

# フライトシミュレータ用アナログ計算機

## Analog Computer for Flight Simulator

池谷 光栄\* Mitsuei Ikeya  
堀川 勇壮\* Yûsô Horikawa  
村上 力\* Chikara Murakami  
三浦 武雄\*\* Takeo Miura  
福本 智典\*\*\* Tomonori Fukumoto  
平原 由光\*\*\* Yoshimitsu Hirahara  
西田 武彦\*\*\* Takehiko Nishida

### 内 容 梗 概

研究用フライトシミュレータとして一般航空機, VTOL (垂直離着陸機), STOL (短距離離着陸機), ロケットなどの研究, 特性解析を対象として航空宇宙技術研究所に設置されたフライトシミュレータ用アナログ計算機は, シミュレータとしての単能性と, アナログ計算機としての汎用性も兼ねそなえている。本文はシミュレータとしての具備すべき諸条件をあげ, その要求を満たすアナログ計算機の制御方式, および特に大形計算機用として開発した閉回路自動プログラミングシステム (Closed Loop Automatic Programming System-CLOAP) についてその内容を示した。

### 1. 緒 言

研究用フライトシミュレータも, フライトテーブルや, 可動模擬操縦席装置などと連動する場合には, 人身に対する安全性を十分に考慮しなければならない。したがってこれらの可動装置と連動するアナログ計算機も汎用アナログ計算機に比べてその制御方式, 信頼性, 安定性には特に考慮し, あらゆる現象に対しても人身の危険を防がねばならない。また最近のアナログ計算機は, 従来の繰返し形や, 低速形などの1タイムスケールのみでなく, 一歩進んで Iterative Computation すなわち自動演算が可能な2タイムスケールや, 3タイムスケールの計算機に移行している。自動演算の機能によって境界値問題や, 最適化問題の解析が容易に行なえるようになり計算機の機能が一段と拡大されてきた。本文では研究用フライトシミュレータ用アナログ計算機に採用されている制御方式, 自動演算, デジタル入出力方式, 警報点検方式, 空調方式などについて述べる。

### 2. フライトシミュレータ用アナログ計算機システム

#### 2.1 シミュレーションの対象

本フライトシミュレータによる研究対象は

- (1) 一般航空機
- (2) VTOL および STOL 機 (垂直離着陸機および短距離離着陸機)
- (3) ロケット

などの機種について飛行運動を実験室内で実時間で模擬再現し, 飛行性, 安定性, 操縦性, 自動制御および操縦に関する人間工学上の諸問題を解析する。そのためにアナログ計算機で模擬せねばならぬ物理量および運動特性は次のとおりである。

- (1) 併進運動
- (2) 回転運動
- (3) 空気力
- (4) 空力モーメント
- (5) 推力
- (6) 推力モーメント

\* 航空宇宙技術研究所  
\*\* 日立製作所中央研究所 工博  
\*\*\* 日立電子株式会社

第1表 フライトコンピュータの演算要素数

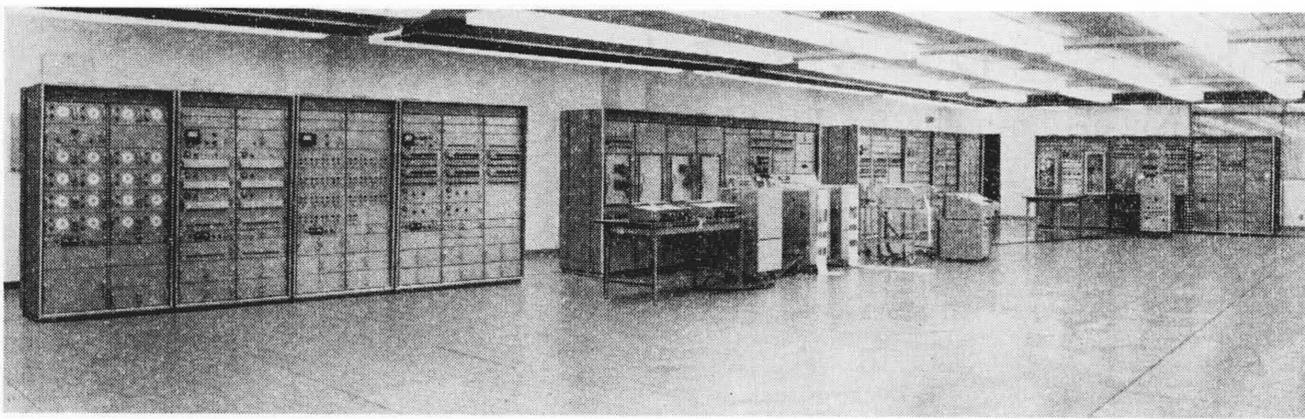
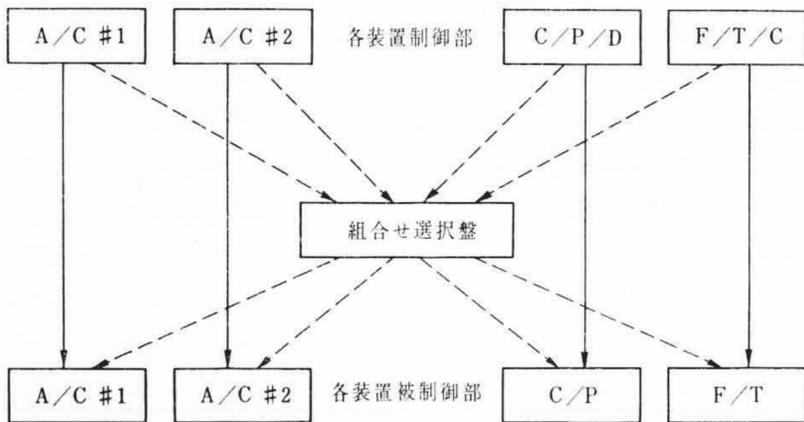
No.	演算要素名	計算機 #1 要素数			計算機 #2 要素数	要素数合計
		#1-①	#1-②	計		
1	直流増幅器	58	58	116	36	152
	(a) 加算積分器	9	9	18	12	30
	(b) 加算係数器	25	25	50	6	56
	(c) 正負変換器	15	15	30	6	36
	(d) 演算増幅器	9	9	18	12	30
2	サーボ用正負変換器	40	40	80	10	90
3	ポテンショメータ	96	96	192	80	272
	(a) 係数用手動	0	0	0	56	56
	(b) 初期値用手動	8	8	16	8	24
	(c) 3レンジ用手動	8	8	16	16	32
	(d) サーボセット自動	80	80	160	0	160
4	電子式乗算器	6	6	12	1	13
5	サーボ式乗算器(A)	17	17	34	1	35
6	サーボ式乗算器(B)	1	1	2	0	2
7	電子式関数発生器	6	6	12	1	13
8	電子式三角関数発生器	2	2	4	0	4
9	サーボ式三角関数発生器	2	2	4	0	4
10	フリーダイオード	10	10	20	10	30
11	電圧比較器	20	20	40	10	50
12	履歴要素	0	0	0	2	2
13	コンデンサ式むだ時間要素	0	0	0	1	1

(注) 計算機 #1: 飛行運動計算機部  
計算機 #2: 操縦系統計算機部

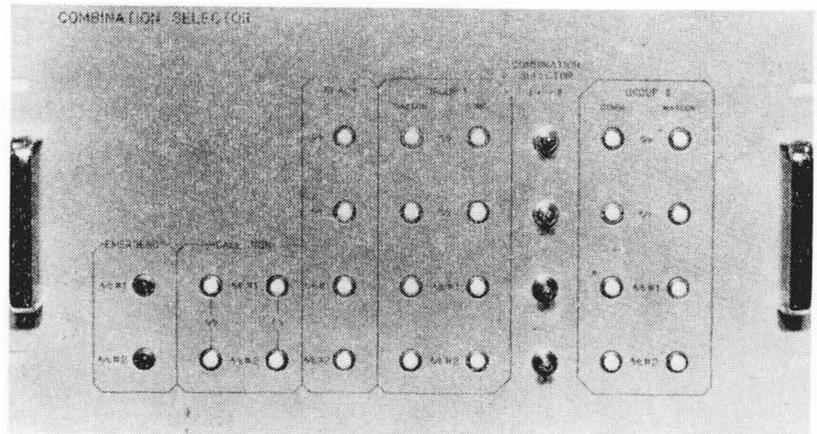
- (7) 重力
  - (8) 回転体の存在によるジャイロモーメント
  - (9) 迎え角, 横すべり角, 飛行速度, 動圧, オイラ角, マッハ数, 上昇率, 高度
  - (10) 座標変換
  - (11) 操舵力方程式
  - (12) 自動操縦装置
  - (13) 人間パイロット特性
- などである。

#### 2.2 シミュレータの規模

本シミュレータ用アナログ計算機の演算要素構成を第1表に, その全景を第1図に示した。総構成架数は35架, 12きょう体となっている。機能的にはシミュレータとしての単能性に重点をおきなが

第1図 フライトシミュレータ用  
アナログ計算機

第2図 システム制御系統図



第3図 組合せ選択盤正面図

ら、アナログ計算機としての汎用性をもはかった。

本フライトシミュレータ設備の構成を次に示す。

- (1) 飛行運動計算機部 (ANALOG COMPUTER #1 以下 A/C #1 という)
- (2) 操縦系統計算機部 (ANALOG COMPUTER #2 以下 A/C #2 という)
- (3) 人間工学研究用可動模擬操縦席装置 (MOVING COCKPIT 以下 C/P という)
- (4) フライトテーブル (FLIGHT TABLE 以下 F/T という)
- (5) 付属計測記録機器

### 2.3 シミュレータの制御方式

本装置のようにシミュレータとしての単能性に重点を置くと同時に、汎用性を多分に持たせた装置では両者のそれぞれの要求を十分満足するとともに装置全体としての要求も合わせて満足しなければならない。前述の各装置をどのように組み合わせて、どのように連動動作を行なわせるかは、研究目的にそった実験がいかにかに能率よく、安全で、しかも信頼度の高い解が得られるかという点からその制御方式として次の条件を満足する方式を採用した。

