

スマート・グリッドと“ミッション・クリティカル”

The Smart Grid Policy as Mission Critical

河内 信幸

Nobuyuki KAWAUCHI

はじめに

電力の系統とネットワークは、水道やガスと並んでライフラインを支える重要な社会基盤である。そして、電力のネットワーク・システムは、基幹ネットワークやコンピュータ・システムと同じように、一瞬の停止も許されない“ミッション・クリティカル”なインフラである。それは、電力ネットワークが社会インフラを支えており、私たちの生活にとって不可欠なものだからである。ここに、電力系統を最適化・高度化・多目的化させようとする「スマート・グリッド」の原点がある¹⁾。

「スマート・グリッド」のコンセプトが大きく登場したのは、2005年に欧州委員会(European Commission)が技術開発の枠組みとして「スマート・グリッド・テクノロジー・プラットフォーム」(Smart Grids European Technology Platform)を設立したことに始まる。これによって2020年以降の電力ネットワークを展望した議論やプロジェクトが開始され、翌2006年には欧州連合(European Union)が電力の使用量を可視化するスマート・メーターの導入を各国に要請した²⁾。

また欧州委員会は、2006年に「将来のヨーロッパ電力系統のためのビジョン・戦略」をまとめ、2007年から7年間の予定で、「スマート・グリッド」の実現に向けた技術開発を行う方向性を示した。そして、2010年6月には初めての「スマート・グリッド・サミット」が日本で開催されるとともに、欧州委員会は2011年4月に「スマート・グリッド」の開発と推進に関する政策文書を採択した³⁾。

I 「スマート・グリッド」と再生可能エネルギー

(1) 再生可能エネルギーの現状と課題

このような「スマート・グリッド」に関する論議が国際的に高まったのは、地球温暖化・気候変動対策の重要性から「低炭素社会」(Low-carbon Society)への移行が求められ、化石燃料に依存した従来の環境・エネルギー政策を大きく転換させ、太陽光、風力、バイオマス、地熱などの自然・再生可能エネルギーに基づく、「持続可能な社会」(Sustainable Society)を実現する必要にせまられているからでもある。

“サステナビリティ”というコンセプトは、1992年にブラジルのリオデジャネイロで開かれた地球環境サミット(国連環境開発会議: UN Conference on Environment and Development)で提唱され、そこで採択された「環境と開発に関するリオ宣言」のなかで確立したものであり、「低炭素社会」に向けたパラダイム・シフトが人類共通の課題として急務となったのである。日本でも、政府が2008年7月に「低炭素社会づくり行動計画」を閣議決定し、2009年7月には経済産業省の「低炭素電力供給システムに関する研究会」が報告書を発表している⁴⁾。

国際エネルギー機関(International Energy Agency: IEA)は、2008年版の『世界エネルギー展望』(World Energy Outlook)のなかで、世界の風力発電が2006年の1,300億キロワット時から、2015年には6,600億キロワット時、2030年には1兆4,900キロワット時になると予測しており、2030年には総発電量に占める割合が4.5%にまで達すると展望している。また『世界エネルギー展望』は、太陽光発電についても、2006年に数十億キロワット時規模であったものが、2015年に420億キロワット時、2030年には2,450億キロワット時まで拡大すると推計している⁵⁾。

その一方で、国際エネルギー機関(IEA)は、2008年の“リーマン・ショック”と金融危機を受けて、2009年11月に世界の長期的な石油需要の見通しを下方修正している。また、クリーンテック(環境技術)への資金供給も、全世界で2006年が約1,000億ドル、2007・2008年が約1,500億ドルと増加したが、2008年は金融危機の影響を受けて後半に急ブレーキがかかった⁶⁾。

しかし、世界同時不況の今だからこそ、エネルギー体系の転換が急務であるが、地球温暖化対策と経済成長がトレードオフの関係であってはならない。それは、「スマート・グリッド」が一挙に社会システムを転換させる“魔法”コンセプトと考えるべきでなく、インフラの革新に向けた多くの課題が、21世紀のグローバル社会に求められているからである⁷⁾。

(2) アメリカの再生可能エネルギー

バラク・H・オバマ(Barack H. Obama, Jr.)政権が発足した直後の2009年2月、

上院エネルギー・天然資源委員会 (Senate Committee on Energy and Natural Resources) は、連邦レベルの再生可能エネルギー基準法案の作成に着手した。エネルギー・天然資源委員会の議論は、連邦規制のレベルで電力会社に再生可能エネルギーの導入を義務付けることが明確に打ち出され、2021年までに20%の電力を再生可能エネルギーで賄う方向性が示された⁸⁾。

アメリカの再生可能エネルギーは風力、太陽光、地熱、バイオマスなどの資源であるが、ノースダコタ州、カンザス州、テキサス州の風力資源だけでも、全米の電気需要に対応できるほどであると試算されている。しかし現状では、電量系統を流れる再生可能エネルギーの割合は10%にも満たない状況である⁹⁾。それは、現在の送配電網が再生可能エネルギーを大規模に導入することを前提としたインフラではなく、アメリカの電力システムが余りにも脆弱だからである。そのため、たとえばカリフォルニア州では、13ギガワット時の大規模な太陽光発電設備が電力系統へ未接続のまま建設に移されている。

特に日本などの場合、従来の送配電網は、少数の大規模な発電所から需要家までの電力供給を念頭に置いたものであり、安定した電力の流れを前提としたシステムである。しかし、再生可能エネルギーからの電力供給には波があり、かなり不安定にならざるを得ない。これは、風力や太陽光のような再生可能エネルギーが天候などに左右されやすく、しかも需要地から離れた小規模・分散型のエネルギー源であるため、送電ロスが大きくなる可能性を否定できないからである¹⁰⁾。

したがって、再生可能エネルギーの大規模な導入には、より効率的な送配電網の構築が不可欠であり、「スマート・グリッド」にかかる期待も大きいのである。しかも、再生可能エネルギーによる電力を効率的に利用するには、供給と需要の両サイドが双方向で電力情報を管理し、電力使用を「見える化」する「スマート・メーター」の役割が重要である。

エネルギー省 (Department of Energy : DOE) は、2030年までに電力需要の20%を風力で賄うシナリオを示し、風力発電を約20倍にまで拡大するために必要な技術的課題を提言した。それによれば、まず送電用のインフラ整備が焦眉の課題であるとされ、立地・許認可制度の合理化と風力関連設備の生産力強化が重要であると指摘されている。¹¹⁾

Ⅱ アメリカの電力系統

(1) 電力系統の脆弱性

アメリカでは1980年代以降に電力の自由化が急速に進み、わが国のように発電から送電・配電までを行う垂直一貫型体制のシステムではなく、発電、送配電、小売の

各部門を分離した水平分離型のビジネス・システムが強まった。したがって、日本最大の東京電力の売上高が5兆円を超えているのに対して、日本の3倍の市場を有するアメリカ最大のエクセルロン社 (Exelon Corp.) でも、東京電力の約3分の1の売り上げしかあげていない。

現在のアメリカでは、大規模な電力会社のほかに、卸のみを行う発電会社や、送電や配電を担う会社などを含め、比較的小規模な電力会社が約3,000社ほどあるといわれている¹²⁾。しかし、電力の自由化が競争を激化させてきたことは確かであるが、新たな送電線の敷設には莫大な費用がかかるため、新規のインフラにつながるような送電網の更新は先送りにされてきた。日本では、すでに送電ネットワークに事故時の監視・制御システムが導入され、配電ネットワークでも100%近い自動化が実現しているのに、ヨーロッパ諸国やアメリカではこのような自動化システムになっていない。

アメリカの電力管理・規制体制は、連邦政府の連邦エネルギー規制委員会 (Federal Energy Regulatory Commission) が基本的な方針や政策を打ち出し、1996年の通達によって送電網へのアクセスが自由化され、小売の自由化も急速に進んだ。これは、日本の電力規制システムとまったく異なり、州レベルの公益事業委員会が大きな権限を有しているためである。そして、業界団体の北米電力信用会社 (North American Electric Reliability Corp.) が電力の需給・管理基準を定め、各地域の地域配電委員会 (Regional Transmission Organization) や独立システム管理者 (Independent System Operators) が運用を担っている¹³⁾。

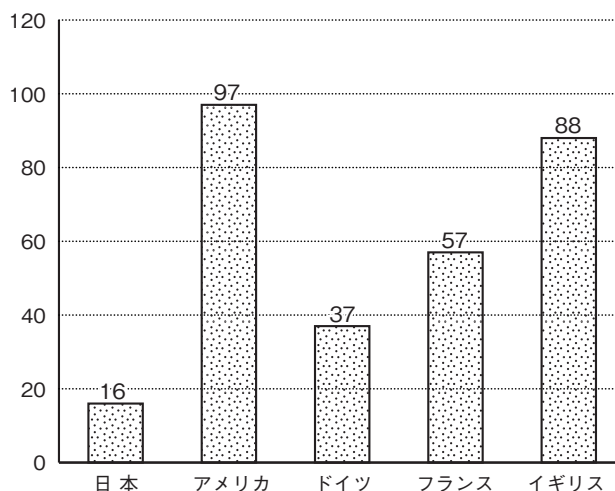
しかし、電力の自由化は大規模な発電所や送電網の建設を遅らせることになり、電力ネットワーク・システムの老朽化から、ITバブルによる電力需要の増加に対応できない事態となった。しかも、エンロン (Enron Corp.) などのエネルギー関連会社が電力取引を投機の対象としたために卸売価格が高騰し、“ミッション・クリティカル”な電力系統の脆弱性が再認識された。そして、2001年にはカリフォルニア州一帯の輪番停電、2003年にはカナダのオンタリオ州にまで及んだ北東部全域の大停電などが象徴するように、アメリカでは、21世紀になっても、日本では考えられないほどの大規模な電力危機が頻発した¹⁴⁾。

