出力範囲の妥当性を検証。
H17 電気学会全国大会 (2005)	6-073	分散型電源の連系許容出力範囲の算出手法	細川慎平・林泰弘・松木純也(福井大学)・多田泰之(東京電力)	任意の時間における任意の系統連系点での分散型電源の連系許容出力限界を、系統運用上の制約を踏まえて計算する手法を提案し、「分散型電源の連系許容出力範囲」として連系点での分散型電源の24時間分の出力許容範囲を提示。また、配電システムモデルでの数値計算を通して、提案手法と分散型電源の連系許容出力範囲の妥当性を検証。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	104	ループ状配電系統潮流計算への三相線返潮流計算手法の適用	林泰弘・松木純也・細川慎平(福井大学)・多田泰之(東京電力)	ループ状配電系統の潮流計算を、三相線返潮流計算手法を用いて実施する方法について提案。また、ループ状配電系統モデル上での Newton-Raphson 法(N-R 法)との計算精度の比較を通して、提案方法の妥当性を検証。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	105	新規連系の分散型電源に対する連系許容出力範囲の評価	細川 慎平・林泰弘・松木純也(福井大学)・多田泰之(東京電力)	分散型電源が既に連系されている配電線において、新たに分散型電源を連系する際の連系許容出力範囲を既存分散型電源の出力変動を考慮したうえで評価できるように従来手法を拡張。さらに、この拡張手法を用いて、配電系統モデル上での新規連系分散型電源の連系許容出力範囲を評価。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	112	配電ネットワークの標準解析モデルの構築	川崎章司・林泰弘・松木純也(福井大学)・武藤英司・宮崎輝(東京電力)	負荷の三相不平衡や時刻による変動など、配電系統の実データ等に基づいた配電ネットワークの標準解析モデル(配電線モデルや負荷モデル)を構築。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	33	放射状配電系統における新しい電力潮流計算	大吉 亘・森啓之(明治大学)	新しい配電系統のための放射状電力潮流計算手法を提案。本法は DistFlow 法に比べて、ヤコビアン作成が容易、大規模な行列分解が不要、という特徴を持つ。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2005)	PE-05-99 PSE-05-1 06	放射状配電系統を対象とした電圧・潮流分布の簡略シミュレーション手法	小柳薫(テブコシステムズ)・佐藤大作・福田正樹(大阪ガス)	放射状構成の配電系統を対象に、電圧・潮流分布の静的及び動的シミュレーションのための取扱いの容易な簡略的解析手法を提案。また、その有用性を汎用の表計算ツール Excel を適用した潮流計算及び MATLAB/simulink を用いたダイナミックシミュレーションにより検証。

-2 状態推定手法

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
T. IEE Japan (2000)	120-B-12	実系統機器の特性を考慮した配電系統状態推定方式の検討	仲成規・藤根榮・元治崇・由良俊樹(関西電力)・福山良和・高山信一(富士電機総研)	現状の計測情報および非線形なモデルとなる配電系統における各種の系統機器の特性を考慮し、HPSO(Hybrid Particle Swarm Optimization)を用いた配電系統向け状態推定手法を提案。
H14 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2002)	158	電圧計測による配電線区間負荷推定方式	湧谷榮之・宮里健司(関西電力)・小坂葉子・市川量一・小林昭二・吉竹立輔・坂下寛憲(東芝)	実配電線において電圧振幅と位相計測値による区間負荷推定計算方式の検証試験を実施。提案方式の推定誤差平均は、全ての区間について現行方式と比較して小さくなることを確認。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2004)	PE-04-91 PSE-04-91	限られた観測情報に基づく配電系統状態推定手法の検討	渡辺雅浩・小村昭義・内山倫行(日立製作所)	配電電圧制御システムのキー技術の一つと考えられる配電系統状態推定手法のアルゴリズムについて検討し、状態推定プログラムを開発。
H17 電気学会全国大会 (2005)	7-126	分散型電源からの逆潮流を考慮した高圧配電線電圧負荷計算手法の検討	柴田道博(北海道電力)・伊藤孝充(明電舎)	分散型電源連系点で潮流計測を行うことを前提に、分散型電源からの逆潮流による電圧上昇が提案手法により適正に計算できるかどうかを、実配電線の実測値と比較して検証。
H17 電気学会全国大会 (2005)	6-163	限られた計測情報に基づく配電系統の電圧・潮流分布計算手法の検討	荻田能弘・兼重由美子(TMT&D)・田能村顕一(東芝)・石井淳之(東芝システムテクノロジー)	限られた計測情報を利用し系統全体の電圧・潮流状態を推定する計算手法を提案。また、区間負荷分布の違いや、計測誤差の計算誤差への影響についても検証。
H17 電気学会全国大会 (2005)	6-160	センサー開閉器を活用した配電系統の状態推定法	田中将・上村敏・小林広武(電中研)	センサー開閉器の情報を有効に活用し、電圧管理のベースとなる配電系統の状態推定手法について検討。
IEEJ Trans. PE (2005)	125-10	計測情報を利用した配電系統の電圧・潮流分布状態計算手法	田能村顕一・荻田能弘・兼重由美子・荒井純一(東芝電力・社会システム社)・石井淳之(東芝システムテクノロジー)	配電系統に設置された計測器付開閉器で計測された情報を利用し、現状では把握できていない電圧・潮流分布を計算するための手法を提案。基本的な配電系統モデルを用いた提案手法の検証および区間負荷分布の違い、配電線インピーダンス誤差や計測誤差の計算精度への影響について検討。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H17 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2005)	103	配電系統向け状 態推定手法の実 測評価	志岐仁史(九州電 力)・高浪隆(キ ューキ)・小島浩 (富士電機シス テムズ)	センサ SW (センサ内蔵開閉器) 計測データを用いた配電系統の 状態推定手法を検討し、実配電 線データ及び実測値を用いたシ ミュレーションによりその有効 性を検証。また、初期値の算出 方法や計測誤差の影響について も検討。

-3 系統解析運用システム

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
日立評論 (2000.4)	82-4	新制御自励式 SVC の適用による配 電系統安定化技 術	高杉和郎・唯野幸 雄(東北電力)・ 平井義浩(東北電 機製造)・渡辺雅 浩・相澤英俊(日 立製作所)	既設の SVR との補償分担が可能 で、効果的な電圧管理が行える 「新制御方式 SVC」を開発し、 実証試験で良好な結果を得た。 さらに、SVC の導入効果をパソ コンで簡単に検証できる配電線 の電圧変動解析支援システムを 併せて開発、実証試験結果との 突き合わせによりその妥当性を 検証。
H13 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2001)	274	電力品質解析支 援システムの開 発(1)-システム 概要-	武藤英司(東京電 力)・安川三郎・指 田丈二・渡辺雅浩 (日立製作所)	分散型電源の系統連系時の電力 品質(電圧変動・フリッカ値な ど)の影響が把握でき、改善策 検討の効率化・高度化が可能と なる電力品質解析支援システ ムを開発。
H14 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2002)	245	分散型電源接続 可能容量計算を 考慮した配電系 統電圧変動解析 支援システムの 高度化	佐藤文彦・唯野幸 雄・平野伸一郎 (東北電力)・坪 江康弘・平井義浩 (東北電機製 造)・渡辺雅浩(日 立製作所)	常時・瞬時電圧変動、短絡電流等 の電力品質に関わる項目の解析 を可能とし、またこれらの項目 を考慮した分散型電源の接続可 能容量を容易に計算できる解析 支援機能のアルゴリズム、シス テム概要について報告。
H14 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2002)	162	20kV 配電系統解 析支援システ ムの機能向上	本橋準・小玉剛 (東京電力)・渡 辺雅浩・安川三 郎・指田丈二(日 立)	(1)電圧階級に応じた配電塔な どの機器モデルの拡充、(2) SNW、本予備混在系統での需 要家逆電力遮断を考慮した 限界需要率算出機能、(3) 低圧連系を想定したループ 横流計算機能、(4)システ ム計算結果と系統入力情報 を元にした短絡電流計算書 の自動生成機能、の各機能 を開発・システム化。 (2)
H15 電気設備学 会全国大会 (2003)	G-12	確率的評価方法 を用いた低圧配 電系統解析シ ステムの開発	和田勝・平野伸一 郎(東北電力)・ 平井義浩(東北 電機製造)・古川 俊行(日立製作 所)	低圧配電系統の影響を的確に評 価できる配電系統解析支援シ ステムの概要、日負荷モデルの確 率的評価方法について報告。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H15 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2003)	148	分散型電源の接続可能容量計算システムの開発	平野伸一郎・安孫子堅二(東北電力)・坪江康弘・平井義浩(東北電機製造)・渡辺雅浩(日立製作所)	分散型電源の接続可能容量計算の詳細アルゴリズム、例題システムによる計算収束過程の評価、システム概要について報告。
日立評論 (2004.2)	86-2	分散型電源の系統連系技術	渡辺雅浩・中村知治・大野康則・島村秀彦(日立製作所)	分散型電源の的確な運用システムを試作し、リアルタイムシミュレータと組み合わせて有効性を検証。予測に基づく発電機の有効・無効電力の最適な制御が行えることを確認。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	428	分散型電源からの逆潮流を考慮した電圧負荷計算手法の検討	柴田道博(北海道電力)・伊藤孝充(明電舎)	分散型電源連系点や配電線路途中で潮流計測を実施した場合を想定し、分散型電源からの逆潮流などによる電圧上昇を考慮した計算手法について検討。
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	450	太陽光発電の複数台連系時における出力評価システムの開発	和田勝・平野伸一郎(東北電力)・松田勝弘(電中研)・平井義浩・坪江康弘(東北電機製造)・古川俊行・渡辺雅浩(日立製作所)	低圧配電系統に複数台の太陽光発電を連系した際の発電出力を定量的に評価できるシステムを開発。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2004)	PE-04-89 PSE-04-89	太陽光発電の複数台連系に対応した低圧系統解析システムの開発	和田勝・平野伸一郎(東北電力)・松田勝弘(電中研)・平井義浩・坪江康弘(東北電機製造)・古川俊行・渡辺雅浩(日立製作所)	低圧配電系統に多数台の太陽光発電を連系した際の個々の発電出力を定量的に評価できるシステムを開発。
H16 電気設備学会全国大会 (2004)	F-3	太陽光発電の複数台連系時における出力評価手法の検討	和田勝・平野伸一郎(東北電力)・平井義浩(東北電機製造)・古川俊行・渡辺雅浩(日立製作所)	低圧配電系統に太陽光発電を複数台連系時の出力評価方式について検討。太陽光発電の複数台連系により、末端に連系した太陽光発電設備の出力が影響を受けることを確認。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
電気評論 (2005.1)		配電系統解析システムの開発	中国電力	分散型電源が連系した配電系統の各種検討を支援するための配電系統解析システムを開発した。システムは現在運用中の配電自動化システムと LAN で結ばれた汎用パソコンに組み込み、電圧電流解析、電圧調整機器の整定解析、フリッカ解析、短絡電流解析、ループ潮流解析、低圧系統解析を実施することができる。
電気評論 (2005.1)		系統連系技術検討支援システムの開発	北海道電力	配電設備管理用の業務システムの出力データを活用した技術検討支援ツールを開発した。本システムにより電力容量、電気方式、力率、バンク逆潮流、常時電圧変動、瞬時電圧変動、フリッカ、短絡容量の検討を実施することができる。
電気評論 (2005.1)		低圧系統解析システムの開発	東北電力	太陽光発電の低圧連系の評価を定量的に実施可能な低圧系統解析システムを開発した。本システムにより、常時電圧変動、瞬時電圧変動、不平衡率、連系可能容量、電力損失、発電電力量の解析を実施することができる。
第 21 回エネルギーシステム・経済・環境コンプレックス講演論文集 (2005)	4-4	集中型太陽光発電に対応した低圧配電系統解析システムの開発	松田勝弘・和田勝・平野伸一郎（東北電力）・平井義浩・（東北電機製造）・古川俊行・渡辺雅浩（日立製作所）	低圧配電系統に集中的に太陽光発電を連系したときの配電系統の電圧、太陽光発電の発電出力を定量的に評価できる低圧配電系統解析システムを開発。
H17 電気学会全国大会 (2005)	7-125	配電自動化システムを活用した太陽光発電出力評価システムの検討	和田勝・平野伸一郎（東北電力）・松田勝弘（電中研）・平井義浩・坪江康弘（東北電機製造）・古川俊行・渡辺雅浩（日立製作所）	配電自動化システムの併設機能である設備計画支援システムの保有系統電圧データ等を活用して、対象低圧バンクの高圧一次側到達電圧モデルの高精度化と低圧配電系統の同一バンク内に多数台の太陽光発電を連系した際の個々の発電出力を定量的に評価できる機能について報告。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H17 電気学会全 国大会 (2005)	6-074	分散型電源系統 連系技術検討支 援システムの開 発	柴田道博・大松洋 一・富士重之(北 海道電力)・伊藤 孝充(明電舎)	分散型電源が高圧配電線に連系 する際の技術検討支援システム を開発。膨大な設備データの入 力作業を省力化し、連系要件の 技術検討を容易化。
H17 電気設備学 会全国大会 (2005)	B-10	配電自動化シス テムを活用した 太陽光発電出力 評価システムの 開発	和田勝・松田勝 弘・渡辺亮人(東 北電力)・平井義 浩(東北電機製 造)・古川俊行・渡 辺雅浩(日立製作 所)	「分散型電源を含む低圧系統解 析システム」の精度に大きく影 響を与える柱上変圧器一次側電 圧入力値に、配電自動化システ ム等の計測データを活用し、低 圧配電系統に多数台の太陽光発 電を連系した際の発電出力を定 量的に評価できるシステムを改 良開発。
H17 電気学会 論文誌B (2005)	125-10	低圧配電系統解 析システムの開 発	松田勝弘・和田 勝・平野伸一郎 (東北電力)・平 井義浩・坪江康弘 (東北電機製 造)・渡辺雅浩・古 川俊行(日立製作 所)	太陽光発電等の分散型電源が多 数台連系された場合に、低圧配 電系統への影響を的確に把握で き、系統連系申込時の技術審査 業務や配電設備設計業務を支援 できる低圧配電系統解析システ ムを開発。
H17 電気学会電 力・エネルギー 部門大会 (2005)	34	系統解析業務に 則した電力系統 解析支援システ ムの開発 - 系統 データ作成支援 機能と需給断面 自動作成支援機 能 -	吉村健司・北内義 弘・永田真幸・田 中和幸(電中研)	系統解析業務に則した各種デー タ作成支援システムとして、3 機能(電力系統データ作成・ 管理支援、発電機特性チェッ ク支援、需給断面データ自動 作成支援)を開発。
電気学会研究 会 - 電力技術・ 電力系統技術 合同研究会 (2005)	PE-05-94 PSE-05-1 01	太陽光発電の確 率的モデルを導 入した電力貯蔵 装置の最適ネッ トワーク配置	矢口暁久・斎藤浩 海(東北大学)	太陽光発電の確率的モデルを導 入したモンテカルロシミュレー ションを用い、分散配置された 各貯蔵装置の最適出力容量や貯 蔵容量を求めることで最適配置 を決定する手法を提案。
電気学会研究 会 - 電力技術・ 電力系統技術 合同研究会 (2005)	PE-05-95 PSE-05-1 02	多数台導入され た太陽光発電に 関する最大出力 変動幅の一推定 法	村田晃伸・山口浩 (産総研)	多数台導入された太陽光発電の 最大出力変動幅を推定するため に、一定の時間差を隔てた2時 点における太陽光発電出力の差 を確率変数と見なして解析を実 施。

保護制御システム

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	433	配電用変電所用保護制御システムの開発	小島正道・竹内元治(中部電力)・武田卓・鈴木聖二・山岸耕司(愛知電機)・井上泰典・南裕二(TMT&D)	電子・情報通信関連の新技术を取り入れ、経済性を考慮した新しい配電用変電所保護制御システムについて共同研究を行い、システムの基本仕様をまとめ、新しい保護制御システムを開発。

自動化システム

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2004)	394	配変負荷融通を考慮した地域供給システムの供給支障解消	高野浩貴・林泰弘・松木純也(福井大学)	地域供給システムの負荷の一部が配変負荷であることに着目し、地域供給システムの系統操作では解消できない供給支障が発生した場合に、配変負荷融通を考慮することで供給支障を解消する手法を提案。また、実規模システムモデル上での数値計算を通して、提案手法の妥当性を検証。
電気学会研究会 - 電力技術・電力系統技術合同研究会 (2004)	PE-04-96 PSE-04-96	地域供給システムの設備拡充の繰り延べを目的とした配変負荷制御	高野浩貴・林泰弘・松木純也(福井大学)	配電負荷制御を考慮した地域供給システムの供給支障を解消する手法を提案。また、提案手法の妥当性を検証するために、実規模システムモデル上で数値計算を行った。
H17 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2005)	107	3分割3連系配電ネットワークにおける配電損失最小構成決定手法	林泰弘・松木純也・高野浩貴・小田宜典(福井大学)・武藤英司・小林直樹(東京電力)	系統運用制約(線路容量制約、電圧降下制約、放射状構成制約、3分割制約)に基づいて、取り扱う構成候補数を段階的に削減しながら、3分割3連系配電ネットワークの配電損失最小構成を列挙法で厳密に決定する手法を提案。

計測（センサー）・通信システム

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H15 電気学会 電力・エネルギー 一部門大会 (2003)	257	光遠制システム 停電補償用電池 の開発	足立和之・柴田裕 之・石橋弘次（九 州電力）・田島英 彦・藤岡祐一・橋 本 勉・今坂功二 （三菱重工業）	九州電力総合研究所で電力貯蔵 や電気自動車用に開発を進めて いるリチウムイオン電池の構成 材料を一部変更して、耐圧高温 環境特性や保存劣化特性を向上 させた電池を開発。
H15 電気学会 電力・エネルギー 一部門大会 (2003)	158	光 IP 通信方式の 開閉器遠制への 適用	東誠二・石橋弘次 （九州電力）・ 佐々木浩幸（キュ ーキ）・荒巻裕治 （ニシム電子工 業）・野口昭弘（戸 上電機製作所）・ 吉田宏志（西日本 電線）・齊藤英二 （大電）	今後の更なる配電業務の高度 化、都市部に布設が整ってきた 光ファイバーケーブルの利用、 及び PC 遠制方式の劣化に対応 するため、大容量・高速伝送が可 能な光ネットワークと IP 通信 方式を適用した次世代遠制シス テムを開発し、実証試験を行っ た。
H16 電気学会 電力・エネルギー 一部門大会 (2004)	278	多地点リアルタ イム電力品質管 理システムの開 発	星野幸雄・高木輝 夫・小川重明・前 田康至（中部電 力）・徐有恒・橋本 通孝（近計システ ム）	送配電用変電所の電力品質監 視、及び顧客の電力品質監視、 電力設備の監視も視野に入れ た、高精度かつ安価で多地点同 時測定可能な電力品質の監視・ 管理システムを試作・開発。
H16 電気学会 電力・エネルギー 一部門大会 (2004)	464	光遠制システム 停電補償用電池 の開発	足立和之・柴田裕 之・石橋弘次（九 州電力）・田島英 彦・藤岡祐一・橋 本 勉・今坂功二 （三菱重工業）	九州電力総合研究所と三菱重工 業と共同で、耐高温環境特性や 保存劣化特性を向上させたリチ ウムイオン電池を開発し評価。
H16 電気学会 電力・エネルギー 一部門大会 (2004)	435	光 IP 通信方式の 開閉器遠制への 適用（第二報）	東誠二・石橋弘次 （九州電力）・ 佐々木浩幸（キュ ーキ）・荒巻裕治 （ニシム電子工 業）・野口昭弘（戸 上電機製作所）・ 吉田宏志（西日本 電線）・齊藤英二 （大電）	今後の更なる配電業務の高度 化、都市部に布設が整ってきた 光ファイバーの利用、及びメタ ルケーブル伝送による現行パル スコード（PC）遠制方式の経年 劣化に対応するため、大容量・ 高速通信が可能な光ネットワ ークと IP 通信方式を適用した次 世代遠制システムを開発中。実 フィールドへの適用に向けて試 作機器の改良及び各種高度化対 応機能の検証を行った。

学会 技術誌名	No.	題 目	著 者	概 要
H17 電気学会 電力・エネルギー 一部門大会 (2005)	123	光 IP 通信方式の 開閉器遠制への 適用 (第三報)	東誠二・石橋弘次 (九州電力)・ 佐々木浩幸(キュ ーキ)・荒巻裕治 (ニシム電子工 業)・野口昭弘(戸 上電機製作所)・ 吉田宏志(西日本 電線)・齊藤英二 (大電)	今後の更なる配電業務の高度 化、都市部に布設が整ってきた 光ファイバーの利用、及びメタ ルケーブル伝送による現行パル スコード(PC)遠制方式の経年 劣化に対応するため、大容量・ 高速通信が可能な光ネットワー クと IP 通信方式を適用した次 世代遠制システムを開発中。実 フィールド試験において、実用 化レベルの性能を確認。
電気評論 (2005.1)		潮流計測システ ムの開発	北海道電力	分散型電源連系における潮流把 握の困難化の対策として、配電 系統途中に設置する潮流計測装 置を開発した。本装置により線 間電圧、3 相平均電流、電力位 相角の計測が可能となった。
電気評論 (2005.1)		光 IP システムの 開発 - 計測要素 の拡充	九州電力	配電線途中の電圧、電流、電力、 その他(力率、相間位相差、潮 流方向)を計測し、相判別、断 線検出、地絡相判定、波形デー タの伝送が可能なシステムを開 発した。

3.2.2 個別技術開発

個別技術開発においては、国内の類似した対策機器・システムに関する技術動向について、文献・ヒヤリング調査した。また、調査結果を体系的に整理し、各対策機器を制御性、運用性、信頼性、経済性の観点から比較した。

(対象機器)

配電系統で、分散型電源多連系による電圧上昇対策に適用が考えられる機器、システム

(調査範囲)

電気学会資料(論文誌、各種大会(全国大会、部門大会、研究会)予稿集、技術報告書)、電協研報告書、関連企業(機器開発メーカー、電力会社)の資料(技術開発情報雑誌、ホームページ掲載資料)、電気工学ハンドブック等の各種技術書等の各種文献と各機器の開発メーカーへのヒヤリング

(1) 抽出した機器及びその体系化

抽出した対策機器・システムを下表に示す。対策機器は、配電系統の適用箇所、調整原理、機器、方式で体系化し整理した。

表 配電系統の電圧調整を目的とした機器・システム一覧

【対策機器】

適用箇所	調整原理	機器名	方式・種類	
変電所送出	変圧比	LRT	プログラムコントロール方式	
			LDC方式	
高圧系統	変圧比	SVR	一般型	
			逆送切換型	
			分散型電源対応型	
		TVR		
	無効電力出力		SC/SR	タイマー式
				電圧式 (SCC)
				電圧式 (SSR)
			SVC(他励式)	磁束制御型可変リアクトル
				TCR(HVCなど)
				TSC
	無効電力出力 潮流制御		SVC(自励式)・STATCOM・SVG	SVR協調型
				SSSC
UPFC				
	自励式BTB	LBC		
低圧系統	変圧比	柱上変圧器	固定タップ型	
			自動タップ型(電圧維持管理装置など)	
		バランサ		
	LVR			
無効電力出力		SVG		

【対策システム】

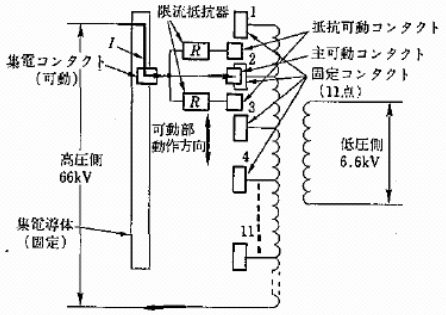
適用箇所	制御方法	システム名	方式・種類
配電系統	遠隔制御	集中制御	集中型電圧制御方式
			高圧配電線電圧管理システム
			センサー情報に基づく送出し電圧制御方式
	自端制御	自律制御	マルチエージェントシステム

(2) 対策機器・システム毎の技術動向整理

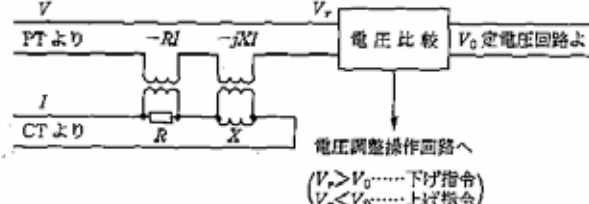
抽出した対策機器の具体的技術動向調査結果を以下に記す。各機器の技術動向は、概要(原理、制御方法等)、技術動向、他の機器と比較した得失、実系統適用状況、参考文献リストに分けて記載した。

各機器の技術動向


(LRT - プログラムコントロール方式)

適用箇所	調整原理	機器	方式
変電所送出	変圧比	負荷時タップ切換変圧器 (LRT : Load Ratio Transformer)	プログラム調整方式 (プログラムコントロール方式、またはプロコン方式)
概要		<ul style="list-style-type: none"> 負荷時タップ切換器 (LTC : Load Tap Changer) を付属した配電用変圧器 (LRT) により、配電用変圧器のタップを無停電で調整し、二次側母線電圧を目標電圧に維持する。^{*1} LRT のタップ間隔は 1.25% ~ 2.0% (約 80V ~ 130V)、タップ数は 17 タップのものが多く、タップ切換え器の寿命 (約 20 万回以上) を考慮して、不感帯を設けている。(約 1% ~ 2%) プログラム調整方式は、あらかじめ想定される負荷曲線に対する適正な目標電圧を時刻別に想定し、基本的には重負荷時は高く、軽負荷時は低くなるように、二次側母線電圧の目標電圧をタイムリレーで設定する方式。^{*2} 	 <p>負荷時タップ切換器接続概念図^{*1}</p>
技術動向		<ul style="list-style-type: none"> LRT は、昭和 30 年代に仕様が統一されて^{*3}以来、機器の構造等に大きな変化は見られない。 配電線途中に設置する機器については、SVC など高速性を有する機器が開発されているが、LRT に関してはその動向は見受けられない。 但し、近年の分散型電源の普及に伴い、精度の高い目標電圧の設定を目的とした最適送出し目標電圧決定手法の研究^{*4}や、配電系統に複数台分散設置されたセンサー情報を基に配電用変圧器 (LRT) のタップを直接自動制御する遠隔制御方式の研究が行われている。^{*5} 	
得失		<ul style="list-style-type: none"> 配電系統全体の電圧に影響を与える重要な調整箇所と言える。 当該バンクの負荷曲線が一定の期間 (数ヶ月程度) 変化がない場合は LDC 方式と差異はないが、当該バンクの負荷曲線が一定の期間 (数ヶ月程度) 変化がある場合は、バンクの負荷電流を基に調整を行う LDC 方式の方が精度の高い制御を行う。 分散型電源による逆潮流に応じた制御はできない。(LDC 方式も同様) 	
実系統適用状況		<ul style="list-style-type: none"> 数電力会社で採用されている。また、LDC 方式と併用方式 (LDC 方式のみでは電圧維持困難な時間帯をプログラム調整方式に切り替えるなどの方式) で採用している電力会社もある。 LRT は全電力会社で採用している。 	
参考文献		<ul style="list-style-type: none"> *1 電気設備の基礎技術 (電路・システム編) 電気設備学会 *2 電気工学ハンドブック (第 6 版) 電気学会 *3 電気協同研究第 24 巻第 4 号「配電線の電圧調整と管理」 *4 林他「分散型電源が連系された配電系統における最適送出し電圧決定手法」H16 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会 PE-04-85 *5 吉永他「配電系統における集中型電圧制御方式の開発」H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 30 	

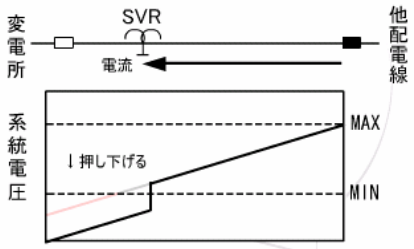
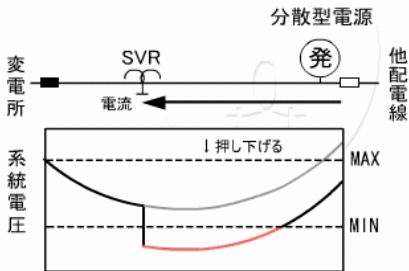
各機器の技術動向
(LRT - LDC 方式)

適用箇所	調整原理	機器	方式
変電所送出	変圧比	負荷時タップ切換変圧器 (LRT : Load Ratio Transformer)	LDC 方式 (線路電圧降下補償装置方式、LDC : Line Voltage Drop Compensator)
概要	<ul style="list-style-type: none"> 負荷時タップ切換器 (LTC : Load Tap Changer) を付属した配電用変圧器 (LRT) により、配電用変圧器のタップを無停電で調整し、二次側母線電圧を目標電圧に維持する。^{*1} LRT のタップ間隔は 1.25% ~ 2.0% (約 80V ~ 130V)、タップ数は 17 タップのものが多く、タップ切換え器の寿命 (約 20 万回以上) を考慮して、不感帯を設けている。(約 1% ~ 2%) LDC 方式は、実際の線路電圧降下を模擬した量を取り出し、これを保証する電圧調整を行うもので、補償点の電圧が一定になるように制御を行う方式。すなわち、変電所送出電圧を V、線路電流を I、補償点までの線路インピーダンスを $R+jX$ として、補償点の電圧 V_r を求めれば、 $V_r = V - (R+jX) I$ この V_r を一定値 V_0 に保つようには $V_r - V_0 = 0$ の制御を行うことを意味している。^{*2} 	 <p>LDC の結線図^{*2}</p>	
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> LRT は、昭和 30 年代に仕様が統一されて^{*3}以来、機器の構造等に大きな変化は見られない。 配電線途中に設置する機器については、SVC など高速性を有する機器が開発されているが、LRT に関してはその動向は見受けられない。 但し、近年の分散型電源の普及に伴い、精度の高い LDC の設定を目的とした LDC 整定値 (R、X) 計算システムの開発^{*4}や、配電系統に複数台分散設置されたセンサー情報を基に配電用変圧器 (LRT) のタップを直接自動制御する遠隔制御方式の研究が行われている。^{*5} 		
得失	<ul style="list-style-type: none"> 配電系統全体の電圧に影響を与える重要な調整箇所と言える。 当該バンクの負荷曲線が一定の期間 (数ヶ月程度) 変化がない場合はプロコン方式と差異はないが、当該バンクの負荷曲線が一定の期間 (数ヶ月程度) 変化がある場合は、バンクの負荷電流を基に調整を行う LDC 方式の方が精度の高い制御を行う。 変電所送出箇所での電圧、負荷電流に基づく制御を行うことから、分散型電源による逆潮流に応じた制御はできない。(プロコン方式も同様) 制御を行うための電圧、電流の計測を 3 相の全てを実施していないことから、自端制御を行う場合、3 相全てを計測している機器 (例えば SVC など) との協調動作が難しくなることがある。(特に 3 相アンバランスがある配電線など) 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 数電力会社で採用されている。 LRT は全電力会社で採用している。 		
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> *1 電気設備の基礎技術 (電路・システム編) 電気設備学会 *2 電気工学ハンドブック (第 6 版) 電気学会 *3 電気協同研究第 24 巻第 4 号「配電線の電圧調整と管理」 *4 電気評論 2005. 1pp197 *5 吉永他「配電系統における集中型電圧制御方式の開発」H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 30 		

各機器の技術動向
(SVR - 一般型)

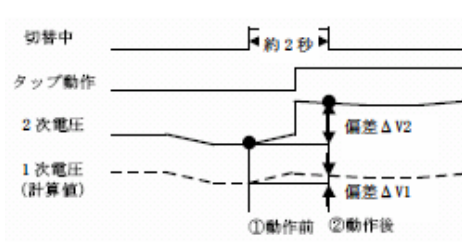
適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	変圧比	ステップ式自動電圧調整器 (SVR : Step Voltage Regulator)	一般型
概要	<ul style="list-style-type: none"> 単巻変圧器と負荷時タップ切換器、及びLDC制御回路を同一のケースに組み込んだ構造。 高圧配電線に単巻変圧器を直列に接続し、単巻変圧器のタップを無停電で調整し、SVRの二次側電圧を目標電圧に維持する。 SVRのタップ間隔は1.25%~2.5%(約80V~160V)、タップ数は4~9タップが一般的であり、タップ切換器の寿命(約20万回)を考慮して、不感帯を設けている。(約1.5%~2.5%)*1 LDC制御回路により、実際の線路電圧降下を模擬した量を取り出し、これを保証する電圧調整を行い、補償点の電圧が一定になるように制御を行う。応答速度は45秒~180秒が一般的である。 		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> 線路途中に施設されるものであることから、用地確保の観点から小型・軽量であることが望ましい。従って、従来のH(2本)柱による設置から、単(1本)柱による設置が可能なものが開発、実用化されている。*2、*3 また、メンテナンス(保守・点検)の簡素化を図るため、タップ切換器に真空バルブを採用し、絶縁油の汚損を低減したものが開発、実用化されている。*4 高速応答性を有するSVR(TVR: Thyristor Voltage Regulator)が開発され、実系統で有効性が検証されている。*5(詳細:各機器の技術動向(TVR)に記載) 近年、無停電工事の進展により系統変更時の逆潮流に対応した逆送切換型*4、系統変更や分散型電源連系による逆潮流に対応した分散型電源対応型が開発、実用化されている。*6(詳細:各機器の技術動向(SVR-逆送切換型)各機器の技術動向(SVR-分散型電源対応型)に記載) 		 <p>単柱設置されたSVRの装柱例*2</p>
得失	<ul style="list-style-type: none"> 高圧系統に適用される他の対策機器と比較した場合、高速応答性に劣る、直列機器のため故障による影響が大きい等のデメリットはあるものの、応答性を有する機器に比べ低コスト、半導体機器を用いず、数十年の実系統適用実績による高信頼性のメリットがあると言える。 一般型は、系統変更や分散型電源連系による逆潮流に対応できない。 制御を行うための電圧、電流の計測を3相の全てを実施していないことから、自端制御を行う場合、3相全てを計測している機器(例えばSVCなど)との協調動作が難しくなることがある。(特に3相アンバランスがある配電線など) 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 近年、改良型のSVR(逆送切換型SVR、分散型電源対応型SVRなど)が普及しつつあるが、依然一般型のSVRも、実系統で適用されている。 		
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> *1 電気協同研究第24巻第4号「配電線の電圧調整と管理」 *2 四変テック(株)ホームページ *3 北陸電気製造(株)ホームページ *4 愛知電機(株)ホームページ *5 佐々木他「高速応答を可能にしたTVRとその実証試験」電気学会論文誌B123-9PP1105~1111 *6 平野他「分散型電源に対応した新制御方式SVRの実証試験結果」H15電気学会全国大会6-185 		

各機器の技術動向
(SVR - 逆送切換型)

適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	変圧比	ステップ式自動電圧調整器 (SVR : Step Voltage Regulator)	逆送切換型
概要	<ul style="list-style-type: none"> 逆送切換型の SVR は基本的には一般型の SVR と同一の構造。 近年、無停電工事の進展により系統変更が頻繁に行われるようになった。しかし、一般型の SVR を設置した配電線では、系統変更時、SVR の電源側の電圧を押し下げる現象が問題となった。 そこで、一般型の SVR に逆流検出装置を付加し、自動的に指定タップ(一般的には素通し(4番)タップまたは1番タップ)に切り換わる制御機能とした。 <div style="text-align: center;">  <p>系統変更による逆送時の一般型 SVR の動作概念図^{*1}</p> </div>		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> 小型・軽量化、メンテナンス簡素化、高速応答性に関する技術動向は、一般型 SVR の動向と同様。 近年、分散型電源連系による逆潮流に対応した分散型電源対応型が開発、実用化されている。^{*1、2}(詳細：各機器の技術動向(SVR-分散型電源対応型)に記載) 		
得失	<ul style="list-style-type: none"> 高圧系統に適用される他の対策機器と比較した場合、高速応答性に劣る、直列機器のため故障による影響が大きい等のデメリットはあるものの、応答性を有する機器に比べ低コスト、半導体機器を用いず、数十年の実系統適用実績による高信頼性のメリットがあると言える。 逆送切換型は、分散型電源連系による逆潮流が発生した場合、SVR の負荷側を押し下げることになることから、分散型電源連系による逆潮流に対応できない。 <div style="text-align: center;">  <p>分散型電源連系による逆潮流時の逆送対応型 SVR の動作概念図^{*1}</p> </div>		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 逆送対応型の SVR が現在の実系統では主流となっていると考えられる。 		
参考文献	<p>*1 東京電力ホームページ *2 平野他「分散型電源に対応した新制御方式 SVR の実証試験結果」H15 電気学会全国大会 6-185</p>		

各機器の技術動向
(SVR - 分散型電源対応型)

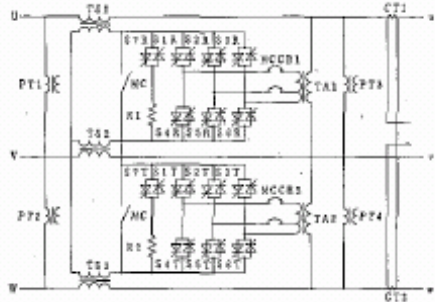
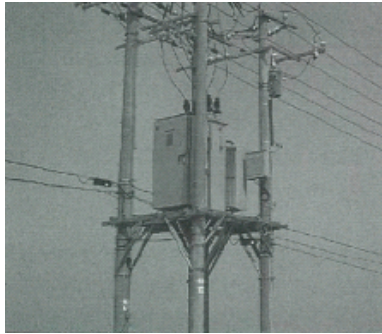
適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	変圧比	ステップ式自動電圧調整器 (SVR : Step Voltage Regulator)	分散型電源対応型
概要	<ul style="list-style-type: none"> 分散型電源対応型のSVRは基本的には一般型、逆送対応型のSVRと同一の構造。 近年、無停電工事の進展による系統変更の実施、及び将来、分散型電源の配電系統への多連系による逆潮流が懸念されるようになった。しかし、一般型のSVRでは、系統変更時、SVRの電源側の電圧を押し下げる現象が発生し、これを改善した逆送対応型のSVRは、分散型電源連系による逆潮流が発生した場合、SVRの負荷側を押し下げる現象が発生する。^{*1} そこで、系統変更による逆潮流と分散型電源連系による逆潮流を識別可能な種々の分散型電源対応型SVRが開発されてきている。^{*1、2、3、4} 		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> 小型・軽量化、メンテナンス簡素化、高速応答性に関する技術動向は、一般型SVRの動向と同様。 分散型電源対応型SVRは大きく以下の3つのタイプが開発されている。 <ol style="list-style-type: none"> 電圧変化検出型^{*1、2} <ul style="list-style-type: none"> 系統変更による逆潮流と分散型電源連系による逆潮流を識別をタップ切換前後の1次側、2次側の電圧変化量 (V_1、V_2) により行う。 $V_1 - V_2 < 0$ の場合は、1次側が無限大母線（変電所側）と判断し、逆潮流の発生原因を分散型電源と判断する。また、$V_1 - V_2 > 0$ の場合は、2次側が無限大母線（変電所側）と判断し、逆潮流の発生原因を系統変更と判断する。 インピーダンス検出型^{*3} <ul style="list-style-type: none"> 系統状態の変化に伴う1次側、2次側電圧、電流変化分から背後インピーダンス (Z_1、Z_2) を算出し、$Z_1 < Z_2$ の場合、1次側が無限大母線（変電所側）と判断し、逆潮流の発生原因を分散型電源と判断する。また、$Z_1 > Z_2$ の場合、2次側が無限大母線（変電所側）と判断し、逆潮流の発生原因を系統変更と判断する。 自動化システム活用型^{*4} <ul style="list-style-type: none"> 自動化システムから系統変更（開閉器操作）処理情報をSVRに送信することで、SVRが系統変更による逆潮流と分散型電源連系による逆潮流を識別を行う。 電圧変化型は、不適正なタップ切換を1回は実施する必要があること、インピーダンス型は素通しタップ時の判定が困難なことなどから、今後は自動化システム活用型との併用型が指向されると予想される。 		
得失	<ul style="list-style-type: none"> コスト面、信頼性の面でのメリットは一般型SVRと同様。 他のSVRと比較し、系統変更、分散型電源多連系にもある程度、対応可能である。 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 実系統での実証を目的に数電力会社で試験適用されている。 		
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> *1 東京電力ホームページ *2 佐々木他「新型SVRの開発～分散型電源に対応した電圧調整機能の高度化」H16 電気学会全国大会 6-005 *3 平野他「分散型電源に対応した新制御方式SVRの実証試験結果」H15 電気学会全国大会 6-185 *4 松浦他「分散型電源に対応した新型高圧自動電圧調整器の開発」H15 電気学会電力・エネルギー部門大会 306 		



電圧変化検出の動作概念図²

各機器の技術動向

(TVR)

適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	変圧比	TVR (TVR : Thyristor Voltage Regulator)	
概要	<ul style="list-style-type: none"> SVR のタップ切換は有接点方式のため、緩やかな電圧変動には対応できるが、急峻な電圧変動に追従できなかった。 TVR は、この問題を解決する方法として、SVR のタップ切換にサイリスタを使用し無接点方式で高速かつ高頻度なタップ切換を可能にしている。*1 		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> TVR は、2 次側タップをサイリスタで切換え、その電圧を直列変圧器に重畳し配電線の電圧を調整する。*1 タップを切り換える場合、バイパスサイリスタとバイパス抵抗器からなるバイパス回路に一旦、電流を全て引き取り、その後、次のタップへと切り換える回路構成となっている。*1 上記回路により飛び越しタップ調整が可能となり、大幅な電圧変動に対し高速な電圧調整が可能となった。*1 サイリスタの保護には、落雷による停止を防止するために MCCB (配線用遮断器) を使用している。また、サイリスタの冷却にはサイリスタ冷却板で対応し、軽量化を実現している。*1 系統変更や分散型電源連系による逆潮流に対しては、SVR (分散型電源対応型) でも用いられている電圧変化検出型の判別機能により、対応を可能としている。*1 <div style="text-align: right;">  <p>TVR の回路構成例*1</p> </div> <div style="text-align: right;">  <p>実証試験中の TVR の設置状況*1</p> </div>		
得失	<ul style="list-style-type: none"> 配電線途中に設置する SVR、SVC と比較し、SVR より多少コストアップ (1.5 倍以下) となるが、SVC より低コストであり、SVR がない高速性能 (0.1 秒程度) を持つと言える。 サイリスタを IGBT に置き換えるなどの改良により、更なる高速化、軽量化が期待される。 サイリスタを適用した機器はこれまでに少なく、長期間の柱上設置による信頼性に注視する必要がある。(特に TVR は直列機器のため故障時の影響が懸念される。) 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 実系統での実証を目的に一部の電力会社で試験適用されている。*1 		
参考文献	<p>*1 佐々木他「高速応答を可能にした TVR とその実証試験」電気学会論文誌 B123-9PP1105 ~ 1111 *2 北芝電機(株)ホームページ</p>		

各機器の技術動向
(SC/SR - タイマー式)

適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	無効電力	並列コンデンサ/分路リアクトル (SC : Shunt Capacitor) (SR : Shunt Reactor)	タイマー式
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配電線に SC または SR を高圧系統に並列に接続し、配電線に流れる無効電力を変化させることで SC は電圧降下を、SR は電圧上昇を抑制する。 ・ SC または SR の電圧改善量 (V) は、近似的に下式のように計算でき、変電所から設置箇所までのリアクタンス X_L とコンデンサ電流 (I_C)、リアクトル電流 (I_L) に比例して改善される。 *1 (SC の場合) $V = 3I_C X_L$ (SR の場合) $V = 3I_L X_L$ ・ タイマー型は、あらかじめ電圧改善が必要となる時間帯についてタイマーで SC または SR の入切設定を行い、開閉器にて投入・開放を自動で行う。 		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> ・ タイマー式に関する大きな技術動向はない。 ・ 分路リアクトルは単柱設置可能なものが開発されている。 		
得失	<ul style="list-style-type: none"> ・ 毎日の配電線の電圧変動が変化がない場合、SC または SR で電圧調整すべき時間をタイマー式で設定可能であるが、予測不能の場合は電圧調整が困難となる。 ・ 急峻な電圧変動に対しても対応不可。 ・ 装置の構造はシンプルであり機器故障に関する信頼性は、他の新規開発機器に比べ比較的高いと言える。 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配電線の間及び末端に設置される SC の設備容量は、全国で 860MVar (H12 年度末)。まったく導入していない電力会社もある。その中でタイマー式の制御を行っている SC の容量は 120MVar。(全体の 14%) *2 ・ 電圧区分 3.3kV ~ 6.6kV に設置されている SR の容量は 105MVar (H12 年度末) *2。但し、このほとんどは変電所出口に設置されたものと考えられ、配電線の間及び末端に設置される SR の容量は非常に少ないと考えられる。 		
参考文献	<p>*1 電気工学ハンドブック (第 6 版) 電気学会 *2 電気学会技術報告第 986 号「わが国における電力用並列コンデンサの設置状況、稼動状況および無効電力配分状況に関する調査結果」</p>		

各機器の技術動向
(SC / SR - SCC)


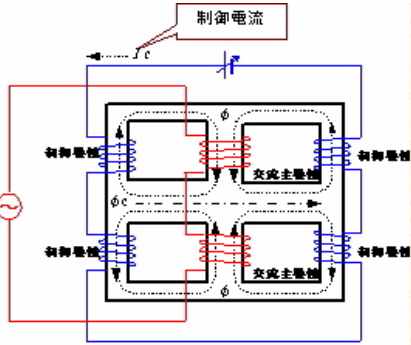
適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	無効電力	並列コンデンサ/分路リアクトル (SC : Shunt Capacitor) (SR : Shunt Reactor)	電圧式 (SCC) (SCC : Self-Control Voltage Compensator)
概要	<ul style="list-style-type: none"> 開閉器により SC または SR を投入・開放する原理は、タイマー式と同様。 SCC は、投入・開放の判断を設置箇所の電圧計測値を基に行い、配電線に複数台設置した場合においても通信媒体によるやり取りを行うことなく安定に自律分散制御が可能な機能を有している。^{*1} 動作時間は最短で 1 秒。複数台の分散設置を行えば、系統変更時や 1 台装置故障時にもある程度対応可能。 <div data-bbox="954 573 1315 954" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">A G S : Automatic Gas Switch S C : Shunt Capacitor S h R : Shunt Reactor S C C : Self-Control voltage Compensator SCC による自律分散型電圧制御システム概念図^{*1}</p>		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> 複数台設置した場合、各装置が自己の責任で単独に制御を行いながらも個々の装置が全体ないし他の装置と協調しあう関係が必要である。そのため、SCC では他の装置と協調を行うため、他の装置の制御による設置箇所の電圧変化に着目し、以下の機能を設けている。^{*2} <p style="margin-left: 20px;">移動平均電圧機能 他装置の投入・開放による自所の電圧変化を瞬時に反映可能とするために、移動平均電圧値により電圧を制御する機能</p> <p style="margin-left: 20px;">相互干渉防止機能 SCC が投入・開放の判断をし、制御指令を実施する前に乱数による遅延時間を持たせ、瞬時電圧値と投入・開放電圧値を比較し、再度制御判断を行う機能</p> <div data-bbox="1082 1122 1409 1599" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">SCC 等関連機器の設置状況 (リアクトル設置の場合)^{*2}</p>		
得失	<ul style="list-style-type: none"> 配電線の負荷(電圧)変動に応じ適正電圧維持が可能。 自律分散制御方式のため低コストで信頼性が高い。 急峻な電圧変動に対応不可。 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 一部の電力会社で実系統に適用されている。 		
参考文献	<p>^{*1} 壁村他「自律分散型電圧調整装置の実高圧配電線路への適用」電気学会論文誌 B122-12PP1252 ~ 1260</p> <p>^{*2} 技術総合誌 OHM2004.8月号 PP47 ~ 50</p>		

各機器の技術動向
(SC/SR - SSC/SSR)

適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	無効電力	並列コンデンサ/分路リアクトル (SC : Shunt Capacitor) (SR : Shunt Reactor)	電圧式 (SSC/SSR) (自動電圧調整用コンデンサ装置/自動電圧調整用分路リアクトル装置)
概要	<p>(SSC)</p> <ul style="list-style-type: none"> 配電線の電圧調整装置で、需要家の周期的な負荷変動に伴う負荷変動に伴う電圧変動やモーター等の起動電流による急峻な電圧変動を改善させる装置。 調整容量は 0 ~ 600kVar で、100kVar 単位で調整可能。H2175、W1650、D1600、重量 1750kg。*1 <p>(SSR)</p> <ul style="list-style-type: none"> 配電線の電圧調整装置で、需要家設備の力率改善用コンデンサによる夜間の電圧上昇に対して、進相無効電力を補償して電圧改善を行う装置。 調整容量は 0 ~ 450kVar で、150kVar 単位で調整可能。H2510、W1570、D1450、重量 3300kg。*1 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>SSC の概観*1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SSR の概観*1</p> </div> </div>		
技術動向			
得失			
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 一部の電力会社で実系統に適用されている。 		
参考文献	*1 中国電気製造(株)ホームページ		

各機器の技術動向

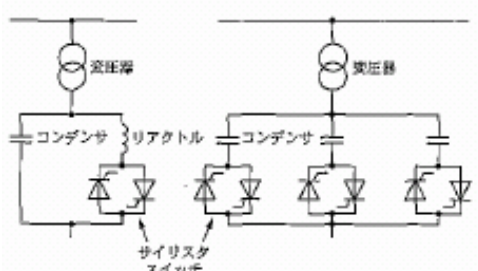
(SC/SR - 磁束制御型可変リアクトル)

適用箇所	調整原理	機器	方式
<p>高圧系統</p>	<p>無効電力</p>	<p>並列コンデンサ/分路リアクトル (SC : Shunt Capacitor) (SR : Shunt Reactor)</p>	<p>磁束制御型可変リアクトル</p>
<p>概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> 磁気回路の特性を動的に調整することで、シンプルな銅鉄機器でありながら高速かつ連続的な電力制御が可能となる磁束制御技術を適用した無効電力調整装置。^{*1} 田形磁路構造の可変インダクタを適用し、直流制御電流を調整することにより、高速かつ連続的に遅れ無効電流を制御する機能を持つ。 本装置は、主回路に半導体素子を用いないため、構造がシンプルで低コスト化が可能であり高い信頼性を有する。 実証器の定格容量は 300kVA、重量は 3.9t、応答速度は 80ms 以下。^{*3} 	 <p>磁束制御型無効電力調整装置の概観^{*2}</p>	
<p>技術動向</p>	<ul style="list-style-type: none"> 田形磁路による可変インダクタは、これまでの可変インダクタとは基本動作が異なり、新たな磁路巻き線構成を採用することで、制御電流による直流磁束の調整により分割設置した主巻線磁束の打消し磁束量を制御するため、主磁路の磁束密度は常に飽和磁束密度内に保たれた状態でインダクタンス制御ができる。^{*4} 高調波が主巻線同士で互いに打消され、電流歪みが少ない。^{*4} 高速制御とともに SVR との協調を考慮し、中速制御を併用している。 安価な電力用コンデンサと併用することにより、進相から遅相まで無効電力を調整することが可能。 現在、最適制御方式や効果的な構成方法などの検討、信頼性などの基本性能の確認がなされている。^{*1} 	 <p>磁束制御型 (田形磁路による) 可変リアクトルの構造^{*2}</p>	
<p>得失</p>	<ul style="list-style-type: none"> 主回路に半導体素子を用いないため、構造がシンプルで低コスト化が可能であり高い信頼性を有すると考えられる。 パワエレ機器で懸念される高調波の発生が少ない。 高速応答性に優れている。 製品化されていない。 		
<p>実系統適用状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> 実系統での実証を目的に一部の電力会社で試験が行われている。^{*5} 		
<p>参考文献</p>	<ul style="list-style-type: none"> *1 電気評論 2005.1 *2 東北電力ホームページ *3 大日向他「磁束制御による 6.6kV300kVA 級無効電力調整装置の開発」H16 電気学会電力・エネルギー部門大会 396 *4 前田他「田形磁路による可変インダクタの特性」電気学会論文誌 B122-4PP561 ~ 570 *5 電気新聞 2004.12.2 		

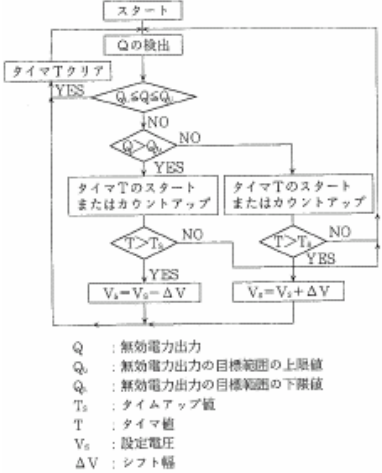
各機器の技術動向
(SVC (他励式) - TCR)

適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	無効電力	静止型無効電力補償装置 (他励式) (SVC : <u>S</u> tatic <u>V</u> ar <u>C</u> ompensator)	TCR 方式 (HVC 他) (TCR : <u>T</u> hyristor <u>C</u> ontrolled <u>R</u> eactor)
概要	<ul style="list-style-type: none"> SVC (他励式) にはサイリスタを用いてリアクトル電流の位相制御を行う方式 (TCR 方式) とコンデンサの開閉制御を行う方式 (TSC 方式) がある。*1 TCR 方式はサイリスタスイッチを直列接続したリアクトルと、固定容量のコンデンサで構成した回路である。 サイリスタを位相制御してリアクトル電流を増減し、無効電力出力を遅相 (リアクトル動作) から進相 (コンデンサ動作) まで連続的に制御する。 サイリスタで位相を制御するため、リアクトル電流は正弦波波形でなく高調波を含んでいる。*2、3 <div data-bbox="925 649 1404 963" data-label="Diagram"> <p>(a) TCR (b) TSC</p> <p>SVC (他励式) の回路構成*1</p> </div>		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> TSC 方式に比べ TCR 方式は、他励式 SVC の中では主流となっているが、高調波発生が少ない自励式 SVC が開発、実用化されてきている。 応答速度 100msec 以下、重量約 5000kg 程度 (H 柱で設置可能な重量)、定格補償容量進み 300kvar ~ 遅れ 300kvar の製品が市場に多く普及している。*4 4 段インバータと千鳥結線変圧器等で構成した装置 (HVC : <u>H</u>ybrid <u>V</u>oltage <u>C</u>ontroller) を開発している電力会社もある。 		<p>他励式・TCR 型 SVC の設置状況*5</p>
得失	<ul style="list-style-type: none"> SVC (他励式) と同様に高圧系統に設置される機器である SC/SR、SVR に比べ、高速応答性、動作回数の制約がないなどの利点があるが、半導体機器を用いているなど構造が複雑となり、高コストといえる。*6 SVC (自励式) と比較した場合、TCR 方式 SVC (他励式) は高調波フィルターを設ける必要があり設置スペースが大きくなるが、価格は低コストであると一般的には考えられている。*3 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 一部の電力会社で実系統に適用されている。 		
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> *1 電気工学ハンドブック (第6版) 電気学会 *2 電気学会技術報告第 978 号「電力品質調整用パワーエレクトロニクスの適用動向」 *3 電気学会技術報告第 874 号「静止型無効電力補償装置の現状と動向」 *4 松下電器産業(株)ホームページ他 *5(株)キューヘンホームページ *6 電気学会技術報告第 777 号「電力用コンデンサ応用技術」 		

各機器の技術動向
(SVC (他励式) - TSC)

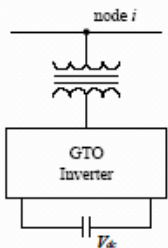
適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	無効電力	静止型無効電力補償装置 (他励式) (SVC : Static Var Compensator)	TSC 方式 (TSC : Thyristor Switched Capacitor)
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ SVC (他励式) にはサイリスタを用いてリアクトル電流の位相制御を行う方式 (TCR 方式) とコンデンサの開閉制御を行う方式 (TSC 方式) がある。*1 ・ TSC 方式はサイリスタスイッチを直列接続したコンデンサを投入している期間、及び開放している期間を制御して無効電力を制御する。 ・ 無効電力は進相のみの制御を行う。また、コンデンサの容量単位で段階的に変更を行う。*2 <div style="text-align: center;">  <p>(a) TCR (b) TSC</p> <p>SVC (他励式) の回路構成*1</p> </div>		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大きな技術動向は見当たらない。 		
得失	<ul style="list-style-type: none"> ・ SVC (他励式) と同様に高圧系統に設置される機器である SC/SR、SVR に比べ、高速応答性、動作回数の制約がないなどの利点があるが、半導体機器を用いているなど構造が複雑となり、高コストといえる。 ・ TSC 方式は TCR 方式に比べ、高調波が発生しないメリットはあるが*3、遅れの無効電力が補償できないこと、段階的な補償しかできないデメリットがある。 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配電系統において TSC 方式の SVC (他励式) は適用されていない。*3、4 		
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> *1 電気工学ハンドブック (第6版) 電気学会 *2 電気学会技術報告第 978 号「電力品質調整用パワーエレクトロニクスの適用動向」 *3 電気学会技術報告第 777 号「電力用コンデンサ応用技術」 *4 電気協同研究第 54 巻第 6 号「電力設備へのパワーエレクトロニクス技術の応用と将来動向」 		

各機器の技術動向
(SVC (他励式) - SVR 協調型)


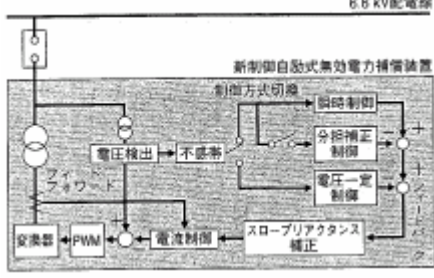
適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	無効電力	静止型無効電力補償装置 (他励式) (SVC : <u>S</u> tatic <u>V</u> ar <u>C</u> ompensator)	SVR 協調型
概要	<ul style="list-style-type: none"> SVR と SVC が同一配電線に設置されている場合、SVC の高速応答性のため本来 SVR で補償すべき電圧変動を SVC が先に補償してしまい、SVC が大容量負荷投入時等の急激な電圧変動に必要な補償容量を確保しておくことができない。そこで SVC が急激な電圧変動に常時対応出来、かつ SVR との協調運転が可能な制御を行う SVC が開発されている。 		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> 大きく 2 つの協調制御方式が開発されている。 <ol style="list-style-type: none"> SVC 出力余力確保型 <ul style="list-style-type: none"> 模擬配電線で動作が確認された報告がある (図 1)^{*1}。 制御方式は、「 SVC の無効電力出力が出力目標範囲を逸脱すればその範囲に入るように所定の時間(タイムアップ時)後にその範囲に入るように設定電圧を変更する制御」方式。 急峻な電圧変動のみ動作型 <ul style="list-style-type: none"> TCR (Thyristor Controlled Reactor) 方式を用いて開発が行われた報告がある^{*2}。 制御方式は、「配電線の電圧変動を常時監視し、緩やかな電圧変動では SVC は応答せず、急峻な電圧変動のみ補償動作を行う。また動作時にはあらかじめ設定した許容値以内に電圧変動を抑制するように無効電力を出力し、不応答時にはあらかじめ設定した基準無効電力で待機する」方式。 <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">  <p>Q : 無効電力出力 Qs : 無効電力出力の目標範囲の上界値 Qd : 無効電力出力の目標範囲の下界値 Tt : タイムアップ値 T : タイマ値 V2 : 設定電圧 ΔV : シフト幅</p> </div> <p style="text-align: right;">図 1 動作フローチャート^{*1}</p>		
得失	<ul style="list-style-type: none"> SVR と SVC 各々の電圧補償の特性を最大限活用出来る。 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 実系統での実証を目的に数電力会社で試験適用されている。(詳細調査要) 		
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> *1 古川「 SVR 協調運転型 SVC 制御装置の開発」北陸電力株式会社地域総合研究所研究開発報告、NO. 3; PAGE. 14-19、1997 *2 新型 6kV 静止型電圧調整器 (SVC) 電機 2001-1 		

各機器の技術動向

(STATCOM - 自励式無効電力発生装置)

適用箇所	調整原理	機器	方式
<p>高压系統</p>	<p>無効電力</p>	<p>自励式無効電力発生装置 (STATCOM: <u>S</u>tatic <u>S</u>ynchronous <u>C</u>ompensator) (自励式 SVC: 自励式 <u>S</u>tatic <u>V</u>ar <u>C</u>ompensator) (SVG: <u>S</u>tatic <u>V</u>ar <u>G</u>enerator)</p>	<p>一般型</p>
<p>概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> 分路変圧器を介して並列にインバータを接続し、端子電圧の影響を受けることなく無効電力の制御が可能である。^{*1} 自励式インバータを用いて連続的かつ高速に進み・遅れ無効電力を制御する装置であり、電力系統の安定度向上や系統電圧制御用に用いられている。自励式 SVC、SVG (Static Var Generator) とも呼ばれている。 直流電圧源(図では直流コンデンサ)を自己消弧型素子でタイミングを選択し、自由に切り刻み交流側に正、負の電圧を出力し「交流電圧」を発生させる。 <div style="text-align: center;">  <p>図 1 STATCOM の構成図^{*1}</p> </div>		
<p>技術動向</p>	<ul style="list-style-type: none"> 直流コンデンサの代わりに電気二重層キャパシタを装着し短時間の有効電力供給を可能とした方式の開発もなされている^{*2}。 低圧系統への適用が可能な機種も商品化されている^{*3}。 		
<p>得失</p>	<ul style="list-style-type: none"> 基本的に他励式 SVC の用途・目的と同じであるが端子電圧の影響を受けることなく運転できる特質から以下の特徴がある^{*4}。 <p>系統電圧維持能力が高い：他励式 SVC の場合、系統電圧が低下すると電圧の 2 乗に比例して SVC 容量が減少する事になるが、STATCOM の場合には交流電圧条件に依存しないので、系統電圧が低下しても定格容量を維持出来る。</p> <p>外部にコンデンサ・リアクトルを持たずに進み・遅れの無効電力を連続的に供給できる。これにより、設置面積が小さくすむ。</p> <p>変換器を多重接続することにより、発生高調波を抑制出来るので高調波フィルタを大幅に減らすことができる。</p>		
<p>実系統適用状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> 実系統に適用事例あり。(詳細調査要) 		
<p>参考文献</p>	<ul style="list-style-type: none"> *1 近藤他「太陽光発電が多数導入された配電系統の FACTS 機器を用いた電圧制御」平 16 年電気学会電力・エネルギー部門大会 *2 高木他「電気二重層キャパシタ内蔵電力品質補償装置の制御方式の検討」平 16 年電気学会全国大会 *3 「電圧調整設備(パンフレット)」松下電器産業株式会社、松下産業機器株式会社、富山松下電器株式会社 *4 電気学会技術報告第 777 号「電力用コンデンサ応用技術」 		

各機器の技術動向
(STATCOM - SVR 協調型方式)

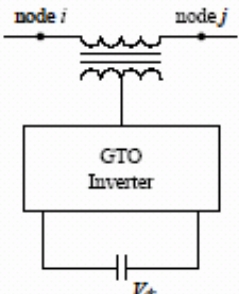
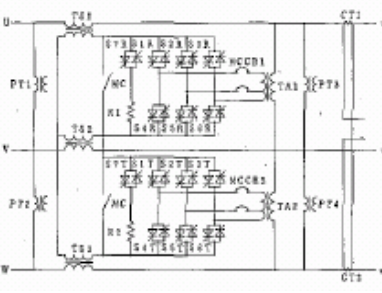
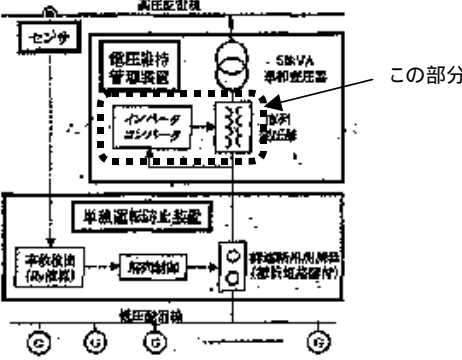
適用箇所	調整原理	機器	方式
<p style="text-align: center;">高圧系統</p>	<p style="text-align: center;">無効電力</p>	<p style="text-align: center;">自励式無効電力発生装置 (STATCOM : <u>S</u>tatic <u>S</u>ynchronous <u>C</u>ompensator) (自励式 SVC: 自励式 <u>S</u>tatic <u>V</u>ar <u>C</u>ompensator) (SVG : <u>S</u>tatic <u>V</u>ar <u>G</u>enerator)</p>	<p style="text-align: center;">SVR 協調型</p>
<p style="text-align: center;">概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> 既設の SVR が設置されている系統に高速制御が可能な SVC を従来の電圧一定制御方式のまま導入すると SVC が優先して制御するため SVR が動作しなくなる。このため SVR と SVC の補償分担を行う制御を行う方式が開発されている。 		
<p style="text-align: center;">技術動向</p>	<ul style="list-style-type: none"> SVR と SVC の間に監視・制御用の通信線を構築することなく、SVC が常時電圧変動をそれぞれ自律的に補償分担する制御方式が開発され実証試験が行われている^{*1, *2}。 以下の制御方式を備えた製品が商品化されている^{*1}。 <ul style="list-style-type: none"> 「瞬時制御」: フリッカ負荷のような繰り返し負荷に最適電圧変動を瞬時に補償し次の変動に待機する。 「瞬時 + 平均電圧制御」: 負荷変動などの過渡変化には瞬時制御方式で、大きな変動には平均値領域で対応する万能制御方式 「平均電圧制御」: 過去数分間の系統電圧の平均値を電圧目標値として無効電力を制御。日変化のような大きな変動に対して有効。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="437 1115 842 1391" style="text-align: center;">  <p>図 1 外観^{*1}</p> </div> <div data-bbox="927 1115 1362 1391" style="text-align: center;">  <p>図 2 実証機基本制御ブロック^{*2}</p> </div> </div>		
<p style="text-align: center;">得失</p>	<ul style="list-style-type: none"> SVC と SVR が安定に動作できる領域について検討した例が見られる^{*3}。 特殊摂動理論に基づき、電力系統を速い系と遅い系に分割し時間領域を分割して設計する手法について検討した例が見られる^{*4}。 		
<p style="text-align: center;">実系統適用状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> 実系統での実証を目的に一部の電力会社で試験適用されている^{*2}。 		
<p style="text-align: center;">参考文献</p>	<p>*1 「新制御自励式無効電力補償装置」東北電機製株ホームページ *2 高杉他「パワーエレクトロニクスの発展とその応用 新制御自励式 SVC の適用による配電系統安定化技術」日立評論、VOL. 82 NO. 4; PAGE. 27-30、2000/04 *3 清水他「配電系統における分散電源、SVC と SVR の相互干渉に関する一考察」電気学会電力技術研究会資料、VOL. PE-03 NO. 139-153; PAGE. 49-54、2003 *4 余利他「電圧・無効電力制御のための配電系統における SVR と SVC の協調制御」電気学会電力技術研究会資料、VOL. PE-02 NO. 75-89; PAGE. 41-45、2002</p>		

各機器の技術動向
(STATCOM - 電気二重層キャパシタ内蔵型)^{*1}

適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	無効電力 有効電力	自励式無効電力発生装置 (STATCOM : <u>Static Synchronous Compensator</u>) (自励式 SVC: 自励式 <u>Static Var Compensator</u>) (SVG : <u>Static Var Generator</u>)	電気二重層 キャパシタ内蔵型
概要	<ul style="list-style-type: none"> STATCOM の直流コンデンサに加えチョッパ回路 + 電気二重層キャパシタ (EDLC: Electric Double-Layer Capacitor) を装着し短時間の有効電力供給を可能とした方式である。電力品質補償装置 (PQC: Power Quality Compensator) とも呼ばれている。 電気二重層キャパシタの充放電に伴う直流電圧の変動に影響されることなく電圧型自励式変換器と直流電圧を一定に保つために、電気二重層キャパシタと電圧型自励式変換器の間にチョッパ回路を設けている (図1)。 文献^{*1}では有効電力制御は配電線路の潮流を一定に制御、無効電力は負荷端子の配電系統の電圧を定格に保つ制御を検討している。タップ付き柱上変圧器 (SVR) と協調をとって無効電力出力がゼロ近傍になるようにタップ制御を行った検討が報告されている (図2)。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div data-bbox="470 1182 906 1415" style="text-align: center;"> <p>図1 構成</p> </div> <div data-bbox="965 1120 1340 1415" style="text-align: center;"> <p>図2 解析に使用した系統</p> </div> </div>		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> 一部の電力会社で検討が行われている。 		
得失	<ul style="list-style-type: none"> SVC、STATCOM による無効電力制御に加え、電気二重層キャパシタの容量分だけ有効電力の制御が可能のため配電線の有効潮流の変動を押さえることが可能である。 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 適用された事例は見当たらない。(研究段階) 		
参考文献	<p>*1 高木他「電気二重層キャパシタ内蔵電力品質補償装置の制御方式の検討」平16年電気学会全国大会、6-002</p>		

各機器の技術動向

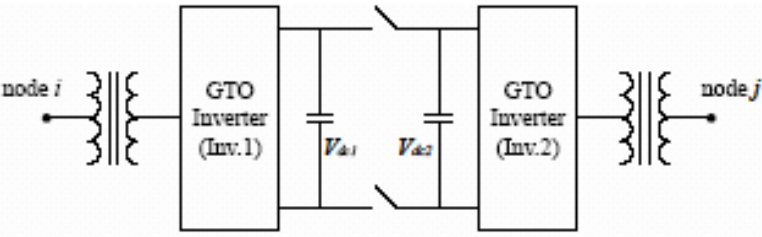
(SSSC)

適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	無効電力	SSSC (SSSC : <u>S</u> ta <u>t</u> i <u>c</u> <u>S</u> yn <u>ch</u> ro <u>n</u> o <u>u</u> s <u>S</u> er <u>i</u> e <u>s</u> <u>C</u> o <u>m</u> p <u>e</u> n <u>s</u> a <u>t</u> o <u>r</u>)	
概要		<ul style="list-style-type: none"> SSSC は、インバータにより直列変圧器を介して自由な電圧を印加する。ただし背後にエネルギーを持たないため印加電圧は有効電力を供給しない。^{*1} コンデンサなどの電力貯蔵装置によりエネルギーを背後に持たせたものを DVR (Dynamic Voltage Restore) と言う。また、インバータを系統に並列に接続させ、SSSC により発生または吸収させた有効電力を、インバータが補償することによって直流回路に保持されているエネルギーを変動させることなく有効電力を制御できるようにしたものを UPFC (Unified Power Flow Controller) と言う。 類似機器としてはインバータでなくサイリスタ制御を用いたものは TVR (Thyristor Voltage Regulator) として開発されている。^{*2} また、低圧系統での適用では、柱上トランス (自動タップ調整型) のタップ切り替えのための直列変圧器部分に相当する。^{*3} 	 <p>図 1 SSSC の構成図^{*1}</p>
		 <p>図 2 TVR での例^{*2}</p>	 <p>図 3 柱上トランスでの例^{*3} (自動タップ調整型)</p>
技術動向		<ul style="list-style-type: none"> 瞬低対策用に DVR が開発された事例はあるが、SSSC としては高圧系統での開発事例は見当たらない。 	
得失		<ul style="list-style-type: none"> コンデンサなどの電力貯蔵装置により有効電力を補償した場合 (DVR とした場合) でも、蓄積エネルギーに限界がある。(常時の電圧変動の対策には不向き) 	
実系統適用状況		<ul style="list-style-type: none"> TVR としては、実系統での実証を目的に一部の電力会社で試験適用されている。^{*2} 	
参考文献		<ul style="list-style-type: none"> ^{*1} 近藤他「太陽光発電が多数導入された配電系統の FACTS 機器を用いた電圧制御」平 16 年電気学会電力・エネルギー部門大会 ^{*2} 佐々木他「高速応答を可能にした TVR とその実証試験」電気学会論文誌 B123-9PP1105 ~ 1111 ^{*3} 電気評論、2005-1 	

各機器の技術動向
(UPFC)

適用箇所	調整原理	機器	方式
高圧系統	無効電力	UPFC (UPFC : Unified Power Flow Controller)	-
概要	<ul style="list-style-type: none"> 「並列変圧器と自励式コンバータからなる並列補償部 (STATCOM (自励式 SVC) と同様の構成)」と「直列変圧器と自励式インバータからなる直列補償部 (SSSC と同様の構成)」で構成され、直流部により結合されている。^{*1} UPFC は 2 つの自励式変換器を 2 台用いて、それらを同一の直流回路で連結しているため、片側の自励式変換器が発生または吸収させた有効電力を、他方の自励式変換機が補償することによって直流回路に保持されているエネルギーを変動させることなく有効電力を制御できる。^{*2} 直列変圧器を介して大きさおよび位相を変えた電圧を自由に印加することができる。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div data-bbox="858 517 1398 734" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="959 748 1203 779" data-label="Caption"> <p>図1 UPFCの構成図^{*2}</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="443 1106 999 1384" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="552 1391 855 1420" data-label="Caption"> <p>図2 システム構成詳細例^{*1}</p> </div> <div data-bbox="1098 1055 1353 1384" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1098 1391 1362 1420" data-label="Caption"> <p>図3 実線路装柱状況^{*1}</p> </div> </div>		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> 一部の電力会社で機能モデルによる試験を実施^{*3} や実線路における実証試験を実施^{*1} 単柱での装柱を行うため、総質量を 2000kg 以下としたものを開発している。(地上高 12.75m 地点にて設計荷重 1500kg まで耐えうるコンクリート柱を使用、実際の取り付け点は 12.75m より低くなっている。) 		
得失	<ul style="list-style-type: none"> BTB に比べ変換器部は電圧制御を行うための電流しか必要ないので変換器の容量が小さくてすむ。 ループ運用に使用する場合には短絡電流を増大させるなどの特徴があるので保護上の課題が発生する。 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 実系統での実証を目的に一部の電力会社で試験適用されている^{*1}。 		
参考文献	<p>*1 上野他「配電線電圧変動補償装置(直列型)の実線路検証」平 14 年電気学会 B 部門大会、No. 14 *2 近藤他「UPFC を用いた配電系統の電圧制御-異バンク間ループに関する検討-」電気学会電力技術研究会資料、PSE-04-6 *3 藤根他「パワエレ機器による配電系統の新しい電圧制御システムの開発と性能の実証試験結果」電気学会電力技術研究会資料、VOL. PE-98 NO. 45・57、1998</p>		

