

# 日立ポータブルアナログ計算機

## Hitachi Portable Analog Computer

三浦武雄\* 安藤文雄\* 阿部善右衛門\* 長谷川 毅\*\*  
 Takeo Miura Fumio Ando Zen'emon Abe Tsuyoshi Hasegawa

### 内 容 梗 概

アナログ計算機の普及のために設計したポータブルアナログ計算機について述べた。本機は加算演算器8台、加算器4台、係数用ポテンショメータ8個を有し、8階線型微分方程式を解き得る機能を有している。演算部、電源部、解指示部の3部より構成され、演算部、電源部の大きさはそれぞれ514mm×375mm×430mm、重量凡そ50kgである。なお終りに使用上の便宜を図り演算インピーダンスの使用限界図を与えた。

### 〔I〕 緒 言

理工学上の諸問題は多くの場合、微分方程式の形で与えられ、たとえば自動制御、航空機の設計、調整にたずさわる技術者はなんらかの形でこれを解明するべく多大の時間をさいているのが実情である。また各種機器の自動化とともにその技術者にかかる計算の重荷は今後ますます大きくなると思われる。これらの諸問題を適当な精度内で解決する装置として電子管式アナログ計算機（以下アナコンと略称する。）があり、すでに我国においても各方面に利用され出してはいる<sup>(1)</sup>がその利用度は未だ十分ではない。その理由は現在のアナコンが大型であり、高価であることに基くものと考えられる。著者らはこの点に着目し、小型かつ安価な取扱いの容易であるアナコンの普及型を設計した。この装置が主題の日立ポータブルアナコンである。

本機は繰返型アナコンで、特に自動制御系の設計調整用としては便利であり、8階の線型微分方程式、あるいは4元2階などの連立微分方程式を解き得る機能を有している。設計の主眼を要約すれば次の通りである。

- (i) 小型、かつ取扱い保守が容易であること
  - (ii) 大型アナコン<sup>(2)(3)</sup>と同等の演算精度を有していること
  - (iii) 演算要素の増設が容易であること
- などである。

### 〔II〕 ポータブルアナコンの概要

本機は線型微分方程式の解析機として設計された函数型の繰返型アナコンである。演算部、電源部（同期信号および単位函数電圧発生部を含む）、解指示部の3部より構成され、それぞれ卓上計算機として手頃な大きさであり、筐体から引出して幅520mmの標準架に組込めるような構造に設計されている。各部の構成概要および寸

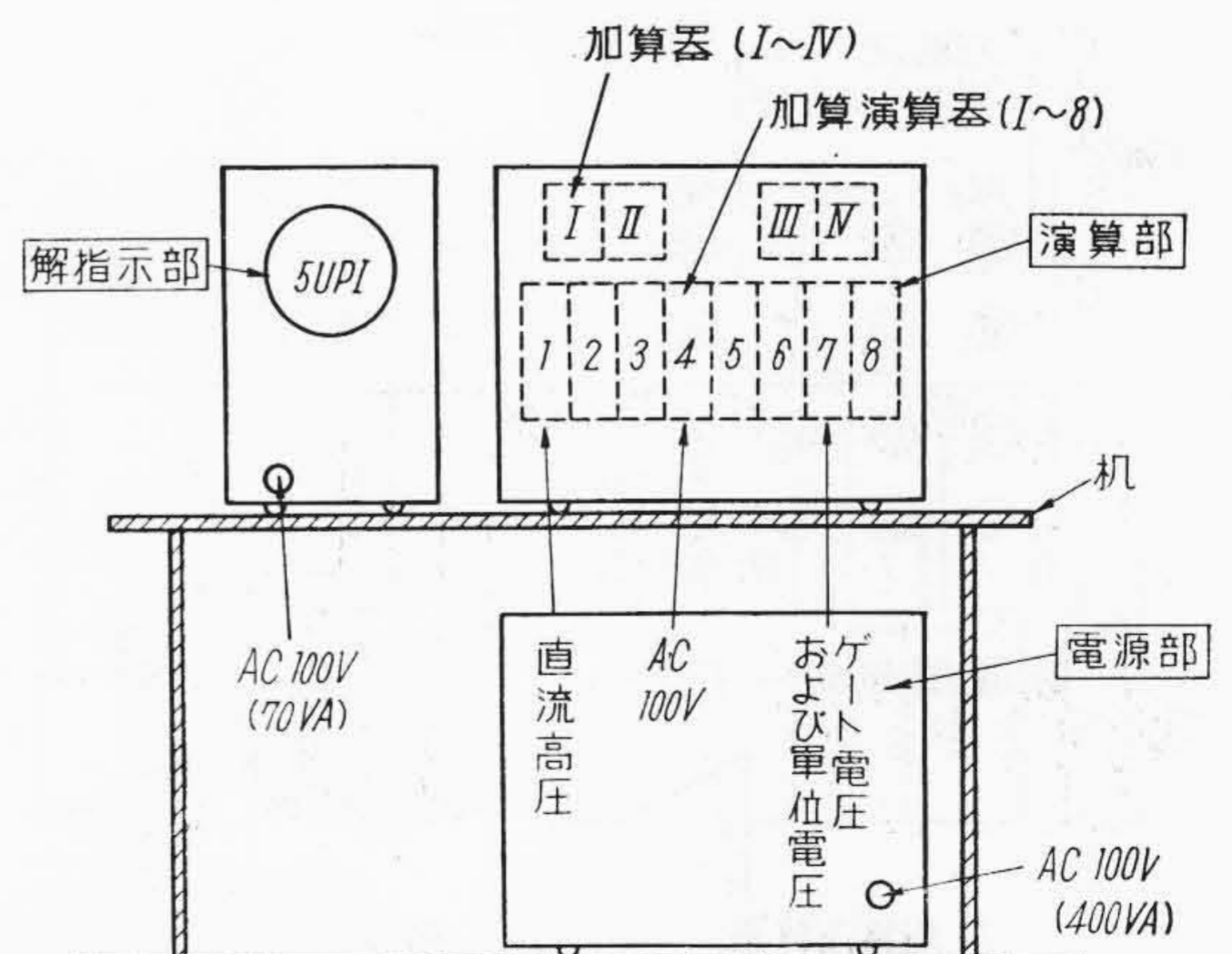
法を第1表に示す。その配列ならびに電圧供給方式を第1図に示した。

#### (1) 演 算 部 (第2図)

演算要素として次のものを有し演算部にこれらを収納している。すなわち加算演算器8台、加算器4台、係数用ポテンショメータ8個より構成され、ポテンショメータを除いてはすべてが一要素ごとにユニット化され、(第3図)パネルの前面あるいは上部より出入可能になつている。これらの入出力端子および単位函数電圧の出力端子