特に2003年に起きた北東部全域の大停電では、伸びた木の枝が送電線に接触したことから電力障害が連鎖して広がった。265の発電所で500ものタービンが停止したが、そのうちの22カ所は原子力発電所であり、発電設備の復旧には2週間もかかった。ライフラインはストップして生活に支障をきたし、鉄道や航空のダイヤも乱れて危機的な状況となった。日本の電力ネットワーク・システムの安定性は世界でも定評があるが、アメリカの平均停電時間は、第1図のようにヨーロッパ諸国に比べても際立って高くなっている¹⁵⁾。

アメリカでは、変電機や送電線の約70%は築25年以上、遮断機の60%以上が築30年以上も経過しているといわれており、すでに早くから送配電網の老朽化が叫ばれて

きた。エネルギー省 (DOE) によれば、老朽化した電力障害によってビジネスや工場が被る損害は年間1,000億ドルにも達すると報告されている。

第1図 停電時間の国際比較



[備考] 日本：2007年実績, アメリカ・ドイツ・イギリス：2006年実績, フランス：2004年実績

[資料] 電気事業連合会「停電時間の国際比較」
 < http://www.fepec.or.jp/present/supply/antei/sw_index_02/index.html >

第1表 アメリカのインフラ評価 (アメリカ土木学会)

インフラの種類	ランク	インフラの種類	ランク
航空	D	公園	C-
橋	C	鉄道	C-
ダム	D	道路	D-
上水道	D-	学校施設	D
電力	D+	固形廃棄物	C+
有害廃棄物	D	交通機関	D
内陸水路	D-	下水道	D-
堤防	D-	総合評価	D

[備考] Dは、評価が非常に低いことを示している。

[資料] American Society of Civil Engineers, *Report Card of America's Infrastructure*
 < <http://www.infrastructurereportcard.org/> >

要するに、アメリカの電力ネットワークは、21世紀の情報通信技術 (ICT) システムに対応できるような社会インフラになっていないのであり、従来の電力ネットワークをそのまま維持・更新していくとすれば、今後20年間で460億ドルから1,170億ドル

の経費がかかると試算されている。しかもアメリカでは、第1表のように多くの社会インフラの脆弱性が早くから指摘されており、情報通信の「ユビキタス社会」に向けて、インフラを革新させる「スマート・グリッド」にかかる期待は大きいのである¹⁶⁾。

(2) ブッシュ政権と「スマート・グリッド」

すでに、ジョージ・W・ブッシュ (George W. Bush) 政権のもとで、エネルギー需給の安定化を図る方針が強まり、そのなかで「スマート・グリッド」を推進する動きも出てきた。エネルギー省 (DOE) は、エンロン問題がクローズアップされたこともあって、2003年3月に電力送配電局 (Office of Electric Transmission and Distribution) とエネルギー保証局 (Office of Energy Assurance) を設置した。

そして、2003年の北東部大停電を受けて、2005年には電力送配電局とエネルギー保証局を統合する形で、電力供給・エネルギー信用局 (Office of Electricity Delivery & Energy Reliability: OE) が設立された。この電力供給・エネルギー信用局 (OE) は、国立エネルギー技術研究所 (National Energy Technologies laboratory: NETI) と協力しながら、今日まで「スマート・グリッド」の推進役を担ってきている¹⁷⁾。

すでにDOEは、2002年に「全国トランスミッション・グリッド研究」(National Transmission Grid Study) を出していたが、2003年7月には「GRID2030」を発表し、第2表のような国家レベルで電力システムを強化するビジョンを示した。この「GRID2030」では、100年先の電力ビジョンとして送電ネットワークの強化が謳われ、「国家電力供給技術ロードマップ」(National Electric Delivery Technologies Roadmap) の開発が提言された¹⁸⁾。

そして、この「GRID2030」を受ける形で、DOE/OEは、2004年1月に「国家電力供給技術ロードマップ」を発表し、「スマート・グリッド」の具体的な推進行程を明らかにした。その結果、関係機関や民間企業との連携が開始され、2007年1月以降になると、国立エネルギー技術研究所 (NETI) が、「現代のグリッド構想」(A Vision for Modern Grid) と題する、「スマート・グリッド」に関わる戦略資料を公表し始めた¹⁹⁾。しかも、電力システムの安定化を支援する非営利組織も「スマート・グリッド」に向けて動き出し、カリフォルニア州パロアルトの電力研究所 (Electric Power Research Institute) は、2003年8月に「未来のための電力セクター・フレームワーク」(Electricity Sector Framework for the Future)、2004年6月に「電力技術ロードマップ」(Electricity Technology Roadmap: Meeting the Critical Challenges of the 21st Century) などの提言を発表した²⁰⁾。

このような「スマート・グリッド」の推進に向けた急展開は、2003年夏から原油価格の高騰が著しくなり、ブッシュ政権がエネルギー問題を重要な政策課題としたことの表れであった。その結果、2005年8月には1992年以来13年ぶりで包括的な「エネルギー政策法」(Energy Policy Act) が成立し、ブッシュ大統領は、ニューメキシコ州

のサンディア国立研究所 (Sandia National Laboratory) で行われた署名式典で、経済成長や安全保障のために電力システムを強化する意義を強く訴えた。2005年の「エネルギー政策法」では、老朽化した送電ネットワーク設備の更新、増大する電力需要に対する設備利用効率の向上など、インフラの根幹に関わる対策とともに、需要制御（デマンド・レスポンス）に向けた、電力のピークカットや負荷移動などを行う具体策も立案された²¹⁾。

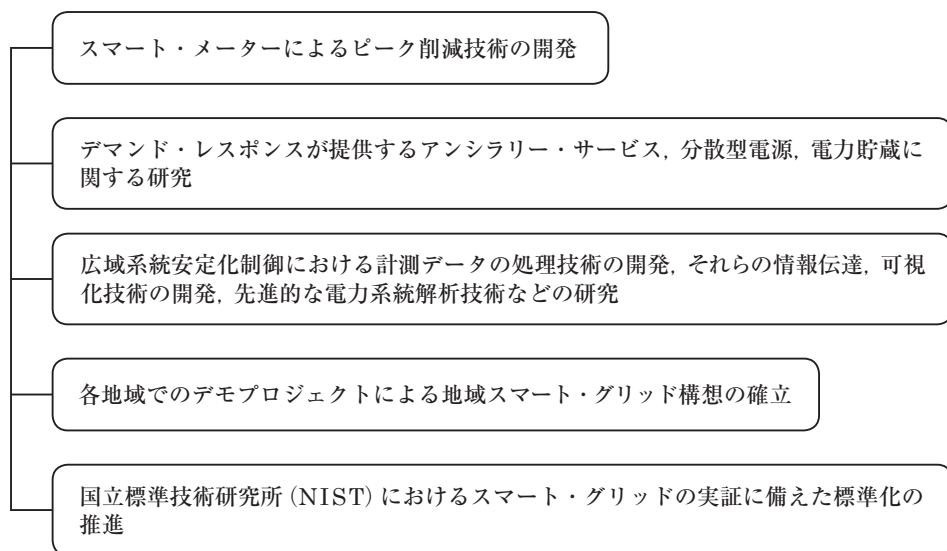
第2表 「Grid 2030」が提起する研究開発・実証構想

分野	分野	概要
Grid 2030 アーキテク チャー	基盤	<ul style="list-style-type: none"> ・アーキテクチャーのデザインの評価、選択 ・重要技術の研究開発の加速化 ・次世代技術に関わる製造インフラの開発他
	地域間連系	<ul style="list-style-type: none"> ・高速ネットワーク評価計画、運用、安定性、信頼性に関わるツールと技法の開発 ・都市、郊外、農村での標準配電システム・モデルの開発 ・自己修復アーキテクチャーの概念設計の決定他
	地方配電	<ul style="list-style-type: none"> ・最終利用機器・製品での“ride-through”能力の開発 ・既存インフラの改善 ・双方向の電流のための新たな保護スキームの開発他
重要技術	コンダクター	<ul style="list-style-type: none"> ・先進コンダクターのための新素材の開発他
	高温超伝導	<ul style="list-style-type: none"> ・高温超伝導ケーブル、コンダクター、変電器などの開発実証等
	電力貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> ・コスト削減のための各種電力貯蔵機器の製造プロセスの調査 ・先進バッテリー、フライホール、キャパシタなどを開発実証等
	分散インテリ ジェンス管理	<ul style="list-style-type: none"> ・インテリジェント・センサーの開発 ・自己修復機能等のためのインテリジェント管理システムの開発 ・自動化された最終利用製品のための管理システムの開発等
	パワーエレクト ロニクス	<ul style="list-style-type: none"> ・分散エネルギー利用のためのパワーエレクトロニクス機器開発 ・配電システム運用のためのパワーエレクトロニクス機器開発等
先進技術受容 促進	技術移転	<ul style="list-style-type: none"> ・産業界による実証プロジェクトの拡充 ・利益創出可能なビジネスモデルの開発等
	教育ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> ・関係者間での問題意識の醸成 ・電気工学プログラムを念頭に置いたカリキュラムの作成他
電力市場運用 強化		<ul style="list-style-type: none"> ・電力配電システム運用の工学・経済モデルの開発、実証、普及 ・多量のリアルタイム・データの収集、配信の情報システム開発 ・連邦及び州政府の規制への反映他

【資料】 US Department of Energy, *Office of Electric Transmission and Distribution, Grid 2030: A National Vision for Electricity's Second 100 Years* (July 2003)。市川類「米国におけるスマート・グリッドを巡る動向」JETRO/IPA NY「ニューヨークだより」(2009年2月)、7-8頁。

さらにブッシュ政権は、2007年12月に「エネルギー自立・安全保障法」(Energy Independence and Security Act)を成立させ、そのなかで第2図のような「スマート・グリッド」支援策が明記された。こうして連邦政府も「スマート・グリッド」への構想を具体化させることになり、2008年にはエネルギー省(DOE)が『スマート・グリッド入門』(*The Smart Grid: An Introduction*)を作成し、ワークショップやフォーラムを開催して国民世論に訴えるとともに、IBM(International Business Machines Corp.)やジェネラル・エレクトリック(General Electric Co.: GE)などの関連企業にも強く働きかけた²²⁾。

第2図 「エネルギー自立・安全保障法」(2007年)の「スマート・グリッド」支援策



[資料] < <http://energy.gov/oe/downloads/title-xiii-smart-grid-sec-1301-1308-statement-policy-modernization-electricity-grid> >

