

# 航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-553

航空宇宙技術研究所汎用飛行シミュレータ用  
複合計算機 (FSK-II)

原 田 公 一

1978 年 12 月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

# 航空宇宙技術研究所汎用飛行シミュレータ用 複合計算機 (FSK-II)\*

原 田 公 一\*\*

## The Computer Complex (FSK-II) for a General Purpose Flight Simulator at National Aerospace Laboratory

By Koichi HARADA

### ABSTRACT

This paper contains a report on the computer complex for a general purpose flight simulator and its program.

This computer system represents an example of distributed processing.

A master-computer synchronizes with the slave-computers at intervals of 10 ms and controls the data transmission circuit.

The simulation program is constructed with flight dynamics, engine dynamics, and external device interface subprograms.

They are controlled by the real time system monitor in the slave-computers, are executed repeatedly at a constant interval and solve the vehicle dynamics in real time.

The moving-base cockpit, control loading system, visual display system are driven by the computer signals as a real vehicle is driven, so that the pilot can feel the motion cue and visual cue.

### 1 はじめに

航空機の操縦・自動車の運転のように、人間が機械制御系の一要素として閉ループ内に含まれる場合人間の動特性を伝達関数で記述し、それによって制御系を評価する方法がある。しかし人間の特性を正確に記述することは難しいばかりでなく、近年自動車制御機器の出現により人間の役割がシステムの管理人 (Manager) として振舞うように要求されてくると、<sup>1)</sup>この方法では操作の難易等の現実に即した人間-機械系の評価は得られない。しかし、実物と同じ臨場感を起させ、人間の感覚に直接訴える装置を用いると実物の製作以前にその評価が得られ、さらにその意見を人間-機械系の設計に還元し、取返しの

つかない事態 (操縦不能による事故等) を避け、安全にかつ無駄無く開発工程を大幅に短縮することができる。

航空機の開発設計に用いるこの装置を汎用飛行シミュレータと言い、それを用いた試験は空力特性を求めするための風洞試験と総合性能を確認するための飛行試験の間に位置するものである (図1参照)。

また、その装置を用いて実機製作以前にその特性をパイロットに慣熟させ、訓練に用いることもできる。

当所には、昭和38年にアナログ計算機・可動模擬操縦席装置・模擬視界装置等からなる汎用飛行シミュレータが設置され<sup>2)</sup>、YS-11, C-1, PS-1, VTOL等の研究開発に使用されたが、真空管等の部品製造中止により維持困難となり、かつSSTのシミュレーション等のようにこの計算機では処理できないような非線型演算を多く含む大規模なシミュレーションを行なう必要が生じてきたため、

\* 昭和53年9月22日受付

\*\* 計算センター計算研究室

昭和 4 7 ~ 4 9 年度に 動特性を模擬するためのアナログ 計算機をデジタル計算機に更新することになった。

この更新作業を始めるにあたり、航空機の動特性を模擬 するプログラムを運動力学・エンジン力学等のサブプログ ラムに分割し、複数の計算機で処理することにしたが、こ のような計算機に汎用性を持たせ応用プログラム作成手段 を備えるためには その結合回路・ソフトウェアの構成・ 計算機間のデータ転送・転送制御情報の生成法・応用プロ グラムの記述言語・プログラムの分割法等技術的にも未解 決な点が多くあった。

そこで、既に発表されていた MGP-1050 システム ( 図 2 参照) を基にして計算機の結合方式を検討したが、この 計算機はプログラム組込式の訓練装置用計算機であり、汎 用飛行シミュレータ用計算機として不十分であるとの判断 から関連企業の協力を得て新しくハードウェア・ソフトウ ェア的设计・製作を行ない更新作業を進めた。

本装置は昭和 5 0 年 6 月に大型ジェット機の実時間シミ ュレーションを実現し、その機能・性能を確認し完成した。

本稿はこの更新した計算機システム ( 以後 FSK-II と呼 ぶ。 ) の構成・機能および性能の詳細について報告したも のである。

### 2 略記号

本文で用いる略記号を以下に示す。

- DMA* Direct Memory Access
- PIO* Programmed Input/Output
- CRT* Cathode Ray Tube
- HSBC* High Speed Bus Coupler

<i>LSBC</i>	Low Speed Bus Coupler
<i>IPL</i>	Initial Program Loader
<i>A/D</i>	Analog to Digital
<i>D/A</i>	Digital to Analog
<i>DSI</i>	Discrete Switch Input
<i>DSO</i>	Discrete Switch Output
<i>AI</i>	Analog Input
<i>AO</i>	Analog Output
<i>RTC</i>	Real Time Clock
<i>SST</i>	Super Sonic Transport
<i>DOS</i>	Disk Operating System
<i>DWO</i>	Discrete Word Output
<i>FSPP</i>	Flight Simulation Programmed Package
<i>KW</i>	Kilo Word ( $10^3$ 語 )
<i>ns</i>	Nano Second ( $10^{-9}$ 秒 )
<i>V<sub>DC</sub></i>	Volt ( 直流 )
<i>TTL</i>	Transistor Transistor Logic
<i>IC</i>	Integrated Circuit
<i>FSK-II</i>	Flight Simulator of Kogiken Version II

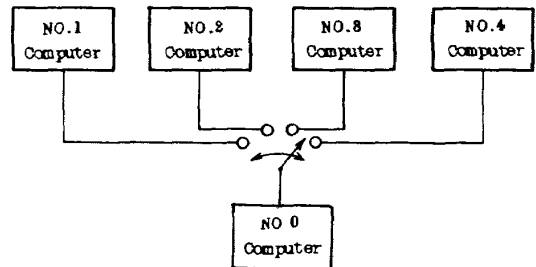


図 2 MGP-1050 システムの結合方式

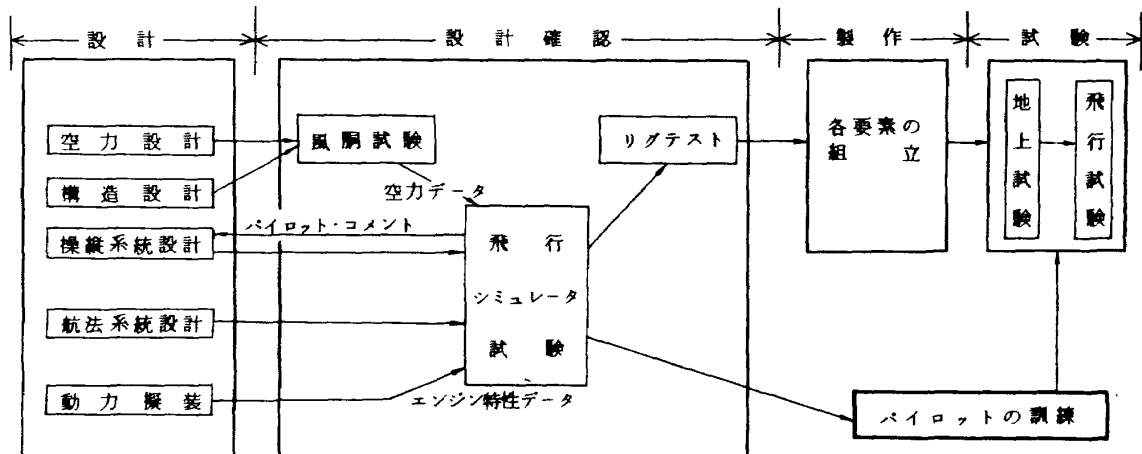


図 1 航空機の開発工程

## ICCL Intercomputer Communication Logic

### 3 計算機システムの設計方針

#### 3.1 要求事項

普通、研究開発時のシミュレータ試験は、綿密に検討された実験計画に従って行なわれる。

始めに必要となるのは試験項目と試験結果の判定法である。

試験項目は目的に応じて異なり、パイロット周辺の機器の入れ替えを伴うのが普通である。

また、その試験の結果を判定する方法として特に訓練を受けたテスト・パイロットによるレーティングが広く採用されているようである<sup>3)</sup>。

次に、試験する航空機の動特性を模擬するために、その運動力学・エンジン等の数式モデルと、風洞実験・飛行実験から得られる空気力学係数が必要である。

ここまで準備が整いと、後はシミュレータ用計算機の問題として考察できる。

一般に、実時間シミュレーション用計算機を構築する時には、次の事項を満たすことが必要である。

- (1) 性能要求
    - a) 実時間シミュレーションに必要な応答時間を満たすこと。
    - b) 演算精度が優れていること。
    - c) 再現性があること。
  - (2) 機能要求
    - a) 応用プログラムの作成が容易であること。
    - b) 応用プログラムの保存・修正ができること。
    - c) 操作が容易であること。
    - d) シミュレーションの状態を常に監視できること。
  - (3) 運用上の要求
    - a) 安全であること。
    - b) 信頼性が高いこと。
    - c) 外部機器(実験装置、計測機器等)を容易に接続できること。
    - d) ユティリティー・プログラムが充実していること。
- 以後、各項目についての検討と方針を記す。

#### 3.2 性能要求についての検討と方針

従来、人間-機械系の試験・研究、現実金物(例えば、ジャイロ等)の性能試験では、その環境を実時間で模擬する必要があるので、アナログ計算機・ハイブリッド計算機・高性能のデジタル計算機が使用されてきた<sup>4)5)</sup>。

一般に、アナログ計算機は、使い易さ、対費用効果の面

で優れ、小規模なシミュレーションに適していると言われているが、演算素子の数量によって非線型演算等の処理量が限定され、またプログラムの維持管理が困難である。

非線型演算素子の不足を補うために、ハイブリッド計算機があるが、アナログ部とデジタル部の仕事配分を検討し、かつ両者に熟練する必要があり、またアナログ部のプログラム維持管理に困難を伴う。

しかし、SSTのシミュレーション等のような大規模な飛行シミュレーションが要求されるようになってきたこと、非線型演算を多く含む複雑かつ精度のよい演算が要求されるようになってきたこと、また近年デジタル計算機は急速に進歩し、その演算速度は実時間処理にも対処できる程に向上してきたこと、さらにデジタル計算機のプログラムは維持管理も容易であり、大規模なシミュレーションに最も適していることからアナログ計算機よりもデジタル計算機で処理する方が使い易さ・信頼性・演算精度の面で有利になって来た。

このことから航空機の動特性をデジタル計算機で模擬することにした。

##### 3.2.1 応答時間

実時間シミュレーション時の計算機は、一定時間(例えば10ms)ごとに、パイロット等の操作量をA/D変換して取込み、それを運動方程式への入力として解を計算し、D/A変換して、外部に出力する。

このため、応答時間は入力から出力までの時間によって決定され、このことは処理能力と変換速度に関係する。最大許容応答時間が短い程、動特性が複雑な程単位時間内の処理量が増大し高性能な計算機を必要とし、また入出力信号が多い程、高速なA/D、D/A変換装置を必要とする。

##### (1) 処理能力

処理能力に関しては、以下の事項を考慮した。

- a) 応用プログラムの処理量
- b) 使用する命令の頻度分布を考えた平均命令実行時間。

航空機の運動を模擬するのに要する計算機の命令数は、精度により異なるが、数10K程度である。

また、航空機動特性の固有振動数を最大5Hzとし、1周期を20等分して演算するとした場合、繰返し時間々隔は10msとなり、平均命令実行時間は、数百ns以下を必要とする。

これは、ミニコンの数倍の速さであり、これを1台の計算機で処理するためには、かなり高速な計算機を必要とすることが推測される。

また、命令の頻度分布についてはGibson Mixを基に

考えたが、飛行シミュレーションでは変数の取り得る値をあらかじめ予測できることから浮動小数点演算のかわりに固定小数点演算に置換えて検討した。

さらに、

i) 飛行シミュレーションのプログラムは、機体の運動力学・エンジン力学・航法・空気力学・外部機器とのつなぎを計算するサブプログラムから構成され、その各々を複数の計算機で処理できること。

ii) 分割した場合、計算機間のデータ送受も数十語に抑えることができること。

iii) 複数の演算装置を結合し、流体力学の解法・パターン認識・確率過程の解法に應用する提案<sup>6)~13)</sup>や、複数の計算機をチャンネル間で結合したComputer Complex (以後、複合計算機と言う。)をプロセス制御等に應用した試みが既にあること。

iv) 應用範囲を限定し、複数のプログラムを 複数の計算機で処理した方が、高価な汎用大型計算機で処理するよりも、対費用効果の面で有利なことも考えられること。

v) 将来の性能向上の要求にも、計算機を増設し、常にシミュレーションの規模に応じて、同一の手法でシステムを構成することができること。  
等に注目して、複数の小型計算機(ミニコン)で 航空機の動特性を模擬する方式を採用した。

始め、計算機間の結合方式として、1台の計算機を中央に置き、この計算機の記憶装置を中継してデータの交換を行なうことを検討したが、この方式では計算機間のデータ転送のために中央の計算機に多大な負荷がかかることから

計算機間のデータ転送方式

計算機間のデータ転送レート

計算機間の通信処理の効率

を考慮して、専用回路を開発することにした。

複合計算機は計算機の結合方式により、次の3種に大別できる。

① 各々の演算装置が固有の記憶装置を有し、共有の記憶装置を経て結合されているもの(図3参照)。

② 各々の演算装置は固有の記憶装置を有し、共有の通信回路により、結合されているもの(図4参照)。

③ 演算装置と記憶装置の間に配列状のクロス・ポイント・スイッチを設け、スイッチ切換によって、データの交換を行うもの(図5参照)。

①は、最も簡素であるが、共有記憶装置の競合が起り、各計算機で並列に処理するタスク間の同期が取り難く、③は、最も柔軟性があるがスイッチ部の金物が増大し、信頼性が低下することから、タスク間の同期が取り易く、かつ金物が多くない、②の方式を採用した。

また、データ転送を1対1で行なうとすると、計算機数

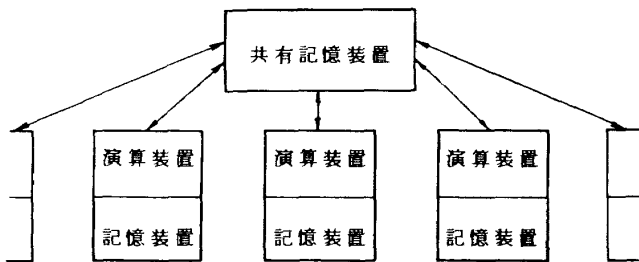


図 3 共有記憶装置による結合

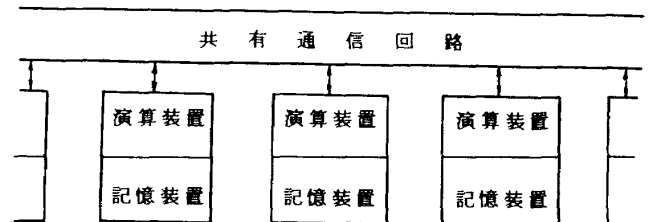


図 4 共有通信回路による結合

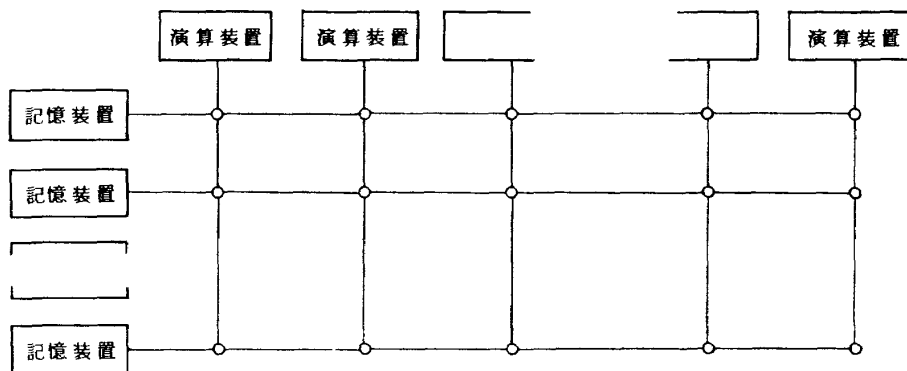


図 5 クロス・ポイント・スイッチによる結合

を  $n$  として、全計算機が同じデータを有するためには  $n \times (n-1)$  回の転送回数が必要となるため、1対多のブロードキャスト ( Broadcast ) 転送方式とした。さらに、データ転送の誤りによる事故を避けるため、データ転送中はシミュレーション・プログラムを処理しないという方針から、転送に要する時間は短い程良く、このためにメモリ・サイクルを使い切るバースト ( Burst ) 転送を採用した。

また、転送するデータが分散していると転送するのに時間がかかるので、転送データを主記憶上の連続する領域に確保し、ブロック ( Block ) 転送をしやすいことにした。

さらに、順序が固定している計算機間の通信では、割込みによる負荷を避けるためポーリング機構を用い、任意の時点で処理を要求する場合には割込み機構を用いることにした。

### (2) 変換速度

変換速度に関しては、以下の事項を考慮した。

- a)  $A/D$ ,  $D/A$  変換器の速度
- b) 計算機と変換装置間のデータ転送速度
- c) 入出力する信号数

当所のシミュレータの場合、同時に入出力する信号は、たかだか数十であるから、 $10\text{ ms}$  の間に、この信号を変換するためには、1チャンネルにつき数十  $\mu\text{s}$  で処理できればよい。

また、データ転送速度も変換速度に見合うことが必要であり、DMAチャンネルに接続する。

### 3.2.2 演算精度

演算精度は1語のビット巾・積分公式・演算順序に関係し、要求精度を  $0.1\%$  とすると最低10ビットは必要であり、積分のための累積誤差を考えると30ビットは必要と考えられる。

しかし、1語16ビットの計算機を使用し、倍精度演算を行ってもその回数は多くないため、全体として演算速度に大きな影響はないことから1語16ビットの計算機で動特性を模擬することにした。

### 3.2.3 再現性

デジタル計算機の場合、プログラムが完全であれば再現性が保障される。

## 3.3 機能要求についての検討と方針

汎用飛行シミュレータは、その対象・目的に応じて模擬する動特性や実装備が変わるため、プログラム組込み式の訓練装置 ( Trainer ) 用計算機とは異なり、性能ばかり

でなく、応用プログラムの作製法等使い易さの面で充分な配慮が必要である。

また、応用プログラムの作成時には、シミュレーションが一定時刻進行した時点で変数値を印字する等人間と計算機との会話形式を検討し、シミュレータ用計算機として問題向けに構成し、使い易くすることも必要となる。

### 3.3.1 応用プログラムの作成

応用プログラムの作成に関する事項は、言語処理・結合編集・ファイル処理等のサービス処理に関連したものであり、これらが用いる作業域を確保する必要からシステムを構築する時には主記憶装置・補助記憶装置の容量についても検討を要する。

大規模な飛行シミュレーションのプログラムは、たかだか  $100\text{ KW}$  であることから、主記憶容量として  $128\text{ KW}$  を設けた。

また、これだけのプログラムを作製するのに要する作業領域は、再配置可能オブジェクト・プログラム ( Relocatable Object Program ) を保持するのに  $100\text{ KW}$ 、それらを結合したロード・モジュール ( Load Module ) を保持するのに  $100\text{ KW}$ 、シンボル・テーブルを保持するのに  $50\text{ KW}$  と考えられるため、約  $256\text{ KW}$  の磁気ドラム記憶装置を備える。

次に、応用プログラムの作成法を確立するために、次の方針で対処することとした。

(1) 応用プログラムの記述言語として R T S L 言語とそのコンパイラを開発する。

F O R T R A N 等の言語は、整数以外の演算に浮動小数点演算を用いるように体系化されているため、それで記述されたプログラムをミニコンで処理すると、たとえ浮動小数点演算機構があっても演算に多くの時間を要する。

そこで、固定小数点演算を用いるが、これを F O R T R A N 等の言語で記述すると複雑になり実用に耐え得なくなり、実数の固定小数点演算を扱える言語とそのコンパイラが必要となる。

また、汎用性を重視したことから C S M P, G P S S 等の問題向け言語の体系を採らず、手続向け言語の体系を採ることとした。

(2) 各計算機ごとに分割して作成されたサブプログラムを結合し、一つのシミュレーション・プログラムを生成するソフトウェア ( L E P と言う。 ) を開発する。

応用プログラムはシミュレーションの都合によって試行錯誤で変更されることも考えられる。

そのような場合でも、計算機の間で転送するデータを意

識する必要がないように、転送データの判定をサブプログラムの結合時に行なう。

(3) 各計算機に分割されたサブプログラムを矛盾なく動作させるため、計算機間のデータ送受法を確立する。

(4) 入出力命令を応用プログラムの内に記述しない。これは、通常の入出力を行っているときと実時間シミュレーションが不可能となるためである。

また、変数の初期条件をプログラム内に組込んでしまうと、初期条件を変更するたびにソース・プログラムを書換え翻訳・結合編集を行なわなければならない。出力についても、変数を変えるごとに翻訳・結合編集を行なわなければならない。

そこで、実時間シミュレーション中は、入出力をせず、プログラムを計算機に組込んだ後に初期条件を設定し、シミュレーションが停止した後あらかじめ指定した変数の値を出力することにした。

### 3.3.2 応用プログラムの保存・修正

プログラムおよびデータの保存・修正のためファイル維持機能を備えることにする。

### 3.3.3 操作性

汎用飛行シミュレータ用計算機として特有な操作が存在する時には、その機能を割り出し、システムに組込んでおく方が使い易い。

そこで、次の方針で対処した。

(1) シミュレータ用計算機特有の操作を下記のように分類する。

a) シミュレーションの前手続

各種パラメーターの設定

b) シミュレーションの開始指令

初期条件の設定と演算開始

c) シミュレーションの監視

シミュレーションの進行状態の確認と異常状態の検出

d) シミュレーションの停止指令

e) シミュレーションの後手続

変数値の出力

f) 動特性の変更

係数の変更・プログラムの状態変更

このうち、シミュレーションの開始・停止指令およびパラメータ設定・出力等の手続処理をファンクション・スイッチの機能として組込む。

(2) 飛行性能、シミュレーションの忠実度を評価するのは、パイロットであり、その意見に応じて、数式モデルのパラメータを、パイロットが納得するまで試行錯誤で変更

する必要がある。

この時、シミュレーションを中断することなくできることが望ましい。

しかし、シミュレーション時にプログラムを書換えることは、計算機の暴走を誘発する原因ともなり得ることから、あらかじめ作成し組込んでいたサブプログラムを手動で起動・停止できる機能を設ける。

### 3.3.4 シミュレーションの監視

実時間シミュレーションの監視は、進行状態の確認および異常動作による事故等を避けるために必要である。

このため、システムの状態を表示する専用のパネルおよびCRTを制御操作卓に備える。

また、検査のために、パラメータの読出し、書き込みができるようにする。

## 3.4 運用上の要求についての検討と方針

安全・信頼性については言うまでもないであろう。

また、実験のために各種の機器を接続できること、また既存の装置と連動できることはその目的から当然である。

外部機器の接続には入出力する信号の電圧・電流や抵抗についても検討を要する。

保守維持の観点から、一般に用いられている規格に従い、アナログ入出力信号を±10V<sub>DC</sub>で正規化し、ディスクリート入出力信号には、TTLのICと接続できるようにした。