第1表 ポータブルアナコンの構成、寸法、重量

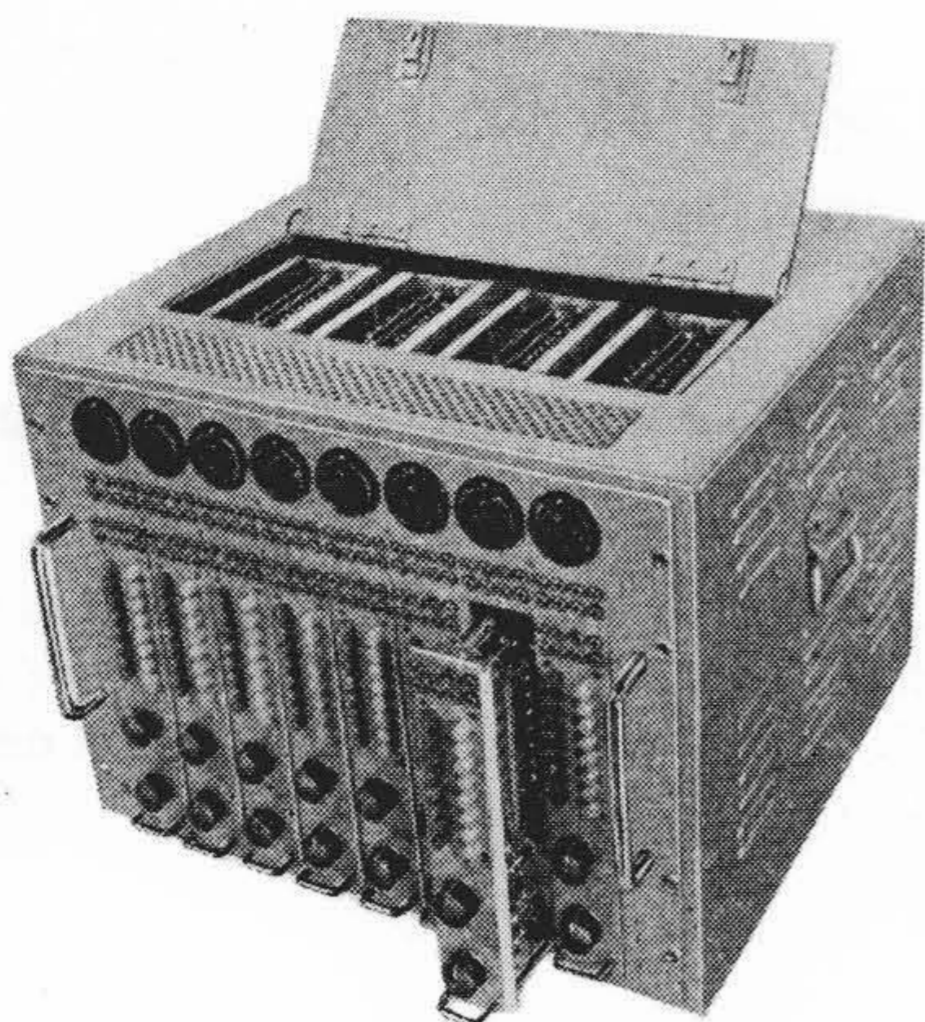
	数 量	外形寸法 (mm)			内 容	所 要 真空管	重量 (kg)
		高	巾	奥行			
演算部	1	375	514	430	加算演算器 8台 加算器 4台 係数用ポテン シヨメータ 8台	60本	55.5
電源部	1	375	514	430	+250V(Reg) 200mA +200V 200mA -200V 200mA ゲート回路	14本	50.5
解指示部	1	375	262	430	5吋ブラウン管使用	13本	20
接続ヒモ	42	-	-	-	-	-	-



第1図 日立ポータブルアナコン概略系統図

\* 日立製作所中央研究所

\*\* 昭和電子株式会社



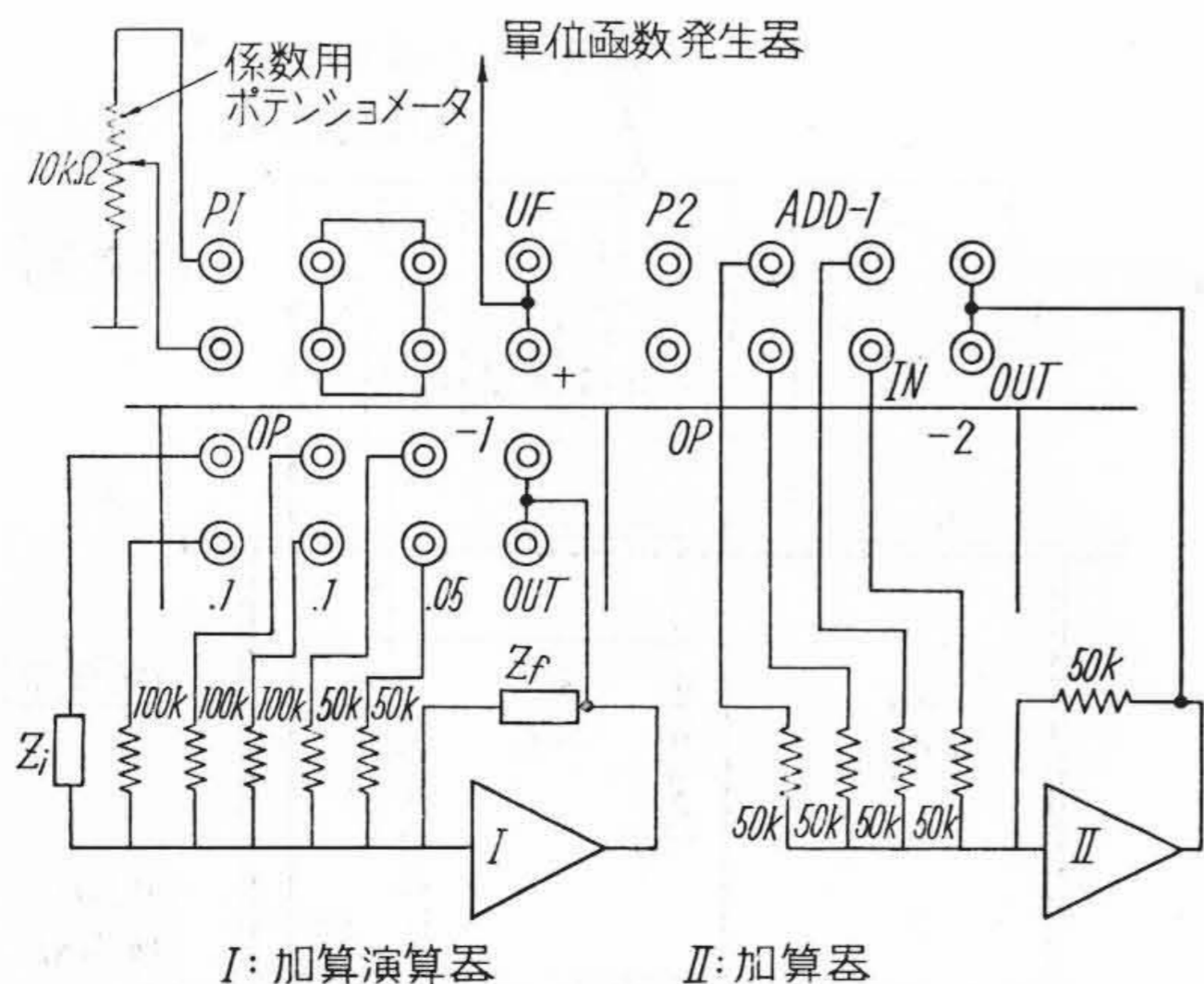
第 2 図 演算部の外観写真

はすべてパネル上部に集中して取り付けられプラグイン式パッチボードを自ら構成するように設計されている。したがって特にパッチボードを持たないが取扱いは便利である。この部分のジャックの配列の 1 部ならびに演算要素との接続の関係を第 3 図に示す。図に示すようにいずれにも接続されない 4 個 1 組の増設用端子群が 4 組あり出力端子数の不足を自由に補えるようになっている。加算演算器は可変演算インピーダンスを持つた演算回路を基本とし第 4 図中に示すように 6 個の入力端子を有し入力電圧  $e_i, e_1 \sim e_5$  と出力電圧  $e_0$  との間には次式が成立するように組立てられている。