また、DOEの電気事業諮問委員会(Electricity Advisory Committee: EAC)は、オバマの当選が決まった2008年12月、『スマート・グリッド—新しいエネルギー経済を実現するもの』(*Smart Grid: Enable of the New Energy Economy*)を発表し、「スマート・グリッド」が従来のエネルギー体系を転換させて大きな経済効果を生むものであると呼びかけた²³⁾。

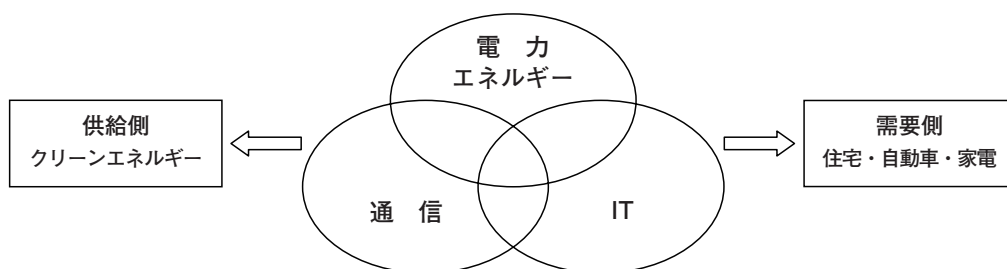
Ⅲ オバマ政権と「スマート・グリッド」

(1) 「スマート・グリッド」のコンセプトとビジネス参入

「スマート・グリッド」は、20世紀末から急速に発展した情報通信技術（Information and Communication Technology：ICT）を使って、送電ネットワークや配電ネットワークなどの電力系統を最適化し、高度化・多目的化した社会インフラに転換させようとするものである。つまり「スマート・グリッド」は、第3図のようにエネルギーとコミュニケーション、そしてITとの融合であり、クリーンテックの分野からコミュニティ・ネットワークのITビジネスとして注目が集まってきた。

グーグルやマイクロソフトなどがいち早く「スマート・グリッド」に参入したのもそのためであり、すでにグーグルは、2009年2月から「グーグル・パワー・メーター」（Google Power Meter）という電力管理ツールを提供し、マイクロソフトも、2009年6月から「マイクロソフト・ホーム」（Microsoft Hohm）というデータの収集・分析サービスを開始している。そして、8つの州で電力事業を展開するエクセル・エナジー（Xcel Energy）社は、約340万の顧客世帯すべてを対象にして、「マイクロソフト・ホーム」を使用して情報提供を行うクラウド型のスマート・メーター・サービスを展開している。さらにグーグルも、同じようにスマート・メーターの普及に取り組み、ジェネラル・エレクトリック（GE）などの電力会社と連携して、電力消費量の“見える化”を推進させようとしている²⁴⁾。

第3図 スマートグリッドに関わる産業



〔出所〕 福井エドワード「スマートグリッド入門—次世代エネルギービジネス—」（アスキー・メディアワークス、2009年）、99頁

さらに、ドイツの多国籍企業のシーメンス（Siemens AG）は、2014年までに「スマート・グリッド」ビジネスを通じて850億ドルの売り上げを目標に掲げ、IBMも、オバマ政権の発足にあわせて「スマート・プラネット」（Smarter Planet）の大キャンペーンを展開してきた。世界最大の通信機器メーカーであるシスコ・システムズ（Cisco

Systems, Inc) は、2009年5月に自社戦略の「スマート・グリッド・ソリューションズ」(Smart Grid Solutions) を発表し、「スマート・グリッド」の基盤となる通信ネットワークの規模がインターネットの1,000倍にも上る可能性がある」と展望した。そして、ジェネラル・エレクトリック社 (GE) は、すでに「スマート・メーター」の開発と普及に多くの実績を上げてきている²⁵⁾。

アメリカでは、「スマート・グリッド」が叫ばれる前から、地域コミュニティ内のシステムとして、地産地消型の電力網である「マイクロ・グリッド」の実験が行われてきた。「スマート・グリッド」はこれらの最適化・統合化とネットワーク化を行うものであり、オバマ大統領は、このような「スマート・グリッド」を大容量送電網の「スーパー・グリッド」でつなぎ、全米に壮大な電力ネットワーク・インフラを構築する夢を抱いている。広大な国土のアメリカでは、太陽光エネルギーのカリフォルニア州やネバダ州、風力発電に適したテキサス州など、自然・再生可能エネルギーの豊富な地域がたくさんあり、「スーパー・グリッド」が構築されれば、余剰電力を大都市の消費地に送り込むことができるからである²⁶⁾。

「スマート・グリッド」のシステムは、風力発電や太陽光発電と、プラグイン・ハイブリッド (PHEV) 車、家電機器などを、スマート・メーターをインターフェースにして配電ネットワークとの統合・制御を行う。スマート・メーターは、単なる検針の自動化 (Automatic Meter Reading : AMR) を果たすツールではなく、様々な機器の通信や制御を行い、「スマート・グリッド」の重要なアプリケーション機能を果たすことになる。ダラスに本部を置く市場調査・コンサルティング会社のパークス・アソシエイツ (Parks Associates) 社によれば、アメリカのスマート・メーターは、2009年の550万個から2012年には1,900万個に急増すると推計されている²⁷⁾。

そして、従来のように電力会社から消費者へ一方向の送電だけでなく、ハイテク技術を活用した制御機器やソフトウェアを組み込むことにより、消費者がデマンド・サイド・マネジメント (Demand - Side Management) に基づいて電力会社と双方向で電力をやり取りし、電力の需給調節を効率的に管理・運用するシステムの構築が期待される²⁸⁾。

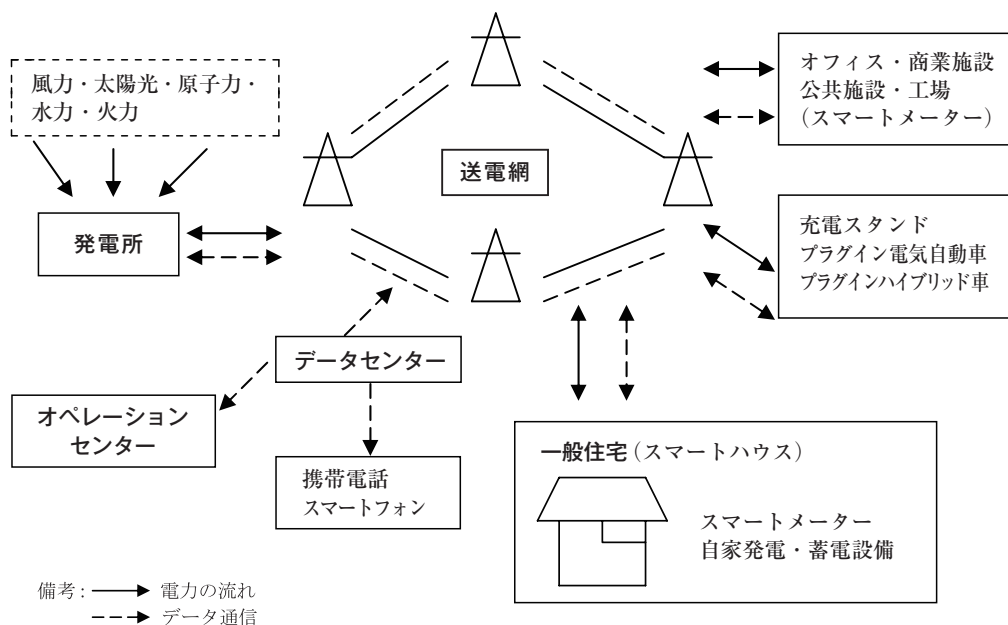
このようなシステムが実現すれば、電力の需要と供給のバランスに応じて、家電機器やオフィスの電力をオン・オフに切り替えることも可能になる。こうしたアイデアはすでに具体化されつつあり、家電機器を監視・制御する「家庭内エネルギー管理システム」(Home Energy Management System : HEMS)、オフィスビルの電力需要を効率化する「ビル内エネルギー管理システム」(Building Energy Management System : BEMS)、電気自動車やプラグイン・ハイブリッド車 (PHEV) を電力網に連結する V2G (Vehicle to Grid) などが代表的なものである²⁹⁾。

しかし、そのためには、家庭やオフィスの発電・消費・蓄電データを集約し、需給予測をシステム化する「エネルギー・データ・マネジメント・システム」(Energy

Data Management System : EDMS) の確立が不可欠である。このようなデータ・システムが機能すれば、電力会社と需要側が相互に情報と電力をやり取りする「スマート・グリッド」によって、電気自動車やプラグイン・ハイブリッド車 (PHEV) の蓄電池が電気系統との間で電力を双方向で流すV2Gシステムも簡単になるはずである³⁰⁾。

このようにして、第4図のような「スマート・グリッド」が整備されれば、全米各地の電力需要をきめ細かく予測し、電力に余力のある地域から不足している地域へと融通することにより、エネルギー使用全体の効率性を高めて省エネの実効力をあげることができる。パシフィック・ノースウエスト国立研究所 (Pacific Northwest National Laboratory) は、乗用車やトラックがプラグイン・ハイブリッド車 (PHEV) に換わり、電力需要が低い夜間の時間帯に充電するようになれば、1日当たり620万バレルの石油消費が抑えられると試算している。これは、アメリカが消費する原油輸入量の約半分にも相当すると推計されている³¹⁾。

第4図 スマート・グリッドの概念図



(2) 「スマート・グリッド」の推進

現在アメリカでは、かつてのインターネット創成期のように、「スマート・グリッド」への期待が高まっている。それは、2008年の大統領選挙で民主党のオバマが当選し、温室効果ガス排出量の削減や再生可能エネルギーへの転換を図る「グリーン・ニューディール」を提唱し、送電ネットワークの増強、スマート・メーターの大量設置などを打ち出したからである³²⁾。