また、ユーティリティー・プログラムとして、空気力学データ等の変更だけで、機種の変更にある程度対処できるような汎用飛行シミュレーション・プログラム(Flight Simulation Programmed Package 略して FSPP とする。)を開発することにし、これを用いて大型ジェット機の実時間シミュレーションを行ない、この計算機の機能・性能および応用プログラムの作成法を確認することにした。

## 4 シミュレータの構成

当所のシミュレータは、次のものから構成されている<sup>2)</sup> 14) 15) 16) (図6参照)。

(1) 人間に臨場感を与える外部機器装置

可動模擬操縦席装置(Moving Base Cockpit):人間が塔乗し、操縦席を油圧駆動回路で動揺し、加速・回転を行なう。

操舵力負荷機構(Control Loading System):操舵反力を発生する。

模擬視界装置(Visual Display System):地形滑走路等の模型上をテレビ・カメラが移動し、その映像を

スクリーンに投影し、外部視界を発生する。

計器盤：速度・高度等航空機の状態を表わす。

- (2) 機器の性能を試験するためのフライト・テーブル
- (3) 変数および手動操作を記録するペンレコーダ等の計測機器

(4) 実験機器を接続したりシミュレーションのパラメータを設定するための汎用入出力盤

(5) 航空機の動特性を実時間で模擬する計算機

(6) 前述の装置を結合するため、A/D、D/A変換器等から成るI/Oリンケージ

パイロットの前面にはスクリーンがあり、滑走路等の外部視界が投影される。

また、操縦席の手前には計器盤とスロットル・レバー、操縦桿がある。

パイロットは、外部視界、計器、操縦桿の反力および操縦席の加速度等から、自分が操縦している航空機の状態を知ることができる。

パイロットの操舵信号は、I/Oリンケージを経て航空機の運動を模擬している計算機に入る。

その入力に対する計算機内の動特性の応答は、I/Oリンケージを経て可動模擬操縦席装置等に送られ操縦に必要な

な情報をパイロットに表示する。

これらの人間周辺の機器については、既に文献2, 14, 15, 16に報告されている。

また、本稿の主題である計算機部分については、次章で述べることにし、ここではI/Oリンケージ、計測機器等の外部機器について述べる。

また各仕様を付録1に示す。

#### 4.1 I/Oリンケージ

パイロットの操舵等は電気信号に変えられ、A/D変換器等を通して航空機の運動を模擬している計算機に入る。

その応答信号はD/A変換器等を通して可動模擬操縦席装置等の外部機器に送られ操縦に必要な情報をパイロットに与える。

I/Oリンケージは、可動模擬操縦席装置、フライト・テーブル、模擬視界装置、その他外部機器と計算機との間で、データを高速に転送するために設けられており、A/D、D/A変換器、サンプルホールド回路、マルチプレクサー回路からなる(図7, 8参照)。

入出力する信号としては以下のものがある。

- (1) アナログ入力信号(AI)

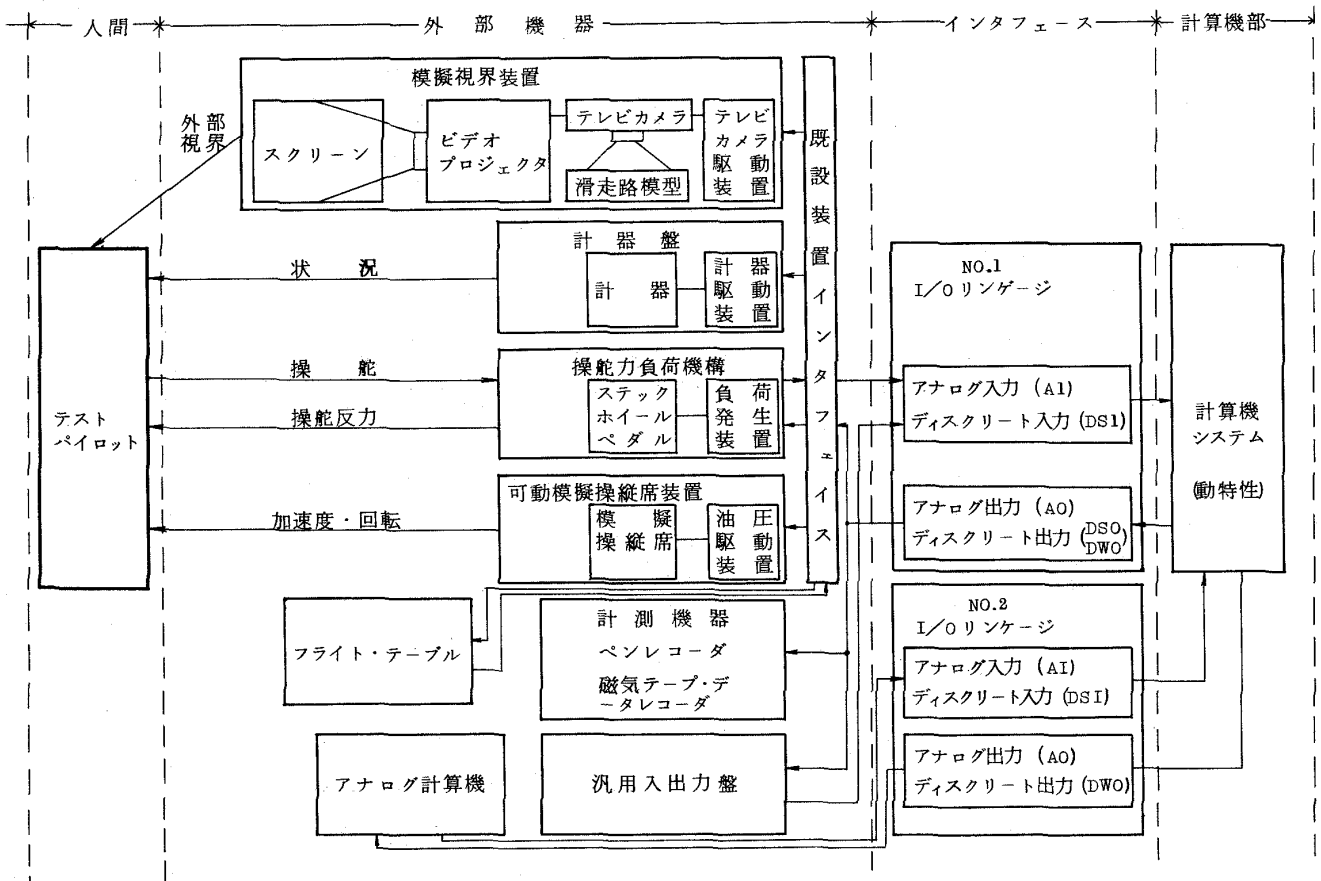


図 6 シミュレータの構成



- (2) アナログ出力信号 (AO)
- (3) ディスクリット入力信号 (DSI)
- (4) ディスクリット出力信号 (DWO DSO)

アナログ信号は±10V<sub>DC</sub> で正規化し、計算機では符号を含み 12 ビットで扱う。

DSIは、信号をスライス・レベルでON/OFF に振分けて入力し、DWOは、オープン・コレクタ方式の出力、DSOは接点出力である。

I/Oリンクージは2式あり、その内1式は実時間飛行

シミュレーションに用いられるが、他の1式はアナログ計算機とのインタフェースとなる。

各I/Oリンクージの構成を表1に示す。

#### 4.2 外部機器

No.1 I/Oリンクージには、可動模擬操縦席装置の外、計測機器等下記の外部機器が接続されている。

これらの機器に割当てられたチャネル番号を表2、3に示す。

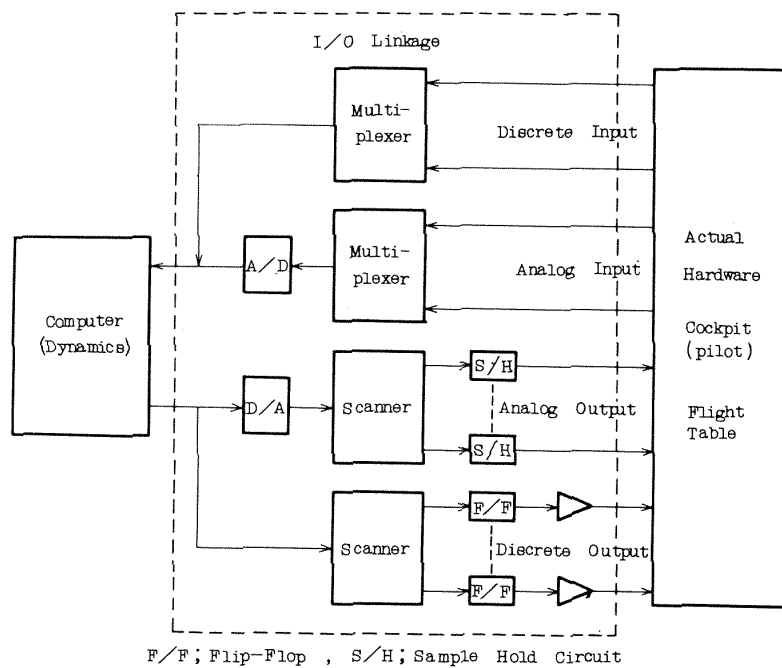


図 7 I/Oリンクージの構成



図 8 I/Oリンクージ

表1 I/Oリンクージュの入出力チャネル構成

	No.1 I/Oリンクージュ	No.2 I/Oリンクージュ	備 考
アナログ入力 (AI)	176	8	20 $\mu$ s/channel 入力電圧-10V <sub>DC</sub> ~ +10V <sub>DC</sub>
アナログ出力 (AO)	244	8	50 $\mu$ s/2channel 出力電圧-10V <sub>DC</sub> ~ +10V <sub>DC</sub>
ディスクリットスイッチ入力 (DSI)	304	64	0.88 $\mu$ s/16点 論理0入力 0.8V <sub>DC</sub> 以下 論理1入力 2.0V <sub>DC</sub> 以上
ディスクリットワード出力 (DWO)	304	64	1.2 $\mu$ s/16点 オープン・コレクタ出力
ディスクリットスイッチ出力 (DSO)	56		1.2 $\mu$ s/16点 接点出力

表2 計測機器とI/Oリンクージュチャネル番号の対応(16進数)

	AI	AO	DSI	DWO	DSO
磁気テープレコーダ	60 ∟ 7F	60 ∟ 7F	/	/	/
ペンレコーダ	/	EO ∟ FF	/	/	010 ∟ 01F
XYレコーダ	/	5C ∟ 5F	/	/	020 ∟ 027

表3 外部機器とI/Oリンクージュチャネル番号の対応(16進数)

	AI	AO	DSI	DWO	DSO	
可動模擬操縦席装置 操舵力負荷機構	80 ∟ 8F	80 ∟ 97	10C ∟ 10F	100 ∟ 12F	040 ∟ 04F	
計器盤						
模擬視界装置	/	98 ∟ 9A	/			
フライト・テーブル	/	AO ∟ AF	108 ∟ 10B			
汎用 入出力 盤	実験パネル	00 ∟ 27	00 ∟ 27	0C0 ∟ 0FF	0C0 ∟ 0FF	000 ∟ 00F
	運 転 第1パネル	28 ∟ 3B	28 ∟ 3B	090 ∟ 0A7	090 ∟ 0A7	/
	運 転 第2パネル	3C ∟ 4F	3C ∟ 4F	0A8 ∟ 0BF	0A8 ∟ 0BF	/

#### 4.2.1 汎用入出力盤 (図 9 参照)

これは、シミュレーションを実施する時、パラメータを手動で設定するための運転パネル、および実験用機器を接続するための実験パネルより成る。

##### (1) 運転パネル

これは、図 10, 11 に示すように第 1 運転パネルと第 2 運転パネルがあり、後者は持ち運びができる。

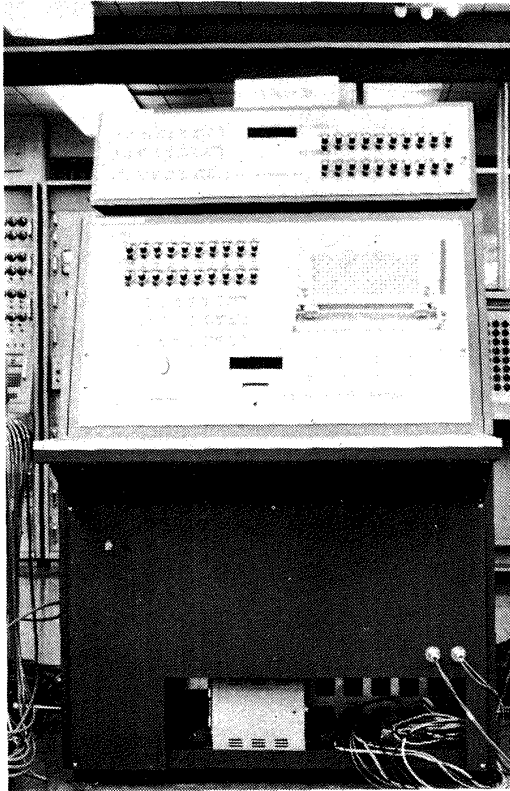


図 9 汎用入出力盤

各々は、定数等を設定するためのポテンショメータ 20 個、ランプ・スイッチ 24 個から成る。

##### (2) 実験パネル (図 12 参照)

実験機器を接続するためのパッチ板およびコネクタがあり、アナログ入出力各 40 チャンネル、ディスクリート信号の内、入力 64 チャンネル、オープン・コレクタ出力 64 チャンネル、接点出力 16 チャンネルを有する。

#### 4.2.2 計測機器

シミュレーションの進行状態を監視し、記録しておくため、ペンレコーダと磁気テープ・データ・レコーダが用意されている。

##### (1) ペン・レコーダ (図 13 参照)

$I/O$  リンケージのアナログ出力信号は、演算結果を  $D/A$  変換したものであるため、階段状の信号になっている。

この信号で直接ペン・レコーダを駆動すると、インクが飛び散る等、見にくくなるので、時定数を持つ回路を通し、その出力で駆動することにした (図 14 参照)。

このアダプターには、アナログ出力信号が 36 チャンネル、ペンの上げ下げ等のために接点出力 24 チャンネルが用意されていて、最大 32 チャンネルのペン・レコーダと 2 個の XY レコーダを駆動できる。

##### (2) 磁気テープ・データ・レコーダ (図 15 参照)

FM 31 チャンネル、ダイレクト 1 チャンネルの記録再生装置が用意されている。

#### 4.2.3 既設装置インターフェイス (図 16 参照)

既存の可動模擬操縦席装置、フライト・テーブル、模擬視界装置は  $\pm 100V_{DC}$  を基礎に作成してあるのに対し、更新

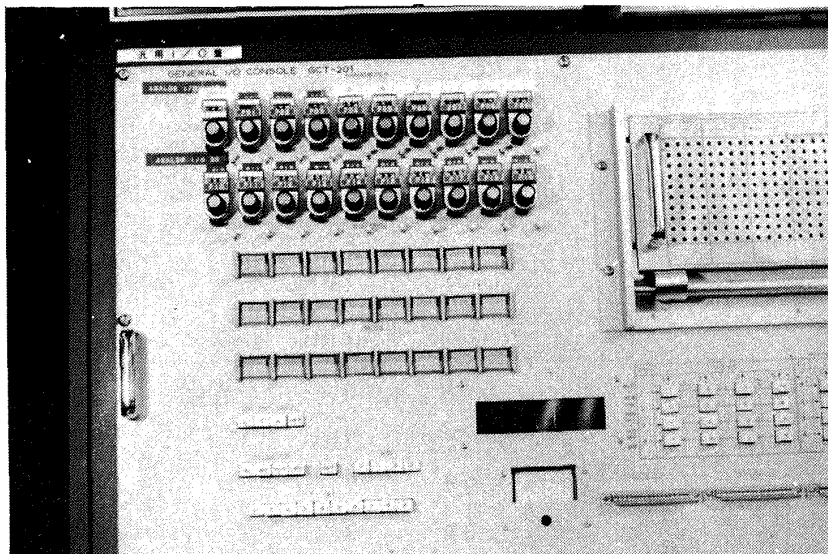


図 10 第 1 運転パネル

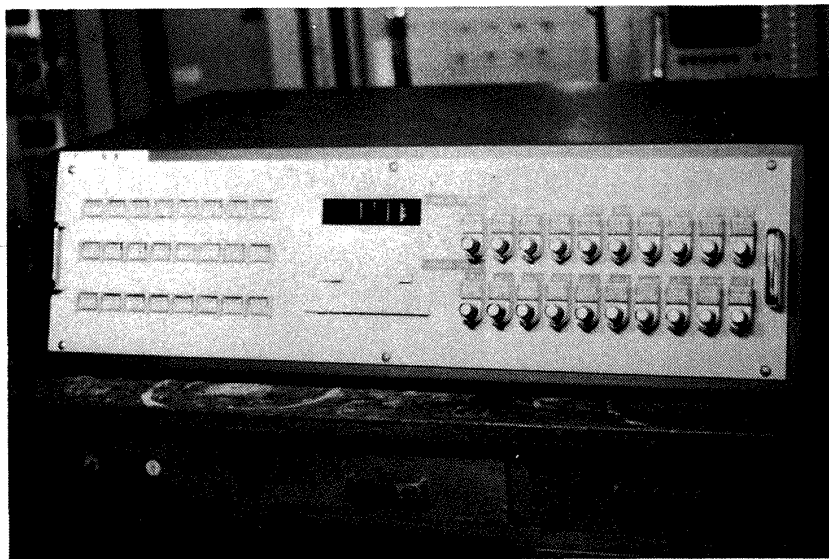


図 11 第2運転パネル

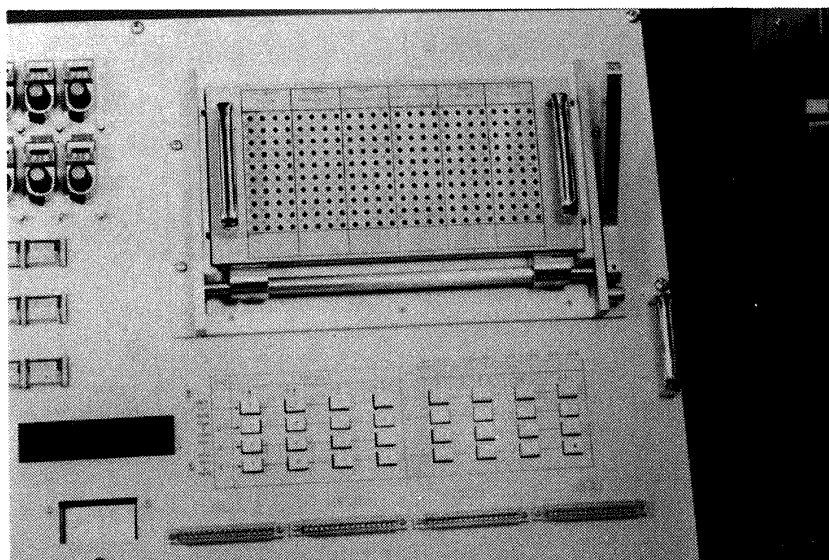


図 12 実験パネル

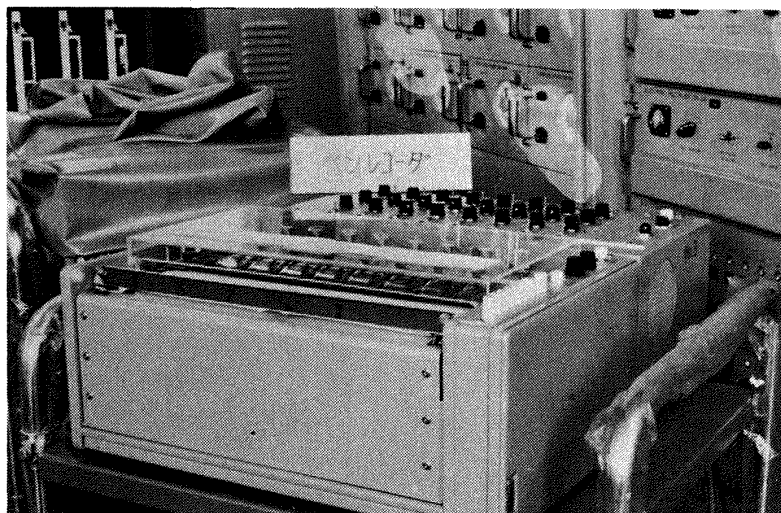


図 13 ペンレコーダ

した  $I/O$  リンケージは、 $\pm 10V_{DC}$  を基礎にしている。

この装置は、アナログ出力信号の電圧を 10 倍に、アナログ入力信号のそれを  $1/10$  に変換する装置である。

特に、可動模擬操縦席装置を動揺させるためのアナログ出力信号については、 $400ms$  の時定数を持つ回路を通し、可動模擬操縦席装置の油圧駆動回路との共振を避けている。

#### 4.2.4 アナログ計算機

この FSK-II には、電気回路等の外部機器を手軽に模擬し、デジタル計算機では処理できないような高速演算を行なうため、小型のアナログ計算機が接続されている。

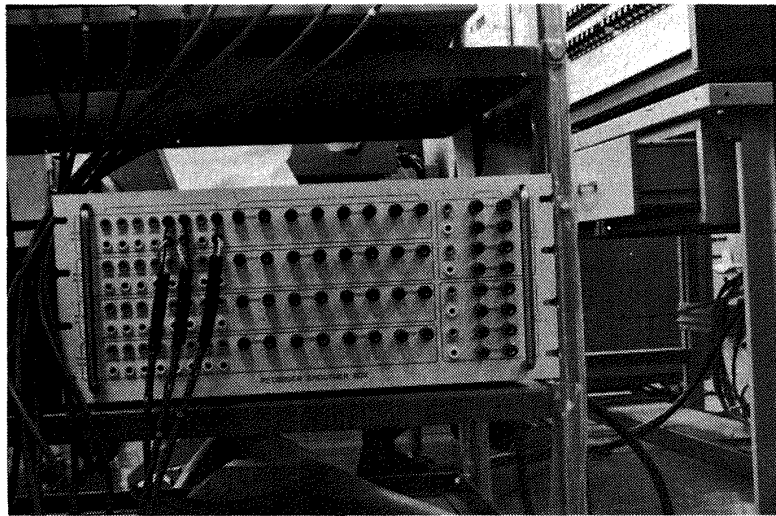


図 14 レコーダ・アダプタ

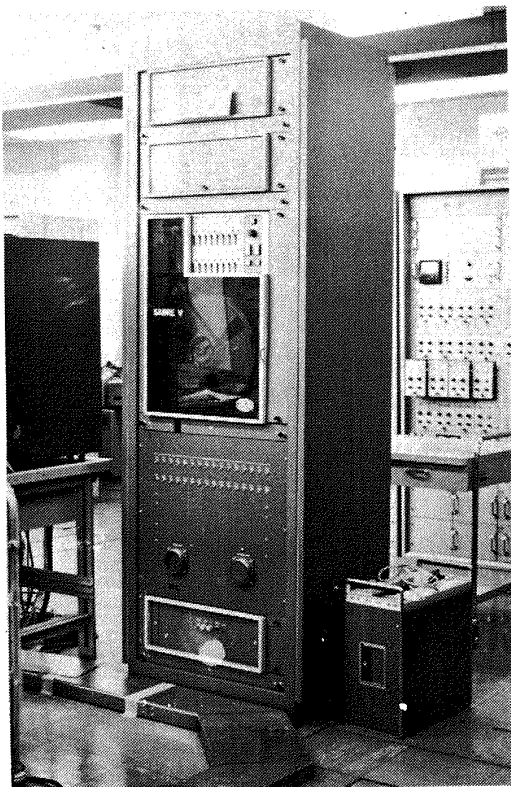


図 15 磁気テープ・データ・レコーダ

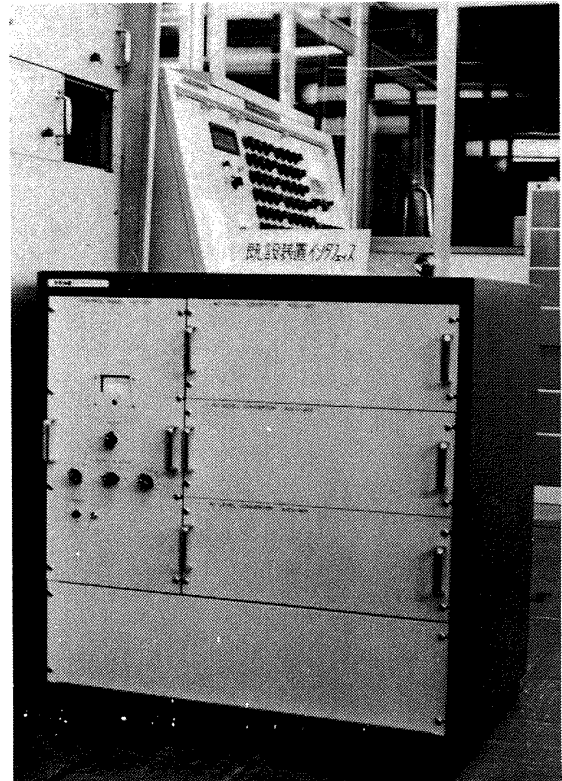


図 16 既設装置インターフェイス

### 5 ハードウェアの構成と機能

3章に述べた検討と方針にもとづいて決定したFSK-IIのハードウェア構成を図17に示す。

その主なものを以下に記す。

- (1) 5台のミニコン
- (2) それらを結合するためのインタコンピュータ・コミュニケーション・ロジック (以後 ICCLと云う。)
- (3) 制御操作卓
- (4) 入出力機器を任意の計算機に接続するデバイス・セレクタ
- (5) 入出力機器

