

日立アナログ計算機とその展望

General Aspect of Hitachi Analogue Computer

三 浦 武 雄* 沼 倉 俊 郎*
Takeo Miura Toshio Numakura

内 容 梗 概

日立アナログ計算機の研究開始当初より、製品化に至るまでの経過について、主として研究面より歴史的に記し、特に低速度型アナログ計算機の線型要素、サーボ演算器についての問題点およびこれの対策を明らかにし、日立アナログ計算機の特長を示した。終りに日立製作所におけるアナログ計算機の使用実績および社外に発表したアナログ計算機に関する参考文献を表示した。

1. 緒 言

日立製作所においてアナログ計算機（以下アナコンと略す）の研究が開始されたのは昭和 26 年であり、すでに 8 年を経過した。この間筆者らはアナコン自体の研究はもちろん、これに使用する部品の開発、応用分野の開拓を行った。現在においては国内数社で製作され、実用化されている装置はすでに数十台に達している。

本稿では日立アナコンがいかにして製品化されるに至ったかという生いたちと、それらの装置によって解析された二、三の応用例について述べる。

2. 研究開発の動機と繰返し型アナコンの研究経過

日立製作所においてアナコンの研究を開始した当時は、各種自動制御装置を synthetic に設計することが試みられつつあった時代で、その一、二年前に発足した日立製作所の自動制御連絡会を通じて種々の討論が盛んであった。一方日立工場の自動制御装置の設計はますます厳密を要求されてきていた。かかる要求から自発的にアナコンの調査が開始された。中央研究所で最初に組立てられたアナコンは低速度型で $12A \times 7$ 2本からなる簡単な演算増幅器でマイコンデンサを使用した。解は電磁オシロで記録し、きわめて原理的にその動作を確めた。

当時東大生産技術研究所でも繰返し型アナコンの研究を行っており、すでに線型要素について実験的に成果を得ていた。筆者らは自動制御への応用面からみて低速度型より繰返し型が便利であり、かつ当時として部品の面から低速度型アナコンを製品化することはきわめて困難と考えられたので、同研究所と依託研究の形で繰返し型アナコンの本格的な研究を開始した。昭和 27 年 6 月である。日立研究所では同じころ直接相似型の繰返し型アナコンの研究が進められており、常に連絡を密にして技術的な向上を計った。すでにこのころからこれらのアナコンを使用して自動制御装置の解析（製作中の装置の検

討）が行われた。わが国では最も古い実績である。

昭和 28 年 4 月には 2 回の試作を経て 14 階微分方程式を解く機能をもつ、国産第 1 号の繰返し型アナコンの実用機を完成した。解指示装置には 7 in ブラウン管を使用し、時間目盛などの電氣的測定回路を付加し、読取り精度の向上をはかった⁽¹⁾。この装置を用いて主として日立工場依頼の自動制御装置、すなわち製鉄ミルの自動制御、巻上機の制御、抄紙機セクショナルドライブ、静止レオナード装置など多数の設計に用いて多大の成果をあげた。さらにこの経験を生かし、昭和 29 年に非線型要素として掛算器、任意関数発生器、特殊非線型要素を有する 12 階微分方程式を解きうる第三次試作を完了した。定数設定回路は演算インピーダンスの精度保持と取扱い方の簡便さより押ボタン方式を採用した⁽²⁾。また非線型要素はいずれも精度向上と取扱いの点から検討され、新しい工夫が付加されている。3 角波掛算器、折線近似関数発生器⁽³⁾などである。昭和 29 年にはさらに通産省より試作研究のために補助金を受けた。なお同年末には日立工場で専用使用するアナコンを完成、以来主として自動制御関係に 5 時間/日の利用率で連日使用している。昭和 30 年にはアナコンの普及を考え、低廉かつ小形の繰返し型ポータブルアナコンの試作を終り、昭和 31 年に市販されるに至った。小形化の試みもこの装置が国内で最初である。8 階の線型微分方程式を解く機能をもつものである。

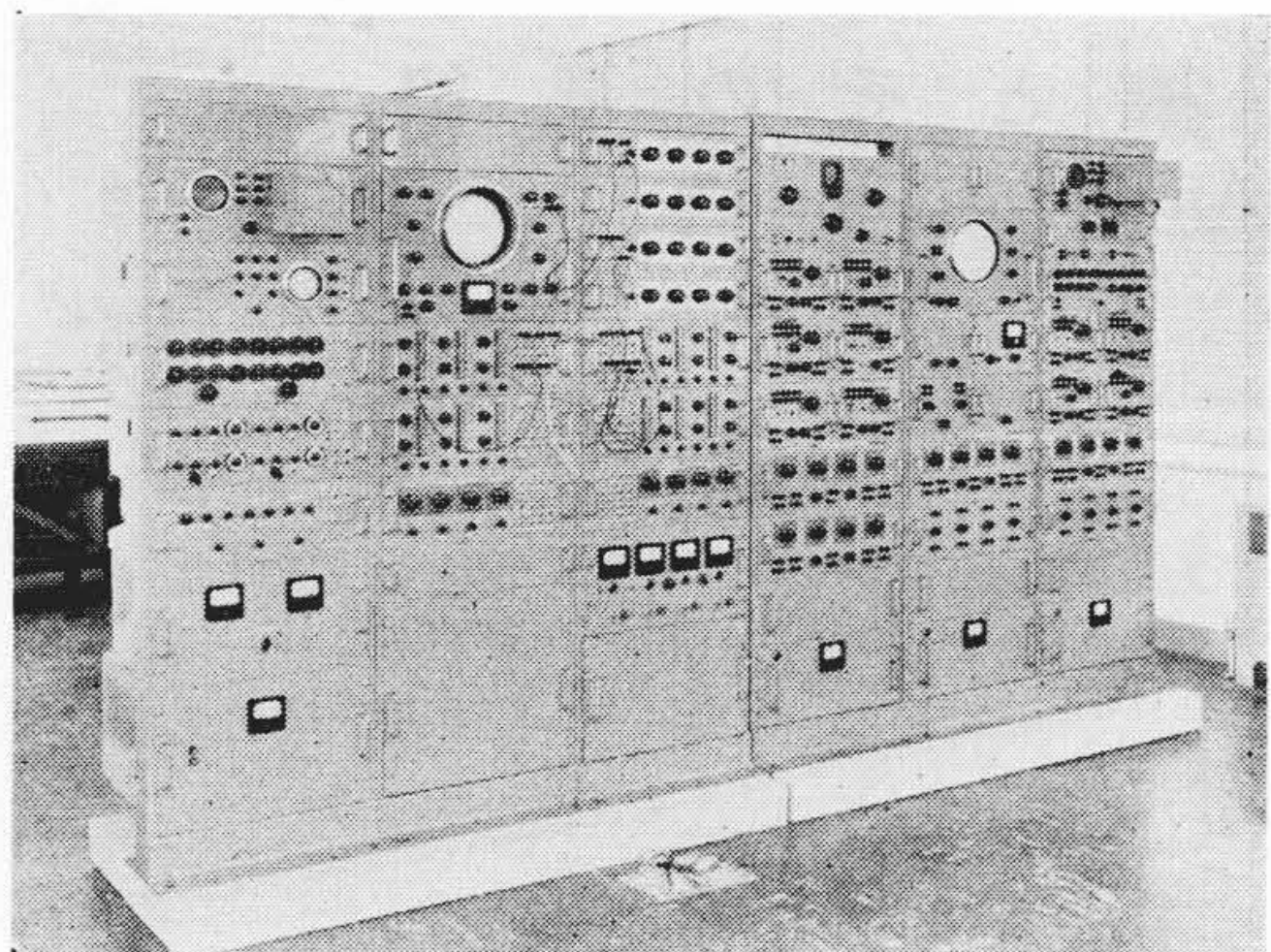
繰返し型アナコンの精度は解指示時間に制限があり、ブラウン管面とそのスポットの大きさと読取り精度がおさえられる。振幅 10cm で 2% 程度と考えてよい。これを除いては線型要素 2%、非線型要素 3% 程度である。サークルテストは 400c/s で 2% 程度の誤差に入っている。なお精度向上の方式として最も早く繰返し周波数の低速化を提唱し、演算インピーダンスについては使用限界図を与え使用上の誤差を軽減した。いずれも実用化し

(1) 特 219477

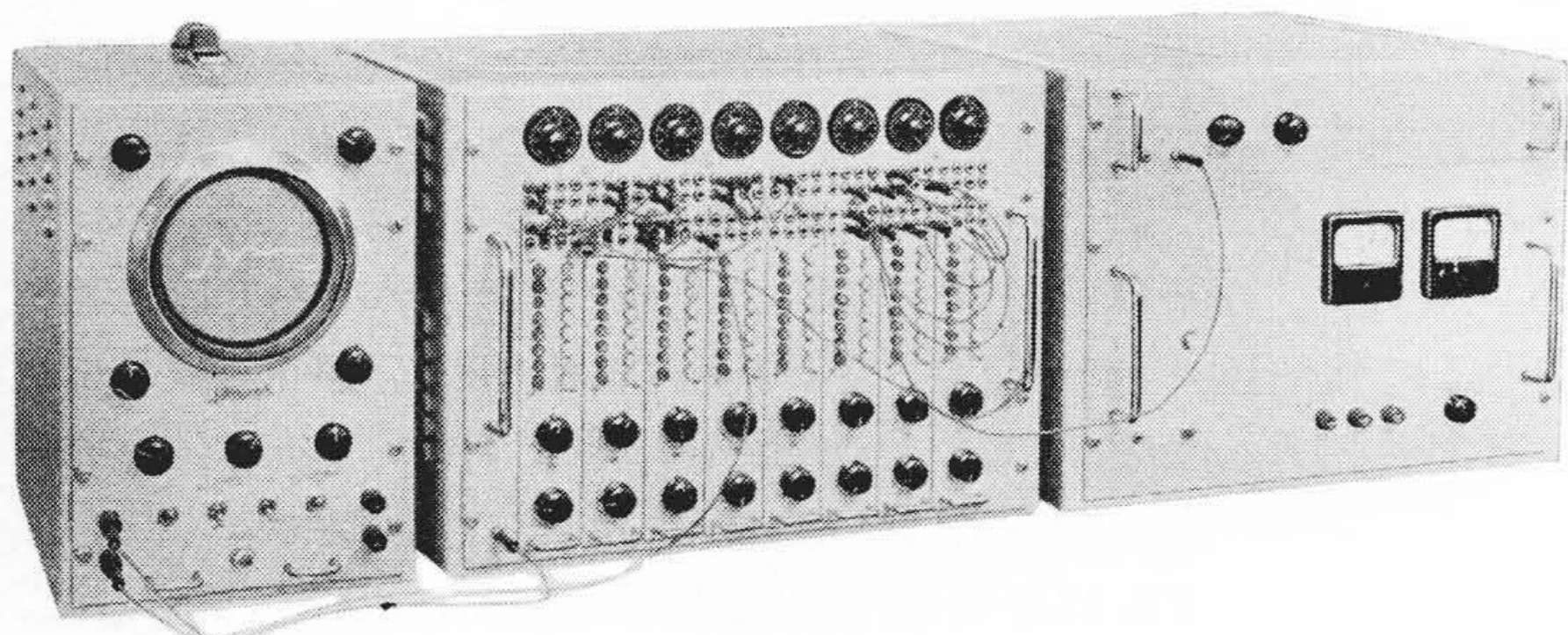
(2) 実 470414

(3) 特願中

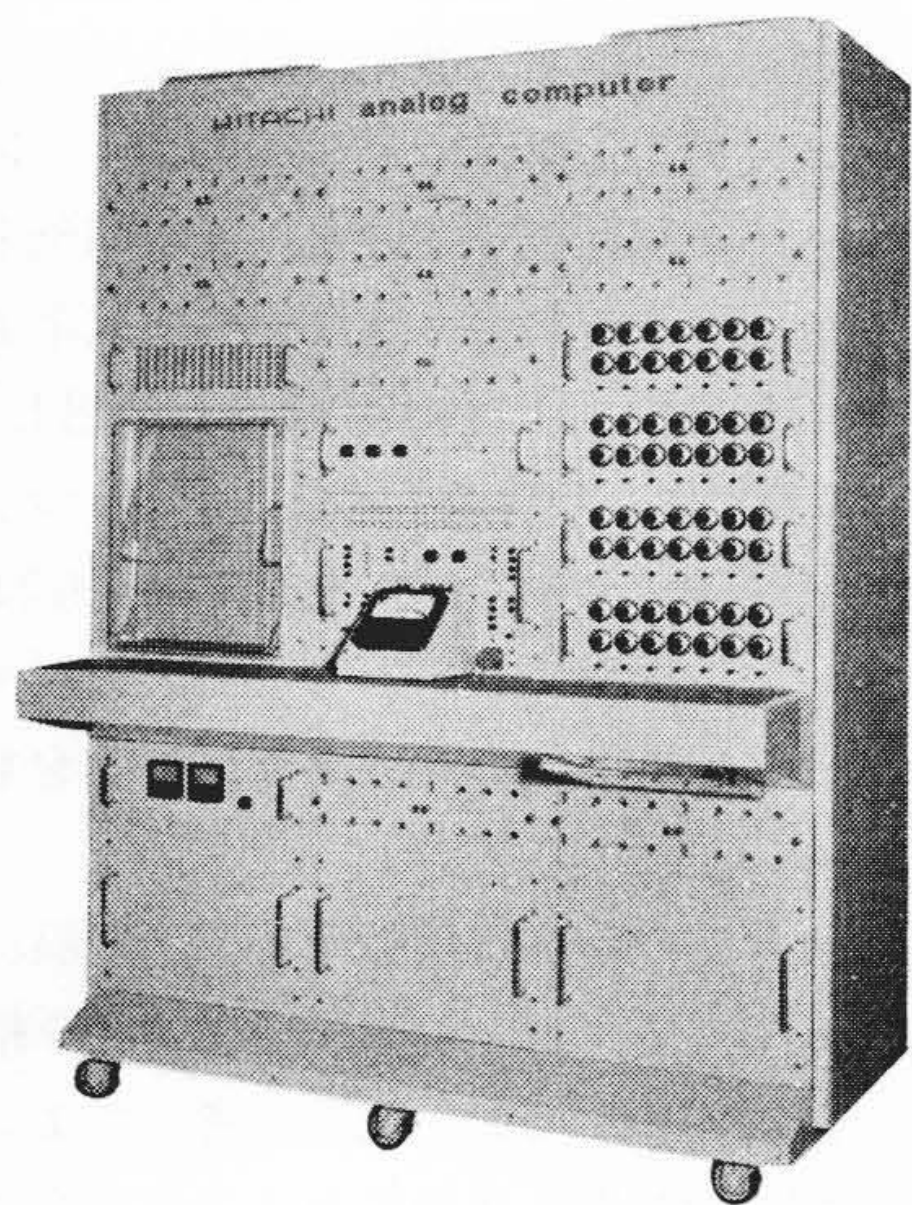
* 日立製作所中央研究所



第1図 日立繰返し型アナログ計算機
(日立製作所中央研究所)



第2図 日立繰返し型ポータブルアナログ計算機外観



第3図 日立低速度型アナログ計算機外観

ている。

第1図に中央研究所に設置されている繰返し型アナコンの外観を示す。左側3ベイは第三次試作分であり、他が第二次試作装置である。第2図に繰返し型ポータブルアナコンの外観写真を示す。

