

新幹線量産電車の制御方式と制御機器

Controlling System and Equipment of Mass Produced Electric Cars for the New Tôkaidô Line

益 富 文 男*
Fumio Masutomi

山 田 行 雄*
Yukio Yamada

織 田 沢 信 昭*
Nobuaki Otazawa

内 容 梗 概

この電車では、高速運転の安全確保のため、迅速かつ確実なブレーキをはじめ大容量の動作確実な制御装置が特に要求される。このためブレーキに関しては従来の電車と異なり力行用制御器と独立して発電ブレーキ専用の制御器を設け、その抵抗制御軸は電車の各速度域に応じて直ちに最適のブレーキ力が得られるようにあらかじめ進段させておくいわゆるスポッティング制御を行ない、また各速度域に応じて減速度を切り換えて滑走しない範囲で最大のブレーキ力が取れるよう考慮された。安全運転のため地上からの制限速度信号と車速とを常に比較し、列車速度を自動的に制限速度以下に保つようにブレーキ指令または停車指令を出す A. T. C (自動列車制御装置、別論文に掲載してあるので本稿では省く) 装置を設けた。また大容量の力行電力の制御には主変圧器二次二巻線の和差動切換を行ない接触器数を減じて装置の小形化を図るとともに高ひん度大電流のカム軸遮断器を開発した。以下この電車の制御方式と制御機器の主要点について述べる。

1. 緒 言

東海道新幹線電車は去る昭和 37 年度に試作電車 6 両が製作され小田原付近のモデル線区(約 32 km)で各種の性能試験が実施されてきわめて良好な成果を納めた。制御機器についても数種類試作されたが、現地試験の結果にもとづいて標準設計が決定され、これにその後の改良を加えて量産電車の制御機器が製作された。以下その制御方式と制御機器について主要事項をとりまとめて記述する。自動列車制御装置およびインバータなどについては別論文を参照されたい。

2. 一 般 仕 様

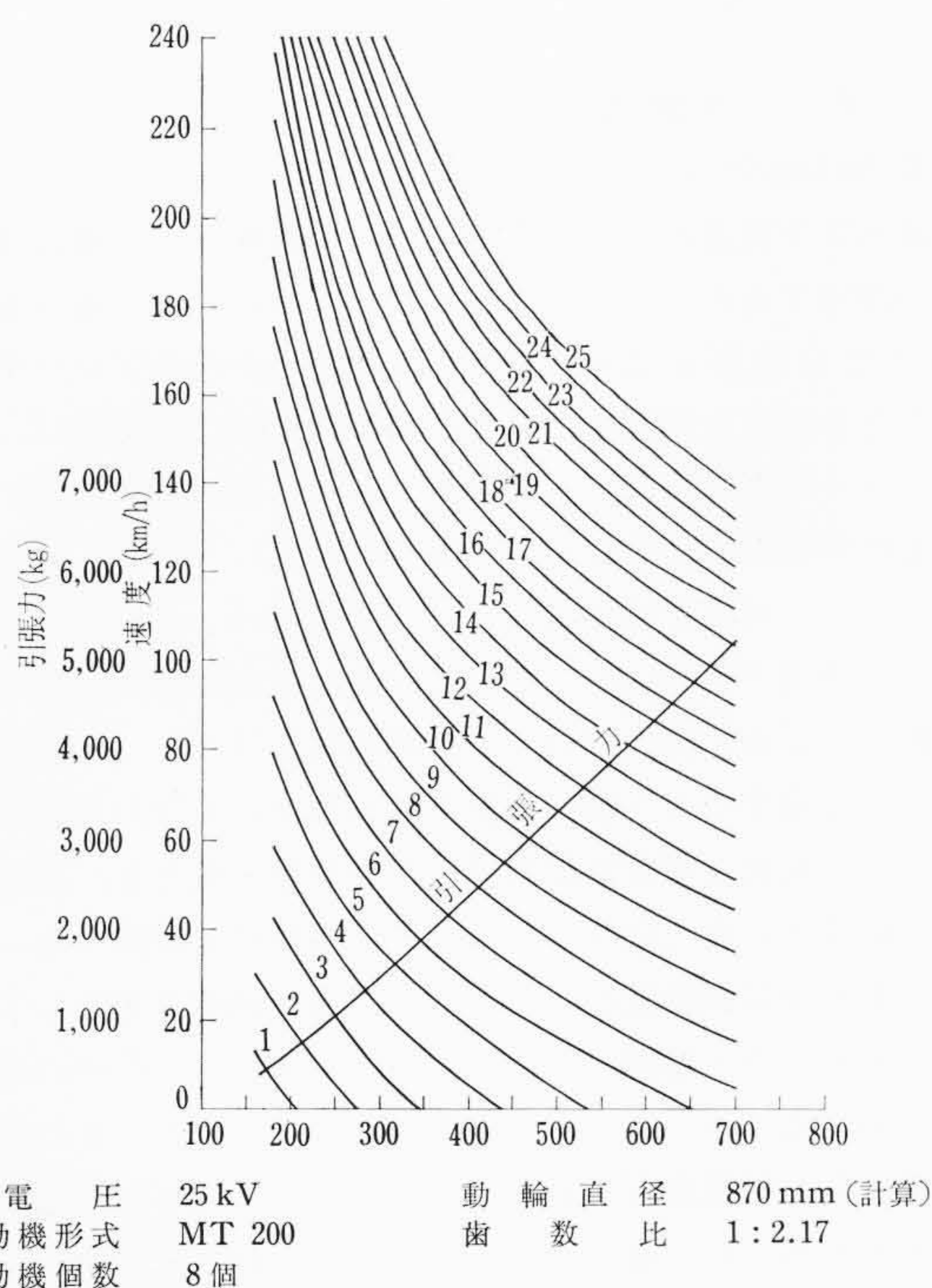
電車 1 ユニット当たりの電気的仕様を第 1 表に示す。また力行時ノッチ曲線を第 1 図、ブレーキ時ノッチ曲線を第 2 図に示す。

3. 制 御 方 式

第 3 図にこの電車の主回路つなぎを示す。この電車は全電動車で主として電源関係諸機器と直流関係諸機器との重量のバランスの観点から 2 両が 1 ユニットになっており、うち 1 両はパンタグラフ、空気遮断器、主変圧器、タップ切換器、シリコン整流器などの電源装置をもち、他の 1 両は遮断器、発電ブレーキ制御器および抵抗器などの直流関係の主回路機器をもっている。

