

SLS-13 形 運 転 基 本 性 能 曲 線 計 算 機

Train Simulator, Type SLS-13

沼 倉 俊 郎* 河 村 重 憲**
Toshio Numakura Shigenori Kawamura

酒 井 好 行** 牧 田 睦 男***
Yoshiyuki Sakai Mutsuo Makita

内 容 梗 概

ある線区において、与えられた動力車に適応するけん引両数を決定し、この条件のもとで運転曲線を描き、駅間運転時分を定めることは、運転計画上基本の事項である。

本計算機は日本国有鉄道本社運転局に設置され、これら運転計画をたてる上に必要な基本性能曲線群を自動的に演算描写するのに使用されている。この動作原理および装置の概略について説明する。

1. 緒 言

運転曲線計算装置については、前に記されている⁽¹⁾が、本機はその姉妹機として、前装置の機能中、特にランカーブを描く場合必要な特殊走行曲線(こう配が一定の区間における運転曲線)を描くことを主眼として、より簡略化し、かつ加速力曲線および荷重曲線描図機能をも、もたせたものである。

従来運転曲線を描く場合は、こう配をパラメータとした速度—距離曲線(これは柳線と呼ばれているが)を多種類用意しておき、各こう配の一定である区間ごとに、その曲線群より列車条件およびこう配の一致した曲線を選び出して次々とつなぎ合わせていく方法が用いられていた。

このこう配別速度距離曲線を描くことは非常に手数を要したもので、まず動力車の引張力をもとに、その列車のトン当りの有効加速力(引張力と列車抵抗との差を列車重量で除したものを)算出し、これを積分して所要列車の各こう配における速度距離関係を求めたわけである。

したがってダイヤ改正のつど、各種各様の列車体系に適応する力行および惰行時の柳線を描くことは、ばく大な人力を必要としたもので、反面この柳線さえできておれば、全国各線区において、運転時分査定に必要なランカーブは、単にこれを写しとるのみで、比較的簡単に一連の作業が達成できる。

国鉄においてはこのような観点から、全国各管理局に運転曲線計算機を設置するかわりに運転局にこの計算機を用意しておき、必要のつど、柳線を作成配布することとし、運転計画の能率化を図ることを目的として本装置を立案されたのである。

また運転計画をたてる場合、動力車の引張力にはある限界があるから、列車が停車場間を定められた時間で運転するためには、連結すべき客貨車の重量(厳密に言えば列車抵抗)にある限度を定めて、超過しないようにする必要がある。けん引定数はこれらを防止して列車を安全に、しかも定時に運転するために、連結しうる客貨車重量の限度を示すもので、荷重曲線によって決定されるものである。すなわち荷重曲線とは引張重量を縦軸に、速度を横軸にとって、図示したもので、各種機関車のけん引荷重—均衡速度の関係を示すものである。

このように荷重曲線は、輸送上要請されるけん引荷重に対し、各種こう配時の均衡速度を算出したり、あるいは所要速度を出しうるけん引重量を求める場合に用いられ、運転計画上重要なものである。

が、こう配をパラメータとし、後述するような面倒な割算を行うため、この算出には従来数時間要したといわれる。

本計算機はこれら運転計画に必須な重要曲線群をスピーディに算出描画するために、運転曲線計算装置より独立させ試作されたもので、これにより速度定数分野の作業を、より能率化しようとするものである。

以下、本計算機の動作原理、各演算要素の概要を説明し、具体的計算例についてのべてみる。

2. 本機の動作原理

2.1 基本運動方程式

列車の運動方程式は次のように表わされる。

$$\frac{dv}{dt} = \frac{T(v) - (W_L r_L + W_F r_F)}{W_L + W_F} + G \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{ds}{dt} = v \times \frac{1}{3,600} \dots \dots \dots (2)$$

ここに v : 列車速度 (km/h)

t : 時 間 (秒)

S : 走行距離 (km)

$T(v)$: 機関車の引張力 (kg)

G : こう配による加速度 (kg/t)

W_L : 機関車重量 (t)

W_F : 客貨車重量 (t)

r_L : 機関車走行抵抗 (kg/t)

r_F : 客貨車走行抵抗 (kg/t)

()内は単位を示す。単位中 kg は質量ではなく kg-g の力を表わす。

$T(v)$ は機関車において、固有の特性で、速度の関数である。

r_L, r_F は機関車および客貨車、それぞれの列車が走行することにより受ける抵抗で、次の式で表わされる。

$$r_L = a_1 + b_1 v + C_1 v^2 + d_1 F(v) \dots \dots \dots (3)$$

$$r_F = a_2 + b_2 v + C_2 v^2 + d_2 F(v) \dots \dots \dots (4)$$

上式中、 $F(v)$ は列車出発時の初速抵抗で、 $v = 0$ において一定値をもち、 v がある速度に達するまで、直線的に減少して 0 となり、それより大なる v では、0 のまま一定となる形の関数である。

