

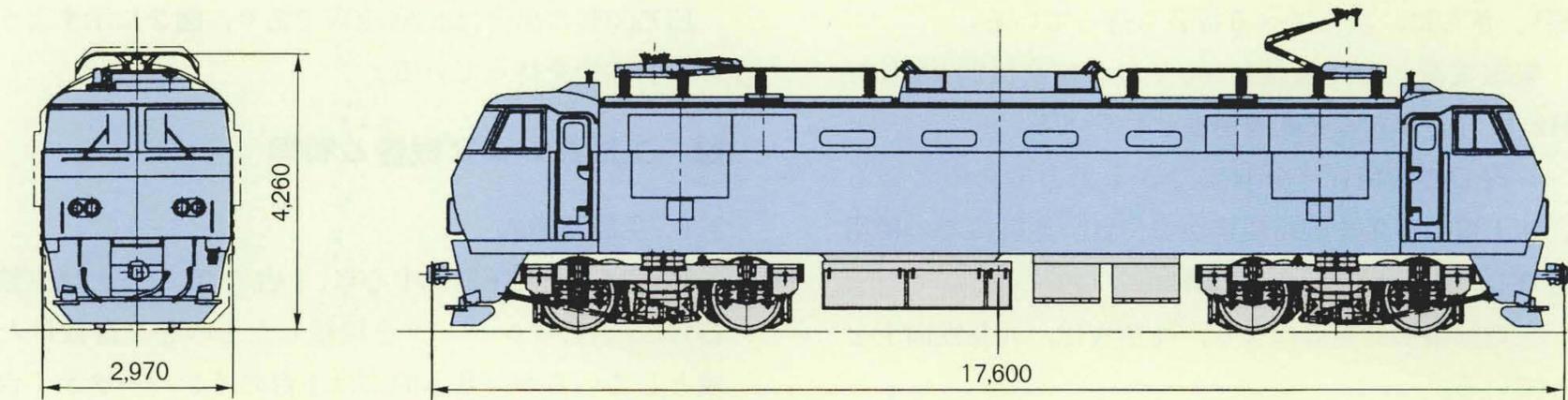
高性能・交直両用4軸インバータ制御電気機関車

High Performance AC/DC Dual Mode 4 Axle Type Inverter Controlled Locomotive

山口博史* Hiroshi Yamaguchi 井原広文** Hirofumi Ihara
遠藤範夫* Norio Endō 井中正一*** Shōichi Inaka



(a) 走行試験中のED500形インバータ電気機関車



(b) 同上機関車の外形図

交直両用4軸のED500形インバータ電気機関車 ED500形は、主電動機に誘導電動機を使用し、これをインバータで駆動することによって高性能化、保守省力化を図っている。

電気機関車の広範囲な使用を考えた場合、あらゆる線区でも十分に対応できる性能を持った出力・軸重の交直両用電気機関車が望まれている。

このニーズにこたえるため、先に開発した直流6軸6,000 kWのEF200形インバータ電気機関車をベースに、交直両用4軸4,000 kWのED500形(以下、ED500形と略す。)インバータ電気機関車をこのたび試作・開発した。

ED500形は、高粘着インバータ制御化による大幅

なけん引性能向上、交直両用化を可能とし、この分の機器増加分を吸収するため、車体・台車に関して軽量化を図り、軸重は在来車並みとしている。

また、主回路無接点化・電動機ブラシレス化・調整自動化などによって大幅に保守を省力化するとともに、台車・ブレーキ性能の向上、運転操作の容易化、運転台の情報化・インテリジェント化などを図っている。

* 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

1 はじめに

国内でのインバータ制御電気機関車としては、幹線での貨物列車の輸送力増強用として、直流6軸6,000 kW EF200形インバータ制御電気機関車および同EF500形インバータ制御電気機関車が活躍し始めている。一方、亜幹線での使用をも含め、広範囲な線区での使用が可能な、交直両用の4軸(ED型)インバータ制御電気機関車が求められていた。

このニーズにこたえるため、日本貨物鉄道株式会社の指導・協力のもとで、出力4,000 kWで交直両用の4軸インバータ制御電気機関車ED500形を開発した。

ここでは、このED500形の概要について述べる。

2 ED500形の特長

ED500形は、先に開発したEF200形と同様、主電動機に誘導電動機を使用し、これをインバータで駆動することによって高性能化、保守省力化を図っている(図1、表1参照)。さらに、次に述べる特長も持っている。

