

大出力インバータ電気機関車

High Power Inverter Controlled Electric Locomotives

日本貨物鉄道株式会社は、貨物列車の長大化・高速化、および乗務・保守作業の省力化を目的として、次世代向けの大出力機関車の開発を推進しており、日立製作所はEF200形 6 軸直流試作電気機関車の設計、製作を担当した。

EF200形の最大の特長は、出力6,000 kW、世界最大級の大出力機関車となっている点である。これは、1 軸当たり1,000 kWの三相交流誘導電動機の採用によって実現したものである。

その他にも、従来の機関車にはみられない数々の新技術を採用しており、次世代の電気機関車としての活躍が期待されている。

西 重樹*	Shigeki Nishi
山口博史**	Hiroshi Yamaguchi
神保佳司**	Yoshiji Jimbo
植田千秋***	Chiaki Ueda
石川辰明****	Tatsuaki Ishikawa

1 緒 言

近年、国内の鉄道貨物輸送は、コンテナ輸送を中心として年10%以上の伸びを記録している。

このニーズに対応するため、日本貨物鉄道株式会社(以下、JR貨物と略す。)では、1 列車当たりの貨物輸送能力の向上を図るとともに、機関車の運転操作性の向上と保守の省力化を図ることを目的として、'90年代の電気機関車として、EF200 形 6 軸直流電気機関車(以下、EF200形と略す。)の試作を実施した。

本稿では、EF200形の構成、特長などについて述べる。

2 設計の基本方針

鉄道貨物輸送能力増強のために、機関車けん引力と高速性を向上することを主眼とした。この方針について下記に述べる。

- (1) 許容された寸法、質量の中で、1 軸1,000 kW(機関車出力6,000 kW)の大出力化を実現するため、主電動機は三相交流誘導電動機を用い、これをインバータ制御装置で駆動する方式とする。
- (2) 高粘着化のため、高粘着制御、主電動機個別制御、軸重移動の低減を行う。
- (3) 高速走行、曲線通過性能向上のため、ばね下質量の低減、ブレーキ性能向上、軸箱弾性支持、円弧踏面などを実施する。
- (4) インバータ化による主電動機のブラシレス化、主回路の無接点化のほかに、調整作業の自動化、無清掃化などの保守の省力化を図る。
- (5) 運転室のアメニティ化、乗務作業の近代化を図るため、

運転操作機器の最適配置化、操作のワンタッチ化、快適なインテリア、運転支援システムの導入などを図る。

- (6) JR貨物のコーポレートイメージを表現した力強いスマートなデザインを採用する。

3 EF200形の概要

EF200形の全体図を図 1 に、またEF200形の主要仕様を、従来国内最大出力電気機関車であったEF66形と対比して表 1 に示す。EF200形では、主電動機に大出力化が可能な三相交流誘導電動機を採用し、これをPWM(パルス幅変調)方式電圧形インバータ装置で駆動することで、大出力化、制御の多様化、保守の大幅な省力化を図っている点が最大の特長となっている。

これによってEF200形は、1,600 tの貨車(コンテナ車32両、列車長640 m)をけん引して、10%の上りこう配(東海道本線関ヶ原の線路条件)を速度90 km/h以上で運転できるけん引性能を持っている(図 2 参照)。

従来のEF66形などに比較して、起動時のけん引力向上と同時に、中・高速域でのけん引性能も向上し、貨物列車の高速化に有効な性能となっている。

4 主回路構成および制御機能

4.1 主回路構成

主回路は図 3 に示すように、高圧機器部も含め 1 インバータ・1 主電動機の完全個別制御方式として、空転滑走発生時の影響が他の主電動機制御に及ばず、良好な高粘着制御を実