- (1) A/C #1, A/C #2, C/P, F/T がそれぞれ他の装置に干渉することなく単独に制御できること (汎用性, 能率, 安全性, 精度向上)。
- (2) A/C #1, A/C #2, C/P, F/T を任意に1組または2組に組み合わせて (たとえば A/C #1 と C/P, および A/C #2 と F/T の組合せや, A/C #1, および A/C #2 ↔ C/P ↔ F/T の組合せなど) 各組とも独立に制御操作ができること (汎用性, 能率)。
- (3) 組み合わせて制御操作を行なうときは, 各組の制御操作はいずれも組み合わせた装置のどれか1個所でしか行なえないこと (安全性)。
- (4) 組合せ制御操作を行なうとき, 各装置が準備完了したことを確認しなければ演算が開始できぬこと (安全性)。
- (5) 演算開始時, または終了時において, C/P および F/T が急激な動きをしないこと (安全性)。
- (6) 組合せ運転時における各装置の異常状態は, 各装置におい

ては握できること (安全性, 計算の信頼性)。

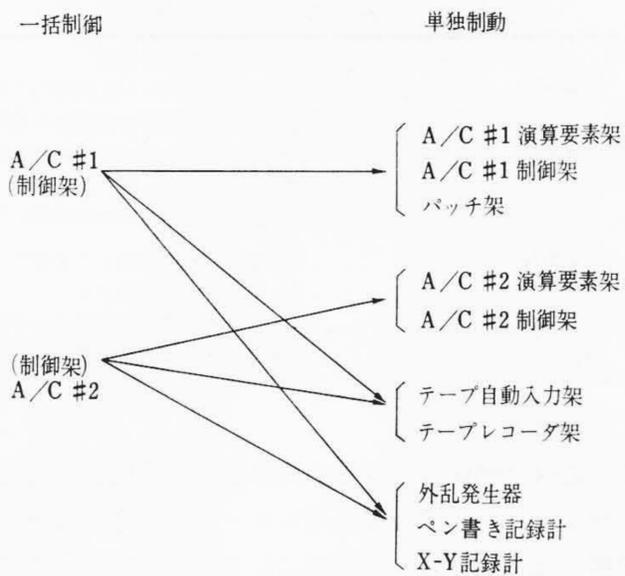
- (7) 装置間の演算信号の接続は, 組合せ制御動作をするときのみ接続されること (安全性)。
  - (8) 組み合わせて演算中はその組合せが容易に解けないこと (準備状態の時のみ組合せ, 解除ができる) (安全性, 計算結果の信頼性)。
  - (9) C/P または F/T との組合せ運転において, 演算中に演算要素が過負荷したり異常状態が発生しても, これらは急激な運動をせず, 異常発生時点で静止すること (安全性)。
- 以上の制御方式のほかに特に考慮したものをあげると次のとおりである。

- (1) 全装置の設置場所が広い範囲にわたるため, 装置間の演算信号授受の過程で相互干渉や, 不良信号の誘導を避けること (信頼性)。
- (2) 装置間の制御信号の授受はリレー接点の開閉で行ない, 各装置単独に制御動作の点検確認が行なえること (安全性, 信頼性)。
- (3) 研究者の精神的負担を低減するため室内の騒音を少なくし, 装置の冷却設備により室内空気流に大きな差を生じないこと。また計算機内温湿度は常に一定にしながらも, 計算機室内は人間の居住に快適な温湿度に選び得るようにすること (信頼性, 能率)。
- (4) 装置の組合せ運転において, 装置相互間に視覚, 聴覚による連絡が十分に行なえること (安全性)。
- (5) 大規模な装置であり, それぞれの装置で動作状態の点検が短時間に行なえること (能率)。
- (6) 将来, 規模および機能の拡張が容易に行なえること。

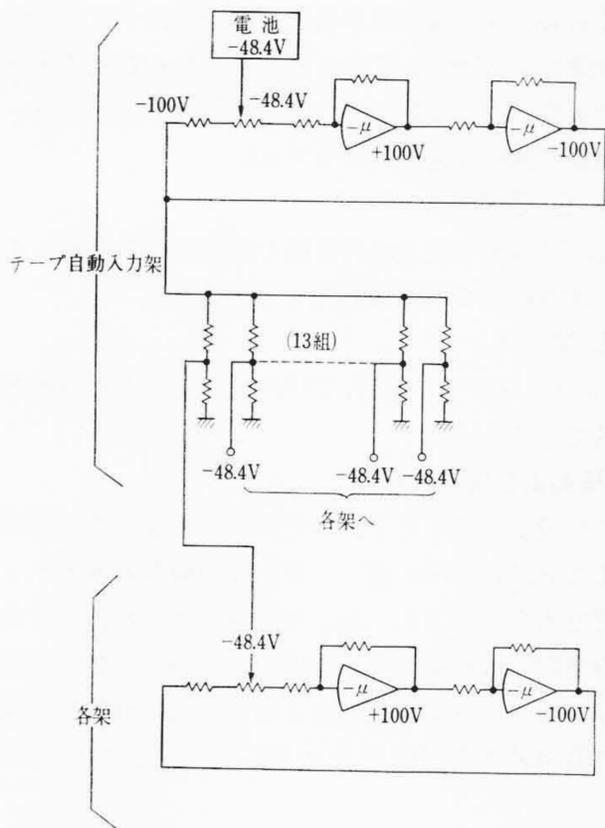
### 2.4 シミュレータの制御機能

制御操作機能については, C/P, F/T, A/C #1, A/C #2 をそれぞれ随意に組み合わせても, C/P, F/T, A/C #1, A/C #2 の順序で制御優先順位を定めてあるため, 組合せた装置の中で最優先順位の装置の制御操作部の操作によりその組合せの組全体が制御される。

装置を2組以上組み合わせて運転しようとするときは各装置でそ



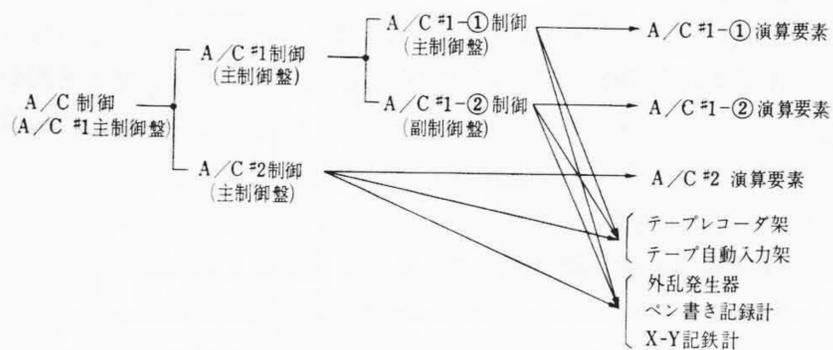
第4図 電源制御の系統



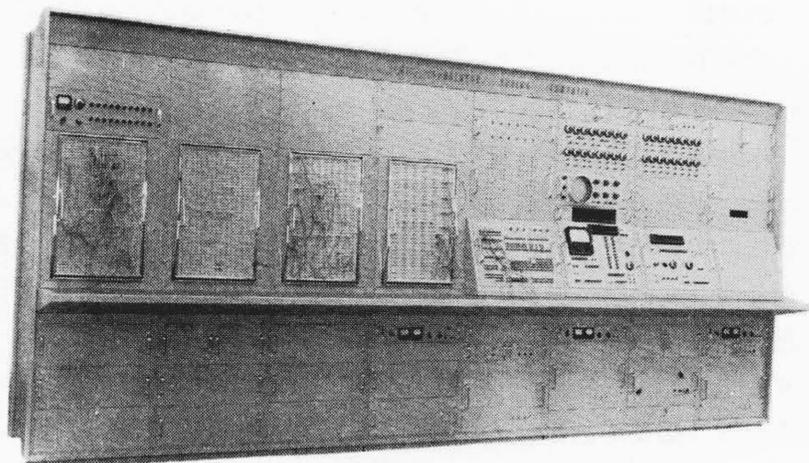
第5図 標準電源(±100V)発生回路図

れぞれ準備(たとえば問題設定やバランス点検など)をしてから、各装置の制御盤で準備完了(READY)信号を出せば第2図の制御系統は実線から破線の系統に切り換わる。組合せ選択盤(前面写真第3図)ではREADY信号を受けると該当装置の準備完了ランプが点灯し装置の組合せが可能となる。このとき各装置から準備完了信号を出してなければ組合せ選択盤では組合せができないようになっている。組合せ選択盤上の組合せスイッチ(COMBINATION SELECTOR)をI(またはII)の方向に倒すとその装置はI(またはII)のグループに属することとなり、いずれのグループに属したかは組合せ完了(COMBI)ランプの点灯で確認できる。組合せが完了すれば上述の制御機能の優先順位によって、I、IIグループそれぞれのうちで最上位となる装置(MASTER CONTROLLER)を示すランプが点灯し、その装置がI(またはII)グループの主制御操作部となることを表示する。

各グループは主制御操作部となった装置からのみ組合せ運転の制御を受け、組合せの解除はグループが演算休止時にのみ行なわれ、グループが運転中(アナログ計算機でいえばCOMPUTE中)は組合せ選択盤上の組合せスイッチを切り換えても、グループの組合せと、組合せ運転のモード(MODE)はそのままの状態を維持するようインタロックされている。



第6図 演算制御系統図



第7図 A/C #1 制御架

組合せ運転を一括して行なうための制御信号授受による各装置の運転開始時点のずれは1ms以下となっており、これに起因する誤差はきわめて少ない。

### 3. 計算機の制御方式

#### 3.1 電源制御

計算機の電源制御は各計算機(A/C #1またはA/C #2)の主制御盤で一括制御される(第4図)。各演算要素架の電源制御スイッチを遠隔制御(REM)にしておけばA/C #1の演算要素架はA/C #1の制御盤で、A/C #2の演算要素架はA/C #2の制御盤で一括制御される。

