

# 東海旅客鉄道(株)向け213系直流電車システム

星野 栄雄(ほしの えいお)

大堀 優(おほほり ゆたか)

井上 一夫(いのうえ かずお)

## ① まえがき

電力回生ブレーキが可能な界磁添加励磁制御方式は直流電動機駆動電車用として、コストパフォーマンスの優れたシステムである。このシステムは旧日本国有鉄道で開発されて以来、205系、211系、213系0番形式として通勤形や近郊形電車で実用化され、JR各社で既に多くの実績を重ねてきた<sup>(1),(2)</sup>。

東海旅客鉄道(株)では、平成元年3月の運転ダイヤの改正を機に、関西線名古屋一亀山間に213系5000番形式の新形車両10編成(20両)を投入して、それまで使用してきた旧形車両を一齐に置き換えることになった。

この213系電車は1M1T(2両)又は1M2T(3両)の短い編成を基本として、比較的輸送量の少ない線区での運用とフリークエントなサービスを提供するために、より一層のコストパフォーマンスの向上が求められた。

このニーズに対して、直流架線電圧DC1,500VからDC600V電源を作り、この電源から界磁添加励磁装置をはじめ各種の補助回路機器に給電する、新しい補助電源方式を採用した。更に、補助回路機器にはVVVFインバータ制御を多く取り入れることにより車載機器の小形・軽量化、省エネルギー化を図ると同時に、電動空気圧縮機の低騒音化や冷房装置の多段階制御化により客室内の快適性を志向した<sup>(3),(4)</sup>。

富士電機は、この新形車両の主回路及び補助回路システムの取りまとめに参画し、主要電気機器の製作から全電気システムの定置組合せ試験を担当して十分な性能確認を実施し、万全の体制で営業運用開始に臨んだ。

以下に213系電車の概要と富士電機が製作した電気機器及び試験結果について紹介する。

## ② 電車の性能、主要諸元

電車の基本性能は、起動加速度2.07km/h/s(1M1T編成時)、最高運転速度110km/h(ただし、将来120km/h走行)とし、2M4T編成において1M開放しても25%のこう配で起動、登坂ができる性能を持たせているほか、基本走行

表1 213系5000番形式電車の主要諸元

項目	車種	Mc (制御電動車)	Tc (制御付随車)
定員		102人(座席54人)	102人(座席54人)
自重		36.8t	25.2t
歯車比		5.19=83 : 16	
車輪直径		860mm	
性能	電気方式	直流1,500V	
	最高運転速度	110km/h (120km/h可能)	
	加速度	1M1Tにて	2.07km/h/s
	減速度	常用最大、非常とも 3.5km/h/s	
	主電動機出力	480kW=120kW×4台	
力行制御方式		<ul style="list-style-type: none"> <li>直並列組合せ抵抗制御</li> <li>弱界磁制御付(添加励磁制御)</li> </ul>	
ブレーキ制御方式		<ul style="list-style-type: none"> <li>電力回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ</li> <li>空気ブレーキ補足付定速抑速ブレーキ</li> <li>直通予備ブレーキ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空気ブレーキ</li> <li>直通予備ブレーキ</li> </ul>
補助回路電源装置		DC-DCコンバータ装置、DC600V-90kW	

特性を大都市圏輸送用標準車両である211系5000番形式と同等に設定して、併結、協調運転ができるように考慮している。更に、こう配線区用としても運用できるように定速抑速回生ブレーキ制御機能も備えている。