しかも周知の通り、現在のアメリカは原油の約70%を輸入に依存しており、そのうちの約16%が政情不安定な中東諸国からのものであるため、エネルギー問題が国家の安全保障に関わる重要な懸念材料であることは確かである。オバマ大統領は、今後10年以内に中東地域とヴェネズエラからの原油の輸入を止めることを目標に掲げており、そのためには省エネと再生可能エネルギーの導入が不可欠であり、「スマート・グリッド」は重要なインフラなのである。

2009年1月に発足したオバマ政権は、同年2月にはアメリカ再生・再投資法(American Recovery and Reinvestment Act : ARRA)を成立させ、「スマート・グリッド」投資に45億ドル、送電網整備まで含めると約110億ドルの予算が盛り込まれた。そしてオバマ政権は、2009年10月には「スマート・グリッド」に対して34億ドルの政府支出を発表した。この補助金支出はARRAの資金の一部であり、民間からの投資も一緒に支出されることから、「スマート・グリッド」に対する支出は今回だけでも80億ドルに上ると見られた。

そして、オバマ政権は「スマート・グリッド」を補助する採択事業を発表し、約400にもものぼる応募事業のなかから、第3・第4表のような100の「スマート・グリッド」関連プロジェクトを採択した。さらに2009年11月には、アメリカ・エネルギー省(Department of Energy : DOE)も、「スマート・グリッド」の実証プロジェクトに約6億2,000万ドルを充当すると発表した³³⁾。

また、2009年9月21日から24日にかけて、エネルギー省(DOE)のステイーヴン・チュー(Steven Chu)長官らの政府関係者とビジネス界の重鎮が参加し、ワシントンDCで「グリッド・ウィーク」が開催された³⁴⁾。「スマート・グリッド」は数十年にわたって供用されるインフラであり、実用性・耐久性はもちろんのこと、メンテナンスやランニングコストをも考慮したシステム設計が、ビジネス界から強く求められた。

このようなオバマ政権の方針を受けて「スマート・グリッド」の具体化が開始された。商務省・技術局(Technology Administration)の国立標準技術研究所(National Institute of Standards and Technology : NIST)は、2009年5月に「スマート・グリッド機能フレームワーク」(Framework for Smart Grid Interoperability)の第1版を提出し、翌6月には「スマート・グリッド」の標準化を議論する枠組みとロードマップを発表した³⁵⁾。

しかも、「スマート・グリッド」には、スマート・メーター、センサー、ソフトウェア、通信端末など、情報へのアクセスポイントが多く、その運用には膨大なデータが関わることになる。そのため、情報やデータを管理・保護するサイバーセキュリティが不可欠であり、NISTのサイバーセキュリティ・タスクフォースは、2009年9月に「スマート・グリッド・サイバーセキュリティに関するガイドライン」(Guideline for Smart Grid Cyber Security)を決定し、「スマート・グリッド・サイバーセキュリティ戦略仕様」(Smart Grid Cyber Security and Requirements)を作成した³⁶⁾。

第3表 アメリカ再生・再投資法に基づくスマート・グリッド補助事業

	内 容	件数	補助額 (万ドル)	対 象 者
カテゴリー 1	スマートメーター システム整備	31	82,000	Center Point Energy, Baltimore Gas and Electric 等
カテゴリー 2	顧客システム	5	3,000	Honeywell International, City of Tallahassee 等
カテゴリー 3	配電高度化システ ム	13	25,000	Consolidated Edison, Avista Utilities, PPL Electric Utilities 等
カテゴリー 4	送電高度化システ ム	10	15,000	Western Electricity Coordinating Council, New York Independent System Operator 等
カテゴリー 5	関連機器開発	2	3,000	Whirlpool Corporation, Georgia System Operations Corporation
カテゴリー 6	スマート・グリッド 事業の統合	39	215,000	Duke Energy Business Services, Florida Power & Light 等

〔備考〕 2009年10月27日発表。100件、34億3000万ドル

〔資料〕 Department of Energy, Office of Electricity Delivery & Energy Reliability,
Deconery Act : Smart Grid Investment Grants ([http://energy.gov/oe/office-
electricity-and-energy-reliability](http://energy.gov/oe/office-electricity-and-energy-reliability))

第4表 アメリカ再生・再投資法に基づくスマート・グリッド実証計画支援

	内 容	件数	補助額 (万ドル)	対 象 者
カテゴリー 1	スマート・グリッド 地域実証	16	44,000	Battelle Memorial Institute, Columbus Southern Power, Los Angeles Department of Water and Power 等
カテゴリー 2	エネルギー貯蔵実 証	16	18,000	New York State Electric & Gas, Pacific Gas & Electric, Southern California Edison 等

〔備考〕 2009年11月24日発表。32件、6億2000万ドル。〔資料〕 第3表に同じ

このような連邦機関が「スマート・グリッド」の推進母体となり、補助金などの交付が行われるが、民間の電力会社や家電機器メーカーも、「スマート・グリッド」の推進ネットワークを組織している。たとえば、オラクル (Oracle Corp.) やグーグルなどの情報通信会社の「需要制御スマート・グリッド連合」(Demand Response and Smart Grid Coalition)、主に送電会社が組織する「需要制御調整委員会」(Demand Response Coordinating Committee) などが代表的なものである³⁷⁾。

さらに、「スマート・グリッド」が温室効果ガスの削減に寄与し、社会インフラの転換に貢献することをアピールする「スマート・グリーン・グリッド・イニシアティヴ」(Smart Green Grid Initiative) も、「需要対応スマート・グリッド協会」(Association

for Demand Response Smart Grid) とともに、ビジネス業界の垣根を超えて推進役を果たしている。このような役割は、2003年に設立された「グリッド・ワイズ連合」(Grid Wise Alliance) がリードし、電力会社、大手電機企業、学術組織、ベンチャー企業などが協力して企画の標準化、政府に対する規制緩和や財政支援の要請を行ってきた³⁸⁾。

(3) 「スマート・グリッド」の展望

「スマート・グリッド」は、2030年くらいまでの間にインフラ投資が進むにつれて、関連するコミュニケーション、アプリケーションのビジネスを大きく成長させる可能性がある。そのため、最近では「スマート・グリッド」関連産業の市場規模を予測した調査が数多く発表されている。

アメリカの市場調査会社の「ビジネス情報スペシャリスト」(Specialists in Business Information : SBI) は、2009年に60億ドル程度であった市場規模が2014年には3倍近い規模になると予測し、「スマート・グリッド」がグローバルなビジネス・チャンスになると予測している。また、BCCリサーチ社は、2008年に173億ドル規模であった「スマート・グリッド」関連市場が、センサー、計測、制御などの分野で年平均15%のペースで成長していくと予測し、2014年には400億ドルの市場規模になるとみている。さらにモルガンスタンレー(Morgan Stanley)社も、スマート・メーター、送配電の自動化、デマンド・レスポンスなどの分野が急成長し、2010年の200億ドルから2030年には1000億ドルの大台に乗ると試算している³⁹⁾。

このような期待感の高まりにより、シスコ・システムズ(Cisco Systems Inc.) は、2009年5月に「シスコ・スマートグリッド・ソリューションズ」(Cisco Smart Grid Solutions) を発表し、関連するコミュニケーション産業の分野だけでも、その市場規模は2014年までに年間200億ドルに達する可能性があるとして予測した。同じようにグリーンテック・メディア(Greentech Media) も、2009年7月に「スマート・グリッド2010年」(The Smart Grid in 2010 : Market Segments, Applications and Industry Players) を発表し、計測インフラやホーム・エネルギー・マネジメントシステム(HEMS)などを中心に、「スマート・グリッド」関連市場が急成長する見通しを出した⁴⁰⁾。

その他、GTMリサーチ(GTM Research)社が「スマート・グリッド」への投資額を調査し、クリーンテック・グループ(Cleantech Group) も、クリーンテック・ベンチャーのランキングを発表している。このような「スマート・グリッド」への高揚感のはわが国にも押し寄せており、2009年7月には、東京でインプレスR&D社が主催するセミナーとして、「スマート・グリッドとITが切り開く未来」が開かれた。また、野村證券金融経済研究所も、2009年9月に『スマート・グリッド：21世紀型電力網の夜明け』と題する報告書を発表し、日米欧での「スマート・グリッド」関連投資額を試算

している⁴¹⁾。

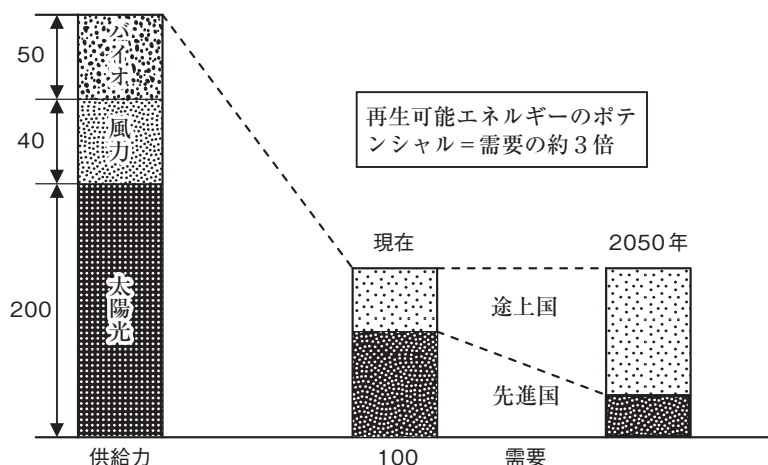
Ⅳ 「スマート・グリッド」への課題

(1) 再生可能エネルギーの課題

第5図のように、再生可能エネルギーのポテンシャルは高いものがあるが、その導入には多くの課題が残されており、「スマート・グリッド」の構築にも様々なイノベーションとソリューションが必要である。現状では、電力会社ごとに再生可能エネルギーの導入量には限界があり、再生可能エネルギーが増えてくると様々なトラブルが起きる危険性が大きい。そのため一般的に、電力系統における最低需要の約10～20%くらいが再生可能エネルギーの導入量の限界と言われている。

周知のことであるが、電気は貯めにくく、消費量と発電量が同時・同量、ジャストインタイムで提供されている。もしも需給にアンバランスが起きると、すぐに火力発電所や水力発電所、さらには原子力発電所や揚水発電所の発電量を調整して対応している。このような集中型電源はあらかじめ発電量を設定することができるのに対して、太陽光や風力が天候に左右されるため、再生可能エネルギーの電源は発電量の見通しが立てにくく、しかも不安定にならざるを得ない。