テープ自動入力架、テープレコーダ架は両計算機(A/C #1, A/C #2)と連動して使用されるため常に両計算機の制御盤から制御することができる。

電源制御には低圧、高圧および標準電圧の3種類の電源制御がある。

低圧電源制御とは真空管のヒータ電圧、リレー駆動電圧など低い電圧を投入するための制御であり、高圧電源制御とは回路の±B電源を投入するものである。このとき高圧電源は低圧電源投入後約1分経過しないと投入されない。なお高圧電源制御の指令は保持されているので、低圧電源投入後約1分間経過ののち自動的に投入することもできる。

標準電圧は第5図に示すようにテープ自動入力架の基準電池(-48.4V)により発生し、一括して較正されるので基準電池が変化しないかぎり標準電源は変化せず安定である。たとえ変化しても絶対値は同じ方向に増減するため、標準電圧の変動による演算誤差への影響が軽減される。

また各架の電源制御盤で単独に電源を投入するときには基準電源は使用できないが(テープ自動入力架の電源が投入されていないとき)、標準電源発生部の基準電源切換スイッチを切り換えて放電管を使用して標準電源を発生することができる。

### 3.2 演算制御

演算制御は各計算機(A/C#1とA/C#2)の制御盤で行なわれるが、A/C#1計算機を2分割して使用するときは主制御盤と副制御盤でおのおの単独に演算制御を行なうことができる。以下これら演算制御について説明する(第6.7図参照)。

#### (1) 手動演算制御

制御盤の演算制御用押ボタンで次の6状態を切換制御できる。

- SB ..... 休止: チョップ電源を切断。
- BC ..... 零調: 演算要素のレベル点検。
- PC ..... 問題点検: プログラムおよび係数設定値点検。
- RESET ..... 設定: 積分器の初期値設定。
- COMP ..... 演算: すべての演算要素は演算状態。
- HOLD ..... 保持: 積分器の値を保持。

#### (2) 自動繰返し演算

本計算機の汎用性を増すものとして、自動繰返し演算機能を開いた。パラメータを順次変更して一連の演算を行なう場合や、試行法によりパラメータを適値に設定したい場合など、多数回の繰返し演算を行なう場合がきわめて多い。このような場合演算制御として「初期値設定」、「レコーダ始動」、「演算」、「保持」、「レコーダ停止」、「係数変更」、「初期値設定」という各状態の繰返し操作を行なう必要がある。本計算機では制御盤の「START」の押ボタンを押すだけで、これらが一定の時間的、電圧的間隔をもって自動的に繰り返すことができる。この場合の演算時間または演算電圧(演算解が設定した電圧に達すると繰り返す)は制御盤上の「TIME-VOLT SET」ポテンショメータで最大100秒、または±100V(なお演算解の増減方向も定める)まで設定することができる。さらに本装置ではリセットのたびに交互に切り換わる接点を持っており演算ごとに回路を交互に切り換えて演算を行ない、一方の回路が演算中に他回路のパラメータを変更することができる。

#### (3) 自動保持

演算を開始して一定時間後の演算解、または演算解が一定の電圧になったときの各演算解を正しく読みたい場合がときどき起こる。たとえば境界値問題の場合や、演算解を基にして他の演算回路の設定値とする場合などがある。この場合計算機を保持の状態にしてデジタル電圧計などにより精度よく読みとることができる。この目的のために自動保持機構を設け、設定した一定時間後、あるいは一定電圧に達した瞬間に自動的に演算要素を保持の状態にできる。

この設定には制御盤上の「TIME-VOLT SET」ポテンショメータが使用される。設定は自動繰返し演算と同様最大100秒または±100Vである。

### 3.3 付属機器との連動制御

計算機(A/C#1またはA/C#2)と連動して使用する付属機器に対する連動制御を以下に述べる。

#### (1) テープ自動入力架

本架は後述の自動プログラムシステムおよびサーボセットポテンショメータの設定など計算機(A/C#1とA/C#2)と密接な関係があるのでA/C#1またはA/C#2の電源制御とは常に連動して動作する。

#### (2) テープレコーダ架

本架の演算制御が計算機と連動する必要があるときはテープの駆動、停止などは計算機の制御パッチ盤で行なわれる。なお演算信号は演算パッチ板との間で信号授受を行なっている。また電源制御はテープ自動入力架と同様計算機と連動して制御される。

第2表 点検, 異常表示の一覧表

点 検	プロブレムチェック.....	パッチした問題の点検
	オフセットチェック.....	各要素のオフセットを自動的に走査点検する
	スタティックチェック.....	各要素の静的精度を自動的に走査点検する
	ダイナミックチェック.....	サークルテスト( $\omega=20$ )で周波数特性を点検する
	スキャンプリント.....	各演算要素の設定値および演算値を印字点検する
異常表示	過電圧表示.....	演算要素を集中監視して過電圧(±105V以上)演算要素を表示する
	過負荷表示.....	線形要素の過負荷を各パネルで表示する
	高圧ヒューズ断線表示.....	各架の高圧電源異常状態を集中監視する

#### (3) ペン書き記録器

本器の紙送り動作は計算機の演算制御と同期して行なわれ、計算機のコンピュータ指令で紙送りモータが動作した後、計算機が演算状態になる。なおこの動作はレコーダ側スイッチの操作で解放することもできる。

#### (4) 遠隔制御器

本器はおもに計算機の演算制御を遠隔操作するもので、制御盤で演算制御を手動操作しているときにこれと並列に演算操作を行なうのである。このほかにペン書き記録計の紙送りモータの制御と印加関数の制御も遠隔制御できる。

#### (5) 外乱発生器

正弦波、余弦波の発生が計算機の演算制御と連動して制御できる。また本器のみでの単独制御も可能である。

#### (6) X-Yレコーダ

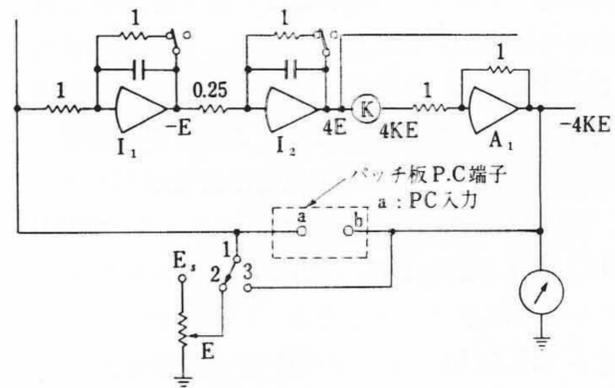
X-Yレコーダのペン上げ、下げの制御が制御パッチ板からの信号で連動できる。

### 3.4 点検および異常表示

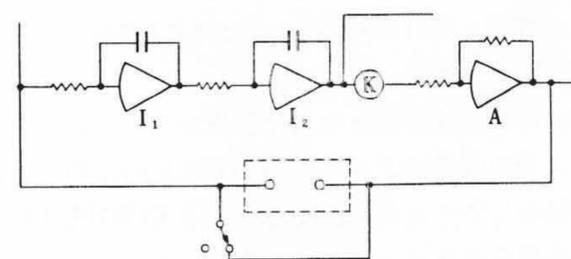
計算機の規模が大きくなるにしたがい、実装演算要素の動作状態を点検することは長時間を要し、従来は増幅器の零バランスの点検を行なう程度のもので多かった。本計算機はこれらを自動化することにより短時間で演算要素のオフセットを始め、静的精度、動的精度、ポテンショメータの設定値などを自動的に点検し、稼働率の向上とともに計算結果の信頼性を大幅に向上することができた(第2表参照)

#### (1) プロブレムチェック

演算パッチ板上に組まれたプログラムの適否を点検する方式として採用されたもので、第8図に示すプロブレムチェック用接点



(a) プログラムチェック(P.C)の状態



(b) プログラムチェック(P.C)以外の状態

第8図 プロブレムチェック回路

と、ポテンショメータをもち、プログラムした閉回路ごとの一巡の利得を求めて、プログラミングの良否を点検するものである。

(2) オフセットチェック

演算要素の増大に伴ってその保守の簡便さ、信頼度の向上の点から演算器の自動点検が望まれる。

各演算要素をバランスチェックの状態におき、演算要素を順次自動的に走査点検して行くもので、オフセット電圧があらかじめ規定した値 (10 mV~10V の範囲で任意設定可能) 以上になっているものがあるれば、その要素で自動点検を停止して警報を発生し、オフセット量を電圧計で指示し、または要素番号、オフセット量をプリントアウトすることもできる。この演算器を飛越し、さらに自動点検を行なわせることもできる。このようにして使用に不適當な演算器を除くとともに、不良演算器番号とそのオフセット量がプリントアウトされるため、不良演算器の点検にも便利である。

(3) スタティックチェック

各演算要素をコンピュータ状態にして各演算要素が正常に動作しているか否かを点検するものである。各演算要素の出力が演算状態で 50V になるようにプログラミングし、その出力を自動走査する。この自動走査点検において出力が 50V ± 0.5V をはずれた演算要素がある場合にはオフセットチェックと同様に不良要素の番号、出力値がプリントアウトできる。

(4) ダイナミックチェック

演算要素のダイナミック特性を点検し、演算要素の劣化を早期に発見することを目的とするものである。この点検は可能な限りの演算要素を用いた、次の方程式を解くテストプログラムによる。

$$d^2y/dt^2 + w^2y = 0 \quad w = 20 \text{ rad/s}$$

5~10 分間の計算結果からダイナミック特性の点検を行なうものである。

(5) 過電圧指示

演算要素が過電圧 (演算器出力の絶対値が ±105V 以上になること) になると、可聴警報を発生し、同時にネオンランプによる可視警報を発生する。またこの場合過負荷演算要素番号も明示される。なお計算中に過負荷したときは必要によって計算値をその瞬間に保持することもできる。

(6) ヒューズ切断警報

装置が大きくなるに従って、それぞれの演算要素を駆動する電源の種類、数も多くなり電源故障を早期発見して、他に悪影響を

及ぼさないような対策が必要である。本装置ではこのような電源を 40 台実装しており、それぞれの事故によるヒューズ切断を検出し、可聴警報を発生するとともに、当該電源を収容する架番号をランプ表示し事故の拡大を防止した。