* 日本貨物鉄道株式会社 技術開発室 ** 日立製作所 水戸工場 *** 日立製作所 電機システム事業本部 **** 日立製作所 日立工場

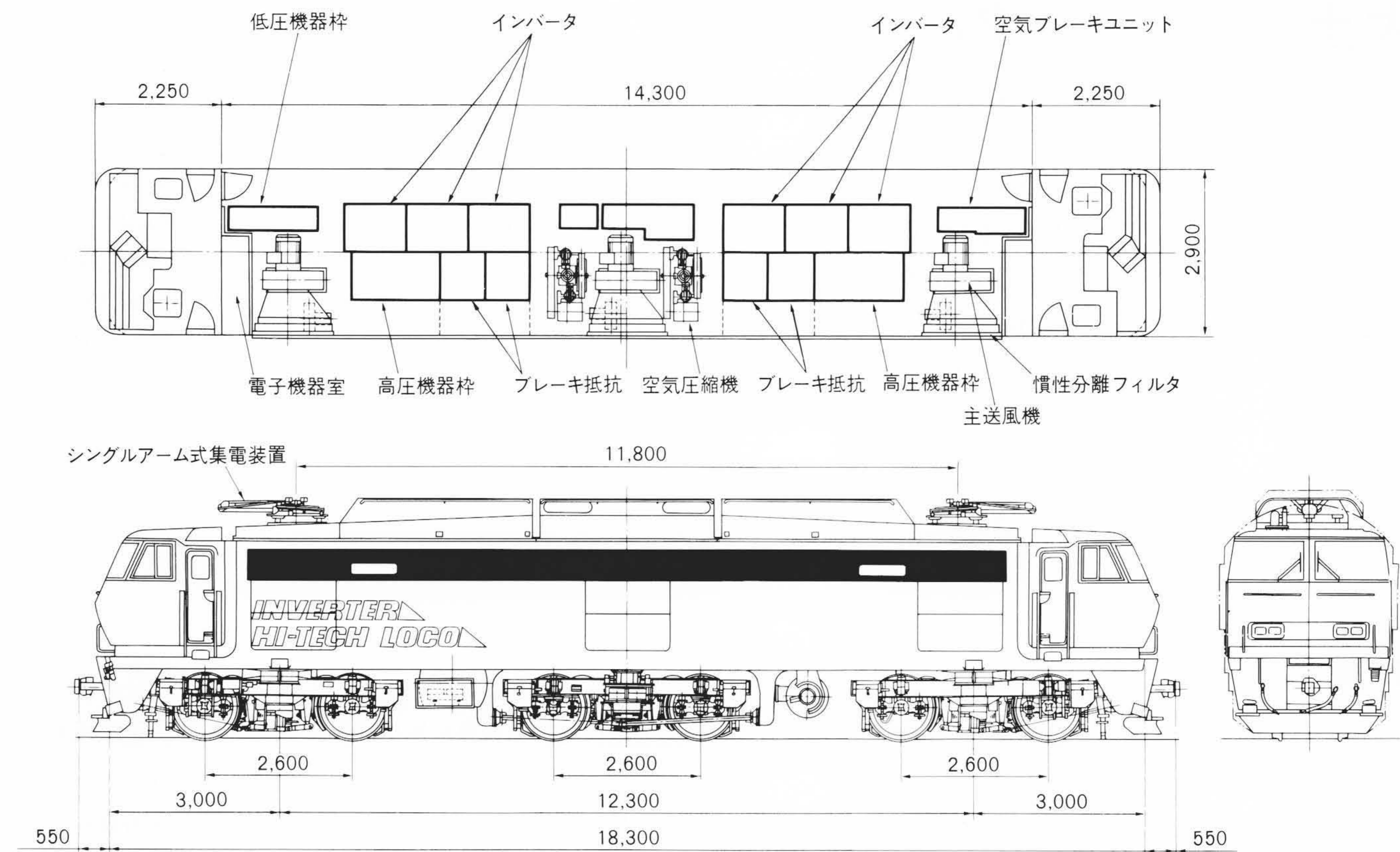


図1 EF200形の全体図 インバータ装置3台、ブレーキ抵抗2台および高圧機器枠1台から成る主回路ユニットを前後対称に配置している。

表1 EF200形の主な仕様 EF200形は、EF66形に比べて大幅な出力向上が図られている。

項 目	EF200形	EF66形
電 気 方 式	直流1,500 V	直流1,500 V
軸 配 置	B ₀ -B ₀ -B ₀	B ₀ -B ₀ -B ₀
運転整備質量	100.8 t	100.8 t
定 格 出 力	6,000 kW	3,900 kW
最高運転速度	120 km/h	110 km/h
制 御 方 式	インバータ制御	抵抗制御
主 電 動 機	三相交流誘動電動機	直流直巻電動機

現している。また、故障の局所化ができ、冗長性の高いシステムとなっている。

三相インバータは4,500 V、2,000 AのGTO (Gate Turn Off)サイリスタを用いた1S-1P-6アーム構成であり、PWMによる電圧制御と周波数制御を最適に行うことで、速度0から最高速度120 km/hまでの連続的制御を可能にしている。