この電車の主要諸元を表1に、速度-電流、引張力/ブレーキ力特性曲線を図1に示す。

## ③ 電気回路システム

### 3.1 主回路システム

界磁添加励磁制御方式を主回路システムの基本として採用し、力行弱界磁制御、停止及び抑速回生ブレーキ制御を連続的に行うことのできる構成としている。

添加励磁制御を行う変換装置には民営鉄道向けとして実績を持つ2石式DC-DCコンバータ回路方式をベースにして、補助電源電圧DC600Vを入力とするパワートランジス



星野 栄雄

昭和49年入社。鉄道車両用パワーエレクトロニクス応用装置の開発設計に従事。現在、公共事業本部技術第二統括部交通技術第二課課長補佐。



大堀 優

昭和48年入社。鉄道車両用パワーエレクトロニクス応用装置の開発設計に従事。現在、神戸工場設計部課長補佐。



井上 一夫

昭和44年入社。交通機器の開発試験に従事。現在、神戸工場品質保証部。

図1 カ行、回生ブレーキ特性曲線

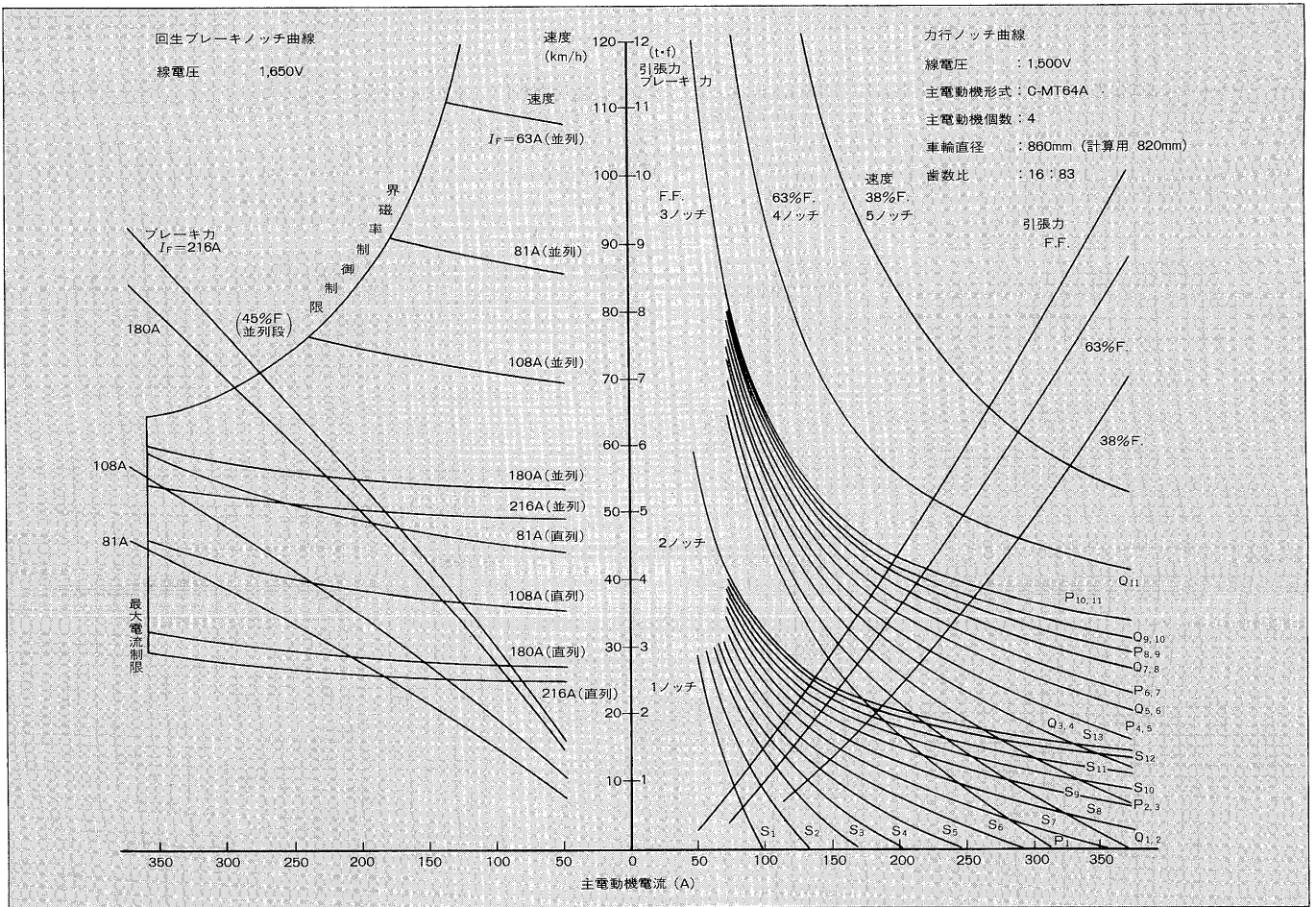
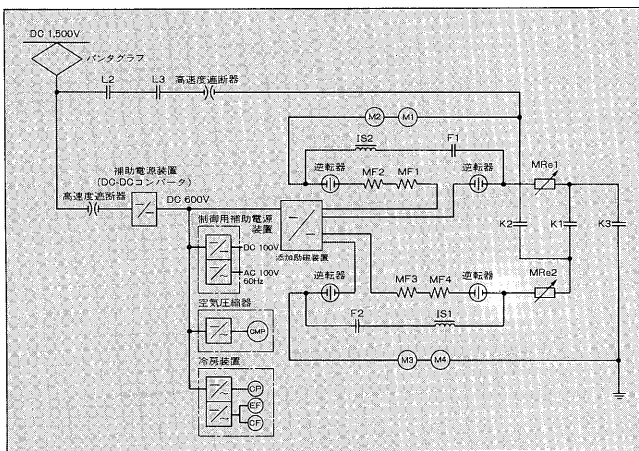