以後、これらについて詳述する。

#### 5.1 5台のミニコン

計算機として、メモリ・サイクル880ns、レジスタ4個、1語16ビットの市販のミニコン (MELCOM-70) を使用した。

各計算機には、フェイル・セーフ機構 (メモリー・ガード、リアル・タイム・クロック、ウォッチ・ドグ・タイマ)、DMAチャンネル、IPLを実装した。

さらに、NO. 1計算機～NO. 4計算機には、浮動小数点演算機構を実装した。

#### 5.2 ICCL

ミニコン5台を結合し、各計算機間のデータ転送を行うための回路で、各計算機のDMAチャンネルを互いに結合し、ブロードキャスト (Broadcast) ・ブロック (Block) ・バースト (Burst) 転送を行うHSBC (High Speed

Bus Coupler) とPIO (Programmed Input/Output) チャンネルを互いに結合し、割込機構を使用して16ビットごとにブロードキャスト転送を行うLSBC (Low Speed Bus Coupler) から構成され、最大8台の計算機と接続できる。

以下、HSBCとLSBCについて記す (17) (18)。

##### 5.2.1 HSBC

HSBCは、計算機2台に1組8段のバッファ (Buffer) を備えており、非同期で動く計算機の記憶装置間で最大826KB/秒の速度で演算結果や外部から入力したデータを転送することができる。

図18で1台の計算機から読出されたデータは、ディストリビュータ (Distributor) を経由し、インプット・ポインタ (Input Pointer) で指示されたバッファに格納される。

アウトプット・ポインタ (Output Pointer) はインプット・ポインタを追い、バッファのデータを1台以上の計算機に同時に書込む。

これらのポインタは循環型になっており、バッファは、繰返し使用される。

ハードウェアでは、すべての計算機が、このHSBCを制御できるよう構成してある。

HSBCを制御するモードには、転送終了と共に、制御権を放棄するモードと転送終了後も制御権を保持するモードがあり、前者はHSBCを共有する時に、後者は階層を構成する時に使用する。

DMAによる転送は、ソフトウェアで防ぐことができないため、プログラムが暴走してこの回路を乱用しないよう、

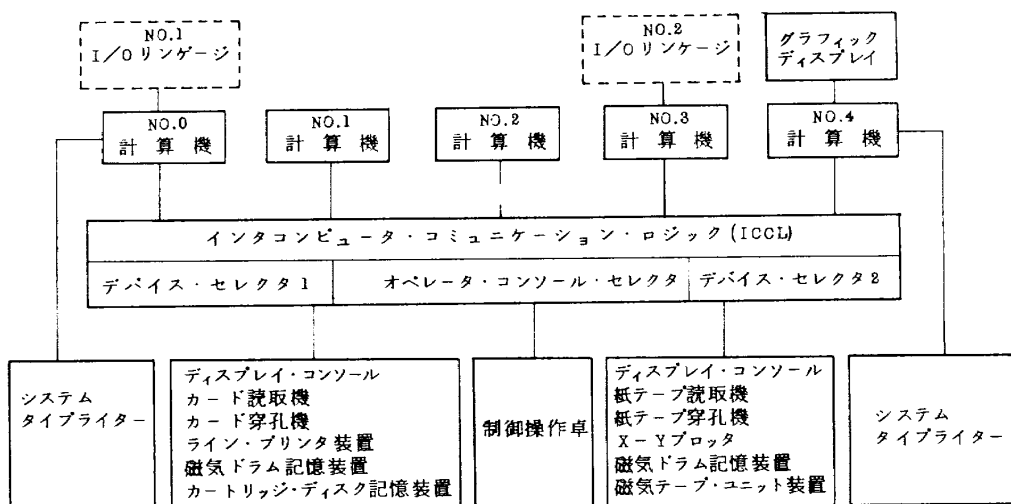


図 17 FSK-IIの構成

制御操作卓で、HSBCを制御する計算機（これを制御計算機とすることにする。）を限定することができる。

また、記憶装置を保護するために、プログラムでインビット・フラグを設定し、データ転送を禁止することもできる。

通常、システム全体を制御するソフトウェアをNO.0計算機に組み込み、HSBCを制御するよう階層を構成して使用するのので、以後NO.0計算機がHSBCを制御するものとして説明する。

NO.0計算機は、記憶装置内にHSBCを制御し、12語で一命令を構成するCCW（Channel Control Word）を有する（図19参照）。

この内には、データを送る計算機（Sender）、受け取る計算機（Receiver）が記されており、HSBC制御部は、NO.0計算機からの起動信号で、記憶装置の特定番地に記されたアドレス情報から、DMAチャンネルを通して、このCCWを読み出し、解読して計算機間のデータ転送を行なう。

このCCWには、次のCCWを示す指針（Pointer）が含まれており、HSBC制御部は次々とCCWを読み出すことができる。

転送が終了するとNO.0計算機に割込信号が送られる。誤動作が検知された時には、即時転送を中断し、エラー情報をNO.0計算機の特定アドレスに書き込み、割込信号を送る。

HSBCで検出する誤動作は、以下のものがある。

- (1) Rate Error : 1語毎の転送間隔が、6.4 μs をこえた時。
- (2) Memory Parity : 計算機が、データ送出時に、パリティ・エラーを生じた時。

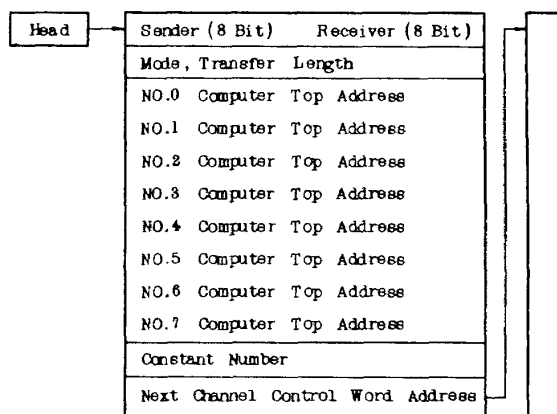


図 19 CCWの構成

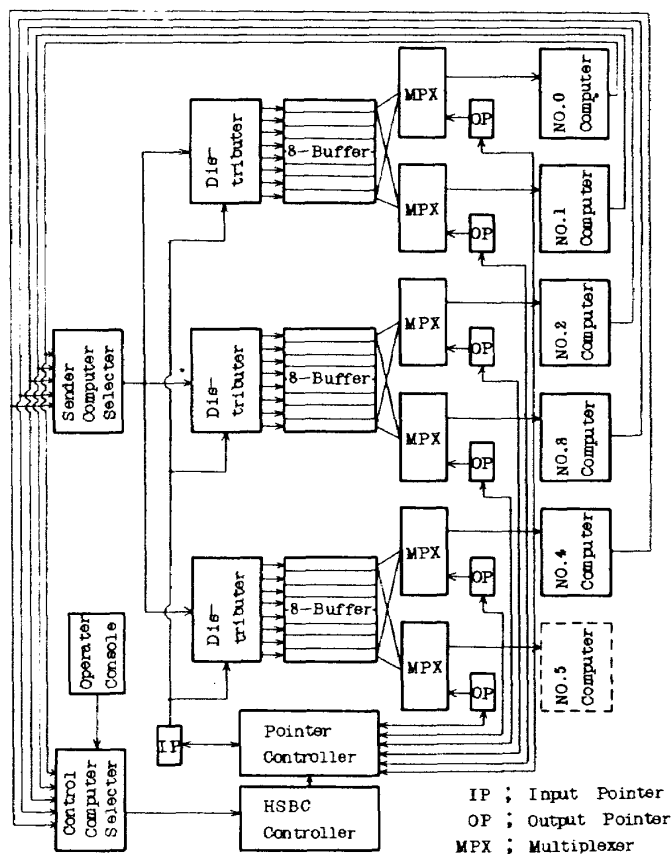


図 18 HSBCの構成

(3) ICCL Parity 1 : データを送出す計算機とHSBCの間でパリティ・エラーが発生した時。

(4) ICCL Parity 2 : HSBCと、データを入力する計算機間でパリティ・エラーが、生じた時。

(5) DMA Inhibit : 各計算機には、HSBCの転送から記憶装置内の情報を保護するためにインヒビット・フラグが用意されている。

このフラグが設定されている計算機を入力計算機として指定した時。

(6) Illegal End : 転送終了時に、送受の語数が一致しない時。

(7) Illegal Command : CCWが不正な指定をした時。

(8) Computer Combination : 制御操作卓で設定されたグループの外に転送指令があった時(後述)。

(9) Illegal Control : 制御操作卓で、制御計算機として許可されていない計算機がHSBCの制御権を要求した時(後述)。

### 5.2.2 LSBC

割込機構で、計算機間の同期・指令送受を行うためにこの回路が使用される。

LSBCは、各計算機のPIOチャンネルに16ビットのバッファと8×8ビットの送り先を記憶する回路からなる。

信号を送ろうとする計算機は、相手を1台以上指定した後データを出力する。

指定された計算機に割込信号が送られ、その全計算機がデータを読み込むと、信号を送った計算機に転送完了の割込信号が帰ってくる。

### 5.3 制御操作卓

各計算機は 単体でも使用可能であるが、複数台を同時に使用する時には、各計算機の操作スイッチを一括集中した方が使い勝手が良い。

この操作卓は 電源投入から 各計算機の起動、モニター類の組み込みの手順を容易にし、システムの状態を表示することを目的とする(図20参照)。

そのため、各計算機のパワー・スイッチ、IPLスイッチを取り出し、操作卓に一括して設け、かつ計算機のエラー信号、ラン信号を取り出し、操作卓のパネルに表示した。

制御操作卓には周辺機器の一要素としてデバイス・アドレスが割り当てられており、通常NO.0計算機のPIOチャンネルに接続される。

また、これには表面の操作パネルの他システム全体の電源を供給する機能がある。

パネルには次のものがある。

- (1) サイド・コントロール・パネル
- (2) システム・コントロール・パネル
- (3) システム・ディスプレイ・パネル
- (4) キャラクタ・ディスプレイ
- (5) データ・リード・アンド・セット・パネル

これらについて次に述べる。

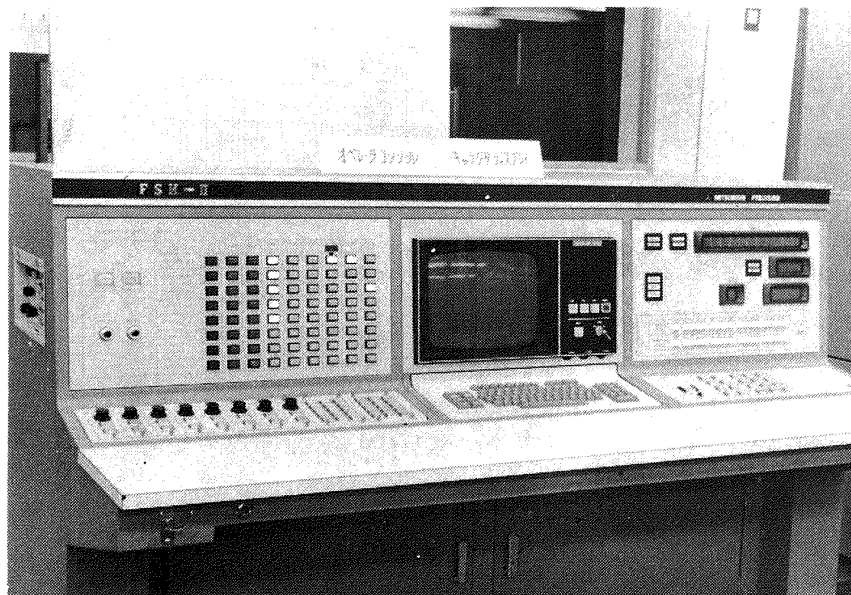


図 20 制御操作卓



### 5.3.1 サイド・コントロール・パネル

制御操作卓筐体の側面に、入出力機器を任意の計算機に接続し、ICCLの初期値設定、計算機の組合せを指定するためにこのパネルを設けている(図21参照)。

多目的同時使用時の相互干渉を防止するため、一度設定すると担当者以外操作できないよう施錠することができる。

また入出力機器を2系統に分け、それらをデバイス・セクタ1, 2とし、デバイス・セクタ単位で、入出力機器を計算機に接続する。

特に、“A”に設定した時には、任意の計算機からプログラム制御で各計算機に接続することができる。

制御操作卓自身は、通常、NO.0 計算機に手動で接続される。

このパネルのスイッチは、以下の機能を有する。

(1) OPECON SEL

制御操作卓を特定の計算機に接続する。

(2) DEV SEL 1および2

二つの入出力機器群を特定計算機へ接続する。

手動で接続する時には、1~4に設定し、プログラム制御で接続する時は、“A”に設定する。

(3) TRANSFER PATTERN

このスイッチ群は使用する複数の計算機をグループとして宣言し、多重同時使用時の誤操作によって他のグループに影響を与えないように回路で保護するためのものである。

組合せが設定されると、DMAチャンネルによる計算機間のデータ転送(HSBC)はこのグループ内のみで行な

われ、それ以外の計算機と交差する転送は禁止される。

左側に設けた“OVER RIDE”スイッチで組合せによる制限を解除することができる。

(4) HI SPD CONTROL COMPUTER

HSBCの転送制御を司さる計算機を指定する。

(5) LO SPD CONTROL COMPUTER

LSBCの転送制御を司さる計算機を指定する。

(6) ALL CLEAR

HSBC, LSBC, デバイス・セクタ1, 2を初期設定する。

(7) HI BUF CLEAR

HSBCを初期設定する。

(8) DEV. 1 CLEAR

デバイス・セクタ1を初期設定する。

(9) DEV. 2 CLEAR

デバイス・セクタ2を初期設定する。

(10) ON SIMULATION

外部信号によって点灯する。

### 5.3.2 システム・コントロール・パネル(図22参照)

複数の計算機を1つのシステムとして運転するためには、各計算機の制御機能を操作卓に集中させた方が使い易い。

このパネルは、各計算機の“POWER ON/OFF”, “IPL”のスイッチを取出した計算機制御部とファンクション・スイッチ部から構成される。

また、ペン・レコーダ等の側で操作できるように、図23 24に示す様な分割可搬モジュールで構成し、リモート・

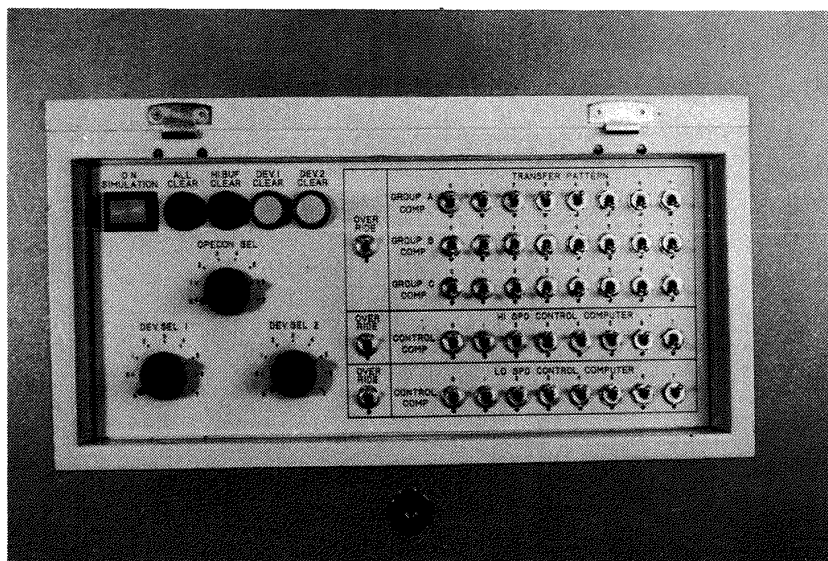


図 21 サイド・コントロール・パネルの構成

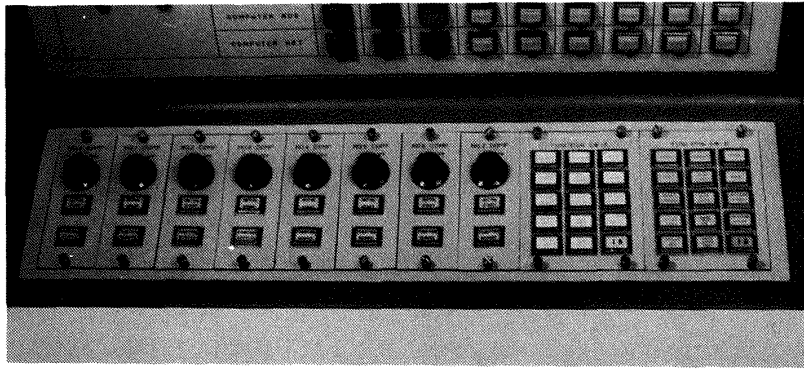


図 22 システム・コントロール・パネル

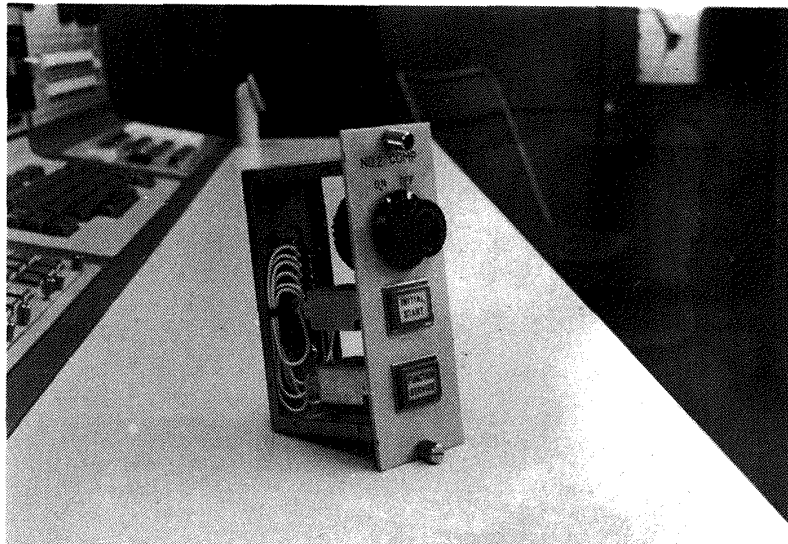


図 23 計算機制御部

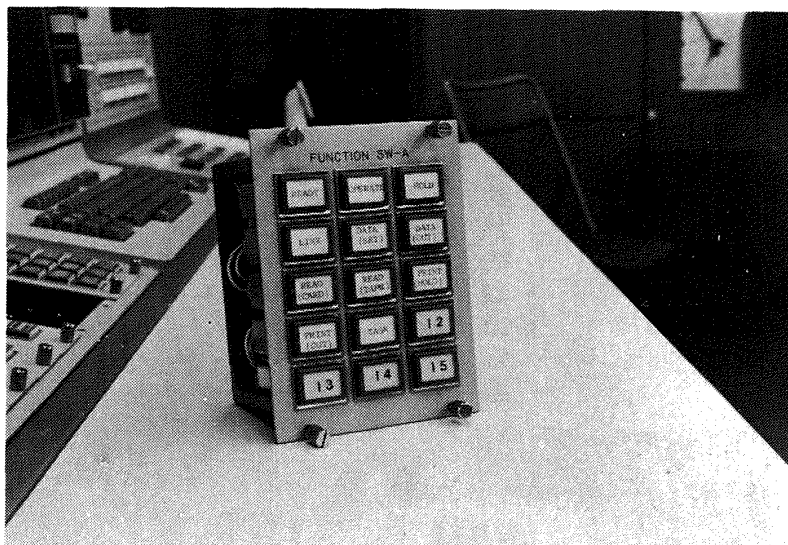


図 24 ファンクション・スイッチ部

コントロール・ボックスに組み込み可能なるように作成した(図25参照)。

このリモート・コントロール・ボックスの採用により、使い易さおよび多重同時使用時の誤操作による干渉を防ぐことができる。

(1) 計算機制御部

a) POWER ON/OFF

各計算機毎にこのスイッチが設けられ、ONにすることにより各計算機への交流電力が供給される。OFFにすると遮断される。

b) INITIAL START

各計算機の記憶装置内にプログラムが入っていない状態

から各計算機を起動するために、各計算機には IPL (DRUM Version) が実装されており、このスイッチで、デバイス・セレクタ1が接続されている計算機では16語のブートストラップ(Boot Strap)が実行され、続いてシステム・プログラム・ローダがドラムより読み込まれ以後システム・ジェネレーションが行われる。