- (1) 架線電源として直流1,500 Vおよび交流20 kV (50/60Hz)に対応できる交直両用車としている。
- (2) 幹線での使用に十分対応できる出力であるとともに、地上電源容量や線路規格がやや低い亜幹線での使用も考慮した出力4,000 kWの4軸車としている。
- (3) 主電動機個別制御により、高粘着化、冗長性向上を図っている。
- (4) 主回路機器および補機類で、無接点化、ブラシレス化を徹底し、大幅な保守省力化を図っている。
- (5) 出力4,000 kWの交直両用車を従来車並みの質量と



図1 EF200形(左)と並ぶED500形(右)
ED500形は、直流電化区間専用のEF200形をベースに交直両用の4軸車に発展させたものである。

表1 ED500形の主な仕様 ED500形は、EF200形をベースに交直両用の4軸車に発展させたものである。

項目	ED500形	EF200形
電気方式	直流1,500 Vおよび交流20 kV (50/60 Hz)	直流1,500 V
軸配置	B ₀ -B ₀	B ₀ -B ₀ -B ₀
運転整備質量	67.2 t	100.8 t
定格出力	4,000 kW	6,000 kW
最高運転速度	130 km/h	120 km/h
制御方式	インバータ制御	インバータ制御
主電動機	三相誘導電動機	三相誘導電動機

するため、車体・台車の大幅な軽量化を図っている。

(6) 高速走行性能、曲線通過性能、ブレーキ性能など台車の性能向上を図っている。

(7) 運転室のアメニティ化、運転操作の容易化、および運転台の情報化を図っている。

(8) 主要機器はEF200形との共通化を図り、保守や取り扱いの便を図っている。

ED500形の出力は4,000 kWであり、図2に示すようなけん引性能を持っている。

3 主回路および機器と制御

3.1 主回路構成

主回路は主変圧器を中心に、1台のコンバータ(主整流器)に2台のインバータを接続したものを2群設けた構成としているが、基本的には1台のインバータが1台の

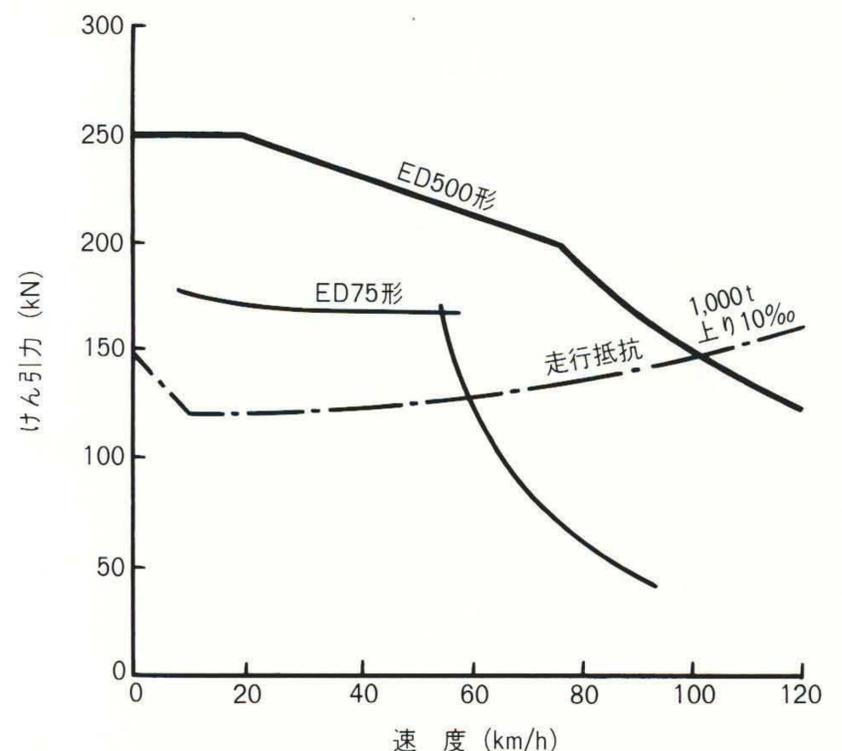


図2 最大けん引性能 出力および粘着性能の向上により、従来のED75形(4軸1,900 kW)よりもけん引性能が大幅に優れている。

主電動機だけを駆動する、主電動機個別制御方式としている(図3参照)。これによって粘着性能の向上を図るとともに、万一の故障に対しても非常に冗長性の高いシステムとしている。