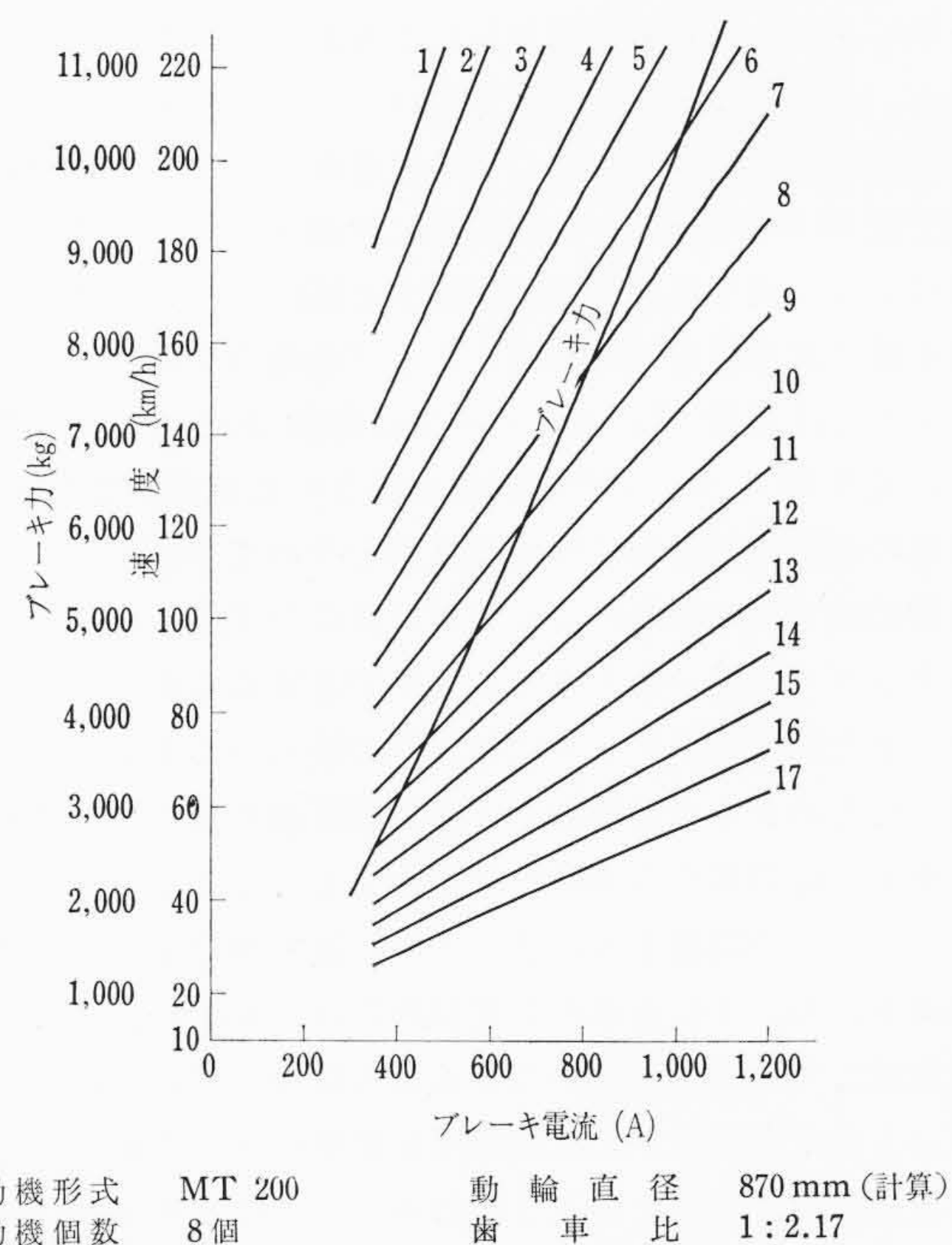
第 1 表 電 気 的 仕 様

電 気 方 式	単相交流 60 c/s 25 kW シリコン整流器式、2 両 1 ユニット
定格出力(1 ユニット当たり)	1,480 kW 連続
制 御 方 式	力 行 低圧タップ切換、25 ステップ ブレーキ 発電ブレーキ、18 ステップ
ブ レ ー キ	制御電圧 直流 100V および交流 100V 方 式 発電ブレーキ (50 km/h 以上) および 空気ブレーキ (全速度域)
制 御	A. T. C. および手動 (速度域に応じて ブレーキ力を 4 段に切換)

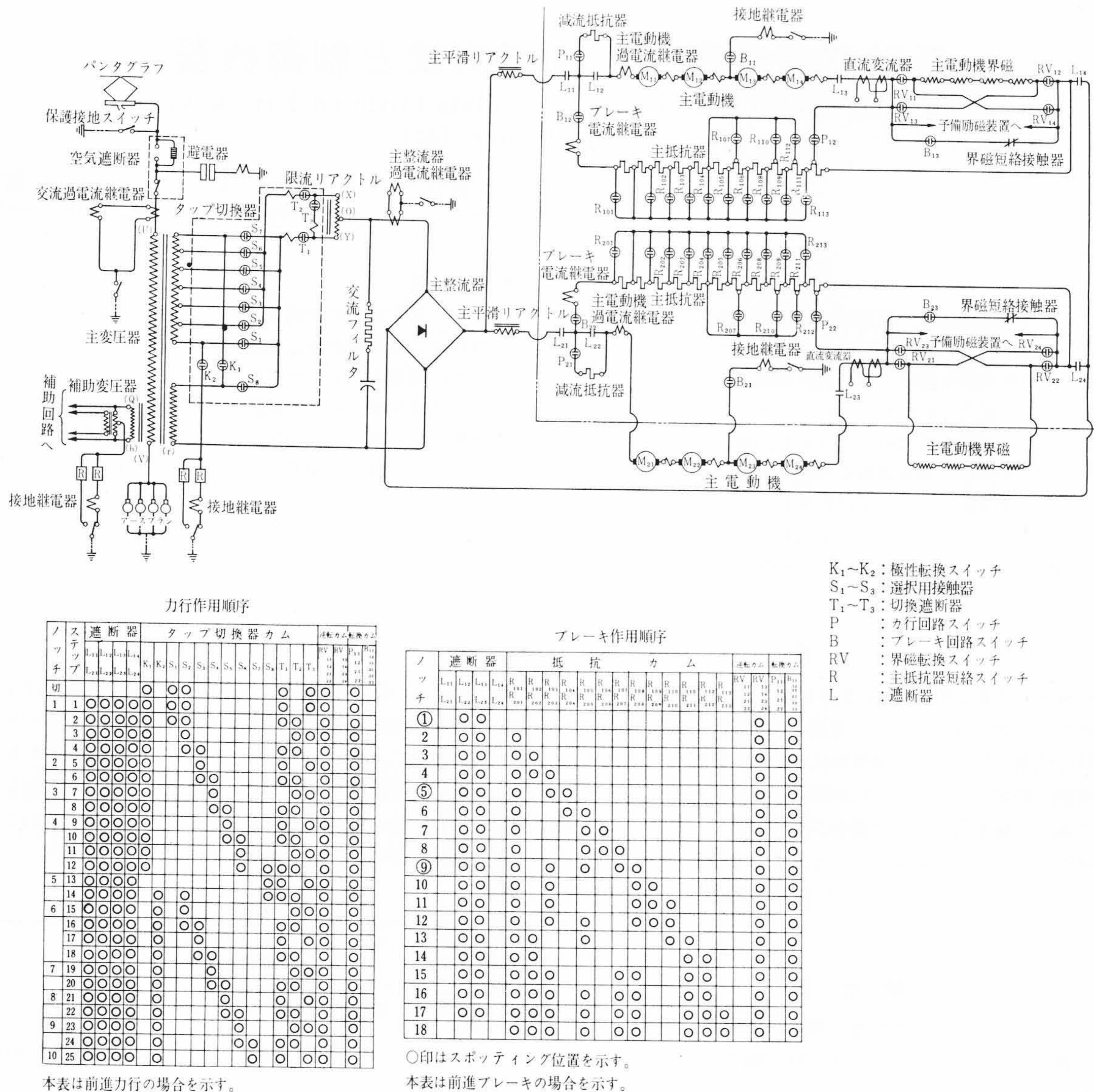


第 1 図 力 行 時 ノ ッ チ 曲 線

* 日立製作所水戸工場



第 2 図 ブレーキ時ノッチ曲線



第 3 図 主 回 路 つ な ぎ

3.1 力行制御

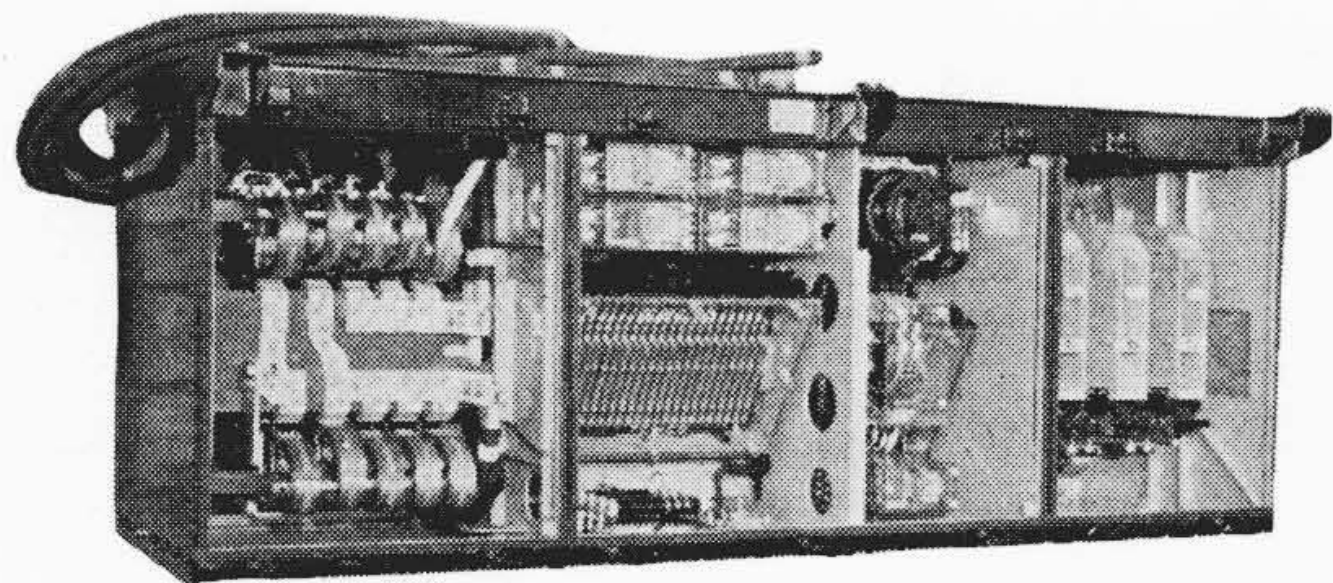
各車に 4 台永久直列接続された主電動機群 2 群 8 台を 1 ユニットに備え、これらの主電動機は 1 台のシリコン整流器から供給される脈流直流電源で駆動される。電車の速度制御は主変圧器に受電した単相交流 25 kV, 60c/s を主変圧器二次側タップに接続したタップ切替器によって切り換えて電圧制御する低圧タップ切替方式による。主変圧器二次巻線を固定巻線とタップ巻線の 2 群に分ち、両者を低ノッチでは差動 (K_1) 高ノッチでは和動 (K_2) に極性切換を行なうことにより 25 ステップの制御段を得るのに主変圧器のタップは 8、切替器の選択用接触器は極性切換器を含めて 10 個としてある。上記極性切換方式の採用により負荷電流に対する二次側電圧変動率を各ステップではほぼ一定とすることができ電車の速度制御が容易となった。また限流リアクトルは軽量化の観点から 1 個のみおく方式を採用したためタップ切替器の切替用遮断器の責務は加速時 1,000 A、ノッチオフ時力率 0 の 400 A を遮断することになりきわめて過酷となったが、この問題も後述する切替用遮断器のすぐれた性能によって解決された。また各車の主電動機群はそれぞれ独立しており万一 1 車故障しても開放運転ができるようになっている。このとき開放ユニットの主電動機が二次側電圧変動率によって他の健全ユニットに対し過負荷にならないよう開放ユニットは 1 ノッチ下段に制御されるよう考慮されている。