第5図 再生可能エネルギーのポテンシャル



[備考] 現在の需要を100とした推計
 [資料] 井熊均編『グリーン・ニューディールで始まるインフラ大転換』（印本工業新聞社、2009年）、57頁参照。

たとえば、再生可能エネルギー電源が急激に低下した場合に対処するため、火力発電所をバックアップとして確保しておく必要がある。しかし、火力発電所の発電量は、

ボイラーを安定運転させる最低出力以下にはできず、風力発電の急激な変動に対応できる仕組みにはなっていない。これは、太陽光発電の場合でも同様であり、電力消費量が少ない時期に太陽光の発電量が急増した場合、余剰電力を早めに消費する必要がある⁴²⁾。

さらに、再生可能エネルギーの発電源は小規模・分散型にならざるを得ないのであり、もしも、100万キロワット時級の電子炉1基分の電気を風力発電で賄おうとすれば、電力会社は何万基も風力発電機を導入しなければならない。しかも、そのような多数の発電機をうまく制御し、配電ネットワークを監視して事故対応をシステム化する必要がある。「スマート・グリッド」は、このような課題をクリアーし、高度なインフラ・システムを構築しなければならない。

従来の集中型電源は、蒸気タービンやガスタービン、あるいは水車の回転によって発電機を回して発電する。そこで生み出される電気は、2万ボルト以下の低電圧であり、しかも電流が数万アンペアの大電流である。しかし、電力を送るには高電圧にしなければロスが大きくなるため、通常は発電所内の昇圧変圧器で50万ボルトや100万ボルトにまで電圧を上げなければならない。電圧を上げれば電流が小さくなり、送電線でのロスが少なくなるからである。そして、需要地に近づくと次第に電圧が下がり分岐されていくのであり、家庭に入ってくる時には、電柱に付いている柱上変圧器で100ボルト、または200ボルトに下げられる仕組みになっている⁴³⁾。

発電所から家庭にきている電気は交流であり、一定の周期で電圧がプラスとマイナスに変動する。周波数は電圧のプラスとマイナスの間の振動回数であり、周波数が一定でないと、モーターや発電機の回転スピードが変動して壊れやすくなる。たとえば、落雷などによって送電線にトラブルが起きると、発電所の電気を送れなくなり、需要と供給のバランスが崩れ、周波数が低下していくことになる。その場合、他の発電所から電力を補充する対応策をとることになるが、周波数を元に戻せないと、周波数の変動に弱い発電所が電力系統から切り離されることになる。しかし、事故でなくても夜間と昼間の電力需要は格差があるため、電力会社は周波数を見ながら発電量をジャストインタイムで調整しているわけである⁴⁴⁾。

ところが、再生可能エネルギー、特に太陽光発電や風力発電は、発電量をコントロールすることが困難である。それでも、再生可能エネルギーの導入量が少ない時は電力系統につながっていても需給バランスを何とか調節できるが、導入量が多くなればなるほど、需給バランスが取れなくて周波数の変動が大きくなる危険性がある。従来の集中型電源は需要サイドの電力消費量の変動を見ながら調整すればよかったのに、再生可能エネルギーの導入が増えた場合、太陽光発電や風力発電の変動にもリアルタイムで対応しなければならなくなる。太陽光発電や風力発電でもたくさん集まれば変動も平準化されるが、実際の電力系統の運用には20分先くらいの需給バランスの予測が必要とされている⁴⁵⁾。

(2) 風力発電と太陽光発電

すでに、風力発電設備はかなり大規模に導入されており、電力系統のなかでも上流側の送電線に接続されている場合が多いため、風力発電量の変化によって周波数が変動しても、電圧には大きな影響がでることは少ない。

しかし、家庭やオフィスビルに設置されている太陽光発電の場合は、配電線の電圧にトラブルを起こす危険性が多分にある。現在の配電ネットワークでは、上流の配電用変電所から下流の需要家に向かって一方向に電流が流れ、電圧も家庭に向かっていくにつれて次第に下がっていくということになっている。そのため、太陽光発電のパネルなどが大量に家庭やオフィスビルに設置されると、配電線の末端から変電所へと上流に向かう電気の流れが生れる。

このような電気の逆潮流が起きると、従来は電圧が低くなる配電線の末端で反対にあがってしまう現象が生じ、火花や発熱など、電気機器に様々な障害が出てしまう。そのため、逆潮流がある場合、配電線の電圧を調整する必要がある、「スマート・グリッド」がその調節機能を果たさなければならない⁴⁶⁾。

また、再生可能エネルギーが大量に導入された場合、余剰電力の処理が問題になる。特に、電気使用量が減るゴールデンウィークや年末年始などの軽負荷期には、余剰電力の生れることが避けられない。余剰電力は周波数を上昇させてしまうため、放置しておくと周波数が増え、発電設備が電力系統から切り離されてしまうことになる。これは、大停電につながる危険な状態である。したがって、再生可能エネルギーが大量に普及した場合、大容量の蓄電池が必要となるのであり、「スマート・グリッド」とのインターフェースが重要な鍵となるわけである⁴⁷⁾。

(2) 「スマート・グリッド」の構成と課題

このように再生可能エネルギーの導入にはクリアしなければならない課題が多くあり、電力系統もそれに対応する新たなシステムに転換する必要がある。そのために、「スマート・グリッド」への期待が高まっているのであり、現在のところ、第6図のような見取図が描かれている。

火力発電所や原子力発電所などの集中型電源、メガソーラーやウィンドファームなどの大規模集中型電源から、送電線を通じて電気が街中まで届けられ、街中には蓄電池や蓄熱機器も配備されている。また、家庭には太陽光発電のパネルや電気自動車、ヒートポンプ式給湯器（エコキュート）などが備えられ、電気製品はスマート・メーターなどのスマート・インターフェースとつながっている⁴⁸⁾。

「スマート・グリッド」を構成する上流側では、集中型電源である火力発電所、原子力発電所、水力発電所、揚水発電所などが接続されるとともに、メガソーラー発電所やウィンドファームなども送電ネットワークにつながっている。また、将来的には電

気の貯蔵施設である大容量の蓄電池や圧縮空気貯蔵施設なども接続されるようになるはずである⁴⁹⁾。

ヨーロッパ諸国では電力の自由化が進み、電力会社は発電、送電、配電とそれぞれ役割分担を行って電力を供給している。上流側の送電ネットワークは、送電会社によって建設と運用が行われている。また、アメリカも欧州と同じように電力の自由化と電力会社の分離が行われているが、送電ネットワークの運用は送電会社自身が行う場合と、独立系統運用機関 (Independent System Operator : ISO) が複数の送電会社を連携させて行う場合がある⁵⁰⁾。

送電線にはセンサーや遮断機のスイッチがあり、中央給電指令所や基幹系統給電所などと情報通信システムでつながっている。このようなセンサーやスイッチをまとめて「保護リレーシステム」と呼んでおり、送電線や変圧器などすべての電力設備を守るため、いたるところに導入されている。送電鉄塔の一番上にある架空地線 (Optical Ground Wire : OPGW) には避雷線に光ファイバーが埋め込まれており、事故の状態をリアルタイムでチェックできるようになっている⁵¹⁾。

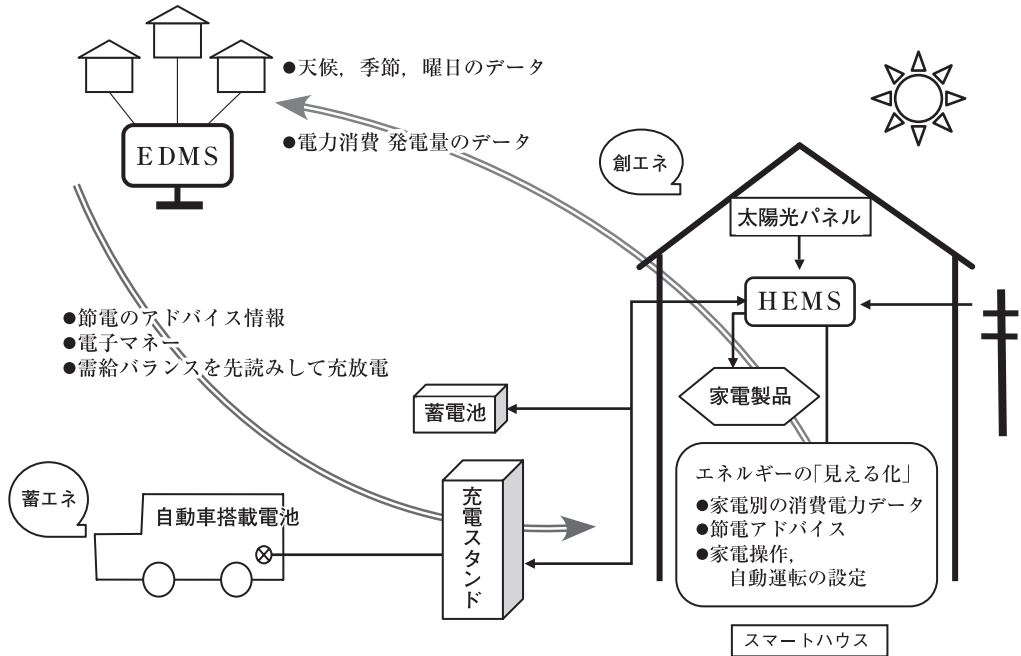
また、マイクロ波無線を用いた通信ネットワークも張り巡らされており、光ファイバー・ネットワークとともに「保護リレーシステム」を構築している。このような「保護リレーシステム」は日本が最も先進的であるが、ウィンドファームやメガソーラー発電所の発電量を調節したり、需要に対応した大規模蓄電池へ充放電の指令をだしたりすることになるのであり、「スマート・グリッド」に不可欠なシステムとなる。しかし、欧米では電力自由化の影響もあって、送電ネットワークに資金が行きわたってないところも多く、その機能は格差が非常に大きい。

