

最新技術を応用した100系新幹線電車の電気品

Electric Equipment Incorporating New Technologies for Series 100 Shinkansen Trains

100系新幹線電車は、開業以来20年を経た東海道・山陽新幹線の新形式車両として登場するもので、21世紀に向けての新技术が種々盛り込まれている。

車全体としては従来に対して(1)快適な旅行、(2)早く目的地に着くこと、(3)小形・軽量化、(4)省エネルギー、(5)省力化などを目的としている。具体的には最高速度を210km/hから230km/hにアップしたこと、また食堂車、グリーン車を2階建車両としたこと、個室グリーン車の導入、シートや車内装飾の一新が行なわれたことなどが大きな特長となっている。

主回路方式は200系新幹線電車と似た方式であるが、等価妨害電流 Jp を0系電車と同等にすることにより、主シリコン制御整流装置は混合ブリッジの数を200系の6ブリッジから4ブリッジにすることができ、大容量素子の採用などにより軽量化を図った。発電ブレーキは0系新幹線電車と同じカム軸制御方式とした。

なおこの電車は、東京～博多間で行なわれた一連の性能試験で所期の性能が確認され、昭和60年10月1日から営業運転に試用されている。

荒井真一*
石川辰明**
堤和哉**
波多野滋***
三宅 互****
大村純夫*

Shin'ichi Arai
Tatsuaki Ishikawa
Kazuya Tsutsumi
Shigeru Hatano
Wataru Miyake
Sumio Ômura

1 緒 言

0系新幹線電車のモデルチェンジ車である100系新幹線電車が完成し、公式試運転、各種性能試験も終了し、営業車として投入された。

この車両は現行の0系新幹線電車、200系新幹線電車の長年の実績を踏まえ、小形・軽量化、乗り心地改善、メンテナンスフリーなど、新規に開発された技術が種々織り込まれたものとなっている。

以下に、主回路方式及び制御回路方式と、その主要電気品の構成、構造、特長などについて新しい技術を中心に述べる。

2 主回路方式及び制御回路方式¹⁾

100系新幹線電車の主要項目及び性能を、0系新幹線電車、200系新幹線電車のそれと対比して表1に示す。また図1に主回路つなぎを示す。100系新幹線電車は力行時サイリスタ位相

制御、ブレーキ時はカム軸式発電ブレーキ制御方式を採用し、乗り心地の改善、空転滑走の防止を図った。以下同図により、主回路方式及び制御回路方式について述べる。

2.1 力行主回路及び制御²⁾

(1) 主電動機の接続は、4個直列のものが2群並列接続されており、界磁分路抵抗として、主抵抗器の一部が使用している。

(2) 主変圧器の二次巻線は4等分割とした。主シリコン制御整流装置の主回路は200系電車用と同様に混合ブリッジであるが、 Jp が東海道新幹線での許容値内で、ブリッジ数をできる限り少なくすることとし、ブリッジ数を200系の6段から4段で構成し、混合ブリッジに使用するサイリスタ、ダイオードの耐圧を200系の2,500Vから4,000Vへと向上させることにより、大幅に小形・軽量化できた。

表1 100系新幹線電車の主な仕様 100系新幹線電車は0系新幹線電車に比べ、付随車が含まれていること、最高運転速度がアップしていること、渦電流ディスクブレーキを採用していることである。

項 目		100系新幹線電車	0系新幹線電車	200系新幹線電車
電 気 方 式		単相25kV, 60Hz	単相25kV, 60Hz	単相25kV, 50Hz
電 車 方 式		電動車2両1ユニット(12M)+付随車(4T)	全電動車2両1ユニット(16M)	全電動車2両1ユニット(12M)
連 続 定 格 出 力		1,840kW×6/編成	1,480kW×8/編成	1,840kW×6/編成
最 高 運 転 速 度		230km/h	210km/h	240km/h
主電動機接続	力 行 時	4S-2P接続	4S-2P接続	4S-2P接続
	ブレーキ時	4S-2P接続	4S-2P接続	4S-2P接続
A T C 方 式		単周波方式	単周波方式	2周波組合せ方式
力 行 制 御 方 式		主変圧器二次側4等分割 サイリスタによる積み重ね位相制御	25ステップ低圧タップ 切換制御	主変圧器二次側6不等分割 サイリスタによるバーニア位相制御
ブレーキ方式	電 動 車	カム軸式発電ブレーキ併用 電気指令空気ブレーキ	カム軸式発電ブレーキ併用 電磁直通ブレーキ	バーニアチョップ制御 発電ブレーキ併用電気 指令空気ブレーキ
	付 随 車	渦電流ディスクブレーキ	—	—

注：略語説明 ATC(列車自動制御装置)