3.2 ブレーキ制御

速度 50 km/h 以上の高速度域では発電ブレーキ、それ以下の低速度域および高速度域でも発電ブレーキ失敗などの場合は空気ブレーキが作用するが、ここでは発電ブレーキについて述べる。別論文に掲げた自動列車制御装置または運転士からのブレーキ指示に従い、ただちに各主電動機群の力行回路を遮断(第 3 図の L スイッチ)しブレーキ回路を形成する (P スイッチを開き B スイッチを閉じるとともに界磁群の極性切換を同時に行なう)。発電ブレーキは高速度域で作用させるため迅速なることを要する。たとえば 200 km/h における秒速は約 60 m でありわずかな空走時間でもブレーキ距離は大幅にのびるため、回路の切替時間およびブレーキ電流の立ち上り時間を短縮するよう特に考慮が払われた。すなわち主回路の力行—ブレーキ転換と各主電動機界磁群の極性転換とを、後述する主制御器の転換カム軸で同時に行なって切替時間を短縮する。抵抗制御軸は自動列車制御装置の指示に従って電車速度に対応してブレーキ初期の衝動の許す範囲であらかじめ力行およびだ行中に進段させておくいわゆるスポットティング制御を行なっている。また発電ブレーキ初期に各主電動機群の界磁を予備励磁してブレーキ電流の迅速な立ち上りを図った。電車が高速になるにつれて踏面の粘着係数が低下するので、速度域を 4 段階に分けてそれぞれの速度域で最も有効でかつ最大の発電ブレーキ力が得られるように自動列車制御装置が

第2表 低圧タップ切換器仕様

項 目	仕 様
方 式	電 動 カ ム 軸 式
制 御 段 数	25 ス テ ッ プ
平 均 進 段 時 間	0.5~0.7 秒/ス テ ッ プ
定 格 主 回 路 電 圧	AC 2,261V
定 格 主 回 路 電 流	AC 700A連続
制 御 回 路 電 圧	DC および AC 100V
切 換 遮 断 器	回 路 電 圧 AC 2,261V 極 間 電 圧 AC 174V 定 格 電 流 AC 850A連続
選 択 用 接 触 器	回 路 電 圧 AC 2,261V 極 間 電 圧 AC 1,044V 定 格 電 流 AC 850A連続



第4図 低圧タップ切換器

らの速度域指示に従って限流値を変えている。

一方、万一1主電動機群に故障が起ころうとも他の健全車には正常に発電ブレーキが作用し、空気ブレーキ機器の損耗を軽減するように発電ブレーキは各車に全く独立して作用するように考慮されている。

4. 制 御 機 器

4.1 低圧タップ切換器

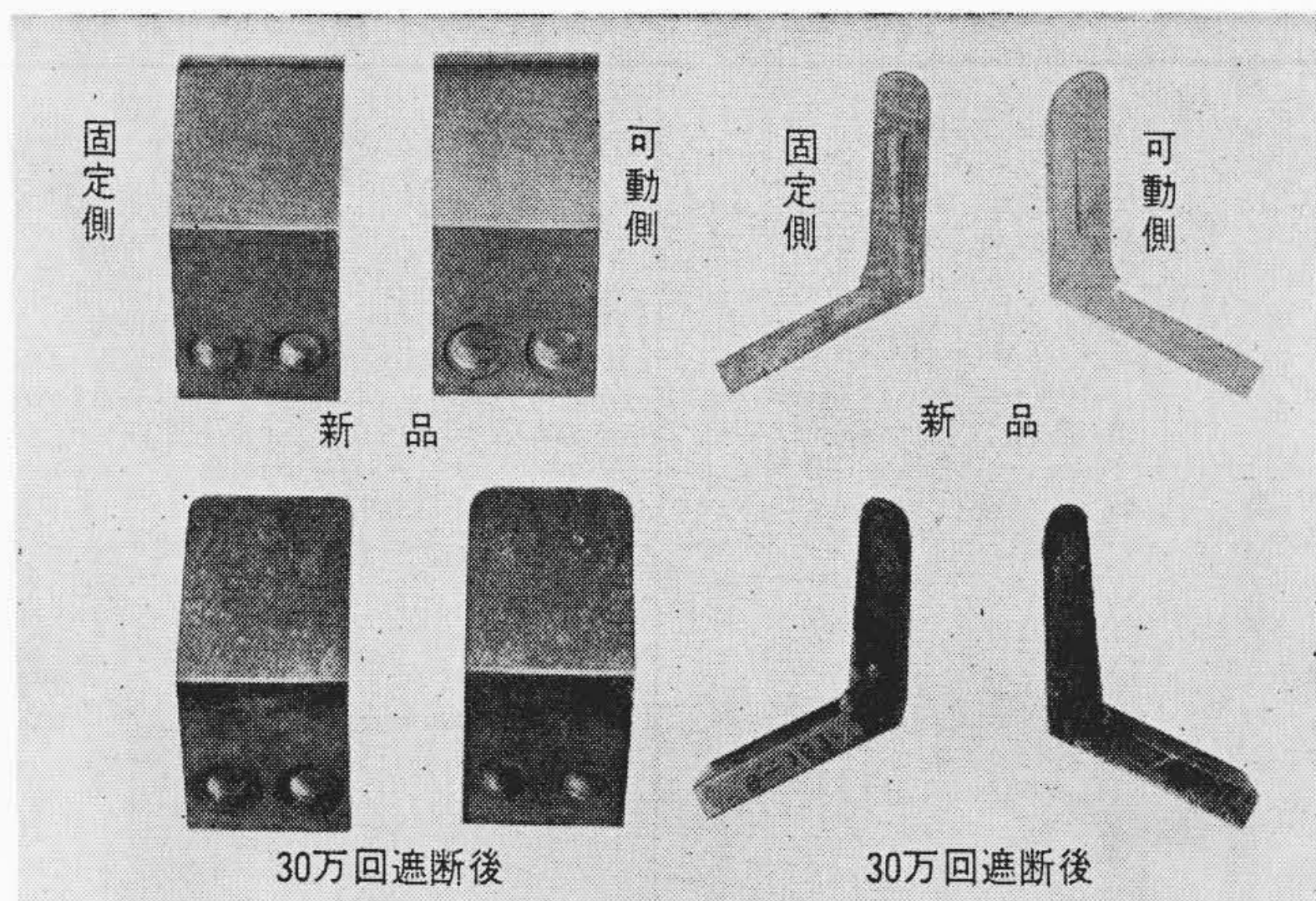
新幹線では第3図の主回路つなぎに示すように1個の限流リアクトルを用いる低圧タップ切換方式が採用された。この切換器は主変圧器二次タップを無電弧で切り換える選択用接触器および切換遮断器からなりおもな仕様は第2表に示すとおりである。第4図に示されるようにぎ装主変圧器と接続する選択用接触器10個を左側に、限流リアクトルへ接続する切換用遮断器を右側に、駆動装置と制御回路機器を中央に配置している。箱わくの構造上の特長は下記のとおりである。

- (1) 軽量で十分な剛性をもたせるため鋼板一体溶接構造としてある。
- (2) 主回路交流電流によってわくが温度上昇しないよう、所要所に非磁性ステンレス材を用いている。

なお防塵のため前面および底面カバーに耐食アルミ板を用い密閉するとともに、継電器およびカム軸制御回路接点をそれぞれ防塵箱に収納している。切換遮断器室の側面には、フィルタを介してトンネル通過時に器内外の気圧バランスを図るための小窓を設けている。制御回路の接続にはキャノンプラグが用いてある。

