

常磐線用 ED 46 形交直両用電気機関車

Type ED 46 A.C.—D.C. Two-way Electric Locomotive for Joban Line

高橋 忠太\* 水越 正義\* 伊沢 省二\*  
Chūta Takahashi Masayoshi Mizukoshi Shōji Izawa  
河井 貞治\*\* 川上 直衛\*\* 前川 愛一\*\*\*  
Sadaharu Kawai Naoe Kawakami Aiichi Maekawa

内 容 梗 概

今回常磐線旅客用機関車として世界最初の全出力エキサイترون式交直両用機関車 ED 461 が完成した。この機関車には 1 台車 1 電動機式台車, 700 kW 主電動機, 整流器のインバータ運転による暖房電源, 交直切換方式など多くの新方式が採り入れられており, 4 軸 64 t の小形軽量機関車で連続定格 1,400 kW 最高運転速度 110 km/h, EF 58 形直流機関車を上回る高性能を有している。

1. 緒 言

わが国の交流電化も本格的に推進され, 交流専用機関車については多数の試作, 試験の結果をとり入れて標準形式の ED 71 形機関車が東北本線用として量産されつつあるが, さらに常磐線など交直両区間で交互に乗入れを行う電気車が要望されてきた。この場合, 旅客用電気機関車では交直両区間にわたる列車暖房用電源をいかにして経済的にうるかが重要な問題となり, 日本国有鉄道において各種の暖房方式を比較検討の結果, 交流による電気暖房を使用することが決定された。

ED 46 形交直両用電気機関車はこの情勢に応ずるため, 国鉄常磐線向として日本国有鉄道と日立製作所の共同設計により世界ではじめて製作された交直全出力旅客専用機関車である。

電気回路は直流機関車に変圧器, 整流器を主体とする電源装置を搭載した方式であって, 交流区間ではこの整流装置により直流 1,500 V をうるものであるが, 暖房電源として直流区間ではエキサイترون整流器をインバータ運転して交流電源を得ている。1 台車 1 電動機式, すぐれた交直切換方式, 新形エキサイترون整流器, ラジアルコア形主変圧器の採用, 軽量車体と合理的な機器配置など各部に画期的な新方式が折り込まれている。またこれらの合理的な小形軽量化により, 暖房電源を含めて, 従来の旅客用直流機関車 EF58 形 (2C-C2 115 t) を上回る運転性能を有する全出力交直両用機関車を B-B 64 t に納めることができた。

ちなみに日立製作所で明治44年に国産第 1 号電気機関車を製作して以来, 第 1,000 号機関車として, このような日立技術の総力を結集した新鋭機関車を完成したことを付記し, 以下 ED 461 号車の概要を紹介する。

2. 仕様および特長

ED 46 は 10% の勾配を含む交直両区間において 550 t の急行旅客列車ならびに 600 t の各駅停車旅客列車をけん引するエキサイترون式全出力交直両用電気機関車である。第 1 表に機関車仕様, 第 1 図にその外観を示す。本機関車はつぎのような多くの新機軸を採用した画期的なものである。

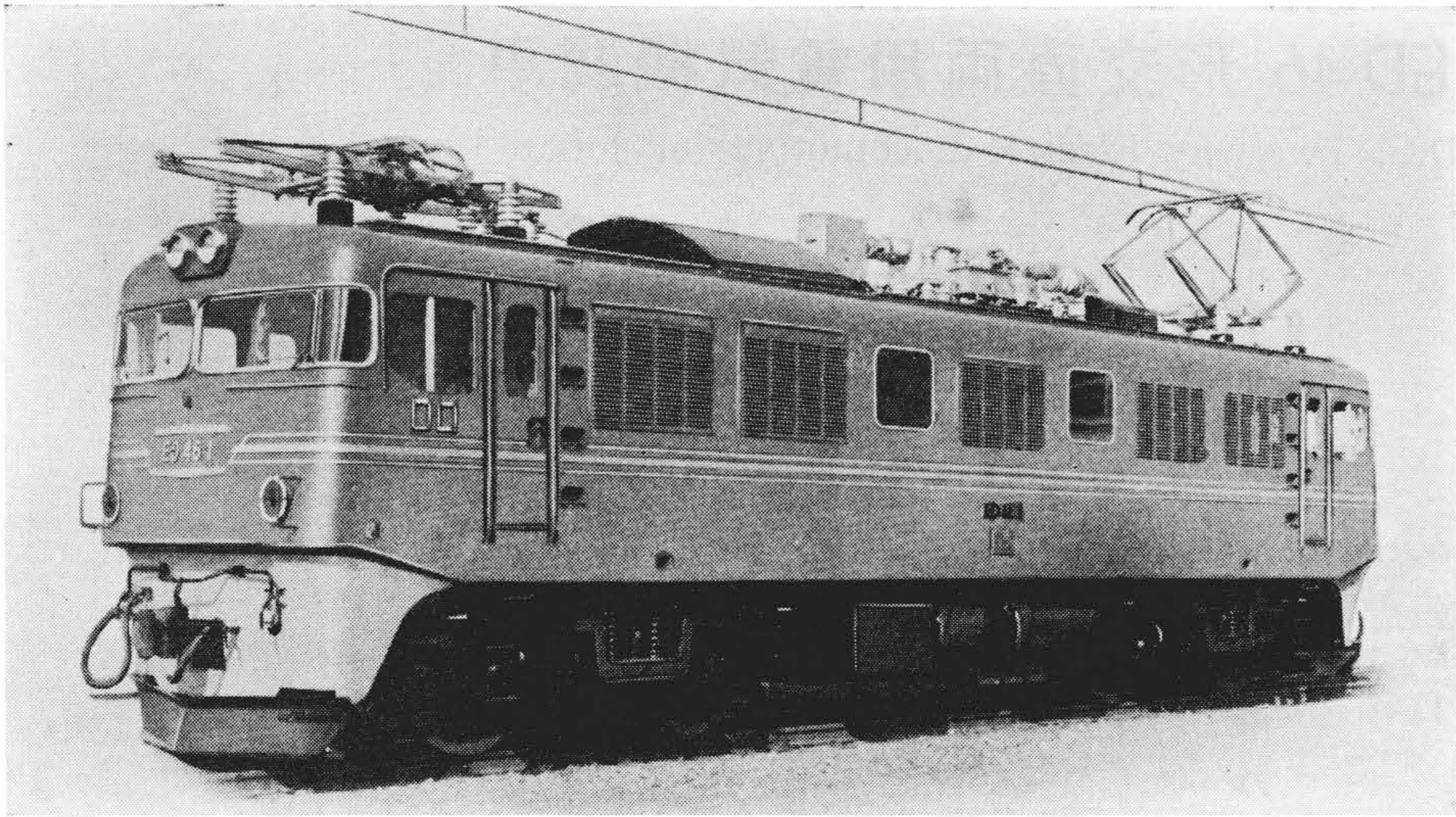
(1) 幹線用としてはわが国最初の 1 台車 1 電動機式を採用して粘着性能の改善, 機器の簡単化と小形軽量化を計っている。またゴムクイル式駆動装置, さかだちリンク式揺れ機構を使用した新方式の側受構造を採用している。

\* 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

第 1 表 一 般 仕 様

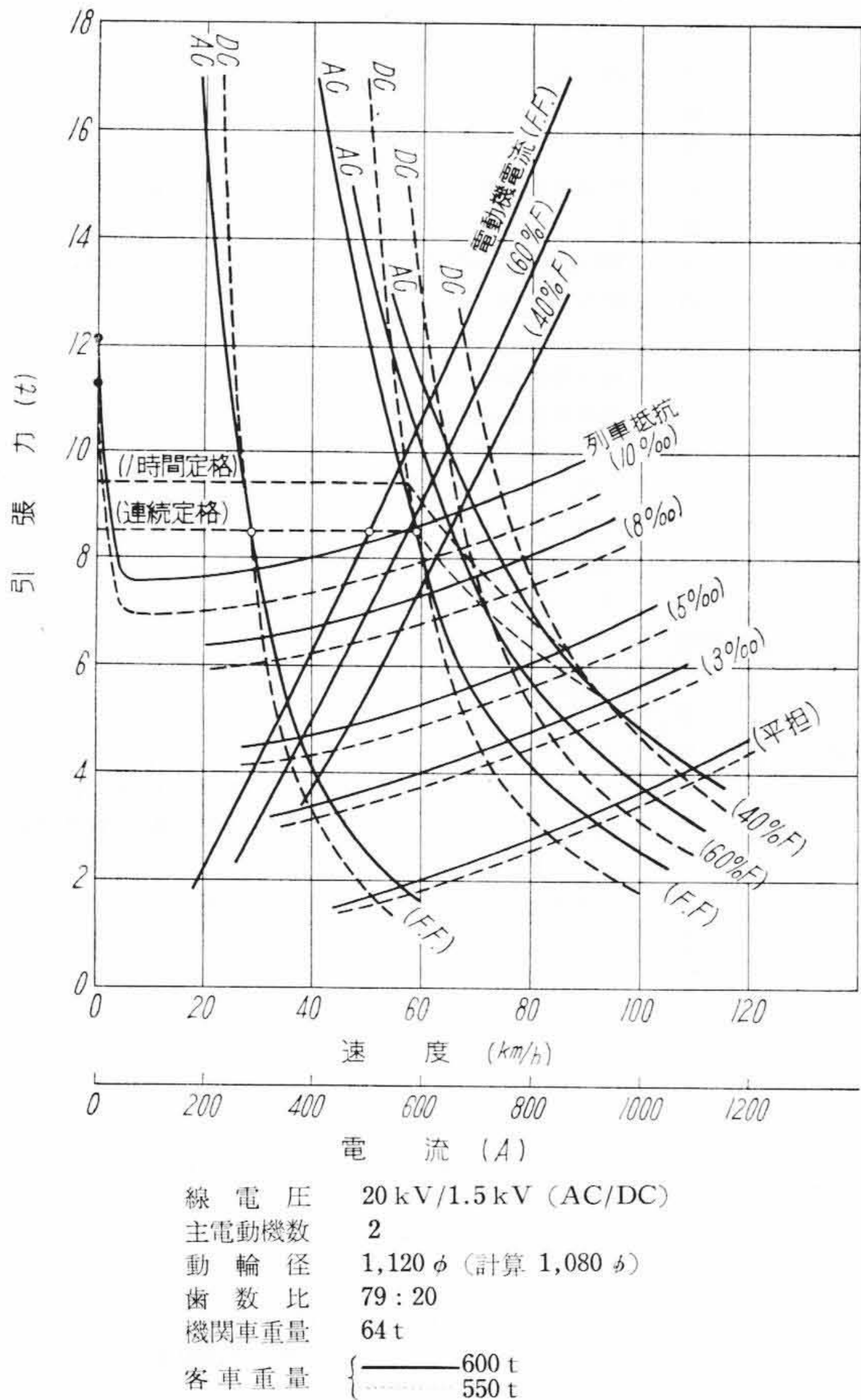
|                   |                                                                                                                                        |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 用 途               | 急行および普通旅客用                                                                                                                             |
| 機 車 重 量           | 64 t                                                                                                                                   |
| 軸 配 置             | B-B 形                                                                                                                                  |
| 機 車 形 状           | 箱形両運転台                                                                                                                                 |
| 軌 間               | 1,067 mm                                                                                                                               |
| 電 気 方 式           | 単相交流 50~20 kV (電圧変動範囲 22~16 kV) および直流 1,500 V (電圧変動範囲 1,650~1,000 V)                                                                   |
| 機 関 車 性 能         |                                                                                                                                        |
| 連 続 定 格 出 力       | 1,400 kW                                                                                                                               |
| 連 続 定 格 速 度       | (100/60/40%F) 58.8/72.1/92.8 km/h                                                                                                      |
| 連 続 引 張 力         | (100/60/40%F) 8,500/7,000/5,450 kg                                                                                                     |
| 最 高 運 転 速 度       | 110 km/h                                                                                                                               |
| 最 大 け ん 引 力       | 17,000 kg                                                                                                                              |
| 機 関 車 寸 法 (長×幅×高) | 14,500×2,900×3,550                                                                                                                     |
| 動 輪 径             | 1,120 mm (計算 1,080 mm)                                                                                                                 |
| 駆 動 方 式           | 1 台車 1 電動機歯車連結ゴムクイル式<br>平歯車 1 段減速                                                                                                      |
| 主 歯 車 比           | 79:20                                                                                                                                  |
| 個 電 動 機 数         | 2                                                                                                                                      |
| 形 式 数             | 閉鎖他力通風形, 直流, 直巻, 補極, 補償巻線付                                                                                                             |
| 連 続 定 格 磁 器 式     | 4                                                                                                                                      |
| タ ッ プ 界 磁 器 式     | 700 kW, 1,500 V, 500 A, 1,140/1,400/1,800 rpm                                                                                          |
| 主 変 圧 器 式         | 60% および 40%                                                                                                                            |
| 整 流 方 式           | 屋内用送油風冷式密封形ラジアルコアタイプ                                                                                                                   |
| 連 続 定 格           | 単相全波整流方式<br>一次 (2,000)/1,540 kVA 20 kV<br>二次 2,170 kVA 2,080 V×2<br>三次 20 kVA 465 V<br>四次 (460) kVA 1,590—1,130 V<br>注: ( ) 内は暖房器使用の場合 |
| エキサイترون水銀整流器     |                                                                                                                                        |
| 形 式 数             | 単極風冷封じ切りエキサイترون形                                                                                                                      |
| タ ン ク             | 4                                                                                                                                      |
| 連 続 定 格           | (a) 交流区間 1,560 kW, 1,500 V, 1,040 A<br>(b) 直流区間 (インバータ運転) 200 kW, AC1,040 V 192 A                                                      |
| 制 御 方 式           | 非重連非自動直並列抵抗制御および界磁制御                                                                                                                   |
| 制 御 装 置 数         | 電磁空気単位スイッチ<br>全 25                                                                                                                     |
| ノ ッ チ             | 弱め起動 1<br>直 列 11<br>並 列 7<br>弱 め 6                                                                                                     |
| 補 機 回 路 電 圧       | 単相交流 50~440 V 三相交流 60~440 および直流 1,500 V                                                                                                |
| 制 御 回 路           | 直流 100 V                                                                                                                               |
| 燈 回 路             | 直流 100 V および交流 60~100 V                                                                                                                |
| 暖 房 用 電 源         | 交流区間 交流 1,500 V 420 kW<br>直流区間 インバータ使用, 直流 1,500 V にて 200 kW/1,040 V                                                                   |
| ブ レ ー キ 装 置       | EL 14 AS 空気ブレーキおよび手ブレーキ                                                                                                                |





第1図 機関車外観

- (2) 主電動機は連続定格 700 kW, 1 時間定格 755 kW, 1,500 V 電動機で、狭軌用としては世界最大の記録的容量である。また弱界磁の活用により広領域運転を行い、最高運転速度は 110 km/h でわが国最高である。
- (3) 常磐線用客車には電気暖房方式を採用するため、交直両区間いずれも電気暖房を行う電源設備を備えている。すなわち、交流区間では主変圧器に設けられている 420 kW 1,500 V の列車暖房用巻線より、直流区間ではエキサイترون整流器をインバータとして 200 kW の暖房電源を得ている。インバータ運転は暖房負荷の量に応じて自動的に転流コンデンサの容量を調整し、安全運転を確保している。



第2図 ED 461 速度-引張力特性

- (4) 高速運転中に安全確実に切替を行う交直切替方式を採用している。
- (5) 特殊な補機方式を採用して機器を小形軽量化している。
- (6) 交流区間における直流リアクトルを直流区間ではこれを接続変更によりインバータ運転時の直流フィルタとして利用するなど、交直両区間において極度に機器の活用を計っているほか、各部の徹底した小形軽量化を行い 4 軸、64 t に納めることができた。

第2図に速度-引張力曲線, 第3図にノッチ曲線を示す。平たん線および10%の上り勾配におけるつり合速度ならびにつり合電流は第2表のようになる。

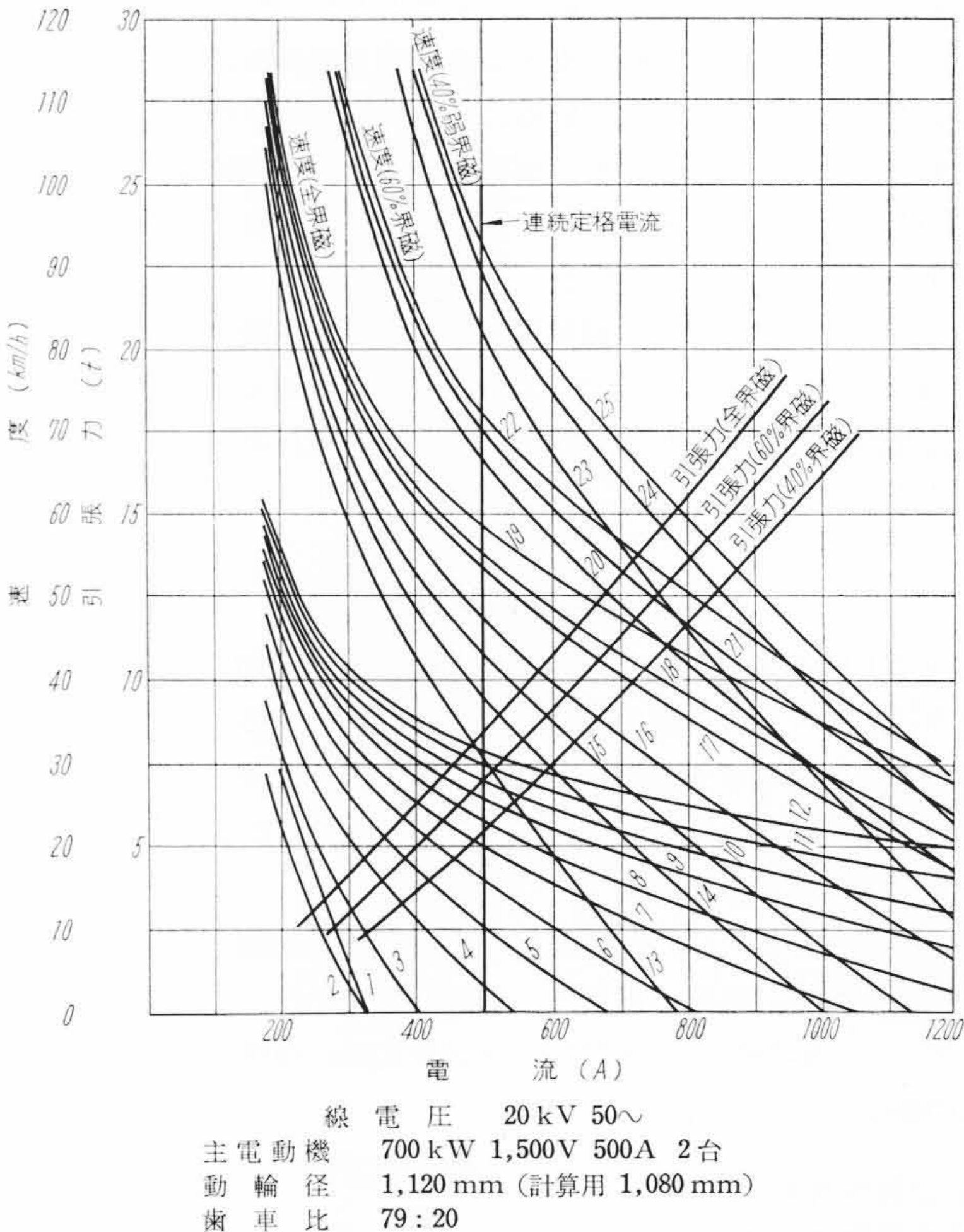
### 3. 機関車構造

#### 3.1 機器配置およびギ装

機関車機器配置を第4図に示す。室内は運転室、補機室、および機械室に大別され、両運転室は「」形通路により結ばれている。パンタグラフより主変圧器の引込部までの交流高圧機器はすべて屋上に配置している(第5図)。

第2表 つり合速度および電流(交流/直流)

| 勾配  | 550 t (通客) |         | 600 t (停客) |         | 界磁 (%F) |
|-----|------------|---------|------------|---------|---------|
|     | 速度 (km/h)  | 電流 (A)  | 速度 (km/h)  | 電流 (A)  |         |
| 平たん | 112/109    | 420/410 | 110/107    | 420/410 | 40      |
| 10% | 60         | 475     | 59         | 500     | 100     |
|     | 72/76      | 640/650 | 69/74      | 670/680 | 40      |



第3図(a) 交流時ノッチ曲線

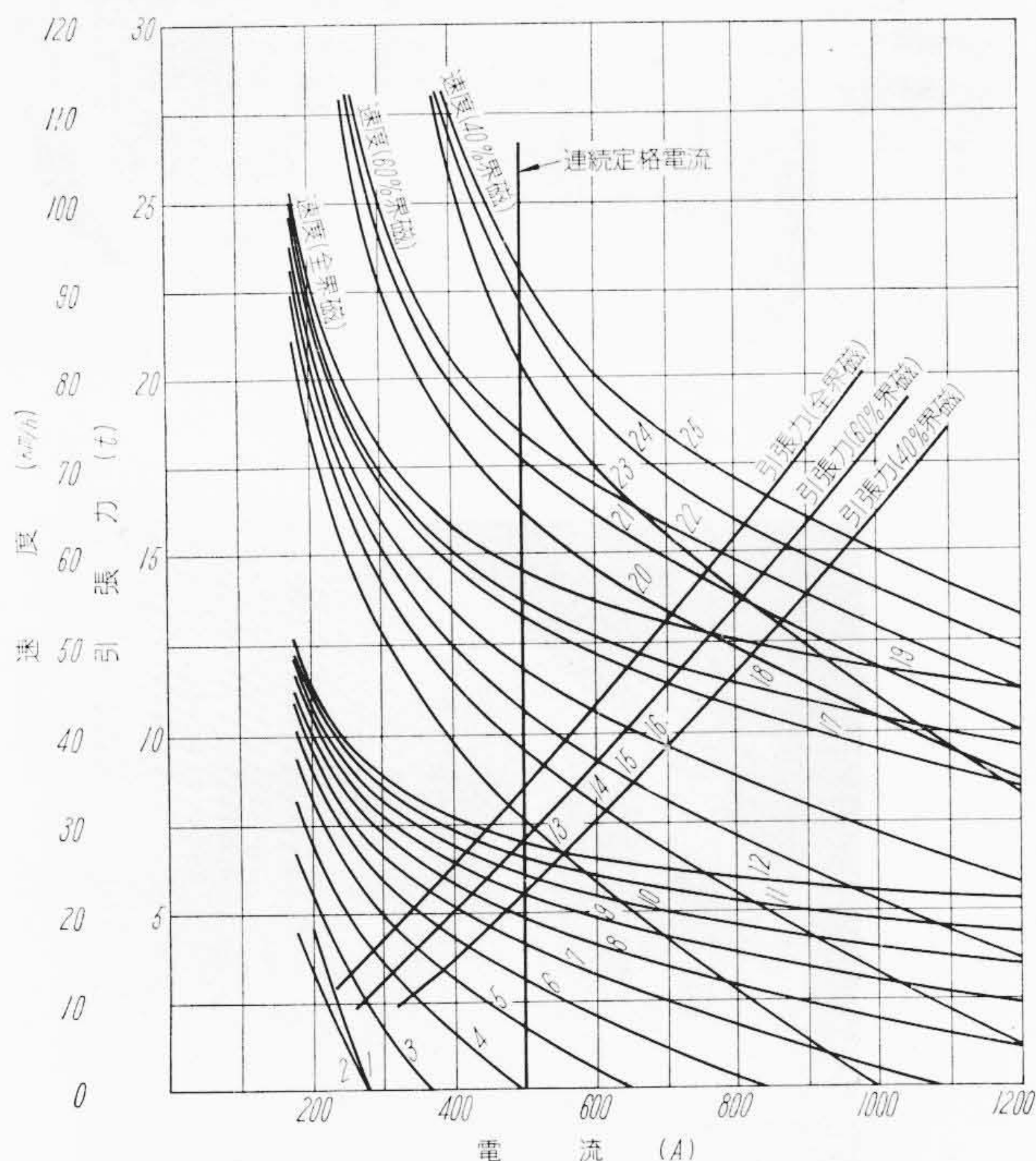


運転室を第6図に示す。正面窓は厚さ8mmのみがき合わせガラスで、平面および曲面ガラスを組合わせて、隅柱類を細くし視野を広くして運転の安全性を高め、室内を明るくした。この窓の下部に機関車全幅にわたり運転台のテーブルを設け、計器、スイッチ類などの必要器具が配置されている。正面窓の上部には事故表示灯が2