* 日立製作所水戸工場 ** 日立製作所日立工場 *** 日立製作所国分工場 **** 日立製作所日立研究所

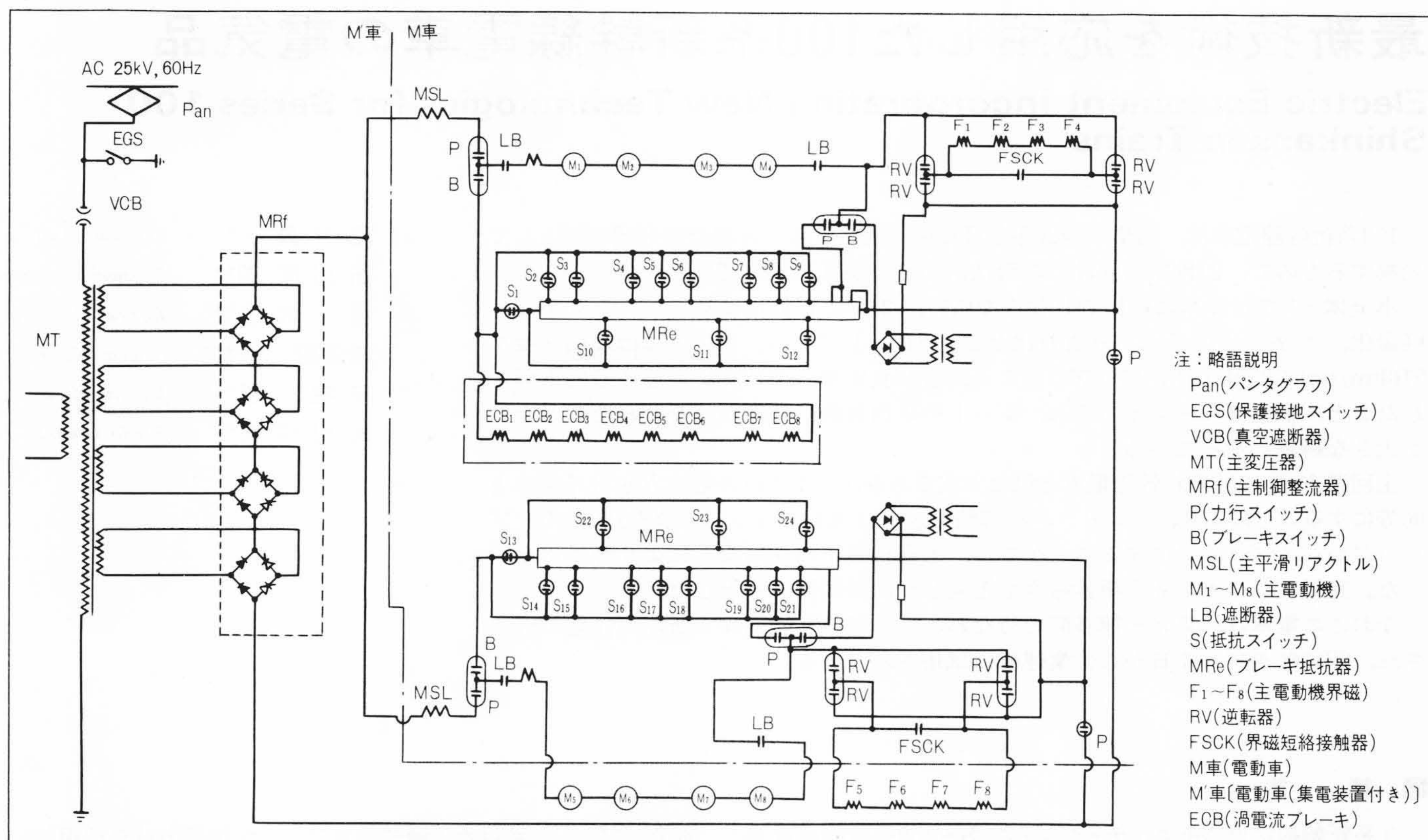


図1 100系新幹線電車の主回路つなぎ 力行は主シリコン制御整流装置により制御され、 J_p を0系電車と同等にすることにより主変圧器等4分割とした。発電ブレーキは0系新幹線電車と同じカム軸制御方式であるが、滑走防止のため粘着限界に沿ったパターン制御とした。

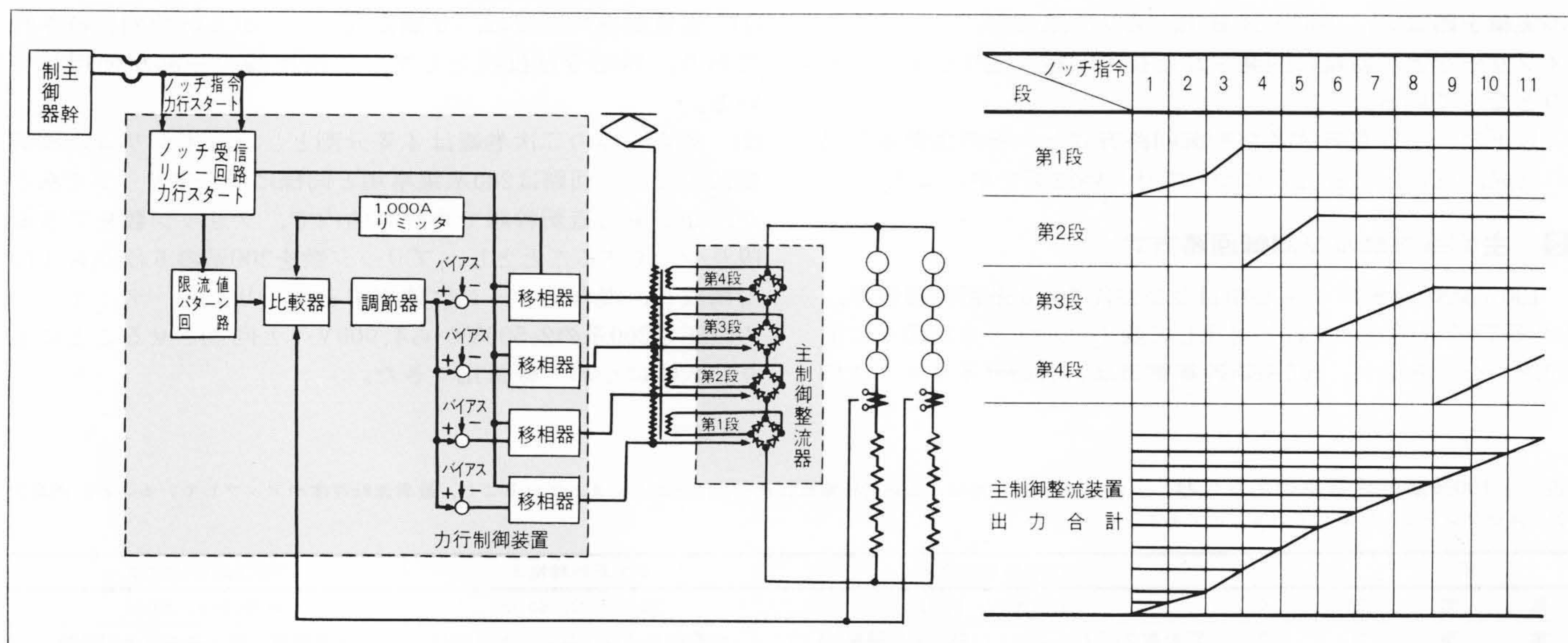


図2 100系新幹線電車の力行制御ブロック図と出力電圧 第1段は限流値パターンと主回路電流のフィードバック値を比較して位相角を指令する。位相角が最小になると、次の段の位相制御を行なう積み重ね位相制御方式である。

(3) 力行制御ブロック図を図2に示す。主シリコン制御整流装置は、主変圧器の二次側分割数に合わせて4段のサイリスタ・ダイオード混合ブリッジで構成している。主電動機の電流制御は、主シリコン制御整流装置の出力電圧をサイリスタの位相制御によって調節することで行ない、その制御は一段の混合ブリッジの位相角が最小となってから次の段の位相制御を開始する積み重ね位相制御方式である。

主幹制御器からのノッチ指令は、11本の車両間の引き通し線を通して、ノッチ受信リレー回路に伝えられる。限流値パ

ターンは、力行スタート指令が出ると比較器に加えられる。比較器は、限流値パターンと主回路電流のフィードバック値を比較する。その偏差に応じて調節器は主シリコン制御整流装置の第1段の位相角を指令する。位相角が最小になると、第2段の位相角が指令される。その後も同様に第3段、第4段の位相角が順次指令される。以上のような方法で出力電圧を連続的に増減する制御を行なうことにより、加速が滑らかになるとともに、空転防止と乗り心地の改善を図った。