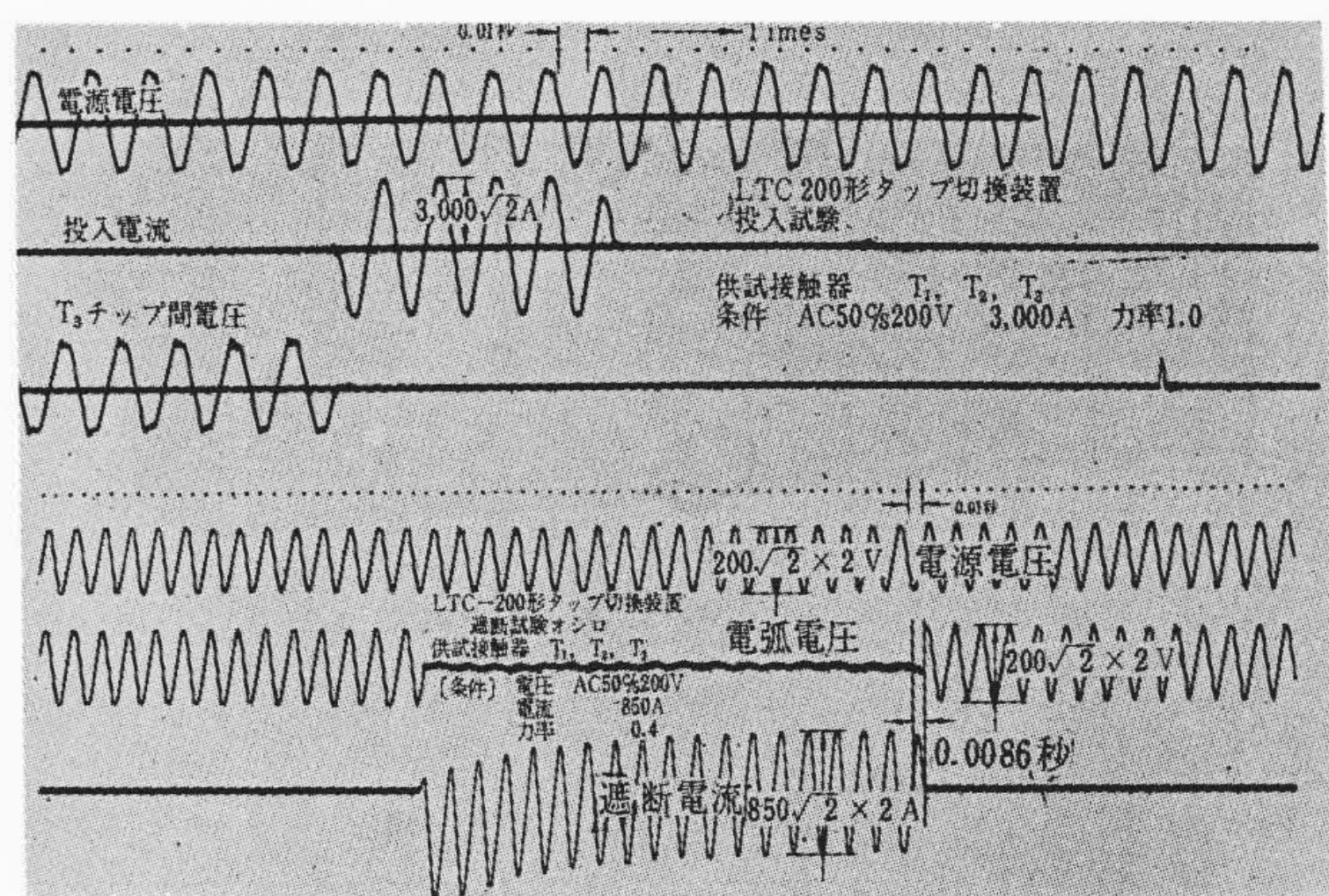
4.1.1 切換用遮断器

切換用遮断器としては常時閉路形のカム接触器を用い、高ひん度で大電流を開閉するため、主接触子のほかに、電流の投入遮断をするアーク接触子を設けている。遮断性能向上のため接触子に傾斜角度をもたせ、アークシュートと器壁とを十分離れた。接触子の傾斜角度は種々実験の結果、接触面に塵埃のつものを防止する観点から、水平方向に対し60度上方をむける構造を採用した。また長寿命化を図るため、接触子、アークホーン、磁気回路およびアークシュートについて特別な考慮が払われている。特にアークシュートは半永久的に荒損しない形状としてある。



AC 50 c/s 200 V 750 A 力率 0.7

第5図 30万回投入遮断試験後のアーク接触子比較



第6図 投入遮断試験オシログラム

第5図は2秒間隔で30万回実負荷相当の投入遮断試験を行なったアーク接触子の写真であるが、摩耗限度に対しまだ十分余裕を有している。

第6図に投入試験および遮断試験の代表的オシログラムを示す。カムダイアグラム上アーク余裕時間10サイクル以上となるよう選んであり、所期の遮断性能を十分満足している。

4.1.2 選択用接触器

選択用接触器は電流の開閉を行わず、切換遮断器と機構的に連動する通電用切換接触器である。常時閉路形のカム接触器で切換遮断器と同様絶縁スピンドルに取り付けてある。たわみ導体には大電流用として幅の寸法を短縮できる積層銅板を用い、主接触子にフルフローテング構造を用いている。固定接触子は絶縁板上に取り付けられた銅帯をボルト締めしている。電接面にはすべて銀メッキ処理が施してある。主接触子の間げきは主変圧器のサージ移行率を考慮して選んである。

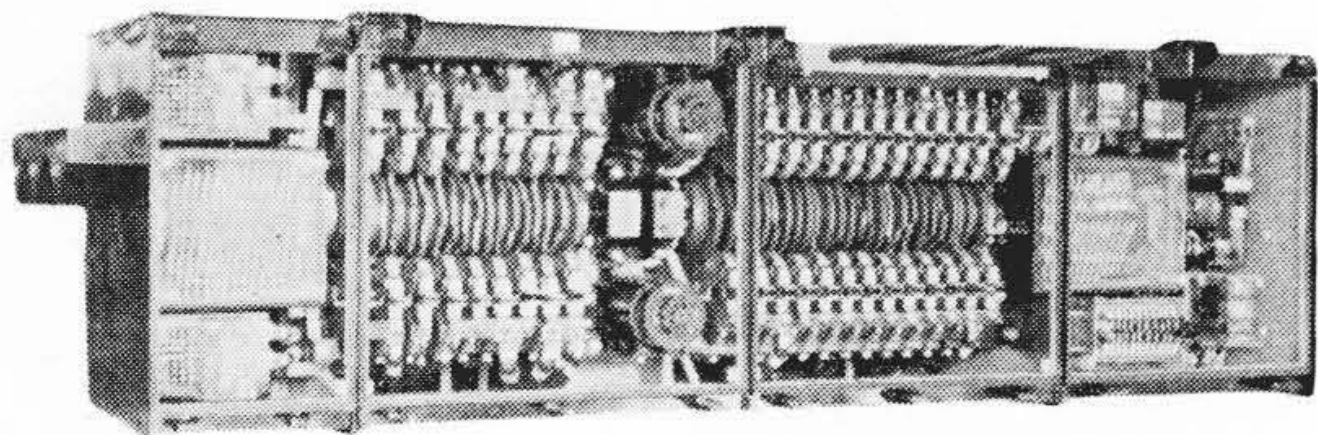
4.1.3 駆動装置その他

遮断および通電容量がきわめて大きいため在来のカム軸制御器に比べカム軸トルクが大きいので、十分な強度を持たせ、かつ、選択用接触器カム軸トルクを対向させた。切換用遮断器の切換途中で万一制御回路が断線しても切換遮断器の主バネの力により、投入動作が行なわれるようにし、異常時においても主接触子が主回路電流を通電し、アーク接触子を過熱することのないように協調がはかられている。

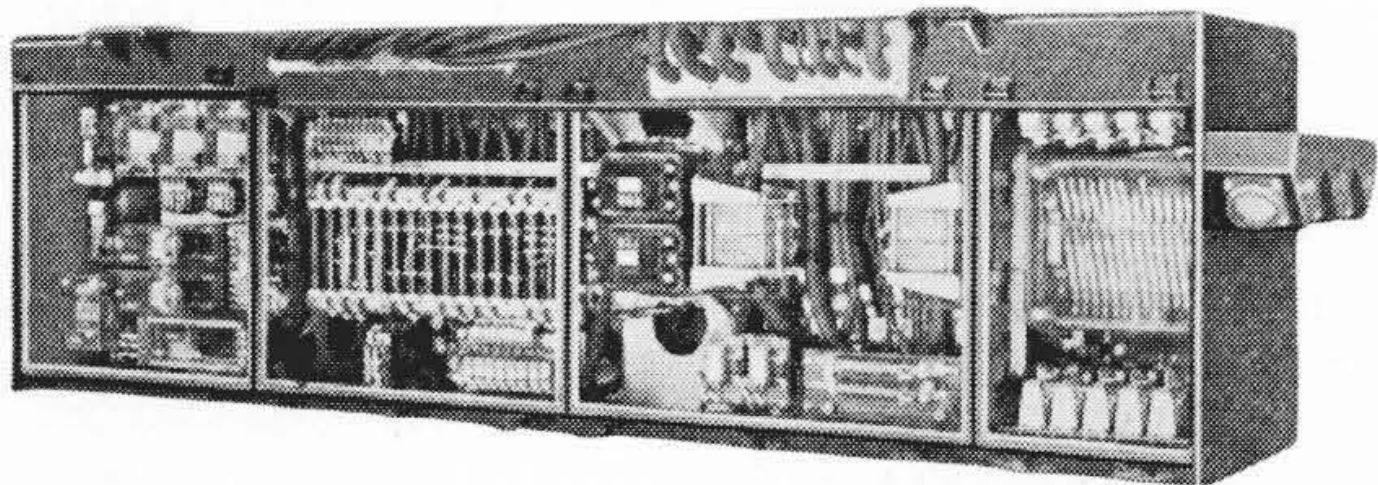
操作電動機には慣性能率の小さいものが採用され、その制御方式としては制御極付シリコン整流器を用いた無接点式操作電動機制御装置が使用してある。接点がないので保守点検は容易であ