また、従来の気中遮断器に代えて、主変圧器一次側の遮断器には真空遮断器を、各インバータ回路の高速遮断器には、真空バルブと転流回路によって無アーク高速遮断が可能な高速度直流真空遮断器をそれぞれ採用することにより、従来車に比較して大幅な保安度向上、省保守化を図っている。

3.2 主変圧器

機器配置は、ぎ装配線を減らすため、主回路つなぎに従い、主変圧器を中心とした車体前後方向に対称な配置としている。このため主変圧器も、内蔵しているインバータ用リアクトルも含めて、対称な構造とした(図4参照)。

冷却油には、シリコン油と同等の耐熱性を持つ新難燃性油を採用し、小型・軽量化を図った。

その他、直流区間を運転する場合など(リアクトルだけ使用)で冷却油温度が低い場合は、送風機を止めて省エネルギー、低騒音化を図っている。

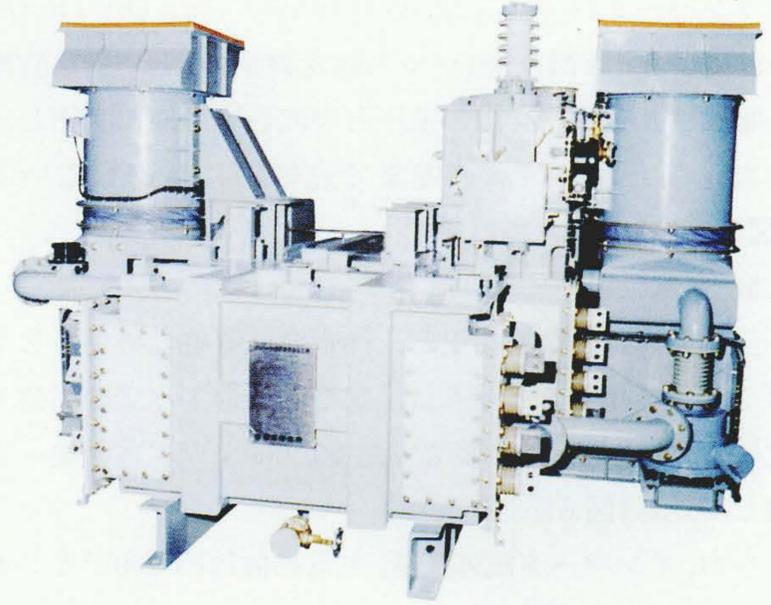
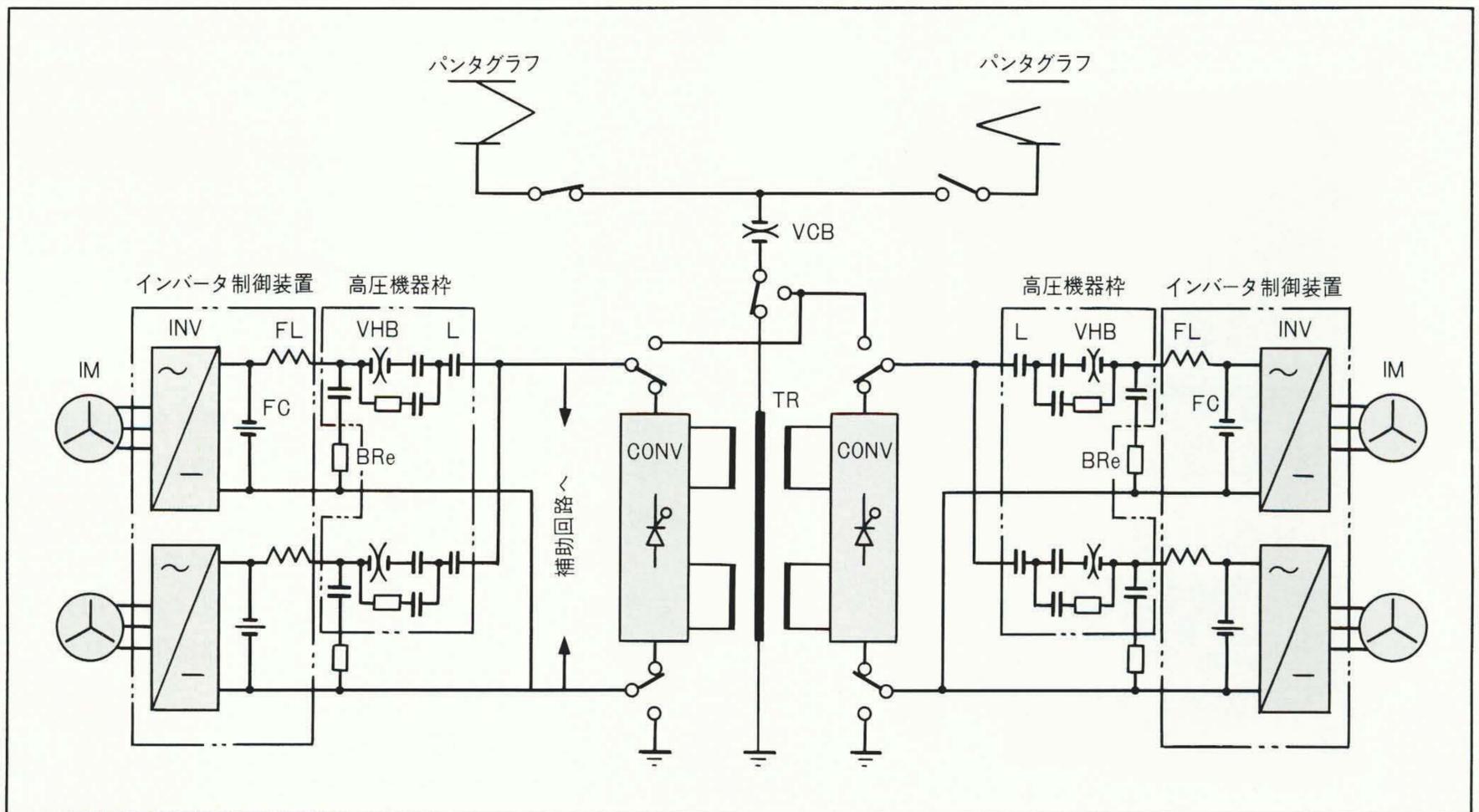