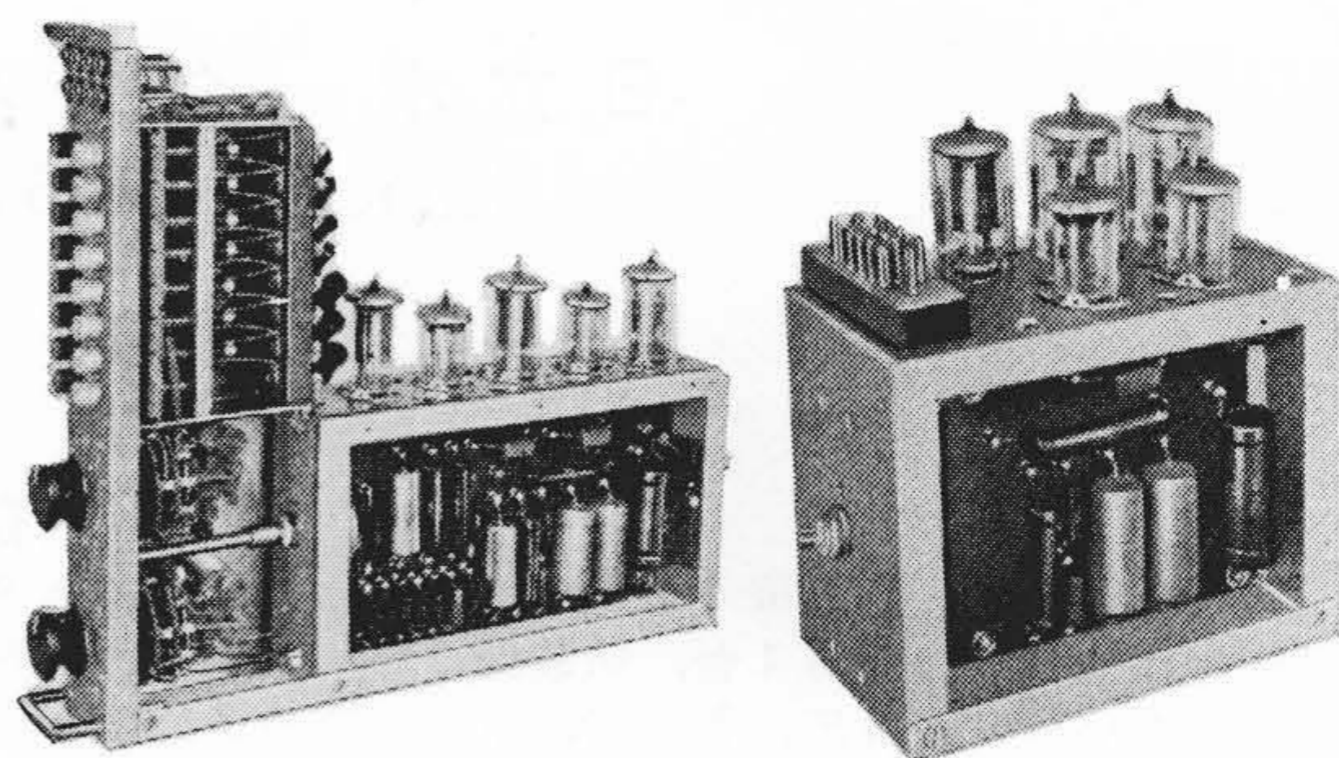
$$e_0 = \left\{ \frac{e_i}{Z_i} + \sum_{n=1}^3 \frac{e_n}{R_1} + \sum_{n=4}^5 \frac{e_n}{R_2} \right\} Z_f \dots\dots (1)$$

$$R_1 = 100 \text{ k}\Omega, R_2 = 50 \text{ k}\Omega$$

演算インピーダンス  $Z_i, Z_f$  の抵抗, コンデンサはそれぞれ押ボタンスイッチならびにロータリスイッチにより容易に直並列に設定可能である。これらの値については後述する。したがって本機においては微分方程式法に基づく



第 3 図 ジャックボードと演算要素との関係



左側： 加算演算器ユニット  
右側： 加算器ユニット  
第 4 図 演算要素ユニット

回路結線法が容易であることは勿論, 自動制御の設計によく用いる伝達函数法に基く解析もまた容易に行いうる<sup>(1)</sup>。次に加算器は入力端子 4 個を有しそれぞれの係数は 1 である。これらに用いる演算増幅器としては直流再生交流増幅器を使用しその仕様は下記の通りである。

演算増幅器仕様

- (1) 利得 75 db, (2) 上限周波数 5 kc (3 db 減)
- (3) 使用真空管 6AU6, 12AX7, 12AU7, 6AL5 × 2

係数用ポテンショメータは 1 以下の係数セット用であつて 10 回転 10kΩ のヘリカルポテンショメータを用いている。なお演算部筐体の後部には冷却扇を自蔵し強制空冷を行い, しかも通風路に留意し小型化に伴う温度上昇を極力小さくするように設計されている。

(2) 電 源 部 (第 5 図)

演算部に必要な直流電圧を供給するための電源部, 演算制御のためのゲート電源および単位函数発生部の 2 部より構成され, 特にゲート電源部に対しては将来演算部が増設された場合においてもなんら支障がないように十分な余裕を持つている。なお全消費電力は 470 VA 以内である。

(3) 解 指 示 部 (第 6 図)

演算部によつて得られた解を表示する解指示用ブラウン管オシロスコープであり, 解指示用として特に取扱い容易なように設計されている。横軸には特に電氣的時間目盛を附している。

