

鉄道技術の動向

Recent Trends of Railway Transportation Technology

眞宅正博* Masahiro Shintaku

世界的なエネルギー危機と深刻化する都市交通問題の解決のために、鉄道の省エネルギー性が再認識され、その整備拡充や新線建設が進められているが、一方では自動車や航空機の便利性に押されて、鉄道輸送のシェアは低下する傾向にあり、利用者にとって魅力ある鉄道の開発が大きな課題となっている。

日立製作所は早くから省エネルギー、省力化、高速化、快適性の向上、運輸業務の近代化など幅広い技術開発を推進して、魅力ある鉄道の実現に取り組み幾多の成果を挙げている。

本稿では、最近の鉄道技術の成果と今後の動向について述べる。

1 緒言

昭和57年の開業を目前にして、東北・上越新幹線の訓練運転が続けられているほか、今年は大阪南港ポートタウン線、神戸ポートアイランド線などの新交通システム、京都地下鉄・福岡地下鉄などの新設地下鉄線が相次いで開業し、我が国の都市交通は一段の飛躍を遂げた。

世界的なエネルギー危機の中で、鉄道の省エネルギー性が見直されてはいるものの、一方では自家用車や航空機の便利性に押されて、鉄道輸送のシェアが低下する傾向にあり、これを打開するためには、更にエネルギーの節約が可能で、利用者にとって魅力のある鉄道の開発が大きな課題となっている。

日立製作所はこの課題に対し早くから取り組み、省エネルギー・省力化、高速化、快適性の向上、鉄道関連業務の近代化などのニーズに対応した幅広い技術開発を推進している。

本稿は、これらの技術開発の最近の成果と、今後の動向について展望する。

2 省エネルギー・省力化

2.1 電力回生チョップ制御装置の普及

車両の省エネルギー施策としては、車体・台車・機器の軽量化、機器の効率向上とともに、力行時のエネルギー節減とブレーキ時のエネルギー回収が有効であり、直流電気車両ではチョップ制御による電力回生ブレーキ方式が普及しつつある。

電力回生ブレーキ付電機子チョップ制御装置は、昭和46年に帝都高速度交通営団千代田線に大量に納入されて以来、地下鉄電車を中心に拡大適用され¹⁾、最近、日本国有鉄道の201系通勤電車にも採用されて、量産に入った。

図1に電機子チョップ制御装置の開発経過を示す。

最近、GTO(ゲートターンオフ)サイリスタの高耐圧、大電流化の技術開発が進み、2,500V-1,000AのGTOが出現して、チョップ制御装置や可変電圧・可変周波数インバータなどに適用され始めた。GTOは自己しゃ断能力をもち、従来のサイリスタに比べて、高圧転流回路が不要となるほか、スイッ

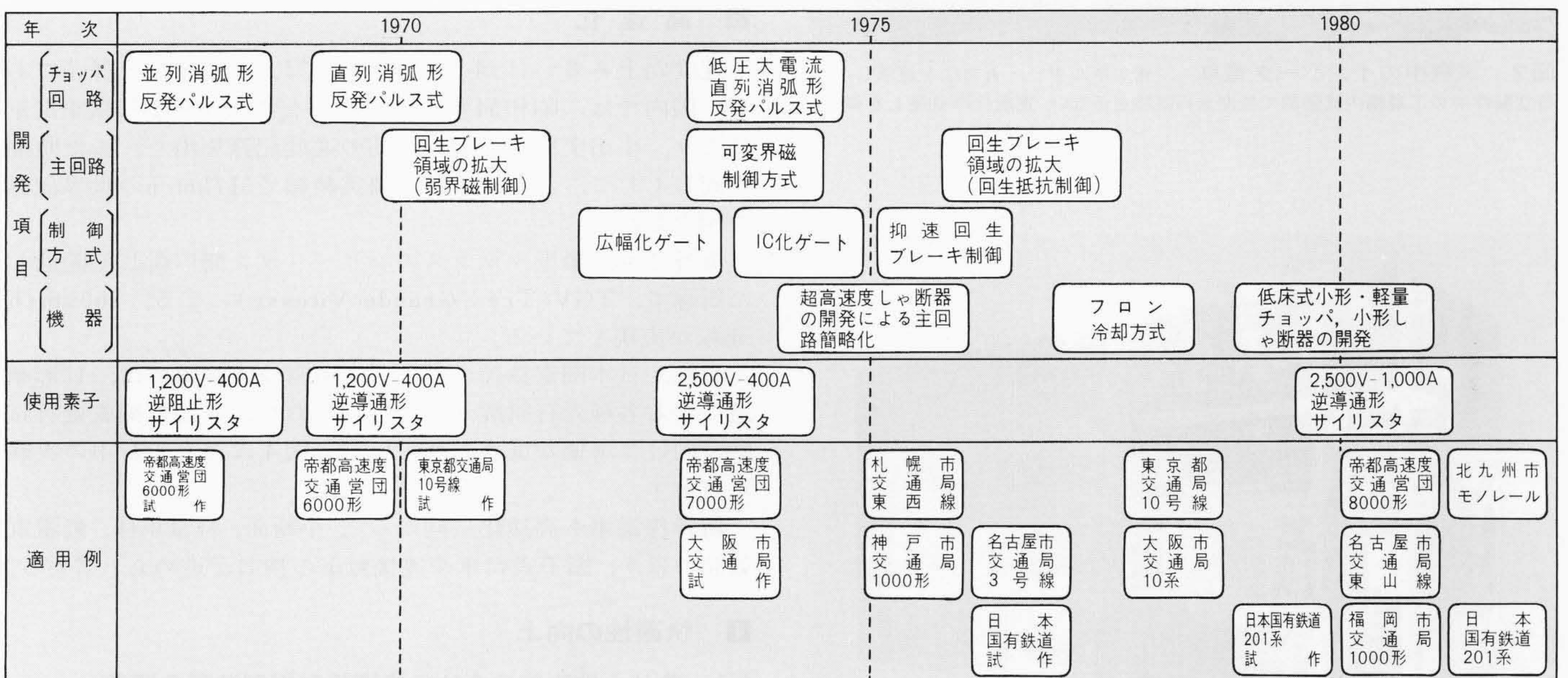


図1 電機子チョップ制御装置の開発経過 電機子チョップ制御装置は、昭和46年、帝都高速度交通営団千代田線に納入以来、多くの新技術を取り入れて改良され、拡大適用されている。

