

# 高速軌道試験車用データ処理装置

## Data Logger of High Speed Track Inspection Car

中村 一郎\* 牧田 睦男\*\* 早川 亘\*\*  
 Ichirō Nakamura Mutsuo Makita Wataru Hayakawa

### 内 容 梗 概

高速軌道試験車用データ処理装置についてその企画された意図、データ処理の方法、動作原理および回路の概要について述べる。

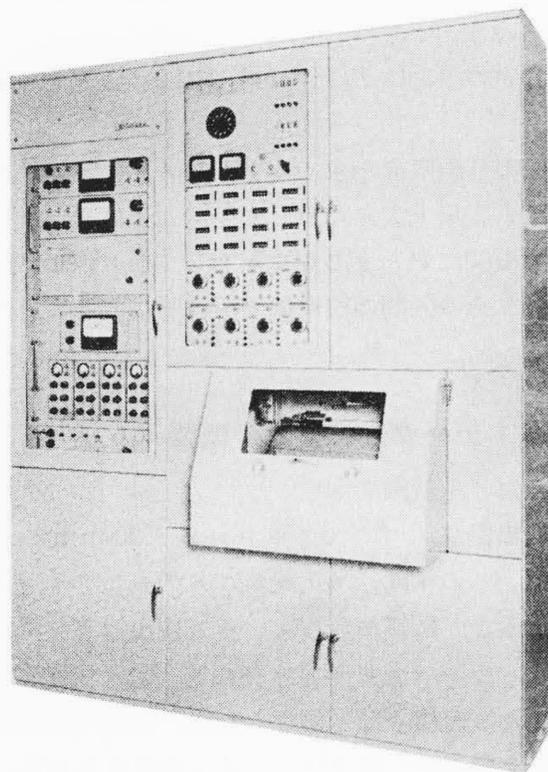
なお本装置は日本国有鉄道の鉄道技術研究所のご指導のもとに完成されたものである。

### 1. 緒 言

このデータ処理装置は日本国有鉄道（以下国鉄と略称）の高速軌道試験車マヤ 341 に積載されて、軌道試験車の走行と同時に各軌道の保守状態を統計的に整理して作表する装置で、保守管理上の資料を作成するために使用されている。

国鉄では数年前、高速軌道試験車マヤ 341 を完成し、軌道の状況を計測し、ペン書きオシログラフによって連続記録を行ない、その記録結果に基づいて、日常の局部保守を行なっていた。

しかし、このような保守作業の資料のほか、管理局や国鉄本社などにおいて管理計画の資料とするためには、各区間の記録結果を統計的に整理して軌道状態を数値により、は握ることが必要である。ところが、高速軌道試験車が完成してからは、従来の検測車、あるいは、人手によって行なわれていた軌道狂いの測定が非常に高速に行なわれるようになり、一日の測定距離も、500 km 以上に及ぶようになって来た。測定項目は、左右レールの「通り狂い」「高低狂い」と「軌間狂い」「水準狂い」「平面性」と多項目が同時に測定できるため、これをペン書きオシログラフによる連続記録から人手により整理すると、かなりの手数と費用を要することになる。そこで、これらのデータを自動的に処理する専用機を軌道試験車に積載し、軌道狂い測定と同時に、自動的に該当区間 500m ごとあるいは 1 km ごとの軌道状態を評価して作表する本装置が企画された。



第1図 高速軌道試験車用データ処理装置

\* 日本国有鉄道鉄道技術研究所自動制御研究室  
 \*\* 日立製作所神奈川工場

### 2. 動作原理

#### 2.1 軌道狂いの測定

##### 2.1.1 軌道狂いの測定方法

軌道試験車マヤ 341 は、軌道狂いを測定するために軌道の変位および車体の傾斜角をつぎのように検出する。

##### (1) 軌道の上下変位の検出

円筒走行車輪の軸の上下によって、その位置におけるレールの上下方向変位を検出する。検出機構は 5m ずつ離れた 3 本の走行車輪軸の左右両端に取り付けられている。

##### (2) 軌道の左右変位の検出

5m ずつ離れた左右各 3 個の測定車輪を有し、これらは、各独立に、左右レールの内側に圧着され、レールの横方向の変位を検出する。

##### (3) 車体の傾斜角の検出

水平儀によって車体の傾斜角を検出する。

上記(1)(2)の車輪の変位はスチールワイヤと滑車などの機構を経て差動変圧器に加えられ電圧に変換される。

各検出器出力は、電気的に所定の演算が施され第 2 図に示すよ

項目	検出器取付位置	検出器	軌道狂い基本量演算式	車両に及ぼす影響	軌道狂い測定原理図
1	測定車輪 右前 測定車輪 中央 測定車輪 後部	(差) (差) (差)	$\frac{a+c}{2}-b$	車両左右動	
2	測定車輪 左前 測定車輪 中央 測定車輪 後部	(差) (差) (差)	$\frac{a'+c'}{2}-b'$	車両左右動	
3	第 1 軸 右 第 3 軸 右 第 5 軸 右	(差) (差) (差)	$\frac{a+c}{2}-b$	車両上下動	
4	第 1 軸 左 第 3 軸 左 第 5 軸 左	(差) (差) (差)	$\frac{a'+c'}{2}-b'$	車両上下動	
5	左右測定車輪間	(差)	$\frac{a+a'-L_0}{2}$ ただし $L_0$ : レールの標準間隔	レール間隔偏差	
6	展望側台車	(差)	$(a-a')-(d-d')$	レールのねじれ	
7	第 1 軸 右 第 1 軸 左 水 平 儀	(差) (差) (シ)	$a-b+c$	車体台車間のローリング	