G はこう配があることによって起きる加速度で、実際のこう配を千分率で表わした値を n (%) とすれば

$$G = n(\text{kg/t}) \dots \dots \dots (5)$$

となりこのこう配の値 n をそのまま用いてよい。

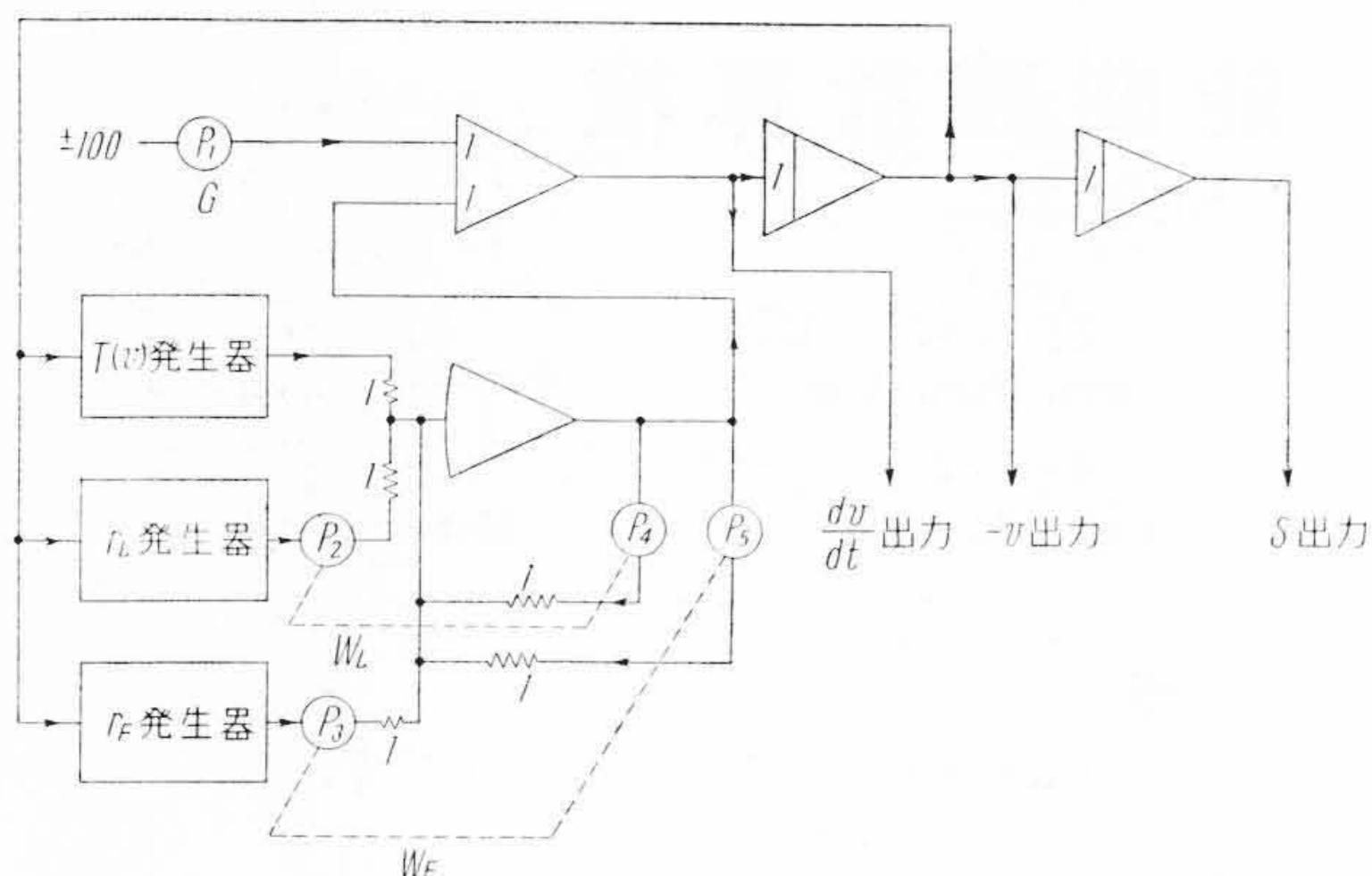
2.2 速度—距離曲線および加速度—距離曲線

(1), (2) 式にてこう配 G をパラメータとして計算し、速度—距

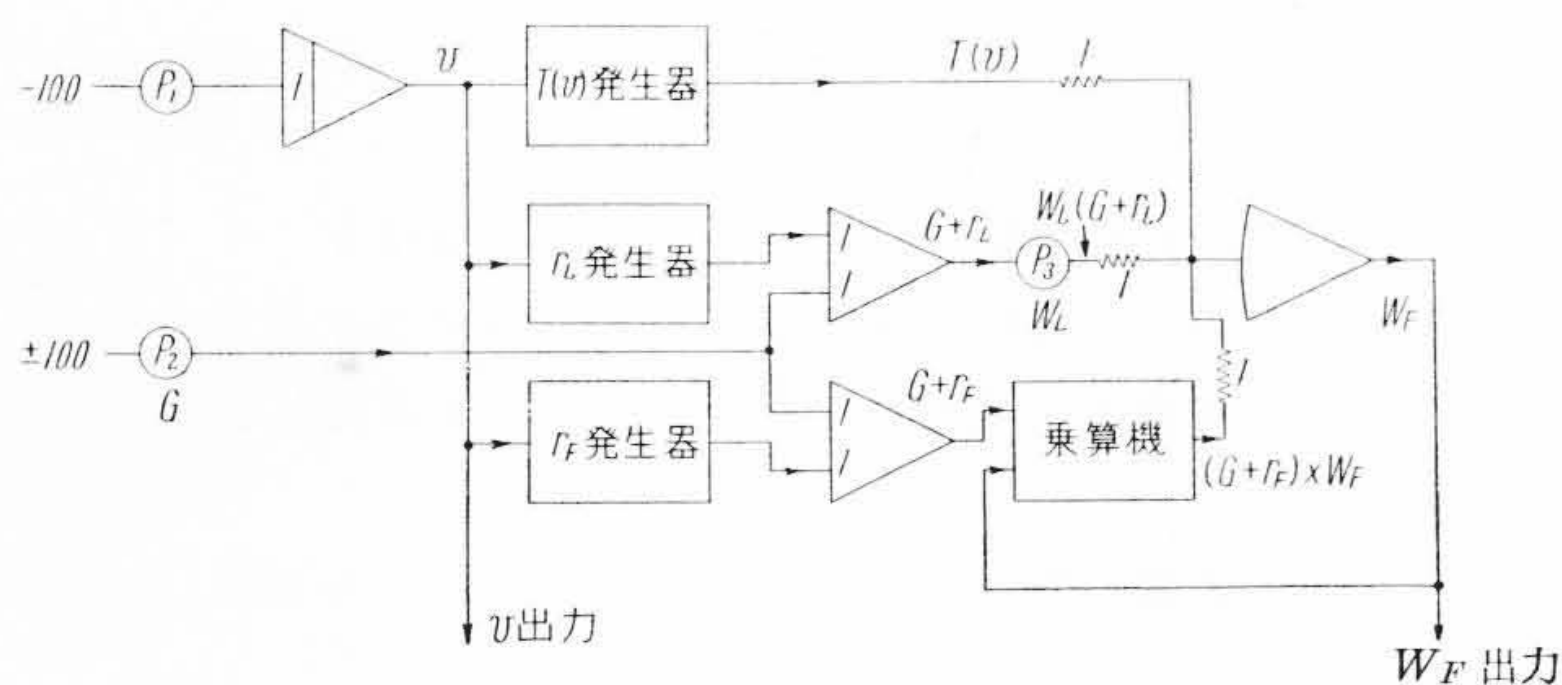
* 日立製作所中央研究所

** 昭和電子株式会社

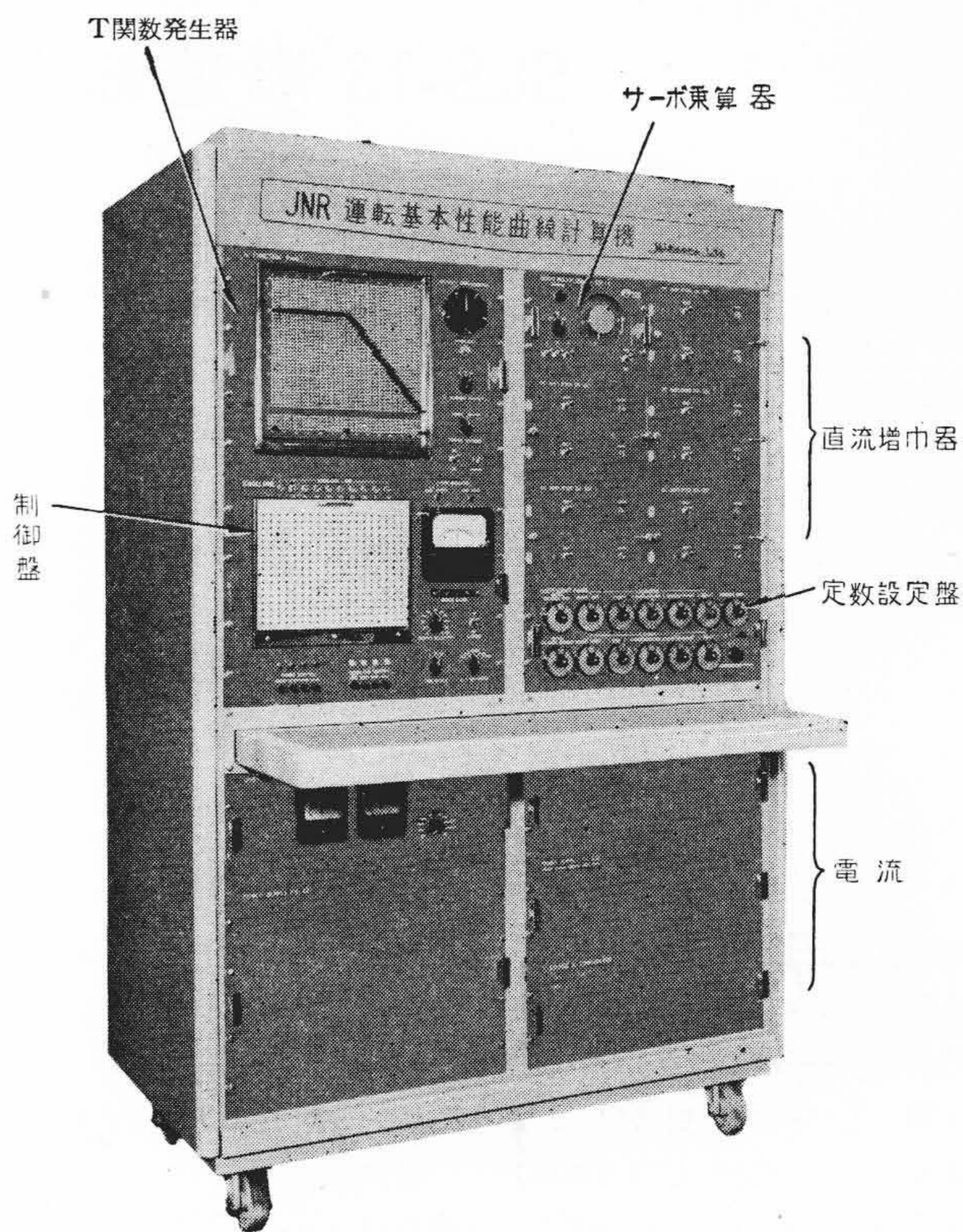
*** 日立製作所戸塚工場



第1図 速度—距離曲線および加速度—距離曲線演算のための回路構成



第2図 荷重曲線演算の際の回路構成



第3図 本計算機の外觀

離，加速度—距離の関係をグラフで書き表わせよう。

この計算の手段としては，アナログ計算機的方式を用いた。すなわち $\frac{dv}{dt}$, v , $T(v)$, r_L , r_F , G を全部電圧に変換し， W_L , W_F は係数としてポテンショメータの分圧比を用い，時間 t を独立変数として回路を構成した。

計算回路でとりうる電圧値は，最大が 100V であるので，これをもととして次のように実際の量を電圧量および係数に定めた。

$$\text{速 度 } v_{\max} = 125 \text{ km/h} \equiv 100 \text{ V} \quad (6)$$

$$\text{距 離 } S_{\max} = 10 \text{ km} \equiv 100 \text{ V} \quad (7)$$

$$\text{引 張 力 } T(v)_{\max} = 40,000 \text{ kg} \equiv 10 \text{ V} \quad (8)$$