図4 主変圧器の外観 主変圧器は定格出力5,572 kVA, 定格二次電圧1,110 V×2の外鉄型送油風冷式である。オイルポンプ、ラジエータおよび送風機を一体とするとともに、インバータのフィルタリアクトルも内蔵している。

3.3 コンバータ(主整流器)

コンバータは、サイリスタとダイオードの混合ブリッジにより、主変圧器の出力交流をサイリスタ位相制御で定電圧直流に変換して、インバータに供給している。



注：略語説明 VHB (高速度直流真空遮断器), VCB (真空遮断器), BRe (ブレーキ抵抗器), TR (主変圧器), FL (フィルタリアクトル), CONV (コンバータ) FC (フィルタコンデンサ), L (断流器), INV (インバータ), IM (主誘導電動機)

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群に分けた構成としている。

3.4 インバータ制御装置

インバータ制御装置は、GTO(Gate Turn Off Thyristor)によるPWM制御(パルス幅変調制御)で、主電動機を駆動させる三相交流の電圧と周波数を最適に制御し、また速度0から最高速度まで連続的に制御している(図5参照)。

3.5 主電動機

三相誘導電動機を採用し、従来の直流電動機に対してブラシレス化するとともに、定格回転数アップや高効率化により、狭軌台車に装架可能な1,000 kW主電動機を実現している(図6参照)。

なお、インバータ制御装置、主電動機はEF200形と共通のものを使用している。

3.6 制御機能

インバータ、コンバータの制御部には、16ビットマイクロコンピュータを使用し、全デジタル、プログラム制御を行っている。

これにより、主電動機個別制御を活用した高粘着制御、けん引荷重の大小に応じてけん引力特性のパターンを変化させる制御、ボタンを押した時点の速度を保つ定速度自動運転制御、および客・貨車への連結操作を容易にするための微速度制御などを実施している。