* 日立製作所機電事業本部

チング速度が速いので周波数が高くとも、より精密な制御ができることなどにより、機器の小形・軽量化が可能となり、誘導障害が低減できるなどの利点が多く、今後の普及が期待される。

一方、直流複巻電動機を制御する界磁チョップ制御装置は、昭和44年に東京急行電鉄株式会社に納入されて以来、京王帝都電鉄株式会社や西武鉄道株式会社など、主に郊外電車を中心に経済的な省エネルギー方式として採用されてきた²⁾。更に、最近営業運転に投入された近畿日本鉄道株式会社8810形電車には、抑速回生ブレーキ及び抑速発電ブレーキ付界磁チョップ制御装置が採用されて、長い急こう配区間での安定した電気ブレーキを実現している。

2.2 インバータによる誘導電動機駆動方式電気車の開発

この方式の電気車は、主電動機の無整流子化、主回路の無接点化などによる保守の大幅な軽減、粘着性能の向上、回転数を上げて主電動機を小形・軽量化することができるなどの特長をもち、近年のサイリスタの大容量化や制御技術の目覚ましい進歩によって可能となったものである。

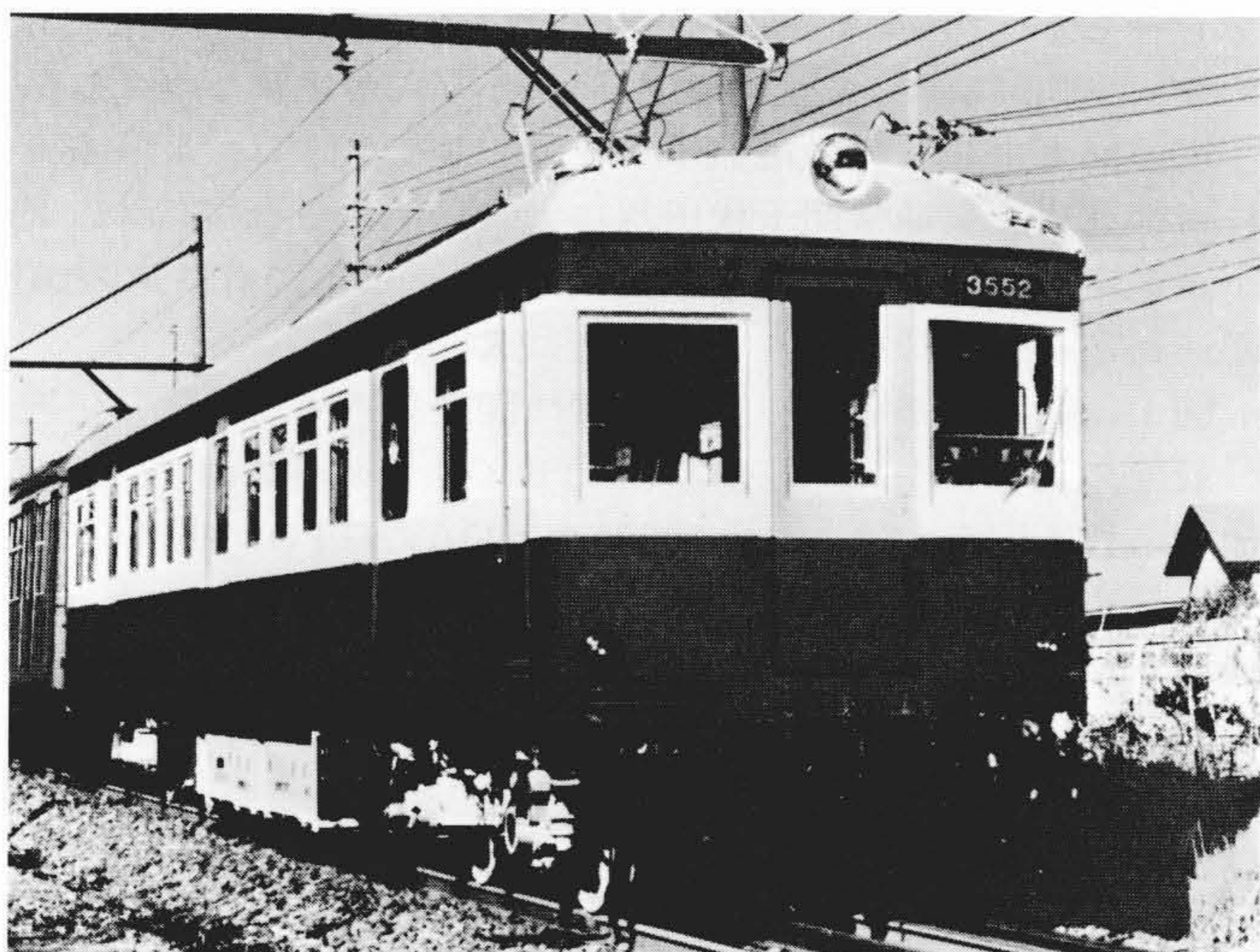


図2 試験中のインバータ電車 省エネルギー・省力化を追求して、日立製作所の工場構内試験線で長期走行試験を行ない、実用化の見通しを得た。

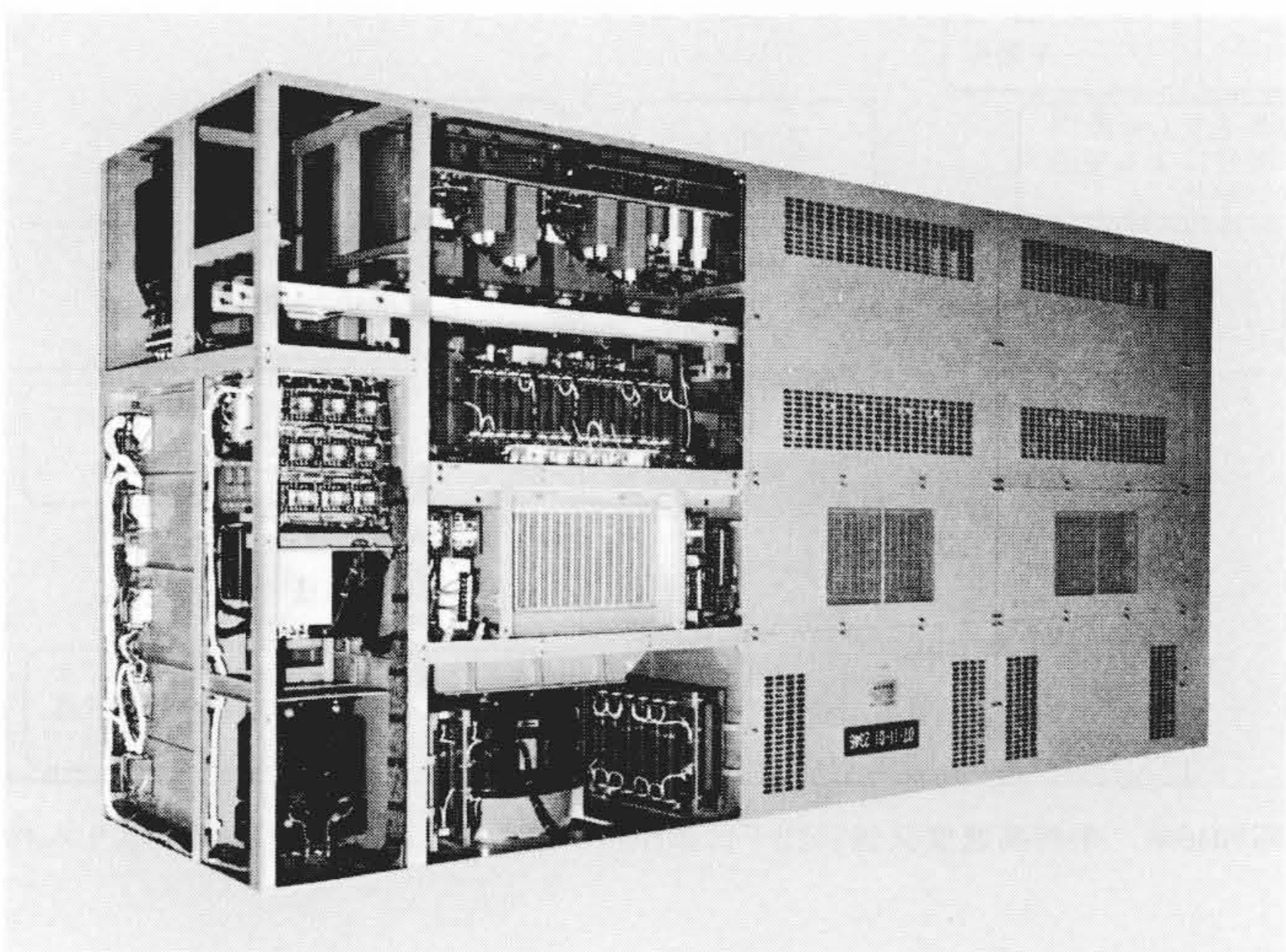


図3 電気機関車用インバータ制御装置 650kW 三相誘導電動機2台を制御する最大容量2,156kVAの電圧形パルス幅変調方式フロン冷却インバータ制御装置の外観を示す。



