

ブラジル連邦鉄道納め

直流3,000V全ステンレス鋼製電車

DC 3,000V All Stainless Steel Electric Cars for Rêde Ferroviaria Federal S/A

1977年3月及び4月にブラジル連邦鉄道に納入した直流3,000V全ステンレス鋼製電車は、1976年に行なわれた国際入札の結果、ブラジル連邦鉄道の厳しい審査の結果、優れた技術が認められ、受注に成功したものである。

この電車は、車体がステンレス鋼で製作され、腐食寿命の向上と保守の簡易化とを図っている。また、1編成当たり質量203t、最大乗車人員1,800人の大形車両であるが、2M2Tで 0.8m/s^2 の高加速度を、電車用として新しく開発した315kWの主電動機及び車輪スリップに対して特に考慮された制御装置によって実現した。

従来、直流3,000Vの電車では高速度しゃ断器は、床上取付タイプで客室面積を減少させていたが、この電車の高速度しゃ断器は新しく開発した床下取付タイプで、客室面積を減少させることなく、回路保護が完全に施されている。

その結果、この電車は乗客輸送能力が増大し、スケジュールどおりの通勤輸送を可能としている。

富田鎮弘* Tomita Shigehiro
村本忠雄* Muramoto Tadao
磯部栄介** Isobe Eisuke
石川芳寿*** Ishikawa Yoshihisa

1 緒言

リオデジャネイロはブラジルの商都で、南回帰線のそばに位置する人口約450万人の都市であるが、都市の近代化に伴い近郊からの通勤による乗客ラッシュは近年急速にその度を増してきており、かねてよりこの緩和対策が一つの重要な施策として望まれていた。

この問題解決のため、1976年、ブラジル連邦鉄道は120両の電車を、技術的優秀性に加えて短納期、低価格という優れた経済性を理由に日本連合に対し発注し、1977年5月から営業運転に入っている。これらの電車の使用線区はリオデジャネイロ大都市圏の第8線区であるが、主としてドンペトロ〜デオドロ駅間21km、ドンペトロ〜カッシュアス駅間19kmに使用されている。

日立製作所の車両製作の歴史は古く、車体はもちろん制御用電気品、主電動機などの電気装置に至るまで広範囲な製品を設計製作し、完成車両として納入している。また、日本国有鉄道に対しても多数の各種車両納入の実績をもっているとともに、熱帯から寒帯、高地から砂漠に至るまで諸外国に対し、それぞれ設計思想の異なる各種の車両を輸出した豊富な経験をもっている。今回の電車は、これらの豊富な経験に基づき設計製作されたものである。

設計に際しては、特に走行性能向上のため、2M(電動車)2T(付随車)編成とし、315kWという大容量の主電動機を採用し、所期目標の加速度、減速度を確保したことにより、ドンペトロ〜デオドロ駅間21km、18駅間を各駅停車35分で運転するという、従来に比較して10分以上も短い時間で運行することが可能となった。また、この電車は運転ダイヤが正確で、リオデジャネイロ近郊での市民の足として利用率が急速に向上し、現在大いに活躍中である。

2 計画条件及び一般仕様

国際入札に際して、ブラジル連邦鉄道が示した主な計画条件は次に述べるとおりである。

- (1) リオデジャネイロ大都市圏の第8線区に投入する郊外電車で、架線電圧直流3,000V、軌間1,600mmである。
- (2) 永久連結の運転台付電動車2両と付随車2両の4両が最小編成で、最大3編成まで連結できること。
- (3) 車体長さは22mとすること。
- (4) 加速度は満車、空車のいかんを問わず $0.8\sim 1.0\text{m/s}^2$ とし、減速度は 1.1m/s^2 、最高速度は90km/hとすること。
- (5) 最大乗車人員は、1両当たり450人とすること。
- (6) 車体の主な骨組は、台わくの一部を除き、すべてステンレス鋼とすること。
- (7) 窓はガラス板の代わりにポリカーボネート樹脂板とし、腰掛はガラス繊維強化プラスチック(FRP)製ロングシートとすること。
- (8) 車端圧縮荷重は、米国鉄道協会(AAR)基準の $3,560\text{kN}\{363\times 10^3\text{kgf}\}$ とし、衝突柱を設けること。
- (9) パンタグラフは電動車にそれぞれ2個あて設けること。
- (10) 軸受は3年間無給油に耐えるものとする。
- (11) 運転はどの運転台からでも行なえるようにすること。
- (12) 主電動機はH種絶縁、つり掛け式とすること。
- (13) カム軸制御装置、リボン式抵抗器とするほか、リレー、スイッチ、接触器などは保守の簡易化を図ること。

以上のほか、千鳥形配置の側出入口、ばねはね上げ式つり手など、ブラジル連邦鉄道の基本的計画条件を検討し、電車の主要目は表1に、外観は図1に、構造は図2に、列車性能は図3に示すとおり決定した。

3 車体構造

車体構造の主な点は次に述べるとおりである。

- (1) 万一の衝突に備え堅牢な車体とする。
- 最近では種々の理由により車両の軽量化を図る傾向にある。同一線区を走行する車両が同一形態の場合、万一の衝突の場

* 日立製作所笠戸工場 ** 日立製作所水戸工場 *** 日立製作所日立工場

表1 主要目表 4両編成で最大1,800人の輸送能力をもつ通勤用電車であり、大出力・高加減速性能を備えている。

項目	仕様
車種	全ステンレス鋼製2軸ボギー電動客車及び付随客車
基本編成	Mc+T+T+Mc (最大3ユニット12両)
電気方式	DC 3,000V
質量(空車)	203t (Mc58.0, T43.5)
定員	座席 228人 (Mc 54, T 60)
	立席 536人 (Mc 131, T 137)
	合計 764人 (Mc 185, T 197)
最大乗車人員	1,800人
最小曲線	80m (本線132m)
電車性能	出力 2,520kW (315kW×8台)
	定格速度 57km/h
	引張力 156.1kN {15,920kgf}
	最高速度 90km/h
	加速度 2.88km/h/s
	減速度 2.77km/h/s (非常3.96km/h/s)
車体	材料 台わく、構体ステンレス鋼(中はり、枕はりは耐候性高張力鋼)
	窓 アルミサッシ、下部固定、上部下降、よろい戸付、ガラスはポリカーボネート
	戸 全ステンレス鋼製両引戸、ガラスはポリカーボネート
	腰掛 FRP ロングシート
台車	駆動方式 つり掛け式
制御方式	電動機操作カム軸式、自動総括制御 (抵抗制御、直並列制御及び界磁制御)
主電動機	直流直巻、自己通風式(1時間定格315kW 1,500V 230A、1,020rpm 連続定格 290kW、1,500V、210A、1,050rpm)
補機方式 電動発電機	交流220V、三相 60Hz 直流72V 電動機側、45kW、直流3,000V、発電機側30kVA、交流220V 三相、60Hz
連結装置	編成端 AAR-H形連結器、固定編成間 棒式連結器 車端衝撃 AAR 3,560kN {363×10 ³ kgf}
ブレーキ装置	電気式、空気式併用、電磁自動ブレーキ(応荷重装置付)、手ブレーキ
集電装置	KPI39形パンタグラフ、Mc車2箇取付
換気装置	吸気 ファンデリア 28箇 (Mc 6, T 7)
	排気 排気扇 16箇 (Mc 4, T 4)