(4) 力行電流制御系のブロック図を図 3 に示す。主電動機電

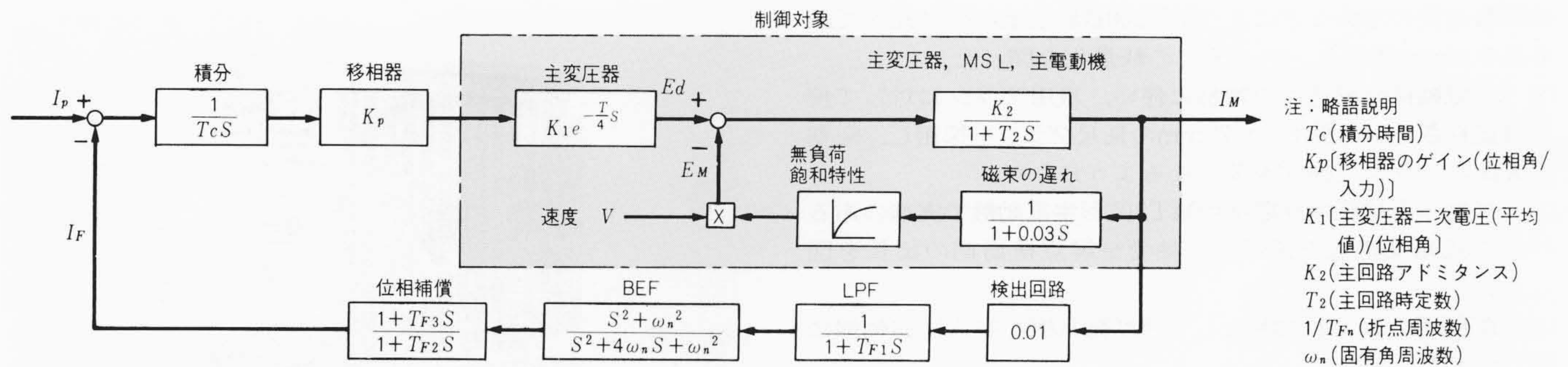


図3 力行電流制御系ブロック図 この制御系では積分制御としたために、オフセットを0に近くすることができた。また位相補償を入れて、外乱の影響を小さくするようにした。

流の目標値 I_p とフィードバック値 I_F の偏差の積分値により移相器の位相角を決定する。主変圧器は出力電圧を位相角に対してゲインとむだ時間で近似し、その内部インピーダンスは他の主回路要素に含んで表わしてある。検出した主電動機電流は、LPF（ローパスフィルタ）及びBEF（バンドエリミネーションフィルタ）で高周波成分と整流によって生ずるリップルを減衰し、位相進み補償を行なった上で目標値と比較する。この制御系では積分制御とすることにより、電流偏差が0に近くなるようにし、位相補償により外乱の影響を小さくするとともに安定度の向上を図った。

2.2 ブレーキ主回路及び制御

ブレーキ制御方式は抵抗カム軸式の発電ブレーキ方式とした。発電ブレーキ回路は、4個直列の主電動機と主抵抗器が直列接続され、その主抵抗器をカムスイッチで短絡する構成とした。付随車にはECB（渦電流式ディスクブレーキ）が搭載されている。その励磁コイルはM車の主抵抗器と直列に接続されており、M車の主電動機電流を流すことによって、ブレーキ力が作用するようになっている。発電ブレーキ制御ブロック図を図4に示す。ブレーキ電流制御方式は、速度に対応する粘着限界に沿ったパターン制御方式とした。列車速度に対応したブレーキパターンは主制御器内の限流値制御装置に与えられ、限流値制御装置はブレーキパターンと主回路電流のフィードバック値（2回路平均値）とを比較して、主制御器内の抵抗スイッチに短絡指令を与える。以上の制御により

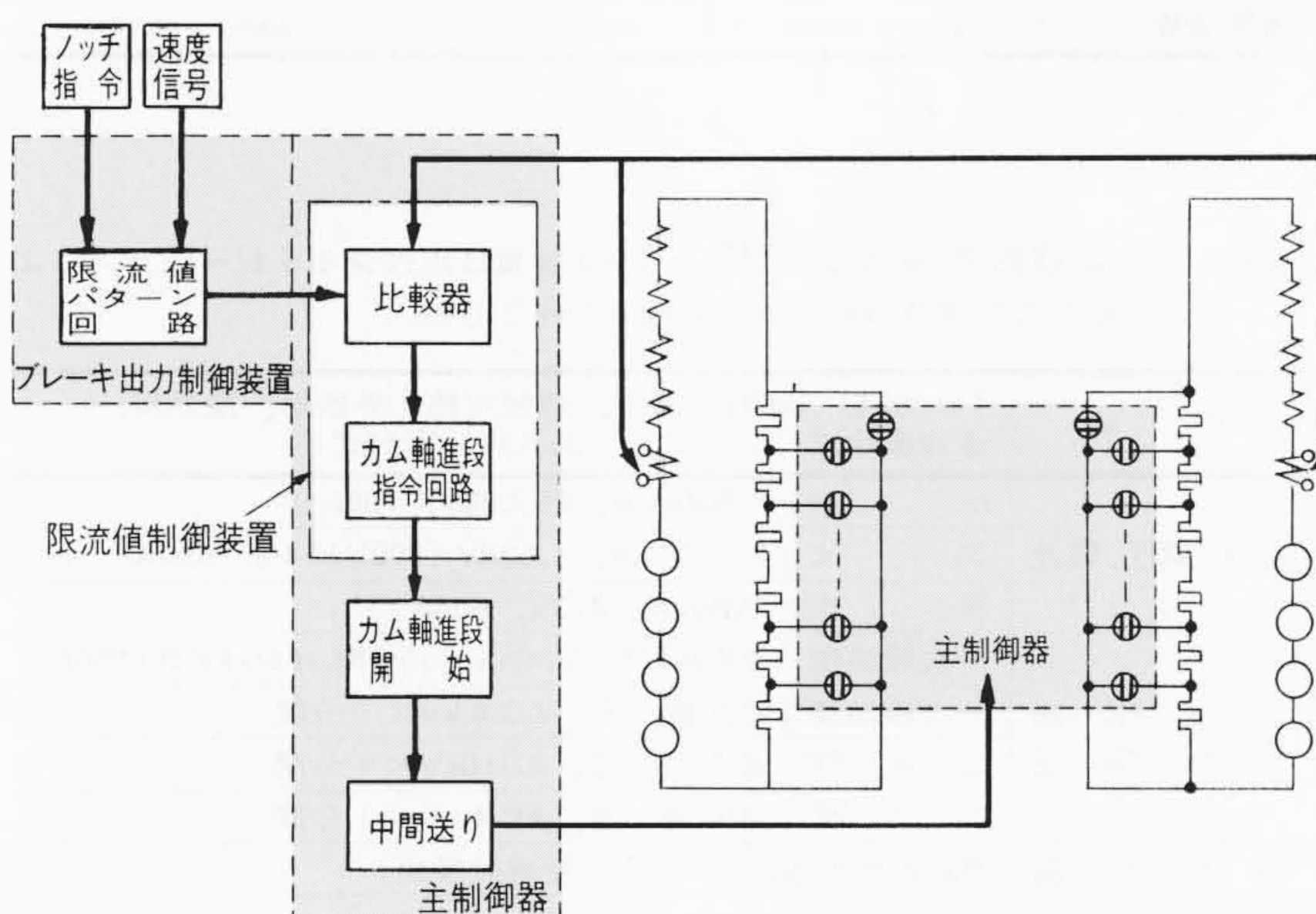


図4 100系新幹線電車の発電ブレーキ制御ブロック図 0系新幹線電車用と同様に、限流値パターンと主回路電流のフィードバック値を比較して限流値に達すると、カム軸進段指令を働かせ、カム接触器を短絡させ進段する。