インバータ装置の外観を図4に示す。

なお将来、さらに大容量GTO (4,500 V、4,000 A以上)が実用化されれば、1インバータで2主電動機を駆動する方式も可能となる。

高圧機器部には、異常時の過大電流を速やかに遮断する新

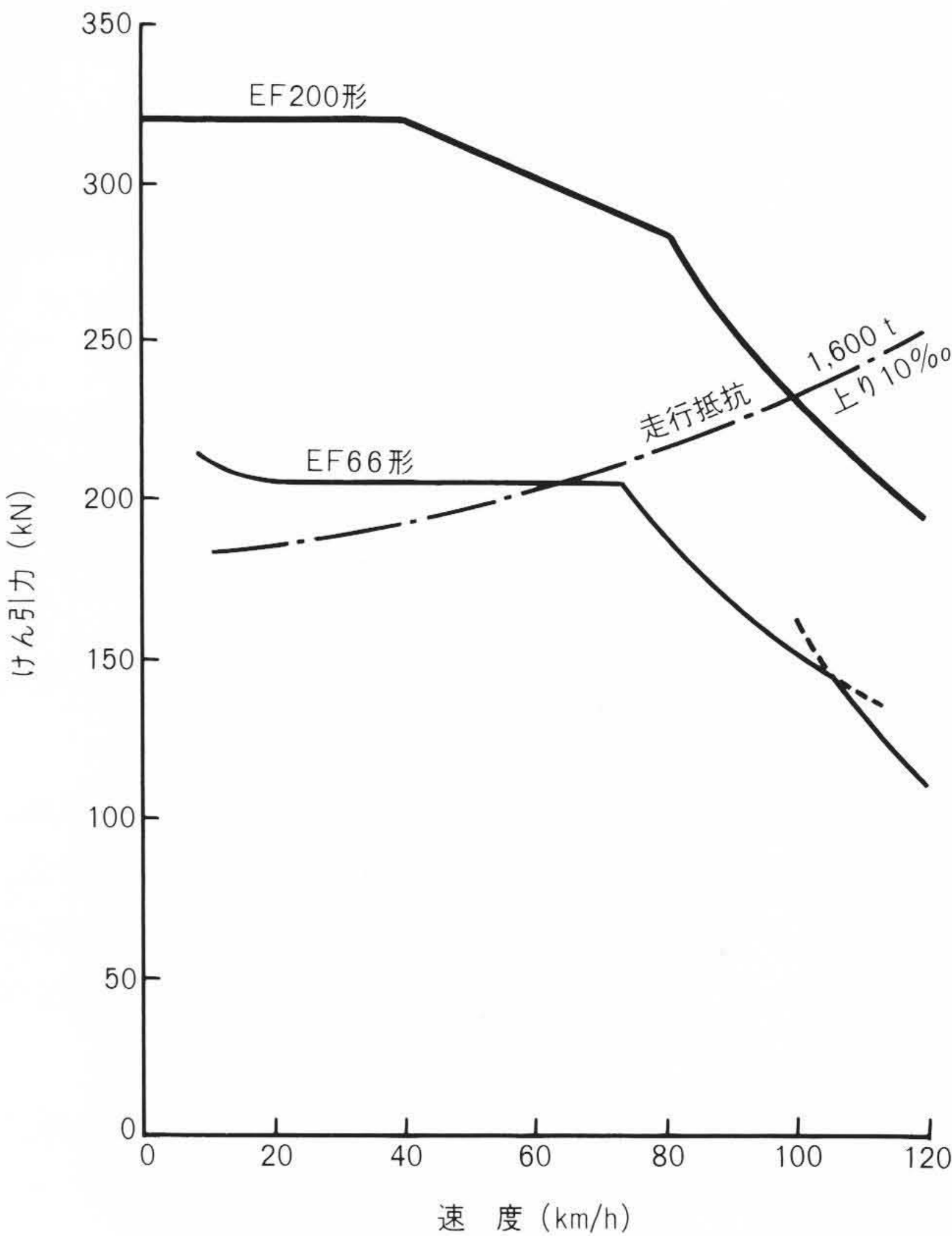


図2 最大けん引性能 EF200形はEF66形に比較し、全速度域で大幅にけん引性能が向上している。

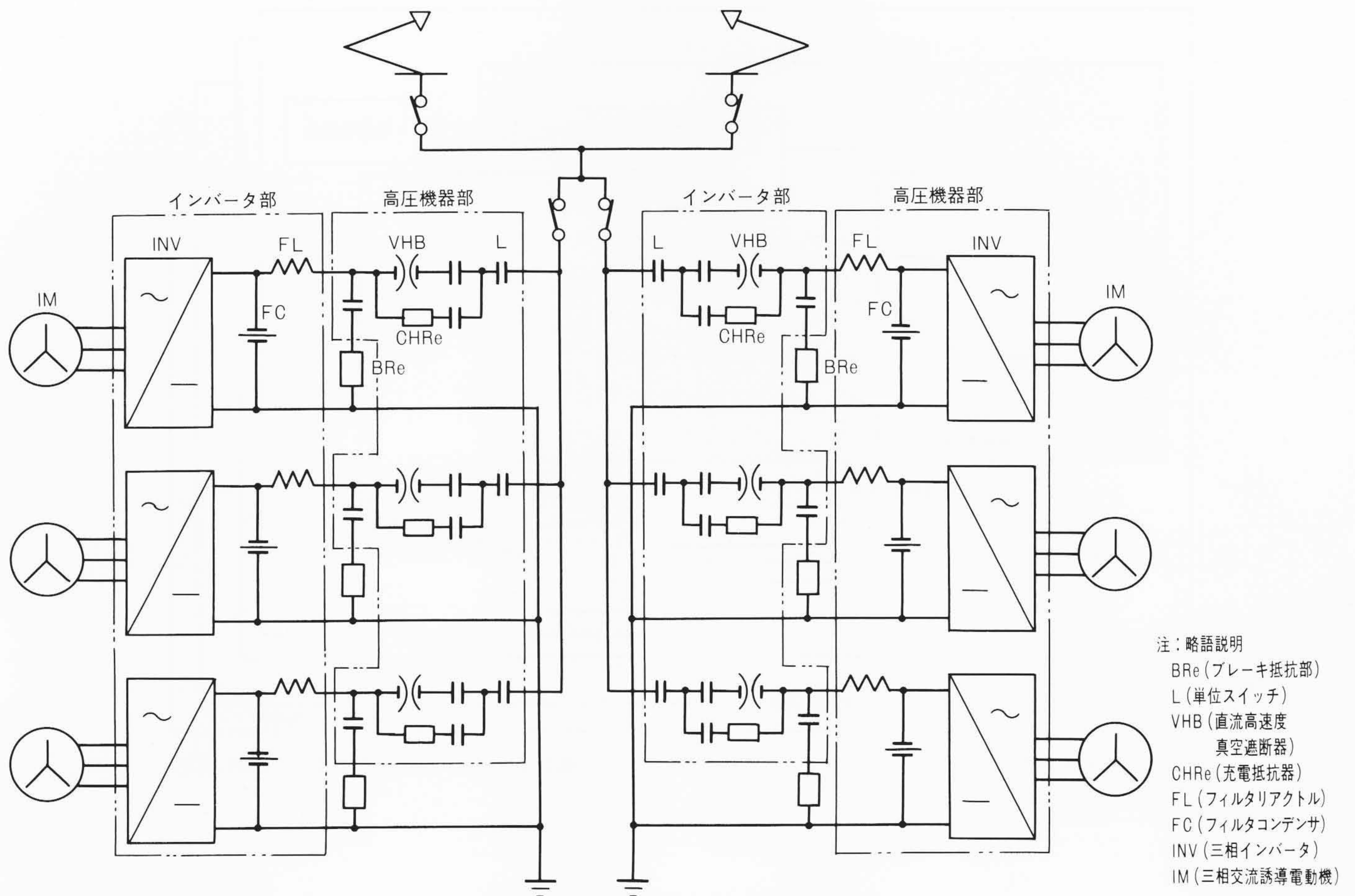


図3 主回路つなぎ 1 インバータ・1 主電動機の個別制御回路を、2 群に分けた構成となっている。

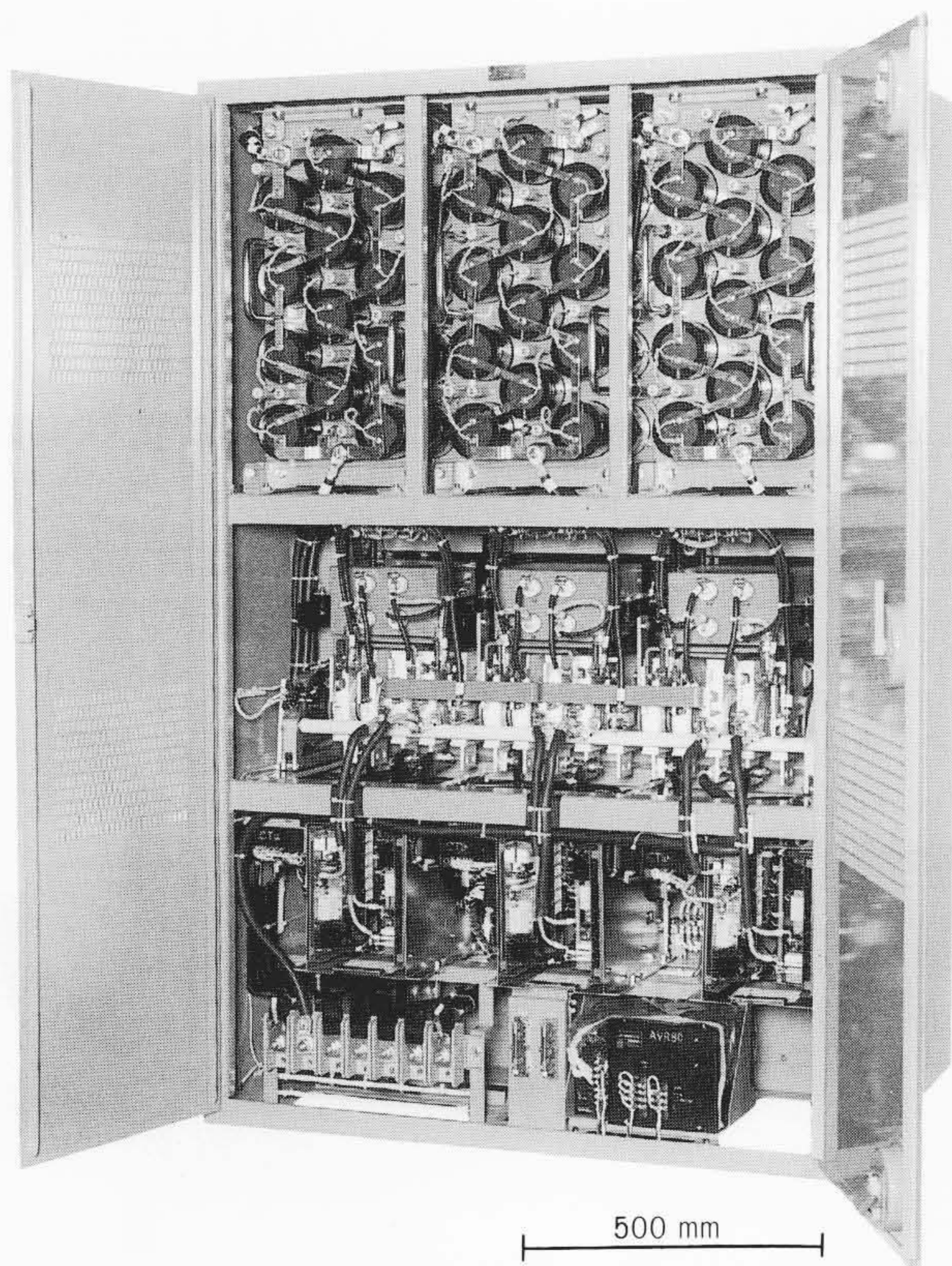


図4 インバータ装置の外観 この装置1台で主電動機1基を制御するため、EF200形にはこのインバータ装置6台が搭載されている。

開発の高速度直流真空遮断器を使用している。これは、真空バルブと転流回路により、無アーク高速遮断を行うもので、従来の気中遮断器に比べ、 $\frac{1}{10}$ の時間で遮断でき、かつ省保守が可能である。

電気ブレーキとしては、発電ブレーキを採用し、下りこう配の抑速ブレーキ操作時ばかりでなく、停止時の列車空気ブレーキ操作時にも、機関車では発電ブレーキを優先的に作用させることで、制輪子や車輪踏面の摩耗低減を図っている。

4.2 制御機能

インバータのゲート制御部は、16ビットマイクロコンピュータによって全デジタル化され、プログラム制御を行っている。このことにより、従来の機関車にはない以下に述べるような制御を実現している。