図4 浮上走行中の実験車 浮上式鉄道宮崎実験線では、昭和54年12月ML500により時速517kmの世界記録を樹立した。その後、ガイドウェイを従来の逆T形からU形に改造し、MLU 001による実験が繰り返されている。

日立製作所は、直流1,500V、出力1,000kVAの三相インバータ装置、及び130kW誘導電動機4台を製作し、昭和53年秋に我が国で最初の現車試験を行なった³⁾。昭和55年秋にはインバータ電車を製作して、日立製作所の工場構内試験線で長期にわたって走行試験を実施し(図2)、実用化の見通しを得た。

また、直流750V、出力610kVA、フロン冷却式GTOインバータと160kW誘導電動機を製作し、目下試験中である。

一方、日本国有鉄道の指導のもとに、交流電気機関車用2,156kVA、フロン冷却式のインバータを製作し、コンバータ、誘導電動機(650kW×2)、台車との総合組合せ試験を順調に終了し、インバータ機関車の実用化に向けて大きく前進した⁴⁾。

図3に電気機関車用インバータ制御装置の外観を示す。

3 高速化

速度向上あるいは到達時分の短縮は、鉄道永遠の課題である。国内では、昭和54年末、日本国有鉄道が961形試験電車により、小山実験線で319km/hの速度記録を出し、また時期を同じくして、浮上式鉄道宮崎実験線で517km/hの世界記録を樹立した。

海外でも、最近フランスのパリ〜リヨン間に新しく開通した新線で、TGV(Trés Grande Vitesse)による、260km/h運転が実現している。

現在、日本国有鉄道の浮上式鉄道宮崎実験線では、U形軌道による各種走行試験が続けられており、今後の編成走行試験に向けて準備が進められている。図4に浮上走行中の実験車を示す。