列に配置されている。

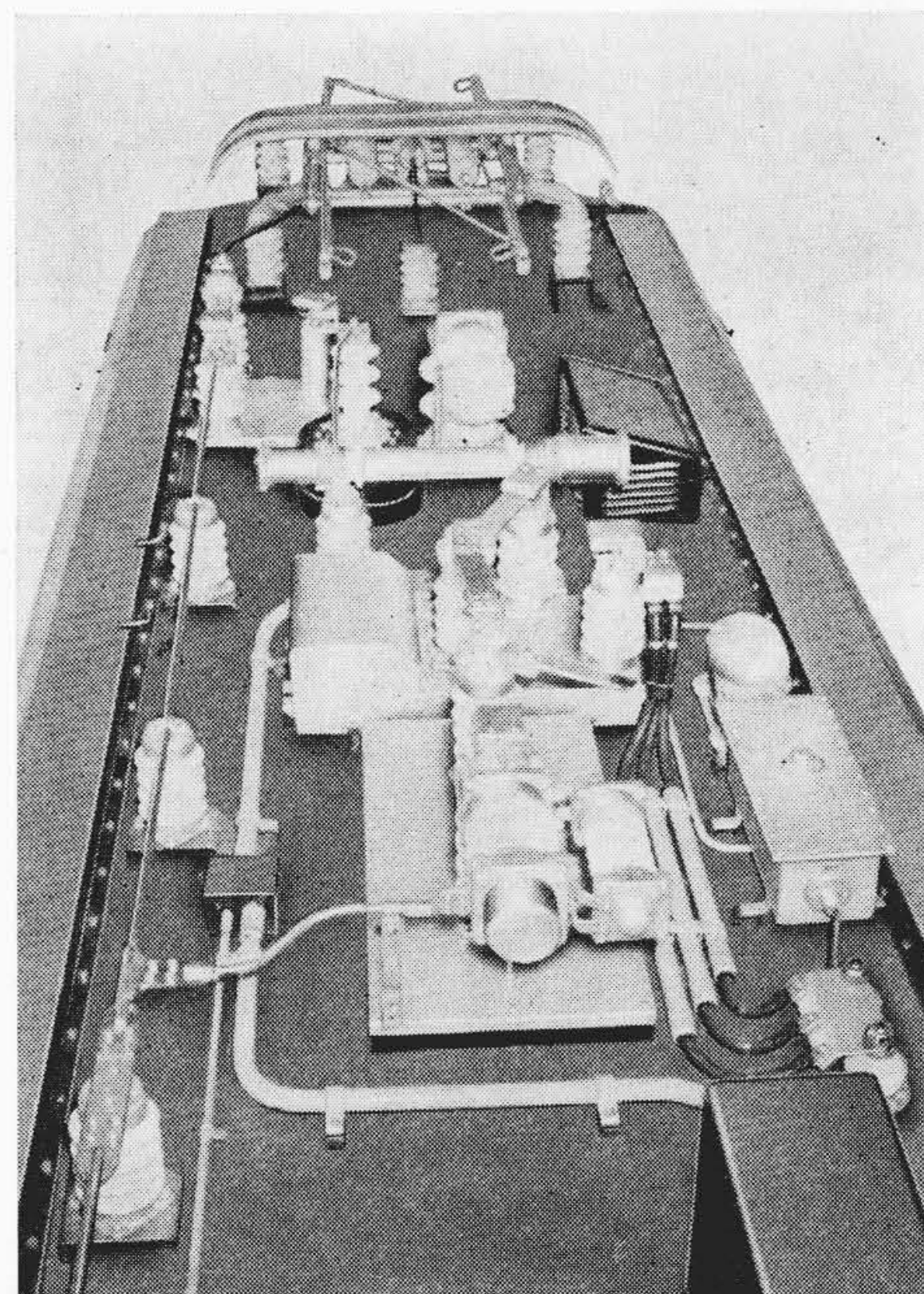
各運転室後部の仕切壁には制御箱を配し、第1端制御箱には主としてスイッチ類および計器類を取付け、第2端制御箱には継電器類が収められている。

機械室は第1運転室寄りから第1補機室、主変圧器室、機械室、整流器室および第2補機室となっている。大形機器は単独で取付台にのっており、小形器具はおのおのキュービクルに収められ、キュービクルごとに車外に取りはずせる構造になっており、修繕そのほかの便が計られている。

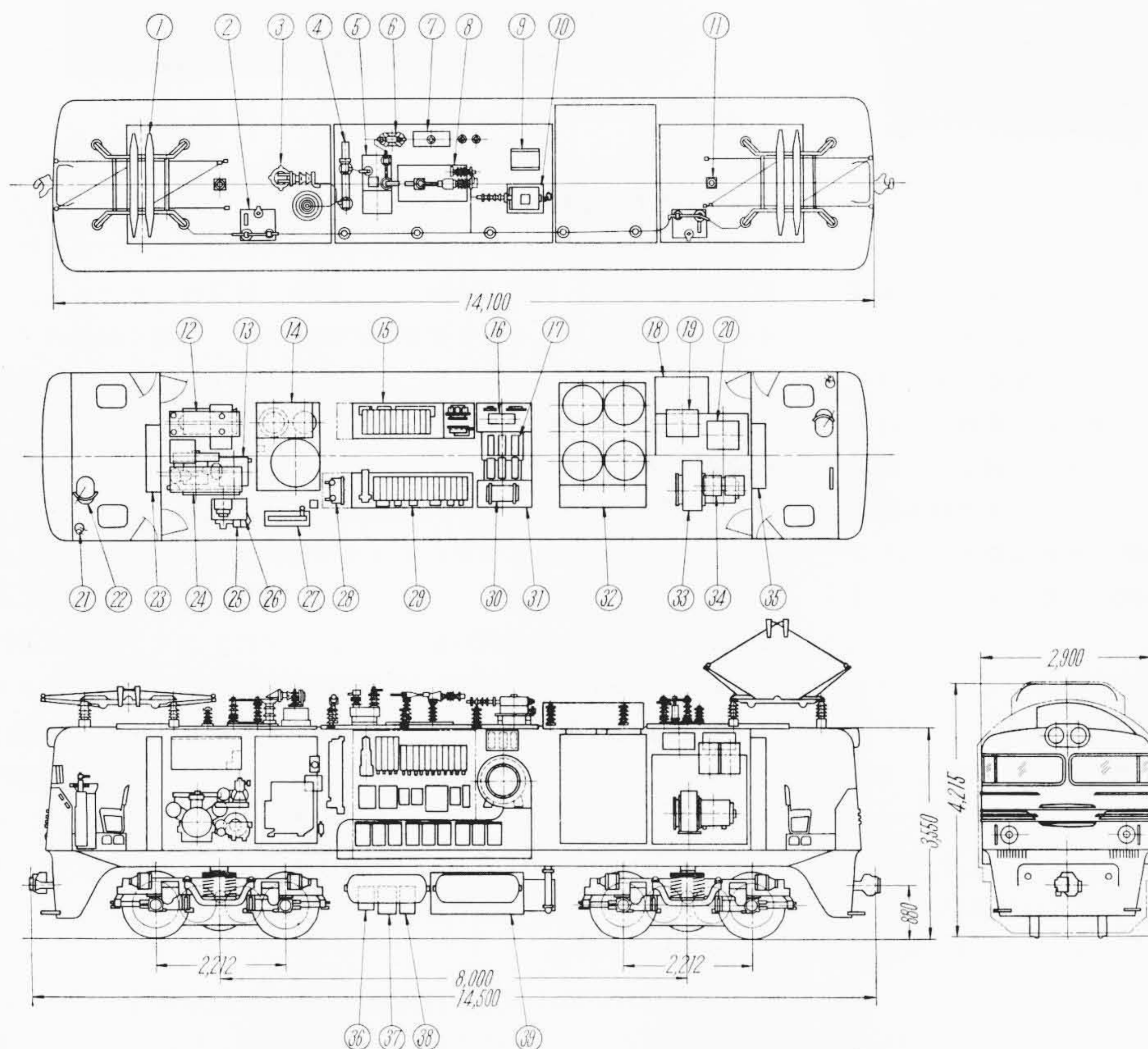


線電圧 1,500V  
主電動機 700 kW 1,500V 500A 2台  
動輪径 1,120 mm (計算用 1,080 mm)  
歯車比 79 : 20

第3図(b) 直流時ノッチ曲線



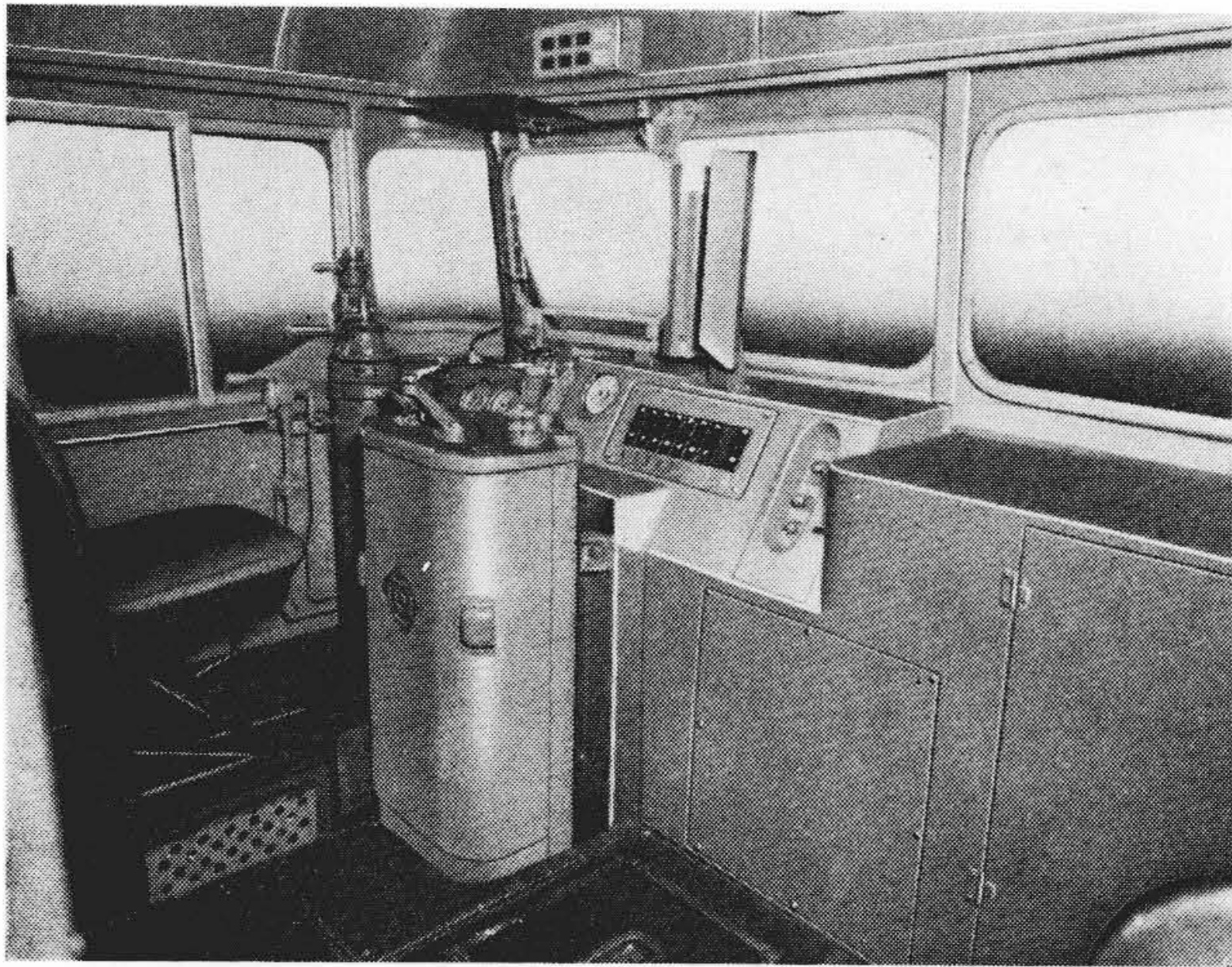
第5図 屋上機器



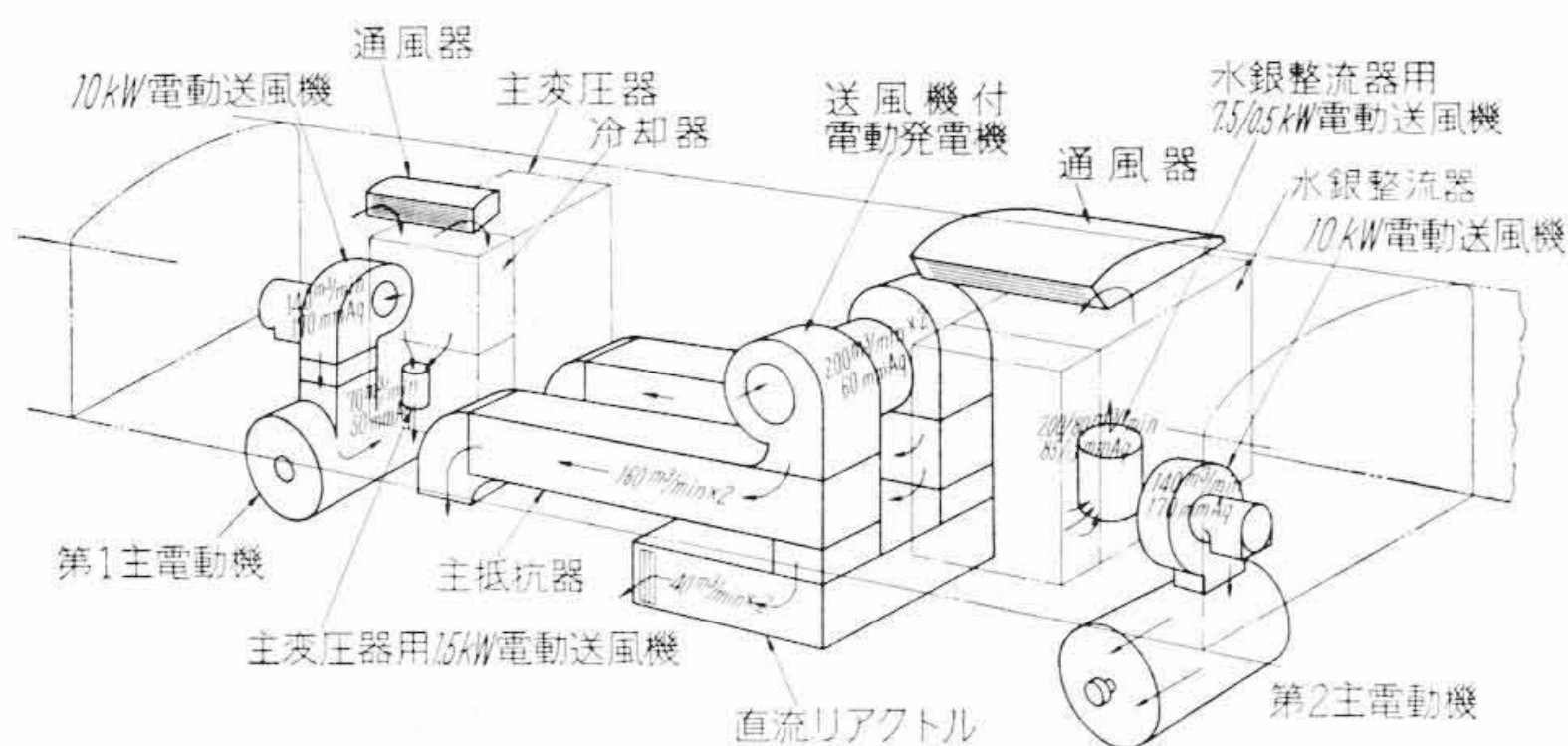
第4図 機器配置

| 照号 | 名 称                 | 照号 | 名 称          |
|----|---------------------|----|--------------|
| 1  | パンタグラフ              | 21 | ブレーキ弁        |
| 2  | パンタグラフ断路器           | 22 | 主幹制御器        |
| 3  | 交流避雷器               | 23 | 第1制御箱        |
| 4  | 主ヒューズ               | 24 | インバータ制御装置    |
| 5  | 交直切換器               | 25 | 制 御 弁        |
| 6  | 直流避雷器               | 26 | 小形電動空気圧縮機    |
| 7  | 交流冒進保護用変流器          | 27 | 高速度遮断器       |
| 8  | 空気遮断器               | 28 | 交直転換器        |
| 9  | 直流電圧継電器箱            | 29 | 高圧機器わく(左側)   |
| 10 | 計器用変圧器              | 30 | 電動発電機用変流器    |
| 11 | 空気管がい子              | 31 | 送風機付電動発電機    |
| 12 | 転流コンデンサ用カム接触器       | 32 | エキサイタロン水銀整流器 |
| 13 | 電動空気圧縮機             | 33 | 主電動機用電動送風機   |
| 14 | 主変圧器                | 34 | 陽極バランサ       |
| 15 | 高圧機器枠(右側)           | 35 | 第2制御箱        |
| 16 | 電動発電機用非直線抵抗器        | 36 | 転流用抵抗器       |
| 17 | 整流器用送風電動機起動コンデンサ    | 37 | 直流側フィルタ抵抗器   |
| 18 | フィルタコンデンサおよび転流コンデンサ | 38 | 交流側フィルタ抵抗器   |
| 19 | 空気圧縮機用電動機界磁抵抗器      | 39 | 直流リアクトル      |
| 20 | 電動発電機用起動抵抗器         |    |              |

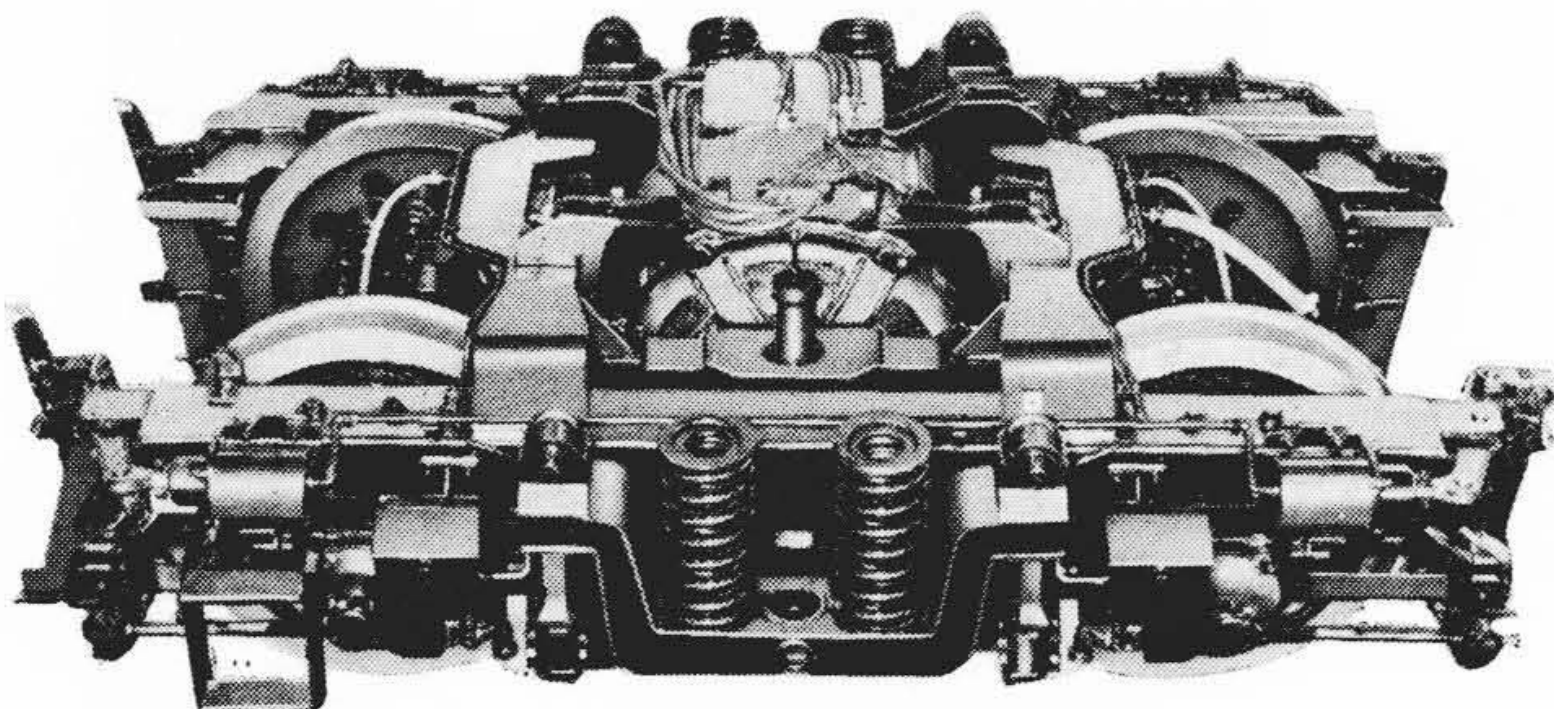




第 6 図 運 転 室 配 置



第 7 図 通 風 方 式 説 明 図



第 8 図 台 車 外 観

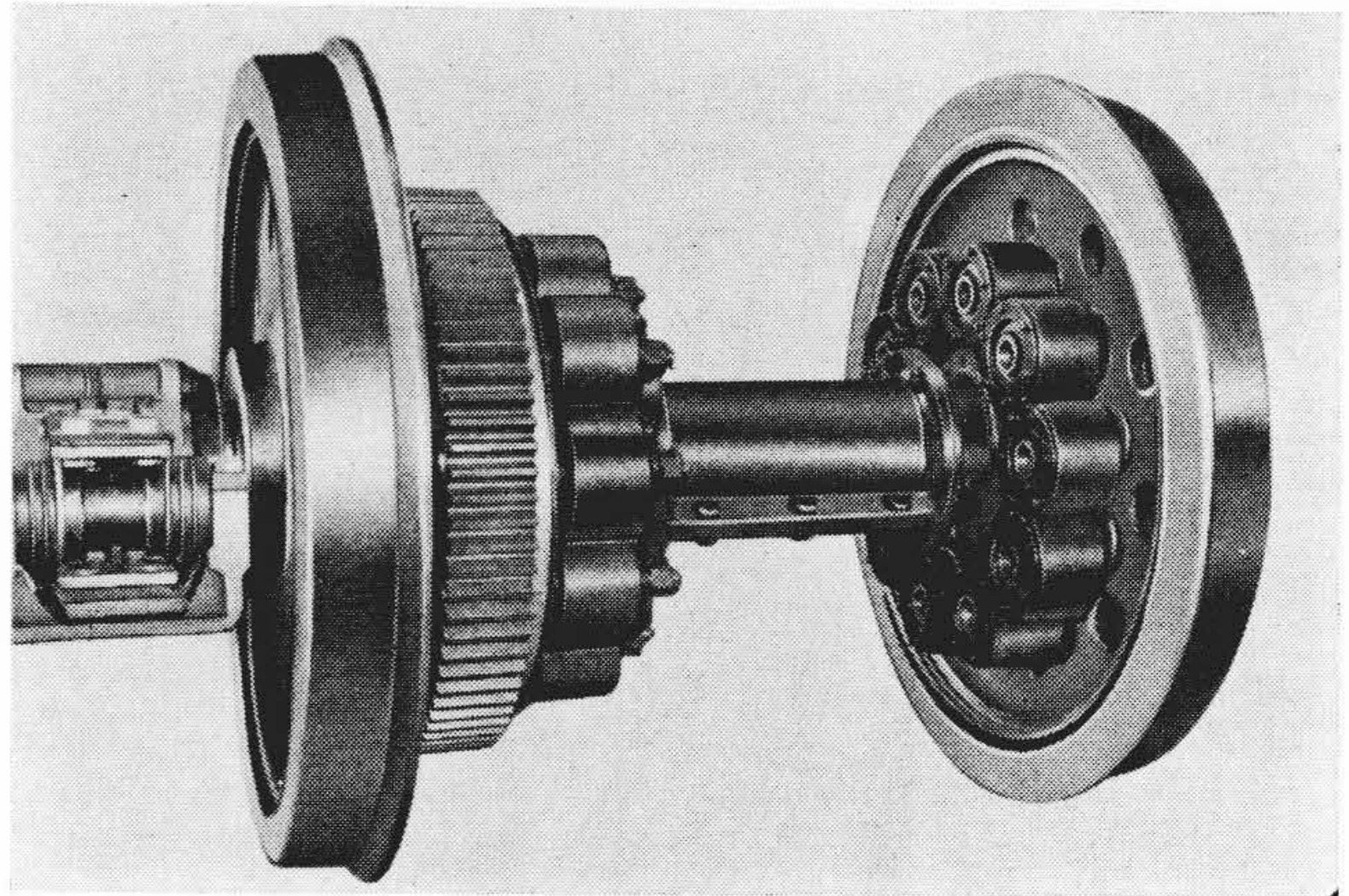
通風回路の設計には特に考慮を払い、第 7 図に示すように交直両区間を通じてむだのない通風回路とすることができた。また室内空気の温度上昇は整流器などの容量を左右することになるため大きな熱源となる機器は極力車外取付とし、また冷却空気の車外排気などに考慮を払い、設計上この空気の温度上昇を約  $5^{\circ}\text{C}$  に抑えた。機械室の単位スイッチおよび接触器などのキュービクルの下部は主抵抗器風道となっている。この風道外壁には内部に熱絶縁物を入れた 2 重のアルミ板を使用することにより囲板外側の温度上昇を  $10^{\circ}\text{C}$  以下に抑えることができた。