(1) 高粘着制御機能

空転をすばやく検知し、再粘着させ、レールと車輪間の粘着力を最大限に利用する高粘着制御は、機関車としては重要な機能の一つである。

EF200形で採用した制御では図5に示すように、個別制御の各インバータで自軸の回転数と他軸群の車輪径補正後の回転数の最小値(車両絶対速度に相当)を常時比較している。そして、この差が一定値以上となったならば自軸が空転したと判断

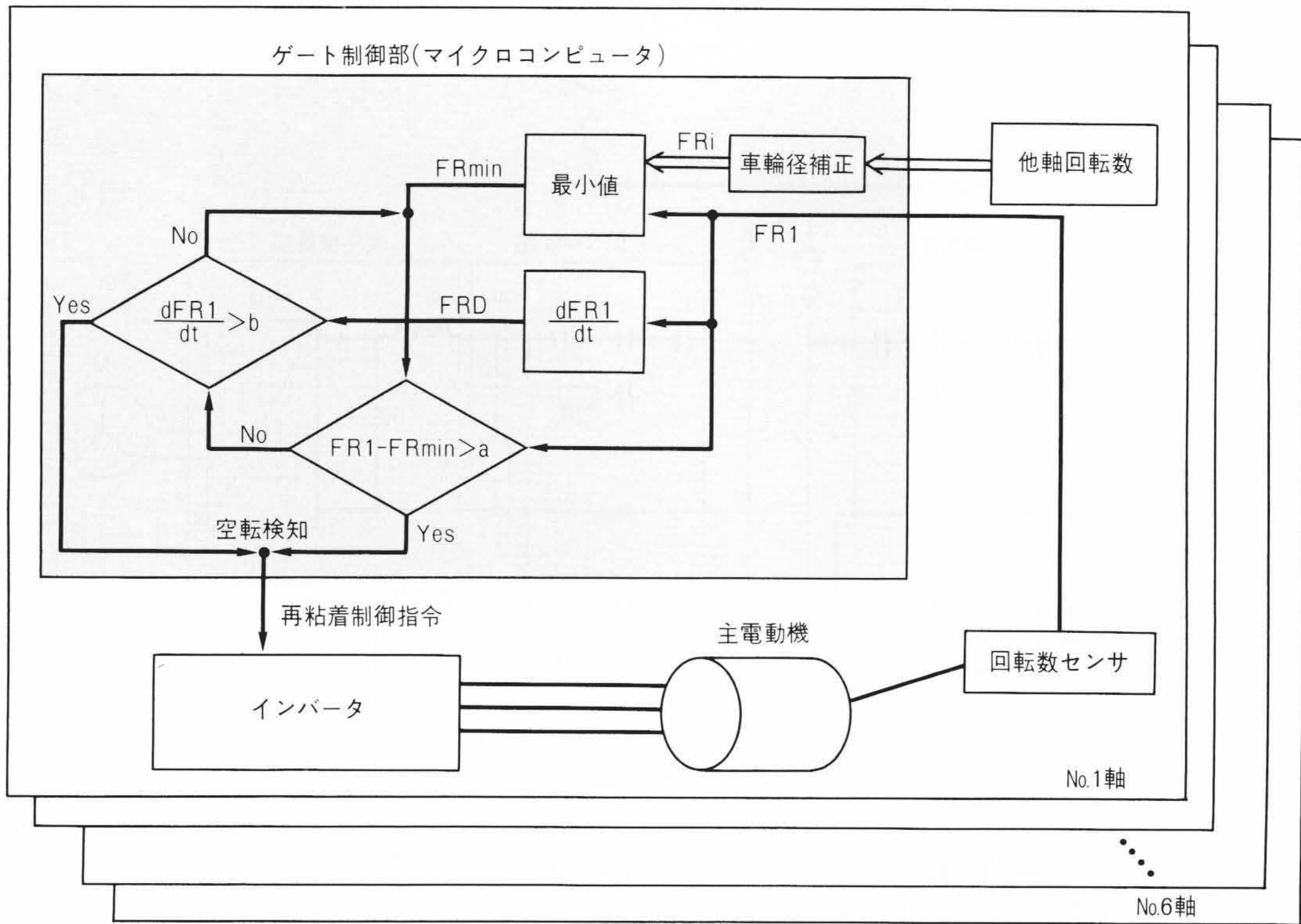


図5 空転再粘着制御ブロック図 このような制御により、1軸および全軸同時空転をすばやく検知し再粘着させる。

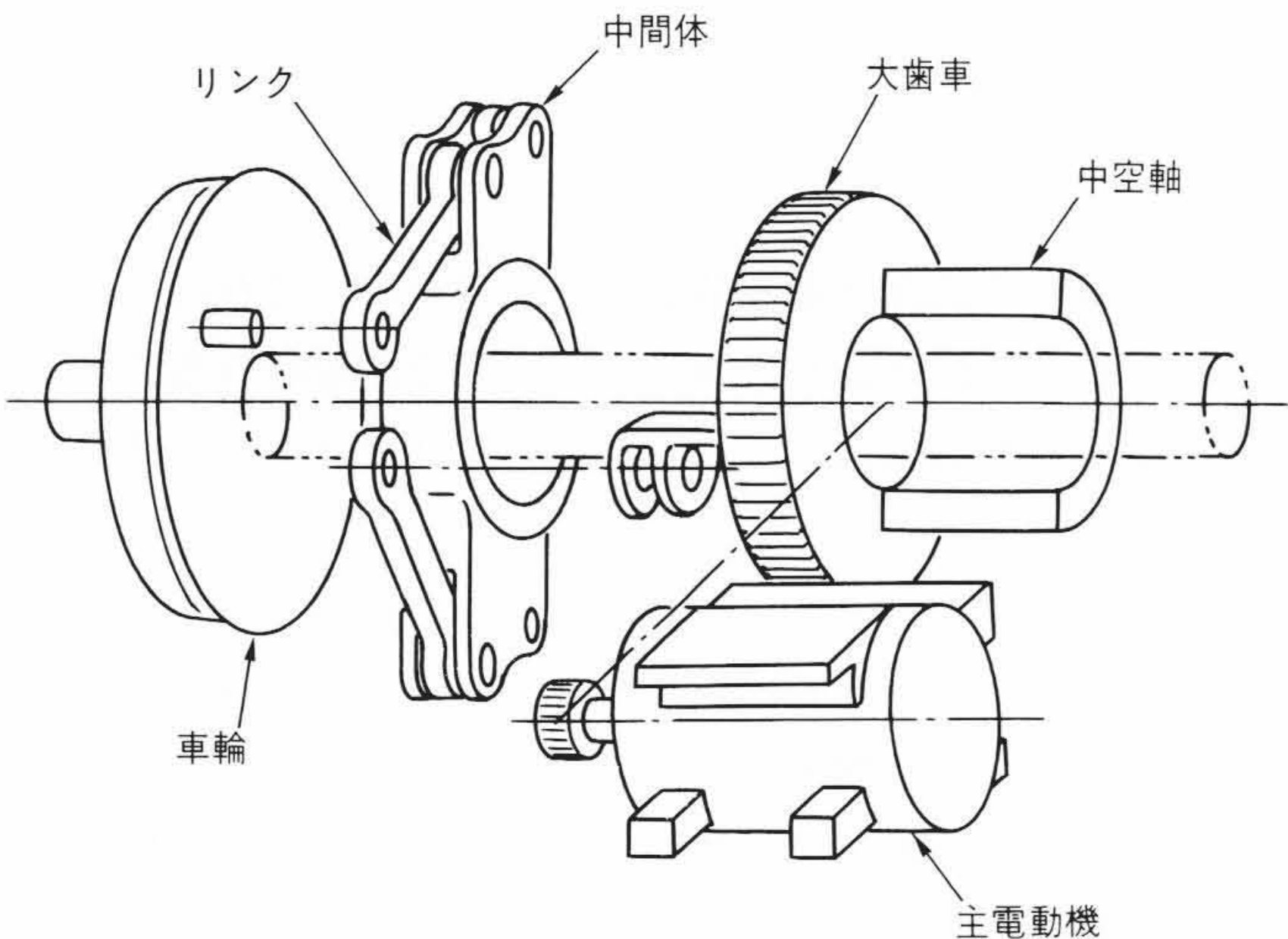


図6 駆動装置説明図 大歯車から車輪への駆動力伝達部にリンク式可とう継手を使用して、大歯車と車輪の相対変位を吸収している。

し、自軸の主電動機トルクをすばやく絞って再粘着させる。
また、自軸の回転数の微分値(動輪周加速度に相当)も常時監視し、これが一定値以上となった場合も空転発生と判断させることで、全軸同時空転検知も可能としている。

(2) 定速度運転制御機能

長距離ノンストップ運転が主体の貨物列車の平均運転速度向上と運転操作の省力化のため、力行運転中に運転台のボタンを押すとその時点の速度を保つ定速度自動力行運転制御機

能を設けている。

(3) 連結運転制御機能

貨車への連結運転操作を容易にするための機能であり、運転台スイッチを連結運転モードに切り換えることで、速度2～3 km/hの定速度運転が可能になっている。

5 主要装置

5.1 台車

台車については、将来の速度160 km/h以上の走行にも対応可能なように、主電動機は台車装架式とし、駆動装置には図6に示すリンク式可とう継手を採用した。これにより、ばね下質量が従来のつりかけ式の50%に低減でき、高速走行性能向