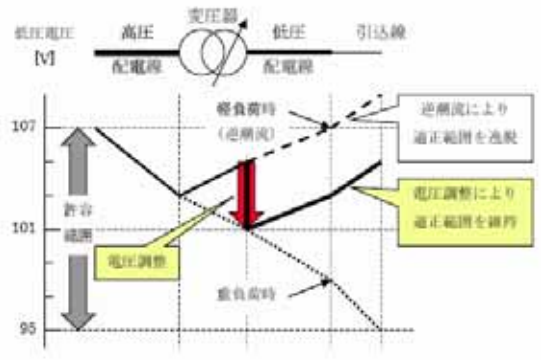

各機器の技術動向
(自励式 BTB)

適用箇所	調整原理	機器	方式
<p>高圧系統</p>	<p>無効電力 有効電力</p>	<p>自励式 BTB (自励式 BTB : Back to Back) (HVDC : High Voltage DC transmission)</p>	<p>ループコントローラ など</p>
<p>概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> STATCOM と同様の構成である自励式インバータとこれを接続する直流回路(直流コンデンサ) から構成される。 2 つのインバータを接続することにより BTB 両端の母線間で交流電圧の大きさ、位相を変化させて有効電力を融通することが可能となる。また各自励式変換器の無効電力も独立して制御可能となることから、計 3 つの操作変数を持つ。 配電系統においては、BTB によって樹枝状配電線を用いてループ化することで、短絡容量を増加させることなく、ループ系統を構成できるメリットがある。^{*1} <div style="text-align: center;">  <p>図 1 BTB の構成図^{*1}</p> </div>		
<p>技術動向</p>	<ul style="list-style-type: none"> 上位系統では、BTB 機器の 2 つの交流系 (50Hz、60Hz) を非同期連系できる利点を活用し、異周波連系に使用している例 (新信濃 FC、佐久間 FC など) と、送電安定度による送電容量の制約が少ない利点や建設コストが安価である利点を活用し、直流送電に使用している例 (北本直流連系設備、紀伊水道直流連系設備 など) がある。^{*2} 配電系統では、ループ化することで短絡容量の増加や配電線事故時の停電範囲を拡大させることなく、潮流均一化による電圧ネックの解消を可能とする BTB 機器として、電中研がループコントローラの開発を実施している。^{*3} 海外では、主要な交流系統から離れたローカル系統への電力供給や風力発電などの交流系統への連系に容量 10MW 以下、直流電圧 10kV 以下の BTB 機器 (ABB 社では HDVC-Light と称す) が開発されている。^{*2} 		
<p>得失</p>	<ul style="list-style-type: none"> BTB 両端の無効電力を自由に制御可能できる利点がある。 変換器が直列に設置されるため UPFC に比べ変換器容量が多く必要となる^{*2}。 BTB によって樹枝状配電線を用いてループ化することにより短絡容量を増加させることなくループ系統を構成出来るというメリットがある。 		
<p>実系統適用状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> 実系統での適用はされていない。(電力中央研究所の赤城試験場で実証試験を実施中) 		
<p>参考文献</p>	<p>*1 近藤他「太陽光発電が多数導入された配電系統の FACTS 機器を用いた電圧制御」平 16 年電気学会電力・エネルギー部門大会 *2 電気協同研究第 54 巻第 6 号「電力設備へのパワーエレクトロニクス技術の応用と将来動向」 *3 電中研報告 T99075「需要地系統におけるループコントローラの開発-制御方式の提案と実験装置の試作-」</p>		

各機器の技術動向
(柱上変圧器 - 固定タップ型)

適用箇所	調整原理	機器	方式
低圧系統	変圧比	柱上変圧器 (Pole Transformer)	固定タップ型
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高圧 (6600V) を低圧 (210/105V) に変圧する。 ・ 50kVA 以下の小型単相変圧器が多く、その定格容量には 3、5、7.5、10、15、20、30、50kVA の種類がある。*1 ・ 柱上変圧器の一次電圧は 6600V、切り換えタップ電圧は 6750、6450、6300、6150V の変圧器が汎用品として使用されている。但し、電圧変動の小さい配電線ではタップレス変圧器が使用されている。また二次定格電圧は 210/105V で変圧器内部で単相 3 線に結線されている。*1 		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鉄心は方向性けい素鋼帯による巻鉄心で内鉄形のカットコアが多いが、低損失化材料として高品質な方向性けい素鋼体を使用した低ロス形変圧器も使用されている。また一層の定損失化を図るため、アモルファス材 (非結晶質材料) を使用した変圧器も実用化されてきている。*1 ・ 従来 6.6kV 用の柱上変圧器の規格は定格電圧 6300V、タップ間隔 5%、タップ数 5 タップ (6900、6600、6300、6000、5700) であったが、昭和 52 年に定格電圧 6600V、タップ間隔 2.5%、タップ数 5 タップ (6750、6600、6450、6300、6150) に変更された。 		
得失	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動タップを備えていないため安価であるが、高圧系統の電圧プロフィールにあわせて固定タップを調整する必要がある。電圧プロフィールが想定外の場合の対処が難しい。 ・ 現状の普及品ではタップを切り換える場合、停電させることなくタップを切り換えることは極めて困難であり、需要家の停電、または工所用変圧器や低圧発電機による無停電による高コスト工事が伴う。 <div style="text-align: right;"> <p style="text-align: center;">図 1 工所用変圧器による 工事イメージ²</p> </div>		
実系統 適用状況	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在普及しているほとんどの柱上変圧器は固定タップ型となっている。 		
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> *1 電気工学ハンドブック、電気学会 *2 配電技術総合マニュアル、オーム社 		

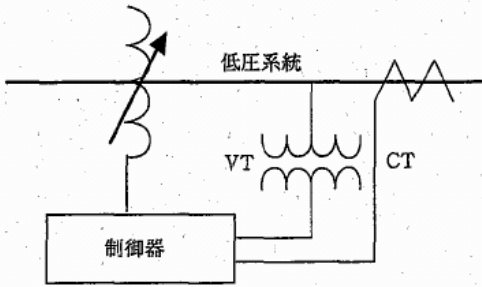
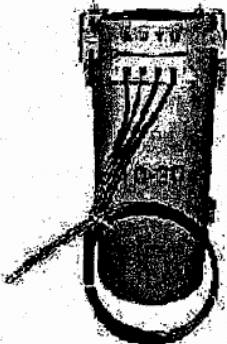
各機器の技術動向
(柱上変圧器 - 自動タップ型^{*1})

適用箇所	調整原理	機器	方式
低圧系統	変圧比	柱上変圧器 (Pole Transformer)	自動タップ型 (電圧維持管理装置(SSSC)など)
概要	<p>・ 柱上変圧器の電圧調整を変圧器 2 次側で行う事とし、以下の特徴を有する。^{*1, 2}</p> <p>単相 50kV 柱上変圧器 2 次側に、電圧調整用のインバータとコンバータ、補償電圧重畳用の直列変圧器を付加した一体構造である。</p>		
	<p>高圧配電線の系統変更や分散型電源運転に連動する潮流変動に対し、適正電圧範囲 (95 ~ 107V) を維持するため、変圧器 2 次側電圧を適正電圧中間値 101V 一定制御としている。また現場実態から電圧調整幅を ±4V としている。</p>		
	 <p style="text-align: center;">図 1 電圧調整イメージ^{*2}</p>		 <p style="text-align: center;">図 3 装柱状況^{*2}</p>
技術動向	<p>・ 近年、一部の電力会社で開発された。</p>		
得失	<p>・ 柱上変圧器単位で電圧制御を行うので低圧系統の電圧プロフィールにばらつきがある場合でも対応が可能である。</p> <p>・ 局所的な電圧対策と言える。分散型電源の導入に応じて段階的に投資を行うことができる反面、局所的な対策を繰り返すことでトータルコストが増大する可能性がある。</p>		
実系統適用状況	<p>・ 太陽光発電集中連系箇所にて試験適用し、検証を行う予定^{*1, 2}</p>		
参考文献	<p>^{*1} 電気評論、2005-1</p> <p>^{*2} 滝他「分散型電源集中連系に対応した電圧調整変圧器・単独運転防止装置の開発」平 17 年電気学会全国大会</p>		

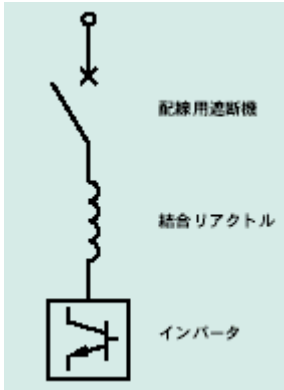
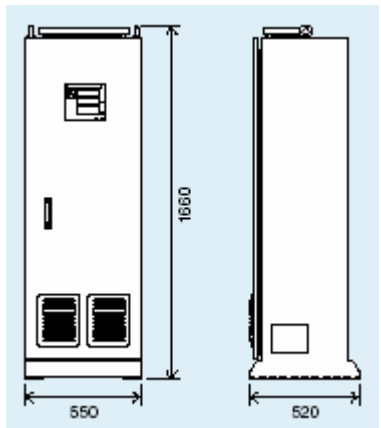
各機器の技術動向
(バランサ-一般型)

適用箇所	調整原理	機器	方式
低系統	変圧比	バランサ (電圧平衡器)	-
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 低圧単相三線式配電線路では、負荷に不平衡が生じると負荷の端子電圧に不平衡が生じる。バランサはこの不平衡を補償するために低圧線末端に取り付ける機器である。図 1 に示すような巻数比 1 : 1 の単巻変圧器である。バランサを取り付ける事により両端の回路は誘導的に結合され、電圧の不平衡は解消される。^{*1} ・ 定格容量は 2kVA、1kVA、定格電圧 200V、100V、定格電流 20A、10A など。^{*3} <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="427 952 922 1191" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="957 902 1382 1205" data-label="Image"> </div> </div> <p style="text-align: center;">図 1 回路図^{*1} 図 2 バランサの外観^{*2}</p>		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特に見当たらない。 		
得失	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電圧不平衡解消を目的とした場合有効であるが、定常時の電圧変動の抑制には効果が少ない。 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> ・ 低圧配電線の不平衡箇所にて暫定的に取り付けられるケースがある。 ・ 近年は減少傾向にある。^{*3} 		
参考文献	<p>*1 関根「配電技術総合マニュアル」オーム社、1991 *2 中国電機製造株式会社ホームページ *3 電気協同研究第 60 巻第 2 号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」</p>		

各機器の技術動向
(LVR - 一般型)

適用箇所	調整原理	機器	方式
低圧系統	変圧比	低圧用自動電圧調整器 (低圧ブースター) (LVR : <u>L</u> ow <u>V</u> oltage <u>R</u> egulator)	一般型
概要	<ul style="list-style-type: none"> 低圧配電線の電圧調整装置として、その使用方法から分類すると、柱上変圧器直下に取り付ける場合と、低圧配電線途中に取り付ける場合がある。^{*1} (前者は主として高圧線の補償用、後者は低圧線の補償用) 機器の構成からは下記の2つに分類される。^{*1} <ul style="list-style-type: none"> 誘導形電圧調整器 <ul style="list-style-type: none"> 誘導電圧調整器と制御用補助変圧器および電圧制御回路からなる。調整要素としての誘導電圧調整器は回転子に巻かれた二つの直列巻線とからなり、100/210Vの単相3線式回路に対してバランスした電圧調整を行う。 タップ切替型調整器 <ul style="list-style-type: none"> 直列変圧器、負荷時タップ切換器、制御用補助変圧器及び電圧制御回路より構成されている。 タップ切替方式のものでは、定格容量は、単相3線式(単巻)が30kVA、三相4線式(T結線)が10+30kVA、タップは0V、5.5V、11Vの3タップ、応答時間は120秒のものがある。^{*2} <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="491 1137 975 1422" style="text-align: center;">  <p>図1 LVR(タップ切替型)の回路図^{*2}</p> </div> <div data-bbox="1066 1093 1294 1435" style="text-align: center;">  <p>図2 LVR(タップ切替型)の外観</p> </div> </div>		
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> 分散型電源がある場合の定常的な電圧上昇の抑制も可能な逆潮流判定機能付のLVR(タップ切替型)が開発されている。^{*2} 分散型電源の低圧系統への多数台連系による電圧上昇対策として、LVR(誘導形)とバランスを合わせた対策機器の検討が進められている。^{*3} 		
得失	<ul style="list-style-type: none"> 低圧系統の電圧プロフィールにばらつきがある場合でも対応が可能である。 局所的な電圧対策と言える。分散型電源の導入に応じて段階的に投資を行うことができる反面、局所的な対策を繰り返すことでトータルコストが増大する可能性がある。 		
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 取扱いが簡便で、即効性があるという利点はあるが恒久設備としてではなく、臨時的に使用されることが多い。 		
参考文献	<p>*1 電気協同研究第24巻第4号「配電線の電圧調整と管理」 *2 電気協同研究第60巻第2号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」 *3 松田他「分散型電源多数台連系時の低圧配電線の電圧適正化機器に関する検討」平17年電気学会全国大会</p>		

各機器の技術動向
(SVG - 自励式静止型無効電力発生装置)

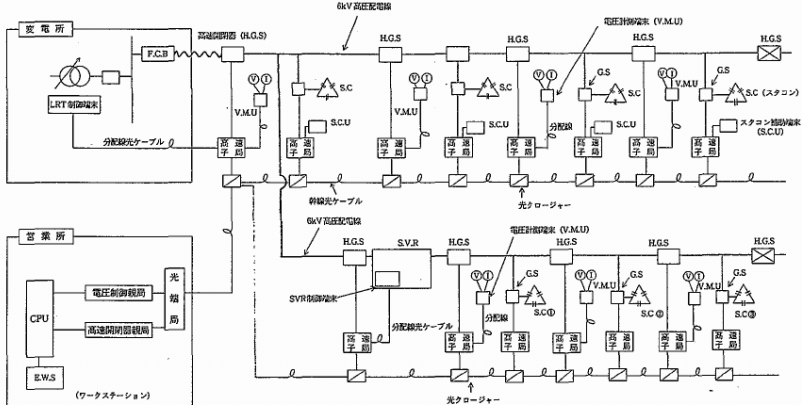
適用箇所	調整原理	機器	方式																								
低圧系統	無効電力	自励式静止型無効電力発生装置 (SVG : <u>S</u> tatic <u>V</u> ar <u>G</u> enerator)	一般型																								
概要	<ul style="list-style-type: none"> 低圧系に適用するSTATCOMと言える。低圧側の大容量負荷対策、高精度の電圧安定を要求される機器の対策を目的としている。 <div style="text-align: center;">  <p>図 1 回路構成図^{*1}</p> </div>																										
技術動向	<ul style="list-style-type: none"> 低圧系 (200V・400V 級) の製品が商品化されている^{*1}。以下に仕様、外観を示す。 <table border="1" data-bbox="413 1301 959 1671" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>定格電圧</td> <td colspan="2">三相 200V,400V</td> </tr> <tr> <td>定格周波数</td> <td colspan="2">50/60Hz(兼用)</td> </tr> <tr> <td>定格補償容量</td> <td colspan="2">50,100,200kvar (進相～遅相)</td> </tr> <tr> <td>冷却方式</td> <td colspan="2">風冷式</td> </tr> <tr> <td>概略質量</td> <td colspan="2">360kg (100kvar)</td> </tr> <tr> <td>応答時間</td> <td colspan="2">40ms 以下</td> </tr> <tr> <td>高調波電流発生量</td> <td>総合電流歪み率</td> <td>5.0%以下</td> </tr> <tr> <td></td> <td>各次調波</td> <td>3.0%以下</td> </tr> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="1035 1256 1417 1682" style="text-align: center;">  <p>図 3 外観図^{*1}</p> </div> <div data-bbox="528 1688 809 1720" style="text-align: center;"> <p>図 2 低圧用 SVG の仕様^{*1}</p> </div> </div>			定格電圧	三相 200V,400V		定格周波数	50/60Hz(兼用)		定格補償容量	50,100,200kvar (進相～遅相)		冷却方式	風冷式		概略質量	360kg (100kvar)		応答時間	40ms 以下		高調波電流発生量	総合電流歪み率	5.0%以下		各次調波	3.0%以下
定格電圧	三相 200V,400V																										
定格周波数	50/60Hz(兼用)																										
定格補償容量	50,100,200kvar (進相～遅相)																										
冷却方式	風冷式																										
概略質量	360kg (100kvar)																										
応答時間	40ms 以下																										
高調波電流発生量	総合電流歪み率	5.0%以下																									
	各次調波	3.0%以下																									
得失	<ul style="list-style-type: none"> 高圧用 STATCOM の得失と同じであるが、顧客の近傍で電圧制御が行えるので確実に電圧品質を維持可能である。 パワエレ機器のため高コストとなる。 																										
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 特定の低圧需要家の電圧変動対策として需要家構内に設置されるケースが多く、配電系統での適用は少ない。 																										
参考文献	^{*1} 「電圧調整設備 (パンフレット)」 松下電器産業株式会社、 松下産業機器株式会社、 富山松下電器株式会社																										

各システムの技術動向
(集中型電圧制御方式)

適用箇所	制御方法	システム名	方式・種類
配電系統 (高圧系統)	遠隔制御	集中制御	集中型電圧制御方式 (LRT、SVR 遠隔制御)
概要	<ul style="list-style-type: none"> 配電網に電圧/電流センサを適宜設置し、その計測情報を基に、変電所バンクのLRTや配電線上に設置されたSVRのタップを集中制御する電圧制御方式。^{*1} 各機器の自端情報による個別制御(例えばSVRの負荷中心点を予測した自端制御)では制御誤差が大きくなることが本方式提案の背景にある。 システム構成は、配電系統上に、1フィーダあたり3~5箇所に電圧/電流センサを設置し、通信ネットワークを介して計測値をセンターサーバに集約する。センターサーバで配電線の状態推定、LRT/SVRのタップ位置決定のための演算を行い制御信号をLRT/SVRへ配信する構成となっている。 演算周期は5分で検証している。 <div data-bbox="893 761 1404 1120" data-label="Diagram"> <p>図1 集中型電圧制御システムのシステム構成^{*1}</p> </div>		
技術動向	<p>【状態推定】</p> <ul style="list-style-type: none"> 重み付け最小二乗法により整合性評価を行うFast Decouple法を用いている。 <p>【制御量の決定】</p> <ul style="list-style-type: none"> 以下に示す3つの制御手法を検討している <ul style="list-style-type: none"> 最適電圧分布計算方式による制御 <ul style="list-style-type: none"> LRT、SVRのタップ位置決定は、LRTとSVRのタップ位置の組合せ最適化問題として取り扱った解法で行い、潮流計算により計算した各ノードの規定電圧からの逸脱量、裕度、現状からのタップ動作量などをパラメータとした評価関数が最小となる組合せを制御量としている。 簡易型最適電圧分布計算方式による制御 <ul style="list-style-type: none"> 電圧計測情報を基にLRT、SVRのタップ変化による電圧変化量を加算し、電圧分布の最適化をはかる方法。潮流計算を省略でき、処理の高速化が可能。 感度ルール方式による制御 <ul style="list-style-type: none"> 基幹系統のVQC技術を応用したもので、配電系統の各ノードの電圧が上下限値を逸脱する場合に、電圧余裕が最大となる機器を制御する方式。 <p>【システムの評価指標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 電圧裕度(各ノードの電圧と目標電圧上限値の差の最小値)とタップ動作回数 		

	で評価。
得失	<ul style="list-style-type: none"> ・ センサー情報により配電系統の状態を推定し各対策機器を動作させるシステム構成は今回の実証システムと同様の構成。 ・ 演算時間の短縮化、機器の動作回数の軽減のための制御手法を検討している ・ 高速応答性のある機器を対象としていないことから、自端制御と遠隔制御の協調の検討は実施されていない。
実系統適用状況	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実系統データを用いたシミュレーションでの検証を実施中であり、実系統へはまだ適用されていない。
参考文献	*1 吉永他「配電系統における集中型電圧制御方式の開発」平 16 年電気学会電力・エネルギー部門大会

各システムの技術動向
(高圧配電線電圧管理システム)

適用箇所	制御方法	システム名	方式・種類
配電系統 (高圧系統)	遠隔制御	集中制御	高圧配電線電圧管理システム (LRT、SVR、SC 遠隔制御)
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配電網に電圧/電流センサを設置し、その計測情報を基に、変電所バンクのLRTや配電線上に設置されたSVRのタップ、SCの投入・開放を集中制御する電圧制御方式。^{*1、2} ・ 各機器の自端情報による個別制御（例えばSVRの負荷中心点を予測した自端制御）では制御誤差が大きくなることや高圧系統の電圧変動幅を小さくし柱上変圧器のタップ変更作業の省力化を図ることが本方式提案の背景にある。 ・ システム構成は、配電系統上に、1フィーダあたり3～4箇所に電圧/電流センサ（VMU：Voltage Messurment Unitまたはセンサー内蔵開閉器）を設置し、光ケーブルを介して計測値を営業所のWS（ワークステーション）に集約する。WSで配電線の状態推定、SCの投入開放及びLRT/SVRの基準電圧決定のための演算を行い制御信号をSC投入開放用開閉器及びLRT/SVRへ配信する構成となっている。 ・ 演算周期は15分としている。 <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">図1 高圧配電線電圧管理システムのシステム構成^{*1}</p>		
技術動向	<p>【状態推定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 電圧/電流センサによる情報と各区間の線路定数（抵抗、リアクタンス）、契約負荷容量より各区間の電圧を推定。 <p>【制御量の決定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 文献1では、予想される配電系統の最大電圧降下地点の電圧値を制御目標の6600V以上（送出し電圧最大6900V時に電圧降下300V以下）となるようにあらかじめ決められたマトリクスに従ってSC、SVR、LRTに制御指令を送る方式。（詳細制御方式はマトリクス記載なしのため不明） ・ 文献2では、状態推定により予測される該当配電系統の需要家の電圧分布が目標 		

	<p>電圧範囲に最も多くなるようにLRTの基準電圧を制御する方式。</p> <p>【システムの評価指標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 従来制御方法との適正電圧幅（過酷幅）の割合比較、SC動作回数、SVR・LRTタップ動作回数で評価。
得失	<ul style="list-style-type: none"> センサー情報により配電系統の状態を推定し各対策機器を動作させるシステム構成は今回の実証システムと同様の構成。 SVR、LRT に関しては機器の動作回数軽減のためにタップの切替指令でなく、基準電圧設定の変更指令を行っている。 高速応答性のある機器を対象としていないことから、自端制御と遠隔制御の協調の検討は実施されていない。
実系統 適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 平成7～12年にかけて実系統にて実証試験が行われている。（現在は実証試験が終了し設備撤去済）
参考文献	<p>*1 副他「高圧配電線電圧管理システムの開発」平7年電気学会電力・エネルギー部門大会</p> <p>*2 壁村他「変電所 LRT フィードバック制御システムの開発」平12年電気学会電力・エネルギー部門大会</p>

各システムの技術動向
(センサー情報に基づく送出し電圧制御方式)

適用箇所	制御方法	システム名	方式・種類
配電系統 (高圧系統)	遠隔制御	集中制御	センサー情報に基づく送出し電圧制御方式 (LRT 遠隔制御)
概要	<ul style="list-style-type: none"> 配電網に電圧/電流センサを設置し、その計測情報を基に、変電所バンクのLRTを(オフライン、またはオンライン)制御する方式。^{*1} 本論文では具体的なシステム構成や演算周期の検討は実施していないが、電圧適正化、タップ切替回数の制約等を考慮したLRTタップ制御量の決定手法の検討が実施されている。 		
技術動向	<p>【状態推定】</p> <ul style="list-style-type: none"> 状態推定に関する記載なし。 <p>【制御量の決定】</p> <ul style="list-style-type: none"> 需要家受電電圧の適正電圧範囲、配電線の送出電圧の適正電圧範囲を制約条件とし、LRTタップの動作回数と電圧目標値誤差二乗和の重み付け和が最小となるように送出し電圧の24時間のプロフィールを決定する組合せ最適化問題として考えている。 問題の解法には送出し電圧の許容範囲をあらかじめ潮流計算により求め、解くべき問題の規模を縮小した組み合わせ問題を効率的に解くROBDD (Reduced Ordered Binary Decision Diagram) に基づく解法を用い、計算時間の短縮化を図っている。(あるモデルでの演算時間例は約5分) <p>【システムの評価指標】</p> <ul style="list-style-type: none"> LRTタップの動作回数と電圧目標値誤差二乗和で評価。 		
得失	<ul style="list-style-type: none"> センサー情報により配電系統の状態を推定し各対策機器を動作させるシステム構成は今回の実証システムと同様の構成。 演算時間の短縮化、機器の動作回数の軽減のための制御手法を検討している 高速応答性のある機器を対象としていないことから、自端制御と遠隔制御の協調の検討は実施されていない。 		
実系統 適用状況	<ul style="list-style-type: none"> 実系統へはまだ適用されていない。(シミュレーションによる検討が実施されている。) 		
参考文献	<p>*1 林他「分散型電源が連系された配電系統における最適送出し電圧の決定手法」、電気学会論文誌 B125-9、PP846～854</p>		

各システムの技術動向
(マルチエージェントシステム)

適用箇所	制御方法	システム名	方式・種類
配電系統 (高圧系統)	自端制御	自律分散制御	マルチエージェントシステム (LRT、SC、LBCの自律分散制御)
概要	<ul style="list-style-type: none"> 各対策機器（LRT、SC、LBC）が設置箇所の電圧値情報のみを基に制御する自端制御（基本制御）と、各対策機器間で通信や交渉を行いながら協調制御を行うマルチエージェントシステムによる制御を併用した方式。^{*1} システム構成は、柱上変圧器毎に設置し、低圧系統の情報を収集する需給インターフェース、各種対策機器（LRT、SC、LBC）からなる。需給インターフェース、各種対策機器間は通信線で情報のやりとりを行うが、集中制御は行わず、各対策機器がそれぞれの判断の基に自律制御を行うことが大きな特徴。 主に制御方式について検討されている。 <div data-bbox="845 694 1372 985" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">図1 マルチエージェントシステムのイメージ^{*1}</p>		
技術動向	<p>【状態推定】</p> <ul style="list-style-type: none"> 需給インターフェースより各柱上変圧器単位の需要量、分散型電源の動作量に関する情報を収集する。（詳細な状態推定に関する手法の記載はない。） <p>【制御量の決定】</p> <ul style="list-style-type: none"> 以下に示す2つの制御方式を併用している。 <ul style="list-style-type: none"> 基本制御 <ul style="list-style-type: none"> 各対策機器（LRT、SC、LBC）が設置箇所の電圧値情報のみを基に制御。 マルチエージェントシステムによる制御 <ul style="list-style-type: none"> 近隣の対策機器と情報交換を行い、各対策機器の受け持つエリアの平均電圧がそれぞれ適正電圧の中央値になるように制御を行う。また、各対策機器の受け持つエリアは需給インターフェースの情報により都度、変更を可能としている。また、電圧一定ノードと制御機器間の線路インピーダンスと電圧一定ノードの指定電圧値を各対策機器に連絡し、協調制御を可能としている。 <p>【システムの評価指標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 電圧適正範囲からの逸脱量の時間積算値、目標電圧値からの偏差量の自乗の時間積算値 		

<p>得失</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 集中制御を行わず、自端制御のみによるシステム全体の協調制御を行うシステムのため、制御センター設置を省略できる。 ・ 依然、通信線の構築は必要となる。(集中制御との経済性の評価が今後着目される。) ・ 協調制御手法の確立(さまざまなシステムに対する適用性、各機器の協調性の向上等の検討)が必要と考えられる。 ・ 実証研究でも課題となる「自端制御による高速制御と他の機器との協調制御の役割分担」を提案している。
<p>実システム適用状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実システムへはまだ適用されていない。(シミュレーションによる検討が実施されている。)
<p>参考文献</p>	<p>*1 辻他「自律的な分散方式による需要地システムの電圧制御」電気学会論文誌 B、124 巻 3 号、2004 年</p>

(3) 対策機器の比較

各機器の技術動向調査結果から、実証研究の対象機器を含む各機器について、下表のとおり制御性、運用性、信頼性、経済性の比較が可能な一覧表を別紙1のとおり作成した。

表 各機器に対する評価項目

制御性	運用性	信頼性	経済性
電圧補償範囲 応答性 電圧変動幅 他機器の協調性	設置箇所 重量、寸法 高压系統変更対応（短期、長期） メンテナンス 分散型電源対応	配電系統への接続方式 半導体部品の適用有無 高調波 寿命 実系統適用実績 研究開発状況	機器コスト 機器の電力損失

比較結果から言える主な点は以下のとおり

- ・ 既に技術が確立していると考えられる LRT、SVR は直列機器であるにもかかわらず信頼性が高く、実系統に広く適用されている。
- ・ 高速応答性に優れたパワエレ機器の中では、SVC（他励式、自励式）が運用性（メンテナンスの負担増など）、経済性の課題はあるものの、既に実系統で試験適用されており最も実用化に近い。一方、設置箇所の電圧情報により SR を並列に接続する方式は、応答性などの課題はあるものの各種パワエレ機器と比較し経済性に優れている。
- ・ 低圧での対策は広範囲（配電系統全体）の電圧調整は困難なため、分散型電源大量普及時の対策としては不向き。但し、分散型電源の普及過程において経済的に有利なケースがあると想定される。

以上の比較結果より、実証試験、実系統適用シミュレーションにおける対象機器、遠隔制御機器として、以下に記載する機器を実証研究における対象機器として提案した。

実証試験における対象機器、遠隔制御機器

：LRT（プロコン方式）、SVR（分散型電源逆潮対応型）、SR（電圧式）、SVC（他励式、SVR 協調型）、SVC（自励式、SVR 協調型）、BTB（LBC）

シミュレーションにおける対象機器、遠隔制御機器

：実証試験で検証する機器に加え、LRT（LDC 方式）、柱上変圧器（自動タップ型）

当初計画と異なる部分は、実証試験における対象機器として SR（電圧式）、SVC（他励式、SVR 協調型）が追加されたこと、遠隔制御機器として LRT（プロコン方式）が追加されたこと、及びシミュレーションにおける対象機器として実証試験で検証する機器に加え、LRT（LDC 方式）、柱上変圧器（自動タップ型）が追加されたことである。

(参考) IAE による主要機器の評価内容

適用箇所	機 器	制御性	運用性	信頼性	経済性	補 足
変電所 送出	LRT (LDC 方式)					
	LRT (フロン方式)					
高圧系統	SVR					分散型電源対応型
	TVR					
	SC/SR					電圧式
	SVC					SVR 協調型
	UPFC					
	BTB					
低圧系統	自動タップ Tr					
	LVR					

3.2.3 まとめ

本節では、実証研究に資する国内技術情報の提供、及び実証システムに係わる各種課題（技術的課題、運用的課題、経済的課題）抽出、方向性検討に資する情報の蓄積を目的とし、配電系統の分散型電源多連系による電圧上昇対策に関する文献、実証試験に有益となる個々の新技術に関する文献について、電気学会を中心に国内各種学会、技術文献の調査を実施した。

また、国内の類似した対策機器・システムについて、文献・ヒヤリング調査を実施し、調査結果を体系的に整理し、各対策機器を制御性、運用性、信頼性、経済性の各指標で比較した。比較の結果は実証研究での追加対象機器として実証研究実施者にて採用が検討されている。

対策機器の比較

適用箇所	調整原理	機器名	方式・種類	比較項目																実証研究での適用案									
				制御性				運用性				信頼性				経済性		実系統適用研究開発状況		実証試験		シミュレーション	補足						
				電圧補償範囲	応答性(自端制御時)	電圧変動	他機器との協調性(自端制御時)	設置箇所	重量寸法	高圧系統変更の対応		メンテナンス	分散型電源対応(自端制御時)	接続	パワエレ適用有無	高調波	寿命	機器コスト	電力損失	実系統適用状況	研究開発状況			設置対象	遠隔制御	対象			
変電所送出	変圧比	LRT	プロコン方式	配電線全域 1000V以上の調整	60~120秒	ステップ状 1ステップ 80~130V	不協調の恐れ小	変電所構内	-	対応不可	設置箇所変更不要	設定値変更切替回数管理 絶縁油交換	分散型電源対応(自端制御時)	直列	なし	発生なし	タップ切替器寿命 20万回	-	小(配変用T損失は別途発生)	既に全電力の配電線で適用済	既に技術確立済	-	-	-	・LRTは全電力の配電線で適用されている機器であり、かつ配電線全体の電圧調整に調整効果が高く、実証試験では設置対象、遠隔制御対象が妥当。 ・LRT(LDC方式)も多社で採用されており、シミュレーション対象とする。				
			LDC方式																										
高圧系統	変圧比	SVR	一般型	SVR以降 約1000Vの調整	45~180秒	ステップ状 1ステップ 80~150V	高速機器に対しては、高速機器の協調機能で可能	電柱騒音小(A社製品)	約2.7t(4000KVA)	逆送対応不可	設置箇所、設定値変更の可能性がある	設定値変更切替回数管理 絶縁油交換	逆潮時誤制御	直列	なし	発生なし	タップ切替器寿命 20万回(真空バルブ方式)	約500万円(3000KVA)	(B社製品) 負荷損 6000W以下	既に全電力の長巨長配電線で適用済	既に技術確立済	-	-	-	・SVRは全電力の長巨長配電線に適用されている機器であり、信頼性の高さから実証試験での対策機器として妥当。 ・今回の実証研究では分散型電源に対応可能な機器であることが望ましい。(機能を切り換え、分散型電源対応型の効果も合わせて検証) ・シミュレーションも同様				
			逆送切換型																										
			分散型電源対応型																										
		TVR	TVR以降 600Vの調整	最短 0.1秒	ステップ状 1ステップ 最小100V 最大400V	高速機器同士の不協調の恐れ有	電柱騒音小(SVRと同程度)	約2.4t(3000KVA)	逆送対応	設置箇所、設定値変更の可能性がある	設定値変更 電磁接触器、半導体部品点検	対応可能	直列	雷等による半導体機器故障の恐れ有	発生なし	電磁接触器、半導体部品に依存	SVRの1.5倍以下程度	(C社製品) 無負荷損 1600W以下	実系統で検証済	更なる性能向上の可能性有	-	-	-	・SVRに高速性の機能が加わり、低コストで適用可能であるが、半導体機器としての信頼性、運用性の長期検証が必要。 ・今回の実証研究では対象外とする。					
	無効電力出力	SVC(他励式)	SR(SC/SR)	タイマー式	配電線全域 1台で100V程度の調整	-	ステップ状 1ステップ 約100V程度が一般的	高速機器に対しては、高速機器の協調機能で可能	電柱騒音小(開閉器開閉音)	約1.0t(150KVA)	対応不可	設置箇所、設定値変更の可能性がある	設定値変更動作回数管理	電圧の増減により対応	並列	なし	発生なし	投入開放用開閉器寿命	約100~200万円(150KVA)	(D社製品) リアクトル損 2500W以下	既に一部の電力で適用済	既に技術確立済	-	-	-	・SRを用いた対策は、応答性等の課題はあるが機器構造がシンプルで信頼性は高い。また、応答性の高い機器との併用で低コストなシステム構築に寄与する可能性が高い。但し、実証試験による効果確認が必要。従って、電圧式のSRを実証試験、シミュレーションの対象とする。			
				電圧式(分散設置方式)																									
				電圧式(集中設置方式)	配電線全域 1台で450V程度の調整	45~180秒		高速機器に対しては、設定値調整が必要	電柱騒音小(450KVA)	約3.3t		設置箇所、設定値変更の可能性がある	設定値変更																
				磁束制御型可変リアクトル	配電線全域 1台で300V程度の調整	0.08秒	連続的	高速機器同士の不協調の恐れ有	電柱騒音小(変圧器と同程度)	約3.9t(300kvar)		設置箇所、設定値変更の可能性がある	設定値変更																
	無効電力出力・潮流制御	SSSC	UPFC	TCR(一般型)	配電線全域 1台で600V程度の調整	0.1秒など	連続的	不協調が懸念	電柱騒音小(G社製品 5m離れて50dB以下)	約5.0t(300kvar)	系統変更内容に左右	設置箇所、設定値変更の可能性がある	設定値変更 半導体部品点検・交換	電圧の増減により対応	並列	雷等による半導体機器故障の恐れ有	高調波フィルタにより抑制(H社製品総合 1.5%以下、各次1.0%以下)	約1000万円(300kvar)	(I社製品) 13000W以下	既に一部の電力で適用済	既に技術確立済	-	-	-	・他励式 SVC(TCR型)は、高速応答性のある機器の中では最も実系統で適用されている機器であり、応答性の高い対策機器として実証試験での適用が妥当。 ・高コスト機器のため高速性のない機器との併用が望ましく、併用時の協調性が確保できる SVR 協調型が妥当。				
				TSC																									
				TCR(SVR協調型)																									
				一般型	配電線全域 1台で600V程度の調整	0.04秒など	連続的	不協調が懸念 高速応答性のない機器との協調は可能	電柱騒音小(但し、J社製品 5m離れて50dB以下)	約2.6t(300kvar)	系統変更内容に左右	設置箇所、設定値変更の可能性がある	設定値変更 ファン、半導体部品点検・交換	電圧の増減により対応	並列	雷等による半導体機器故障の恐れ有	発生小	ファン、半導体部品に依存	約1500万円(300kvar)	(K社製品) 15000W以下	一部の電力で試験適用	更なる性能向上の可能性有	-	-	-	・自励式 SVCは、他励式 SVCについて実系統で適用(試験適用)されている機器であり、他励式 SVCに比べ応答性が高く軽量である。 ・他励式との性能比較検証を行う必要があることから実証試験機器として適用。 ・高コスト機器のため高速性のない機器との併用が望ましく、併用時の協調性が確保できる SVR 協調型が妥当。			
無効電力出力	UPFC	自励式 BTB	LBC	配電線全域	SVC(自励式)と同等	連続的	SVC(自励式)と同様、SVR協調機能付加で高速応答性のない機器との協調は可能	電柱騒音小(ファン有)	SVC(自励式)と同程度	系統変更内容に左右	設置箇所、設定値変更の可能性がある	設定値変更 ファン、半導体部品点検・交換	電圧の増減により対応	直列	雷等による半導体機器故障の恐れ有	検証要	ファン、半導体部品に依存	不明	不明	適用なし	更なる性能向上の可能性有	-	-	-	・SSSC、UPFC、自励式 BTBは、実系統での適用実績が少ないが、これまでの机上検討により自励式 BTBの有効性が確認されており、実証試験機器としての適用が妥当。				
								LBCの場合 約6.0t	対応可能	電圧、潮流の増減により対応																			

適用箇所	調整原理	機器名	方式・種類	比較項目																実証研究での適用案					
				制御性				運用性				信頼性				経済性		実系統適用研究開発状況		実証試験		シミュレーション	補足		
				電圧補償範囲	応答性(自端制御時)	電圧変動	他機器との協調性(自端制御時)	設置箇所	重量寸法	高圧系統変更の対応		メンテナンス	分散型電源対応(自端制御時)	接続	パワエレ適用有無	高調波	寿命	機器コスト	電力損失	実系統適用状況	研究開発状況			設置対象	遠隔制御
低圧系統	変圧比	柱上変圧器	固定タップ型	低圧線全域 1台で8V程度(低圧換算)の調整	-	ステップ状 1ステップ 2.4V (低圧換算)	不協調の恐れ小	電柱騒音なし	-	対応不可	タップ値変更の可能性有	タップ値変更	対応不可	直列	なし	発生なし	-	-	(柱上Tr損失は別途発生)	既に全電力の配電線で適用済	既に技術確立済	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 低圧系統による対策機器は、配電系統全体の電圧の調整は困難であることから、分散型電源大量普及時の対策としては不向き。従って、実証試験の対策機器としては対象外とする。 但し、分散型電源の普及過程において、低圧系統単位の局所的な普及も十分想定されることから、そのようなケースでの暫定対策としては現実的な対策となる。従って、暫定対策としての効果検証はシミュレーションで実施することとする。 	
			自動タップ型(電圧維持管理装置など)	2秒以下など(最短0.04秒)	連続的	電柱騒音小(L社製品0.5m離れて45dB以下)	約0.65t単柱	対応可能	対応可能	ファン、半導体部品点検・交換	対応可能	雷等による半導体機器故障の恐れ有	発生小(M社製品総合5.0%以下、各次3.0%以下)	ファン、半導体部品に依存	不明	(N社製品50kW運転時1540W)	一部の電力で試験適用予定	更なる性能向上の可能性有	-	-	-	-			
		バランサ	低圧線全域	-	連続的	電柱騒音なし	単柱	対応不可	対応不可	ほぼ不要	不平衡のみ解消	並列	なし	発生なし	変圧器と同程度	約1.5万円(1kVA)	-	既に適用済であるが減少傾向	既に技術確立済	-	-	-	-		
	LVR	LVR以降	120秒など	ステップ状1ステップ5.5V(低圧換算)など	電柱騒音小(タップ切替音)	単柱	対応可能	対応可能	設定値変更切替回数の管理	対応可能	直列	なし	発生なし	タップ切替寿命	不明	-	既に一部の電力で適用済	-	-	-	-	-			
無効電力出力		SVG	-	低圧線全域	0.04秒など	連続的	電柱騒音小(0社製品0.3mで60db以下)	約0.2t(50kVA)単柱	対応可能	対応可能	設定値変更ファン、半導体部品点検・交換	対応可能	並列	雷等による半導体機器故障の恐れ有	発生小(P社製品総合5.0%以下、各次3.0%以下)	ファン、半導体部品に依存	約300万円(50kVA)	(Q社製品2500W以下)	適用なし(需要家で設置事例有)	更なる性能向上の可能性有	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 低圧用 SVG は無効電力による調整となることから、低圧系統では費用対効果が少ないと考えられる。
各比較項目における総括的分析				<ul style="list-style-type: none"> 配電系統の広範囲の電圧を調整可能な機器は、LRT や高圧系統の無効電力出力機器(SR、SVC、BTB など)であるが、高圧系統の設置箇所以降の電圧を調整する機器(SVR、UPFC など)や低圧系統の対策機器は電圧逸脱範囲をスポット的に対策するのに適した機器と言える。 【まず系統全体の電圧調整を LRT で行い、細かな調整をその他機器で行う。】 既存機器(LRT、SVR など)は高速性に欠けるが、近年高速性に優れた各種機器(SVC、BTB など)が開発されている。 【高速制御の必要性に応じ、高速制御機器を併用する。】 電圧変動は高速応答性がなくステップ状に電圧調整する機器(LRT、SVR、SR など)と高速性に優れ連続的に電圧調整する機器(SVC、UPFC、BTB など)に大別できる。高速応答性のない機器と高速機器の協調は、高速機器に協調機能を持たせることで協調性が確保可能となっている。しかし、高速機器同士の協調性はまだ確立されていない。 【高速機器同士の協調性確保は自端制御時の課題となる。】 設置箇所は変電所構内に設置する LRT 以外は全て電柱上の設置を想定している。柱上設置の場合、騒音に対する考慮が必要であり各機器ともに騒音対策を実施している。重量は H 柱(2本柱)設置機器で 2.5~5.0t が一般的。 【実用化機器においては、騒音対策、軽量化対策が課題となる。】 配電線事故時、作業時の短期的な高圧系統変更に対して、対応可能な機器(SVR 逆送切替型)が開発されているが、その他機器においては系統変更範囲に制約が生じる恐れあり。長期的な高圧系統変更に対してはいずれの機器も設置箇所変更や設定値の変更が必要となる可能性がある。 【LBC によるループ化、機器の分散設置、集中制御などの対策実施による効果検証が必要。】 メンテナンスに関しては機械的動作により電圧調整を行う機器(LRT、SVR、SR など)は、動作回数の管理や絶縁油の交換が必要。パワエレ機器(SVC、BTB など)はファンや半導体部品(主に電解コンデンサ)の点検、交換が必要。特にパワエレ機器の点検は点検周期が短くなることが考えられ、メンテナンス頻度の増加が懸念される。 【パワエレ機器のメンテナンスの軽減が課題となる。】 自端制御時、一部の機器(LRT、SVR(一般型)、SR(タイマー式)、柱上 Tr(固定タップ)など)で分散型電源の連系に対応できない機器もあるが、その他機器においてはある程度対応可能と考えられる。 【自端制御時の各機器の効果と集中制御による効果検証が必要。】 パワエレ機器(特に直列機器)に関しては、雷等による半導体機器故障、及び配電線事故への波及が懸念される。 【機器故障時の対策が課題。】 高調波に関しては、発生量は少ないものの複数台設置により影響が懸念される機器がある。(SVC(他励式)、BTB など) 【高調波発生による影響把握が必要。】 パワエレ機器(SVC、BTB など)はファンや半導体部品(主に電解コンデンサ)の寿命に依存している。 【パワエレ機器の各 부품の長寿命化が課題。】 機械的動作により電圧調整を行う機器(SVR、SR など)は、安価。 【高速制御機器との併用によるコスト低減が有効。】 直列接続のパワエレ機器(UPFC、BTB など)の電力損失が大きいと考えられる。 【LBC の電力損失低減(高効率化)が課題】 LRT、SVR、SR、SVC(他励式)などは既に実系統に適用(一部適用)されている。パワエレ機器(SVC(自励式)、TVR、UPFC など)が近年、一部の電力会社により試験適用されている。 【既存機器をベースに新規開発機器を織り交ぜた将来システムとしての実証研究とすべき。】 																<p>実証研究(実証試験、実系統適用評価シミュレーション)での対策機器適用案は以下のとおりとする。</p> <p>実証試験における対象機器、遠隔制御機器</p> <ul style="list-style-type: none"> LRT(プロコン方式) 配電線全体の電圧調整が可能で、広く実系統に普及している信頼性の高い低コストな既開発機器。 SVR(分散型電源逆潮対応型) 高圧系統の電圧逸脱箇所を効果的に対策可能で、広く実系統に普及している信頼性の高い低コストな既開発機器。 SR(電圧式) 高速制御機器との併用によりシステムのコスト低減が可能な既開発機器。 SVC(他励式、SVR 協調型)、SVC(自励式、SVR 協調型) 多少の課題はあるものの、高速性に優れ実系統への普及の可能性が最も高いパワエレ機器。 BTB(LBC) 各種課題はあるものの、配電線全体の電圧調整に有効なチャレンジングな新規開発機器。 <p>シミュレーションにおける対象機器、遠隔制御機器 実証試験で検証する機器に加え</p> <ul style="list-style-type: none"> LRT(LDC方式) LRT(プロコン方式)と同様に広く普及しており実系統評価には欠かせない機器。 柱上変圧器(自動タップ型) 大量普及時の対策としては効果は少ないと考えられるが、分散型電源の普及過程における局所的な対策で現実的、効果的な新規開発機器。 					

図2 半導体素子最大定格

素子	定格電圧	定格電流
サイリスタ	8000V	3500A
GTO	6000V	6000A
GCT	6000V	6000A
IGBT	3300V	1500A
IEGT	4500V	2100A

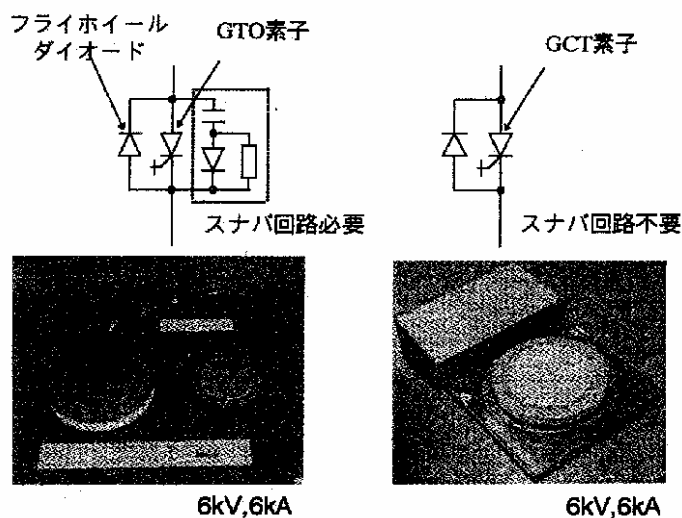


図3 スナバレス GCT サイリスタ

図4 GTO・GCT 損失比較

項目		GTO サイリスタ	GCT サイリスタ
素子 (GTOサイリスタまたは GCTサイリスタ)	定常損失	0.12	0.11
	ターンオン スイッチング 損失	0.05	0.05
	ターンオフ スイッチング 損失	0.12	0.15
	素子の損失	0.29	0.31
外部回路	スナバ損失	0.47	0.05
	アノード リアクトル	0.25	0.08
トータル損失(素子+外部回路)		1.01	0.44

3.3.2 IGBT

IGBT は MOSFET の高速性と BPT の大容量制を兼ね備えたパワー素子として開発されてきた。IGBT が産業用電力半導体スイッチとして開発・製品化されて 15 年ほど経過し、その間、性能向上と共に普及拡大し、トランジスタに代わって電力を利用するほとんどの産業機器に利用されるようになった。

(1) 双方向素子

GTO や IGBT などの半導体素子は、一般的に逆耐圧がほとんど無いため逆方向に電圧が印加されると素子が破壊する。また、逆向きに電流を流すことも出来ない。そのため、変換器の自己消弧型素子には逆並列にダイオードが接続されている。

逆阻止 IGBT は逆耐圧を順方向のオフ時の耐圧と同等にしたものであり、マトリクスコンバータ実現の可能性を高めている²。

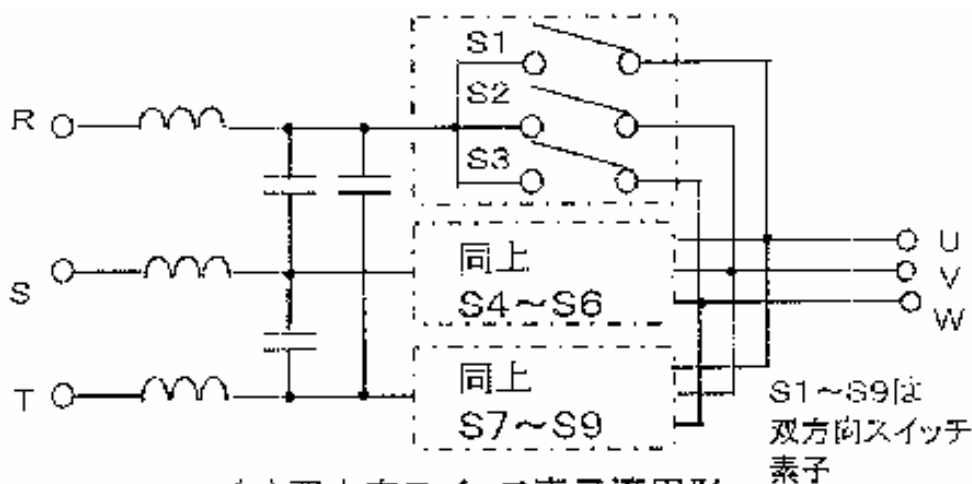


図7 双方向スイッチ適用形コンバータ

RC-GCT は

図8のように、GCT ウエハに逆並列ダイオード部を設け1素子にてGCTと逆並列ダイオードを実現した素子であり、

図9に示すように大幅なコンパクト化が実現できている³。

² 山元、田畑、岩本，“パワー半導体デバイスの動向”，電気学会全国大会 No.4-S20-2，2002

³ H. Okayama, T. Fujii, Y. Shimomura, M. Koyama, “A Newly Developed 3-Level RCGCT Inverter System”

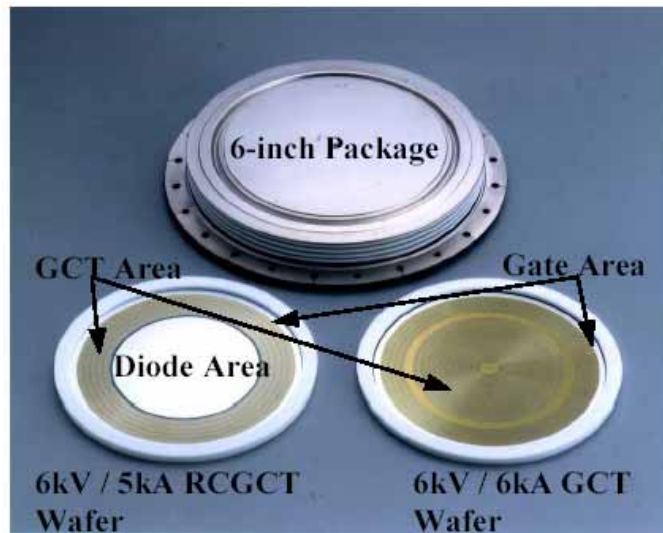


図 8 RC-GCT 素子



Main circuit	3-phase 3-level topology
DC-link voltage	6000V
Output voltage	3950V
Output current	1170A
Rated Capacity	8MVA
Overload	12MVA 60s
Output frequency	0 to 60Hz
Efficiency	98.5%
Cooling system	Deionized water cooling
Inverter Panel size	W1.2m H2.3m D1.5m

図 9 RC-GCT、3 レベルインバータ

(2) 素子による低損失化

IGBT はスイッチングスピードが速いが、定格電圧が高くなるとオン電圧（飽和電圧）が高くなる欠点があったが、オン電圧を低減しスイッチング特性の良い IEGT や CSTBT が開発され低損失化が実現されている。

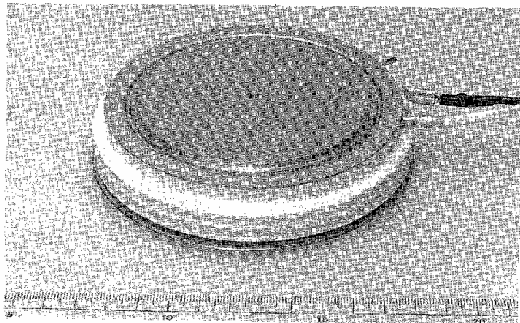


図 10 圧接形 IGBT

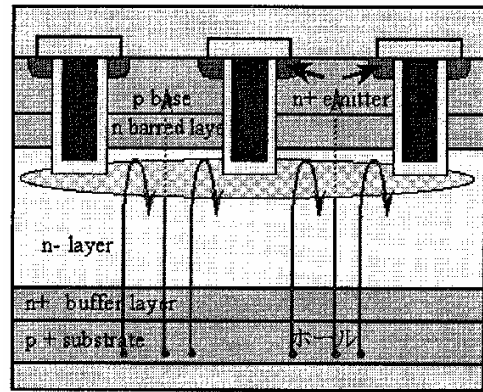


図 11 CSTBT 断面構造

(3) 回路実装技術

素子直列を行ない変換器の大容量化を図る場合、スイッチング過渡時に発生する素子の電圧分担の不均一が問題となる。電圧分担が均等に行なわれないと電圧が素子耐圧を超えることで素子破壊に至る可能性がある。電圧を均等に分担するための手段にはスナバ回路の適用があるが、損失増加が懸念される。

その損失低減対策として、電圧を均等に分担するように直列している各素子のゲートをアクティブに制御するアクティブゲート制御がある。IGBT 直列接続では既に制御方式が開発されている^{4 5 6}。

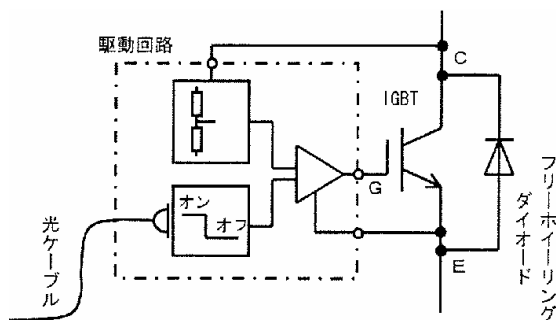


図 12 アクティブゲートコントロール回路

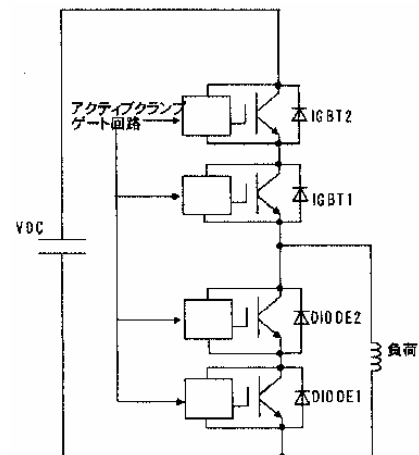


図 13 IGBT 直列回路へのアクティブゲート制御の適用

- ⁴ 中武、角田、岩田，” マルチクランプレベル式高速アクティブ制御ゲート回路による IGBT 直列接続 ”，電気学会全国大会 No.4-013，2002
- ⁵ 酒井、加藤、石田、江口，” IGBT スナバレス直列接続による無効電力補償装置 ”，電気学会静止器研究会 SA-01-40，2001
- ⁶ 吉野、金井、飛田，” 無効電力補償装置への大電力絶縁ゲート形半導体素子の適用と変換器技術の動向 ”，電気学会全国大会 No.4-S14-6，2002

また、変換器主回路実装技術（主回路低インダクタンス化、スイッチング高周波化、ゲート給電など）により、損失低減、ノイズ低減、サイズ低減などが可能であり、変換器の更なるコンパクト化を実現できる^{7 8 9}。

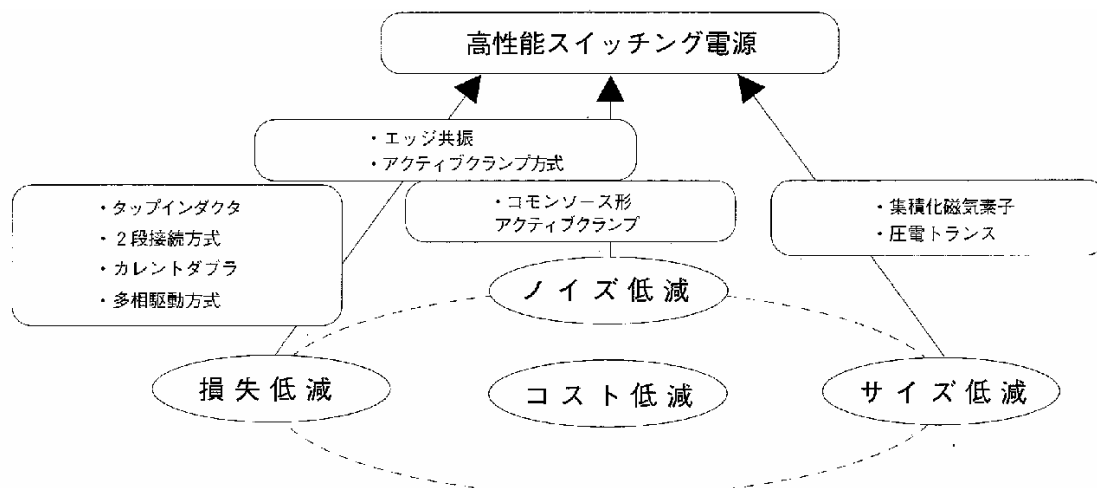


図 14 高性能スイッチング技術のための技術

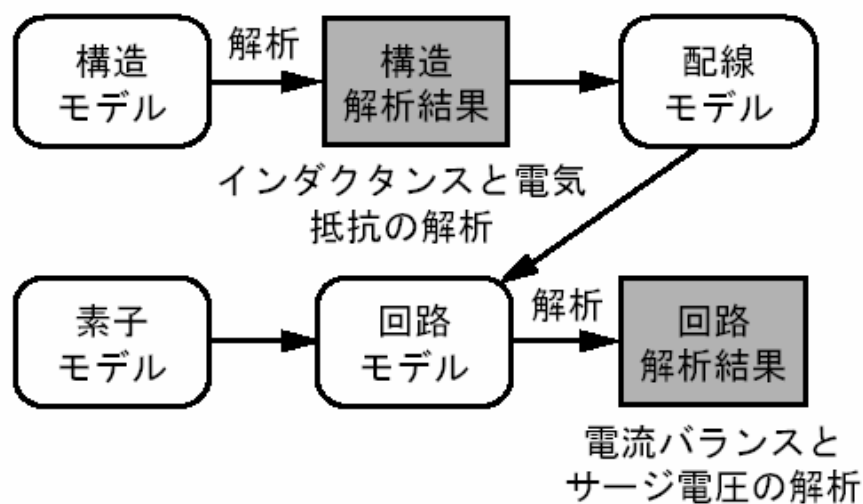


図 15 主回路低インダクタンス化のための解析手順

⁷ 松本、田井、小谷，” IEGT 応用コア技術 ”，東芝レビュー-Vol.55、No.7、pp.11-14，2000

⁸ 二宮，” スwitching電源の技術動向 ”，雑誌 OHM4 月号、pp.49-53，2003

⁹ 長尾，” 総論 ”，電気学会全国大会 S22-1，2000

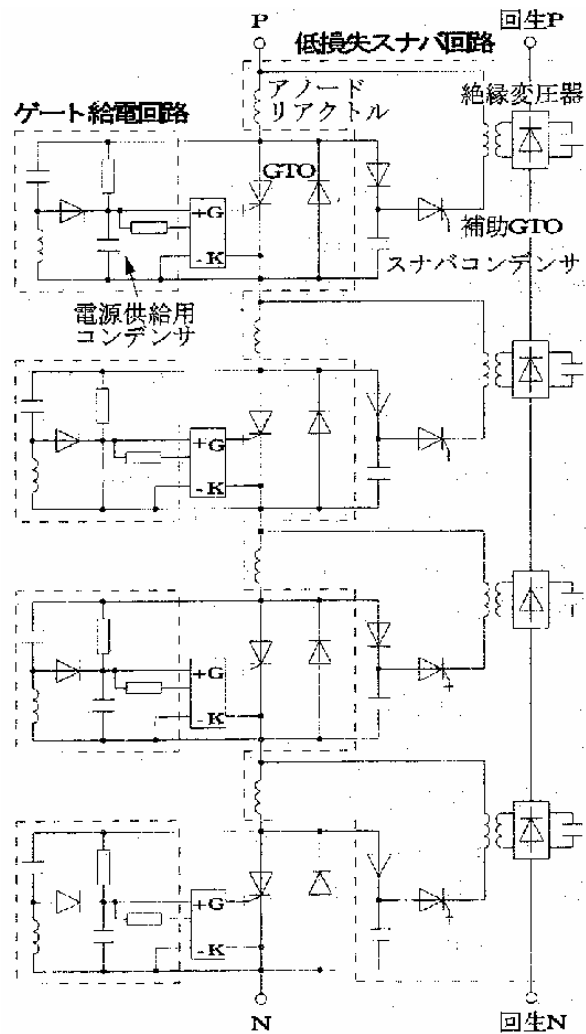


図 16 連系強化での主回路要素技術検討

(4) 今後の開発状況

逆素子型 IGBT やウエハ接着技術を用いた双方向ダブルゲート IGBT 等も研究開発されており、AC - AC 直接変換装置への適用が期待される。過電流保護機能や過昇温保護機能を付加したインテリジェント化も進んでいる。また、双方向素子を用いたコンパクトな大容量電力変換器の開発が期待される^{10 11}。

¹⁰ 三野、大熊、黒木，“双方向スイッチ回路を用いた直接リンク形変換回路の基本動作”，電気学会電学論 D、Vol.118、No.2、PP236-242

¹¹ 松波，“パワーエレクトロニクス - ますます高まる SiC パワーデバイスへの期待”，雑誌 OHM4 月号、pp.8-9，2003

3.3.3 SiC 半導体素子

パワー半導体デバイスは、低損失化、高性能化することにより、電力利用の大幅節減が可能となり波及効果が極めて大きい。さらに、クリーンエネルギー、分散型電源や電気自動車など今後のエネルギーにも不可欠である（図 17）。パワー半導体デバイスを使用した変換装置は Si-IGBT や GTO サイリスタを使用して開発されている。また、配電系統に適用されている例もあるが本格的な普及には至っていない。しかしシリコンにより作られている現在の半導体は、その物性面で性能限界に近づいているため、飛躍的な特性改善を図るためワイドギャップ半導体への期待が高まっている。

(1) 特徴と適用効果

図 18 に示すように、ワイドギャップ半導体には炭化ケイ素 (SiC) や GaN、ダイヤモンドなどがあり、特に SiC に対する期待は高い。Si と SiC の半導体物性値の比較を図 19 に、Si デバイスと SiC デバイスの素子・システム比較を図 20 に示す。図 19 に示すとおり素子レベルではサイズで 1/10、オン抵抗 1/300 となると期待されている。また各種電力変換装置レベルでは損失 30%まで低減するとの試算もある。

現在開発されている SiC パワーデバイスのトップデータを

に示す。高耐圧ダイオード (20kV) や、サイリスタ、GTO などが開発されている（図 22）。電力分野への適用例としては、200kVA 級の電力安定化装置への適用研究（関西電力）が行われている¹²。

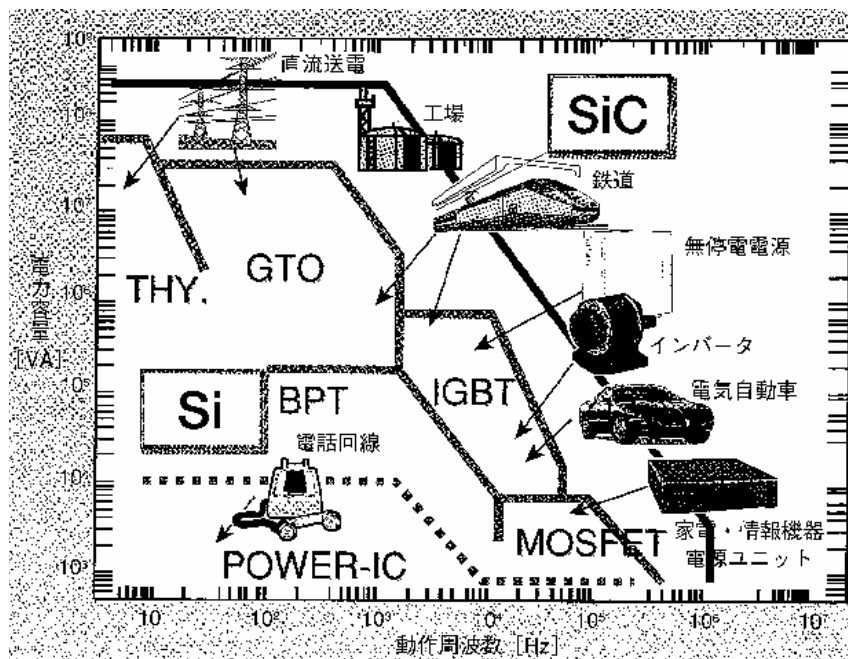


図 17 Si デバイスと SiC デバイスの適用範囲比較

¹² Y. H. Song, A. T. Johns, “Flexible ac transmission systems (FACTS)” IEE POWER AND ENERGY SERIES 30, IEE, 1999

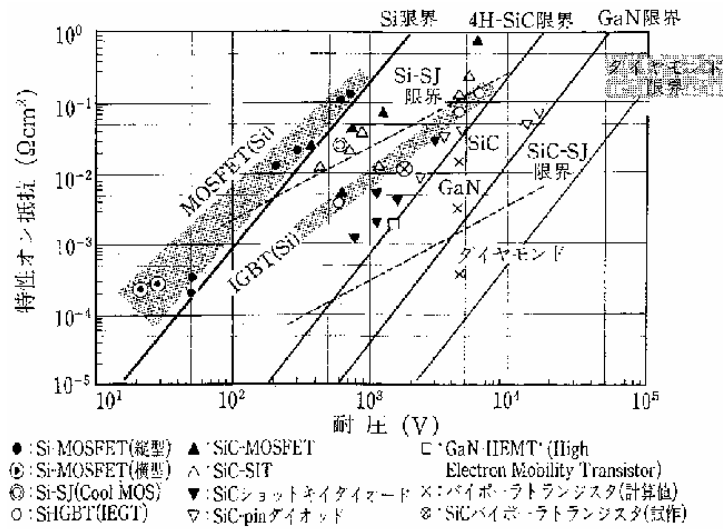


図 18 先端パワーデバイスの研究開発状況

物性	物性値比較 (SiC/Si)	SiCデバイスの性能
融点 ()	~2倍 $\left(\frac{2800}{1420} \right)$	高温動作 (125 400)
エネルギーギャップ (eV)	~3倍 $\left(\frac{3.2}{1.1} \right)$	高耐圧化 (10倍)
絶縁破壊電界 (V/cm)	10倍 $\left(\frac{3 \times 10^6}{3 \times 10^5} \right)$	大電流 (100倍) 低損失化
熱伝導率 (W/cm·)	~3倍 $\left(\frac{5.0}{1.5} \right)$	高安全動作領域化 (30倍)
飽和速度 (cm/s)	~3倍 $\left(\frac{2.7 \times 10^7}{1.0 \times 10^7} \right)$	高周波化 (10倍)

図 19 SiCの物性がパワーデバイスの性能に及ぼす影響

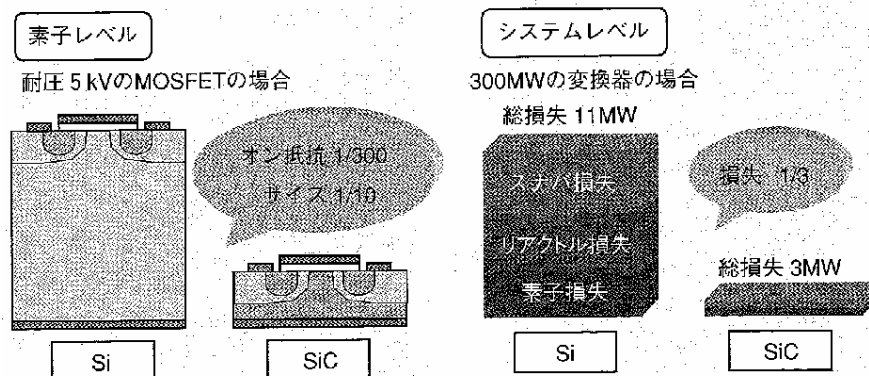


図 20 Si デバイスと SiC デバイスの素子・システム比較

対象装置	想定容量 (MW)	適用インパクト	
		電力損失*	パルプ体積*
系統連携装置 (自励式 BTB)	300	~0.26	~0.16
直流送電用交直 変換装置(自励式)	300	~0.26	~0.16
無効電力補償装置 (SVG)	50	~0.3	~0.2
アクティブフィルタ	10	≤0.2	—

* Si-GTO パルプの電力損失と体積を 1 とした相対比

図 21 SiC 適用時の各種電力変換装置試算

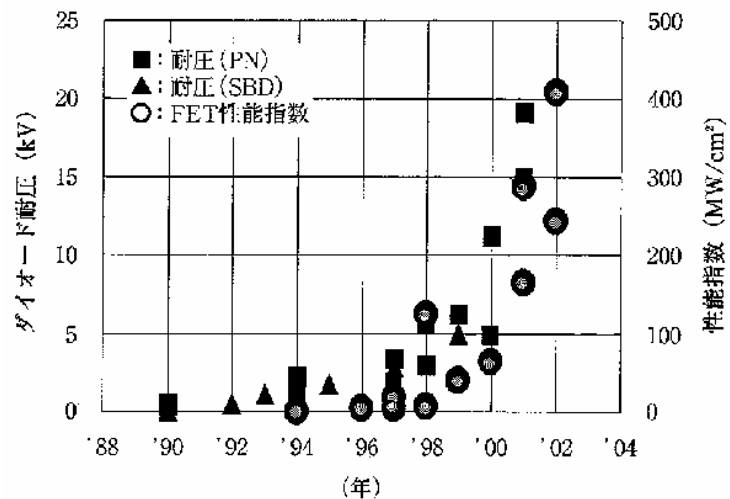


図 22 SiC ダイオードの耐圧と SiC-FET 性能指数の経年変化

デバイス		耐圧
ダイオード	SBD	4400V
	Pn	19500V
トランジスタ	MOSFET	1400V
	IGBT	800V
サイリスタ	サイリスタ	700V
	GTO	3100V

図 23 開発 SiC パワーデバイスのトップデータ

(2) 変換器技術、実装技術に与える影響

半導体素子の性能向上や大容量化および回路実装技術向上に伴い、変換器のパワー密度は飛躍的に向上している。1970年頃における変換器のパワー密度は $0.01\text{W}/\text{cm}^3$ であったが、1980年代には $0.1\text{W}/\text{cm}^3$ を超え、2000年代の現在では $1\sim 2\text{W}/\text{cm}^3$ に至っている¹³。