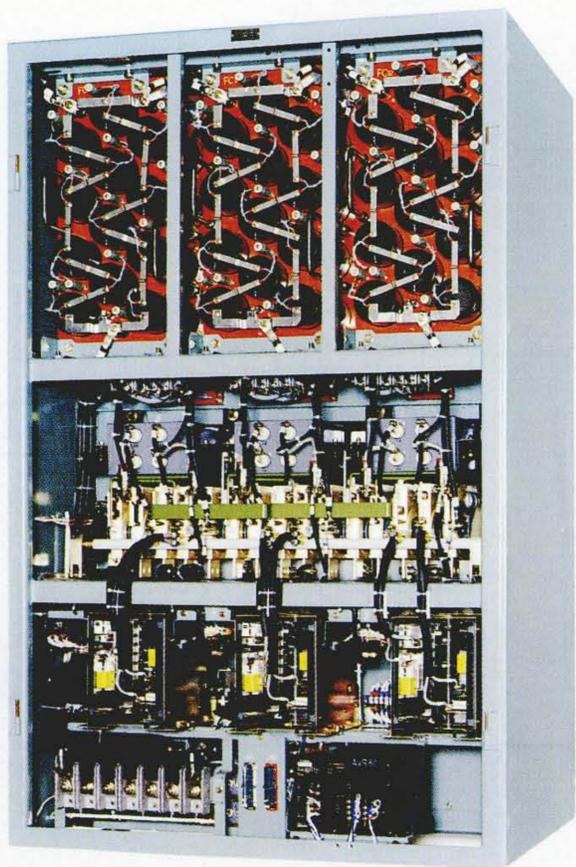


図5 インバータ制御装置の外観 4,500 V, 2,000 AのGTO(Gate Turn Off Thyristor)を用いたIS-IP-6アーム構成としている。この装置1台で1台の主電動機を駆動する。

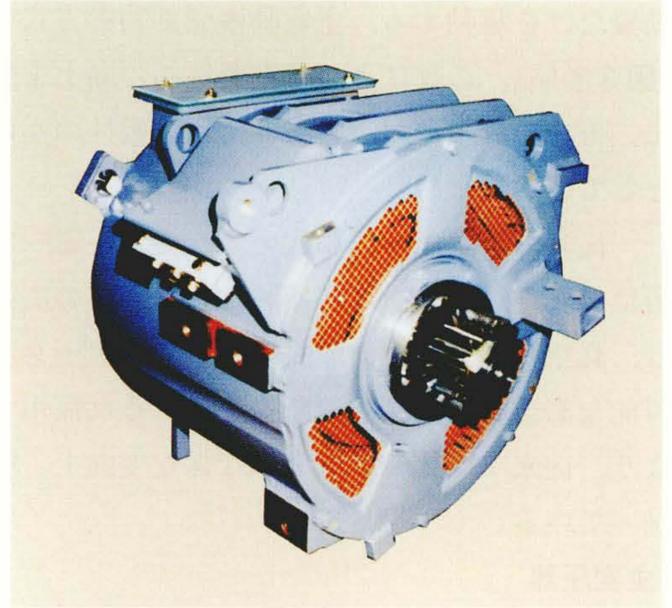


図6 主電動機の外観 1,000 kW三相誘導電動機を示す。狭軌台車に装架するため、長手方向寸法は極力小さくした設計としている。

4 主要装置

4.1 ブレーキシステム

空気ブレーキ装置には、電気指令式を採用することによって応答性・操作性の向上、保守の容易化を図っている。

電気ブレーキとしては、安定したブレーキ力が常時使用できる抵抗発電ブレーキを装備している。なお、空気ブレーキ操作時も機関車では極力電気ブレーキを作用するようにし、台車ブレーキの摩耗低減を図っている。

4.2 ぎ装配置

主回路機器のぎ装では、機器群ごとのユニット化を徹底し、スペースの有効利用および保守時の着脱容易化を図っている。機器の配置は主回路つなぎに沿ったものとして、主回路配線のミニマム化も実施した。