ブレーキ力パターンに沿って抵抗を段階的に短絡することにより、粘着限界に沿ったブレーキ力制御ができる。

上記の力行及びブレーキ時の主回路電流のオシログラムを図5に示す。

3 主電動機

主電動機は現行新幹線電車用MT200B形主電動機より軽量化を図るとともに、容量の増大を図った。主な特長は下記のとおりである。

- (1) C種絶縁システムを採用することにより、信頼性を向上させるとともに軽量化を図り、付随車の導入、最高速度の向上に伴う容量増大に対処した。また、他力通風方式の採用、定

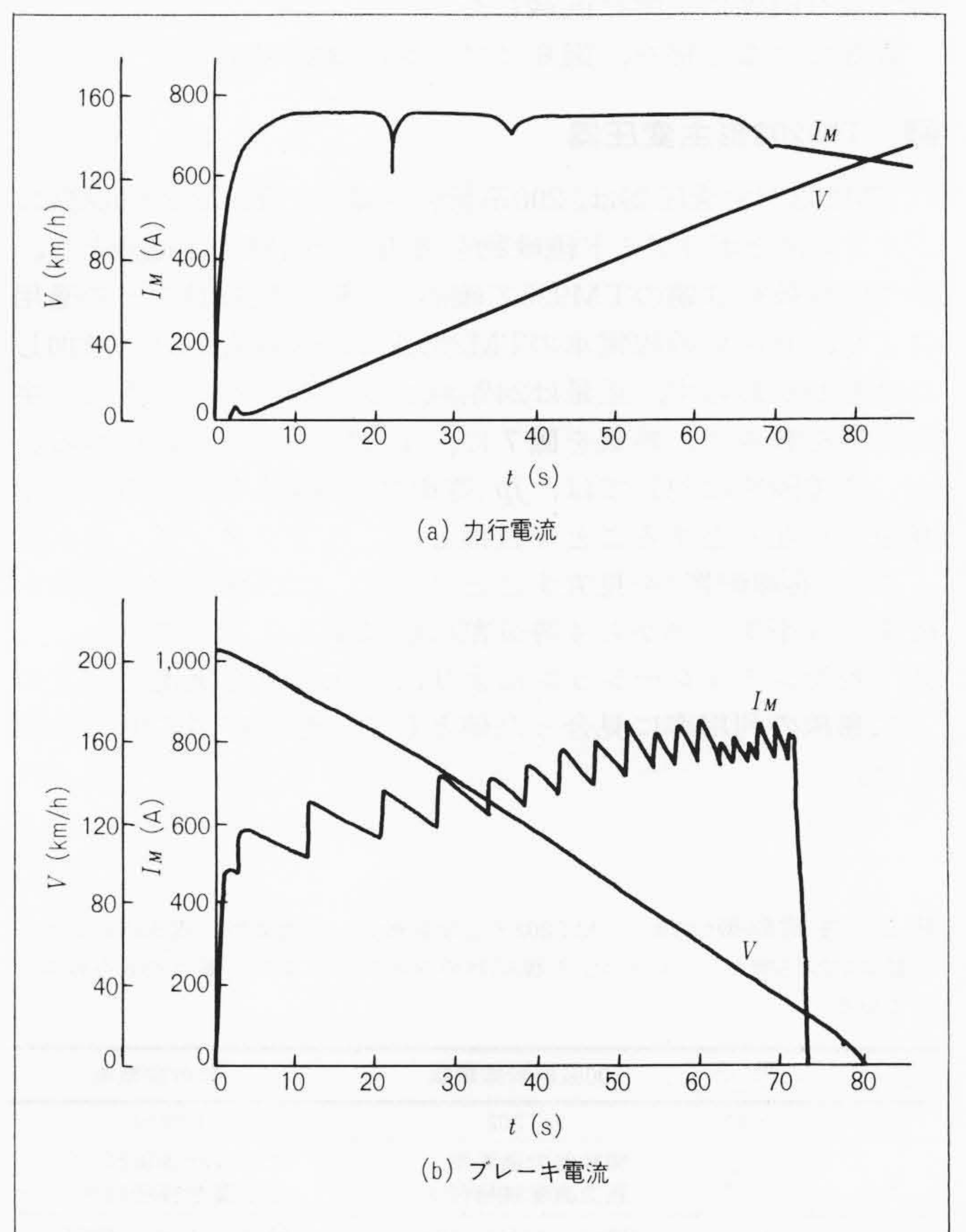


図5 主回路電流オシログラム 力行電流は200系新幹線電車用と同様に、位相制御により電流が滑らかになっている。ブレーキ電流はブレーキ力パターンに沿って抵抗を段階的に短絡することにより、粘着限界に沿ったブレーキ力制御を行なっている。

格回転速度の増大などによりMT200B形主電動機に比べて鉄心長を30mm短縮し、いっそうの軽量化を図った。

(2) 主電動機回転速度の増加に伴い、現用ブラシに対して使用可能長さを88%長くした72mmの長尺ブラシを採用し、定期検査間のブラシ交換が不要となるようにした。

(3) 東北・上越新幹線電車用MT201形主電動機で実績のあるパック式軸受構造を採用し、軸受分解点検周期の延長を図った。

(4) ATC及び滑走検知用として速度発電機を整流子側軸端に取り付けた。

主な仕様を現行の0系新幹線電車用主電動機と比較して表2に示す。

4 主シリコン制御整流装置

RS203形主シリコン制御整流装置は、200系新幹線電車用RS202形主シリコン制御整流装置に比べて下記の特長をもっている。

(1) 4,000V、1,000Aサイリスタ及び4,000V、1,600Aダイオードを採用した。これにより1アーム1個の素子でブリッジを構成し、軽量化と素子数の低減及び信頼性の向上を図った。