$$\text{加 速 度 } 3 \text{ km/h/s} \equiv 48 \text{ V} \quad (9)$$

$$\text{こう配量 } G_{\max} = 50 \text{ kg/t} \equiv 28.2 \text{ V} \quad (10)$$

$$\text{列車重量 } W_{L\max} = 150 \text{ t} \equiv 0.1 \quad (11)$$

$$W_{F\max} = 1,500 \text{ t} \equiv 1 \quad (12)$$

時間 t は実際の時間と演算における時間との割合を，自由にとりうるが，各演算要素の応答速度，全演算時間を考慮して， $1/5$, $1/10$, $1/20$ の 3 段切換えが行えるようにした。

グラフに画くのは，速度，距離，加速度ともに電圧の形で求められるので，XYレコーダを用いて記録を行う。この両曲線を画くための回路構成を第1図に示した。

2.3 荷 重 曲 線

荷重曲線は列車の基本運動方程式(1)式において

$$\frac{dv}{dt} = 0 \quad (13)$$

となるような W_F と v の関係を， G をパラメータとして求めた曲線である。すなわち

$$W_F = \frac{T(v) - W_L(r_L + G)}{G + r_F} \quad (14)$$

を解く必要がある。

(14)式が(1)式と異なる点は，(1)式は微分方程式であるのに対し，荷重曲線を求める(14)式は代数方程式の形であることである。

ただし，(1)式は時間 t を独立変数として，解いて行っていたが，本式ではこのままでは， v が独立変数となる。したがって v を変化させて行ってこの式を解くために，

$$v = kt \quad (15)$$

の形の時間に比例する速度 v を用いることとした。また(1)式においては， W_L , W_F ともに係数として考えてよかったが，(14)式では W_F は電圧の形で表わさなければならない。ただし分母にある G , r_F は電圧の形で発生させているので，割算回路の構成が必要となる。