3. 低速度型アナコンの研究と実用化

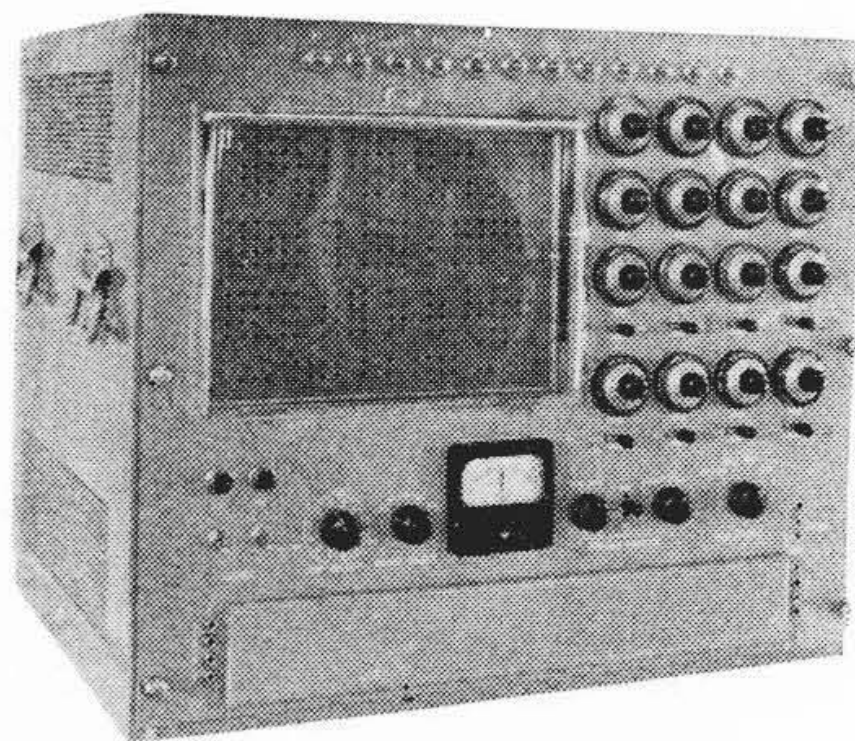
3.1 概 説

低速度型は精度が高いこと、実時間動作ができるなどのすぐれた長所をもつことを知りながら、使用部品に高い精度と安定度が要求されるために繰返し型に比して開発がおくれた。部品の開発がすすみ、製作の可能性が見出され、第一次試作を完了したのは昭和31年4月である。同機は10階線型微分方程式をとく機能を持ち、総合精度0.5%を目標として設計されたものである。この装置は同年5月「伸びゆく電波展」を通じてわが国で最初に公開された。サーボ型非線型演算器の第一次試作も同年10月に完了し、ここに低速度型アナコンとしての形態を整えた。

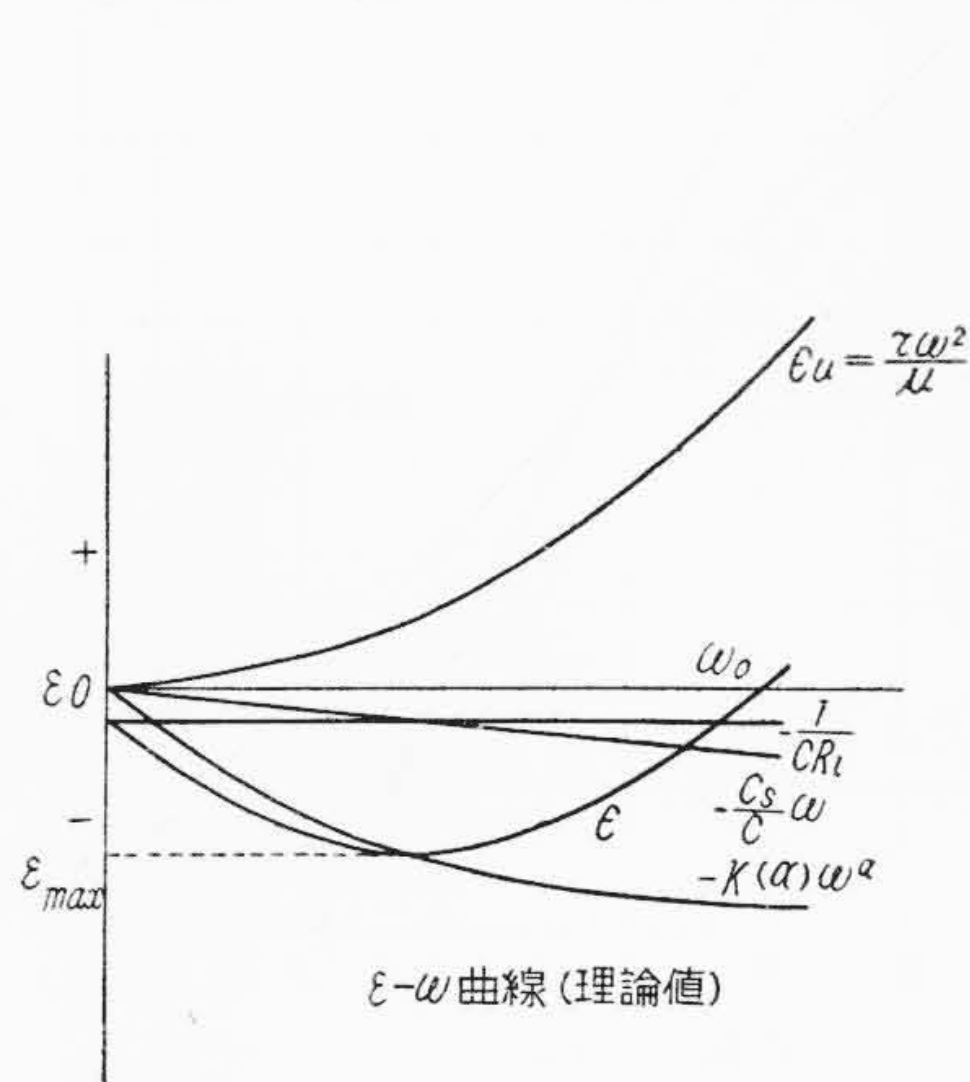
以上の試作と並行して、理論的、実験的検討をもとにした設計基準を確立し、精度向上および実用化の上に大いに貢献した。運輸省技術研究所にサーボ演算器、電子管式非線型要素を含む12階微分方程式を解きうる装置を納入したのを始め、川崎航空機工業株式会社などに実用装置を納め、すぐれた成果をあげている。総合精度としてはサークルテストで $\omega=1 \text{ rad/s}$ 、30秒演算で0.15%以内を確保できた。これは国内最高の数値である。第3図は川崎航空機工業株式会社に納入された装置の外観を、第4図に昭和32年8月に完成した低速度型ポータブルアナコンの外観写真を示す。

3.2 線型要素における問題点と対策

筆者はすでに演算器の単体精度およびこれらを組合せて常数係数微分方程式をとく場合に生じる総合誤差について考察した。解析に際し演算増幅器の特性（増幅器の開回路特性）の諸定数をパラメータとして各種誤差との相互関係を明らかにした。本項では総合誤差に関する結論および積分コンデンサについての二、三の考察を示す。



第4図 日立低速度型ポータブルアナログ計算機



第5図 演算周波数誤差曲線(理論値)

総合誤差の原因としては積分器によるものと、係数設定回路にもとづくものと大別できる。これらのうち通常演算に用いる周波数 $\omega \leq 10 \text{ rad/s}$ では前者が支配的であり、後者はほとんど無視できる。さらに前者は積分時定数が等しい場合には階数に無関係にそれぞれの特性根に対して同一の関数形を有する。今連続振動解の場合の毎秒当りの減衰または発散誤差を ε とすると積分器による誤差は次のように分離できる。

(i) 増幅器に起因する誤差 ε_μ

$$\varepsilon_\mu = (\omega^2 \tau / \mu) - (\omega / \mu) \quad \tau: 3\text{db降下点を与える時定数}$$

μ : 増幅度

(ii) 積分抵抗の等価並列浮遊容量 C_s による誤差 ε_s

$$C_s = -(C_s/C) \omega \quad C: \text{積分容量}$$

(iii) 積分コンデンサの等価並列漏洩抵抗 R_e による誤差 ε_{e1}

$$\varepsilon_{e1} = -(1/CR_e)$$

(iv) 積分コンデンサの吸収による誤差

$$\varepsilon_{e2} = -K(\alpha) \omega^\alpha \quad K(\alpha), \alpha: \text{Cole-Cole の定数 } \alpha < 1$$

これらのうち(ii)(iii)についての誤差は設計に留意することにより小さくできる。以上の関係を図示したものが第5図であり、その総合値 ε は ω に対して負の最大誤差 $\varepsilon_{\max}$ をもち、さらに ω が大になるに従い $\varepsilon=0$ になる周波数 ω_0 を経て正の誤差になる。

次に ω_0 と $\varepsilon_{\max}$ の関係について考える。 ε は前述の結果を総合すると

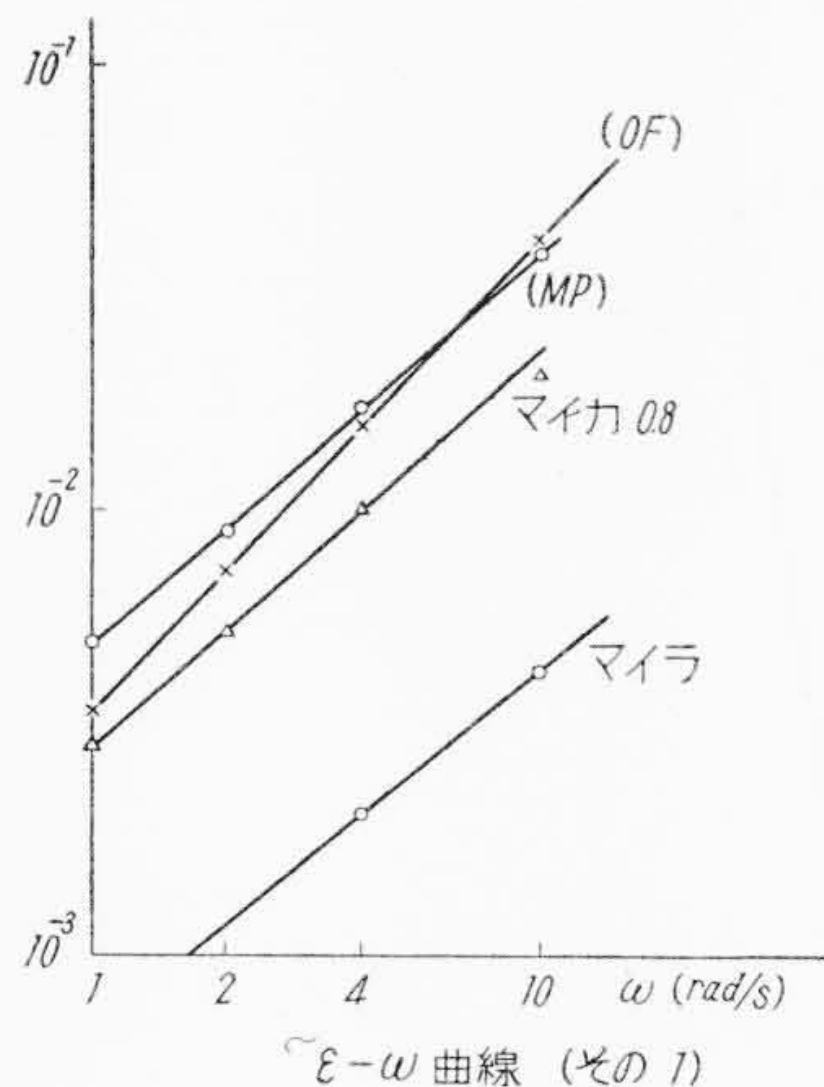
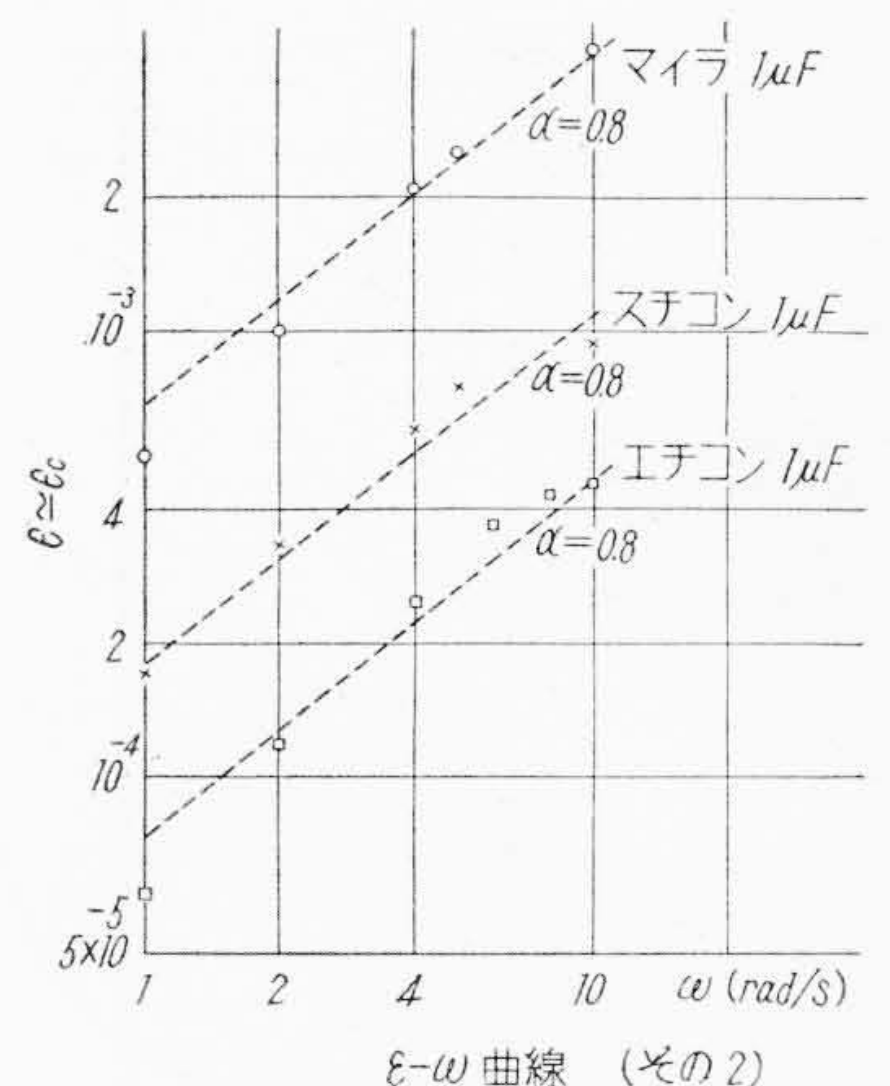
$$\varepsilon \simeq (\tau/\mu) \omega^2 - (1/\mu) \omega - K(\alpha) \omega - (C_s/C) \omega \dots (1)$$

ただし $\alpha \simeq 1(1/CR_i) \simeq 0$ とする。

ゆえに $0 < \omega < \omega_0$ において ε を最大ならしめる $\omega_{\max}$ は

$$\omega_{\max} = A\mu/2\tau \quad \text{ただし } A = (1/\mu) + (C_s/C) + K(\alpha) \dots (2)$$

一方 ω_0 は(1)より

第6図 $K(\alpha)$, α の実測結果

$$\omega_0 = A\mu/\tau, \quad \varepsilon_{\max} = -\left(\frac{1}{4}\right) A\omega_0 \dots (3)$$