図2 主回路及び補助回路のシステム構成



タを適用した回路方式を採用したほか、変換回路部の入力コンデンサには大容量の電解コンデンサを適用したり、主電動機電流の検出用にホールCTを使用するなどにより、電気機器単体としての小形・軽量化を積極的に図っている<sup>(5),(6)</sup>。

また、主電動機には、内扇形構造の採用や冷却風通気構造の改良を施し、走行中の騒音の低減を図っている。

3.2 補助回路システム

補助回路システムは、電源装置をゲートターンオフサイリスタ(以下、GTOサイリスタと略す)を適用したDC-DC

コンバータで架線電圧DC1,500Vから絶縁されたDC600Vをつくり、編成車両内に低圧直流電源ラインとして引き通している。

このDC600V電源から添加励磁装置をはじめ、VVVFインバータ制御を行う冷房装置や電動空気圧縮機、AC100VとDC100Vを供給する制御用補助回路電源装置に給電している。これらの負荷は低圧直流入力のため、すべてトランジスタを適用した変換器で構成して、補助回路全体としての小形・軽量化を実現している。

図2に213系電車の主回路と補助回路の概略のシステム構成を示す。

4 主要電気機器

4.1 DC-DCコンバータ装置

DC-DCコンバータ装置の内部回路接続図を図3に示す。GTOサイリスタを適用したハーフブリッジ形単相インバータを並列二重接続し、位相差制御を行っている。それぞれのインバータ出力部には変圧器を接続して高圧回路との絶縁を行った後、変圧器の二次側の整流回路を直列に接続して直流出力電圧DC600Vを得ている。

4.1.1 仕様

この装置の仕様を表2に示す。

4.1.2 構造と特長

図3 DC-DCコンバータ装置の内部回路接続図

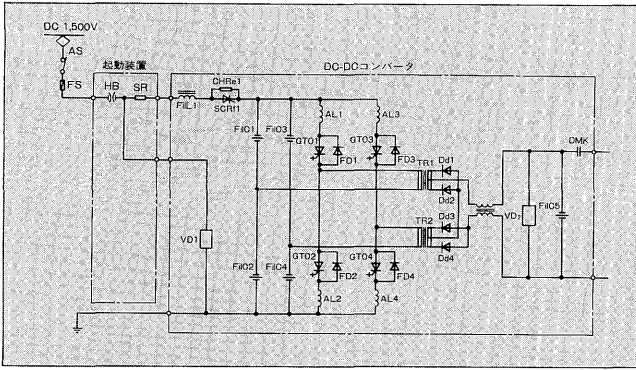


表2 DC-DCコンバータ装置の仕様

項目	仕様	
形式	G-SC27	
方式	ハーフブリッジ接続コンバータ 並列二重制御方式 整流出力直列接続方式	
定格	入力電圧	DC1,500V (900~1,850V)
	出力電圧	DC600V (510~660V)
	出力容量	連続 90kW 短時間 150kW
	出力電圧脈動率	5%以下
	変換回路 制御周波数	240Hz
使用素子定格, 構成	一次(高圧)側 GTOサイリスタ: 4,500V 800A 1S×1P×2A×2G 二次(低圧)側 ダイオード: 2,500V 500A 1S×1P×2A×2G	
周囲温度	-10~+40°C	
冷却方式	自然空冷方式	
装置重量	1,520kg (起動装置を含む)	

機器は DC-DC コンバータと起動装置から構成されており、その外観を図4に示す。

DC-DC コンバータには、中央部両面に GTO サイリスタスタックとダイオードスタックを、右側開放部には耐水構造の変圧器とリアクトルを、左側前面には制御装置などを収納している。

