

ザイール国鉄納め 2,400kWサイリスタ式交流電気機関車

2,400kW Thyristorized A C Electric Locomotives for Zaire National Railways

日立製作所は、アフリカザイール国鉄向けに2,400kWサイリスタ式交流電気機関車10両を納入した。

仕様の面では、温度上昇限度IEC規格値 -10°C 、発電ブレーキ付、軸重15.5tなど軽量・高出力な性能を満足している。また、主回路及び制御回路は半導体素子を導入した最新式のものであるとともに、高い粘着性能を持っている。

今後、輸出向け中容量のサイリスタ式交流電気機関車の標準機として内外に広く採用されることが期待される。

河野敏克*	Kouno Toshikatsu
戸羽三弥*	Toba Mitsuya
高橋 宏**	Takahashi Hiroshi
松竹 貢**	Matsutake Mitsugu
三浦昭鋹***	Miura Shōzuchi
木脇久勝****	Kiwaki Hisakatsu

1 緒 言

アフリカ、ザイール国には、同国国鉄の前身であるKDL鉄道(Compagnie Des Chemins de Fer Kinshasa-Dilolo-Lubumbashi)に対し、1969年7月及び1972年4月の2回にわたり日立製作所が、低圧タップ切換方式の交流電気機関車を合計15両を既に納入しており、それらは現在まで順調に稼動している。今回の受注に当たっては、これら既納車の実績がはずかって大きい。

サイリスタ制御方式については、国内的には日本国有鉄道の指導のもとに、日立製作所が1965年に力行専用利用したED931形を、また1968年に回生ブレーキ付としたED941形を、それぞれ試作車として日本国有鉄道に納入しており、引き続き量産機としてED77形及びED78形が各々1968年と1969年に製作納入されている。

ザイール国鉄納め交流電気機関車は、これらの国内実績を踏まえた上に、更に最近の研究結果をも加味した最新形機関車として製作されたものである。

以下に、この機関車の概要をまとめて紹介する。

2 特長及び仕様

図1に機関車の外観を、表1に一般仕様を示す。

2.1 特 長

本機関車の特長は次に述べるとおりである。

- (1) 輸出向けとしては、初めてのサイリスタ式機関車であること。
- (2) 主変圧器二次巻線を2分割とする新しい方式であること。
- (3) 軸重15.5tの制限のもとで、荷重1,200tをけん引して12.5%の上りこう配上で起動し、35km/h以上に加速できる高粘着性能を持っていること。
- (4) 12.5%の下りこう配で荷重1,200tをけん引して、40km/hに抑速可能な発電ブレーキを持っていること。
- (5) 輸出向け電気機関車用としては、初めて平形の大容量サイリスタ素子を採用したこと。
- (6) 電気品の温度上昇限度がIEC(国際電気標準会議)規格 -10°C と厳しいこと。
- (7) 主電動機、補機などについては、既納低圧タップ切換式機関車と互換性を持たせたこと。
- (8) 主回路及び制御回路に半導体素子を導入するとともに、

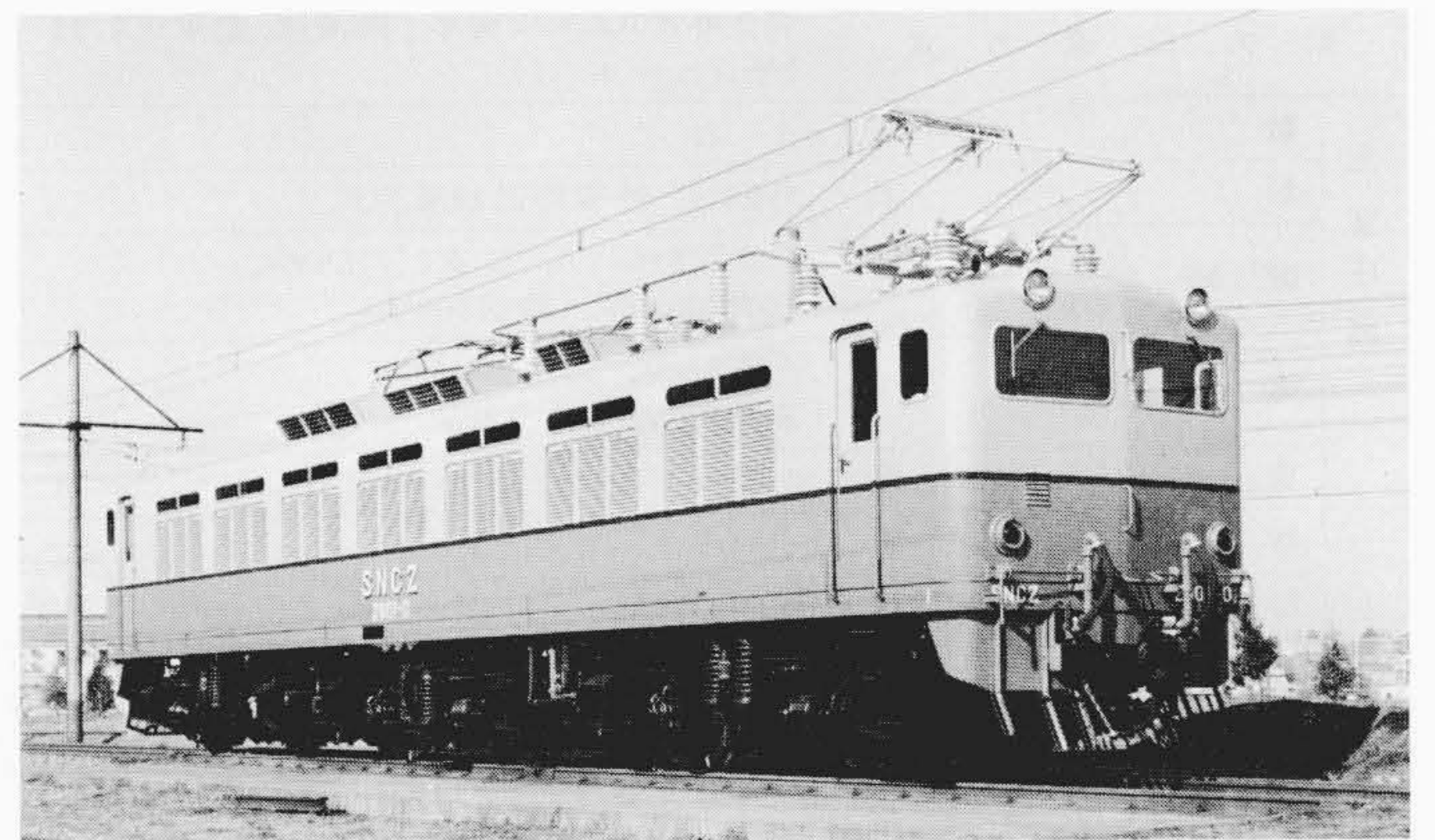


図1 機関車外観 車体は箱形でパンタグラフは1個だけ屋根上に取り付けてある。

既納車の改善点を徹底的に調査し、保守低減に留意したこと。
(9) 軸配置を $\text{B}_0-\text{B}_0-\text{B}_0$ 、両端台車を既納車と同一とし、新設した中間台車についても輪軸など主要部品は共通としたこと。

2.2 一般仕様

仕様条件は次に述べるとおりである。

(1) 力行条件

22kV、12.5%上りこう配で1,200tの荷重を、また23%上りこう配で700tの荷重をけん引して起動でき、35km/h以上に加速の上、バランス運転が可能であること。