新幹線電車も高速化に向かって、小断面、軽量車体、軽量電気品のほか、振り子式台車や連接台車の検討が進められている。

4 快適性の向上

4.1 乗り心地改善のための車両揺動抑制装置の開発

車両の乗り心地の向上を図るには、走行中に発生する車両揺動の影響をできるだけ小さく抑えることが必要になる。

日立製作所は、日本国有鉄道の指導のもとに、車両の揺動を車両自身で積極的に抑える揺動抑制装置を開発した。図5にその構成を示す。

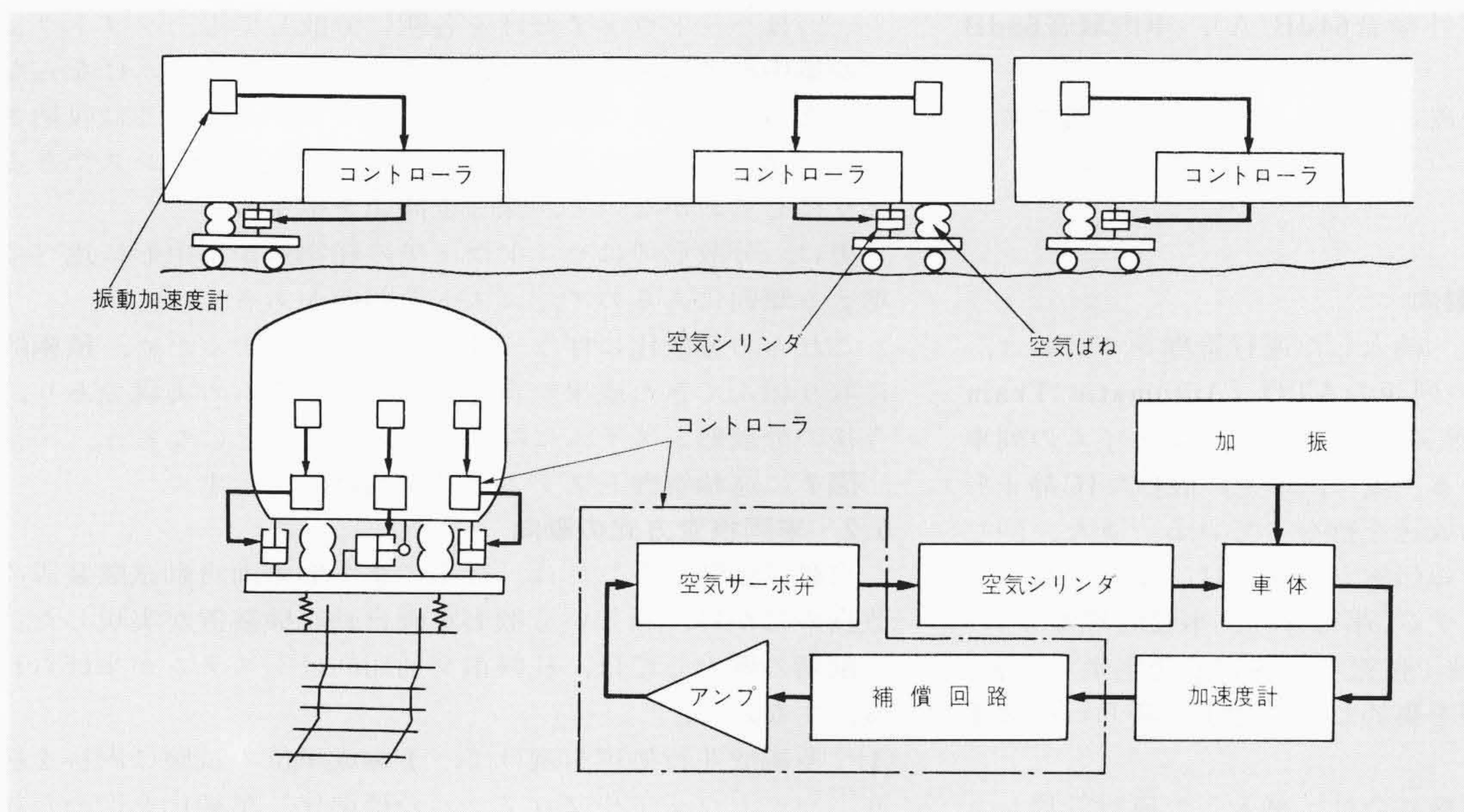


図5 揺動抑制装置の構成 本装置は、在来車両に簡単に取り付けられ、車両の揺動を $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ に低減でき、フェールセーフである。

これは車体の振動を振動加速度計で検出し、振動の大きさに応じて、車体の支持ばねに併設した空気サーボシリンダの内圧を制御するもので、従来のばねやダンパによるパッシブ制御と異なり、アクティブ制御による揺動抑制装置である。

本装置を用いて、実台車による加振実験と走行安定性試験を行なった結果、正弦波、ランダム波による上下・水平同時加振に対して、車体振動を従来の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ 程度に低減できるだけでなく、輪重や横圧の変動も減少し、蛇行動や各種フェール時にも安全であることが確認された。

本装置は構成部品が少なく小形・軽量であるため、在来車両に簡単に取り付けることができ、乗り心地の向上に役立つことが期待される。

4.2 新しい車両用空調装置⁵⁾

鉄道車両の快適性とサービス向上のために、空調装置は必要不可欠のものとなりつつあり、長距離電車はもちろん、通勤電車の冷房化率も年々高まっている。日立製作所は、昭和33年に日本国有鉄道に特急「あさかぜ」用空調装置を納入し

て以来、特急・急行電車用、通勤電車用として、各種の空調装置を納入している。特に、早くから屋根上集中式冷房装置を開発し、国内向けはもとより海外向けにも広く使用されている。また、製作に当たっては、鉄道車両の総合メーカーとしての関連技術と豊富な経験を生かし、特長ある空調装置を設計製作している。

近年、省エネルギーのニーズに対応するために、冷凍サイクル構成部品の熱効率の向上により約25%、マイクロコンピュータを応用した車内温度・換気量制御により約10%、合計約35%(当社従来形比)の省電力化に成功した。本装置は、京王帝都電鉄株式会社の電車に搭載されて、順調に稼働している。

また、夏季には冷房装置、冬季には暖房装置として使用できるヒートポンプ方式の屋根上集中式空調装置を開発し製品化した(図6)。これは、冬季、従来の電気ヒータ方式の暖房に比べて、約40%の省電力化が可能となるもので、現在、相模鉄道株式会社の電車に使用されている。