床下両台車間には直流リアクトル、各種抵抗器群およびブレーキ部品の一部をつり下げている。

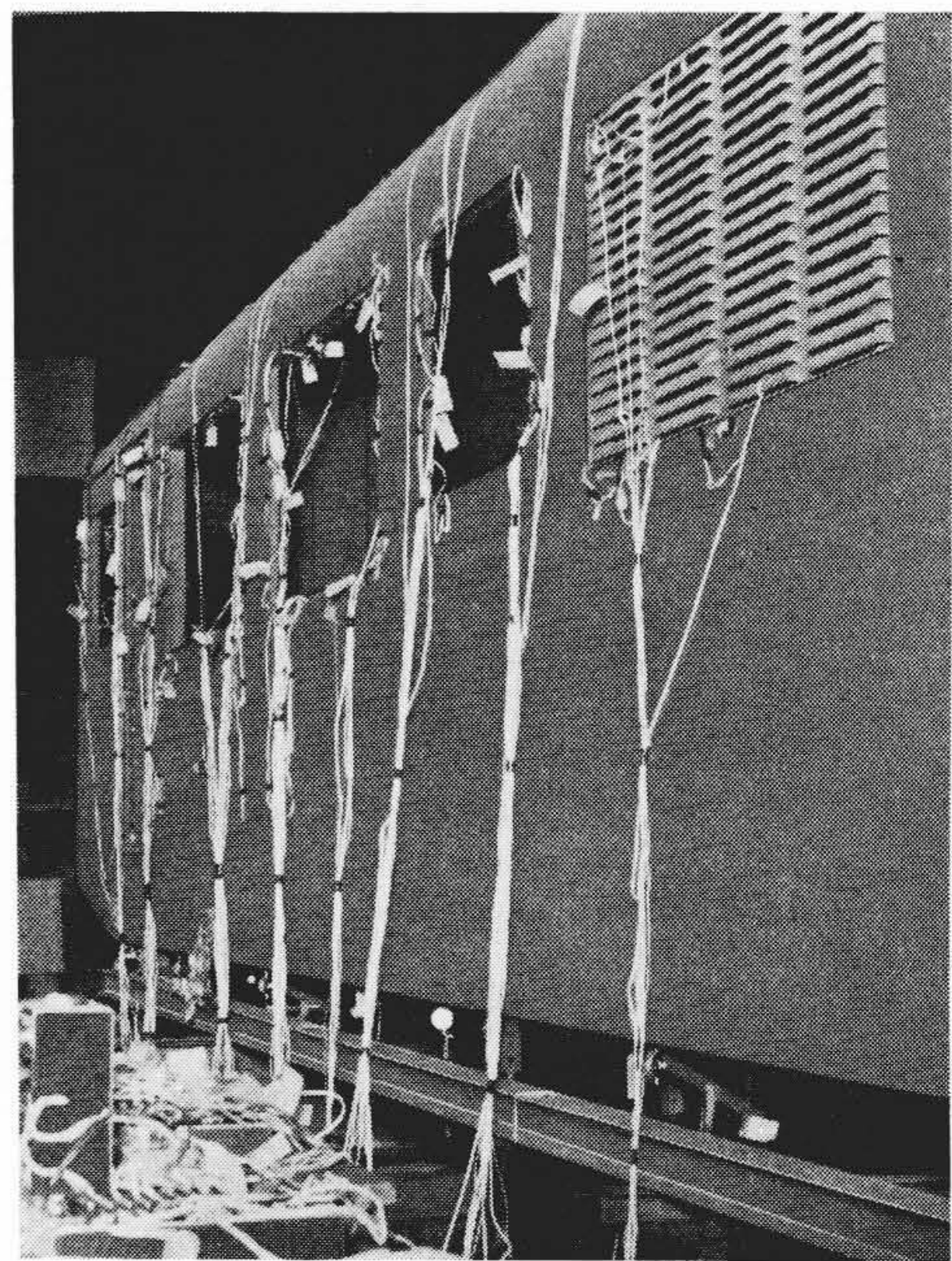
前照灯は 50 V 150 W シールドビーム 2 個を並べて使用し、車内照明には蛍光灯を採用している。使用電線は低圧には車両用ビニール電線、ほかは車両用合成ゴムシース電線を用い、A. M. P. 製ソルダーレスターミナルを使用している。機器わくなどの配線用として、低圧用にはキャノン式電気連結器、そのほかは端子台を用いて取付け取外し作業を便利にしている。

### 3.2 台車および駆動装置

第 8 図に台車外観を示す。日立製作所ではさきに東武鉄道納 ED



第 9 図 駆 動 装 置 外 観



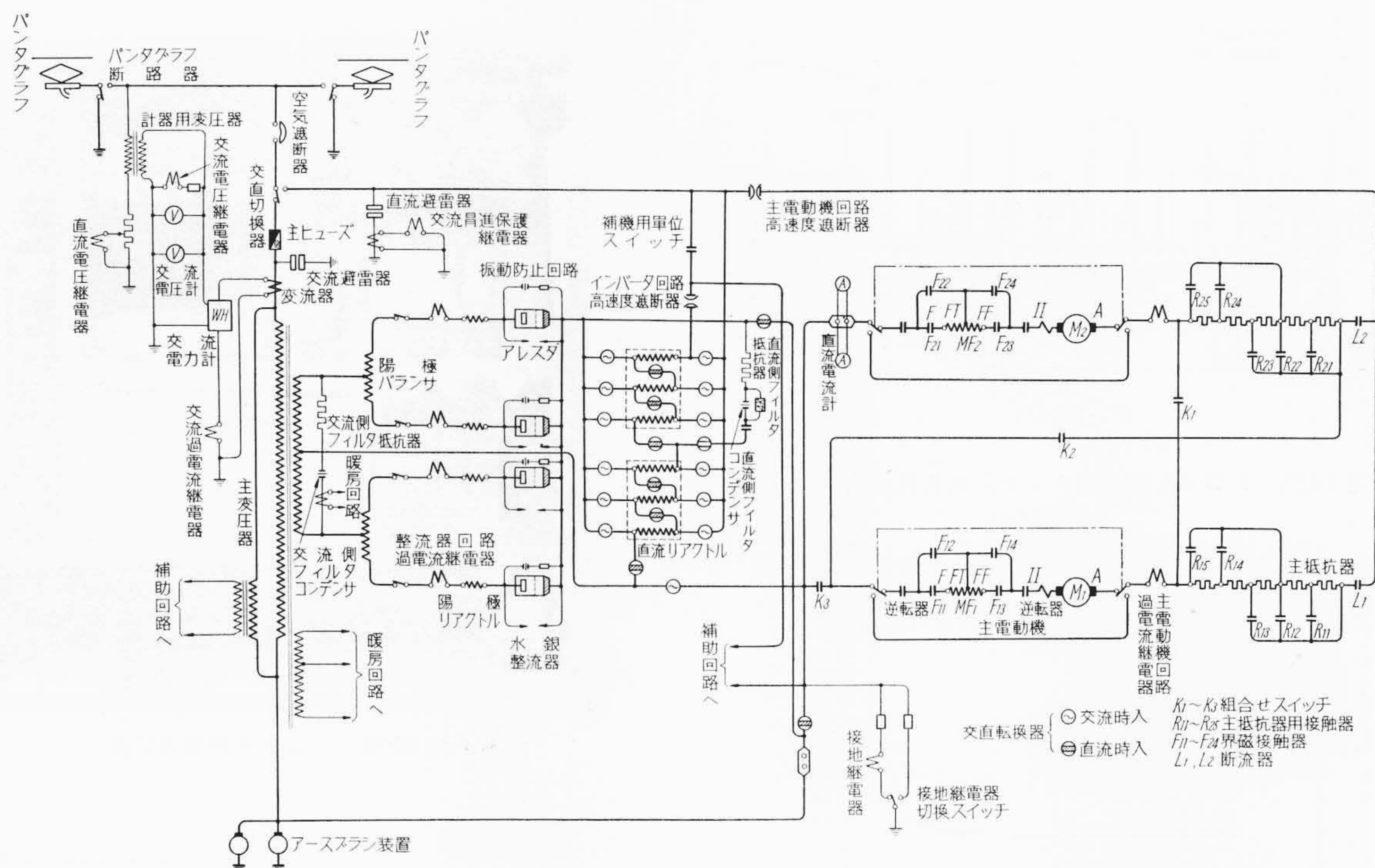
第 10 図 車 体 荷 重 試 験 状 況

5050 形 42 t 電気機関車に 1 台車 1 電動機方式の台車を採用したが、幹線用機関車としてはわが国最初のものである。この方式の特長は粘着特性がよく、機関車全体として簡単、軽量なことである。台車中央で装荷された 1 台の主電動機の回転力は、電機子軸端のピニオンから、アイドルギヤを経て、前後軸のギヤへ伝達される。駆動装置としては、第 9 図に示すゴム接手式中空軸方式を使用しており、従来のバネ筒式中空軸方式のようなしゅう動部分がまったくなく、摩耗の問題が解決され、また構造がきわめて簡単なことなどすぐれた特長を有している。台車の車体支持方式は側受支持式であるが、つりリンクに独特のさかだちリンクを使用したため、曲線路における車体、台車間の相対的回転に対し、従来の正立リンクとは逆に車体重心が下降する。したがって、曲線通過のとき、従来の正立リンクつき台車では車体持上げのエネルギーがレールと車輪間の横圧となっていたが、このさかだちリンクつき台車では逆となり、横圧を減少できる。なお、復元力を与えるためさかだちリンクはねじり板バネによって支持されている。軸箱はミンデン形のような板バネによって支持されているのでしゅう動面がない。

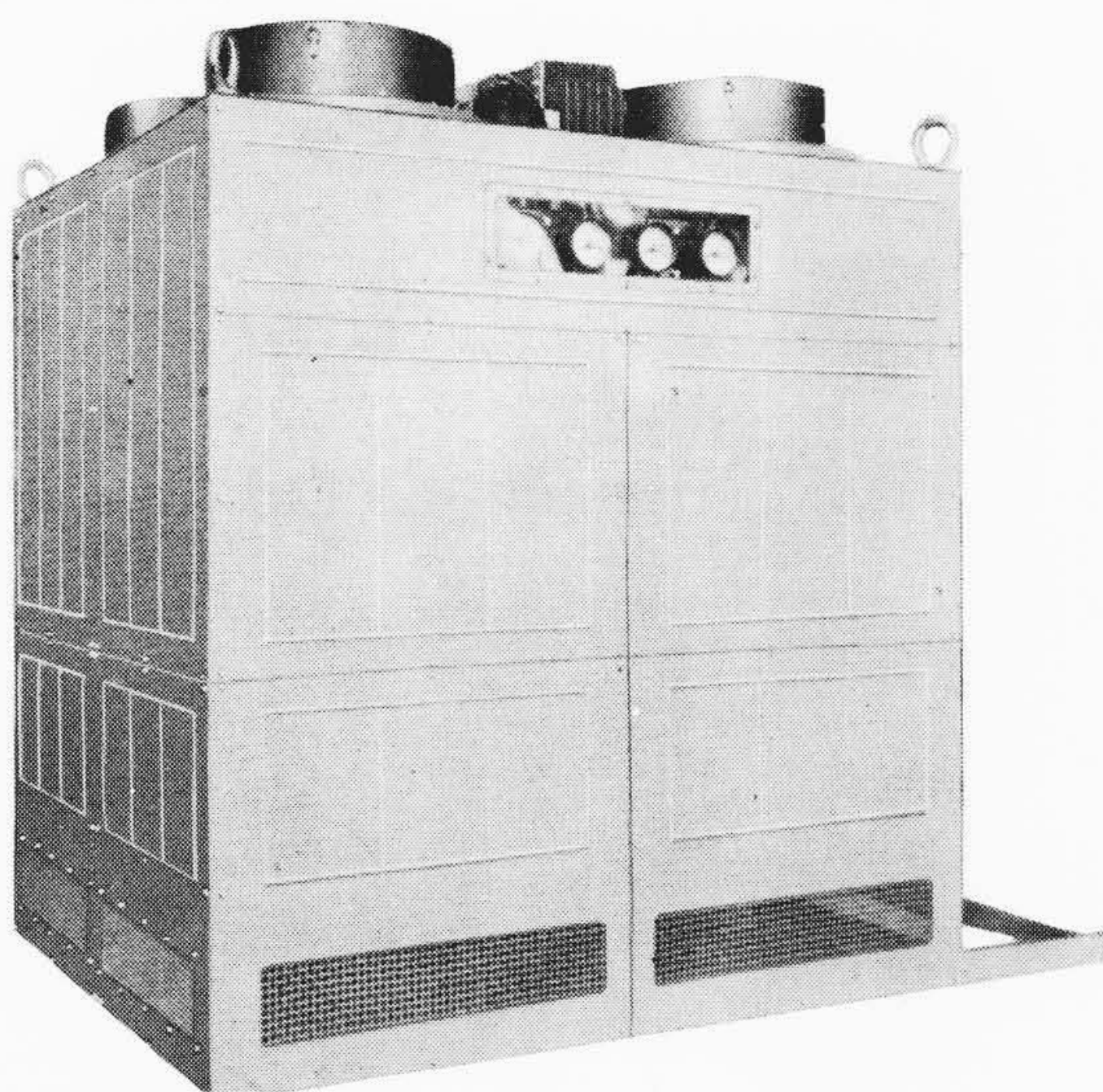
### 3.3 車 体

本機関車の車体は両運転台式箱形である。完全側受支持方式にして、台車構造上 1 台車に 2 個の中心ピンが用いられているため車体枕梁も計 4 本とし 4 個の中心ピンが床下に取付けられている。車体

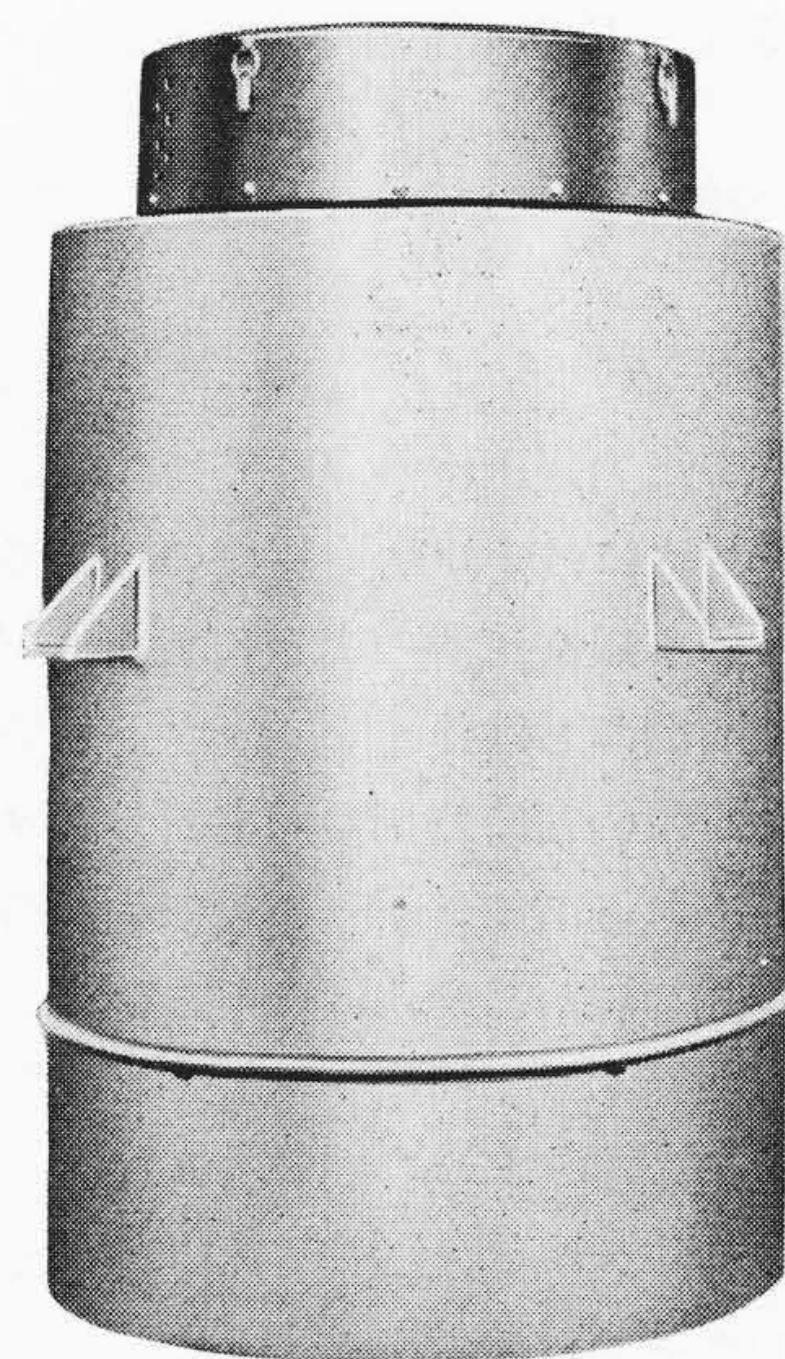




第 11 図 主回路つなぎ



第 12 図 水銀整流機キュービクル外観



第 13 図 ED 461 用整流タンク

は特に軽量化のため台わくの中梁をやめて鋼板プレスの側梁よりなる構造とし、枕梁より車端部のみ強固なものとして車端衝撃に対して十分な強度をもたせている。すなわち、本車体は垂直荷重を車体全体で受け持つ構造とし、側構をいわゆる Vierendeel Rahmen とみなして強度計算を行った。したがって車体台わくは従来の機関車に比して非常に簡単な剛性の低い、軽量化されたものとなっているが、柱部材は「 $\Gamma$ 」形として剛性の高いものとし、外板は従来どおり厚さ 2.3 mm の薄板を使用した。実車における荷重試験の結果所期どおりの十分な強度を持っていることが確認された。荷重試験の状況を第 10 図に示す。

各運転室両側にはタブレット受用小窓を有する開戸があり、機械室とも開戸によって通路が構成されている。機械室天井は各機器の出し入れに十分な開口部を有し、この屋根の取付けに際しては特殊中空ゴムパッキングを使用して雨もりの防止に特に留意している。車体側面に設けられたエアフィルタは特殊アルミ金網をプレスし

たものを組合わせたもので、ほこりなどの侵入を防ぐためガラス窓と同様車側上部に設けている。

車端連結装置としては、連結器には柴田式上作用自動連結器を用い、緩衝装置には日立 L 1-7 A 形車両用ゴム緩衝器を用いその能力は 50 t 輪バネ式のものと同等である。

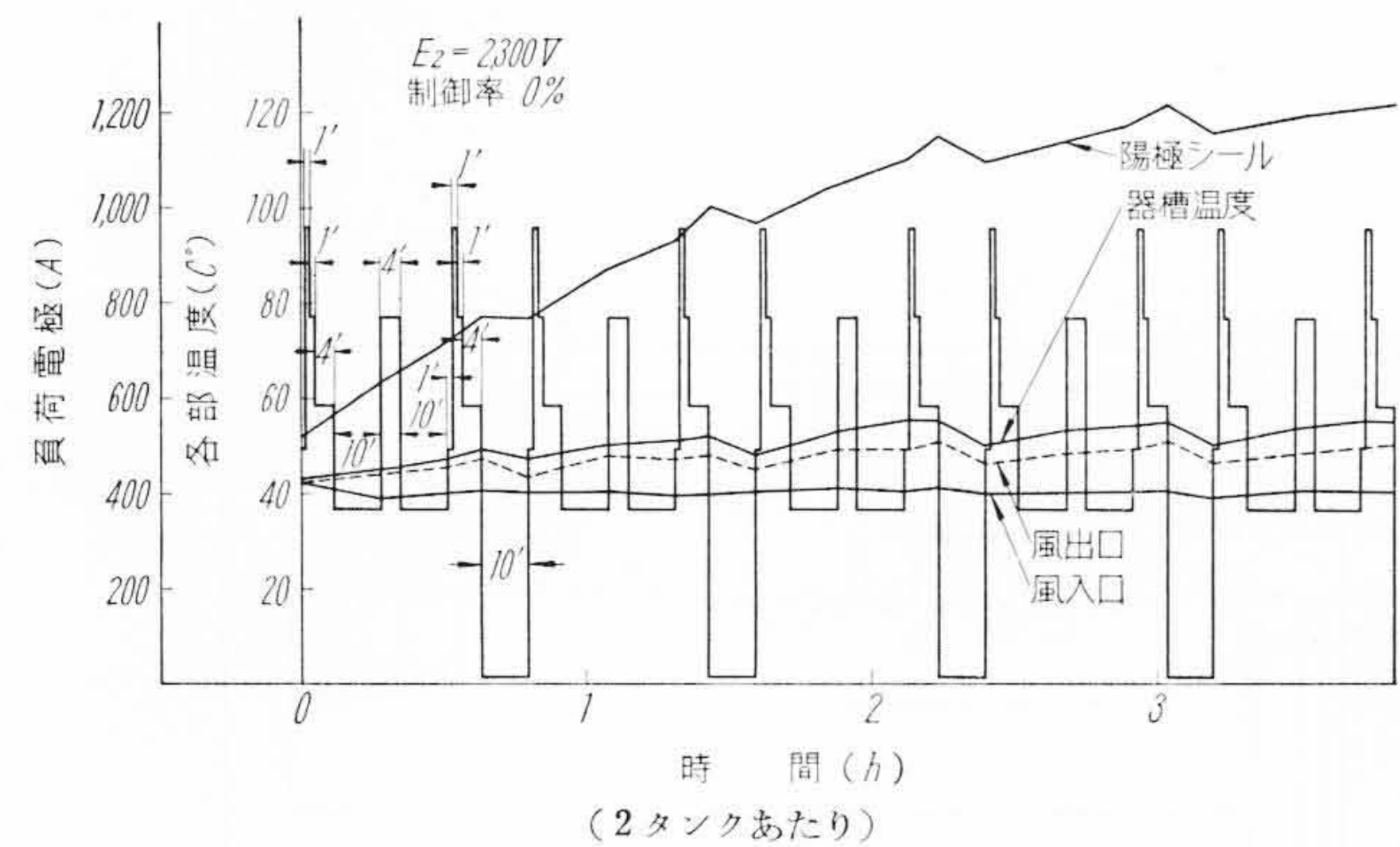
#### 4. 電気機器

第 11 図に主回路つなぎを示す。

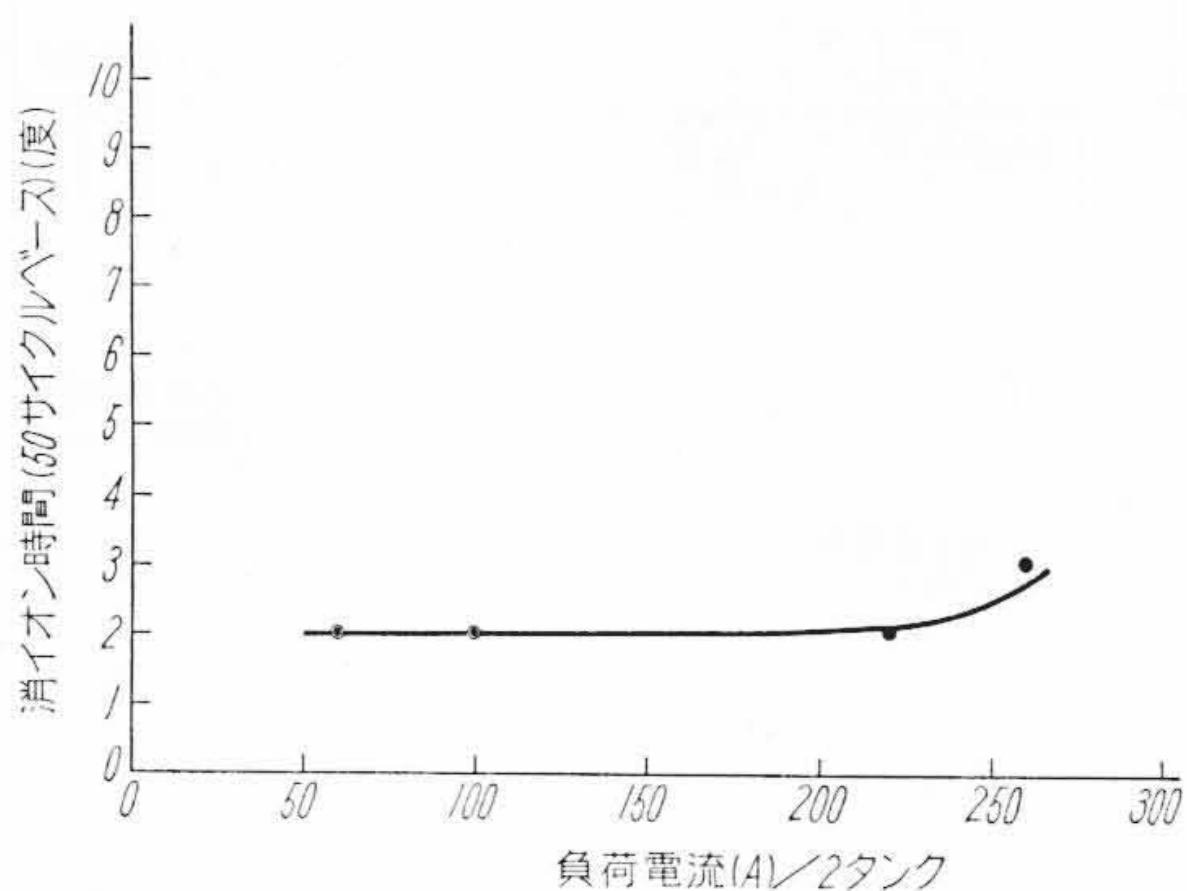
##### 4.1 エクサイترون水銀整流器

交流専用機関車用としてすぐれた成績を示した ED 4521 用、ED 71 用水銀整流器に引続き、製作された本機関車用水銀整流器は交流区間においては交流を直流 1,500 V に変換し、主電動機および補機電動機を駆動するが、本器の特長は直流区間におけるインバータ運転にある。本整流器は風冷封じ切りエクサイترون 4 タンクからなり仕様は第 1 表に示すとおりである。