(2) 発電ブレーキ条件

12.5%下りこう配で1,200tの荷重を、また20%下りこう配で650tの荷重をけん引して40km/hに抑速運転が可能であること。

以上から出力は2,400kWとした。

機関車の特性曲線を図2に示す。

3 機関車の構造

3.1 機器配置及びぎ装

本機関車の機器配置の概要は図3に示すとおりで、各機器の点検は側廊下、横断廊下、及び中廊下から行なわれる。通

* 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

表1 機関車一般仕様 中容量の軽量・高出力の最新のサイリスタ式交流電気機関車である。

項	目	仕	様
用	途	客貨両用	
電	気 方 式	単相交流50Hz 公称25kV (27.5～16kV, 定格22kV)	
軌	間	1,067mm	
運 転 整 備 重 量		93t	
軸	配 置	Bo-B ₀ -Bo	
主 要 寸 法	連結面間長さ×幅×高さ	18,660×2,800×3,500 (mm)	
	パンタグラフ折たたみ高さ	4,240mm	
	台 車 中 心 間 距 離	5,650mm×2	
	固 定 軸 距 離	2,700mm	
	車 輪 径	1,016mm	
主 要 性 能	機関車性能(1時間定格)	温度上昇限度: IEC規格値-10℃	
	出力, 速度, 引張力	2,400kW, 37km/h, 22,980kg	
	最 高 運 転 速 度	70km/h	
	最 高 安 全 速 度	75km/h	
	最 大 引 張 力	31,500kg	
台 車 形 式		2軸, フローティング式台車	
動 力 伝 達 方 式		つり掛式ゴム入平歯車1段減速, 歯車比4.93 (モジュール11)	
主 変 圧 器	数	1 台	
	形 式	外鉄形, 呼吸形送油風冷式	
	連 続 定 格 容 量	一次2,915kVA, 二次2,715kVA, 三次200kVA, 四次60kVA	
	電 圧	一次22kV, 二次590V×2, 三次394V, 四次132V	
	重 量	4,850kg	
主 整 流 器	数	一組み	
	形 式	強制通風形	
	連 続 定 格	2,322kW, 900V, 2,580A	
	過 負 荷	3,600A 3分間	
	素 子 構 成	サイリスタ IS8P2A2U ダイオード IS8P2A2U	
主 電 動 機	素 子 定 格	サイリスタ (CH08CF): 2,500V 400A ダイオード (C02CF): 2,500V 800A	
	数	6 台	
	形 式	半密閉他力通風形, 脈流直巻, 補極付	
	1 時 間 定 格	400kW, 900V, 480A, 1,000rpm, 4極	
	絶 縁 種 類	F種(エポキシ樹脂絶縁)	
平 滑 リ ア ク ト ル	主平滑リアクトル数量	三組み	
	形 式	乾式風冷, 内鉄形	
	連 続 定 格	900V, 880A, 6mH	
制 御 方 式		主変圧器二次側2分割, 低圧側サイリスタ連続位相制御非重連, 電磁空気単位スイッチ式	
制 御 回 路 電 圧		単相交流100V及び直流110V	
灯 回 路 電 圧		直流110V及び24V	
補 機 回 路 電 圧		三相交流394V	
補 助 回 転 機		2台-交流発電機付相変換機: 100kVA, 三相394V/6kVA, 2相100V 2台-主電動機用電動送風機: 15kW, 140m ³ /min, 175mmAq 2台-制動抵抗器用電動送風機: 15kW, 400m ³ /min, 75mmAq 2台-主整流器用電動送風機: 1.5kW, 70m ³ /min, 60mmAq 1台-主変圧器用電動送風機: 2.5kW, 90m ³ /min, 75mmAq 1台-主変圧器用電動油ポンプ: 3kW, 1,000l/min, 揚程8m 2台-電動圧縮-真空機: 22/14kW, 4/8極 1,000/500rpm, 8kg/cm ² , 1,606/803l/min, 540mmHg, 6,387/3,194l/min 1台-補助電動空気圧縮機: 450W, 直流86V, 7kg/cm ² , 95.2l/min	
ブ レ ー キ 方 式		機関車: 発電ブレーキ, 空気ブレーキ, 手ブレーキ 列車列車: 真空ブレーキ	

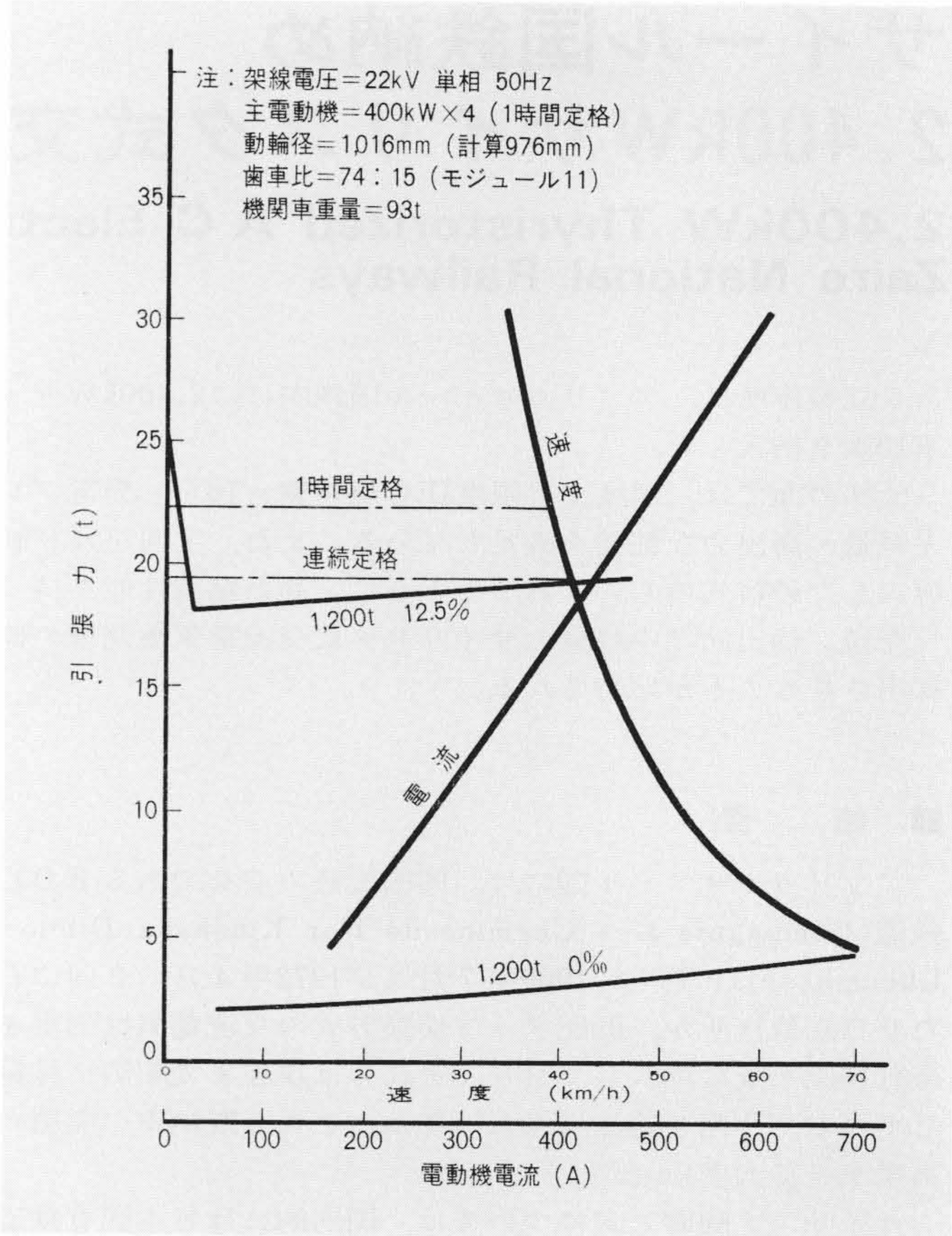


図2 機関車特性曲線 本機関車は, 定格出力2,400kW, 定格速度37km/h, 最高許容速度70km/hである。

風方式は, 第1端側の送風機で主電動機4台を冷却し, 第2端側の送風機で主電動機2台と主平滑リアクトルを冷却している。主変圧器と主整流器及び発電ブレーキ抵抗器は自己の送風機で冷却している。

3.2 台 車

両端台車は既納車と同一にして互換性を持たせている。中間台車は車体支持装置をローラ式として横圧の軽減を図り, 良好な曲線走行性能を得るようにしてあり, 既に日本国有鉄道のEF81形機関車などで実績のあるものである。

4 主回路方式

主回路つなぎを図4に示す。図5に力行ノッチ曲線を, 図6にブレーキノッチ曲線を示す。

主回路の特長は次に述べるとおりである。

- (1) 主変圧器二次巻線を2分割し, 各々にサイリスタとダイオードから成る混合ブリッジ整流器を結合する方式としている。
- (2) 主変圧器の2分割した二次巻線相互間の結合を疎結合とするとともに, リアクタンス分を増し通信誘導障害の低減に留意した。等価妨害電流の計算例及び現地での実測データ例を図7に示す。
- (3) 主電動機の接続は, 6個をすべて永久並列接続とし, 粘着性能の向上を図っている。
- (4) 発電ブレーキを使用する場合には, 主変圧器四次巻線に整流器の一組みを接続して主電動機界磁電流を制御し, 整流器を力行と発電ブレーキに兼用している。
- (5) 主平滑リアクトルは, 主電動機2個に対して1個として重量及び寸法の縮小を図り, 既納車用と互換性を持たせた。