4. 閉回路自動プログラムシステム

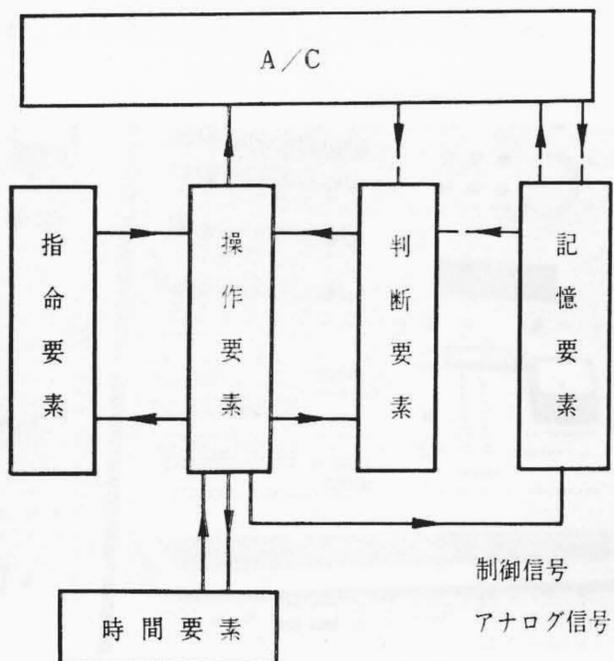
大形計算機で演算を行なう場合、問題が複雑化するにしたがってその操作量が急増し取り扱いが繁雑となる。たとえば固有値問題、境界値問題のように試行による繰返し演算を必要とする場合、あるいは多量のパラメータ変更の場合などがこの例である。このような手数と時間を節約し、かつ人為的誤差のはいることを防ぐために、その操作と判断を自動的に行なわせる装置が必要となる。本装置に採用された閉回路自動プログラムシステム (Closed Loop Automatic Programming System-CLOAP) はこのような演算操作をすることを目的として開発されたものである。

4.1 システムと構成

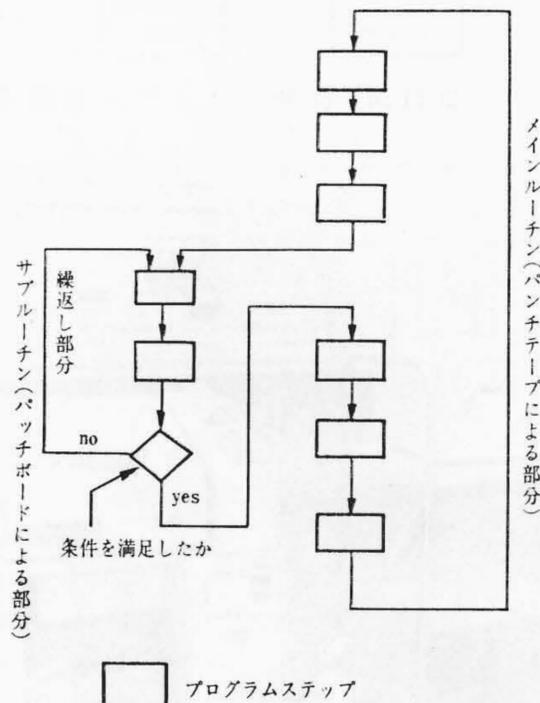
計算機の自動プログラムシステムは第 9 図に示すように、計算機に指令要素、操作要素、判断要素、記憶要素および時間要素を付加し、条件にしたがって自動的に計算機を操作する典型的な CLOAP システムである。指令方式はパンチテープおよびパッチボード方式の併用方式である。

パンチテープ式の最も大きな長所は、自動演算機能のほかに多数のサーボセットポテンショメータ (160 個) の自動設定ができることであり、計算機では最も重要な装置である。一方この機能を生かしたパンチテープ式自動プログラム装置では、その動作を 1 本のパンチテープの命令で行なうため、テープが一巡する間の各種命令を、計算結果によって飛越すことがあるが、テープは順次命令を読み取るため時間がかかる欠点がある。したがって第 10 図に示すようにメインルーチンはパンチテープで、サブルーチンはパッチボードで行なう併用方式が採用された。指令の分担にはそれぞれの特長を生かすべきであり、その例を第 3 表に示す。

パンチテープで行なう主要なものはサーボセットポテンショメータ (SP) の自動設定であり、パッチボードにより行なうおもな命令は演算制御である。回路切換およびデジタルポテンショメータの操作は、いずれからの命令によっても行なわせることができるが、すでにパンチテープがあるので、簡単なリレー回路を付加することによりこれらのパンチテープによる操作が可能となり、さらにパッチボードの命令段数が制限されているのを助ける意味で、両者で制



第 9 図 自動プログラム装置ブロック図



第 10 図 併用方式の自動プログラム命令説明図

第3表 パンチテープ、パンチコード併用方式のプログラム分理表

パッチテープにより行なうもの (比較的プログラムステップの大きいもの)	(1) SPの自動設定 (SPによる記憶を含む) (2) 回路切替 (3) デジタルポテンシオメータの操作 (4) 条件による命令の飛越し (5) パッチボードによる命令の始動
パンチボードにより行なうもの (比較的しばしば利用され、しかもプログラムステップの少ないもの)	(1) 演算制御 (2) 記録器制御 (3) 回路切替 (4) デジタルポテンシオメータ操作 (5) 磁気テープ制御 (6) デジタルプリンタ制御

御するように考えたものである。また演算結果に基づいて操作を変更する際は、命令の飛越しにより行なうが、パンチテープにおいては専用の飛越し操作機構があり、飛越しの命令コードをもっている。

本装置はブロック図(第11図)に示すように制御パッチ盤が主要な位置にあり、各要素へ指令を出すことができ、パンチテープ入力の指令の一部を受けもって遂行する。ゆえにパンチテープ方式のときには翻訳器からすべての指令が出てプログラムを遂行し、パッチボード方式のときには制御パッチ盤からの指令でプログラムを遂行する。併用方式のときはこの両者が前記の分担にしたがってプログラムを直列に遂行する。またこれ以外に万能入出力装置のけん盤のキーによりパンチテープと同様な指令を遂行させることもできる。

なお制御パッチ盤は飛行運動計算機部(A/C#1)と操縦系統計算機部(A/C#2)に1台ずつあり並列に使用することができる(第12, 13図参照)。

第4表 併用方式におけるパンチテープの命令

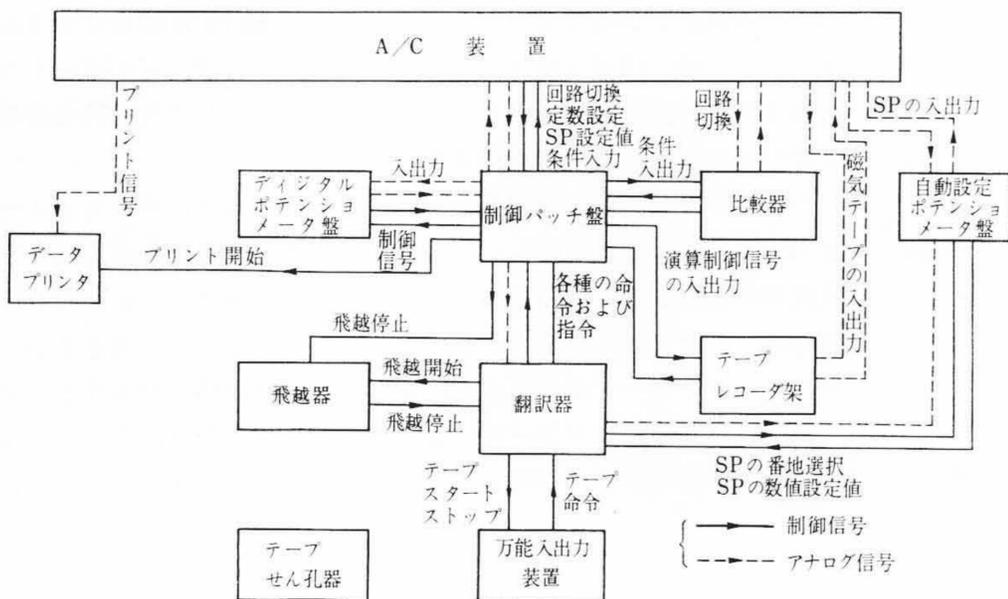
命 令	命 令 の 説 明
A100~A179	A/C #1の自動ポテンシオメータ(SP)を1個選択する(Auto pot)
A200~A279	A/C #2 " "
000~ 999	上記のポテンシオメータを 0.000~0.999 の分圧比に設定する
J 10~J 19	A/C #1の自動ポテンシオメータのアナログ電圧設定値入力選択
J 20~J 29	A/C #2の " " (Jumper)
D 10	デジタルポテンシオメータを1ステップ動かす(Digital pot)
D 11	" " を零にせよ(クリヤー)
D 12	" " を1けた下げよ(シフト)
P110	パンチテープ停止, A/C #1のパッチボードによるプログラム(1)始動 (Patch Boad Program)
P120	" " " " プログラム(2)始動
P210	" " A/C #2 " " (1) "
P220	" " A/C #2 " " (2) "
Q 10~Q 19	A/C #1のパッチテープ再始動の際の始動信号入力端子(P→Q)
Q 20~Q 29	A/C #2 " " "
R 10~R 19	A/C #1制御パッチ盤のリレーオン (Relay)
R 20~R 29	A/C #2 " " (Relay)
X 10~X 19	A/C #1 " " リレーオフ
X 20~X 29	A/C #2 " " "
S 10~S 19	A/C #1の制御パッチ盤条件端子オンなら飛越し開始 (Skip)
S 20~S 29	A/C #2 " " " (Skip)
T 10~T 19	A/C #1の飛越し停止 (S→T)
T 20~T 29	A/C #2 " " (S→T)