なお、空調装置全般として、車外及び車内の低騒音化にも

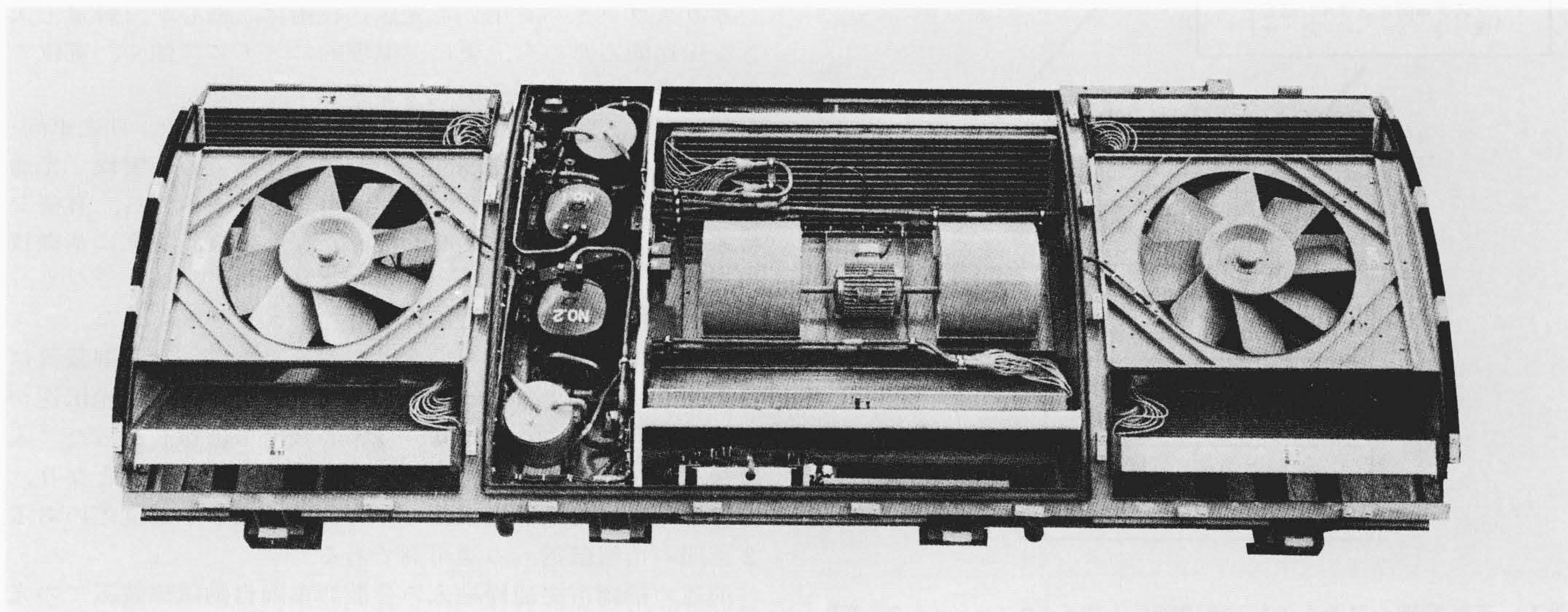


図6 ヒートポンプ方式空調装置 冷房能力42,000kcal/h、暖房能力32,000kcal/h以上で従来の屋根上集中形冷房装置と互換性があり、ヒータ方式に比べて約40%の省電力となる。

改良が図られ、現状では車外騒音64dB(A)、車内騒音68dB(A)を達成している。

これからの車両用空調装置としては、このような省エネルギー形が広く採用されるものと思われる。

5 運輸業務の近代化

5.1 運輸管理システムの動向

昭和55年、福岡市交通局へ納入した運行管理システムは、データ伝送系を経て個々の列車のATO (Automatic Train Operation: 列車自動運転装置) と結び、リアルタイムの列車群制御を意図したものである。更に、車上に設けたIC静止形音源をも制御して車内自動放送を行なっている。また、同じ福岡市交通局へ納入した情報伝送システムは、トータルシステムを構成する各サブシステム(運行管理、事務管理など)のCPU(中央処理装置)間を結ぶ情報と、各駅で発生する売上、防災、機器故障などの情報を集約して伝送する新しい構成手法を採っている。

昭和55年、南海電気鉄道株式会社へ納入した運行管理システム⁶⁾は、初めての本格的な郊外電鉄向け運行管理システムで、地下鉄向けに比べて制御対象や運行種別の数をはるかに多く、ソフトウェア技術としても極めて難しいものであった。しかし、それだけに導入の効果も大きく、今後はこのような郊外電鉄向け運行管理システムの需要が拡大するものと期待される。

また、最近のマイクロコンピュータの普及に伴い、分散形システムを構成する事例も多くなってきた。すなわち、情報集中・処理分散を指向するものである。なかには集められた運行情報を再び駅にモニタ情報として戻すために、各駅にCRT (Cathode Ray Tube) ビューを設けたものもある。

分散形システムは、今後の一つの主流になるものと見られるが、解決しなければならない幾つかの問題があった。

一つはハードウェアだけを各駅に分散しても、ソフトウェアが集中形の体系のままでは、真の分散形システムにならないことである。また、端末のハードウェアと、そこに収納されたソフトウェアを、中央からリモートメンテナンスできるようにしておかないと、保守上問題を生ずる。

更に、分散形ではハードウェアの総物量が集中形に比べて増える傾向にあるので、コストの問題がある。

これらの分散化に伴う一連の問題を解決するため、積極的に取り組んできた成果が自律分散形システムの実現であり、今後の分散形システムに採り入れられることになろう。

図7に運輸管理システムの技術的動向を示す。

5.2 車両検査方式の動向

自動試験装置としては、従来の集中形車両自動試験装置の改良のほかに、新しい分散形車両自動試験装置が実現した。

前者の例としては、札幌市交通局向けシステムが挙げられる。すなわち、

- (1) 多編成並行処理を避けて、1編成単位の試験に内容を絞り、ハードウェアやプログラムの標準化、単純化を進めた結果、より高い経済性とデバッグ効率の向上、試験時間の短縮、及びより拡張性に富んだシステムが実現できた。
- (2) つなぎ箱内に測定器を分散配置することにより、測定精度の向上と試験時間の短縮が可能となった。
- (3) コンピュータにプログラム開発機能を付加することにより、プログラムの開発、変更が効率よく行なわれるようになった。

後者の例として、昭和56年度納入の福岡市交通局向け分散形車両自動試験装置がある。図8に分散形自動試験システムの構成を示す。本装置では、

- (1) 個々の試験対象機器に対する端末試験装置を、試験線路に沿って分散設置し、これらと中央機器とを1ループの光ファイバ伝送路で結合する方式とした。これにより、従来は数千本も必要であった機器間接続用電線を大幅に減らすとともに、拡張性、融通性に富むシステムが実現できた。
- (2) すべての端末試験装置は、プラグイン可能な操作盤を必要に応じて接続することにより、中央から独立した完全な手動単体試験装置として機能するようにしたので、単独機器の保守や教育にも有効なものとなった。

6 新技術の導入—光伝送技術の適用

ガラスファイバを用いた光伝送技術は、細心かつ軽量で大きな伝送能力をもち、更に、原理的にノイズに強く、電位の異なる2点間の情報の伝送にも適している。

昭和54年5月、日立製作所の工場で開催された「日立車両・システム技術展」に交通関係としては初めての、実機「光通信による車両用モニタリングシステム」が展示され、有望な将来技術として多くの関心を集めた。その後、着実に基礎技術を積み上げ、メタルケーブルの代替としてばかりでなく、光伝送の特徴を生かした適用分野の拡大を図ってきた。

昭和55年、福岡市交通局へ納入されたチョップ制御装置には、図9に示すようにサイリスタ異常表示灯回路に光伝送が使われている。これにより、従来の技術では難しかった「入庫後も不良サイリスタを表示し続ける」ことが可能となり、保守上新しい効果が生まれた。これは、大きな電位差のある2点間の情報伝送への適用例である。