(2)より明らかなように増幅器の定数、使用インピーダンスが決まると A の値が決定し、さらに計算機の使用範囲より ω_0 が与えられると、この計算機が避け得られない $\varepsilon_{\max}$ が決まる。たとえば $\mu=10^{-4}$, $C_s/C=10^{-4}$, $K(\alpha)=2 \times 10^{-4}$ (ポリスチレンコンデンサの定数) とすると $A=4 \times 10^{-4}$ となり $\omega_0=20 \text{ rad/s}$ とすると $\varepsilon_{\max} = -2 \times 10^{-3}$ (30秒演算誤差6%)となる。したがって A の値を小さくすることが $\varepsilon_{\max}$ を小さくするゆえできわめて重要である。特に $K(\alpha)$ は $(1/\mu)$ に対して1桁大であり、この値を小さくすることが最終的に対策になる。

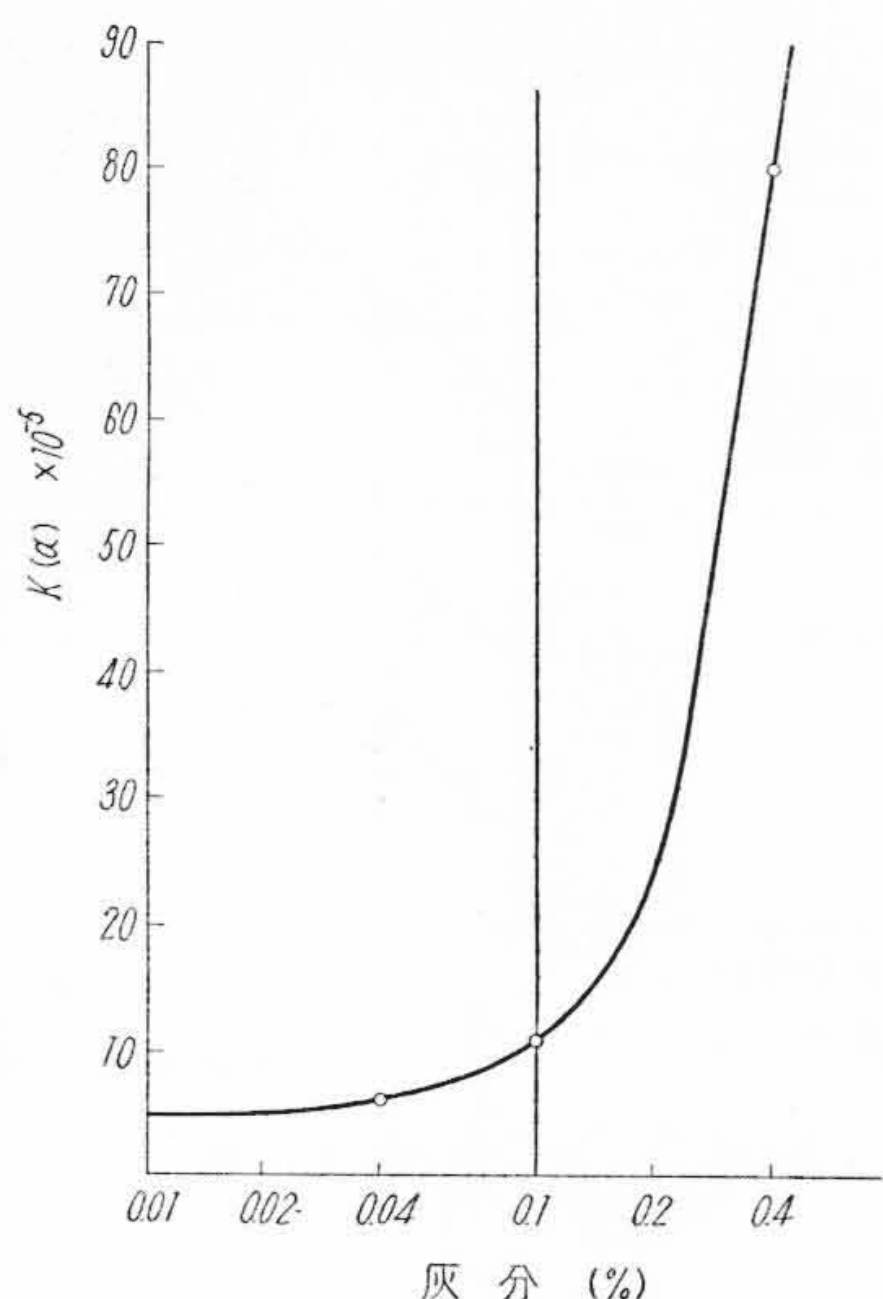
$K(\alpha)$ は積分コンデンサの絶縁材料によって決まり、損失の少ない材料ほどこの値は小さい。第6図はサークルテストで積分コンデンサのみ交換して求めた誤差特性であり、Cole-Coleの実験式を用いた誤差式がきわめて一致することを示している。傾きが α であり $\omega=1$ の値が $K(\alpha)$ になる。測定結果を表示すると第1表のようになる。

吸収の点でエチコンが最もすぐれているが温度係数の点でスチコンより劣っている。

第1表に示したポリエチレンは低密度のものであるが、最近老化特性をよくする高密度のものが開発されつつある。これらを材料とするコンデンサを用いた結果は $K(\alpha)$ は材料の灰分に左右されることが明らかとなり、温度係数は $5 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ というスチコンの半分以下の値

第1表 各種コンデンサの $K(\alpha)$, α

	MPコン デンサ	OFコン デンサ	マイカ コンデンサ	マイラ コンデンサ	ポリスチ レン (スチコン)	ポリエチ レン (エチコン)
α	0.6~0.7	0.8	0.88	0.6~0.8	0.6~0.8	0.6~0.8
$K(\alpha)$	5×10^{-3}	3.6×10^{-3}	3×10^{-3}	7×10^{-4}	1.8×10^{-4}	$5 \sim 7 \times 10^{-5}$
温度 係数				$+1.0 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$	$-1.5 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$	$-6 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$

第7図 灰分と $K(\alpha)$ の関係

を示した。灰分と $K(\alpha)$ との関係を図示したものが第7図である。以上要するに $K(\alpha)=0.1$ 以下の高密度ポリエチレンを使用した積分コンデンサが最もすぐれた特性をもつことが明らかとなりすでに実用化されている⁽⁴⁾。

3.3 サーボ型演算器

サーボ掛算器、サーボ関数発生器など一般に二相サーボモータを使用したサーボ型演算器では、速度、加速度、高次加速度が応答の上限を与える。速度は本質的には二相サーボモータの同期速度により制限を受け、加速度は真空管の飽和またはモータの鉄心の飽和により制限を受ける。また回路の時定数に基づく高次加速度は主として系の安定度に影響があると考えられる。

モータ回転子の最大速度（同期速度スリップ）を v (rps) とし、減速歯車比を n 、標準電圧を $\pm E_r$ とすれば、系の最大速度は $2 E_r v/n$ (V/s) で与えられる。ゆえに速度飽和による線形領域の最大出力振幅は、 ω を角速度として

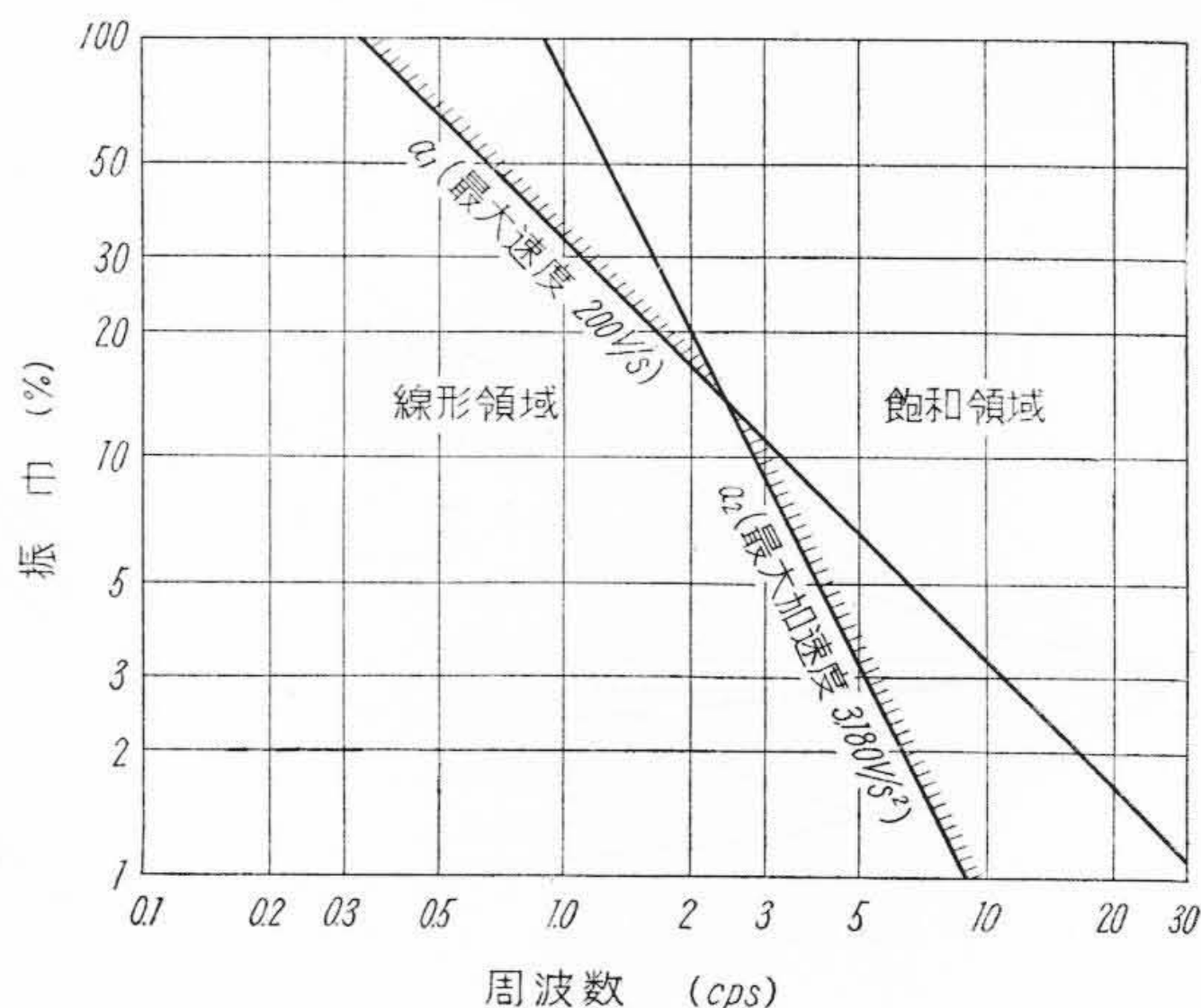
$$a_1 = \frac{2v}{n\omega} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

となる。一方モータのトルク慣性比を T/I (rad/s²) とすれば、系の最大加速度は $E_r(T/I)/\pi n$ (V/s²) であるから、加速度飽和による線形領域の最大出力振幅は

$$a_2 = \frac{1}{\pi n} \cdot \frac{(T/I)}{\omega^2} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

で与えられる。一例を第8図に示す。大振幅低周波では速度飽和が問題となり、高周波小振幅では加速度の飽和が問題となることがわかる。

すなわち線形領域の最大振幅は歯車比 n を除いて、ほとんどモータの特性により与えられる。結局サーボモ-

第8図 速度ならびに加速度の飽和による周波数応答の上限 ($n=20$ 度の場合)

タとしては

- (i) 同期速度の大なるもの
- (ii) トルク・慣性比の大なるもの
- (iii) 時定数の小なるもの

が要求される。すなわち4極よりも2極、50cpsよりも400cpsの仕様のものが望ましく、また回転子の慣性が小さく、トルクの大なる仕様のものが望ましい。この場合、設計に際しては減速ギヤの慣性、ポテンショメータのクーロン摩擦なども同時に考慮せねばならない。一方時定数は Iv/T にほぼ比例するとみなせるゆえ、同期速度が高まると時定数は増加する。国内で使われている自動平衡記録計などのサーボモータでは、トルク・慣性比が普通数千 rad/s² であるが、計算機関係では数万 rad/s² のものが使われることが望ましい。最近国内でもトルク・慣性比の大なる商用周波数のモータならびに400cps用モータが開発されている。

高速応性サーボ型演算要素では、系の安定化手段が必要である。安定化手段には種々あるが、タコジェネレータを用いる方法がしばしば採用される。タコジェネレータとしては

$$(i) \frac{S}{N} = \frac{1,000\text{rpmにおける発生電圧}}{\text{停止時の残留電圧}} \dots\dots (6)$$

が大なること

- (ii) 回転子の慣性が小さいこと

が要求される。残留電圧が大きいと、これがサーボ増幅器を飽和させて、見掛け上の増幅率を減少させるのみならず、信号成分と同位相のものがあれば誤差電圧となる。 S/N としては数百以上あることが望ましい。カップ方式の回転子を用いたタコジェネレータで、残留電圧30mV、発生電圧12V/1,000rpm すなわち $S/N=400$ 程度のものが製作されるに至っている。

サーボ演算器の精度は主としてポテンショメータの精度により決定される。サーボ掛算器では多連連動ポテンショメータが使用されるが、

- (i) 分解度が高いこと
- (ii) 平衡度(相対的直線性)が高いこと

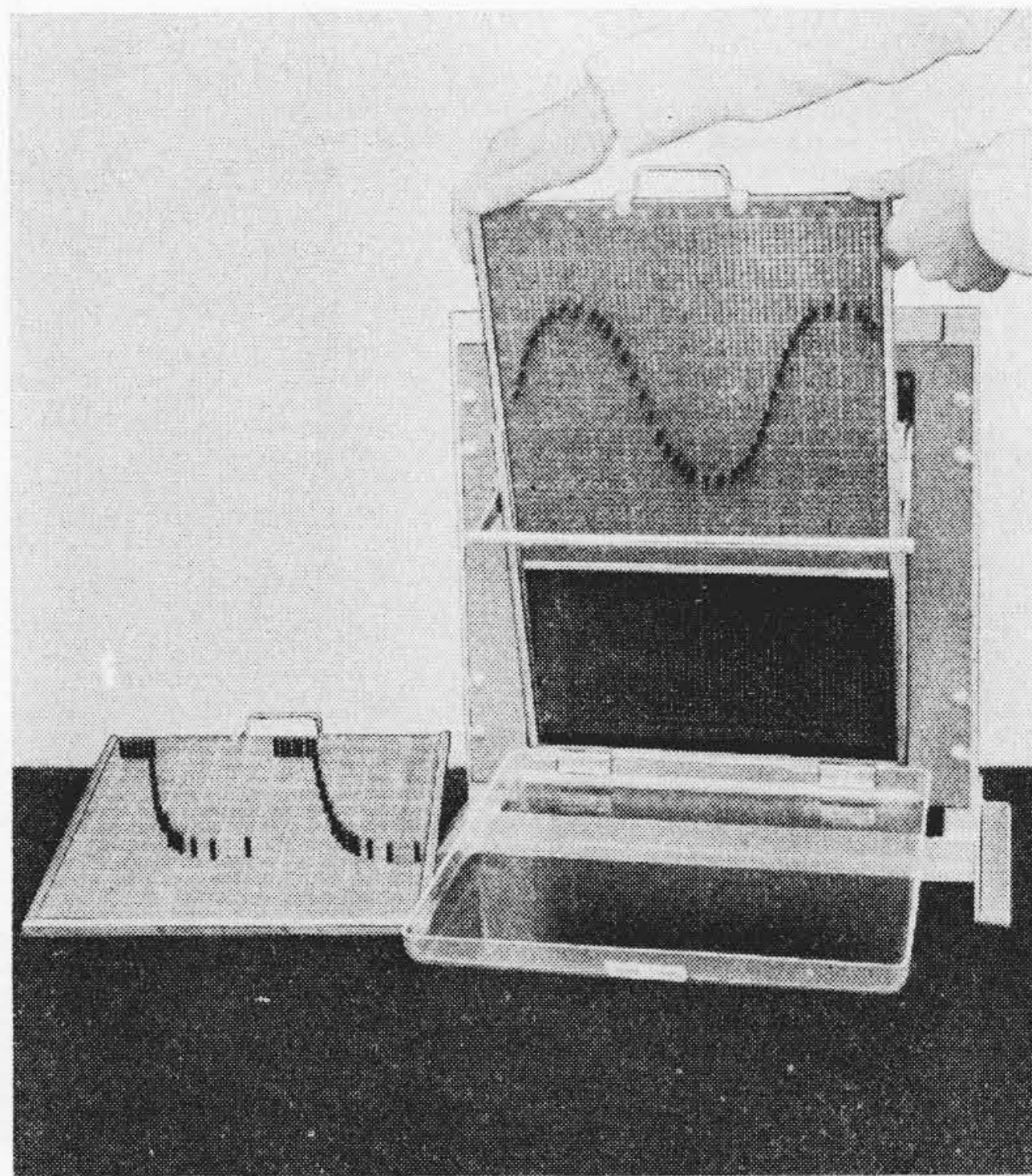
が要求される。ポテンショメータの直線性はその分解度より良くなることがないので、分解度は直線性の数倍以上あることが望ましい。普通1回転型のポテンショメータを使用するため、サーボ掛算器の静的誤差は0.2~0.5%におさえられる。もちろんポテンショメータとして多回転型のものを用いれば、0.1%以上に精度を上げうるが、応答速度が低下する。