本装置の自動プログラム要素は下記のものから構成されている。

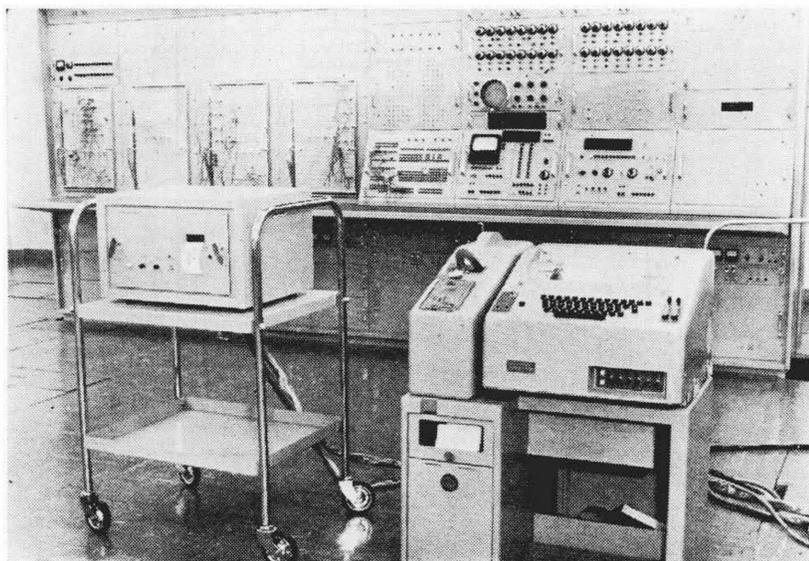
- (1) 万能入出力装置(けん盤, 印字部, 読取器, せん孔器) 1式
- (2) テープせん孔器(けん盤, 印字部, せん孔器) 1式
- (3) 翻 訳 器 盤 1台
- (4) 飛 越 し 器 盤(20個の飛越し選択) 1台
- (5) デジタルポテンシオメータ盤(10進3けた) 1台
- (6) 自動設定ポテンシオメータ盤(1台20個, 計160個) 8台
- (7) 制御パッチ盤(A/C #1とA/C #2に各1台) 2台
- (8) 比 較 器 盤(1台10個, 計40個) 4台
- (9) テープレコーダ架(8チャンネルデータレコーダ部2チャンネルテープ式無駄時間部) 1式
- (10) データプリンタ(印字けた数11) 1式

4.2 テープの命令

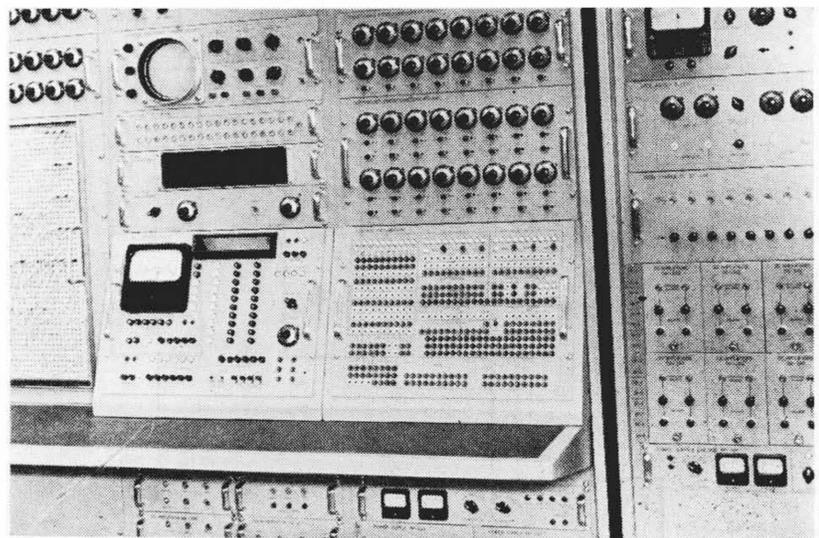
パンチテープとパッチボードを併用する方式であるため、パンチテープの命令はきわめて簡単化された。テープによる命令とその説明を第4表に示す。第4表に示すように分圧比を示す数字だけの命令とデジタルポテンシオメータの操作をあらわす命令を除いて、最初の文字が命令の種類を表わし、2字目は計算機A/C#1とA/C



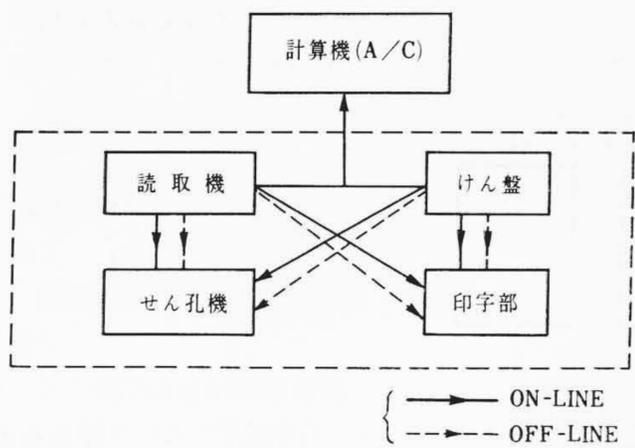
第11図 自動プログラム装置系統図



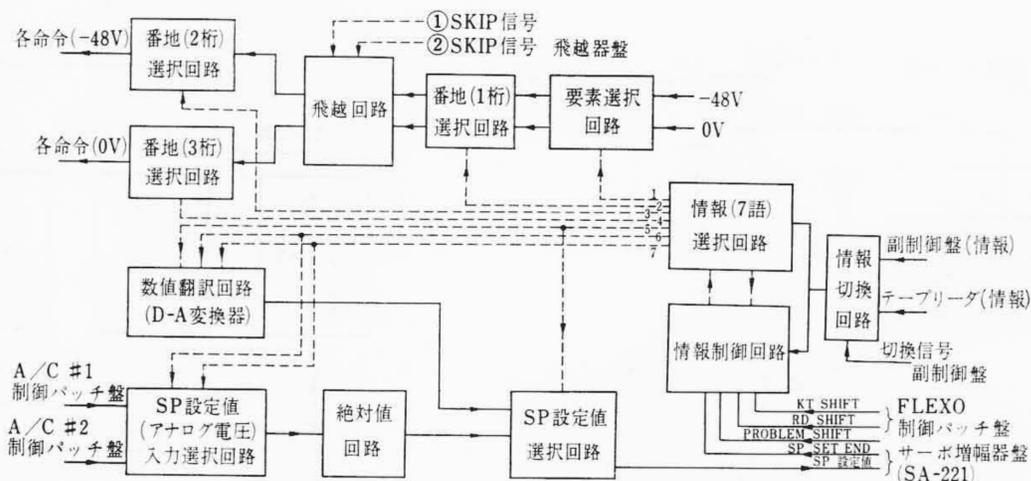
第12図 飛行運動計算機部(A/C#1)の自動プログラム装置



第13図 操縦系統計算機部(A/C#2)の自動プログラミング装置



第14図 基本機能ブロック図



第15図 翻訳器ブロック図

#2の区別を表わし、3,4字目の2文字が番地を表わす。

D10~D12の第2字目はA/C#1に相当し、3字目が操作の種類を表わす。本来は文字にしたほうがおぼえやすく便利であるが、回路簡単化のため数字としたものである。

4.3 デジタル入出力装置

4.3.1 万能入出力装置

本装置はコンピュータのせん孔テープ入力部で直結(ON-LINE)、または非直結(OFF-LINE)のいずれかの状態で使用する。

本装置の基本機能ブロック図を第14図に示す。

直結した場合次の動作ができる。

- (1) 読取器からコンピュータに情報を送る。
- (2) けん盤送信機からコンピュータに情報を送る。

なおコンピュータと直結の場合は読取器、けん盤送信機のうちいずれを動作させるかはコンピュータからの指令により行なわれる。

非直結の場合次の動作ができる。

- (1) けん盤より印字すること、せん孔すること、または印字せん孔すること。
- (2) 読取器においてテープを読取り印字すること、せん孔すること、または印字せん孔すること。

4.3.2 テープせん孔器

本装置は万能入出力装置の読取器にかけるテープに命令をせん孔するものでコンピュータとは直結せずに使用する。基本機能はけん盤のキーを打つことにより印字、せん孔、および印字せん孔することである。

4.3.3 データプリンタ

本器はコンピュータの出力電圧をデジタル量で印字するもので、次の操作を行なう。

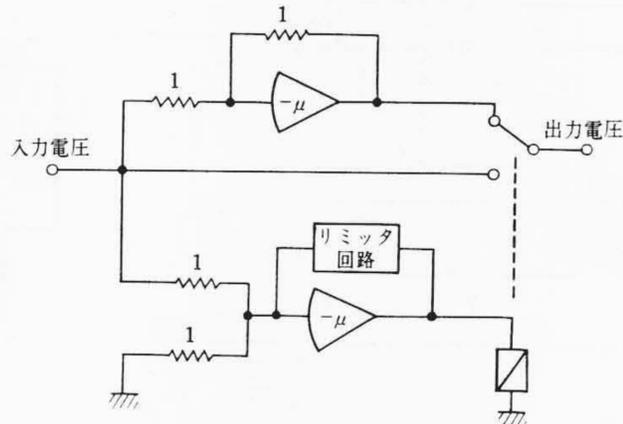
- (1) 主制御盤でSCAN-PRINTするとき、その要素名と出力電圧をデジタル量として印字する。
- (2) 主制御盤で出力選択して読み出した要素(数値を含む)を印字するとき、要素名と出力電圧をデジタル量で印字する。
- (3) 演算パッチ板の「PRINT」入力に接続した電圧を印字するとき、「PRINT」入力端子番号とアナログ電圧をデジタル量で印字する(指令は制御パッチ板の「PRINT-START」端子で行なう)。

(例) 1AD14+56.78V.....(1)(2)で印字したとき  
1PR05+37.58%.....(3)で印字したとき(%表示)

4.4 自動プログラミング制御要素

4.4.1 翻訳器盤

本盤は万能入出力装置によって読み取られたせん孔テープの情報、およびA/C#1の副制御盤のSP設定機構からの情報をコンピュータの各要素への命令に翻訳する回路と、制御パッチ盤からのSP