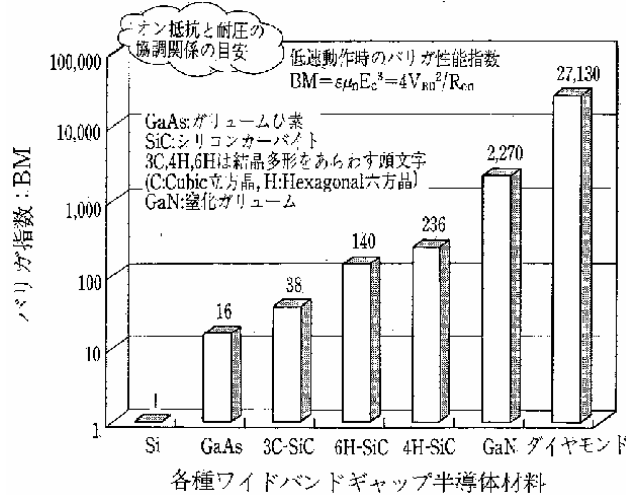


図 24 新半導体材料の性能指数比較

Si 半導体素子は物性限界に近づいているため、今後の飛躍的な性能向上は望めないが、SiC が実用化されれば更なるパワー密度の飛躍的な向上が期待できる。大容量 SiC 半導体素子が実現し、実装技術が向上する 20~30 年後には、図 25 に示すように、 $50\text{W}/\text{cm}^3$ レベルのパワー密度の実現性が考えられる¹⁴。

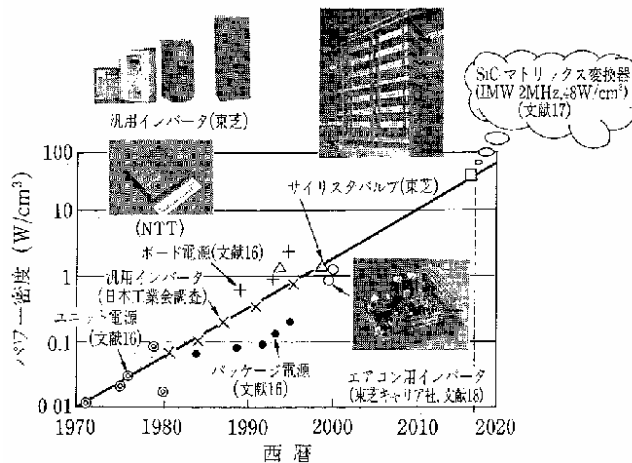
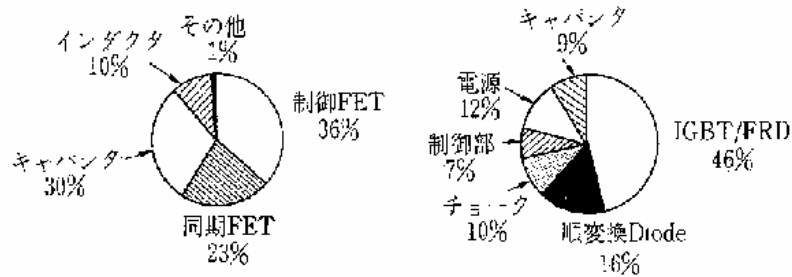


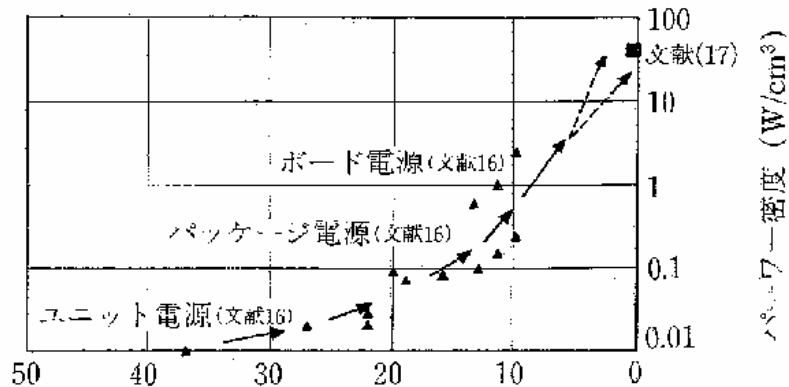
図 25 電力変換器のパワー密度変遷の様子

¹³ 大橋, "最新のパワーデバイスの動向 シリコンパワーデバイスの限界と突破技術", 電気学会電学誌 Vol.122, No.3, PP168-171, 2002

¹⁴ 高橋, "近未来の電力変換器", 電気学会全国大会 No.4-167, 2001



(b)同期型バックコンバータの損失例(文献19) (c):ACドライブ装置の損失例(文献19)



(a):スイッチング電源の入力電力に対する損失の割合(%)

図 26 電力変換器損失とパワー密度の関係

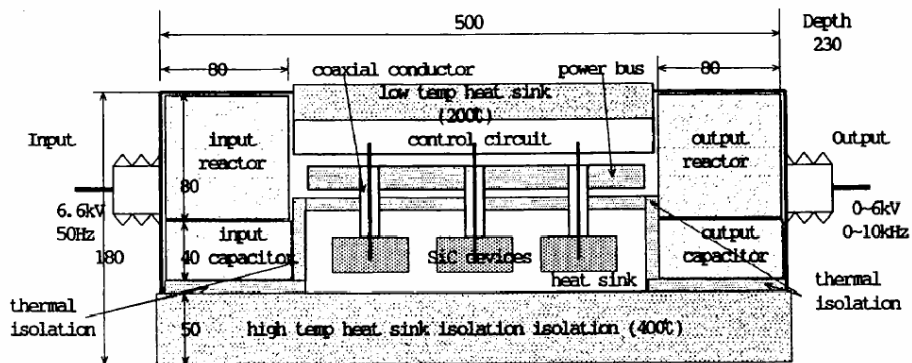


図 27 1MW-SiC 電力変換器試算

(3) 今後の開発状況

製品化には多くの課題がある。現在実用化されているウエハは 2 インチウエハであるが、マイクロパイブ欠陥をはじめ各種の欠陥が多く存在し、数 mm 角のデバイスを歩留まりよく製作することは非常に困難であるのが現状である^{15 16}。数年後にはトランジスタが実用化される見通しがあるが、現状の Si 半導体素子並みの性能を実用化するには研究者などによると 20~30 年後と言われている。

¹⁵ 菅原, "次世代半導体 SiC パワーデバイスの開発動向", 電気評論 Vol.88, No.4, 2003

¹⁶ 菅原, "SiC パワーデバイスの開発状況", 電気学会電学誌 Vol.118, No.5, 1998

3.3.4 配電系統への半導体技術の適用

配電系統などへの適用が活発化している太陽光発電・風力発電・燃料電池・マイクロガスタービンなどの分散型電源は、系統側インターフェースとして変換器を用いているものが多い。

また、瞬低対策など電力品質向上にも、MPC（大容量UPS）やDVRなど変換器が使われている。

さらに、需要地系統やFRIENDSといった将来の新しい配電システムが提案されており、これらのシステム構築の上でも変換器は必要不可欠なものとなっており、ループコントローラ、多品質電力供給やパワーコンディショニングなど、配電システム内で軸となる重要な役割が期待されている¹⁷。

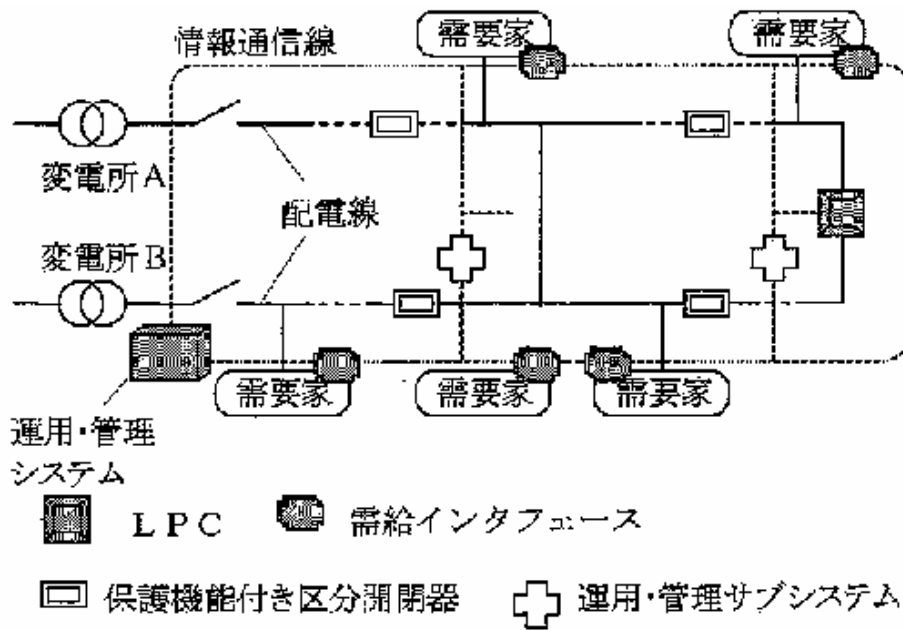


図 28 需要地系統構成

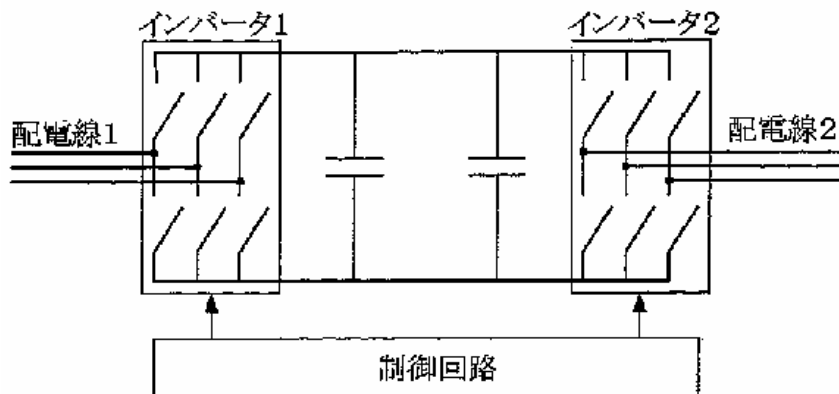


図 29 ループコントローラ構成

¹⁷ 長谷川, "分散型電源とパワーエレクトロニクス技術" 電気評論 Vol.88、No.4、PP40-44, 2003

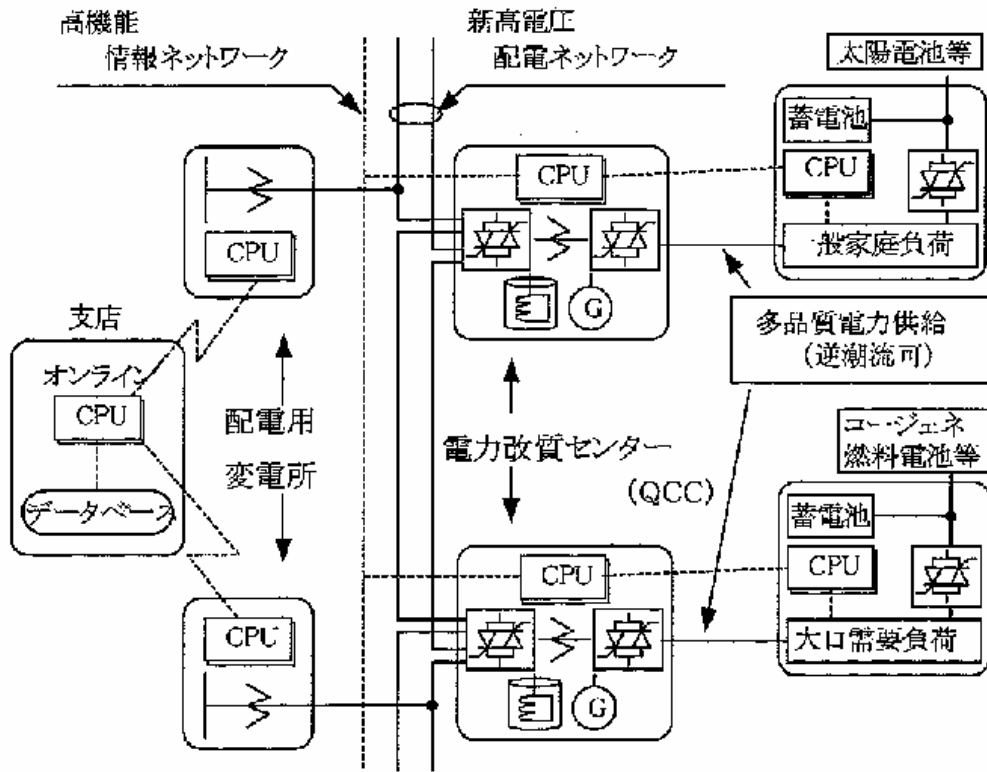


図 30 FRIENDS 概念図

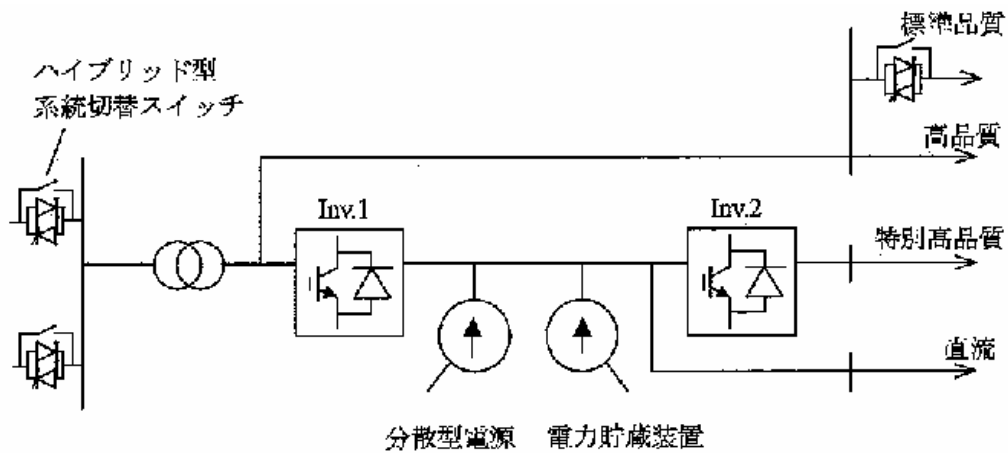


図 31 QCC 構成 (多品質電力供給とパワーコンディショニング用途)

3.3.5 まとめ

半導体技術動向は今後大いに進展する可能性があり、また配電系統への適用機器についても今後増加してくると考えられる。半導体素子の低損失化、高性能化は配電系統機器としても望まれているが、現状での技術開発動向からは SiC が数年以内の近年において低コストで実用化される見込みは少ない。また、SiC を適用した場合は低損失化が大きな効果となるため、今後は LBC の効率向上による経済的効果を試算して適用可能性を調査していく。

第4章 実証試験の技術評価

4.1 試験内容、試験結果の評価

実証試験の効率的、効果的な実施、及び後年に総合評価で実施する各課題の抽出、相互関係の明確化、研究開発の方向性の検討を行うために、新規に開発する LBC の仕様検討に資する要求機能の検討を行った。

4.1.1 LBC の要求機能の検討

新電力 NWS 研究会などによるこれまでの検討では、分散型電源の大量導入による電圧適正化問題に対し、LBC 適用の有効性がシミュレーションにより確認されている。今回の実証研究ではこの電圧適正化問題に対する有効性を模擬配電システムで確認することが大きな目的となるが、あわせて LBC の実システムでの実用化を目指した試作品とすることが望ましい。本項は LBC の実システムでの適用を目指した要求機能について検討したものである。

(1) LBC 要求機能検討のための基本的な前提条件

実システムでの適用を目指した LBC の要求機能を検討するにあたり、LBC へ要求する機能の基本的な前提条件を下表のとおり整理した。

表 LBC の要求機能の基本的な前提条件

要求機能の前提条件	根拠
・ 現状の配電システムの大幅な改修を不要とした上で「電圧適正化」問題に有効な機器とする。	・ 配電システムの大幅な改修が伴った場合、経済性を考慮した場合、その機器の適用は困難になると予想される。
・ 樹枝状システムのループ点に設置する BTB 機器（以下 LBC）とする。	・ 樹枝状システムのループ点において、ループ潮流と無効電力の調整を行うことが「電圧適正化」に有効である。ループ潮流の調整には BTB 機器が有効。 ・ また、BTB 機器であれば、ループシステムにすることで特に問題が懸念される「短絡容量の増大」、「配電線事故時の事故範囲拡大」を解消することが可能。
・ LBC は配電システム末端に近いループ点に設置するものとする。	・ ループ潮流と無効電力の調整は配電システム末端で行った方がより有効。
・ LBC 適用により懸念される各種課題に対し、その課題解決に向けた仕様とする。	

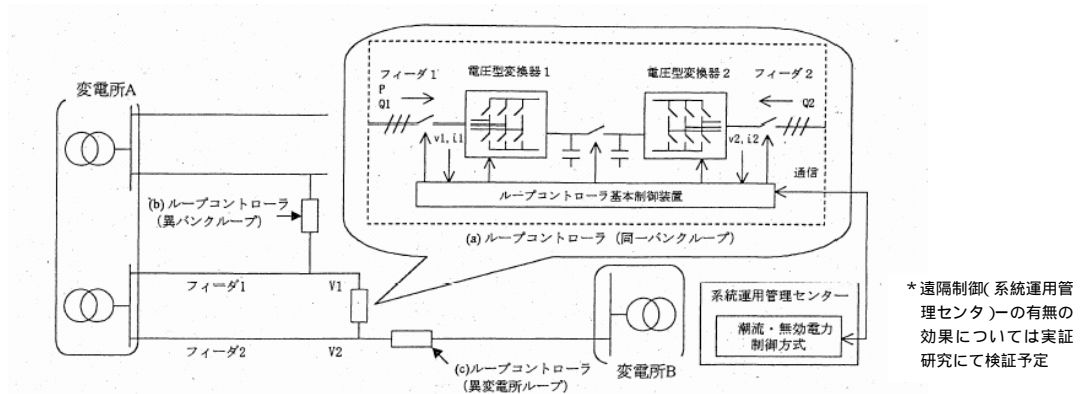


図 LBCの基本構造と設置形態（電中研報告 T99075 より引用）

(2) 各仕様項目における要求機能の整理

LBC の各仕様項目における要求機能は、国内の配電系統構成の実態調査や規制、基準の動向調査結果などを基に整理を実施した。整理結果を下表に示す。

各仕様項目における要求機能案

項目		実系統適用に向けた 要求機能（目標レベル）	根拠または補足説明事項
使用 環境	設置箇所	・ 屋外	・ 架空配電系統に適用のため屋外使用とする。
	動作温度 範囲	・ -20 ~ +40	・ 国内で想定される過酷条件で設定。
	湿度	・ 15% ~ 100%	・ 屋外で想定される過酷条件で設定。
系統 条件	汚損区分	・ 一般地区（一部は塩害地区）	・ 国内で想定される過酷条件で設定。
基本 構成	方式	・ BTB 方式	・ 実証研究では、現状で最も低コストで実用化可能な方式（現状技術適用機）としてトランス有りの BTB 方式と新技術（トランスレス化）を適用し将来的に最もコストパフォーマンスの期待できる方式（新技術適用機）の 2 種類の方式にて検討中。
	機器構成	・ 特になし	

項目		実系統適用に向けた 要求機能（目標レベル）	根拠または補足説明事項
定格	系統電圧	<ul style="list-style-type: none"> 国内の高圧配電系統に適用可能な電圧 	<ul style="list-style-type: none"> 配電系統構成等の実態調査より、国内配電系統は高圧系統 6.6kV（系統電圧範囲 6300～6900V）が一般的であるが、安全率を考慮し系統電圧範囲を設定する必要あり。 半導体電力変換装置の規格¹において、定常的な電圧変動に対する耐量を±10%としている例もある。 国内配電系統（高圧系統）の電圧不平衡は3%以内で管理されている。安全率を考慮すれば3.5%程度が妥当と考えられる。 半導体電力変換装置の規格¹において、電圧不平衡に対する耐量を±5%としている例もある。
	周波数	<ul style="list-style-type: none"> 実証試験系統に適用可能な周波数 	<ul style="list-style-type: none"> 国内電力系統の周波数の変動範囲は±0.1～0.3Hzの範囲内が一般的ではあるが、安全率を考慮し周波数変動範囲を設定する必要がある。 半導体電力変換装置の規格¹において、周波数変動に対する耐量を±2%（50Hzの場合1Hz）としている例もある。
	容量	<ul style="list-style-type: none"> 電圧適正化に必要な容量 現行の系統間の融通量に支障のない容量 柱上（H柱）設置可能な容量 * 地上設置の場合、用地取得などの経済性、用地交渉困難化などの運用性の問題があり、現行機器も柱上設置が標準的となっている。 	<ul style="list-style-type: none"> 新電力NWS研究会のシミュレーション結果では、住宅地域配電系統の末端にLBCを設置した場合、分散型電源50%均等導入時、適正電圧維持には900kVAのLBCが必要 * 「電力系統制御システムに関する検討報告書」P53 配電系統構成等の実態調査より、現在運用されている配電線の常時容量は2500～5000kVA、系統構成は3分割3連系が主流。その場合、事故時等の融通量は5000kVA×1/3 1700kVAとなる。

¹ 電気学会，JEC-2410-1998，“半導体電力変換装置”

項目		実系統適用に向けた 要求機能（目標レベル）	根拠または補足説明事項
構造	寸法・重量	・柱上（H柱）設置可能な寸法	・コンクリート柱の強度計算に基づき許容される寸法、重量とすべき。
	変圧器タップ	・スイッチング部電圧に影響のないタップ切替	・実系統の電圧に合わせたタップ切替が可能な構造が望まれる。
性能	効率	・現状の配電線損失を含む全体の電力損失を悪化させない程度の効率	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現行の樹枝状系統をループ化することにより、回線間の潮流が均等化し配電線の損失は低減する。一方、LBC の設置により潮流の通過電流による通電損失が発生する。 ・ 実証研究側の自主研究では、住宅地域と繁華街地域の混在したモデル系統に LBC を設置した場合、ループ化による配電線損失が約 10% 低減する結果となっている。 ・ 従って、LBC による損失と配電線損失低減効果を含め全体の電力損失を悪化させない程度とする必要がある。
	短絡容量	・ 現行の高圧配電系統の管理に影響のない容量（短絡電流許容最大値 12.5kA）とする。	・ 配電系統構成等の実態調査より国内配電系統は短絡電流許容最大値を 12.5kA で管理している。
	高調波	・ 現行の高圧配電系統の高調波の増大に影響のない流出量とする。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高圧配電系統の高調波の抑制目標は電協研第 46 巻第 2 号による提言を基に総合電圧歪み率 5%としている。 ・ 配電系統機器から流出される高調波電流の上限値を記載した基準等は見当たらない。
	騒音	・ 現行実系統適用機器と同程度（5m 離れた地点で 50dB 以下程度）	<ul style="list-style-type: none"> ・ SVR 等の実系統適用機器は 5m 離れた地点で 50dB 以下（静かな事務所のレベル）としているものが多い。 ・ 施設箇所により 40dB 以下に条例で規制されている地域もある。

項目	実系統適用に向けた 要求機能（目標レベル）	根拠または補足説明事項
電圧 制御 機能	制御項目	<ul style="list-style-type: none"> ・有効電力（潮流） 無効電力
	自端計測項目、計測誤差	<ul style="list-style-type: none"> ・有効電力（潮流） 無効電力の制御を行うために必要な監視項目 ・有効電力（潮流） 無効電力の制御を行うために必要な計測誤差（電圧 ± 0.5%以内）
	制御手法（自端制御時）	<ul style="list-style-type: none"> ・制御エリアの適正電圧の維持が可能な制御手法 ・適正電圧を維持した上で経済性（主に効率）向上が図れる制御手法 ・他の機器と協調が可能な制御手法
	制御手法（集中制御時）	<ul style="list-style-type: none"> ・制御センターからの指令（有効電力（潮流） 無効電力制御指令等）に対し、動作 ・集中制御時に応答性の高い制御が求められた時に、高速制御が可能な自端制御への切替が可能な制御
	通信機能（集中制御時）	<ul style="list-style-type: none"> ・制御センターへの通信（計測情報送信、制御指令受信等）が的確に可能な機能
	応答性	<ul style="list-style-type: none"> ・分散型電源の一斉解列などによる出力変動に対し、他の需要家機器が正常に動作するレベル
		<ul style="list-style-type: none"> ・BTB 機器として実施可能な有効電力（潮流） 無効電力の制御を実施する必要がある。 ・有効電力（潮流） 無効電力の制御を行うために有効な自端監視項目は、LBC 設置箇所の各フィーダの電圧、電流、力率となる。 ・三相不平衡の場合を考慮し電圧は1相間のみではなく 3 相間の電圧を監視する必要がある。（電流、力率も同様） ・LBC の有効電力（潮流） 無効電力の制御手法については、現在実証研究側で検討中の段階であり、実証研究においても種々の手法で検証を実施予定。 ・集中制御時に応答性の高い制御が求められた場合の自端制御への切替手法について、検討が必要。 ・分散型電源の一斉解列などによる出力変動に対し、他の需要家機器が正常に動作するレベルの応答性が必要。

項目		実系統適用に向けた 要求機能（目標レベル）	根拠または補足説明事項
保護 機能	始動時	<ul style="list-style-type: none"> ・ 系統の電力品質に悪影響を与えず安定に始動できること 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 起動時にはフィルタ・コンデンサ等への突入過電流による系統瞬時電圧低下が懸念される。
	通常時	<ul style="list-style-type: none"> ・ 系統異常、LBC 内部異常を検出し、系統に影響なく解列できる機能 ・ 変電所リレーを正常動作させる機能 ・ 系統の短絡事故時、系統の短絡電流が増加する前に解列し、短絡事故が変電所リレーで正常に検出可能な機能 ・ 系統の地絡事故時、地絡事故が変電所リレーで正常に検出可能な機能 ・ 系統正常時に変電所のリレーを誤動作させない機能（主に零相電流抑制機能） ・ 1 系統停電時でも他方の系統に対しては運転を継続すること 	
	停電区 間復 帰時	<ul style="list-style-type: none"> ・ 位相の異なるフィーダ間にLBCを設置した場合でも、停電区間復帰時に支障なく通常系統に復帰できること 	

4.1.2 まとめ

本項では、実証試験の効率的、効果的な実施のため、及び実証システム・機器の各課題抽出などのために、新規に開発する LBC の仕様検討に資する要求機能の検討を行った。

LBC の仕様検討に資する要求機能の検討については、その結果を実証研究側へ情報提供し実証研究側の LBC 試作機仕様検討に活用されている。また、後年度には、実証研究による試験結果とあわせ実システム適用のための LBC 仕様、課題検討に活用される予定である。

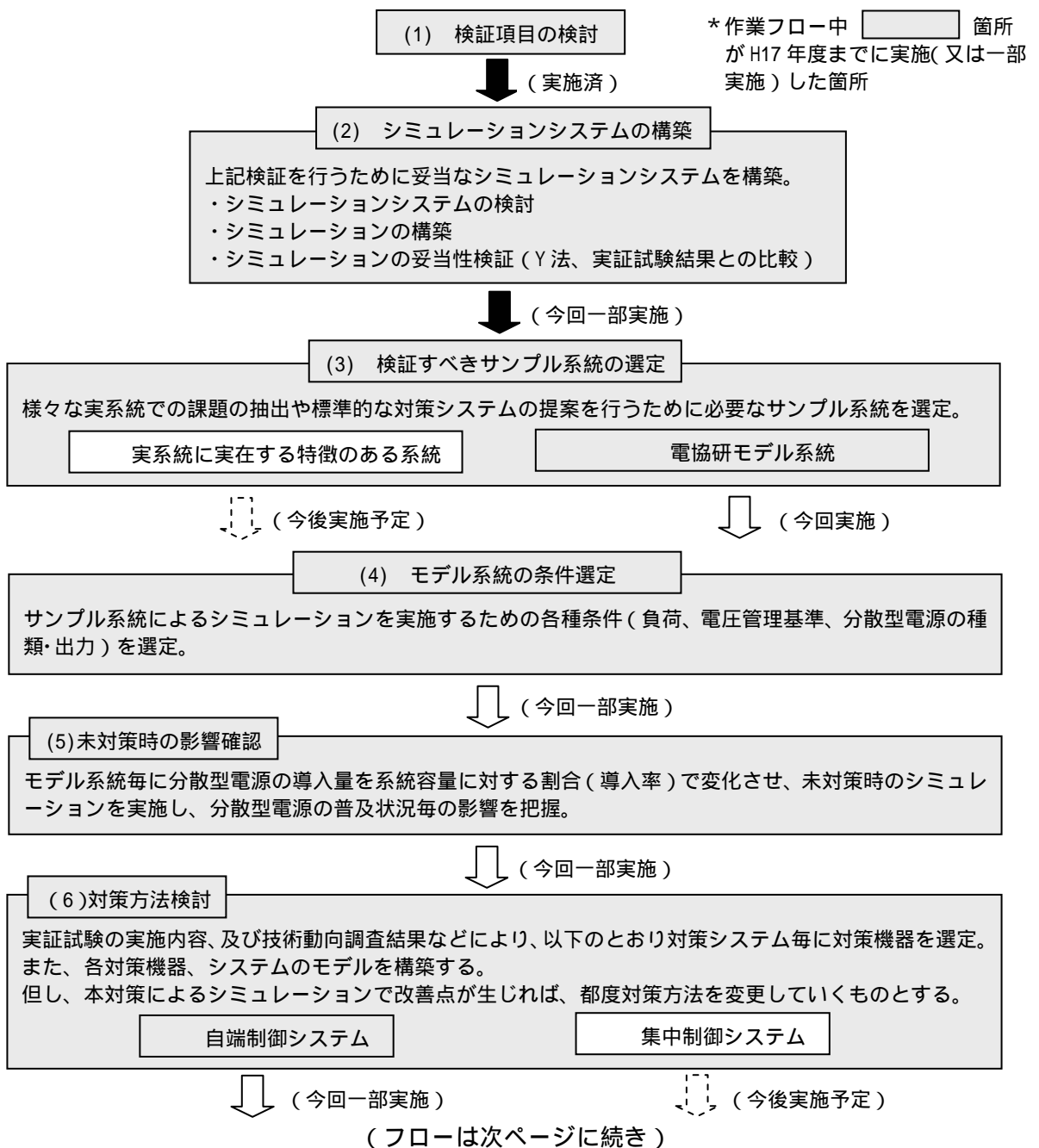
4.2 実システム適用評価

シミュレーションシステム、実システムサンプルデータ等を用いた実システム適用限界、対策効果を検証する。本検証により、実証試験の模擬システムでは明らかにされない実システムでの課題の抽出、様々な実システムモデルで分類した標準的な対策システムを検討する。

上記目的を達成するためには、下表の作業フローに示す作業が必要になると考えられる。

本検討は次年度以降も継続検討予定であり、今年度までの検討は下表の作業フローの中で、「(1) 検証項目の検討」から「(7) 対策時の効果確認分析」までの一部の作業を実施した。

次項より各項目における検討結果を記す。



(前ページの続き)

↓ (今回一部実施)

↓ (今後実施予定)

(7) 対策時の効果確認・分析

モデル系統毎に分散型電源の導入量を系統容量に対する割合(導入率)で変化させ、各対策時のシミュレーションを実施し、分散型電源の普及状況毎の対策効果を把握。
対策機器の設置位置の変更や複数の対策機器の組合せによる対策方法の変更などにより、より効果の高い対策方法への改善を検討し、シミュレーションを行う。

↓ (今後実施予定)

(8) 標準的な対策システム提案・実系統での課題抽出

対策時の効果確認・分析により、
・実証試験の模擬系統では明らかにされない実系統での課題、改善策を抽出
・様々な実系統モデルで分類した標準的な対策システムを提案

4.2.1 シミュレーションの構築

(1) 検証項目の検討

分散型電源の大量導入による電圧上昇問題に対する対策システムの実系統での有効性(導入可能量や運用上の課題など)を評価することが目的であることから、配電系統の通常時、非通常時の電圧を検証項目とした。

但し、対策システムの有効性を評価する上で実施すべきその他の検証項目(配電線損失など)があれば、適宜、検証を実施していくものとした。

(2) シミュレーションシステムの検討

シミュレーションツールの基本的な選定の考え方

汎用的なシミュレーション技術に関する情報を整理し、効率的に電圧調整効果の検証を行う上で信頼性の高いシミュレーションツールを選定する必要がある。また、効率性の観点から個々の実系統のデータ(線路諸元など)や対策システムのモデル、制御手法等を入力し、既開発品を利用したパソコンベースのシミュレーションシステムが望ましい。

汎用的なシミュレーションツールの現状

電力系統解析用の汎用的なツールは、それぞれの用途に応じ種々のツールが使用されている。本ツールの選定を行うにあたり国内の電力系統解析用に使用されている代表的なツールの動向を調査した。以下に調査結果を記す。

【国内の電力系統解析用に使用されている代表的なツールの動向調査結果】

代表的な汎用解析ツールの適用範囲と解析ツールが対象とする現象を下図に、またその特徴の比較を下表に示す。

各汎用解析ツールは以下のような特徴をあげることができる。

実効値ベースの汎用解析ツール

Y法：我が国における代表的な電力系統安定度解析プログラムであり、国内においては圧倒的な適用実績を有する。

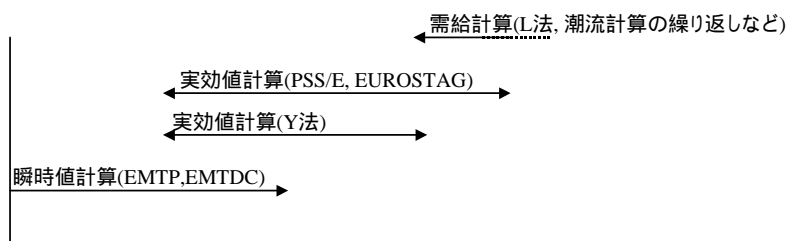
PSS/E：米国での使用実績が多い。

EUROSTAG：最近になって開発された。数値計算手法に特徴があり長時間解析に有利とされている。

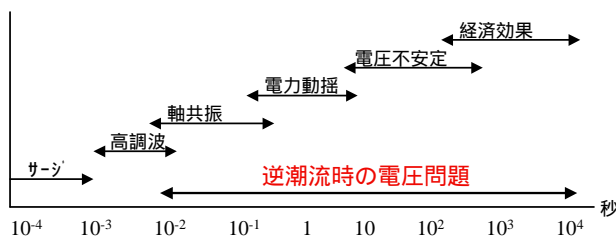
瞬時値ベースの汎用解析ツール

EMTP：汎用回路解析プログラムとしてもっとも代表的であり、世界中で広く使用されている。

EMTDC：EMTPと解析手法は同一である。EMTPと比べユーザインターフェースが充実している。



(a) 対応するシミュレーションツール



(b) 現象の周期T

図 汎用解析ツールの適用範囲と汎用解析ツールが対象とする現象の範囲

表 1 汎用解析ツールの特徴を比較した表

ツール名	現象の周期		積分手法	長時間解析	解析規模	国内実績
Y法	実効値	$10^{-2} \sim 10^2$ 秒	ルンゲクッタ4次	注1	約2000母線	
EUROSTAG	"	$10^{-2} \sim$ 数時間	ADAMS法、BDF法		2000母線	
PSS/E	"	$10^{-2} \sim$ 数時間	オイラー法		12000母線	
EMTP	瞬時値	~1秒	トラペゾイダル法	-注2	不明	
EMTDC	"	~1秒	"	-注2	不明	

注1：長時間はL法に切り替えて解析。

注2：瞬時値解析のため長時間解析は解析対象には当てはまらない。

各ツールの内容、特徴の詳細は下表のとおり。

表 汎用解析ツールの内容、特徴（詳細）

ツール名	内 容	特 徴
Y法 ^{*1、*2} (L法)	<ul style="list-style-type: none"> Y法は電力中央研究所で開発された過渡安定度解析用ツールで、系統外乱による系統の過渡動揺を解析することを目的としている。また潮流計算機能はL法と呼ばれている。 これらのプログラムは、我が国における代表的な電力系統安定度解析プログラムとなっており、電力系統の運用方針や送変電設備計画を策定する際の技術的検討に欠かせないものとなっている。 	<ul style="list-style-type: none"> 数値積分手法としてルンゲクッタ4次法を採用している。 10秒程度の電力動揺の解析を主な目的としているが、長時間解析への適用も十分可能であるとの報告もされている。 分散型電源の無効電力変動方式の単独運転検出装置の有効性をシミュレーションにより検証し、適用方法、通用可否判断例を示した例が見られる。 解析規模：母線数 2,000 程度
EUROSTAG ^{*3、*4}	<ul style="list-style-type: none"> EUROSTAG はフランス電力庁 (Electricite de France) とベルギー・トラクタバール社 (TRACTEBEL) が共同開発し 1980 年代後半に最初のバージョンがリリースされた。 電力会社 25、研究機関・大学など 58、計 80 ユーザ以上をもつ。 主な用途として電力潮流計算、過渡安定度、電圧安定度が挙げられ、誘導電動機の起動や保護リレーを含むシミュレーションも可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 数値積分手法として ADAMS 法と BDF (Backward Differential Formula) 法を組み合わせ数値誤差評価に基づく積分きざみ自動調整が可能である。この積分刻み自動調整により、あらゆる範囲 (数秒～数時間オーダー) の解析が一つのプログラムで可能であり、また速い現象と遅い現象を同時かつ連続的に解析可能である。 視覚的に理解しやすい任意の制御のモデル構築機能を搭載している。発電機の制御装置や新しい電力機器のモデル化のためにグラフィックのマクロ言語を使用し、視覚的に分りやすくしている。 解析規模 母線数：2,000、送電線数：4,000、発電機数：500、誘導機数：500
PSS/E ^{*5、*6}	<ul style="list-style-type: none"> PSS/E は米国の Shaw Power Technologies, Inc. (Shaw PTI) が開発した電力系統解析用パッケージであり、アメリカをはじめ、世界 40 カ国に 400 以上のユーザ数をもつ。 PSS/E の主な機能としては、潮流計算、動的および長時間動的シミュレーション、線形解析 (固有値解析、周波数応答)、線路定数計算 (系統縮約)、最適潮流計算などがある。 	<ul style="list-style-type: none"> 長周期現象などの長時間シミュレーションが必要な場合には、可変刻み幅を採用した長時間動的シミュレーションのオプションを用いて対応することができる。 系統単線図を描画し、計算結果を表示する機能やシミュレーション結果をプロットする機能を有している。 ユーザ独自のモデルについては MATLAB あるいは FORTRAN で記述することにより PSS/E に組込むことが可能である。 PV/QV Analysis なる電圧感度解析機能を有している。これは有効・無効電力に対する電圧感度計算、電圧制約面からの送電限界の計算等を容易に行う機能である。 解析規模 母線数：12,000、ブランチ数：24,000、変圧機数：4,800、発電機数：4,000
EMTP ^{*7}	<ul style="list-style-type: none"> EMTP (Electro-Magnetic Transients Program) は 1960 年代からアメリカ合衆国エネルギー省のボンネビル電力庁で開発された汎用回路解析プログラムであり、汎用性、精度の高さ、およびアメリカ政府の公開主義原則により世界各国で広く利用されている。 開発言語として FORTRAN が使用され、当初大型コンピュータ上での動作がサポートされた。その後 1980 年代にパソコンで動作する ATP (Alternative Transient Program) も開発されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 早くから開発が進められ、また無料で配布されたため、モデルが数多く作られ、実験などにより精度が確認され信頼性が高い。 受動要素 (抵抗、コンデンサ、リアクトル) はすべて抵抗と電流源で記述し、キルヒホッフの電流則を利用した接点解析により電圧を求めている。電流源はトラベゾイダル法により計算される。 TACS とよばれるユーザ定義による制御ブロックが適用可能である。 サージ等のマイクロ秒オーダーの短い周期の現象から電力動揺などの 10 数秒の比較的ゆっくりとした現象まで、幅広く対応している。計算精度は雷サージ、開閉サージが高く、次いで定常・低周波の順である (高周波に強い) と一般的に言われている。
EMTDC ^{*8}	<ul style="list-style-type: none"> EMTDC (Electro Magnetic Transients for DC) は 1975 年に EMTP (M18) をベースに当初 HVDC (High Voltage Direct Current) コンバータシステムの開発を目的として開発された。その後グラフィカルユーザインターフェースとして PSCAD (Power System Computer Aided Design) を追加することにより汎用的な解析ソフトとして利用されるに至った。 計算アルゴリズムは EMTP と基本的に同じであるが HVDC の解析を目的として作られているため頻繁なスイッチ操作に対応した数値計算の安定方策を用いている。 	<ul style="list-style-type: none"> 計算手法は EMTP と同一である。 EMTP と比較してユーザインターフェースが充実している。 電力系統におけるパワエレ機器のシミュレーションが容易となっている (パワエレ機器のモデルや制御系が充実)。

*1 「大規模電力系統の安定度総合解析システムの開発」, 電力中央研究所総合報告 T14, 平成 2 年 4 月

*2 「電力中央研究所 電力系統安定度解析システム Y法・S法プログラム解説書」, (財) 電力中央研究所電力システム部, (株) 電力計算センター 狛江事業部

*3 "EUROSTAG 4.2 Technical Description and References", 23415/4NT/3/000/03, Ed.021213, Tractebel Energy Engineering

*4 小柳「電力系統解析ソフト「EUROSTAG」のユニークな特徴」OHM, Vol.89, No.4, 2002-4

*5 "PSS/ETM The proven integrated program for power flow, short circuit and dynamic simulation (PSS/E パッケージ)", Power Technologies, inc. A Shaw Group Company

*6 "PSS/E. Version 30 Comprehensive analysis software for use in transmission system studies", PSS/E brochure, A Shaw Group Company

*7 雨谷「過渡現象解析プログラム EMTP の最近の動向」電学誌 Vol.113, No.11, 1993

*8 P.Kuffel, Keivin, Kent, "The Implimentation and Effectiveness of Linear Interpolation within Digital Simulation", International Conference on Power System, 1995

シミュレーションツールの選定

今回の検証は、基本的にはサンプル配電システムを用いた対策システムの電圧調整効果を確認することである。従って、対策システムの実システム適用時の長時間（24 時間）の電圧推移、各対策機器の動作状況等が効率的に把握可能なツールが望ましい。

（上記条件に対応可能なツール）

需給計算：L 法、潮流計算の繰り返しなど

実効値計算：Y 法、PSS/E、EUROSTAG など

更に、検証を行う上で国内で一般的に実績のある信頼性の高いツールとしては、L 法、Y 法が国内での使用実績が高く、実証研究側のシミュレーションで使用されている。

但し、個々の実システムのデータ（線路諸元等）や対策システムのモデル、制御手法等を入力し、既開発品を利用したパソコンベースのシミュレーションシステムという観点となると、電中研 L 法、Y 法の使用では、その対策機器の効果検討を行う場合や遠隔制御手法の検討を行う場合に、IAE 独自のモデルの追加が困難となる。また、各種パラメータを変化させての繰り返しのシミュレーションが困難であるという欠点がある。

従って、電中研 L 法、Y 法と互換性があり、IAE 独自にモデルの追加が可能で、繰り返しのシミュレーションが実施可能なツールとして、M 法を選定した。

シミュレーションツールとして選定した M 法の概要は下記のとおりである。

【M 法の概要】

1971 年に東京電力(株)と三菱電機(株)の共同研究開発により製作されたもので、正式には、「電力系統安定化対策検討用総合計算プログラム(通称 M 法)」と称す。開発当時から、過渡安定度計算のみならず、リレー単体特性やシーケンスを含めたりレーシステムの検討や複雑事故時の機器、システムの挙動を把握などに使用することを目的とし、開発以来 30 年間に渡って、改良、改修を重ねて、現在では、直流送電、STATCOM などの各種 FACTS 機器、可変速揚水機の系統事故時の検討などにも使用可能となっている。

解析機能

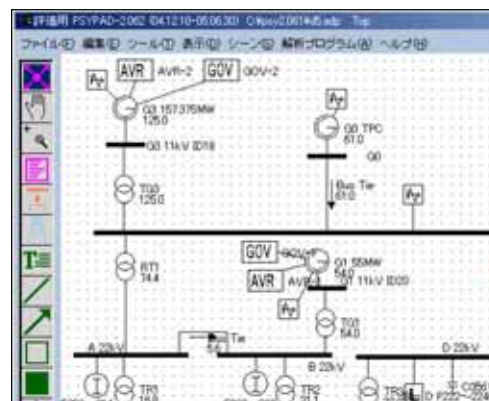
このプログラムでは、電力系統の動的な特性を把握するために、系統の諸特性として、以下のような現象を考慮している。

発電機の突極性、制動（ダンピング）効果

各種励磁制御系（直流回転機、交流回転機、ブラシレス、サイリスタ）

各種调速制御系（水車ガバナ、タービンガバナ）

系統負荷の周波数特性、電圧特性



系統データ作成イメージ

系統制御装置

母線連絡用遮断器

他励式直流送電システム、STATCOM、UPFC、可変速揚水発電システムなどパワーエレクトロニクス応用機器の特性（インバータモデル）

系統事故として考えられるほとんどの事象（単純故障、多重故障、母線故障、線路至近端故障、線路中間故障、いずれも不平衡故障を含む。）

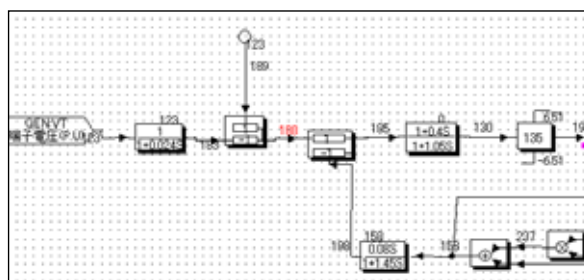
電源制限、負荷脱落、界磁喪失、界磁短絡

誘導機模擬

また、新規機種開発などで、従来のモデルが利用できない場合は、ユーザが任意に組み込めるように、以下のような2種類の機能を用意している。この機能により新規モデルを迅速に組み込むことが可能となっている。

・任意ブロック機能

Y法のSカードと同様に、1次遅れ系や非線形特性などの各種ブロックを用意しており、それらを任意に組み合わせることで、発電機制御、系統制御機器、システムのモデルを構築することができる。



制御ブロック作成イメージ

・ユーザサブルーチン機能

ユーザ自らが Fortran でソースコード（サブルーチン）を記述してモデルを構築する方法。既存の実行プログラムにリンクすることで、任意ブロックだけでは記述できない部分を補い、モデル構築の自由度を拡大することができる。

解析規模

Y法と同程度の系統規模（2000ノード程度）

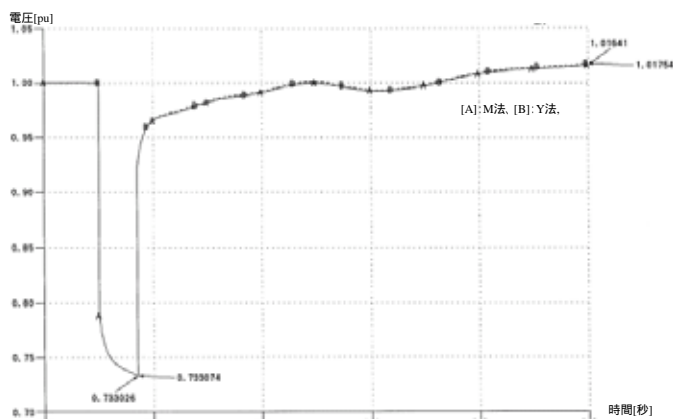
精度検証例

これまでに本プログラムは実規模大規模系統データでY法との比較検証を十分に行っており、両者は良く一致することを確認している。

配電系統への適用実績

本プログラムは基幹系統での解析を目的として開発されたが配電系統への適用も可能である。

太陽光発電装置が多数台連系さ



Y法との計算結果比較例（電圧波形）

れた場合の逆潮流による電圧上昇について検討した例や、太陽光発電装置が低圧系統に多数台導入された場合、無対策の場合に太陽光発電装置の出力によって電圧が上昇しその結果、過電圧抑制制御が動作した場合の検討例がある。

(3) シミュレーションの構築

M法を用い配電系統の電圧変動解析用のシミュレーションを構築した。構築したシミュレーションによるシミュレーション結果の一例は下図のとおり。

本シミュレーションにより、SVC、SVR等の対策機器が設置された場合の24時間の電圧変動(適正電圧の維持)状況、各機器の出力状況の把握が可能であることを確認した。

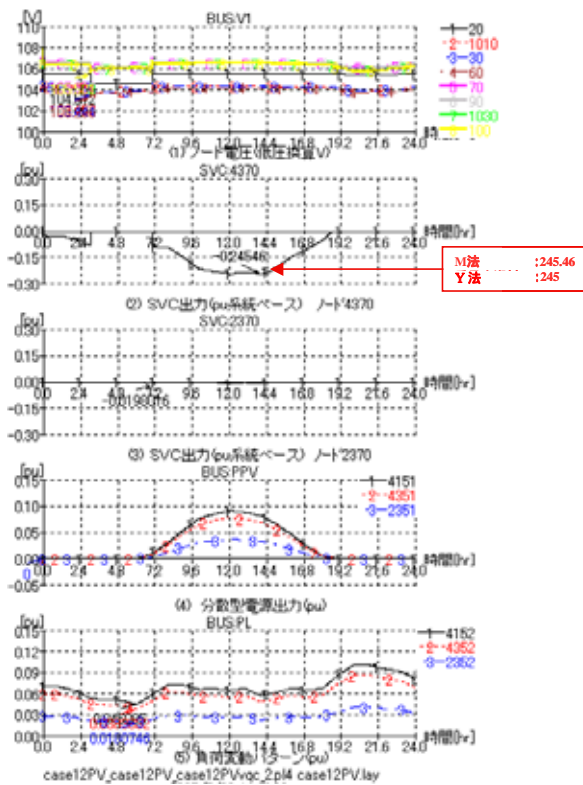


図 通常時のシミュレーション結果の一例
(M法、住宅地域、太陽光発電、SVC2台自端制御)

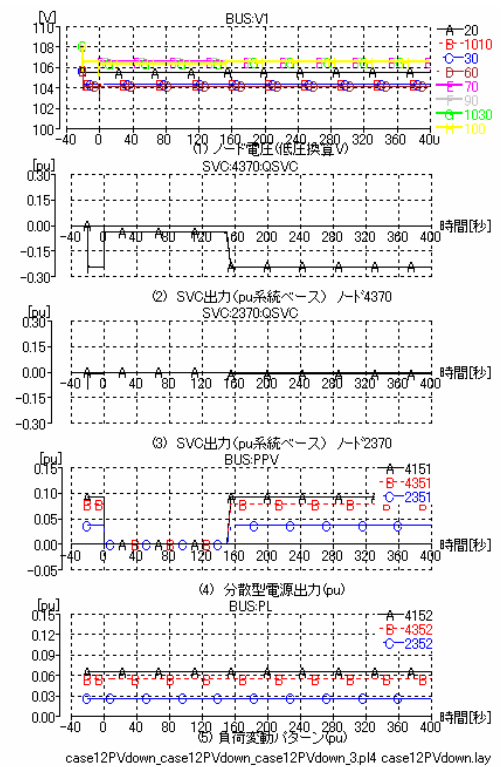


図 非通常時のシミュレーション結果の一例
(M法、住宅地域、太陽光発電、SVC2台自端制御)

(4) シミュレーションの妥当性検証

シミュレーションによる各種検証(導入影響シミュレーション、対策効果シミュレーション)を実施する前に、今回、使用するM法のシミュレーションの結果と実証試験結果の比較を行い、M法によるシミュレーションの妥当性を検証した。

既に実証研究側で電中研Y法のシミュレーションの結果と自端制御の実証試験結果の比較により、電中研Y法の妥当性が確認されていることから、この電中研Y法のシミュレーション結果とM法のシミュレーションの結果を比較することで妥当性の評価を行った。

通常時、非通常時の比較結果の一例を下図に示す。図に示すように電中研 Y 法（表中 A）と M 法（表中 B）はほぼ同一の結果となっている。また、SVC の最大出力（図中 ）の比較においてもほぼ同程度の値となっている。厳密には以下の相違点を確認されるが、その要因は判明しており実系統適用効果シミュレーションを実施するうえで支障なしと判断できた。

（M 法と電中研 Y 法との主な相違点）

図中：シミュレーションの安定性の相違による SVC 出力 0.003pu 程度の差異

図中：スイッチング直後のプロットの有無による SVC 出力の差異

図中：系統計算（主に送出電圧部の計算）の相違によるタップ動作時間の差異

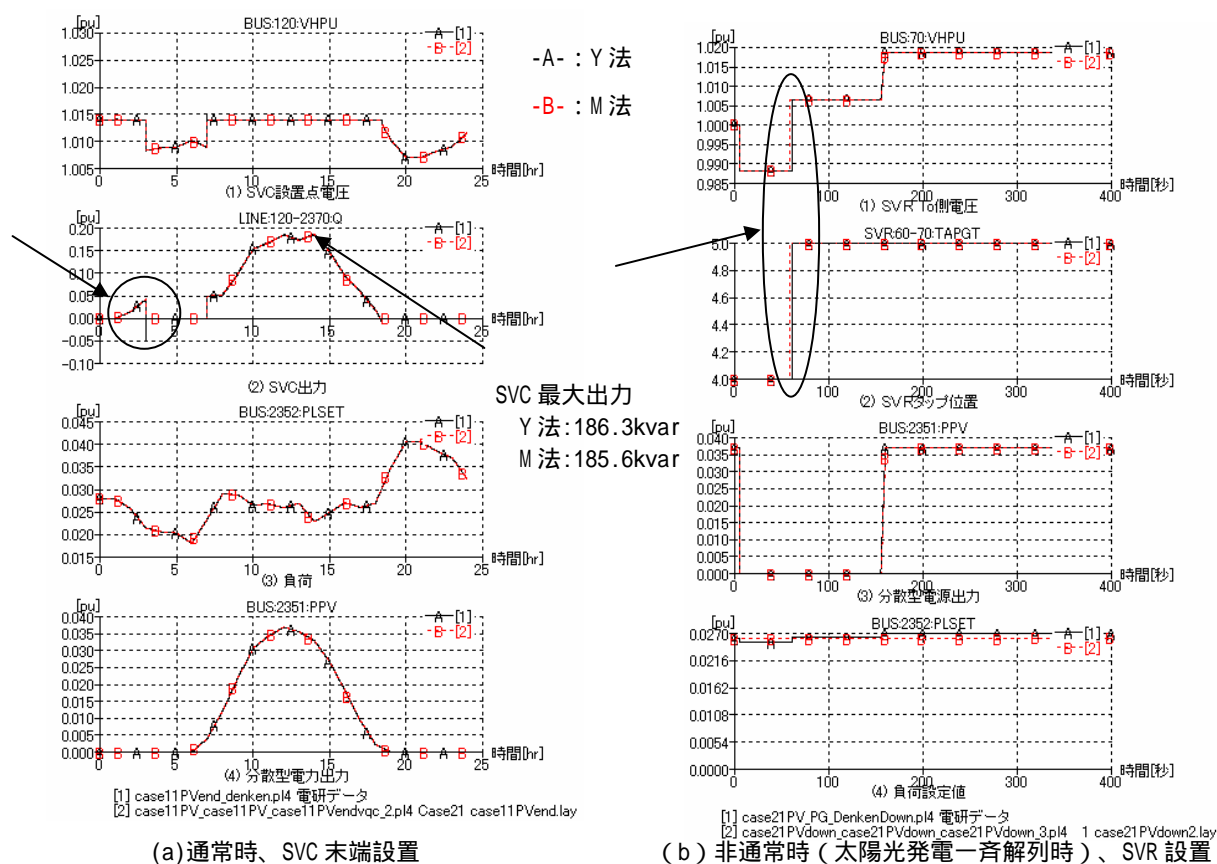


図 M 法と電中研 Y 法とのシミュレーション比較結果の一例

（住宅地域、太陽光発電均等普及時（導入率 50%）、SVC による対策ケース）

（電中研 Y 法との比較検証時のシミュレーション条件）

通常時のシミュレーション条件

計算条件

シミュレーション時間：1440[秒]

故障条件：なし

負荷

負荷パターン：中間期の 24 時間（24 点）負荷パターンを与えた。24 時間を 1440 秒（1 時間を 60 秒）とし，データ間は直線近似を施した。

負荷特性：定電力特性

分散電源

[太陽光発電]

出力：中間期の日射強度に比例した出力とした。力率 100%。

配電線容量に対する導入量：50[%]

配電線への設置位置：41 電源地点、43 電源地点、23 電源地点へ静特性と同様の比率で配置

対策機器

[SVC] 基本モデルをそのまま使用した。（図 1）

[SVR] 基本モデルをそのまま使用した。（図 2）

動作時限：0.75[秒]

タップ動作遅れ：0.15[秒]

非通常時のシミュレーション条件

計算条件

シミュレーション時間：400[秒]

故障条件：なし

負荷

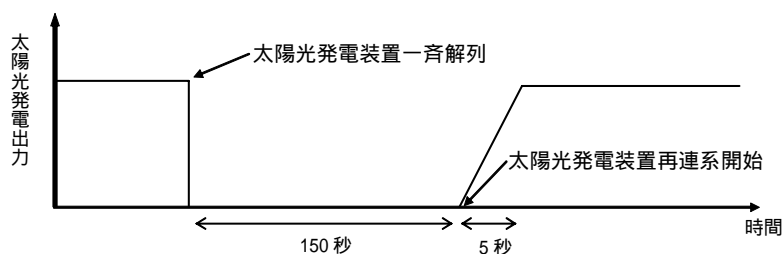
負荷パターン：中間期の太陽光最大発電時（12 時）の負荷量一定とした。

負荷特性：定インピーダンス特性

分散電源

[太陽光発電]

出力：以下の出力推移に応じた出力が得られるよう設定した。力率 100%。



配電線容量に対する導入量：50[%]，30[%]

配電線への設置位置：41 電源地点、43 電源地点、23 電源地点へ静特性と同様の比率で配置

対策機器

[SVC] 基本モデルをそのまま使用した。(図1)

[SVR] 基本モデルをそのまま使用した。(図2)

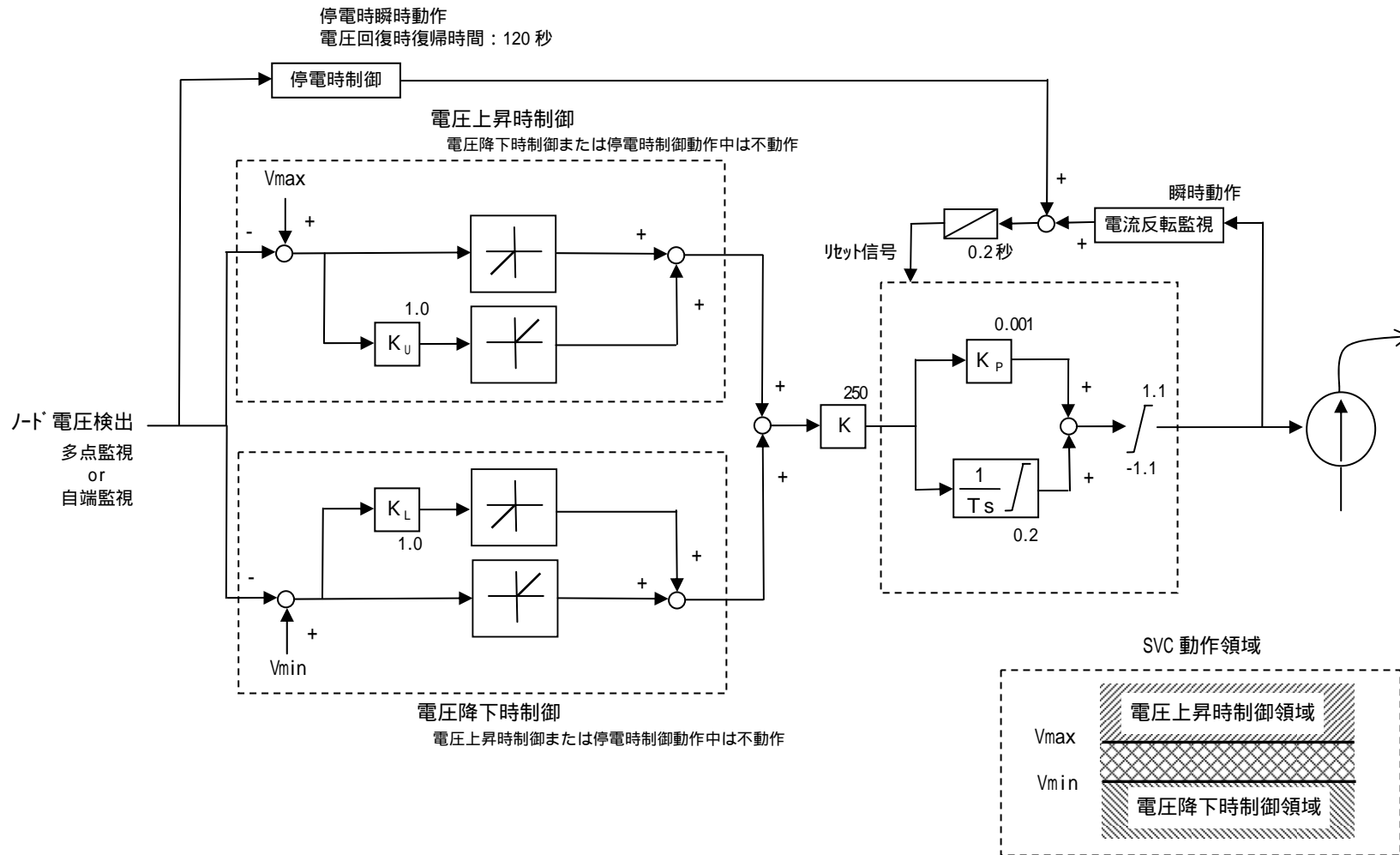


図 1 SVC 制御系

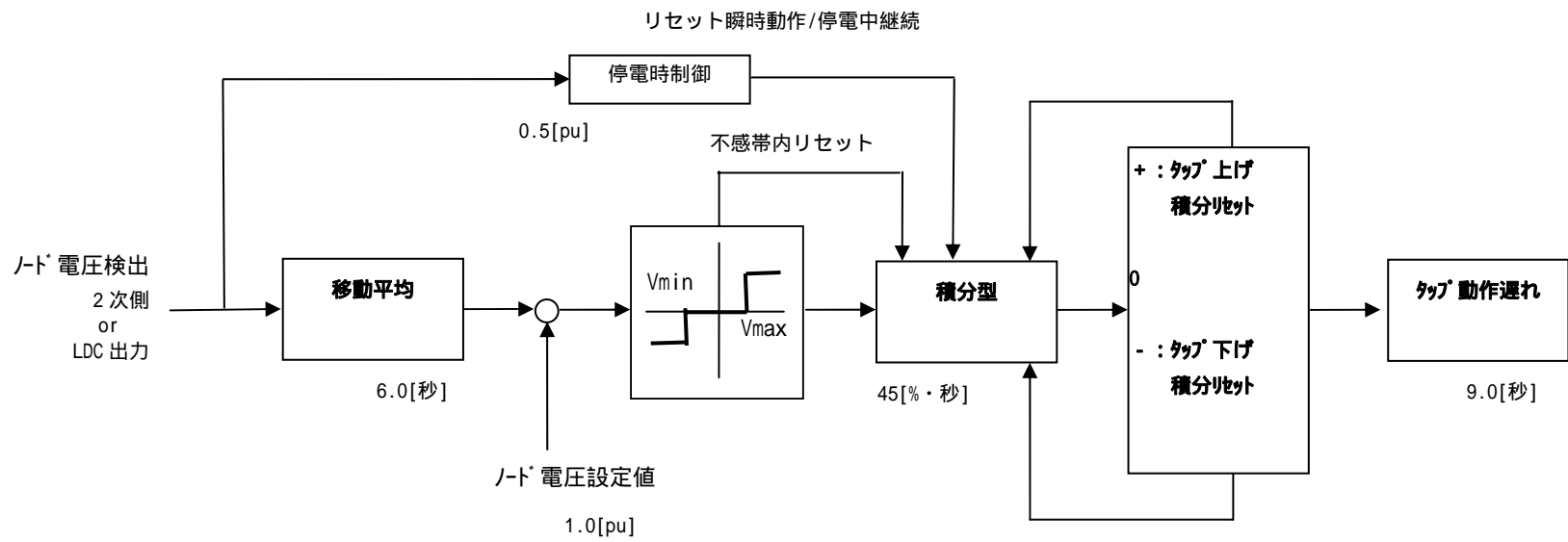


図2 SVR制御系

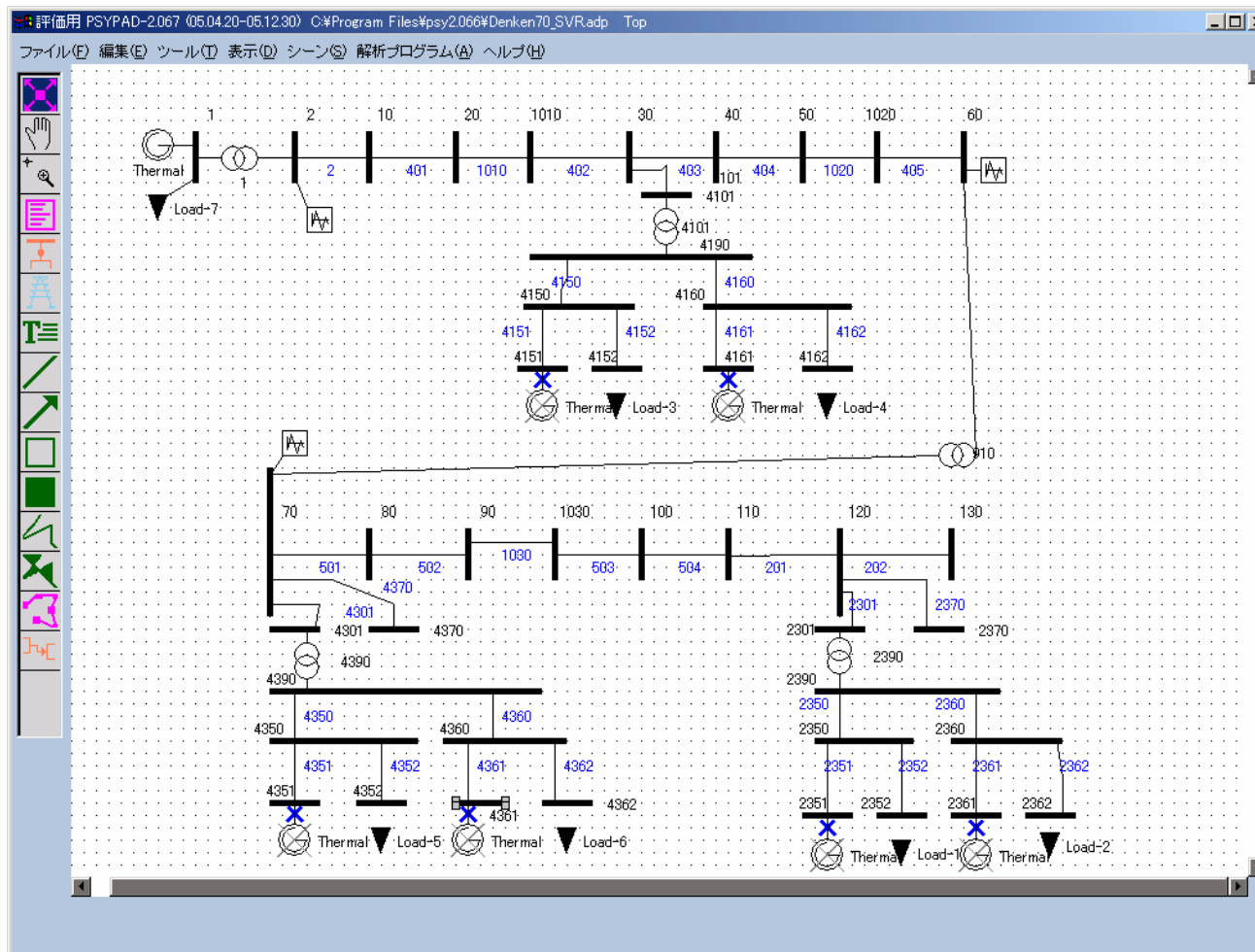


図 3 系統図 (M法での表現)

4.2.2 シミュレーション実施のための各種設定

(1) 検証すべきサンプル系統の選定

実証試験の模擬系統では明らかにされない実系統での課題の抽出、様々な実系統モデルで分類した標準的な対策システムを検討するためには、新電力ネットワーク研究会などでこれまで検討してきた代表的な4つのモデルのみの検討では課題は明確化されず、また、様々な実系統へ適用する場合、同様の対策を実施しても期待した効果が得られないことが懸念される。従って、下記の内容でサンプル系統を増やすこととした。

実系統に実在する特徴のある系統

実証試験の模擬系統では明らかにできない実系統での課題を抽出するために、実系統に実在する特徴のあるサンプル系統を選定。

電協研モデル

これまでの標準モデルを更にケース分けし、ケース毎の標準的な対策システムを検討するために、電協研報告書に記載のモデル系統を基に地域毎(商業、工業、住宅、郊外の各地域)の標準モデルのケースを拡大。

「実系統に実在する特徴のある系統」については、現在、配電系統構成等の実態調査結果などを基に現在、どのような特徴のある系統をサンプル系統にすべきか検討中であり、今後、その検討結果にて必要なサンプル系統を電力会社の協力のもと入手し検証を実施予定である。

「電協研モデル」については、高調波問題に関する下記の検討報告書に高調波問題検討用に用いられたサンプル系統がある。

- ・「配電系統の高調波障害防止対策」電気協同研究，vol.37，no.3，1981
- ・「電力系統における高調波とその対策」電気協同研究，vol.46，no.2，1990
- ・「高圧受電設備における高調波問題の現状と対策」電気協同研究，vol.54，no.2，1998

本サンプル系統は、高調波問題を検証するために過去に作成されたサンプル系統であるが、以下の理由により今回の電圧問題の検証に使用しても差し支えないと判断した。

- ・高調波問題を検証するために、何か特別な制約を設けてサンプル系統を作成したわけではないこと
- ・配電系統構成等の実態調査結果などから、現在の配電系統は、サンプル系統を作成した当時の配電系統から大幅に変化しているわけではないこと

電協研モデルのサンプル系統の一覧を表1に示す。サンプル系統は供給地域、系統構成、系統容量、系統形態により15のパターンで分類されている。配電系統構成等の実態調査では、地中化系統は架空系統に比べ非常に少ない割合であること、大容量回線は一般容量回線と同じくらい普及していること、などが分かっており、これらの実態を考慮して8つのサンプル系統を採用することとした。採用した7つのサンプル系統の系統図を図4～10に示す。(農村地域の1パターン(D22パターン)については、SVRの位置、柱上Trのタップ変更点を検討中であり明らかになった時点で報告する予定。)また、配電線に使用した線路定数は表2を使用することとした。

表1 電協研報告に記載されているモデル配電系統の一覧表 (p99 第5-2-3表)

パターン	要因				配電線数 [cct]		架空巨長 (幹線+分岐 [km])	サンプル 配電線が 最も多い パターン	H15 新電力 NWS	総合調査 (今回)	パターン
	地域区分	系統 構成	系統容量	系統形態							
A01	繁華街	架空 系統	大容量	直線	9	繁華街 計 44	1.98				A01
A02				2 幹線	6		1.62			A02	
A03			一般容量	直線	20		0.65			A03	
A04		地中 系統	"	(配電塔方式)	6		地中 1.26			A04	
A05			"	(多回路方式)	3		地中 0.75			A05	
B01	工場地区	架空 系統	大容量	直線	3	工場 計 30	2.12				B01
B02				2 幹線	6		8.23			B02	
B03			一般容量	直線	21		5.00			B03	
C01	住宅地区	架空 系統	大容量	直線	5	住宅計 33	10.24				C01
C02			一般容量	"	28		9.35			C02	
D01	農山村 地区	架空 系統	大容量	2 幹線	4	農山村 計 26	25.05				D01
D21				直線 (SVR 無又は 1 個)	12		25.43			D21	
D22			一般容量	" (SVR2 個以上)	2		49.77			D22	
D23				" (電線太線)	5		49.40			D23	
D03				2 幹線	3		42.70			D03	
15 パターン					133	15 パターン					