サーボ関数発生器では一般に1%以上に精度を高めることは困難である。しかし特殊用途のものではポテンショメータを大型とし0.2%程度まで精度を上げうるが、価格が高くなる。また普通のサーボ関数発生器は、関数波形が変化したとき、これを設定変えすることは非常に面倒であるが、接続板を使用してその縦軸にタップ付ポテンショメータの各端子をフィードし、横軸に等間隔の電圧をフィードすれば、プラグの挿入だけで、任意のタップに任意の電圧を供給することができる。第9図はプリパッチ方式による接続板の一例で $51 \times 51 = 2,601$ 個のプラグ挿入用ジャックを有する。

その他

- (i) ギヤのバックラッシュはきわめて小さいこと
- (ii) ポテンショメータおよびチョパの寿命が長いこと

などが問題である。チョパに関しては公称連続使用寿命



第9図 プリパッチ方式による関数波形を交換するところ

1万時間以上のものが国内においても製作されており、数年前に比してその性能も非常に向上している。しかしポテンショメータの寿命に関してはまだ信頼性にとぼしい。

4. 日立におけるアナコンの使用状況

アナコンの開発研究と併行して中央研究所、日立研究所が中心となり、自動制御の解析、電力系統への応用、航

第2表 昭和31年アナコン使用状況〔1月~11月〕

番号	件名	所要時間	備考
1	135 サイクル ACG の AVR 系の解析	0.3	
2	中国電力 沙 PS HTD 型 AVR 系の解析	6	
3	中国電力 AFC 比例制御系の解析	5	
4	中国電力 PS サージタンクの解析	17	
5	電発 糖平 AFC 系の解析	3	
6	デガウス装置電流制御系の解析	23	
7	佐久間 PS AVR 系の解析	7	
8	柿の沢 PS 電気ガバナ試験の事前検討	22	
9	風洞制御系の解析	3	
10	神通川系 AFC の解析	12	
11	柿の沢電気ガバナの再検討現地試験結果との比較	19	
12	中国電力 沙 PS AVR 系の再検討	7	
13	電発 名古屋 SS 同期調相機の AVR の解析	1	
14	東電 花園川 PS ガバナの検討	19	
15	中国電力 沙 PS サージタンク水面波動の検討	3	
16	ホットストリップミルの速度制御系の解析	16	
17	東北電力 上越 SS 同期調相機 AVR の解析		単独運転時のハンチングの解析
18	東電 花園川 PS ガバナの検討	5	
19	関西電力 寝覚 PS 電力ガバナ現地試験の事前検討	6	
20	連続ミル・インパクト、ドロップの検討	11	
21	北陸電力 AFC 系において、不動帯を設置する場所の検討	6	
22	製鉄所 納圧延機制御の検討	28	
23	防衛庁 納シャーシーダイナモの解析	17	
28	沸騰水型原子炉制御系の解析		(1) 原子炉特性の解析
29	関西電力 黒部第4 PS 電気ガバナの検討	3	(2) 重水冷却、グラフィート反射、天然ウラン実験炉内の中性子束、密度の過渡解
30	関西電力 黒部 AVP 系の検討	22	(3) 動力用原子炉の中性子束レベル上昇線の計算
31	国鉄 小千谷 PS ガバナの検討	12	制御棒による制御と流量による制御の比較ならびに併用による制御特性の改善
32	中国電力 沙 PS AFC の検討	2	
33	電気炉 自動温度調整器の検討	25	
34	原子炉特性過渡解の実験		
35	B.W.R 型動力用原子力発電所における制御の計算	40	
36	動力用原子炉の異常時の過渡特性		
37	車輛振動系の解析		
38	航空機の操縦安定性に関する解析		
39	航空機のフラッタに関する解析		
40	自動車の車輪が障害物を通過する際の振動の解析		通過スピード、バネ定数を変化した時の振動の変化の計算

空機関係など各分野に利用している。利用の一例を示すものとして昭和 31 年に実施した解析例の一部を第 2 表に示す。ほとんどが日立研究所で繰返し型アナコンでとかれたものであり、自動制御関係が主である。各種の応用例については後述する。

5. 代表的な二、三の応用例

5.1 航空機の翼の振り一曲げフラッタ現象の解析

5.1.1 問題と方程式

航空機の翼は気流からエネルギーを吸収して自励振動を起すことがあり、振りと曲げが連成して起るこの種の自励振動のことを振り一曲げフラッタと称する。この関係を示す方程式の一例として

$$\left. \begin{aligned} 11\ddot{h} + 10\bar{\omega}_h^2 h + 0.30\ddot{\alpha} + \dot{\alpha} + 2C(i\omega)Z &= 0 \\ 0.30\ddot{h} + 2.25\ddot{\alpha} + 0.80\dot{\alpha} + 2.50\bar{\omega}_\alpha^2 \alpha - 0.40C(i\omega)Z &= 0 \\ Z &= \dot{h} + 0.80\dot{\alpha} + \alpha \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

を解析する。ここに

h : 翼の曲げによる変位

α : 翼の振りによる角変位

$\bar{\omega}_h$: 曲げの振動数と風速の比

$\bar{\omega}_\alpha$: 振りの振動数と風速の比

$C(i\omega)$: 空気力の伝達関数で $0.1\omega \leq 1$ では次式で近似される。

$$C(i\omega) = 0.516 \frac{0.405 + i\omega}{0.230 + i\omega} \quad (8)$$

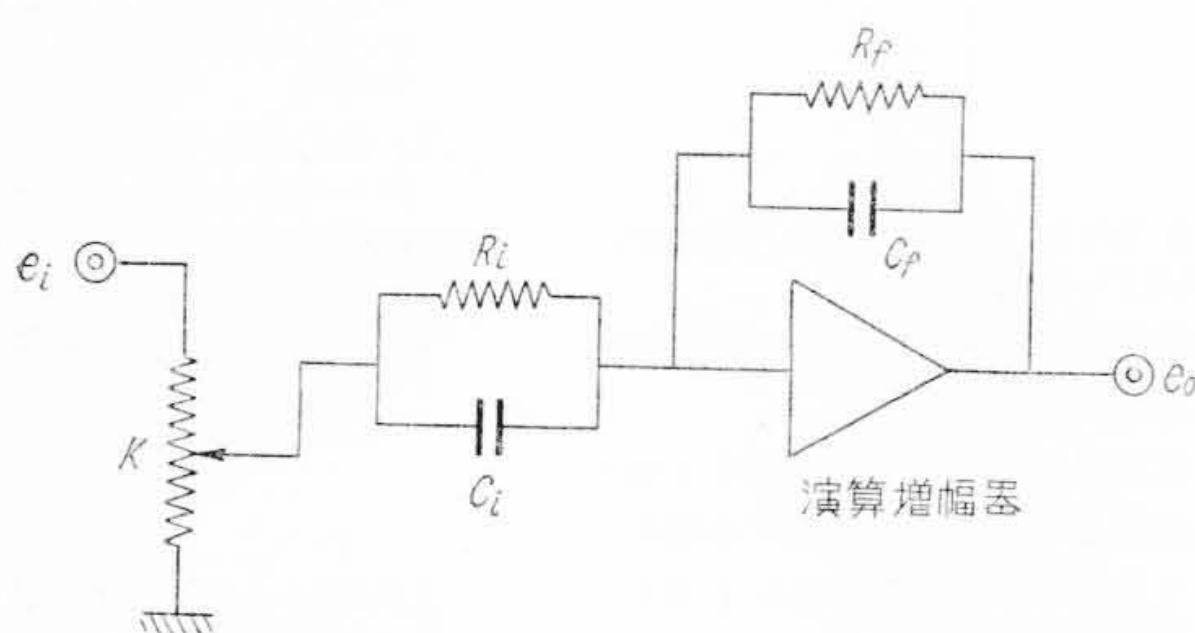
$\bar{\omega}_h$ と $\bar{\omega}_\alpha$ との比がある関係にあると自励振動が生じ振幅が増大して翼を破損する。この限界の $\bar{\omega}_h$, $\bar{\omega}_\alpha$ の関係をアナコンで求める。

アナコンにかけるために (8) を次のように変形する。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{h} &= -0.10\ddot{h} - \bar{\omega}_h^2 h - 0.03\ddot{\alpha} - 0.10\dot{\alpha} - 0.20C(i\omega)Z \\ \ddot{\alpha} &= -0.09\ddot{\alpha} - 0.32\dot{\alpha} - \bar{\omega}_\alpha^2 \alpha - 0.12\ddot{h} + 0.16C(i\omega)Z \\ Z &= \dot{h} + 0.80\dot{\alpha} + \alpha \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

伝達関数 $C(i\omega)$ は演算増幅器を用いて第 10 図のように構成する。

h または α に微小変位 h_0 または α_0 を初期値とし



第 10 図 空気力の伝達関数 $C(i\omega)$ の構成

て与えてをき, $\bar{\omega}_\alpha$, $\bar{\omega}_h$ とパラメータとしていろいろに変えながら計算をくり返して行い, α , h の振動が持続振動となるような $\bar{\omega}_\alpha$, $\bar{\omega}_h$ の組合せを求めればそれが臨界値である。

5.1.2 アナコン結線図と解

(9) のアナコン結線図を第 11 図に示す。この場合最初の微小変位は h に h_0 として与えている。

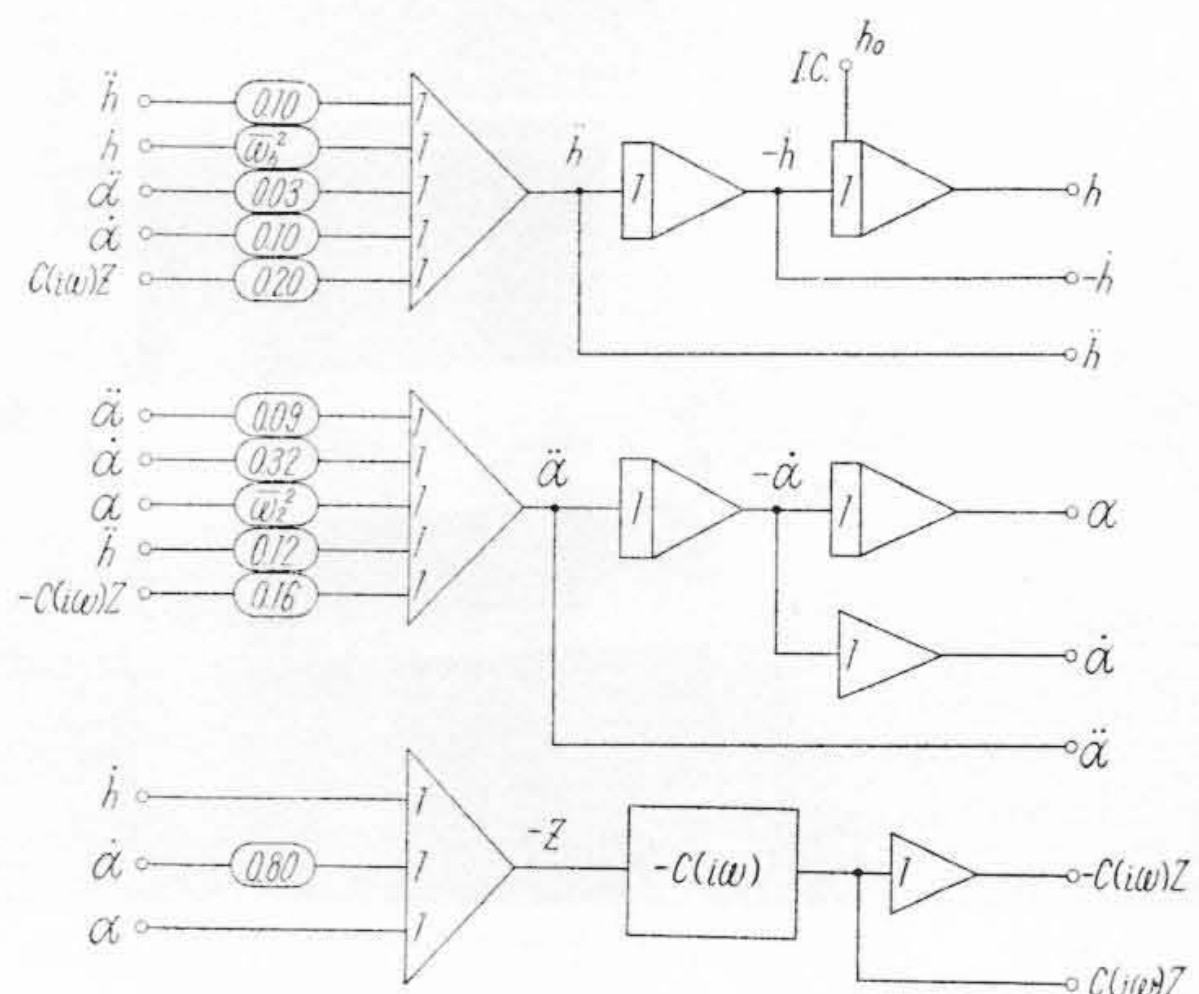
$\bar{\omega}_h^2$ を一定にしておいて $\bar{\omega}_\alpha^2$ を変えて演算を行えば $\bar{\omega}_\alpha^2$ がある範囲では振動は収斂し, ある範囲では発散する。解の一例として $\bar{\omega}_h^2 = 0.5$ の場合について $\bar{\omega}_\alpha^2 = 0.35 \sim 0.7$ と変えた場合の解を第 12 図 (a) ~ (c) に示す。この場合 (a) および (c) では時間とともに h , α の振動は減衰していくが (b) では逆に振動が増大しついには翼を破損するに至る。このようにして振動が振幅一定の持続振動となる $\bar{\omega}_\alpha^2$, $\bar{\omega}_h^2$ の組合せを求めてグラフにしたのが第 13 図で図中斜線の内側が振幅の増大する範囲, 外側が振幅が減衰する範囲である。第 13 図には低速度型アナコンと繰返し型アナコンとによる解析の結果を比較して示しているが低速度型アナコンの方が演算精度が高い。しかしこの種の問題のようにパラメータを変えて演算を繰返すような場合には繰返し型による解析の方がはるかに迅速に解を求めることができる。