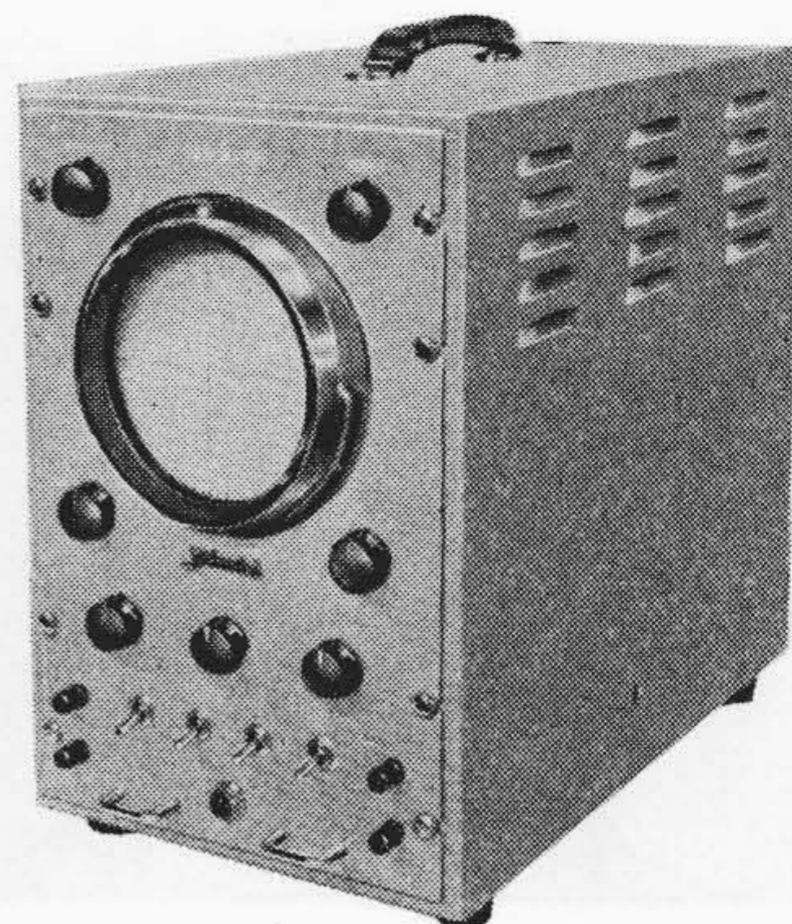
仕 様

- (1) 使用ブラウン管 5 UP 1 F
- (2) 周 波 数 特 性 直流 ~ 30 kc (±3 db 以内)
- (3) 掃 引 電源同期方式
- (4) 時 間 目 盛 間 隔 1 ms
- (5) 時 間 目 盛 挿 入 方 式 輝度変調により現象に重畳する方式

解指示部は普通のブラウン管オシロスコープで代用することもできるが本装置を用いる方が便利である。



第5図 電源部 外観写真



第6図 解示部 外観写真

〔III〕 機能精度および電源変化に対する安定性

前述のように加算演算器8台、加算器4台を有し、最高8階線型微分方程式、あるいは4元2階などの連立微分方程式をときうる。更に演算増幅器は演算インピーダンスの接続が任意に変更できかなり複雑な制御要素8個以内の自動制御系の解析が可能である。これらの値は現実直面に直面する問題の多くがそれ程高階の微分方程式ではないこと、ならびに振動系の場合には4自由度系の解析を対象とすれば十分であらうと言う経験に基づいて決定したものである。なお本機は増設が容易なように設計されておりこの場合には勿論それだけ機能が增大する訳である。

次に演算器の精度であるが、それぞれの要素はまったく大型のそれと同一の設計であり特にポータブルなるが故に精度が落ちていると言うことはない。読取り精度が5吋ブラウン管を使用するために大型の場合の7吋ブラウン管に比して幾分低いのみである。すなわち本機の誤差は400 c/sのサークルテストにおいて2%以内である。

次にポータブルアナコンが電源電圧変化のはげしい現場においても使用できるか否かを確かめるために電源変化の解への影響について検討した。その結果は入力電圧を75~105Vに変化した場合に解に対してなんら変化を与えない。しかし75Vのように低い電圧では陰極加熱電流が不十分のために場合によっては真空管の劣化が甚だしくなる虞れがあり、この状態で長時間使用することは避けるべきである。