図1 電車外観 外板はステンレスNo. 4仕上げとし、前面には略称入りの飾帯を付けている。

合でも衝突エネルギーを両方の列車が均等に負担し、構体の変形によりエネルギーを吸収することが可能である。一方、各種の列車、特に重い機関車が同一線路上を走行する場合、あまり軽くしすぎることは衝突時に多くの構体の変形を受けることになり、必ずしも得策とはいえない。この観点から本電車はリオデジャネイロ近郊からの通勤用であるが、設計的にはAAR基準に述べられている車端荷重3,560kN {363×10³kgf} に耐える構造としながらも極力軽量化を図ることにした。このため、台わくの一部のうち特に集中荷重を受ける部分には耐候性高張力鋼を用いて許容応力を高くするとともに、衝撃荷重を台わく全般にスムーズに伝搬させる構造にした。

(2) ステンレス製車体

車体は前述したように、長寿命と保守の簡易化を考慮して、外板をはじめとし、骨組の主要部材はステンレス鋼で製作さ

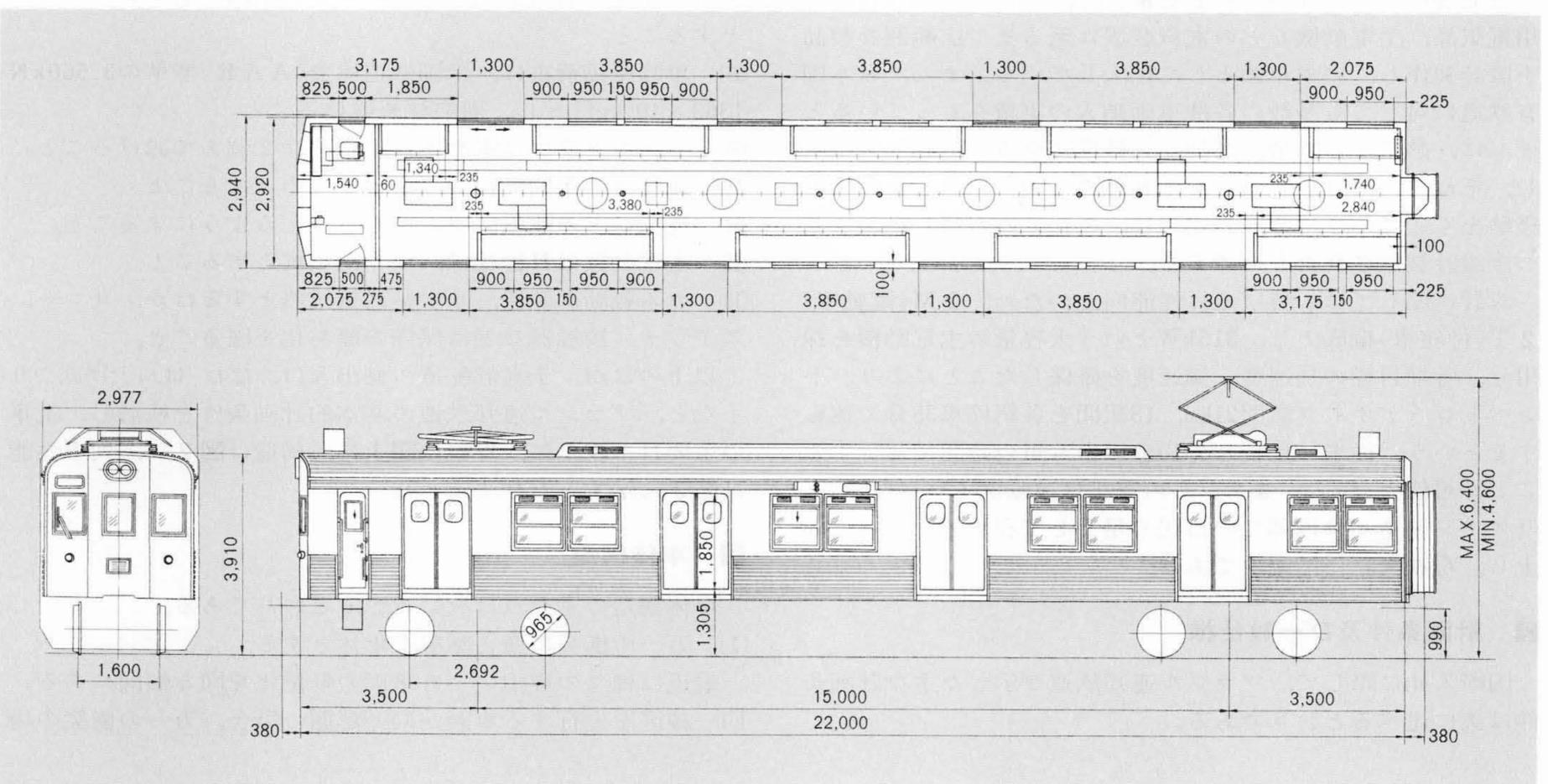


図2 全ステンレス鋼製電車形式図 この電車には電動車(Mc)と付随車(T)があるが、本図は電動車を示す。

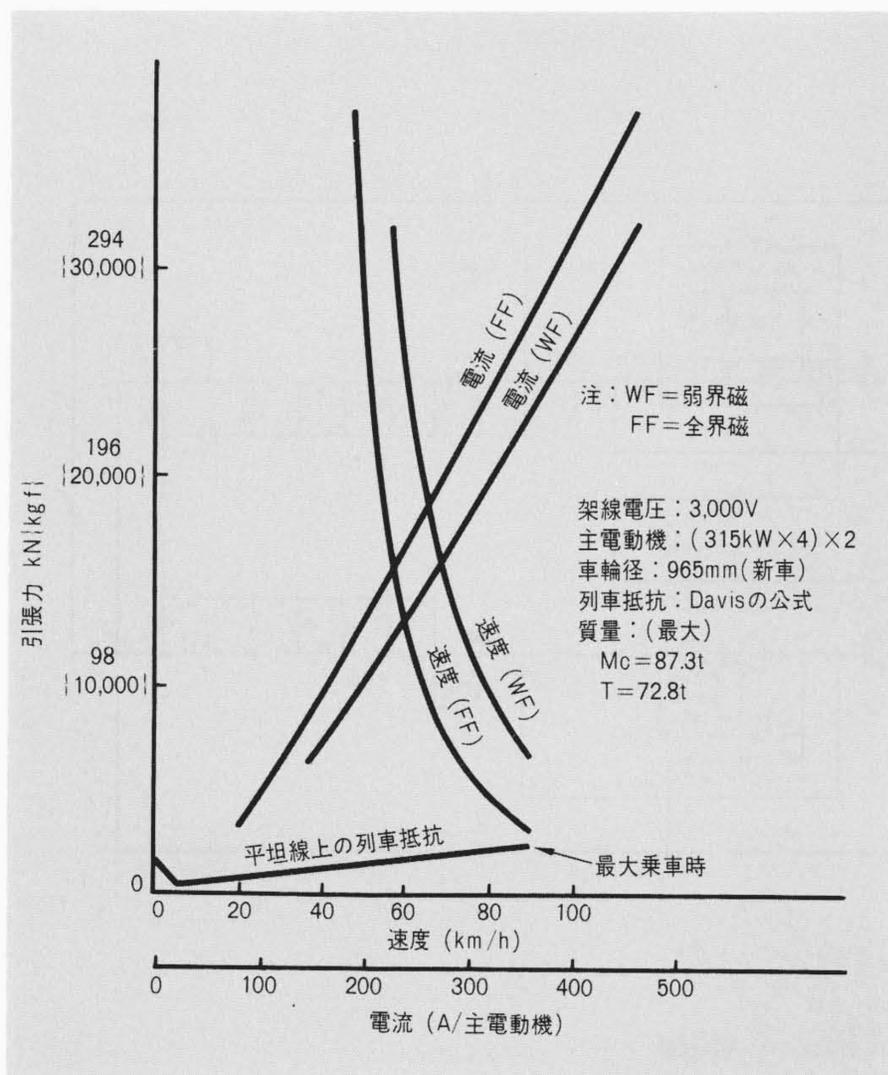


図3 列車性能曲線 定格156.1kN {15,920kgf}の引張力をもっている。

れている。部材と部材の接合をすべてスポット溶接で組み立てたのでは、各部の分担力のアンバランスから強度的に無理が生ずるので、スポット溶接とアーク溶接を適切に使い分けて、十分な強度の確保と併せてひずみの減少を図っている。

上記の観点から設計した車体は、強度の確認及び製作法の確立のため、量産に先だち模型試験を実施した。この結果は表2に示すとおり極めて満足できるものであり、そのまま量産に移行した。

4 室内構造