【出典】「配電系統の高調波障害防止対策」電気協同研究, vol.37, no.3, 1981、P99 第5-2-3表を基に IAE にて加工

AO2 繁華街地区 大容量

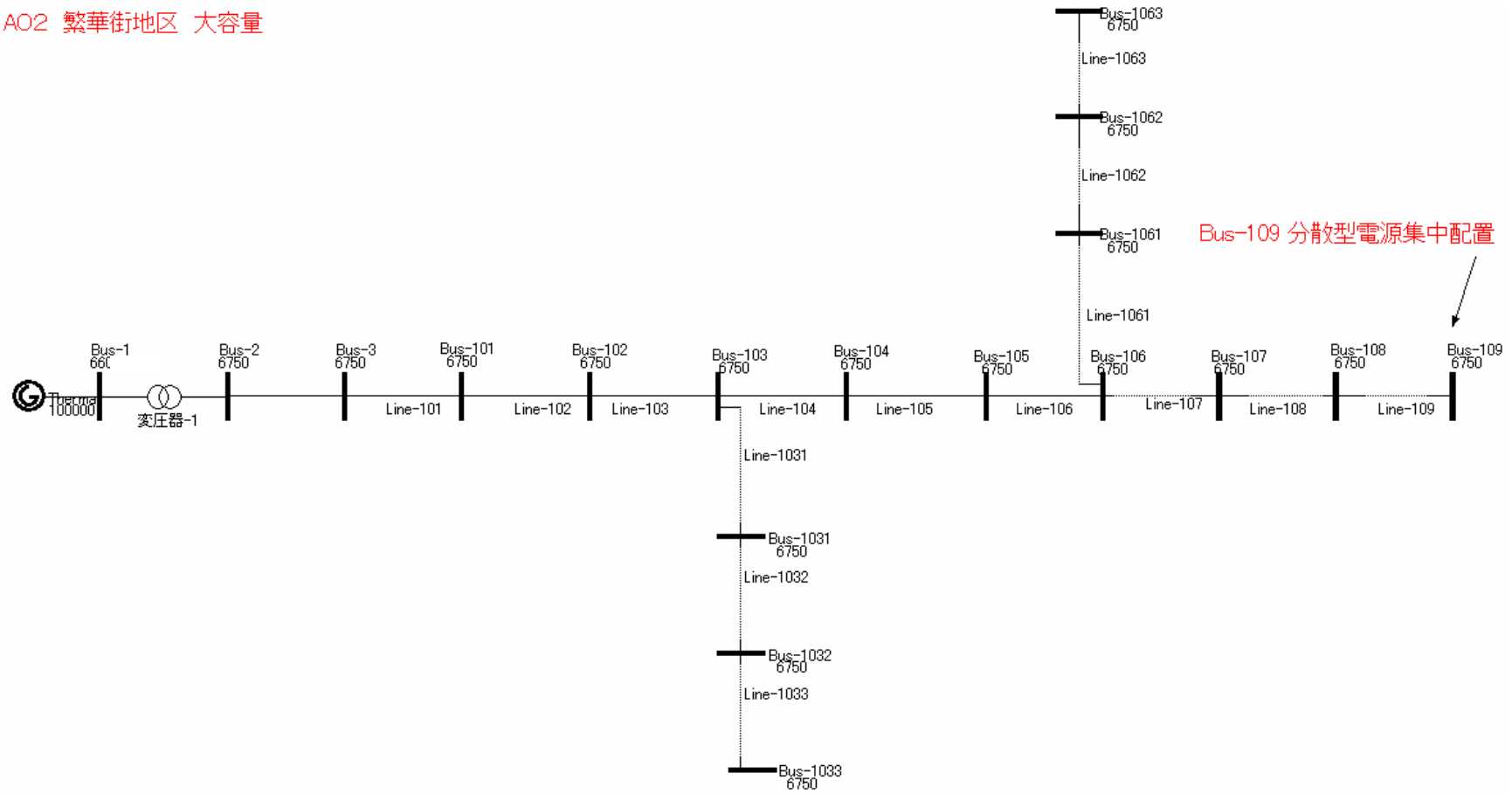


図4 A01 系統図（母線に付随の4桁数値は柱上変圧器タップ電圧を表す）

A03 繁華街地区 一般容量

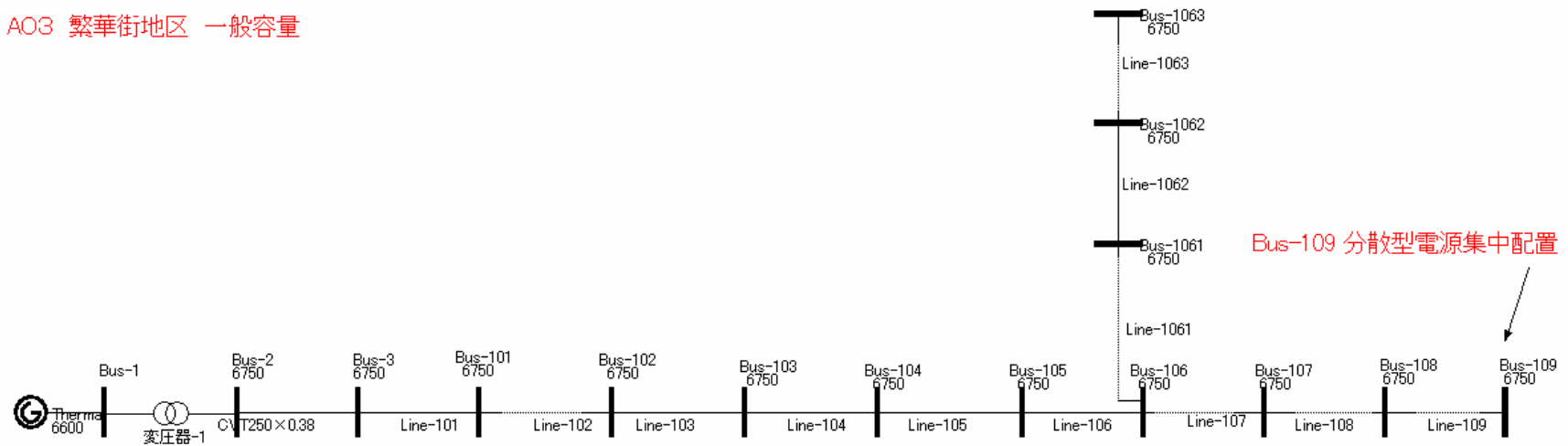


図5 A03 系統図（母線に付随の4桁数値は柱上変圧器タップ電圧を表す）

B02 工場地区系統 大容量

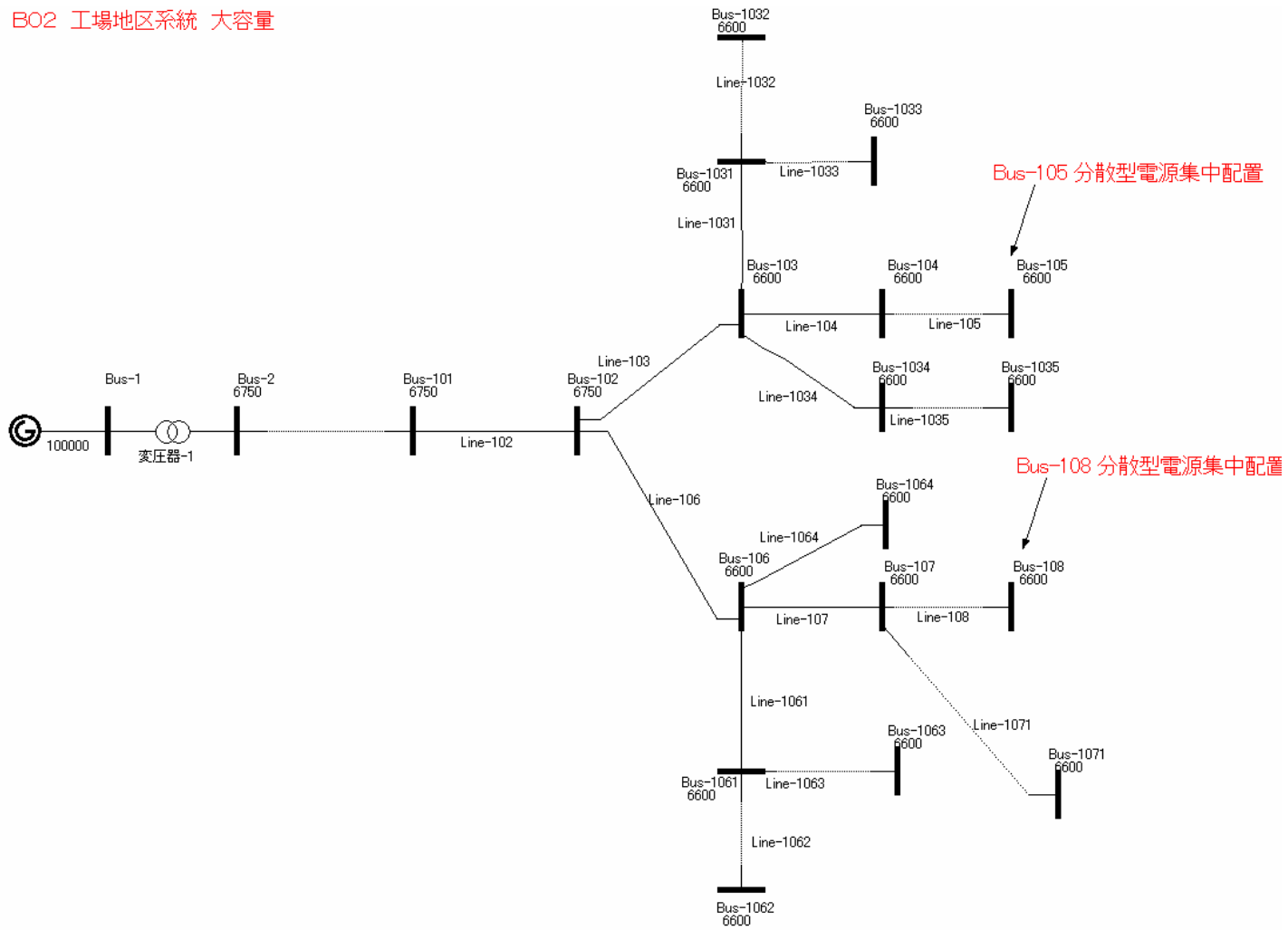


図6 B02 系統図（母線に付随の4桁数値は柱上変圧器タップ電圧を表す）

B03 工場地区 一般容量

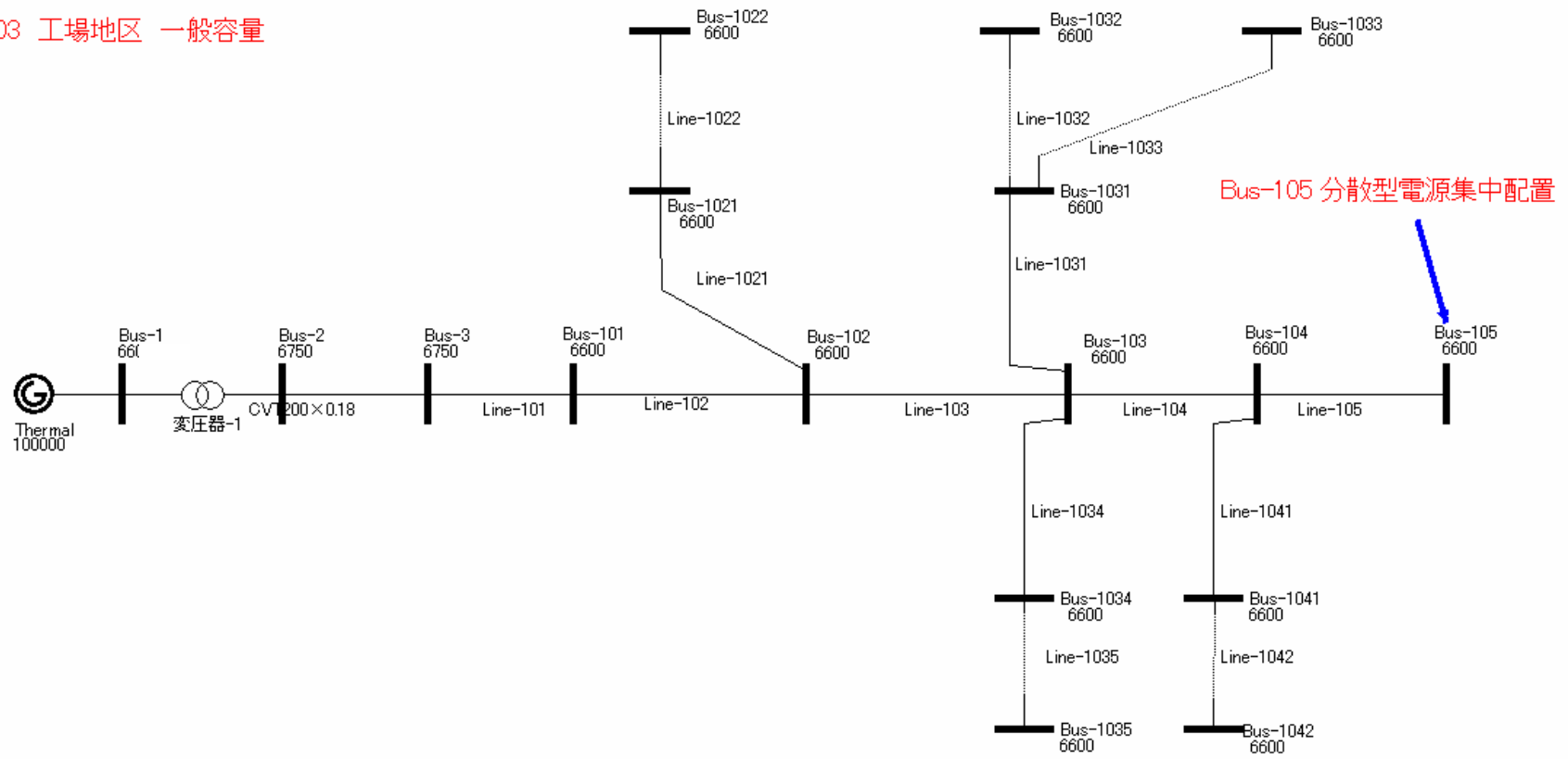


図7 B03 系統図（母線に付随の4桁数値は柱上変圧器タップ電圧を表す）

C01 住宅地区 大容量

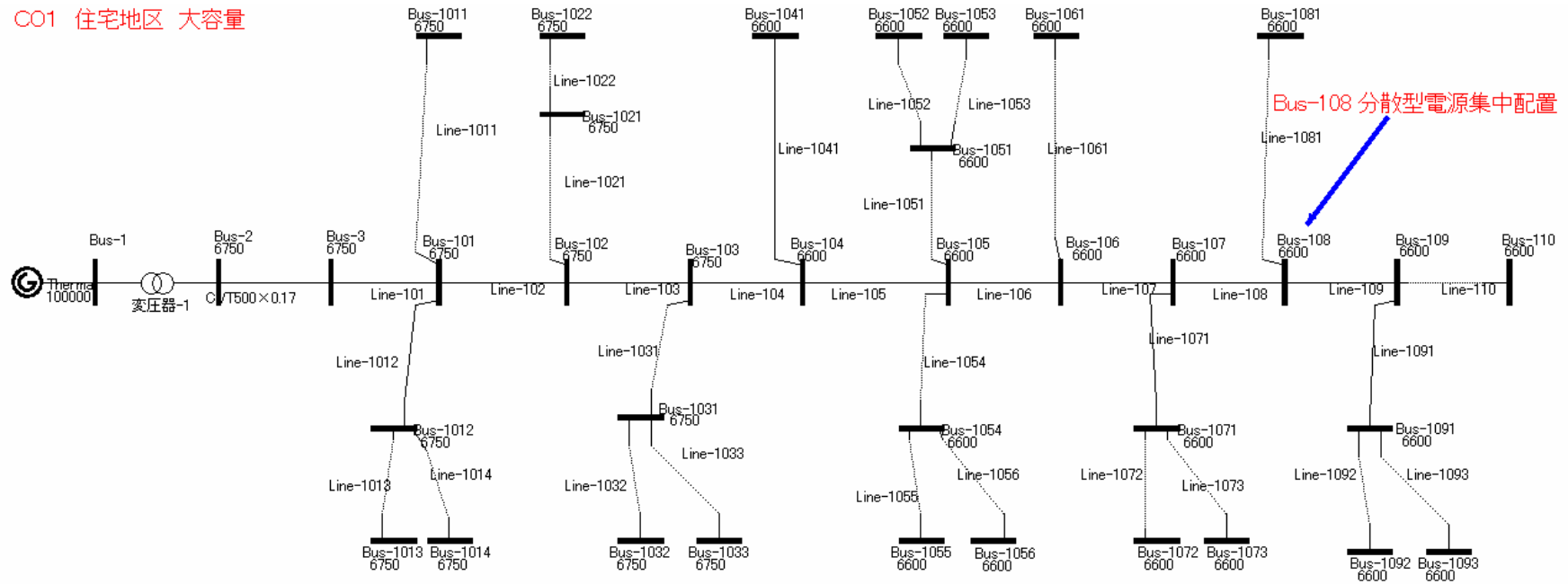


図 8 C01 系統図 (母線に付随の4桁数値は柱上変圧器タップ電圧を表す)

C02 住宅地区 一般容量

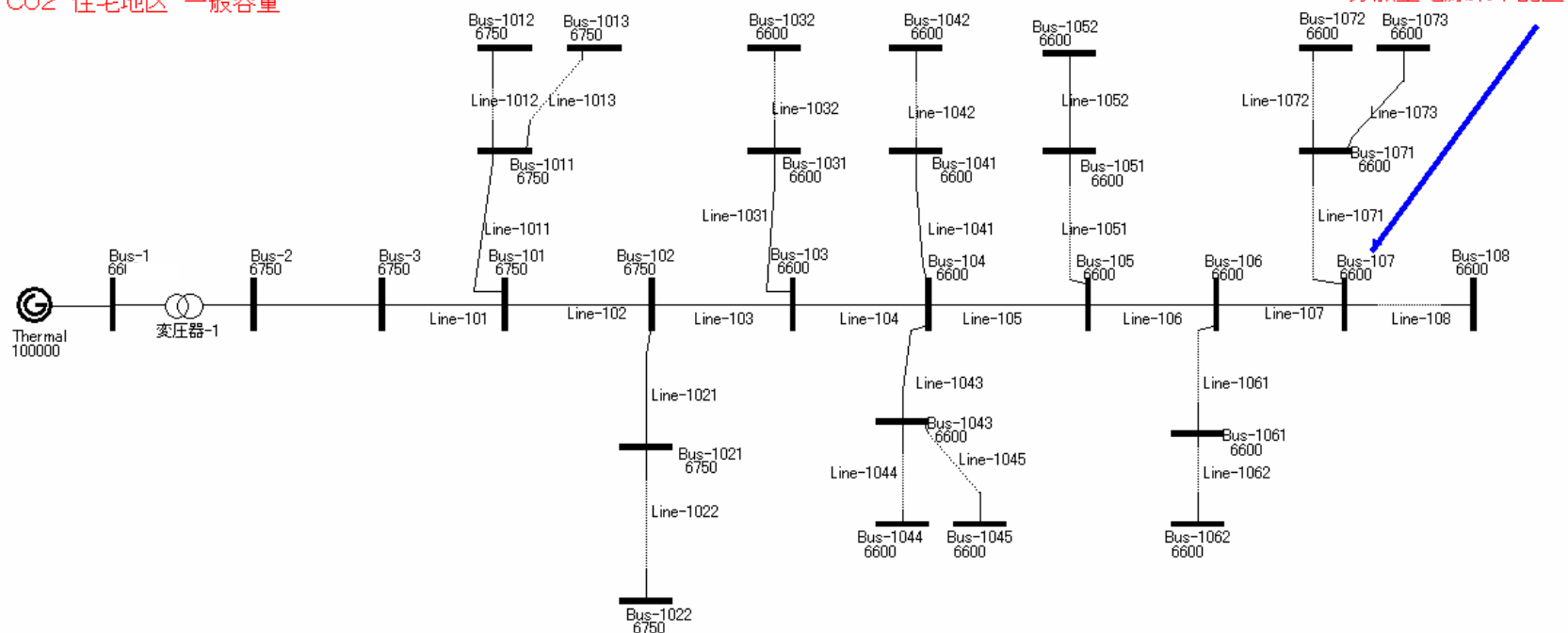


図9 C02 系統図 (母線に付随の4桁数値は柱上変圧器タップ電圧を表す)

D01 農山村地区 大容量

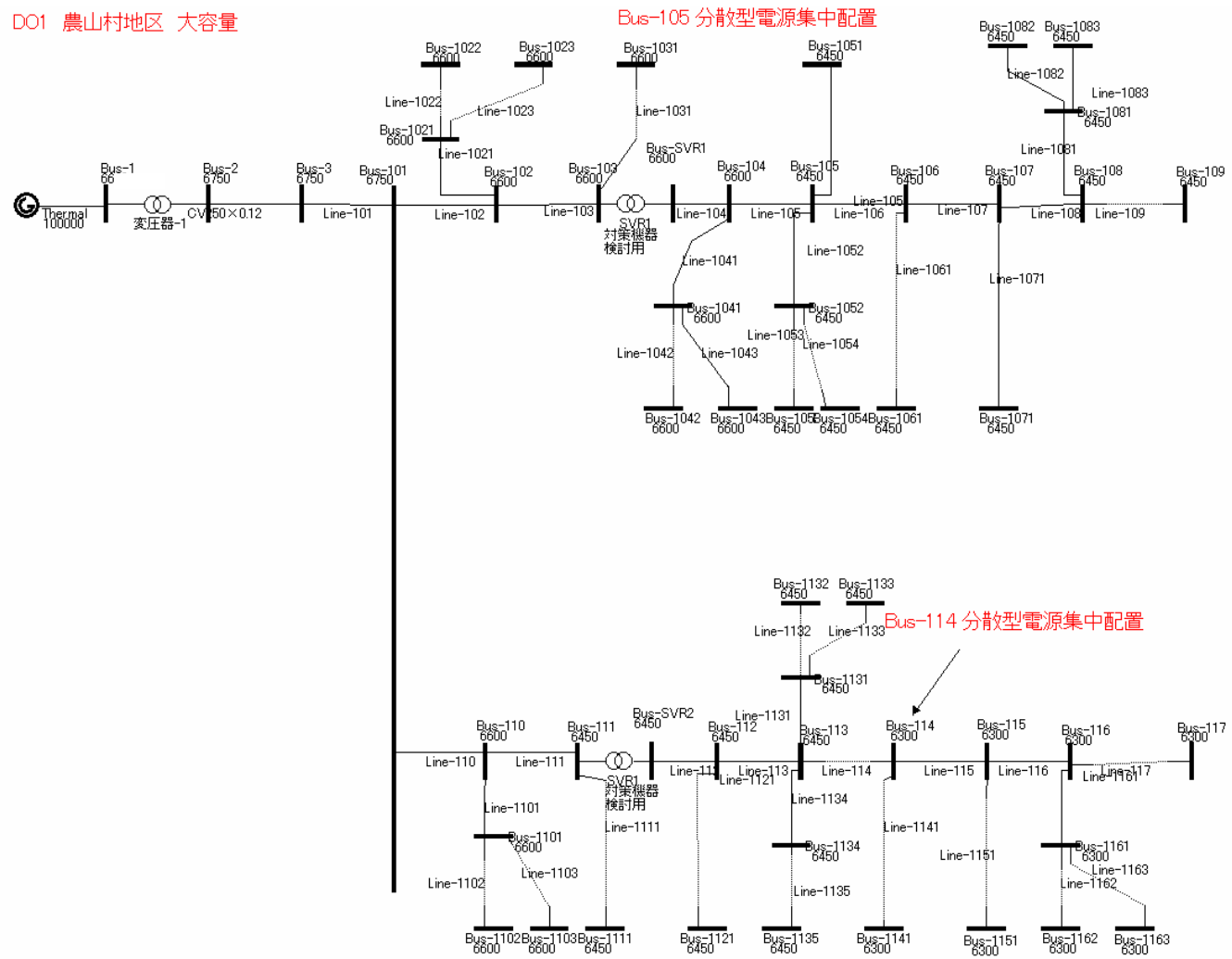


図 10 D01 系統図 (母線に付随の4桁数値は柱上変圧器タップ電圧を表す)

表2 送電線定数 (%は10MVA、6.6kV[△]-Δ)

名称	断面積 [mm]	R [/km]	X [/km]	R [%/km]	X [%/km]	出典
CVT (50Hz)	60	0.397	0.101	9.1138	2.3186	電気設備技術計算ハンドブック
CVT (50Hz)	100	0.239	0.0935	5.4866	2.1464	"
CVT (50Hz)	150	0.159	0.0885	3.6501	2.0316	"
CVT (50Hz)	200	0.121	0.0875	2.7777	2.0087	"
CVT (50Hz)	250	0.0981	0.0852	2.2520	1.9559	"
CVT (50Hz)	325	0.0765	0.0825	1.7561	1.8939	"
CVT (50Hz)	400	0.0634	0.0805	1.4554	1.8480	"
CVT (50Hz)	500	0.0521	0.0786	1.1960	1.8044	"
AL200	200	0.1820	0.2882	4.1797	6.6178	EMTP、ACSR/AN200
AL120	120	0.2331	0.3028	5.3512	6.9522	EMTP、ACSR/AN120
AL95	95	0.3011	0.3147	6.9125	7.2263	EMTP、ACSR/AN95
AL58	58	0.4970	0.3305	11.409	7.5889	EMTP、ACSR/AN58
AL32	32	0.8989	0.3492	20.636	8.0176	EMTP、ACSR/AN32
AL25	25	1.1500	0.3569	26.401	8.1945	EMTP、ACSR/AN25
Cu150	150	0.1182	0.3052	2.7147	7.0074	EMTP、H150
Cu125	125	0.1432	0.3119	3.2879	7.1606	EMTP、H125
Cu80	80	0.2281	0.3264	5.2367	7.4950	EMTP、H80
Cu60	60	0.3010	0.3352	6.9122	7.6967	EMTP、H60
Cu38	38	0.4841	0.3512	11.115	8.0626	EMTP、H38
Cu22	22	0.8181	0.3676	18.781	8.4410	EMTP、H22
Cu5	5	0.9142	0.3842	20.988	8.8215	EMTP、CUTH5

* 架空線はEMTPにより地上高12.5m、間隔70cm、水平配置、50Hzを仮定して算出した。

* 架空線の外径、抵抗率は文献「電線便覧」第5版、三菱電線工業株式会社、1987を使用した。

(2) モデル系統の条件選定

電協研サンプル系統によるシミュレーションを実施するための各種条件(負荷、電圧管理基準、分散型電源の種類・出力条件) を以下のとおり決定した。

() 負荷

負荷パターン

サンプル系統の負荷パターンは、電協研報告では明らかとなっていないことから想定による条件設定が必要となる。今回はこれまでの研究会と同様に、NEDO 等で過去に実施されている調査で使用した供給地域毎、季節毎の負荷パターンを使用することとした。地域毎、季節毎の負荷パターンの概要を図 11～図 19 に示す。

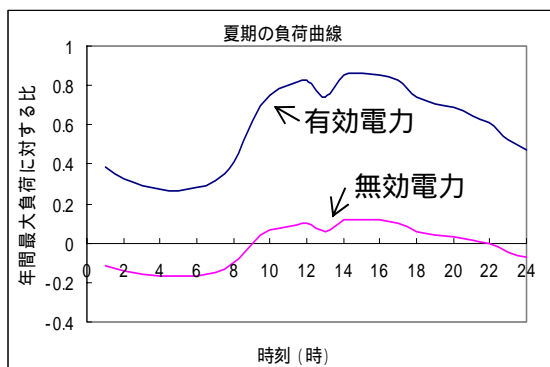


図 11 商業地域の夏期負荷パターン

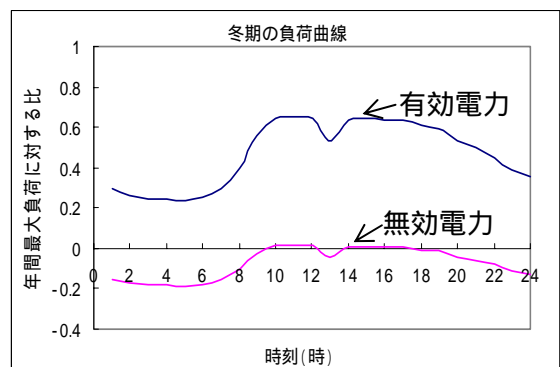


図 12 商業地域の冬期負荷パターン

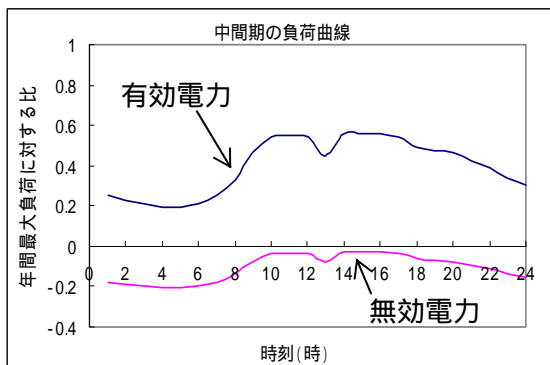


図 13 商業地域の中間期負荷パターン

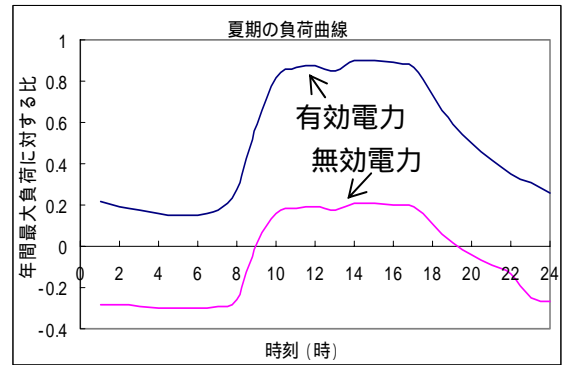


図 14 工業地域の夏期負荷パターン

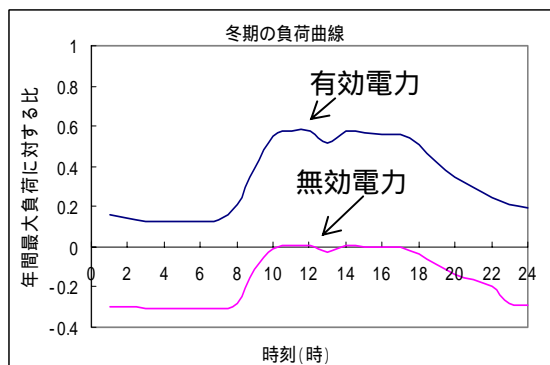


図 15 工業地域の冬期負荷パターン

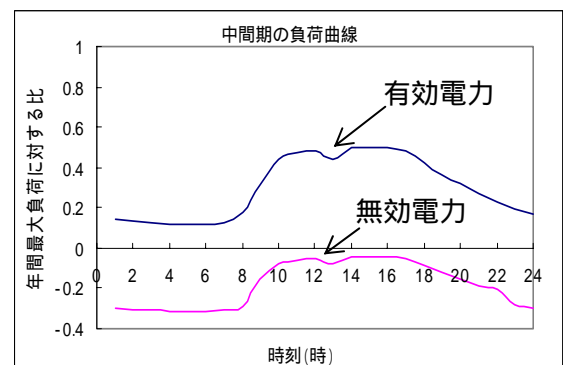


図 16 工業地域の中間期負荷パターン

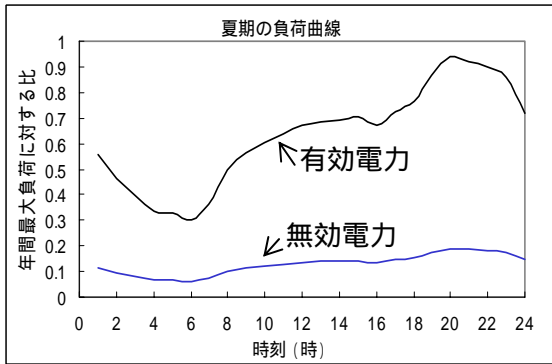


図 17 住宅地域、郊外地域の夏期
負荷パターン

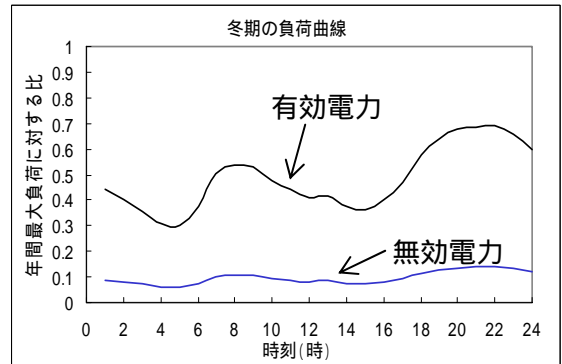


図 18 住宅地域、郊外地域の冬期
負荷パターン

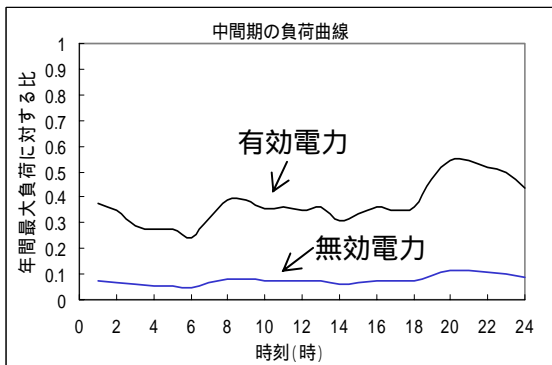


図 19 住宅地域、郊外地域の中間期
負荷パターン

負荷分布

サンプルシステムの負荷分布については、系統に均等に分布していると想定し、下図に示すように各母線へは線路長に応じて均等に割り当てた。

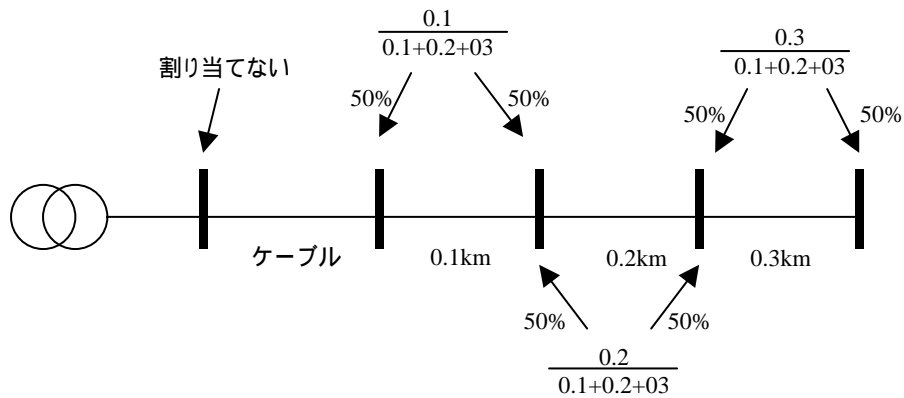


図 均等分布負荷の各母線への割り当て方法 (均等分布時の分散型電源も同一)

() 電圧管理基準

サンプル系統の電圧管理基準は電協研報告では明らかとなっていないことから、想定による条件設定が必要となる。従って、配電系統構成等の実態調査から得られた国内電力会社の代表的な基準（または考え方）を基に、以下の手順により系統各部の柱上 Tr のタップ値と各季節のプロコン整定値を決定した。また、決定内容により分散型電源未導入時のシミュレーションを実施し、各季節において分散型電源未導入時に適正電圧を逸脱しないことを確認し、設定した電圧管理基準が妥当であることを確認した。

各電圧管理基準の想定の方考え方、決定内容、及び決定内容による分散型電源未導入時における適正電圧維持確認結果を以下に記す。

系統各部の柱上 Tr タップの設定

以下の手順により作成した。なお、適正電圧幅は以下の理由により柱上変圧器の2次側で101～107Vとした。

- ・配電系統構成等の実態調査より、各社の低圧線と引込線の電圧管理基準を見ると、低圧線、引込線の電圧降下限度を6.0Vで管理している会社が多い。その場合の柱上Tr2次側の下限値は $95 + 6 = 101V$ 。
- ・これまでの研究会で101.5Vの根拠となった前回検討会では、低圧線、引込み線にTr内部電圧降下を含めて6.5Vと想定していた。今回、内部電圧降下は別途算出することとしたことから同一値（101.5V）にする必要はない。

また、柱上変圧器による内部電圧降下は、国内の柱上変圧器の平均容量に近い容量 30kVA の Tr を適用し、文献(「配電系統における電力品質の現状と対応技術」電気協同研究 ,vol.60 , no.2 , 2005 , PP217 , 付 6-2-1 表)に記載の容量 30kVA 変圧器の平均インピーダンスを基に逐次算定して柱上 Tr2 次側電圧とした。

手順 : 前述したサンプル系統の系統定数、及び負荷を基に重負荷時(夏期ピーク時)の高圧系統各部分の電圧値を算出。(その際の送出電圧は 6900V と想定)

手順 : 高圧系統各部に接続されている柱上 Tr のタップ値は、高圧系統各部分の電圧値と国内電力会社の代表的な基準である下表を基に設定した。

表 高圧電圧と柱上変圧器タップ電圧

重負荷時の高圧電圧値[V]	柱上変圧器タップ値
6300～6450	6300
6450～6600	6450
6600～6750	6600
6750～6900	6750

以上の考え方により決定した各サンプル系統各部の柱上 Tr タップ値は、図 4～10 の系統図に併記されている。

各季節の送出電圧のプロコン整定

以下の手順により作成した。

手順：前述したサンプル系統の系統定数、及び負荷を基に、重負荷時の高圧線各部の高圧電圧を算出する。（その際の送出電圧は6900Vとする。）

手順：次に高圧系統の負荷中心点の高圧電圧値を把握し、重負荷時の負荷中心点の高圧電圧値がその他の時間でもほぼ一定値となるように、各時間のプロコンの送出電圧値を算出した。プロコンの送出電圧値は設定機器の設定制約により以下の制約があるものとした。

- ・ 設定間隔の制約：基本的には1時間毎にしか設定電圧は変更できない。
- ・ 設定電圧幅の制約：目標電圧は下表に示すように60V間隔でしか設定できない。

制約を考慮した場合の送出の目標電圧の設定例を下図に示す。

手順：上記手順、において算出した送出電圧を基に、各時間の潮流計算を行いTr2次側の低圧電圧が適正電圧範囲内101～107Vを逸脱する時間が発生する場合、その時間の送出電圧を60V単位で変更し、Tr2次側の低圧電圧が適正電圧範囲内101～107Vのなるように調整を行う。（現在の人によるプロコン整定値の微調整のイメージ、下図参照。）

表 設定可能な目標電圧値

設定可能な目標電圧値[V]
6900、6840、6780、6720、...、6480、6420、6360、6300

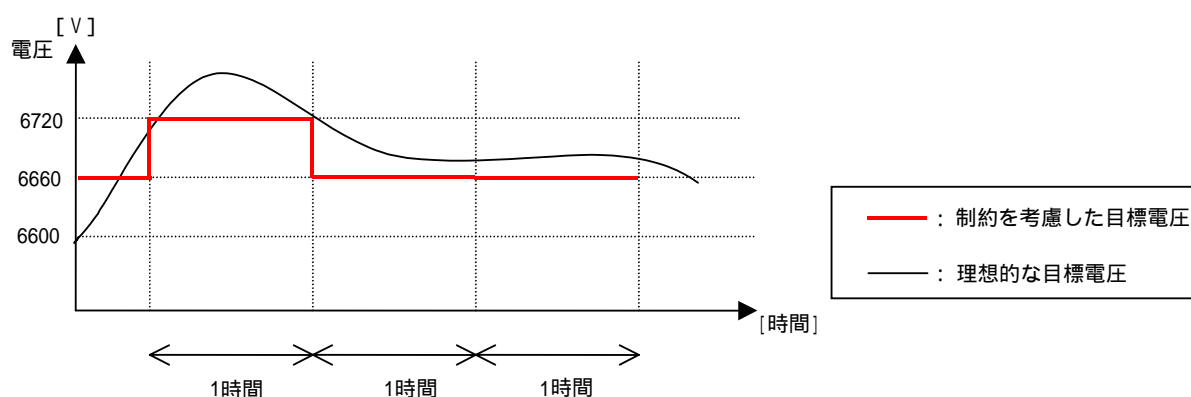


図 目標電圧の設定方法

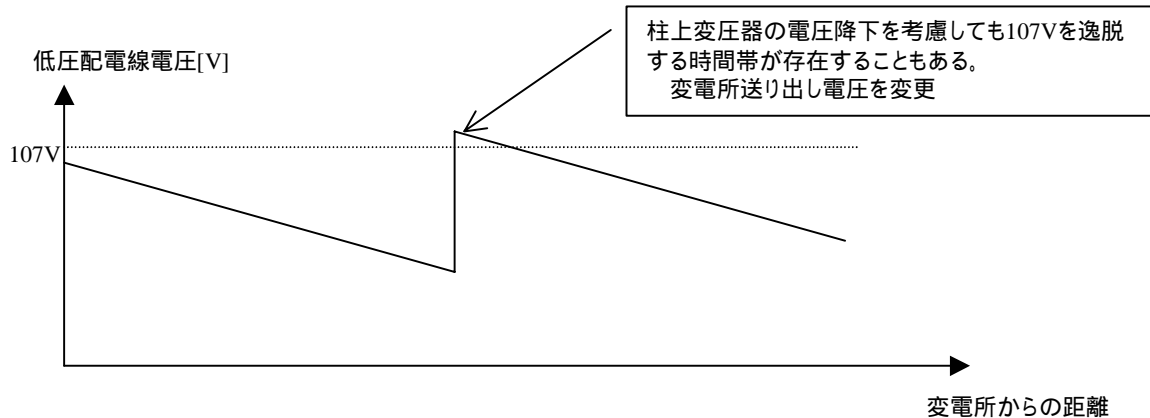


図 送出電圧の微調整のイメージ図

管理基準の妥当性確認

前述した電圧管理基準の妥当性の確認、分散型電源未導入時に適正電圧が逸脱していないことの確認を行うために、各サンプルシステムの分散型電源未導入時のシミュレーションを行い、系統全体が適正電圧を逸脱しないことを確認した。(系統各部のTr内部電圧降下を考慮したうえでTr2次側電圧が101~107Vの範囲となることにより妥当性を確認した。)

結果を図20~34に示す。各図には以下の項目の時間推移が記載されている。(時間0~24が夏期、時間24~48が中間期を示している。)

- (1) 変電所潮流(有効・無効)
- (2) 送出電圧(目標電圧)
- (3) 系統各部の低圧配電線電圧(Tr2次側、Tr内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- (4) 適正電圧逸脱判定(上限107V、下限101V、上限を逸脱した場合は+1、下限を逸脱した場合は-1)
- (5) 系統各部の高圧配電線電圧
- (6) 柱上変圧器の内部電圧降下

なお、適正電圧幅は以下の理由により柱上変圧器の2次側で101~107Vとした。

- ・配電系統構成等の実態調査より、各社の低圧線と引込線の電圧管理基準を見ると、低圧線、引込線の電圧降下限度を6.0Vで管理している会社が多い。その場合の柱上Tr2次側の下限値は $95 + 6 = 101V$ 。
- ・これまでの研究会で101.5Vの根拠となった前回検討会では、低圧線、引込み線にTr内部電圧降下を含めて6.5Vと想定していた。今回、内部電圧降下は別途算出することとしたことから同一値(101.5V)にする必要はない。

また、柱上変圧器による内部電圧降下は、国内の柱上変圧器の平均容量に近い容量 30kVA の Tr を適用し、文献(「配電系統における電力品質の現状と対応技術」電気協同研究 ,vol.60 , no.2 , 2005 , PP217 , 付 6-2-1 表) に記載の容量 30kVA 変圧器の平均インピーダンスを基に算定した。

() 分散型電源の種類・出力

種類

各地域毎に普及が予想される分散型電源を下表のとおり選定した。商業地域・工業地域には自家発電が、住宅地域・郊外地域には太陽光発電の導入が多いと想定される。

表 系統影響シミュレーションに用いた分散型電源と導入地域

分散型電源 \ 地域	商業地域	工業地域	住宅地域	郊外地域
同期発電機 (自家発、廃棄物発電)	○	○	-	-
インバータ型電源 (家庭用太陽光発電)	-	-	○	○

出力

同期発電機は出力一定ベース運転と軽負荷時停止運転 (昼間のみ の一定運転) の 2 種を設定した。太陽光発電は下図に示すように日射強度データに比例するものとした。同期発電機、太陽光発電ともに、力率は 100% (無効電力出力 0kvar) とした。

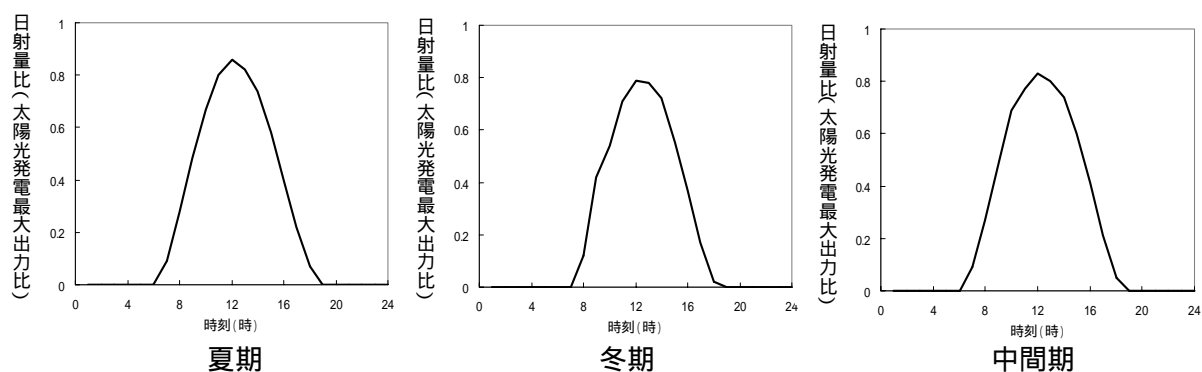
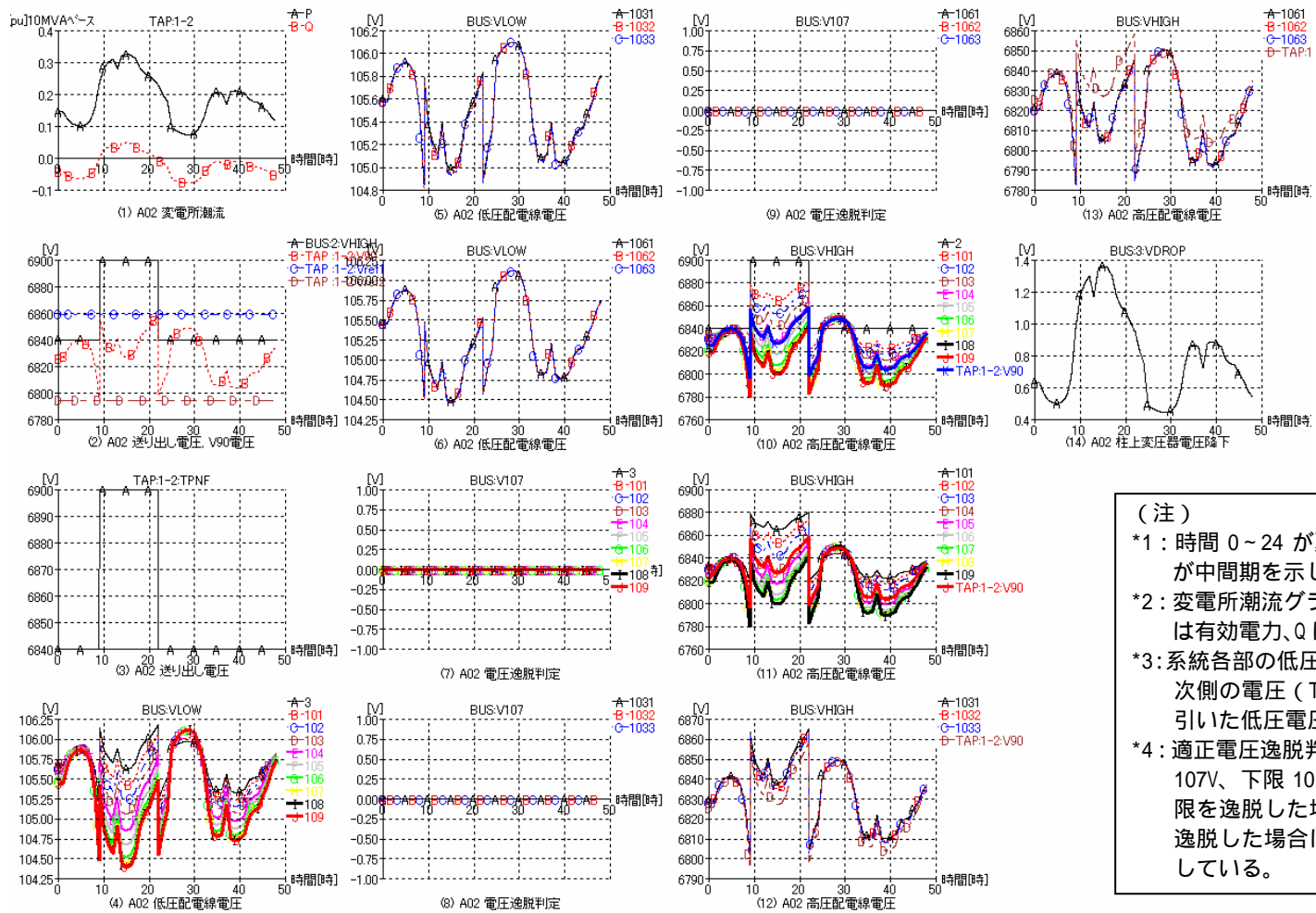


図 各期の太陽光発電出力パターン

分布

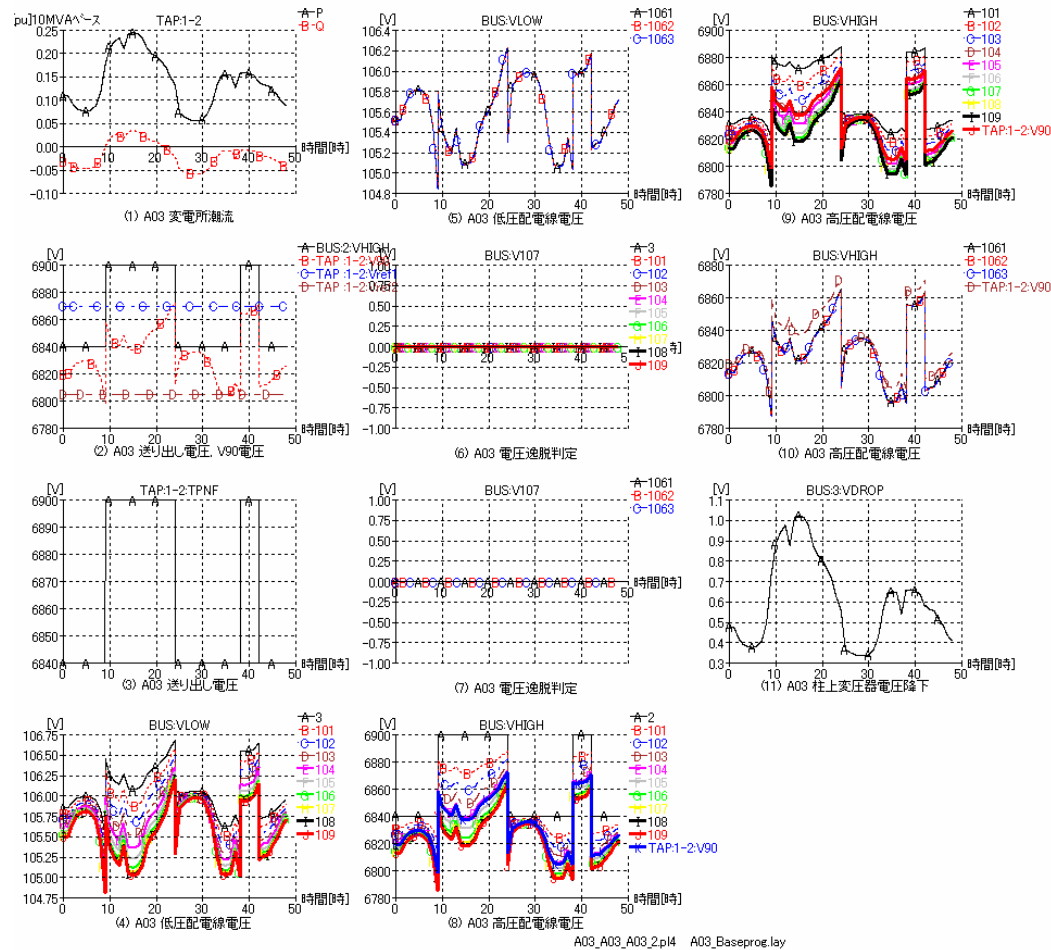
分散型電源の分布は、均等分布と末端集中を想定し、均等分布を模擬する場合には負荷と同様、各母線へは線路長に応じて均等に割り当てた。



(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

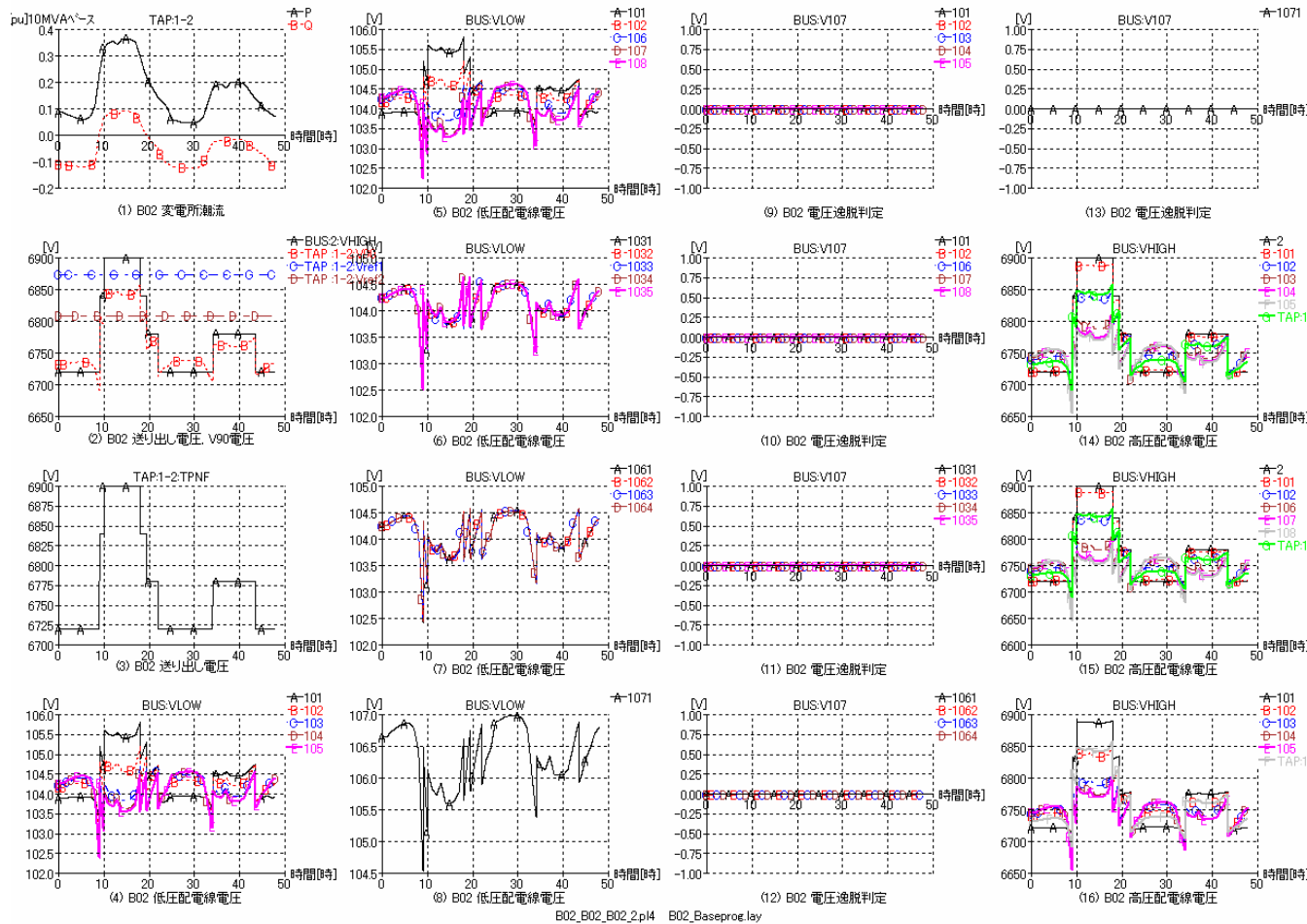
図 20 ケース A02 (繁華街) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)



(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

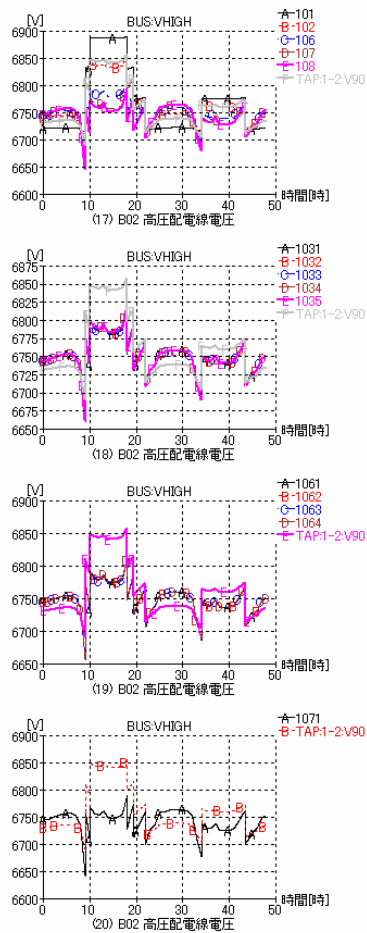
図 21 ケース A03 (繁華街) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)



(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

図 22 ケース B02 (工場地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)

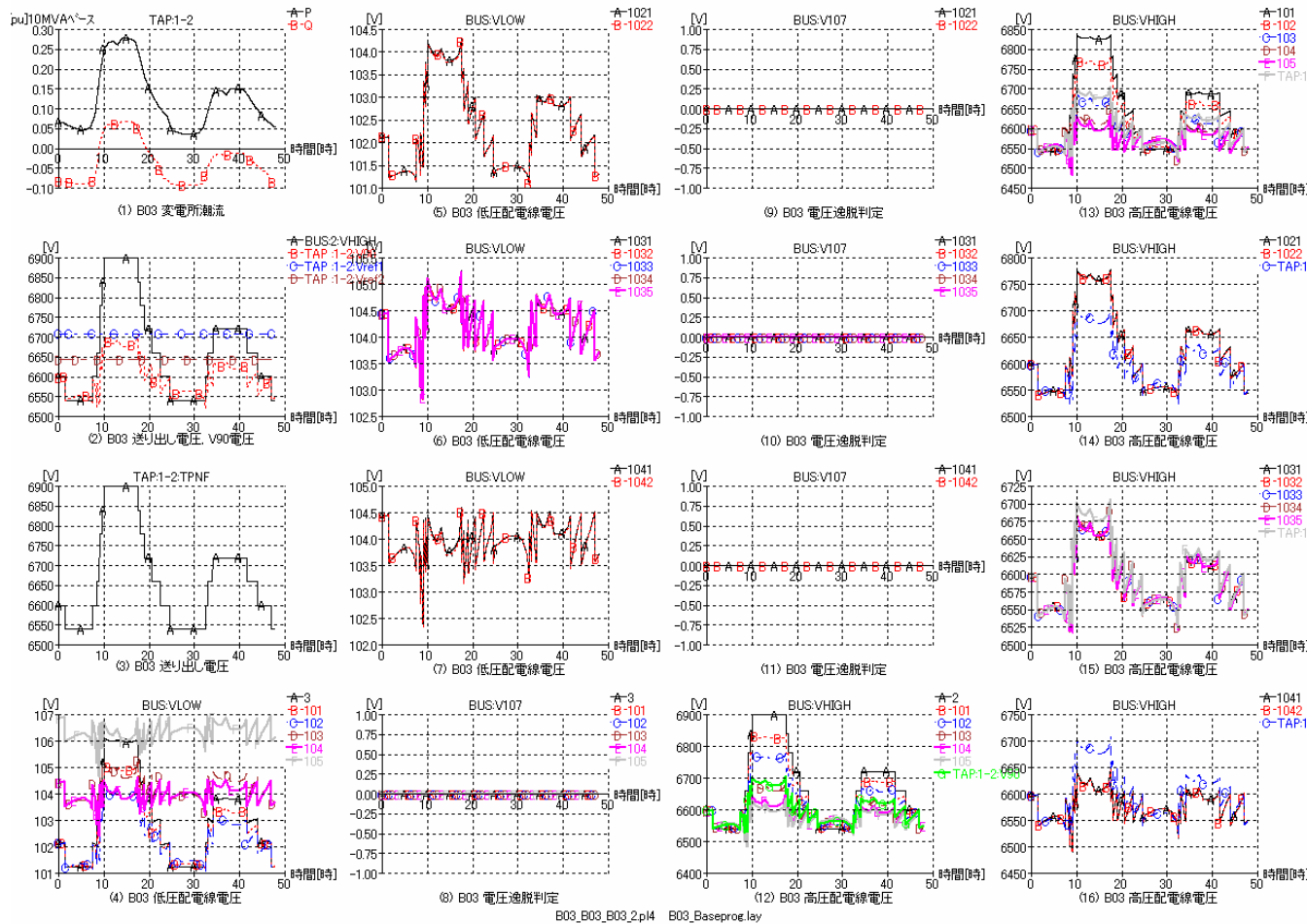


B02_B02_B02_2.p14 B02_Baseprog.lay

(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

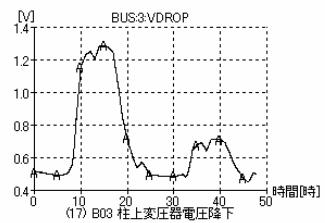
図 23 ケース B02 (工場地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)



(注)

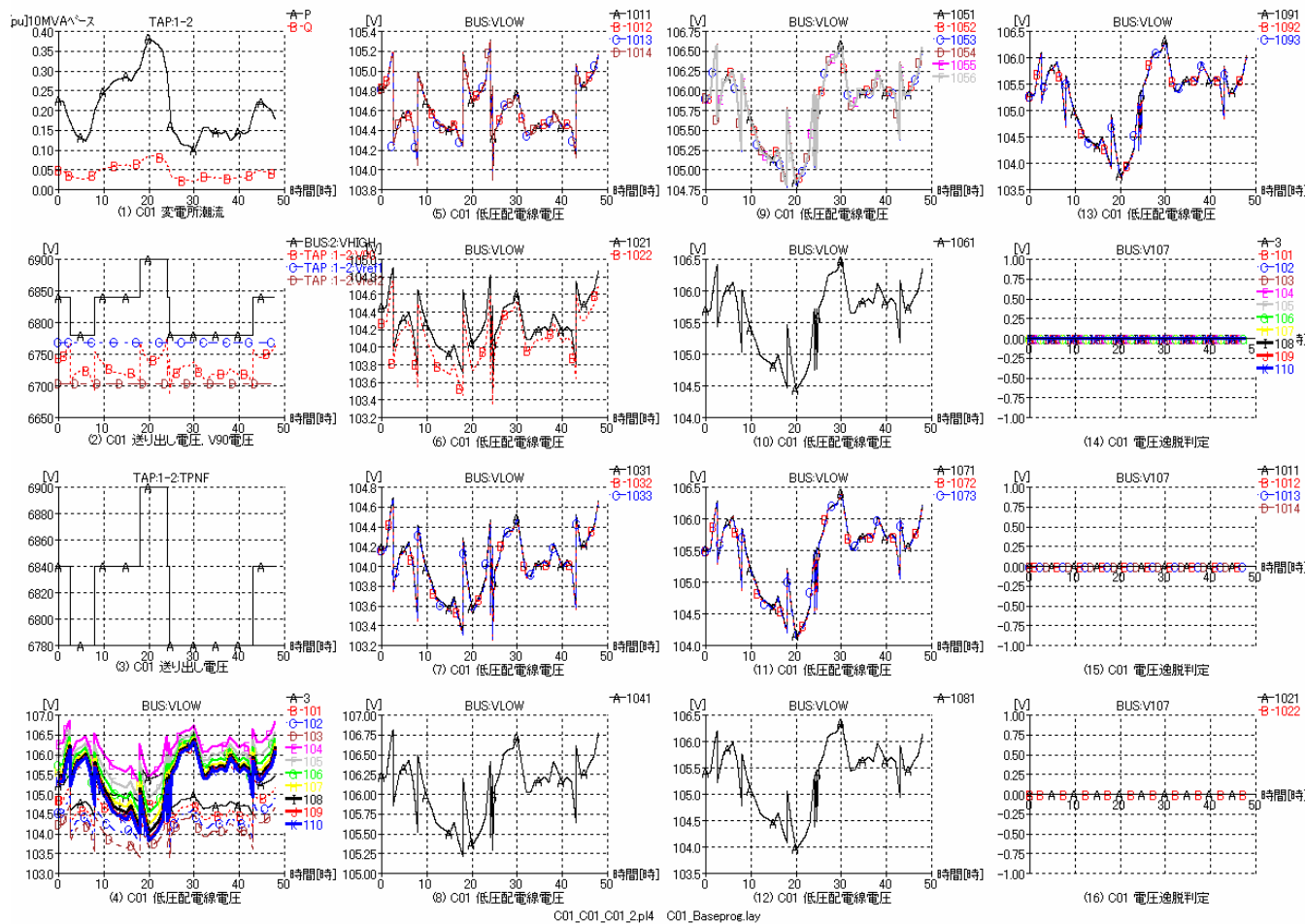
- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

図 24 ケース B03 (工場地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)



B03_B03_B03_2.pl4 B03_Baseprog.lay

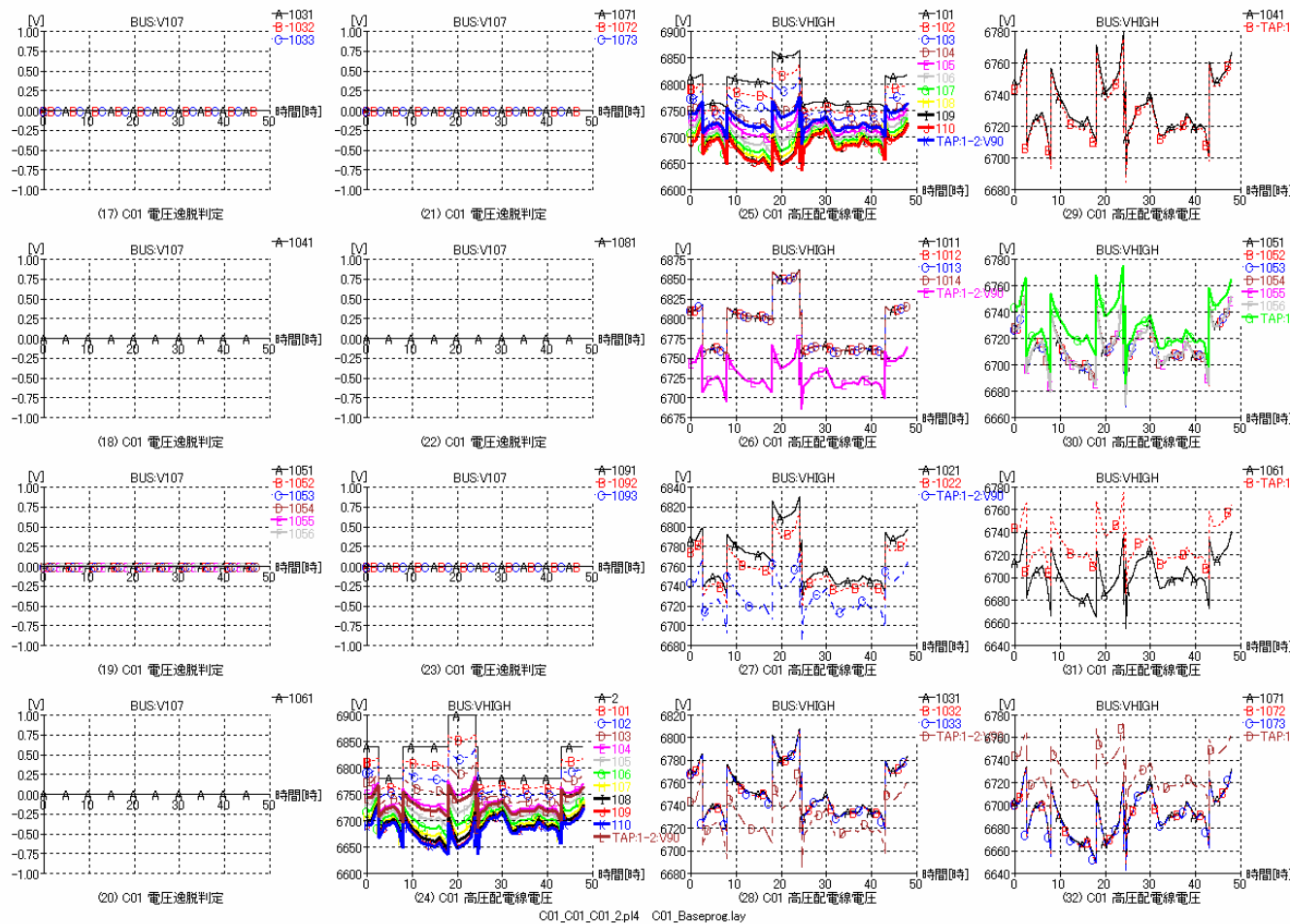
図 25 ケ-ス B03 (工場地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)



(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

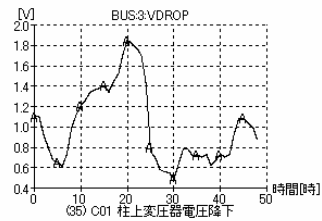
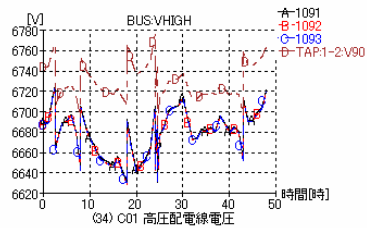
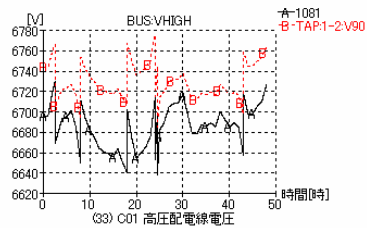
図 26 ケース C01 (住宅地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)



(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

図 27 ケース C01 (住宅地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)

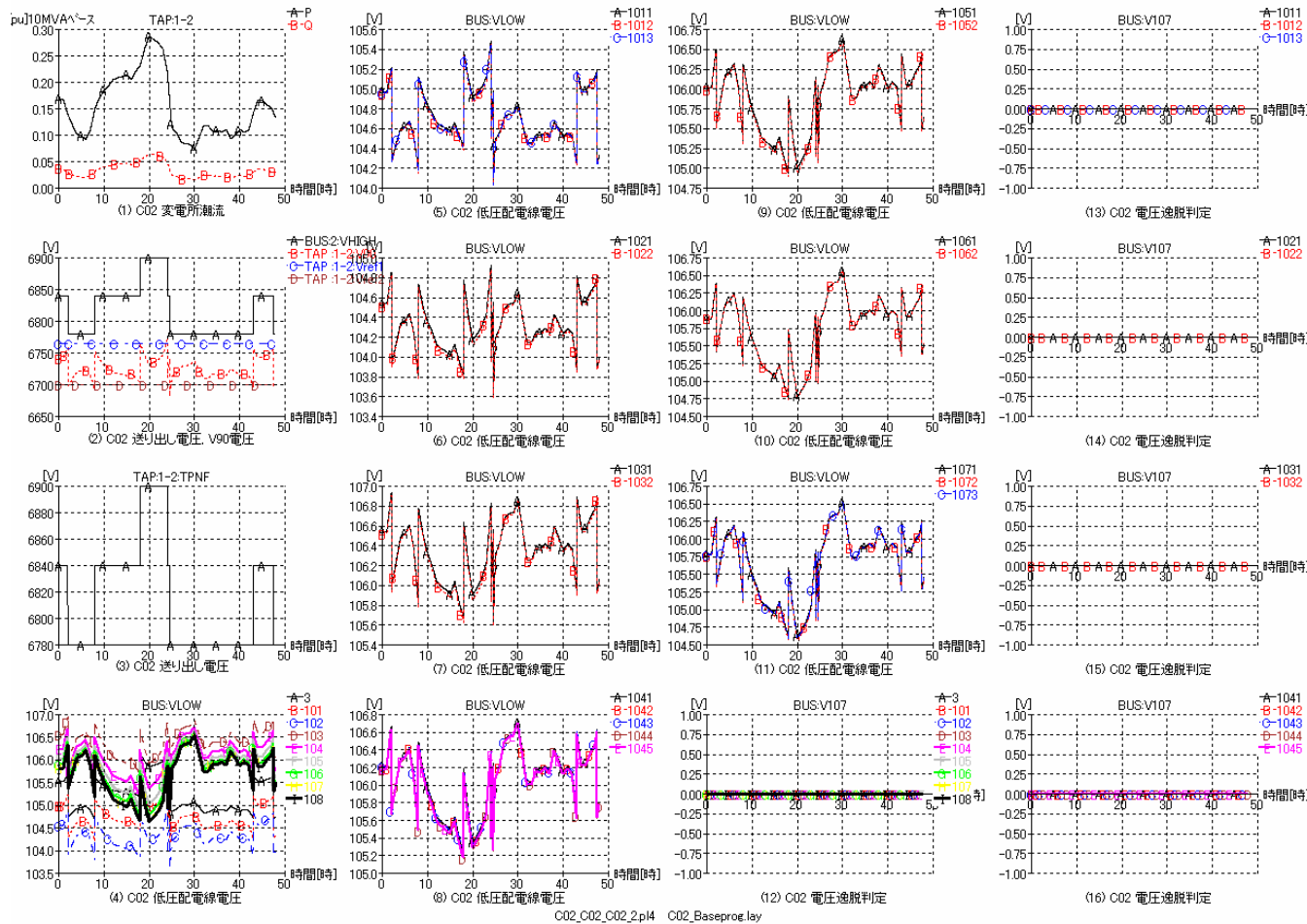


(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

C01_C01_C01_2.pl4 C01_Baseprog.lay

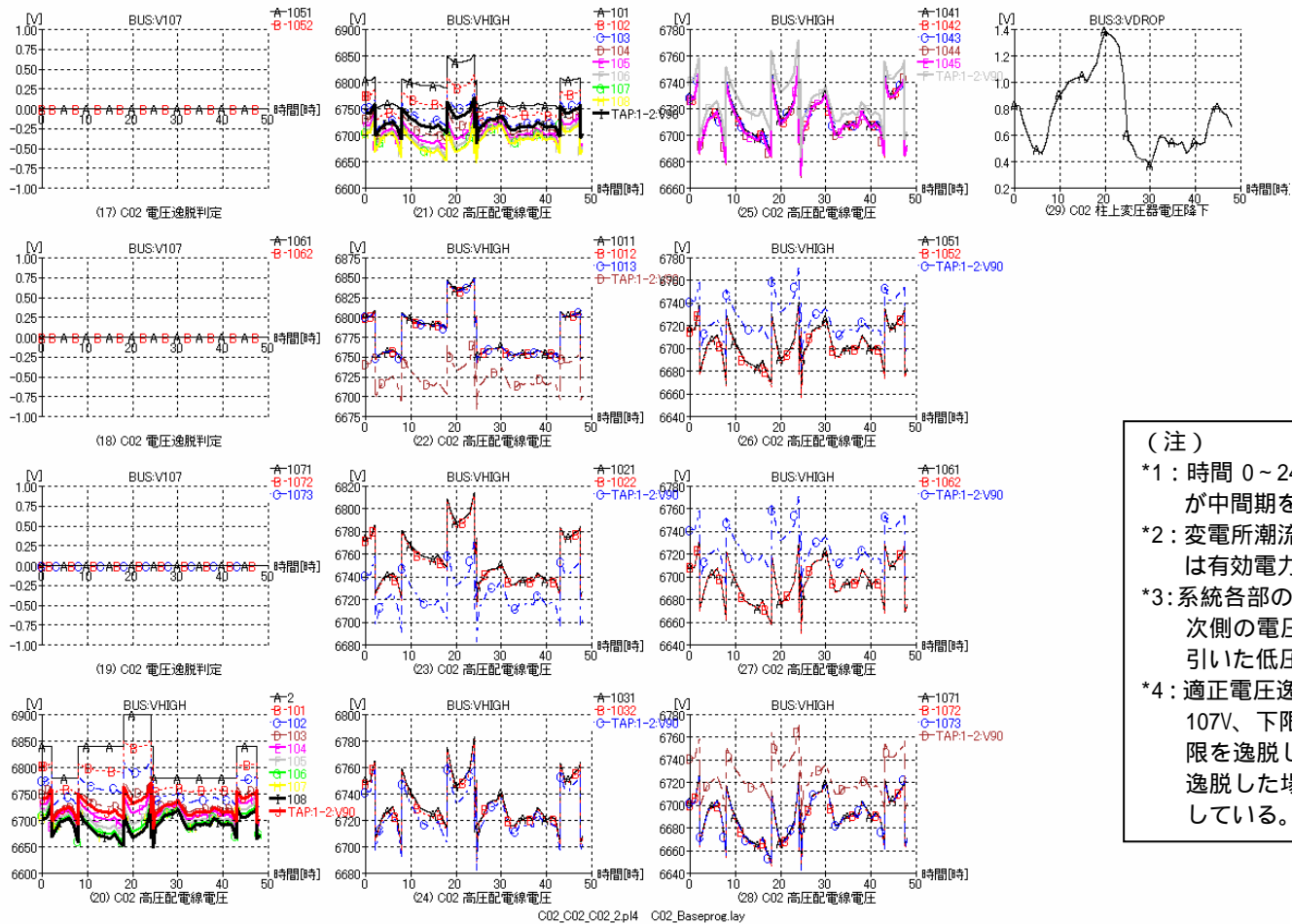
図 28 ケ-ス C01 (住宅地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)