第 14 図 ED 461 用整流タンク尖頭負荷試験



第 15 図 ED 461 用整流タンク消イオン時間

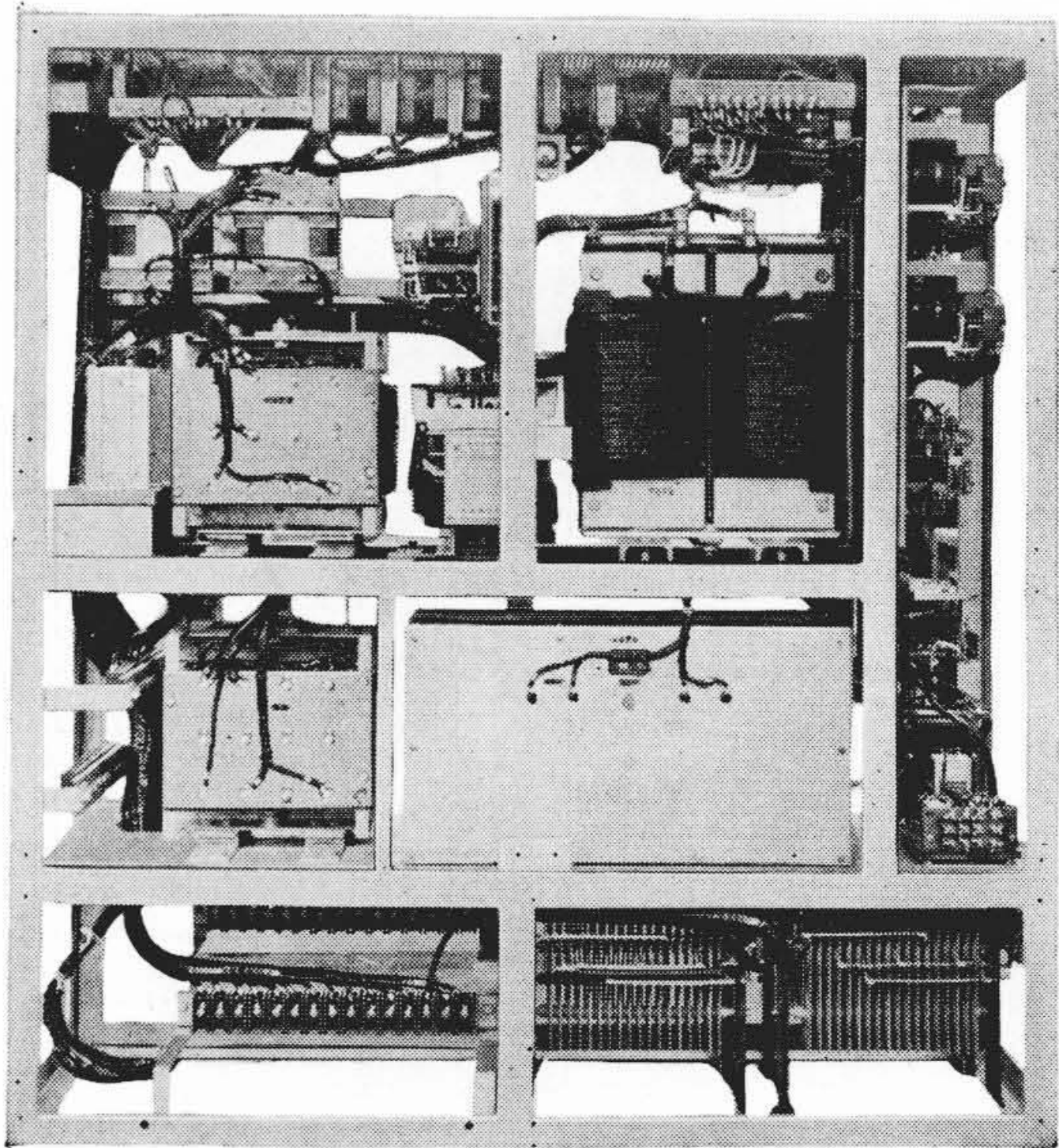
第 12 図に整流器キュービクルの外観を、第 13 図には整流タンクを示す。

#### 4.1.2 整流タンク

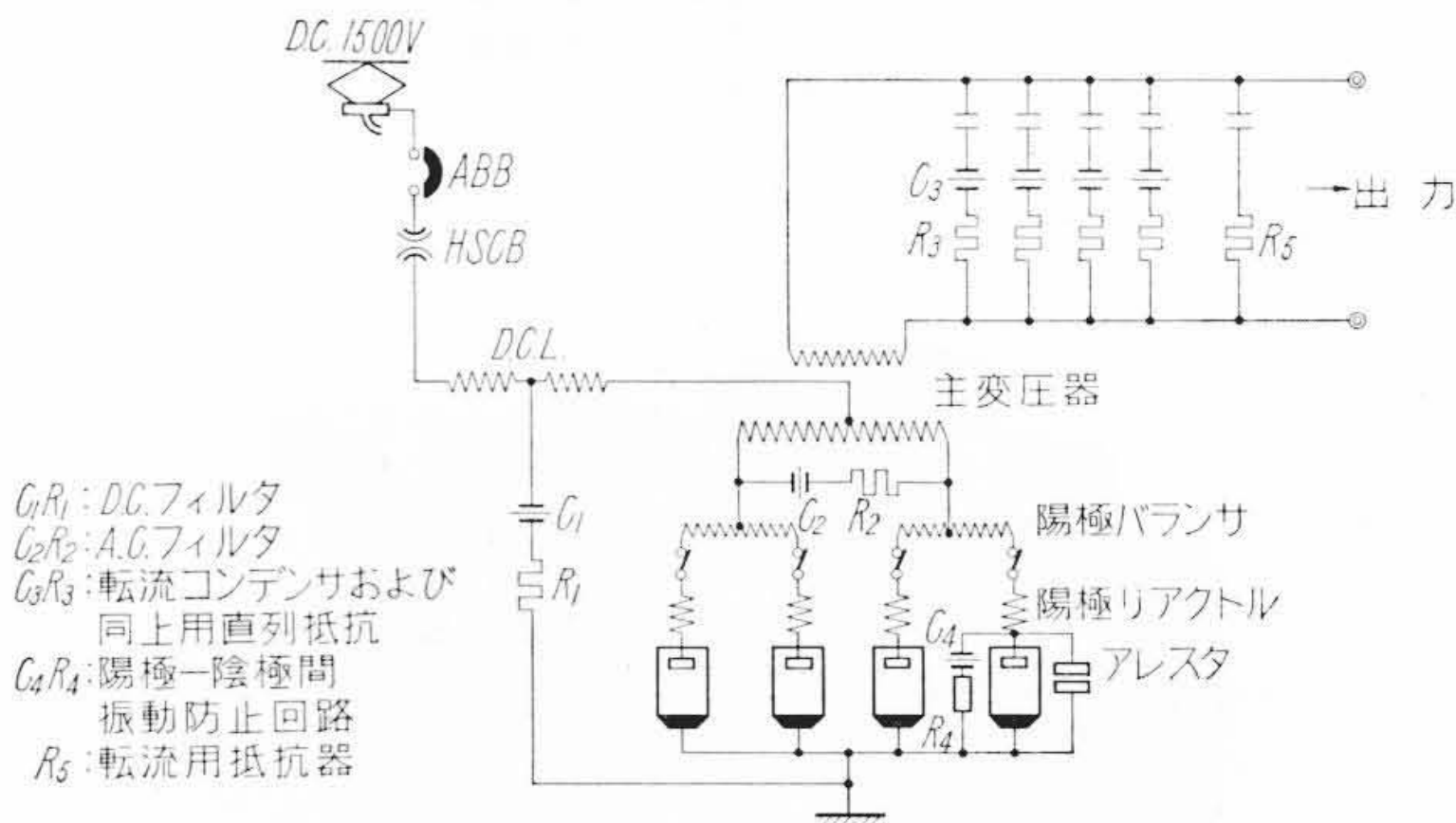
水銀整流器の出力電圧は 1,500 V であるが、単相全波結線方式のため整流タンクには 6,000 V 程度の高い逆電圧がかかる。これは地上変電所用水銀整流器の場合に比較し約 1.8 倍の電圧である。また直流区間におけるインバータ運転では、常時大幅な格子制御が行われるため転流終期の回路責務にタンクが耐えることが必要であるが、さらにインバータ運転範囲の確保のため、タンクの消イオン時間を短くせねばならない。このため整流タンクは二重格子構造とし、格子構造を検討して、消イオン時間が短く、かつ高い逆電圧ならびに過酷な回路責務に耐えるように設計した。また冷却片植付ピッチをつめてタンク冷却効果を増大し、温度上昇を低くおさえて、温度上昇に伴う逆耐電圧の低下をさけた。第 14 図はタンク尖頭負荷試験結果を、第 15 図はタンク消イオン時間特性を示す。

#### 4.1.3 水銀整流器制御装置

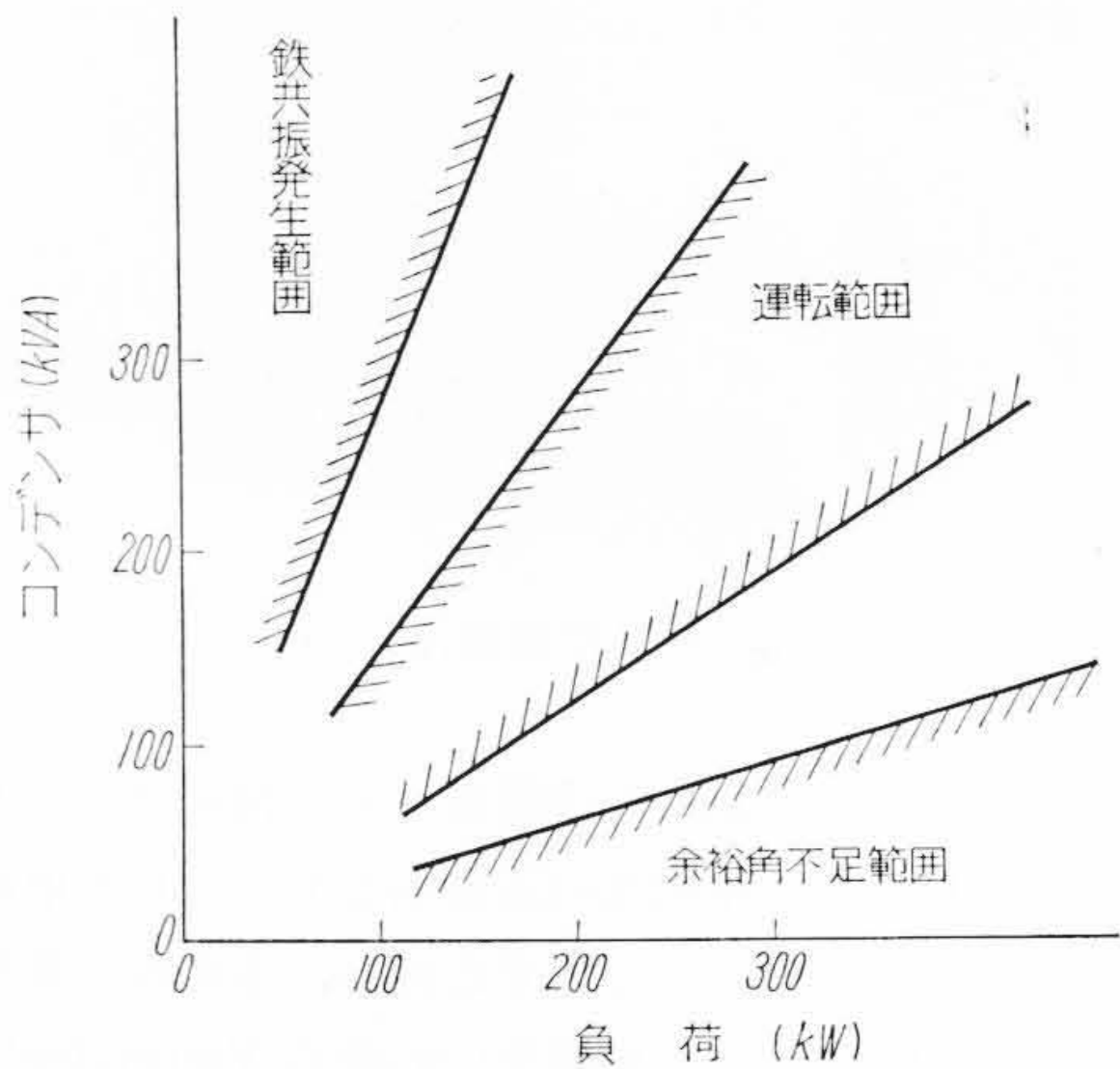
水銀整流器の点励弧および格子制御関係の器具は一括してキュービクル内に収められ、整流器キュービクルの側面に隣接して配置されている。第 16 図は水銀整流器制御装置の外観を示す。この制御装置の特長として直流区間においても水銀整流器はインバータとして運転されるため、交直両区間において温度制御回路のみならず点励弧格子電源も生かすことが必要で、その電源が問題となる。この機関車ではその電源を交流区間においては主変圧器補助巻線より、また直流区間においては直流電動機で駆動される三相交流発電機より得ているが、さらに直流区間においては点励弧、バイアス用変圧器は 2 個の単相変圧器をスコット結線により接続して、三相交流発電機の負荷平衡をはかった。格子電源位相は直流区間は任意であるが、交流区間においては陽極電圧位相に合わせる必要がある。このため格子変圧器一次側に可飽和リアクトル形固定移相器をそう入して位相調整を行っている。



第 16 図 水銀整流器制御装置



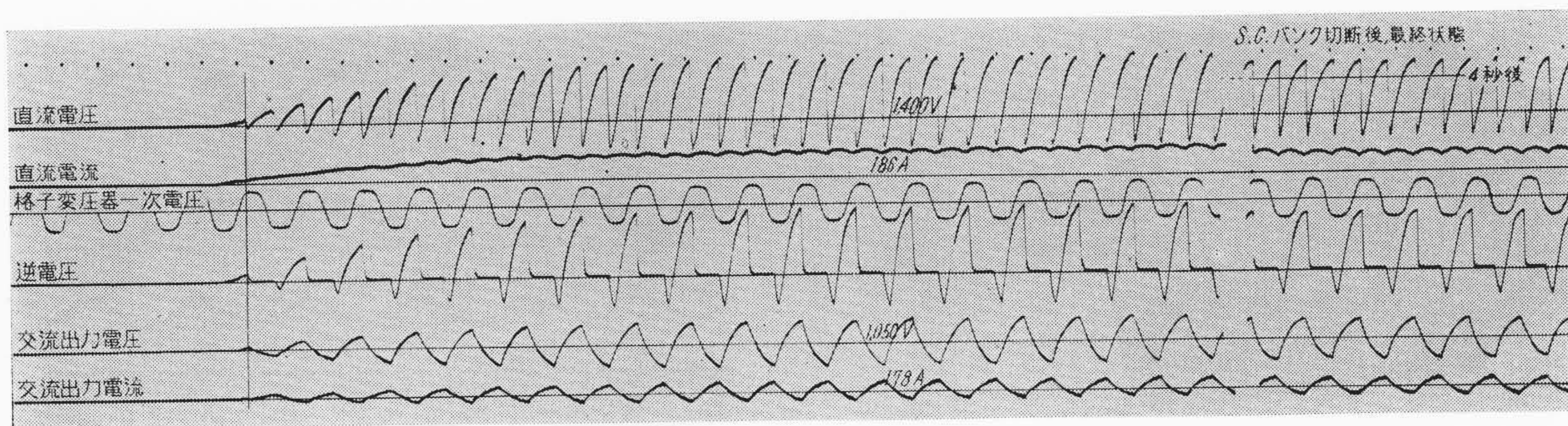
第 17 図 インバータ主回路結線図



第 18 図 インバータ運転範囲

温度制御は従来と同様、冷却扇の連続運転および器槽加熱器による器槽の局部加熱による急速加熱方式を採用して温度制御回路の簡易化および予熱時間の短縮をはかった。冷却扇は交流区間では主変圧器補機巻線より得られる単相 440 V により、また直流区間では前記三相交流発電機の出力により駆動されるため、冷却扇電動機は 2 組の巻線を有する 2 巻線電動機としたが、直流区間では負荷が軽いので、三相電源で駆動する際は回転数を下げて風量を減らしている。整流器キュービクルの風出口には車内より操作しうるダンパを設け、夏冬で風量を調節しうるようにした。





第19図 インバータ起動時のオシログラム

## 4.2 インバータ運転

### 4.2.1 概要

東北線および常磐線における旅客列車の暖房は、交流による電気暖房方式が採用され、機関車より列車に供給した交流 1,500 V 電力を各客車に設けた変圧器により降圧して列車暖房器を加熱する。したがって本機関車のように交直両用機関車においては、交流区間は従来と同じく主変圧器の暖房巻線から交流電力を列車に供給するが、直流区間においては、なんらかの方法により交流電力を車内で発生しなければならない。

この際ただちに考えられる方式は、架線より得た直流電力を利用した電動交流発電機であるが、この方式では重量、容積ともに不利で、機関車全体を所定の 64 t に納めることが困難である。そこで直流区間においては、休止している水銀整流器をインバータとして運転し、架線より得た直流電力を交流 1,040 V、200 kW の電力に変換する方式が採用された。インバータ出力を 200 kW としたのは、インバータを採用してもなお残る重量の制限によるものである。

インバータ方式を大別すれば、交流出力側に負荷と並列に交流電源を有し、転流電圧を受けて転流、消弧を行う他励式と、交流側に並列電源を有せず、その装置自体のうちに持つ進相装置、転流コンデンサによって転流、消弧を行い、ほかから無効電力の補償を受けない自励式にわけられる。

本機関車のインバータにおいては、最初から交流発電機の不利を補う目的で計画されたものであり、当然自励式が採用された。

第17図にインバータ回路主要機器の接続を示す。

水銀整流器をインバータ運転する場合には、格子制御による逆弧確率増大に対する対策のほかに、消弧、失弧、通弧の発生防止およびタンクの消イオン時間の短縮が必要となる。これら逆弧、消弧、通弧などの事故発生の大きな原因としては、タンク構造と並んで陽極回路および格子回路の振動があげられる。これに対しては振動防止回路をそれぞれの回路にそう入して振動を抑えている。

また消イオン時間の十分小さいタンクを製作したことはすでに述べた。

消弧、失弧は上記振動防止回路の追加、温度調節により通常は発生しないが、万一発生しても、第17図に示すように陽極バルンサにより2タンク並列運転を行っているので、2タンク同時に発生しない限り転流失敗にはいたらない。

### 4.2.2 インバータ制御方式

このインバータは前述のように他制自励式インバータであり、運転に際し負荷の容量に応じて転流コンデンサの容量を加減することが必要である。すなわち負荷に比し転流コンデンサ容量が小さすぎると格子制御進み角 $\gamma$ が小となり、余裕角不足による転流失敗を招き、また転流コンデンサ容量が過大であっても一種の鉄

共振現象を発生し、運転は不安定となり、これまた転流失敗にいたる。第18図はこの運転可能な限界を示すもので、鉄共振発生限界をあげて、運転可能範囲をひろげるためには交流周波数をあげて運転すればよいから、種々検討の結果三相交流発電機の周波数を60へに選定した。またその電動機電圧一周波数、電圧特性もインバータ運転に適した特性をもたせた。

起動に当たって行う操作は、交流区間とまったく同一で運転室に設けられた列車暖房用スイッチを押すことにより、まず列車暖房回路に約 80 V の交流電圧を印加し、その時投入されている列車暖房の容量を継電器により検知し、それに適当した転流コンデンサをあらかじめ投入しておく。その後インバータ主回路に直流 1,500 V を印加し運転に入るが、これら一連の動作はすべて自動で行われ、操作はきわめて簡単である。

起動後は負荷電流とコンデンサ電流を検出し、磁気増幅器を利用した回路により、常に両者の比が一定範囲にあるように、転流制御カム軸接触器を制御し、転流コンデンサの容量を加減する。