電車の室内構造は乗客に快適性を与えることが重要である。この電車では、乗客に対し客室が広々と明るい感じを与える

表2 荷重試験結果 設計計算値とほぼ同じ値となり、十分な強度をもっている。またAAR基準による車端圧縮荷重3,560kN {363 × 10³kgf}に十分耐えることが分かる。

試験項目	荷重 kN(kgf)	最大たわみ(mm)	最大応力MPa(kgf/mm ²)
垂直荷重試験	572 (58.4 × 10 ³)	10.9	183 (18.7) (窓隅部)
車端圧縮試験	3,560 (363.0 × 10 ³)	8.3 (1,760N {180 × 10 ³ kgf})	265 (27) (中はりの枕はりとの結合部)
ねじり試験	39.2kN・m (4 × 10 ³ kgf・m)	4.5 (32 × 10 ⁻⁴ rad/mm)	7.8 (0.8) (窓隅部)
曲げ振動試験	固有振動数 9.1Hz/37.2kN {3.8 × 10 ³ kgf}		
ねじり振動試験	固有振動数 8.5Hz(構体のみ)		

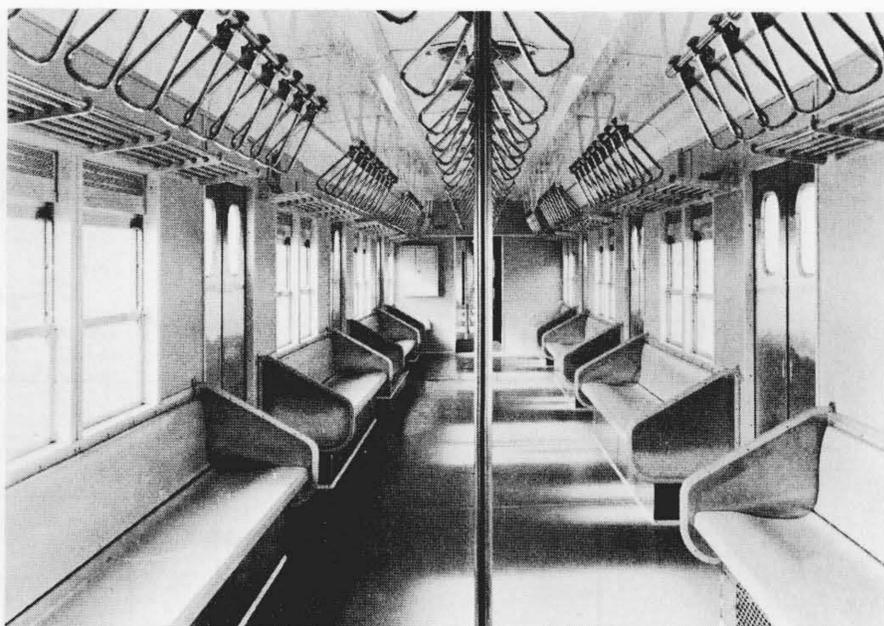


図4 客室内部見付 客室内でもつり手、衝立棒、腰掛そで、け込板などにステンレス鋼を使用している。

ことを一つのねらいとした。図4に客室内部を示す。各部の設計上留意した主な点は次に述べるとおりである。

(1) 割れにくい安全な窓

側窓には、投石又は乗客の過失によっても容易に破損しないポリカーボネート樹脂を用いている。この樹脂は、破損しても砕けて飛び散らず、極めて安全なものである。

(2) 千鳥形配置の出入口

1,300mm幅の出入口が片側4箇所あり、両側で位置が少しずつ食い違い千鳥形配置になっている。これは乗客の流れを考慮したものであり、通勤用として適している。また、ドアは両引きの自動ドアで、開放状態では電気回路に電気的インターロックが作用し、力行できないようにしてある。