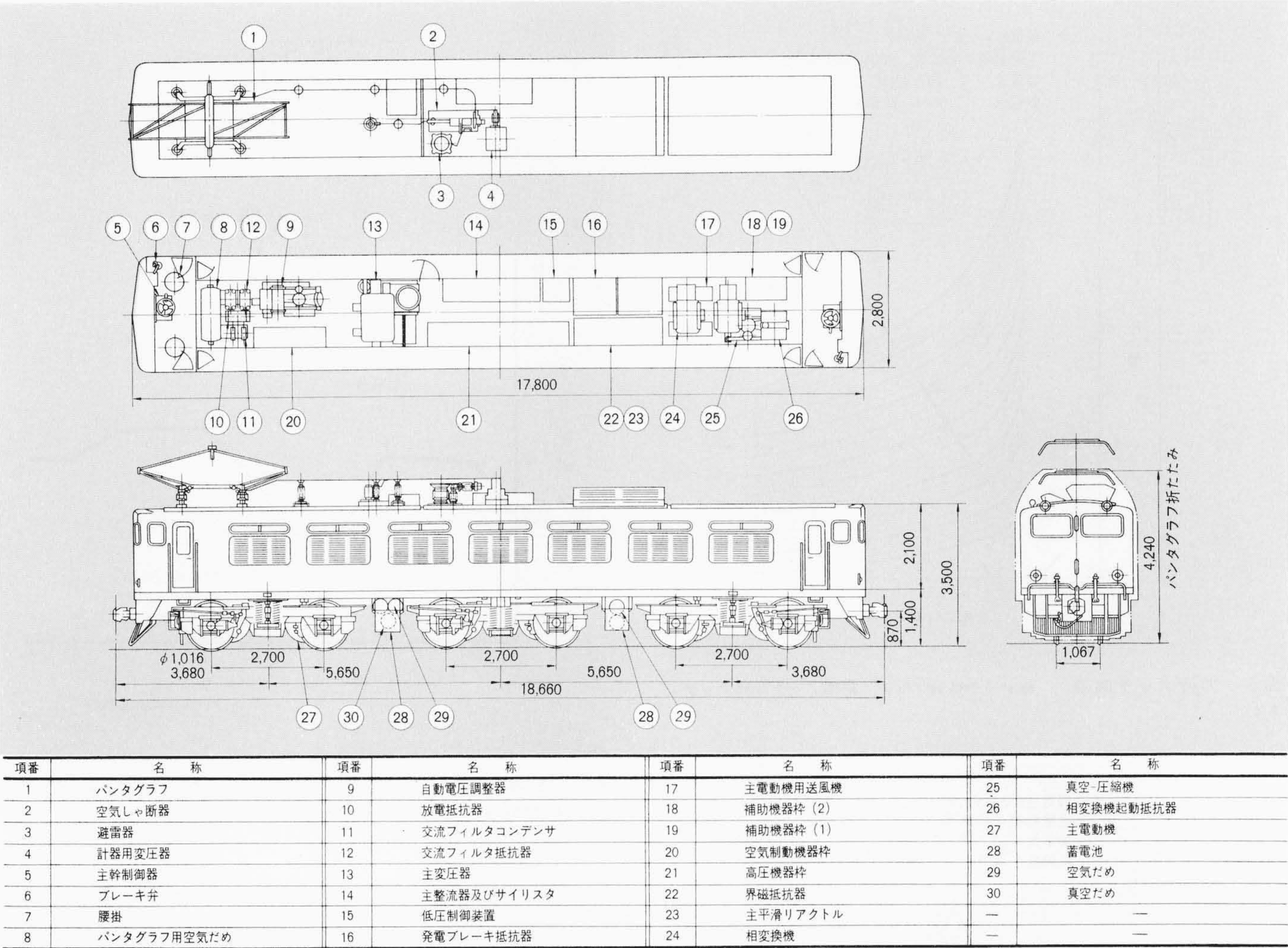


図 3 機関車機器配置概要図 運転室は二つ設け、機械室の各機器の点検は側廊下、横断廊下、及び中廊下から行なえるようにしてある。

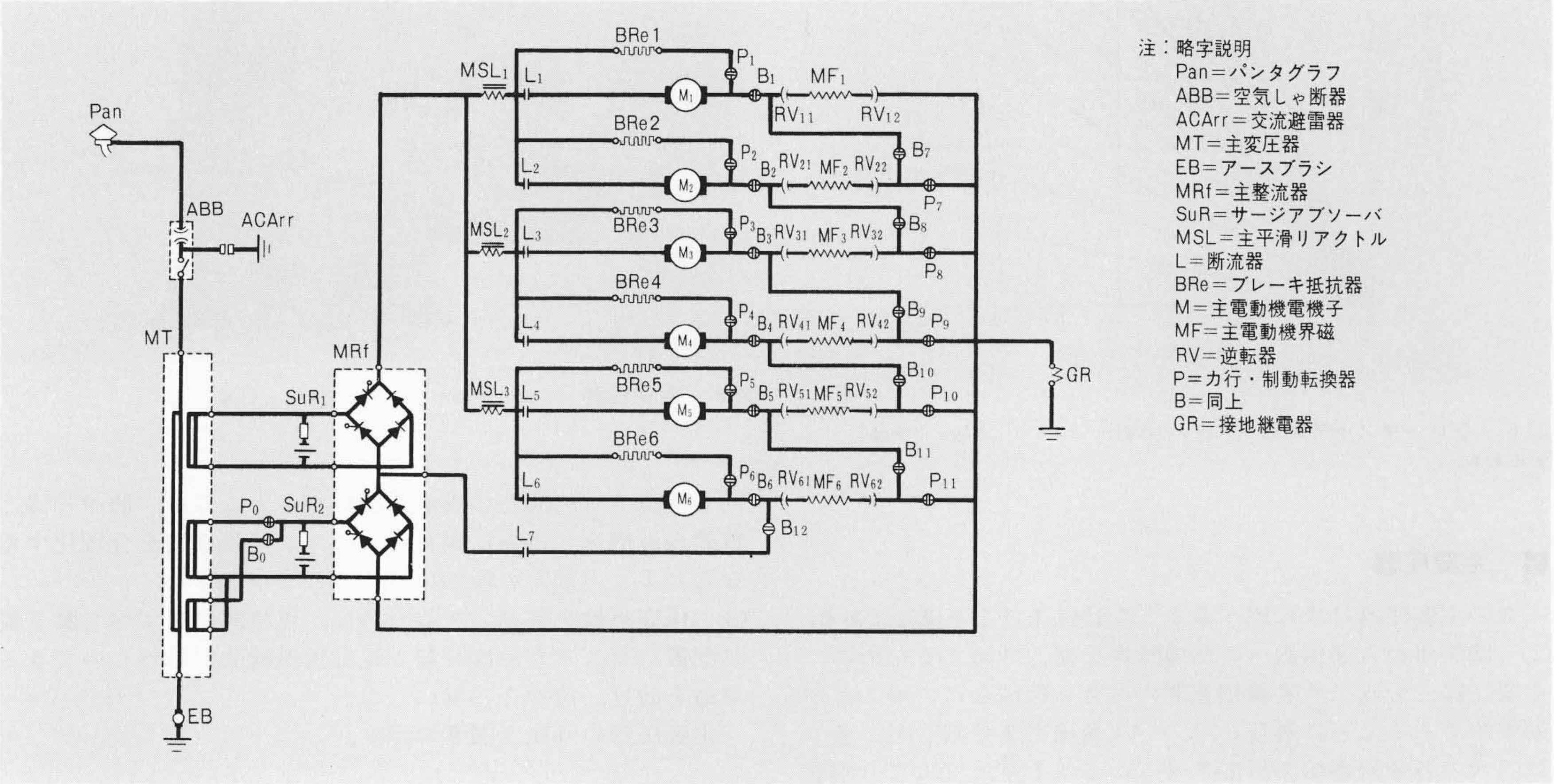


図 4 主回路つなぎ 主変圧器二次側を2分割し、各々にサイリスタとダイオードから成る混合ブリッジ整流器を付加している。発電ブレーキ時には二組みの整流器のうち、一組みを界磁電流制御用に共用している。