次に、配電ネットワークから下流側の構成要素を見ると、配電用変電所、配電線、柱状変圧器、引込み線などはこれまで通りであるが、「スマート・グリッド」には、小規模な風力発電機や小水力発電機、中規模の蓄電池などがつながる。家庭には、従来の円盤型の積算電力計がデジタル型のスマート・メーターとなり、太陽光発電のパネルのほか、ヒートポンプ式の給湯器や燃料電池などの発電装置が装備されていることになる。テレビ、洗濯機、冷蔵庫などの家電機器はスマート・メーターにつながり、自動車はプラグイン・ハイブリッド車 (PHEV) か電気自動車となり、家庭でも充電ができるようになっている。

このような仕組みが有効に機能するためには、配電線にも電圧・電流を測定するセンサーや開閉器、そして通信システムが必要となる。日本の配電ネットワークは自動的に事故箇所を見つけるシステムになっているが、欧米では必ずしもこの自動システムが普及しているわけではない。そのため、再生可能エネルギーの導入に伴い、電圧・電流測定センサーが配電ネットワーク内に効率的に設置されなければならない⁵²⁾。

このようにして「スマート・グリッド」の構成要素を考えると、次のような現状と課題が見えてくる⁵³⁾。

第6図 スマート・グリッドのライフスタイル



〔備考〕 EDMS : Energy Data Management System 翌日の電力消費・発電量を予測
 HEMS : Home Energy Management System 創エネ, 蓄エネ機器を結んで制御
 〔出展〕『朝日新聞』(2012年1月1日付)を参考にして作成。

①監視・制御システム

送配電ネットワークに大量の情報を双方向でやり取りする通信機能をもたせ、ネットワークにつながっている多くの機器への指示ができなければならない。これらの機能は系統自動化、あるいは配電自動化と呼ばれ、日本などでは一般化しているが、太陽光発電や風力発電などと需要家が協同で運用するツールの開発が必要である。

大量に連系された分散型電源とエネルギー貯蔵装置、デマンド・レスポンスのための制御システムが構築される必要があり、大量のスマート・メーターや「家庭内エネルギー管理システム」(HEMS)などの制御インターフェースから情報を収集する新たな通信ネットワークが開発されなければならない⁵⁴⁾。

②スマート・メーターの開発

スマート・メーターには何らかの通信回線が必要になる。しかし、現在のところ、スマート・メーターの機能は世界各国で異なるため、家庭内の電気機器を制御するには、機器制御信号のやり取りを標準化させなければならない。どのような通信プロトコルと信号制御システムを使うのか、顧客側が自主的に制御するのか、あるいはスマート・メーターが直接制御できるようにするのか、スマート・メーターの機能が「ス

「スマート・グリッド」の将来を決めるかもしれない⁵⁵⁾。

③分散型電源の管理

「スマート・グリッド」の構築には、太陽光発電や風力発電の管理も重要な課題である。太陽光発電や風力発電に蓄電池を付けるとすれば、どのように制御するか、ソフトとハード両面で新たな技術開発が必要である。あるいは、蓄電池を付けないとすると、発電量が需要を上回った場合などは、太陽光発電や風力発電を止める制御も考えなければならない。しかし、家庭では売れると思っていた電力が無駄になり、再生可能エネルギーと「スマート・グリッド」への期待が薄らいでしまう危険性がないとは言えない。

④スマート・ストレージ

「スマート・グリッド」には、蓄電装置や蓄熱装置、電気自動車、圧縮空気貯蔵施設など、多様なエネルギー貯蔵設備が欠かせない。蓄電装置には大容量の蓄電ができるナトリウム硫黄電池(NAS電池)や超伝導エネルギー貯蔵(Superconducting Magnetic Energy Storage: SMES)などのほかに、電気自動車の蓄電池や、太陽光発電・風力発電設備の蓄電池も考えられる。

このように、太陽光発電・風力発電の発電量の変化に対応して蓄電したり、電気エネルギーを他のエネルギーに変換して蓄積したりすることにより、電力システムの安全性・安定性を確保するスマート・ストレージが重要になるのである⁵⁶⁾。

⑤デマンド・レスポンス

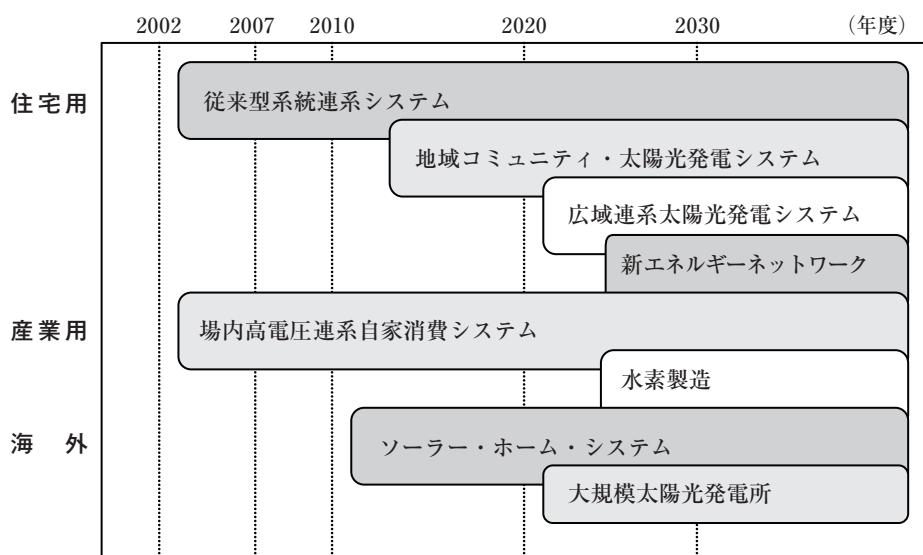
「スマート・グリッド」によって、電力使用量が“見える化”されることになる。これにより消費者は電気を節約する方法を考えるようになり、電力会社も、電力需要が逼迫している時には電力料金を高くし、反対に電気が余っている時には料金を下げるなどの対応がとれるようになる。つまり電力の消費量と電気料金が、消費者と電力会社の双方にメリットがもたらされることになるのである。

すでにアメリカでは、周波数に連動した洗濯乾燥機が発売されており、周波数が低くなれば、電力ネットワーク内の電力消費量が発電量よりも大きいとのシグナルを送り、自動的に乾燥機を止める動きをすることになる。このような家電機器はグリッド・フレンドリー・アプライアンス(Grid Friendly Appliance)、スマート・アプライアンス(Smart Appliance)などと呼ばれているが、実際にどれだけの電力消費量の負荷移動が起きるか、「スマート・グリッド」のためにも今後は緻密な検証が必要となる⁵⁷⁾。

むすびにかえて

「スマート・グリッド」がシステム化されれば、制御できない余剰発電量が発生する時間帯へと電力需要が誘導されるとともに、気候変動や地球温暖化の防止に貢献する再生可能エネルギーを有効利用できるようになる。そして、電気の使用量や料金が“見える化”されて、これまで以上に環境保護やエネルギー消費に留意するようになり、今後は第7図のような太陽光発電システムが生まれ、省エネや省コストが自然に実現できるようになる。

第7図 太陽光発電の展開予想



[資料] NEDO技術開発機構「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ」(2004年6月)。
 < <http://www.nedo.go.jp/content/100086787.pdf> >

「スマート・グリッド」は、まず現在の生活レベルを維持するために重要なシステムとなる。気候変動や地球温暖化の対策が講じられると、これまでのエネルギー供給や電力体系のままであれば、オイル価格や電力料金を上げざるを得ないことになる。太陽光発電や風力発電は、従来の集中電源よりも1キロワット当たりの設備コストは高くなるため、電気料金に上乗せされるからである。

すでに、再生可能エネルギー源からの電気を従来の電気料金の2倍程度の価格で買い取る制度、いわゆる固定価格買取制度(Feed-in Tariff: FIT)が発足しているが、高く買い取った分は電気料金に反映させざるを得ない。しかも、気候変動・地球温暖化対策として炭素税などが導入された場合、電気料金やガス料金、ガソリン価格は高くなることを覚悟しなければならない⁵⁸⁾。さらには、「スマート・グリッド」の導入コストも電気料金に上乗せされる可能性があり、気候変動・地球温暖化対策が進むにつ

れて、私たちのコスト負担は大きくなることが予想される。そのため、「スマート・グリッド」によって省エネや省コストが実現し、電気料金の負担増が軽減されなければ導入の意義はなくなってしまうのである⁵⁹⁾。

「スマート・グリッド」によって、電気事業そのものが大きく転換する可能性がある。たとえば、IT産業などがアグリゲーター (Aggregator)、つまり顧客と電力会社との間を仲介する業界として、新たなビジネス・モデルを生み出すことが考えられる。また、電力会社がアグリゲーターとしてのビジネスに手を広げることも考えられ、電力会社が各家庭をコンサルティングし、最適な電力消費をアドバイスすることも有効であろう。

電力会社は、太陽光発電のパネル設備などのメンテナンス・サービスはもちろんのこと、家庭の屋根やビルの屋上を借りて太陽光パネルを設置し、最適な発電出力の制御を効率的に行い、使用料金を家庭や会社に支払うようなサービスも、十分に現実性のあるビジネスである。このようなことが実現すれば、電力会社と消費者がともにメリットとなるのであり、「スマート・グリッド」が社会全体に貢献するインフラとなることであろう⁶⁰⁾。

しかも、「スマート・グリッド」によって、電気事業を取り巻くビジネス環境は大きく変わる。これまでは電気事業の送配電部門に関われなかったIT産業も参入機会が生まれ、標準化のプロセスで主導権を握ることができれば、グローバルなビジネス・チャンスが生れる可能性もある。さらに、「スマート・グリッド」に対応した家電機器の買い替えが、大きな需要へと結びつく可能性もある。

そして、グーグルやマイクロソフトなどが参入したことで、新たな広告・宣伝モデルが生れる可能性もある。もしも電力消費量の分析が身近になり、家電機器の電力消費量が具体化すれば、テレビやコンピュータなどに個人別のコマーシャルを打つことも夢ではなくなるであろう。したがって、「スマート・グリッド」は、私たちのライフ・スタイルそのものを変える可能性を秘めているのである⁶¹⁾。