(3) 室内換気

客室内の換気は吸気扇と排気扇の組合せにより、強制吸排気を行なっている。更に、窓上部には非密閉式のルーバを設け、ここからの換気により、立席乗客の顔面付近に新鮮な空気の流れを作り、よりいっそうの快適性を与えている。

5 主回路と制御方式

直流3,000V電車の主回路の保護を、どのようにして確実にこなうかが列車の効率を良くし、運転スケジュールを混乱させないことにつながる。また、万一主回路にトラブルが生じた場合でも、一つのトラブルが別のトラブルを誘発しないことも主回路を計画する上で特に重要なことである。

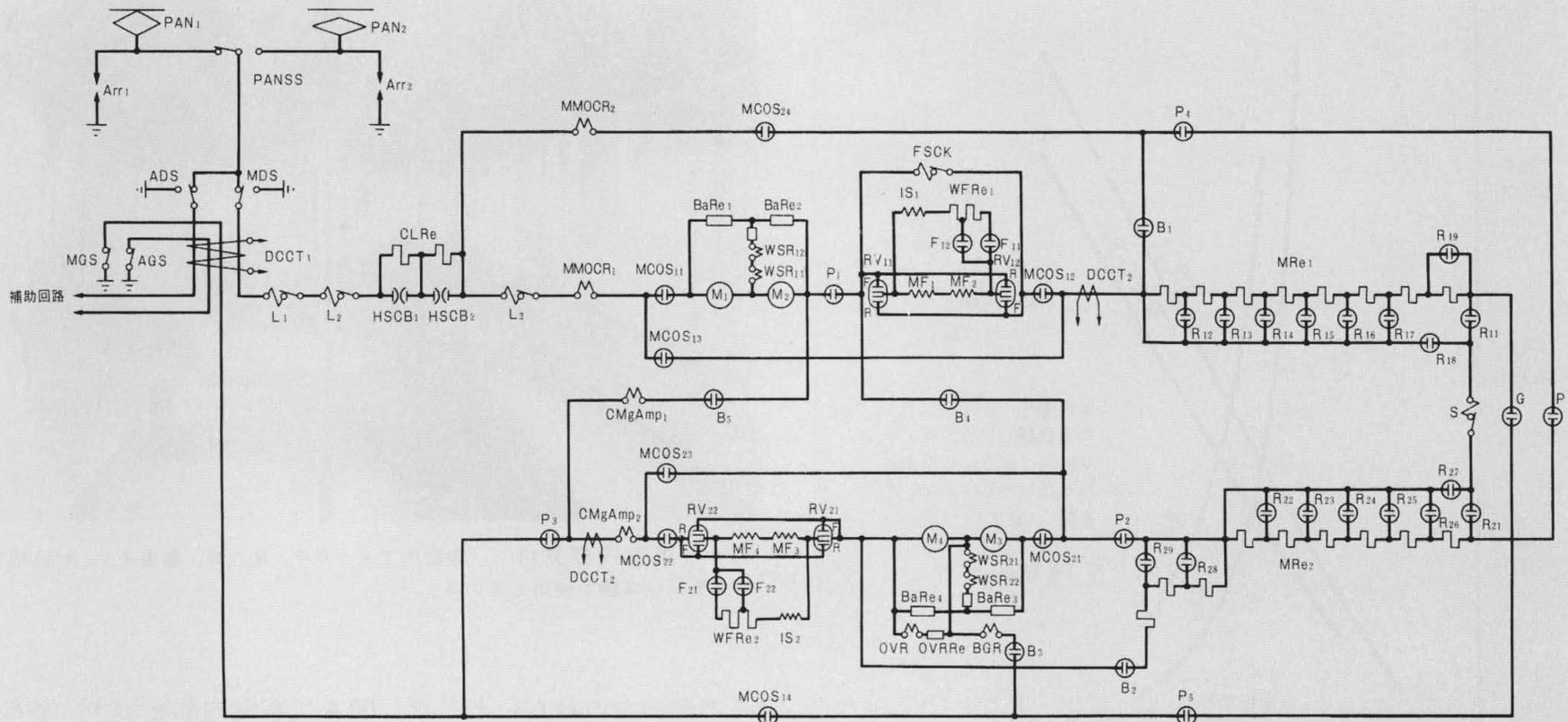
従来の直流3,000V電車では、主回路の保護能力を向上させるために高速度しゃ断器を用い、それらの高速度しゃ断器は客室の一部を機械室として設置するのが普通であった。

しかしこの電車は、通勤用としての使用目的から客室をより広くとる必要があるため、直流3,000Vの変電用しゃ断器とはほぼ同じ事故電流しゃ断能力をもつ高速度しゃ断器(床下取付タイプ)と単位スイッチとを開発し搭載している。

制御回路の保護を完全に行ない、車両の運用効率を上げるために考慮してある点は次に述べるとおりである。

(1) 編成は電動車2両、付随車2両から成り、それぞれの電動車の主回路は他車とは独立し、共通の制御指令で制御される。また、電動車にはパンタグラフを2台もち、1台は予備としている。

(2) 電動車1両にトラブルが生じてても、故障した電動車の電動機回路を運転台のスイッチで選択的に自動開放することが



- 注：略字説明
- | | | |
|--------------------|----------------------------|------------------------|
| PAN=パンタグラフ | MMOCR=主電動機過電流リレー | MF=主電動機フィールド |
| PANSS=パンタグラフ選択スイッチ | MCOS=主電動機開放スイッチ | WFR=界磁弱め抵抗器 |
| Arr=避雷器 | P=組合せカム接触器 | IS=誘導分流器 |
| ADS=補助回路断路器 | BaRe ₁ =バランス抵抗器 | OVR=過電流リレー |
| MDS=主回路断路器 | WSR=空転検出リレー | OVRRe=過電流リレー用抵抗器 |
| MGS=主回路接地スイッチ | M=主電動機 | MRe=主抵抗器 |
| AGS=補助回路接地スイッチ | CMg Amp=電流マグネットアンプ | BGR=ブレーキ接地リレー |
| DCCT=直流変流器 | B=ブレーキ接点 | P ₁₋₅ =力行接点 |
| CLRe=限流抵抗器 | RV=逆転機 | S=組合せ接触器 |
| L=断路器 | R=抵抗器カム接触器 | G=組合せカム接触器 |
| HSCB=高速度しゃ断器 | F=界磁弱めカム接触器 | FSCK=界磁短絡電磁接触器 |