4.3 車体

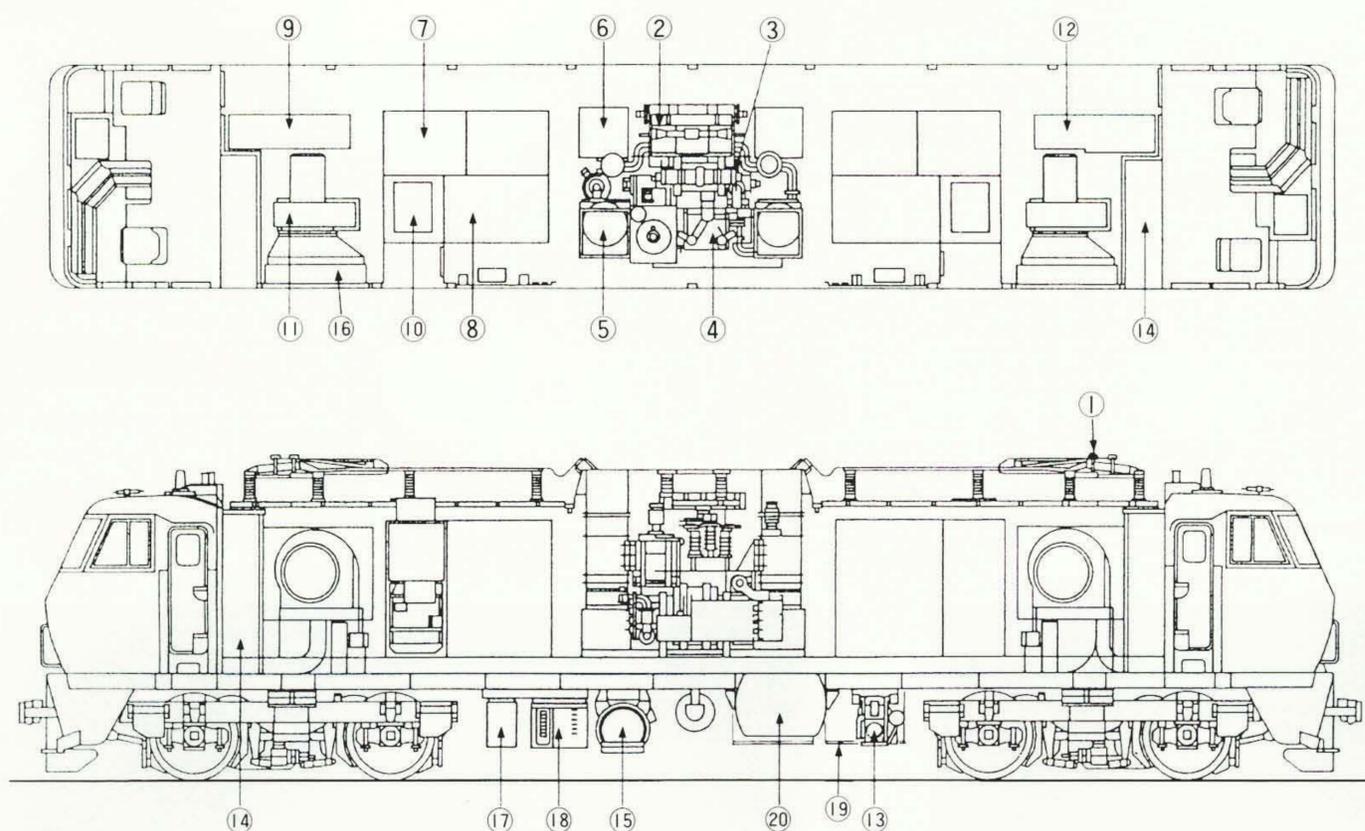
出力4,000 kWで交直両用の4軸機関車を、従来車並みの質量とするため、電気品の質量増を吸収する車体の大幅軽量化を行った。

主要部材には高張力鋼を使用し、有限要素法解析による合理的な部材配置、車体荷重を軽減したけん引力伝達装置の採用、機械室機器台の車体強度部材化などにより、大幅な軽量化を実現した。

その他、車体側面の機器冷却風取入れ口には、清掃作業不要の慣性分離型エアフィルタを設け、保守の省力化を図っている(図7参照)。

4.4 台車

主電動機は台車装架式とし、駆動装置にはリンク式可



項番	名称
①	パンタグラフ
②	パンタグラフ断路器
③	真空遮断器
④	交直切換器
⑤	主変圧器
⑥	コンバータ装置
⑦	インバータ装置
⑧	高圧機器枠
⑨	低圧機器枠
⑩	ブレーキ抵抗器
⑪	送風器
⑫	空気ブレーキ制御装置
⑬	空気圧縮機
⑭	電子機器室
⑮	電動発電機
⑯	慣性分離エアフィルタ
⑰	電動発電機用抵抗器
⑱	電動発電機用起動器箱
⑲	蓄電池箱
⑳	元空気だめ

図7 全体配置図 中央に主変圧器，コンバータなどの交流機器を，その前後にインバータ，高圧機器枠およびブレーキ抵抗器をユニット化したものをぎ装している。

とう継手を採用した。これにより，ばね下質量を従来のつりかけ式の50%に低減し，高速走行性能の向上，軌道への衝撃力軽減を図っている。また，円弧踏面，軸箱弾性支持により，曲線通過性能の向上も図っている。

その他，特殊形状防振ゴム枕ばね，中央1本棒式けん引伝達装置，高摩擦焼結合金制輪子によって片押しとした制輪子すきま自動調整機能付きユニットブレーキシリンダの採用などにより，構造の簡略化・軽量化，保守の省力化を図っている(図8参照)。