5.2 自動車の車体の振動

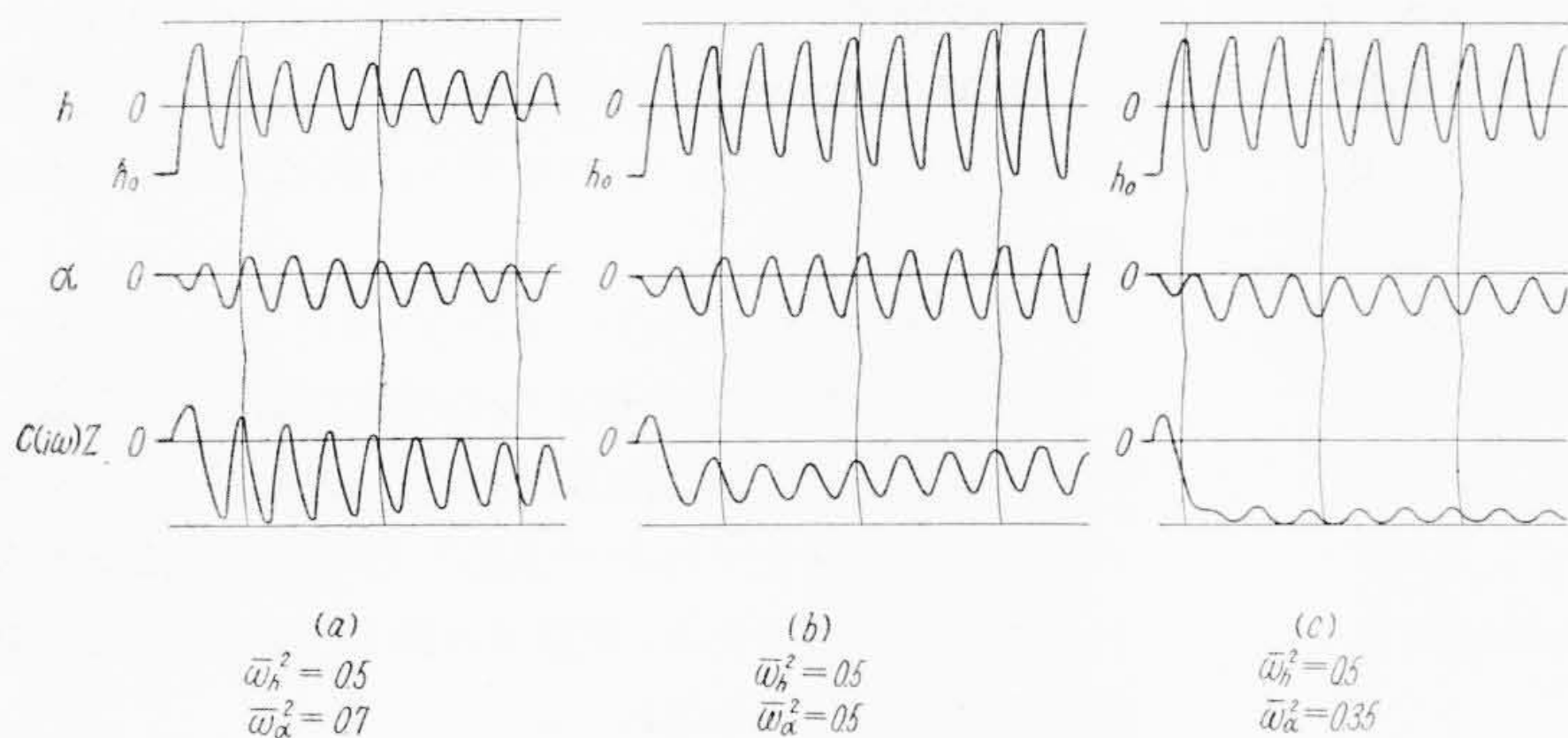
5.2.1 問題と方程式

自動車の車体の振動を表わす式の一例として第 14

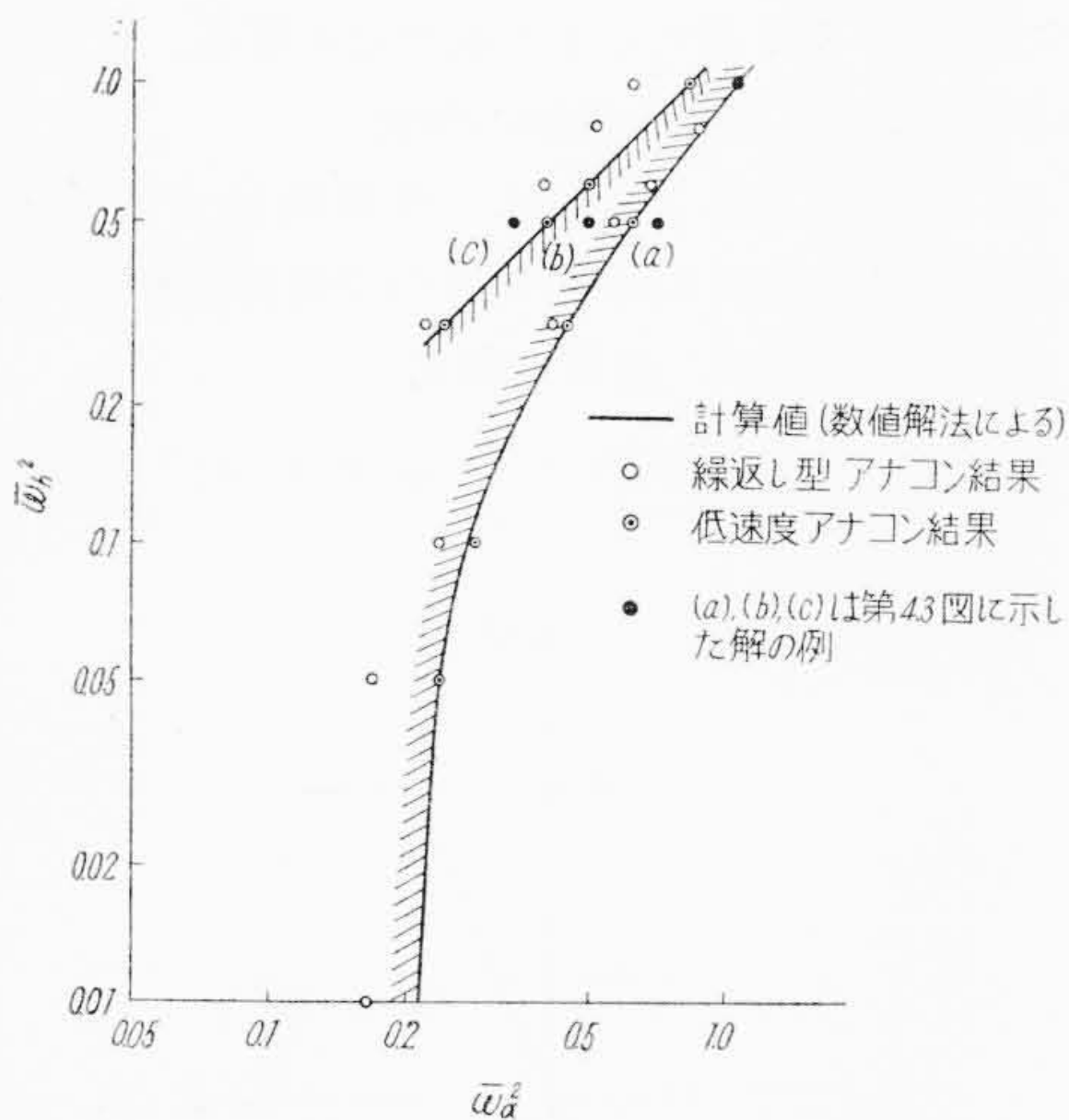
$$\left. \begin{aligned} m_F \ddot{Z}_{2F} &= -m_c \ddot{Z}_{2R} - C_F (\dot{Z}_{2F} - \dot{Z}_{1F}) - k_F (Z_{2F} - Z_{1F}) \\ m_R \ddot{Z}_{2R} &= -m_c \ddot{Z}_{2F} - C_R (\dot{Z}_{2R} - \dot{Z}_{1R}) - k_R (Z_{2R} - Z_{1R}) \\ m_{TF} \ddot{Z}_{1F} &= C_F (\dot{Z}_{2F} - \dot{Z}_{1F}) + k_F (Z_{2F} - Z_{1F}) - k_{TF} (Z_{1F} - Z_{0F}) \\ m_{TR} \ddot{Z}_{1R} &= C_R (\dot{Z}_{2R} - \dot{Z}_{1R}) + k_R (Z_{2R} - Z_{1R}) - k_{TR} (Z_{1R} - Z_{0R}) \\ \theta &\equiv \frac{1}{l} (Z_{2F} - Z_{2R}) \\ Z_G &\equiv b\theta + Z_{2R} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$



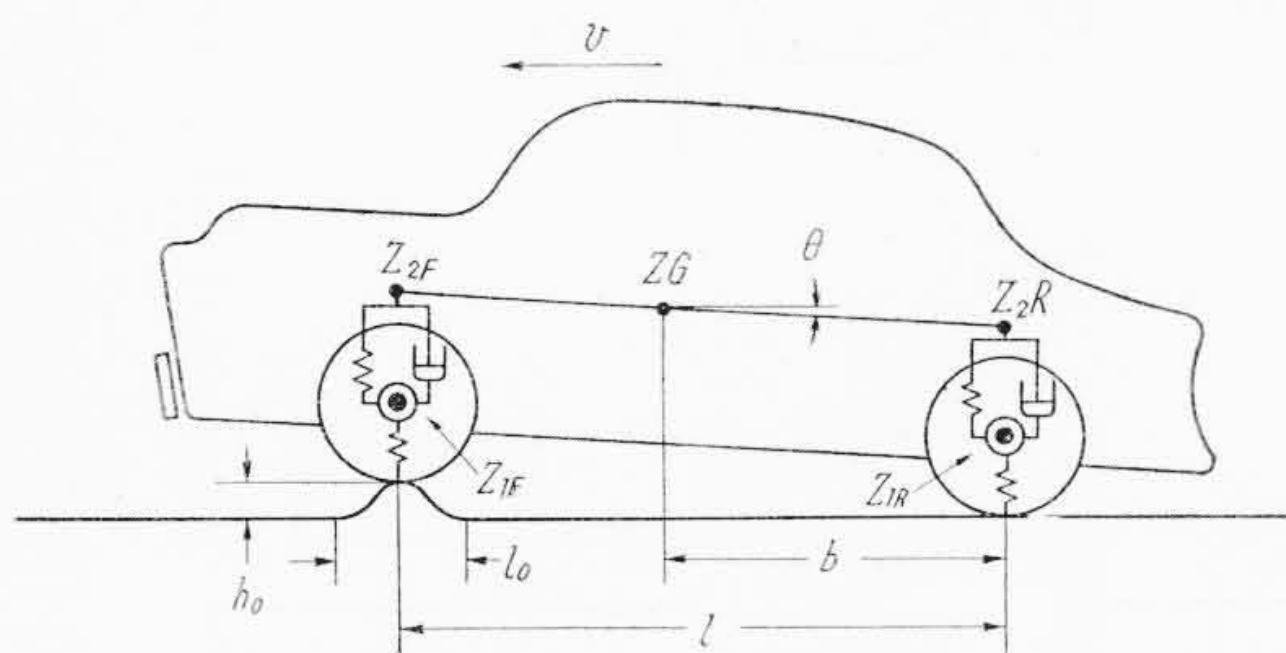
第 11 図 アナコン結線図



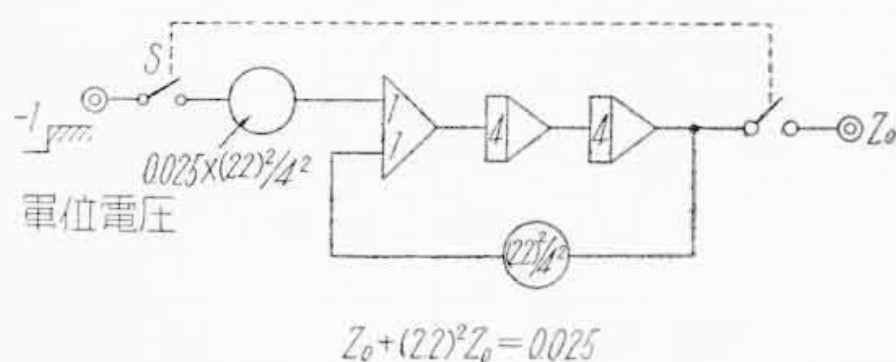
第12図 第11図の解の一例



第13図 振り一曲げフラッタ解析結果



第14図 自動車の車体の振動の説明図



第15図 外乱 Z_{0F} , Z_{0R} の作製

図を解析する。ここに m , c , k などは車体の大きさ、重量、バネやダッシュポットの常数などによって定まる定数であり、 Z_F , Z_R などはそれぞれ図に示すように前の車輪および後の車輪の位置における垂直座標である。 Z_{0F} , Z_{0R} はそれぞれ前の車輪、後の車輪に加

わる外乱で第14図の場合には l/v だけ時間の遅れた同一の形をもつ。今の場合 Z_{0F} , Z_{0R} は次式で与えられるものとする。

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq t \leq l_0/v & \quad Z_{0F} = h_0 (1 - \cos \frac{2\pi v}{l_0} t) \\ l/v \leq t \leq l + l_0/v & \quad Z_{0R} = h_0 (1 - \cos \frac{2\pi v}{l_0} [t - \frac{l}{v}]) \\ \text{それ以外の場合} & \quad Z_{0F} = Z_{0R} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

ここでは C_F , C_R いろいろに変えて Z_{2F} , Z_{2R} の応答を調べてみる。

具体的にある実例について数値を代入し、各係数の大きさを揃えるために

$$t' = 20t \quad (12)$$

のタイムスケールの変換を行った後の式を次に示す。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{Z}_{2F} &= -0.428 \ddot{Z}_{2R} - 5.57 k_F (\dot{Z}_{2F} - \dot{Z}_{1F}) - 0.0955 (Z_{2F} - Z_{1F}) \\ \ddot{Z}_{2R} &= -0.621 \ddot{Z}_{2F} - 2.95 k_R (\dot{Z}_{2R} - \dot{Z}_{1R}) - 0.079 (Z_{2R} - Z_{1R}) \\ \ddot{Z}_{1F} &= 40.15 k_F (\dot{Z}_{2F} - \dot{Z}_{1F}) + 0.688 (Z_{2F} - Z_{1F}) - 9.18 (Z_{1F} - Z_{0F}) \\ \ddot{Z}_{1R} &= 9.70 k_R (\dot{Z}_{2R} - \dot{Z}_{1R}) + 0.260 (Z_{2R} - Z_{1R}) - 7.38 (Z_{1R} - Z_{0R}) \\ \theta &= 0.439 (Z_{2F} - Z_{2R}) \\ Z_G &= 1.28 \theta + Z_{2R} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq t' \leq 2.9 \text{ 秒} & \quad Z_{0F} = 0.05 (1 - \cos 2.2 t') \\ 8.1 \leq t' \leq 11.0 & \quad Z_{0R} = 0.05 (1 - \cos 2.2 [t' - 8.1]) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