(2) 素子の信頼性の向上により冷却方式をRS202の個別フィンフロン沸騰冷却から、フロン浸せき形フロン沸騰冷却に変更した。

(3) フロン冷却器は全アルミ製のタンク・凝縮部一体形とし、小形・軽量化と溶接箇所低減による信頼性の向上を図った。

(4) 以上の変更によりRS202に対し体積及び重量をそれぞれ67%及び61%に大幅に低減した。

表3に主な仕様を、図6にフロン冷却器を示す。

5 TM203形主変圧器

TM203形主変圧器は、200系新幹線電車のTM202と同様に、シリコン油とポリアミド絶縁物を使用した特別A種絶縁とし、かつ国鉄技術課題のTM925で確認した軽量化項目などの適用により、0系新幹線電車のTM201Aに比べ容量が52%増加したにもかかわらず、重量は24%減少させることができた。主な仕様を表4に、外観を図7に、主な特長を下記に述べる。

(1) 誘導障害に対しては、 Jp (等価妨害電流)を編成当たりで0系電車並みとすることを目標とし、リアクタンス・マトリックス(巻線配置)を見直すことにより、二次巻線の分割数を従来の6不等分割から4等分割に低減することができた。

(2) 走行シミュレーションにより、一次容量を実走行時での二次巻線の利用率に見合った値として、巻線容量の低減を図った。

表2 主電動機仕様 MT202形主電動機は、現行新幹線電車用に比べて容量は約24%増大しているが、C種絶縁の採用などにより重量は約5%軽減されている。

項目	用途	100系新幹線電車	0系新幹線電車
形 式		MT202	MT200B
方 式		開放他力通風形、脈流直巻補極付き	開放自己通風形、脈流直巻補極付き
連 続 定 格		230kW、625V、405A 2,900rpm	185kW、415V、490A 2,200rpm
絶 縁 種 別		C 種	F 種
わく外径×長さ		588mm×650mm	580mm×720mm
重 量		830kg	870kg

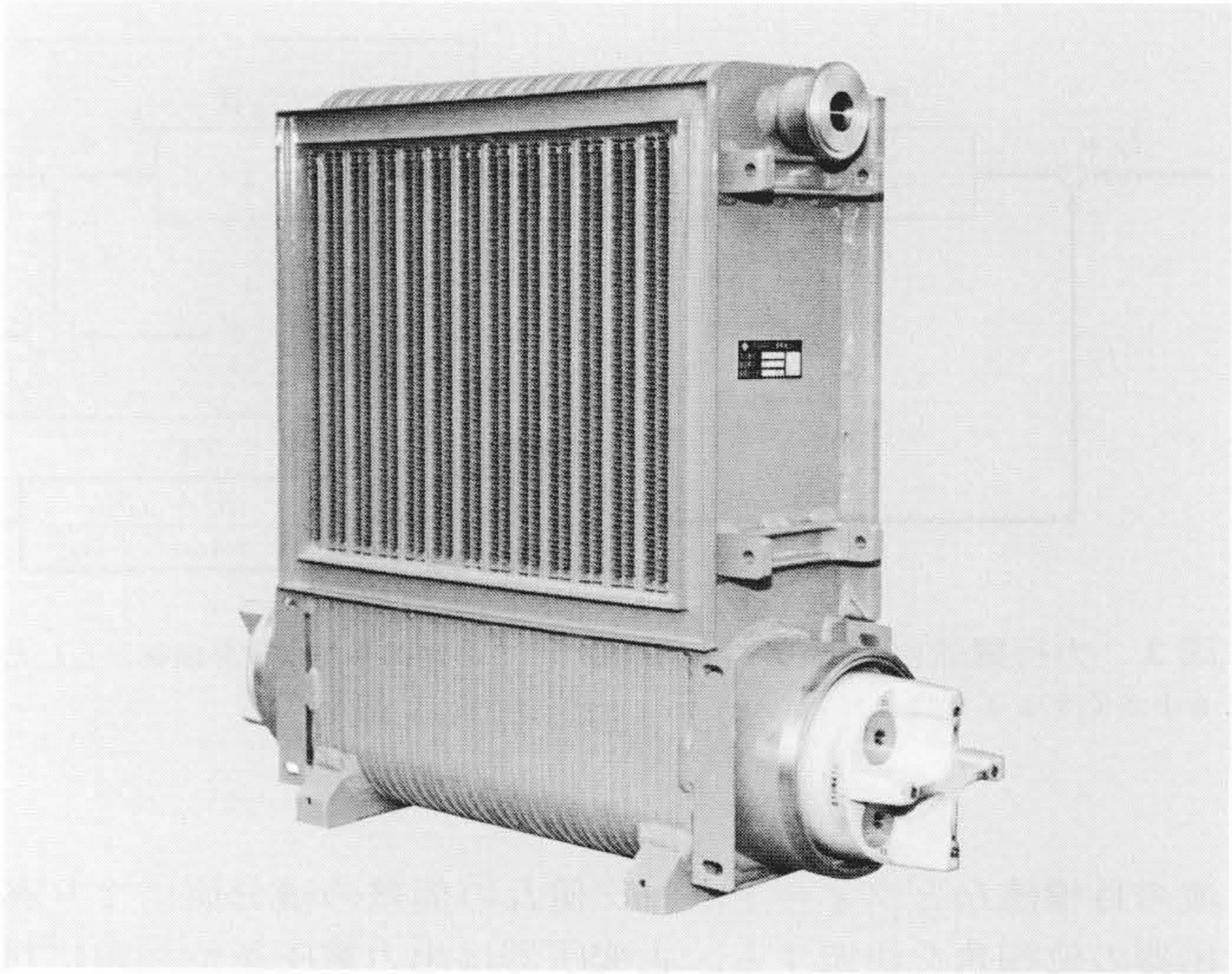


図6 全アルミ製一体形フロン冷却器 タンク部と凝縮部を一体化して、小形・軽量化している。この冷却器内に2ブリッジ分の素子が封入されており、2台の冷却器で主シリコン制御整流装置1台となる〔幅240×長さ780×高さ635mm、90kg〕。

表3 主シリコン制御整流装置仕様 RS203形主整流装置は、フロン浸せき形沸騰冷却の適応によりRS202形に対し体積、重量をそれぞれ67%及び61%に低減している。

項 目	100系新幹線電車	0系新幹線電車	200系新幹線電車
走行線区	東海道・山陽新幹線		東北・上越新幹線
主整流装置形式	RS203形	RS201形	RS202形
容 量	2,025kW	1,627kW	2,014kW
直流電圧	2,500V	1,660V	1,900V
直流電流	810A(連続)	980A(連続)	1,060A(連続)
使用素子及び構成	1,000A、4,000V サイリスタ 1SIP2A4B 1,600A、4,000V ダイオード 1SIP2A4B	800A、2,500V ダイオード 6SIP4A1B	1,000A、2,500V サイリスタ 1SIP2A6B 1,600A、2,500V ダイオード 1SIP2A6B
冷却方式	フロン沸騰冷却強 強制風冷式 (フロン浸せき形)	強制風冷式	フロン沸騰冷却 強制風冷式 (個別フィン形)
寸 法	幅1,000×長さ2,400× 高さ785(mm)	幅760×長さ2,730× 高さ800(mm)	幅1,550×長さ2,350× 高さ765(mm)
重 量	850kg	694kg	1,395kg
体積/容量	0.93m ³ /1,000kW	1.02m ³ /1,000kW	1.38m ³ /1,000kW
重量/容量	420kg/1,000kW	430kg/1,000kW	690kg/1,000kW