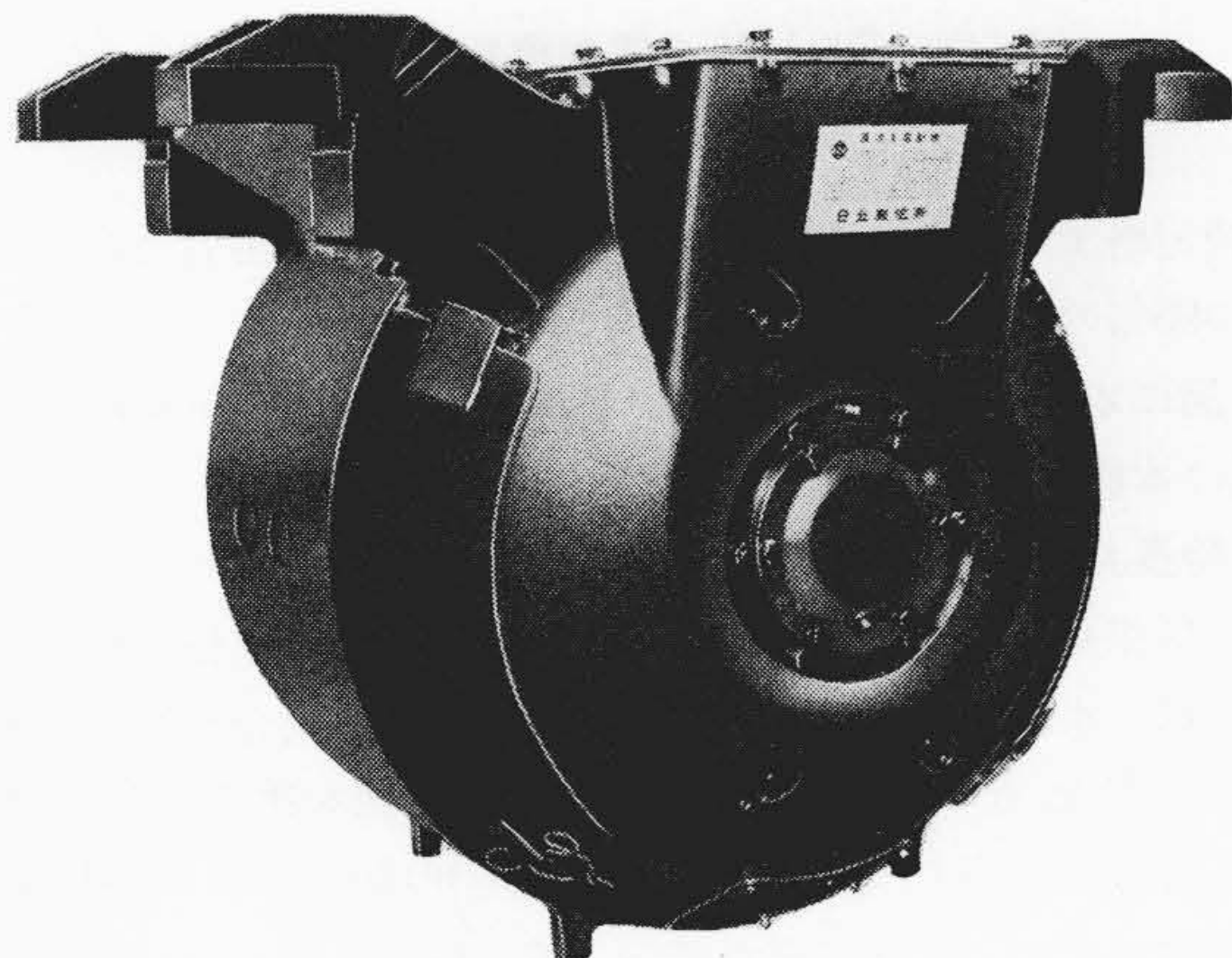
また転流失敗を生じたときはいったん回路を開放し、再閉合継電器の動作により一定時間をおいて3回だけ起動動作を繰返し、3回とも起動に失敗すれば運転室にランプを点灯して警報する。

第19図はインバータ起動時の電圧、電流波形を示すオシログラムである。

## 4.3 主電動機

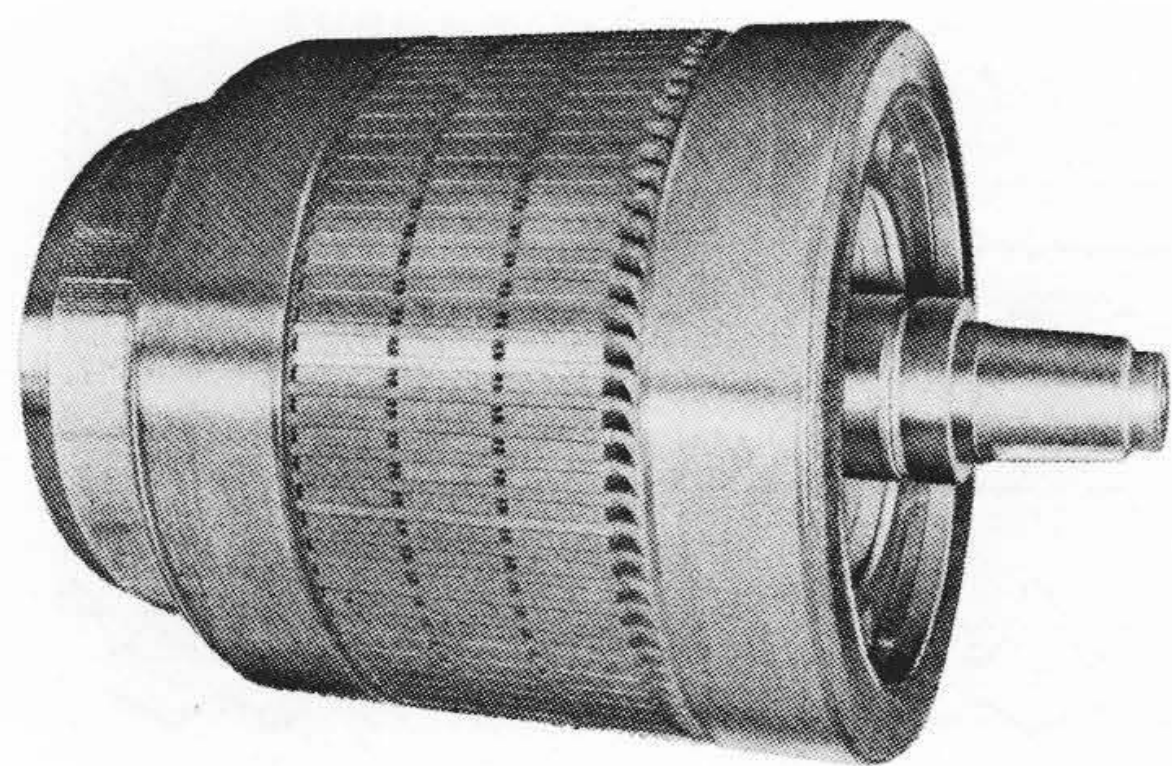
### 4.3.1 概要

本機は1台車1電動機方式を採用しているため、連続定格 700 kW という狭軌用としては世界最大の出力が要求された。また直流区間では2台の主電動機を並列運転するため 1,500 V 4 極となり、1極あたりの連続定格出力 175 kW という記録の電動機であるが、次のような設計製作技術の進歩により著しく小形軽量化され、従来の EF、EH 形機関車用 MT 42、43 形直流主電動機に比

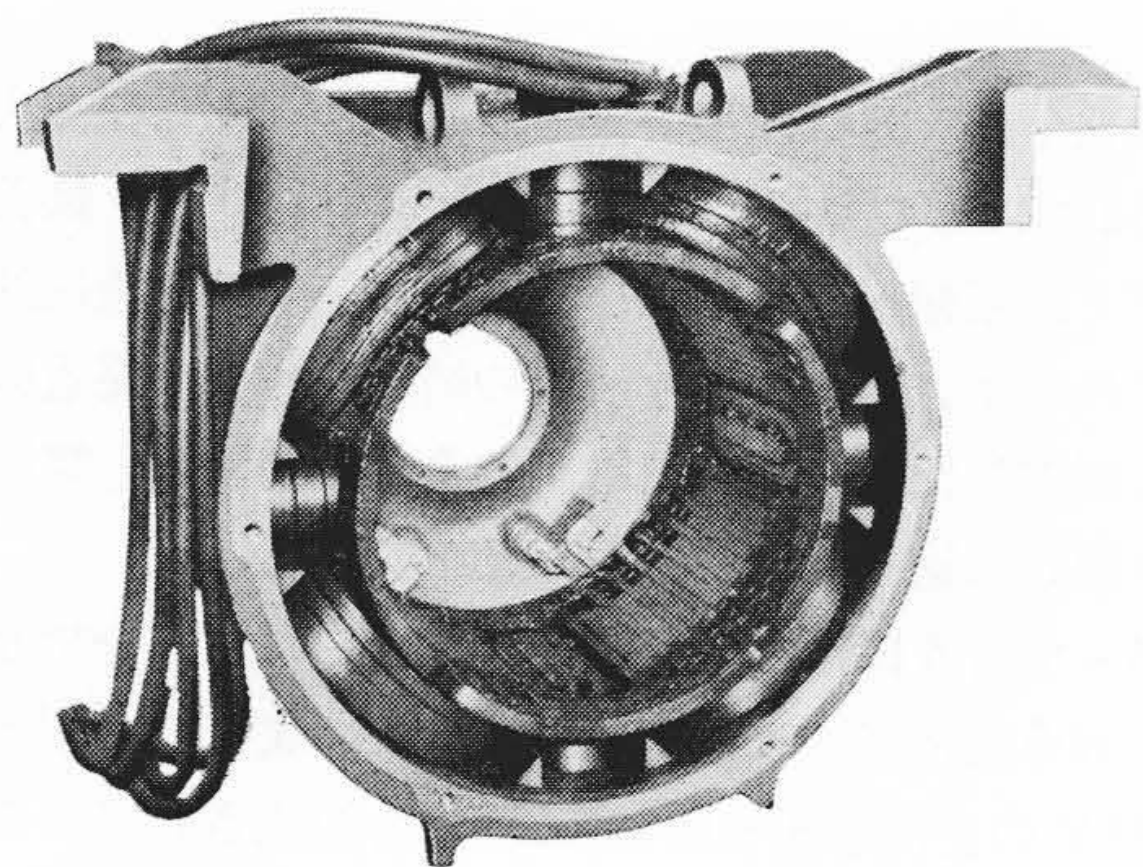


第20図 700kW 主電動機



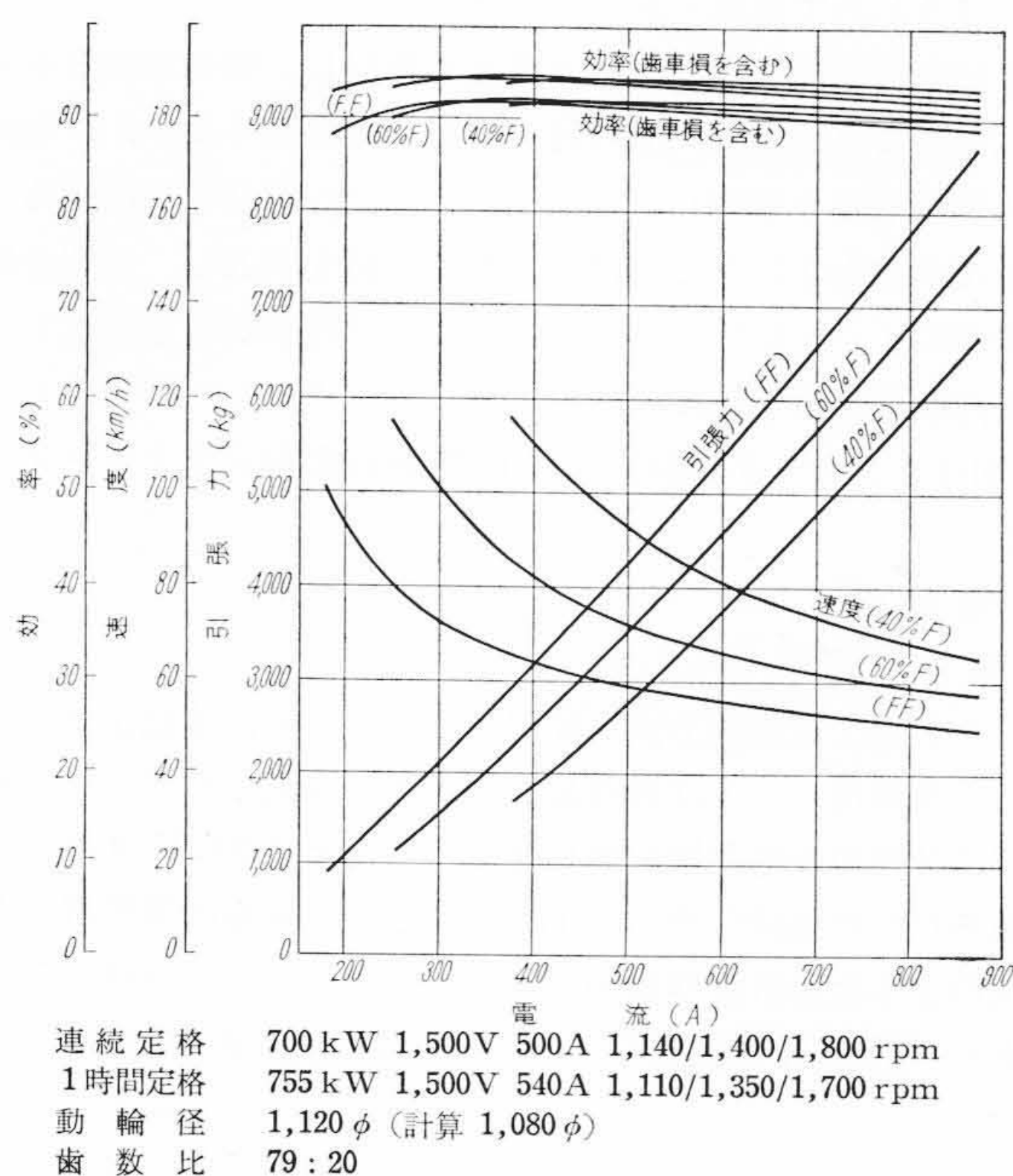


(a) 電機子



(b) 固定子

第21図 700 kW 主電動機の電機子および固定子



第22図 700 kW 主電動機特性曲線

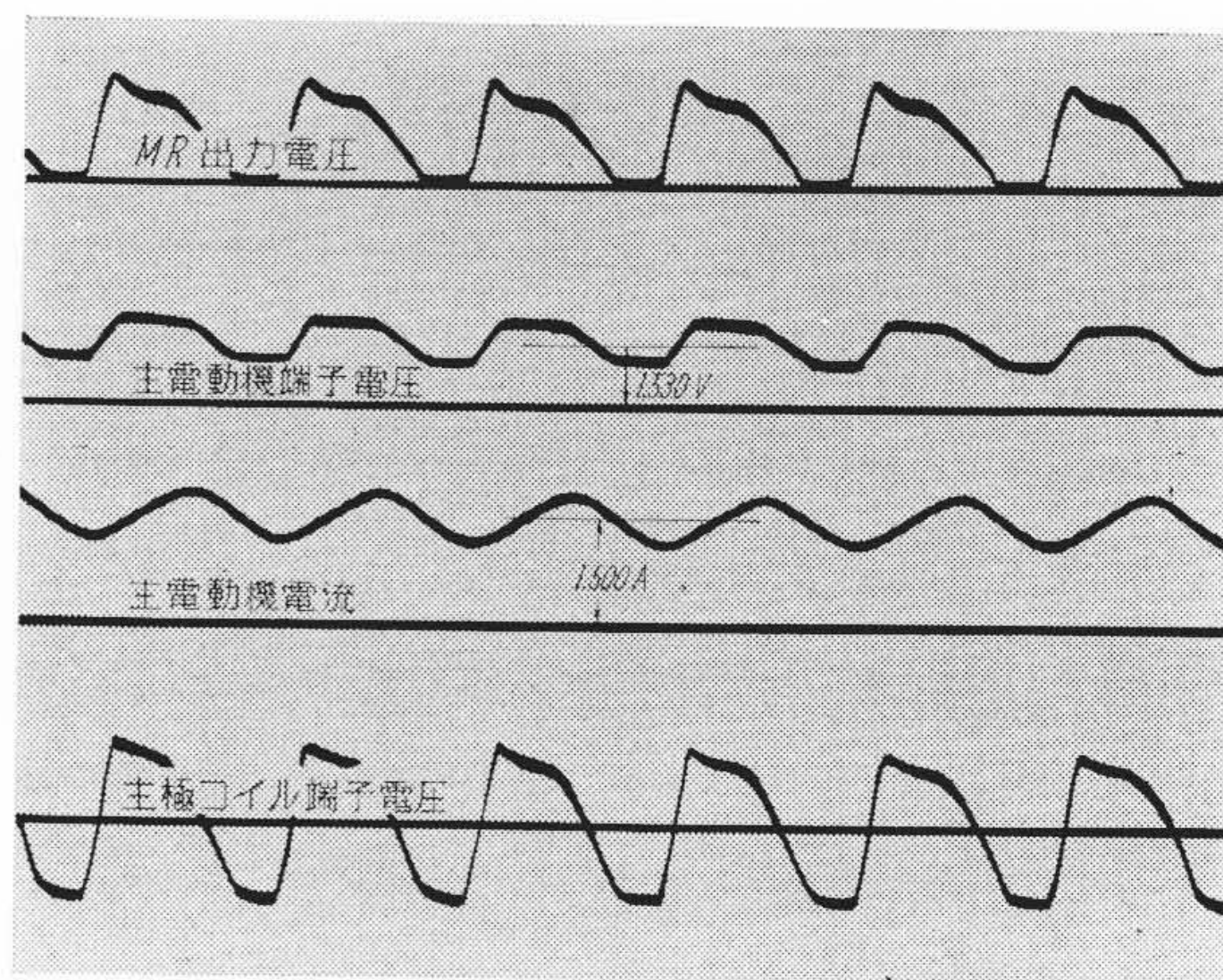
して連続定格で2.8倍、1時間定格で2.3倍という大出力にかかわらずその95%の重量に納めることができた。

第20図に本機の外観、第21図に電機子および固定子を示す。第22図は本機の特長曲線である。

#### 4.3.2 特長および脈流対策

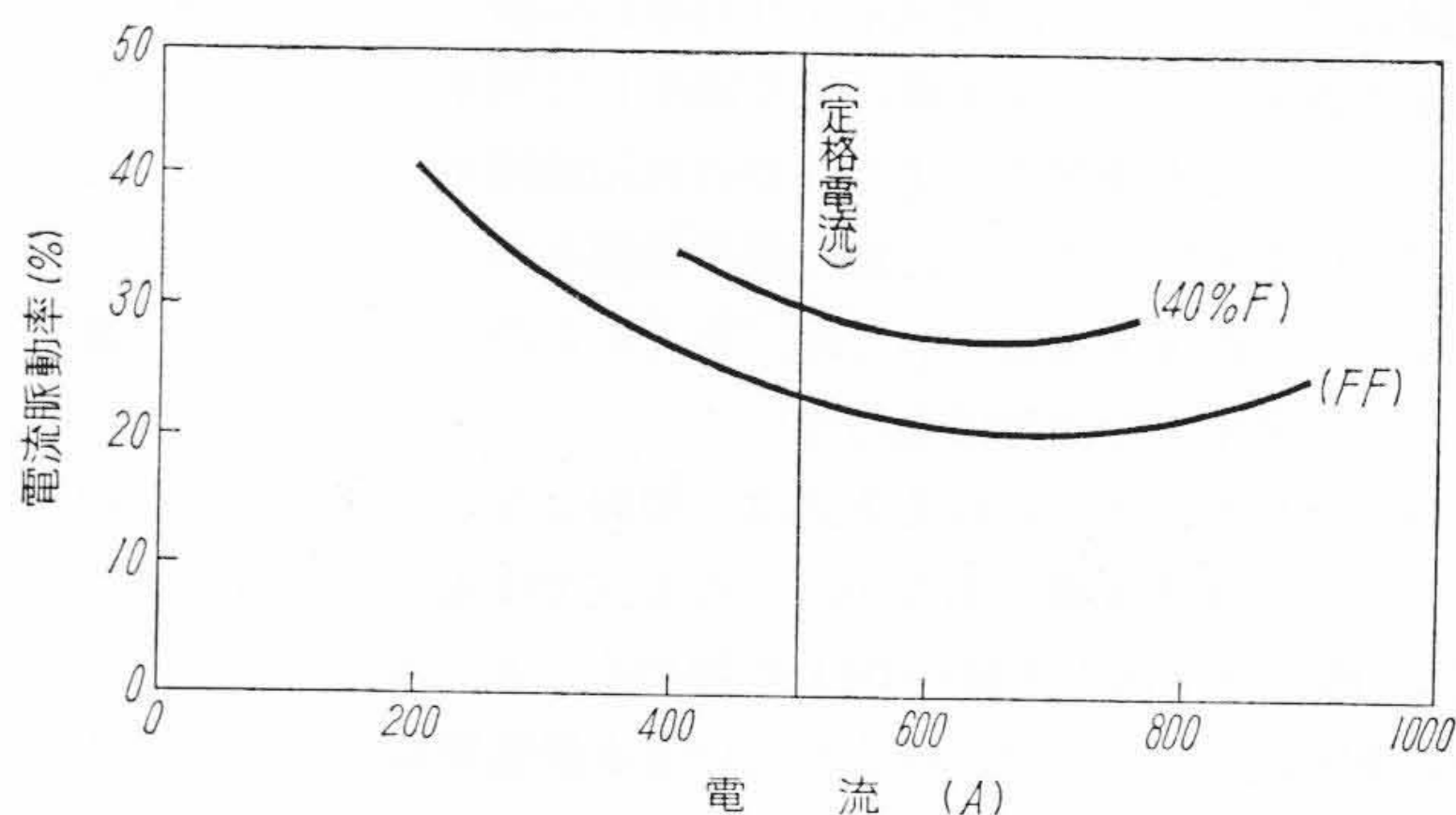
本機は単相交流の全波整流による脈流電源により運転される。

主変圧器、水銀整流器および直流リアクトルと組合わせて運転した場合の電流、電圧波形のオシログラムの一例を第23図に電動機電流とその脈動率（ $\frac{\text{高調波電流の片振幅}}{\text{平均電流}}$ ）の関係を第24図に示す。本機はつぎのような考慮を払い、脈流運転に適し、かつ小形、軽量な主電動機とすることができた。

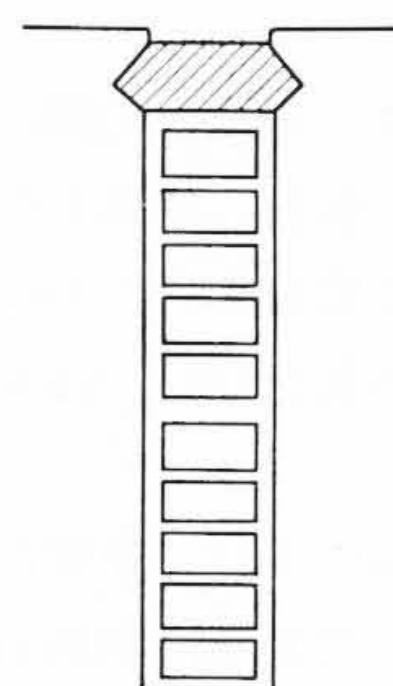


全界磁 1,530 V 500 A 1,165 rpm

第23図 主回路電圧電流波形



第24図 定格ノッチにおける電流脈動率



第25図 10層巻電機子コイル説明図

(1) 1台車あたり1台の電動機を上部4本の取付脚で2本の台車中梁に装架し、可撓駆動方式を採用して高速小形化を計った。

(2) 第11図に示すように主極コイルに中間タップ1個を設け、60%および40%の弱界磁ノッチを得、最高運転速度110 km/hに及ぶすぐれた高速性能を確保した。(特許申請中)