(差)は差動変圧器、(シ)はシンクロ電機形検出器を示す。

第2図 軌道狂いの測定法

うな軌道狂いの基本量が測定される。

2.1.2 基準値変動とその分離

軌道の円曲線部では、外側レールを内側より高くしたり（カント）、内側レールを円曲線部の内側に軌間を大きくしたり（スラック）、また円曲線部と直線部の間では緩和曲線と称して所定の割合で徐々に変化させたり直線部と違った布設基準値が定められている。2.1.1で述べたようにして検出した軌道狂い基本量は、軌道狂いのほかに、布線基準値の変動も含んでいるので、これを分離し、軌道狂いのみを取り出す必要がある。

カントおよびスラック量は、その曲線部の曲率半径および運行予定速度に対応して定められているものであるが、これら基準値の変化の割合と軌道狂いの変化の割合とは、波長の分布が離れており、波長の違いで分離すれば、カントやスラックに基づく基準値変動を消去して軌道狂いのみを取り出すことができる。ただ、走行中の軌道試験車上で、データ処理を行なう場合に波長の違いで、信号を分離することは困難で、ろ波器を使用して、周波数によって分離することになる。なおこの測定値の変化周波数は、試験車の走行速度に比例して変化するので、ろ波器の遮断周波数は速度に応じて変化させる必要がある。

このようろ波器（ハイパスフィルタ）を通すと、第3図に示すように軌道狂いのみを分離して取り出すことができる。

2.2 データ処理の方法

以上のように基準値変動を分離した軌道狂いは0を中心として、正規分布することが過去の測定値の分析結果から明らかにされている。

そこで、軌道の保守状態を統計的には握するには、軌道狂いのばらつきのおおきさすなわち標準偏差σがわかれば、母集団の性質、すなわちこの区間の軌道の状況を評価することができる。

区間(l<sub>1</sub>, l<sub>2</sub>)のσを求めるにはつぎの計算を行なう。

$$\sigma^2 = \frac{1}{l_2 - l_1} \int_{l_1}^{l_2} y^2 dl \dots\dots\dots(1)$$

ただし l: 測定位置

y: その場所での軌道狂いの値

しかしこの計算を行なうには、自乗および積分の項が入るので簡単ではない。本装置ではつぎに述べるサンプリング計数法を採用している。

軌道狂いの測定値は正規分布をしていると考えられるので、次の方法で母集団のσを推定することが可能である。

すなわち、測定値から、N個の標本をとり、正負の限界値±aを設定し、これを超過する標本数nを計数し、限界超過の標本確率

$$P = \frac{n}{N} \dots\dots\dots(2)$$

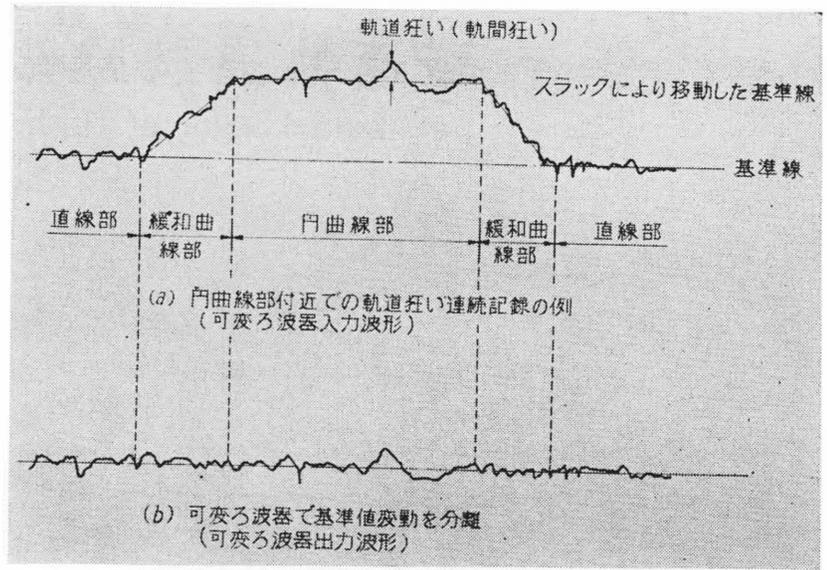
を求める。標本数Nが、十分大であれば、Pは母集団の限界超過確率P<sub>0</sub>に等しく、σとの対応は次式で表わすことができる。

$$P_0 = \lim_{N \rightarrow \infty} P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \left( \int_{-a}^{-\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx + \int_a^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx \right) \\ = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_a^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx \dots\dots\dots(3)$$

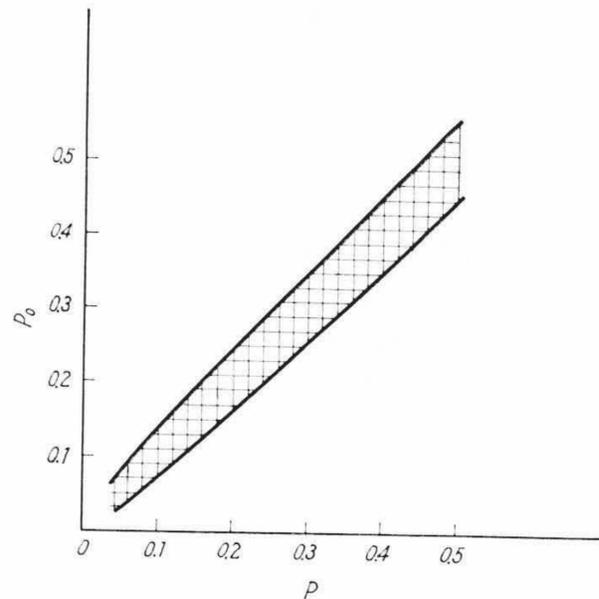
右辺は累積正規分布であるから、累積正規分布表によりP<sub>0</sub>とaからσを求めることができる。