(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

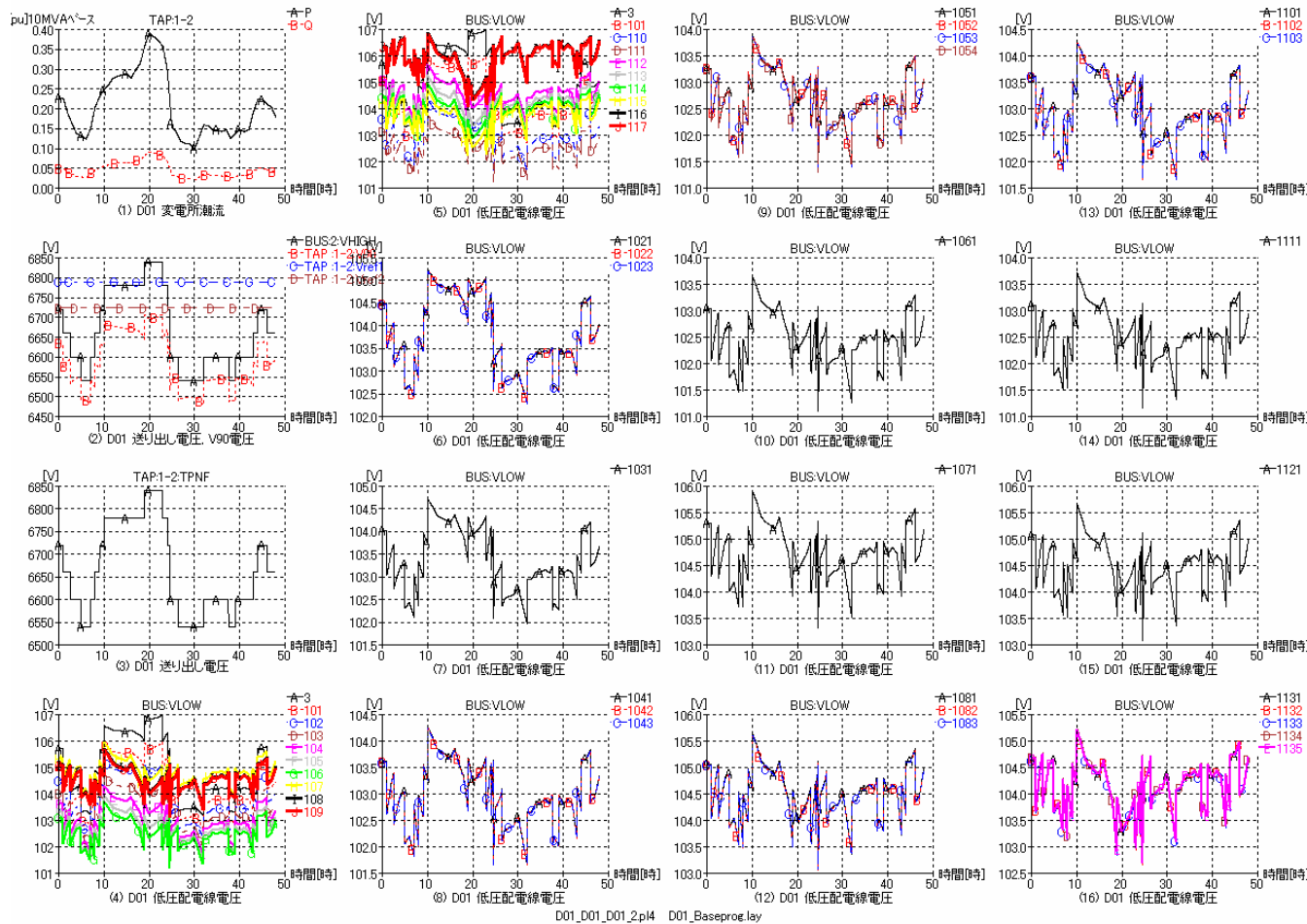
図 29 ケース C02 (住宅地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)



(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

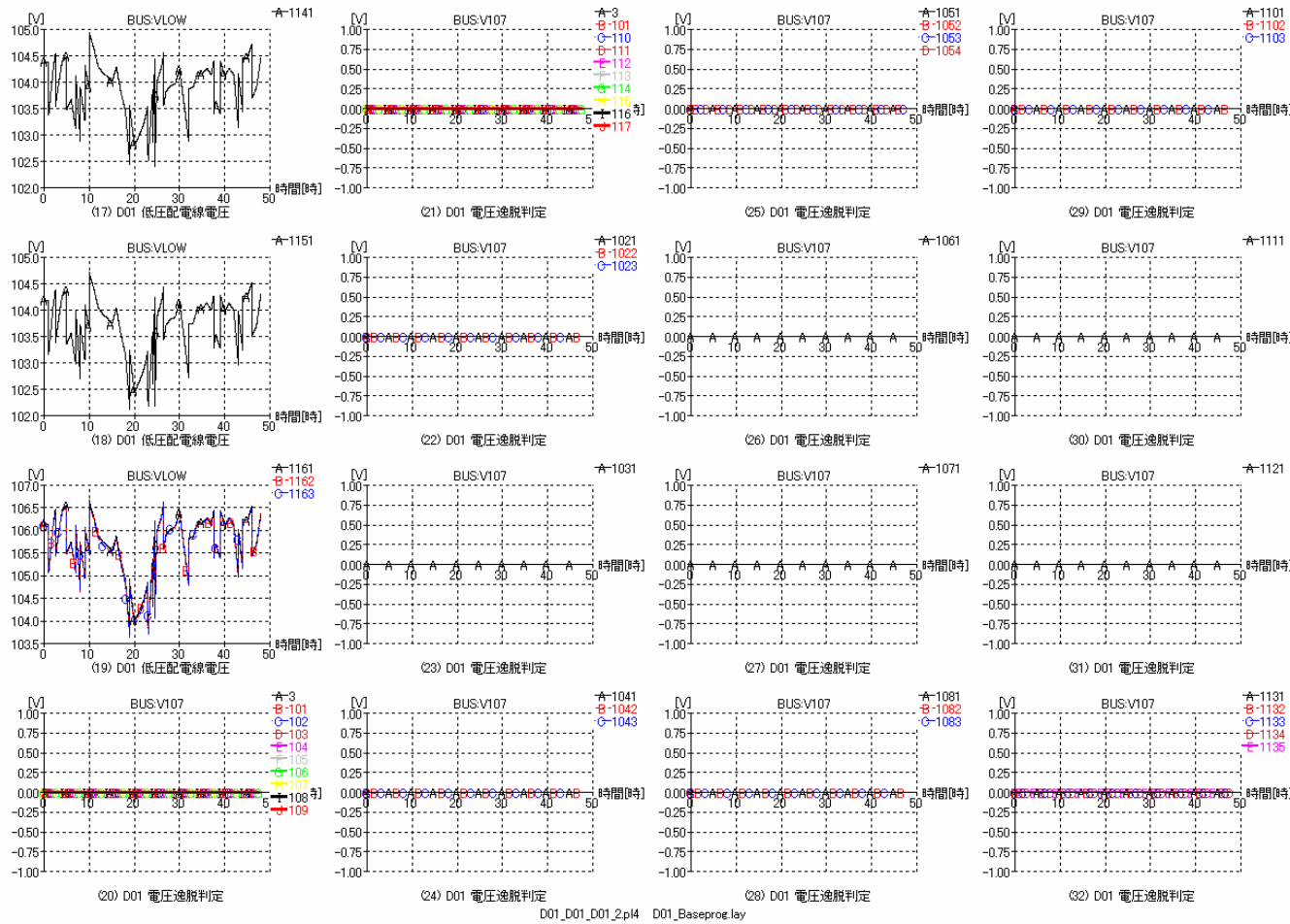
図 30 ケース C02 (住宅地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)



(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

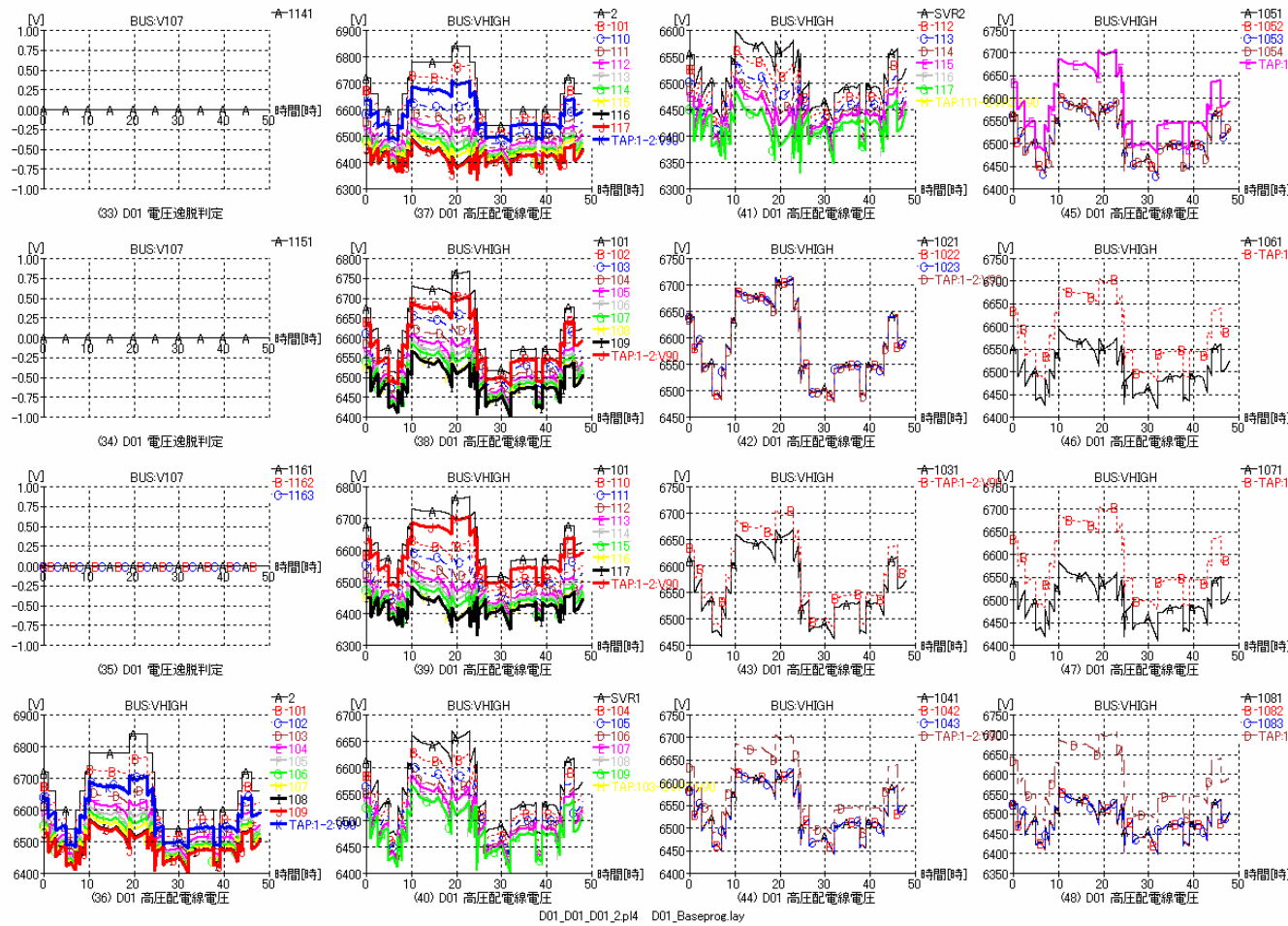
図 31 ケース D01 (農山村地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)



(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

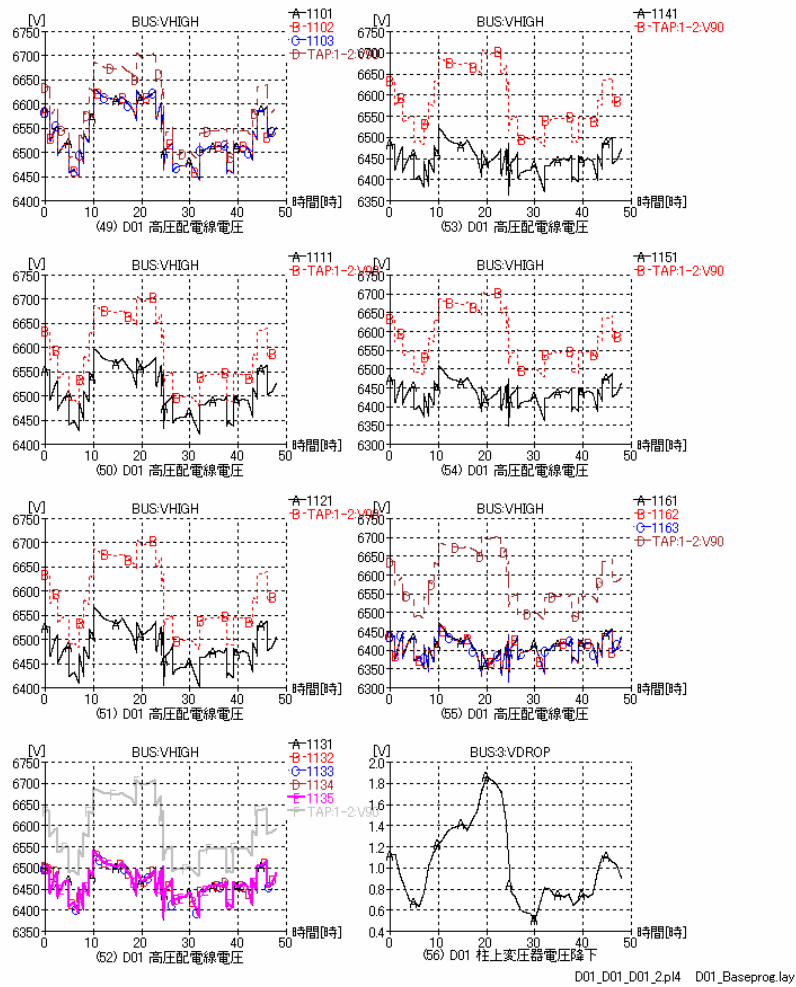
図 32 ケース D01 (農山村地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)



(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

図 33 ケース D01 (農山村地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)



(注)

- *1: 時間 0~24 が夏期、時間 24~48 が中間期を示している。
- *2: 変電所潮流グラフにおいて凡例 P は有効電力、Q は無効電力を示す。
- *3: 系統各部の低圧配電線電圧は、Tr2 次側の電圧 (Tr 内部電圧を差し引いた低圧電圧)
- *4: 適正電圧逸脱判定グラフは、上限 107V、下限 101V として判定。上限を逸脱した場合は +1、下限を逸脱した場合は -1 となるようにしている。

図 34 ケース D01 (農山村地区) 配電線電圧計算結果 (分散型電源導入率 0%)

4.2.3 導入影響シミュレーション

電協研サンプルシステムにより分散型電源が導入された場合の、未対策時の系統電圧の適正電圧維持に対する影響をシミュレーションにより確認した。今回は影響確認の一部として、7 つ電協研サンプルシステムを用い、分散型電源均等分布時の導入率 30%、50%での影響について確認を実施した。

各モデルシステムにおけるシミュレーション結果、及び結果の分析内容を P4-56 以降に示す。

(1) 全体的な分析

下表に各モデルシステムでのシミュレーション結果をまとめた。全てのモデルシステムにおいて適正電圧を逸脱する結果となった。

タップ変更点のない（配電システムの全域で同一タップ）の系統（A02、A03 系統）では、配電システムの末端付近の電圧が逸脱しているが、タップ変更点がある系統（A02、A03 系統以外の系統）では、末端付近での逸脱に加えタップ変更点直後での逸脱する傾向が見られる。

表 分散型電源導入率 30%、50%の時の各モデルシステムの適正電圧の逸脱の状況

モデル系統	モデル系統の特徴	分散型電源	適正電圧の逸脱状況 (: 逸脱なし、× : 逸脱あり)		逸脱箇所
			導入率 30%	導入率 50%	
A02	繁華街地域 大容量、幹線巨長 1.93km 柱上 Tr 使用タップ 6750	同期発電機 (全日運転)	× (中間期)	× (夏期、中間期)	末端付近
A03	繁華街地域 一般容量、幹線巨長 0.91km 柱上 Tr 使用タップ 6750	同期発電機 (全日運転)	× (夏期、中間期)	× (夏期、中間期)	末端付近
B02	工場地域 大容量、幹線巨長 2.58km 柱上 Tr 使用タップ 6750、6600	同期発電機 (全日運転)	× (夏期、中間期)	× (夏期、中間期)	タップ変更 点直後
B03	工場地域 一般容量、幹線巨長 2.86km 柱上 Tr 使用タップ 6750、6600、6450	同期発電機 (全日運転)	× (夏期、中間期)	× (夏期、中間期)	タップ変更 点直後 末端付近
C01	住宅地域 大容量、幹線巨長 3.27km 柱上 Tr 使用タップ 6750、6600	太陽光発電	× (夏期、中間期)	× (夏期、中間期)	タップ変更 点直後 末端付近
C02	住宅地域 一般容量、幹線巨長 3.98km 柱上 Tr 使用タップ 6750、6600	太陽光発電	× (夏期、中間期)	× (夏期、中間期)	タップ変更 点直後 末端付近
D01	郊外地域 大容量、幹線巨長 5.34km 柱上 Tr 使用タップ 6750、6600、6450、6300	太陽光発電	× (夏期、中間期)	× (夏期、中間期)	タップ変更 点直後 末端付近

(2) 各系統毎の分析

各系統毎の適正電圧の逸脱状況を分析し、効果的な対策方法について定性的に分析を行った。

(定量評価は「4.2.4 対策効果シミュレーション」で実施)

A02 系統 (繁華街地域、大容量、柱上 Tr タップ 6750 のみ)【P4-56】

亘長が短いことから分散型電源の導入量に係わらず電圧変動幅は小さい。適正電圧 101 ~ 107V (低圧換算、Tr 内部電圧降下含む) に対し、配電線の各地点の各時間の電圧は 105 ~ 107V 程度で推移しており、適正電圧下限値 101V に対しかなり (4V 程度) の裕度があると言える。

従って、本ケースでは、適正電圧逸脱時間のプロコン基準電圧整定値を 2.0V 程度下げることで対策可能となる可能性が高い。(但し、送出電圧の調整はバンクー括の調整となることに留意が必要。)

A03 系統 (繁華街地域、一般容量、柱上 Tr タップ 6750 のみ)【P4-57】

亘長が短いことから分散型電源の導入量に係わらず電圧変動幅は小さい。適正電圧 101 ~ 107V (低圧換算、Tr 内部電圧降下含む) に対し、配電線の各地点の各時間の電圧は 105 ~ 107V 程度で推移しており、適正電圧下限値 101V に対しかなり (4V 程度) の裕度があると言える。

従って、本ケースでは、適正電圧逸脱時間のプロコン基準電圧整定値を 2.0V 程度下げることで対策可能となる可能性が高い。(但し、送出電圧の調整はバンクー括の調整となることに留意が必要)

B02 系統 (工場地域、大容量、柱上 Tr タップ 6750、6600 の 2 種類)【P4-58】

亘長は比較的短いものの配電線末端付近の一部の箇所 (N1071 ノード) で柱上 Tr のタップ値がその他の箇所と違うこともあり、導入率 0% で 102 ~ 107V、導入率 50% で 103 ~ 108V 程度の電圧値となっている。分散型電源の導入率の増加により、夏期、中間期ともに柱上 Tr のタップ値が違う配電線末端付近の一部の箇所 (N1071 ノード) のみが時間によらず適正電圧を逸脱している。

従って、本ケースでは、一部のエリアの柱上 Tr のタップ変更による対策で対応できる可能性が高い。

B03 系統 (工場地域、一般容量、柱上 Tr タップ 6750、6600、6450 の 3 種類)【P4-59】

軽負荷時にフェランチ現象が顕著な当該地域は、導入率 0% でも軽負荷時に末端付近の電圧が高い。重負荷時の電圧を基準に設定した柱上 Tr のタップ値により本ケースは 3 種類のタップを用いることになることから末端付近の電圧が高く、電源側付近の電圧が低くなる傾向にある。各ノードの電圧変動幅は 2 ~ 6V であり、適正電圧幅 6V の限度幅に近い。

従って、本ケースでは、SVC や SVR などの機器による対策が効果的となる可能性がある。

C01 系統 (住宅地域、大容量、柱上 Tr タップ 6750、6600 の 2 種類)【P4-60】

電圧変動幅は導入率 0% で 104 ~ 107V 程度。それに対し、導入率 50% では 104 ~ 108V と変動幅が広がっている。適正電圧下限値 101V に対し 3V 程度の裕度がある。

従って、本ケースでは、プロコン基準電圧整定値を 1 ~ 2V 程度下げることで対策できる可能性が高い。

C02 系統（住宅地域、一般容量、柱上 Tr タップ 6750、6600 の 2 種類）【P4-61】

電圧変動幅は導入率 0%で 104～107V 程度。それに対し、導入率 50%では 104～108V と変動幅が広がっている。適正電圧下限値 101V に対し 3V 程度の裕度がある。

従って、本ケースでは、プロコン基準電圧整定値を 1～2V 程度下げること対策できる可能性が高い。

D01 系統（郊外地域、大容量、柱上 Tr タップ 6750、6600、6450、6300 の 4 種類）【P4-62】

長亘長である当該配電線は、導入率 0%の時、4 種類の柱上 Tr のタップ、及び送出電圧の調整により適正電圧範囲の 101～107V を維持しているが、適正電圧の上下限にほとんど余裕がない。

従って、本ケースでは、SVC や SVR などの機器による対策が効果的となる可能性がある。

全体を通して

今回実施した各モデル系統において、技術動向調査の結果等を活用して、各対策方法の定性的な分析評価を行った結果を下表に示す。これらの評価は未対策時のシミュレーション結果から定性的に分析した結果であり、定量的な評価については、「4.2.4 対策効果シミュレーション」で実施する。）

なお、電圧対策の方法は実証試験の実施内容、技術動向調査結果より、以下のとおり選定した。LBC や集中制御システムに関しては実証試験側による実験結果が明らかになった後に検討に加えるものとする。

表 未対策時のシミュレーション結果から予想される各対策方法の効果

対策	A02 系統		A03 系統		B02 系統		B03 系統		C01 系統		C02 系統		D01 系統	
	対策効果	経済性	対策効果	経済性	対策効果	経済性	対策効果	経済性	対策効果	経済性	対策効果	経済性	対策効果	経済性
【自端制御】 柱上 Tr タップ 変更														
LRT プロコン整 定値見直し							x							x
SVR 設置														
SVC(又は ShR) 設置														
自動タップ型 柱上 Tr 設置														

また、上記のとおりモデル系統毎に個別に対策方法を定性的に分析すると、以下のような傾向が見られる。これらの傾向については、シミュレーションケースを増やし更に分析を深め、これらの傾向により分類した各種実系統の標準的な対策方法の検討や実証システムの適用範囲の検討に活用していきたい。

- 必ずしも全ての配電系統が適正電圧範囲に余裕がないわけではない。（現行の電圧管理基準は配電線損失の低減などの理由から適正電圧上限値に近い管理がなされていることから、適正電圧の下限値に余裕がある傾向が見られる。余裕があれば、既存設備の調

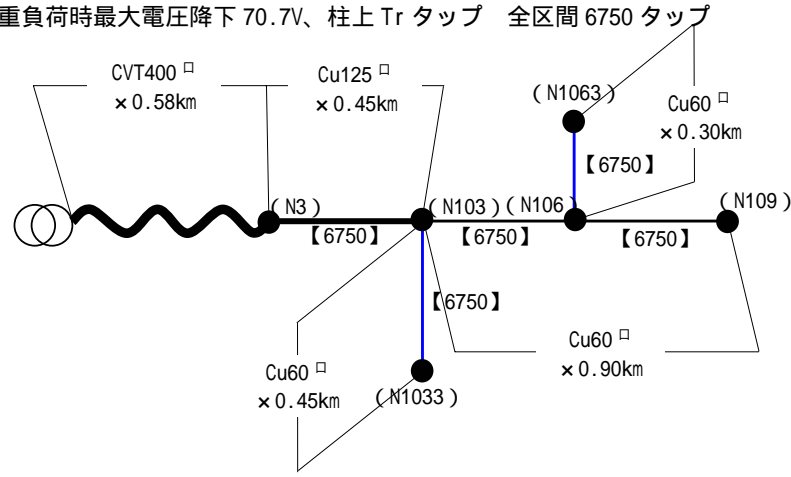
整による対策により、より経済的な対策が実施できる可能性がある。)

- ・ 柱上 Tr タップ変更点の多い配電系統（言い換えれば、長亘長の配電系統）が適正電圧を逸脱しやすい傾向がある。（適正電圧幅に余裕がなく、機器設置による対策が有効となる可能性がある。）
- ・ 配電系統の一部の狭いエリアだけが適正電圧を逸脱するケースもある。（スポット的な対策により、より経済的な対策が実施できる可能性がある。）

各モデル系統における未対策時シミュレーション結果分析
 (繁華街系統 A02 系統、DG (同期発電) 均等分布・全日運転ケース)

1. 系統の特徴

- ・ 繁華街の架空系統
- ・ Cu125[□]の大容量回線
- ・ 幹線巨長 1.93km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 2.68km
- ・ 重負荷時最大電圧降下 70.7V、柱上 Tr タップ 全区間 6750 タップ



繁華街 A02 系統
 () は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

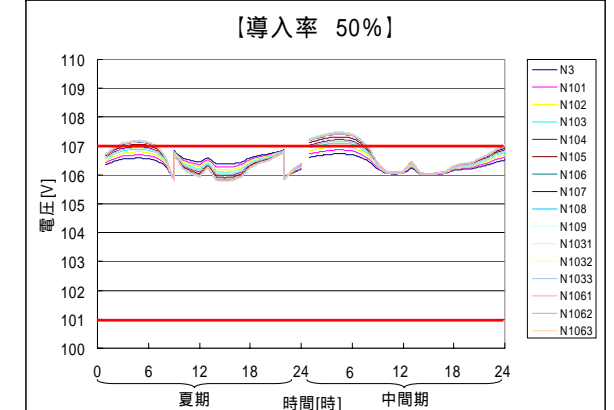
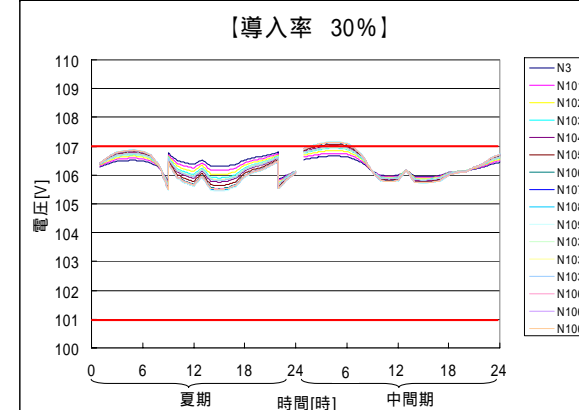
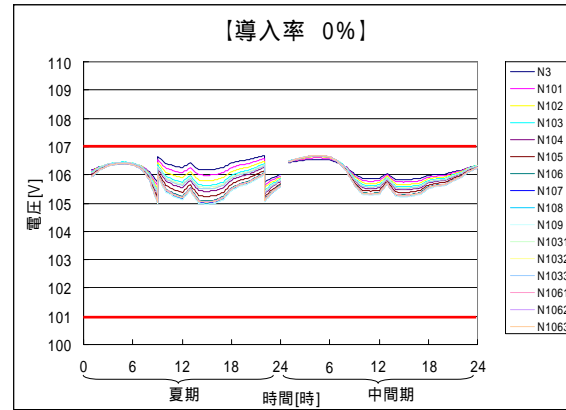
4. 対策方法分析 (分析内容は後述の対策効果シミュレーションで定量的に検証している)

- ・ 未対策時のシミュレーション、及びその分析結果より各対策の効果を下表のとおり定性的に分析評価した。
- ・ 本ケースではプロコン整定値変更による対策で対応できる可能性が高い。

対策	定性評価		分析内容 及び 留意事項
	対策 効果	経済 性	
【自端制御】 柱上 Tr タップ 変更			<ul style="list-style-type: none"> ・ 末端付近の逸脱箇所のタップを順次変更 (6750 → 6900) することで、2.4V の電圧抑制が期待できる。DG 未運転時にも適正電圧下限値を下回る恐れなし。(導入率 0% グラフより) ・ 膨大な数のタップ変更工事費用が懸念。
LRT プロコン整 定値見直し			<ul style="list-style-type: none"> ・ 各時間において適正電圧下限値に低圧換算で 4V 程度の裕度があることから、適正電圧逸脱時間のプロコン基準電圧整定値を 2.0V 程度下げることで対応可能。DG 未運転時にも適正電圧下限値を下回る恐れなし。(導入率 0% グラフより) ・ 整定値見直しのみのため経済性は優れているが、配電線電圧の全体的な低下による損失増大が懸念。 ・ 但し、バンク一括制御となることに留意が必要。
SVR 設置			<ul style="list-style-type: none"> ・ 回線途中にて SVR を設置すれば適正電圧維持可能。送出電圧で調整したほうが経済的。
SVC (又は ShR) 設置			<ul style="list-style-type: none"> ・ 回線末端にて SVC (又は ShR) を設置すれば適正電圧維持可能。回線巨長が短く (線路リアクタンスが小さく) 容量大による経済性が懸念。
自動タップ型 柱上 Tr 設置			<ul style="list-style-type: none"> ・ 適正電圧逸脱箇所の Tr を自動タップ型 Tr に取替ることで対策可能。タップ変更工事以上の費用発生が懸念。
【集中制御】			<ul style="list-style-type: none"> ・ 本ケースでは協調性の問題が生じない、等の安価な対策で対応可能と考えられることから、導入率 50% 程度では集中制御の必要性は少ない。

2. 未対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

- ・ 巨長が短いことから分散型電源の導入量に係らず電圧変動幅は小さい。適正電圧 101 ~ 107V (低圧換算、Tr 内部電圧降下含む) に対し、配電線の各地点の各時間の電圧は 105 ~ 107V 程度で推移しており、適正電圧下限値 101V に対しかなりの裕度があると言える。
- ・ 分散型電源の導入率増加により、中間期の深夜帯 (1 : 00 ~ 6 : 00 付近) で適正電圧の逸脱が顕著となる。

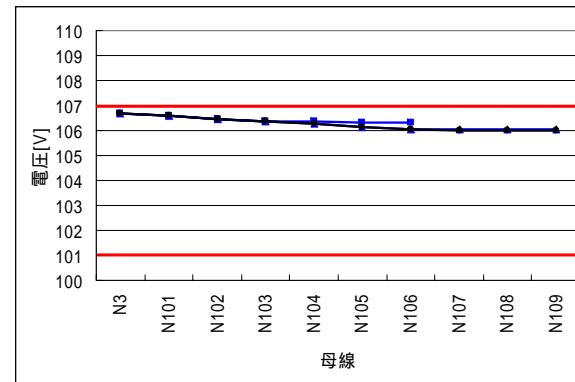


3. 未対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

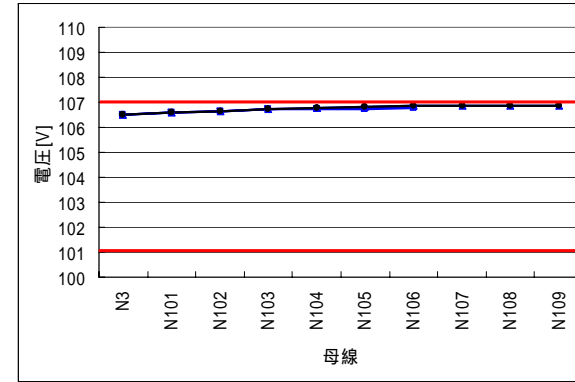
- ・ 配電線の巨長が短く、また配電線の全域において同一のタップ値を使用していることもあり、配電線の電源側から末端にかけて大きな電圧の変化は見られない。
- ・ 分散型電源の導入率増加により、末端側の電圧が上昇し適正電圧を逸脱している。

(1) 夏期最大電圧発生時

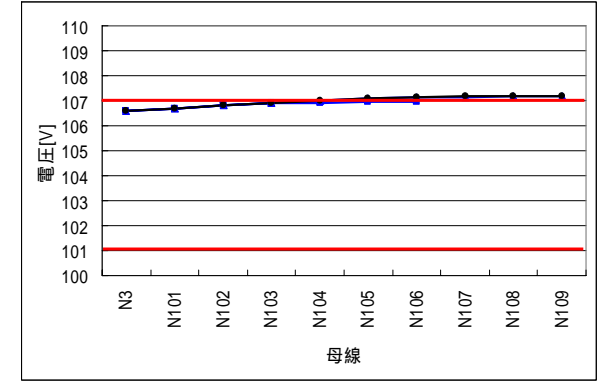
【導入率 0% (時間 22 : 00)】



【導入率 30% (時間 5 : 00)】

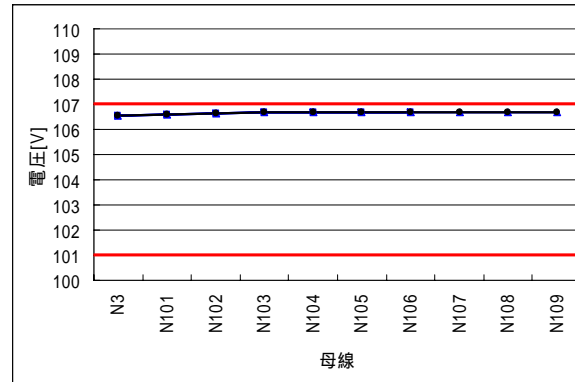


【導入率 50% (時間 4 : 00)】

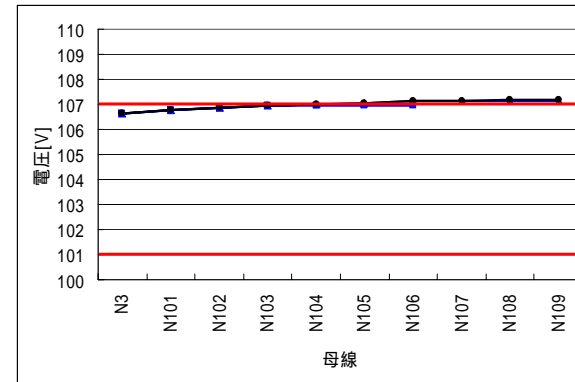


(2) 中間期最大電圧発生時

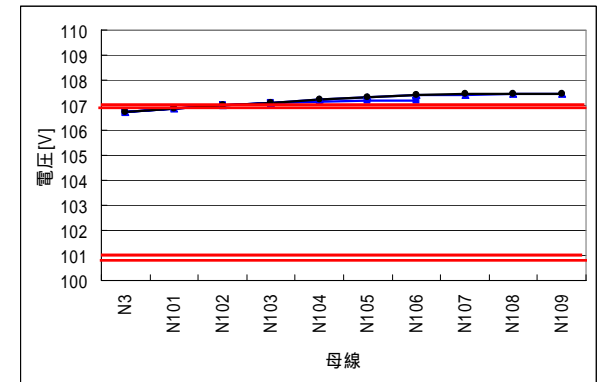
【導入率 0% (時間 4 : 10)】



【導入率 30% (時間 4 : 00)】



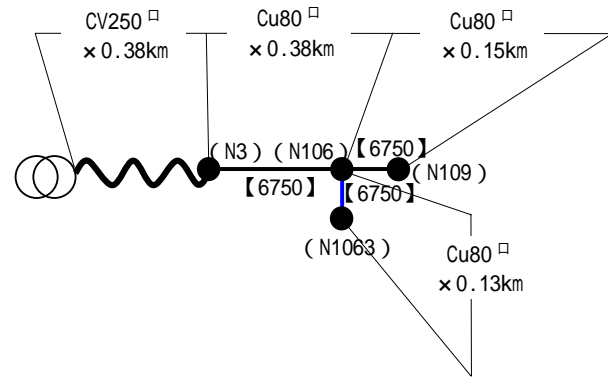
【導入率 50% (時間 4 : 00)】



各モデル系統における未対策時シミュレーション結果分析
 (繁華街系統 A03 系統、DG (同期発電) 均等分布・全日運転ケース)

1. 系統の特徴

- ・ 繁華街の架空系統
- ・ Cu80[□]の一般容量回線
- ・ 幹線巨長 0.91km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 1.04km
- ・ 重負荷時最大電圧降下 67.5V、柱上 Tr タップ 全区間 6750 タップ



繁華街 A03 系統

() は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

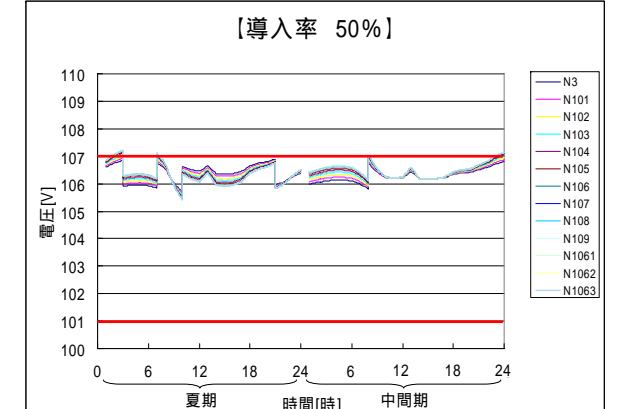
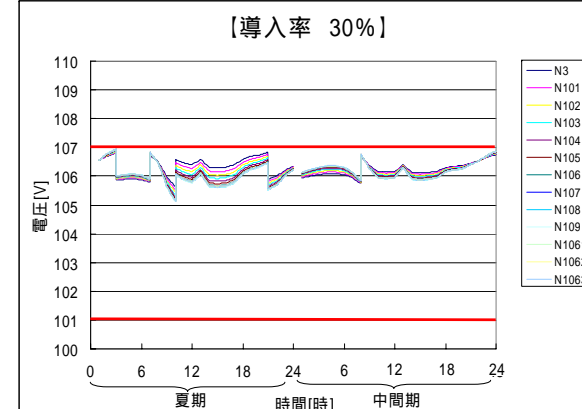
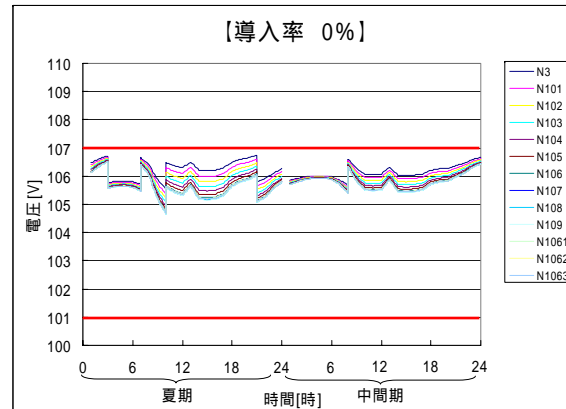
4. 対策方法分析 (分析内容は後述の対策効果シミュレーションで定量的に検証している)

- ・ 未対策時のシミュレーション、及びその分析結果より各対策の効果を下表のとおり定性的に分析評価した。
- ・ 本ケースではプロコン整定値変更による対策で対応できる可能性が高い。

対策	定性評価		分析内容 及び 留意事項
	対策 効果	経済 性	
【自端制御】 柱上 Tr タップ 変更			<ul style="list-style-type: none"> ・ 末端付近の逸脱箇所のタップを順次変更 (6750 → 6900) することで、2.4V の電圧抑制が期待できる。DG 未運転時にも適正電圧下限値を下回る恐れなし。(導入率 0% グラフより) ・ 膨大な数のタップ変更工事費用が懸念。
LRT プロコン 整定値見直し			<ul style="list-style-type: none"> ・ 各時間において適正電圧下限値に低圧換算で 4V 程度の裕度があることから、各時間のプロコン基準電圧整定値を 2.0V 程度下げることに対応可能。DG 未運転時にも適正電圧下限値を下回る恐れなし。(導入率 0% グラフより) ・ 整定値見直しのみのため経済性は優れているが、配電線電圧の全体的な低下による損失増大が懸念。 ・ 但し、パンクー括制御となることに留意が必要。
SVR 設置			<ul style="list-style-type: none"> ・ 回線途中にて SVR を設置すれば適正電圧維持可能。送出電圧で調整したほうが経済的。
SVC (又は ShR) 設置			<ul style="list-style-type: none"> ・ 回線末端にて SVC (又は ShR) を設置すれば適正電圧維持可能。回線巨長が短く (線路リアクタンスが小さく) 容量大による経済性が懸念。
自動タップ型 柱上 Tr 設置			<ul style="list-style-type: none"> ・ 適正電圧逸脱箇所の Tr を自動タップ型 Tr に取替ることで対策可能。タップ変更工事以上の費用発生が懸念。
【集中制御】			<ul style="list-style-type: none"> ・ 本ケースでは、協調性の問題が生じない などの安価な対策で対応可能と考えられることから、導入率 50% 程度では集中制御の必要性は少ない。

2. 未対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

- ・ 巨長が短いことから分散型電源の導入量に係らず電圧変動幅は小さい。適正電圧 101 ~ 107V (低圧換算、Tr 内部電圧降下含む) に対し、配電線の各地点の各時間の電圧は 105 ~ 107V 程度で推移しており、適正電圧下限値 101V に対しかなりの裕度があると言える。
- ・ 分散型電源の導入率増加により、夏期、中間期の深夜帯 (0 : 00 ~ 7 : 00 付近) で主に送出電圧の変更直後に適正電圧の逸脱が発生している。

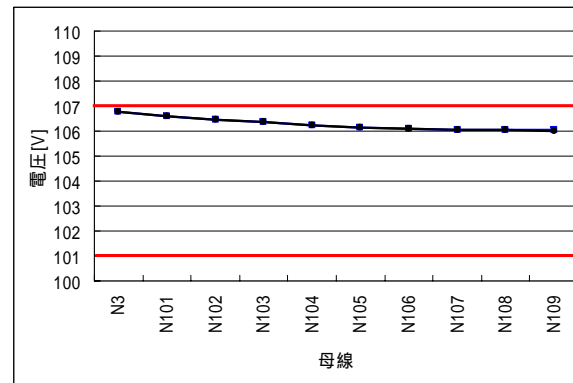


3. 未対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

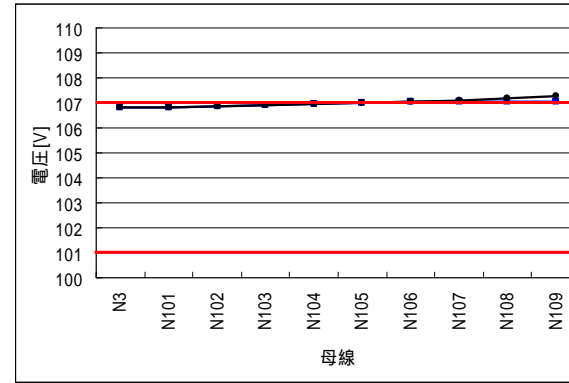
- ・ 配電線の巨長が短く、また配電線の全域において同一のタップ値を使用していることもあり、配電線の電源側から末端にかけて大きな電圧の変化は見られない。
- ・ 分散型電源の導入率増加により、末端側の電圧が上昇し適正電圧を逸脱している。

(1) 夏期最大電圧発生時

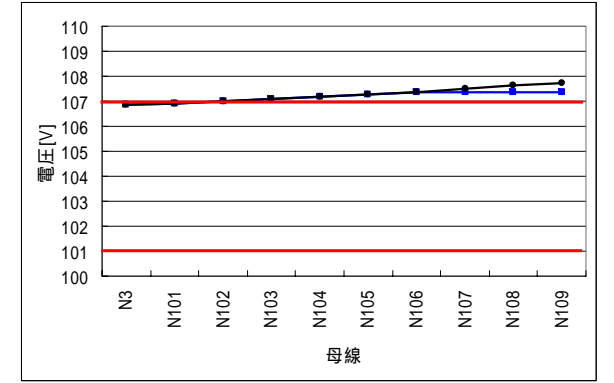
【導入率 0% (時間 21 : 00)】



【導入率 30% (時間 3 : 00)】

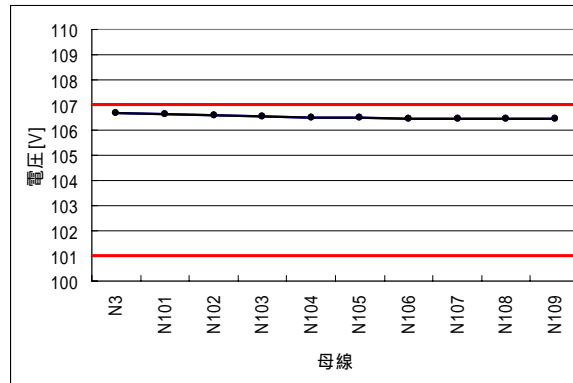


【導入率 50% (時間 3 : 00)】

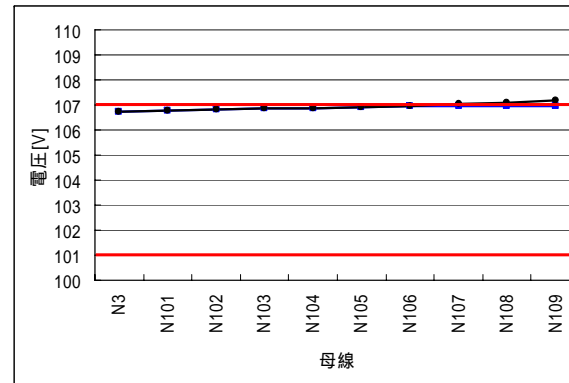


(2) 中間期最大電圧発生時

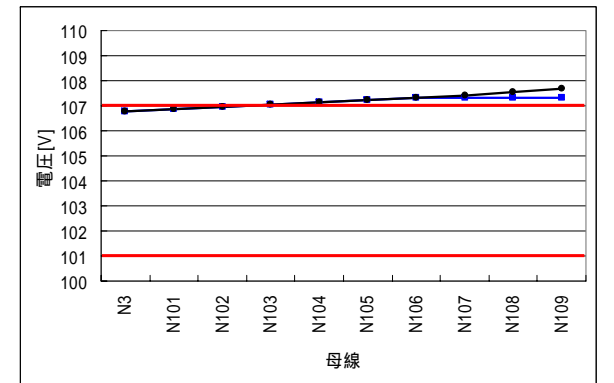
【導入率 0% (時間 24 : 00)】



【導入率 30% (時間 24 : 00)】



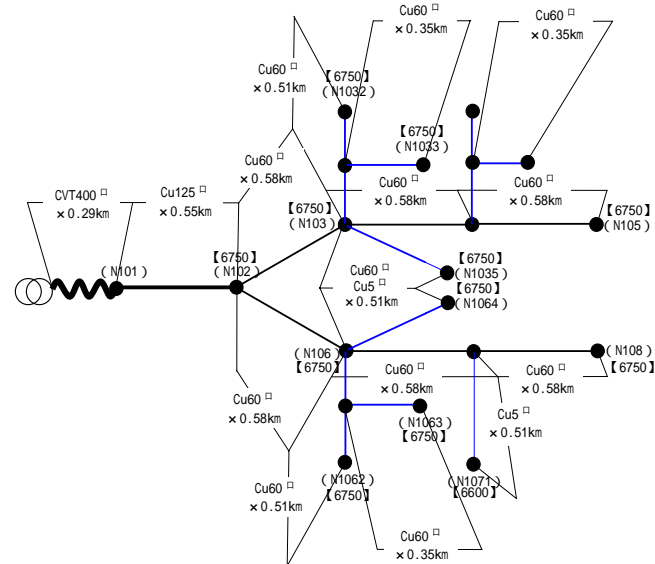
【導入率 50% (時間 24 : 00)】



各モデル系統における未対策時のシミュレーション結果分析
 (工場地域系統 B02 系統、DG (同期発電) 均等分布・全日運転ケース)

1. 系統の特徴

- 工場地域の架空系統
- Cu125[□]の大容量回線
- 幹線亘長 2.58km、総亘長 (幹線亘長、分岐亘長の合計) 8.32km
- 重負荷時最大電圧降下 174.8V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600 の 2 タップ



工場地域 B02 系統
 () は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

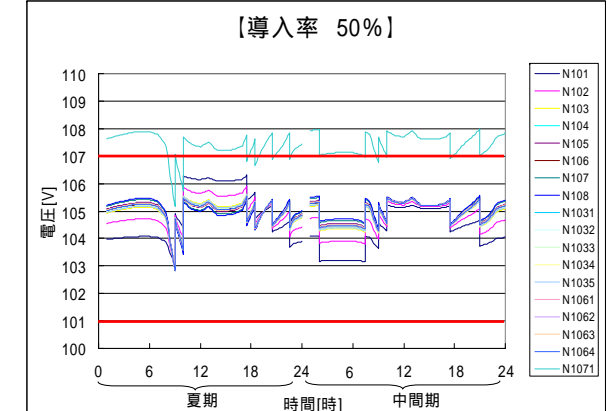
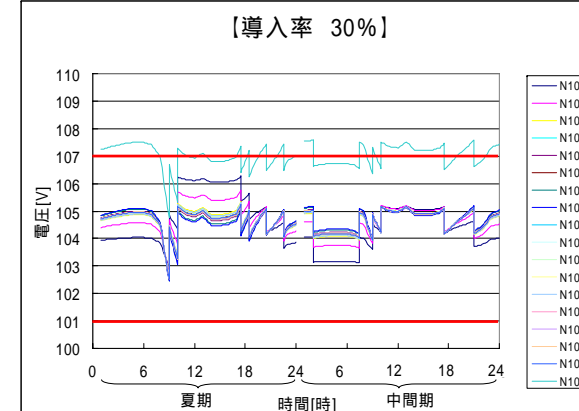
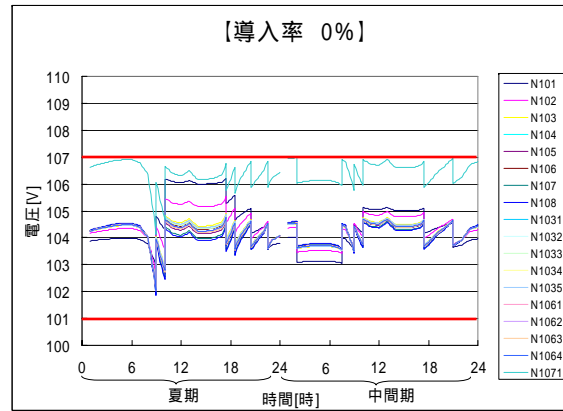
4. 対策方法分析 (分析内容は後述の対策効果シミュレーションで定量的に検証している)

- 未対策時のシミュレーション、及びその分析結果より各対策の効果を下表のとおり定性的に分析評価した。
- 本ケースでは一部エリアの柱上 Tr のタップ変更による対策で対応できる可能性が高い。

対策	定性評価		分析内容 及び 留意事項
	対策 効果	経済 性	
【自端制御】 柱上 Tr タップ 変更			<ul style="list-style-type: none"> 末端付近の逸脱箇所の柱上 Tr タップを他の地点と同様に 6750 タップに統一することで、2.4V の電圧抑制が期待できる。DG 未運転時にも適正電圧下限値を下回る恐れはないと考えられる。(導入率 0% グラフより) 今回のケースのように対象範囲が狭い場合は経済的に有利となる可能性が高い。
LRT プロコン 整定値見直し			<ul style="list-style-type: none"> 時間帯によって適正電圧下限値に低圧換算で 2~3V 程度の裕度があることから、プロコン基準電圧整定値を 1~2V 程度下げること対策できる可能性が高い。(DG 未運転時や重負荷時を含め検証が必要。) 配電線電圧の全体的な低下による損失増大が懸念。 但し、バンク一括制御となることに留意が必要。
SVR 設置 SV α (又は ShR) 設置			<ul style="list-style-type: none"> 適正電圧維持可能であるが経済性が懸念。 適正電圧維持可能であるが経済性が懸念。
自動タップ型 柱上 Tr 設置			<ul style="list-style-type: none"> 適正電圧維持可能であるが、タップ変更による対策以上の費用発生が懸念。
【集中制御】			<ul style="list-style-type: none"> 本ケースでは協調性の問題が生じない、等の安価な対策で対応可能と考えられることから、導入率 50% 程度では集中制御の必要性は少ない。

2. 未対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

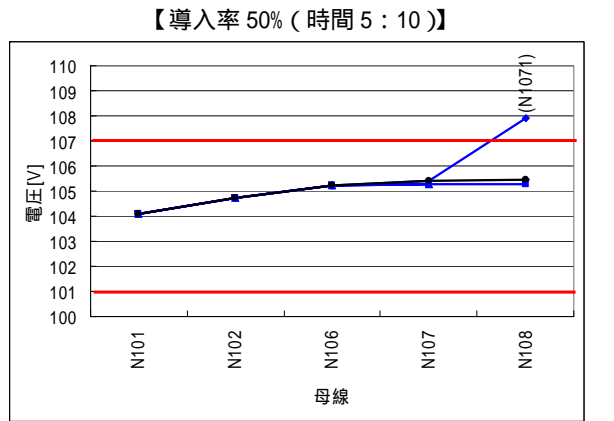
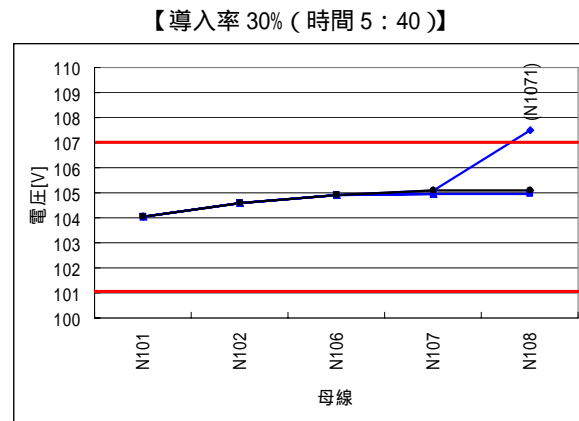
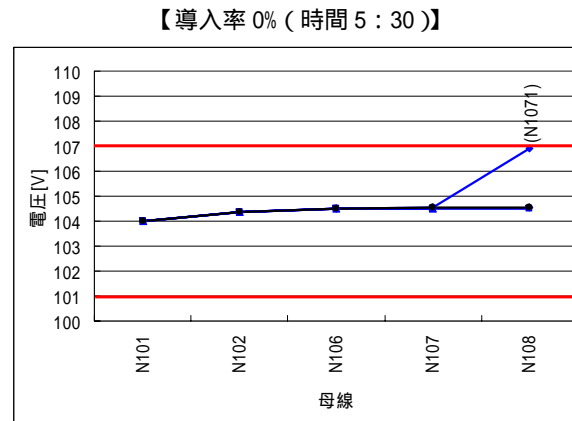
- 亘長は比較的短いものの配電線末端付近の一部の箇所 (N1071 ノード) で柱上 Tr のタップ値がその他の箇所と違うこともあり、導入率 0% で 102~107V、導入率 50% で 103~108V 程度の電圧値となっている。
- 分散型電源の導入率の増加により、夏期、中間期ともに柱上 Tr のタップ値が違う配電線末端付近の一部の箇所 (N1071 ノード) のみが時間によらず適正電圧を逸脱している。



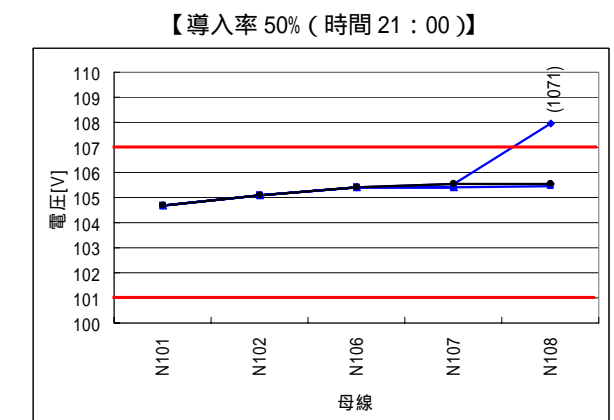
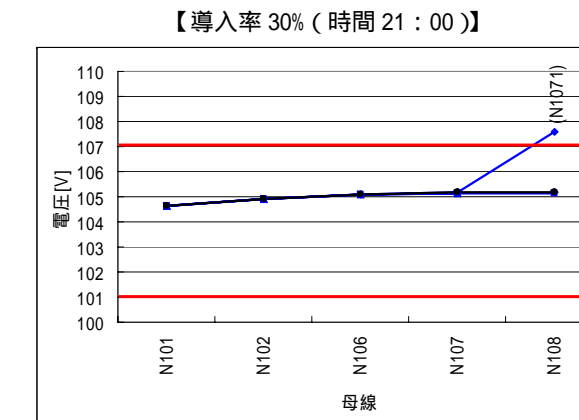
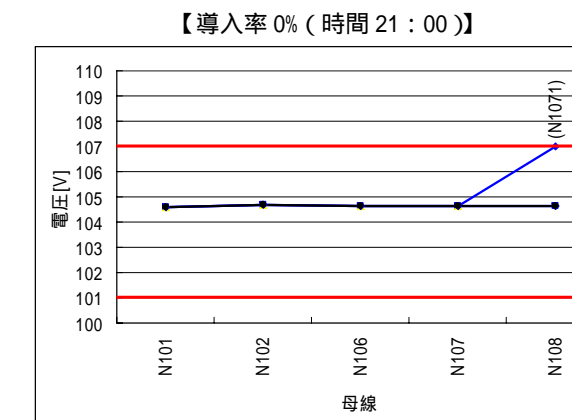
3. 未対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

- 最大電圧発生時の各地点の電圧は幹線部分に関しては配電線の電源側から末端にかけて大きな変化は見られないが、末端付近のタップ変更点以降の箇所 (N1071 ノード) で 2.4V 程度電圧が上昇している。
- 分散型電源の導入率増加により、末端側の電圧が上昇し末端付近のタップ変更点以降の箇所 (N1071 ノード) で適正電圧を逸脱している。

(1) 夏期最大電圧発生時



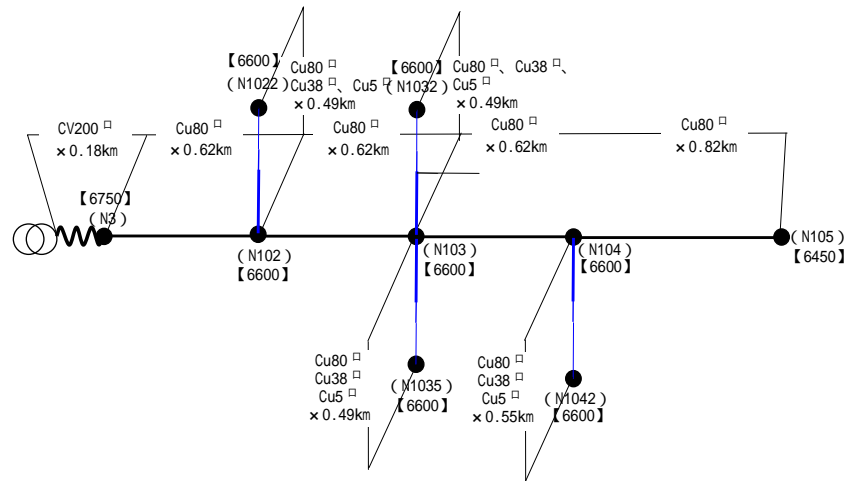
(2) 中間期最大電圧発生時



各モデル系統における未対策時のシミュレーション結果分析
 (工場地域系統 B03 系統、DG (同期発電) 均等分布・全日運転ケース)

1. 系統の特徴

- 工場地域の架空系統
- Cu80[□]の一般容量回線
- 幹線巨長 2.86km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 4.88km
- 重負荷時最大電圧降下 317.1V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450 の 2 タップ



工場地域 B03 系統
 () は主要ノード番号、[] は柱上 Tr タップ値

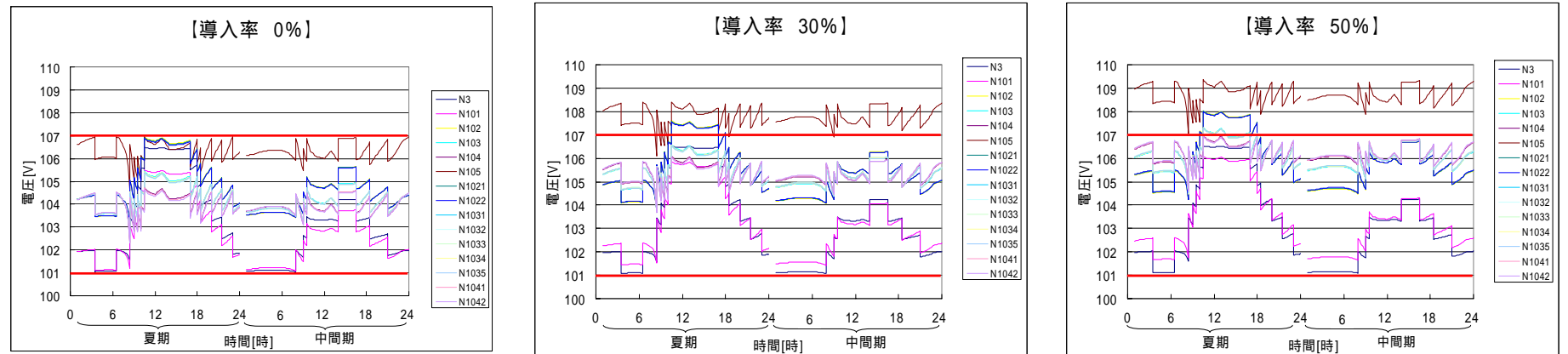
4. 対策方法分析 (分析内容は後述の対策効果シミュレーションで定量的に検証している)

- 未対策時のシミュレーション、及びその分析結果より各対策の効果を下表のとおり定性的に分析評価した。
- 本ケースでは定性的に有利な対策を予測できない。

対策	定性評価		分析内容 及び 留意事項
	対策効果	経済性	
【自端制御】 柱上 Tr タップ 変更			<ul style="list-style-type: none"> 柱上 Tr のタップ変更の対策は、変更箇所が適正電圧下限値に裕度を持つ場合に有効であるが、本ケースでは裕度が少ない。 タップ変更を行った場合、DG 未運転時の電圧が適正電圧の下限値を下回る恐れ有り。
LRT プロコン 整定値見直し SVR 設置	×		<ul style="list-style-type: none"> 時間断面における各地点の電圧差が適正電圧幅 6V を超過しており、整定値のみの見直しでは効果なし。 回線途中に SVR を 1~2 台設置により対策可能と考えられる。
SVC (又は ShR) 設置			<ul style="list-style-type: none"> 適正電圧維持可能であるが経済性が懸念。
自動タップ型 柱上 Tr 設置			<ul style="list-style-type: none"> 適正電圧維持可能であるが経済性が懸念。
【集中制御】			<ul style="list-style-type: none"> 上記対策で複数の対策機器を用いることで協調性の問題が生じる場合に、上記の対策の集中制御による対策を検討する。

2. 未対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

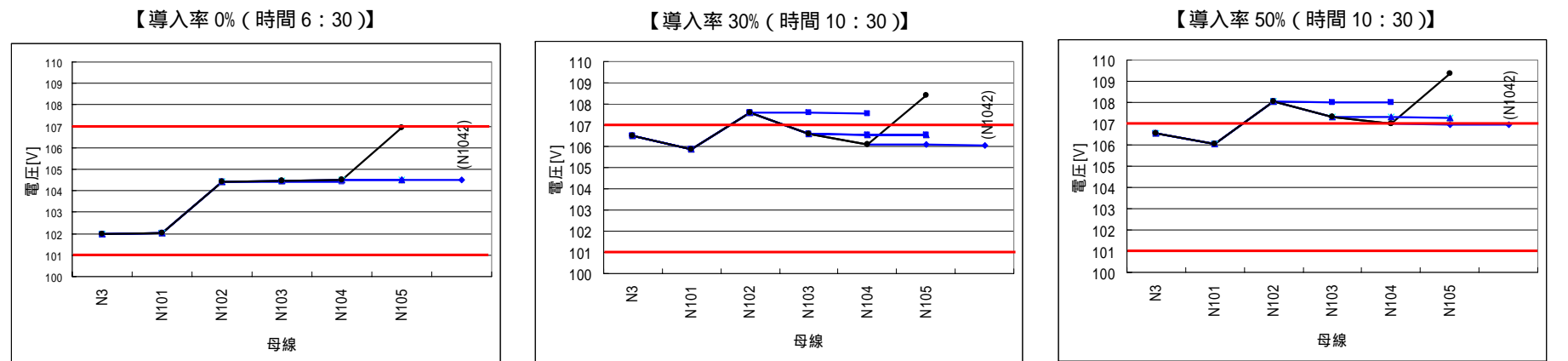
- 軽負荷時にフェランチ現象が顕著な当該地域は、導入率 0% でも軽負荷時に末端付近の電圧が高い。重負荷時の電圧を基準に設定した柱上 Tr のタップ値により本ケースは 3 種類のタップを用いることになることから末端付近の電圧が高く、電源側付近の電圧が低くなる傾向にある。
- 各ノードの電圧変動幅は 2~6V であり、適正電圧幅 6V の限度幅に近い。



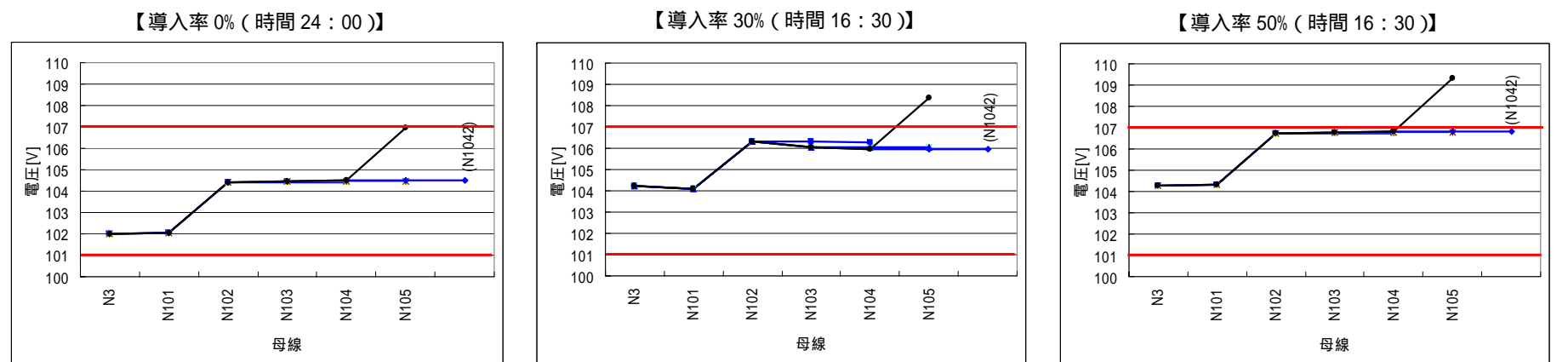
3. 未対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

- 分散型電源の導入率の増加により、電源側のタップ変更点直後、及び末端付近の電圧が適正電圧を逸脱している。

(1) 夏期最大電圧発生時



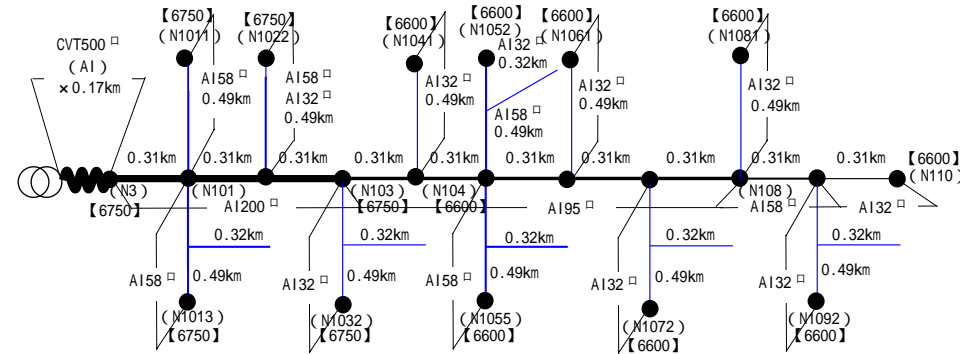
(2) 中間期最大電圧発生時



各モデル系統における未対策時のシミュレーション結果分析
 (住宅地域系統 C01 系統、DG (太陽光) 均等分布ケース)

1. 系統の特徴

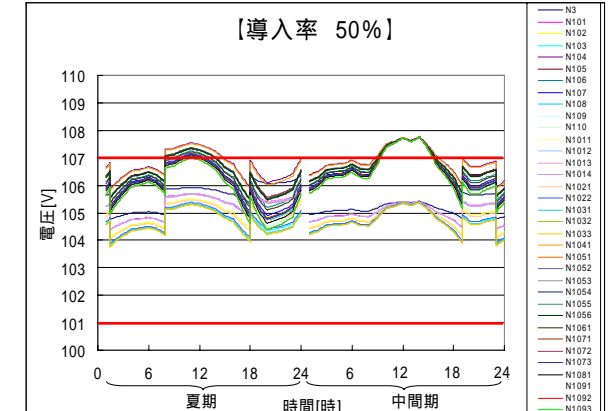
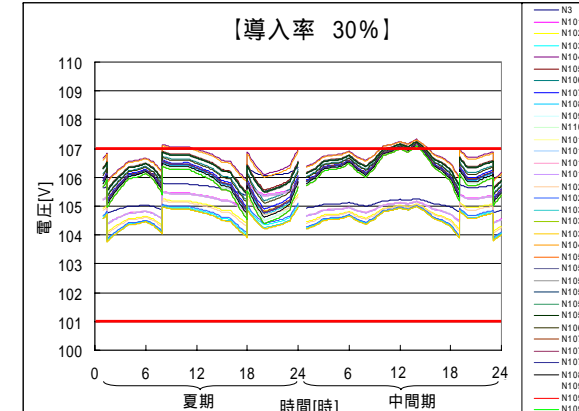
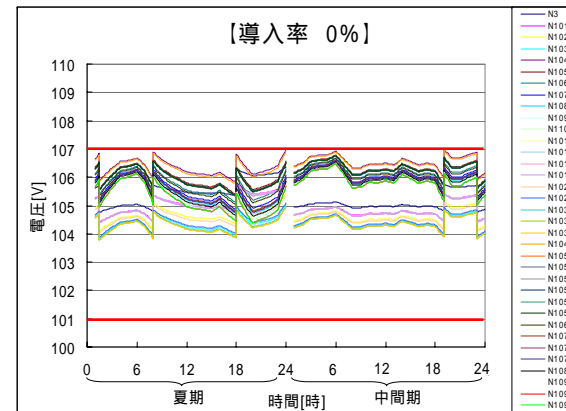
- 住宅地域の架空系統
- A1200 〇の大容量回線
- 幹線亘長 3.27km、総亘長 (幹線亘長、分岐亘長の合計) 10.58km
- 重負荷時最大電圧降下 259.1V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600 の 2 タップ