4.5 運転台

主幹制御ハンドルおよびブレーキ操作ハンドルはコン

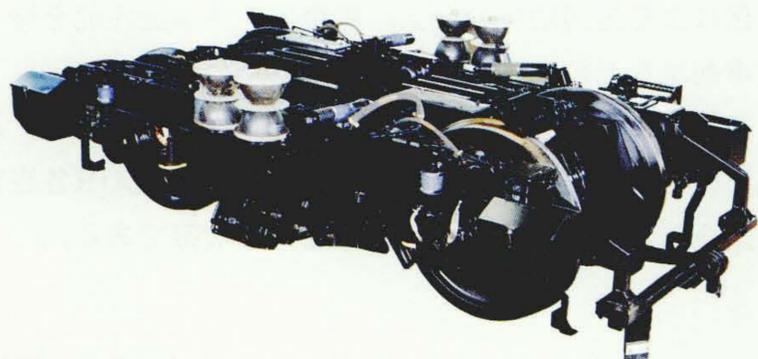


図8 台車の外観 高速走行性能向上のため，主電動機は完全台車装架式とした。

パクトな横軸式を採用し，操作性の向上と足まわりスペースを確保している。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，電球切れ交換の不要化などを図っている。

運転台の右手には，図9に示すように10インチカラー液晶ディスプレイとその操作部，ICカードリーダーなどの情報機器を設け，後述のような車両情報システムを実施している。

その他，冷・暖房用として，試験的に汎(はん)用エア



図9 運転台の外観 運転席の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，前面パネルには速度計，圧力計，けん引力計，表示灯およびカラー液晶ディスプレイを配置している。

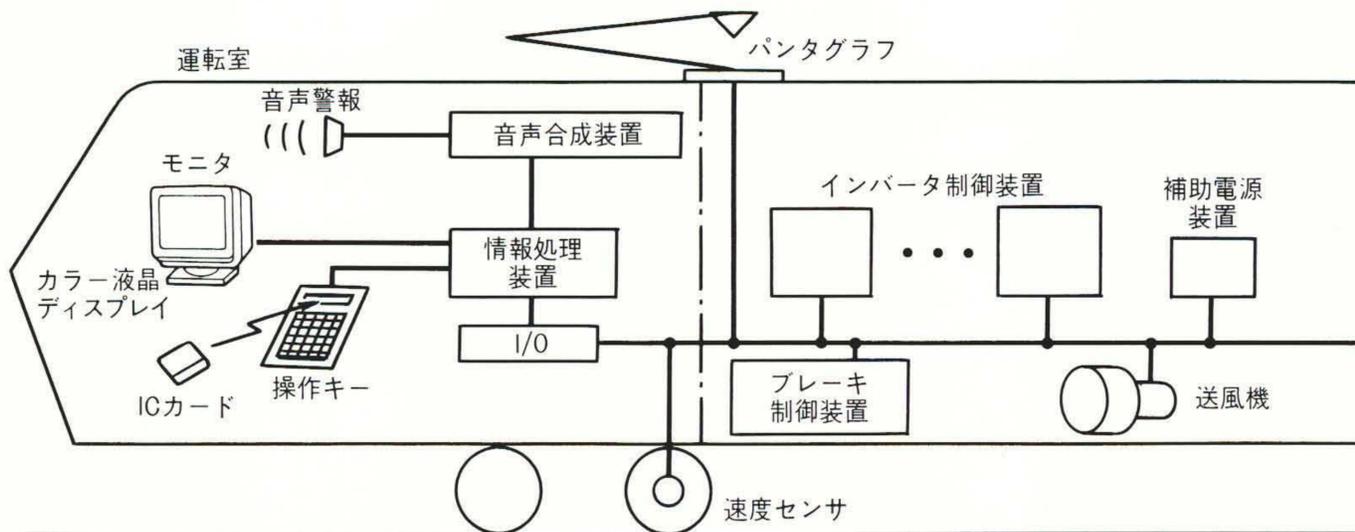
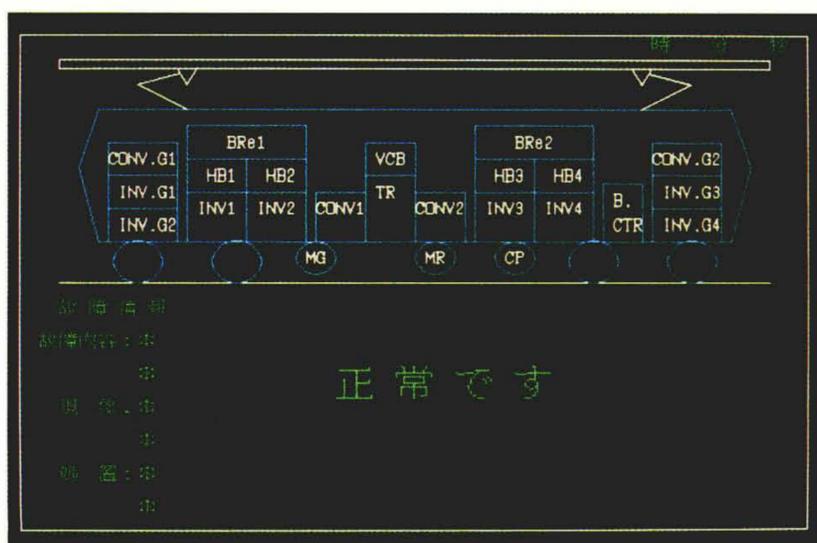
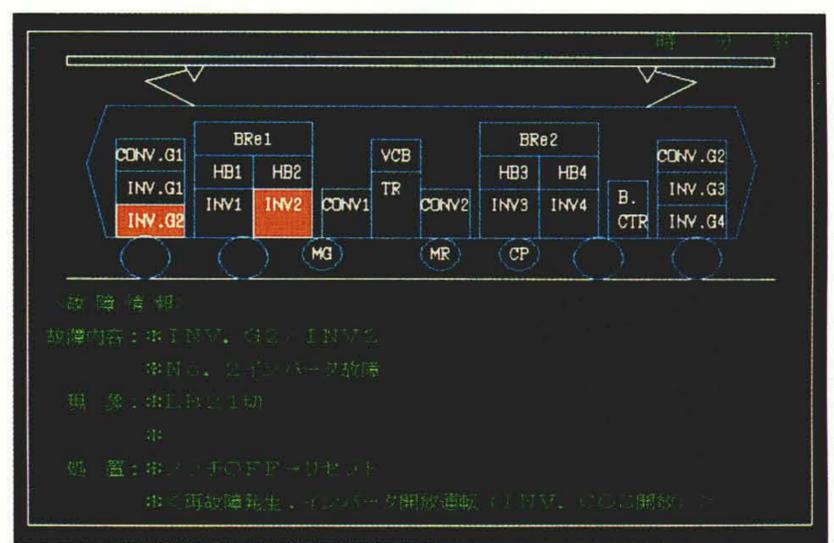