以上においては、標本確率Pと母集団確率P<sub>0</sub>は等しいとしたが実際には、標本数が有限個数であるために、推定誤差が生じる。

この装置の場合は走行2mごとに標本の抽出を行ない、区間の最終標本は、けた上げ時の時間余裕をとるために除去しているので、1区間500mごとに、標本数N=249となっている。



第3図 円曲線部付近での軌道狂いの変化例



第4図 母集団確率推定の信頼限界 (格子部分は90%の信頼限界を示す)

一方

$$\frac{P - P_0}{\sqrt{\frac{P_0(1 - P_0)}{N}}} \dots\dots\dots(4)$$

はP ≤ 1/2, N > 5/Pならば、近似的に平均0、分散1の正規分布となることが知られている。

したがってPの分布の平均はP<sub>0</sub>に等しく、分散は、P<sub>0</sub>(1-P<sub>0</sub>)/Nとなる。

N=249とし90%の信頼限界を求めると、第4図に示す範囲となりP=P<sub>0</sub>と推定しても実用上大きな誤りを犯すことはない。

国鉄では、各現場機関にPとσの表を配布しており、n/N(すなわちP)の値を見て、その区間の標準偏差を容易に知ることができるようになっている。

3. データ処理装置の概要

第5図に本装置の信号系統図を示す。

ジャイロ以外の検出器は、すべてストローク±20mmの差動変圧器を使用している。この軸は、ステンレススチールワイヤと滑車などの機構で測定車輪などに連結されている。検出器より得られた400c/sの変調信号は、データ処理装置本体に送られ、整流演算器で各部の変位に比例した直流信号に変換された後、所定の演算式に従って演算されて(第2図参照)軌道狂いの基本測定量となる。

可変ろ波器で、基準値変動を除去された軌道狂い信号は、比較ゲート回路に供給される。ここでは、各チャンネルごとに設定された正負の限界値と比較され、限界値を超過した場合はゲートを開きサ

ンプリングパルスが次段のカウンタに送られ  $n$  が計数されることになっている。

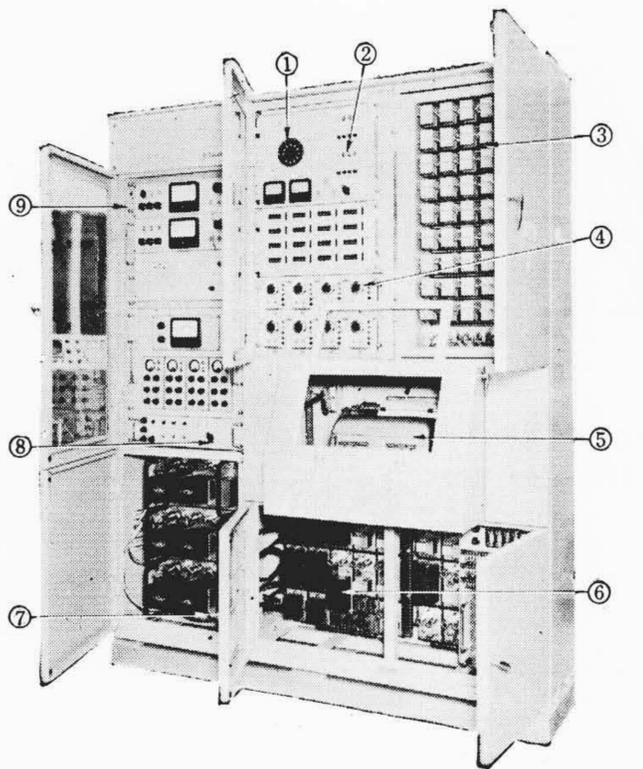
このサンプリングパルスは、キロメートルパルスとともに車軸の回転に連動して発生するようになっており、走行 2m ごとに 1 回入ってくる。このパルスは、装置内で、一たん波形整形された後、各比較ゲート回路に供給されているが、一方、直接にもカウンタに接続されているので、サンプル総数  $N$  がこのチャンネルで計数される。

キロメートルパルスは、走行 500 m おき (または 1 km おき) に供給され、タイプ制御回路を起動させると同時に、計数とキロ程表示がなされる。このカウンタのみは、リセットおよびプリセットが可能で、その地点のキロ程と常に一致するように上り線と下り線では、逆転する積算表示器が使用されている。