起動装置には高速度遮断器と直列抵抗を収納している。この装置の特長は次のとおりである。

- (1) 変圧器によって高圧と絶縁した低圧直流を出力する方式としており、万一変換器部に異常があっても出力側に高圧が印加されることがなく、安全である。
- (2) DC-DC コンバータを高周波で動作させることにより、変圧器及び平滑フィルタを構成するリアクトルとコンデンサの小形・軽量化を図っている。
- (3) 二重接続方式を採用して平滑リアクトルに流れるリップル電流分を小さくして、平滑フィルタ部品の小形・軽量化を図っている。
- (4) 変換器部はハーフブリッジ形単相インバータ二組で構成し、スイッチング素子 (GTO サイリスタ) の使用数を4個と少なくしている。
- (5) GTO サイリスタ及びダイオードスタックは、冷却フィンを箱外に露出させる方式として冷却効果を上げている。
- (6) GTO サイリスタ及びダイオードスタックは、共に前方に倒せる回転機構を採用しており、メンテナンスの容易性を考慮している。
- (7) 変圧器、リアクトル及び電力用抵抗器は耐水構造とし、開放部に収納しており、放熱性を考慮している。
- (8) 高速度遮断器には電磁投入式を採用し、空気配管を不要としている。

#### 4.2 添加励磁装置

添加励磁装置の内部回路接続図を図5に示す。

図5 添加励磁装置の内部回路接続図

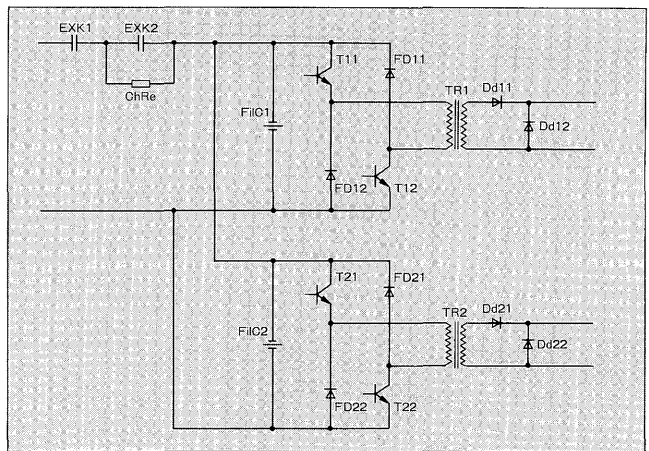


図4 DC-DCコンバータ及び起動装置の外観

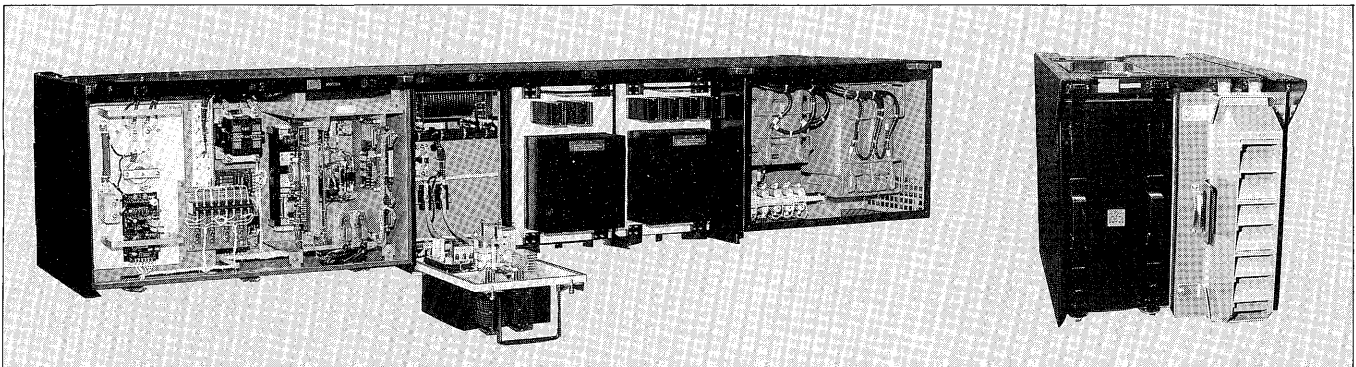
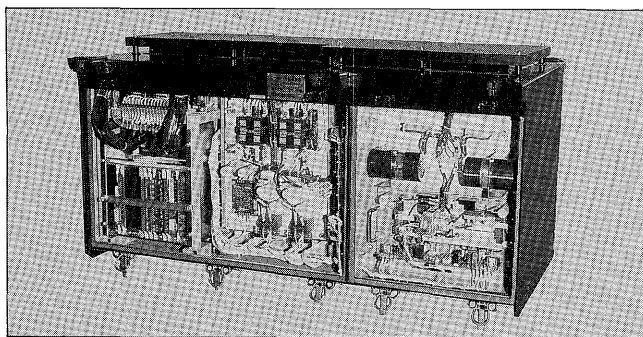