第 3 表 発電ブレーキ制御器仕様

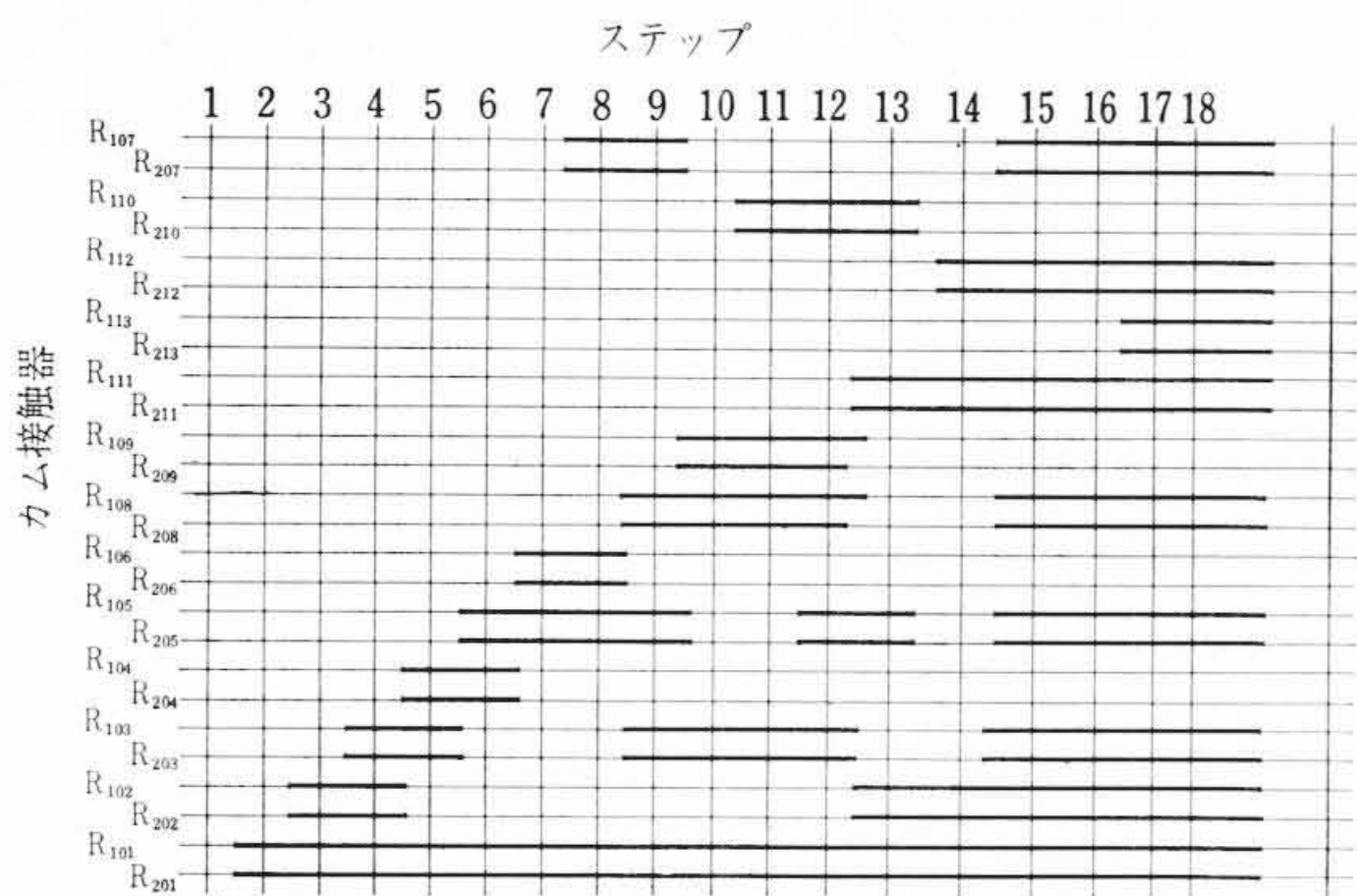
項 目		仕 様
方 式		電 動 カ ム 軸 式
連 続 定 格	主 回 路 電 圧	直 流 1,660V
	主 回 路 電 流	SR 17 形カム接触器 直流 500A SR 19 形カム接触器 直流 300A
	制 御 回 路 電 圧	直流 100V および交流 60 c/s 100 V
	制 御 段 数	18



第 7 図 (a) 発電ブレーキ制御器 (正面)



第 7 図 (b) 発電ブレーキ制御器 (裏面)



第 8 図 主カム軸カムダイヤグラム

る。

4.2 主 制 御 器

この制御器は発電ブレーキの制御と、力行制動の回路の切換を行なう制御装置で、その一般的な仕様は第 3 表に示すとおりである。

4.2.1 構 造 と 特 長

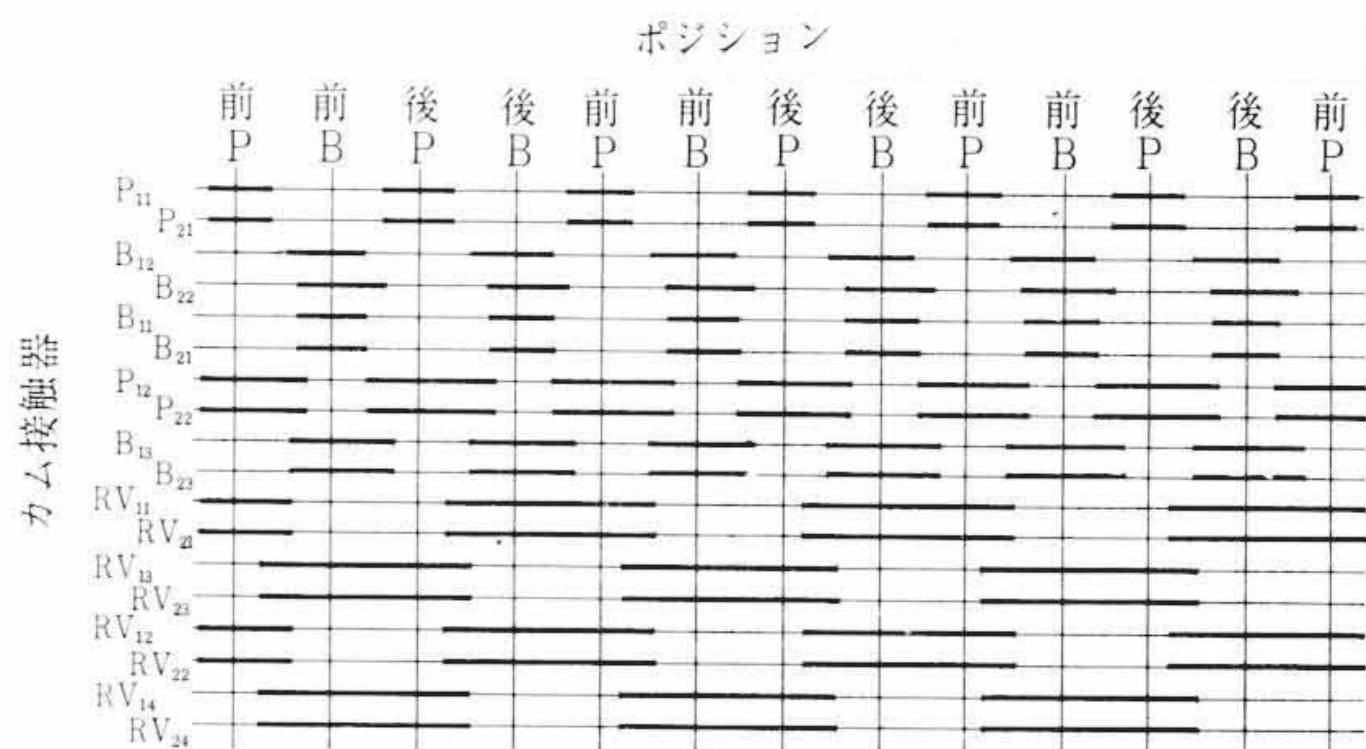
(1) 全電動カム軸制御

制御器は電動カム軸式で、ブレーキ抵抗を順次短絡する抵抗カム軸と、前進後進および力行、制動の回路の切換を行なう転換カム軸を備えており、おのおの別個の操作電動機で駆動されている。