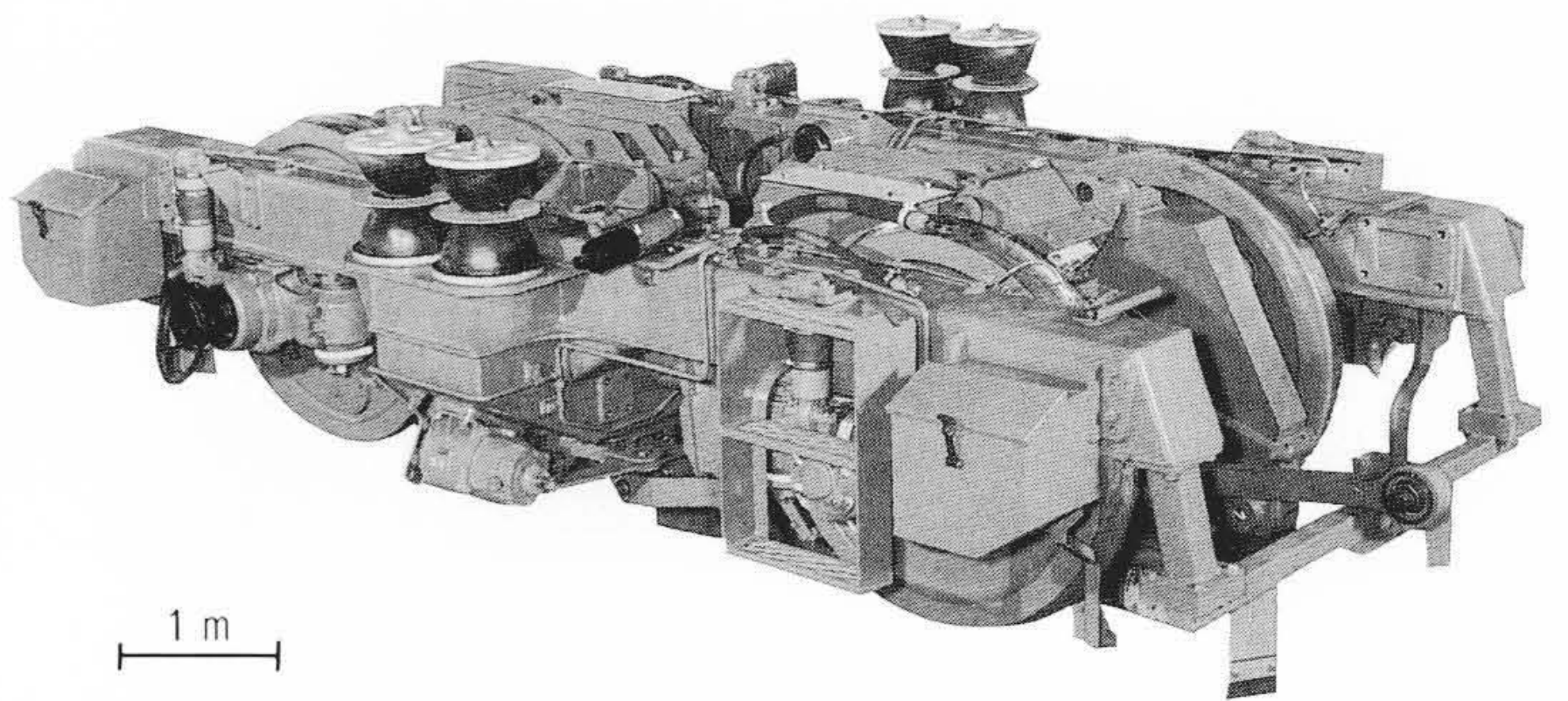


図7 両端台車の外観 防振ゴム式まくらばね、中央1本棒式引張装置、ユニットブレーキシリンダなどが目新しい。

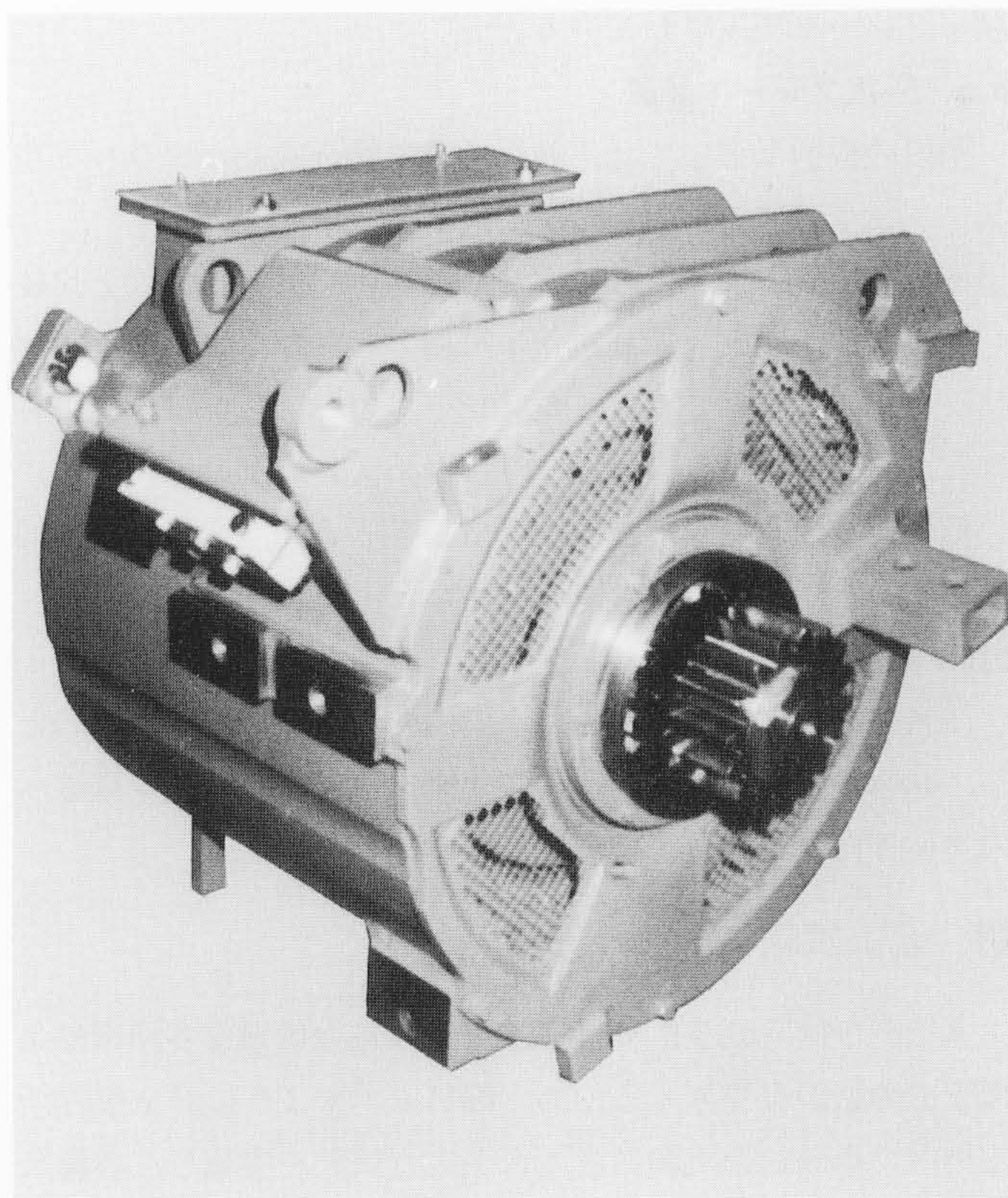


図8 主電動機の外観 1,000 kW三相交流誘導電動機を示す。

上や軌道に与える衝撃力の軽減を図っている。また、軸箱弾性支持などの採用によって曲線通過性能の向上も図っている。

まくらばねには特殊形状の防振ゴムを採用した。また、車体と台車間のけん引力伝達装置としては、両端台車では新規開発の中央1本棒式を、曲線通過時に台車偏倚(き)のある中間台車では対角リンク式を採用し、構造の合理化と軸重移動の低減を図っている。

一方、基礎ブレーキ装置には、わが国の機関車では初めての鉄系焼結合金制輪子を用いた片押式、自動すきま調整機能付きユニットブレーキシリンダを採用し、省保守化を図っている。

両端台車の外観を図7に示す。

5.2 主電動機

従来の直流電動機に代えて、三相交流誘導電動機を採用し、小形化することで、JR線の狭軌台車に装架可能な1,000 kW大出力主電動機を実現した。また、リンク可とう式駆動装置のスペースを確保するため、主電動機長手方向寸法は、極力短くした設計となっている。

主電動機の外観を図8に示す。

5.3 車 体

車体は在来車と同様な鋼製車であるが、台枠構造を簡略化し、その質量軽減分で外板に6 mm厚(従来は2.3 mm厚)の耐



図9 EF200形の外観 運転室周りには彫り込みを設け、カラーリングとともに運転室部分を明確にした特徴のあるデザインとしている。



図10 運転室の内観 運転席右手に主幹制御ハンドルを、左手にブレーキ操作ハンドルを配置し、前面パネルには圧力計、速度計、表示灯、主電動機トルク計およびカラー液晶ディスプレイを配置している。

候性鋼板を使用し、耐食性と強度を向上させている。

デザインは図9に示すように運転室部と機械室部を明確に区分したことを特徴とし、前頭部は25度の傾斜を付けたシャープな流線形で、スマートさと力強さを表現している。また、運転室部はヒアシンスの鮮やかな青であるハイアシンスブルー、機械室部は明るいグレイッシュホワイトの新しいカラーリングとするとともに、側面には「インバータハイテクノロジー機関車」をアピールするための大形シンボルロゴを付けている。

5.4 運 転 室

運転室は高速化、長距離乗務への対応を考慮して、作業性と居住環境の改善を図った。

運転室を図10に示す。