注

- 1) 横山明彦『スマートグリッド』（日本電気協会新聞部，2010年），1－2頁。福井エドワード『スマートグリッド入門—次世代エネルギービジネス—』（アスキー・メディアワークス，2009年）。< <http://www.nist.gov/smartgrid/> >
- 2) Smart Grids European Technology Platform < <http://www.smartgrids.eu> >
< http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/taskforce_en.htm > EUでは、「スマート・グリッド」が多様な研究開発であるため、「スマート・グリッド」と複数形扱いにしている。
- 3) < http://ec.europa.eu/atoz_en.htm > なお、この「スマート・グリッド・サミット」の主催は新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）であり、経済産業省の後援のもとに東京ビッグサイトで開催された。
< <http://www.ieee-smartgridworld.org/node/23> >
- 4) 「低炭素社会づくり行動計画」
< http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=11912&hou_id=10025 >
「低炭素電力供給システムに関する研究会」
< <http://www.meti.go.jp/report/data/g90727ej.html> >
『NEDO 再生可能エネルギー技術白書—新たなエネルギー社会の実現に向けて—』（2010年7月）。
United Nations Sustainable Development < http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/Agenda_21.pdf >
- 5) *World Energy Outlook* < <http://www.iea.org/weo/> >
- 6) < <http://www.cleantechventures.com.au/> >
- 7) クリーンテック分野への投資は、2008年には世界金融危機の影響を受けて急ブレーキがかかった。< <http://research.cleantech.com/> >
Money Tree Report : Clean Tech Investments Top \$1 Billion < <http://venturebeat.com/2011/04/14/moneytree> >
- 8) < http://energy.senate.gov/public/index.cfm?Fuseaction=Hearings.Hearing&Hearing_ID=3de47fcb-99e4-e0fd-c5e6-52532f60f256 > ただし、省エネを進めた場合、省エネ分の4分の1までを20%の導入枠に参入できるとした。宮田智之「米国における州の再生可能エネルギー法制—RPSを中心に—」『外国の立法』225（2005年8月）。
- 9) International Energy Agency, Renewable Information
< http://www.iea.org/subjectqueries/keyresult.asp?keyword_id=4116 >
< http://www.iea.org/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=2037 >
- 10) 福井エドワード，前掲書，38－39頁。「スマートメーターの落とし穴」『日経エレクトロニクス』（2010年4月14日）。

11) *The Smart Grid: An Introduction*

< <http://energy.gov/oe/downloads/smart-grid-introduction-0> >

- 12) 日本の電力会社は地域独占体制であるため、電気事業連合会の参加企業も9つであるが、アメリカの電力業界団体の1つであるエジソン電力協会 (Edison Electric Institute) の参加企業は約80社にのぼる。 < <http://www.eei.org/whoweare/ourmembers/USElectricCompanies/Pages/USMemberCoLinks.aspx> > 小林健一『アメリカの電力自由化—クリーン・エネルギーの将来—』(日本経済評論社, 2002年)。山口聡「電力自由化の成果と課題—欧米と日本の比較—」『調査と情報』第595号(2007年9月)。US Department of Energy Energy Information Administration < <http://www.eia.gov/> >

日本でも、1995年以降には段階的に規制緩和が進められ、2005年には日本卸電力取引所 (Japan Electric Power Exchange : JPEX) が設立された。そして、50kw以上で受電する需要家に対する小売も自由化されている。

- 13) 市川類「米国におけるスマート・グリッドを巡る動向」JETRO/IPA NY『ニューヨークだより』(2009年2月), 3頁。

< <http://www.ferc.gov/market-oversight/mkt-electic/overview.asp> >

- 14) シカゴ商品取引所は、2000年夏に起きた停電により、20兆ドル相当の取引ができなくなったといわれる。Environmental Energy Technologies Division News < <http://eetd.lbl.gov/newsletter/n111/> >

- 15) 小林健一「アメリカの発電所規模・技術と発電コスト—電力規制緩和政策の展望—」『東京経大会誌』211号(1999年)。

< http://www.fepec.or.jp/present/supply/antei/sw_index_02/index.html >

歴史をさかのぼると、アメリカでは過去40年の間に10回の大規模停電が起きており、1965年や1977年のニューヨーク大停電は余りにも有名であるが、そのうち8回は過去10年余りの間に起きていることを忘れてはならない。福井エドワード、前掲書、40頁。

- 16) Understanding the Cost of Power Interruptions to U.S. Electricity Consumers < <http://certs.lbl.gov/pdf/55718.pdf> > 福井エドワード、前掲書、42頁。

- 17) 市川類、前掲論文、6-7頁。 < <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm> > < <http://www.oe.energy.gov/about.htm> >

- 18) “Grid 2030” : A National Vision for Electricity’s Second 100 Years < <http://www.ferc.gov/eventcalendar/files/20050608125055-grid-2030.pdf> >

“National Transmission Grid Study”

< <http://www.pi.energy.gov/documents/transmissionGrid.pdf> >

- 19) < <http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/ER-2-9-4.pdf> >

< <http://www.netl.doe.gov/moderngrid/docs/A%20Vision%20for%20the%20Modern%20Grid-Final-v10.pdf> > < <http://www.netl.doe.gov/moderngrid/> >

A Vision for Modern Grid < <http://www.netl.doe.gov/smartgrid/> >

- 20) < <http://my.epri.com/portal/server.pt?> > Electricity Sector Framework for the Future
< http://www.globalregulatorynetwork.org/Resources/ESFF_volume2.pdf >
Electricity Technology Roadmap
< <http://mydocs.epri.com/docs/CorporateDocuments/StrategicVision/Roadmap2003.pdf> >
- 21) < <http://www1.eere.energy.gov/femp/regulations/epact2005.html> >
松山貴代子「米国の包括エネルギー政策法」
< <http://www.nedocweb.org/report/2005-7-29.html> >
- 22) 松山貴代子「『エネルギー自立及びエネルギー安全保障法』について（米国）」『NEDO 海外レポート』No. 1016（2008年2月）
< <http://www.afdc.energy.gov/afdc/laws/eisa> >
The Smart Grid: An Introduction
< <http://energy.gov/oe/downloads/smart-grid-introduction-0> >
< <http://energy.gov/oe/downloads/title-xiii-smart-grid-sec-1301-1308-statement-policy-modernization-electricity-grid> >
- 23) *Smart Grid: Enable of the New Energy Economy* < <http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/final-smart-grid-report.pdf> >
- 24) 新井宏征『グーグルのグリーン戦略 ―グリーン・ニューディールからスマートグリッドまで―』（インプレス R & D, 2010年）。
< http://www.microsoft.com/ja-jp/opinionleaders/environment_ict/100113_1.aspx >
Google Power Meter < <http://www.google.org/powermeter/> >
Microsoft Hohm < <http://www.microsoft-hohm.com/> >
グーグルのエリック・E・シュミット (Eric E. Schmidt) は、2009年3月に連邦議会の上院で「スマート・グリッド」に関して発言を行った。< <http://googlepublicpolicy.blogspot.com/2011/09/testifying-before-us-senate-on.html> >
注目すべきは、グーグルが電力販売者としての許可申請まで行っていることである。
James Manyika, “Google’s view on the future of business: An interview with CEO Eric Schmidt,” *The McKinsey Quarterly* (September 2008) .
- 25) < <http://www.energy.siemens.com/hq/en/energy-topics/smart-grid/> >
Smarter Planet: Hear me. Know me. Empower me.
< http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/?ca=v_smarterplanet >
< http://www.cisco.com/web/strategy/docs/energy/aag_c45_539956.pdf >
< <http://japan.internet.com/busnews/20090519/12.html> >
GE Smart Grid Software Solution Automates the Electric Distribution Systems of Transmission & Distribution Utilities
< <http://www.ge-ip.com/ja/news-events/detail/2872> > 福井エドワード, 前掲書, 52 – 53頁。

- 26) < <http://en.wikipedia.org/wiki/SuperGrid> >
< <http://www.friendsofthesupergrid.eu/> >
「グリーン・ニューディール政策の効果と課題—『米国再生・再投資法』の評価から得られる示唆—」『みずほ政策インサイト』(2009年3月)参照。日本でも、青森県八戸市や京都府の京丹後市、愛知県で開催された愛・地球博などで、「マイクロ・グリッド」の実験が行われた。
< http://neps.nef.or.jp/case_02_hachinohe.htm >
< http://www.kankyo-business.jp/topix/smartgrid_01.html >
- 27) < http://www.gii.co.jp/publisher/PARK_j.shtml >
Smart-Metering-Projects-Map
< <http://www.scribd.com/doc/48474156/5/Smart-Metering-Projects-Map-United-States> >
- 28) わが国でも、1989年から1993年までの間、鹿児島県の九州電力供給エリアで、ダイヤモンド・サイド・マネジメントの実験が行われた。
< <http://www.itrco.jp/wordpress/?p=1315> >
Renewable Energy Institute, Demand Side Management
< <http://www.demandsidemangement.com/> >
- 29) Smart Grid News.com 若菜理枝「ホームエネルギーマネジメントシステム (Home Energy Management System) について」(三菱電機株式会社)
< http://www.echonet.gr.jp/2_consor/img/3_5_Mitsubishi_HEMS.pdf >
< http://www.intel.com/p/ja_JP/embedded/applications/energy/energy-management >
< <http://www.dri.co.jp/auto/report/pike/pikbems10.htm> >
V2Gシステムは、パシフィック・ガス&エレクトロニクス (Pacific Gas and Electric Company : PG&E) とエクセル・エナジー (Xcel Energy) 社が実用化を推進している。
< http://www.apet.t.u-tokyo.ac.jp/20100507_SmartStorageConcept.pdf >
- 30) 浅野浩志「ピーク対応料金下における家庭用需要家の負荷調整行動の分析」電力中央研究所編『電力中央研究所報告』No. Y97004 (1997年10月)。武石礼司「電力産業の将来と地域自立のエネルギーシステム」富士通総研 (FRI) 経済研究所編『研究レポート』No. 135 (2002年5月)
< <http://www.capterra.com/energy-management-software> >
- 31) 「グリーン・ニューディール政策の効果と課題—『米国再生・再投資法』の評価から得られる示唆—」『みずほ政策インサイト』(2009年3月), 2頁。
< http://energyenvironment.pnnl.gov/news/pdf/PNNL-19112_Revision_1_Final.pdf >
- 32) 福井エドワード, 前掲書, 168-169頁。河内信幸編『グローバル・クライシス—世界化する社会的危機—』(2011年, 風媒社), 第4章参照。
- 33) 横山明彦, 前掲書, 117 - 118頁。
< http://www.kankyo-business.jp/topix/smartgrid_02.html >