住宅地域 C01 系統
 () は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

2. 未対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

- 電圧変動幅は導入率 0% で 104 ~ 107V 程度。それに対し、導入率 50% では 104 ~ 108V と変動幅が広がっている。適正電圧下限値 101V に対し裕度がある。
- 分散型電源の導入率の増加により、夏期昼間帯、中間期昼間帯の電圧が適正電圧を逸脱している。

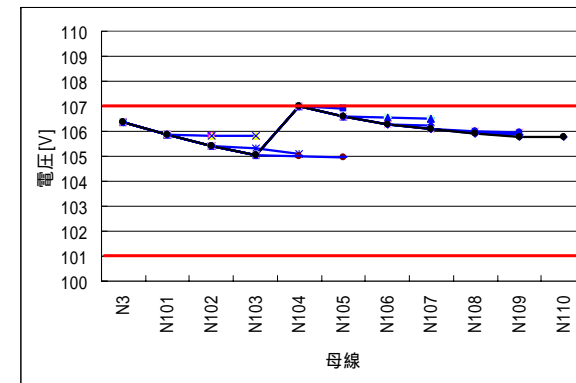


3. 未対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

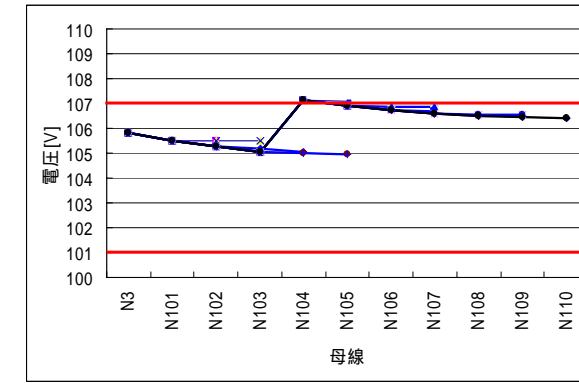
- 分散型電源の導入率の増加により、配電線中間点付近のタップ変更点直後から末端までの電圧が広く適正電圧を逸脱している。

(1) 夏期最大電圧発生時

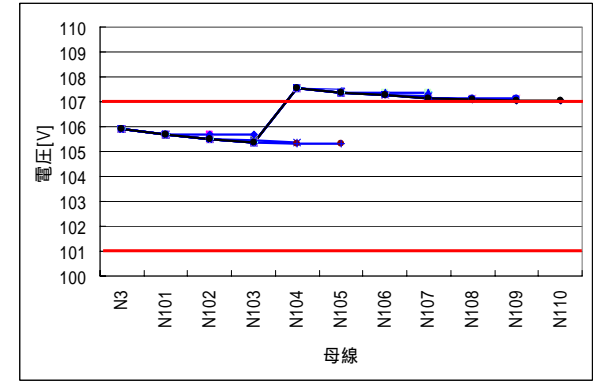
【導入率 0% (時間 24:00)】



【導入率 30% (時間 8:00)】

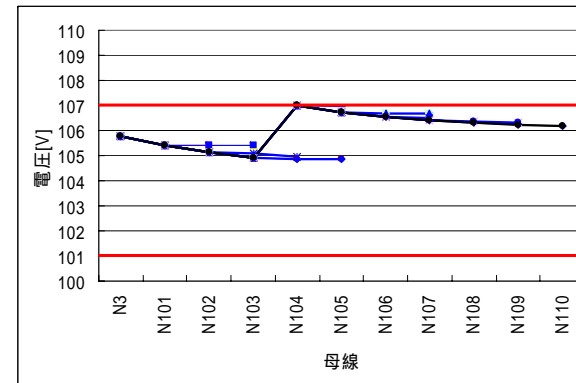


【導入率 50% (時間 11:00)】

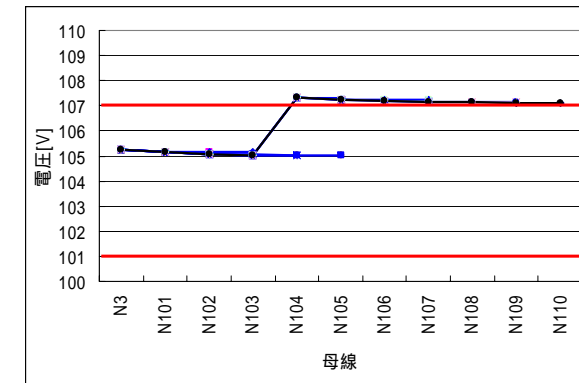


(2) 中間期最大電圧発生時

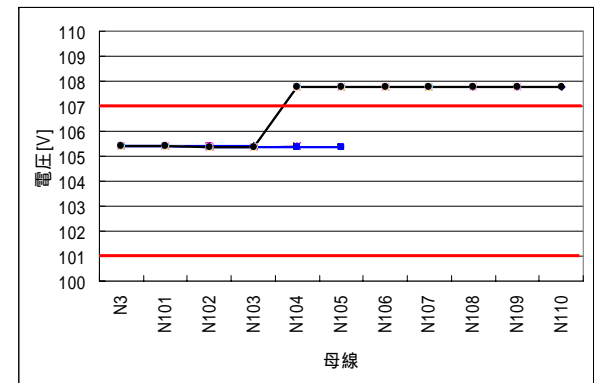
【導入率 0% (時間 19:00)】



【導入率 30% (時間 14:00)】



【導入率 50% (時間 14:00)】



4. 対策方法分析 (分析内容は後述の対策効果シミュレーションで定量的に検証している)

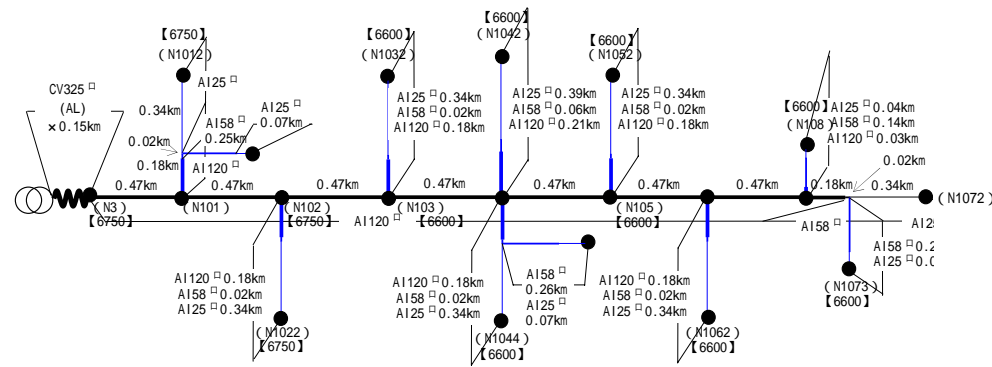
- 未対策時のシミュレーション、及びその分析結果より各対策の効果を下表のとおり定性的に分析評価した。
- 本ケースではプロコン整定値変更による対策で対応できる可能性が高い。

対策	定性評価		分析内容 及び 留意事項
	対策 効果	経済 性	
【自端制御】 柱上 Tr タップ 変更			<ul style="list-style-type: none"> 末端付近の逸脱箇所の柱上 Tr タップを他の地点と同様に 6750 タップに統一することで、2.4V の電圧抑制が期待できる。DG 未運転時にも適正電圧下限値を下回る恐れはないと考えられる。(導入率 0% グラフより) 膨大な数のタップ変更工事費用が懸念。
LRT プロコン 整定値見直し			<ul style="list-style-type: none"> 時間帯によって適正電圧下限値に低圧換算で 3V 程度の裕度があることから、プロコン基準電圧整定値を 1~2V 程度下げることで対策できる可能性が高い。(DG 未運転時や重負荷時を含め検証が必要) 配電線電圧の全体的な低下による損失増大が懸念。 但し、パンクー抑制となることに留意が必要。
SVR 設置			<ul style="list-style-type: none"> 適正電圧維持可能であるが経済性が懸念。
SVC (又は ShR) 設置			<ul style="list-style-type: none"> 適正電圧維持可能であるが経済性が懸念。 回線亘長が比較的大きいため (線路リアクタンスが比較的大きく) 比較的小さい容量での効果が期待できる。
自動タップ型 柱上 Tr 設置			<ul style="list-style-type: none"> 適正電圧維持可能であるが、タップ変更による対策以上の費用発生が懸念。
【集中制御】			<ul style="list-style-type: none"> 本ケースでは協調性の問題が生じない 等の安価な対策で対応可能と考えられることから、導入率 50% 程度では集中制御の必要性は少ない。

各モデル系統における未対策時のシミュレーション結果分析
 (住宅地域系統 C02 系統、DG (太陽光) 均等分布ケース)

1. 系統の特徴

- 住宅地域の架空系統
- A1120 〇の一般容量回線
- 幹線巨長 3.98km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 9.11km
- 重負荷時最大電圧降下 237.3V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600 の 2 タップ



住宅地域 C02 系統

() は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

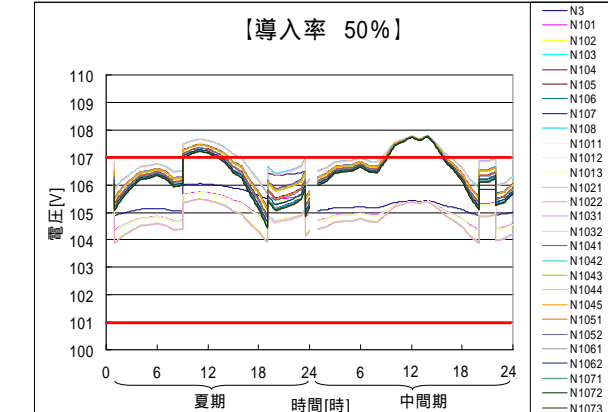
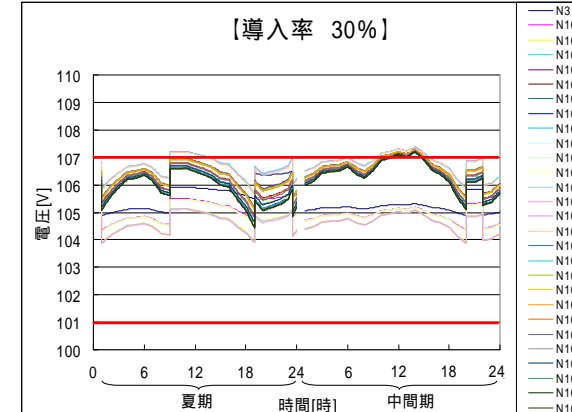
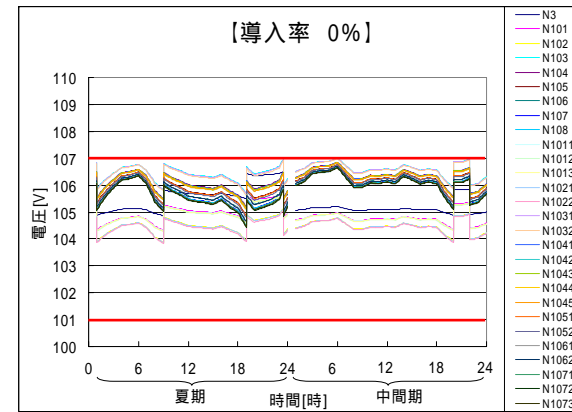
4. 対策方法分析 (分析内容は後述の対策効果シミュレーションで定量的に検証している)

- 未対策時のシミュレーション、及びその分析結果より各対策の効果を下表のとおり定性的に分析評価した。
- 本ケースではプロコン整定値変更による対策で対応できる可能性が高い。

対策	定性評価		分析内容 及び 留意事項
	対策 効果	経済 性	
【自端制御】 柱上 Tr タップ 変更			<ul style="list-style-type: none"> 末端付近の逸脱箇所の柱上 Tr タップを他の地点と同様に 6750 タップに統一することで、2.4V の電圧抑制が期待できる。DG 未運転時にも適正電圧下限値を下回る恐れはないと考えられる。(導入率 0% グラフより) 膨大な数のタップ変更工事費用が懸念
LRT プロコン 整定値見直し			<ul style="list-style-type: none"> 時間帯によって適正電圧下限値に低圧換算で 3V 程度の裕度があることから、プロコン基準電圧整定値を 1~2V 程度下げること対策できる可能性が高い。(DG 未運転時や重負荷時を含め検証が必要) 配電線電圧の全体的な低下による損失増大が懸念。 但し、バンクー括制御となることに留意が必要。
SVR 設置			<ul style="list-style-type: none"> 適正電圧維持可能であるが経済性が懸念。
SVC (又は ShR) 設置			<ul style="list-style-type: none"> 適正電圧維持可能であるが経済性が懸念。 回線巨長が比較的大きいため (線路リアクタンスが比較的大きく) 比較的小さい容量での効果が期待できる。
自動タップ型 柱上 Tr 設置			<ul style="list-style-type: none"> 適正電圧維持可能であるが、タップ変更による対策以上の費用発生が懸念。
【集中制御】			<ul style="list-style-type: none"> 本ケースでは協調性の問題が生じない 等の安価な対策で対応可能と考えられることから、導入率 50% 程度では集中制御の必要性は少ない。

2. 未対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

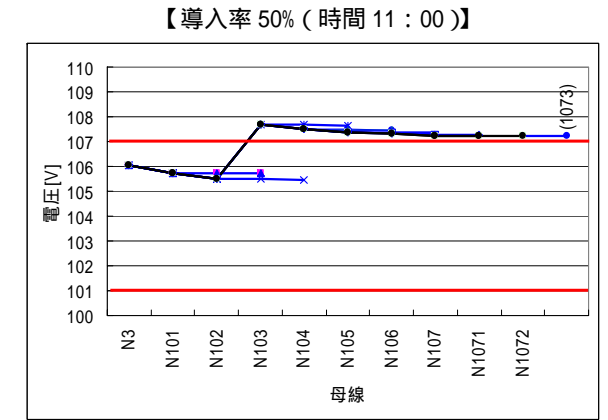
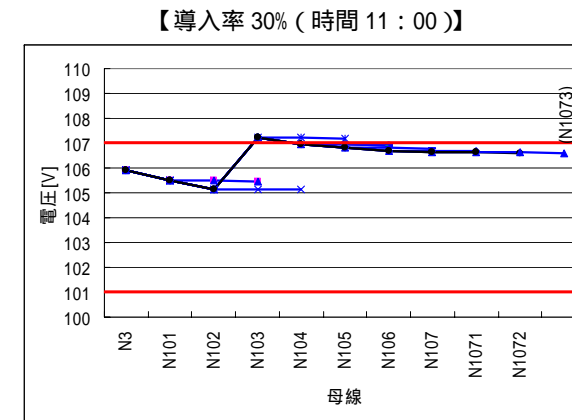
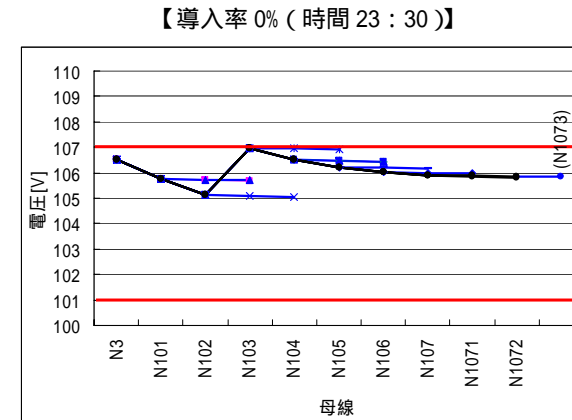
- 電圧変動幅は導入率 0% で 104~107V 程度。それに対し、導入率 50% では 104~108V と変動幅が広がっている。適正電圧下限値 101V に対し裕度がある。
- 分散型電源の導入率の増加により、夏期昼間帯、中間期昼間帯の電圧が適正電圧を逸脱している。



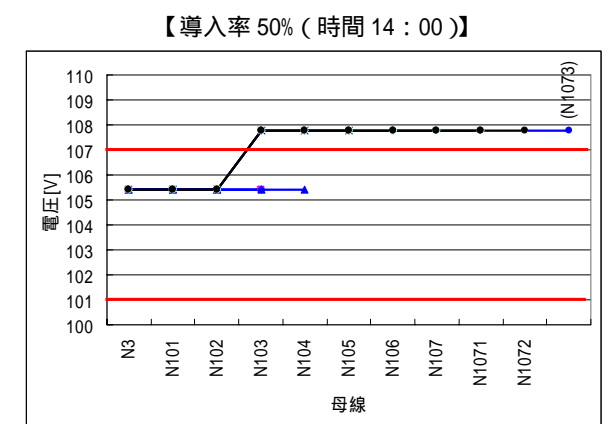
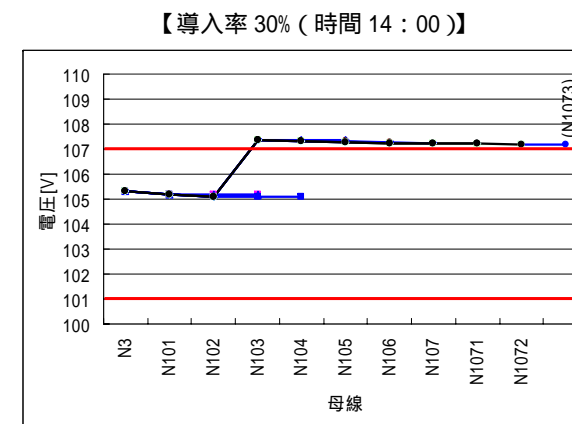
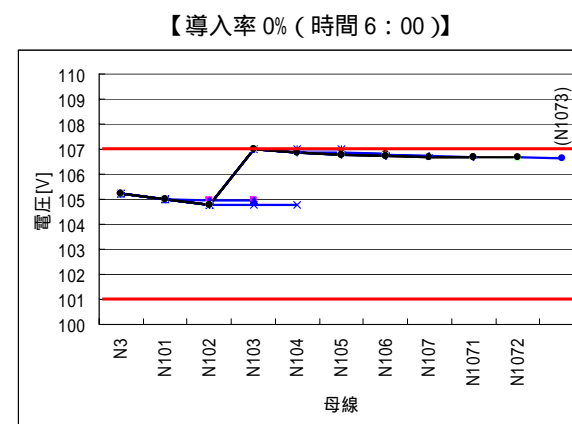
3. 未対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

- 分散型電源の導入率の増加により、電源側付近のタップ変更点直後から末端までの電圧が広く適正電圧を逸脱している。

(1) 夏期最大電圧発生時



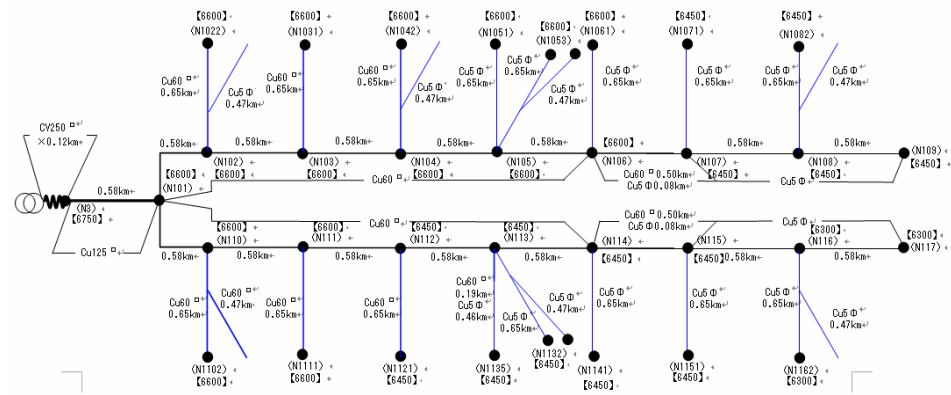
(2) 中間期最大電圧発生時



各モデル系統における未対策時のシミュレーション結果分析
 (郊外地域系統 D01 系統、DG (太陽光) 均等分布ケース)

1. 系統の特徴

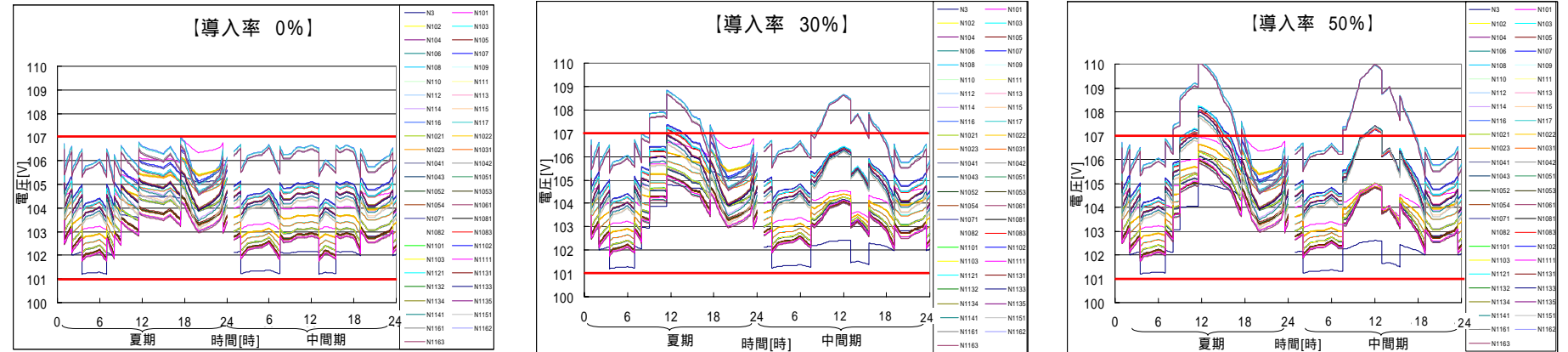
- ・ 郊外地域の架空系統
- ・ Cu125[□]の大容量回線
- ・ 幹線亘長 5.34km、総亘長 (幹線亘長、分岐亘長の合計) 23.20km
- ・ 重負荷時最大電圧降下 544.8V
- ・ 柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450、6300 の 4 タップ



郊外地域 D01 系統
 () は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

2. 未対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

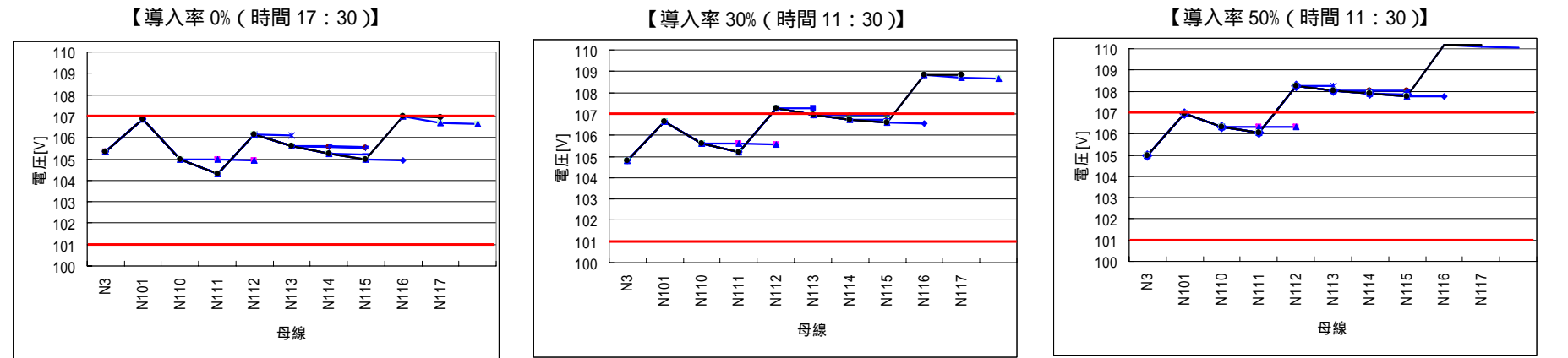
- ・ 長亘長である当該配電線は、導入率 0% の時、4 種類の柱上 Tr のタップ、及び送出電圧の調整により適正電圧範囲の 101 ~ 107V を維持しているが、適正電圧の上下限にほとんど余裕がない。
- ・ 分散型電源の導入率増加により、夏期昼間帯、中間期昼間帯の電圧が適正電圧を大きく (導入率 50% で約 3V) 逸脱している。



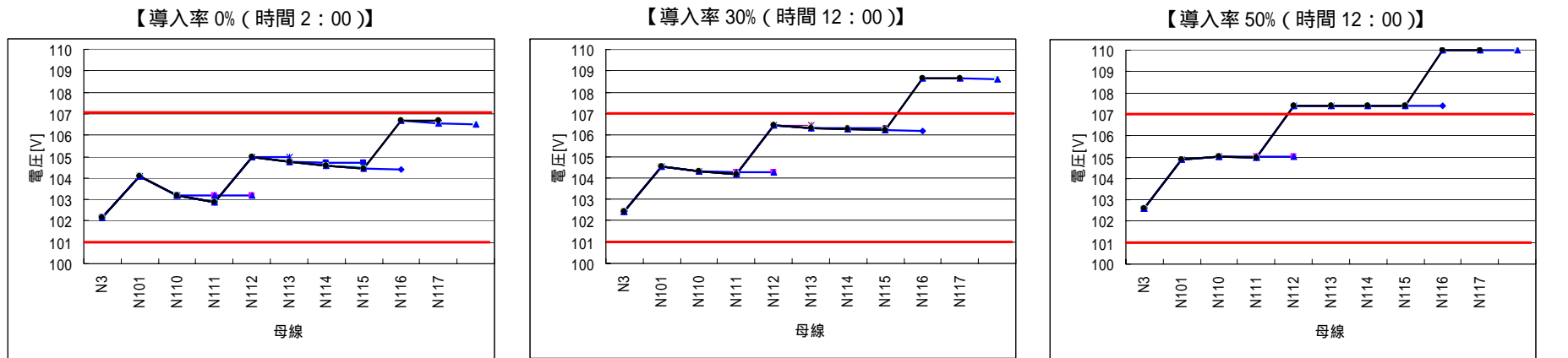
3. 未対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

- ・ 分散型電源の導入率の増加により、末端付近の電圧が適正電圧を逸脱している。
- ・ 中間期最大電圧発生時の導入率 50% の時、電源から末端までの電圧変動幅が約 7.5V (102.5 ~ 110V) あり、適正電圧幅の 6V を超過している。

(1) 夏期最大電圧発生時



(2) 中間期最大電圧発生時



4. 対策方法分析 (分析内容は後述の対策効果シミュレーションで定量的に検証している)

- ・ 未対策時のシミュレーション、及びその分析結果より各対策の効果を下表のとおり定性的に分析評価した。
- ・ 本ケースでは何らかの対策機器設置による対策が必要になると考えられる。

対策	定性評価		分析内容 及び 留意事項
	対策効果	経済性	
【末端制御】 柱上 Tr タップ変更			・ 導入率 50% で適正電圧上限より 3V 逸脱していることから最大で 2 タップ (6300 6600) のタップ変更となる。その場合、DG 未運転時の電圧が適正電圧の下限値を下回る恐れあり。
LRT プロコン 整定値見直し	x		・ 時間断面における各地点の電圧差が適正電圧幅 6V を超過しており、整定値のみの見直しでは効果なし。
SVR 設置			・ 回線途中に SVR を 1~2 台設置により対策可能と考えられるが経済性が懸念。
SVC (又は ShR) 設置			・ 適正電圧維持可能であるが経済性が懸念。
自動タップ 型柱上 Tr 設置			・ 適正電圧維持可能であるが経済性が懸念。
【集中制御】			・ 上記対策で複数の対策機器を用いることで協調性の問題が生じる場合に、上記の対策の集中制御による対策を検討する。

4.2.4 対策効果シミュレーション

(1) 対策方法検討

実証試験の実施内容、技術動向調査結果、及び「4.2.3 導入影響シミュレーション」による分析結果から効果があると想定される対策を中心に、以下のとおり対策方法を選定した。

- () 既存設備の改良
 - ・ 柱上 Tr タップ変更
 - ・ LRT プロコン整定値見直し
- () 自端制御システム
 - ・ SVR 設置
 - ・ SVC (又は ShR) 設置
 - ・ LBC 設置
 - ・ 柱上変圧器 (自動タップ型) 設置

但し、本対策方法によるシミュレーション効果検証で改善点が生じれば、都度対策方法を変更していくものとする。

また、各対策機器、システムのモデルを以下に示す。但し、LBC については今後設定予定である。

SVR

実証試験で使用されている図 35 のモデルを用いた。

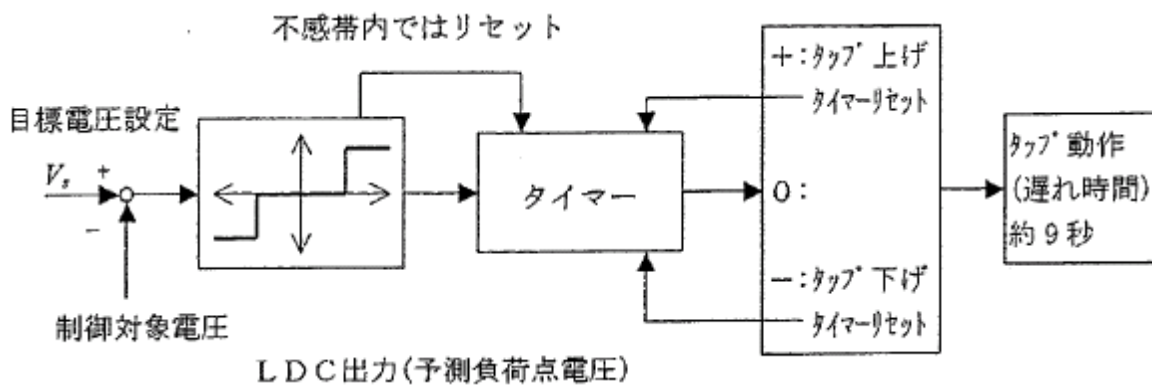


図 35 SVR 制御系

SVC
 実証試験で使用されている図 36 のモデルを用いた。

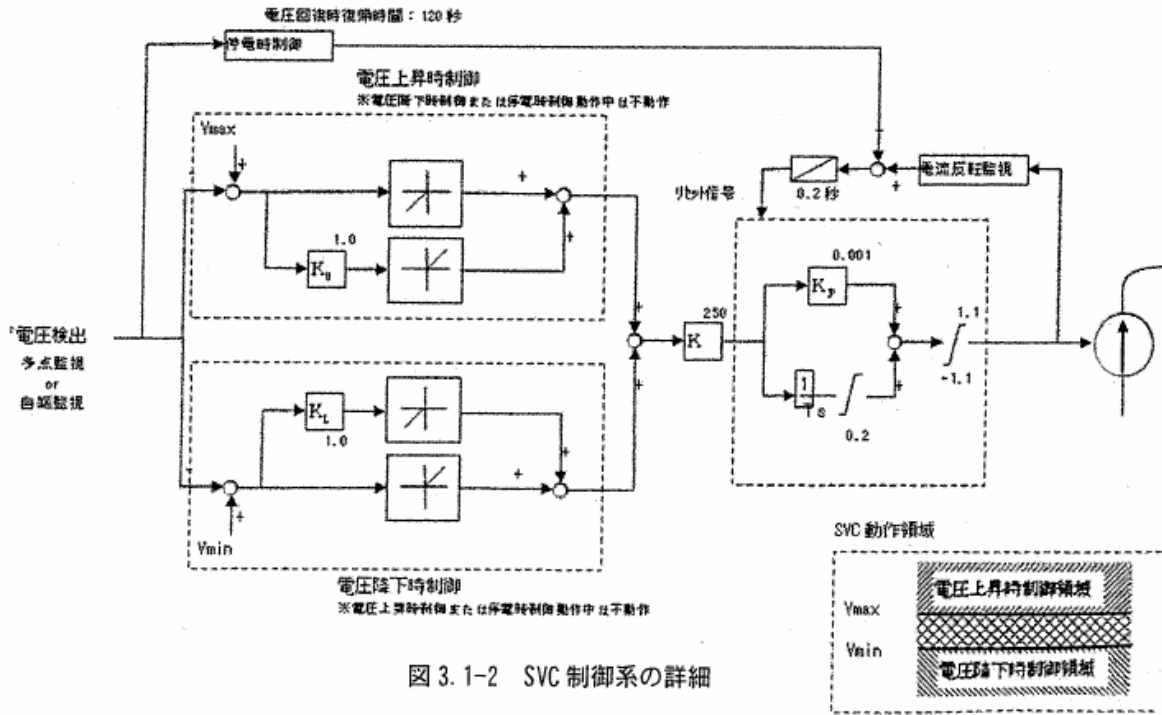


図 3.1-2 SVC 制御系の詳細

図 36 SVC 制御系

柱上変圧器（自動タップ型）

「平成 14 年度・平成 15 年度「再生可能な分散型電源の多数台系統連系時における自律分散型無効電力・電圧制御方式（コンディショナ -、柱上変圧器タップ、他励式/自励式柱上 SVC による協調制御）の実施可能性評価に関する調査」において使用したモデルを使用した。なお、本調査では電圧低下補償回路（LDC）を模擬しない方式を採用している。

表 タップ制御条件

制御するノード電圧	変圧器低圧側
タップ制御基準電圧	101 ~ 107[V]の範囲で整定
制御不感帯	1 ~ 2[%]の範囲で整定
タップ制御動作時間	240[秒・%]
計算間隔	120[秒]

(1) タップ制御方法 (図 40 参照)

制御電圧 : V_{CONT} と基準電圧値 : V_{REF} との偏差 : $V[\%]$ (1-5 式) が不感帯 : $+DEF[\%]$ 以上となれば、基準電圧との偏差 $[\%]$ を積分し、その積分値が動作時間整定値 : $R_{TIME}[\text{秒}\cdot\%]$ 以上になると1タップ下降する。

制御電圧 : V_{CONT} と基準電圧値 : V_{REF} との偏差 : $V[\%]$ (1-5 式) が不感帯 : $-DEF[\%]$ 以下となれば、基準電圧との偏差 $[\%]$ を積分し、その積分値が動作時間整定値 (秒 $\cdot\%$) 以上になると1タップ上昇する。

$$\text{偏差電圧 } V[\%] = (V_{CONT} - V_{REF}) \times 100 / V_S \quad \dots (1-5)$$

V_{CONT} : 制御するノード電圧

V_{REF} : 制御基準電圧、 V_S : 定格電圧

$$\text{動作時間}[\text{秒}] = \text{動作時間整定値}[\text{秒}\cdot\%] / (\text{基準電圧からの偏差電圧}[\%] - \text{不感帯}[\%])$$

... (1-6)

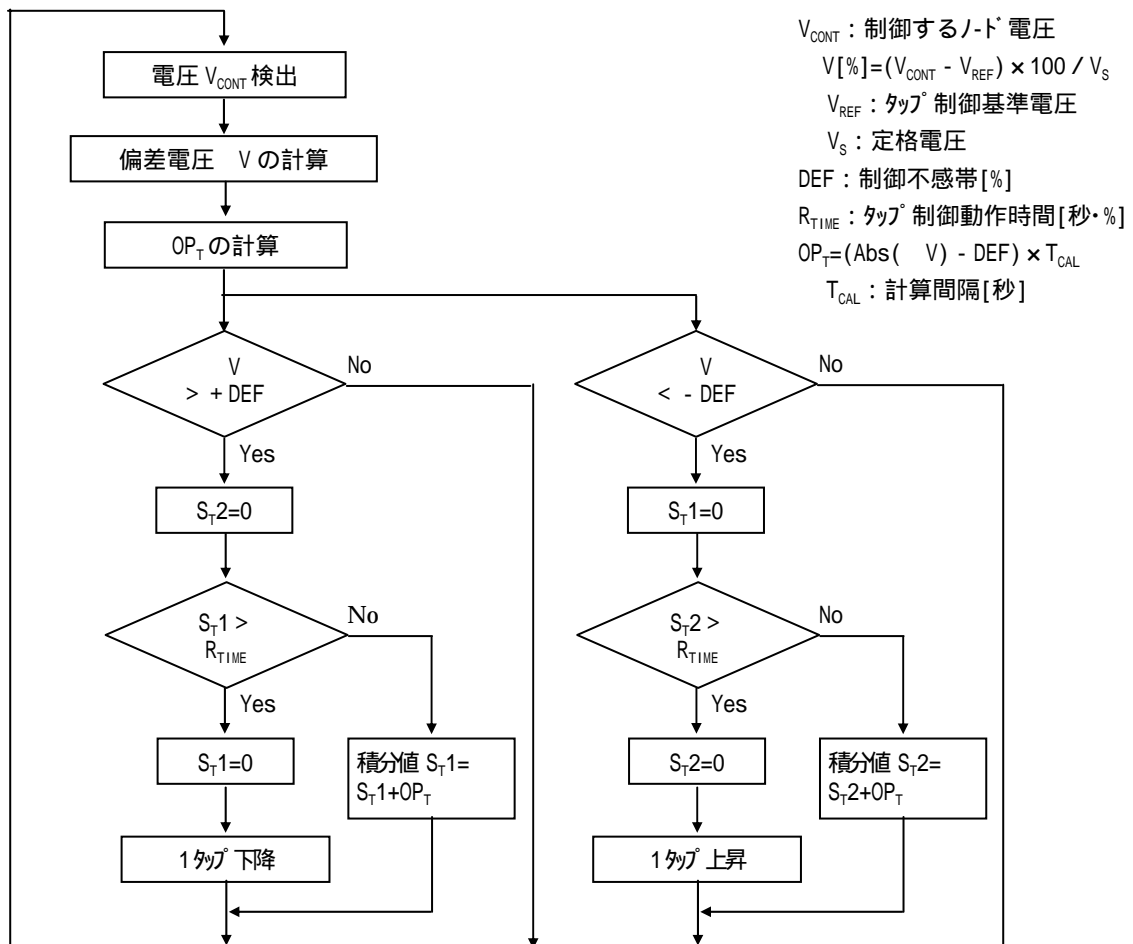


図 40 柱上変圧器タップ制御フロー

(2) 対策時の効果確認、分析

電協研サンプル系統により分散型電源が導入された場合の対策効果検証として、以下の対策方法についてシミュレーションを実施した。今回は効果確認の一部として、分散型電源の導入率が30%、50%の時の適正電圧の維持状況を確認した。

- () 既存設備の改良
 - ・ 柱上 Tr タップ変更
 - ・ LRT プロコン整定値見直し
- () 自端制御システム
 - ・ SVR 設置
 - ・ SVC (又は ShR) 設置
 - ・ 柱上変圧器 (自動タップ型) 設置

各系統毎の各対策方法でのシミュレーション結果、及び分析内容を P4-70 以降に示す。

全体的な分析

下表に 3 つのモデル系統での各対策での対策効果 (適正電圧を維持可能か) の結果をまとめた。

既存設備の改良となる柱上 Tr のタップ変更見直しや LRT プロコン整定値見直しで対応可能な系統 (今回のケースでは C01 系統) が存在することが確認された。これに対し、既存設備の改良では対策不可能であり、実証システムで検証している機器による対策が必要な系統 (今回のケースでは B03、D01 系統) も存在することが確認された。従って、実証システムの実系統の適用範囲を検討する場合は、既存設備の改良も考慮に入れ適用範囲の明確化を行っていく必要があることがわかった。

今回の検討は、上記傾向をつかむための数例の検討であったが、今後は系統の種類、電圧管理基準等の条件の違いなどで更に検証事例を増やし、どのような指標により効果的な対策を分類することができるか更に分析を行う必要がある。

表 分散型電源導入率 50%時の各モデル系統における各対策の効果
(: 適正電圧維持可能、× : 不可能)

	A02 ^{*1} 系統	A03 ^{*1} 系統	B02 ^{*1} 系統	B03 系統	C01 系統	C02 ^{*1} 系統	D01 系統
【自端制御】 柱上 Tr タップ変更	/	/	/	×		/	×
LRT プロコン整定 値見直し	/	/	/	×		/	×
SVR 設置	/	/	/	× ^{*2}		/	× ^{*2}
SVC (又は ShR) 設 置	/	/	/			/	
自動タップ型柱上 Tr 設置	/	/	/			/	

*1 : A02 系統、A03 系統、B02 系統、C02 系統は今後実施予定。

*2 : SVR の整定値が適切でない可能性があり継続検討予定。

各系統毎の分析

(B03 系統)

柱上 Tr タップ変更

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、適正電圧逸脱箇所の柱上 Tr のタップを 1 タップ上げる変更を行うことで、適正電圧幅 101～107V に電圧を維持することができた。しかし、DG が停止、解列により出力が低下した場合、適正電圧の下限値を逸脱することが分かった。

LRT プロコン整定値見直し

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、プロコン整定値の見直しにより適正電圧上限値（107V）の逸脱は解消できたものの、夏期、中間期の夜間帯に適正電圧下限値（101V）を逸脱する結果となった。DG が停止、解列により出力が低下した場合、更に適正電圧下限値を大きく逸脱することになった。

SVR 設置

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、SVR による調整では適正電圧幅 101～107V に電圧を維持することはできなかつた。特に軽負荷時において適正電圧の逸脱が顕著である。

SVR の整定方法が適切でないことが懸念される。（継続検討予定）

SVC 設置

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、SVC による無効電力の出力により、適正電圧幅 101～107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101～107V に電圧を維持できることが分かった。SVC の最大出力は導入率 30%で 806kvar、50%で 1759kvar であった。

自動タップ Tr 設置

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、適正電圧逸脱箇所の柱上 Tr を自動タップ調整型に変更することで、適正電圧幅 101～107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101～107V に電圧が維持できることが分かった。

(C01 系統)

柱上 Tr タップ変更

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、適正電圧逸脱箇所の柱上 Tr のタップを 1 タップ上げる変更を行うことで、適正電圧幅 101～107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101～107V に電圧が維持できることが分かった。

LRT プロコン整定値見直し

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、適正電圧を逸脱した時間帯の送出電圧のプロコン整定値を見直すことで、適正電圧幅 101～107V に電圧を維持することが

できた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧が維持できることが分かった。

SVR 設置

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、SVR による調整で適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が停止した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持できることが分かった。

SVC 設置

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、SVC による無効電力の出力により、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持できることが分かった。SVC の最大出力は導入率 30%で 357kvar、50%で 839kvar であった。

自動タップ Tr 設置

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、適正電圧逸脱箇所の柱上 Tr を自動タップ調整型に変更することで、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧が維持できることが分かった。

(D01 系統)

柱上 Tr タップ変更

導入率 30%のケースでは、適正電圧逸脱箇所の柱上 Tr のタップを 1 タップ上げる変更を行うことで、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができたが、導入率 50%では、柱上 Tr のタップを 2 タップ上げる変更が必要なノード (N116 以降負荷側ノード) が発生することから、未対策時に適正電圧上限値を逸脱した時間帯は適正電圧を維持できるものの、太陽光発電が出力しない夜間において適正電圧下限値を逸脱することになった。

DG 停止時は更に昼間の時間帯においても、適正電圧の下限値を逸脱する結果となった。

LRT プロコン整定値見直し

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、プロコン整定値の見直しにより適正電圧上限値 (107V) の逸脱は解消できたものの、中間期の昼間帯に適正電圧下限値 (101V) を逸脱する結果となった。DG が停止、解列により出力が低下した場合、更に適正電圧下限値を大きく逸脱することになった。

SVR 設置

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、SVR による調整では適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することはできなかった。

SVR の整定方法が適切でないことが懸念される。(継続検討予定)

SVC 設置

導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、SVC による無効電力の出力により、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持できることが分かった。SVC の最大出力は導入率 30%で 107 ノード設置 SVC が 841kvar、115 ノード設置 SVC が 597kvar、導入率 50%で 107 ノード設置 SVC が 1063kvar、115 ノード設置 SVC が 932kvar であった。

自動タップ Tr 設置

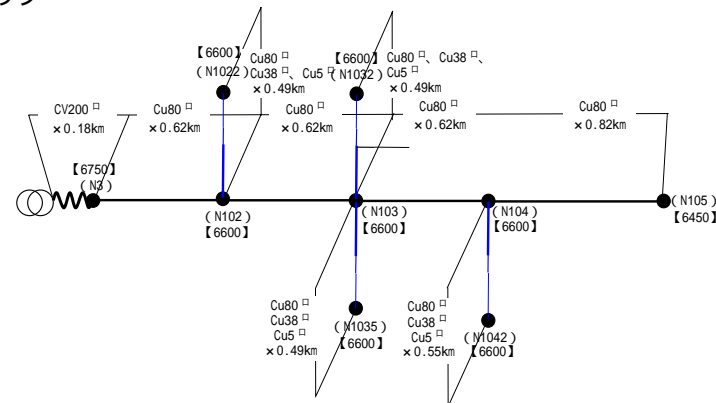
導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、適正電圧逸脱箇所の柱上 Tr を自動タップ調整型に変更することで、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧が維持できることが分かった。

各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析

(工場地域系統 B03 系統、DG (同期発電) 均等分布・全日運転ケース - 対策: 柱上 Tr タップ変更)

1. 系統の特徴

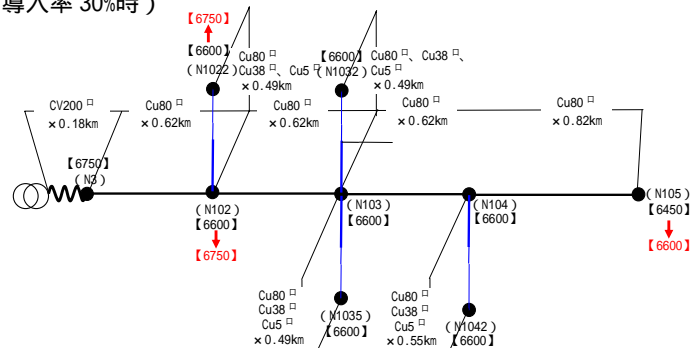
- 工場地域の架空系統
- Cu80[□]の一般容量回線
- 幹線巨長 2.86km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 4.88km
- 重負荷時最大電圧降下 317.1V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450 の 3 タップ



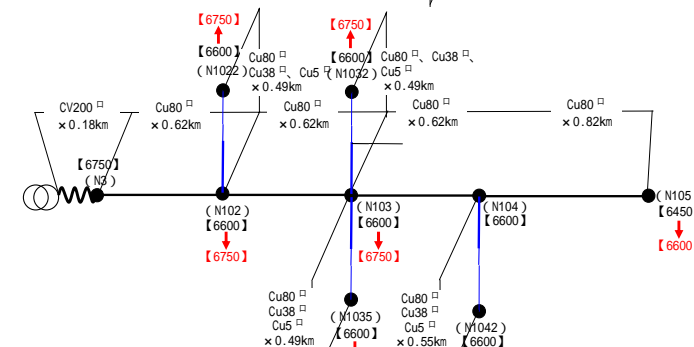
2. 対策内容

- 分散型電源 (同期発電) の普及に合わせ適正電圧を逸脱する各ノードについて、柱上 Tr のタップ値を下図のとおり見直した。

(導入率 30%時)



(導入率 50%時)

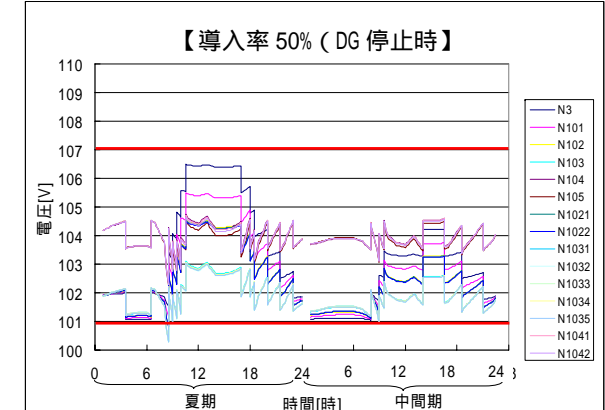
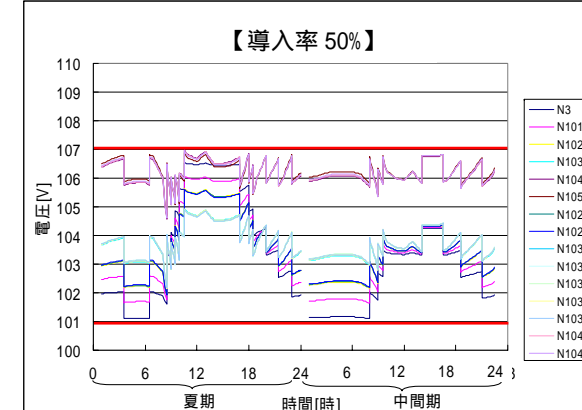
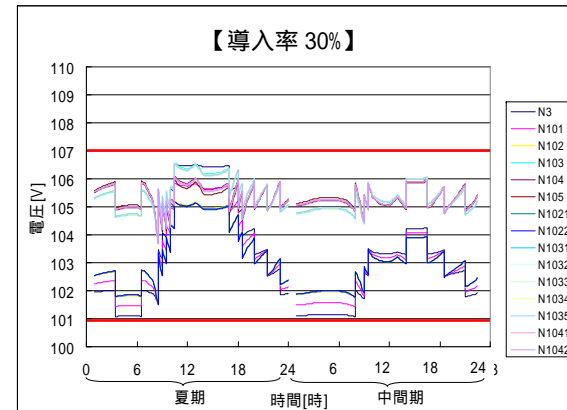


5. 結論

- 本ケースでは、柱上 Tr のタップ変更の対策では適正電圧を維持できない。

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

- 導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、適正電圧逸脱箇所の柱上 Tr のタップを 1 タップ上げる変更を行うことで、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。
- しかし、DG が停止、解列により出力が低下した場合、適正電圧の下限値を逸脱することが分かった。

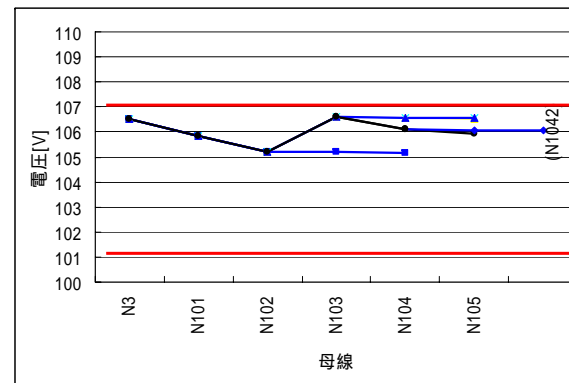


4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

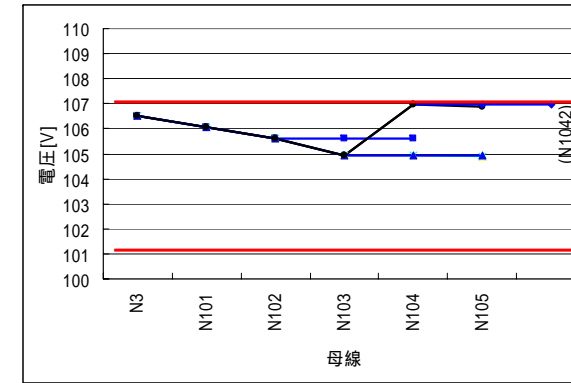
- 夏期の 8:30 において、DG が停止、解列により出力が低下した場合、大規模な範囲で適正電圧の下限値を逸脱することが分かった。

(1)最大電圧発生時

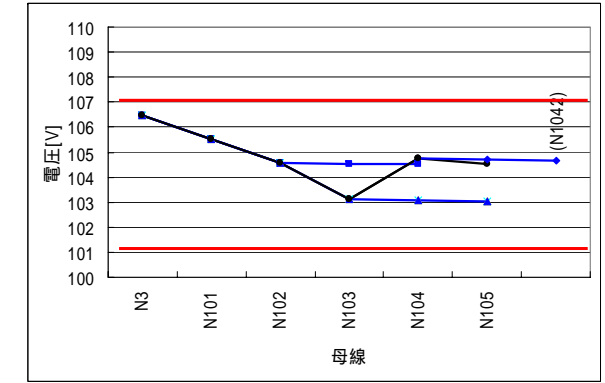
【導入率 30% (夏期 10:30)】



【導入率 50% (夏期 10:30)】

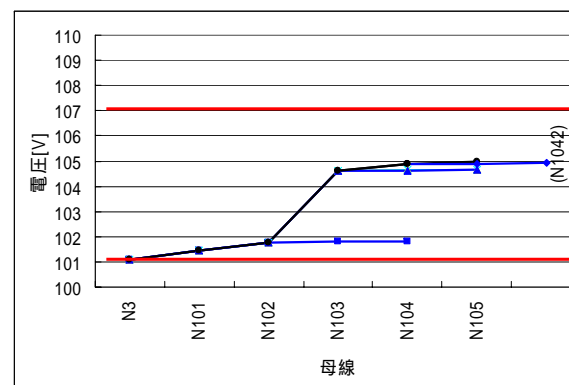


【導入率 50% DG停止時 (夏期 10:30)】

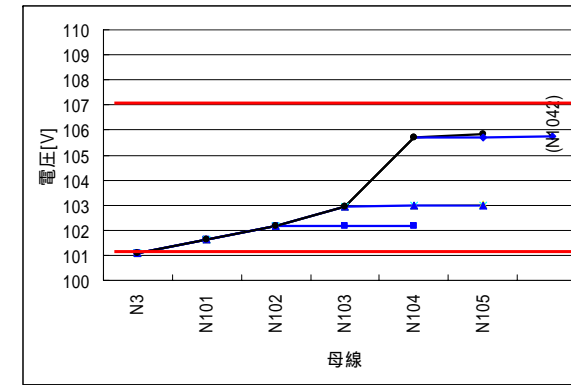


(2)最小電圧発生時

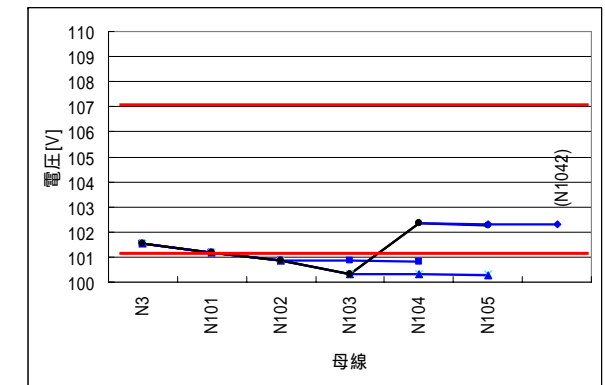
【導入率 30% (中間期 8:00)】



【導入率 50% (中間期 8:00)】



【導入率 50% DG停止時 (夏期 8:30)】

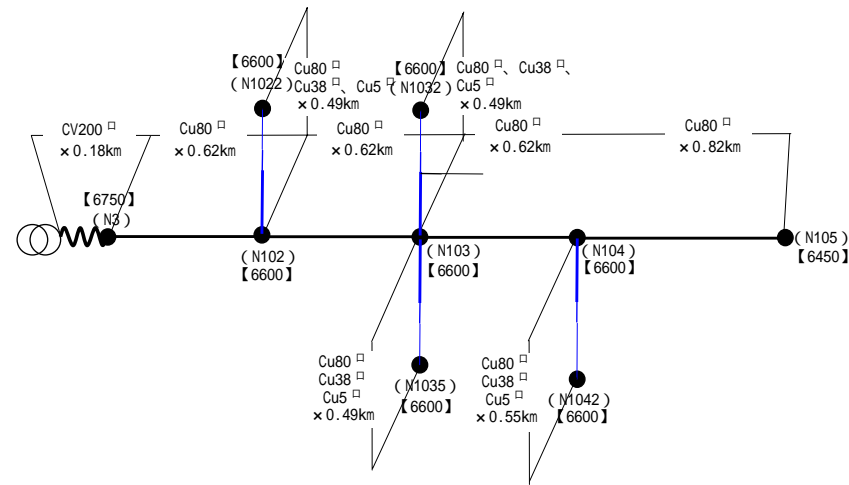


各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析

(工場地域系統 B03 系統、DG (同期発電) 均等分布・全日運転ケース - 対策: プロコン整定見直し)

1. 系統の特徴

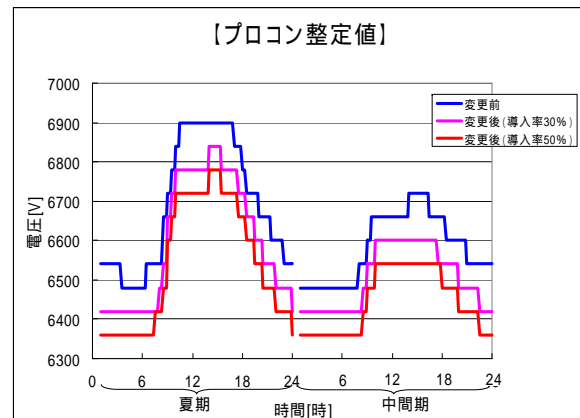
- 工場地域の架空系統
- Cu80[□]の一般容量回線
- 幹線巨長 2.86km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 4.88km
- 重負荷時最大電圧降下 317.1V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450 の 3 タップ



工場地域 B03 系統
()は主要ノード番号、【 】は柱上 Tr タップ値

2. 対策内容

- 導入率 30%、50%の未対策時に夏期、中間期のほとんどの時間帯で適正電圧上限値を逸脱していたことから、導入率に応じ下図のとおり送出電圧のプロコン整定値を変更した。

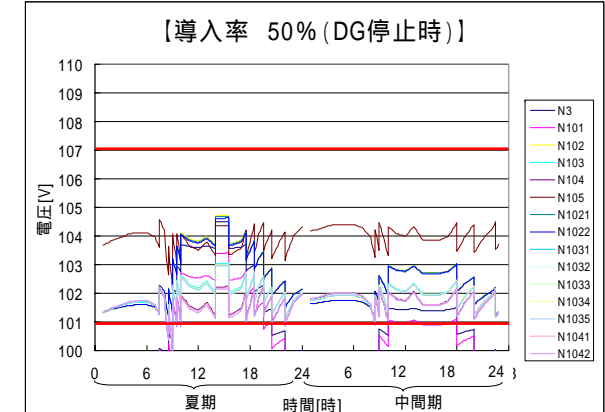
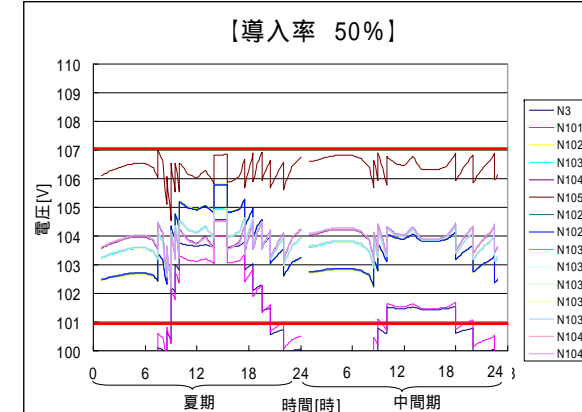
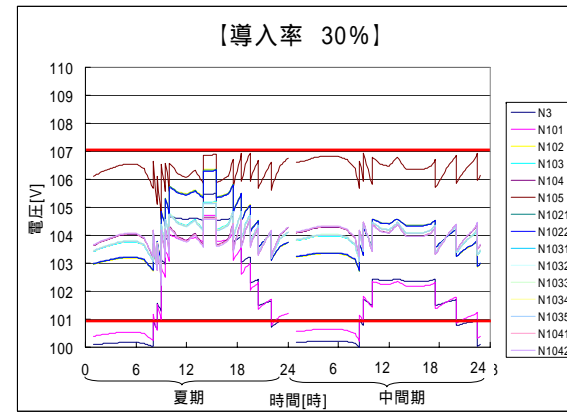


5. 結論

- 本ケースでは、プロコン整定値の見直しでは適正電圧を維持できない。

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

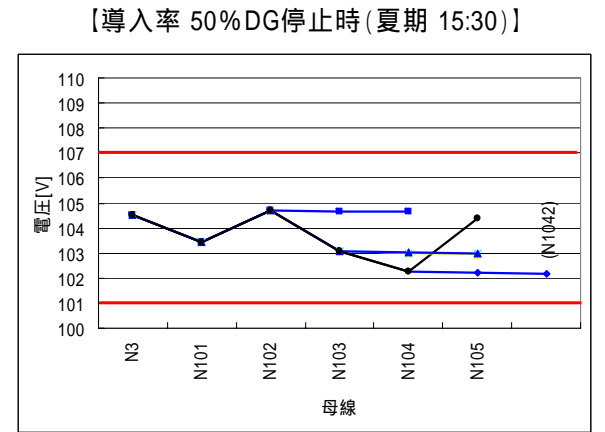
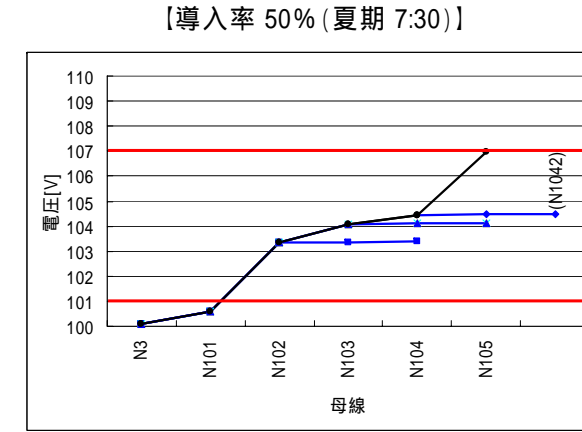
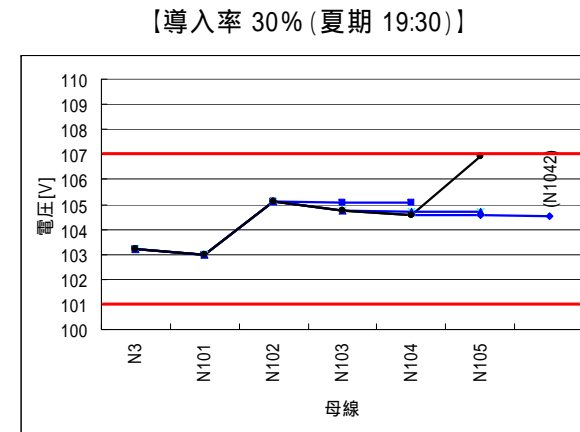
- 導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、プロコン整定値の見直しにより適正電圧上限値 (107V) の逸脱は解消できたものの、夏期、中間期の夜間帯に適正電圧下限値 (101V) を逸脱する結果となった。DG が停止、解列により出力が低下した場合、更に適正電圧下限値を大きく逸脱することになった。



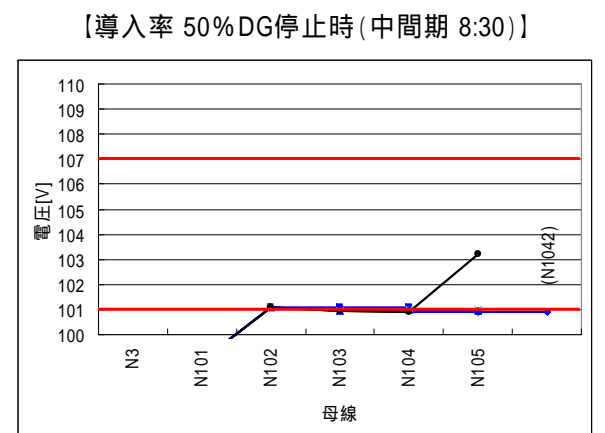
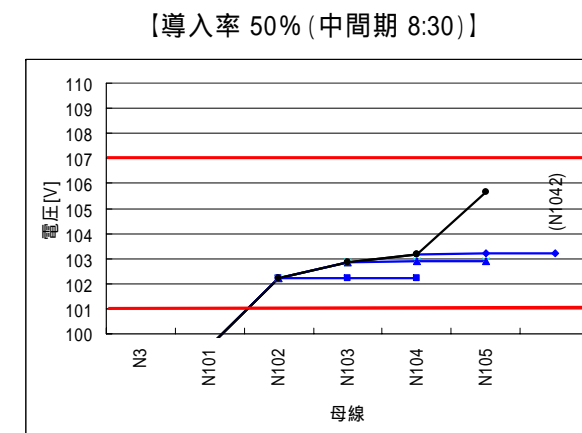
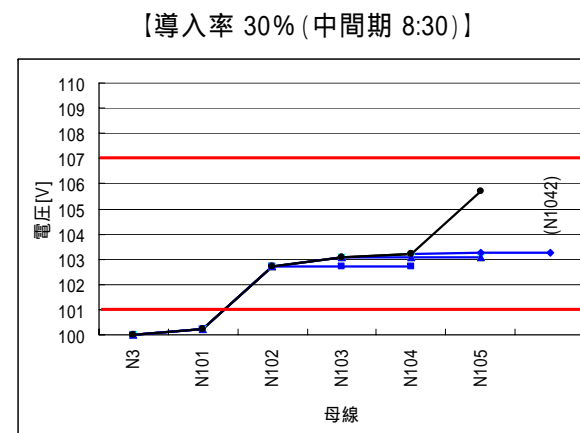
4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

- 電源側のノードで適正電圧の下限値を逸脱していることが分かった。

(1) 最大電圧発生時



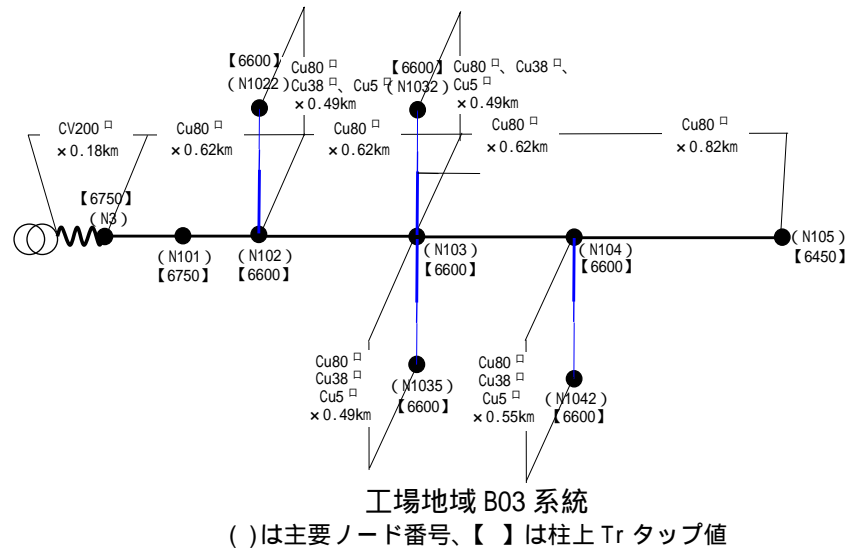
(2) 最小電圧発生時



各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析
 (工場地域系統 B03 系統、DG (同期発電) 均等分布・全日運転ケース - 対策: SVR 設置)

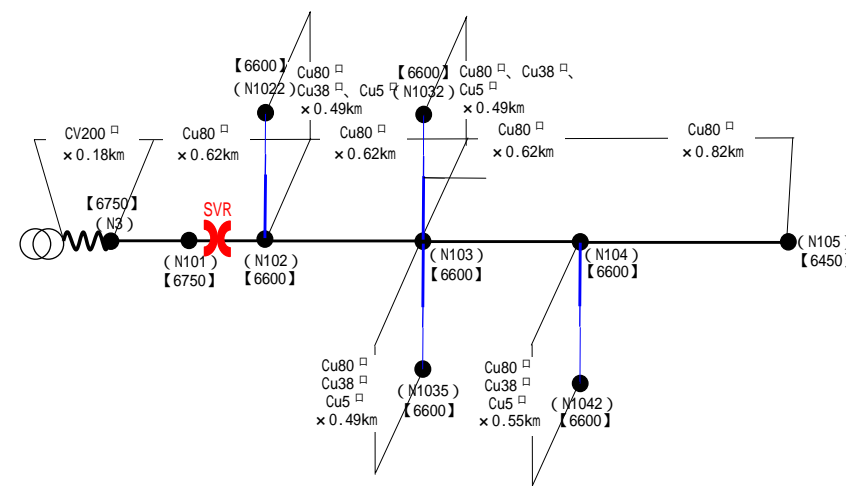
1. 系統の特徴

- 工場地域の架空系統
- Cu80[□]の一般容量回線
- 幹線巨長 2.86km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 4.88km
- 重負荷時最大電圧降下 317.1V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450 の 3 タップ



2. 対策内容

- 分散型電源 (同期発電) の導入率 30%、50% 時ともに適正電圧を逸脱するノード (N102) の直近の電源側に SVR を設置した。設置箇所は下図のとおり。
- SVR の整定値は以下のとおりとして対策を実施した。
 %R = 0、%X = 0
 基準電圧 = 105V (高圧換算値 6600V)
 不感帯 = 1.5%

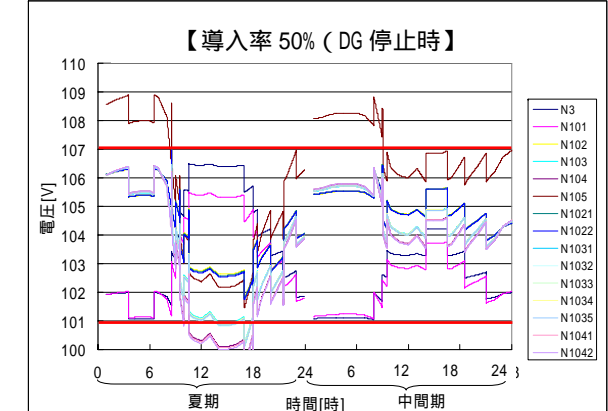
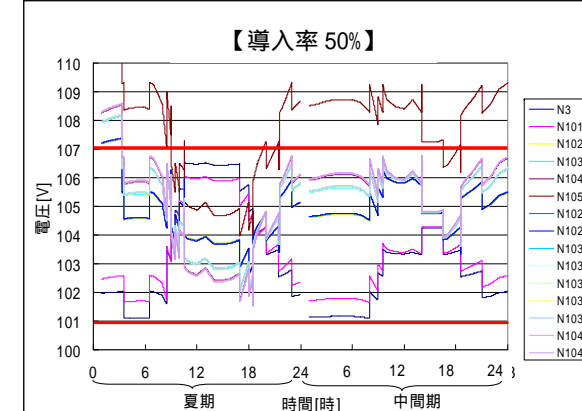
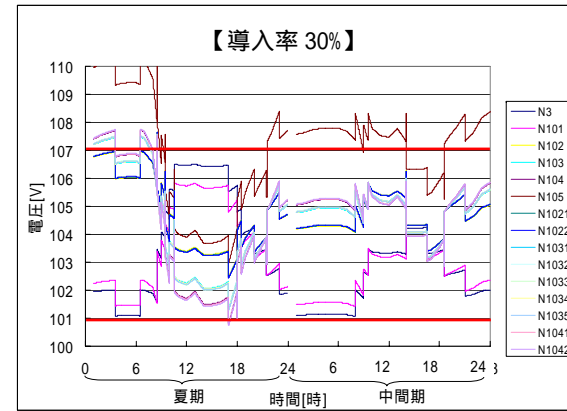


5. 結論

- 本ケースでは、SVR の設置により導入率 30%、50% ともに適正電圧を維持できない。(但し、SVR 整定方法が適切でない可能性もあり、継続検討予定)

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

- 導入率 30%、50% のどちらのケースにおいても、SVR による調整では適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することはできなかった。特に軽負荷時において適正電圧の逸脱が顕著である。
- SVR の整定方法が適切でないことが懸念される。