図5 主回路つなぎ 主回路は、高速度しゃ断器2台の減流及び単位スイッチ2台の直列しゃ断により保護されている。

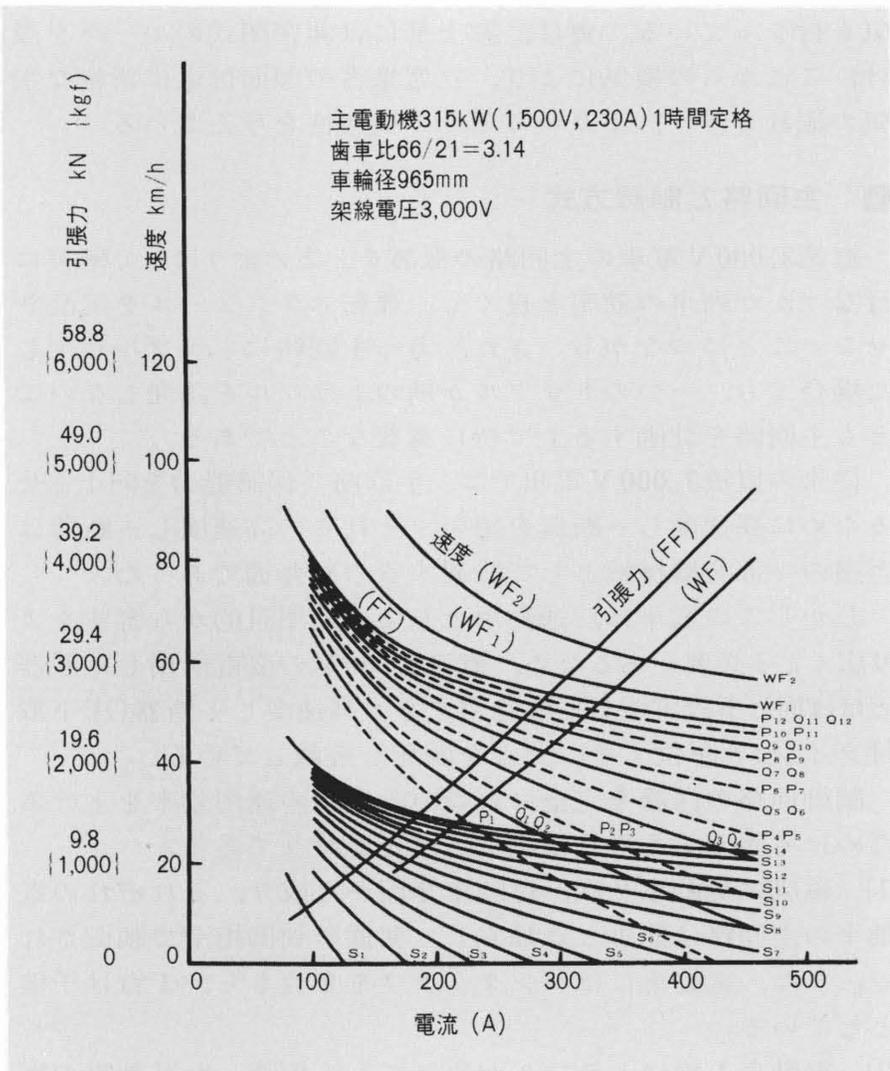


図6 力行ノッチ曲線 直列14段、並列12段及び弱界磁2段をもっている。

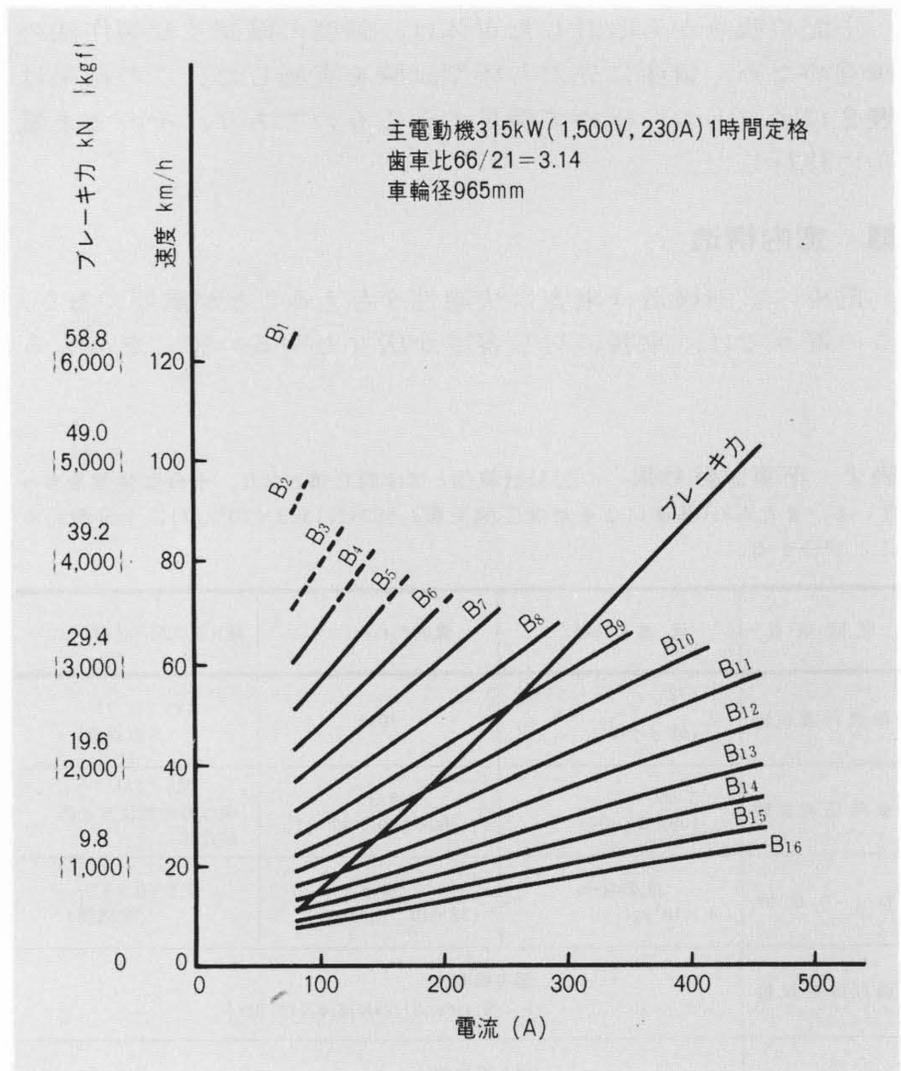


図7 発電ブレーキノッチ曲線 全界磁16段をもっている。

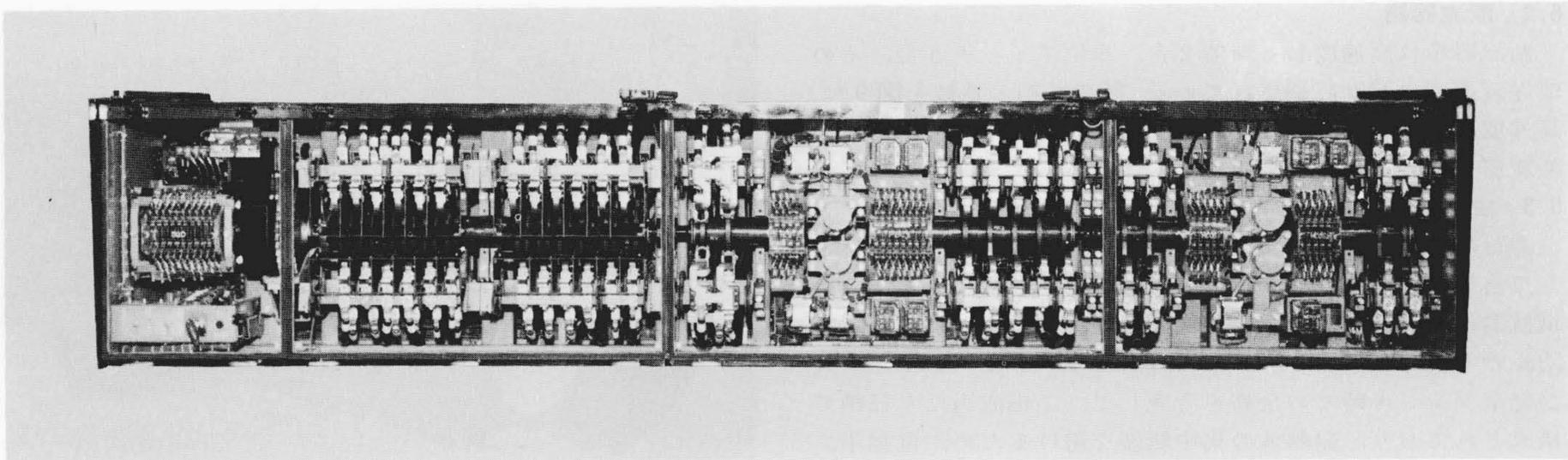


図8 主制御器 カム接触器，逆転器，主電動機開放器などを収納している。

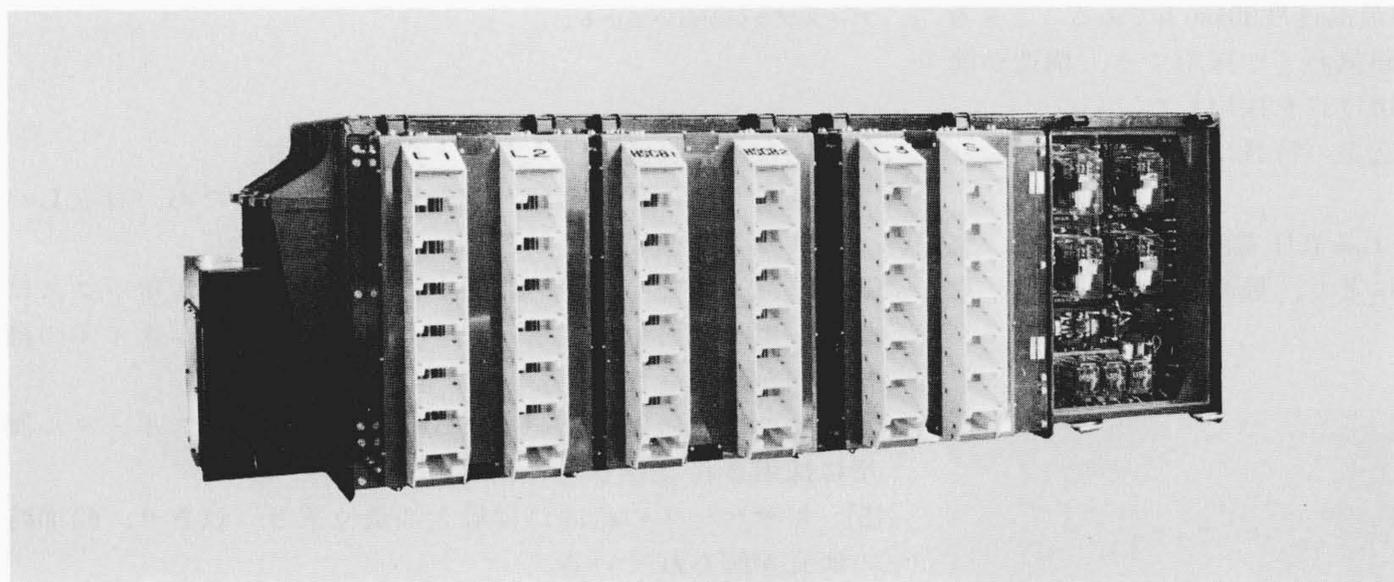


図9 断流器箱 床下機装の高速しゃ断器，単位スイッチなどを収納している。

でき、残った電動車だけで乗客を乗せたまま1編成を上り勾配20%、1,500m走行することが可能である。

(3) 空転検出器は二重に装備され、空転速度が約8 km/h前後の場合は砂まきによって空転を止めている。もし、何らかの原因で砂まきによっても空転が止まらない場合は、回路電流をしゃ断して、そののち自動的に回路電流を与える回路方式とし、運転スケジュールの確保と主電動機の保護を行なっている。

(4) 差電流継電器を用い、小電流時の主回路の事故を検知して回路を保護し、車両起動時に引き起こされる大電流事故を防止している。

(5) 発電ブレーキを使用しているとき、万一主回路に接地事故が生じた場合、力行指示を出しても力行できないように接地継電器を設け、大事故が発生しないようにしている。