以上のことより演算の式は，両者とも大変似ているが，実際の回路構成は相当異なったものになっている。第2図に荷重曲線演算の回路構成を示す。

演算要素としては互に共通なものが多いので，プリパッチ盤により，この両者の切換えを行っている。

3. 各演算要素の説明

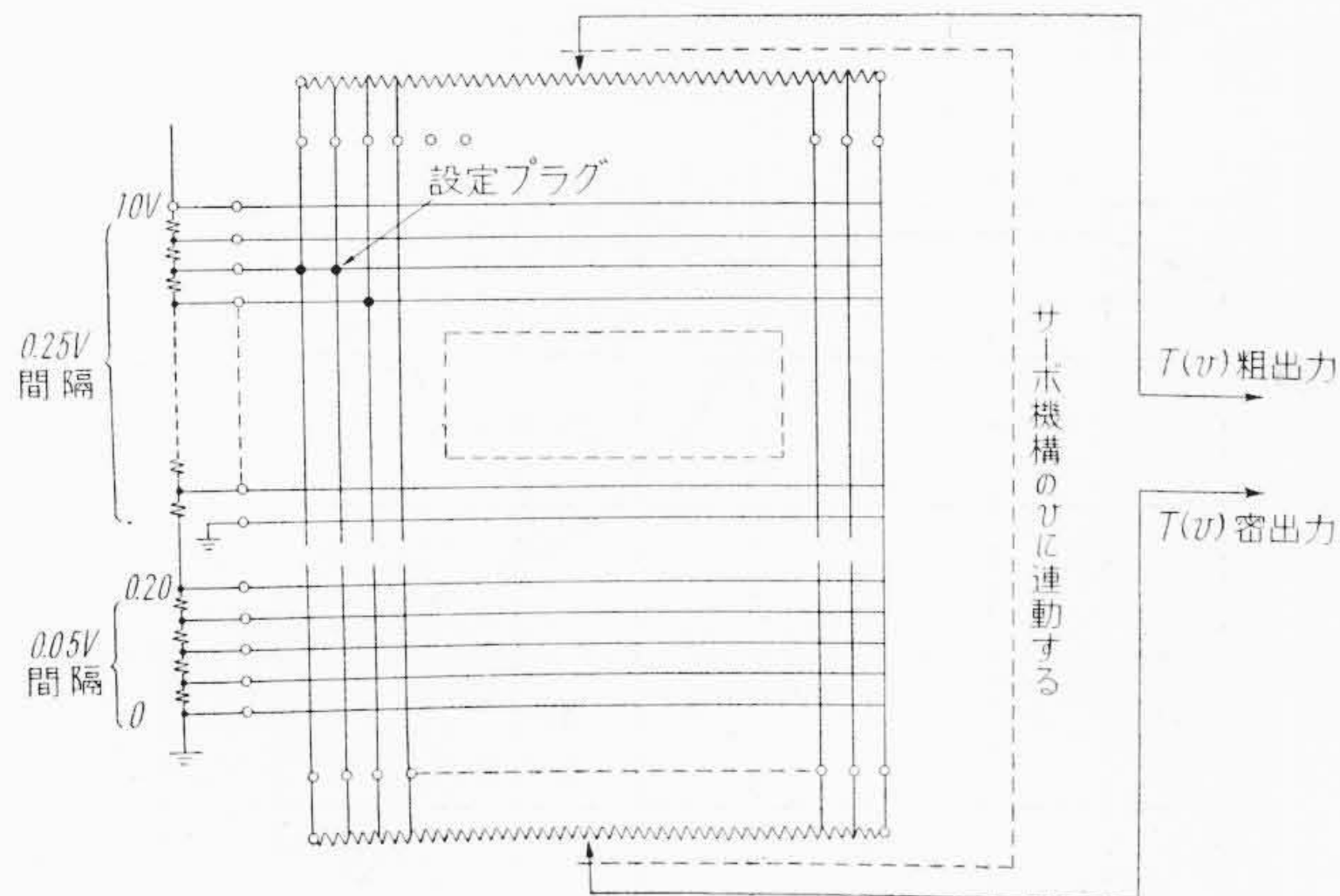
第3図に本機的全演算要素を実装した外觀図を示している。次にこれらの演算要素について説明を行う。

3.1 T関数発生器

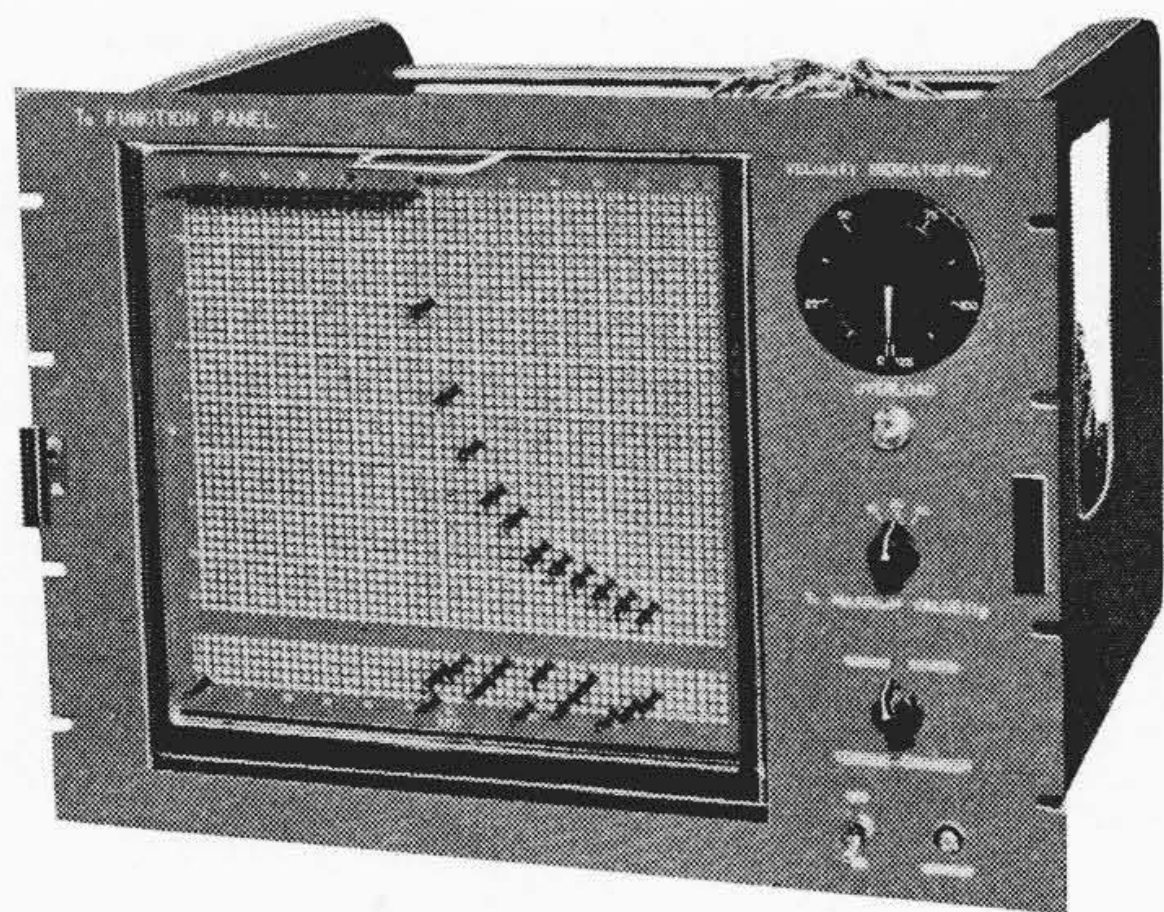
機関車の速度—引張力の関係を発生させるT関数発生器は，応答速度はあまり問題にならず，かつ設定の容易さ，交換保存の可能性などよりサーボを使用したタップ付きポテンショメータ方式のものを採用した。これは前装置のものと，ほぼ同様な構造である。

本関数発生器は設定機構とサーボ機構との二つの部分より構成されている。

設定機構は(縦)46×(横)51=2,346個の孔をもつパッチボードで，縦軸が $T(v)$ 横軸が v で表わされ，その交差した孔にプラグをさすことにより，関数の形を設定する。したがってプラグの配列自体が関数形と相似となり，設定およびチェックが便利である。また設定に使用するパッチ板は，自由にその関数を設定したまま取外し交換



第4図 関数設定とり出し機構



第5図 T関数発生器外観

が可能となっていることも大きな特長である。縦軸は設定のこまかさが必要のため、粗、密2個の孔を有し、粗のほうは1,000 kgおきで最大40,000 kg、密のほうは200 kgおきで最大1,000 kgを設定する。なお最大値40,000kgは切換えにより20,000kgおよび10,000kgにできるようにしてある。いずれの場合も最大値の0.5%のこまかさで、設定できることとなる。横軸は2.5km/hおきに最大125km/hである。これらの縦軸の各点は粗のほうは0.25Vずつの間隔で10Vの電源におのおの接続され、粗のほうは0.05Vずつの間隔で粗の最底区間の0~0.25Vの間に接続されている。また横軸の各点は速度で動かされるサーボ機構に連結されたポテンシオメータのタップに接続されている。これらの構造を第4図に示す。