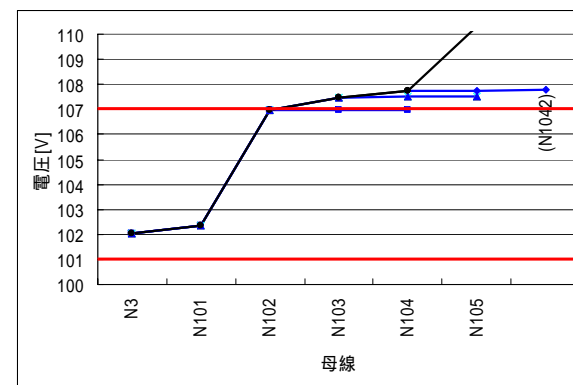


4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

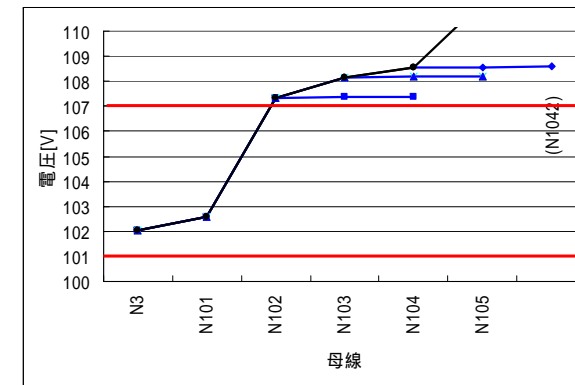
- 最大電圧、最小電圧ともに適正電圧を逸脱している。

(1) 最大電圧発生時

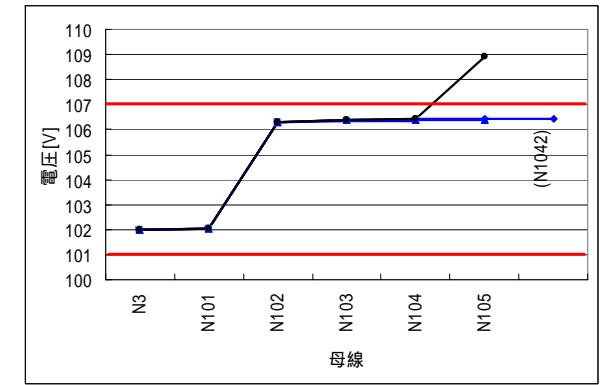
【導入率 30% (夏期 6:30)】



【導入率 50% (夏期 3:21)】

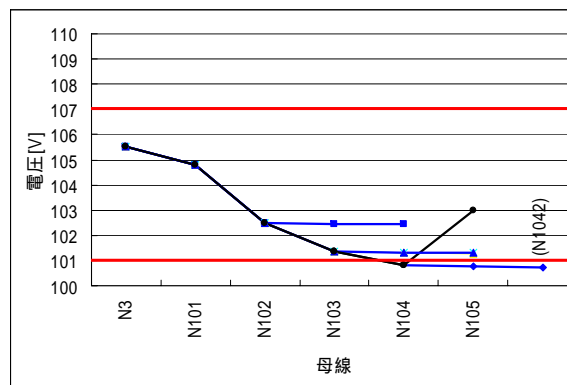


【導入率 50% DG 停止 (夏期 6:30)】

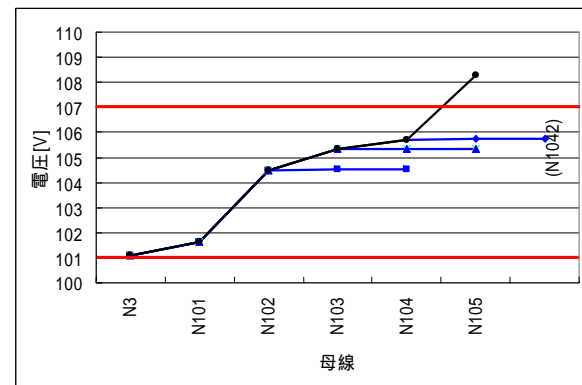


(2) 最小電圧発生時

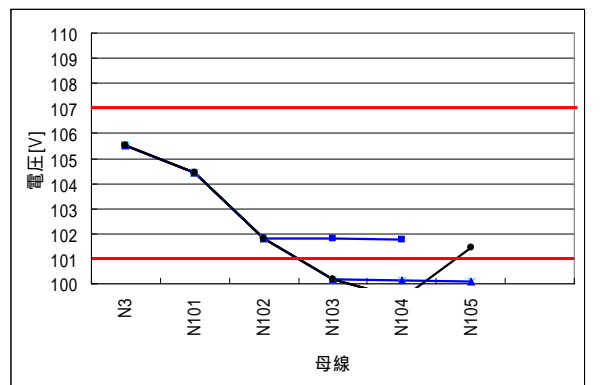
【導入率 30% (夏期 17:00)】



【導入率 50% (中間期 8:00)】



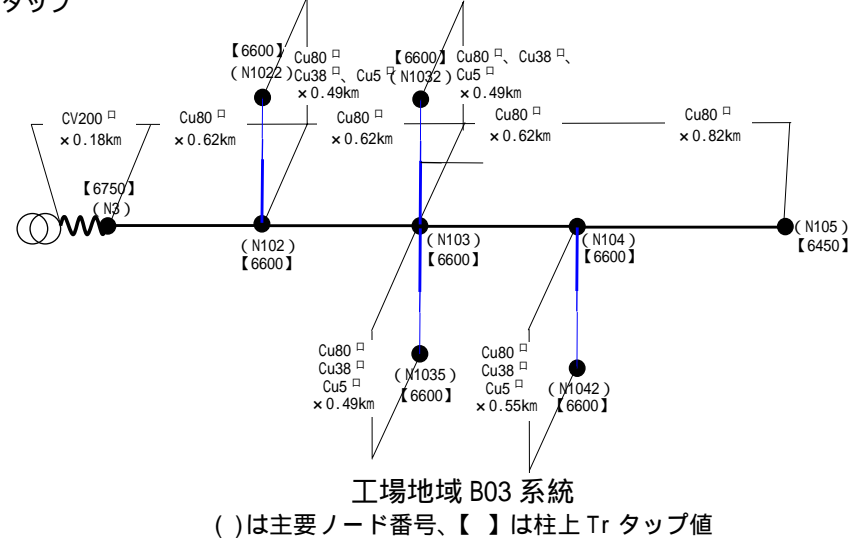
【導入率 50% DG 停止時 (夏期 17:00)】



各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析
 (工場地域系統 B03 系統、DG (同期発電) 均等分布・全日運転ケース - 対策: SVC 設置)

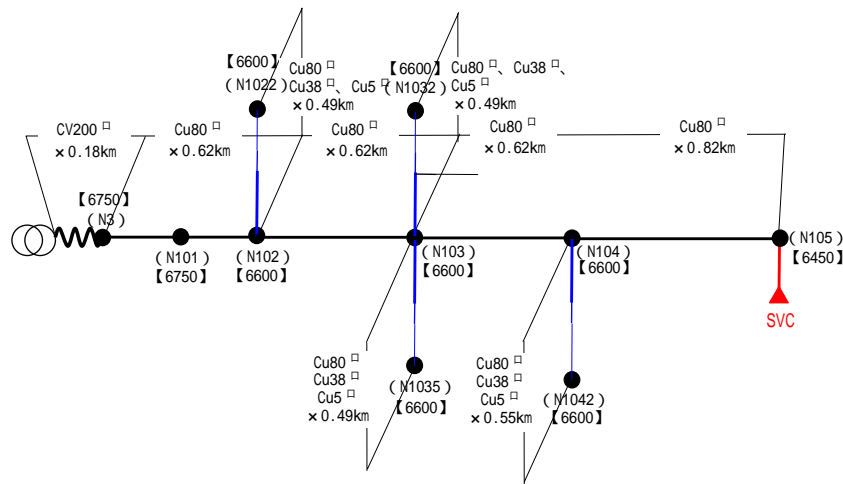
1. 系統の特徴

- 工場地域の架空系統
- Cu80[□]の一般容量回線
- 幹線巨長 2.86km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 4.88km
- 重負荷時最大電圧降下 317.1V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450 の 3 タップ



2. 対策内容

- タップ変更点直後 (N102 ノード) 及び末端 (N105 ノード) が適正電圧を逸脱していることから、配電線の末端に SVC を設置した。(下図のとおり)
- SVC の整定値は適正電圧の逸脱状況にあわせ以下のとおりとした。
 (導入率 30%時)
 基準電圧上限値: 高圧電圧 6680V (低圧換算値 106.3V)
 基準電圧下限値: 高圧電圧 6350V (低圧換算値 101.0V)
 (導入率 50%時)
 基準電圧上限値: 高圧電圧 6650V (低圧換算値 105.8V)
 基準電圧下限値: 高圧電圧 6350V (低圧換算値 101.0V)

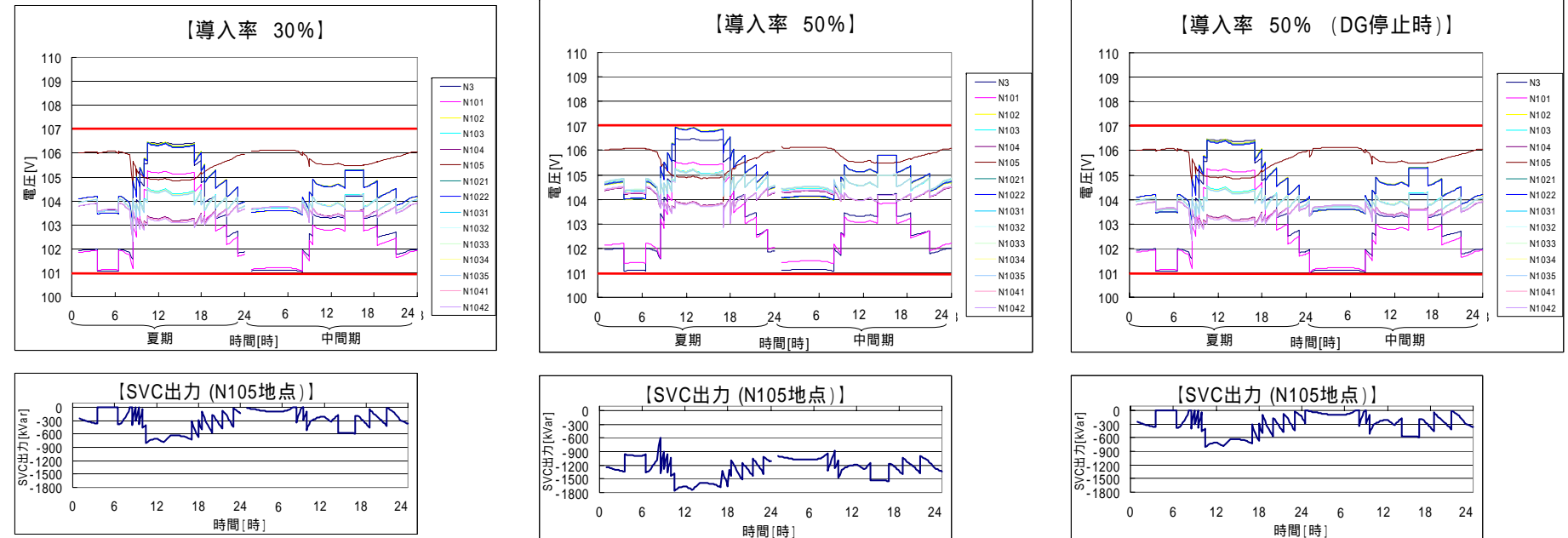


5. 結論

- 本ケースでは、SVC の設置により導入率 50%までは適正電圧維持可能である。

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

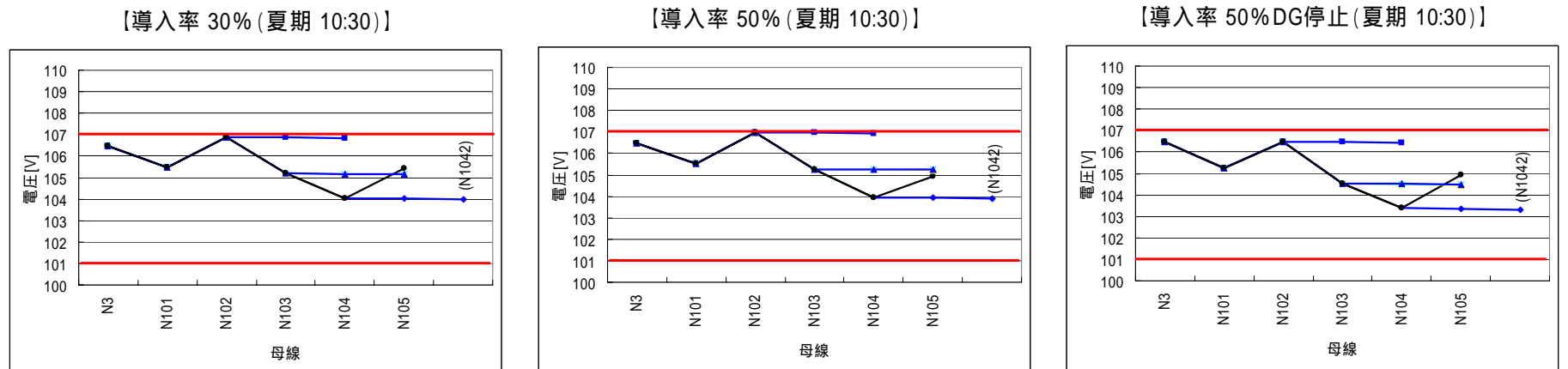
- 導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、SVC による無効電力の出力により、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持できることが分かった。SVC の最大出力は導入率 30%で 806kvar、50%で 1759kvar であった。



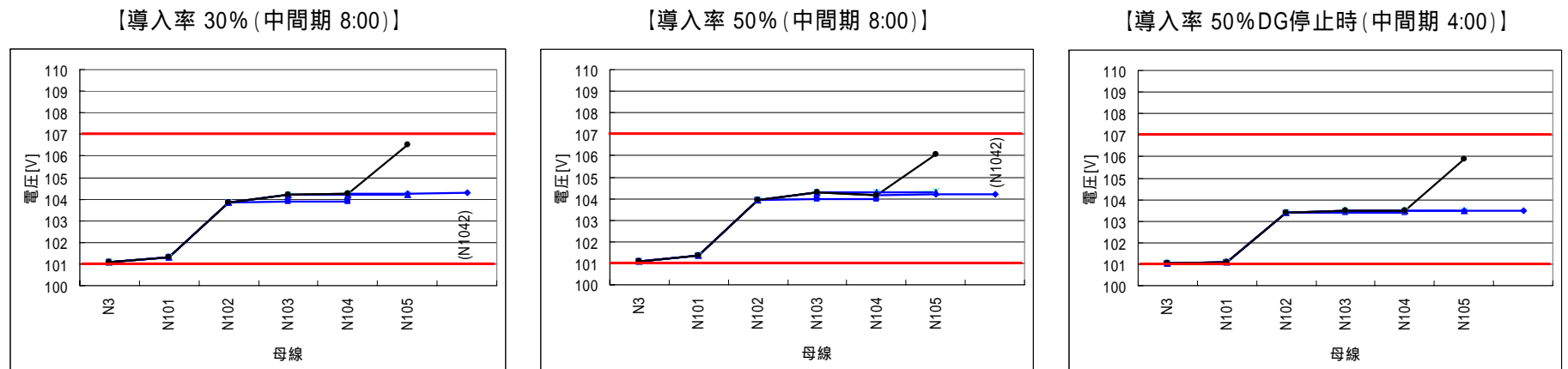
4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

- 最大電圧時においてもタップ変更点直後、及び末端付近の電圧が適正電圧上限値内となっている。

(1) 最大電圧発生時



(2) 最小電圧発生時

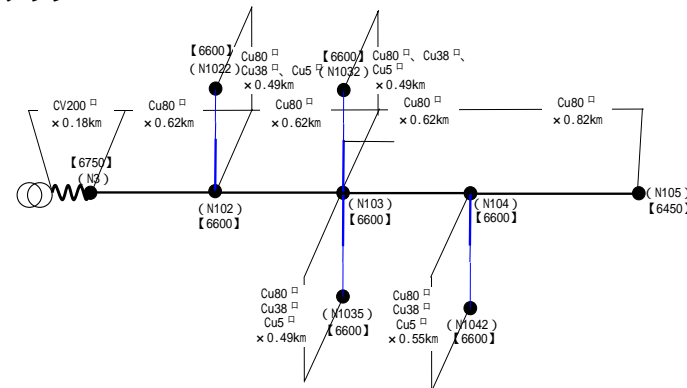


各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析

(工場地域系統 B03 系統、DG (同期発電) 均等分布・全日運転ケース - 対策: 自動タップ Tr 設置)

1. 系統の特徴

- 工場地域の架空系統
- Cu80[□]の一般容量回線
- 幹線巨長 2.86km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 4.88km
- 重負荷時最大電圧降下 317.1V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450 の 3 タップ

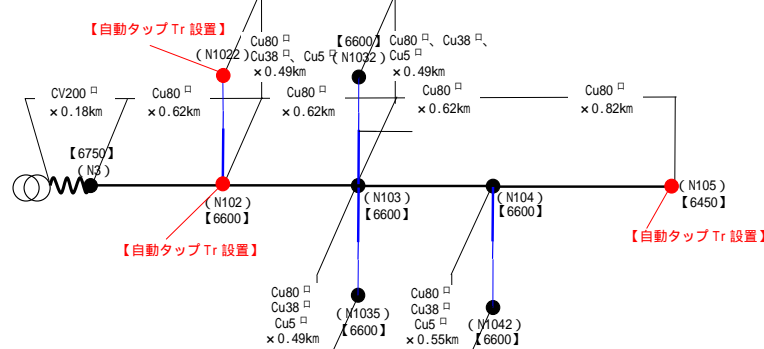


工場地域 B03 系統
()は主要ノード番号、【 】は柱上 Tr タップ値

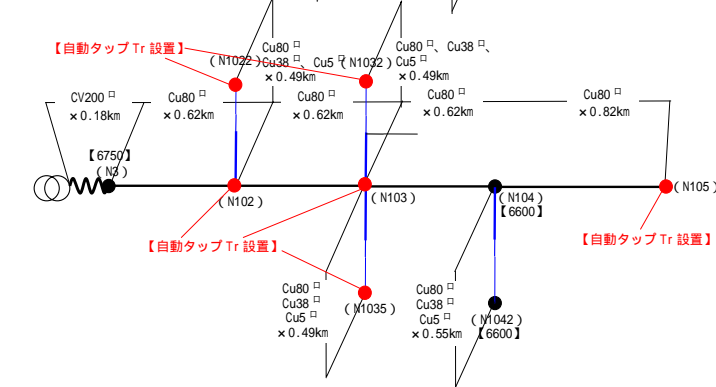
2. 対策内容

- 分散型電源 (同期発電) の普及に合わせ適正電圧を逸脱する各ノードにおいて、柱上 Tr を自動タップ調整型 Tr に変更した。(下図のとおり)
- 自動タップ Tr の整定値は以下のとおりとした。
基準電圧上限値: 106.5V
基準電圧下限値: 103.5V

(導入率 30%時)



(導入率 50%時)

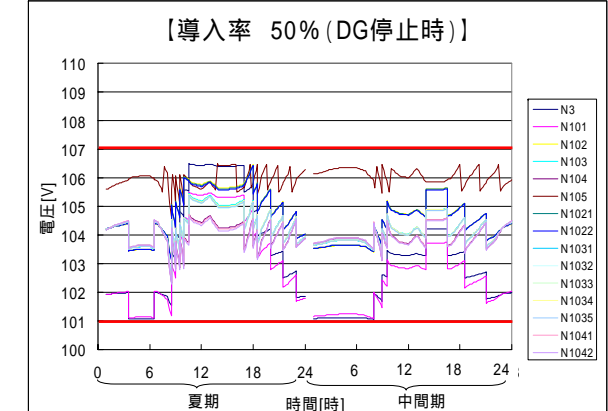
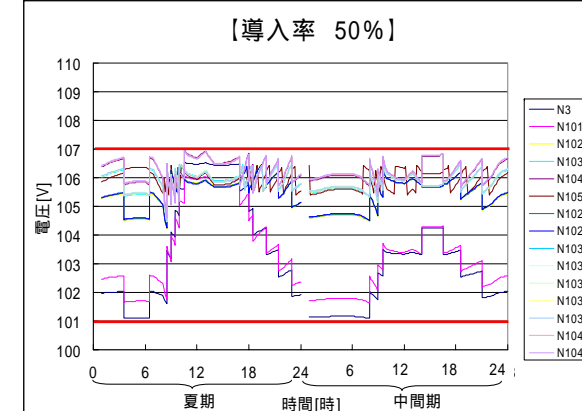
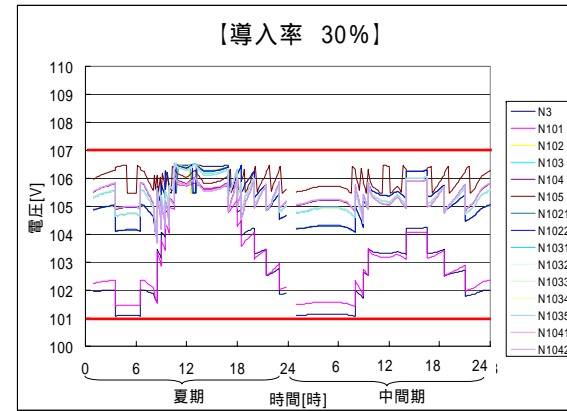


5. 結論

- 本ケースでは、柱上 Tr を自動タップ型に変更することで適正電圧維持可能である。

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

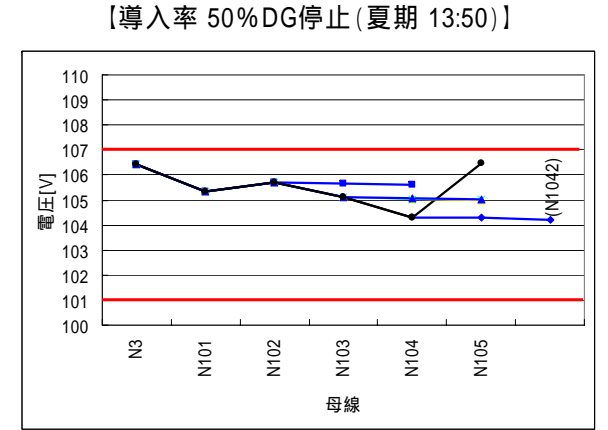
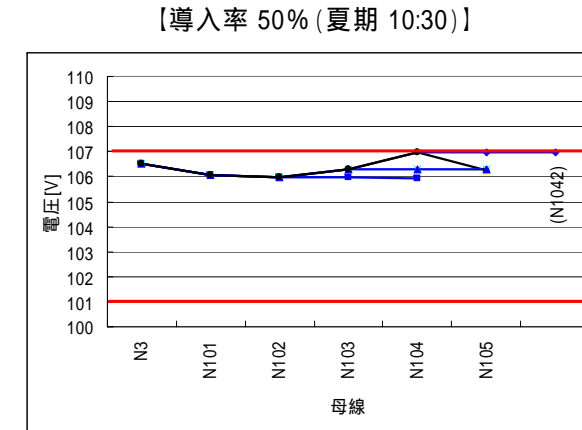
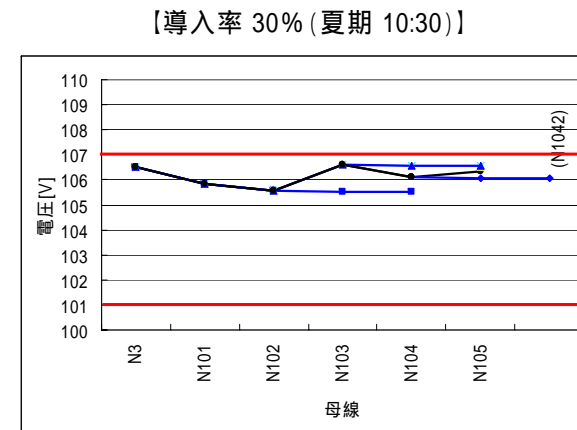
- 導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、適正電圧逸脱箇所の柱上 Tr を自動タップ調整型に変更することで、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧が維持できることが分かった。



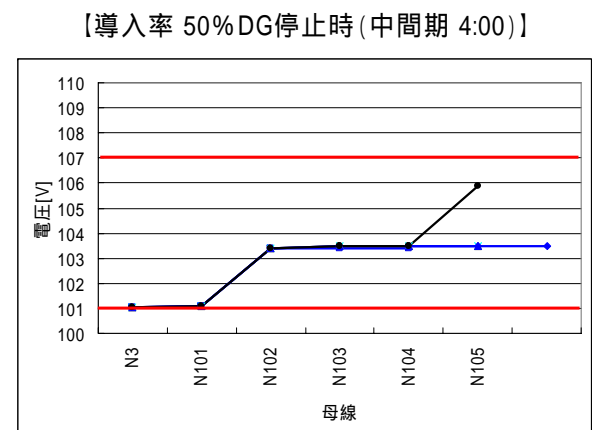
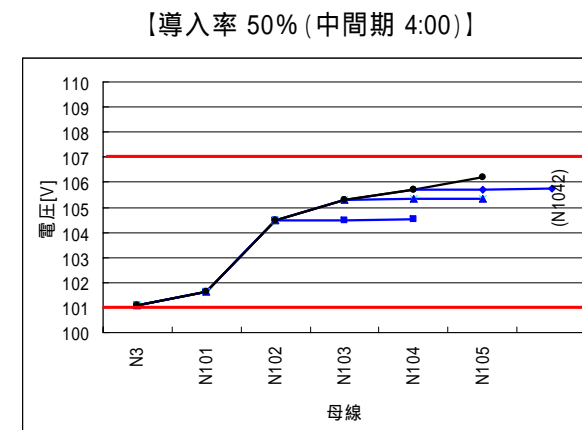
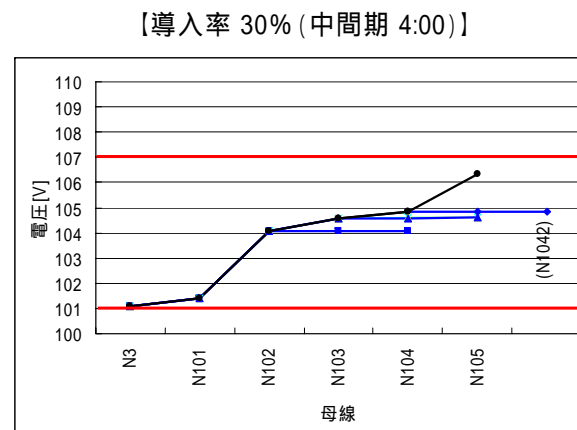
4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

- 最大電圧発生時、最小電圧発生時ともに適正電圧幅の範囲内となっている。

(1) 最大電圧発生時



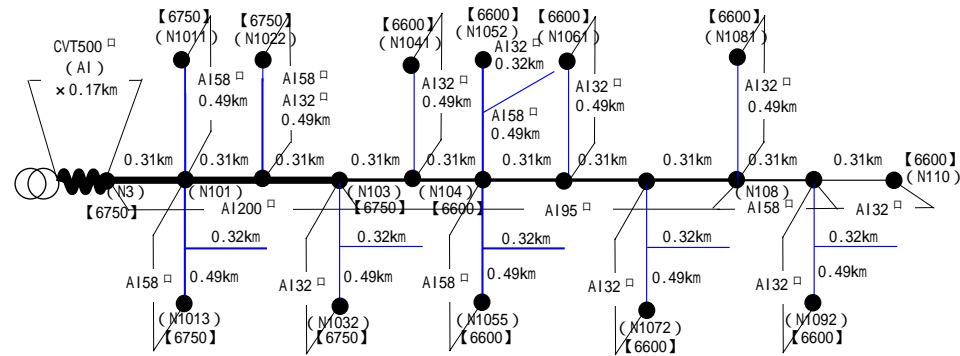
(2) 最小電圧発生時



各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析
 (住宅地域系統 C01 系統、DG (太陽光) 均等分布ケース - 対策: 柱上 Tr タップ変更)

1. 系統の特徴

- 住宅地域の架空系統
- AI200[□]の大容量回線
- 幹線巨長 3.27km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 10.58km
- 重負荷時最大電圧降下 259.1V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600 の 2 タップ



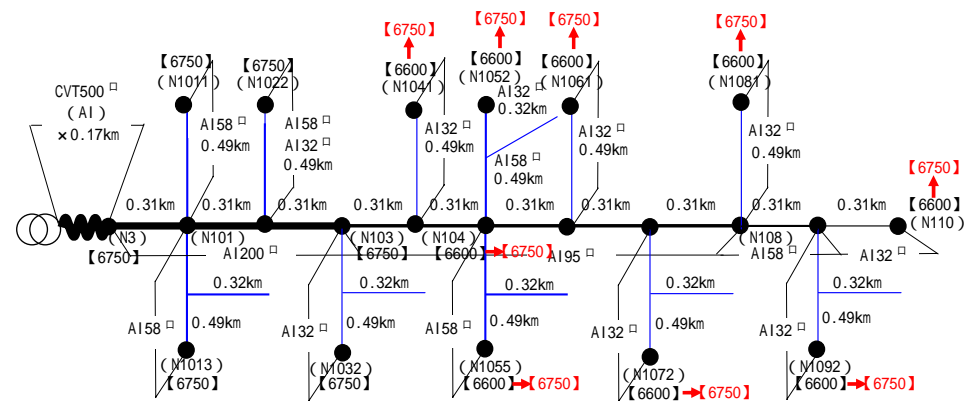
住宅地域 C01 系統

() は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

2. 対策内容

- 分散型電源 (太陽光発電) の普及に合わせ適正電圧を逸脱する各ノードについて、柱上 Tr のタップ値を下図のとおり見直した。

(導入率 30%時、50%時とも同じ)

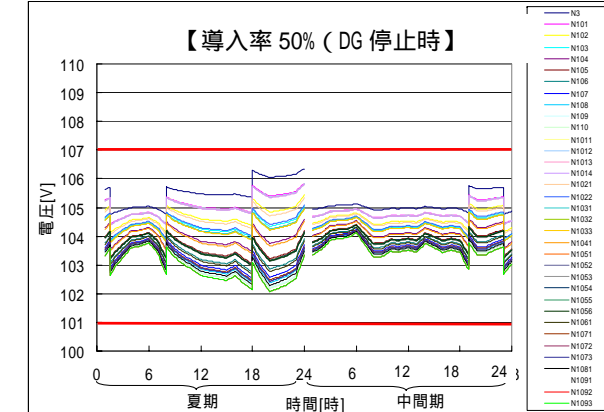
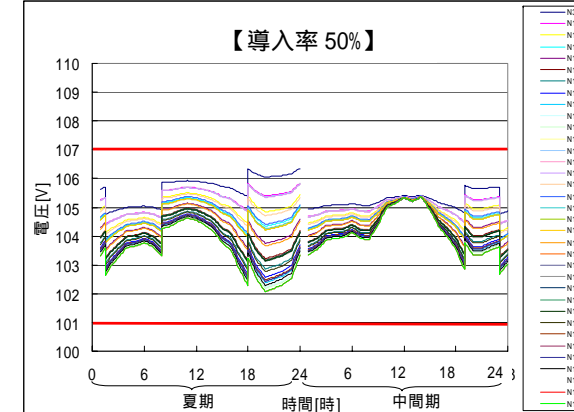
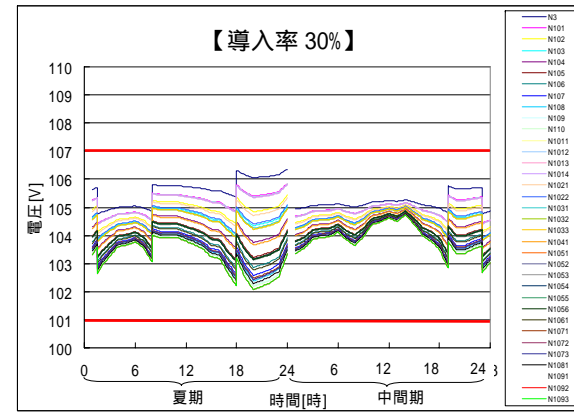


5. 結論

- 本ケースでは、柱上 Tr のタップ変更により導入率 50% までは適正電圧維持可能である。

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

- 導入率 30%、50% のどちらのケースにおいても、適正電圧逸脱箇所の柱上 Tr のタップを 1 タップ上げる変更を行うことで、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧が維持できることが分かった。

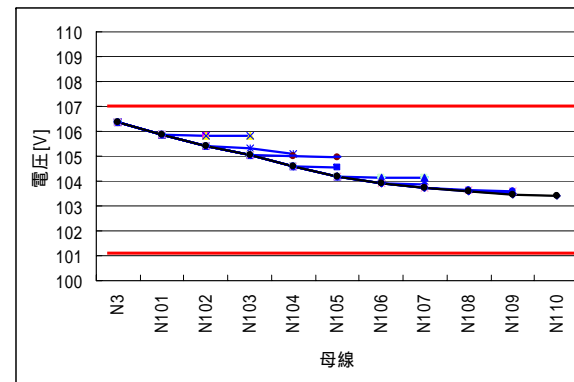


4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

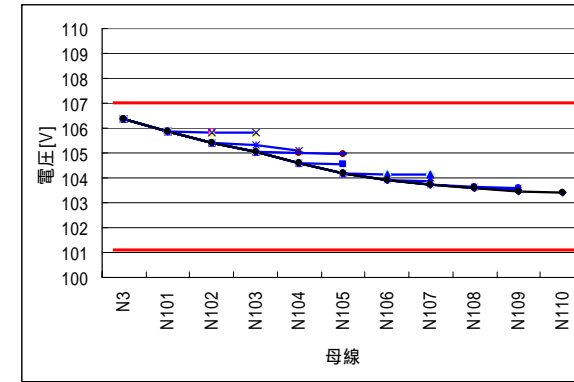
- 適正電圧の逸脱箇所のタップを 1 タップ上げることで、結果してすべてのノードが 6750 タップとなり、地点間の電圧に大きな変化は見られない。
- 末端電圧が適正電圧下限値に近いものの、適正電圧内となっている。

(1) 最大電圧発生時

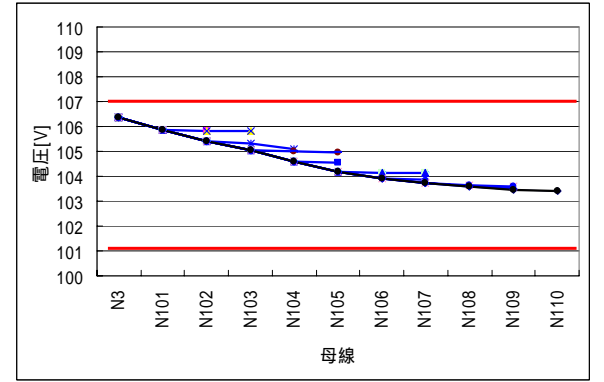
【導入率 30% (夏期 24:00)】



【導入率 50% (夏期 24:00)】

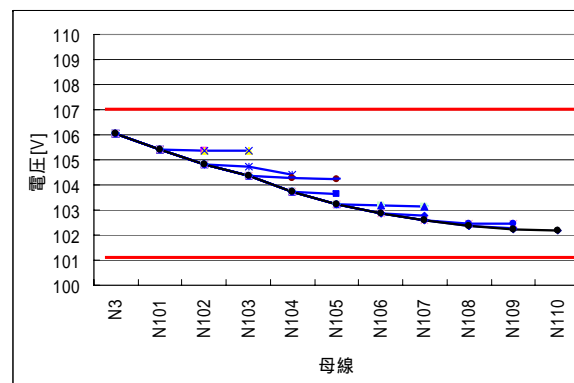


【導入率 50% DG 停止時 (夏期 24:00)】

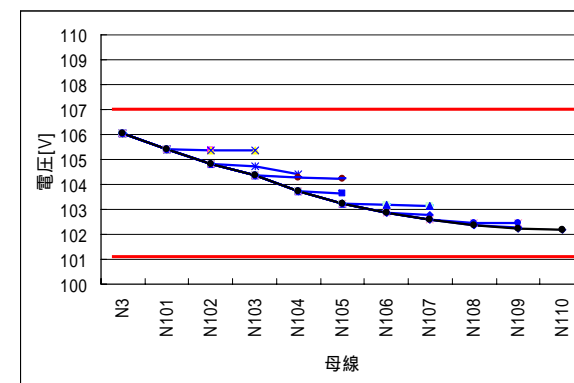


(2) 最小電圧発生時

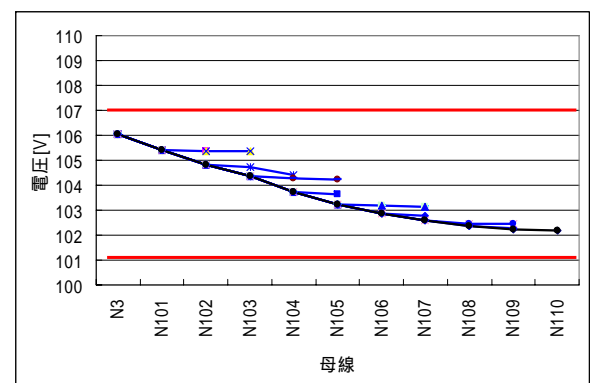
【導入率 30% (夏期 20:00)】



【導入率 50% (夏期 20:00)】



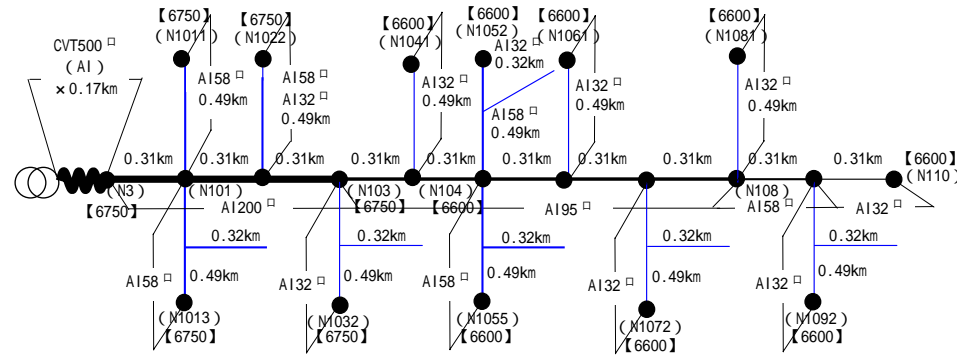
【導入率 50% DG 停止 (夏期 20:00)】



各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析
 (住宅地域系統 C01 系統、DG (太陽光) 均等分布ケース - 対策: プロコン整定見直し)

1. 系統の特徴

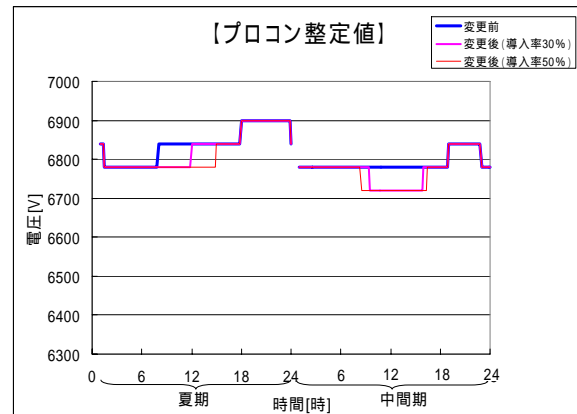
- 住宅地域の架空系統
- A1200 〇の大容量回線
- 幹線巨長 3.27km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 10.58km
- 重負荷時最大電圧降下 259.1V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600 の 2 タップ



住宅地域 C01 系統
 () は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

2. 対策内容

- 導入率 30%、50% の未対策時に夏期、中間期の昼間帯で適正電圧上限値を逸脱していたことから、導入率に応じ下図のとおり送出電圧のプロコン整定値を変更した。

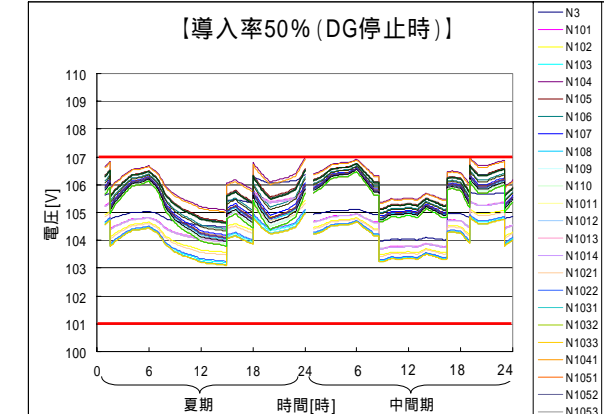
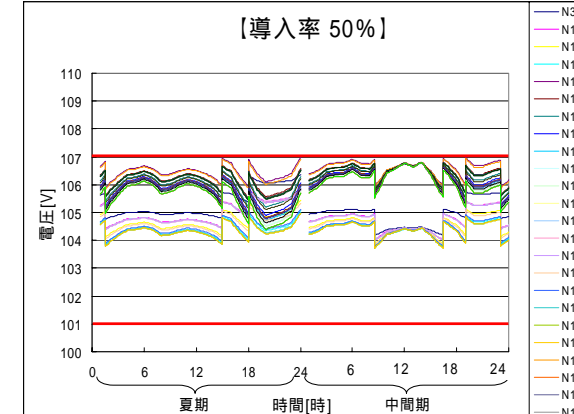
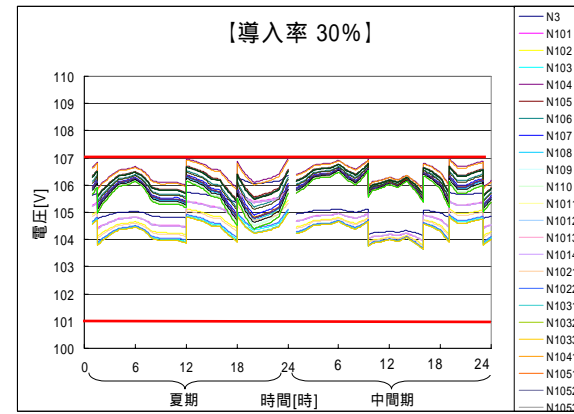


5. 結論

- 本ケースでは、プロコン整定値の見直しで導入率 50% までは適正電圧維持可能である。

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

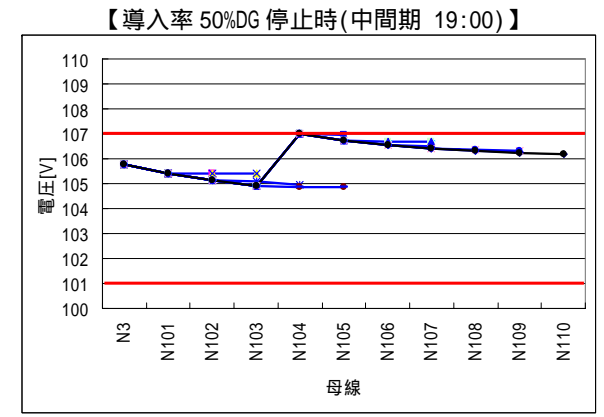
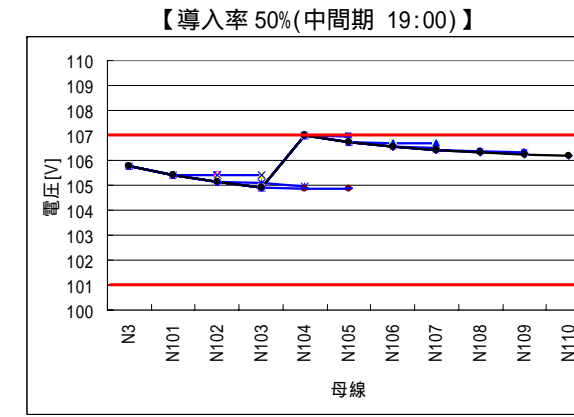
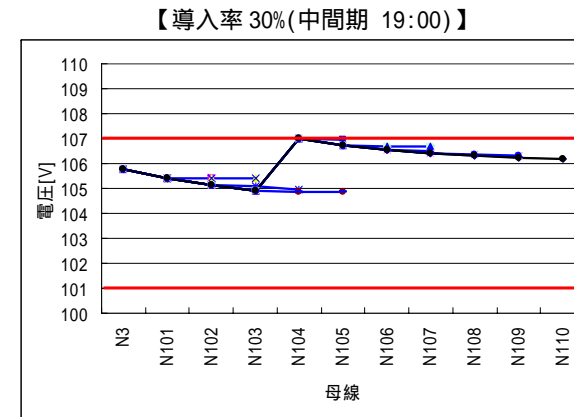
- 導入率 30%、50% のどちらのケースにおいても、適正電圧を逸脱した時間帯の送出電圧のプロコン整定値を見直すことで、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧が維持できることが分かった。



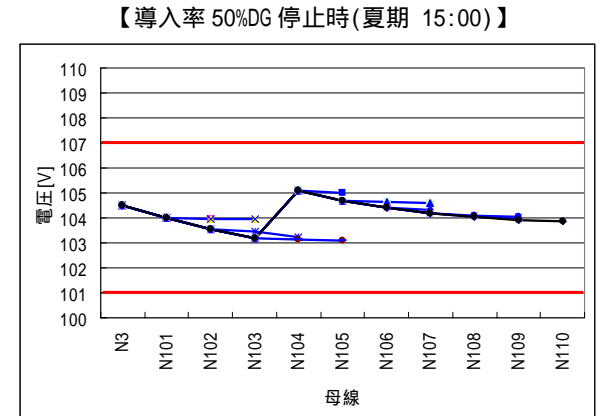
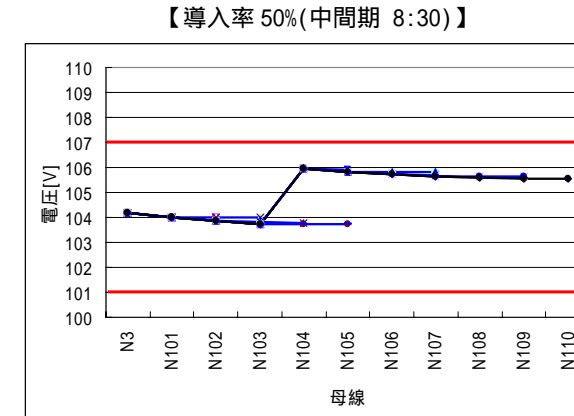
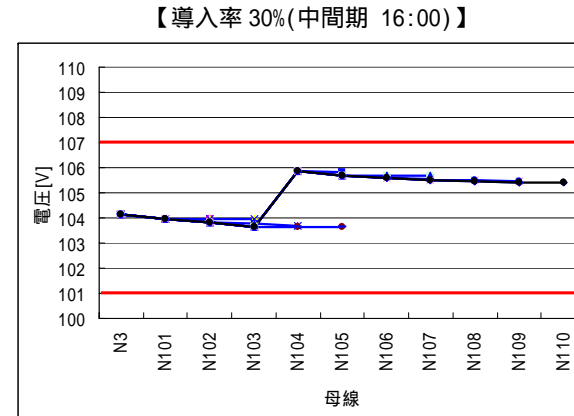
4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

- プロコン整定値を見直すことで適正電圧範囲内となっている。DG 停止時も適正電圧下限値に 2V 程度の余裕がある。

(1) 最大電圧発生時



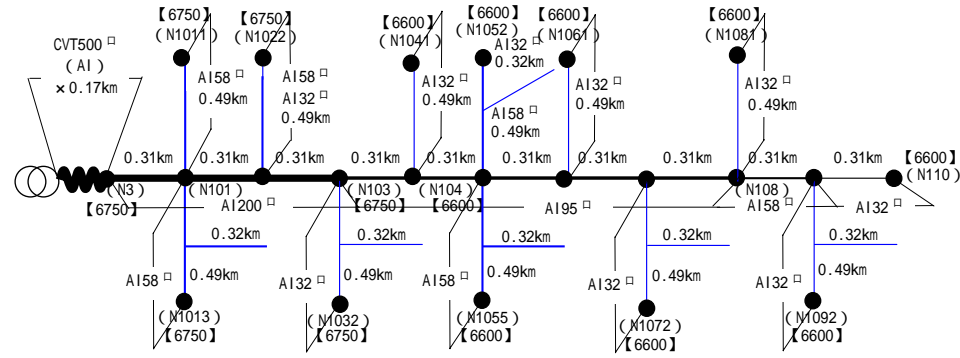
(2) 最小電圧発生時



各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析
 (住宅地域系統 C01 系統、DG (太陽光) 均等分布ケース - 対策: SVC 設置)

1. 系統の特徴

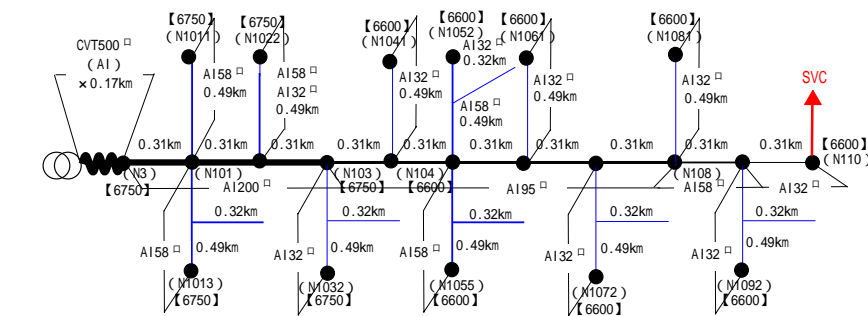
- 住宅地域の架空系統
- AI200 〇の大容量回線
- 幹線巨長 3.27km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 10.58km
- 重負荷時最大電圧降下 259.1V、柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600 の 2 タップ



住宅地域 C01 系統
 () は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

2. 対策内容

- 配電線の末端 (N105 ノード) が適正電圧を逸脱していることから、配電線の末端に SVC を設置した。(下図のとおり)
- SVC の整定値は適正電圧の逸脱状況にあわせ以下のとおりとした。
 (導入率 30%時)
 基準電圧上限値: 高圧電圧 6690V (低圧換算値 106.5V)
 基準電圧下限値: 高圧電圧 6350V (低圧換算値 101.0V)
 (導入率 50%時)
 基準電圧上限値: 高圧電圧 6650V (低圧換算値 105.8V)
 基準電圧下限値: 高圧電圧 6350V (低圧換算値 101.0V)

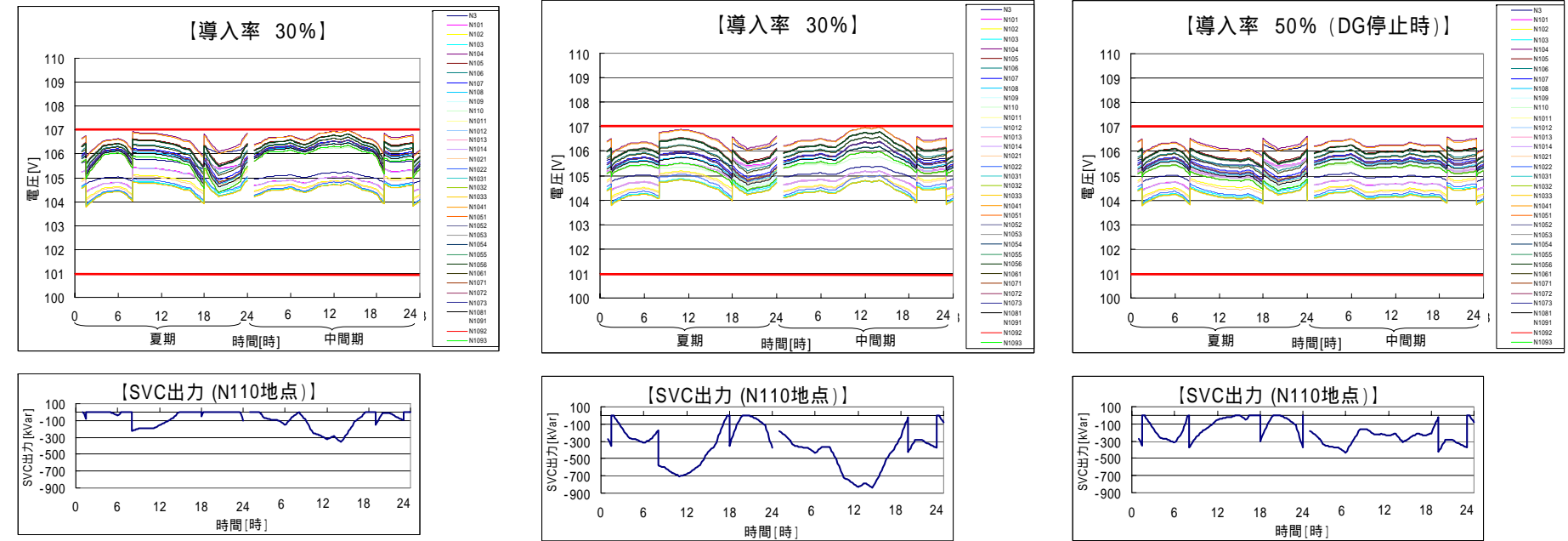


5. 結論

- 本ケースでは、SVC の設置により導入率 50% までは適正電圧維持可能である。

3. 対策時シミュレーション結果(時間推移分析)

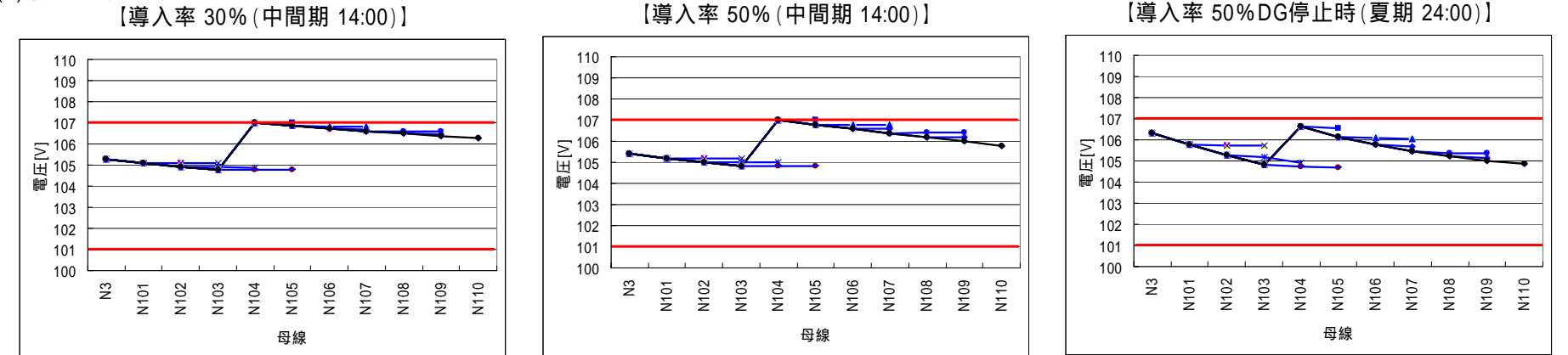
- 導入率 30%、50% のどちらのケースにおいても、SVC による無効電力の出力により、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持できることが分かった。SVC の最大出力は導入率 30% で 357kvar、50% で 839kvar であった。



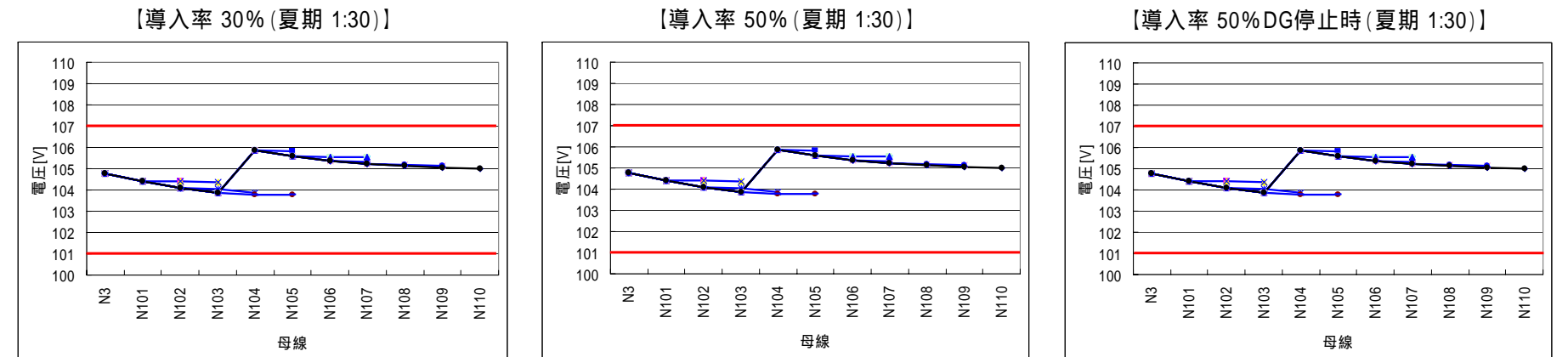
4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

- 最大電圧時においてもタップ変更点直後の電圧が適正電圧上限値内となっている。

(1) 最大電圧発生時



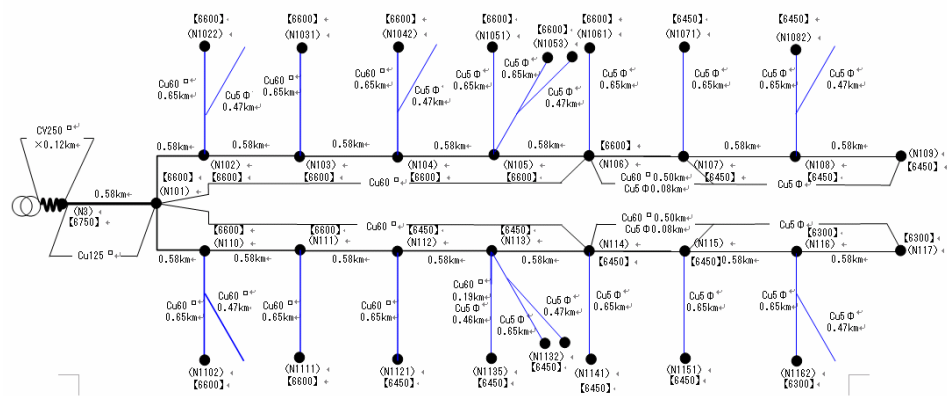
(2) 最小電圧発生時



各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析
 (郊外地域系統 D01 系統、DG (太陽光) 均等分布ケース - 対策 : 柱上 Tr タップ変更)

1. 系統の特徴

- ・ 郊外地域の架空系統
- ・ Cu125[□]の大容量回線
- ・ 幹線巨長 5.34km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 23.20km
- ・ 重負荷時最大電圧降下 544.8V
- ・ 柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450、6300 の 4 タップ

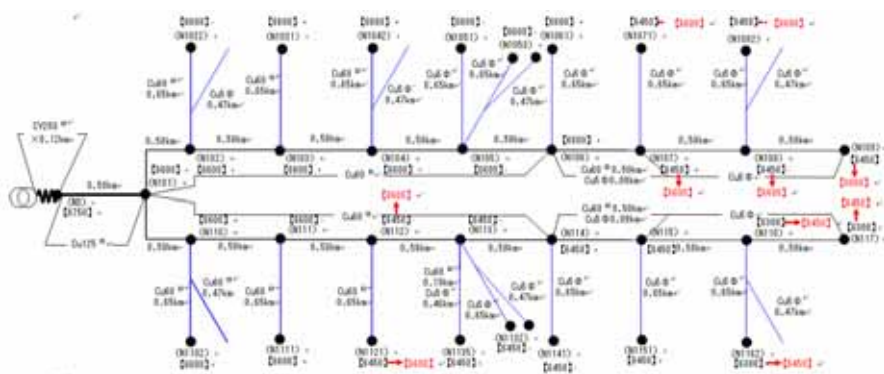


郊外地域 D01 系統
 () は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

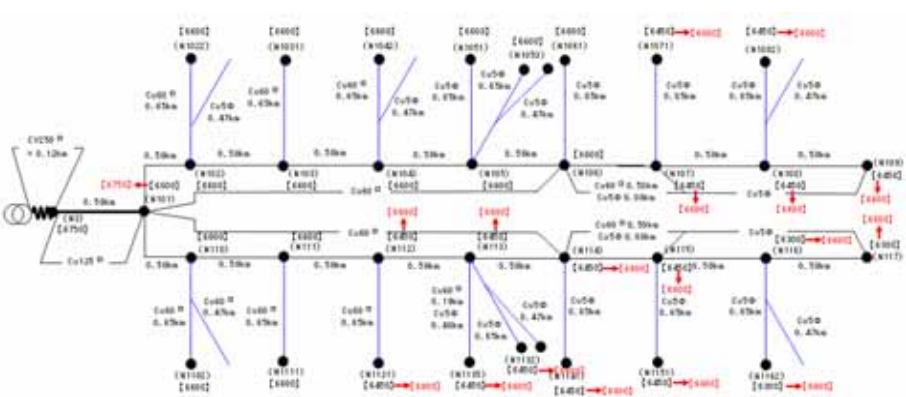
2. 対策内容

- ・ 分散型電源 (太陽光発電) の普及に合わせ適正電圧を逸脱する各ノードについて、柱上 Tr のタップ値を下図のとおり見直した。

(導入率 30% 時)



(導入率 50% 時)

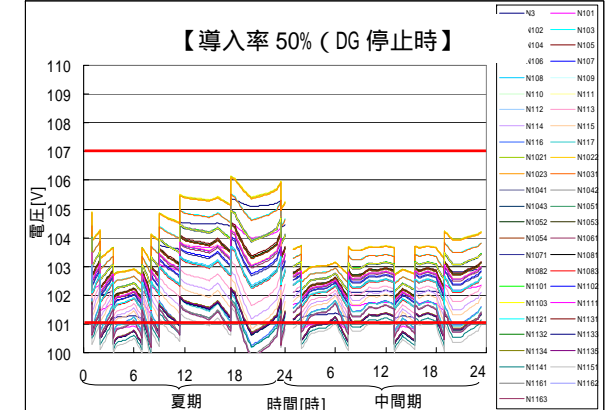
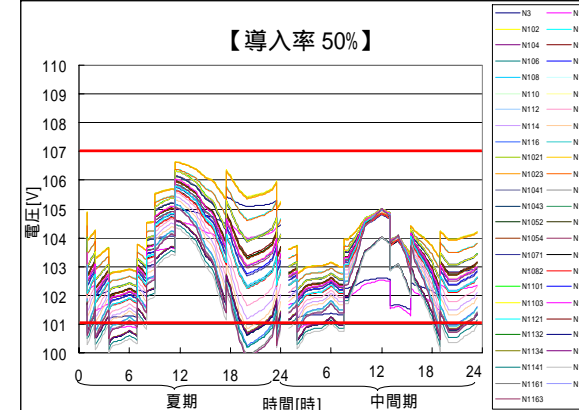
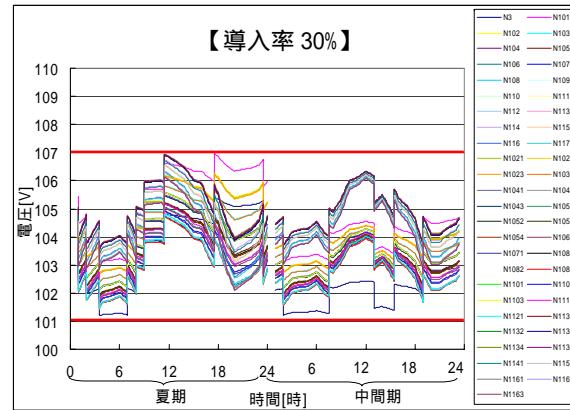


5. 結論

- ・ 本ケースでは、柱上 Tr のタップ変更の対策では適正電圧を維持できない。

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

- ・ 導入率 30% のケースでは、適正電圧逸脱箇所の柱上 Tr のタップを 1 タップ上げる変更を行うことで、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができたが、導入率 50% では、柱上 Tr のタップを 2 タップ上げる変更が必要なノード (N116 以降負荷側ノード) が発生することから、未対策時に適正電圧上限値を逸脱した時間帯は適正電圧を維持できるものの、太陽光発電が出力しない夜間において適正電圧下限値を逸脱することになった。
- ・ DG 停止時は、更に昼間の時間帯においても適正電圧の下限値を逸脱する結果となった。

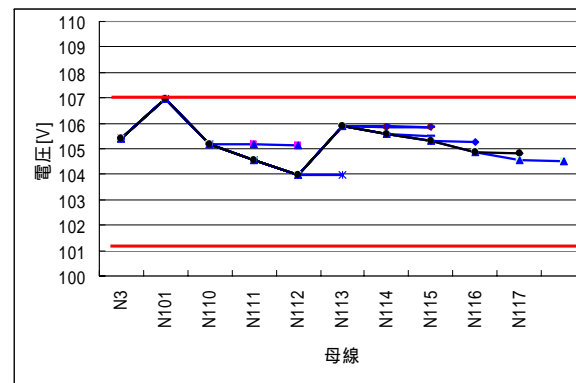


4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

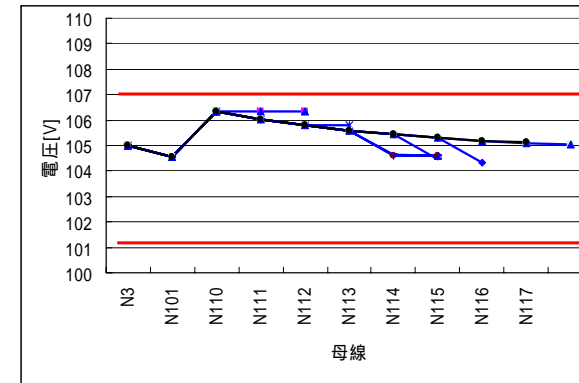
- ・ 最小電圧発生時のグラフより、タップを見直した配電線末端側のノードにおいて、太陽光発電が出力しない夜間帯において適正電圧下限値を逸脱していることが分かる。

(1) 最大電圧発生時

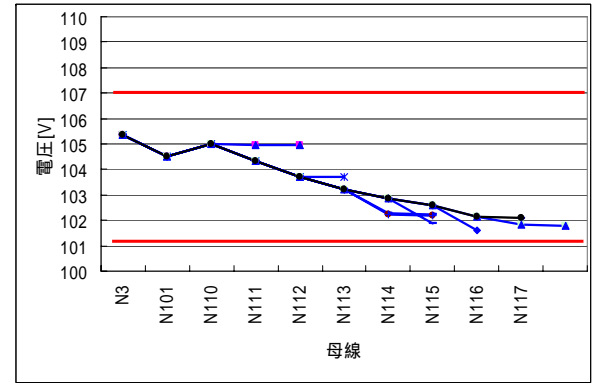
【 導入率 30% (夏期 17:30) 】



【 導入率 50% (夏期 11:30) 】

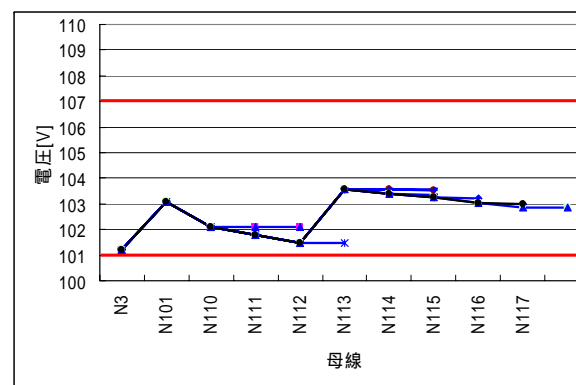


【 導入率 50% DG停止時 (夏期 17:30) 】

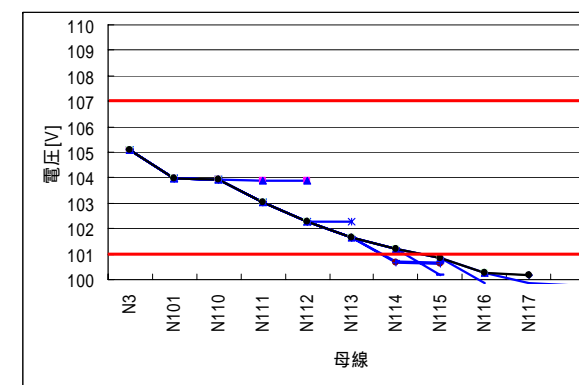


(2) 最小電圧発生時

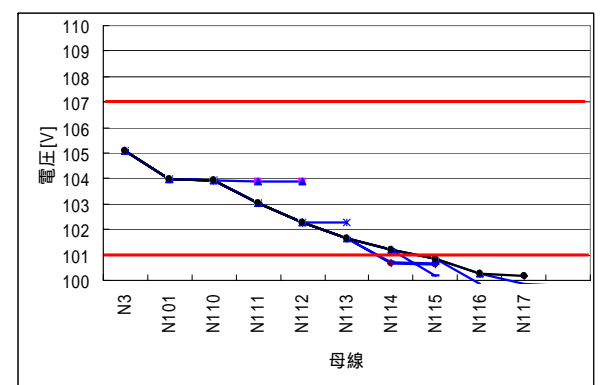
【 導入率 30% (夏期 3:30) 】



【 導入率 50% (夏期 20:00) 】



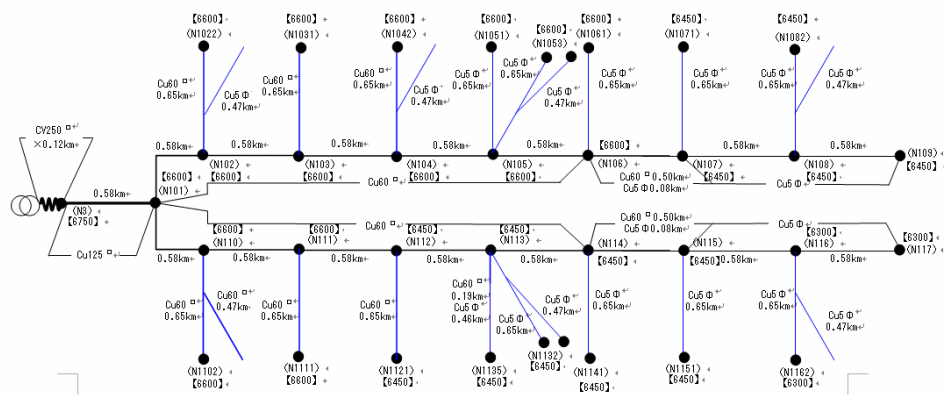
【 導入率 50% DG停止時 (夏期 20:00) 】



各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析
 (郊外地域系統 D01 系統、DG (太陽光) 均等分布ケース - 対策 : プロコン整定見直し)

1. 系統の特徴

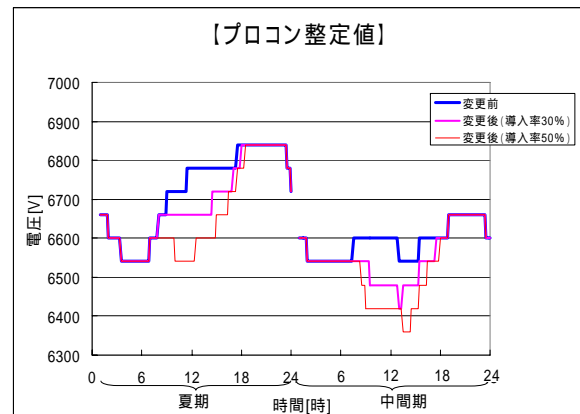
- ・ 郊外地域の架空系統
- ・ Cu125[□]の大容量回線
- ・ 幹線巨長 5.34km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 23.20km
- ・ 重負荷時最大電圧降下 544.8V
- ・ 柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450、6300 の 4 タップ



郊外地域 D01 系統
 () は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

2. 対策内容

- ・ 導入率 30%、50%の未対策時に夏期、中間期の昼間帯で適正電圧上限値を逸脱していたことから、導入率に応じ下図のとおり送出電圧のプロコン整定値を変更した。

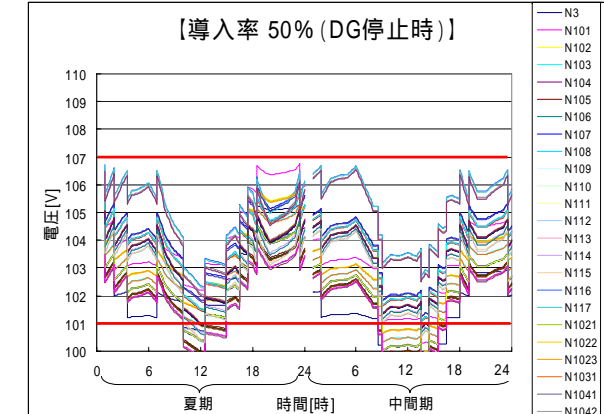
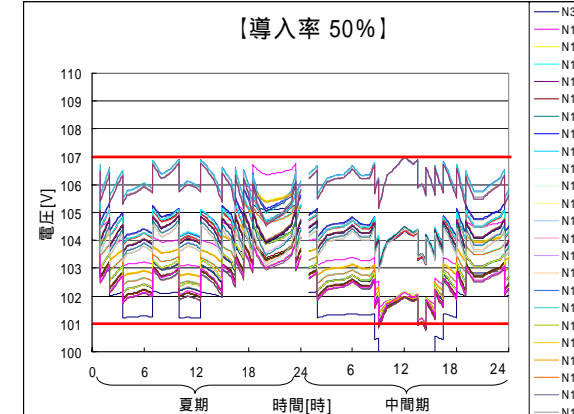
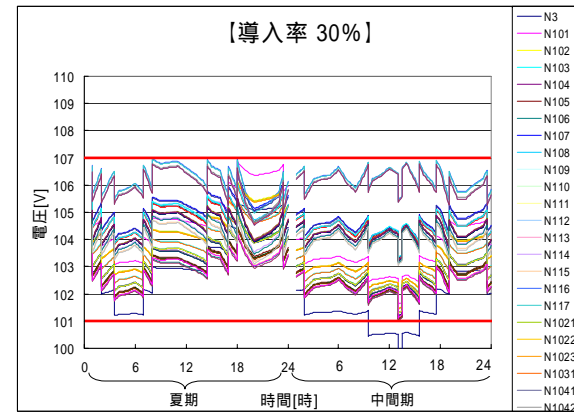


5. 結論

- ・ 本ケースでは、プロコン整定値の見直しでは適正電圧を維持できない。

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

- ・ 導入率 30%、50%のどちらのケースにおいても、プロコン整定値の見直しにより適正電圧上限値 (107V) の逸脱は解消できたものの、中間期の昼間帯に適正電圧下限値 (101V) を逸脱する結果となった。DG が停止、解列により出力が低下した場合、更に適正電圧下限値を大きく逸脱することになった。