上述した内容が考慮されている主回路つなぎを図5に示す。また力行ノッチ曲線を図6に、発電ブレーキノッチ曲線を図7に示す。

ブレーキは電気，空気併用で、制輪子の摩耗を軽減するため、ブレーキ弁ハンドルの操作により、電動車には電気ブレーキが空気ブレーキに優先して作用する。電気ブレーキが作用しない場合には、自動的に空気ブレーキに切り換わるようになっている。また、応荷重装置の採用により、荷重の大小に関係なく一定の加減速度が得られるようになっている。

6 主要電気品

6.1 主制御器

主制御器の外観を図8に示す。主制御器は日立製作所の主

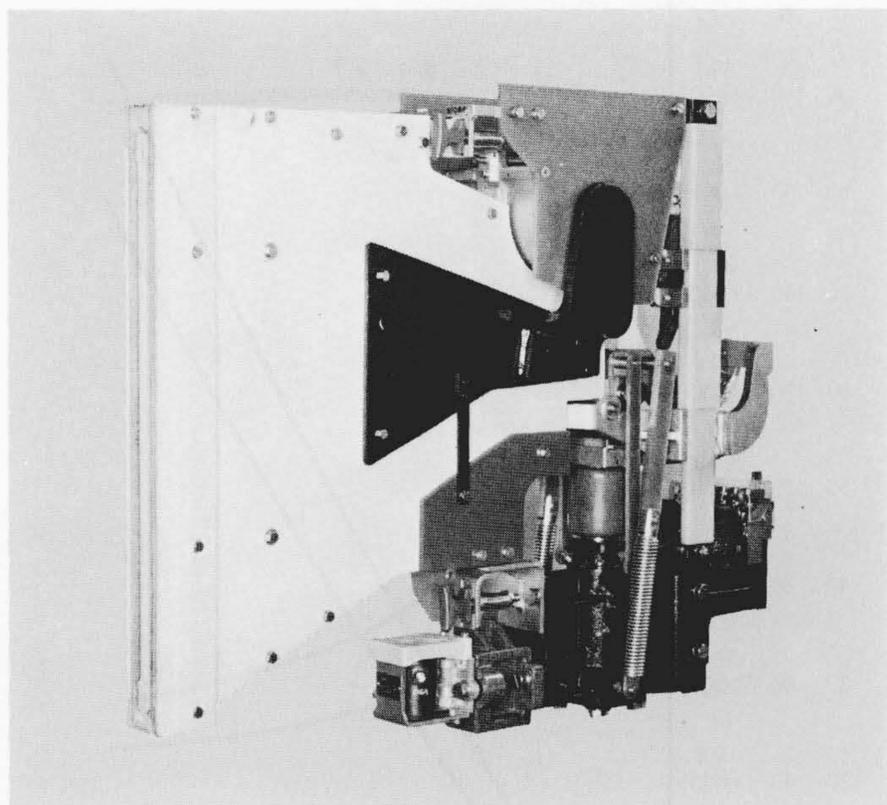


図10 高速しゃ断器 床下機装用として断流器箱に収納されている。

制御器の一般的特徴である次のような構造をもっている。すなわち、一軸一回転式カム軸制御器で、限流機能，操作電動機制御機能，限時機能及び微小電流検出機能は無接点化し、精度の向上と保守の簡易化を図っている。カム軸，駆動機構は左側に、転換器，主電動機開放器などは右側に配置され、無接点スイッチ類は保守が不要なので裏側に配置されている。

6.2 断流器箱

断流器箱は高速度しゃ断器2台、単位スイッチ5台、その他保護装置などが収納されている。断流器箱の外観を図9に、高速度しゃ断器を図10に示す。直流3,000V電車用床下取付の断流器としては世界最高級のものである。

6.3 主抵抗器

力行時の起動抵抗、また発電ブレーキ時のブレーキ抵抗として自然冷却形の波形リボン抵抗器が使用されている。この抵抗器は側面、下面を金網で保護され、飛石などによる障害防止が考慮されている。また力行時のモータカットアウト及び発電ブレーキ時での余裕を考慮して、1編成当たり15箱で構成されており、発熱体の集中騒音を避けるため、電動車、付随車にほぼ均等に分散搭載されている。

6.4 主電動機

主電動機の特性曲線を図11に、外観を図12に示す。本電動機は直流3,000Vの高圧、及び最高速度90km/hであることを考慮し、同一スペースで大きい磁気わくが採用でき、構造が簡単で、かつ保守が容易なつり掛け式を採用した。