サーボ機構は直流式の位相サーボで、サーボ乗算器、自動平衡計器と同様な構造である。第5図に本関数発生器の外観図を示している。前面のわくにはいっている孔のあいた部分が設定用のパッチ板で、プラグがそう入されて関数が設定してあるところが示されている。第6図に本器の内部機構が示されているが、左側にタップ付のポテンシオメータおよびサーボモータがみえる。

3.2 r_L および r_F 関数発生器

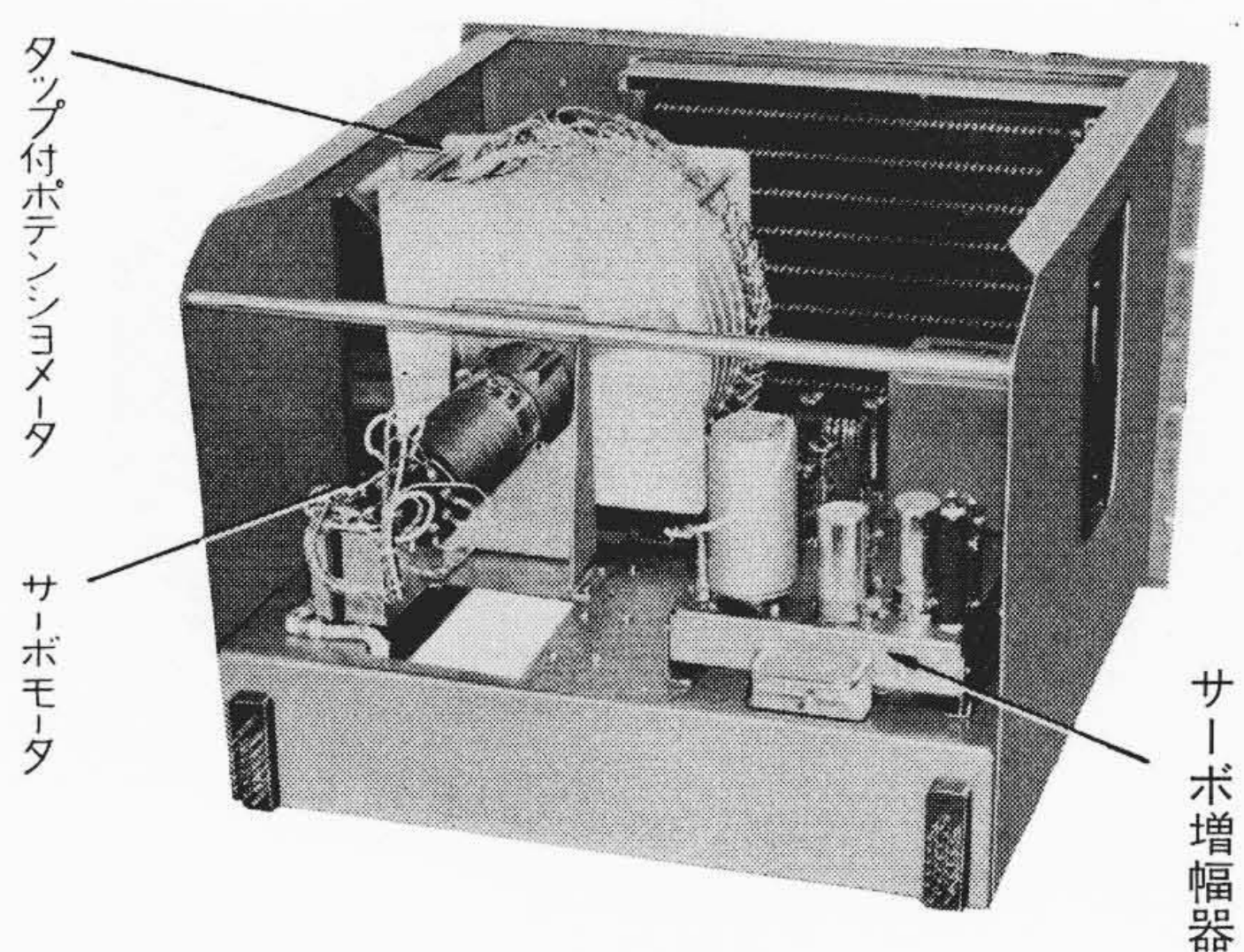
前で記したようにこれらの関数は次の式で表わしている。

$$r = a + bv + cv^2 + dF(v) \quad \dots\dots\dots (16)$$

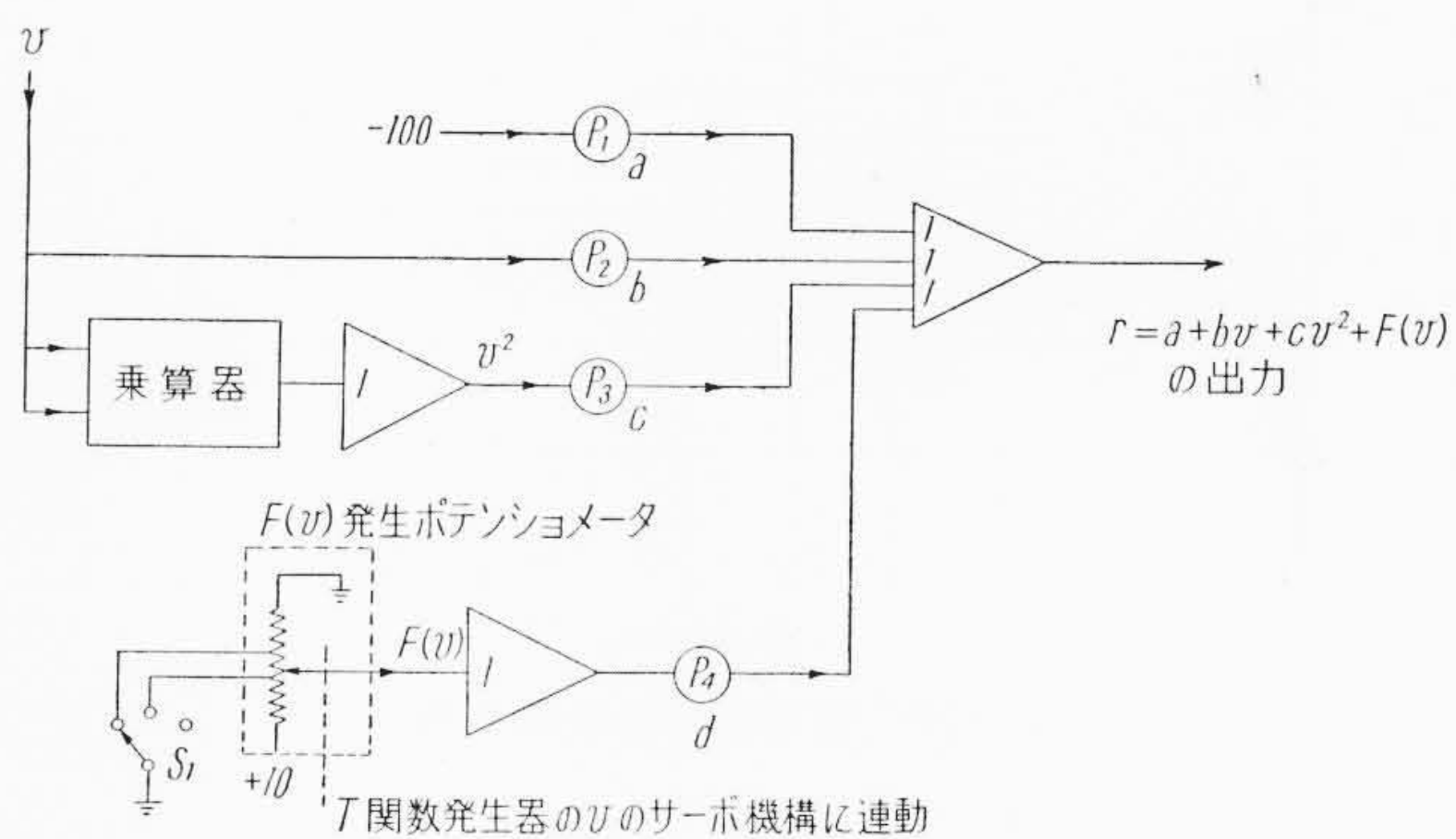
(r_L , r_F とも同様な形の式であるため、添字を除いて示した)