図10 車両情報システムハード構成
車載機器と情報化機器を、情報制御装置を中心に伝送ラインで結び、直列伝送で情報の交換を実施している。



(a)



(b)

図11 応急支援システム 運転中、異常のないときは(a)に示すように「正常です」が表示されるが、故障を検知すると(b)に示すように画面の上半分には当該機器が色別表示され、下半分には故障内容や応急処置法が自動的に表示される。

コンディショナを防振支持して使用している。

5 車両情報システム

図10に示すようなハード構成により、音声合成警報装置を用いて前方注視を妨げずに運転士に注意を促す運転支援システム、故障発生時に故障内容・応急処置法をディスプレイに自動表示する応急支援システム(図11参照)、検知した故障内容を記録・格納し、必要に応じてそれらを表示する保全支援システムなどを構築している。

6 おわりに

ED500形は活用範囲の広い機関車を目指して、先に開発したEF200形をベースに発展させたものである。限ら

れた質量、スペース内で交直両用の4,000 kW 4軸機関車を実現するために、車体断面に合わせて車載機器を設計するなどして機械・電気一体の合理的な設計を行った。

JR本線での総合的性能確認試験が平成4年8月から実施され、所定の性能を満足することもほぼ確認されている。

このため、ED500形を活用することにより、貨物列車1列車当たりの輸送能力の向上、機関車の長距離・通し運用化による運用効率の向上、電車並みの加速性能を持つ客車列車などの実現が可能になるものと考えられる。

終わりに、ED500形の開発・試験にあたり、ご指導・ご協力いただいた日本貨物鉄道株式会社、およびJR各旅客鉄道会社の関係各位に対して深謝する次第である。

参考文献

- 1) 西, 外: 大出力インバータ電気機関車, 日立評論, 73, 3, 261~266(平3-3)