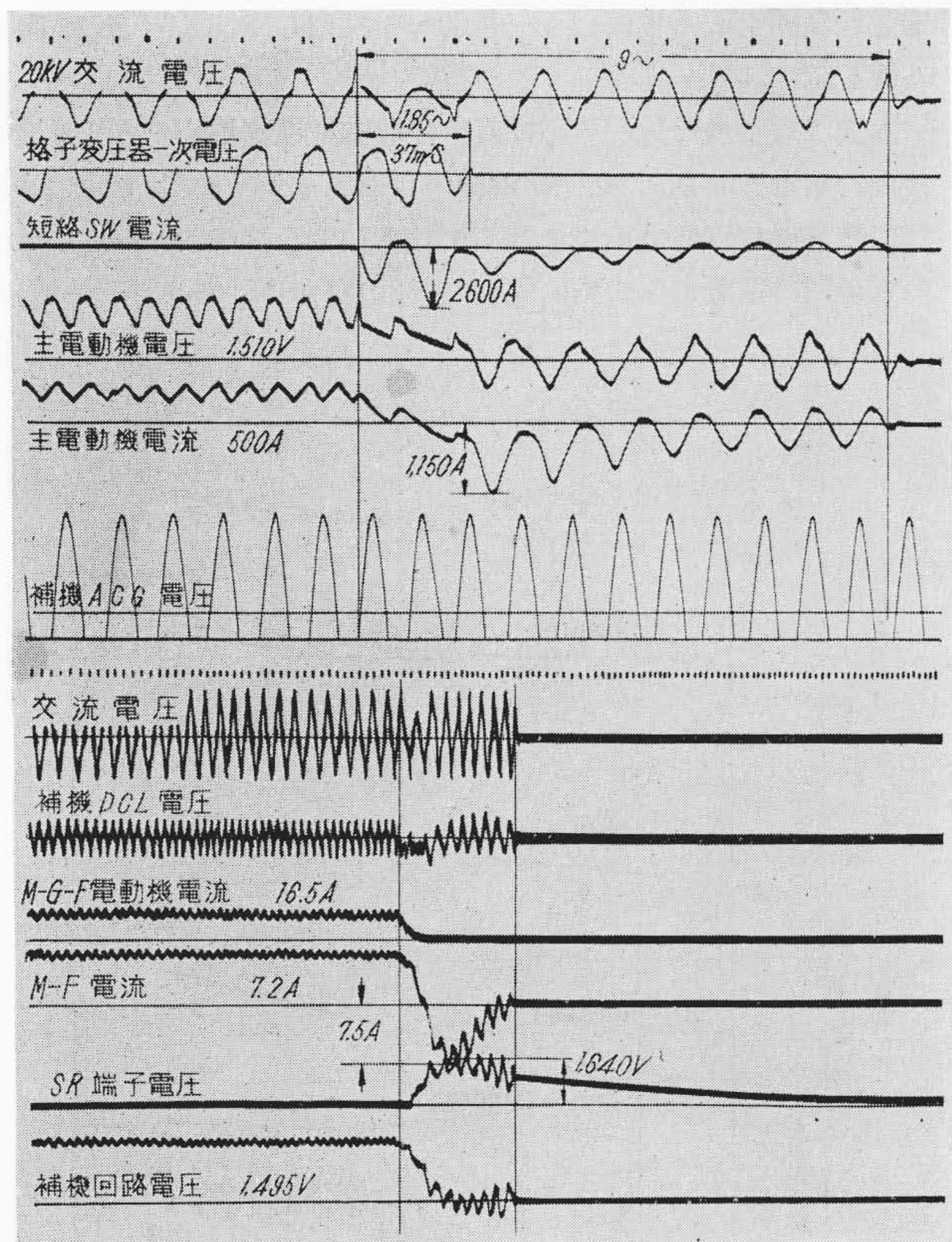
(3) 定格1,140/1,400/1,800 rpm 高速試験回転数2,500 rpm (電機子周辺速度85 m/s, 整流子70 m/s) という高速電動機であるから、各部の材質、構造に十分な考慮を払って製作した。整流子片ピッチは約4 mmで、銀入り銅を使用し、アーチバンド式締付を行っている。

(4) 電機子巻線に第25図に示すように占積率と熱放散の良好な10層巻を採用した。またリアクタンス電圧の分布を最良とするトレッペン巻線を採用して整流の改善を計った。

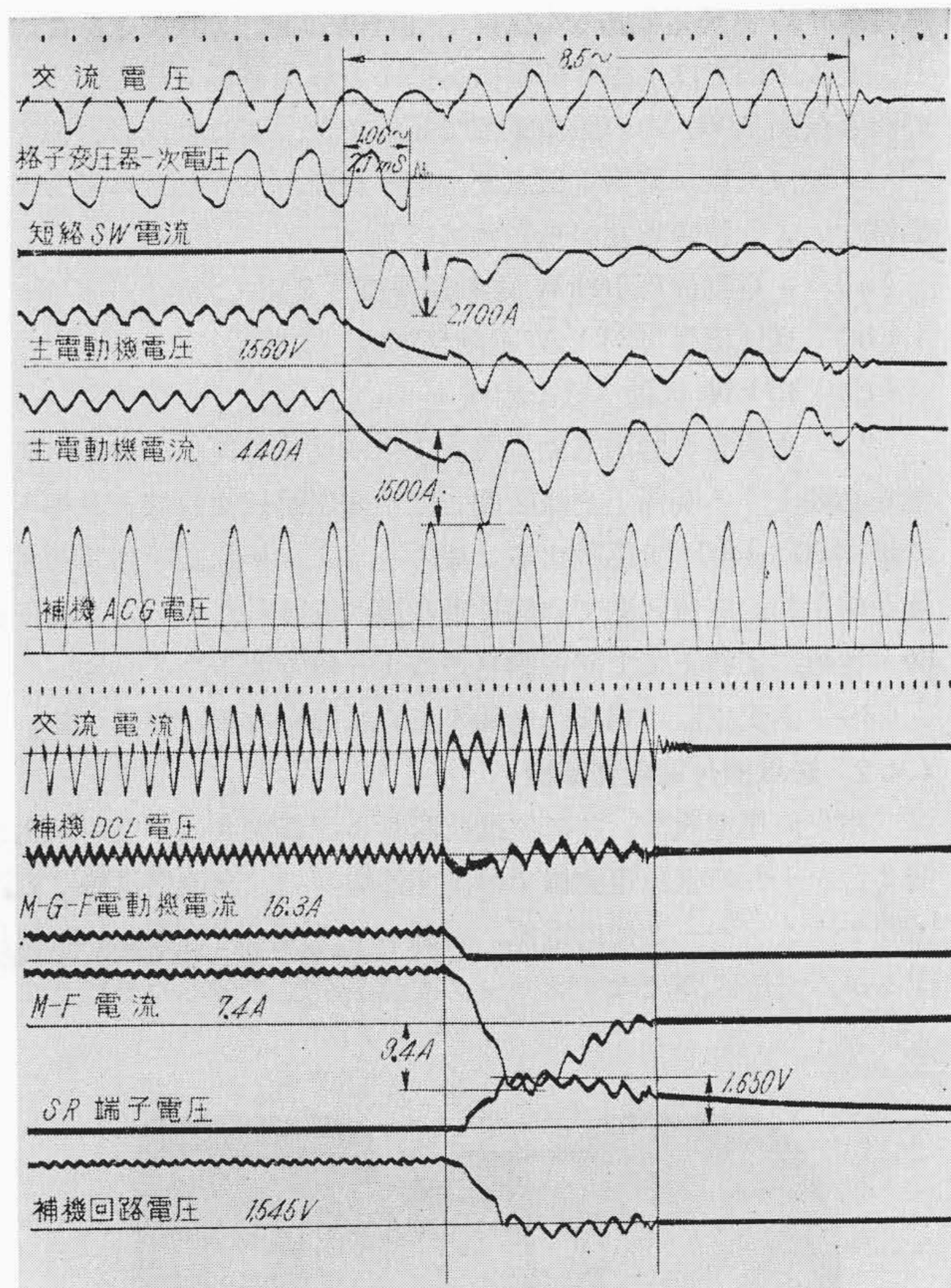
(5) 高性能の3分割ブラシを使用した。

(6) 補償巻線により電機子反作用を完全に打消し、脈流運転に対しても直巻界磁に分流抵抗を使用せず、タップにより弱界磁





主 電 動 機 全 界 磁 1,510V 500A 1,150 rpm  
補 機 10 kW 電 動 送 風 機 (M-F) 2 台  
送 風 機 付 12 kVA 電 動 発 電 機 (M-G-F 全 負 荷) 1 台



主 電 動 機 40% 界 磁 1,560V 440A 2,040 rpm  
補 機 10 kW 電 動 送 風 機 2 台  
送 風 機 付 12 kVA 電 動 発 電 機 (全 負 荷) 1 台

第 26 図 人 工 逆 弧 試 験 オ シ ロ グ ラ ム

を行う方式としたため、水銀整流器式機関車で特に問題となる整流器逆弧、ならびに遮断、再加圧などの苦しい条件に対しても安定した整流を確保し、発電機作用による整流器回路への逆流をほとんどなくすることができた。

第 26 図および第 27 図に試験結果の一例を示す。1,510 V 2,040 rpm (105 km/h 相当) 40% 界磁という最もきびしい人工逆弧試験においてもなんら異常なく、また 1,650 V 2,150 rpm 40% 界磁で運転中電源を遮断し 2 分後全電圧を印加するなどのきこくな試験条件に対しても閃絡を起さないことが確認された。また全運転範囲にわたり良好な整流が得られた。

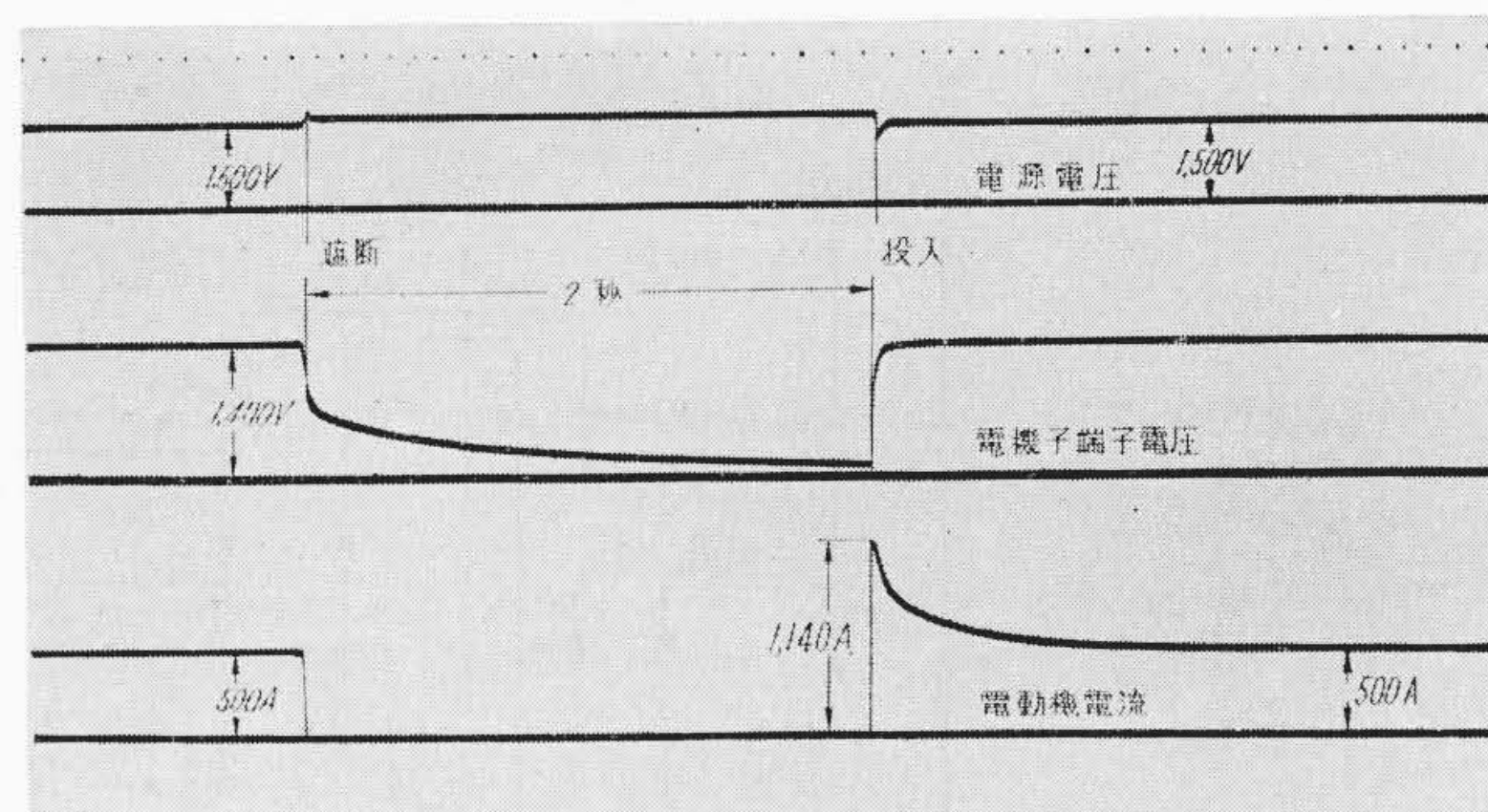
(7) 電機子に特 B 種、固定子に H 種絶縁を採用して耐熱性を改善し、固定子コイルに中央部の導体を露出したいわゆるオープンフェース形を採用して熱放散を良好にしたほか、第 21 図にみられるように電機子鉄心にラジアルダクトそのほかの特殊な通風路を設け、固定子のコイル間に三角柱状の邪魔板を設けて電機子通風路との損失風圧の平衡をとり、風量の合理的な配分と固定子コイルに対する風速増大を計った。

本機は主極コイルに分流抵抗を使用せずに脈流運転を行う場合(交流区間)、電流脈動による銅損の増大ならびに磁束の脈動による磁気回路、特に継鉄における渦流損により、固定子の温度上昇が直流の場合にくらべて相当高くなるが、各部の温度上昇値は脈流運転の場合にも限度以下に納めている。

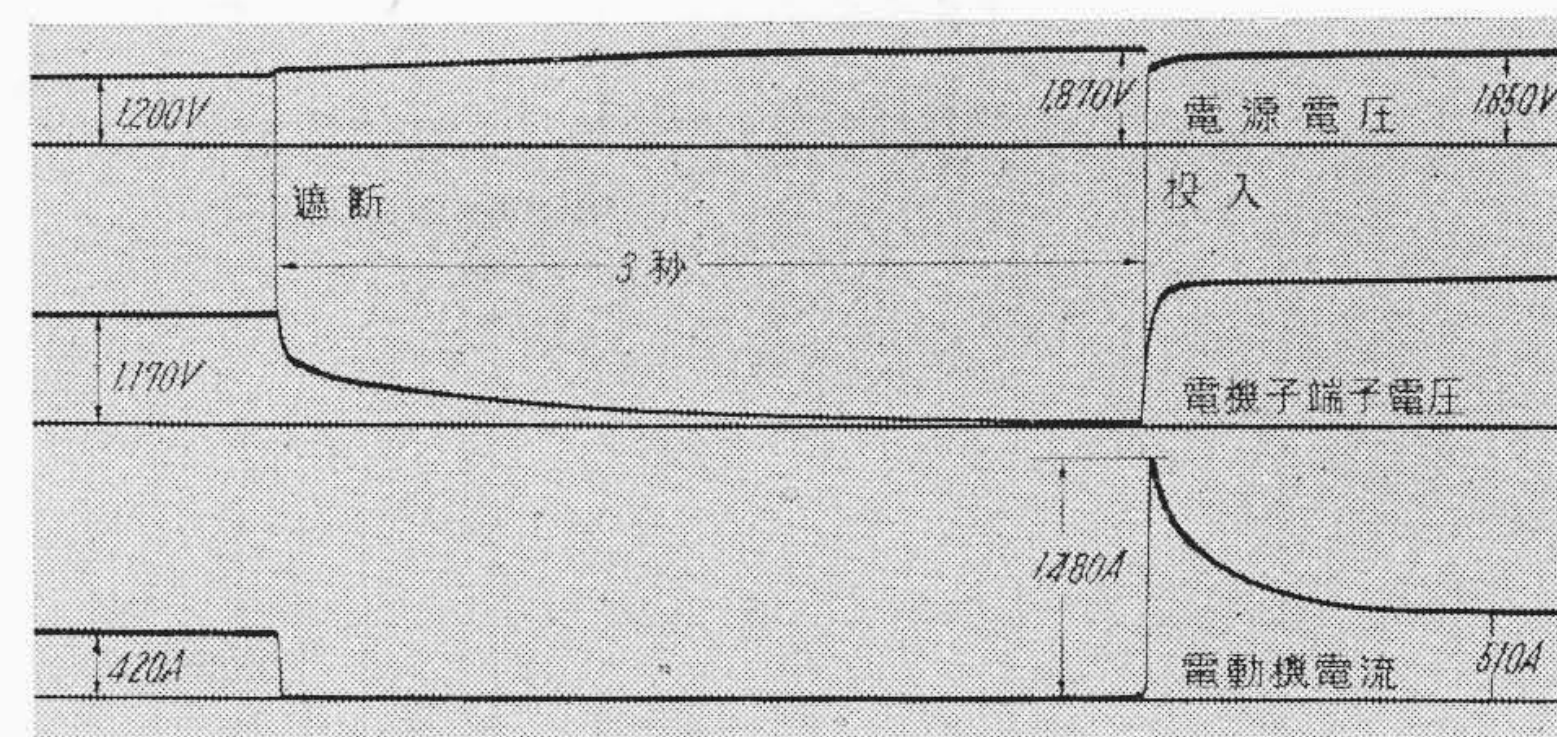
#### 4.4 補助回転機

##### 4.4.1 概 要

本機関車では交直両区間において各種の補機を運転する必要があり、また重量寸法を極度にきりつめる必要があるため、下記の



(a) 40% 界 磁 1,500V 1,800 rpm 2 秒 中 断 後 再 加 圧 し た 場 合



(b) 60% 界 磁 1,200V 1,210 rpm に て 3 秒 中 断 後 1,650V を 加 圧 し た 場 合

第 27 図 700 kW 主 電 動 機 電 力 中 断 試 験 オ シ ロ グ ラ ム

ような特殊な補機方式を採用して小形軽量にまとめ、機器を有効に利用することができた。

(1) 交直両区間において同一仕様で使用する必要のある補機



は 1,500 V 直流電動機を使用し、直流区間では直接架線電圧より、交流区間では水銀整流器出力による脈流電源で運転する。この場合最高 2,000 V の脈流電源で運転でき、また整流器逆弧インバータ転流失敗、架線電圧急変、電源遮断再投入などに対しても異常なよう特に考慮が払われている。

(a) 主電動機用 10 kW 電動送風機 2 組

(b) 送風機付 12 kVA 電動発電機 1 組

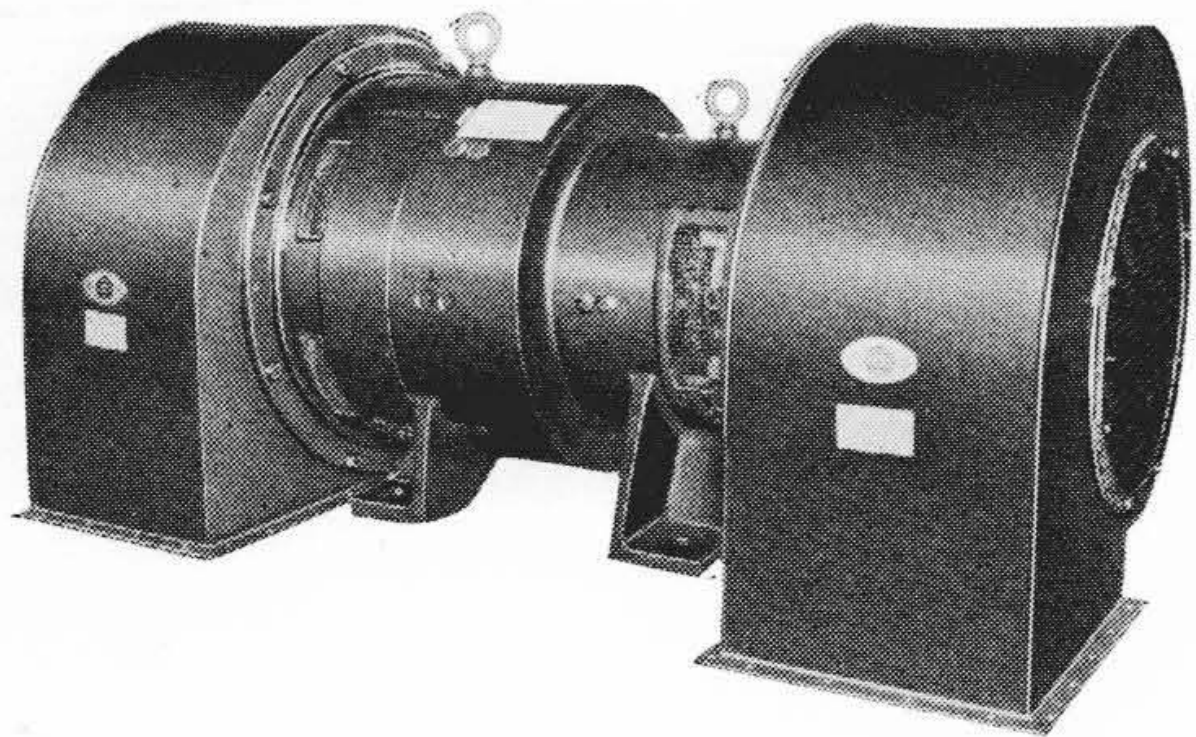
(c) 15 kW 電動空気圧縮機 1 組

(2) 水銀整流器用電動送風機 1 台は整流器運転に先だって予熱を必要とする関係上交流区間では主変圧器三次巻線より得られる単相 50~440 V で駆動する 2 極のコンデンサ起動単相誘導電動機を使用し、直流区間では同じ電動機に設けられている 6 極三相 60~ 巻線に切替えて上記電動発電機より給電する。

(3) 主変圧器用補機には 60~ 三相誘導電動機を使用する。

#### 4.4.2 送風機付電動発電機

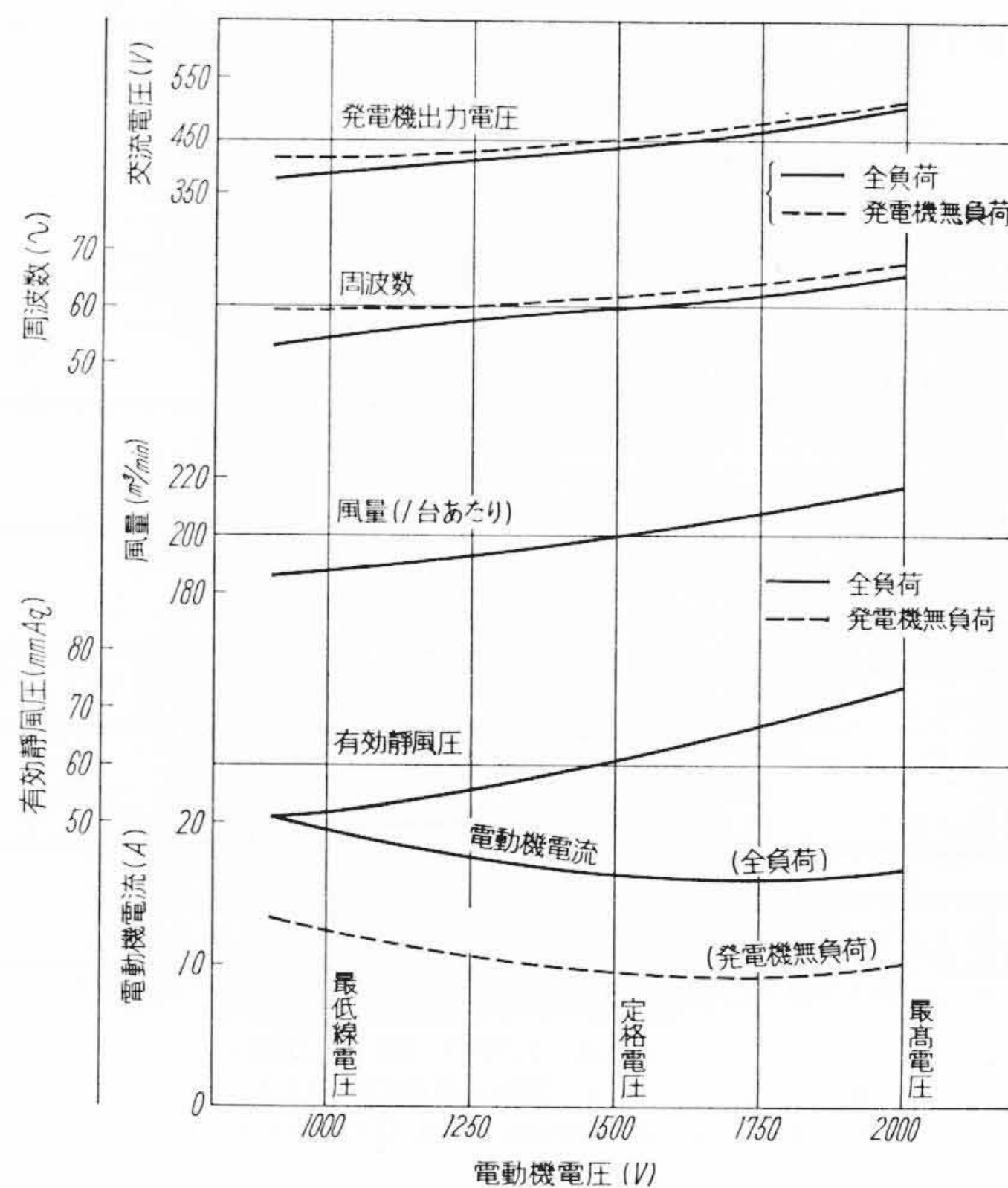
三相交流発電機ならびに主抵抗器および直流リアクトル用送風機 2 台を 1 台の直流電動機で駆動するもので、交流発電機は直流区間ではインバータ補助電源、制御および燈回路電源として使用するが、交流区間ではインバータ電源が不要となるので代りに主