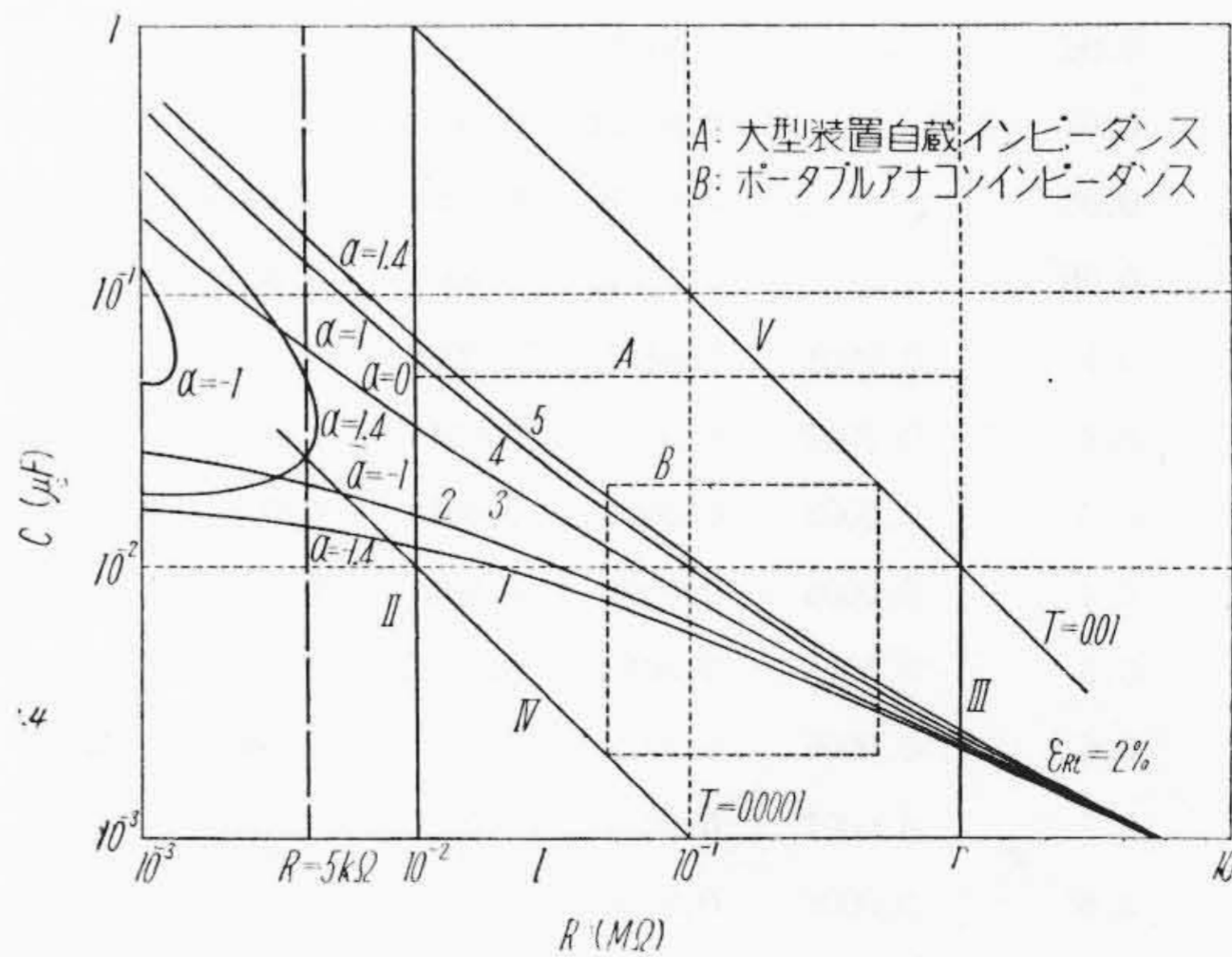
〔IV〕 自蔵演算インピーダンスと使用限界図について

アナコンで演算インピーダンスを自蔵しこれを押ボタンまたはロータリスイッチでセットできることは、取扱いを容易ならしめることは勿論、常に規定精度内のイン

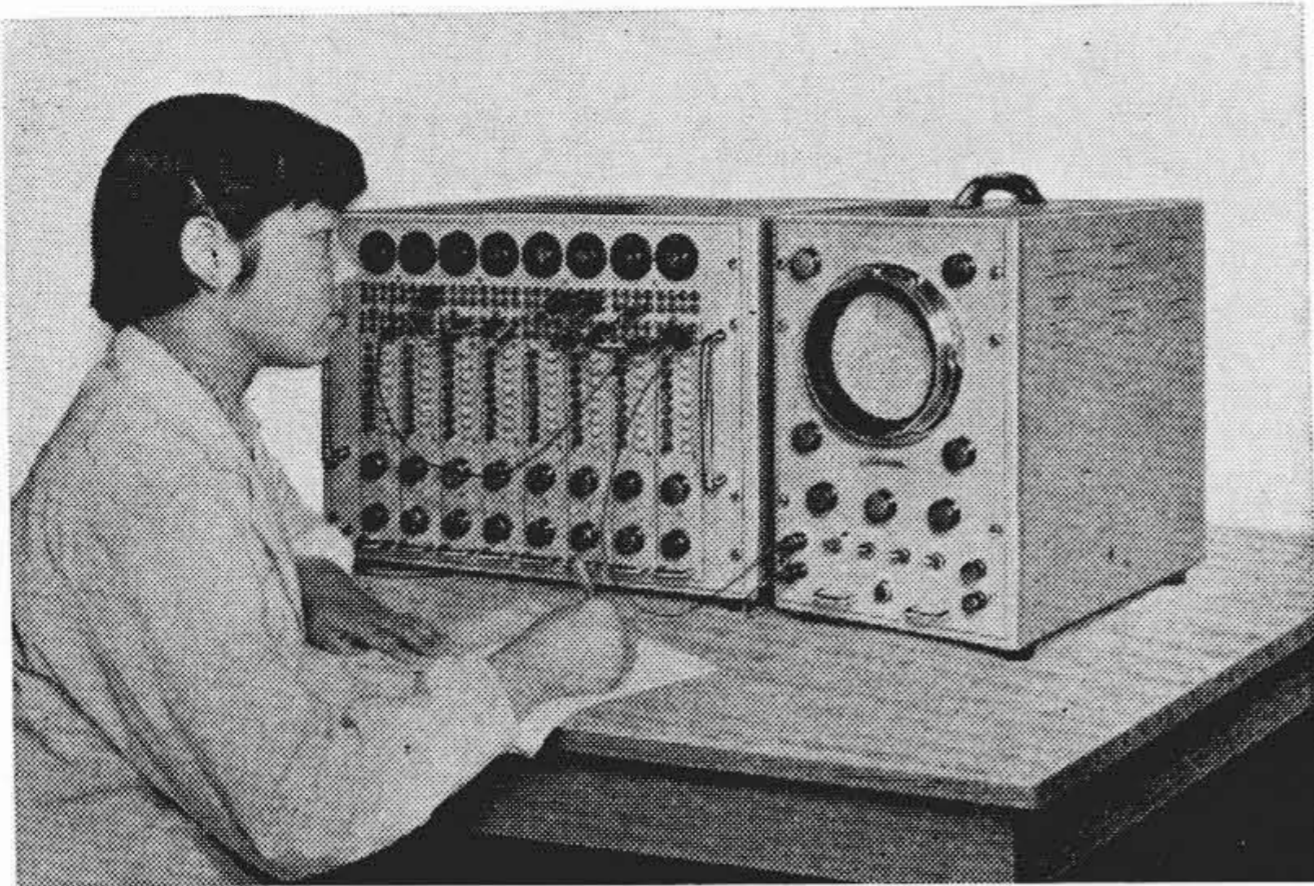
ピーダンスが使用できるために演算精度を保持する点からも実用上すぐれた方式である。日立ポータブルアナコンにおいても大型装置同様にこの方式を採用しており、自蔵させるインピーダンスの値はすでに求めた演算インピーダンス使用限界図と使用頻度より決定されている。始めに簡単に使用限界図について述べポータブルアナコンの自蔵インピーダンスとの関係を示す。すなわち繰返型アナコンでは次の理由から使用する演算インピーダンスに限界値をもっている。これを図表にしたものが使用限界図(第7図)である(4)。図について主として定性的に説明する。

(1) 浮遊容量からの制限

繰返型アナコンの誤差の大部はこれによつて決定される。したがつて抵抗値としては高い値を使用することは極力避けるべきであり(5)、コンデンサの値としても10pFの100倍の値0.001μF以上を用いるべきである(直線I, 直線III)。今演算解の特性を代表する特性根を  $p = (\alpha \pm j)\omega$ ,  $\omega = 1/T$ ,  $T = CR$  (積分時定数) とすると、 $t$ 秒後における振幅誤差  $\epsilon_{Rt}$  は次式で表わされる(附録参照)。



第7図 繰返型アナコンの演算インピーダンス使用限界図 ( $k=1, t=0.01$  秒)



第 8 図 使用中の日立ポータブルアナコン

$$|\varepsilon_{Rt}| \simeq \frac{1}{CR} \left[ \frac{1}{\mu} (1 + \alpha) + \frac{C_s}{C} \right] t \dots\dots\dots (2)$$

$t$ : 演算時間  $C_s$ : 積分抵抗の浮遊容量  
 $\mu$ : 増幅器の増幅度

(2)式において  $t=0.01$  秒,  $C_s=10$  pF,  $|\varepsilon_{Rt}|=0.02$  とし  $\alpha$  をパラメータとして求めた  $C, R$  の関係が曲線 1~5 であり, この曲線を境界としてこれより高い値の抵抗, 小さいコンデンサを用いることは 2% 以上の誤差を生じるから避けるべきである。 $\alpha=1$  は連続振動のような解の場合であり,  $|\alpha|=1.4$  は 1 同期後の振幅比が 1% 程度の振動解の場合である。