主電動機の電気特性及び構造上の特長は次に述べるとおりである。

(1) 3,000V架線電圧で使用される高圧電動機であるため、整流子径、整流子片数を最大限にとり、最高架線電圧でも、片

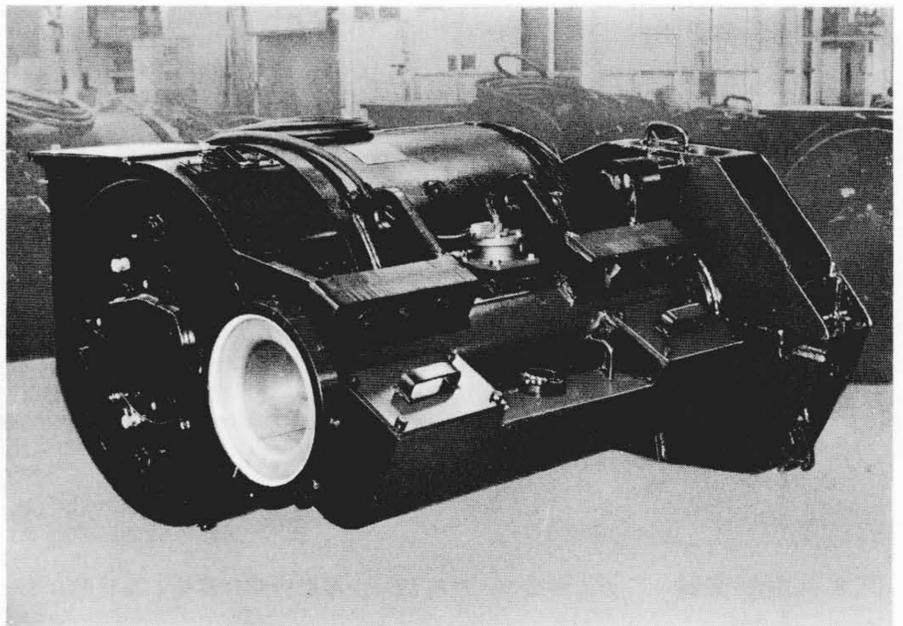


図12 315kW主電動機外観 電車用としては大容量のつり掛け式であり、アースブラシが付いている。

間電圧が十分限度内に入るようにしている。

(2) 軸受潤滑の長寿命化及び保守周期延長のため、日立Lパック式軸受を採用している。

(3) 整流子側とピニオン側を一体化したアクスルボックスにより、オイルタンク容量が大きくなり、アクスルオイルの補給期間が延長されている。

(4) 給油性能の優れたパッド式給油装置がアクスルメタル潤滑に採用されている。

(5) ギヤケースの給油口は最大油量位置と一致させ、給油時の便宜が図られている。

6.5 電動発電機

電動発電機は複整流式で、直流3,000Vの架線電圧を交流220V、三相、60Hzに変換し、直流72V電源用の整流装置と組み合わせて、電動空気圧縮機、換気装置、けい光灯、制御装置及びバッテリー充電電源に使用されている。この電動発電機により、上記の補助機器に誘導電動機を使用することができ、保守の簡易化を図ることができた。

7 台車

コイルばねをもつ揺れまくら方式の台車で、駆動台車にはつり掛け式の主電動機が装着されている。また、全軸に空転防止用の砂箱が設けられており、空転検出器と連動して作用する。ブレーキは全輪作用の抱き締め式で、合成樹脂製制輪子を使用し、機械式の自動すき間調整器を装備している。

この台車は現地(ブラジル)路線の過酷な条件のもとでも十分耐えられる堅牢な構造とし、軸受は3年又は40万km走行の間無給油で差し支えないようにしているなど、保守の簡易化が図られている。

8 結言

以上、ブラジル連邦鉄道納め直流3,000V全ステンレス鋼製電車の仕様及び特徴について概要を述べた。

現在、この電車はブラジルで順調に稼動しており、好評を得ている。この意味で当初設定された設計仕様は所期の目的を達しつつあるとともに、鉄道近代化に対し躍進を続けるブラジル連邦鉄道の担い手として、その期待に十分こたえるものと考えられる。

最後に、この電車の設計、製作を共同で行なわれた日本車輛製造株式会社の関係各位の御協力に対し、深謝する次第である。

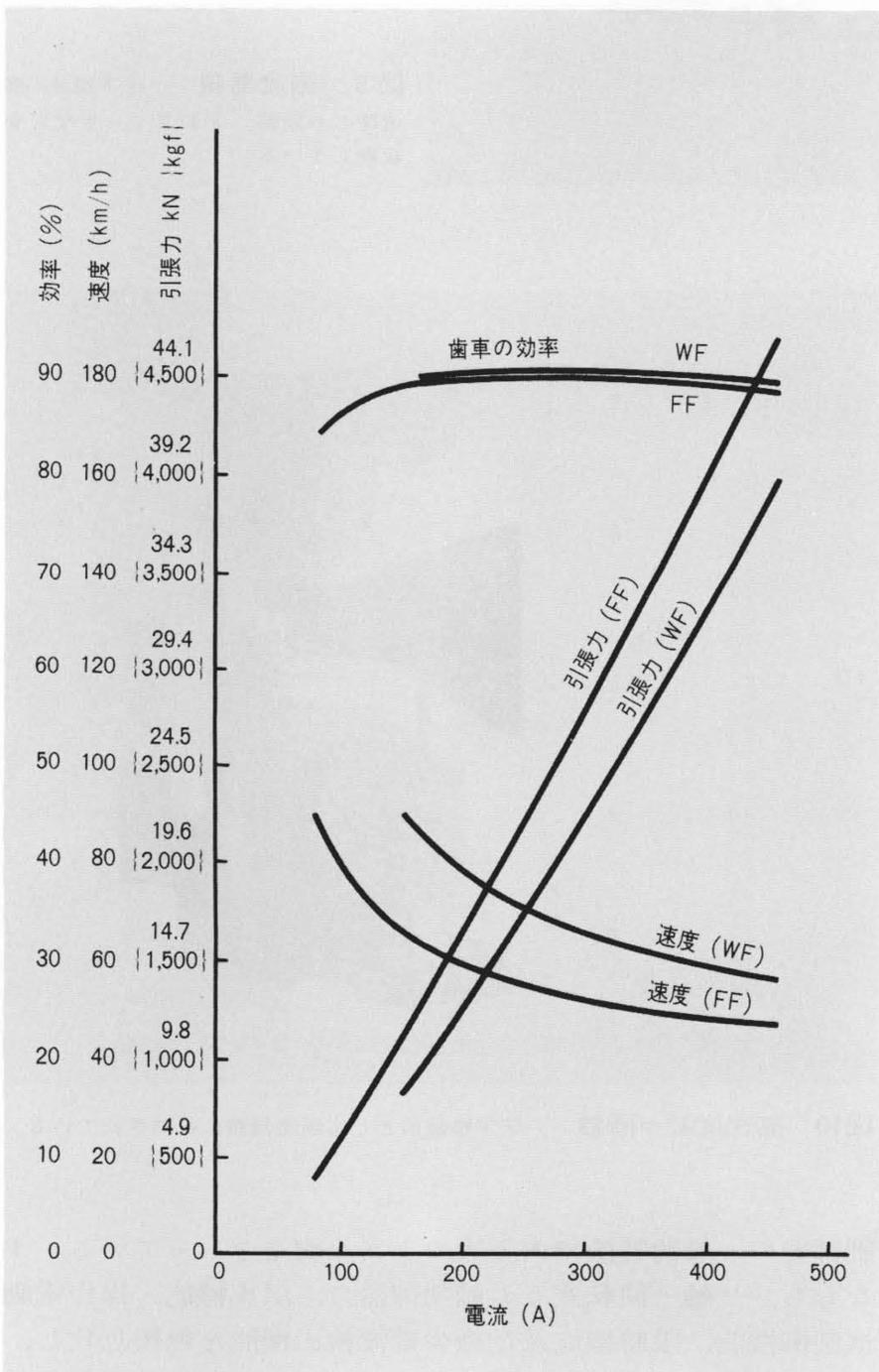


図11 315kW主電動機特性曲線 定格175kN(18,000kgf)の引張力をもつ大容量の主電動機である。