- < <http://energy.gov/oe/office-electricity-delivery-and-energy-reliability> >
- 34) < <http://www.gridweek.com/2009/> >
< <http://www.slideshare.net/Calion/secretary-chu-grid-week> >
- 35) Framework for Smart Grid Interoperability
< http://www.smartgridnews.com/artman/uploads/1/NIST_Issues_First_Release_of_Framework.pdf > 新井宏征・埋田菜穂子『日米欧のスマートグリッド政策と標準化動向2010』（インターネットメディア総合研究所，2009年）。
- 36) NIST Finalizes Initial Set of Smart Grid Cyber Security Guidelines
< http://www.nist.gov/public_affairs/releases/nist-finalizes-initial-set-of-smart-grid-cyber-security-guidelines.cfm >
「NIST がスマートグリッドのサイバーセキュリティに関する初のガイドラインを最終決定（米国）」『NEDO 海外レポート』No. 1067（2010年10月）。国立標準技術研究所（NIST）のガイドラインは，発電所のエンタープライズ・システム，スマート・メーター，制御機器・通信機器などを取り上げ，サイバーセキュリティの脆弱性を強く指摘している。
Cybersecurity, Innovation and the Internet Economy
< http://www.nist.gov/itl/upload/Cybersecurity_Green-Paper_FinalVersion.pdf >
< http://www.nextgov.com/nextgov/ng_20100907_6414.php >
Smart Grid Cyber Security and Requirements
< <http://www.naseo.org/eaguidelines/documents/cybersecurity/NistIr-7628%20smart%20grid.pdf> >
- 37) < <http://www.erm.com/News-Events/Events/Sectoral-approaches-and-their-role-in-NAMAs--where-next/> >
Demand Response and Smart Grid Coalition
< <http://www.drsgcoalition.org/> >
Demand Response Coordinating Committee
< <http://www.demandresponsesmartgrid.org/> >
- 38) Smart Green Grid Initiative
< <http://www.greensmartgridinitiative.org/> >
< <http://www.gridwise.org/> > 福井エドワード，前掲書，106頁。
- 39) < <http://www.sbireports.com/about/release.asp?id=672> >
< <http://www.gii.co.jp/report/sbil44416-microgrids.html> >
< http://www.gii.co.jp/publisher/BC_j.shtml >
< <http://eco.nikkeibp.co.jp/article/report/20091016/102410/?ST=print> >
- 40) < <http://www.greentechmedia.com/research/report/smart-grid-in-2010> >
< <http://www.greentechmedia.com/research/report/smart-grid-in-2010> >
< http://www.cisco.com/web/strategy/energy/external_utilities.html >

- 41) < <http://www.greentechmedia.com/research/> >
< <http://www.cleantech.com/upcoming-events/> >
< <http://www.impressrd.jp/smartgrid/> >
< http://pub.nikkan.co.jp/uploads/book/pdf_file4c19a6acb0de6.pdf >
福井エドワード, 前掲書, 104 – 105 頁。
- 42) 横山明彦, 前掲書, 33 – 36 頁。2006 年に起きた欧州大停電は, ドイツのエムズ川にかかる 38 万ボルトの送電線 2 回線を停止したことが直接の原因であったが, 大量の風力発電からの電力が送電ネットワークに流れ込み, 周波数が不安定になったことが背景となっていた。横山明彦「電力系統からみた大容量風力発電」『電気学会誌』129 巻 5 号 (2009 年) 参照。
- 43) 横山明彦, 同上書, 44 – 45 頁。
< http://www.electrical-installation.org/enwiki/Main_Page >
電力系統利用協議会「電力系統利用に関する技術資料」(平成 18 年 10 月)
< http://www.escj.or.jp/news/2006/061020_gijyutsu.pdf >
- 44) 西嶋喜代人・末宏純也『電気エネルギー工学概論』(朝倉書店, 2008 年), 前川幸一郎・荒井聰明『送配電』(東京電機大学出版局, 1987 年)などを参照。横山明彦(東京大学大学院・工学研究科)「電力系統の基本的要件と我が国の電力系統の特徴について」(平成 14 年 3 月 8 日)。
< <http://www.enecho.meti.go.jp/denkihp/bunkakai/5th/5thshiryou5.pdf> >
- 45) 横山明彦, 前掲書, 55 – 57 頁。風力発電所は, 発電量が激変しないように蓄電池を備える必要がある。Electric Power Around The World < <http://www.kropla.com/electric2.htm> >
ヨーロッパと日本を比べると, 周波数の変動基準はヨーロッパの方がはるかに厳しい。それでも風力発電が大量に導入されているのは, 電力系統の規模が日本の 2 倍くらいあるからである。
- 46) 横山明彦, 前掲書, 58 – 60 頁。「電気設備の知識と技術」
< <http://saijiki.sakura.ne.jp/denki2/keitou.html> >
「太陽光発電のしくみ」
< http://www.fujielectric.co.jp/products/fwave/about_this/mechanism.html >
- 47) 横山晋也他「蓄電池併用形太陽光発電システム『パワーソーラーシステム』の開発」『GS News Technical Report』第 62 巻 1 号 (2003 年 6 月)。
< http://www.gs-yuasa.com/jp/technic/gsnews/no62/pdf/062_1_08.pdf >
< <http://www.etch-japan.com/susume/dokuritu/battery.html> >
- 48) 横山明彦, 前掲書, 65 – 66 頁。
- 49) 圧縮空気貯蔵とは, 夜間や休日に余剰電力で圧縮空気をつくり, 昼間の電力ピーク時に取り出してガスタービン発電に利用するシステムである。中北智文他「圧縮空気エネルギー貯蔵ガスタービン (CAES-G/T) の開発」『石川島播磨技報』43 – 3 (2003 年 5 月)。
- 50) 八田達夫「電力競争市場の基本構造」『RIETI Discussion Paper Series』(2004 年 4 月)。矢島正之「米国における電力改革の動向」

- < <http://www.enecho.meti.go.jp/denkihp/bunkakai/3rd/3rdshiryoku4.pdf> >
- 51) 横山明彦, 前掲書, 69 – 71 頁。
- 52) < <http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90522a11j.pdf> >
< <http://www.jase-w.eccj.or.jp/technologies-j/pdf/electricity/E-7.pdf> >
- 53) 「スマート・グリッド」の課題について, 詳細は, 横山明彦, 前掲書, 69 – 71 頁, 74 – 88 頁を参照。市川類「米国におけるスマート・グリッドを巡る最近の動向」JETRO/IPA NY『ニューヨークだより』(2010年5月)。
- 54) < http://www.fujielectric.co.jp/products/energy_ctrl_mng/A01.html >
- 55) 「スマートメーターとは—なぜスマートグリッドに必要で, 何が良いのか—」
< <http://sangyo.jp/ri/sg/na/article/20110408.html> >
- 56) 建設電気技術協会「電気エネルギー—蓄電技術の現状と摘要」
< http://www.kendenkyo.or.jp/pdf/technology/141_basic.pdf >
< <http://www.rasmes.com/> >
- 57) Ryan Munson, “Grid Friendly Appliance Overview”
< http://www.mtech.edu/research/highlights/grad_student_research/images/Seminar_Feb27-%20Ryan%20Munson.ppt >
< http://en.wikipedia.org/wiki/Grid_friendly >
ジェネラル・エレクトリック社 (GE) は, 2009年11月からスマート温水器を発売し, ワールプール社 (Whirlpool Corp.) も, すでにスマート衣服乾燥機を発表している。これらの家電機器は, 電力会社からの信号を受信する機能を備えており, 電力需要が高い時間帯などには自動的に電源を切り, 低運転を行う。消費者は, 電力会社からの信号に従うかどうか, あらかじめプログラムすることが可能となっている。
< <http://buildaroo.com/ja/news/article/whirlpool-energy-efficient-duet-washer-now-keeps-clothes-fresh-for-up-to-10-hours-of-sitting-time/> >
- 58) 大島堅一「再生可能エネルギー普及に関するドイツの経験—電力買い取り補償制の枠組みと実際—」『立命館大学人文科学研究紀要』第88号 (2007年3月)。National Renewable Energy Laboratory, *A Policymaker's Guide to Feed-in Tariff Policy Design* (July 2010) .
固定価格買取制度 (FIT) は, 1978年にアメリカが導入した公共事業規正政策法 (Public Utility Regulatory Policies Act : PURPA) がその走りとされる。
- 59) 小笠原潤一「スマート・グリッドの費用対効果」< <http://eneken.ieej.or.jp/data/3950.pdf> >
日本IBM株式会社・川井秀之「スマートグリッド, スマートメーターの現状と事業化に向けた展望」 < <http://www.ueri.co.jp/jhif/11Conference090513/b.pdf> >
- 60) 横山明彦, 前掲書, 190 – 191 頁を参照。
- 61) 横山明彦, 同上書, 189 – 190 頁を参照。市川類「米国におけるスマート・グリッドの産業構造と標準化を巡る最近の動向」JETRO/IPA NY『ニューヨークだより』(2009年7月)。

[追記] 本研究は、産業経済研究所の研究課題「『グリーン・ニューディール』のインフライノベーションと産業システムの転換」(平成22～23年度)として取り組んだものである。また、本研究の一部は、文部科学省「大学教育・学生支援推進事業 [テーマ] 大学教育推進プログラム」(平成21年)で採択された、「『持続学のすすめ』による実践型人材の育成」事業の一環として実施された。