ここに k_F と k_R を変えることはそれぞれ C_F と C_R を変えることに相当する。

一般に外乱 Z_{0F} , Z_{0R} は適当な波形のものを外部から印加してやらねばならないが単純な波形のものは特定の微分方程式の解としてアナコンのほかの演算要素を用いてつくることができる。今の場合には Z_{0F} , Z_{0R} は (14) 式で与えられているから

$$\ddot{Z}_0 + (2.2)^2 Z_0 = 0.025$$

の解の一部として得ることができる。

この結線を第15図に示す。 Z_{0F} , Z_{0R} を得るにはそれぞれスイッチ S を 0~2.9 秒, 8.1~11.0 秒の間オンにすればよい。

5.2.2 アナコン結線図と解

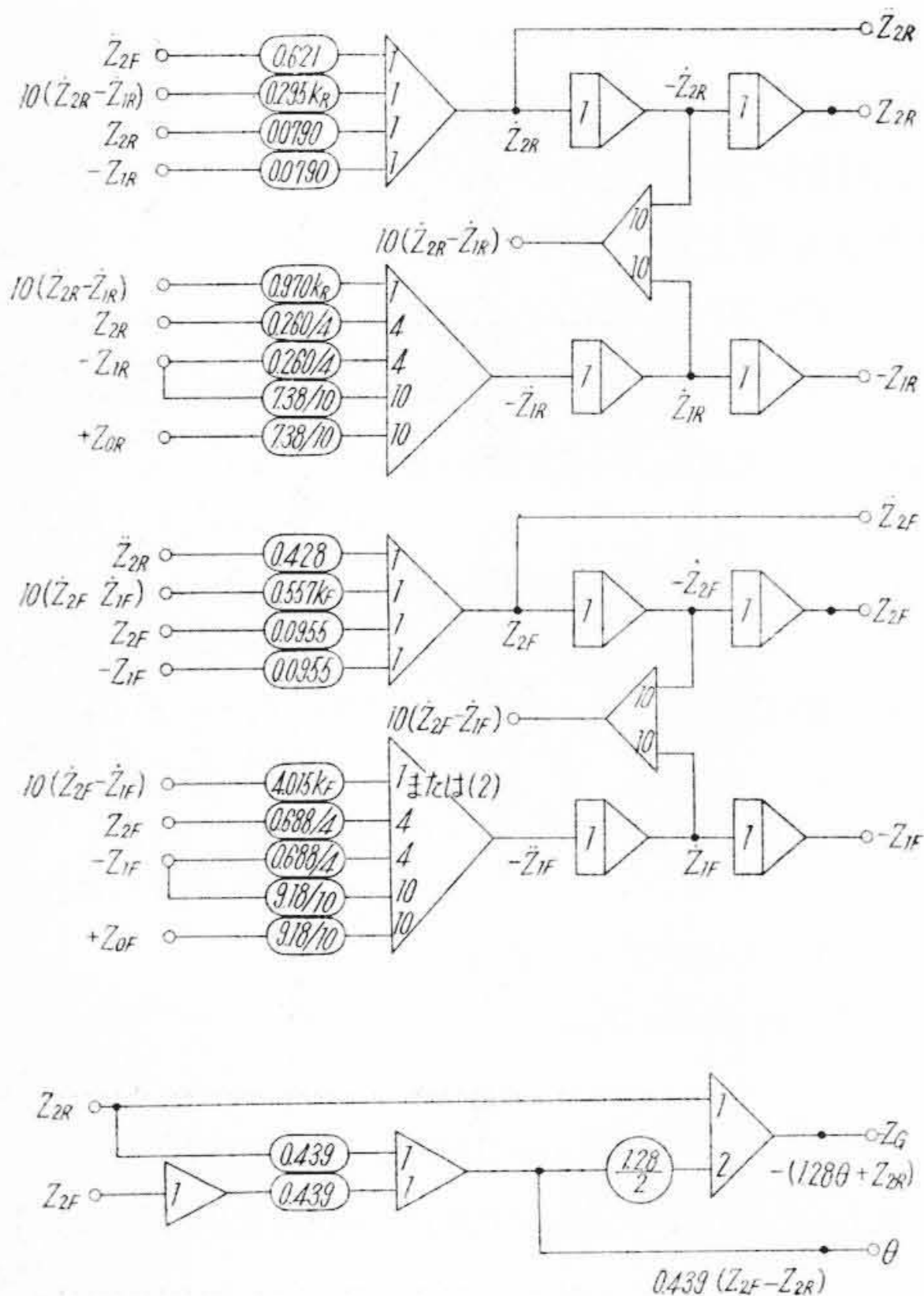
(13) 式のアナコン結線図を第16図に示す。

第16図の解の一例を第17図(a)~(d)に示す。これらは $k_F = 0.2 \sim 0.4$, $k_R = 0.2 \sim 0.6$ と変化させた

場合の重心の座標 Z_G と車体の傾き θ ((a)~(d)) および前と後の車輪の垂直座標軸 Z_{2F}, Z_{2R} ((c'), (d')) を記録している。これらの解の記録, 特に (c'), (d') をみるとまず前の車輪の位置の座標が変位し, つづいて後の車輪の位置の座標が変位し, 数秒後に振動が減衰し正常に復する様子がよくわかる。またダンピングは $k_R=0.2$ の場合の方が $k_R=0.6$ の場合よりも良いことがわかる。

5.3 経済学への応用 (景気循環の Goodwine の方程式)

5.3.1 方程式の説明



第 16 図 アナコン結線図

低速度型アナログ計算機の経済学への一応用例として R. M. Goodwine 氏が提唱した非線型の景気循環モデルを取り上げる。このモデルは次の方程式で表わされる。

$$\varepsilon \dot{y}(t) + (1-\alpha)y(t) = \phi[\dot{y}(t-\theta)] \dots\dots\dots (15)$$

ここで $y(t)$ は平均値からの所得の偏りで 10 億ドルの単位であり, 右辺は誘発投資, $\varepsilon, \alpha, \theta$ はパラメータである。また t は年で表わした時間, θ は年で表わしたむだ時間であり, 関数 ϕ は第 18 図に示した非対象な飽和特性で表わされる。

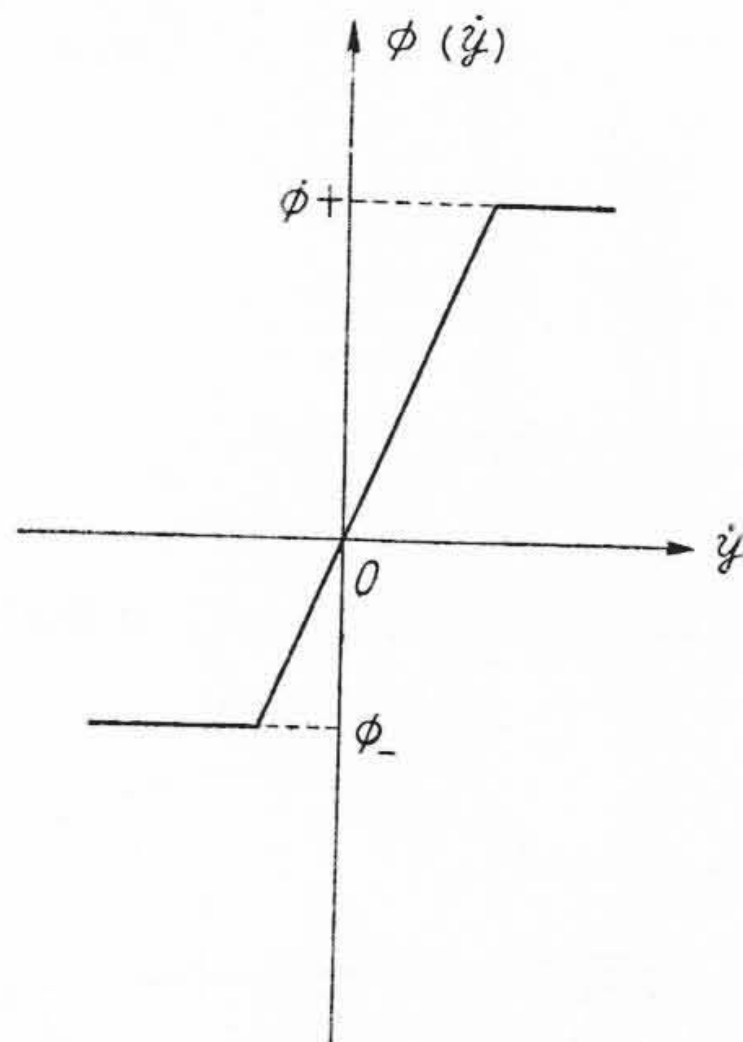
5.3.2 系のパラメータ

(15) 式中の $\varepsilon, \alpha, \theta$ および第 18 図の傾斜 k はすべて変り, 第 3 表に示した組合せを取る。

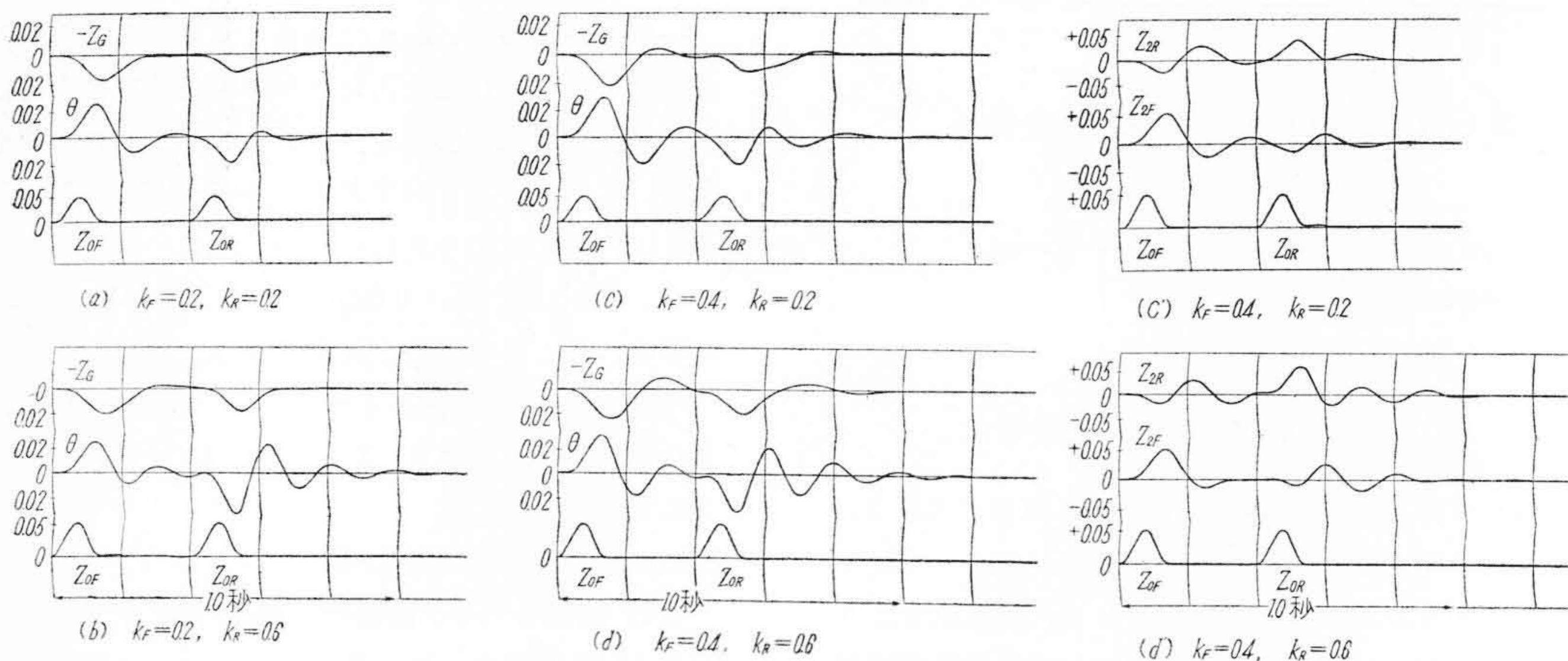
5.3.3 演算ブロック線図の作成

第 3 表よりわかるように, 各係数はすべて 1 近傍 (最小 0.349, 最大 8.42) であるので換算係数を 1 とし, ε で両辺を割れば, 演算方程式

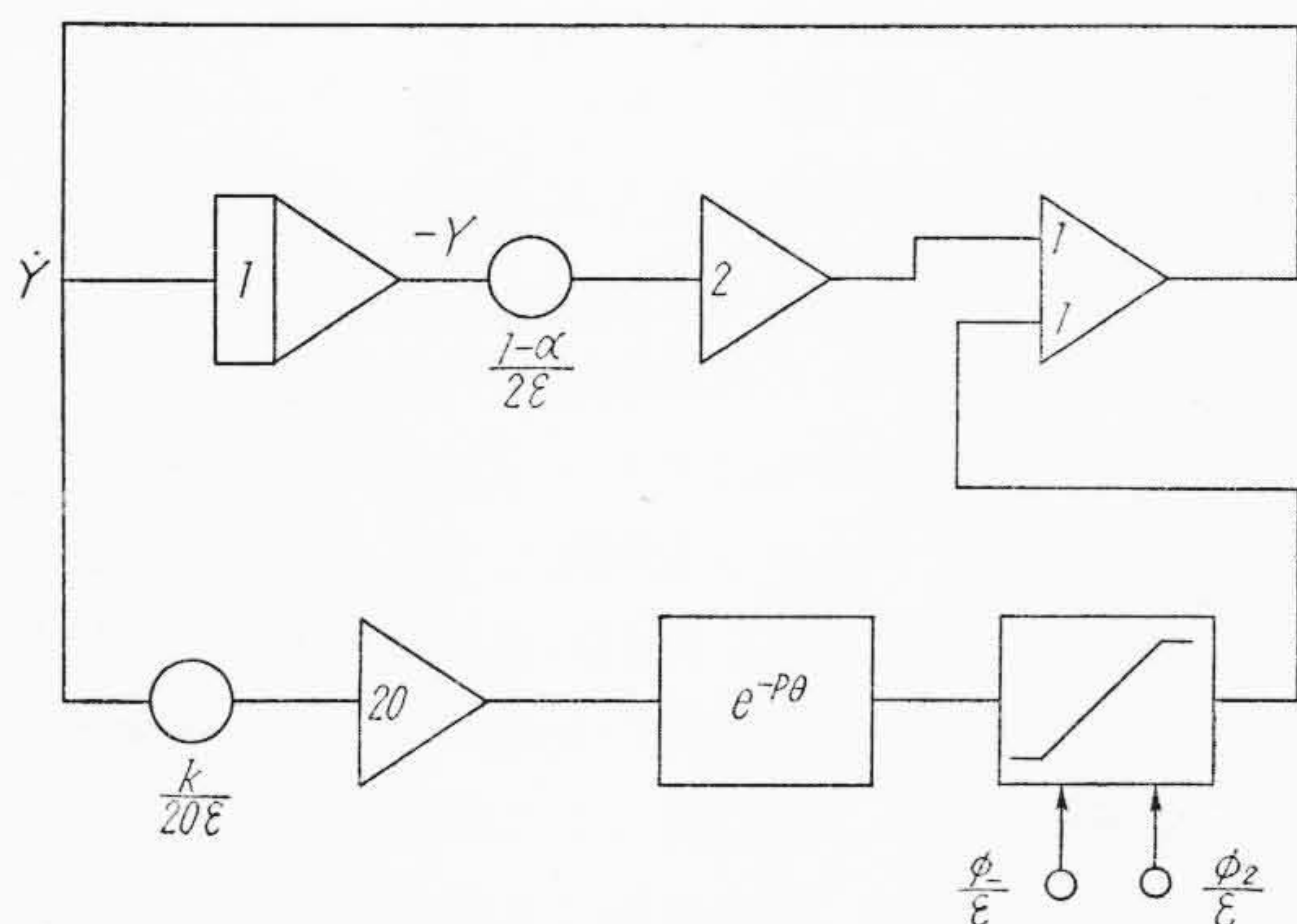
$$\dot{Y}(t) + \frac{1-\alpha}{\varepsilon} Y(t) = \frac{1}{\varepsilon} \phi[\dot{Y}(t-\theta)] \dots\dots\dots (16)$$