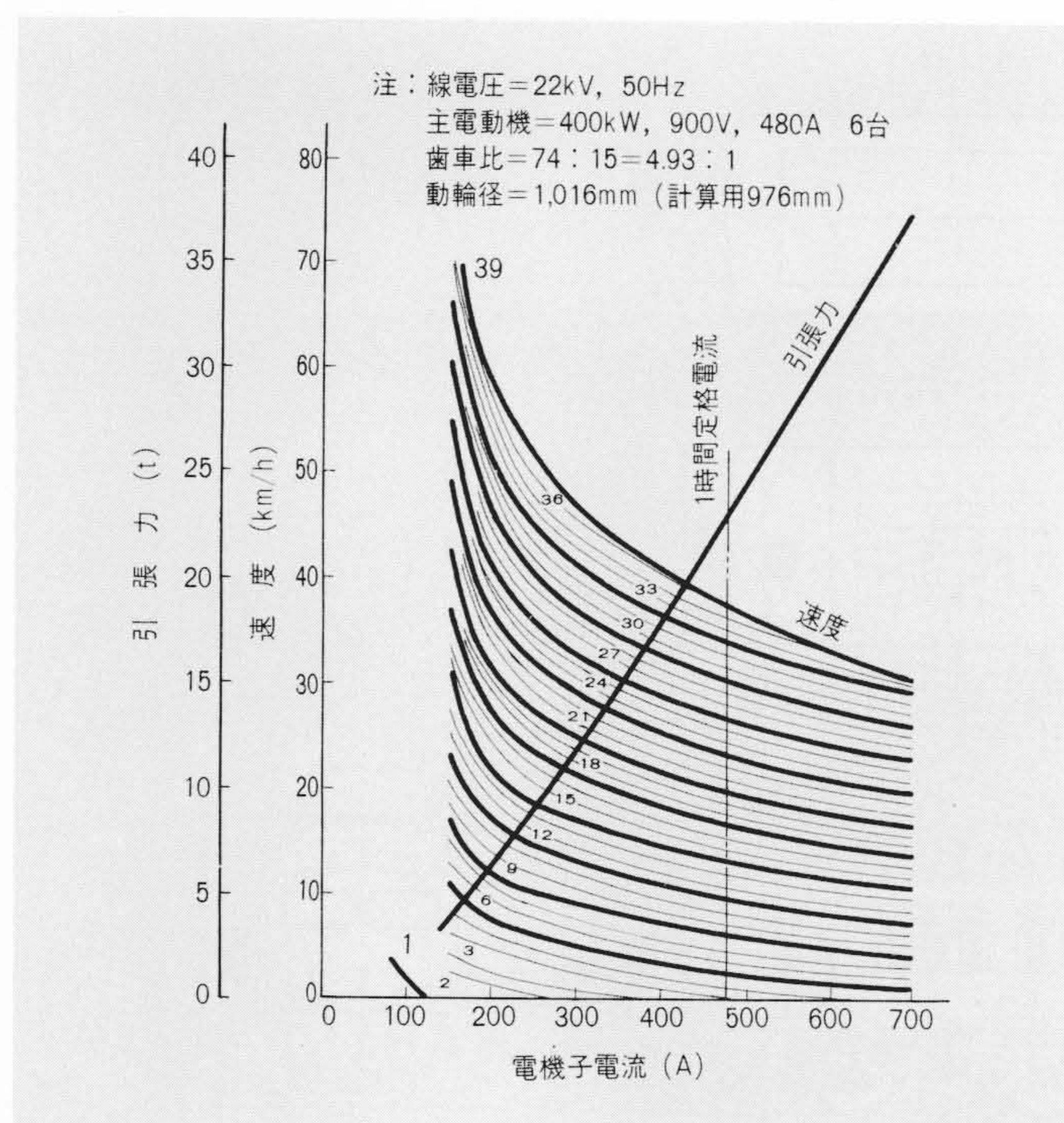


図5 力行ノッチ曲線 総ノッチ数39ノッチ, 定格ノッチは36ノッチである。

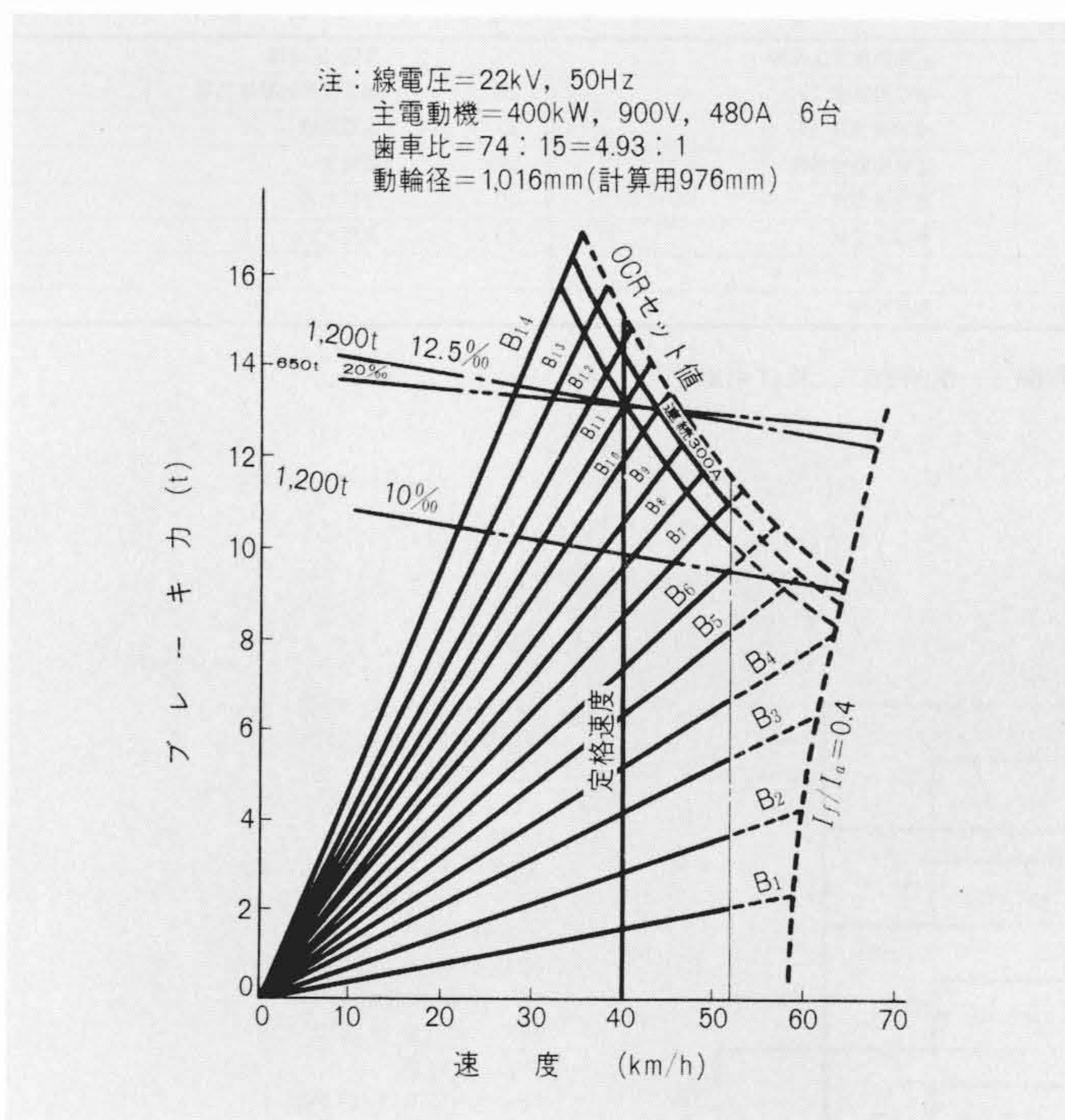


図6 ブレーキノッチ曲線 総ノッチ数は14ノッチ, 定格ノッチは11ノッチである。

5 主変圧器

この主変圧器は次に述べるような特殊条件を考慮してある。

- (1) 機関車から通信線への誘導障害を極力低減するために、主変圧器二分割二次巻線相互間の結合を疎結合にすることが効果的であることに着目して、一次巻線を2分割して、各々に二次の各分割巻線に対応させることにより、二次二分割巻線間の相互誘導係数をほぼ零とした。
- (2) 既納車の主変圧器に対して大幅に容量が増加したため、