タイプ制御回路が起動すると、それまでの各カウンタの計数内容を第 7 図のように所定の順序でタイプするようになっている。

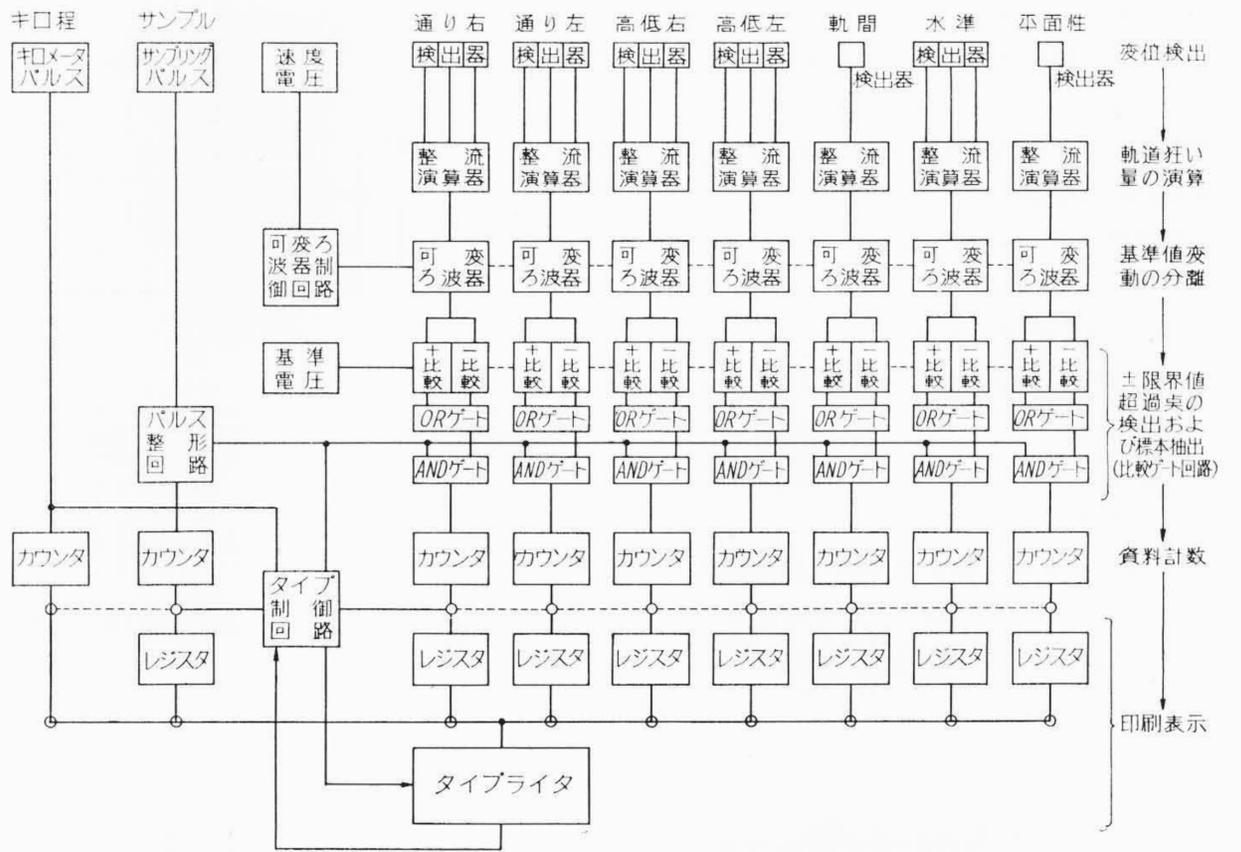
[主要性能]

- (1) データ処理速度 最高 100 km/h
- (2) データ処理項目 「通り」2項目, 「高低」2項目, 「軌間」, 「水準」, 「平面性」各 1項目計 7項目  
ほかに「サンプル数」と「キロ程」を計数
- (3) 作表間隔 走行 500m または 1 km おき
- (4) サンプリング間隔 走行 2 m おき



- ① 速度指示ダイヤル
- ② キロ程用積算表示器
- ③ リレー・ユニット (カウンタ・レジスタ群)
- ④ 限界値設定部 (比較ゲート回路)
- ⑤ タイプライタ
- ⑥ 電子管ユニット部 (整流演算器や可変ろ波器などが見える)
- ⑦ 電源部
- ⑧ スイッチパネル
- ⑨ 横圧輪重測定部 (この部分はデータ処理とは関係なし)

第 6 図 高速軌道試験車用データ処理装置内部



第 5 図 高速軌道試験車用データ処理装置の信号系統図

- (5) 軌道狂い測定範囲 軌道狂い換算  $\pm 20$  mm  
周波数 0~50 c/s
- (6) 基準値変動の分離 7.5~100.5 km/h にて
- (7) 限界値設定範囲 軌道狂い換算  $\pm 5$  mm  
各項目別に設定値可変
- (8) カウンタ容量 十進 3けた
- (9) 外形寸法 高さ 2 m, 幅 1.6 m, 奥行 0.4 m (タイプ収容部 0.6 m)
- (10) 重量 700 kg

4. 回路の概要

カウンタ、レジスタおよびタイプ制御回路は、データ処理速度が、比較的低速なのですべてリレー回路になっている。

これらの機能構成は通常のデータ処理装置と変りがないので省略するが、タイプ制御回路では集計が 500 m おき (または 1 km おき) になっており、サンプリング間隔は 2m おきゆえ、サンプル総数は 250 個である。ただしこのうち最終回の 1 個は、カウンタ内容をレジスタに移す際、カウンタけた上げなどに要する時間の余裕をとるためブロックしている。このため 500 m おきの有効サンプル数は 249 個である。またタイプライタには電動タイプライタを用い、最初の 1 字を打つと、タイプライタのフィードバックパルスにより次

キロ程	サンプル数	通り右	通り左	高低右	高低左	軌間	水準	平面性
001km	249	059	057	064	074	013	013	012
.5km	249	052	049	064	074	012	013	014
002km	249	054	051	073	074	013	014	018
.5km	249	048	046	068	067	012	016	006
003km	249	038	042	071	063	013	013	012
.5km	249	038	043	067	066	009	004	011
004km	249	053	056	075	079	017	013	019
				087	094	017	022	021
							018	018

第 7 図 データ処理タイプ記録の例

次と次のレジスタの内容を印字し、1行分の印字が終わると同時にキャリッジリターンとレジスタのリセットを行なうが、なんらかの原因でレジスタの内容が消失した場合は印字が停止するので、印字開始後400m以上走行すると自動的にリセットして次の区間のデータ印字に支障がないよう考慮されている。