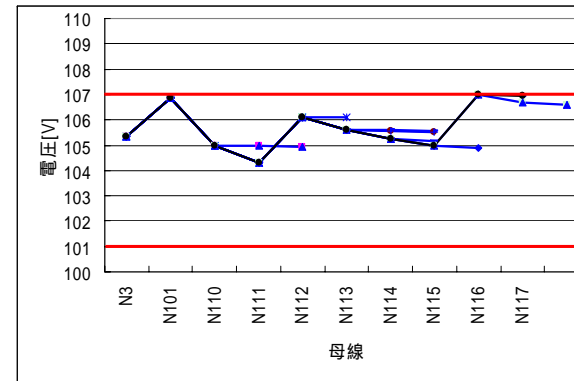


4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

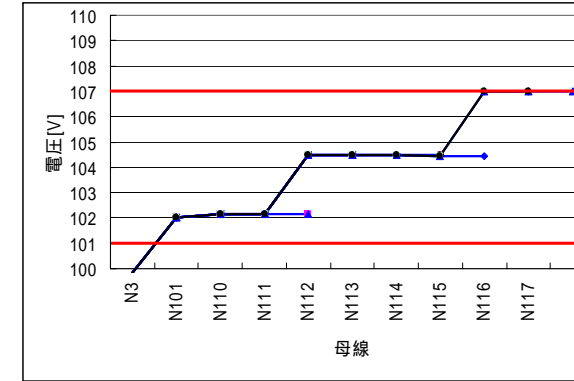
- ・ 電源側のノードで適正電圧の下限値を逸脱していることが分かった。

(1) 最大電圧発生時

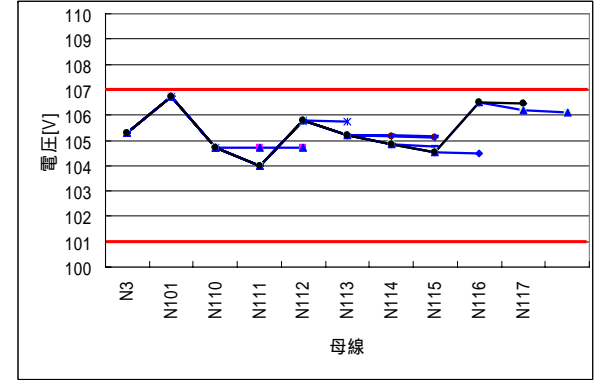
【導入率 30%(夏期 18:00)】



【導入率 50%(中間期 12:00)】

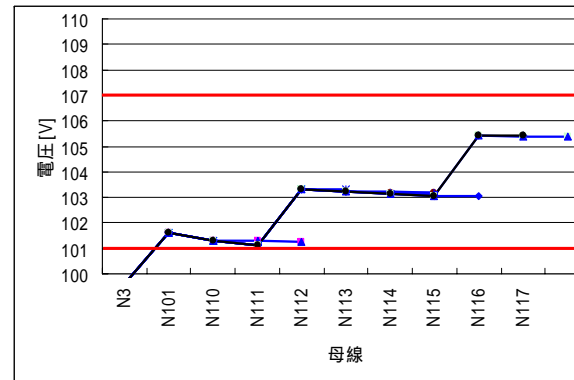


【導入率 50% DG停止時(夏期 23:30)】

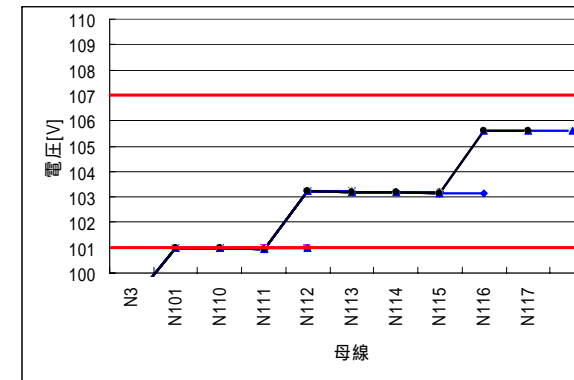


(2) 最小電圧発生時

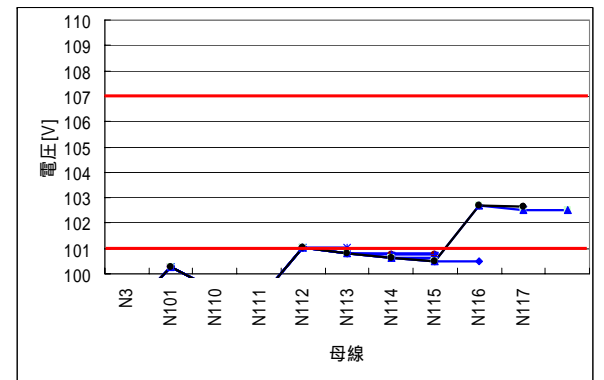
【導入率 30%(中間期 13:00)】



【導入率 50%(中間期 14:30)】



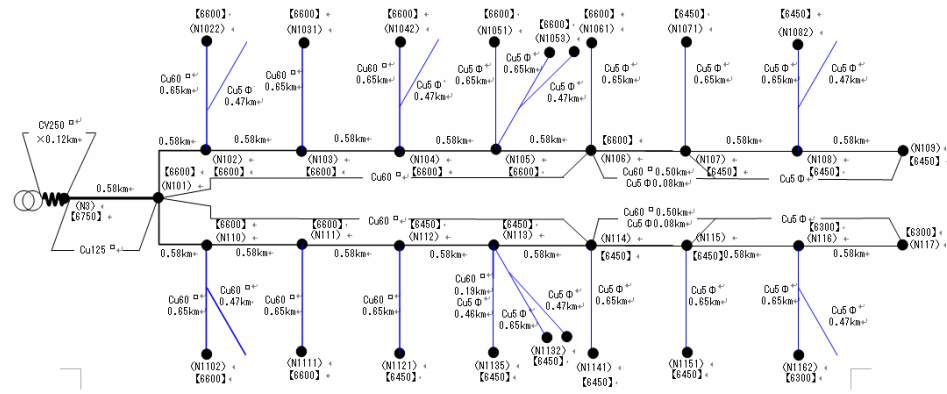
【導入率 50% DG停止時(中間期 13:30)】



各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析
 (郊外地域系統 D01 系統、DG (太陽光) 均等分布ケース - 対策 : SVR 設置)

1. 系統の特徴

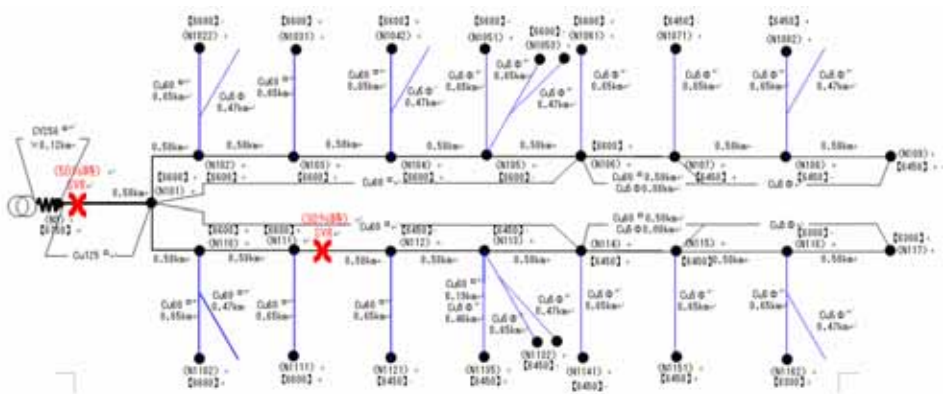
- ・ 郊外地域の架空系統
- ・ Cu125 の大容量回線
- ・ 幹線巨長 5.34km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 23.20km
- ・ 重負荷時最大電圧降下 544.8V
- ・ 柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450、6300 の 4 タップ



() は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

2. 対策内容

- ・ 分散型電源 (同期発電) の導入率 30%、50% 時ともに適正電圧を逸脱するノードの直近 (導入率 30% 時は N112 ノード、導入率 50% 時は N101 ノード) の電源側に SVR を設置した。
- ・ SVR の整定値は以下のとおりとして対策を実施した。
 (30% 導入時)
 %R = 0、%X = 0
 基準電圧 = 105V (高圧換算値 6600V)
 不感帯 = 1.5%
 (50% 導入時)
 %R = 0、%X = 0
 基準電圧 = 105V (高圧換算値 6600V)
 不感帯 = 1.5%

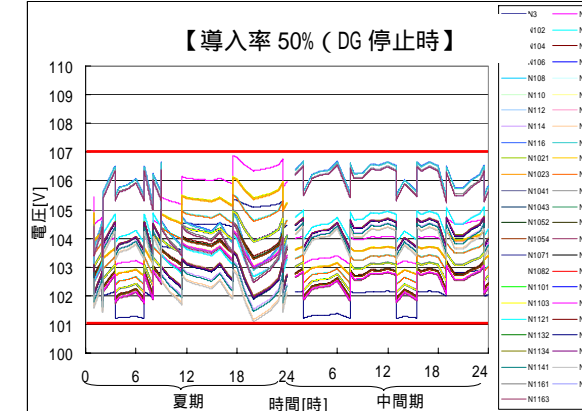
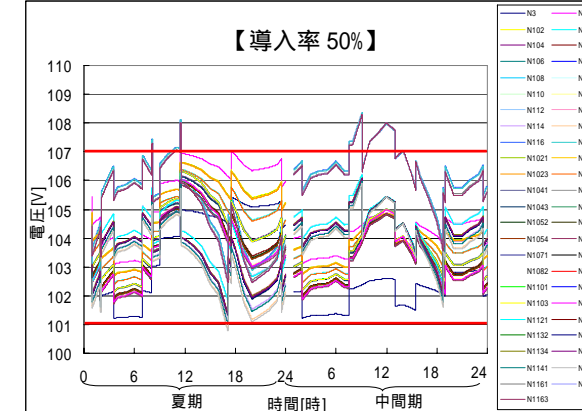
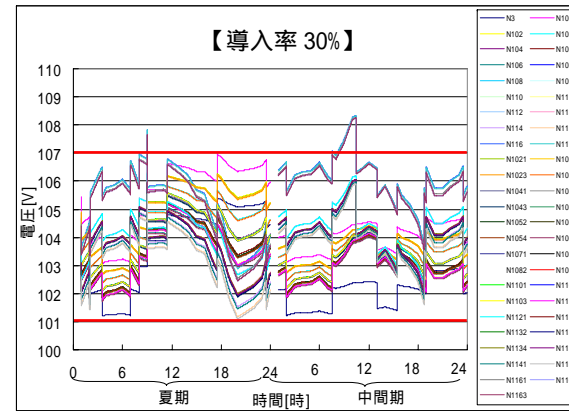


5. 結論

- ・ 本ケースでは、SVR の設置により導入率 30%、50% ともに適正電圧を維持できない。(但し、SVR 整定方法が適切でない可能性もあり、継続検討予定)

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

- ・ 導入率 30%、50% のどちらのケースにおいても、SVR による調整では適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することはできなかった。
- ・ SVR の整定方法が適切でないことが懸念される。

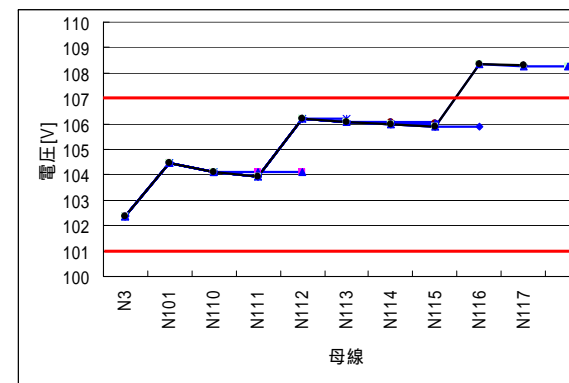


4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

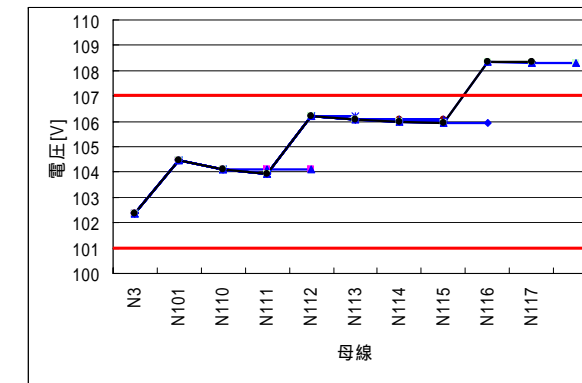
- ・ 最大電圧発生時に適正電圧を逸脱している。

(1) 最大電圧発生時

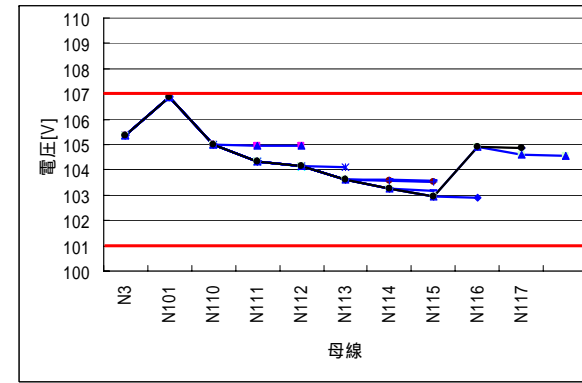
【導入率 30% (中間期 10:26)】



【導入率 50% (中間期 9:05)】

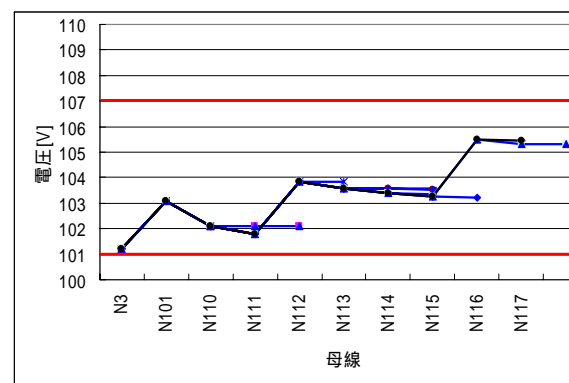


【導入率 50% DG停止時 (夏期 17:30)】

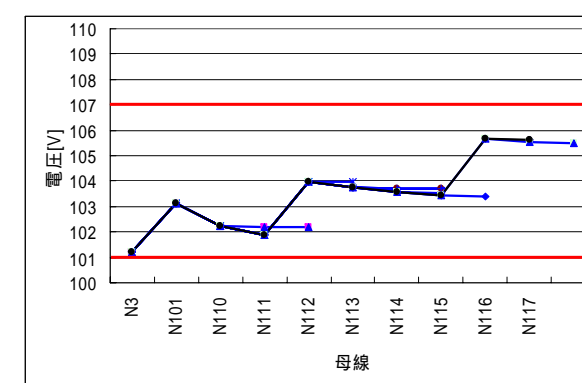


(2) 最小電圧発生時

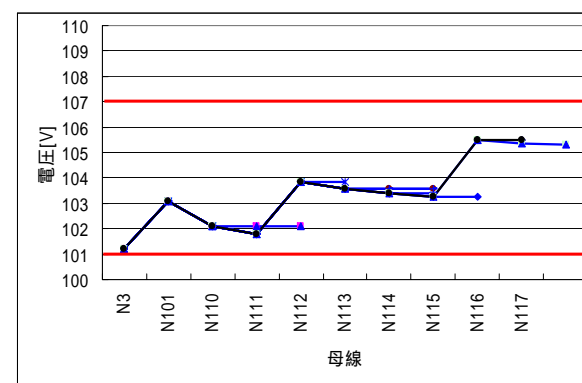
【導入率 30% (夏期 3:30)】



【導入率 50% (中間期 2:00)】



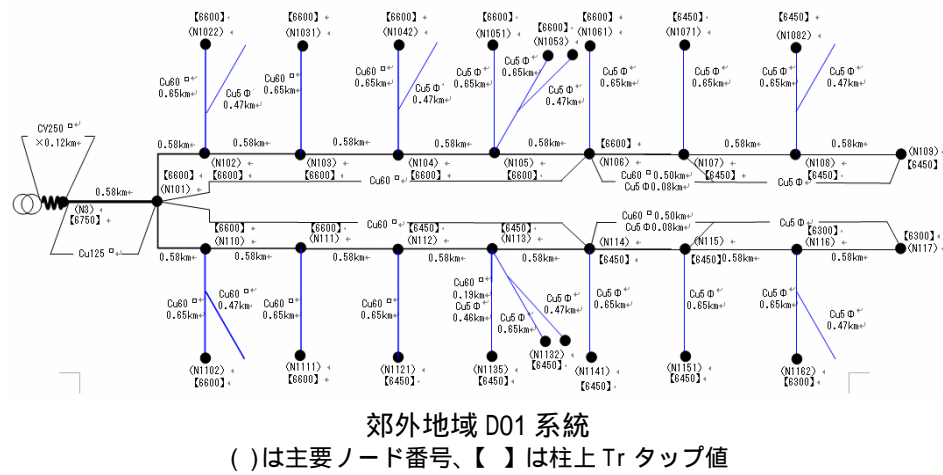
【導入率 50% DG停止時 (中間期 13:00)】



各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析
 (郊外地域系統 D01 系統、DG (太陽光) 均等分布ケース - 対策 : SVC 設置)

1. 系統の特徴

- ・ 郊外地域の架空系統
- ・ Cu125 の大容量回線
- ・ 幹線巨長 5.34km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 23.20km
- ・ 重負荷時最大電圧降下 544.8V
- ・ 柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450、6300 の 4 タップ



2. 対策内容

- ・ 配電線の 2 分岐のそれぞれの末端付近 (N109、N117 ノードなど) が適正電圧を逸脱していることから、電線容量が比較的大きい配電線の末端付近の 2 箇所 (N107、N115 ノード) に SVC を設置した。(下図のとおり)
- ・ SVC の整定値は適正電圧の逸脱状況にあわせ以下のとおりとした。
 (導入率 30% 時)

N107 ノード

基準電圧上限値 : 高圧電圧 6580V (低圧換算値 104.7V)
 基準電圧下限値 : 高圧電圧 6350V (低圧換算値 101.0V)

N115 ノード

基準電圧上限値 : 高圧電圧 6580V (低圧換算値 104.7V)
 基準電圧下限値 : 高圧電圧 6350V (低圧換算値 101.0V)

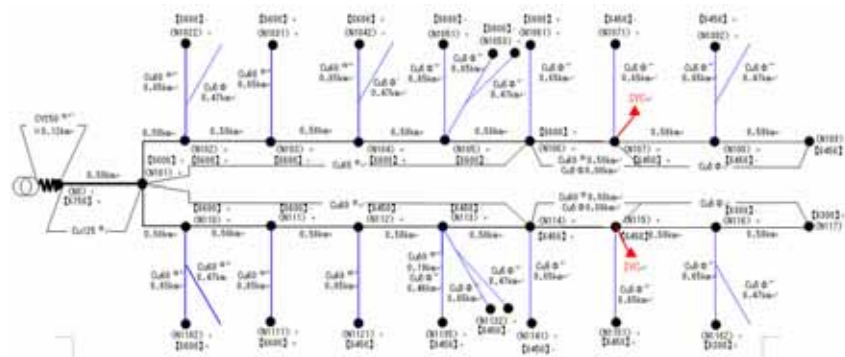
(導入率 50% 時)

N107 ノード

基準電圧上限値 : 高圧電圧 6560V (低圧換算値 104.4V)
 基準電圧下限値 : 高圧電圧 6350V (低圧換算値 101.0V)

N115 ノード

基準電圧上限値 : 高圧電圧 6560V (低圧換算値 104.4V)
 基準電圧下限値 : 高圧電圧 6350V (低圧換算値 101.0V)

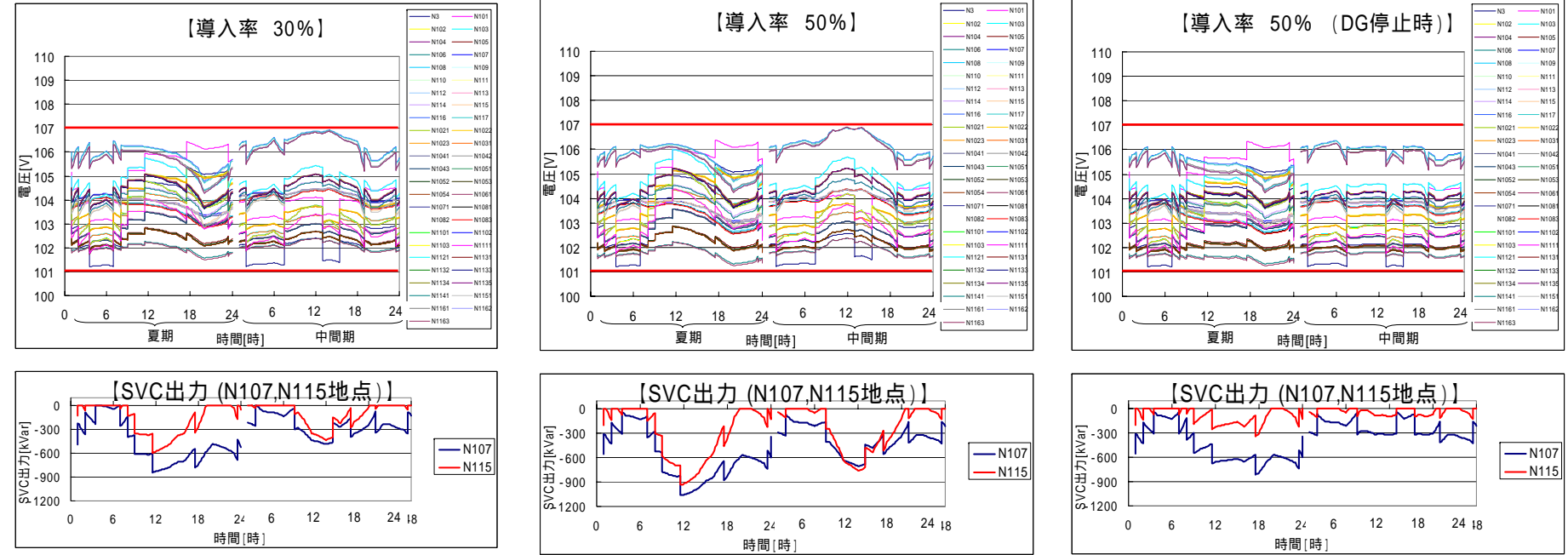


5. 結論

- ・ 本ケースでは、SVC の設置により導入率 50% までは適正電圧維持可能である。

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

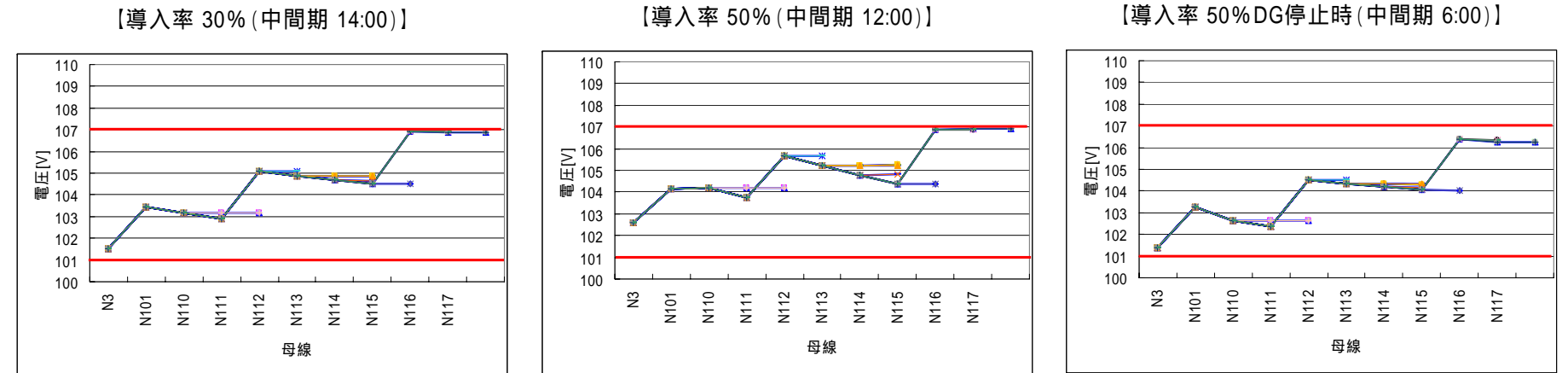
- ・ 導入率 30%、50% のどちらのケースにおいても、SVC による無効電力の出力により、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持できることが分かった。SVC の最大出力は導入率 30% で 107 ノード設置 SVC が 841kvar、115 ノード設置 SVC が 597kvar、導入率 50% で 107 ノード設置 SVC が 1063kvar、115 ノード設置 SVC が 932kvar であった。



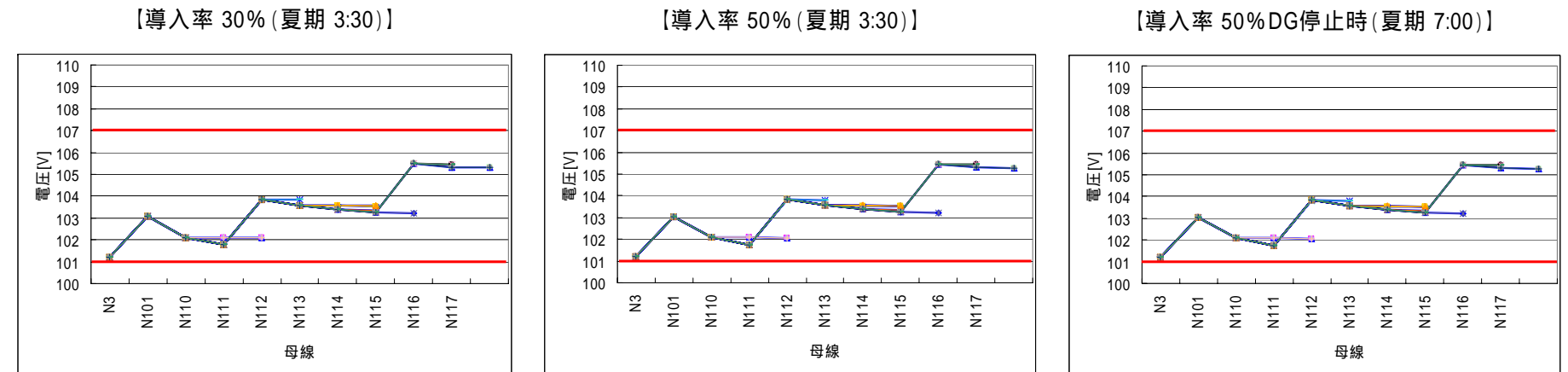
4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

- ・ 最大電圧時においてもタップ変更点直後、及び末端付近の電圧が適正電圧上限値内となっている。

(1) 最大電圧発生時



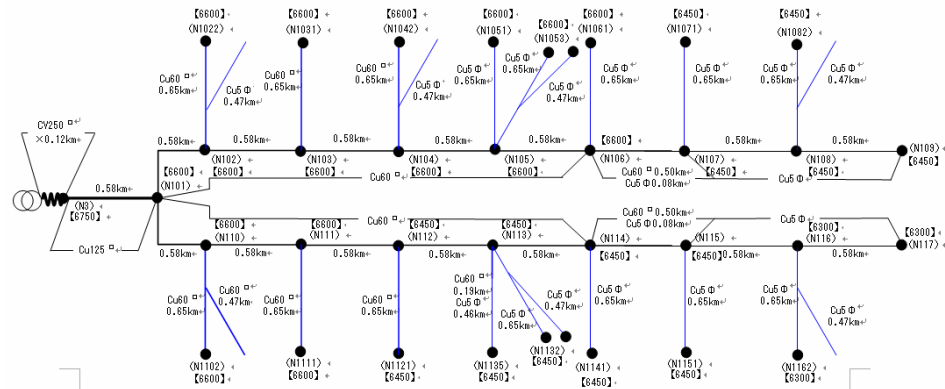
(2) 最小電圧発生時



各モデル系統における対策時シミュレーション結果分析
 (郊外地域系統 D01 系統、DG (太陽光) 均等分布ケース - 対策 : 自動タップ Tr 設置)

1. 系統の特徴

- ・ 郊外地域の架空系統
- ・ Cu125[□]の大容量回線
- ・ 幹線巨長 5.34km、総巨長 (幹線巨長、分岐巨長の合計) 23.20km
- ・ 重負荷時最大電圧降下 544.8V
- ・ 柱上 Tr タップ 電源側より 6750、6600、6450、6300 の 4 タップ



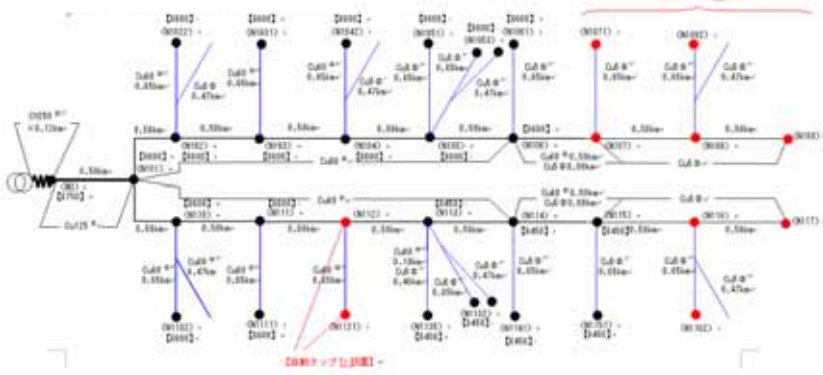
郊外地域 D01 系統

() は主要ノード番号、【 】 は柱上 Tr タップ値

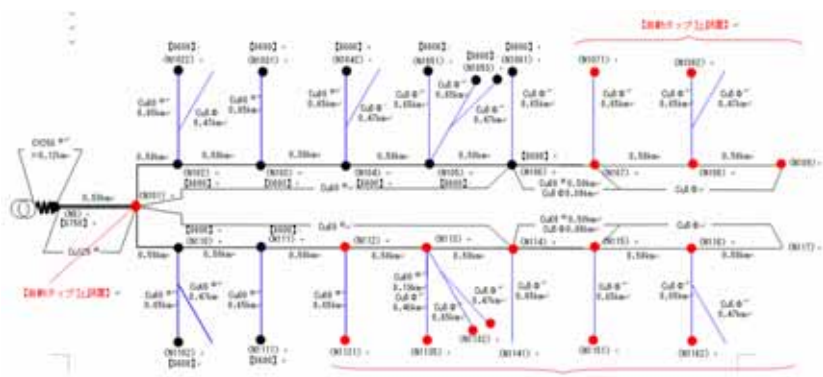
2. 対策内容

- ・ 分散型電源 (同期発電) の普及に合わせ適正電圧を逸脱する各ノードにおいて、柱上 Tr を自動タップ調整型 Tr に変更した。(下図のとおり)
- ・ 自動タップ Tr の整定値は以下のとおりとした。
 基準電圧上限値 : 106.5V
 基準電圧下限値 : 103.5V

(導入率 30% 時)



(導入率 50% 時)

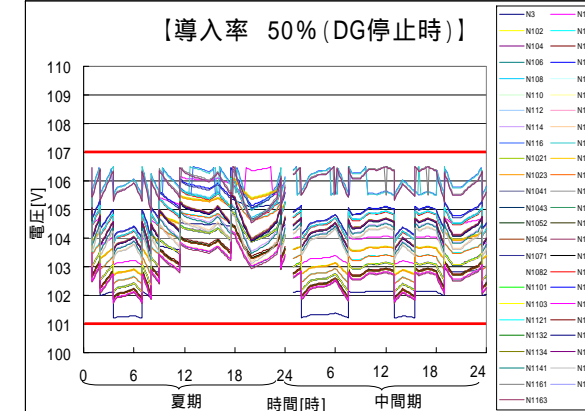
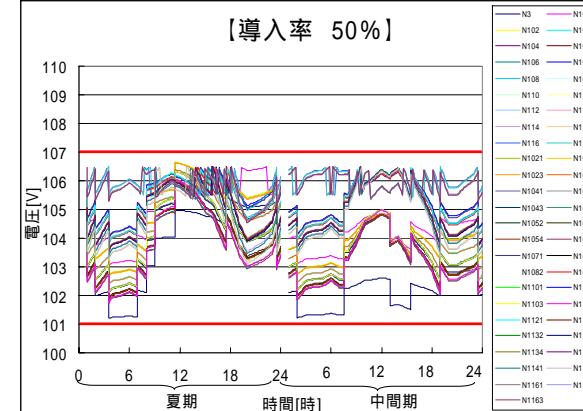
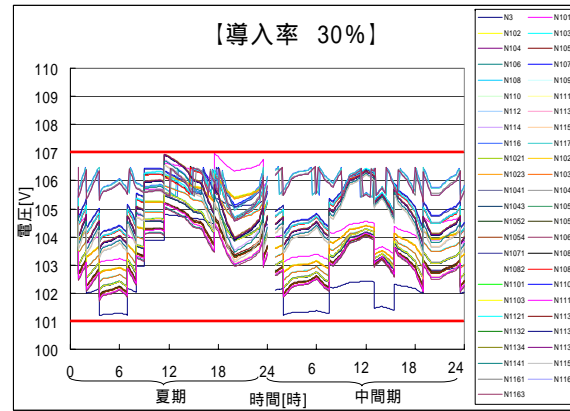


5. 結論

- ・ 本ケースでは、柱上 Tr を自動タップ型に変更することで適正電圧維持可能である。

3. 対策時シミュレーション結果 (時間推移分析)

- ・ 導入率 30%、50% のどちらのケースにおいても、適正電圧逸脱箇所の柱上 Tr を自動タップ調整型に変更することで、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧を維持することができた。また、DG が停止、解列により出力が低下した場合においても、適正電圧幅 101 ~ 107V に電圧が維持できることが分かった。

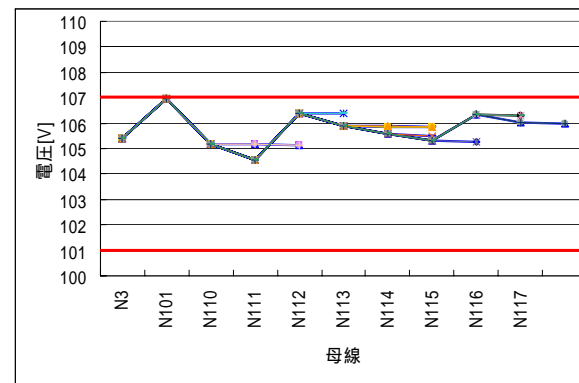


4. 対策時シミュレーション結果 (各地点の電圧推移)

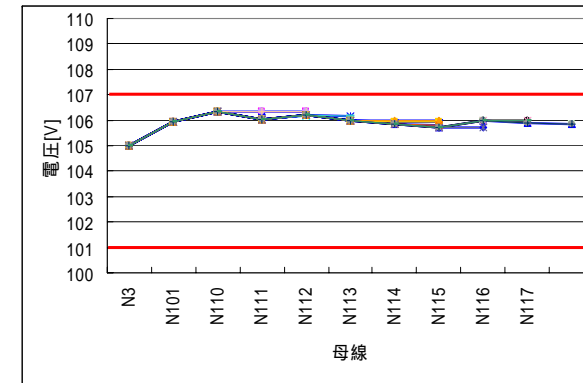
- ・ 最大電圧発生時、最小電圧発生時ともに適正電圧幅の範囲内となっている。

(1) 最大電圧発生時

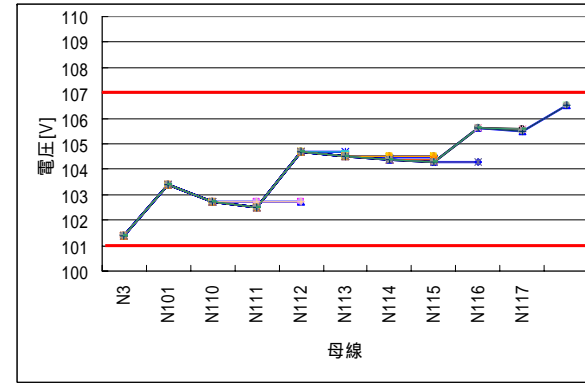
【導入率 30% (夏期 17:30)】



【導入率 50% (夏期 11:30)】

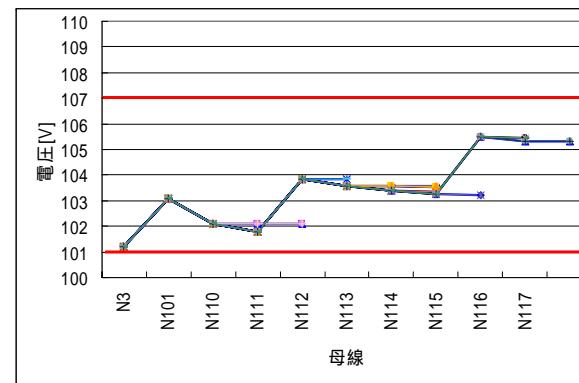


【導入率 50% DG停止時 (中間期 5:50)】

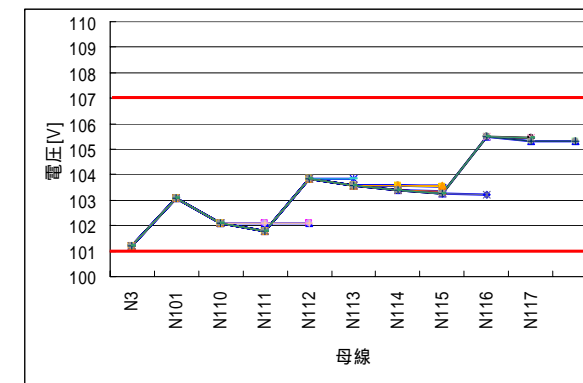


(2) 最小電圧発生時

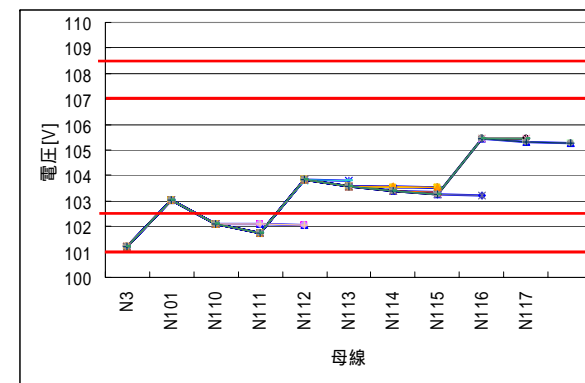
【導入率 30% (夏期 3:30)】



【導入率 50% (夏期 3:30)】



【導入率 50% DG停止時 (夏期 7:00)】



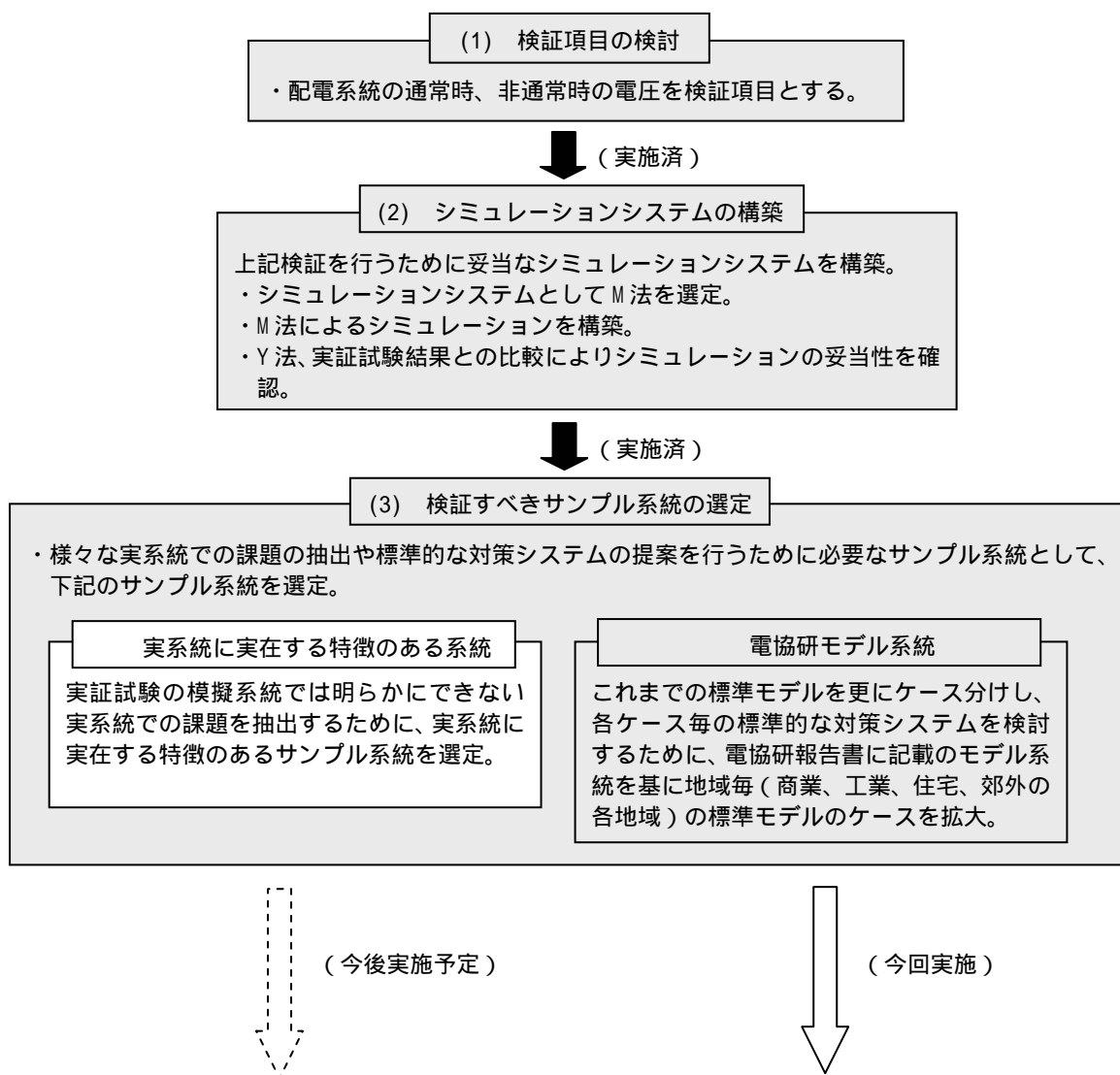
4.2.5 まとめ

実証試験の模擬システムでは明らかにされない実システムでの課題の抽出、様々な実システムモデルで分類した標準的な対策システムを検討するために、サンプルシステムを用いた実システム適用限界、対策効果に関する検証を実施した。

実施内容、及び実施結果の主な要点は下記作業フローに記載のとおりである。


今後は系統の種類、電圧管理基準等の条件の違いなどで更に検証事例を増やし、どのような指標により効果的な対策を分類することができるか更に分析を行う必要がある。


*作業フロー中 箇所
が今年度までに実施(又は一部実施)した箇所



(フローは次ページに続く)

(次ページの続き)

 (今後実施予定)

 (今回実施)

(4) モデル系統の条件選定 (今回は電協研モデル系統による検証での条件選定)

サンプル系統によるシミュレーションを実施するための各種条件(負荷、電圧管理基準、分散型電源の種類・出力)を選定。

負荷

NEDO等で過去に実施されている調査で使用された季節毎の負荷パターンを適用。負荷は系統に均等に分布していると想定。

電圧管理基準

配電系統構成等の実態調査結果から得られた国内電力会社の代表的な基準(または考え方)を基に、以下の手順により系統各部の柱上Trのタップ値と各季節のプロコン整定値を決定した。また、左記の方法により、各季節において分散型電源未導入時に適正電圧を逸脱しないことを確認した。

(系統各部の柱上Trタップ値の決定)

- ・重負荷時の系統各部の電圧値を基に系統各部の柱上Trのタップ値を決定。(重負荷時の送出電圧は6900Vとした。)



(各季節の送出電圧のプロコン整定値を決定)

- ・系統負荷中心点の電圧が各季節の24時間でほぼ一定になるように、各季節のプロコン整定値を決定。




(管理基準の妥当性確認)

- ・各季節において分散型電源未導入時のシミュレーションを行い、系統全体の適正電圧が逸脱しないことを確認した。(適正電圧の範囲はTr内部電圧降下を考慮した上でTr2次側で101~107Vの範囲とした。)

分散型電源の種類・出力


各地域毎に普及が予想される分散型電源を選定。分散型電源の出力パターンは、同期発電機は一定ベース運転、太陽光発電は日射強度に比例した出力とした。また、分布は均等分布と末端分布とした。

 (今回一部実施)

(5) 未対策時の影響確認

7つの電協研モデル系統毎に分散型電源の導入量を系統容量に対する割合(導入率)で変化させ、未対策時のシミュレーションを実施し、分散型電源の普及状況毎の影響を把握。主な結果は以下のとおり。

- ・分散型電源均等分布時の導入率30%、50%での影響について確認を実施し、全てのモデル系統において適正電圧を逸脱する結果となった。
- ・モデル系統毎に個別に分析すると、以下の傾向があることが分かった。
 - ・必ずしも全ての配電系統が適正電圧範囲に余裕がないわけではない。(現行の電圧管理基準は配電線損失の低減などの理由から、適正電圧上限値に近い管理がなされていることから適正電圧の下限値に余裕がある傾向が見られる。余裕があれば、既存設備の調整による対策により、より経済的な対策が実施できる可能性がある。)
 - ・柱上Trタップ変更点の多い配電系統(言い換えれば、長巨長の配電系統)が適正電圧を逸脱しやすい傾向がある。(適正電圧幅に余裕がなく、機器設置による対策が有効となる可能性がある。)
 - ・配電系統の一部の狭いエリアだけが適正電圧を逸脱するケースもある。(スポット的な対策により、より経済的な対策が実施できる可能性がある。)

 (今回一部実施)

(フローは次ページに続く)

(次ページの続き)

↓ (今回一部実施)

(6) 対策方法検討

実証試験の実施内容、技術動向調査結果、及び未対策時の影響確認結果より以下のとおり対策システム毎に対策機器を選定。
また、各対策機器、システムのモデルを構築した。
但し、本対策によるシミュレーションで改善点が生じれば、都度対策方法を変更していくものとした。

既存設備の改良

- ・ 柱上 Tr のタップ変更
- ・ LRT プロコン整定値見直し

自端制御システム

- ・ SVR 設置
- ・ SVC (または ShR) 設置
- ・ LBC 設置
- ・ LRT (プロコンを LDC に変更)
- ・ 柱上 Tr (自動タップ型) 設置

集中制御システム

- ・ SVR 設置
- ・ SVC (または ShR) 設置
- ・ LBC 設置
- ・ LRT 遠隔制御

↓ (今回一部実施)

↓ (今後実施予定)

(7) 対策時の効果確認・分析

モデル系統毎に分散型電源の導入量を系統容量に対する割合(導入率)で変化させ、各対策時のシミュレーションを実施し、分散型電源の普及状況毎の対策効果を把握。
今回は既存設備の改良による対策と自端制御による対策の効果を3つのモデル系統で実施した。主な結果は以下のとおり。

- ・ 既存設備の改良となる柱上 Tr のタップ変更見直しや LRT プロコン整定値見直しで対応可能な系統(今回のケースでは C01 系統)が存在することが確認された。
- ・ これに対し、既存設備の改良では対策不可能であり、実証システムで検証している機器による対策が有効な系統(今回のケースでは B03、D01 系統)も存在することが確認された。従って、実証システムの実系統の適用範囲を検討する場合は、既存設備の改良も考慮に入れ適用範囲の明確化を行っていく必要があることがわかった。
- ・ 今回の検討は、上記傾向をつかむための数例の検討であったが、今後は系統の種類、電圧管理基準等の条件の違いなどで更に検証事例を増やし、どのような指標により効果的な対策を分類することができるか更に分析を行う必要がある。

また、今後は対策機器の設置位置の変更や複数の対策機器の組合せによる対策方法の変更などにより、より効果の高い対策方法への改善を検討し、シミュレーションを行う。

↓ (今後実施予定)

(8) 標準的な対策システム提案・実系統での課題抽出

対策時の効果確認・分析により、

- ・ 実証試験の模擬系統では明らかにされない実系統での課題、改善策を抽出予定。
- ・ 様々な実系統モデルで分類した標準的な対策システムを提案予定。

第5章 システム経済性評価

今回のシステム経済性評価は、第4章で実施した実系統適用評価において検討した下記の対策について実施した。LBCを含めその他の対策に関するシステム経済性評価は、後年度実施する計画である。

- (1) 柱上 Tr タップ変更
- (2) LRT プロコン整定値の見直し
- (3) SVR 設置
- (4) SVC 設置
- (5) 自動タップ柱上 Tr 設置

5.1 各種対策費用算定方法

各種対策における経済性評価を実施するための算定方法を各種対策毎に定めた。対策費用は基本的に対策機器の新規購入価格、及び対策工事費とした。

(1) 柱上 Tr タップ変更

分散型電源の普及により適正電圧を逸脱したエリアの柱上 Tr のタップを変更する対策における対策費の算定方法は下記とする。なお、配電系統構成等の実態調査結果から、例えば6,900V タップのない柱上変圧器を採用している電力会社や1タップで運用している電力会社への本対策の適用時には、タップ変更が可能な Tr の新たな購入を実施する可能性があるが、今回の検討では考慮しないこととした。

タップ変更による対策費用は、新規に Tr を購入、取替を行わず、既存の Tr のタップを変更することのみで対応可能とした場合、以下の式にて算出されると考えられる。

(タップ変更による対策費用 [千円])

$$= (\text{対策工事が必要な柱上 Tr 数 [バンク]}) \times (1 \text{ 箇所あたりの工事費用 [千円/バンク]})$$

従って、上式の各項目の算出の考え方を以下に示す。

) 対策工事が必要な柱上 Tr 数の算定

対策工事が必要な柱上 Tr 数は、シミュレーション前提条件時の該当配電線における負荷配分量に比例して分布するものと仮定すると、下式にて算定することができる。

(対策工事が必要な柱上 Tr の数 [バンク])

$$= (\text{対象配電線の全 Tr 数 [バンク]}) \times (\text{対策工事が必要なバンクの負荷配分}(\%)) / 100$$

供給地域、系統容量（大容量、一般容量）に分類された配電線の平均的な柱上 Tr 数については、配電系統構成等の実態調査【配電設備】 - 【柱上変圧器】 - 【1 回線あたりのバンク数】より、下記の結果が得られている^{1 2}。本報告では平成 2 年と平成 17 年の 2 種類の調査において妥当性は確認されている。今回シミュレーションに用いた配電系統モデル系統は、供給地域、系統容量（大容量、一般容量）に分類されたモデル系統を採用していることから、一般回線と大容量回線における分類がなされている電協研第 46 巻第 2 号のバンク数を対象配電線の全 Tr 数として算定を実施することとした。

表 電気協同研究に記載の各種調査結果

供給地域	1 回線あたりの平均バンク数		
	電協研 第 60 巻第 2 号*1 (H17 年)	電協研 第 46 巻第 2 号*2 (H2 年)	
		一般回線	大容量回線
繁華街	55	43	52
工業地域	89	57	89
住宅地域	154	113	175
農山村	180	185	263
サンプル 回線数	102 回線	35 回線	31 回線

シミュレーションに用いた繁華街、大容量回線のモデル系統による対策工事が必要な柱上 Tr の数の具体的な算出例を以下に示す。

図 1 に示すようなエリアで柱上 Tr のタップ変更を行う場合、回線全体の負荷に対する工事対象エリアの負荷の割合が 25%であったとすると、対策工事に必要な柱上 Tr 数は下記により 13 バンクと算定される³。

(対策工事に必要な柱上 Tr の数 [バンク])

$$= (52 \text{ [バンク]}) \times 25\% / 100 = 13 \text{ [バンク]}$$

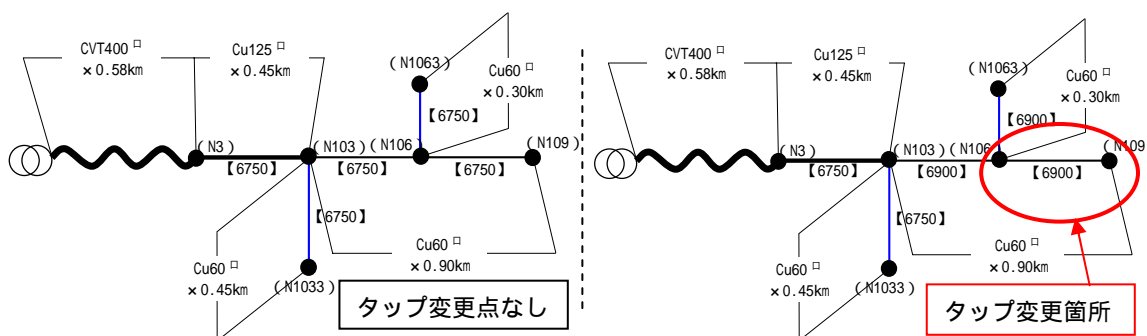


図 1 柱上 Tr タップ変更対策前（左図）及び対策後（右図）

¹ 電気協同研究第 60 巻第 2 号「配電系統における電力品質の現状と対応技術」, H17.3, P37

² 電気協同研究第 46 巻第 2 号「配電系統における高調波とその対策」, H2.6, P134

³ このケース（繁華街・大容量回線）では全 Tr 数を 52 個と仮定

) 新規購入価格

柱上 Tr のタップ変更点見直し対策において新規購入価格は考慮しない。

) 1 箇所あたりの工事費用

柱上 Tr のタップ変更工事は、無停電工事により実施されるものとして算定した。

タップ変更工事の 1 箇所あたりの工事費用

対策方法	費用	根拠
タップ変更工事	35 [千円/バンク]	・無停電工事によるタップ変更 ・無停電切替装置や移動変圧器の使用を想定

* エネ総工研独自調査による

(2) LRT プロコン整定値の見直し

変電所 LRT プロコン整定値の見直しによる対策において機器の新規購入費及び工事費は発生しないものとし、直営による整定作業のみとした。

LRT プロコン整定値の見直し費用

対策方法	費用
LRT プロコン整定値見直し	[千円/回] : 整定値変更業務

(3) SVR 設置

SVR 設置による対策費用の算定は設置する台数に比例することとした。なお設置する SVR の容量については、配電系統構成等の実態調査結果から標準容量としての採用が多い 3,000kVA とした。

また、SVR の種類については分散型電源対応型の対応型とし、調査結果から下記対策費用を用いる。

SVR 設置対策費用

対策方法	費用	根拠
SVR 設置	7000 [千円/台]	・SVR 機器代 (分散型電源対応型) 3000kVA : 5000 [千円/台] ・設置工事費 H 柱、開閉器 1 台設置含む : 2000 [千円/台]

* エネ総工研独自調査による

(4) SVC 設置

SVC による対策時の費用算出方法は下記とする。

) 対策に必要な SVC 台数の算出

シミュレーションにより導出された最大必要容量 (kvar) から、現状で最も一般的な容量

の SVC を設置した場合に必要な台数を算出する。

現状で最も一般的な SVC 容量については、配電系統構成等の実態調査、国内技術動向調査の結果から 300kvar を採用するものとし、整数に切り上げた台数を設置するものとする。

・必要台数算出例

シミュレーションにより導出された必要 SVC 容量が 780kvar の場合

$$\text{SVC 必要台数} = (780/300) \text{ 台} = 2.6 \text{ 台} \quad 3 \text{ 台}$$

) 1 台当たりの設置費用

SVC1 台設置あたりに必要な新規購入費用、及び工事費用は下記とする。なお、設置工事費については SVR 設置費用と同額とした。

SVC 設置対策費用

対策方法	費用	根拠
SVC 設置	17000 [千円/台]	<ul style="list-style-type: none"> ・ SVC 機器代 自励式 300kvar : 15000 [千円/台] ・ 設置工事費 H 柱、開閉器 1 台設置含む : 2000 [千円/台]

* エネ総工研独自調査による

(5) 自動タップ型柱上 Tr 設置

自動タップ型柱上 Tr は現状において実適用されていないため、下記費用を仮定することとした。なお、対策に必要なバンク数の算定には「柱上 Tr タップ変更」対策の費用算出時と同様な手法を用いた。

自動タップ型柱上 Tr 設置対策費用

対策方法	費用	根拠
自動タップ型柱上 Tr 設置	目標 1000 [千円/バンク]	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動タップ型柱上 Tr 機器代 サイリスタによるタップ調整、外付けタイプ : 500 [千円/バンク] ・ 設置工事費 : 500 [千円/バンク] 無停電工事による柱上 Tr 取替と同程度とした。

* エネ総工研独自調査による。設置工事費については再度、電力会社の実態の再調査が必要。

(6) 対策費用まとめ

各対策費用について再掲する。

各対策費用まとめ

対策方法	費用		根拠
柱上 Tr タップ変更	35	[千円/バンク]	・無停電工事によるタップ変更 ・無停電切替装置や移動変圧器の使用を想定
LRT プロコン整定値見直し		[千円/回]	・直営作業のため業務量のみ
SVR 設置	7000	[千円/台]	・SVR 機器代 3000KVA : 5000 [千円/台] ・設置工事費 H 柱、開閉器 1 台設置含む : 2000 [千円/台]
SVC 設置	17000	[千円/台]	・SVC 機器代 自励式 300kvar : 15000 [千円/台] ・設置工事費 H 柱、開閉器 1 台設置含む : 2000 [千円/台]
自動タップ型柱上 Tr 設置	目標 1000	[千円/バンク]	・自動タップ型柱上 Tr 機器代 サイリスタによるタップ調整、外付けタイプ : 500 [千円/バンク] ・設置工事費 : 500 [千円/バンク] 無停電工事による柱上 Tr 取替と同程度とした。

* エネ総工研独自調査による。自動タップ型柱上 Tr の設置工事費については再度、電力会社の実態の再調査が必要。

5.2 シミュレーションによる対策の経済性評価

3つの電協研モデル系統にて試算した経済性の結果を以下に示す。

(1) B03 系統（工場地域、DG（同期発電）均等分布・全日運転ケース）

分散型電源導入率に対する対策費用を下表、下図に示す。これらの結果より以下のことが分かる。

- ・本ケースでは、柱上 Tr タップ変更、LRT プロコン整定値見直し、SVR 設置による対策では、適正電圧を維持することができないことから、SVC 設置による対策と自動タップ型柱上 Tr による対策で経済性を比較した結果、分散型電源導入率 30%、50%のいずれにおいても自動タップ型柱上 Tr による対策が経済的である。
- ・本ケースで、自動タップ型柱上 Tr による対策が経済的であった要因としては、当該配電線は巨長が比較的短く線路リアクタンスが比較的小さいことから、SVC が多くの出力が必要であったことが考えられる。

表 B03 系統における分散型電源導入率に対する対策費

導入率 対策	0%		30%		50%	
	工事数	工事費 [千円]	工事数	工事費 [千円]	工事数	工事費 [千円]
柱上 Tr タップ変更	0	0	対策不可		対策不可	
LRT プロコン	0		対策不可		対策不可	
SVR 設置	0	0	対策不可 ⁴		対策不可 ⁴	
SVC 設置	0	0	3	51,000	6	102,000
自動タップ型柱上 Tr	0	0	16	16,000	38	38,000

*自動タップ型柱上 Tr の工事費については再度、電力会社の Tr 設置工事費の再調査が必要。

⁴ SVR の整定値が適切でない可能性があり、継続検討予定。

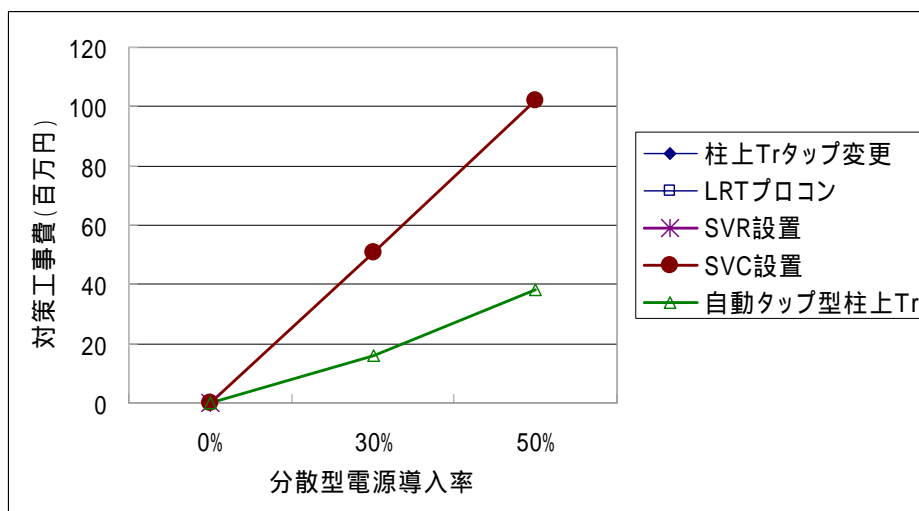
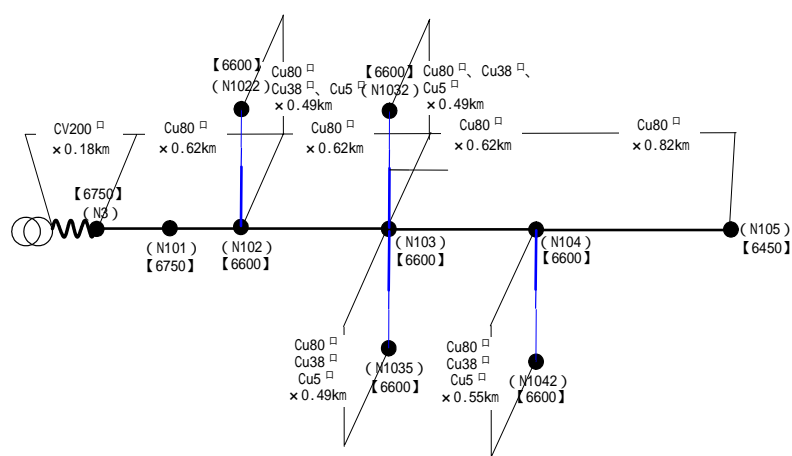


図 B03 系統における分散型電源導入率に対する対策費比較



(2) C01 系統 (住宅地域、DG (太陽光) 均等分布ケース)

分散型電源導入率に対する対策費用を下表、下図に示す。これらの結果より以下のことが分かる。

- ・本ケースでは、検討対象としたすべての対策で適正電圧を維持することができることから、全ての対策で経済性を比較した結果、分散型電源導入率 30%、50%のいずれにおいても最も安価と思われる対策は、LRT プロコン設定の見直しの対策であった⁵。柱上 Tr タップ変更、SVR 設置も比較的安価な対策といえる。

⁵ 今回のシミュレーションは他フィーダを考慮していないため、実系統ではプロコンによる対策ができない場合があることに留意が必要。

表 C01 系統における分散型電源導入率に対する対策費

導入率 \ 対策	0%		30%		50%	
	工事数	工事費 [千円]	工事数	工事費 [千円]	工事数	工事費 [千円]
柱上 Tr タップ変更	0	0	105	3,675	105	3,675
LRT プロコン	0					
SVR 設置	0	0	1	7,000	1	7,000
SVC 設置	0	0	2	34,000	3	51,000
自動タップ型柱上 Tr	0	0	105	105,000	105	105,000

* 自動タップ型柱上 Tr の工事費については再度、電力会社の Tr 設置工事費の再調査が必要。

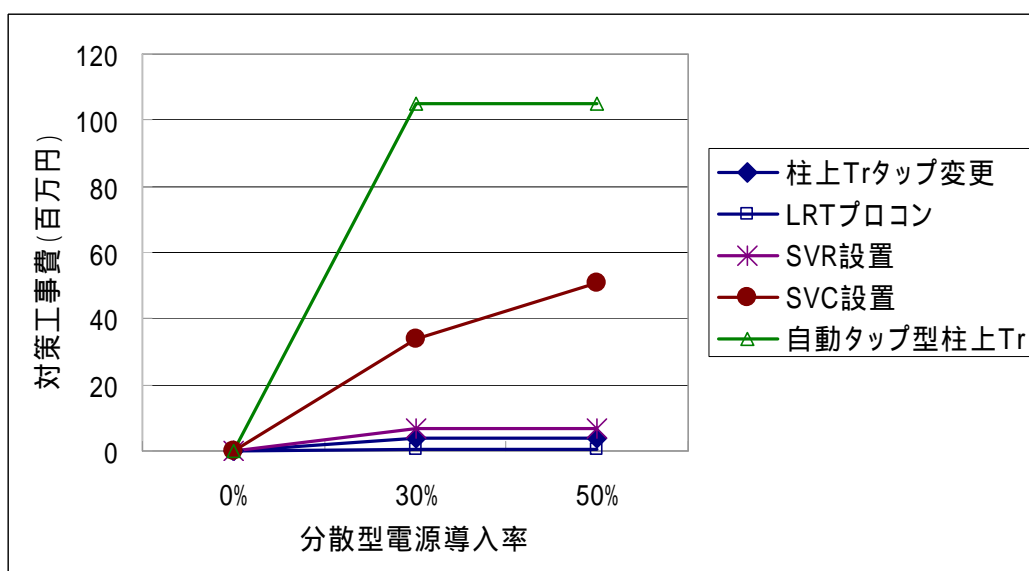
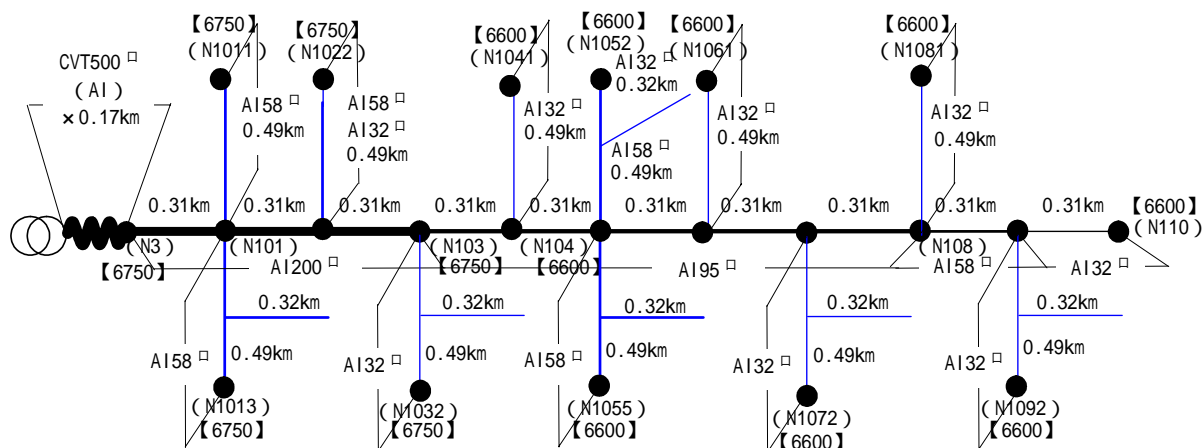


図 C01 系統における分散型電源導入率に対する対策費比較



(参考) C01 系統図

(3) D01 系統（郊外地域、DG（太陽光）均等分布ケース）

分散型電源導入率に対する対策費用を下表、下図に示す。これらの結果より以下のことが分かる。

- ・本ケースでは、柱上 Tr タップ変更、LRT プロコン整定値見直し、SVR 設置による対策では、適正電圧を維持することができないことから、SVC 設置による対策と自動タップ型柱上 Tr による対策で経済性を比較した結果、分散型電源導入率 30%、50%のいずれにおいても SVC 設置による対策が経済的となった。⁶
- ・本ケースで、SVC 設置による対策が経済的であった要因としては、当該配電線は亘長が比較的長く線路リアクタンスが比較的大きいことから、SVC が多くの出力が必要であったこと、適正電圧を逸脱したエリアが広がったことから柱上 Tr 毎に対策を要する自動タップ型柱上 Tr への取替数が多くなったことなどが考えられる。

表 D01 系統における分散型電源導入率に対する対策費

導入率 対策	0%		30%		50%	
	工事数	工事費 [千円]	工事数	工事費 [千円]	工事数	工事費 [千円]
柱上 Tr タップ変更	0	0	対策不可		対策不可	
LRT プロコン	0		対策不可		対策不可	
SVR 設置	0	0	対策不可 ⁴		対策不可 ⁴	
SVC 設置	0	0	5	85,000	8	136,000
自動タップ型柱上 Tr	0	0	89	89,000	150	150,000

*自動タップ型柱上 Tr の工事費については再度、電力会社の Tr 設置工事費の再調査が必要。

⁶ 自動タップ型柱上 Tr は現状実適用されてなく、推定価格を用いていることに留意する必要がある。

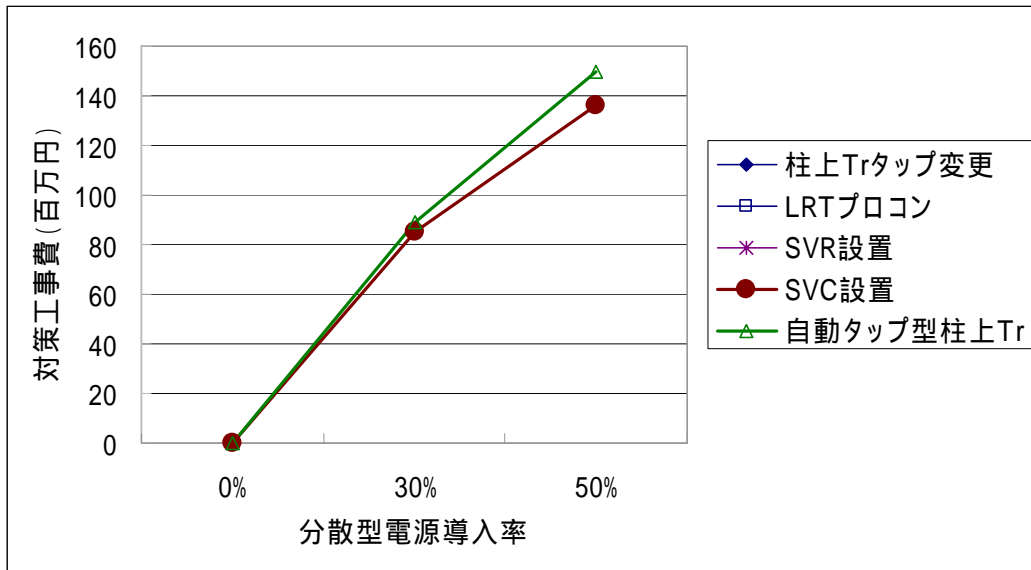
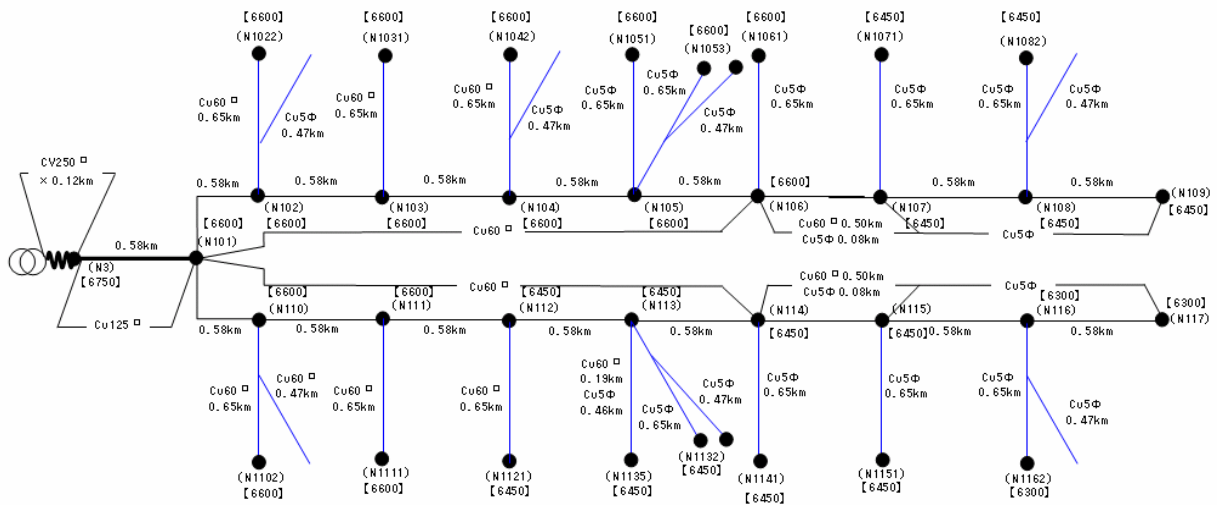


図 D01 系統における分散型電源導入率に対する対策費比較



(参考) D01 系統図

5.3 まとめ

本項においては、技術評価で実施した実系統シミュレーション結果を用い、モデル系統における各種対策効果の経済性評価を実施した。これまでの検討では検討数が少なく一般的な評価を行うことは難しいが、技術的な制約と適正電圧逸脱箇所の範囲、配電系統の特徴（線路リアクタンスなど）が経済性に大きく影響を与える因子であることがわかった。

今後は、サンプル系統による検証数を増やし、また、新規開発の LBC などの対策ケースも含めた経済性評価を実施していく必要がある。また、単純な工事費のみではなく、運用も含めた総合的な評価を実施することが必要である。

第6章 まとめ

「電力ネットワーク技術実証研究」の効率的、効果的な進捗を図るため、及び実証システムの技術的課題や研究開発の方向性並びに経済性を明らかにするため、「電力ネットワーク技術実証研究」に資する各種調査を実施した。実証研究は今後も継続予定であり、これらの調査結果を今後も活用していくとともに、上記目的達成のために更なる調査を継続していく予定である。

各調査項目毎の実施内容、成果、今後の活用計画は以下のとおりである。

1) 配電系統構成等の実態調査

国内外の配電系統構成等の実態を文献・ヒヤリングにて調査を実施した。調査の結果、実証研究において留意すべき配電系統構成等の実態（分割連系方式、SVRの整定、大型機器設置の課題など）が明らかになった。

これらの成果は引き続き、実証試験における各種条件設定検討の資料に活用していくとともに、実系統適用時の実証システムの有効性、各種課題の明確化のためのシミュレーションに今後、活用していく予定である。

2) 規制・基準等の動向調査

国内外の配電系統の電力品質基準、系統連系基準やLBC開発に関する規制・基準を調査した。調査の結果、LBC開発に資する要求仕様を取り纏めた。

これらの成果は引き続き、対策システムの開発・改良の資料に活用していくとともに、実証システムの各種課題抽出に今後、活用していく予定である。

3) 技術動向調査

国内の配電系統の電圧調整を目的とした機器、システムについて調査し、得失を整理した。整理結果より、実証研究（実証試験、実系統適用評価）に適用すべき機器について提案を実施した。また、国外における対策機器・システムの開発状況が明らかになった。

4) 実証試験の技術評価

実証研究側の提案するLBC仕様に対検討支援を実施した。また、実系統のモデル配電線により各種対策の技術的有効性について、比較評価した。

これらの成果は引き続き、実証研究側のLBC仕様検討や今後の実証試験内容の改善に活用していくとともに、引き続き、実系統適用時の実証システムの有効性の比較評価を行い、各種実系統における代表的な対策システムの提案や技術的課題、運用的課題の抽出に活用していく予定である。

5) システム経済性評価

実系統のモデル配電線により電圧変動問題に対する各種対策の経済性について比較評価した。これらの成果は引き続き、実証研究側の実証試験内容の改善に活用していくとともに、引き続き、実系統適用時の各種対策の経済性について比較評価を行い、実系統適用時の経済的課題の抽出に活用していく予定である。