上式中 a, b, c, d は定数であるので、あらかじめポテンシオメータにて設定しておく。

r_L, r_F の関数発生に対しては、関数発生器としてまとまった構造ではなく、乗算器、ポテンシオメータ、加算器その他の基本的演算要素が組合わされて構成されている。第7図にこれの演算回路図を示している。 $F(v)$ の関数発生はT関数発生器のサーボ機構にとりつけられたポテンシオメータを用いている。スイッチ S_1 により、タップの位置を切換えているのは、 $F(v)$ が直線的に下って0



第6図 T関数発生器内部機構



第7図 走行抵抗演算回路

になる距離を変更するためである。8 km/h, 10km/h, 12km/h の3種類に切換えることができる。 $F(v)$ 発生ポテンシオメータおよび乗算器の次に利得1の増幅器(極性は反転する)を使用しているのは、いずれも出力がポテンシオメータの摺動片より出されているため、次の P_3, P_4 のポテンシオメータが直接これの負荷となって、正確な分圧比がそこなわれるのを防ぐためである。 $a, dv, cv^2, bF(v)$ を各加算した出力が走行抵抗 r となる。

3.3 乗算器

アナログ計算機の標準演算要素となっている日立SM-221形サーボ乗算器を使用している。

乗算用ポテンシオメータ3個を有し、同時にXU, XV, XWの形の乗算ができる機能を有するものである。

3.4 積分器、加算器、正負変換器

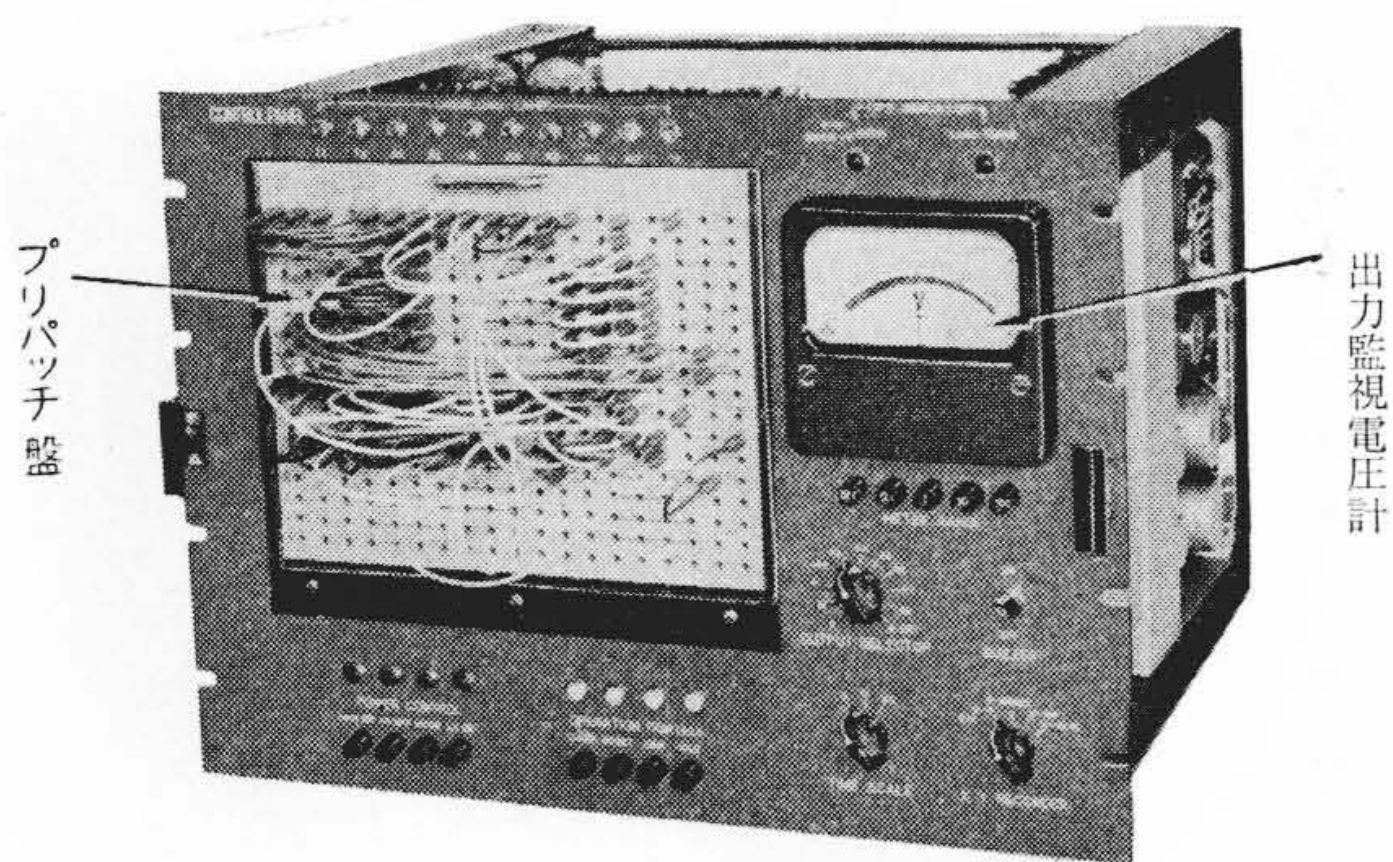
これらは高利得直流増幅器と抵抗、コンデンサの組合わせによる演算器で、いずれも従来アナログ計算機に用いられているものと同様である。これについては、運転曲線計算装置に述べてあるので、ここでは説明は省略する。