第 2 表 繰返型アナログコンピュータ使用  
 限界図参照

$C(\mu F)$ $R(M\Omega)$	0.001	0.002	0.005	0.01	0.02
0.01				0.0001	0.0002
0.02			0.0001	0.0002	0.0004
0.03			(0.00015)	0.0003	0.0006
0.04			0.0002	0.0004	0.0008
0.05		0.0001	0.00025	0.0005	0.001
0.06		0.00012	0.0003	0.0006	0.0012
0.07		0.00014	0.00035	0.0007	0.0014
0.08		0.00016	0.0004	0.0008	0.0016
0.09		0.00018	0.00045	0.0009	0.0018
0.1	0.0001	0.0002	0.0005	0.001	0.002
0.2	0.0002	0.0004	0.001	0.002	0.004
0.3	0.0003	0.0006	0.0015	0.003	0.006
0.4	0.0004	0.0008	0.002	0.004	0.008
0.5	0.0005	0.001	0.0025	0.005	0.01
0.6	0.0006	0.0012	0.003	0.006	
0.7	0.0007	0.0014	(0.0035)	(0.007)	
0.8	0.0008	0.0016	0.004	0.008	
0.9	0.0009	0.0018	(0.0045)	(0.009)	
1	0.001	0.002	0.005	0.01	

(2) 増幅器の安定性からの制限

演算増幅器は負帰還型増幅器であるために, 積分時定数  $T$  が全体としての増幅器の安定度を支配する。 $T$  が大き過ぎると低周波発振の原因をなし, 小さ過ぎる場合には高周波発振の原因となる。一般にはほぼ  $0.01 \text{ 秒} > T > 0.0001 \text{ 秒}$  が安定な領域である(直線 IV, V)。

(3) 増幅器のリセット時間からの制限

繰返型アナコンでは演算時間と同様にリセット時間にも制限がある。したがってこの時間内にリセットされるべき積分時定数でなければならない。50 c/s 繰返しの場合では  $T < 0.01$  秒である(直線 V)。

(4) 解の明瞭度からの制限

$T$  をあまり大きくとることはタイムスケールが大きくなり, 解の明瞭度を失う。少くとも  $T < 0.01$  秒である。

(5) 増幅器の負荷としての制限

入力演算インピーダンスが前段増幅器の負荷となるためにこの値を小さく選ぶことは過負荷になること, 見掛上の増幅度が低下することの理由から避けねばならない。おおむね  $R \geq 10 \text{ k}\Omega$  を守るのが適当である(直線 II)。

次に演算増幅器を積分器として用いる場合に, 大型装置の自蔵している演算インピーダンスの有効数字 1 桁により選びうる積分時定数は第 3 表のようになる。ただし積分時定数としてとりうる範囲を前述の理由にもとずいて 0.0001 秒から 0.01 秒までとし, この範囲外の演算時定数がえられても無意味であるとして省略する。第 2 表から破線内の定数を自蔵することがもつともまた得策であることがあきらかである。もしこの範囲内を自蔵するとすればこれにより実現できない積分時定数は破線外の括弧で示す値のみとなる。

この表より積分器の場合, 抵抗は 50 k $\Omega$  から 500 k $\Omega$  まで有効数字 1 桁で選ぶことができ, コンデンサは 0.002  $\mu F$ , 0.005  $\mu F$ , 0.01  $\mu F$ , 0.02  $\mu F$  があれば十分であると言う結論に達する。ポータブルアナコンはこの結論にもとづいて自蔵演算インピーダンスの値を決定しているが実際には使用上の便利さから 0.001  $\mu F$  をもそなえている。第 7 図中に使用限界図における自蔵インピーダンスの関係を示している。

〔V〕 結 言

日立ポータブルアナコンの概要について説明し, かつ使用上の便宜を計るために繰返型アナコンに使用する演算インピーダンスの使用限界図について附記した。本機は小型, 低廉かつ取扱い容易である主旨を果すべく設計されたものであつて, 今後設計者のみならず現場においても使用されるアナコンとなりうることを念願するものである。なお本文は線型要素のみについて記述したのであるが, 非線型要素のポータブル化についてもすでに着

手している。ポータブルアナコンはその完成と相俟つて威力を発揮するであらうことは想像にかたくない。終りに臨み製作上種々御討議，御意見を賜つた日立製作所田口通信事業部次長，中央研究所只野文哉，高田昇平両主任研究員ならびにアナコン関係者各位に謝意を表す。

参考文献

- (1) たとえば 三浦： エレクトロニクス (昭 31-11) P.2 ~ P.7
- (2) 三浦，只野： オーム 計，34 (昭 30-11)
- (3) 三浦，沼倉： 電気三学会支部連合大会 459 (昭 29)
- (4) 三浦，沼倉： 電気三学会連合大会 514 (昭 31)
- (5) 三浦，衣川，電気三学会連合大会 520 (昭 31)
- (6) 高橋，伊沢訳： 自動制御の力学 P. 57

〔附 録〕 繰返型アナコンの演算誤差について

線型微分方程式を繰返型アナコンで解いた場合に生じる演算誤差  $\varepsilon$  は各部の浮遊容量，ならびに周波数特性を考慮すると第 1 次近似として次式が求まる。

$$\varepsilon \approx -\frac{1+p\tau}{\mu T} - \frac{1+p\tau}{\mu} p + p^2 T_s \dots \dots \dots (3)$$

- ただし  $\mu$ ： 演算増幅器利得
- $\tau$ ： 増幅器の周波数特性を表わす時定数
- $T=CR$ ： 積分時定数
- $T_s=RC_s, C_s$ ： 積分抵抗に並列に入る浮遊容量
- $p$ ： 微分方程式の特性根

今特性根中の解を支配的ならしめる代表特性根  $p_1, p_2$  を

$$p_1, p_2 = (\alpha \pm j)\omega \quad \alpha = \delta/\omega \dots \dots \dots (4)$$

とし  $p=p_1, p_2$  を (3) 式に代入し  $\varepsilon$  についての実数部  $\varepsilon_R$  および虚数部  $\varepsilon_{img}$  を計算すると

$$\varepsilon_R = -\frac{1}{\mu T} - \frac{\alpha\omega}{\mu} \left( \frac{\tau}{T} + 1 \right) + (\alpha^2 - \omega^2) \left( T_s - \frac{\tau}{\mu} \right)$$

$$\approx -\frac{1}{\mu T} - \frac{\alpha\omega}{\mu} \left( \frac{\tau}{T} + 1 \right) - \omega^2 \left( T_s - \frac{\tau}{\mu} \right) \quad \omega^2 \gg \alpha^2 \dots \dots \dots (5)$$

$$\varepsilon_{img} = 2\alpha\omega \left( T_s - \frac{\tau}{\mu} \right) - \omega \left( \frac{\tau}{\mu T} + \frac{1}{\mu} \right) \dots \dots (6)$$