第16図 絶対値回路

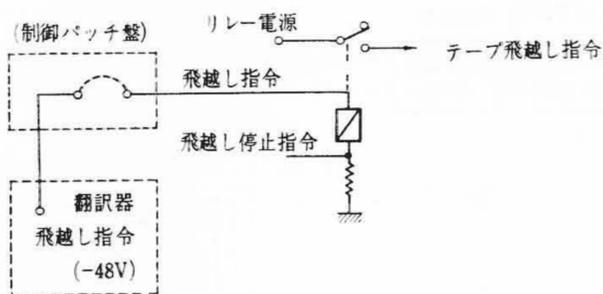
設定信号(アナログ電圧)の絶対値を取るための絶対値回路を実装した装置である。本装置のブロック図を第15図に示す。この中で情報切換回路はSP設定のとき、せん孔テープと同様に副制御盤からも手動で設定できるので、このときどちらの情報を受け入れるかを副制御盤からの指令で切替えるものである。情報選択回路はテープ命令の最も多い情報が最高7語(たとえばSP設定命令、A123456)で構成されているので、各情報を各回路に供給するため、SP設定のとき、一つの命令を送った後設定完了信号を受け取るまで、次の命令を翻訳してはならないので、テープを停止しておく指令を情報制御回路に送る。翻訳器から各要素へ行く指令は、リレー電源(-48V)または、リレー接地(0V)を送り各要素のリレーを動作させている。特にSP設定の番地指令は、10けた目はリレー接地信号を送り、1けた目はリレー電源を送り各番地を選択している。

SPはコンピュータA/C#1-①とA/C#1-②におおの80個実装してあるので、両者の同じ番地に同じ数値を設定したい場合がある。このときテープにはコンピュータ(A/C#1)の①と②を指定しないで(例A034276)翻訳器前面から手動操作でA/C#1-①またはA/C#1-②のいずれかを選択する。

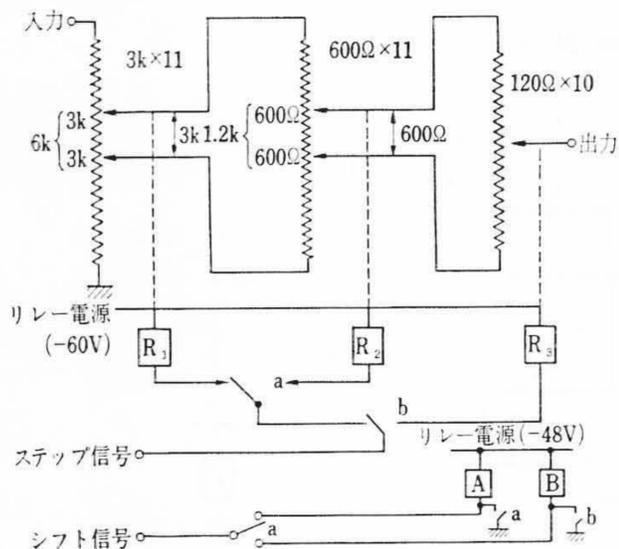
SPにアナログ量を分圧比として設定して記憶させるときは、アナログ電圧を正電圧にしてサーボ増幅器に供給しなければならない。このために精度の良い絶対値回路を使用しないと設定誤差が大きくなる。ここで使用した絶対値回路は第16図に示すように入力が正電圧のときは出力はそのまま、負電圧のときは正負変換器を用い、この係数比精度は±0.03%以内でSP設定機構に設定値として供給する。

4.4.2 飛越し器盤

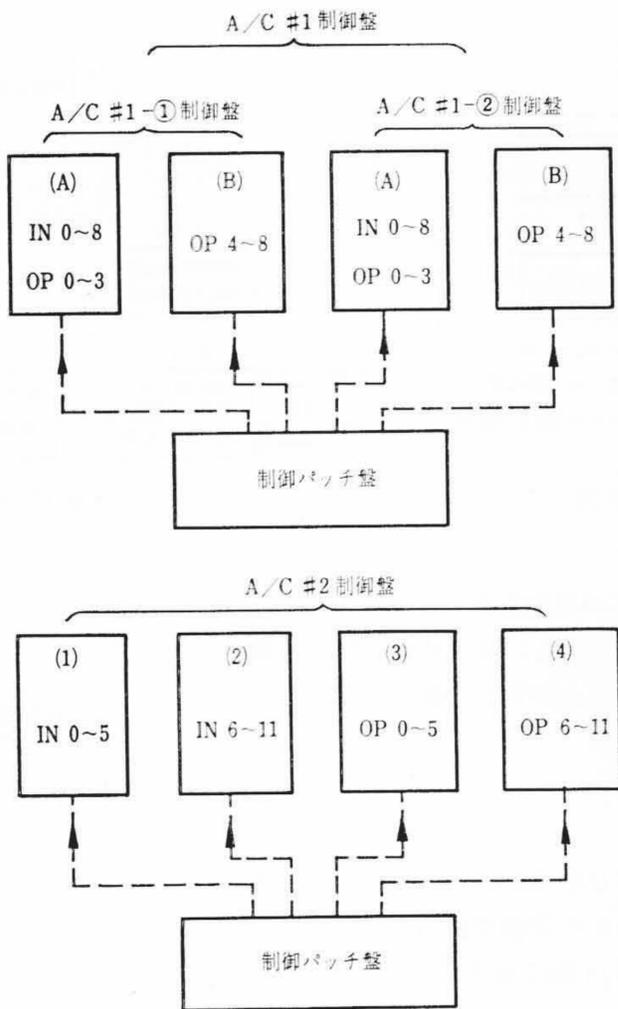
本盤はテープの飛越し命令と制御パッチ盤の飛越し条件端子(飛越しを行なわせるときに短絡する)が一致したときにリレーが動作してテープの飛越し指令を出し、次の飛越し停止命令がくるまでテープの命令を翻訳しない。このブロック図を第17図に示す。



第 17 図 飛越し指令ブロック図



第 18 図 デジタルポテンシヨメータブロック図



第 19 図 演算制御系統図

- (9) 線形演算要素の分割制御切換スイッチ 1個
- (10) 各記録装置制御端子 1組
- (11) 対演算パッチ板用接続端子 1組
- (12) 磁気テープ制御機構 1組

演算制御は分割切換スイッチを「GROUP」に切り換えると、A/C #1は4分割(第19図参照)され、各グループ単位で与えられた命令により演算制御(RESET, COMPUTE, HOLD)を行なう。A/C #1の①と②の分割は副制御盤(A/C #1-②の演算制御を行なう盤)の「SLAVE」 「ALONE」押ボタンにより制御されるが、本盤で「GROUP」に切り換えると、いかなるときでも4分割できる。A/C #1とA/C #2はおのおの実装している制御パッチ盤で簡単に分割できる。A/C #2も分割は同じく4グループであるが各演算要素

飛越し条件端子は計算機(A/C #1)と計算機(A/C #2)におのおの10組ずつ実装してあるので、どちらからでもテープの飛越しを行なうことができる。しかしテープの飛越し命令番号(計算機の区別と条件端子番号)と飛越し条件端子の番号が一致して短絡されないとテープの飛越しは行なわれない。

#### 4.4.3 デジタルポテンシヨメータ

パラメータを演算結果に応じて自動的に粗、あるいは精に増減し適値に設定する場合に本装置が使用される。これは最初0.909に設定されているので、それから1ステップずつ動作させる。

本装置の動作指令は、(1)1ステップ動作(数一つずつ上げ下げする)、(2)1シフト動作(ステップ動作のけた一つ下げる)、(3)クリアー動作(数もけたも最初にもどす)の3種類で行なう。ゆえに最適値問題に使用するとき、パラメータは0.909からスタートして、1けた目を下げ、2けた目を上げ、3けた目を下げるという順序で最適値に到達する。第18図に示すように係数は回転スイッチによる3けたデジタルポテンシヨメータ(抵抗直接接続形)を採用して分圧比精度を上げ、±0.03%以内に設定できる。なお分圧比は前面パネルの表示部でデジタル量として直読できる。

#### 4.4.4 制御パッチ盤

本盤は固定パッチ方式のプログラム盤でサブルーチンを組合せるもので次のものから構成されている。

- (1) プログラムステップ機構 2組
- (2) 補助リレー 10個
- (3) 時間遅れリレー 1個
- (4) デジタルポテンシヨメータの制御および入出力端子 1組
- (5) テープ読取り飛越し開始条件端子 1組
- (6) テープ読取り始動条件端子 1組
- (7) SP設定値入力端子 1組
- (8) 線形演算要素の分割演算制御端子 1組

は第19図のようになる。なお第19図からわかるように分割する演算要素は積分器(IN)と演算増幅器(OP)である。分割された中で3グループをまとめて制御するときは、各3グループの同じ演算制御(たとえば「RESET」)の端子を接続しておけば、そのうち1個所に演算信号を与えることにより3グループは同時に同じ演算制御を行なう。

テープレコーダ架の制御はデータレコーダ部とテープ式むだ時間部をおのおの単独に制御できるようになっている。磁気テープの始動のみを制御して、実際に計算結果を記録するとき、またはむだ時間を発生するときは制御端子を短絡すればよい。次に記録した演算信号、またはむだ時間を経た演算信号を取り出すときは「OUT」端子がテープレコーダからの信号で動作する。ゆえにテープレコーダ架の演算信号は常にA/Cの演算と同期して記録、再生ができる。