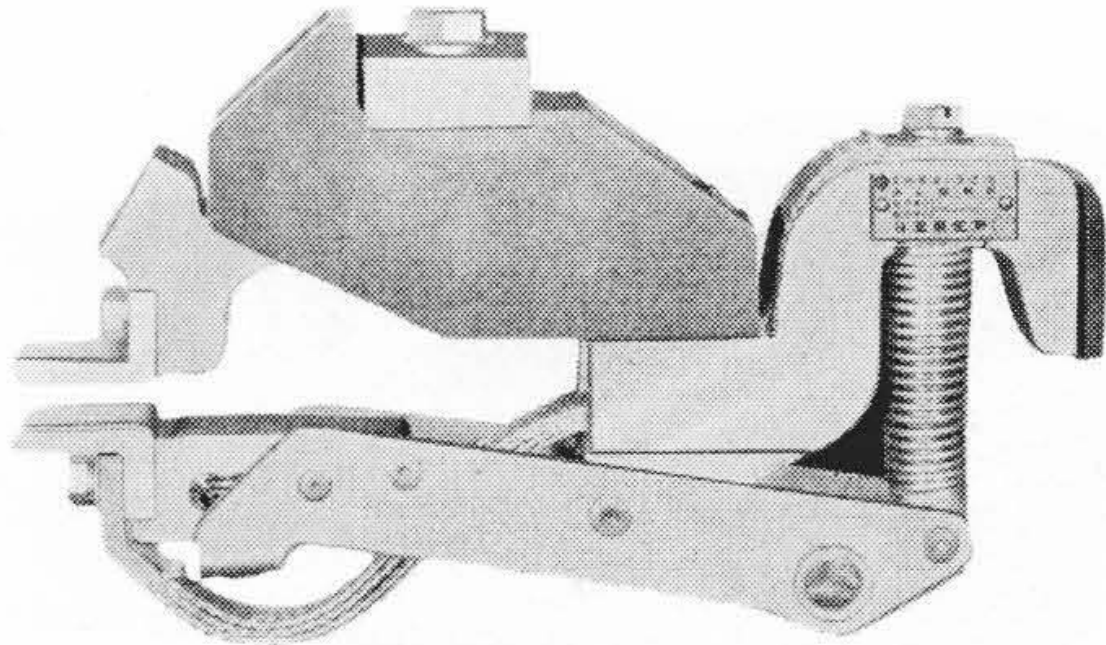
このほかカム接触器、界磁短絡接触器、限流値制御装置、各種継電器などを含めて一つの箱に納められている (第 7 図 (a) および (b) 参照)。

(2) 動 作 速 度

新幹線電車では高速運転のため、ブレーキの立ち上りまでのむだ時間が大きいと空走距離が大きくなるため、制御装置には特に速い動作が要求される。この制御器では転換カム軸の力行から制動への転換時間を約 0.33 秒に押え、抵抗カム軸を電車の速度に応



第 9 図 転換カム軸カムダイヤグラム



第 10 図 SR 19 形カム接触器

じた位置にスポッティングを行ない、予備励磁の効果とあいまって発電ブレーキ電流の立ち上りを迅速にしている。

(3) カム接触器の動作順序

前項のように速応性の高い動作をさせるため、転換カム軸は前進力行、前進制動、後進力行、後進制動の 4 位置のサイクルをカム軸角度 120 度で行なうようにしてある。抵抗カム軸は発電ブレーキ抵抗の全制御段をカム軸の 1 回転におさめており、いわゆる 1 回転制御である。そのカムダイヤグラムを第 8 図および第 9 図に示す。

(4) 操作電動機制御

前項に述べたように、特に転換カム軸では速い応答動作に対し、制御段の間隔が小さいため、操作電動機にはすべりの少ない安定した制御方式が必要である。

この制御器では操作電動機の電機子に並列にリアクトルとそれに直列な調整抵抗を接続したリアクトルブレーキ法を採用している。

(5) カ ム 接 触 器

カムでローラを押し上げて開路する常時閉路形を用い、万一の溶着に対しても安全であるよう考慮されている。

また、鋼板製の可動腕を有するため可動部が軽量で接点のチャタリングはきわめて少なくなっている。カム接触器の外観を第 10 図に示す。

(6) 制御回路接点

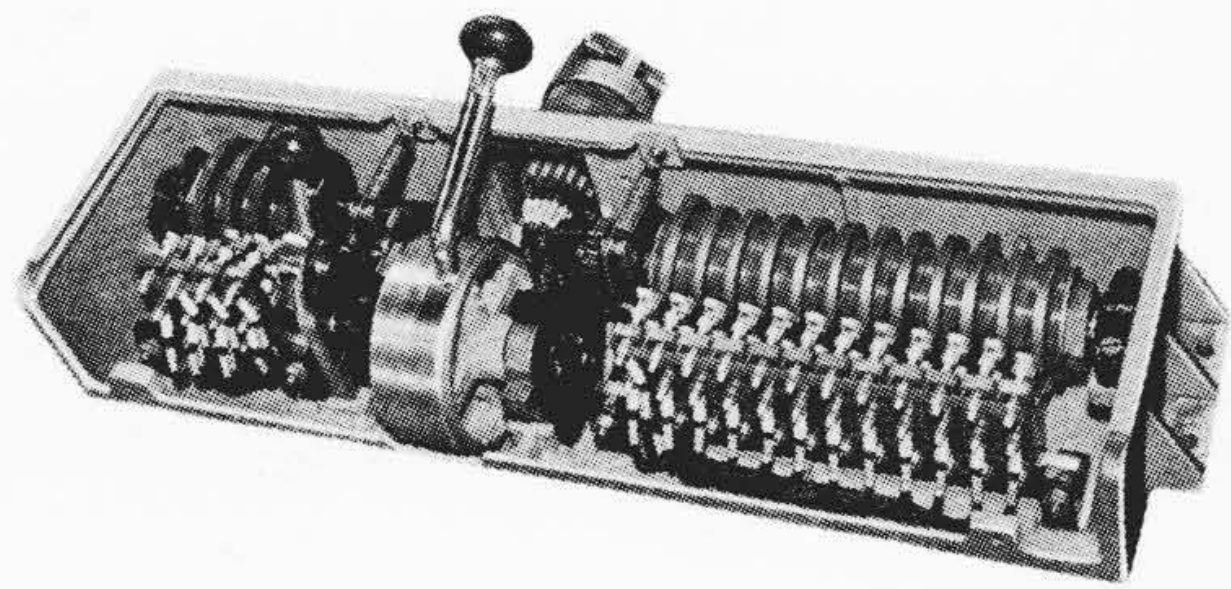
制御回路接点は、高速電車であることから絶対的な信頼性が要求されている。このため接点の接触子面はすべて垂直とし、特定のものを除き双子形を使用するとともに、すべて透明樹脂製の防塵カバーを設け塵埃による接点障害を防止している。なおカム軸の接触器には 4.2 項の低圧タップ切換器のものとまったく同一のものを使用している。

(7) 軽 量 箱 わ く

構造上の特長として、大物部品の取付金具類を強度部材に用いた一体溶接構造の箱わくがあげられる。これにより数十 kg の重量軽減が可能となった。

4.3 保 守 と 寿 命

この主制御器の主要部品については 250 万回の動作試験を行なっ



第11図 主幹制御器

てなんら支障のないことが確かめられている。

また新幹線電車の運用上の要求から接触子の手入れ周期についても十分に考慮され、1箇月以上無点検使用が可能であるように設計されている。

4.4 主幹制御器

高速度の車両では運転士席の居住性をよくし、操作を容易にするとともに疲労を軽減することが特に重要視される。このため横形垂直方向操作式の主幹制御器が製作された。操作角度をできるだけ小さくし、操作力は腕および手首で感ずる力の差異が少なく、ノッチ刻みの手ごたえに信頼感が得られる3kgに選定された。スターホイールの形状およびレバーのスプリングの定数などは数種の組み合わせ実験の結果定められている。第11図に外観を示す。軽量化のためケースはアルミ合金鋳物製で、カバーは運転台の一部をかねるため加工性と剛性の点から鋼板製としてある。主ハンドルは「切」および「1～10」ノッチの11段、逆転ハンドルは「前」「切」「後」の3段である。

4.5 継電器類

この電車に使用される継電器はそのうち、約半数に日立製作所製のものが使用されている。これらの継電器は、形式別にして18種類に分類されるが、構造的に分類すると、8種類に統一されている。これらの継電器の、一般的な特長としてあげられることは、

- (1) 防じんのため、プラスチックカバーをつけた。
- (2) 外部配線用の端子台を設け、配線の着脱を容易とした。
- (3) たわみリード線を極力廃し、板バネフィン方式とした。