すなわち  $\varepsilon_R$  は振幅誤差をあたえ  $\varepsilon_{img}$  は周波数誤差をあたえる。今  $\varepsilon_R$  についてのみ考慮すると演算周波数  $\omega$  と  $T$  とのあいだに次式が成立する

$$\omega = \frac{k}{T} \frac{1}{CR} \dots \dots \dots (7)$$

(7) とする式を (6) 式に代入すると

$$\varepsilon_R = \frac{1}{T} \left[ -\frac{1}{\mu} (1+k\alpha) - \frac{C_s}{C} k^2 + \frac{k\tau}{\mu T} (k-\alpha) \right]$$

$$= \frac{1}{CR} \left[ -\frac{1}{\mu} (1+k\alpha) - \frac{C_s}{C} k^2 + \frac{k\tau}{\mu CR} (k-\alpha) \right] \dots \dots \dots (8)$$

演算時間  $t$  秒後における誤差  $\varepsilon_{Rt}$  は (8) 式より

$$\varepsilon_{Rt} \approx \frac{t}{CR} \left[ -\frac{1}{\mu} (1+k\alpha) - \frac{C_s}{C} k^2 + \frac{k\tau}{\mu CR} (k-\alpha) \right] \dots \dots \dots (9)$$

$t, \mu, C_s, \tau$  をあたえ  $k$  をパラメータとして所要の  $\varepsilon_{Rt}$  になるための  $C, R$  関係を図示したものがそれぞれについての使用限界をあたえる図であり，著者は第 3 節に挙げた使用上の諸条件を入れこれを演算インピーダンスの使用限界図と名付けた。

今 (9) 式において  $k=1$  とし  $1 \gg \tau/\mu$  とすると (9) 式は

$$\varepsilon_{Rt} \approx \frac{t}{CR} \left[ -\frac{1}{\mu} (1+\alpha) - \frac{C_s}{C} \right] \dots \dots \dots (10)$$

$t=0.01$  秒， $C_s=10$  pF  $\mu=3 \cdot 10^3$  とし  $\alpha=0, \pm 1 \pm 1.4$  について求めた  $\varepsilon_{Rt}=0.01, 0.05$  に対する使用限界図の一例が第 7 図である。 $\alpha$  と解の相隣る振幅の比との関係については文献に詳細に示されているが<sup>(6)</sup>  $\alpha=1.4$  の値は振幅比がほぼ  $10^{-2}$  程度である。

日 立

Vol. 19 No. 2

目 次

- ◎電 灯 雑 記.....荒垣 秀雄
- ◎テレビ受信機のはたらき
- ◎ほこり族の生態
- ◎冬のマスコット
- ◎これからの電気配線
- ◎日本の造船と日立の船用機関
- ◎電気井戸ポンプと生活の合理化
- ◎ショールーム “洗濯機”
- ◎新しい照明施設

誌代 1冊 ¥60 (〒12)

発 行 所 日 立 評 論 社

東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地  
振替口座 東京 71824 番

取 次 店 株 式 会 社 オ ー ム 社 書 店

東京都千代田区神田錦町3の1  
振替口座 東京 20018 番

日 立 造 船 技 報

Vol. 17 No. 4

目 次

- ◎船舶の煙突の形状について
- ◎新設ベンディングローラによる工作法について (第 1 報)
- ◎超硬チップの使用法について
- ◎クランク軸の焼ばめ時に生ずる応力分布の測定
- ◎ステンレス鋼の酸洗いについて
- ◎圧電気式筒内指圧計の試作研究

本誌につきましての御照会は下記発行所へ御願致します。

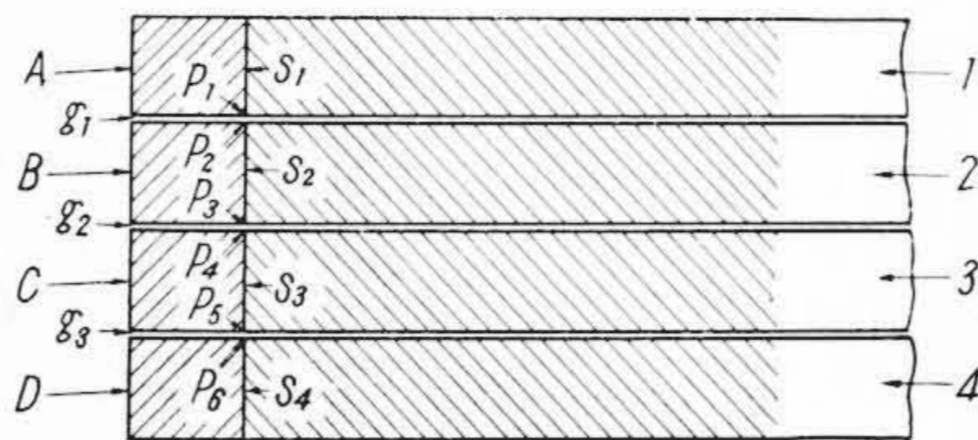
日 立 造 船 株 式 会 社 技 術 研 究 所

大阪市此花区桜島北之町60

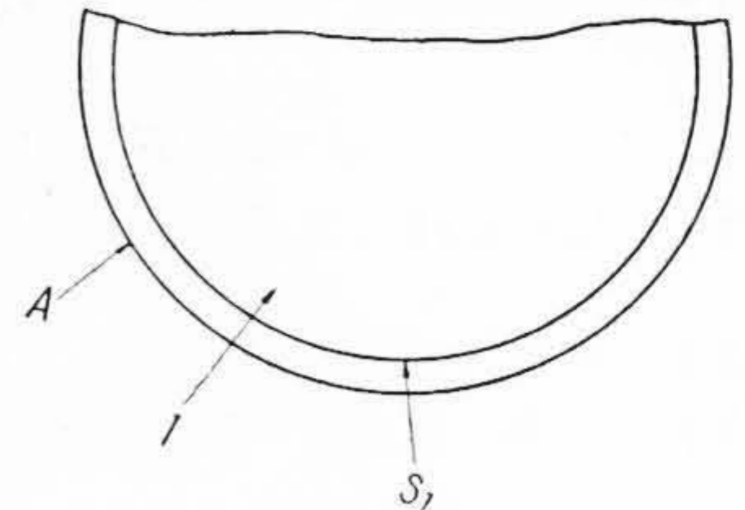


堆積型避雷器特性要素

カーボランダムを主成分とするいわゆる乾式避雷器特性要素にはその作動時に堆積した周縁から沿面放電を生ずる不安があるので、従来これに対し種々の考案があつた。従来の種々の対策は一応その時代々々の避雷器の放電容量に耐えてきたのであるが、避雷器特性要素の放電容量の増進は近来とみにいちぢる