表 3 添加励磁装置の仕様

項目		仕様
形式	C-HS65	
方式	トランジスタ2石式フォワード形 DC-DCコンバータ 並列二重制御方式	
定格	入力電圧	DC600V (480~660V)
	出力容量	15kW 連続 42kW 短時間
	最大直流出力電圧	96V以上×2回路
	最大直流出力電流	350A以上×2回路
	変換回路制御周波数	700Hz
使用素子定格, 構成	一次(低圧)側 パワートランジスタ: 1,200V 300A 1S×2P×2A×2G 二次(高圧)側 ダイオード: 2,500V 800A 1S×1P×2A×2G	
周囲温度	-10~+40°C	
冷却方式	自然空冷方式	
装置重量	400kg	

図 6 添加励磁装置の外観



補助電源電圧 DC600V を入力して、パワートランジスタを適用した単相インバータによりいったん交流に変換し、更なる出力を変圧器を介して絶縁、降圧した後にダイオードを通して直流に再変換している。この出力電圧を加減制御することにより、主電動機の界磁電流を調節して、力行弱界磁制御や電力回生ブレーキ制御を行っている。

4.2.1 仕様

この装置の仕様を表 3 に示す。

4.2.2 構造と特長

この装置の外観を図 6 に示す。構造上では、トランジスタスタックを含むコンバータユニット、出力ダイオードスタック、入力接触器ユニット、出力変圧器及び制御装置などの部分から構成している。

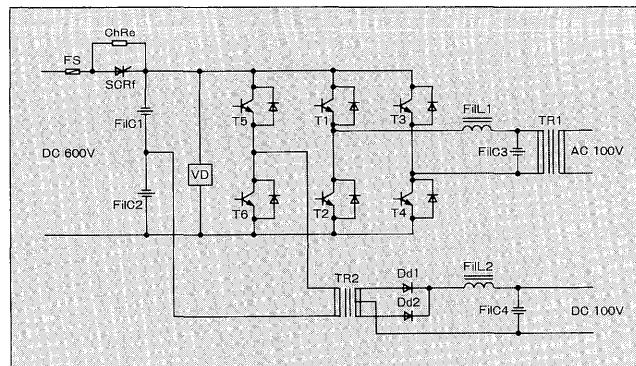
この装置の特長は次のとおりである。

- (1) 変換器回路の主体を DC600V 回路に置いて、帯電部に要する絶縁距離を縮小し、DC1,500V 側の回路部品点数の削減と構成の簡素化を図っている。
- (2) 1,200V 300A 定格の最大級のパワートランジスタを使用し、変換回路を 2 石式単相インバータ方式とすることによってコンパクトな構成にしている。
- (3) 変換器回路の制御周波数には 700Hz の高い周波数を

表 4 制御用補助電源装置の仕様

項目	仕様		
	AC出力側	DC出力側	
形式	C-SC31		
方式	単相フルブリッジ接続 PWMインバータ	単相ハーフブリッジ接続 コンバータ	
定格	入力電圧	DC600V (480~660V)	
	出力電圧	AC100V, 60Hz, 単相	DC600V
	出力容量	10kVA	2kW
	変換回路 制御周波数	1.92kHz	2.5kHz
	出力電圧波形	ひずみ率 10%以下	脈動率 5%以下
周囲温度	-10~+40°C		
冷却方式	自然空冷方式		
装置重量	260kg		