デバイス・セレクタ1が接続されていない計算機ではダミーランとなる。

c) FUNCTION SERVICE

このスイッチは、ファンクション・スイッチの結合モード取りの指令により、各計算機をソフトウェアで論理的に結合し確認するために用いる。

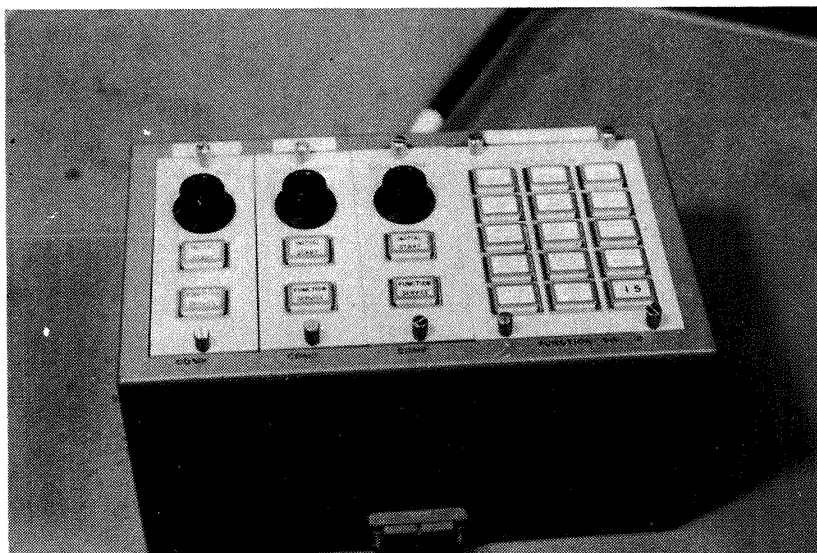


図 25 リモート・コントロール・ボックス

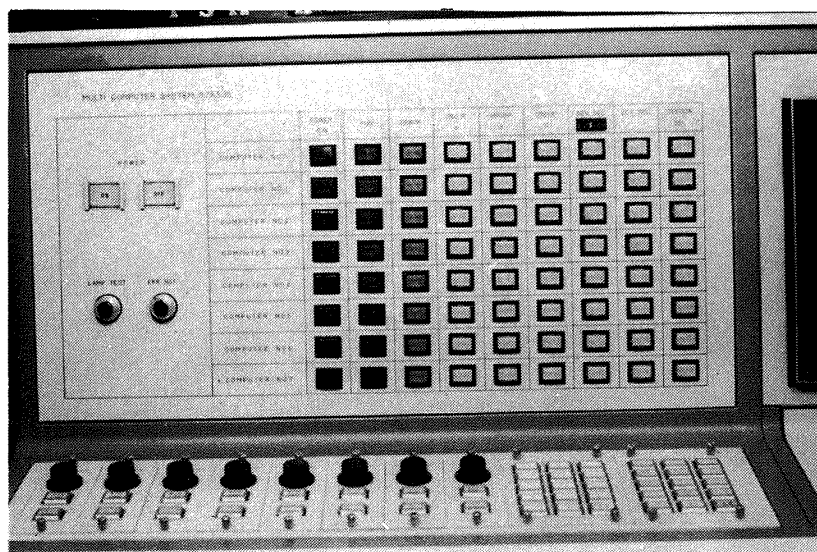


図 26 システム・ディスプレイ・パネル

## (2) ファンクション・スイッチ部

このパネルには分割持運び可能なファンクション・スイッチ・ボックスが2個用意されていて 各々には15個のスイッチが設けられている。

これらのスイッチは制御操作卓からの割込み要因となっており、制御操作卓が接続された計算機のプログラム処理により 各スイッチに与えられた機能を直ちに実行することができる。

## 5.3.3 システム・ディスプレイ・パネル ( 図 26 参照 )

各計算機の電源投入状況、ラン・モード、エラー生起状況、デバイス・セレクトアおよび制御操作卓の接続状況が表示される。

ラン・モードが変化すると、その計算機に対応するコードを持って 制御操作卓が接続している計算機に割込み信号が送られる。

また、各計算機で

Memory Parity Error  
Watch Dog Timer Run Out  
Power Fail

のいずれかが起きた時、それを記憶して表示する。

このパネルには次のスイッチがある。

## (1) SYSTEM POWER

ON/OFF 2個のスイッチより成り、各計算機、周辺機器、制御操作卓に 交流電源の供給・遮断を行なう。

## (2) LAMP TEST

システム・コントロール・パネル並びにシステム・ディ

スプレイ・パネルにある全てのランプを点灯させ検査するために設ける。

## (3) ERROR RESET

このスイッチは、システム・ディスプレイ・パネルが記憶・表示している各計算機の

Memory Parity Error  
Watch Dog Timer Run Out  
Power Fail

の情報を払うことができる。

## 5.3.4 キャラクタ・ディスプレイ ( CRT )

オペレータ・コンソールの中央に CRT が設けられ、制御計算機のプログラム処理により システム全体の状況、特にソフトウェアの状況を表示する ( 図 27 参照 ) 。

## 5.3.5 データ・リード・アンド・セット・パネル

システムを稼動したまま、オン・ラインで任意のデータの読出し、書込みを行なう手段として このパネルを設ける ( 図 28 参照 ) 。

その構成は以下の如くである。

## (1) スイッチ部

## a) POWER ON/OFF

このパネル単独に電力を供給または遮断する。

## b) COMPUTER SELECTION

このパネルから介入する計算機を選択する。

## c) DATA ENTRY キーボード

アドレス、スケールおよびデータを任意に指定するため



図 27 キャラクタ・ディスプレイ

のキーボードであり、16進数(0~9, A~F)を扱う。その他、符号および表示を払うスイッチ“C”，データの設定が終了したことを計算機に知らせるためのスイッチ“T”を設ける。

d) MODE SELECTION

これは次のものから成る。

i) DATA

打鍵するものがデータであることを示す。

ii) FIX/FLOAT

データの形式(固定小数点, 浮動小数点)を示す。

iii) SINGLE/DOUBLE

データの精度(単精度, 倍精度)を示す。

iv) SCALE/EXPONENT

打鍵するものが、固定小数点形式データの小数点位置または浮動小数点形式データの指数であることを示す。

v) BINARY/DECIMAL

データの入力・表示が16進数か10進数かを示す。

vi) ADDRESS

打鍵するものが、アドレス情報であることを示す。

vii) ADDRESS INCREASE

アドレスを1個宛進める。

viii) ADDRESS DECREASE

アドレスを1個宛減少させる。

ix) WRITE

書込みモードであることを示す。

但し、このスイッチでは書き込まず、アドレス・スケールを指定し、データを設定してから“T”を押さないと書き

込まない。

x) READ

読出しモードであることを示す。

これも“WRITE”と同様に“T”を押した時に読出しが行なわれる。

e) RESET

表示を払う。

f) LAMP TEST

ランプの検査に用いる。

(2) 表示部

a) DATAディスプレイ

10進10桁の数字と1桁の符号表示より構成され、上位不要桁は無表示とする。

小数点位置はスケール指定と呼応して自由に移動表示される。

b) FIX/FLOATランプ

固定小数点, 浮動小数点のいずれが選ばれているかに対応して点灯表示する。

c) SINGLE/DOUBLEランプ

単精度または倍精度のいずれが選ばれているかに対応して点灯, 表示する。

d) SCALE/EXPONENTディスプレイ

符号1桁と数字2桁の表示を行い、表示されているデータのスケールまたは指数を表示する。

e) BINARY/DECIMALランプ

データの表示を16進数か10進数で行なうかに対応してランプが点灯する。

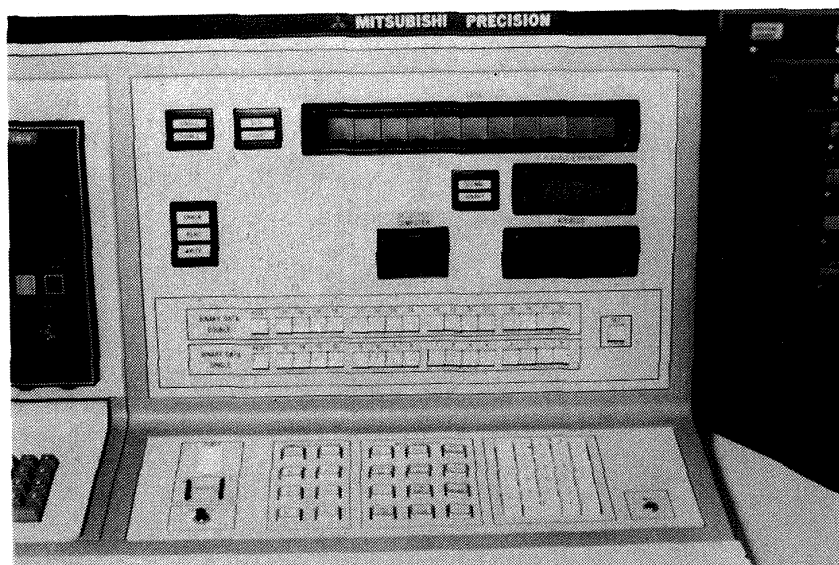


図 28 データ・リード・アンド・セット・パネル

## f) ADDRESS ディスプレー

0 から 9 までの数字と A から F までの 6 個のアルファベットとが表示可能な表示形式により、選択されたアドレスを 16 進数で表示する。

## g) SELECTED COMPUTER ディスプレー

選択指定した各計算機番号を表示する。

## h) ERROR 表示

データ・エントリーにおいて誤操作を行った場合に赤色ランプが点灯し、エラー表示を行なう。

## i) READ/WRITE 表示

書込モードか読出しモードかを表示する。

## j) BINARY DATA スイッチ・インディケータ・ライト

バイナリデータの書込並びに読出し手段としてスイッチ・インディケータ・ライトが 32 個用意されている。

RESET スイッチを押すと対応する 16 ビットのバイナリデータが払われる。

その後にスイッチ・インディケータ・ライトを押してデータをセットする。

データの設定が終了したことを制御計算機に知らせるために "SET" スイッチを設ける。

## 5.4 デバイス・セクタ

FSK-II には、図 17 に示すように入出力機器が接続されている。

これらの入出力機器を 3 種に分類する。

- (1) 複合計算機全体を監視するのに用いる機器
- (2) シミュレータを運転するのに用いる機器
- (3) 応用プログラムを作成するのに用いる機器

(1) については制御操作卓のところで述べた。

(2) は A/D, D/A 変換器等を含む I/O リンケージや、制御操作卓上のファンクション・スイッチである。

(1), (2) はシステムの運転に必要なデバイスであるため、通常の入出力機器(3)と区別する。

そのため、I/O リンケージは、特定計算機に直結し、制御操作卓には特定のデバイス・バスを割当て(これを Operator Console Selector と言う。), 起動前に特定計算機に手動で接続する。

(3) では、各入出力機器を 2 組にわけ、各組ごとに任意の計算機と接続する。

その各々をデバイス・セクタ 1 および 2 と言い、サイド・コントロール・パネルからの手動操作または計算機の制御によって切換えることができる。

## 5.5 入出力機器

FSK-II には紙テープおよびカードを基本とした二系統の入出力機器が用意されている。

各仕様については、付録 2 を参照のこと。

## 6 ソフトウェアの構成と機能

ミニコンでは 価格を低くおさえるため 入出力機器やソフトウェアの機能は 一般に貧弱である。

たとえ、それらを充実させようとしても 主記憶容量の制限・割込み機構の貧弱さから 利用者が十分なサービスを受けるのは困難である。

しかし、汎用飛行シミュレータ用計算機の場合には応用プログラムも数式モデル (Mathematical Model) が変化するにつれて変わり、またパイロットの好みの他、時によっては、実時間で数式モデルを解くため、式の省略・単純化を試行錯誤的に行なう必要が生ずる。

したがってシステムの援助体系がシミュレーション全体の効率を左右するものと思われ、ソフトウェアの機能として以下のものを用意した<sup>19)</sup>。

- (1) 実時間シミュレーションの進行を制御する実時間処理機能
- (2) 初期値設定・演算結果の出力等のシミュレーション前後の事務処理機能
- (3) プログラム作成のための翻訳・結合編集等のサービス処理機能

これらの機能は、ソフトウェア体系と密接に関係しているので 構成と共に説明する。

ソフトウェアの構成を図 29 に示す。

NO.0 計算機の前半には、スーパーバイザー (Supervisor), タスク制御プログラム (Task Control Program), ジョブ制御プログラム (Job Control Program) が常駐し、後半にはファンクション・スイッチ・タスク (Function Switch Task) と LEP, DATA, FILE, EDIT, LOAD のサービス処理プログラムが必要に応じて磁気ドラムより読出される。

これらのサービス処理プログラムは実時間シミュレーション実行中に NO.0 計算機の余裕時間・余裕記憶領域を使用して実行される。

NO.1 ~ NO.4 計算機には、実時間シミュレーション時に、応用プログラムと、それを制御するための RTSM (Real Time System Monitor) が入り、言語処理の時に、言語プロセッサおよび そのコントローラ (Controller) が入る。

以下に各々の機能を記す。

6.1 スーパーバイザー

これは NO.0 計算機で動作するように作製されていて 入出力機器の管理と実時間処理を行なう。

6.1.1 入出力機器の管理

スーパーバイザーは 所要入出力機器が接続されているデバイス・セレクタを指定された計算機に接続すると共に 制御操作卓および出力機器の制御と割込処理を行なう。

6.1.2 実時間処理<sup>17)18)</sup>

この処理では、一定時間々隔 (10ms) の繰返して以下の動作を行ない、プログラム作成に伴う負担を軽減するように 実時間シミュレーションを援助している。

その詳細は文献 17, 18 で既に報告してあるので ここでは概略を述べる。

(1) 計算機間の同期

各計算機は独立して動作できるため、分割して組込んだ 応用プログラムの演算結果の位相が計算機間でずれてしまうことがある。

これを避けるため、NO.1~NO.4 計算機内の RTSM (後述) に対して、その制御下にある 応用プログラムの 演算開始・停止の信号を LSBC を用いて送受する。

(2) I/O リンケージの入力制御

同期信号に合わせて I/O リンケージを入力モードで 起動し、パイロットの操舵量等を NO.0 計算機に取込む。

(3) 計算機間のデータ転送

応用プログラムは各機能ごとに分割作成され、LEP (後述) で結合される。

この時、計算機間で転送するデータが確定し、同時に 転送のための制御表も作成される。

スーパーバイザーは この制御表に従い、同期信号に 合わせて H S B C を用い、ブロードキャスト (Broadcast) ブロック (Block) ・バースト (Burst) 方式で 計算機間のデータ転送を行なう。

I/O リンケージを通して NO.0 計算機に取込まれたデ ータは NO.1~NO.4 計算機にそのまま転送される。

また NO.1~NO.4 計算機の演算結果のうち、他計算機 内の 応用サブプログラムで参照されるデータは 他の全て の計算機に転送され、I/O リンケージに出力されるデ ータは NO.0 計算機に転送される。

(4) 出力データの編集

NO.0 計算機にブロック転送されたデータは I/O リ ンケージに都合よく並んでいない。

このため、データの並び替えを行なう。

(5) I/O リンケージの出力制御

I/O リンケージを出力モードで起動し、演算結果を可 動模擬操縦席装置等に出力する。

(6) 実時間シミュレーションの監視

実時間シミュレーション時に、刻々と変わる変数の値を 制御操作卓のデータ・リード・アンド・セット・パネル上

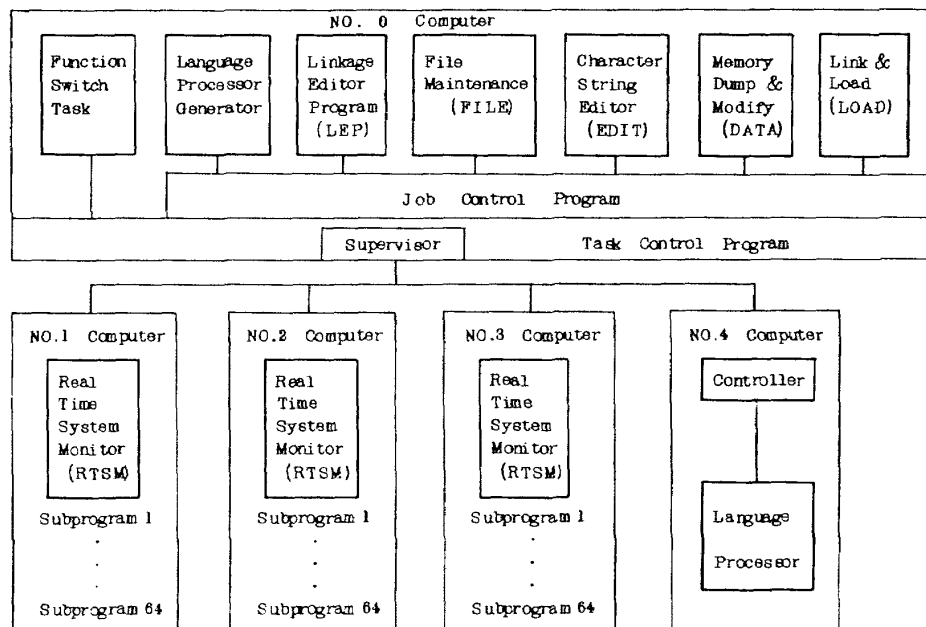


図 29 ソフトウェアの構成

に表示する。

また、計算機間のデータ転送等で異常が起きた時には CRT に表示する。

### 6.2 RTSM

これは NO.1~NO.4 計算機に格納され、NO.0 計算機内のスーパーバイザーから送られる同期信号に合わせて応用プログラムの繰返し演算等の制御を行なうことを目的とする。

RTSM は次の機能を有する。

(1) スーパーバイザーとの通信

スーパーバイザーが、LSBC を介して送ってきた指令の実行およびスーパーバイザーへの要求を行なう。

(2) サブプログラムの制御

サブプログラムの実行周期を 4 レベルまで設定することができる。

各レベルの周期は 10 ms の整数倍で 最大 64 個のサブプログラムを制御することができる。

(3) モニタ・マクロ命令の処理

応用プログラムを援助するために、種々のモニタ・マクロ命令が用意されている。

(4) 割込みの処理

上記の機能を発揮するために、RTC (Real Time Clock), LSBC, CAL 命令等による割込みの処理を行なう。

### 6.3 タスク制御プログラム

NO.0 計算機には 制御操作卓等から様々な指令が入力され、それに応じてタスクが生成消滅する。

タスク管理プログラムは NO.0 計算機において生ずるタスクを設定された優先順位にしたがって タスクの多重処理を行なう。

ここに述べるタスクには、ファンクション・スイッチに対応するタスクおよび サービス処理プログラムによって生ずるタスクがある。

### 6.4 ファンクション・スイッチ・タスク

制御操作卓には、15 個・2 組のファンクション・スイッチが用意されており、その各々に固有の機能を持たせている。

これには、シミュレーション前後の手続処理、シミュレーション開始・停止の処理、シミュレーション実行中の応用サブプログラムの管理およびこれらの処理のため 必要なパラメータを記したテーブルを管理する機能がある。

#### 6.4.1 手続処理

このために次のスイッチが用意されている。

"CARD READ"

"PT READ"

"LINK"

"PRINT (HOLD)"

(1) "CARD READ" スイッチ

シミュレーションに必要な 初期値の設定、出力変数の

BLK ATTRIBUTE		
DCL FXA		K+10;
DCL FYA		K+10;
DCL FZA		K+10;
DCL MXA		K+04;
DCL MYA		K+04;
DCL MZA		K+04;
DCL AXA		J+13;
DCL AYA		J+13;
DCL AZA		J+12;
DCL PAD		J+13;
DCL QAD		J+13;
DCL RAD		J+13;
DCL PA		J+13;
DCL QA		J+13;
DCL RA		J+13;
DCL E1D		J+14;
DCL E2D		J+14;
DCL E3D		J+14;
DCL E4D		J+14;
DCL E1		J+14;
DCL E2		J+14;
DCL E3		J+14;
DCL E4		J+14;
DCL L1		J+15;
DCL L2		J+15;

DCL DT1		J+00;
DCL DT2		J+00;
DCL DT1AA1		J+00;
DCL DT1RA1		J+00;
DCL FLP		J+00;
DCL SFRLA1		J+00;
DCL ABSDAO		J+09;
DCL :PA		K+29;
DCL :QA		K+29;
DCL :RA		K+29;
DCL :X		J+18;
DCL :Y		J+18;
DCL :Z		J+18;
DCL :E1		K+30;
DCL :E2		K+30;
DCL :E3		K+30;
DCL :E4		K+30;
DCL :LET		K+18;
DCL :VET		K+18;
DCL :WET		K+18;
DCL INITIAL	I	;
DCL START	I	;

/\*

図 30 属性テーブル



指定を行なうため、a)~e)に述べるファンクション・スイッチに必要なパラメータを記したテーブルをカード・リーダーから読み込み、ドラムに格納する。

a) 属性テーブル

変数の属性を記述したテーブルである。

図30で変数“FXA”は倍精度(32ビット)、固定小数点変数で下から10ビット目に小数点があることを示す。

BLK READY	
-1	
READY	=0
HD	=0
DL	=0
TEST	=0
HAI	=0
HTHVI	=0
SVI	=0
SRC	=0
HRC	=0
SHP	=0
HHP	=0
HALPH	=0
SALPH	=0
HBETA	=0
SBETA	=0

KLY2	=18,042
KLY3	=59,525
PCGS	=25,0
KIX1	=44,970
KIX2	=10,878
KIX3	=110,814
KIX4	=1,411
KIX5	=0,487
KIY1	=3,117
KIY2	=1,332

IRAD	=0
IPA	=0
IQA	=0
IRA	=0
IE1	=1
IE2	=0
IE3	=0
IE4	=0
IUE	=0
IVE	=0
IWE	=0
IX	=0
IY	=0
IZ	=0
IHPD	=0
IHP	=0
/*	

図 31 READY テーブル

BLK HOLD	
B	
S	
C	
UW	
LMG	
LNG	
LLG	
KD	
SNMAX	
LLGM	
LLGN	
KN1	
KN2	
KM1	
KM2	
KM3	
LG	
SNMAX	
K1	
K2	
K3	
K4	
K5	
PRAMD	
KZN	
KB	
KL1	
KL2	
COSAJ1	
COSAJ2	
COSAJ3	
COSAJ4	
COSAJ5	
COSAJ6	
SINAJ1	
SINAJ2	
LYJ1	
LYJ2	
LYJA	
LZJ2	
LZJA	
I11	
I21	
KCL1	
KCM3	
KCY1	
/*	

図 32 HOLD テーブル

同様に“QA”は単精度固定小数点変数で下から13ビット目に小数点があること、“INITIAL”は整数であることを示す。

b) READY テーブル

演算回数・変数の初期値を記したテーブルである。

演算回数は、10msの整数倍を示し、もしそれが負の時には、ファンクション・スイッチHOLDを押すまで演算が行なわれる。

その例を図31に示す。

c) HOLD テーブル

演算を停止後、出力したい変数を記述したテーブルである。

その例を図32に示す。

その他に

d) DATA SET テーブル

e) DATA OUT テーブル

がある。

これらの機能については、文献22を参照されたい。

(2) “PT READ”スイッチ

紙テープを読み込む他は上記と同じである。

(3) “LINK”スイッチ

NO.0~NO.4 計算機をハードウェアで結合するため、制御操作卓のサイド・コントロール・パネルに組合せ設定盤を設けた。

このスイッチは、さらに計算機をソフトウェアで結合するためのものである。

このスイッチを押すと、制御操作卓の“FUNCTION SERVICE”スイッチの状態がスーパーヴァイザーに読み込まれ、計算機間での同期・データ転送を行なうグループが生成される。