第 18 図 $\phi(\dot{y})$ の波形



第 17 図 第 16 図 の 解 の 例



第19図 景気循環モデルの演算ブロック線図

を得る。 $(1-\alpha)/\varepsilon$ は2をこえず、 k/ε は20をこえないゆえ、係数器およびポテンショメータを適当に用いて第19図に示す演算ブロック線図を得る。ただし図中の飽和要素の傾斜は1にしてある。

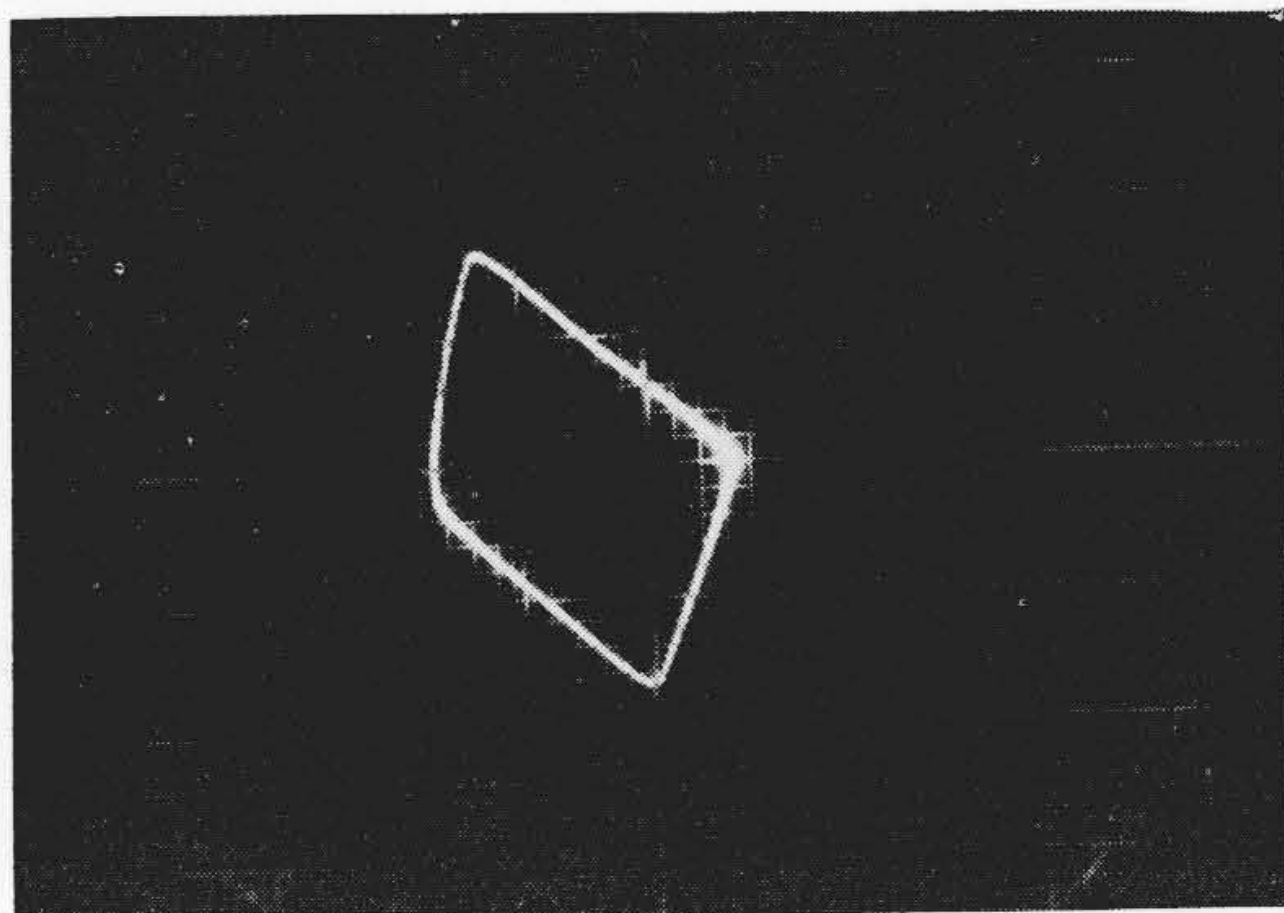
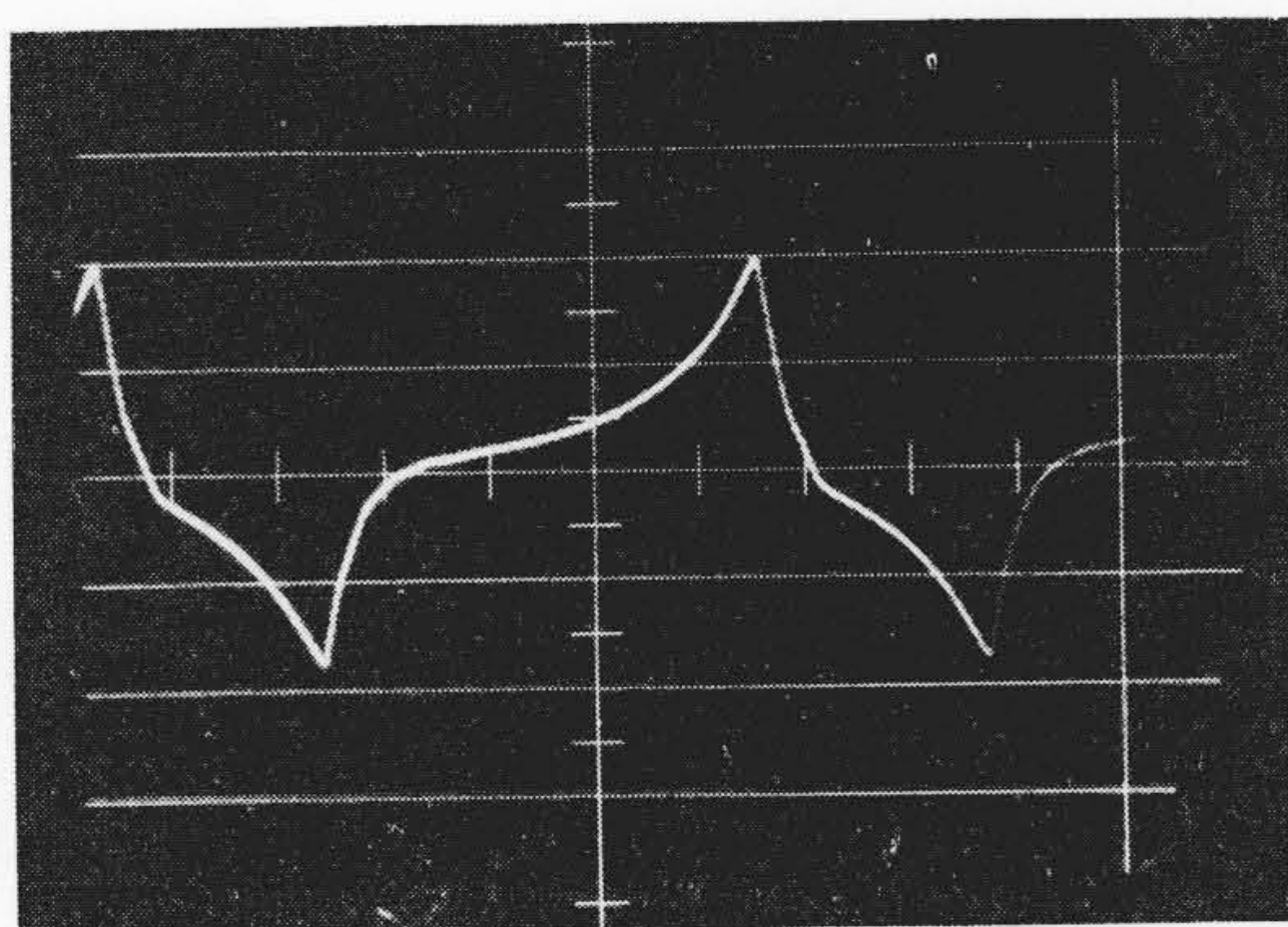
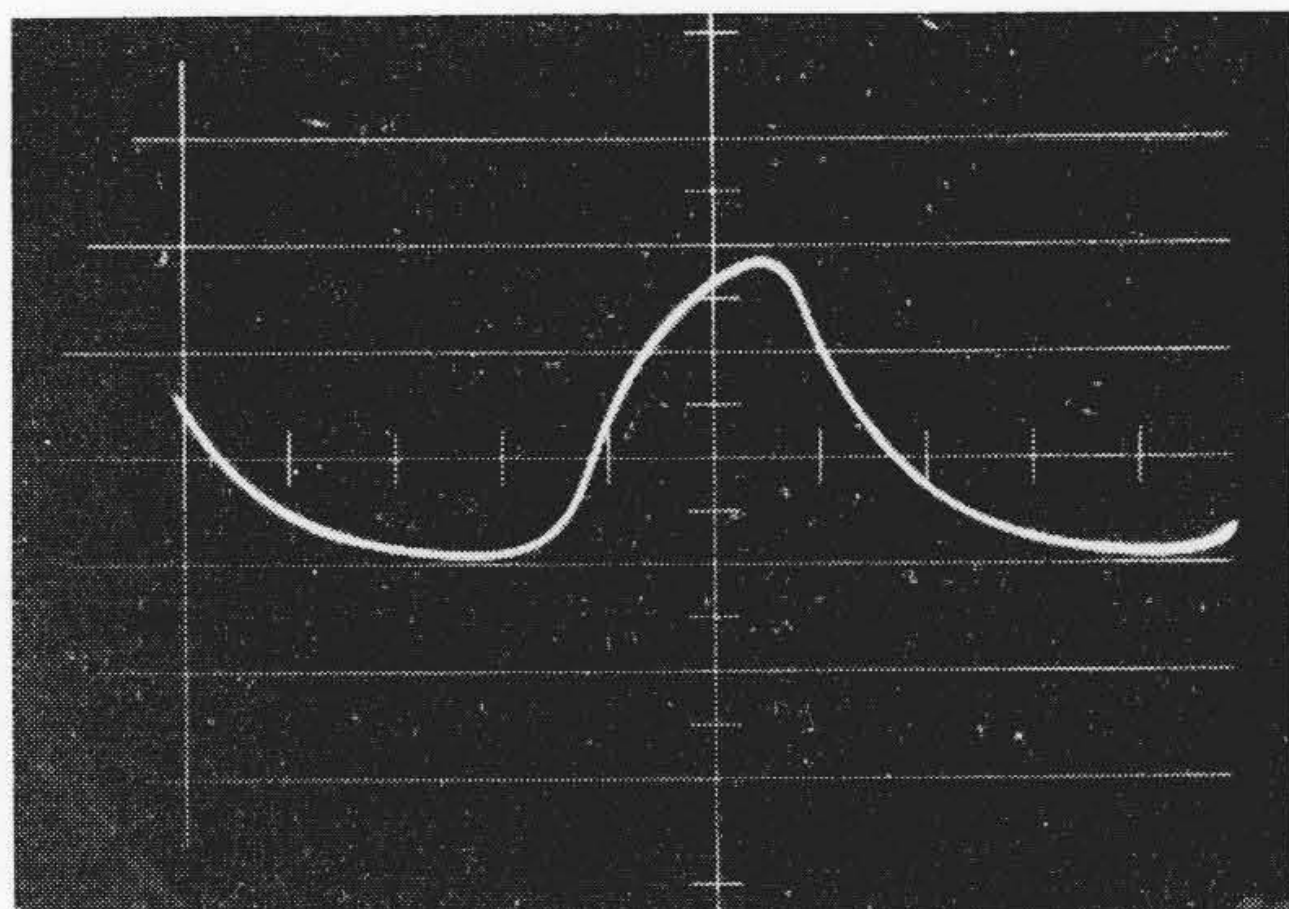
5.3.4 演算解および考察

解の一例を第20図に示す。解はすべてリミットサイクルをもつが、むだ時間があるため初期条件のいかんでは高次のリミットサイクルをもつ可能性がある。第3表中に各種パラメータを変えたときのリミットサイクルの周期(計算機より求めた)を示す。

理論的考察によれば、(15)式は無限個の高次リミットサイクルを有することが証明されるが、計算機による解析では安定な高次のものはあまり認められなかった。確かに初期条件のいかんによっては、高次のリミットサイクルらしきものが、演算の初期において認められたが、時間の経過とともに安定な一次のリミットサイクルに吸収されてしまうものが多かった。

6. 計算機の自動化と hybrid Computer

アナコンで将来問題になると考えられるものとしては表題に示すような自動化の問題と hybrid Computer としての利用があげられよう。自動化には二つが考えら


(a) Y と $\dot{Y}$ のリサージュ図形

(b) $\dot{Y}$

(c) Y

第3表 景気循環モデルのパラメータ

	α	ε	θ	k	ϕ_+, ϕ_-	周期 T (演算結果)
a	0.6	0.5	1.0	2.0	9+, 3-	10.75 年
b	0.4	0.5	1.0	2.0	9+, 3-	8.5 年
c	0.733	0.5	1.0	2.0	9+, 3-	14.0 年
d	0.6	0.5	1.0	1.58	9+, 3-	15.5 年
e	0.6	0.5	1.0	8.42	9+, 3-	12.75 年
f	0.6	0.349	1.0	2.0	9+, 3-	9.5 年
g	0.6	0.802	1.0	2.0	9+, 3-	13 年
h	0.6	0.5	0.5	2.0	9+, 3-	9 年
i	0.6	0.5	1.5	2.0	9+, 3-	11.8 年
j	0.6	0.5	1.0	2.0	6+, 3-	10 年
k	0.6	0.5	1.0	2.0	15+, 3-	10.6 年

第20図 景気循環モデルのリミットサイクルの一例

れ、演算定数の自動設定、演算器の自動保守のように計算機自体の自動化の問題と、演算器制御回路、印加電圧制御回路などを有機的に結合し演算を自動的に続ける計算方式に関するものがある。たとえば前者ではパンチドカードなどによる定数の自動設定などが考えられる。現在では演算器接続方式はプリパッチ盤で保存でき

るが、係数ポテンショメータの設定値は保存できない欠点が除去できる。

後者は前者が取扱い上便利であるのに対し、演算機能を拡張するのにより重要である。比較器、操作準備を与える遅延回路、リレー群、セレクトスイッチ、カウンタ、記憶要素などが現在の制御回路に付加されることにより、適当なプログラムにもとづき自動計算を行うようにできることは当然予想できる問題である。米国などにおいては線型計画の計算などのほとんどがアナコンにより解析されるようになってきている現状をみても明らかであろう。換言すれば将来アナコンにデジタル計算機で用いられるような論理回路が組込まれ、より広範囲な用途に利用され精度を必要としない工学上の諸計算はほとんどアナコンによるようになっていくと考えられる。

しかしながら、さらに高い精度を必要とする場合の計算にはデジタル型を用いざるを得ない。この場合でも特に早い計算を必要とする部分、計算の諸元を与えるようなところ(入力装置)にはアナコンの方が便利である場合がある。これら二つの特長を生かそうとする考え方の計算機が hybrid 型である。当然アナコンとデジタル型との信号の連絡にはアナログデジタル変換器 (A-D 変換器)、デジタル・アナログ変換器 (D-A 変換器) が使用される。以上のように今後ますますデジタル計算機とアナコンは近密な関係におかれることが予想され、I.R.E. に示された 1957 年のアナコンの歩みのなかで最も注目されるものはアナコンのなかにデジタルのユニットを備えたことであると記されている。また A-D 変換器はたとえばアナコンの出力装置のように高精度測定器として広く利用されるものとする。