3.5 定数設定盤

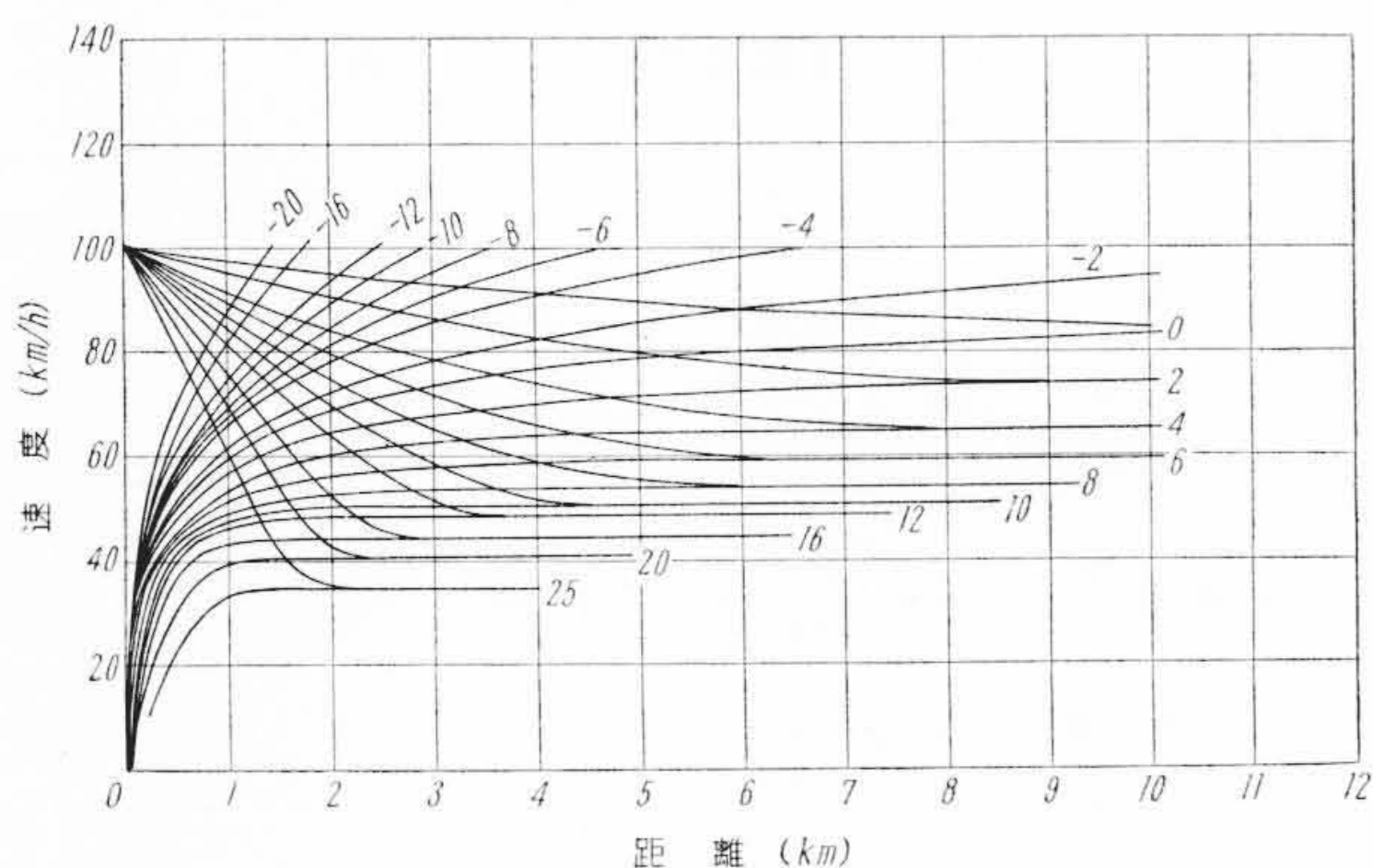
走行抵抗の定数および係数の a, b, c, d およびその他の定数を設定するもので、各多回転のヘリカルポテンシオメータより構成されている。第2図および第3図の演算回路にも示されているように、 W_L, W_F はおのおの2箇所を使用されているので、いずれも2連のヘリカルポテンシオメータを用いている。

3.6 制御盤

電源および演算の制御、各演算用直流増幅器の出力監視、演算種類の切換えなどを行うものである。演算に際しては、まず各定数および関数形を設定し、本盤前面のプリパッチ盤を速度—距離曲線および加速の曲線用または荷重曲線用のいずれかをそう入することに



第 8 図 制御盤外観



第 9 図 速度距離曲線演算例

より、全演算回路は接続の準備ができる。演算用の押ボタンは、バランスチェック、リセット、コンピュータ、ホールドの 4 個があり、演算開始まではバランスチェックまたはリセットにしておく。リセットにおいては必要に応じて、距離 S 、速度 v の初期値を各積分器に与えることができる。

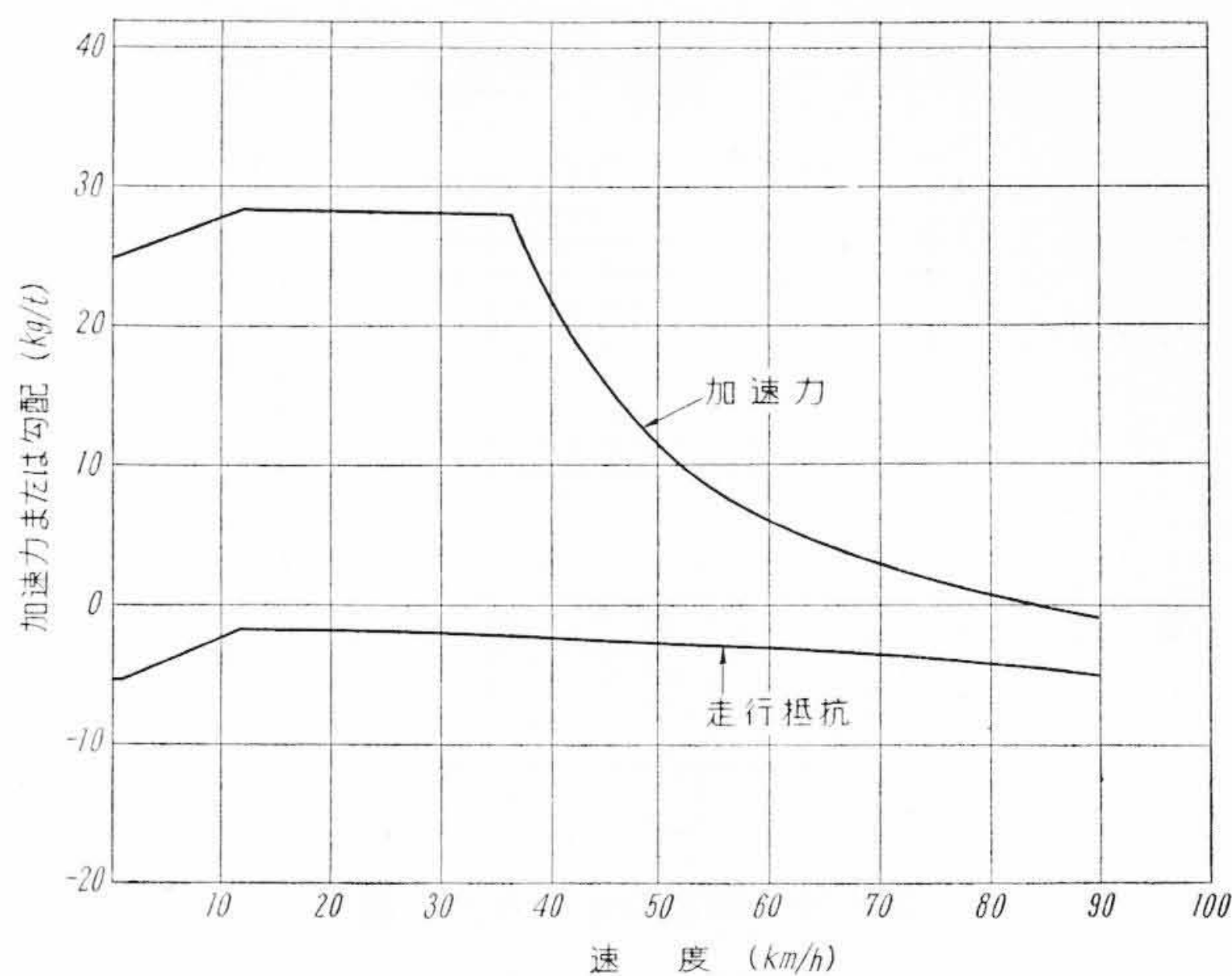
曲線の記録の準備も終って、演算を開始したい時は、コンピュータのボタンを押すことにより演算を始め、同時に XY 記録計に描図される。 v が 10km/h の最大値に達した時は、自動的にその位置で演算を停止する機構を本盤に内蔵している。ホールドのボタンを押した時は、演算の途中であってもそのまゝの値が保持されて、演算が停止される。第 8 図に本盤の外観を示しておく。