表4 TM203形主変圧器仕様 一次容量は走行シミュレーションにより、実走行時での二次巻線利用率に見合った値とした。

形 式	TM203形, 単相, 60Hz, 連続定格, 外鉄形, 屋外用, 送油風冷式, シリコン油入無圧密封式		
容量, 電圧, 電流	一 次	2,500kVA, 25,000V, 100A	
	二 次	2,510kVA, 3,636V (909V×4), 690A	
	三 次	250kVA, 413V, 605A	
絶 縁 階 級 試 験 電 圧	一次線路側	車両用30号, AC42kV×10分間, インパルス175kV	
	一次接地側	車両用1号, AC4kV×1分間	
	二 次 側	車両用3号, AC10kV×1分間	
	三 次 側	車両用1号, AC4kV×1分間	
絶 縁 種 別	特別A種絶縁(ポリアミド絶縁物使用)		
温度上昇限度	巻線	110℃ (基準周囲温度 25℃)	
	油	70℃	
循 環 油 量	500l/min		
冷 却 風 量	80m ³ /min		
総 重 量	2,530kg		

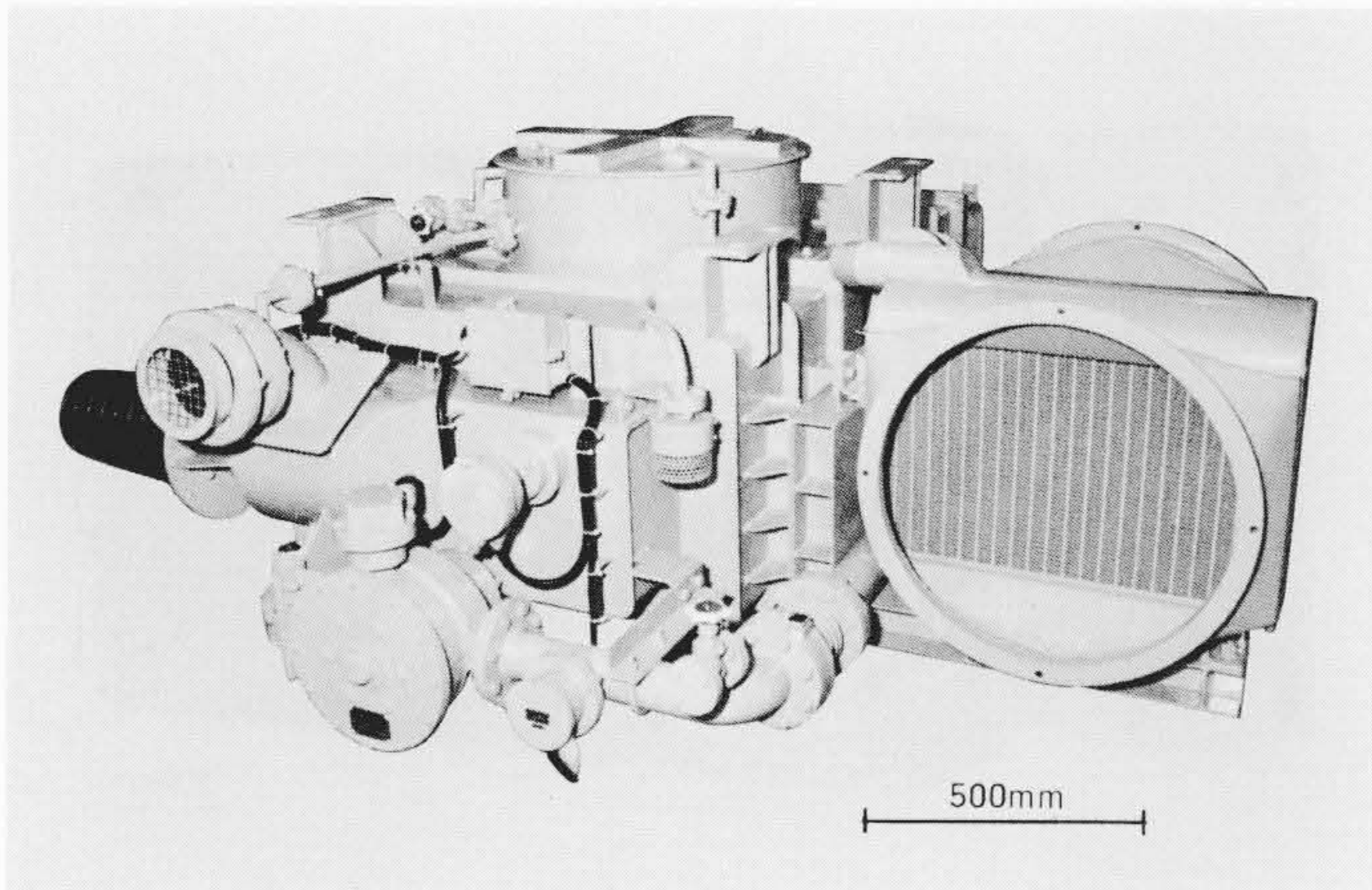


図7 TM203形主変圧器外観 現行新幹線用主変圧器に比べて大幅な小形・軽量化が図られている。

- (3) 巻線構造を改善して短絡強度を向上させ、かつ短絡試験により性能を確認して信頼性の向上を図った。
- (4) 鉄心構造を見直し、無負荷特性を従来品並みとしながら、鉄心断面積を低減(従来品に比べ磁束密度は約4%増加)して小形・軽量化を図った。
- (5) 付属部品については、次に述べるような小形・軽量化を図った。

- (a) 油冷却器は、変圧器本体のタンクからの放熱量を考慮した仕様として、小形・軽量化を図った。
- (b) 金属ベローズ式コンサベータは、ベローズを収納するケースを変圧器本体のタンクに直付けし、部材を低減して軽量化を図った。
- (c) ブッシングは高圧側、低圧側とも従来と同様に耐熱エポキシ樹脂で一体注型構造としているが、低圧端子板は中心導体を銅からアルミに変更して小形・軽量化を図った。