前述の福岡市交通局納入の分散形車両自動試験装置での光伝送ループは、伝送能力が大きいこと、耐ノイズ性が高いことが生かされた例である。

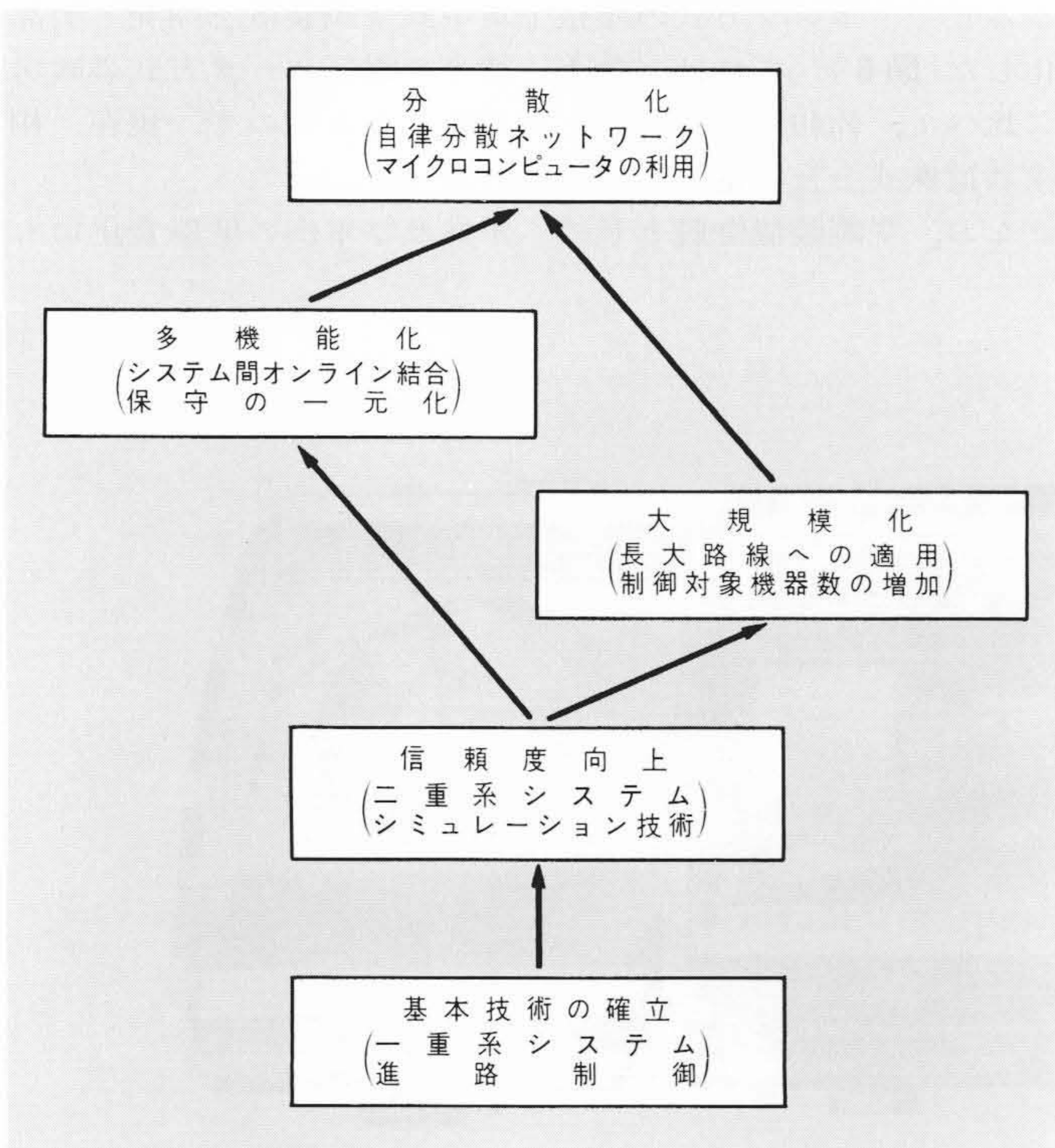


図7 運輸管理システムの技術的動向 マイクロコンピュータの普及とあわせて、信頼性、拡張性の向上と処理の迅速化をねらい、分散形システムが増加する傾向にある。

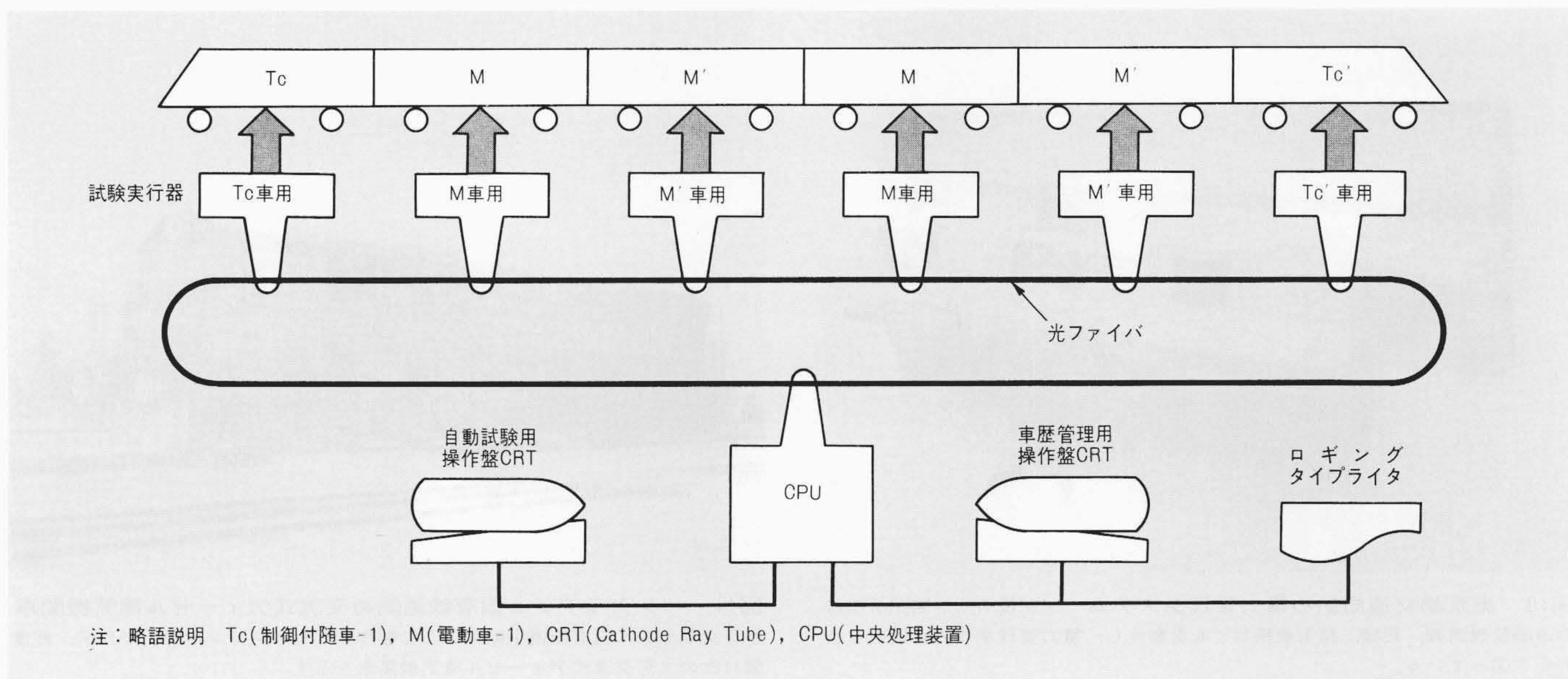


図8 分散形自動試験システム構成図 光伝送を応用したシステムで、集中形に比べて配線が大幅に減少し、将来、車両編成が変更された場合にも容易に対応できる。

昭和55年度には日本国有鉄道の指導を得て、従来実現が困難であった光ジャンパケーブルを含む光コンポーネントの試作が行なわれ、屈曲試験、着脱試験、組合せ試験などの過酷な試験の結果、車両用として所期の性能が得られることが確認された。