(1) 可変ろ波器

基準線変動を消去するハイパスフィルタである。

第8図(a)に回路図、第8図(b)にその基本構成を示す。

$C_{40}$  と  $R_{40}$  は、測定する信号周波数に対して十分大きく選んであるので、 $e_0' = e_0$  とすると、この可変ろ波器の利得  $G_F$  は  $s = j\omega$  としたとき次のように計算される。

$$\begin{aligned}
 G_F &= \frac{e_0}{e_i} \doteq \frac{e_0'}{e_i} \\
 &= \frac{A_1 A_2 A_3 \left( \frac{R_{10}}{R_{10} + \frac{1}{s C_{10}}} \right) \left( \frac{R_{20}}{R_{20} + \frac{1}{s C_{20}}} \right)}{1 + \beta A_1 A_2 A_3 \left( \frac{R_{10}}{R_{10} + \frac{1}{s C_{10}}} \right) \left( \frac{R_{20}}{R_{20} + \frac{1}{s C_{20}}} \right)} \\
 &\quad \times \frac{R_{30}}{R_{30} + \frac{1}{s C_{30}}} \\
 &= \frac{\frac{A_1 A_2 A_3}{1 + \beta A_1 A_2 A_3}}{1 + s \tau_3} \\
 &= \frac{1}{\left( \frac{s \sqrt{\tau_1 \tau_2 (1 + \beta A_1 A_2 A_3)}}{A} \right)^2 + \frac{\tau_1 + \tau_2}{s \tau_1 \tau_2 (1 + \beta A_1 A_2 A_3)} + 1} \\
 &= \frac{1}{\left( \frac{\omega_0'}{s} \right)^2 + 2 \xi \left( \frac{\omega_0'}{s} \right) + 1} \dots\dots\dots (5)
 \end{aligned}$$

ただし

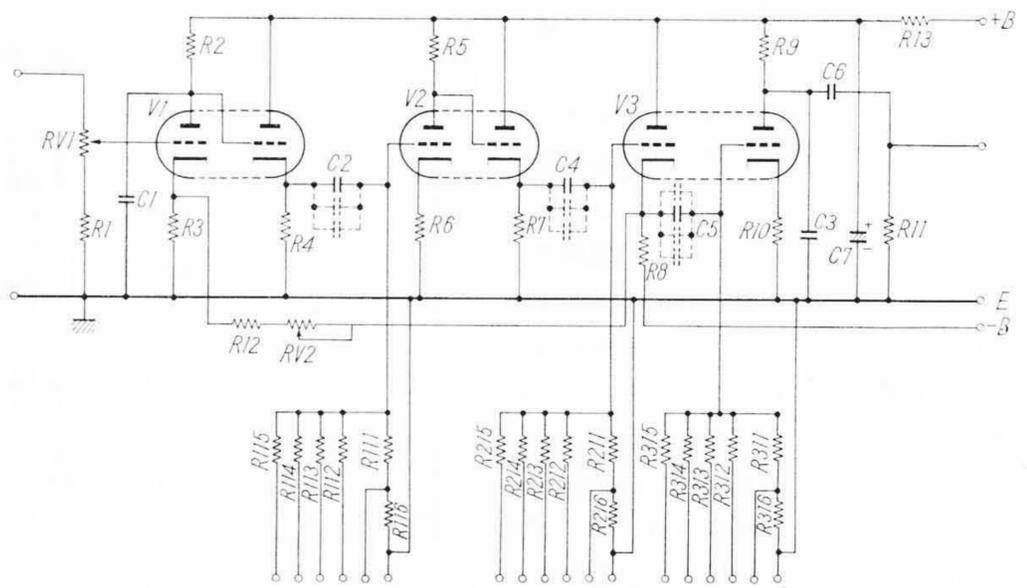
$$\begin{aligned}
 \tau_1 &= C_{10} R_{10} \\
 \tau_2 &= C_{20} R_{20} \\
 \tau_3 &= C_{30} R_{30} \\
 \omega_0 &= \frac{1}{\sqrt{C_{10} C_{20} R_{10} R_{20} (1 + \beta A_1 A_2 A_3)}} \\
 \omega_0' &= \frac{1}{C_{30} R_{30}} \\
 \xi &= \frac{C_{10} R_{10} + C_{20} R_{20}}{2 \sqrt{C_{10} C_{20} R_{10} R_{20} (1 + \beta A_1 A_2 A_3)}} \\
 A &= \frac{A_1 A_2 A_3}{1 + \beta A_1 A_2 A_3}
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots (6)$$

各回路素子間の関係を次のようにして利得  $|G_F|$  対周波数特性を計算すると第8図(c)のようになる。

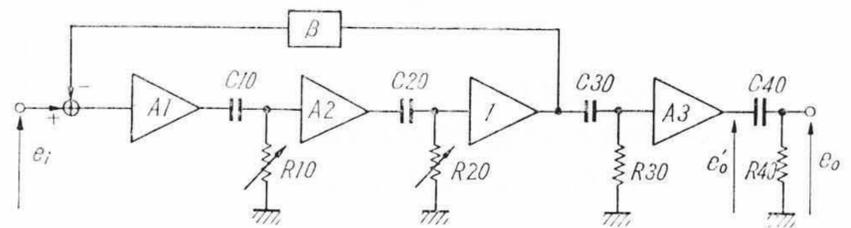
$$\begin{aligned}
 C &= C_{10} = C_{20} = \frac{1}{2} C_{30} \\
 G &= \frac{1}{R_{10}} = \frac{1}{R_{20}} = \frac{1}{R_{30}} \dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

通過帯全域で、定常利得よりの偏差が最小となるように本装置では  $\xi = 0.36 \sim 0.4$  に調整した。第9図は可変ろ波器の周波数特性の実測データである。