第 28 図 送風機付電動発電機

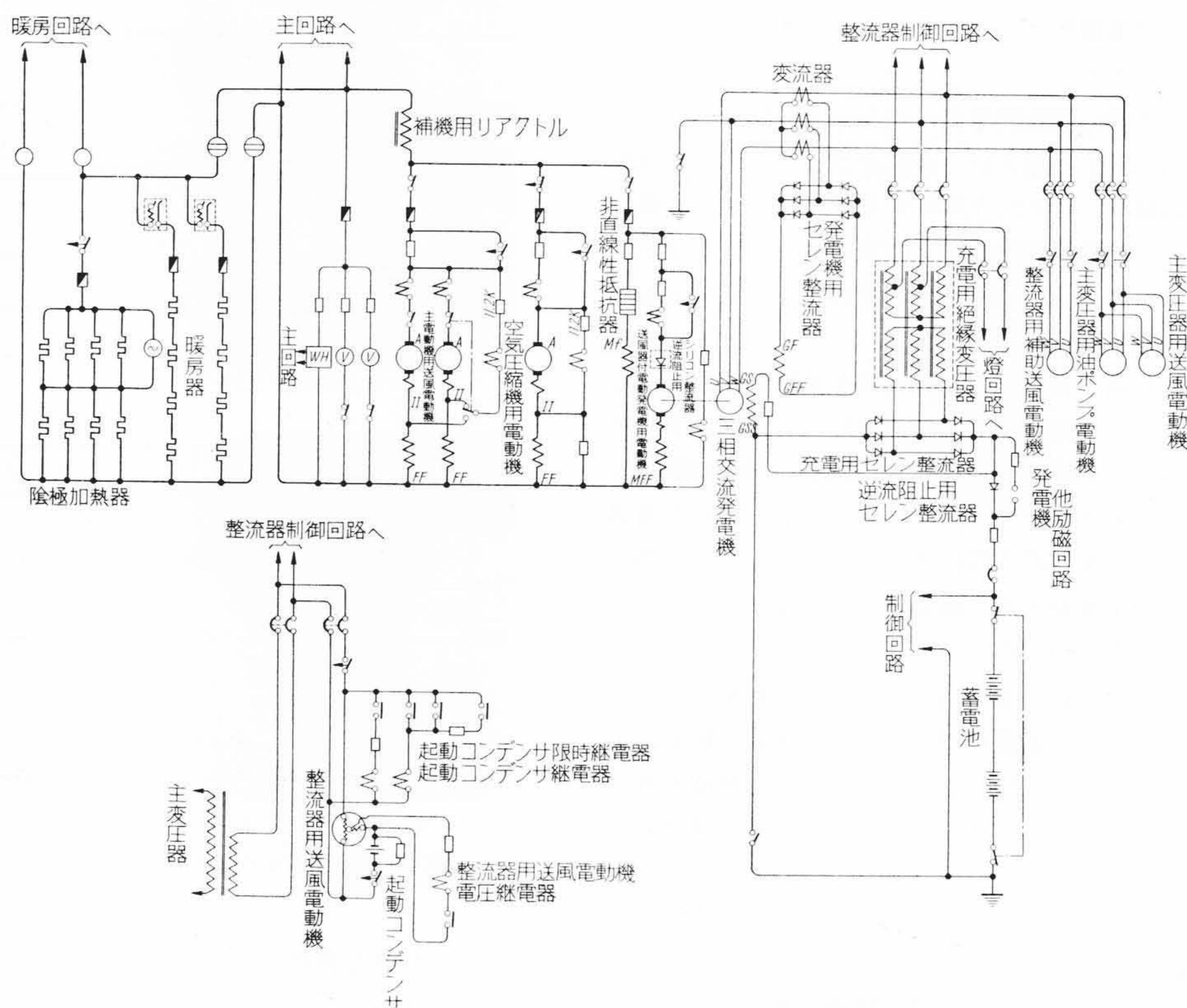
変圧器用三相補機電源として使用する。発電機はインバータの安定運転範囲を広くするよう三相 60~ を採用している。第 28 図に外観を示す。

本機は電動機の方巻界磁に直列に非直線性抵抗をそう入して周波数の変動をおさえ、交流発電機の負荷電流を変流器、整流器を通して発電機の直巻コイルに加えて負荷補償を行い、1,000~2,000 V の広範囲の電源電圧変動に対し、各種の負荷より要求される電圧、



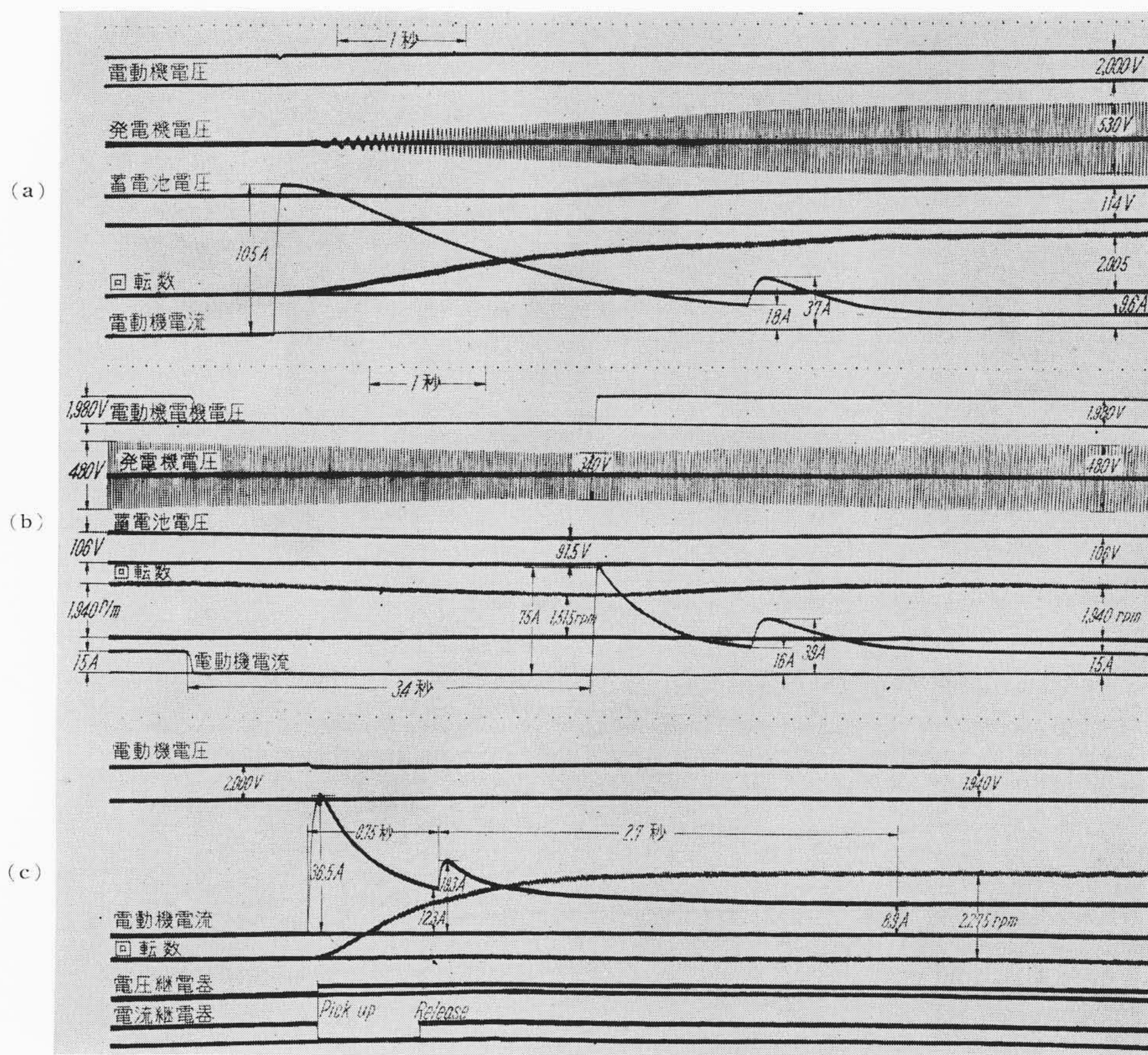
直流電動機 入力 27 kW 1,500 V 18 A 1,800 rpm  
交流発電機 出力 12 kVA 3 φ 60~ 440 V 15.75 A 1,800 rpm 力率 90% 遅れ  
送風機 風量 200 m³/min × 2, 有効静風圧 60 mmAq, 回転数 1,800 rpm

第 29 図 送風機付電動発電機の特性



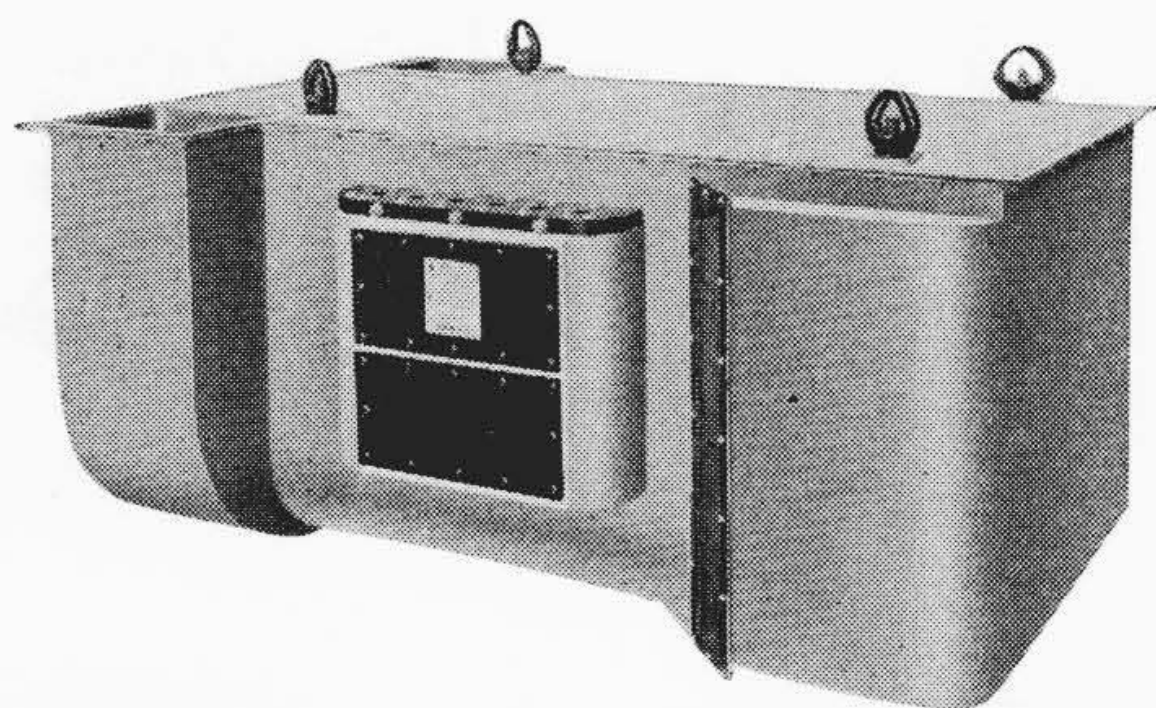
第 30 図 補機回路つなぎ





(a) 送風機付 12 kVA 電動発電機起動 (送風機全負荷, 発電機無負荷)  
(b) 送風機付 12 kVA 電力中断試験 (全負荷)  
(c) 10 kW 電動送風機起動試験 (全負荷)

第 31 図 2,000V における補機起動試験オシログラム



14/126mH 520/173A × 2 回路電圧 D.C. 1,500V 連続定格 床下懸吊形  
第 33 図 H 種絶縁乾式風冷式直流リアクトル

周波数特性を確保している。第 29 図に特性を示す。

制御直流電源はこの三相交流を整流し、蓄電池を浮動充電している。

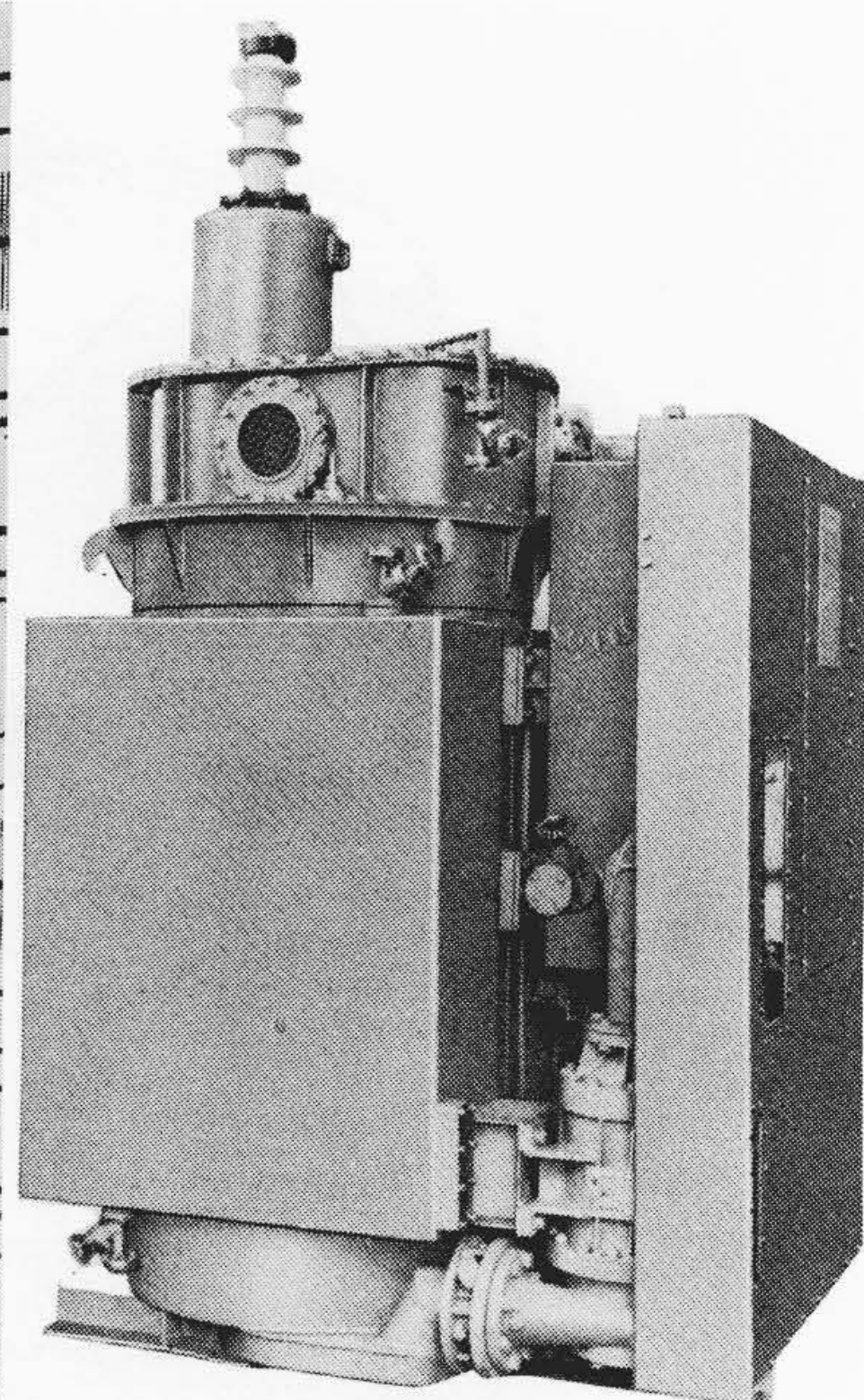
本機は  $GD^2$  が大きく、大容量分巻電動機のため過渡時の残留電圧、整流などが問題になるが、第 30 図に示すように電動機の電機子回路にシリコン整流器をそう入して逆流を阻止することにより次のような好結果が得られた。

(1) 無電圧になると分巻電流がただちに消滅するため残留電圧の減衰がきわめて早い。したがって

(イ) 直流より交流区間へ走行する場合の無電圧の検出が早く、切替操作を忘れた場合にも冒進の危険がない。

(ロ) 無電圧になるとただちに起動用直列抵抗が入って再加圧時の突入電流をおさえるため、電源遮断、再投入時にもきわめて良好な整流が確保される。

(ハ) パンタ離線時残留電圧によるインバータの転流失敗を防



主変圧器 1,540/2,170/20 kVA  
単相 50~20 kV 油入密封形  
送油風冷式 ラジアルコアタイプ  
連続定格

第 32 図 主変圧器

止している。第 31 図に 2,000 V における起動および電力中断試験のオシログラム一例を示す。

(2) 水銀整流器の逆弧、インバータの転流失敗の場合にも

逆流が完全に阻止され、良好な整流が得られる。第 26 図に人工逆弧試験のオシログラムを示す。

#### 4.5 主変圧器および直流リアクトル

主変圧器は ED 71 形交流機関車と同様<sup>(2)</sup> 車両用に最も適したラジアルコア形で、タップ切換を行わないためきわめて簡単小形になっている。本器では特にインバータの運転範囲を広くするため鉄心の磁束密度を低く設計し、最高架線電圧に対しても鉄共振の発生限界を十分高くすることができた。第 32 図に外観を示す。

直流リアクトルは H 種絶縁、乾式、強制通風形で、第 11 図に示すように交流区間では連続定格 520 A 14 mH のものを 2 台並列接続して主電動機電流の脈動をおさえ、直流区間では交直転換器によりおのおの 3 分割された巻線を直列に接続変更して 173 A 126 mH × 2 台とし、インバータ運転時に誘導障害を防ぐ直流側フィルタとして使用している。2 台のリアクトルは第 33 図に示すように 1 個のケースに納められている。

#### 4.6 パンタグラフ

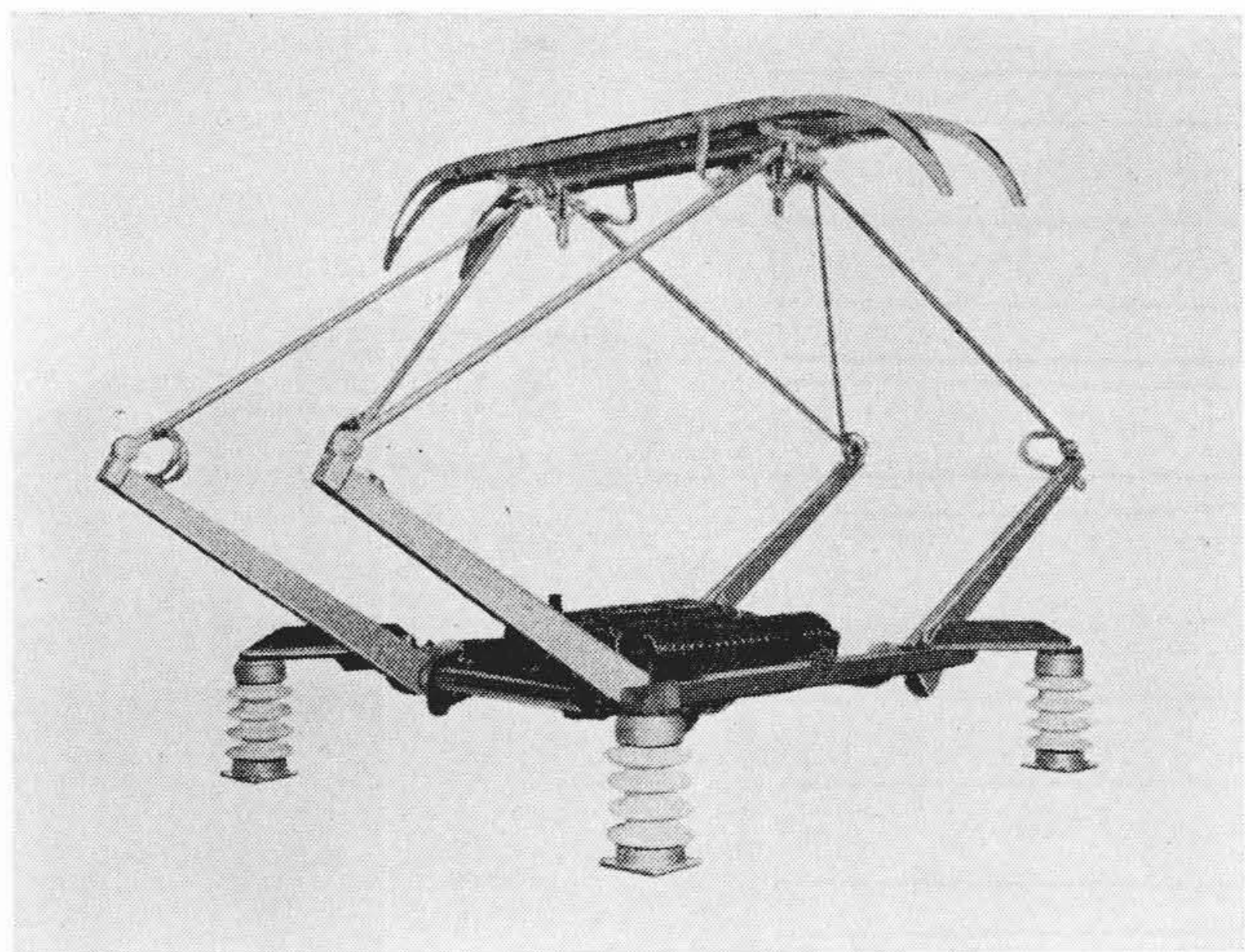
第 34 図に外観を示す。本パンタグラフは従来の空気上昇自重下降式と異なり、空気上昇バネ下降式である。この特長は従来のパンタグラフで必要とされた複雑な上昇時および下降時の緩衝機構が不要となり、構造簡単で保守点検も容易な軽量パンタグラフであることである。本方式のパンタグラフは欧米では広く用いられているようであるが、わが国では本パンタグラフが最初である。