運行管理システムなどの地上用コンピュータシステムにも光伝送技術は不可欠のものとなりつつあり、現在推進中の自律分散形システムでも、光ファイバが基本仕様となっている。これは、大きな伝送能力、耐ノイズ性のほかに、電気的に各端末が分離でき、マイクロプロセッサとの相性がよく、特別なファイバや入出力部によらないでも、鉄道の駅間距離に見合う数キロメートルの伝送スパンを実現できることなどによるものである。

今後、光伝送技術は鉄道のあらゆる分野に適用されてゆくことになろう。

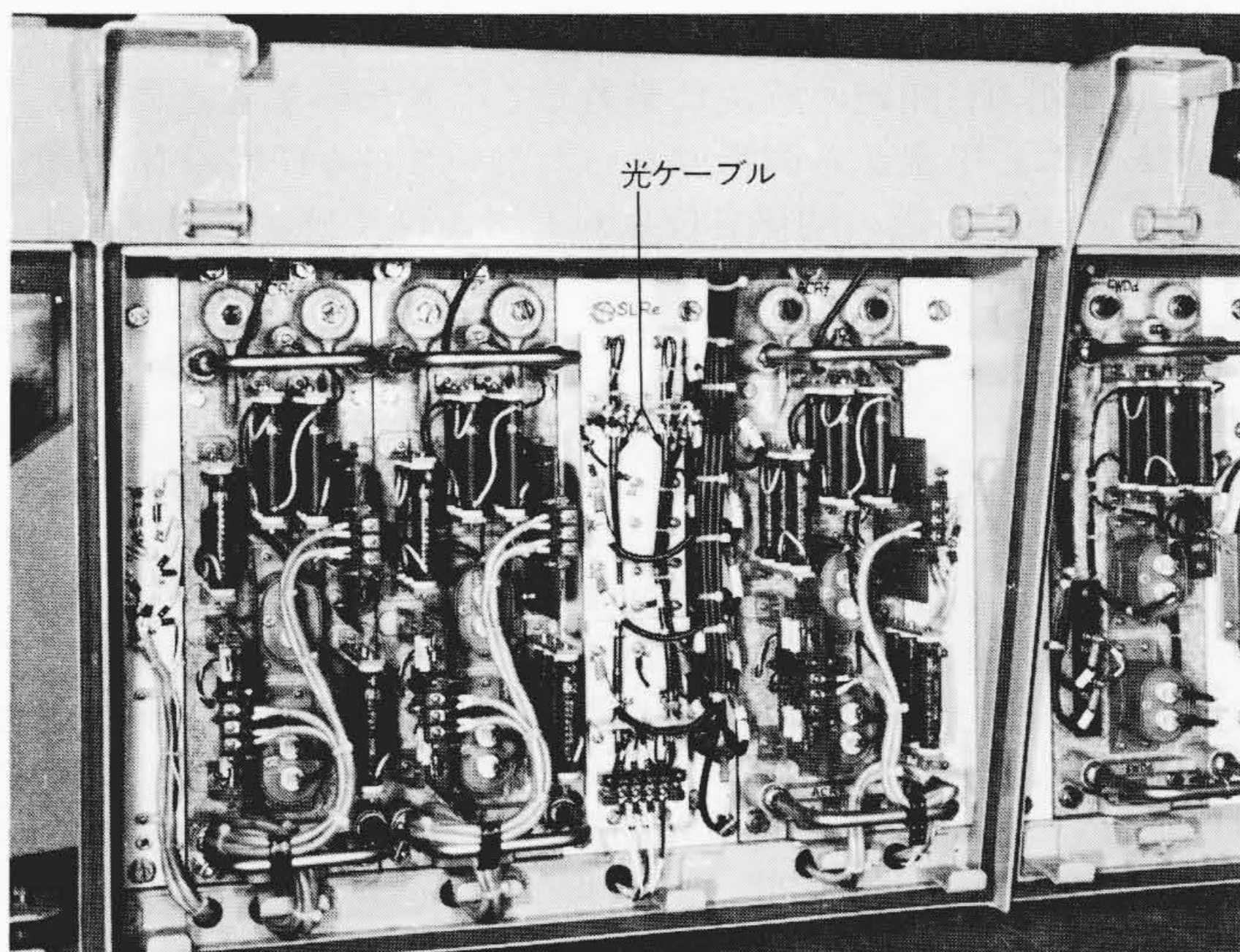


図9 光伝送を適用したチョップ制御装置 光伝送の絶縁性、耐ノイズ性を生かし、チョップ装置のサイリスタ故障表示モニタ回路に光ケーブルを適用した。

7 電鉄用変電所の動向

電鉄用変電所では、従来から省力化、無人化を進めてきたが、更に最適な運転、安全性の向上、保守性の向上などを図るため、種々の新しい機器及び電力管理システムが取り入れられている。