6 主制御器

主制御器は、電車の前進、後進及び力行、ブレーキの切換を行なう転換カム軸と、発電ブレーキ制御を行なう抵抗カム軸、その他の部品などから成っている。抵抗制御段数は、ブレーキ初速240km/h対応としたので、0系新幹線電車用と比べて2段増して22段とし、進段時の電流はね上がりを0系新幹線電車以下とした。転換カムスイッチの一部に、新幹線用としては初めて新設計の双投式カムスイッチを用い、カムスイッチ数半減による転換カム軸の小形・軽量化を図った。限流値制御装置は主回路電流のフィードバックとブレーキパターンを比較してカム軸進段指令を出す。この装置は従来の磁

気増幅器をIC化し、小形、軽量、速応化を図った。

7 ブレーキ出力制御装置³⁾

ブレーキ出力制御装置のブロック図を図8に示す。入力としては、ブレーキ設定器又はATCから与えられるノッチ指令(常用ブレーキ1～7ノッチ、非常ブレーキ)と、速度発電機から周波数で与えられる速度信号がある。ノッチ指令はバッファ回路で受け、指令されたノッチをパターン発生回路へ入力する。M車とM'車の速度発電機からの速度信号はF/V(周波数-電圧)変換され、その高位をとってパターン発生回路へ入力される。速度信号を高位優先としたのは、滑走時や信号線の断線時を考慮したものである。すなわち、速度に対するブレーキ力のパターンは、 μ パターン(粘着限界パターン)に沿うように、パターンの値が高速側で小さく、低速側で大きくなるように作られているので、滑走時や断線時に速度信号を実速度より低く検出するとブレーキパターンが大となって過大なブレーキ力を指令し、滑走を起こす恐れがあるためである。

パターン発生回路では、このノッチ指令と速度信号から電・空それぞれのブレーキパターンを発生し、アンプ回路へ出力する。

アンプ回路では、パターン発生回路からの信号を電圧・電流増幅し、電気ブレーキ指令を限流値制御装置へ、空気ブレーキ指令をEP弁へ出力する。EP弁は、電流として与えられる空気ブレーキ指令を空気圧に変換し、この空気圧をブレーキシリンダに与える。

従来、EP弁を制御する部分はブレーキパターン発生部とは別に空気ブレーキ制御装置の中に電空変換器として独立していたが、今回、ブレーキパターン発生部と一緒にすることによって、小形・軽量化を図った。

8 渦電流ディスクブレーキ

現行新幹線電車は発電ブレーキにより制動をかけており、機械式ディスクブレーキは低速時だけ使用されディスク摩耗という問題はなかった。これに対してモデルチェンジ車では付随車が導入されたため、発電ブレーキに代わるディスク摩耗のないブレーキ方式が検討され、渦電流ディスクブレーキが付随車のブレーキ装置として採用された。渦電流ディスクブレーキは電動車の発電ブレーキ電流をそのまま通電され、1軸に2台取り付けられている。

主な特長は、次に述べるとおりである。

- (1) ディスクの両側に配置した磁極の極性を同極とすることにより、ディスクの温度上昇分布の均一化、トルク特性の改善を図った。

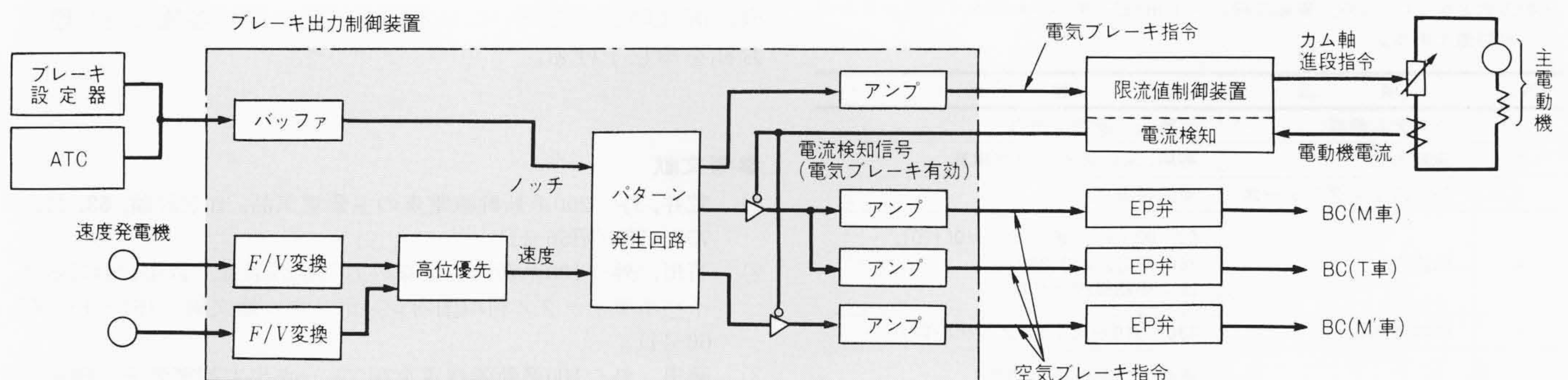


図8 ブレーキ出力制御装置のブロック図 従来、空気ブレーキ制御装置の中に入っていた電空変換器を、電気品であるブレーキ出力制御装置の中に入れて、全体で小形・軽量化を図った。

表5 渦電流ディスクブレーキ仕様 外わく形状の最適化により、軽量化を図っている。

用 途		100系新幹線電車	
項 目	式	ECB I	
方 式		自然冷却形 両側励磁同極対向方式	
定 格	格	最大ブレーキ力	575kgf
		平均最大電流	770A
		連続定格電流	225A
絶 縁 種 別		F 種	
重 量		310kg	

- (2) 外わくと励磁コイルを一体にして真空含浸することにより、信頼制御の向上を図った。
- (3) ディスク材質は高温強度の優れた特殊鍛鋼が採用された。
- (4) 強度及び磁気回路上影響のない範囲で、外わくの部材を切りつめ軽量化を図った。
- 主な仕様を表5に示す。

9 ATC制御装置とモニタ装置

9.1 TS10形ATC制御装置

TS10形ATC制御装置は、速度照査部にカスタムLSIを使用するとともに、ディジタル化された受信部と同一トレイに収納するなど、大幅な小形化が図られた。

回路方式としては、速照部演算回路にリング演算を使用し、高度なフェイルセーフ性を確保している点などに関しては、0系新幹線電車用TS1A形、200系新幹線電車用TS9A形などの従来のATC制御装置の流れを踏襲している。

特徴的なのは、受信部と速度照査部との間が、周波数信号でインタフェースしている点である。これは、例えば、制限速度30km/hの場合には1,300Hz、制限速度70km/hの場合には1,400Hzというように、信号現示を特定の周波数(軌道回路の信号周波数との関連はない。)に対応させているものである。この方式によると、受信部～速照部間の接続配線が簡単になるとともに、断線など回路の故障に対してもフェイルセーフ化が容易である。