第1図



第2図

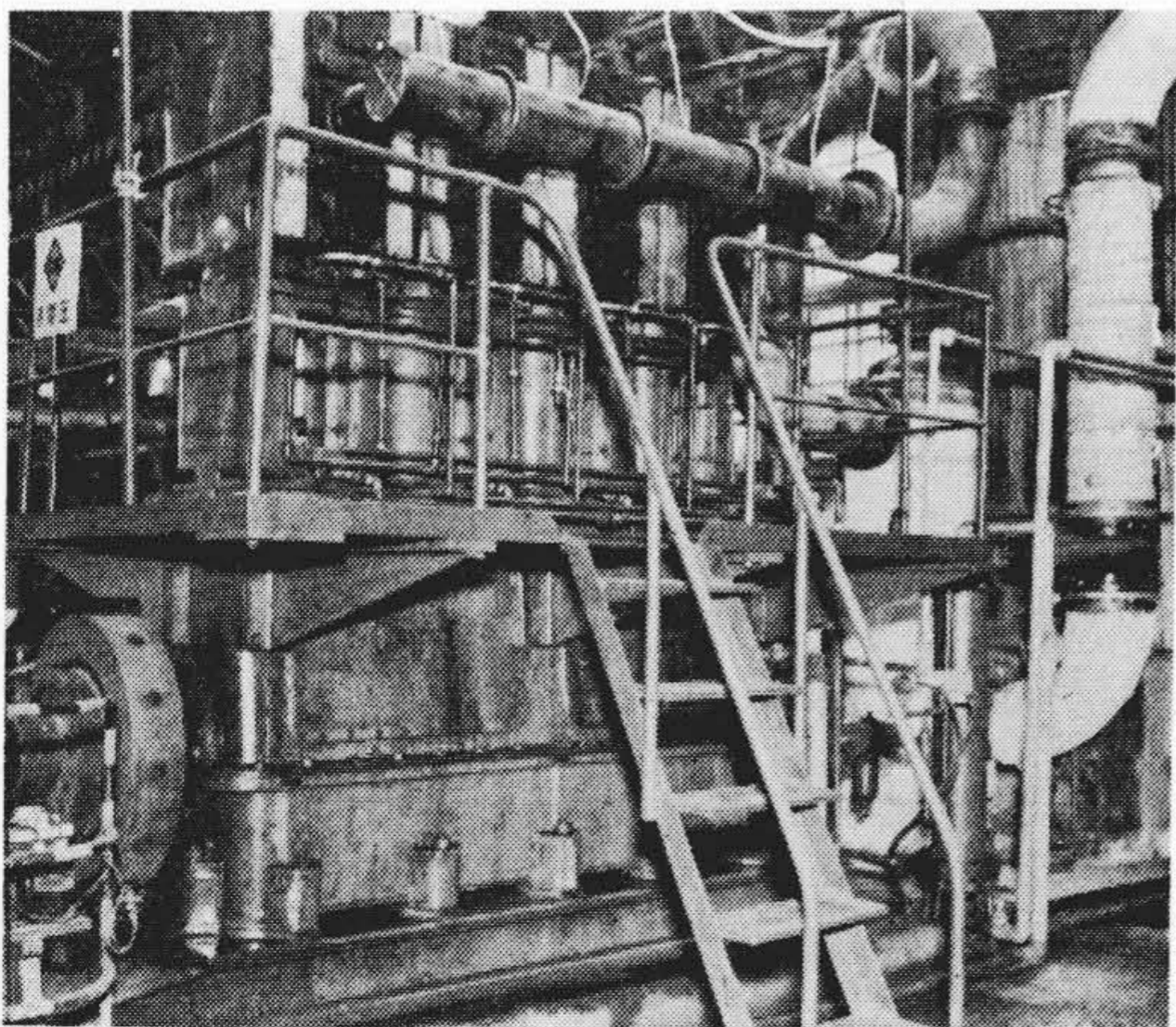
しく標準衝撃波長以上の熱雷 (10 kA~100 kA), ことにその急峻波に遭遇してはほとんど耐えられぬものとなつた。しかして従来行われた対策の失敗の原因としては、たとえば特性要素たるミウライト盤周縁に被着した絶縁薄層それ自身の組成の問題や周縁の仕上り形状などの欠点が上げられることがあつたが、実はその最大な点は、絶縁薄層が円盤の実質と十分一体的に結合されておらぬことおよび薄層自身があまり薄きに過ぎることにあることを知つた。この考案はかかる見地から改良を加えたものである。図中 1, 2, 3, 4 などはミウライト盤, A, B, C, D などは絶縁周縁である。この周縁材質はカーボランダムを主成分とするミウライト盤と焼成収縮率および膨脹率が近似なるものとして緑色カーボランダムを主成分としてこれに長石, 粘土などを混合せる高抵抗体を採用した。このような両者 (1とAのごとし) の組成においては両者を同時成型した上で焼成した場合には

膨脹, 収縮ともたがいに近似しているの、仕上りの両者の一体性はいちぢるしく密実かつ強固である。またこの考案ではミウライト盤が 150φ のとき絶縁周縁の幅を 5~10 ミリ程度に厚くするのであるが、こうしたものを図のように堆積して使用するときは堆積間に自然に発生する細隙  $g_1, g_2, g_3$  などは従来のものに比しいちぢるしく長大となり、火花発生個所  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$  などは自由な空間から十分奥所に退けられた形となり、また一方 1 ないし 4 と A ないし D との接着面  $S_1, S_2, S_3, S_4$  は上にのべたように密実な一体部分であるから細隙の存在を見ず、このようにして放電路は曲成伸長されること従来に比していちぢるしく大となり、もつて閃絡に強固に対抗しうるものとなるのである。この考案による乾式避雷器特性要素の出現により放電容量は急上昇を遂げた。 (宮崎)


訂正

本誌第39巻第1号 (昭和32年1月発行) 第78頁第3図写真は誤りでありましたので下記写真に訂正致します。

—編集部—

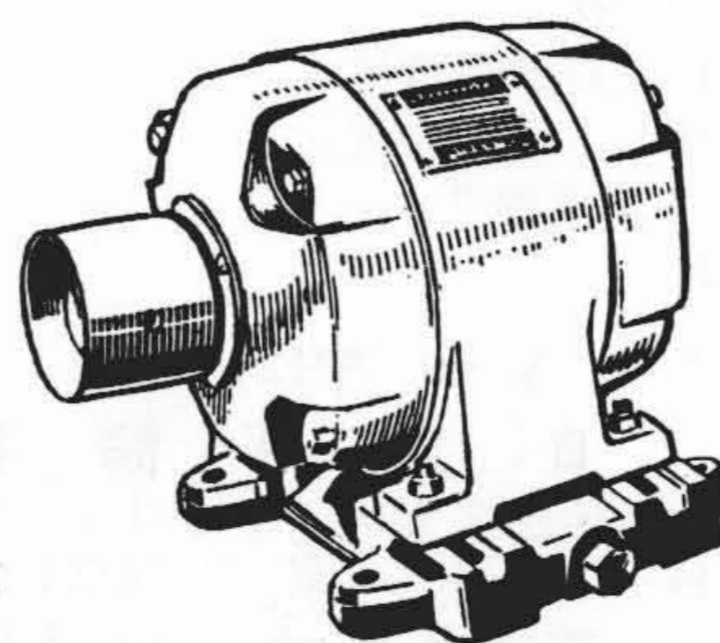


**日立モートル**の評判は  
どこへ行つても絶対です。



日立モートルは各方面に於ける愛用者の方々へのゆきとどいたサービスと共に独特の一貫作業により安心して使つて頂ける力の強いそして寿命の永い優秀品であります

日立モートルの生産高と販売高がモートル界の第一位にある事によつてもその評判はおわかりでしょう



日立製作所