などである。

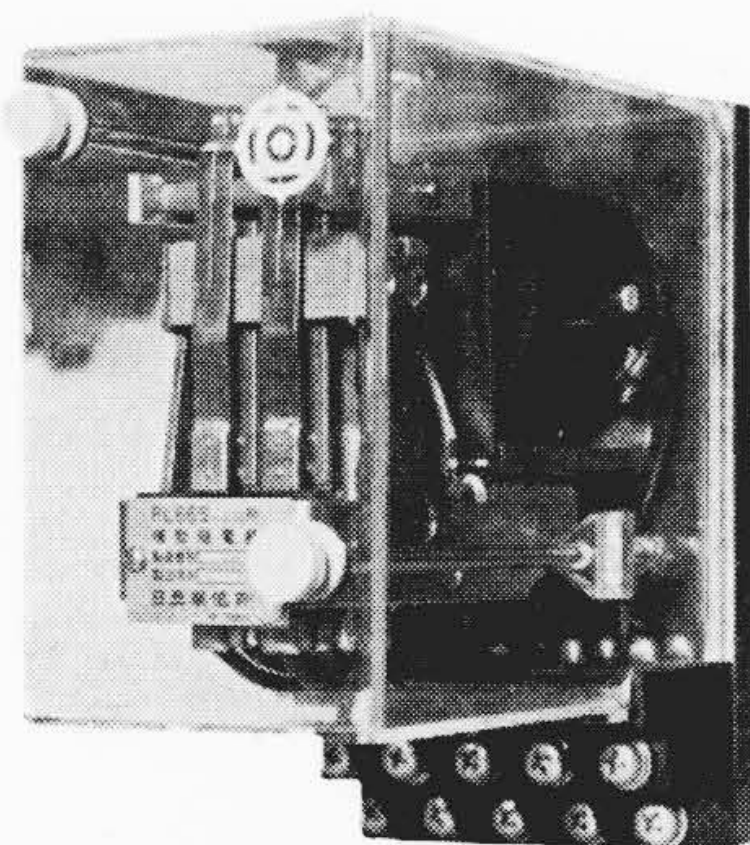
プラスチックカバーは、簡単な構造のものには、スチロール樹脂の成形品を使用し、成形のむずかしい構造で、員数の少ないものには、アクリル樹脂板のはり合わせ構造を使用した。

継電器の配線としては、接点部分および操作コイルがあり、おのこの端子部分に直接外部からの配線を行なうことは、配線が不ぞろいとなり、また、プラスチックカバーでおおった場合に、電線引き出し穴の密閉方法がむずかしいので、継電器の取付板に端子台を固定し、外部配線はすべてこの端子台に集中する構造とした。また端子台の外部配線側のみを、プラスチックカバーの外部に露出させて、防塵構造を容易ならしめてある。

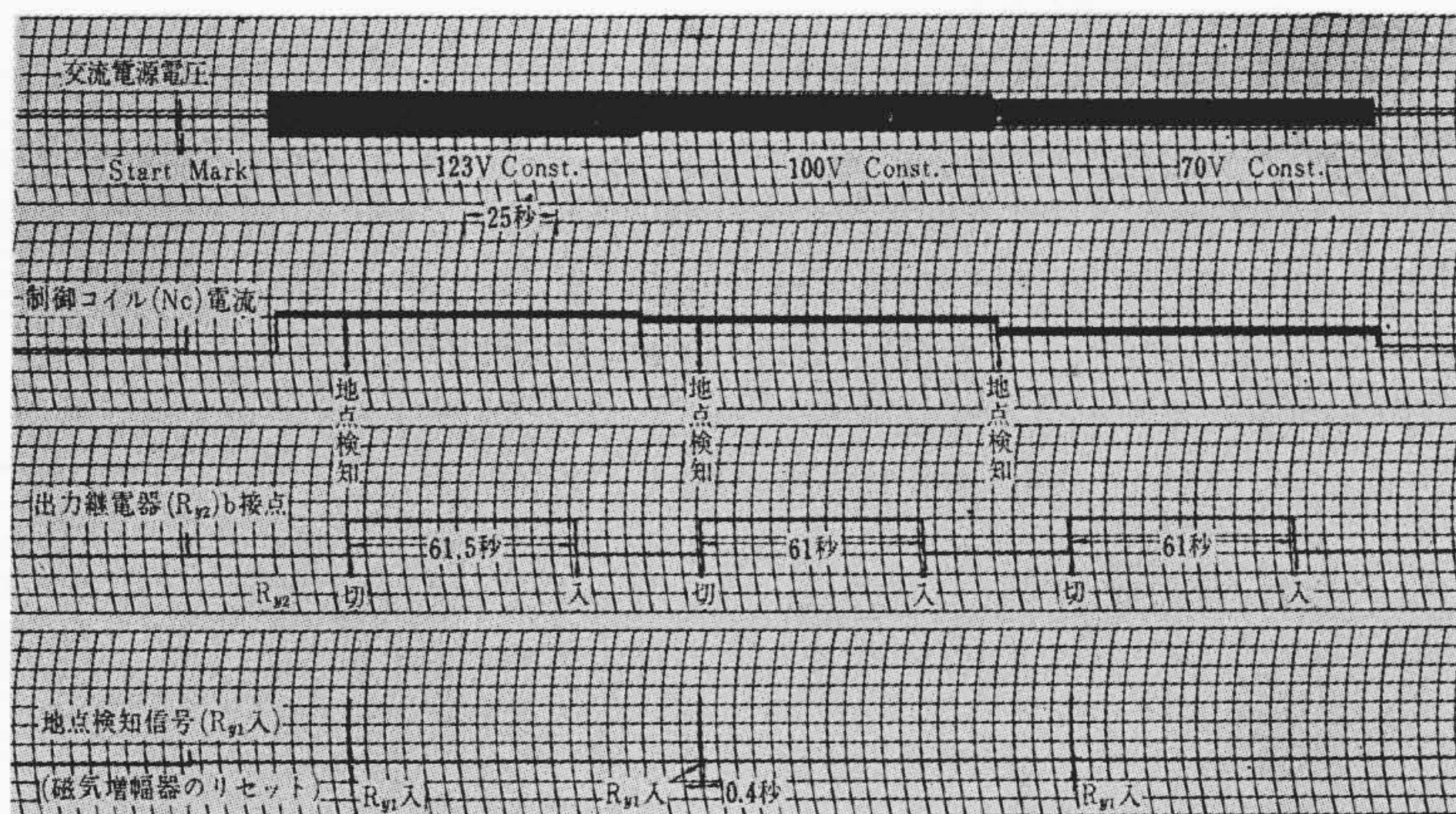
可動接触子をベリリウム銅板の板バネフィンガとし、合成樹脂成形品の操作カードによって、接点の開閉を行なわせる構造とした。操作カードの材質は衝撃の大なる構造の継電器には、グラスファイバを基材としたジアリルフタレート樹脂を使用している。使用した継電器の一例を第12図に示す。