(4) “PRINT(HOLD)”スイッチ

“HOLD”スイッチ(後述)を押した時、ドラム内に格納された変数を印字する。

6.4.2 実時間シミュレーションの開始・停止

実時間シミュレーションの開始・停止等を指令するため

“READY”

“OPERATE”

“HOLD”

が用意されている。

(1) “READY”スイッチ

READYテーブルで指定した変数の初期値が設定される。

また、RTSMの初期設定が行なわれる。

(2) “OPERATE”スイッチ

この操作により、RTSM内のタスク・スケジューラー

が動作し シミュレーションが進行する。

シミュレーション時間が READY テーブルで指定されている時には、その時間だけタスク・スケジューラが動作する。

これは、指定した回数だけ NO. 1 ~ NO. 4 計算機に同期信号を送ることを意味する。

(3) "HOLD" スイッチ

このスイッチを押すと、シミュレーションが停止し、HOLD テーブルにあらかじめ登録されている変数の値が磁気ドラムに格納される。その値は "PRINT (HOLD)" スイッチで印字される。

6.4.3 プログラムの状態変更

シミュレーションでは 人間の感覚になじませるため、試行錯誤を繰り返しながら パラメータを決める場合がある。

また人間工学上の実験では、制御系を実験中に入れ替える等 係数ばかりでなく 動特性をも変えることが必要となる。

このような時には、あらかじめ 主記憶上にそのサブプログラムを作成しておき、制御操作卓からの指令に従って切替えられるようにしておけば ある程度対処できる。

NO. 1 ~ NO. 4 計算機の RTSM には、64 個のサブプログラムを登録することができ、そのサブプログラムを管理し、一定時間々隔で繰り返し実行するためのタスク・コントロール・ブロック (TCB) を持っている。

それは、64 組の、実行を許すか否かを示すフラグと、各サブプログラムの入口のアドレスから構成されていて、ファンクション・スイッチ (TASK) とディスプレイ・コンソールから、そのフラグを変更することができる。

6.5 ジョブ制御プログラム

カード・紙テープ・コンソールから与えられた、ジョブ制御指令に従って、サービス処理プログラムの生成・実行・消滅を管理する。

6.6 言語プロセッサ

これは、ソース・プログラムを翻訳し、再配置可能オブジェクト・プログラムに変換するためのもので、下記のものを用意した。

アセンブラ

FORTRAN

RTSL (Real Time System Language)

NO. 0 計算機は常に実時間シミュレーションを制御しているため、たとえ処理能力に余裕があっても言語処理を行なうとしても効率が悪いばかりでなく大きな主記憶量を必要

とするこれらのプロセッサが入らない場合もある。

このため、言語プロセッサを他の計算機で実行し効率の向上を計り、かつ NO. 0 計算機の負荷を軽減することにした。これらの言語プロセッサは磁気ドラムに格納されており、起動されると指定された計算機の主記憶装置に読出される。その起動手続については次章で述べる。

6.6.1 アセンブラ

この文法については文献 20 を参照されたい。

以下に应用サブプログラムの作成上の注意事項を記す。

(1) サブプログラムの構成

应用プログラムを機能別に分割し、その各々の入力を " : EXT " で宣言し、出力を " : ENT " と宣言する ( 図 33 参照 )

また出力変数は、 " : POOL " 領域に確保し、間接アドレスで参照する。

また、サブプログラムは 最初の実行文のラベルで呼ばれ、再配置可能形式でなければならない。

サブプログラムの出口には

CAL 0

を用いる ( 図 34 参照 ) 。

(2) ライブラリーの構成

アセンブラでライブラリーを作る時には 普通のプログラムを幾つも続けてアSEMBルし、最後に

: TTL END

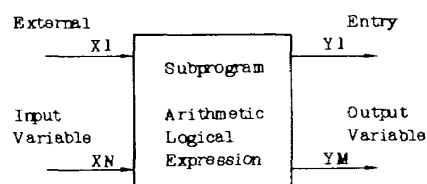


図 33 サブプログラムの構成

```

: TTL
: EXT X1, ..., XN
: EXT Y1, ..., YM
: REL
SUB1; LD RO, #Y1:P
:
CAL 0
Y1:P; Y1
: POOL
Y1; :RES n1
:
YM; :RES nm
: END
    
```

図 34 アセンブラ言語によるサブプログラムの構造

: END /FFFF

とする(図35参照)。

### 6.6.2 FORTRAN

これもMELCOM-70のREAL TIME FORTRANである(文献21)。

ただし、この言語は単体で計算機を用いる時に使用するだけで、複合計算機には使用できない。

### 6.6.3 RTSL(Real Time System Language)

実時間で航空機を含む一般のシミュレーションを行うための言語として、RTSLとそのコンパイラを用意した。その特徴・動作・注意事項を記す。

(1) RTSLの特徴を以下に示す。

- a) 浮動小数点演算よりも速い 固定小数点演算を用いるため、固定小数点の実数を扱うことができる。
- b) 分岐を簡結にかつ短かく記述できる様に数式と論理式とを混合して記述できる。
- c) ビット操作が記述できる。
- d) 風洞実験や飛行試験から得られる大量のデータを使用する場合も多いと思われるので、数表を簡潔に記述できるようにしている。

RTSLの文法については、文献22を参照のこと。また、その例を付録3に示す。

(2) RTSLコンパイラは、次の3フェイズに分かれて、ソース・プログラムを翻訳する。

- a) 外部より ソース・プログラムを読み、文法上の検査を行ない、中間言語に変換する。
- b) 中間言語をMELCOM-70のEXTENDED ASSEMBLERのコードに変換する。
- c) アセンブルし、再配置可能オブジェクト・プログラ

```

:TTL
:ENT LIB1
LIB1 ; :
:END

:TTL
:ENT LIB2
LIB2 ; :
:END
:
:
:TTL END
:END /FFFF

```

図 35 アセンブラ言語によるライブラリーの構造

ムに変換し 出力する。

(3) アセンブラの場合と同様に、応用サブプログラムの構成では 次の事項に注意しなければならない。

- a) サブプログラムを  
"TASK"文  
で宣言する。
- b) サブプログラムの入出力変数を  
"EXTERNAL"文  
で指定する。
- c) "EXTERNAL"文で宣言され、かつ代入文の左側にある変数は サブプログラムの出力変数となる(図36参照)。

### 6.7 LEP

RTSL, アセンブラから出力された再配置可能オブジェクト・プログラムを結合し、計算機に組込むのがLEPの役割である。

その動作の概略は次の通りである(17)(18)。

- (1) 入力機器より、サブプログラムを読み込む。
- (2) 計算機ごとにシンボル・テーブルを作る。
- (3) 自計算機で生成する変数が他計算機で参照されている時、その変数を転送領域に確保する。
- (4) I/Oリンクージへ出力する変数を、NO.0計算機で参照するものと考え、同じく転送領域に確保する。
- (5) 各シンボルのアドレスを決定し、オブジェクト・プログラムを結合する。
- (6) I/Oリンクージで出力されるために、NO.0計算機に送られてくる変数を 対応するチャンネル順に列び替える制御情報を生成する。
- (7) 各計算機で転送領域に確保した変数を転送するための制御情報を生成する。

```

EXTERNAL EXAMPLE;
DCL X1 J15;
DCL XN ;
DCL Y1 ;
DCL YM ;
END ;
TASK ABCD ;

ABCD Y1 = ;
:
:
END;

```

図 36 RTSLによるサブプログラムの構造

(8) 生成したロード・モジュールを各計算機に組込み、RTSMの管理下に置く。

同時に、(6)と(7)の制御情報をNO.0計算機に、シンボルテーブルをドラムに格納し、スーパーバイザーの管理下に置く。

これで LEPの動作が終了する。

## 6.8 DATA

これは、ディスプレイ・コンソールで、任意の計算機の主記憶内容を調べ修正するためのものである。

直接 アドレスを指定しても 変数名を指定しても読み書き込みが可能である。

後者の場合には、LEPがサブプログラムを結合した時に生成したシンボル・テーブルと SCPが読込んだ 属性テーブルを利用する。

## 6.9 FILE 22)

ファイルの複製を行なう。

## 6.10 EDIT 22)

文字列のファイルを作成・修正する。

## 6.11 LOAD 22)

再配置可能オブジェクト・プログラムから単一計算機用のロード・モジュールを作成し 組込む。

## 6.12 MTユティリティー

これは 以下の情報を磁気テープに格納し、LEPの入力ファイルとして使用するためのユティリティーである。

- (1) 言語プロセッサが 紙テープ・カードに出力するサブプログラムの再配置可能オブジェクト・プログラム。
- (2) 言語プロセッサが 紙テープ・カードに出力するライブラリーの再配置可能オブジェクト・プログラム
- (3) LEPが紙テープに出力する 複合計算機のロード・モジュール
- (4) LEPが必要とする編集パラメータ

## 7 起動と操作

本章では FSK-IIの起動と操作について述べる。

### 7.1 システムの起動

システムを起動するための手順を以下に示す。

- (1) HSBCを制御する計算機を設定する。

制御操作卓のサイド・コントロール・パネル内で“HI SPD CONTROL COMPUTER”をNO.0計算機に設

定する。

- (2) LSBCに接続する計算機を設定する。

同じく“LO SPD CONTROL COMPUTER”で、NO.0計算機と、応用プログラムを処理する計算機を設定する。

- (3) 使用する複数の計算機を一つのグループとしてハードウェアで宣言する。

“TRANSFER PATTERN”で(2)で設定した計算機を再び設定する。

- (4) 制御操作卓をNO.0計算機に接続する。

“OPECON SEL”を“0”に設定する。

- (5) 入出力機器をNO.0計算機に接続する。

“DEV SEL 1”を“0”に“DEV SEL 2”を“A”に設定する。

- (6) 各筐体に電力を供給する。

制御操作卓のシステム・ディスプレイ・パネルの“POWER”スイッチを入れる。

- (7) 入出力機器に電力を供給する。

- (8) 各計算機に電力を供給する。

制御操作卓のシステム・コントロール・パネルで、計算機制御部の“POWER”スイッチを“ON”に設定する。

- (9) システムを生成する。

計算機制御部の“INITIAL START”を押す。

この時、NO.0計算機はドラムよりシステム・ローダーを読み出し、ディスプレイ・コンソールに図37の表示を行なう。

以後、既に登録してあるプログラムを指定し実行させることができる。

他の計算機はダミーランとなる。

- (10) “DEV SEL 1”を“A”に設定する。

- (11) SCPを起動する。

ディスプレイ・コンソールで

```
EXEC SCP
```

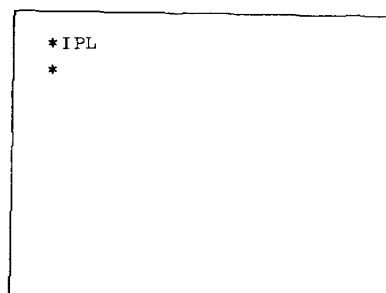


図 37 IPL直後のディスプレイ・コンソール

を入力する。

これが受け付けられると

“JOB CONTROL”

と表示され、以後 指令を入力する機器を指定することができる。

(1) 指令入力機器の指定

以後の指令をディスプレイ・コンソールで行う時

//ASGN TEK0

カード・リーダーで行う時

//ASGN CDRO

紙テープ・リーダーで行う時

//ASGN PTRO

をディスプレイ・コンソールから入力する。

7.2 言語プロセッサの起動

図 38~40 に言語プロセッサを起動させるためのジ

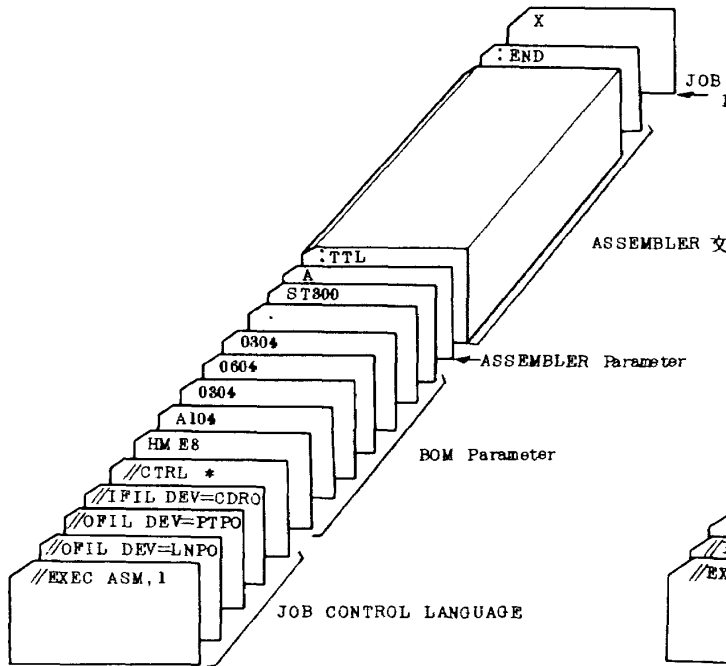


図 38 アセンブラのジョブ制御

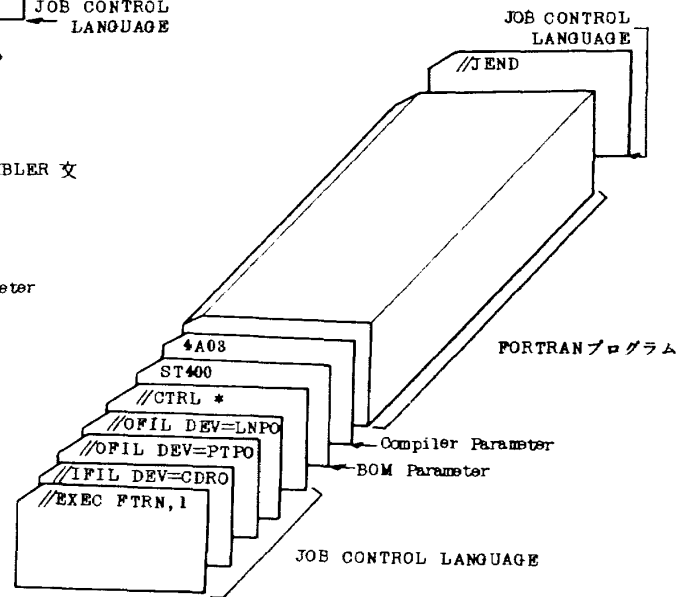


図 39 FORTRANのジョブ制御

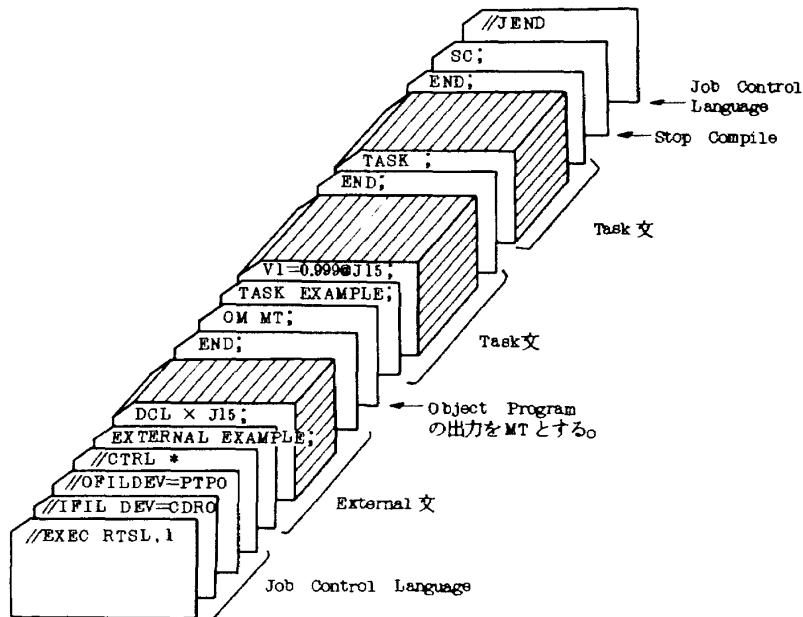


図 40 RTSLジョブ制御

ジョブ制御カードの例を示す。

これを、カード・リーダーに設定し、ディスプレイ・コンソールに

//ASGN CRDO

と入力して 読込ませると、以下に示す手順に従って動作する(図41参照)。

(1) 始めに、NO.0 計算機にはSCPが初期設定されており、他の計算機は ダミーランの状態である。

NO.0 計算機は 各言語のジェネレータをドラムより読出す。

(2) これを、ジョブ制御で指定した計算機に、HSBCを経由して送る。

(3) IPLで ダミーランになっているループを解くデ

ータをNO.0 計算機からその計算機に送る。

(4) ループから出た制御は ジェネレータに移る。

(5) ジェネレータは 自身の計算機に デバイス・セレクタを接続し、ドラムから各言語のコンパイラを読出す。

(6) 制御は コンパイラに移り、直接ソース・プログラムを読込み、再配置可能オブジェクト・プログラムに変換し 紙テープまたはカードに出力する。

(7) 処理が終了すると、誤り識別コードと共に NO.0 計算機に知らせ 再びダミーランとなる。

(8) NO.0 計算機は デバイス・セレクタを自身に接続し、次のジョブ指令を待つ。

各言語プロセッサが動作している時のソフトウェアの構成は図42に示す様になっている。

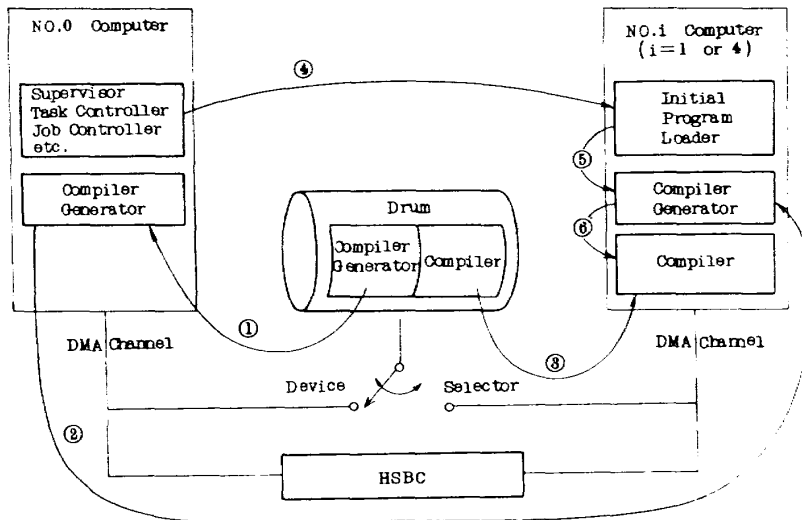


図 41 RTSLの発生

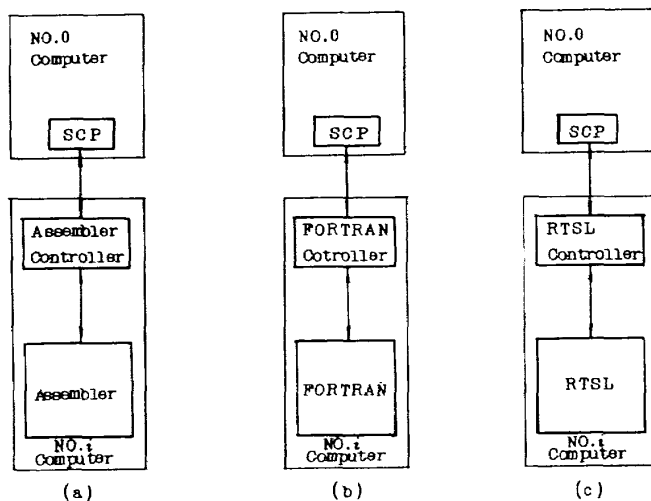


図 42 言語プロセッサの構成

NO.0 計算機内の SCP とアセンブラ, FORTRAN, RTSL の各々のコントローラーとの間で会話がなされる。

7.3 磁気テープ・ファイルの作成

同一のボリュームに 複数の再配置可能オブジェクト・プログラム等をファイルし, LEP で扱いやすくするために 磁気テープ・ユティリティを用いる。

ここでは, 標準的な用法について述べる。<sup>23)</sup>

(1) 磁気テープ・ユティリティの組込みと起動

このユティリティは, システムに組込まれておらず, MELCOM-70 計算機の “ Binary Loader ”<sup>24)</sup> で組込み, 16 進数で 1000 番地より実行させる。

(2) 磁気テープ・ボリュームを初期設定する時。

システム・タイプ・ライターで

MODE=0

と入力し, 磁気テープを初期設定する。

(3) サブ・プログラムの再配置可能オブジェクト・プログラムをファイルする時。

システム・タイプ・ライターで

MODE=X

FILE NAME=file name.RB

MEDIUM=T

と入力すると 紙テープから読込まれ

MEDIUM=C

と入力すると カードから読込まれる。

(4) ライブラリーをファイルする時。

FILE NAME=file name.LB

と入力する。

(5) 複合計算機のロード・モジュールをファイルする時。

FILE NAME=file name.LM

と入力する。

以上の操作で LEP が必要とするファイルが作成される。

7.4 LEP の起動

分割作成したサブ・プログラムの再配置可能オブジェクト・プログラムを結合し 1 個の応用プログラムを生成するために LEP を起動する。

そのジョブ制御カードの例を図 43 に示す。

また, この内の “ LD ” 文で 応用プログラムを各計算機に組込むことができる。

7.5 シミュレーションの前手続

ファンクション・スイッチ “ CARD READ ” を押して テーブルを設定する (図 44 参照)。

次に, 使用する計算機のファンクション・サービス・スイッチを点灯させ, ファンクション・スイッチ “ LINK ” を押し LEP で組込んだ計算機と矛盾がないことを確かめる。