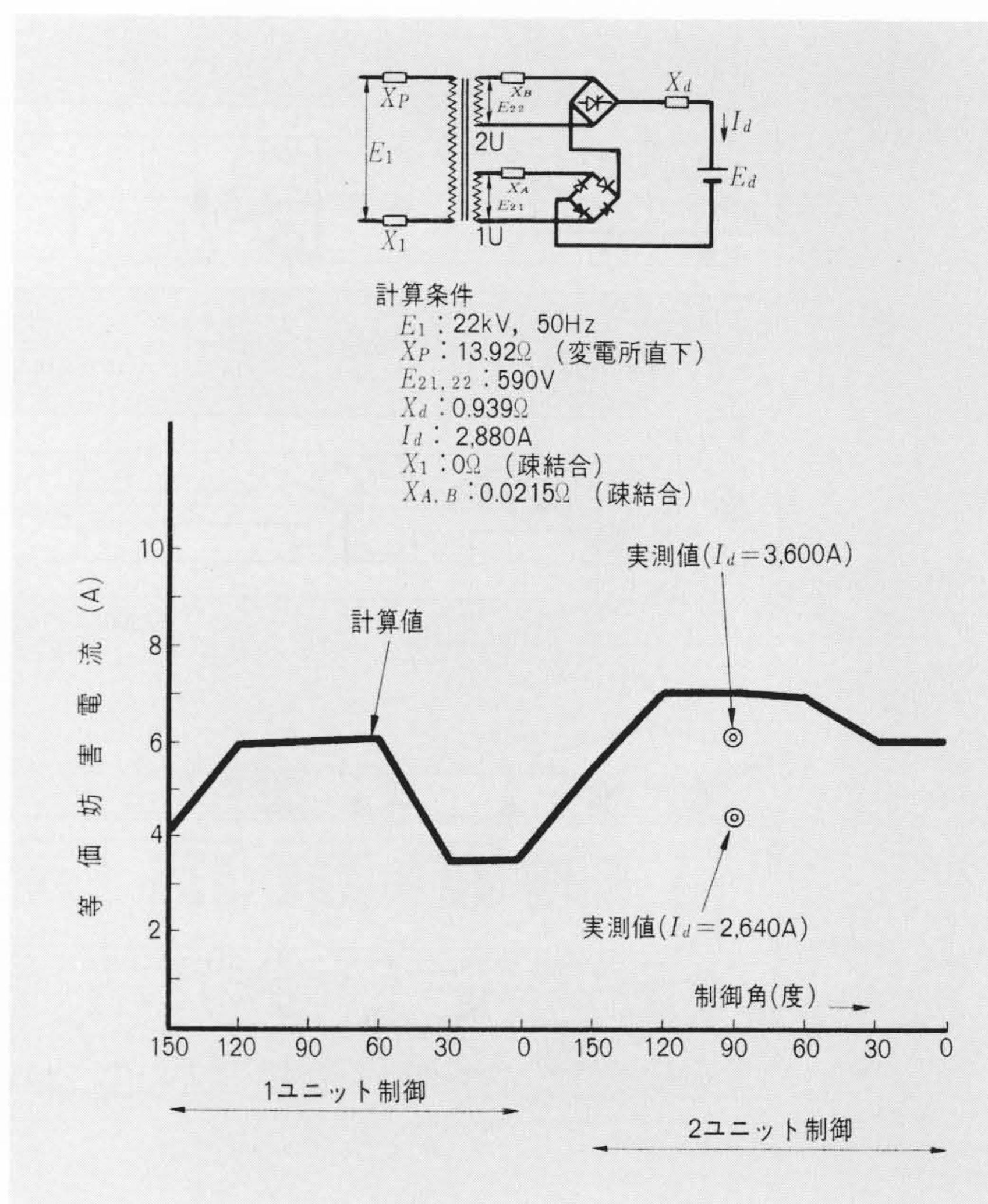


図7 等価妨害電流と位相角 計算上の最大値約7Aに対し、現地で実測した最大値は約6Aであり、なんら障害は生じていない。

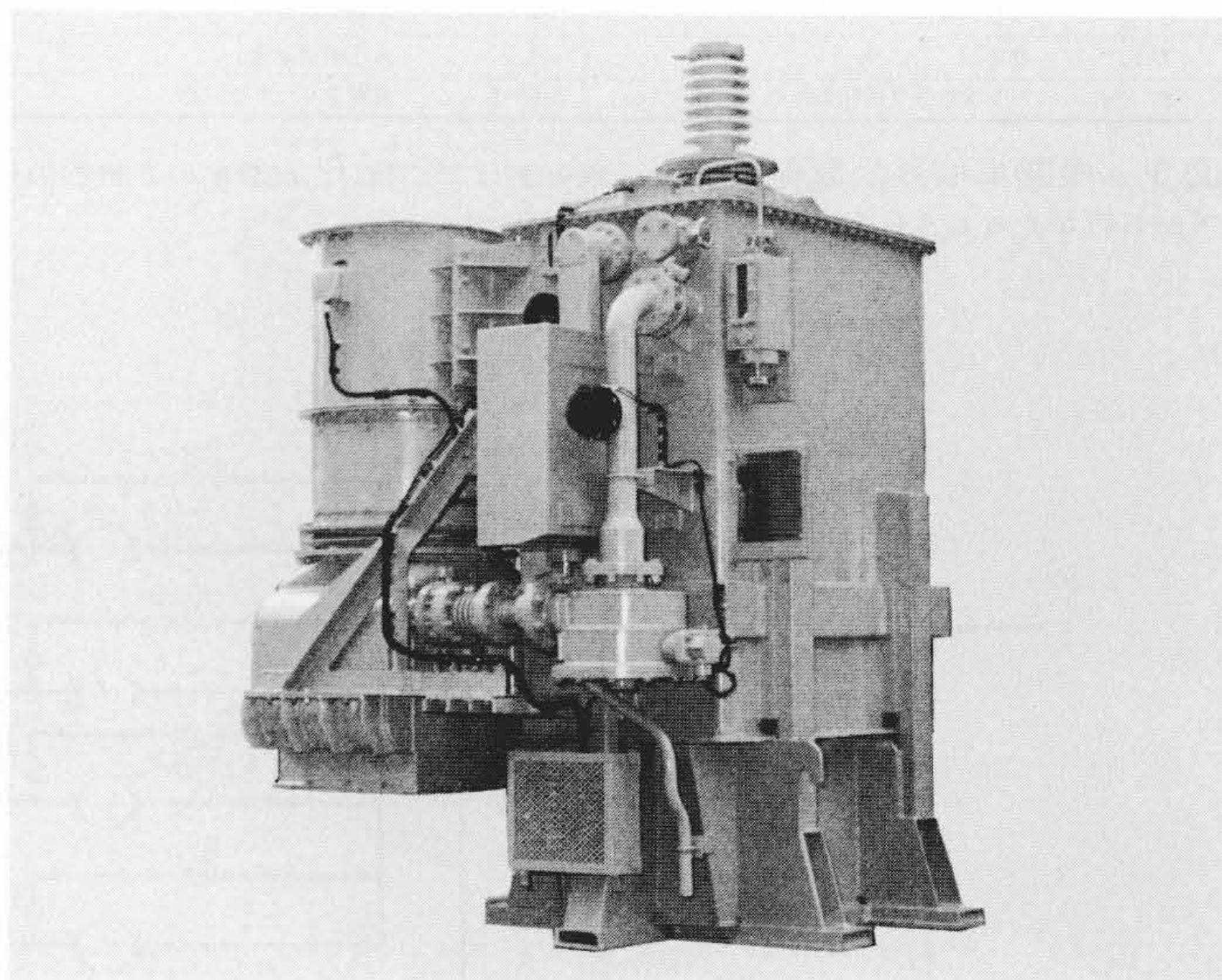


図8 主変圧器 保守点検の簡易化が図られている。

同じ構造では約30%の重量増加になるところを、油冷却器と電動送風機を一組みに集約し、タンク補強構造を合理化するなどにより、15%の増加に抑えることができた。

- (3) 保守点検を容易にするために、点検部品をすべて廊下側に配置した。また油冷却器と電動送風機間に取外しのできる風道を設け、清掃を容易にした。

主変圧器の外観を図8に示す。

6 主整流器