そのほか、各記録装置の制御はA/C #1およびA/C #2に接続されているものすべてが各制御パッチ盤から制御される。第20図はテープレコーダ架の外観である。

### 5. アナログ計算機の主要演算要素

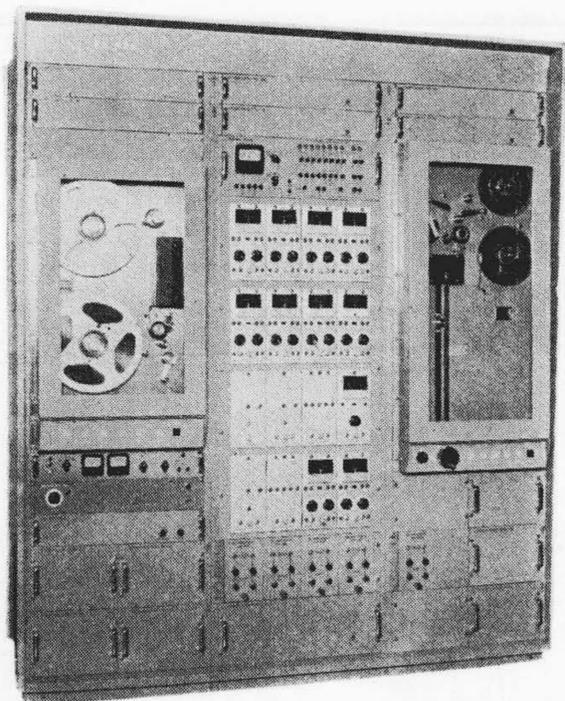
本シミュレータ用計算機のおもな演算要素の性能を第5表に示す。

### 6. 空気調和方式

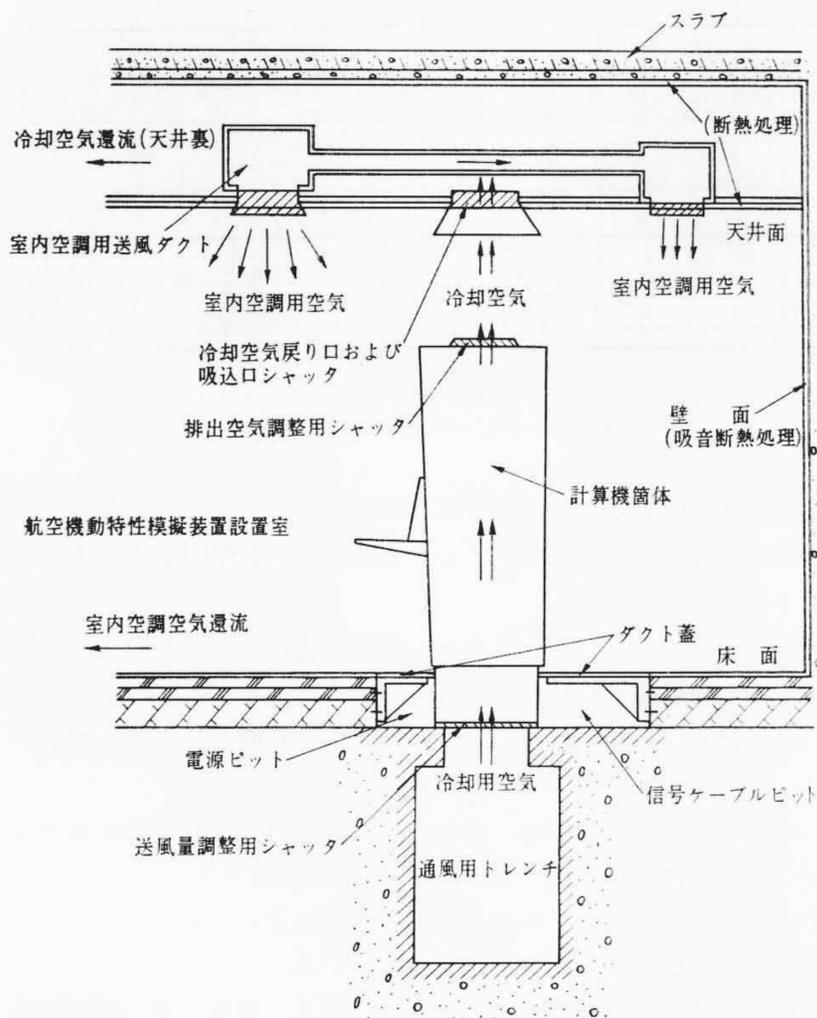
本機の電力消費量は通常運転時で30kVAを上回る。演算インピーダンスを収納してある恒温槽などから決まる周囲温度は23±3°Cであって、当然空気調和の必要がある。

この空気調和のためには、きょう体内換気と空気冷却をしなければならぬが、従来の計算機のようにきょう体ごとに換気扇を取り付けて室内に空冷装置を置く方式は本機のような大規模な計算機では

- (a) 騒音が非常に大きくなる。



第 20 図 テ ー プ レ コ ー ダ 架



第 21 図 きょう体構造と冷却および室内空調方式

- (b) 各きょう体ごとに換気扇を付けると個数が多くなり、かえって不経済になる。
- (c) 通常、計算機に望ましい温度条件は計算機室内の実験者にとっては過冷却状態である。

上記の不具合点があるために、本装置では

- (a) 計算機冷却系統として計算機設置室外に送風機と空気冷却装置を一括設置する。
- (b) 本系統は計算機設置室空調系統とは切離し、別系統として、計算機の冷却専用とする。

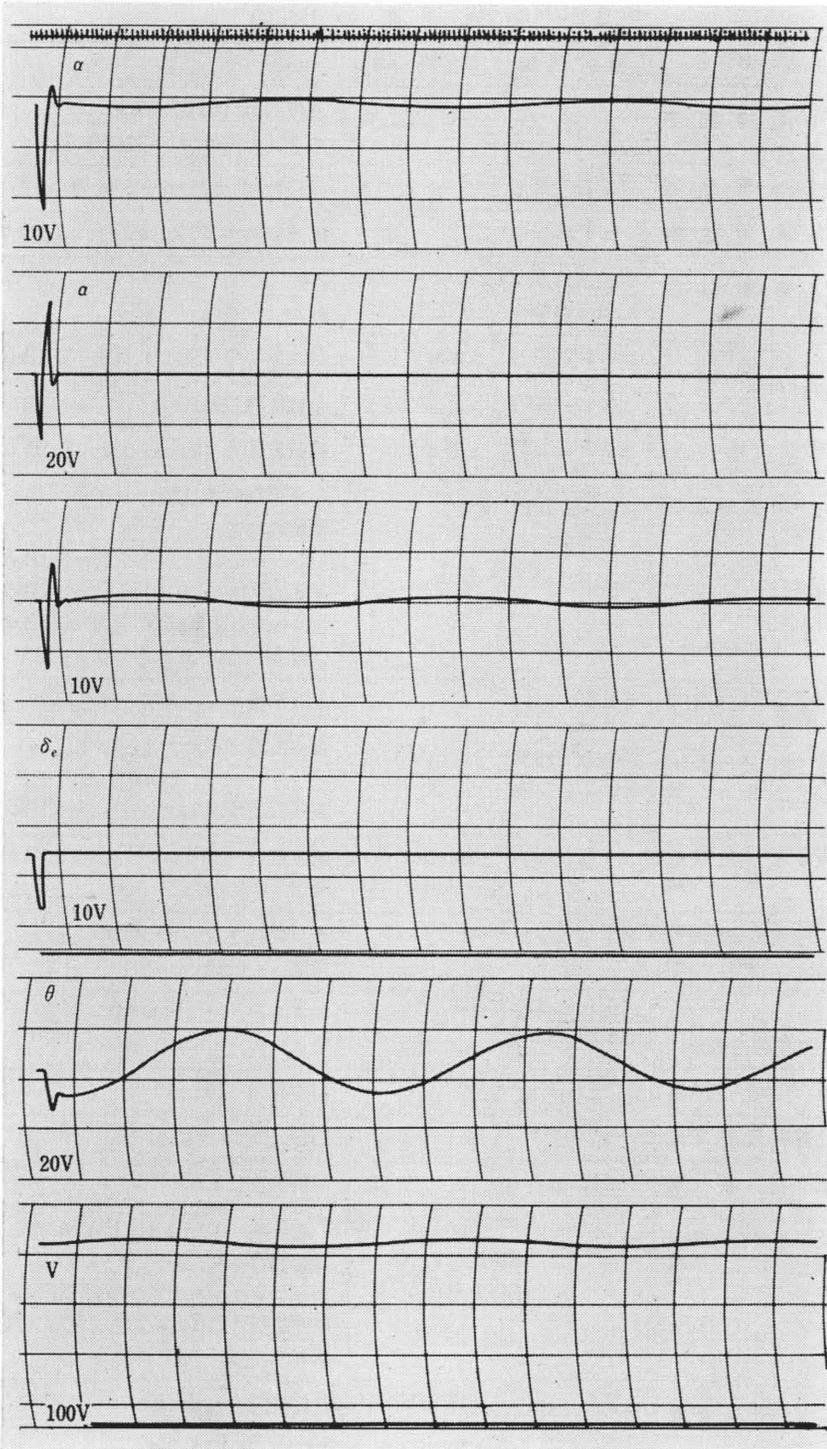
第 5 表 演 算 要 素 の 性 能

No.	要素名	静的精度	ドリフト/8h	その他
1	直流増幅器		±35 μV 以内	直流利得 160 dB 以上 グリッド電流 5×10 <sup>-11</sup> A 以下
2	加算積分器	時間数偏差 0.1% 以内		保持特性 ±25 mV/5 分間
3	加算係数器	0.1% 以内		周波数特性 30 kc/s 以上 (3 dB点)
4	演算増幅器	抵抗値偏差 容量値偏差	±0.05% 以内 ±0.05% 以内	
5	サーボ用正負変換器	±0.1% 以内	±5 mV 以内	周波数特性 45kc/s 以上 (3 dB点)
6	係数ポテンショメータ	±0.1% 以内		全抵抗値 30 kΩ
7	電子式乗算器	±0.2% 以内	±20 mV 以内	周波数特性 400 c/s 以上 (3 dB点)
8	サーボ式乗算器	±0.5% 以内		不感帯幅約 0.1V 周波数特性 45 c/s 以上(±50V入力-3 dB点) 8 c/s 以上(±10V入力-3 dB点) 12 c/s 以上(±5 V入力-3 dB点) 90 V ステップ応答 0.5 s 以下
9	サーボ式乗算器(二変数関数発生用)	±1.0% 以内		周波数特性 8 項と同じ
10	電子式関数発生器	両軸設定精度 ±0.2% 以内	±5 mV 以内	折点における出力電圧のずれ ±0.6% 以内 周波数特性 ±6 kc/s 以上 (-3dB点)
11	電子式三角関数発生器	±1% 以内	±200 mV 以内	周波数特性 3 kc/s 以上 (-3dB点) 角度 0~±π
12	サーボ式三角関数発生器	±1% 以内		周波数特性 8 項に同じ 角度 0~±π
13	フリーダイオード(電源内蔵)	折点設定精度 ±0.2% 以内		カットオフ抵抗 100 MΩ 以上 導通抵抗 5 kΩ 以下
14	電圧比較器	感度 100 mV 以内		動作時間 100 μs
15	比較器用継電器			1 ms と 15 ms
16	履歴要素	±2% 以内		使用周波数 0.05~10 c/s
17	テープ式むだ時間要素	±1% 以内	±500 mV 以内 ただしテープ 1 巻当り	むだ時間 0.5~5 s PWM方式 (相関解析用として 0~4.5 s) ワウフラッタ 0.2V(rms) 以内 周波数特性 10 c/s 以上 (-3dB点) リップル 1.5 VP-P 以下
18	コンデンサ式むだ時間要素	±2% 以内	±15 mV 以内	むだ時間 0.05~5 s
19	テープレコーダ	±1% 以内	±500 mV 以内 ただしテープ 1 巻あたり	8 CH PWM 方式 1 CH 音声チャンネル JJY 標準時間信号発生器
20	外乱発生器 正余弦波発生部 雑音発生器	±0.5% 以内		0.05 rad/s~rad/s 連続可変、計算機と同期できる ガウス分布 0~35 c/s ±1 dB 出力 10 mV (rms)