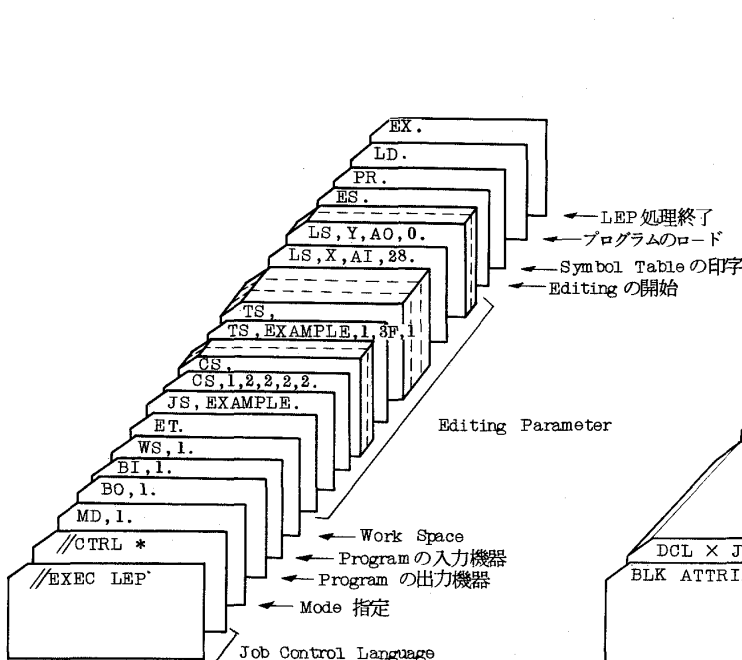


図 43 LEP のジョブ制御

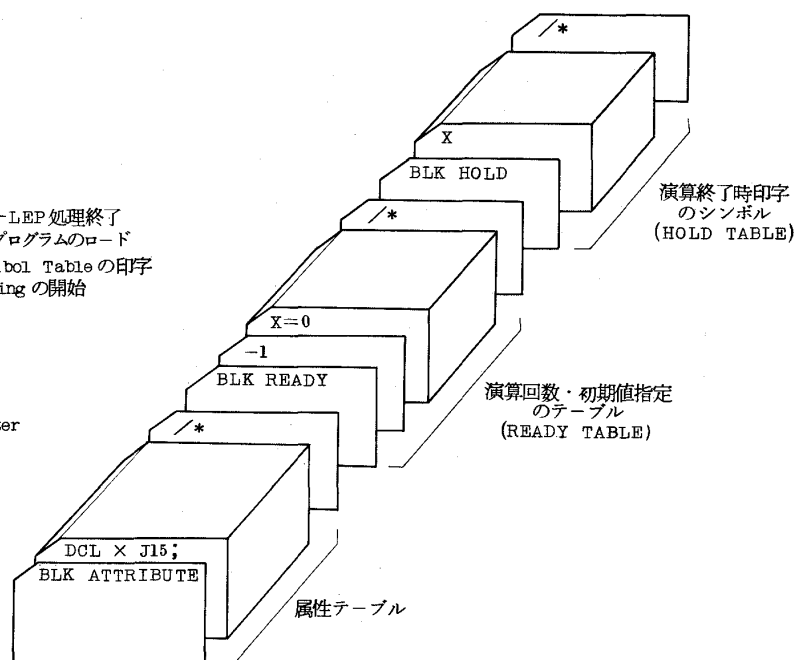


図 44 各種テーブル

## 7.6 シミュレーションの開始

“ READY ” で変数の初期値を設定する。

“ OPERATE ” で演算を開始する。

## 7.7 シミュレーションの停止

“ HOLD ” で演算を停止する。

## 7.8 シミュレーションの後手続

“ PRINT (HOLD) ” で変数値を印字する。

## 7.9 動特性の変更

係数等の変更には サービス処理プログラムの DATA を用いる。

また、特定のサブプログラムの状態をオン・ラインで変更する時には 以下の様にする。

ファンクション・スイッチ “ TASK ” を押し、ディスプレイ・コンソールから サブプログラムを起動可能状態にする時には

RUN サブプログラム名  
とし、停止状態にする時には

HALT サブプログラム名  
とする。

サブプログラムの状態変更を終了する時には

END  
とする。

## 8 機能・性能試験

この章では FSK-II の機能・性能および応用プログラムの作成法を確認するため FSPP を用いて実施した実時間飛行シミュレーションについて述べる。

### 8.1 飛行シミュレーション・プログラムの構成

このプログラムは 航空機に関するシミュレーションを行なう場合に必要となる航空機の基本的な数学モデルを各機能ごとに分割して作成したサブプログラムから構成されており、その各々は RTSM の制御の下で動作し、SCP および RTSM が有する種々のサービスを受けることができる。

その構成は次の通りである。

#### (1) 運動力学解析サブプログラム

25 個のサブプログラム (約 7.7KW) から成り、空気力学演算・機体の姿勢・高度・速度等を扱う。

#### (2) エンジン力学解析サブプログラム

12 個のサブプログラム (約 1.6KW) から成り、推力・回転数を扱う。

#### (3) 外部機器インタフェース・サブプログラム

6 個のサブプログラム (約 1.1KW) から成る。

#### (4) ライブラリー

関数発生・倍精度演算・平方根等のサブルーチン (約 0.6KW) から成る。

#### (5) 関数発生テーブル

関数発生サブルーチンが空気抵抗・揚力および推力の計算に必要なデータを参照するための引数およびデータの格子点数を示すテーブルである。

約 300 組のテーブル (約 1KW) から成る。

この他にモデルに固有な空気力学データおよびエンジン・データがある。

表 4, 5, 6 に各サブプログラムの機能を、また図 45・1, 45・2, 46・1, 46・2 に動特性のブロック図を示す。

## 8.2 サブプログラムの処理

実時間シミュレーションでは一定時間ごとに割り込む信号に同期して そのプログラムを繰返し演算するが、その周期は第 1 に最大許容応答時間、第 2 に計算機の処理能力によって決定される。

### 8.2.1 最大許容応答時間

これは 外部強制的に課せられている条件で、計算機が必要とする処理能力の下限を示していると言える。

最も厳しい応答時間を要求するものは操舵力負荷機構であり、手動操作の感覚になじまなければならないため、そのため通常数 Hz の固有振動に追従しなければならないと言われている。したがって、その動特性の周波数を 5 Hz とし、一周期を 20 等分した 10 ms の周期で 操舵力負荷機構を制御するサブプログラムを繰返し演算させれば充分であろう。次に厳しいものは可動模擬操縦席の油圧駆動回路、テレビカメラを移動させる電気駆動回路であり、なめらかに動作させる必要から 短い周期で内挿等の手法を用いて繰返し演算し、急激な変動を避けなければならないために関係するサブプログラムを 10 ms で繰返し演算させればよいであろう。

また、機体の運動の周波数は小型機の短周期モードで 1 Hz 程度大型機のそれで 0.5 Hz 程度と予想されることから、運動を模擬するサブプログラムを小型機で 50 ms , 大型機で 100ms 程度の時間で繰返し演算させればよいと思われる。さらに、運動の計算でも加速度・角加速度の計算を短い周期で計算し、以後速度・角速度、位置、重量の順に長い周期で計算できると思われる。

エンジン特性の模擬でも、その過渡応答の周期は 5~10 秒を要することからそのサブプログラムを 250ms で繰返



サブプログラム名	内 容	生成される変数の数	サブプログラムの大きさ(語)	引数が1個の関数を呼ぶ回数	引数が2個の関数を呼ぶ回数	引数が3個の関数を呼ぶ回数	推定実行命令数	演算周期(ms)
F000	Body Axis Force and Moment	6	288	0	0	0	288	80
F010	Body Axis Linear Acceleration and Angular Velocities	9	266	0	0	0	266	80
F020	Quaternions and Direction Cosine and Euler Angle	27	495	0	0	0	495	80
F030	Earth and Body Axis Velocities	18	311	0	0	0	311	80
F040	Rate and Position and Stability Axis Angular Velocities	22	352	0	0	0	352	80
F050	Ground Forces and Moment and Velocities	35	634	1	0	0	710	80
F055	Nose Wheel Angle	6	195	0	0	0	195	840
F056	Brake Forces	8	153	0	0	0	153	840
F060	Engine Force and Moments	48	748	0	0	0	748	420
F100	Fast Integration Lift Coefficient	13	260	0	12	4	3,160	80
F101	Fast Integration Drag Coefficient	4	97	4	7	0	1,437	80
F102	Fast Integration Pitching Moment Coefficient	14	382	0	16	5	4,155	80
F103	Fast Integration Side Force Coefficient	6	134	2	1	0	434	80
F104	Fast Integration Rolling Moment Coefficient	8	267	2	10	4	3,023	80
F105	Fast Integration Yawing Moment Coefficient	6	130	3	1	0	506	80
F106	Middle Integration Coefficient	35	503	10	33	2	6,709	420
F110	Medium Band Partial Force and Moment Coefficient	15	295	7	8	0	2,011	420
F130	Longitudinal Control System	12	196	5	1	0	724	10
F132	Lateral Control System	15	320	8	0	0	928	10
F134	Directional Control System	15	411	11	1	0	1,395	10
F150	Normalized Value	15	206	0	0	0	206	80
F300	Mode Control	16	322	0	0	0	322	840
F320	Environment	14	301	3	0	0	529	210
F340	Weight and Balance	9	275	0	0	0	275	840
F400	Indicated parameter	9	199	2	4	0	943	210

表4 運動力学解析サブプログラム

サブプログラム名	内容	生成される変数の数	サブプログラムの大きさ(語)	引数が1個の関数を呼ぶ回数	引数が2個の関数を呼ぶ回数	引数が3個の関数を呼ぶ回数	推定実行命令数	演算周期(ms)
E003	Compressor Inlet Temperature and Pressure Ratio	4	88	0	0	0	88	210
E100	High Pressure Rotor Speed (N2 Demanded)	12	132	0	12	0	1,908	210
E103	Percent High Pressure Rotor Speed	6	38	0	0	0	38	210
E104	Engine High Pressure Rotor Speed and Acceleration	18	326	6	1	0	930	420
E111	Percent Low Pressure Rotor Speed	6	192	12	1	0	1,252	420
E120	Steady State Fuel Flow	6	83	1	12	0	1,935	420
E121	Fuel Flow and Fuel Flow Dot	24	223	12	0	0	1,135	210
E130	Engine Pressure Ratio	6	137	7	18	0	3,333	420
E140	Exhaust Gas Temperature	12	167	18	0	0	1,535	840
E144	Surge Bleed Valve	6	69	0	2	0	365	840
E160	Engine Thrust	6	102	0	12	0	1,878	210
E170	Engine thrust Reverser	6	69	0	0	0	69	840

表5 エンジン力学解析サブプログラム

サブプログラム名	内容	生成される変数の数	サブプログラムの大きさ(語)	引数が1個の関数を呼ぶ回数	引数が2個の関数を呼ぶ回数	引数が3個の関数を呼ぶ回数	推定実行命令数	演算周期(ms)
A000	Control Loading Analog I/O	9	133	0	0	0	133	10
A010	Flight, Engine Instrument	14	330	0	0	0	330	210
A020	Motion, F/T, V/D Out	14	285	2	0	0	437	10
A030	System Input	21	210	0	0	0	210	420
A040	Initial Condition Set	19	99	0	0	0	99	80
PENREC	Pen Recorder Interface	17	81	0	0	0	81	80

表6 外部機器インターフェイス・サブプログラム

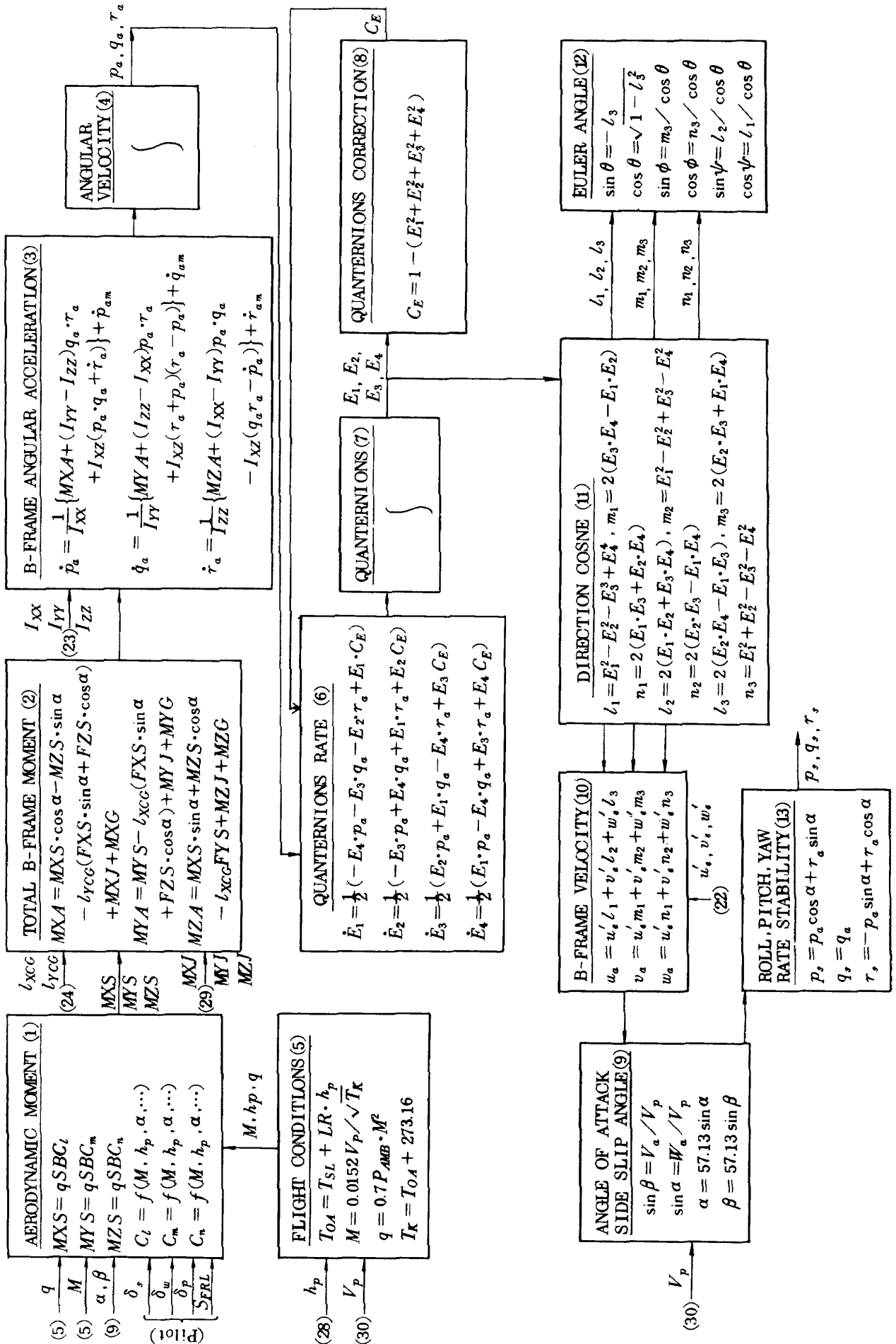


図 45.1 運動力学のブロック図(1)

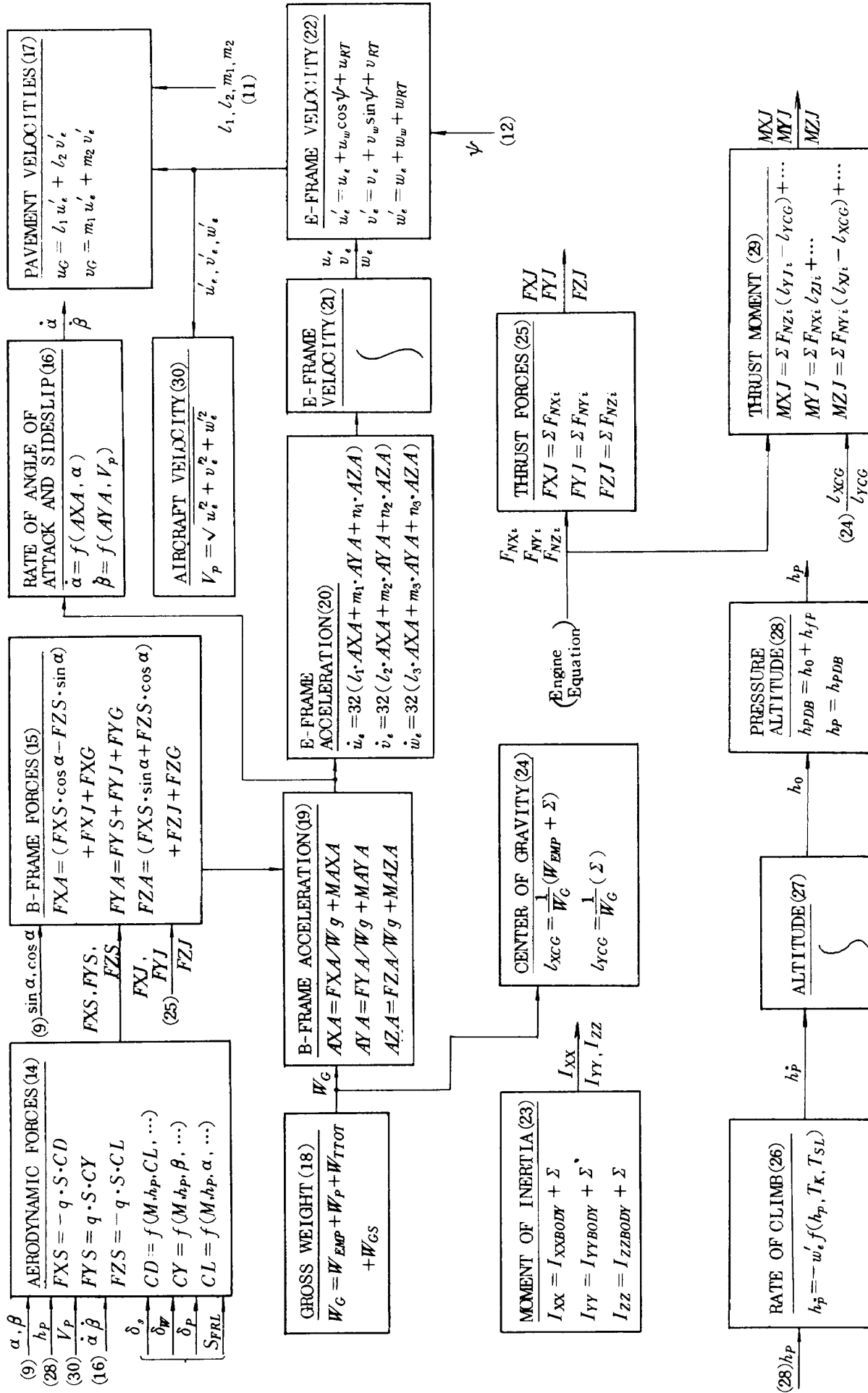


図 4.5.2 運動力学のブロック図 (2)

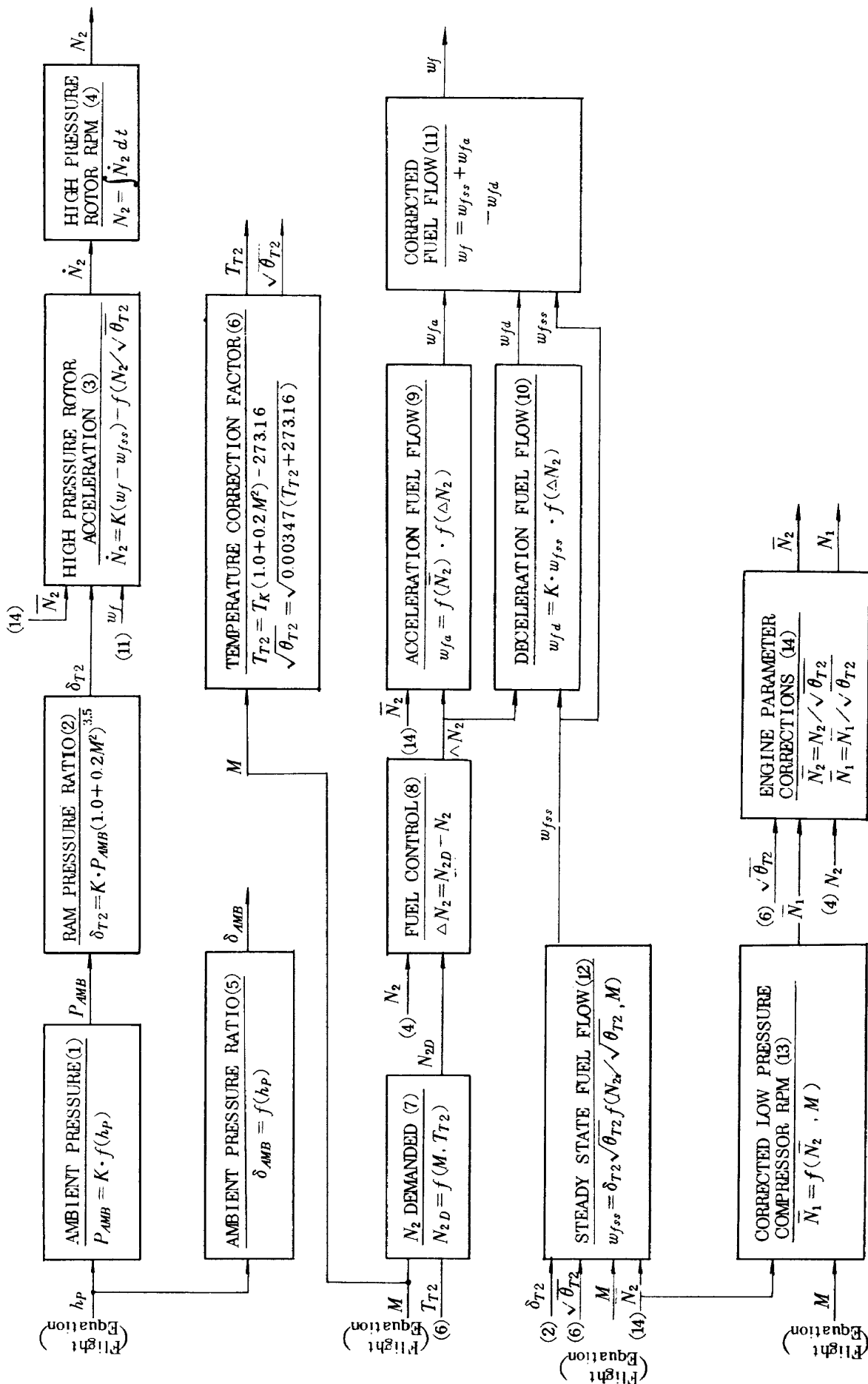


図 46.1 エンジン力学のブロック図 (1)

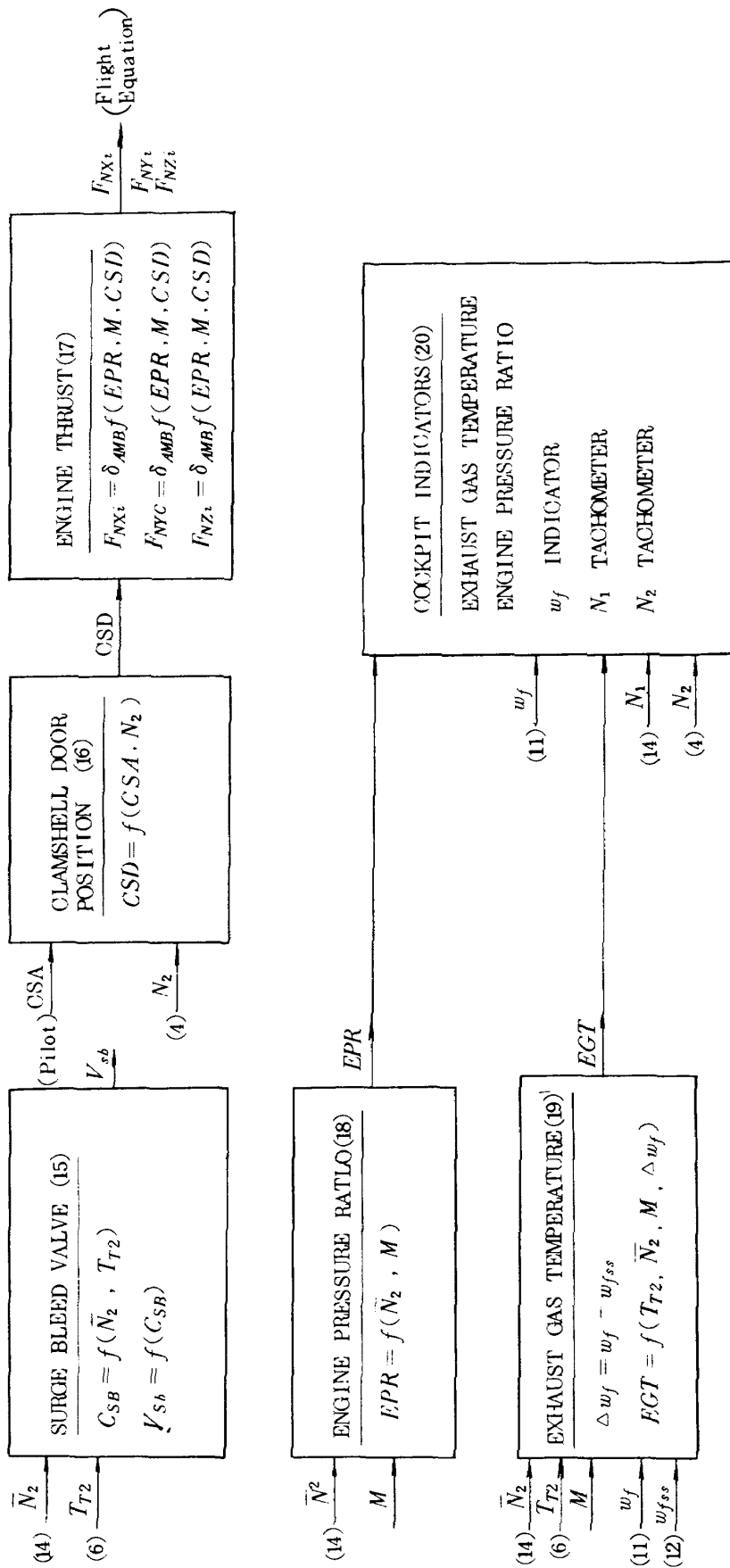


図 46.2 エンジンの力学のブロック図 (2)