主整流器については次に述べるような考慮が払われている。

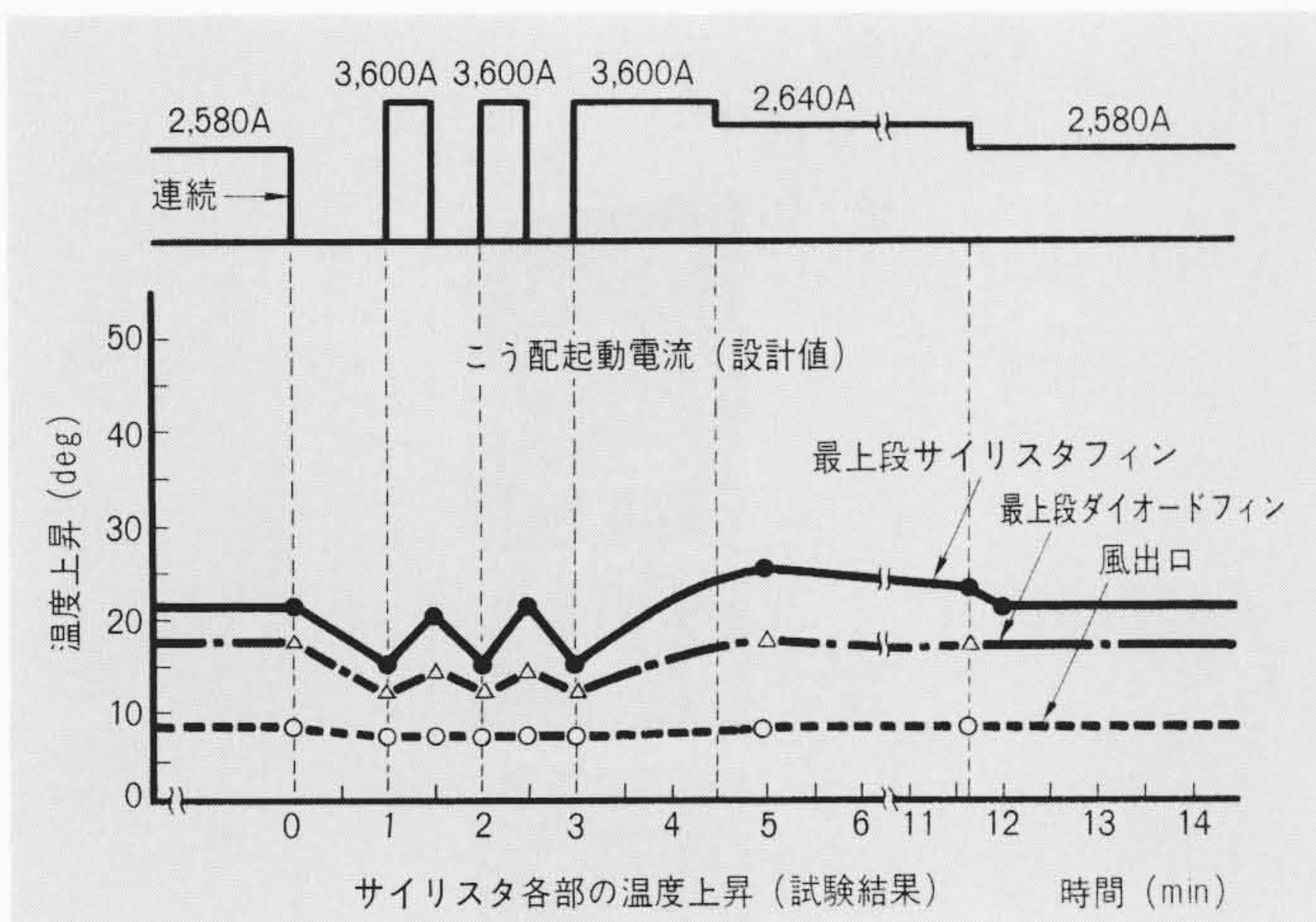


図9 こう配起動時の電流条件 こう配起動電流の設計値とエレメント各部の試験による温度上昇を示す。

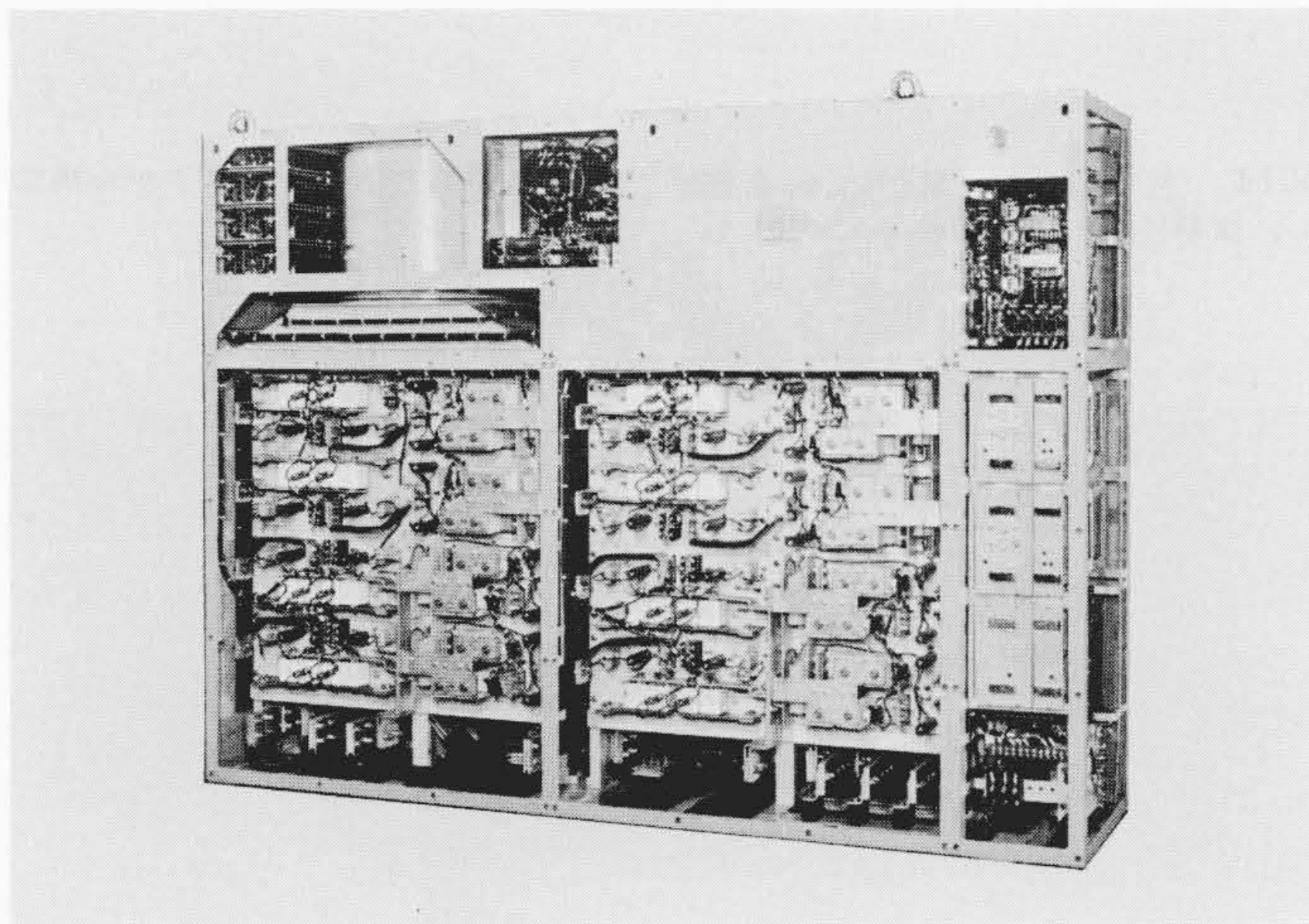


図10 主整流器 主整流器のカバーを取り外した状態を示す(2,322kW 900V, 2,580A)。

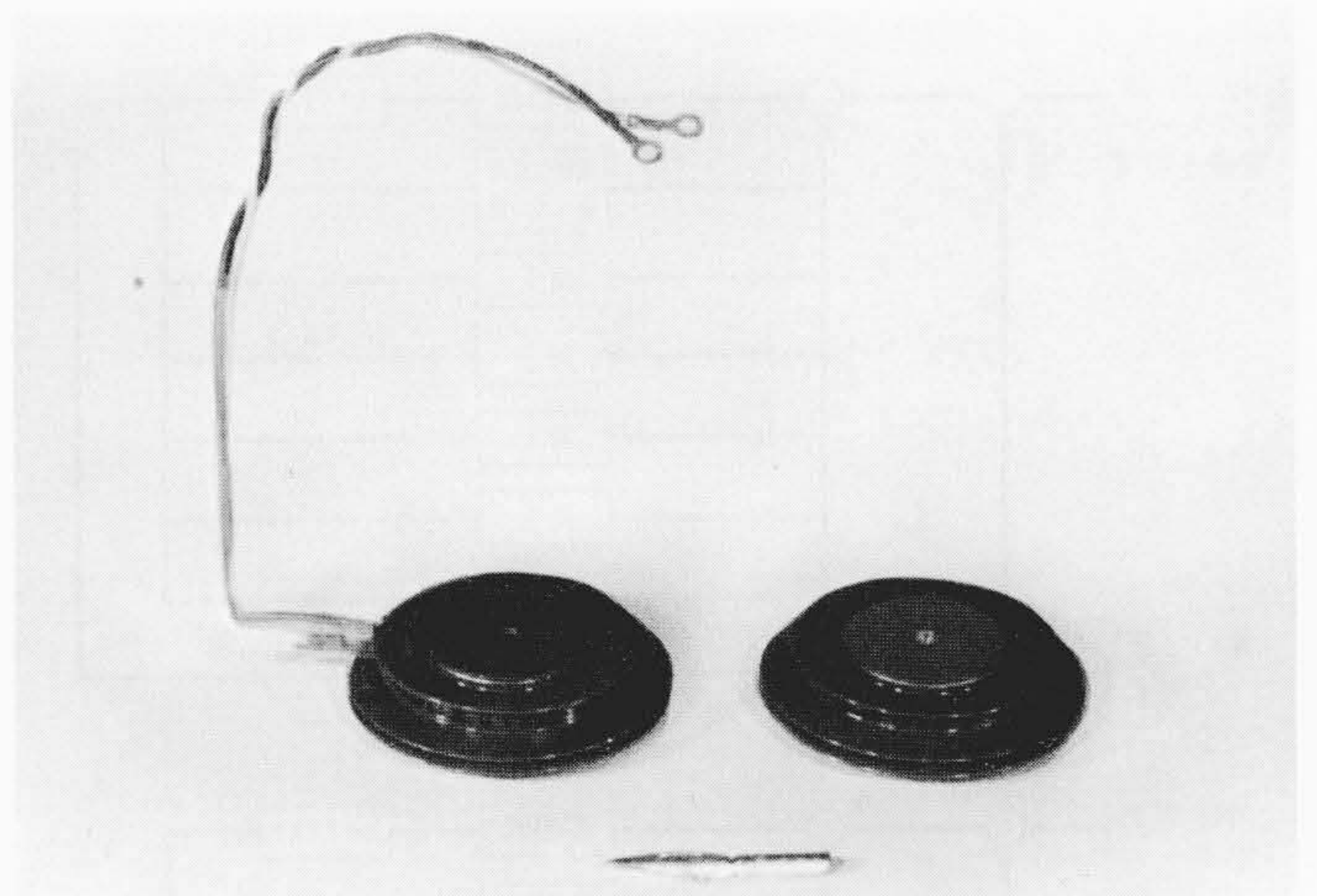


図11 サイリスタ及びダイオード素子 サイリスタ素子は、形式CH08CF、繰返しせん頭逆電圧2,500V定格電流400Aである。またダイオード素子は、形式C02CF、繰返しせん頭逆電圧2,500V、定格電流800Aである。