4.6 遅延形磁気増幅器

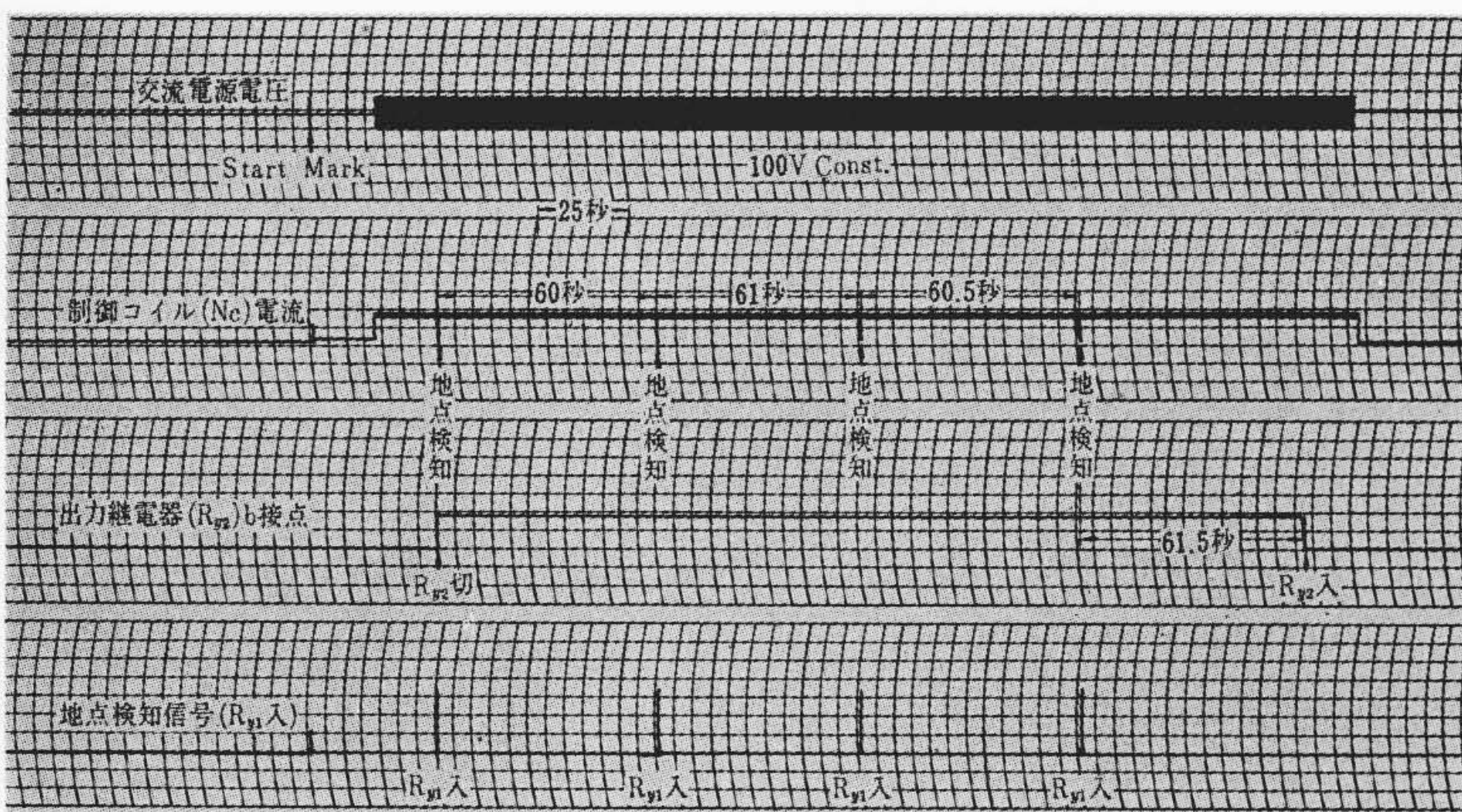
電車がトンネル内を高速で通過するとき、電車内外に生ずる気圧



第12図 RL 665-1-220 形補助継電器



第13図 交流電源電圧変動の時限に対する影響



第14図 連続して地点検知した場合

差による不快感を除去するため、地上子を利用してトンネル入口から一定時間車体を外気から完全に締め切るとは別論文に述べた。このため車が地上子を踏み地点検知を行なってから約60秒時限をもたせ、かつ長大トンネル通過時数個の地上子を踏んだ場合には瞬時にリセットされ、最後の地上子を踏んでから60秒間締め切り指令が出される。静止形遅延素子としては磁気増幅器を利用した。すなわち通常の磁気増幅器に短絡巻線を付加し、磁気増幅器を不足励振状態で使用するとき最少出力点で生ずる不動時間を積極的に利用したものである。

またこの増幅器は各巻線を同一電源からとりかつ定数を適当に選定することにより、電圧変動に対し遅延時間の精度が高くなっている。

第13図はこの増幅器の電源電圧変動(+20%/-30%)に対する遅延時間の影響を示すオシログラムの一例であり、第14図は連続的に地上子を踏んだ場合のオシログラムの一例である。

5. 結 言

以上量産形電車の制御方式および制御諸機器の特長について述べた。これらの機器は十分所期の性能を発揮するものと確信する次第である。

最後にこれらの諸機器の製作に際し、日本国有鉄道当局、特に設

計上のご指導をいただいた臨時車両設計事務所および現地試験にあたり、種々有意義なご意見をいただいた幹線局、技術研究所、モデル線区のかたがたに深く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 車両技術 8 (1963-1)
- (2) 斎藤，中丸：日立評論 45, 494 (昭 38-3)

製 品 紹 介

東海道新幹線用 70 kV アルミ被 OF ケーブル

日立電線株式会社では、今回東海道新幹線給電用ケーブルとして 70 kV 3 心 250 mm² ポリエチレン防食アルミ被 OF ケーブルを布設納入した。次にこのケーブルの特長，構造および性能の概要について紹介する。

おもな特長

- (1) ケーブル重量が鉛被ケーブルの約 60% であるので，ドラム単長を 600 m 余として運搬，布設することができた。
- (2) アルミ被の耐内圧強度が大きいため補強層が不要である。
- (3) 耐振性および機械的強度がすぐれているので，ことに鉄道沿線のように振動の多い布設面の浅い場所に適している。
- (4) 油通路用スパイラル管および介在を使用する必要がないので，油流抵抗が小さく，鉛被ケーブルの約 1/5 になり，過渡

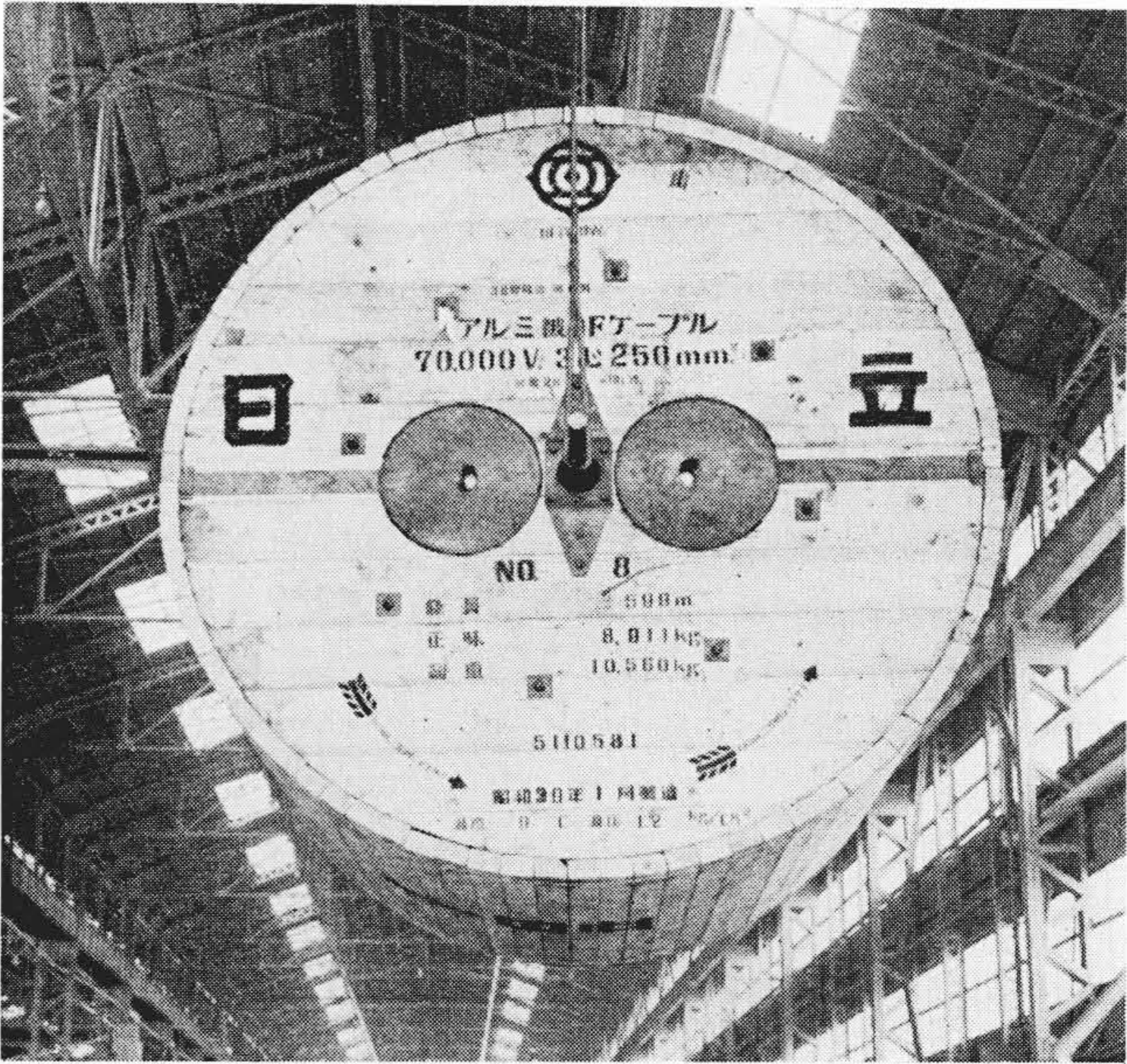
- 油圧変化を容易に吸収することが可能であり，給油区間を長くとれる。
- (5) アルミ被に波付けを行なっているので，可とう性に富み，鉛被ケーブルと同様に取り扱うことができる。
 - (6) シースの電気抵抗が小さいので，故障時外部への誘導障害が少ない。

第 2 表 ケーブルの電気特性

項 目	数 値	備 考
交 流 長 時 間 耐 電 圧	260 kV/2 時 2 分	端 末 破 壊
衝 撃 耐 電 圧	640 kV/2 回	ケ ー ブ ル 破 壊
誘 電 正 接	0.32 % 以下	{ 44, 67, 89 kV } { 2.5~8.0℃ }

第 1 表 ケーブルの構造

項 目	単 位	規 格 値
使 用 電 圧	kV	70
導 体	公 称 断 面 積	mm ² 250
	線 心 数	— 3
	外 径	mm 19.2
絶 縁 厚 さ	mm	8.0
遮 へ い 層 厚 さ	mm	0.25
3 心 より 合 せ 外 径	mm	77.1
アルミ被	厚 さ	mm 2.2
	波 付 け 高 さ (約)	mm 6.1
ポ リ エ チ レ ン 層 厚 さ	mm	3.5
概 算 外 径	mm	103
概 算 重 量	kg/km	15,000
最 大 導 体 抵 抗 (20℃)	Ω/km	0.0725
標 準 静 電 容 量 (20℃)	μF/km	0.37



第 1 図 東海道新幹線用 70 kV アルミ被 OF ケーブル