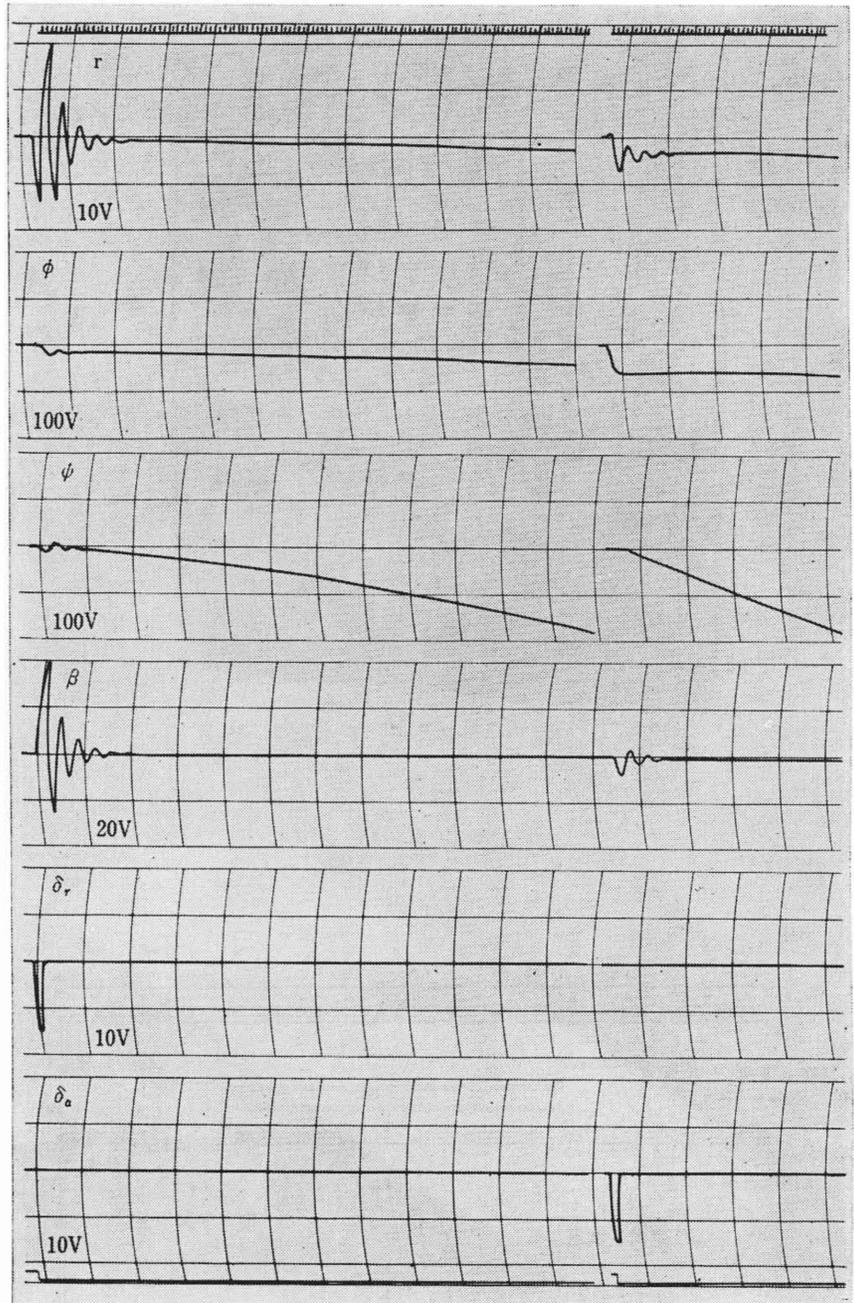
前記方針に基づき第 21 図に示すような方式を採用することにより、室内の空調系統は実験者にとり最適の環境に、計算機冷却系統もまた計算機として最適条件にそれぞれ独立に設定することが可能となった。とくに計算機冷却系統は計算機の各きょう体ごとに内装機器が相違し発熱量が大幅に異なるため、各きょう体上下部に冷却空気量調節用シャッターを設け、発熱量最大のきょう体でも吸込空気温度および吹出空気温度間の差を 10°C 以内に保つように风量調節を行なった。この結果、計算機きょう体内の温度は室内温度に左右されることなく、従来に比しより一定に保たれ、計算機の精度向上に役立つとともに、最初に述べた各種不具合点を除去することが可能となった。現在冷却空気温度は夏冬とも 20°C ±3°C に保たれ、室内空調系統と計算機冷却系統間の空気混合もなく室内空気全体の流れも少ないので、室内実験者の居住性を非常に高めている。

### 7. 解 析 例

本計算機を用いて、ある中形輸送機を仮定してその飛行特性を模擬した。演算方程式は次のとおりである。



(図中の電圧はオシログラムのフルスケール感度を示す。)  
第22図 昇降舵角をとったときの解折例



(図中の電圧はオシログラムのフルスケール感度を示す。)  
第23図 方向舵角および補助翼角をとったときの解折例

テムの概要、構成要素、制御方式、自動演算システム、空調方式および解析例について述べたが、本計算機の特長を要約すると次のとおりである。

- (1) フライトシミュレータとしての単能性をもっており、使用上の簡便さが払われている。
- (2) 汎用性も持っており、3台の汎用計算機として並列運転ができる。
- (3) 自動係数設定機能、自動点検機能、自動演算機能をもった完全自動化システムが採用されている。
- (4) 演算器の安定化に重点を置いて設計されている。
- (5) デジタル入出力装置を備えている。
- (6) 各種静的、動的チェック機能を備え、保守点検の自動化がはかられており、装置の稼働率が良い。

終わりにのぞみ本装置の製作に関し、航空宇宙技術研究所松浦所長、樋口部長、電気試験所野田部長、黒川技官、三菱重工業株式会社名古屋航空機製作所関係各位、新明和工業徳田部長、ならびに日立製作所本社、中央研究所71研究室各位のご指導、ご協力に対し深甚の謝意を表わす次第である。

参 考 文 献

- (1) 池谷, 三浦, 福本ほか: 昭39電気四学会連合大会 369
- (2) A. E. Rogers, T. W. Connolly: "Analog Computation in Engineering Design" Chaps 14, Mc GRAW-HILL, 1960
- (3) Stanley Fifer: "Analog Computation" Vol. IV. chaps 28, McGRAW-HILL, 1961
- (4) 三浦, 岩田, 平原: 日立評論 44, 1111 (昭37-7)
- (5) 三浦, 岩田: 電学誌 81, 872, pp. 765~774

$$\begin{cases}
 \text{縦系} & \begin{cases}
 \dot{V} = -0.49\theta - (0.594 \times 10^{-4} + 0.195 \times 10^{-5}\alpha) V^2 + 0.43 \times 10^{-2} T + 0.0196\alpha \\
 \dot{\alpha} = 2.5q + \frac{1225}{V} - (0.154 \times 10^{-1}\alpha + 0.426 \times 10^{-2}\delta_e + 0.2)V \\
 \dot{q} = (0.59 \times 10^{-2} - 0.565 \times 10^{-3}\alpha - 0.114 \times 10^{-2}\delta_e) V^2 - (0.21 \times 10^{-1}q + 0.228 \times 10^{-2}\dot{\alpha}) V
 \end{cases} \\
 \\
 \text{横系} & \begin{cases}
 \dot{\beta} = \frac{12.3}{V} \times \phi - 2.5r + (-0.226 \times 10^{-2}\beta + 0.237 \times 10^{-2}\delta_r) V \\
 \dot{p} = (-0.282 \times 10^{-3}\beta - 1.7 \times 10^{-3}\delta_a + 1.78 \times 10^{-4}\delta_r) V^2 + (-0.34 \times 10^{-1}p + 0.85 \times 10^{-2}r) V \\
 \dot{r} = (0.248 \times 10^{-3}\beta - 0.488 \times 10^{-3}\delta_r) V^2 - (1.19 \times 10^{-3}p + 0.59 \times 10^{-2}r) V
 \end{cases} \\
 \\
 \text{オイラー角} & \begin{cases}
 \dot{\phi} = -p - \tan \theta (1.56 \times 10^{-4}q \sin \phi + 1.56 \times 10^{-4}r \cos \phi) \\
 \dot{\theta} = -10^{-2}q \cos \phi + 10^{-2}r \sin \phi \\
 \dot{\psi} = \frac{-1}{\cos \theta} (1.85 \times 10^{-4}q \sin \phi + 1.85 \times 10^{-4}r \cos \phi)
 \end{cases}
 \end{cases}$$

$\delta_e, \delta_r, \delta_a$  および演算解を第22図と第23図に示す。

8. 結 言

航空宇宙技術研究所設置フライトシミュレータに関し、そのシス