#### 4.7 制御保護装置

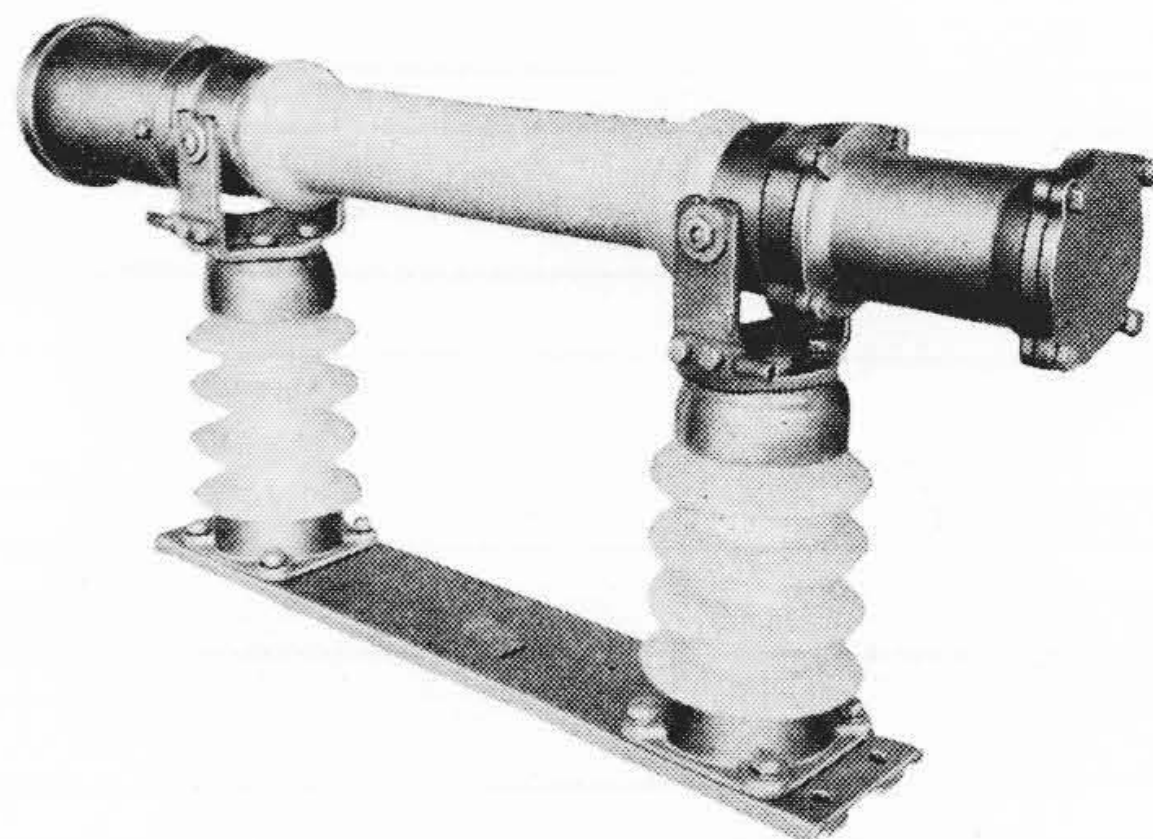
##### 4.7.1 概要

交直両用機関車であるため、速度制御は第 1 表に記したように

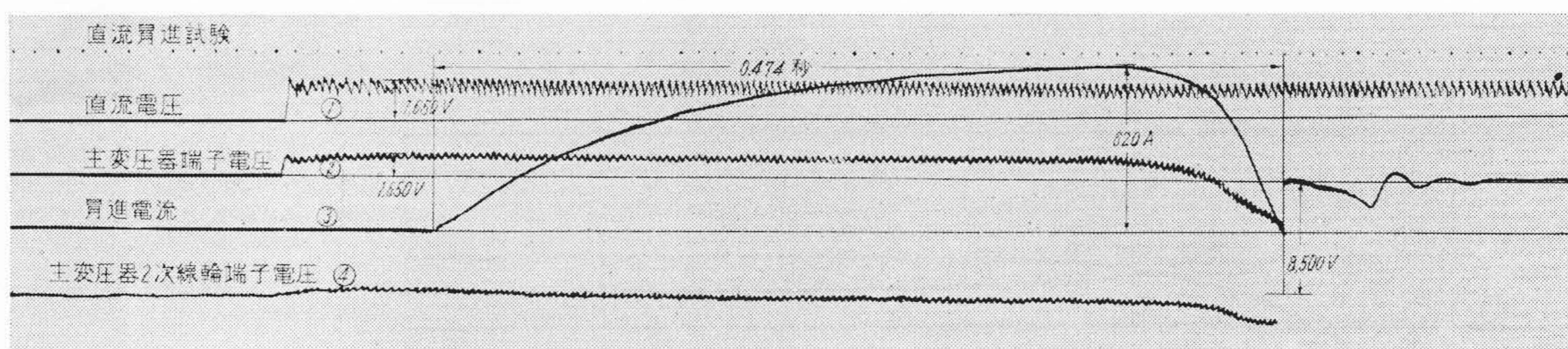




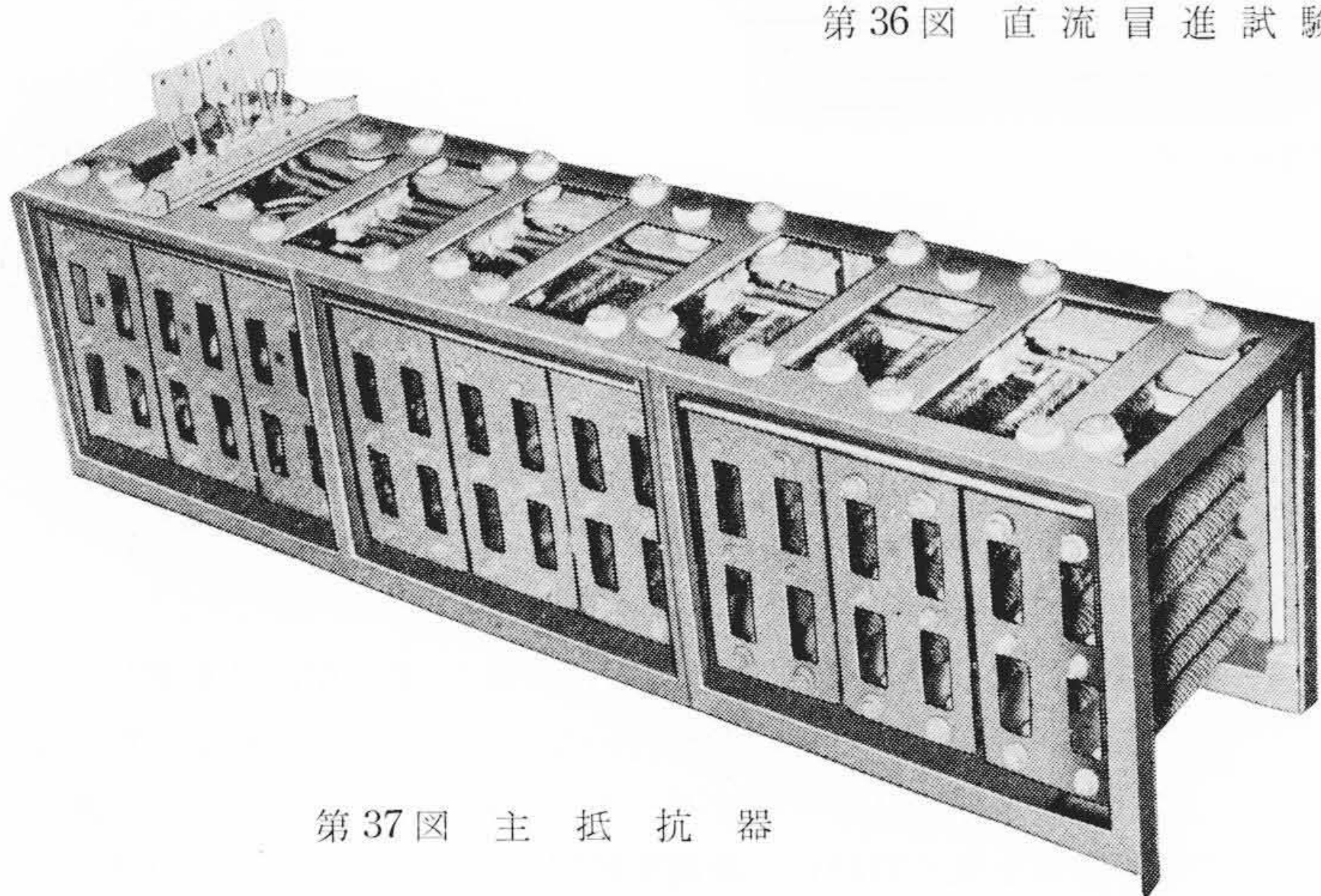
第 34 図 パンタグラフ外観



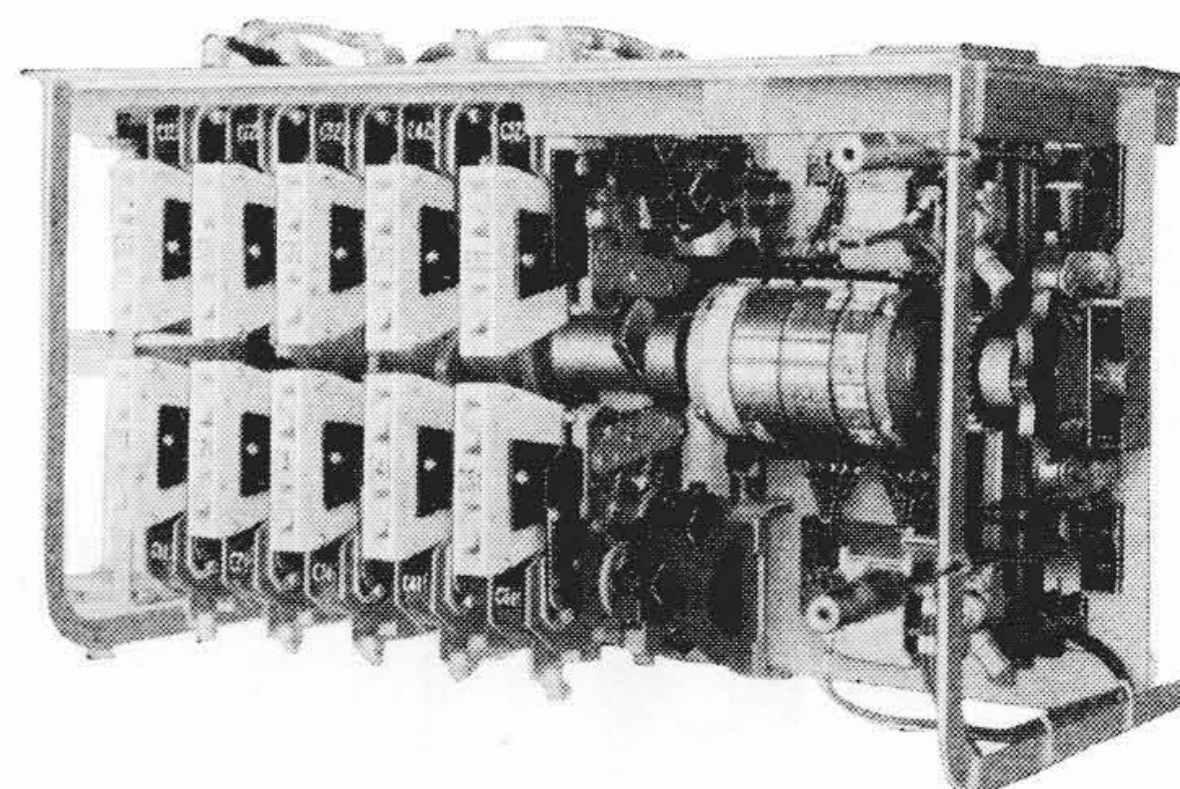
第 35 図 主ヒューズ



第 36 図 直流冒進試験オシログラム



第 37 図 主抵抗器



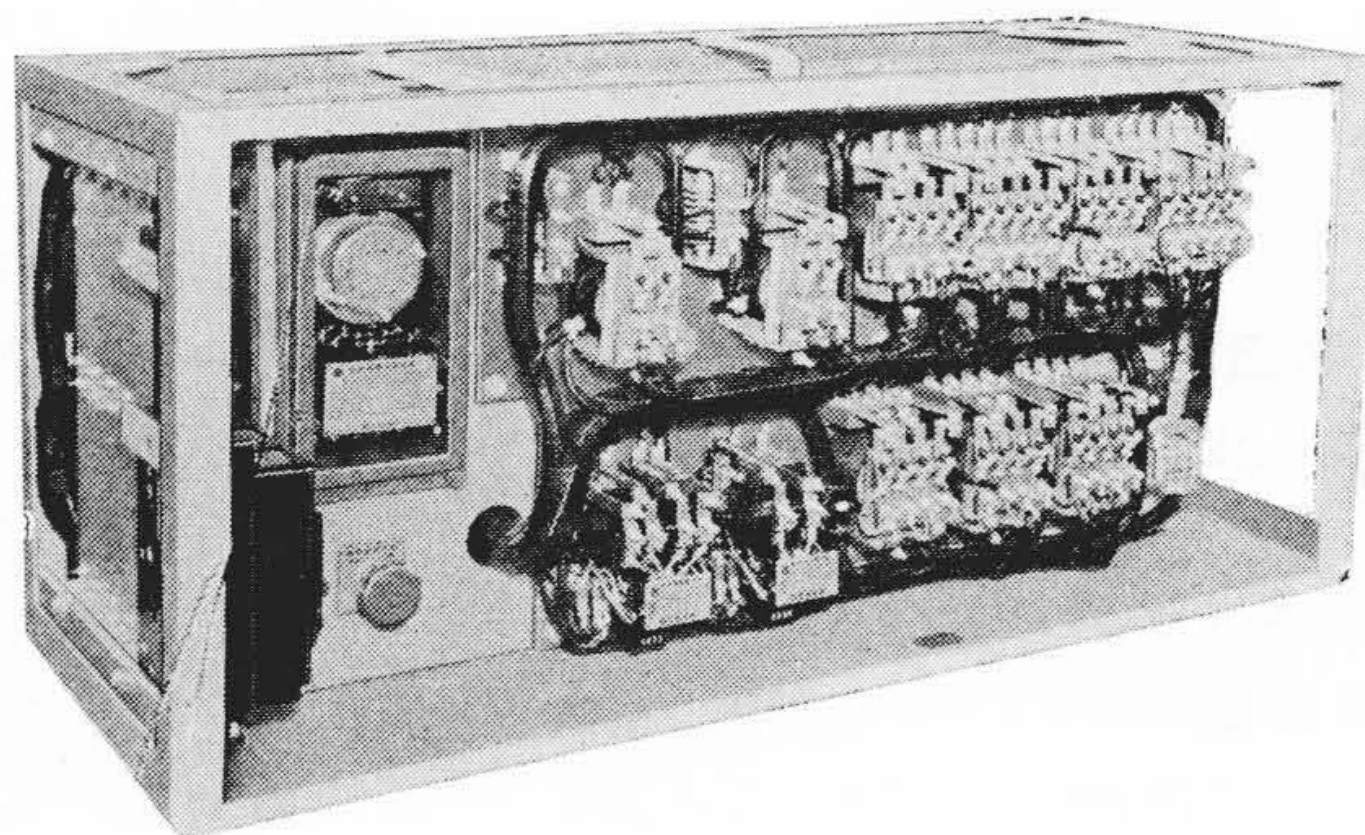
第 38 図 転流コンデンサ用カム軸接触器

直並列抵抗制御を行い、弱界磁起動 1、直列 11、並列 7、弱界磁 6、合計 25ノッチを得ている。

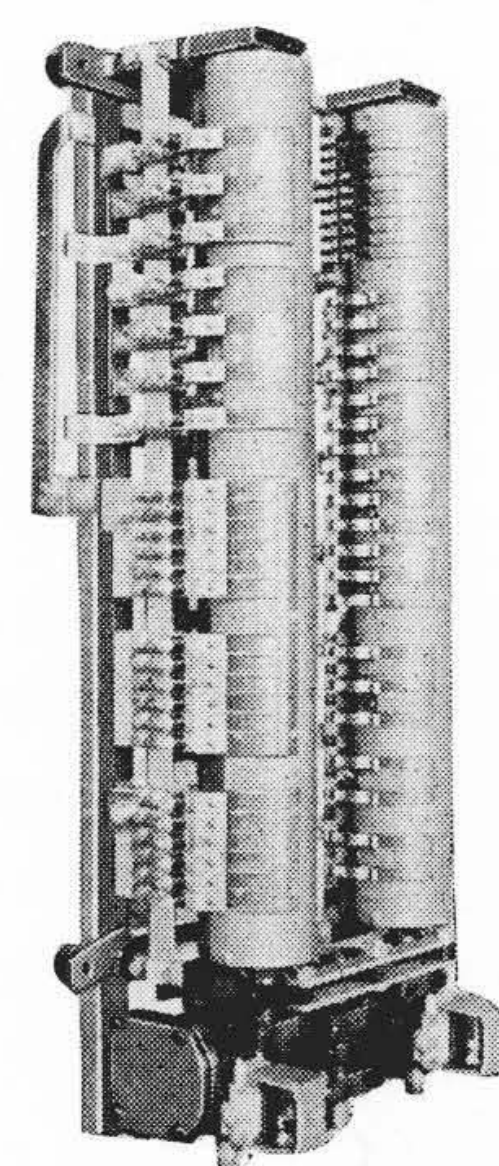
また交直両用機の特長をなす交直切換方式および交流冒進、直流冒進保護方式は、昭和33年日立において完成した交直両用電車において開発された方式を基本としており、誤操作に対しても安全に保護されている。

また空気遮断器は ED 71 などの交流専用機においては引外し用電磁弁としてオフ電磁弁を使用するのが標準であるが、本機関車においては直流区間走行中に引外し回路に断線などを生じた場合、空気遮断器で直流を遮断することを防止するため、特にオン電磁弁を使用している。

保護継電器には ED 71 形交流機関車と同一のものを多く採用し統一をはかっている。



第 39 図 インバータ制御装置



第 40 図 交直转换器

#### 4.7.2 制御機器

第 35 図は直流冒進保護用の主ヒューズを示し、交流短絡電流をも遮断するように、交流遮断容量 100 MVA を有している。また第 36 図はこの主ヒューズによる直流冒進時のオシログラムで、架線電圧 1,650V のもとにおいて、冒進後 0.474 秒で電流を完全に遮断している。



主抵抗器は 600 t けん引して各駅停車の普通運転はもちろん、「600 t けん引して平坦線を 3 回連続起動」および「600 t けん引して 10% 勾配を 2 回連続起動」などの条件のため大容量のものになっているが、3 点支持スチールグリッド抵抗器を 2 群にわけて風道内に配置し、1 群あたり 150 m<sup>3</sup>/min の風量により強制通風を行い各種試験の結果、容積重量を極度にきりつめることに成功した。

第 37 図は主抵抗器の 1 群を示す。

第 38 図は転流制御カム軸接触器を示し、交流高圧回路におけるコンデンサを開閉するため、特に設計された空気作動カム軸接触器で、4 バンクに分割された転流コンデンサと列車暖房がほとんど無負荷のとき投入される転流用抵抗器を開閉する 5 回路の主接触部と制御円筒からなり、コンデンサ回路開閉に伴う再点弧現象を完全に防止するため限流遮断方式を採用している。

また第 39 図はインバータ制御装置の外観で、内部に起動時の負荷容量を検知する電流継電器、転流コンデンサを制御するための磁気増幅器および再閉合継電器、その補助継電器を収納し、点検に便利な構造となっている。

第 40 図は交直転換器の外観写真である。

## 5. 結 言

以上 ED461 形交直両用電気機関車の大要を述べたが、本機関車は昭和 34 年 8 月に完成し、現在東北線において試運転を実施中である。多くの新しい試みを盛った本機関車は、今後の交直両用機関車の発展に対し、貴重な一つの指針を与えるものと考えられる。

終りに本機関車の計画ならびに製作に終始ご指導を賜った日本国有鉄道の各位に深く謝意を表する次第である。



## 特 許 と 新 案



### 最近登録された日立製作所の特許および実用新案 (その 1)

| 種 別     | 登録番号   | 名 称                                           | 工 場 別   | 氏 名           | 登録年月日      |
|---------|--------|-----------------------------------------------|---------|---------------|------------|
| 特 許     | 255748 | 並 設 エ レ ベ ー タ の 相 互 位 置 表 示 装 置               | 国 分 工 場 | 酒 井 真 平 隆     | 34. 10. 19 |
| "       | 255758 | 操 作 開 閉 器                                     | 国 分 工 場 | 金 井 好 延       | "          |
| "       | 255760 | 4 極 水 平 切 断 路 器                               | 国 分 工 場 | 加 藤 清 次       | "          |
| "       | 255762 | 変 圧 器 巻 線                                     | 国 分 工 場 | 栗 田 健 太 郎     | "          |
| "       | 255763 | モ ー ル ド 型 変 成 器 の 絶 縁 処 理 法                   | 国 分 工 場 | 小 林 正 毅       | "          |
| "       | 255773 | 移 動 手 す り 駆 動 装 置                             | 国 分 工 場 | 神 峯 次 郎       | "          |
| "       | 255774 | 電 気 開 閉 器 用 空 気 圧 縮 機 の 低 温 保 護 装 置           | 国 分 工 場 | 額 田 啓 三 保     | "          |
| "       | 255759 | ク レ ー ン の 荷 重 昇 降 操 作 装 置                     | 亀 有 工 場 | 松 原 為 治       | "          |
| "       | 255766 | ディーゼルエンジン駆動クレーンの荷重の動力巻下調速装置                   | 亀 有 工 場 | 波 谷 英 為       | "          |
| "       | 255769 | スキップカーの連続自動積込装置                               | 亀 有 工 場 | 野 村 芳 朗       | "          |
| "       | 255752 | ロール研削盤における砥石駆動装置                              | 川 崎 工 場 | 阿 武 芳 照       | 34. 10. 19 |
| "       | 255810 | 水 槽 用 空 気 式 造 波 装 置                           | 川 崎 工 場 | 桜 井 宿 哲 男     | 34. 10. 21 |
| "       | 255747 | 変 位 検 出 用 発 信 器                               | 多 賀 工 場 | 鷺 見 哲 雄       | 34. 10. 19 |
| "       | 255749 | つ る 巻 ば ね                                     | 多 賀 工 場 | 田 沢 卓 夫       | "          |
| "       | 255751 | 過 電 流 継 電 器                                   | 多 賀 工 場 | 渡 井 三 正       | "          |
| "       | 255761 | 電 源 用 ケ ー ブ ル 巻 取 装 置                         | 多 賀 工 場 | 川 崎 正 光       | "          |
| "       | 255772 | ポ ン プ                                         | 多 賀 工 場 | 田 沢 卓 夫       | "          |
| "       | 255754 | 巻 鉄 心 形 変 圧 器 の 製 造 方 法                       | 亀 戸 工 場 | 福 山 博 巳       | "          |
| "       | 255764 | 直 流 電 動 機 の 界 磁 自 動 調 整 装 置                   | 亀 戸 工 場 | 小 林 正 巳       | "          |
| "       | 255765 | 直 流 電 動 機 の 電 機 子 電 流 制 限 装 置                 | 亀 戸 工 場 | 小 林 正 巳       | "          |
| "       | 255770 | シ ェ ル 鋳 形 の 製 造 方 法                           | 亀 戸 工 場 | 高 平 橋 山 藤 貞 之 | "          |
| "       | 255771 | 巻 線 形 誘 導 電 動 機 の 二 次 抵 抗 短 絡 方 式             | 亀 戸 工 場 | 榎 本 勝 雄       | "          |
| "       | 255746 | 反射型クライストロンを用いたパルス変調装置                         | 戸 塚 工 場 | 長 浜 良 三       | "          |
| "       | 255750 | 親 子 電 話 装 置                                   | 戸 塚 工 場 | 野 上 邦 鉄       | "          |
| "       | 255756 | 複 数 個 の 操 作 電 圧 を も っ て 行 う 機 器 の 遠 隔 制 御 方 式 | 戸 塚 工 場 | 中 谷 信 夫       | "          |
| "       | 255757 | に か わ 質 黒 鉛 の 製 造 方 法                         | 中央研究所   | 牟 田 明 徳       | "          |
| "       | 255753 | 軸 箱 支 持 装 置                                   | 笠 戸 工 場 | 齊 田 信 幸       | "          |
| "       | 255755 | インゴット運搬車の台車保護装置                               | 笠 戸 工 場 | 齊 田 信 幸       | "          |
| "       | 255767 | ローリング防止用流体ばね装置                                | 笠 戸 工 場 | 村 田 正 男       | "          |
| 特 許     | 255768 | 空 気 ば ね 高 さ 制 御 弁                             | 笠 戸 工 場 | 小 村 田 正 男     | 34. 10. 19 |
| 実 用 新 案 | 501153 | 接 触 変 流 機 油 冷 却 装 置                           | 日 立 工 場 | 甲 賀 正 三       | 34. 10. 15 |
| "       | 501156 | 接 触 変 流 機 予 備 磁 化 装 置                         | 日 立 工 場 | 橋 本 英 明       | "          |
| 実 用 新 案 | 501158 | 接 触 変 流 機 接 点 部                               | 日 立 工 場 | 吉 岡 孝 幸       | 34. 10. 15 |

(第 70 頁に続く)