7. 結 言

日立アナコンの研究の歩みならびに応用の一例を示した。すでに述べたように日立製作所におけるアナコンの研究開始の動機が、その自動制御系の解析に用いることにあったように、筆者らはアナコンの本体の研究と併行して、広い分野にアナコンを利用してきた。これらはすべて製品化に反映した。したがって日立アナコンの特長の一つとして設計が使用者側の立場から十分に検討されている点があげられよう。総合して繰返し型アナコンは使用しやすさの点に、低速度型は高精度、高信頼性に重点をおいて研究をすすめた。現在では各種のアナコンが実用化されている。

終りに世界のレベルからみた日本のアナコンの技術について筆者の考えを述べておく。電気的性能についてはなんら遜色はなく、むしろ抜きんでいる点と思われる結果も多々ある。しかしながら総合的にみて部品を始めなお後進の感をいだかざるを得ない現状である。米国におけるアナコンは演算器台数は 1 セット 100 台以上が常識であり、しかもこれらが自動的に制御できる。入出力装置はすべてデジタル技術を用いた本格的なものである。わが国ではこれだけ大規模なアナコンの需要がないにしろ、敬服すべき技術的成果と考えられる。

終りに臨みアナコン研究ならびに製品化に対し種々御激励御指導を賜った日立製作所田口通信事業部次長、同中央研究所只野文哉博士を始め、研究を直接指導された阿部(善)主任研究員、実験に協力された昭和電子株式会社北野、河村両氏を始め関係各位、永田、衣川諸研究員に対して謝意を表す。

附録 1 社外投稿および講演関係一覧表

	題 名	著 者	誌 名	巻・号・頁・年
1	電子管式アナログコンピュータ	三浦	日立評論	別冊 No.3, pp 139~145(昭28-6)
2	アナログコンピュータによる自動制御系の解析	三浦		昭和 28 年電気三学会連合大会 180
3	電子管式アナログコンピュータ解指示装置	三浦		昭和 28 年電気三学会支部連合大会 180
4	アナログ電気演算器による電動機自動制御装置の解析	前川,三浦,藤木,西	日立評論	別冊 No.8, pp 137~146 (昭29-10)
5	繰返し型アナログコンピュータとその応用	三浦	電子工業	Vol.3, No.9, pp 23~31(昭29-12)
6	パイロット発電機に直列自励界磁巻線を施した場合の効果	三浦,藤木,西		昭和 29 年電気三学会連合大会 294
7	アナログ電気演算器の試作と応用	三浦,沼倉		昭和 29 年電気三学会支部連合大会 459
	アナログ電気演算器による自動制御装置の解析ならびに実験結果との比較	三浦,前川		昭和 29 年電気三学会支部連合大会 460
9	アナログコンピュータの非線型要素の試作と検討	三浦,沼倉,衣川	電気学会雑誌	Vol.75, No.800, pp 481~487(昭30-5)
10	外国製高精度アナログ計算機	三浦,沼倉	電気学会雑誌	Vol.75, No.807, pp 1554~1563 (昭30-12)
11	Descriling Function Method による非線型自動制御系の解析とアナコン結果との対比	三浦,沼倉		昭和 30 年電気三学会連合大会 565
12	田代氏法を用いた AVR 系の解析とアナコンによる実験結果との対比	沼倉,三浦		昭和 30 年電気三学会連合大会 566
13	折線近似関数発生器の改良	三浦,沼倉		昭和 30 年電気学会支部大会 137
14	演算増幅器のドリフト自動補償回路の解析	沼倉,阿部,三浦,日比		昭和 30 年電気学会支部大会 140
15	低速型アナログ計算機の試作実験	日比,三浦,沼倉		昭和 30 年電気学会支部大会 141
16	自動制御系の図式による安定判別法	沼倉,三浦	電気学会雑誌	Vol.76, No.810, pp256~265(昭 31-3)
17	繰返し型アナログコンピュータの使用限界	三浦,沼倉		昭和 31 年電気三学会連合大会 514

	題 名	著 者	誌 名	巻・号・頁・年
18	ヘリカルポテンシオメータの周波数特性とアナコン誤差に及ぼす影響	三浦, 衣川		昭和31年電気三学会連合大会 520
19	日立繰返し型アナログコンピュータとその応用	三浦, 只野	オ ー ム	Vol.42, No.14, pp34~38(昭30-11)
20	電子管式アナログコンピュータとその応用	三浦		電子計算機研究専門委員会資料 (昭29-3)
21	アナログコンピュータによる自動制御系の解析	三浦		自動制御研究会資料 48-2(昭27-12)
22	フォトフォーマに関する理論的検討	三浦, 衣川		昭和31年11月電気学会東京支部大会 40
23	サーボ掛算器の研究	沼倉, 三浦, 阿部, 鴨井		昭和31年11月電気学会東京支部大会 38
24	低速度型アナログ計算機の試作概要	三浦, 阿部, 沼倉, 青木, 衣川		昭和31年11月電気学会東京支部大会 36
25	高速型リアクタシミュレータ	鴨井, 三浦	電 気 学 会 雑 誌	昭和31年11月電気学会東京支部大会 19
26	低速度型電子管式アナログ計算機の確度について	三浦, 青木, 日比, 沼倉		Vol.76, No.815, pp896~905(昭31-8)
27	折線近似函数発生器の改良	三浦, 沼倉, 雨宮	電 気 学 会 雑 誌	Vol.76, No.818, pp1,281~1,285 (昭31-11)
28	低速度型電子管式アナログ計算機の確度についての討論	三浦	電 気 学 会 雑 誌	Vol.76, No.819, pp1,468~1,470 (昭31-12)
29	繰返し型アナログ計算機の応用	三浦	エレクトロニクス	Vol.1, No.2, pp156~162(昭31-11)
30	アナログディジタル変換器	青木	電 気 学 会 雑 誌	Vol.76, No.811, pp458~466(昭31-4)
31	Descriling Function Method による非線型自動制御系の解析	沼倉, 三浦	電 気 学 会 雑 誌	Vol.77, No.820, pp1~8(昭32-1)
32	日立ポータブルアナログ計算機	三浦, 安藤, 阿部, 長谷川	日 立 評 論	Vol.39, No.2, pp219~223(昭32-2)
33	任意函数発生装置の試作	沼倉, 三浦		昭和32年4月電気四学会連合大会 190
34	RC 進相回路による1型自動制御系の補償	沼倉, 三浦, 衣川		昭和32年4月電気四学会連合大会 155
35	振幅差変調法による電子管自動平衡回路, 第1報	阿部, 沼倉		昭和32年4月電気四学会連合大会 842
36	直流再生交流増幅器の動作解析	三浦, 柏迫		昭和32年4月電気四学会連合大会 193
37	日立ポータブルアナログ計算機について	三浦, 安藤, 阿部, 長谷川		昭和32年4月電気四学会連合大会 187
38	指向性計算装置	三浦, 沼倉, 小倉, 衣川		昭和32年4月電気四学会連合大会 188
39	改良型折線近似函数発生器に関する実験的検討	雨宮, 三浦		昭和32年4月電気四学会連合大会 189
40	サーボ掛算器の解析	沼倉, 三浦, 阿部, 鴨井	電 気 学 会 雑 誌	Vol.77, No.827, pp1,009~1017 (昭32-8)
41	A New Stability Criterion of Linear Servos	沼倉, 三浦	Trns. AIEE	Vol.76, (II), No.29, pp40~48 (March, 1957)
42	New Diode Function Generator	三浦, 雨宮, 沼倉	Trns. IRE	Vol. EC-6, No2, pp95~100 (June, 1957)
43	非線型演算器	三浦	オートメーション	Vol.2, No.3, pp49~52(昭32-3)
44	パラメータを座標軸とする自動制御系の図式安定判別法(I)	沼倉		自動制御研究会資料 90-4(昭32-5)
45	パラメータを座標軸とする自動制御系の図式安定判別法(II)	沼倉		自動制御研究会資料 91-3(昭32-6)
46	パラメータを座標軸とする自動制御系の図式安定判別法(III)	沼倉		自動制御研究会資料 92-2(昭32-7)
47	低速度型アナログ計算機の積分誤差	三浦, 阿部, 永田	電 気 学 会 雑 誌	Vol.77, No.827, pp1,038~1,051 (昭32-8)
48	運輸省技術研究所納日立低速度型アナログ計算機	三浦, 阿部, 永田, 河村	日 立 評 論	Vol.39, No.8, pp895~903(昭32-8)
49	電子管式アナログ計算機とその応用 { I }	只野	オ ー ム	Vol.45, No.1, pp49~52(昭33-1)
50	日立アナログ計算機の取り扱い法	池沢, 沼倉	電 気 計 算	Vol.45, No.2, pp264~268(昭33-2)
51	高周波溶解炉の0.01%自動温度制御における諸問題	阿部, 沼倉, 上田, 田内, 河井		Vol.25, No.9, pp1,485~1,493 (昭32-9)
52	$\frac{1}{4}$ 自乗差掛算器に使用する三角波発振器	阿部, 雨宮, 太庭, 沼倉		昭和32年11月電気学会東京支部大会 40
53	2位置平衡走査型フォトフォーマ	阿部, 長谷川, 三浦		昭和32年11月電気学会東京支部大会 46
54	チョバ回路の伝達関数	沼倉, 阿部, 衣川		昭和32年11月電気学会東京支部大会 47
55	低速度型アナログ計算機用演算増幅器の設計基準	三浦, 阿部, 永田		昭和32年11月電気学会東京支部大会 48
56	繰返し型アナログ計算機のリセット誤差	三浦, 河村		昭和32年11月電気学会東京支部大会 50
57	低速度型アナログ計算機の総合演算誤差	三浦, 阿部, 永田		昭和32年11月電気学会東京支部大会 52
58	電子管式アナログ計算機の自動制御への応用	三浦	自 動 制 御	Vol.4, No.3, pp205~214(昭32)
59	パラメータを座標軸とする自動制御系の図式安定判別法	沼倉	自 動 制 御	Vol.4, No.4, pp275~285(昭32)
60	サーボ掛算器の解析についての討論	沼倉, 阿部	電 気 学 会 雑 誌	Vol.77, No.831, pp1,648~1,651 (昭32-12)
61	フォトフォーマの誤差に関する検討	三浦, 阿部	電 気 学 会 雑 誌	Vol.78, No.833, pp186~195(昭33-2)
62	関数発生器とその応用	三浦	エレクトロニクス	Vol.3, No.3, pp277~283(昭33-3)
63	電子管式アナログ計算機の構成と応用	三浦, 沼倉, 永田	エレクトロニクスダイジェスト	Vol.1, No.3, pp38~43(昭32)
64	日立アナログ計算機と電力問題への応用	三浦, 小林	精 密 工 学 講 座	日本電気協会研究講演会(昭32-5)
65	計算機械(下)ー電子管式アナログ計算機ー	沼倉		I-9, (昭33), (日刊工業新聞社)
66	低速度型アナログ計算機の総合演算誤差	三浦, 永田, 阿部		昭和33年電気四学会連合大会 230
67	むだ時間要素の試作と応用	三浦, 高見		昭和33年電気四学会連合大会 236
68	サーボ掛算器の研究(第2報)	沼倉, 三浦, 阿部		昭和33年電気四学会連合大会 239
69	低速度型アナログ計算機の総合演算誤差	三浦, 阿部, 永田	電 気 学 会 雑 誌	Vol.78, No.838(昭33-7)
70	日立アナログ計算機と電力問題への応用	三浦, 小林	電 気 協 会 雑 誌	
71	高周波溶解炉の0.01%自動温度制御における諸問題	阿部, 沼倉	電 気 学 会 雑 誌	Vol.78, No.839(昭33-8)
72	デルマニウム溶解炉の0.01%自動温度制御における諸問題	阿部, 沼倉	日 立 評 論	Vol.40, No.8(昭33-8)
73	自動制御系の図式による安定判別法	沼倉	日 立 評 論	別冊 No.26(昭33-9)

附録 2 日立アナログ計算機納入先一覧表(昭 33-7 現在)

番 号	納 入 先	品 名	数 量	製造年月
1	防衛庁技術研究所	指向特性計算装置	一式	30-3
2	防衛庁技術研究所	自動操縦装置	一式	30-5
3	国際電信電話株式会社	繰返し型掛算機	二式	30-11
4	東大生産技術研究所	繰返し型アナログ計算機	一式	31-3
5	通産省機械試験所	繰返し型アナログ計算機	一式	31-9
6	運輸技術研究所	低速度アナログ計算機	一式	32-2
7	防衛庁技術研究所	相対位置計算装置	一式	32-3
8	防衛庁技術研究所	座標変換計算装置	一式	32-3
9	東海区水産研究所	繰返し型ポータブルアナログ計算機および非線形演算要素	一式	32-3
10	日立造船株式会社	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	32-5
11	名古屋大学航空学	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	32-8
12	名古屋大学電気工学	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	32-9
13	川崎航空機工業株式会社	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	32-9
14	川崎航空機工業株式会社	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	32-9
15	富士重工株式会社	低速度型アナログ計算機	一式	32-10
16	運輸技術研究所	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-2
17	運輸技術研究所	サ-ボ任意函数発生器	一式	33-3
18	運輸技術研究所	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-3
19	運輸技術研究所	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-3
20	運輸技術研究所	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-6
21	運輸技術研究所	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-6
22	東洋紡績株式会社	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-3
23	日立造船株式会社	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-8
24	東大生産技術研究所	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-7
25	東徳島大学	低速度型アナログ計算機	一式	33-6
26	東大工学部	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	32-12
27	中央大学工学部	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-2
28	法政大学工学部	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-1
29	北豊島工業高等学校	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-2
30	奈良女子大学理学部	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-3
31	電力中央研究所	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-9
32	日立造船株式会社	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-8
33	名古屋市立工業研究所	繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-7
		繰返し型ポータブルアナログ計算機	一式	33-10

日立造船技報

Vol. 19

No. 3

目 次

- ◎組立盤木のボルトに働く力について
- ◎電気炉における酸素製鋼の応用に対する研究 (第 1 報)
- ◎MG 鋼、窒化鋼の被削性の検討
- ◎新船舶照度基準案の概要について
- ◎鋼板運搬装置の改良について
- ◎鋼けた製作における基準穴集成法について
- ◎耐酸れんがの強さ上必要な全溶接木がま本体の剛性に関する研究
- ◎特許・新案紹介
- ◎製品紹介

本誌につきましての御照会は下記発行所へ
御願いたします。

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

日立評論

Vol. 40

No. 12

目 次

- ◎東北電力上野尻発電所納 21,000kW カプラン水車および発電機
- ◎八幡製鉄株式会社八幡工場 12,000 HP 厚板分塊用電気設備
- ◎同期機の負制動現象
- ◎大容量コンデンサ
- ◎関門トンネル納一酸化炭素検出装置
- ◎軸流圧縮機の入口形状について
- ◎日立 EK 形クロスバスイッチ
- ◎藤局クロスバ交換機
- ◎蛍光灯の点灯特性について
- ◎最近の直流電気機関車の制御について
- ◎特急あさかぜ
- ◎シキ 300 形 210 t 積大物車
- ◎電力ケーブルに用いられる導体遮蔽の意義
- ◎焼入鋼の残留オーステナイトに関する研究 (第 1 報)
- ◎小形溶鉱炉実験の相似論的考察
- ◎構内交換機の設備計画

発行所

日立評論社

取次店

株式会社オーム社書店