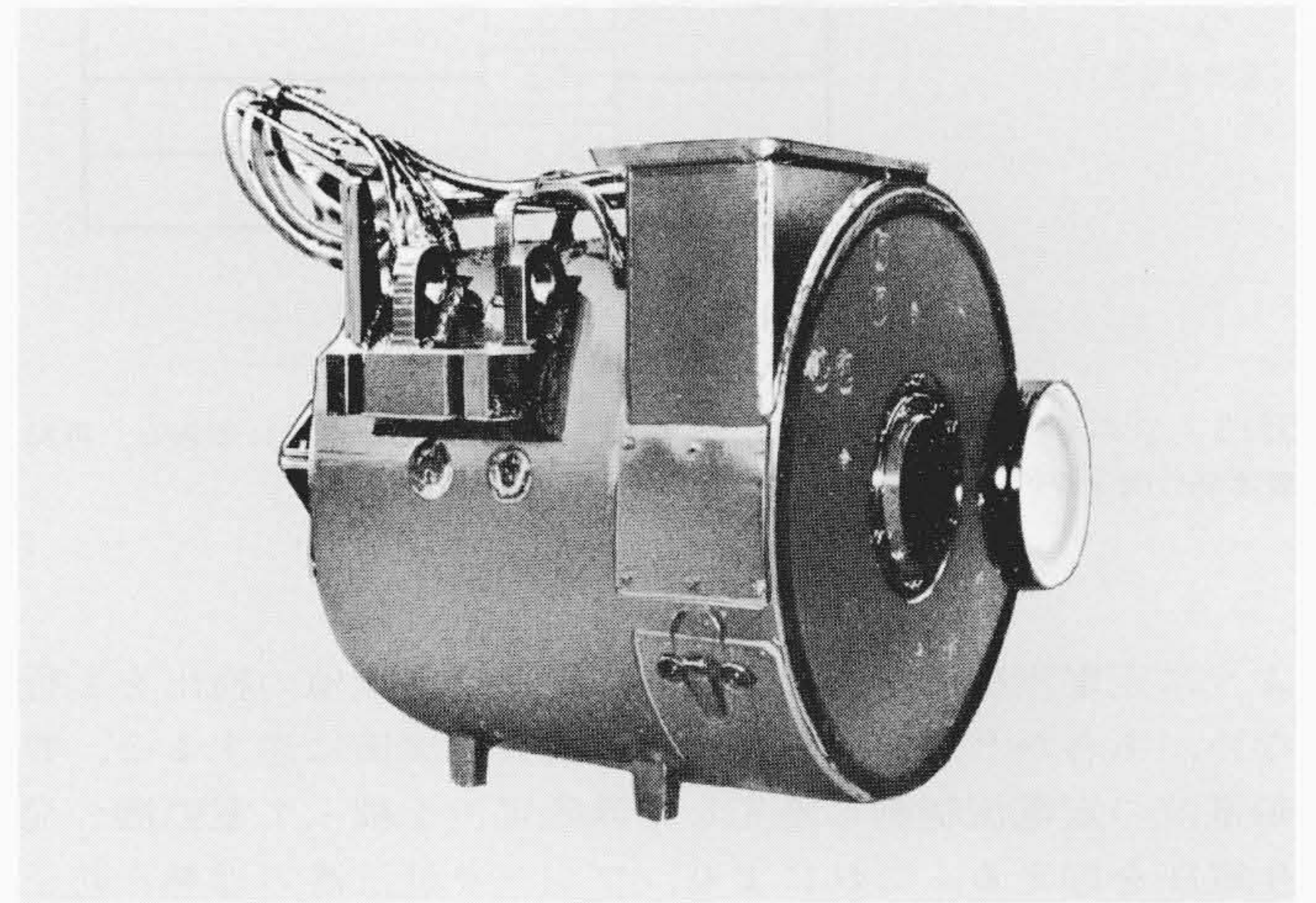


図12 400kW主電動機 最新技術を採用して、信頼性の向上と保守の簡易化を図っている。

- (1) こう配起動時の電流条件を図9に示す。この条件により、主サイリスタ及びダイオードの並列素子数を定めた。各部の推定温度上昇は同図に示すとおりである。
- (2) 過負荷に対しては、6個中1個の主電動機がフラッシュオーバーしても、過電流検出器が事故を検出し、5サイクル以内に空気しゃ断器を開放させ、主整流器の損傷を防止することができる。
- (3) 並列素子間の電流アンバランスについては、次に述べるような工夫を図ることにより、 $\pm 20\%$ 以内に収めた。
 - (a) 素子順電圧降下の相違を防ぐため、素子の特性をそろえる。
 - (b) アノードリアクトルを素子に直列に挿入する。
 - (c) 主整流器箱内の母線を各素子間の相互インダクタンスが等しくなるように配置する。
- (4) ゲートトランスとその周囲の部品をモールド化するとともに、主サイリスタ及びダイオード素子を支持しているがいの沿面距離を増加させることにより、高湿度の条件のもとでの絶縁性を高めた。
- (5) 移相制御装置は使用実績のある磁気増幅器式とした。
主整流器の外観を図10に、サイリスタ及びダイオード素子の外観を図11に示す。

7 主電動機

既納の1,600kW電気機関車用400kW主電動機は、多年にわたる現地使用においても、好調な稼動実績を示している。今回のサイリスタ制御式電気機関車に対する性能、構造面での顧客の要求仕様、すなわち機関車最高速度の向上、位相制御による主電動機脈流率の上昇などに伴う主電動機使用範囲の拡大、既納車の実績を基にした耐振構造などについて検討した結果、上記400kW主電動機と同一仕様のもとに、信頼性のいっそうの向上を図り、それを6軸で使用することが最適であると判断した。図12に本機の外観を示す。

8 制御方式

力行時及びブレーキ時のブロックダイアグラムを図13(a)(b)に示す。

- (1) 力行時には、主電動機端子電圧がノッチで指定する電圧に達するまでは、6個主電動機回路の各電機子電流値を検出して、それらのうちの最大電流値を一定に保つ「最大電機子電流一定制御」を行なって、空転の発生を防止し粘着性能の向上を図っている。
- (2) 発電ブレーキ時には、ノッチで指定する界磁電流になる

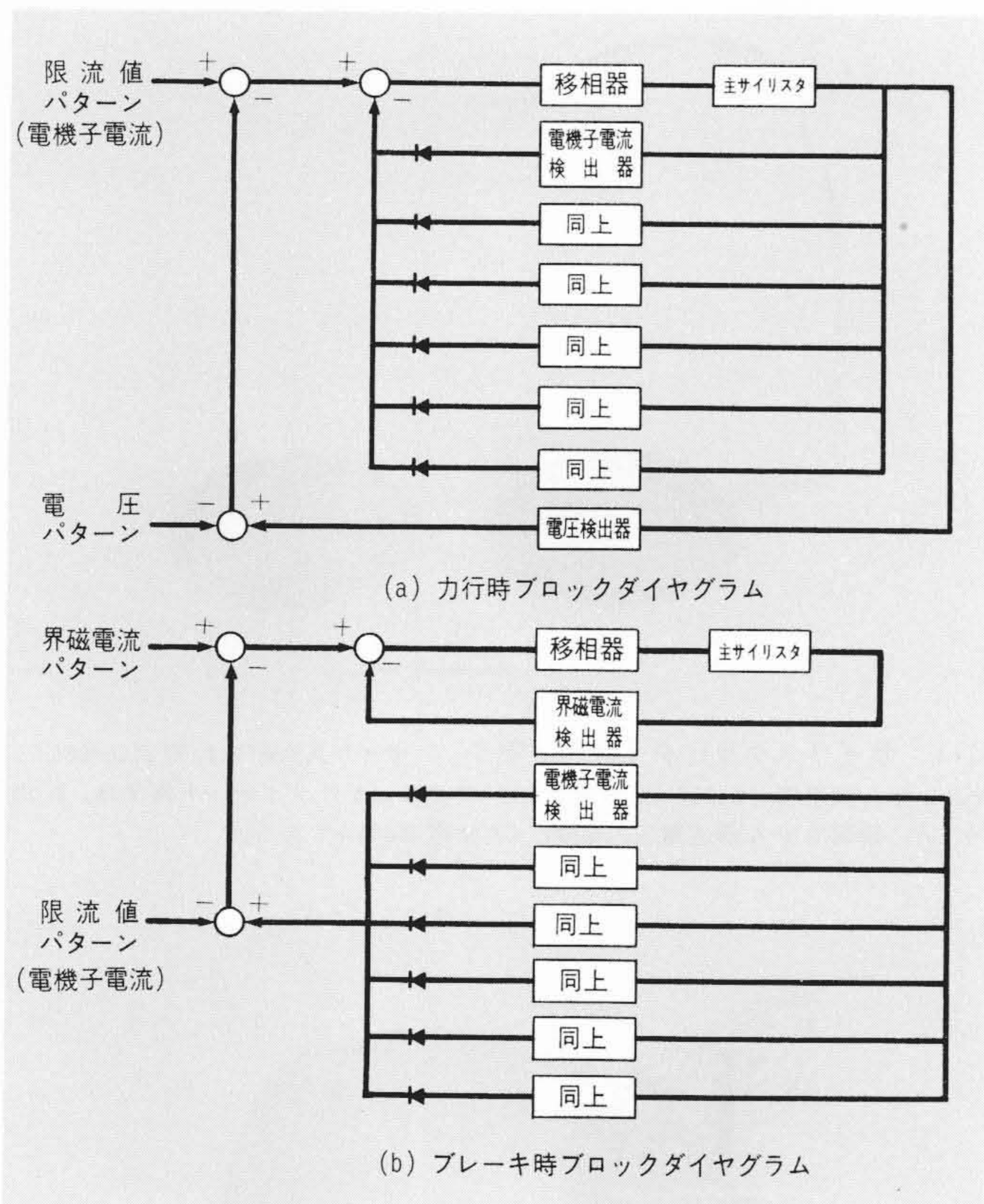


図13 ブロックダイアグラム 電機子電流の最大を一定に制御し、再粘着性能の向上を図っている。

ように定電流制御を行なうほか、電機子電流値の検出をも行ない、あらかじめ定められた許容最大電流値に達すると、界磁電流の定電流制御に優先して界磁電流を絞って電動機の発生電圧を抑える。これにより、ブレーキ抵抗器の過熱を防止している。

(3) 力行時とブレーキ時とでは、制御対象と制限対象の切換えを行なうだけで制御装置そのものは兼用できるようにした。制御装置の外観を図14に示す。

9 制御機器

9.1 主幹制御器

本器は主ハンドル、補機ハンドル、及び逆転ハンドルを備えている。主回路電圧及び電流制御のためのパターン電圧は、誘導電圧調整器により発生するため機械的接触部分がなく、保守低減に役立っている。主幹制御器の外観を図15に示す。

9.2 無接点制御装置

主整流器出力の過電流検出装置(MRfOCD)、力行制動転換器用無電流検出装置(NCD)及び6個の主電動機相互の電機子電流のアンバランスを検出する空転検出器(SID)は、標準のトレイに収めている。これらの装置にはどれにも小形のサイリスタ、ダイオードなど半導体素子を使用して無接点化を図り、精度の向上、応答速度の向上及び小形・軽量化とともに、保守の低減を図っている。