4. 計 算 例

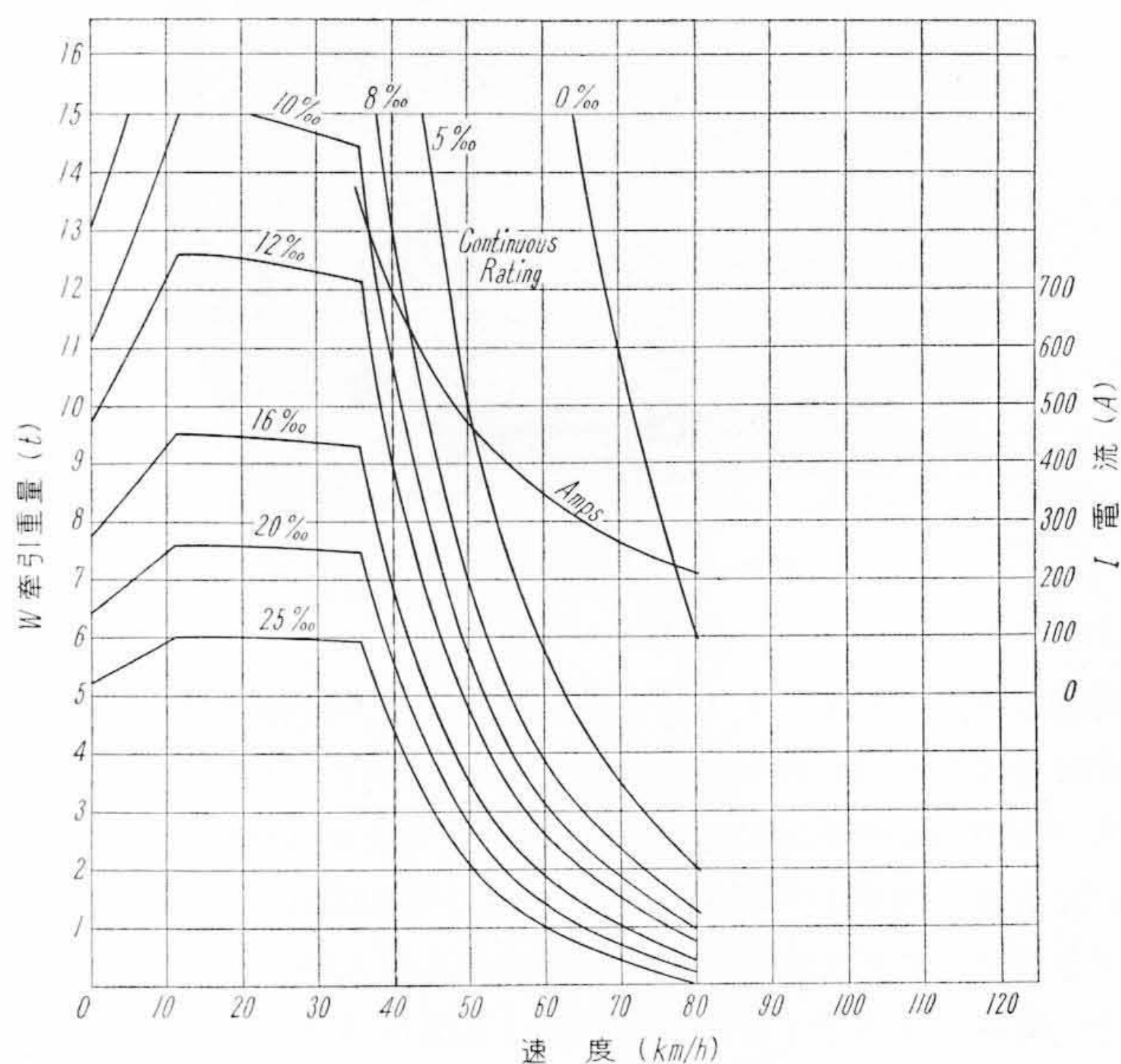
第 9, 10, 11 図に、それぞれ速度—距離曲線、加速力曲線および走行抵抗曲線の演算結果の描図されたものを示す。速度—距離曲線、荷重曲線はどちらもこう配をパラメータとして画かれている。加速力曲線はこう配が 0 の場合のみである。同図の走行抵抗曲線はこう配および引張力をいずれも 0 とした場合の加速力曲線として得られるものである。

5. 結 言

運転計画に必要な基本性能曲線群を自動的に演算および描図を行うための単能のアナログ計算機として、製作を行ったが、これを使



第 10 図 加速力曲線および走行抵抗曲線演算例



第 11 図 荷重曲線演算例

用することにより、従来多くの人手と時間を要したものが、すみやかにかつ簡単な操作で、行えるものと思われ、本装置の今後の利用に期待が寄せられている。

本機は現在日本国有鉄道本社に設置されて、数多くの曲線群を作製していることを付記しておく。

終りに臨み、本計算機の計画ならびに製作に終始ご指導をいただいた鉄道技術研究所、国鉄本社運転局および電気局の関係者の方々に深く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 沼倉, 北野, 島田, 矢崎: 日立評論 41, 279 (1959-2)
- (2) Numakura and Yazaki, Hitachi Review, p20, vol 8, No. 4, (Nov. 1959)