して計算すれば充分と思われる。

以上が繰返し演算周期の最大許容値であり、これ以下の周期であればさらによい。

## 8.2.2 処理能力

処理能力によって繰返し演算できる限界が決まるので以下、平均命令実行時間、推定実行命令数、実行条件、演算周期の順に述べる。

### (1) 平均命令実行時間

FSK-IIに用いられている計算機の平均命令実行時間を求めるためにGibson-Mixの浮動小数点演算を固定小数点演算に、条件つき飛び越しを無条件飛び越しに置換えた命令分布および命令実行時間を以下に示す。

加・減算	40.3%	1.76 $\mu$ s
乗算	4.6%	6.16 $\mu$ s
除算	1.8%	7.37 $\mu$ s
比較	4.0%	0.88 $\mu$ s
飛び越し	24.0%	1.76 $\mu$ s
桁送り	4.6%	3.30 $\mu$ s
論理演算	1.7%	0.88 $\mu$ s
指標レジスタ	19.0%	1.76 $\mu$ s

これより平均命令実行時間は2.08  $\mu$ sとなり、以後この値を参考にして処理能力を検討することにする。

### (2) 推定実行命令数

各サブプログラムの大きさを表4, 5, 6に示す。実行命令数を推定する場合、次の条件を設ける。

a) 各サブプログラム内では飛び越し・繰返しがあるが、これを無視し全命令が同じ頻度で実行されるものとする。

b) サブプログラムがライブラリー内のサブルーチンを頻繁に呼ぶ場合、その実行命令数はサブプログラムの大きさに比べて無視できない。このようなサブルーチンとして空気力学等の係数を求めるためにデータ表を参照する関数発生サブルーチンがある。関数の引数は1, 2, 3個あり各々の関数を呼ぶたびに76, 148, 281命令から成るルーチンが実行される。ライブラリー内にはその他のサブルーチンも存在するが、その命令数・呼ばれる頻度も多くないことから無視する。

このような条件の下で推定される実行命令数を表4, 5, 6に示す。

### (3) 実行条件

以上の推定を基に、サブプログラムの演算周期について検討するために、以下の仮定を導入する。

a) NO.0計算機にはスーパーヴァイザーが、その他の計算機にはRTSMと各サブプログラムが組込まれ、10msの周期で同期を取っている。

b) その10msの間にRTSMはスーパーヴァイザーと同期を取る処理を行なっていることから、その全命令(約1.1KV)が一度実行される。

c) 各サブプログラムが生成する変数は表4, 5, 6に示すように多くないことから、これらのサブプログラムを複数の計算機に割り振ったとしても、計算機間で入出力するデータは多くならないため転送に要する時間を無視する。

d) 表4, 5, 6に示す推定実行命令数が実行される。

e) 平均命令実行時間を2.08  $\mu$ sとする。このことから計算機は10msの内RTSMの処理時間を差し引いた時間。

$10\text{ms} - 1100 \times 2.08 \mu\text{s} = 7.712\text{ms} \div 7.7\text{ms}$   
だけサブプログラムを処理できる。

### (4) 演算周期

FSPの全推定実行命令数は約64000命令であり、これをNO.1~NO.4計算機に分割して処理すると

$$(64000/4 + 1100) \times 2.08 = 35,568(\mu\text{s})$$

から40msの周期で演算することになり操舵力負荷機構からの要求(10msの繰返し計算)を満たすことができない。また、3.2.1で述べたことと矛盾しているように見える。しかしFSPは汎用性を重視したために運動方程式を冗長に作成していること、通常は定数で済む所を汎用性を重視して関数を呼ぶように作成されていたり、関数の値を計算する時に用いるデータ表の格子点(Brake Point)を任意に設定できるように作成されているため、サブプログラムの推定実行命令数は10400命令であるのに対して関数のそれは54000命令と圧倒的に比重が大きくなっていることを考えるとシミュレータ試験では特定の試験項目に注目して他を簡略化するため、冗長および関数による負荷を大巾に改善できるものと考えられ、汎用プログラムを用いたが由の矛盾でありFSK-IIの処理能力を否定するものではないと思われる。

以上は全サブプログラムを同じ演算周期で処理する場合であったが、動特性によっては固有振動数・最大許容応答時間が異なり全サブプログラムを同一周期で処理する必要もないことは前に述べた。

そこで、可能な限り少い計算機で操舵力負荷機構関係のサブプログラムを10msで、機体の運動関係のそれを100ms以下で、エンジン関係のそれを250ms以下で繰返し演算することを考える。

始めに最も早い処理を要するサブプログラムから検討する。10msの周期で演算する必要のあるサブプログラムはF130, F132, F134, A000, A020である。その推定処理時間は

$$( 724 + 928 + 1395 + 133 + 437 ) \text{ 命令} \\ \times 2.08 \mu s / \text{命令} = 7523.36 \mu s \doteq 7.5 \text{ms}$$

である。これにRTSMの処理時間(2.3ms)を加えても10ms以下であることから1台の計算で処理できそうである。

残りのサブプログラムを他の計算機で処理することになるとその計算機にもRTSMとライブラリーが組み込まれる。ここで機体の運動関係サブプログラムの全推定実行命令数(F130, F132, F134を除く。)をX, エンジン関係のそれをYとし, それぞれの演算周期を10×Mms, 10×Nmsとするとこの問題は次の式を満足する正の整数M, Nを求めることに等しい。

$$( X/M + Y/N ) \times ( 2.08 \times 10^{-3} ) \leq 7.7$$

$$0 < M \leq 10$$

$$0 < N \leq 25$$

ここで

$$X = 27228$$

$$Y = 14466$$

であるから次の解が得られる。

$$( M, N ) = ( 9, 22 ),$$

⋮

$$( 9, 25 ),$$

$$( 10, 15 ),$$

$$( 10, 16 ),$$

⋮

⋮

$$( 10, 25 )$$

さらに, 今まで触れなかったサブプログラムA010, A030, A040, PENRECの推定実行命令数は少ないことから, その実行時間を無視し, (M, N) = (9, 22)に注目すると運動関係のサブプログラムを90msの周期で, エンジン関係のサブプログラムを220msの周期で処理できそうである。さらに各々の内で必要とする応答時間ごとにサブプログラムを分類し実験して実際に組込んだ結果を表4, 5, 6に示す。

### 8.3 実時間飛行シミュレーション

従来, 当所で行なわれたシミュレータ試験から今後頻繁に行なわれるシミュレーション・モデルとして, Boeing 707程度の規模が予想されるため, その機体諸元を参考にしてモデルを作成しFSPPにパラメータを設定した。

実時間飛行シミュレーションに使用した外部機器は

- (a) 可動模擬操縦席装置
- (b) 操舵力負荷機構
- (c) 模擬視界装置

(d) 計器盤

(e) ペン・レコーダ

(f) 汎用入出力盤

である。これらに入出力する信号とI/Oリンクのチャンネルとの対応を表7, 8, 9に示す。

計算機部では, NO.0計算機を制御計算機とし, 他の計算機でFSPPのサブプログラムを処理した。

ここで, できるだけ少い計算機でシミュレーションを実施し, 残りの計算機を他の仕事に振向けることから, そのサブプログラムを駆動する周期については, NO.1計算機で比較的応答時間が遅くてよい変数を生成するサブプログラムを, NO.2計算機でそれが早くなければならぬ変数を生成するサブプログラムを処理した(図47参照)。

この時のLEPのパラメータを付録4に示す。

また, 図48, 49に縦運動の長周期モードの特性を, 図50, 51に方向舵を約5, 5°, 1秒間操舵した時の機体の応答例を示す。

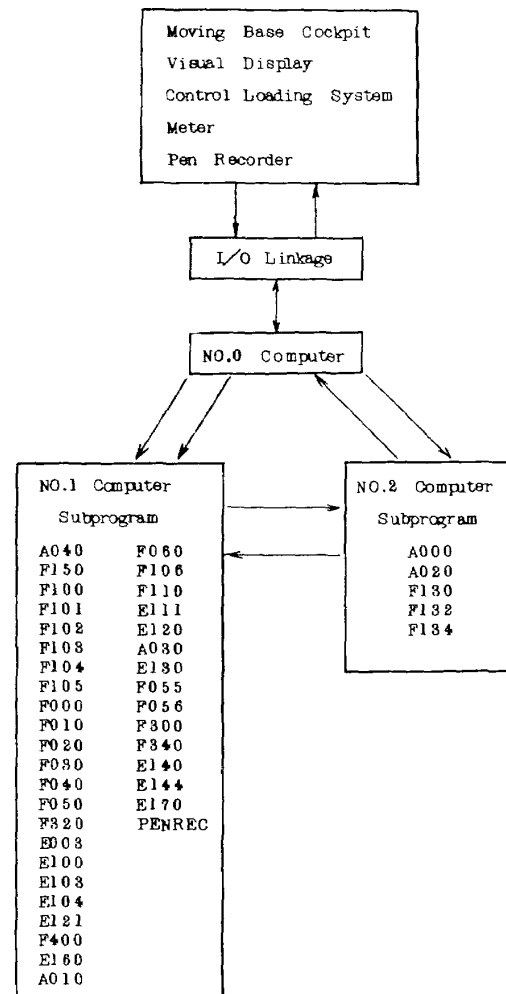


図 47 サブプログラムの処理



表7 実施した飛行シミュレーションの外部機器と変数

	信号名	内 容	I/O リンケージ の入出力チャンネル	備 考
可 動 模 擬 操 縦 席 装 置	DTAAI	Aileron Tab	AI 89	
	SFRLAI	Stobilizer Deflection	AI 8A	
	DTTRAI	Rudder Tab	AI 8B	
	FLP	Flap Position Input	AI 8D	
	DT1	Left Engine Throttle	AI 8E	
	DT2	Right Engine Throttle	AI 8F	
	PAIM	Motion Roll Angle	AO 80	
	THETM	Motion Pitch Angle	AO 81	
	ICCP	Cockpit Desk IC ON	DSI 10F	} FSPPではDIWORD として表現されている 汎用入出力盤を經由
	STRTCP	Cockpit Desk Start ON	DSI 10E	
	STOPCP	Cokpit Desk Stop ON	DSI 10D	
	ZEROCP	Cokpit Desk Zero	DSI 10C	
	GRSW	Gear	DSI 0C0	
操 舵 力 負 荷 機 構	DWAI	Wheel Deflection	AI 80	
	DSAI	Stick Deflection	AI 81	
	DPAI	Pedal Deflection	AI 82	
	FWCAI	Pilot Applied Wheel Force	AI 86	
	FSCAI	Pilot Applied Stick Force	AI 87	
	FPCAI	Pilot Applied Pedal Force	AI 88	
	FWAO	Wheel Force	AO 8F	
	FSAO	Stick Force	AO 90	
	FPAO	Pedal Force	AO 91	

表8 実施した飛行シミュレーションの外部機器と変数

	信号名	内 容	I/O リンケージ の入出力チャンネル	備 考
模 擬 視 界 装 置	PAIVD1	} Visual Display	AO 92	
	THEVD1		AO 93	
	PSIVD1		AO 94	
	PSIVD2		AO 95	
	THEVD2	} Slide-Drive	AO 96	
	PSIVD2		AO 97	
	XVD2	} Visual Display T.V.Drive	AO 98	
	YVD2		AO 99	
	ZVD2		AO 9A	
計               器               盤	VIAO	Indicated Airspeed	AO 83	レコーダ・アダプタ を經由
	HPAO	Pressure Altitude	AO 85	
	PAIAO	Indicated Roll Angle	AO 86	
	THAO	Indicated Pitch Angle	AO 87	
	PSIAO	Indicated Yaw Angle	AO 88	
	RBAO	Indicated Ball Angle	AO 89	
	RAAO	Indicated Yaw Rate	AO 8A	
	RCAO	Indicated Rate of Climb	AO 8B	
	EPRAO	EPR Right	AO F0	
	EPLAO	EPR Left	AO F1	
	N2RAO	Percent N2 Right	AO F2	
	N2LAO	Percent N2 Left	AO F3	
	EGRAO	EGT Right	AO F4	
	EGLAO	EGT Left	AO F5	
	WF2	Engine #2 Fuel Flow	AO F6	
	WF3	Engine #3 Fuel Flow	AO F7	
	PN12	Engine #2 Percent N1	AO F8	
	PN13	Engine #3 Percent N1	AO F9	

表9 実施した飛行シミュレーションの外部機器と変数

	信号名	内 容	I/O リンケージ の入出力チャンネル	備 考
レ コ ー ダ	REC1 : 0	Longitudinal Velocity	AO E0	UAを複製したもの
	REC1 : 1	Angle of Attack	AO E1	ALPHA "
	REC1 : 2	Euler Angle $\theta$	AO E2	THETA "
	REC1 : 3	Pitch Angle Velocity	AO E3	QA "
	REC1 : 4	Elevator Angle	AO E4	DE "
	REC1 : 5	Stick Deflection Stretched	AO E5	DS "
	REC1 : 6	Pressure Altitude	AO E6	HP "
	REC1 : 7	Rate of Change of Altitude	AO E7	HPD "
	REC2 : 0	Roll Angle Velocity	AO E8	PA "
	REC2 : 1	Yaw Angle Velocity	AO E9	RA "
	REC2 : 2	Euler Angle $\phi$	AO EA	PAI "
	REC2 : 3	Side Slip Angle	AO EB	BETA "
	REC2 : 4	Euler Angle $\psi$	AO EC	PSI "
	REC2 : 5	Rudder Angle	AO ED	DR "
	REC2 : 6	Inbord Aileron Deflection	AO EE	DAI "
	REC2 : 7	Outbord Aileron Deflection	AO EF	DAO "

CRUISE  
 {GEAR UP  
 {STICK FIX

DAMPING

$$\zeta = \frac{1}{4\pi} \ln\left(\frac{7.68}{14.2336}\right)$$

$$= -0.049$$

4.9% OF CRIT

IYY : MOMENT OF INERTIA  
 (PITCHING)

$$\sim SLD \cdot FT^2$$

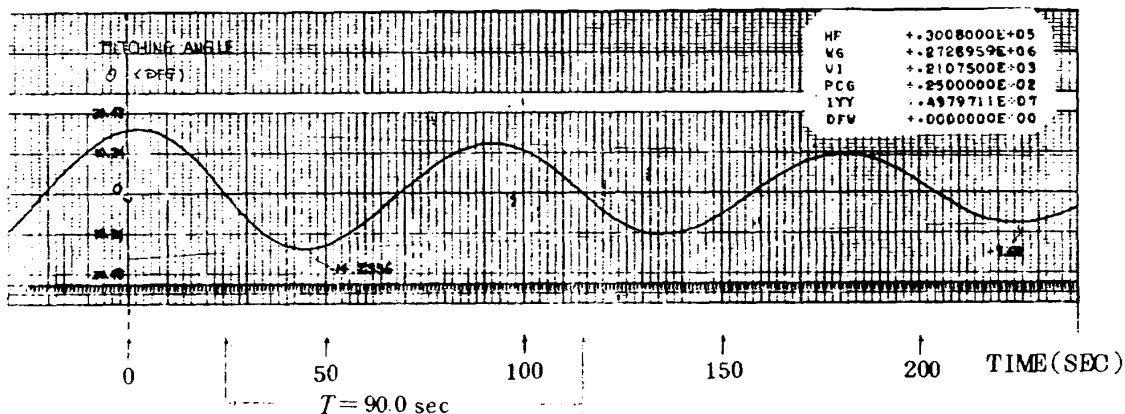


図 48 縦運動の例(1)

LANDING  
 {GEAR DOWN  
 {STICK FIX

DAMPING

$$\zeta = \frac{1}{4\pi} \ln\left(\frac{3.072}{11.0}\right) = -0.1015 \quad 10.15\% \text{ OF CRIT}$$

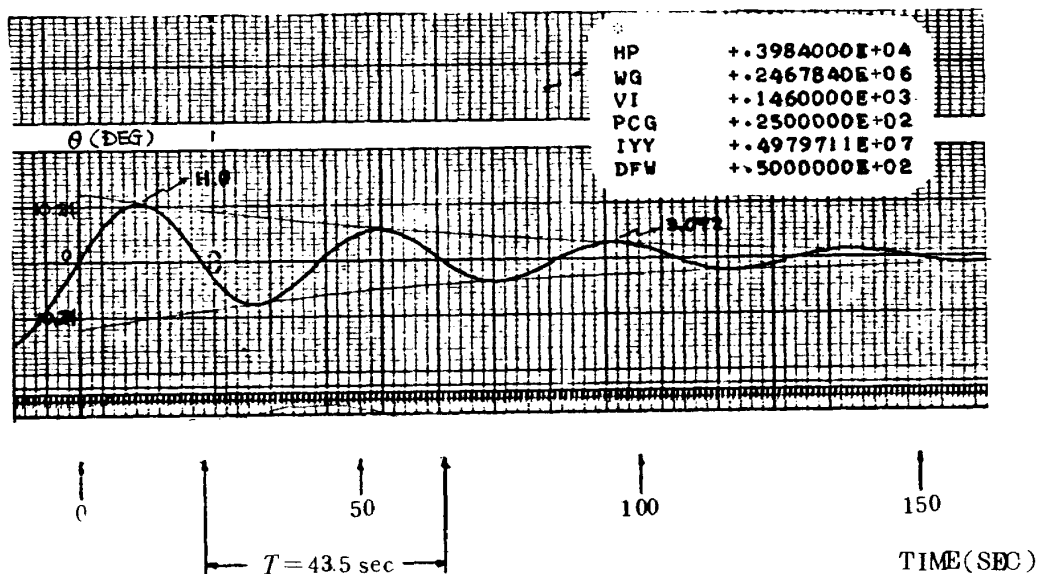


図 49 縦運動の例(2)

CRUISE

{ RUDDER BOOST ON  
WHEEL FIX  
GEAR UP

DUMPING

$$\zeta = \frac{1}{4\pi} \ln \left( \frac{1.28}{2.624} \right)$$

$$= -0.057$$

5.7% OF CRIT

$I_{XX}$ : ROLLING MOMENT OF INERTIA

$I_{ZZ}$ : YAWING

$I_{XZ}$ : CROSS PRODUCT X-Z

OF INERTIA (SLG-FT<sup>2</sup>)

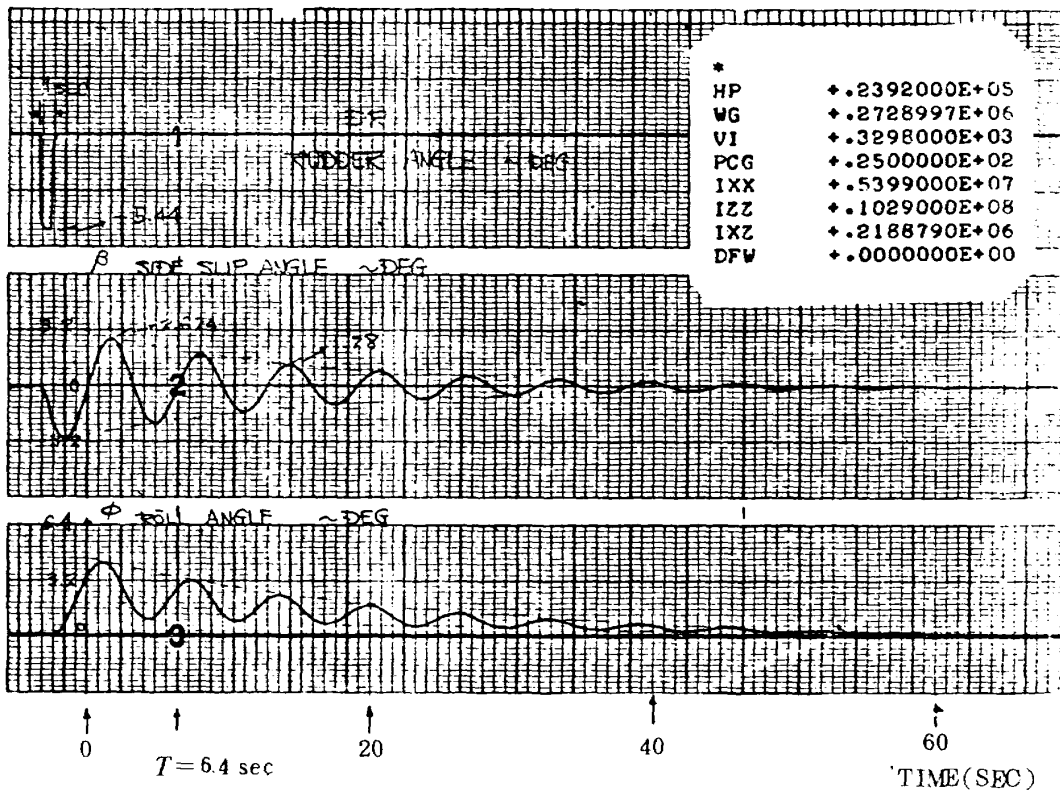


図 50 航空機の応答例(1)