部門別に具体例を挙げると次のようなものがある。

- (1) 電力管理システムは、情報の高速処理、総合判断機能の向上、省力化、機能の拡充に向かっている。
- (2) 変電所はSF₆ガス絶縁変電所が多く採用される傾向にあり、小形化と安全性の向上を指向している。
- (3) 変圧器はモールド変圧器、SF₆ガス絶縁変圧器が増加し、不燃化による安全性の向上を図っている。
- (4) 整流器はフロン沸騰冷却式シリコン整流器のもつ小形、低騒音及び保守容易のメリットが認められて広く採用されつつある。
- (5) しゃ断器はSF₆ガスしゃ断器、真空しゃ断器により、小形化、不燃化及び省力化を図っている。
- (6) 配電盤・継電器類は、静止形配電盤、静止形保護継電器により、高信頼性、制御内容の高度化、小形化及び省力化に向かっている。
- (7) 電力回生ブレーキ車両の増加に伴い、省エネルギー効果を高めるために回生インバータを併設する例が増えている。

また、計画・設計・技術の面でも、電力シミュレータが完成し、変電所及び機器の仕様の最適化や高密度の計画を迅速にまとめることができるようになった。

図10は、東京都交通局の大門駅近くの電力指令所に納められた電力管理システムで、都営地下鉄3号線区の全変電所25箇所を1箇所集中管理して、日常指令業務の円滑な運営と省力化を実現している。

8 新都市交通システムの建設

近年、都市内及びニュータウンへの路面交通の渋滞、騒音・振動などの環境問題、交通事故などを解消するために、専用軌道上に低騒音のゴムタイヤ車両を走行させ、ワンマン運転あ



図10 東京都交通局納め電力管理システム 変電所及び開閉所機器の遠隔監視制御、記録、指令業務などを自動化し、電力管理業務の合理化と省力化を図っている。



図11 バングラデシュ国有鉄道納め交流式ディーゼル電気機関車 バングラデシュ国有鉄道広軌用として製作されたエンジン出力2,450HP、総重量112tの大形交流式ディーゼル電気機関車を示す。

るいは無人運転を可能にする都市モノレールや新交通システムなど、いわゆる新都市交通システムが登場してきた。新都市交通システムは、公共交通機関の中で、地下鉄とバスの中間的な容量の需要に対応するものとして位置づけられる。

現在、新交通システムは大阪南港ポートタウン線6.9kmと、神戸ポートアイランド線6.4kmが営業運転に入っている。日立製作所は、大阪南港新交通システムに、列車の運行や変電所を一括管理するコンピュータシステム、車両の自動運転装置及び低圧三相交流き電方式の電力設備などを納入し、現在順調に稼動している。一方、本格的な都市モノレールとして建設中の北九州市モノレールは、羽田モノレール、万博モノレールの経験に加えて、コンピュータ制御を大幅に導入したもので、現在1.1kmの試験線で空調付の低騒音モノレール車両が試験走行中である。更に、大阪モノレール(伊丹空港～千里中央～茨木間13km)、那覇市モノレール(那覇空港～西原入口間15.4km)の建設計画に参画し、技術協力を行なっている。

これらの新都市交通システムの実用化を契機として、各地区で導入計画が更に活発化するものと期待される。

9 海外向け技術開発

世界の鉄道輸送での顕著な傾向としては、

- (1) エネルギー利用効率のいっそうの改善
 - (2) 都市間旅客輸送の高速化
- が挙げられる。

(1)については、世界的なエネルギー問題以来、鉄道輸送のいっそうの効率化を図るために、各国で鉄道電化が推進されている。電気車両では、既にサイリスタなどのパワーエレクトロニクスの導入、電子部品の応用などによって大幅な省エネルギーが図られているが、最近では更に大量輸送のための大容量機関車の需要が増大し、起動時の電力消費量の削減や、力行性能・粘着性能の大幅な向上が要求されるようになっている。

(2)については、現在世界で200km/h級の高速列車をもつ国は、日本、フランス、イギリス、ドイツ、イタリア及びアメリカであり、更にスピードアップするための研究が進められている。

海外でのこのような動向に対応して、日立製作所は、国内

向け製品での各種技術開発の成果を海外向け製品に応用するだけでなく、海外指向の研究開発をも積極的に行なっている。

例えば、近年開発された3,000kW級大容量サイリスタ式交流電気機関車の性能、ことに力率及び通信誘導障害の改善については、欧米各国に比べて勝るとも劣らぬ水準に達しており、その製作実績も100両を超え、好評裏に稼動している。

一方、東南アジアを中心とした各国の鉄道では、輸送合理化のために、1,000～2,500馬力級の交流式ディーゼル電気機関車の需要が多く、日立製作所は昭和53年(1978年)以降100両近い機関車を製作し、納入している。

図11は、その一例としてバングラデシュ国有鉄道向けディーゼル電気機関車の外観を示す。

10 結 言

最近の鉄道技術の進展とその動向について、具体的に紹介した。

近年、鉄道を取り巻く環境は厳しく、魅力ある鉄道によって増収を図り、省エネルギー、省力化によって経費節減を図るために、各鉄道では懸命な経営努力が続けられている。日立製作所は、総合メーカーとしてこれらの広範なニーズに積極的に取り組み、問題の解決に努力してゆきたいと考えている。

終わりに、平素から御指導をいただいている日本国有鉄道、各公営・民営鉄道の関係各位に対して、深く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 木村, 外: 電気車用チョップ制御装置, 日立評論, 60, 7, 533～538 (昭53-7)
- 2) 今野, 外: 最近の日立車両用界磁チョップ制御装置, 日立評論, 58, 9, 755～760 (昭51-9)
- 3) 刈田, 外: 車両用誘導電動機のインバータ制御, 日立評論, 61, 5, 343～348 (昭54-5)
- 4) 相沢, 外: 電気機関車用大容量PWH方式インバータ, 日立評論, 63, 6, 385～388 (昭56-6)
- 5) 壺岐尾, 外: 最近の車両用空調装置, 日立評論, 63, 10, 703～708 (昭56-10)
- 6) 栗山, 外: 南海電気鉄道株式会社向け列車運行管理システム, 日立評論, 62, 11, 831～836 (昭55-11)