高床式運転台の周りには、乗務員が運転中に扱う機器だけ



図11 日立製作所工場内の車両総合実験装置による台上走行試験
架線電圧急変試験や台車強制加振による蛇行動安定性試験などを実施している。

を優先度に応じて合理的に配置し、主幹制御器およびブレーキ操作ハンドルはコンパクトな横軸式として、操作性を向上させている。

計器、表示灯類は全面的にLED(発光ダイオード)化し、視認性の向上と電球切れ交換などを不要にしている。

また、運転台右手には、10インチカラー液晶ディスプレイおよびその操作キー、ICカード読取器などの情報化機器を設け、ディスプレイ上に運転ナビゲーション情報、機器モニタ情報、応急支援情報などの表示を可能としている。

その他、冷暖房機器の充実、壁部制振鋼板使用による防音強化、快適なインテリアデザインの採用、床へのカーペット使用、簡易式トイレの準備などにより、運転室の居住環

境をグレードアップしている。

5.5 空気ブレーキ装置

国内の機関車としては、初めて電気指令式セルフラップ空気ブレーキ装置を採用した。

電気指令式とすることにより、従来の空気弁操作式と比較して応答性が向上し、高速化が可能となった。また、セルフラップ化により、必要とするブレーキ力がワンタッチで得られるようになった。

その他、保守、点検が1か所でできるよう、空気圧制御部品を集中管座取付方式によってユニット化している。

5.6 集電装置

従来の菱(ひし)形に変えて、国内初のシングルアーム形とし、40%の軽量化と省スペース化を図るとともに、電車線への追従性向上も図っている。

6 台上試験

本機関車は完成後、JR本線上では実施が困難な各種過酷条件下での試験を実施するため、図11に示すように日立製作所工場内の車両総合実験装置で台上走行試験を実施し、各種条件下でも所期の性能を満足していることを確認した。

7 結 言

EF200形は、在来の国内の電気機関車に比べ、飛躍的に大出力化を図ったものであり、平成2年7月からJR本線上での最終性能確認試験を実施中である。そしてその後は、東海道・山陽本線などの主要幹線で使用され、鉄道貨物輸送の主力機関車としての活躍が期待されている。

終わりに、このEF200形の製作にあたり、ご指導をいただいた関係各位に対し、深謝する次第である。

参考文献

- 1) 岩沙：インバータ制御電気機関車，鉄道ジャーナル，通巻281号(平2-3)
- 2) 大久保：JR貨物のインバータハイテク機関車EF200，鉄道ジャーナル，通巻287号(平2-9)
- 3) 安波，外：鉄道車両へのパワーエレクトロニクスの応用，日立評論，68，3，193～198(昭61-3)