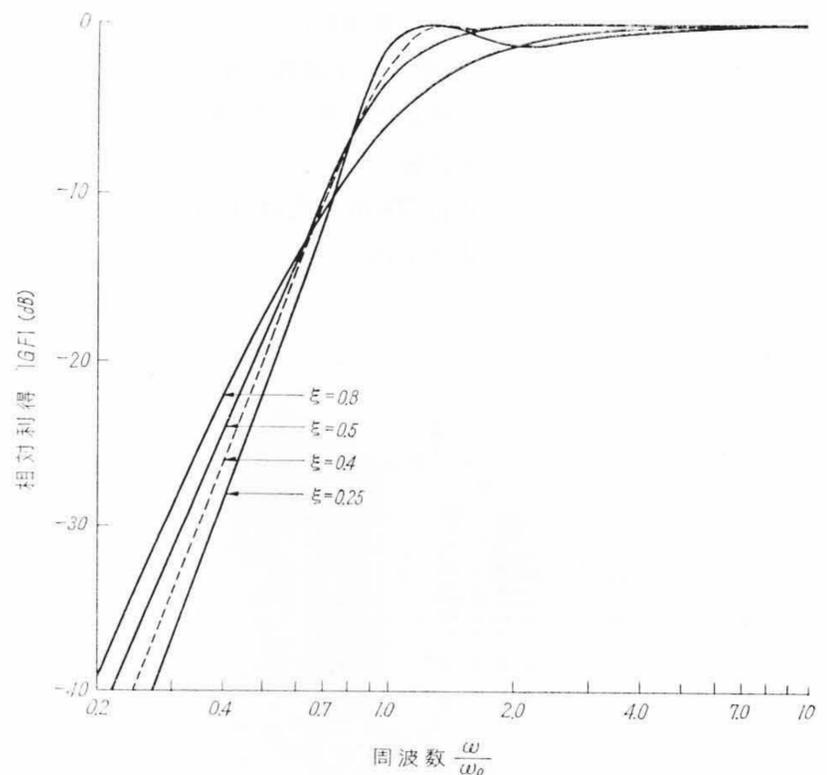
(7)式および(6)式より遮断周波数  $f_0$  は



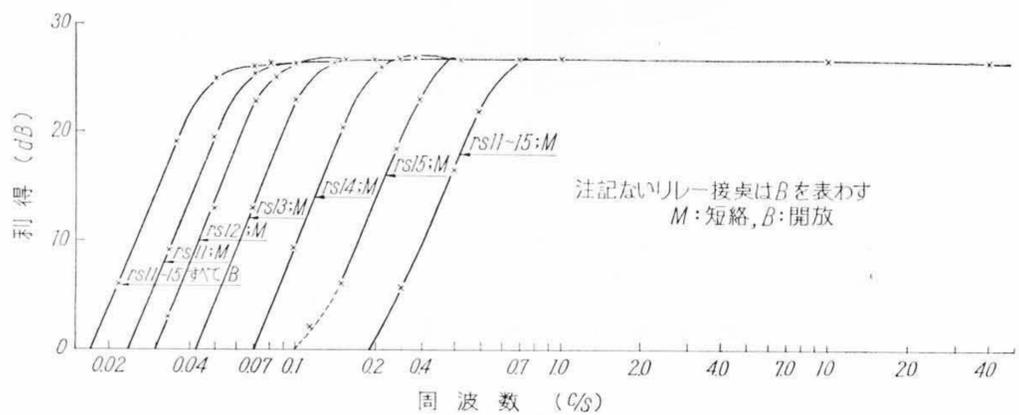
第8図(a) 可変ろ波器回路図



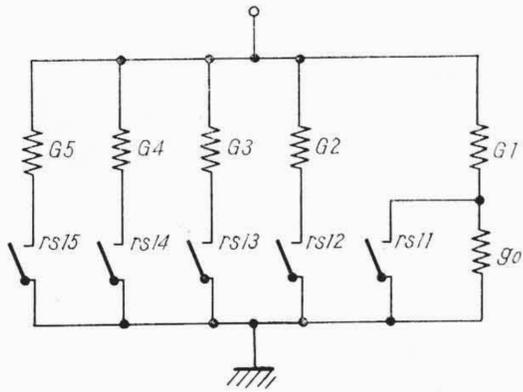
第8図(b) 可変ろ波器の基本構成



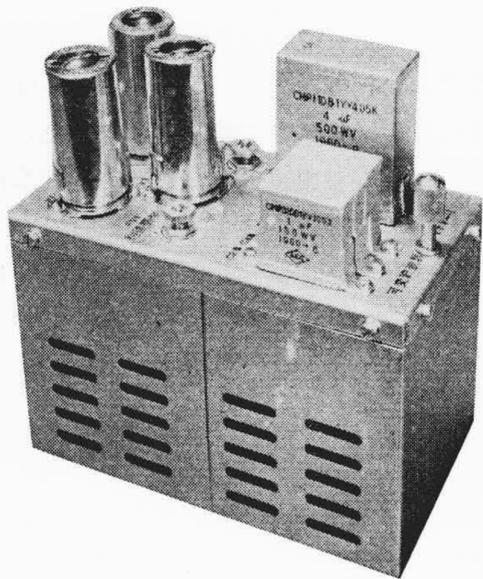
第8図(c) パラメータ  $\xi$  の値と可変ろ波器の利得周波数特性



第9図 可変ろ波器の実測周波数特性



第10図 可変ろ波器の遮断周波数切換回路



第11図 可変ろ波器

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{K} \times G \quad \dots\dots\dots(8)$$