図 7 制御用補助電源装置の内部回路接続図



採用して出力変圧器を小形・軽量化している。

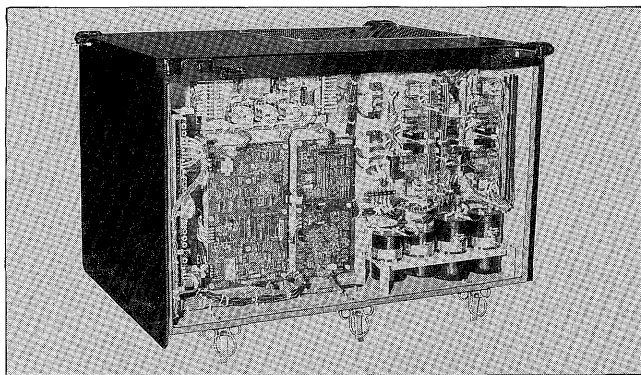
- (4) 変換器部を、2 群の単相インバータ回路を並列に接続し、更に二重制御方式として、入力コンデンサに印加されるリップル周波数を高めて、コンデンサの容量を小さくしている。
- (5) 変圧器は耐水設計として、装置の中央部の上下方向に空洞を設けたスペースに設置して、外気を利用した合理的な冷却方法を取り入れた。
- (6) 変換器部のトランジスタ及び出力ダイオードスタックは冷却体放熱部を変圧器の収納されたスペースの一部に露出させて、変圧器と同様に冷却効果を上げている。
- (7) 制御装置は、多数の機能プリント板の組合せにより構成しており、そのうちの数種については 211 系電車用添加励磁装置用制御装置と同一のハードウェアを使用して部品の共用化を図っている。

4.3 制御用補助電源装置

この装置は DC-DC コンバータ装置の出力の DC600V を電源として AC100V 及び DC100V を出力し、蛍光灯などの一般負荷に対して給電を行うものである。図 7 に装置の内部回路接続図を示す。

DC600V の入力から単相トランジスタインバータにより AC100V を出力し、またハーフブリッジ形単相インバータ

図8 制御用補助電源装置の外観



方式からなる DC-DC コンバータにより DC100V を出力する。

#### 4.3.1 仕様

この装置の仕様を表4に示す。

#### 4.3.2 構造と特長

この装置の外観を図8に示す。

装置の前面右側にはトランジスタスタック、左側にはプリント板を含む制御装置部分を収納している。また右側裏面は開放構造としており、変圧器とリアクトルを収納している。

この装置の特長は次のとおりである。

- (1) トランジスタなど半導体素子はすべて絶縁形のモジュールタイプを使用して車体と同電位の冷却体に直接取り付け、スタック構造の小形化と簡素化を図っている。
- (2) 裏面の開放部には耐水構造の変圧器とリアクトルを収納するとともに、冷却フィンを露出させて外気に放熱を行うことによって冷却効果を上げている。

### 5 実負荷組合せ試験

以上の各電気機器の製作後に、ダイナミックシミュレータ(等価慣性負荷試験設備)を用いて、主回路と補助回路の全電気機器の組合せによる総合試験を実施した。

主回路や補助回路機器の制御に対する補助電源回路の応答制御が良好に得られることをはじめとして、所期の加・減速性能を確認するとともに実車搭載に備えて十分な事前検証を行った。

### 6 あとがき

以上、富士電機が製作を担当した新形電車用電気機器とシステムの概略について紹介した。

213系電車は、東海旅客鉄道(株)における都市近郊支線区の輸送の経営改善策の一環として大きな期待が寄せられている。また、運用開始以来順調に運転されており、乗客からも好評を得ている。この高性能電車システムが今後各方面で適用が拡大されていくことを期待したい。

終わりに、新形電車の主回路、補助回路システム及び各電気機器の計画から製作に至るまで、終始御指導を賜った東海旅客鉄道(株)殿をはじめ関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

### 参考文献

- (1) 沼野稔夫ほか：添加励磁制御方式による界磁制御装置，第21回鉄道におけるサイバネティックス利用国内シンポジウム，No.426 (1984)
- (2) 新井静男ほか：213系電車の添加励磁システム，第24回鉄道におけるサイバネティックス利用国内シンポジウム，No.326 (1988)
- (3) 田中守：JR 東海の冷房改造，電気車の科学，Vol.41，No.4 (1988)
- (4) 石津一正ほか：DC600V を主たる補助電源とする電車の新しい電気システム，第25回鉄道におけるサイバネティックス利用国内シンポジウム，No.344 (1988)
- (5) 酒井和雄：山陽電気鉄道5000系電車，電気車の科学，Vol.39，No.9 (1986)
- (6) 吉川春樹ほか：パワートランジスタ式車両用補助電源装置，富士時報，Vol.58，No.11，pp.688-691 (1985)



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。