9.3 発電ブレーキ抵抗器

この抵抗器は発電ブレーキ時6台の主電動機の電機子に接続される。特殊合金のべーン形抵抗体より構成され、強制風冷方式の小形・軽量化されたもので、2箱に収容されている。1,200tの列車荷重をけん引して、12.5%の下りこう配で40km/hの抑速運転が可能な容量を持っている。

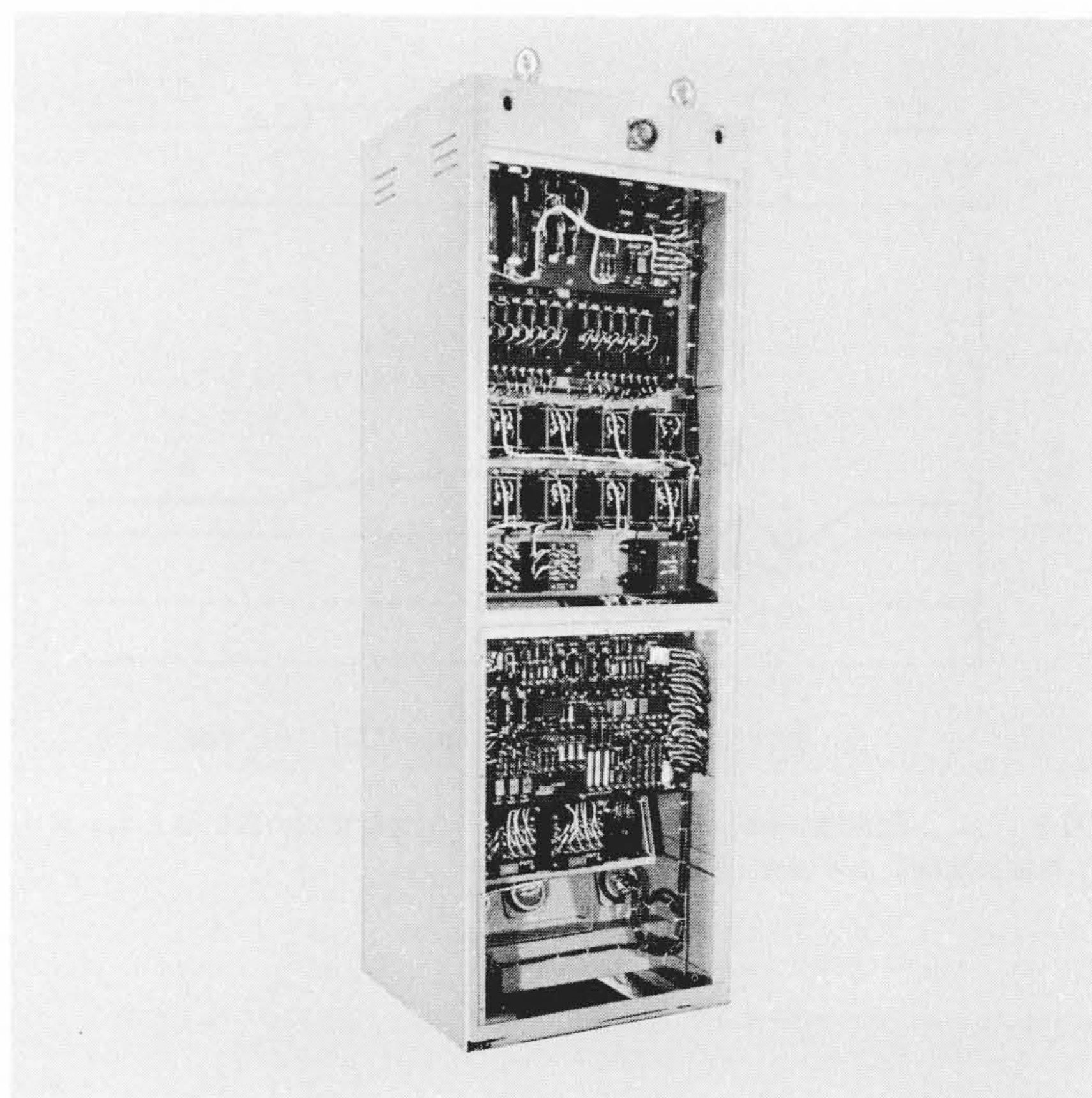


図14 主回路電圧電流制御装置 磁気増幅器とトランジスタから構成し、信頼性の向上に留意している。

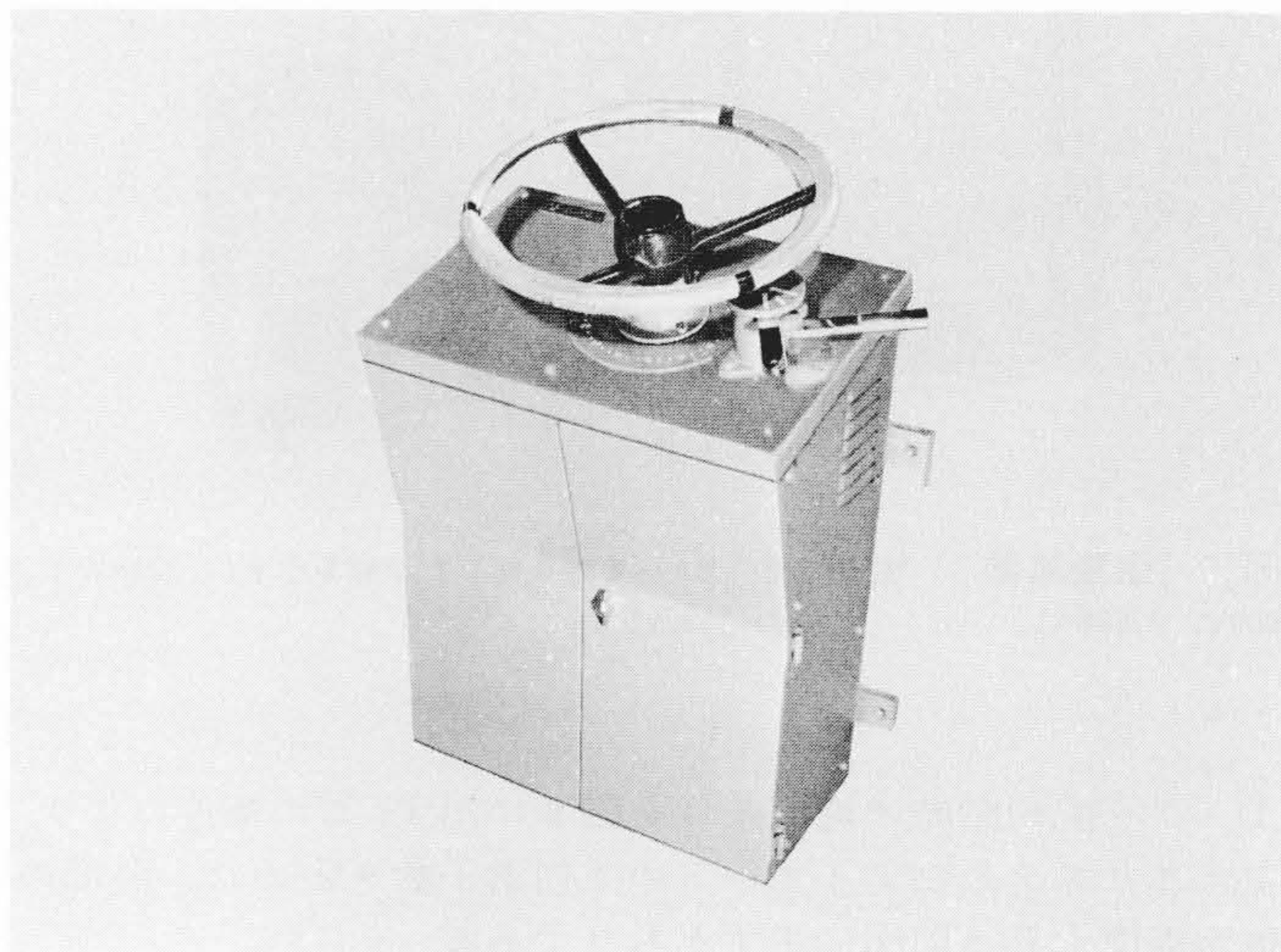


図15 主幹制御器 主ハンドルは丸形として扱いやすさをねらっている。補助ハンドル、逆転ハンドル及び主ハンドル相互間には、機械的インターロックを施し安全性に留意している。

10 結 言

主回路にサイリスタを導入した機関車は、近年世界的に採用されつつあり、交流電気機関車の主流を占める傾向にある。

日立製作所は従来、日本国有鉄道の指導のもとに数多くの同種電気機関車を製作納入しており、今回製作納入した機関車はこれらの実績の上に、本文に述べたように最新の技術を採用入れて、更に発展させたものである。これらの機関車は既に現地に納入され、各種の試験を終了し好調に営業運転に入っており、今後も優れた運転成績を示すものと期待される。

終わりに、本機関車の製造に当たり日本国有鉄道の御助言に感謝するとともに、日本連合として御協力をいただいた東京芝浦電気株式会社及び三菱電機株式会社の関係各位に対し厚くお礼を申しあげる。