ただし  $K = \frac{2\pi C}{\xi}$ ; 定数となる。

また基準値変動の波長分布の分析結果から  $f_0$  は次のように選ぶのが適当である。

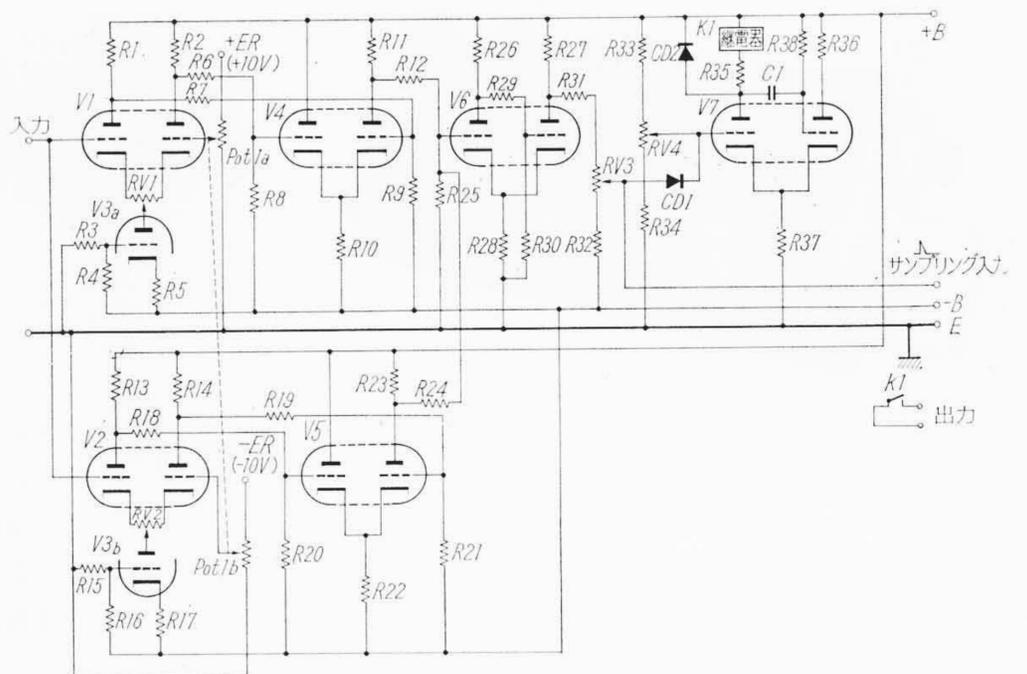
$$f_0 = \frac{v}{46} \quad \dots\dots\dots(9)$$

ただし  $v$ : 軌道試験車走行速度 (m/s)

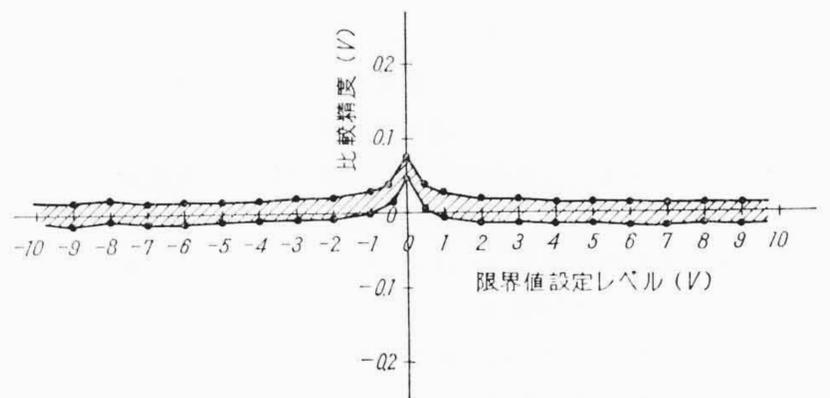
(8)式および(9)式が常に等しく成立するためには、(7)式の  $R_{10}$ ,  $R_{20}$ ,  $R_{30}$  に相当する回路のコンダクタンス  $G$  を速度  $v$  に比例して変化させればよい。このために関数発生用ポテンショメータを用いてもよいが、インピーダンスを高くとれないことと外形が大きくなるために、この装置では6個の精密抵抗を速度に応じて二進ステップで切換えることにした。ただ、(9)式に従うと  $v=0$  において、 $f_0=0$  となるが、このような低い周波数まで取り扱うとすると回路素子の外形が非常に大きくなり、またドリフトや雑音などの問題もおきるので、遮断周波数切換は  $0.045 \sim 0.604$  c/s 軌道試験車走行速度に換算して  $7.5 \sim 100.5$  km/h を  $3$  km/h ごとに  $31$  段階に区切って、第10図のような可変コンダクタンス回路で行なっている。

第10図の各回路素子の値は、次のような関係をもつよう選んである。

$$\left. \begin{aligned} G5 &= 16G \\ G4 &= 8G \\ G3 &= 4G \\ G2 &= 2G \\ G1 &= G_0 + G \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(10)$$



第12図 比較ゲート回路の回路図



(斜線は、比較部ヒステリシスを示す。軌道狂い1mmが電圧2Vに相当する)

第13図 比較ゲート回路の精度実測値

$$\text{ただし } G_0 = \frac{g_0 \cdot G1}{g_0 + G1}$$

rs 11~rs 15 は、可変ろ波器制御用の接地リレーの接点回路である。この接点回路の開放または短絡を適当に制御すると(8)式により、遮断周波数は次のように切換えられることがわかる。