本装置の主要諸元を表6に示す。

なお、ATC制御装置のきょう体には、前述のとおり受信部を含むほか、後述のモニタ装置(中央装置)、その他、記録器、地点検知装置、列車番号設定器中継部などを収納している。外観を図9に示す。

表6 TS10形ATC制御装置の主要諸元 受信部インタフェースが周波数方式となっている点、車輪径補正が1mmピッチできめ細かく実施できる点などが特徴である。

No.	項 目	諸 元
1	システム構成	三重系 多数決出力
2	演算方式	専用LSIによるリング演算
3	受信部インタフェース	周波数方式
4	照査点	03, 02・01, 30, 70, 110(120), 160(170), 210(230) 注：小括弧内は切換可。
5	車輪径補正	830～910mm(1mmピッチ81段)
6	その他	速度入力高位選択回路 速度入力断線検知回路 後退検知回路 } 付き

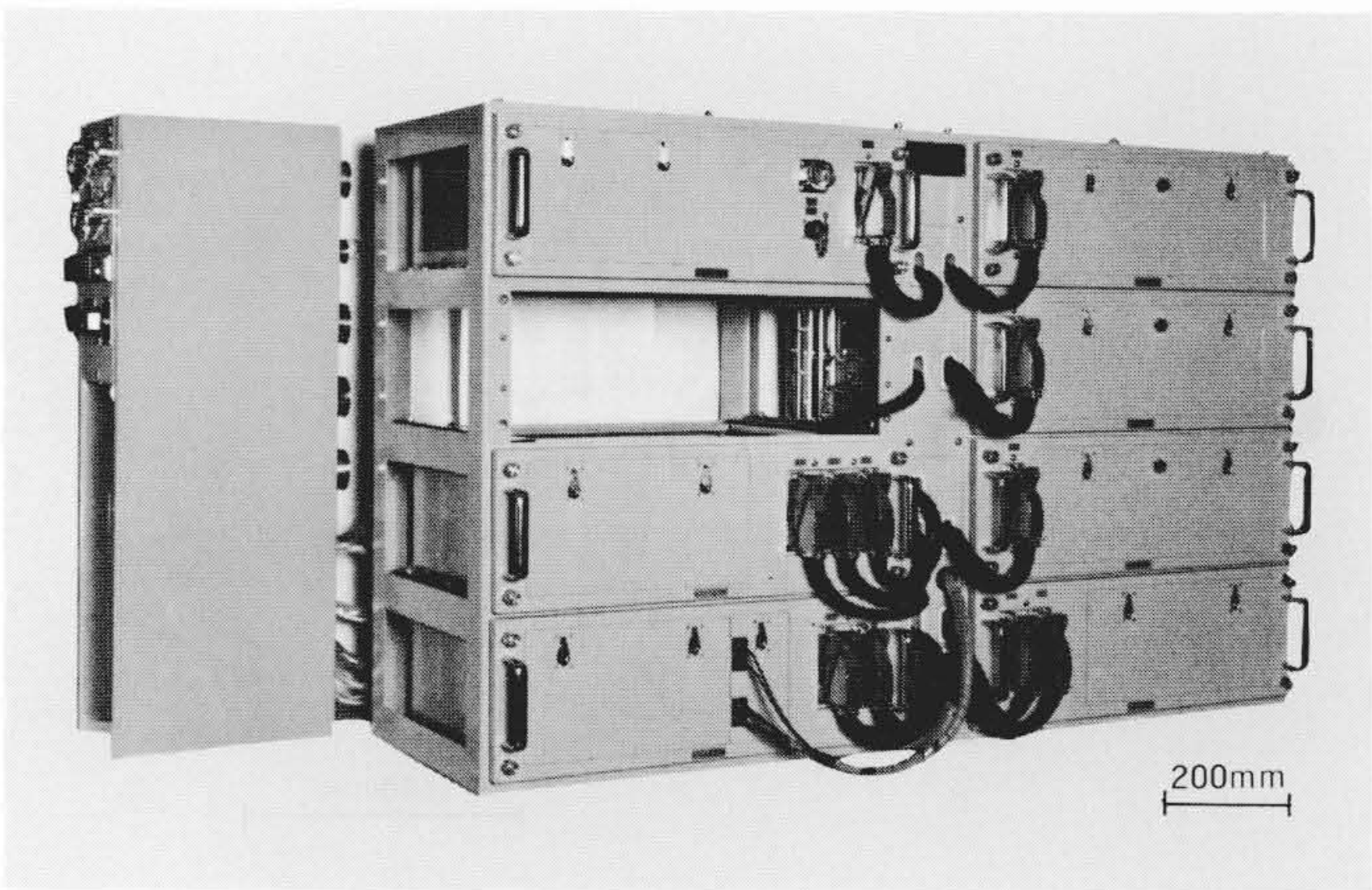


図9 TS10形ATC制御装置外観 向かって右半分がATC速照部(受信部を含む。)と共通部、左半分がモニタ装置及び記録器などである。200系新幹線電車用装置に比べ約半に小形化され、運転士席の下に設置される。

9.2 MON2形モニタ装置

MON2形モニタ装置は、200系新幹線電車用MON1形と同様、運転台に設置される中央装置と表示器、そして先頭車を含む全車両に設置される端末器とを、データ伝送路で接続し、各車両の機器の動作状態を一括して運転台に表示するシステムである。

MON1形に比べ主な特徴は次のとおりである。

(1) データ伝送路として、石英光ファイバーを使用し、伝送速度としては、19.2kビット/秒と倍増した。

(2) 表示器には、カラーCRT(Cathord Ray Tube)を使用し、表示内容に応じた色分け及び一部グラフィック表示を採用した。

(3) 各車両の端末器と、車掌用モニタ表示器又は列車案内情報装置、自動放送装置との間を、プラスチック光ファイバにより接続し、車掌及び旅客が必要とする各種の情報をモニタ装置から提供するようにした。

なお、本装置の中央装置は前述のとおりATC制御装置きょう体に収納されており、図9に示すとおりである。

10 結 言

以上、100系新幹線電車の主回路方式、制御回路方式及び主要電気品の概要について述べた。

これらの機器は、工場内で単品試験及び性能試験を行ない、性能確認後、電車に搭載され、昭和60年3月に行なわれた公式試運転、及びその後の各種性能試験で所期の性能を満足していることを確認した。

終わりに、これらの諸機器の製作に当たって、多大な御指導、御援助をいただいた日本国有鉄道の関係各位に対し厚くお礼を申し上げる。

参考文献

1) 荒井, 外：200系新幹線電車の主要電気品, 日立評論, 63, 11, 753～756(昭56-11)

2) 石川, 外：100系新幹線電車の力行制御装置, 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論文集, 161～165(昭60-11)

3) 藤田, 外：100系新幹線電車用ブレーキ出力制御装置, 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論文集, 166～170(昭60-11)