rs 11~15 全部開放のとき

$$f_{00} = \frac{1}{K} G_0 = 0.045 \text{ c/s}$$

rs 11 のみ短絡のとき

$$f_{01} = \frac{1}{K} (G_0 + 1G) = (0.045 + 0.018) \text{ c/s}$$

rs 12 のみ短絡のとき

$$f_{02} = \frac{1}{K} (G_0 + 2G) = (0.045 + 2 \times 0.018) \text{ c/s}$$

rs 11~15 全部短絡のとき

$$f_{031} = \frac{1}{K} (G_0 + 31G) = (0.045 + 31 \times 0.018) \text{ c/s}$$

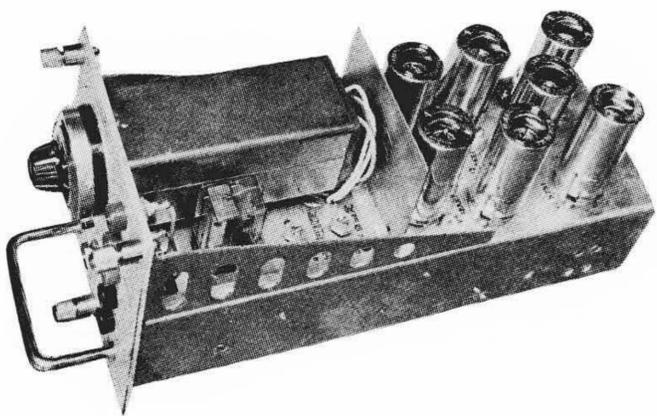
$$\dots\dots\dots(11)$$

第11図は可変ろ波器ユニットの外観写真である。

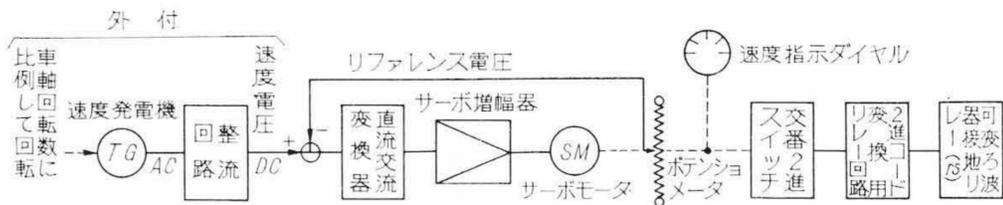
(2) 比較ゲート回路

第12図に回路を示す。正および負の入力を比較するため  $V1 \sim V5$  で構成される2組の比較回路を内蔵している。限界値は正負等量で、パネル正面よりポテンショメータ  $Pot 1$  で設定され、入力が、正負のどちらの限界値を超過しても、 $V6$  のシュミット・トリガ回路が作動する。この期間にサンプリングパルスが来れば、 $V7$  のワンショットマルチが働いて、一定時間だけ出力リレーの接点回路を閉じるようになっている。

第13図にこの回路の実測データ、第14図に外観写真を示す。



第14図 比較ゲート回路



第15図 可変周波器制御回路系統図

### 5. 結 言

この装置は、国鉄、鉄道技術研究所のご指導のもとに、昭和35年9月に完成し、その後約半年の試用期間を経て、昭和36年度より正式に国鉄業務組織に編入されて、全国の主要幹線の測定とデータ処理に従事している。

本装置の設計当初においては、このような規模の電子機器が、車載専用機として実用化された例はほとんどなく、この条件での部品信頼度の検討資料の不足など、種々な問題に悩まされたが、現在のように所期性能を満足し得る機器が完成したのは、国鉄本社、研究所および保守にたずさわっておられるマヤ341乗務員の方々のご協力の賜物と感謝している。なおひきつづき本装置の改良形を新幹線用として設計中である。

### 参 考 文 献

- (1) 土木機械研究室：高速軌道試験車(マヤ341), 鉄道技術研究所速報, No. 59-106 (昭34-4)
- (2) 武藤寅一：吉池式総合軌道検測車による線路評価法, 第6回保線講演会記録 (昭28-2)
- (3) 中村一郎：高速軌道試験車の計測装置とデータ処理装置, エレクトロニクス (昭34-12)
- (4) 中村一郎：軌道試験車のデータ処理装置, 計測 (昭35-6)
- (5) 中村一郎：軌道狂い測定データ処理装置, 鉄道技術研究報告, No. 250 (昭36-10)

比較精度は、軌道狂いに換算して0.05 mm以内である。

### (3) 可変周波器制御回路

第15図に可変周波器制御回路の系統を示す。

車軸回転に連動する速度発電機で得られた交流速度電圧は、一たん整流され、軌道試験車の進行方向に無関係に、一定極性をもつ直流速度電圧に変換される。この速度電圧は、位置サーボ系のリファレンス電圧と比較され、直流交流変換器で60 c/sの交流電圧に変換されこの交流サーボ系の出力軸回転角が、該当速度位置に来たところで停止するようになっている。

一方、可変周波器の接地リレーは4(1)で述べたように速度に応じて、二進ステップで切換えられなければならない。このため、サーボ系の出力軸には、符号板が連結されている。

通常の二進符号板では、各けたのけた上り時に、不安定な動作を行なうことがあるので、ここでは、符号板を5けたの交番二進とし、その後5個のリレーで通常の二進符号に変換している。



## 新 案 の 紹 介



登録新案第707233号

横内直中・河井章  
外山仁一

### 電 磁 式 燃 料 ポ ン プ 装 置

一般の電磁式燃料ポンプは、マグネットコイル9の中に配置されて上下動するプランジャー3とダイヤフラム2を結合した構造となっており、マグネットコイル9に流れる電流はプランジャー3によって開閉される開閉接点4、6によって断続される。マグネットコイル9に流れる電流は相当大きいために、燃料ポンプ運転中は開閉接点4、6に火花を発生しており、したがって燃料への引火の危険を防止するような構造となっているが、これらの目的に使用されているゴムなどの材料には寿命があり、き裂を生じた場合には燃料に引火し、思わぬ事故を起こすことになる。

この考案によれば、電磁式燃料ポンプ1のダイヤフラム2に結合されたプランジャー3に設けた可動接点4とケース5に絶縁固定された固定接点6によってトランジスタ7のベース電流を断続し、このトランジスタ7のコレクタ電流で作動するリレー8によって燃料ポンプ1のマグネットコイル9の電流を断続するために、可動接点4と固定接点6により断続される電流は微少なベース電流となって火花発生が防止され、したがって燃料への引火の危険性はまったく解消される効果を有する。

(仙波)