LANDING

RUDDER BOOST ON  
 { WHEEL FIX  
 GEAR DOWN

DAMPING

$$\zeta = -\frac{1}{4\pi} \ln\left(\frac{0.512}{1.76}\right)$$

$$= -0.098$$

9.8% OF CRIT

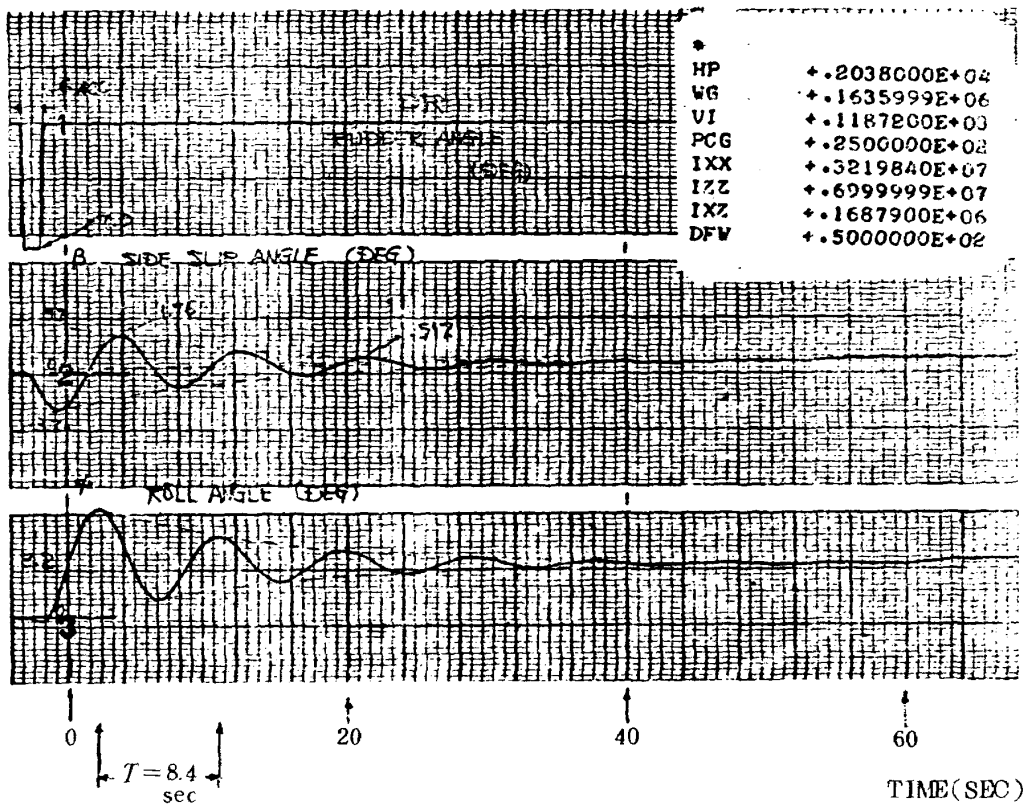


図 51 航空機の応答例(2)

## 9 おわりに

昭和47年4月から始まった汎用飛行シミュレータ用計算機更新作業は、50年6月、FSPPによる大型ジェット機のシミュレーションを実施し、3章に述べた要求事項を満足していることを確認して終了した。

その詳細は以下の如くである。

(1) 本複合計算機システムは、3台の計算機で大型ジェット機の運動を実時間で模擬する処理能力を有し、また操舵力負荷機構を手動操作の感覚になじませるように駆動できる。

(2) I/OリンケージからD/A変換されて出力される信号は階段状になっているため、なめらかに外部機器を駆動させるには適さない。

そのため外部機器をなめらかに駆動する時には、D/A変換された信号を時定数の大きな回路に通すだけでなく、D/A変換される前の信号を生成するサブプログラムをできる限り早く繰返させ、その信号をきめ細かく更新し急激な変動を避ける必要がある。

しかし、人間周囲の機器のためにきざみ巾を小さくして動特性を模擬する必要はなく、内挿や変動巾に限界を設けて異和感を供なうことなく補間することができる。

(3) シミュレーション特有の機能をファンクション・スイッチに組込むことにより使い易くなっている。

また、各種のテーブルを応用プログラムと独立に設定し、磁気ドラム記憶装置に格納しておくことにより、ファンクション・スイッチの操作だけで初期値の設定・変数の出力に繰返し使用できるためシミュレーションの遣直しが楽にできる。

(4) 1対多のデータ転送回路を開発することにより1対1のデータ転送に比べ転送による負荷を大巾に軽減でき、計算機間のタスクの同期を取り易い。

(5) サブプログラムの結合時に計算機間の転送データを判定し転送のための制御テーブルを作成する方法を採用したことによりサブプログラム内に計算機間の入出力命令を記述する必要はない。

また、結合されたプログラムはRTSMの下で、制御テーブルはSCPの下で正常に動作し、初期の目的を達成している。

(6) RTSLを用いると、アセンブラよりも簡潔にかつFORTRANよりもきめ細かに処理手続を表現できる。

しかし、1つのジョブを複数の計算機で自動的に並列処理するためには、言語・スケジューラ等のソフトウェア上高度の問題を解決しなければならず、ミニコンから成る複合計算機でこれを扱うとしてもそのプログラムの容

量・複雑さにおいて最早ミニコンの領域を越えている。またミニコンを幾ら組合わせても複合化することで改善できるのは単位時間当りの処理量を多くするだけであって、扱うことのできる問題にも限度があり、対象を限定し応用プログラムを今後充実させて行くことにより多くの利点が生じてくるものと思われる。

さらにコンパイラと関連してDOSおよびライブラリーの充実が要求されており、今後の課題である。

最後に、本システムの開発に際して

三菱プレシジョン株式会社

日立電子株式会社

伯東株式会社

安藤電気株式会社

の協力があつたことを記しておく。

## 参考文献

- 1) Richard M. Smith: Analysis and Design of Space Vehicle Flight Control Systems: Volume X Man-in the Loop, NASA CR-829, pp. 1, July 1967
- 2) 松浦他: 汎用飛行シミュレータ設備の計画・構造および特性, 航空宇宙技術研究所, TR-70, 1965年1月
- 3) 日本航空宇宙学会編: 航空宇宙工学便覧, 丸善, pp. 282, 昭和49年12月20日
- 4) R.L.Hass: The Large Amplitude Multi-mode Aerospace Research (IAMAR) Simulator, AIAA, NO.73-922, September, 1973.
- 5) J.J.Hogan etc: A Real-Time Six-Degree of Freedom Hybrid Simulation Facility for Guidance System Testing, AIAA, NO.73-876, August, 1973.
- 6) J.Gregory, R.McReynolds: The SOLO MON Computer, IEEE Trans.on EC, 12, 6, pp. 774~781, Dec., 1963
- 7) J.Holland: A Universal Computer Capable of Executing an Arbitrary Number of Subprograms Simultaneously, Proc. EJCC 16, pp. 108~113, Dec., 1959
- 8) G.H.Barnes, R.M.Brown, M.Kato, D.J.Kuck, D.L.Slotnick, R.A.Stokes: The ILLIAC IV Computer, IEEE Trans.on C, 17.8, pp.746~757, Aug., 1968.
- 9) D.J.Kuck: ILLIAC IV Software and Application Programming, IEEE Trans.on C, 17.8, pp.758~770. Aug., 1968.

10) R. E. Larson, E. Tse : Modal Trajectory Estimation and Parallel Computers, Proc. 2nd Symposium on Nonlinear Estimation Theory, pp. 188 ~ 198. Sept. 1971.

11) E. Tse : Parallel Computation of the Conditional Mean State Estimate for Nonlinear Systems, Proc. 2nd Symposium on Nonlinear Estimation Theory, pp. 385 ~ 394, Sept., 1971.

12) 勝又, 元岡 : 共通母線による計算機群結合方式, 電子通信学会電子計算機研究会資料, 1971年9月16日

13) 田丸他 : マルチ・ミニコンピュータ・システム, 情報処理第14回大会講演予稿集, pp. 349, 1973年12月10日

14) 百名他 : VTOL機操縦研究設備, 航空宇宙技術研究所, TR-169, 1968年12月

15) 堀川 : 研究用フライト・シミュレータ, 昭和50年電気四学会連合大会論文集, pp. 1157 ~ 1160, 昭和50年

16) 池谷 : 飛行シミュレータ用操舵力負荷機構の試作研究, 日本機械学会第858回講演会論文集, pp. 129, 1975年8月

17) 原田 : シミュレーション用複合計算機 (FSK-II) のデータ転送と制御, 情報処理第18巻第11号, pp. 1123 ~ 1129, 昭和52年11月

18) 原田 : シミュレーション用複合計算機 (FSK-II) のデータ転送と制御, 航空宇宙技術研究所, TR-511, 1977年8月

19) 原田他 : 複合計算機 (FSK-II) のオペレーティング・システムに関する操作について, 情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会資料77-1, 昭和52年5月20日

20) 三菱電機 : MELCOM70 アセンブラ・システム説明書

21) 三菱電機 : MELCOM70 リアルタイム FORTRAN 説明書

22) 三菱プレジジョン : 動特性模擬装置更新主計算機部取扱説明書ソフトウェア (其の2)

23) 三菱プレジジョン : 動特性模擬装置更新主計算機部プログラム説明書 (其の1) IOCP・ユティリティ・プログラム説明書

24) 三菱電機 : MELCOM70 ロータ説明書 pp. 1

## 付 録 1

I/O リンケージ仕様  
 ペン・レコーダ仕様  
 磁気テープ・データ・レコーダ仕様  
 アナログ計算機仕様

## 1. I/O リンケージ仕様

製造 三菱プレジジョン

型式 MSL-4

性能規格

(1) アナログ インプット	サブシステム (AI)
変換速度 (合転送速度)	20 $\mu$ s/チャンネル以下
変換精度 (雑音の無い場合)	$\pm 5$ mV MAX
入力電圧 標準最大	$\pm 10$ V
最大許容	$\pm 15$ V
入力インピーダンス	$10^9 \Omega$ MIN (AC)
リゾリューション	SIGN+11 Bit
(2) アナログ アウトプット	サブシステム (AO)
変換速度 (含む転送速度)	50 $\mu$ s/2チャンネル以下
変換精度 (雑音の無い場合)	$\pm 10$ mV MAX
出力電圧 (標準最大)	$\pm 10$ V
" (最大ドリフト)	$\pm 15$ V
出力電流	$\pm 5$ mA MAX
(3) ディスクリット スイッチ インプット	サブシステム (DSI)
転送速度	0.88 $\mu$ s/語 (16点)
入力電流	I <sub>in(0)</sub> 48 mA, I <sub>in(1)</sub> 10 $\mu$ A
入力電圧, レベル (標準)	LOGIC(0), 0.8V MAX LOGIC(1), 2.0V MIN
" (最大許容)	+30V MAX
(4) デジタル ワード アウトプット	サブシステム (DWO)
転送速度	1.2 $\mu$ s/語 (16点)
出力形成	オープン・コレクタ
コレクタ印加電圧 (標準)	28V DC
" (最小)	5V DC
" (最大)	48V DC
出力電流 (最大)	400 mA
(5) デジタル スイッチ	アウトプット サブシステム (DSO)
転送速度	1.2 $\mu$ s/語 (16点)

出力形式 接点 (メーク接点)  
 接点容量 2 A MAX  
 100VA MAX

## 2. ペン・レコーダ仕様

製造 渡辺測器  
 形式 WTR-281-8H

性能規格

要素数	8
記録振巾	$\pm 20$ mm
ガルバノメータ	G12
記録方式	インク式直線書
増幅器ユニット	WA291
入力形式	フローティング・ディファレンシャル
測定レンジ	5·10·20·50·100·200·500 ·1000·2000·5000 mVフルスケールおよびOFFの11段切換, 切換精度-1%
振巾調整	上記測定レンジ間を連続可変
入力抵抗	1 M $\Omega$ /V レンジに比例して増加, 最高5 M $\Omega$
最大入力電圧	12.5VDC
直線性	2.5%以下
安定性	電源電圧変動 $\pm 10$ %
周波数特性	H型: 20 mm P-P振巾で0~80 Hz まで+5, -10%以内
位置調整	ペンは $\pm$ フルスケールの全域で任意の位置に設定
同相分除去効果	100 db 以上 [AC 50 Hz, DC とも]
使用温度範囲	-5~+45 $^{\circ}$ C
記録紙送り速度	0.5·1·2.0·5·10·25·50·100 ·250 mm/sec の9段切換
タイムマーカ	1秒または10秒に1回刻時可能, また外部端子の短絡によりチェック可能
イベントマーカ	パネル面操作により, また外部端子の短絡によりチェック可能
所要電源	50または60Hz, AC100V
その他	ペン上げリモートオプション付 記録紙送りリモートオプション付

## 3. 磁気テープ・データ・レコーダ仕様

製造	SANGAMO (安藤電気)
型式	SANGAMO V MODEL3614
構成	(1) SABRE V MODEL3614 磁気テープ記録用再生装置 1式
	(2) SABRE V用安定化電源 1台
	(3) 分岐盤 1台



(4) 4500型 キャビネット	ブラウン管	P形	
〔(1), (2), (3)実装用〕	1架	チャンネル数	垂直軸 4
(5) 自動テープ消磁器	1台		水平軸 1
(6) 3600-2型		出力レンジ	2, 1, 05, 02/FS(10Vを1とする)
リモート・コントロール	1台		の4段切換
(7) 入出力接続ケーブル	1式	時間軸レンジ	2S, 1S, 500ms, 100ms, 50ms
(8) リンケージ接続ケーブル	1式		10ms/FSの8段切換
4. アナログ計算機仕様	電子目盛	垂直, 水平	各10区間
製造 日立電子機		目盛精度	±3%以内
型式 ALS-200X-3S	(3) PK-200		
構成	構成	パッチコード	10cm 15本
(1) ALS-200X-3S		"	20cm 30本
アナログ・ユニット	A-10	6	" 40cm 30本
"	A-20	6	" 60cm 15本
"	A-30	3	" 80cm 10本
"	A-40	3	
係数器	APT-241	3	(4) ペン書き記録計 QGS-44
"	APT-242	3	素子数 4
乗算器	AEM-002	4	名素子の有効記録巾 ±20mm
正弦関数発生器	ASI-001	1	紙送り速度 0.25 0.5 1 2.5 5 10
余弦 "	ACO-001	1	25 50 100mm/秒
任意 "	AFG-061A	1	感度 0.2 0.5 1 2 5 10 20
"	AFG-061B	1	50 100V/フルスケール
"	AFG-062	1	直線性 ±1.5%以内
対数 "	ALG-001	1	タイマー 1秒及び10秒
比較器	ACP-001	3	周波数特性 0~20Hzで5%以内
電子スイッチ	AFS-001	3	
リレー	ARL-001	3	
特殊非線形要素	ASN-001	2	
時間おし出要素	ATD-001	2	
基本筐体		1	
デジタルメータ	ADV-002	1	
アナログマウント	AMA-001	1	
パッチ板	PP-200	3	
パッチングキット	PK-200	5	
保守用ユニット	MU-200	1	
引き抜き金具		1	
アナログトランス	T-10	1	
リンケージトランス		1	
オシロスコープ	OS-242A	1	
ペンレコーダー(40H)	QGS-44	1	
ALS-200X用机		1	
オシロスコープ用台車		1	
ペンレコーダー用台車		1	
(2) オシロスコープ OS-24AS			

## 付 録 2

## 入出力機器の仕様

1. システム タイプ	ライタ仕様
製 造	新興製作所
型 式	S-100 DA
性 能	
(1) プリンタ部	
印 字 文 字	英大文字, 数字, 記号
印 字 速 度	10字/秒
印 字 文 字 数	80字/行
印 字 用 紙	214mm ロール紙
文 字 コー ド	ASCII CODE
(2) キーボード部	
	プリンタ部の印字規格に対応
(3) テーブリータ部, テープパンチ部	
速 度	10字/秒
コ ー ド	ASCII CODE
テ ー プ	紙テープ 8単位
消費電力	約200VA
外形寸法	550mm(巾)×480mm(奥行)×1,050mm(高)
重 量	約35kg
設置方式	フロア トップ方式
2. ディスプレイ・コンソール仕様	
製 造	ソニー・テクトロニクス
型 式	4010-1 (ハード・コピー接続可能)
性能規格	ディスプレイ部 11インチ, 直視型 バイステープル式ストレー ージ・ブラウン管
	ディスプレイ面積 19.05cm×14.22cm
	キャラクタ・ディスプレイ
容 量	横74個, 縦35個
種 類	63種(TTY ASCII コード)
サイ ズ	縦0.2インチ×横0.1イ ンチ(約)
形 状	5×7 ドットにより形成 モス・リードオンリーメ モリ使用
カーソル	5×8 ドットにより形成
	グラフィック・モード

ベクトル・モード

ベクトル書込速度 2.6ms

1024×1024のアドレッ

サブル・ポイント

1024×780 の可視ポイ  
ント

グラフィック・入力モード

1024 (X軸)×

780 (Y軸)

十字カーソルは

つまみコントロールに

より移動

使用条件 温 度 +10~+40℃(作動時)

所要電源 110VAC

50/60Hz

## 3. カード読取機仕様

製 造	United Business Communications
型 式	CR-300
性 能	
読 取 速 度	300枚/分
カード様式	80コラム IBM方式カード
ホッパ容量	450枚
エラーステータス	LIGHT CHECK FEED ERROR CARD ERROR CARD SUPPLY ERROR STACK ERROR

消費電力 約300W

外形寸法 350mm(巾)×500mm(奥行)×450mm(高)

重 量 約25kg

設置方式 小型標準キャビネットに実装

## 4. カード穿孔機仕様

製 造	JUKI
型 式	1307MD
性 能	
穿 孔 速 度	8枚/分
カード様式	80コラム IBM方式カード
ホッパ容量	容量500枚
スタッカー	容量500枚

消費電力 約500VA

外形寸法 893mm(巾)×760(奥行)×974mm(高)

重 量 約100kg

設置方式 フロアトップ方式

## 5. ラインプリンタ装置仕様

製 造 日立工機

型式 シリーズ3-II型  
性能  
印字速度 430行/分  
文字数 63文字, 英文字, 数字, 記号  
文字桁 1行当り132文字 6行/インチ  
印字方式 活字回転 ドラム方式  
複写能力 5部(感圧紙)  
紙送り型式 電磁クラッチ/ブレーキ 連続送り  
60行/秒

消費電力 約960VA  
外形寸法 885mm(巾)×780mm(奥行)×1100mm(高)  
重量 約450kg  
設置方式 フロアトップ方式

## 6. 紙テープ読取機

型式 2540EP  
製造 DIGITRONICS社

## 性能と規格

読取速度 330字/秒  
スタート時間  
テープ  
幅 25.4mm  
厚さ 0.108±0.005mm(標準)  
透過率 40%以下(40%~50%の場合調整を必要とする。)

## 電源

電圧 117±10V AC  
周波数 50Hz  
消費電力 200VA

## 環境条件

温度 0~55℃  
湿度 10~90%

## 外形寸法

幅 483mm  
高さ 134mm  
奥行 263mm

## 重量

13kg

## 設置方式

小型標準キャビネットに実装

## 一字読取り

可能

## チャンネル可変

5~8チャンネル可変

## 7. 紙テープ穿孔機

型式 P1200

製造 TALLY社

## 性能と規格

穿孔速度 120字/秒

テープ

幅 25.4mm  
厚さ 0.108±0.005mm(標準)

## 電源

電圧 115±10V AC  
周波数 50Hz  
消費電力 200VA

## 環境条件

温度 10~50℃  
湿度 20~85%

## 外形寸法

幅 483mm  
高さ 356mm  
奥行 341mm

重量 17.3kg

設置方式 小型標準キャビネットに実装

一字穿孔 可能

## 8. X-Yプロッタ仕様

製造 渡辺測器製作所

型式 WX545(架台付)

## 性能と規格

有効記録面積 800×650mm

記録紙固定法 静電吸着方式

ステップ幅 0.1mm

記録速度

X, Y軸 400~800ステップ/秒

Z軸 10回/秒(インクペン)又は20回/秒(ボールペン)

## 精度

直角度 0.35mm/m

動的精度 各軸とも公称1ステップ

反復精度 0.05mm以下

総合精度 移動距離の0.1%+反復精度+動的精度

## 電源

電圧 100Vまたは115V AC

周波数 50Hz

消費電力 600VA

## 環境条件

温度 5~40℃  
湿度 25~85%

## 外形寸法

幅 1170mm

高さ 250mm

奥行 1040mm

重量 150kg

設置方式 テーブルトップ方式

紙送り機構 付  
 P E N 数 1ヶ  
 インクの種類 インク又はボールペンの使用可

## 9. 磁気ドラム記憶装置仕様

型 式 FV-2516EA-256G  
 製 造 日立製作所  
 性能規格 記憶容量 512K $\Psi$   
 トラック数 256  
 セクタ数 32セクタ/トラック  
 セクタ当り容量 64語/セクタ  
 回転数 3000rpm (50Hz)  
 3600rpm (60Hz)  
 平均レィテンシー・タイム  
 10ms (50Hz)  
 8.3ms (60Hz)  
 記録方式 PM  
 書込保護 32K $\Psi$ 単位, スイッチで  
 設定  
 使用条件 温 度 0~55 $^{\circ}$ C (動作時)  
 -10~70 $^{\circ}$ C (非動作  
 時)  
 湿 度 30~95% (結露しな  
 いこと)  
 所要電源 100V AC 50/60Hz  
 +5VDC, +24VDC  
 -5V又は-12VDC  
 所要電力 18 KVA (起動時)  
 350VA (定常時)

構造規格 19インチ・ラックマウント  
 高 さ 600 $\text{mm}$   
 幅 480 $\text{mm}$   
 奥 行 430 $\text{mm}$   
 重 量 65kg

## 10. カートリッジ・ディスク記憶装置仕様

製 造 三菱電機  
 型 式 M-801-2  
 性能規格 記憶容量 249M語  
 セクタ数 24  
 セクタ当り容量 128語  
 データ転送速度 99.3K語/秒  
 記録方式 F D変調  
 アクセス・タイム 平均40ms  
 セトリング・タイム 10ms  
 レィテンシー・タイム 20ms

カートリッジ・ディスク

型 式 IBM-5440形  
 ディスク枚数 1  
 ディスク面数 2  
 トラック数 400  
 使用条件 温 度 15~35 $^{\circ}$ C  
 湿 度 10~80%  
 所要電源 AC 100V $\pm$ 10%  
 50/60Hz $\pm$ 1%  
 所要電力 1KVA (起動時)  
 450VA (定常時)  
 構造規格 19インチ・ラック・マウント  
 高 さ 340 $\text{mm}$   
 幅 480 $\text{mm}$   
 奥 行 850 $\text{mm}$   
 重 量 75kg

## 11. 磁気テープユニット仕様

製 造 東芝アンベックス  
 型 式 TM-Z  
 性 能  
 テープ速度 241インチ/秒  
 150インチ/秒 (巻もどし)  
 記録密度 800,556 ビット/インチ  
 記録方式 9トラック  
 転送方式 16ビット パラレル, ブロック転送  
 テープ仕様 巾 $\frac{1}{2}$  インチ  
 長さ 最大 2,400フィート  
 10 $\frac{1}{2}$ インチ リール  
 付加機能 VERTICAL PARITY CHECK/  
 GENERATE SKEW CHECK  
 LONGITUDINAL PARITY  
 CHECK/GENERATE  
 CYCLIC REDUNDANCY  
 CHARACTER GENERATE  
 互換性 テープ様式はIBMと完全に互換性を  
 有する。

消費電力 約500VA  
 外形寸法 690 $\text{mm}$ (巾) $\times$ 567 $\text{mm}$ (奥行) $\times$ 1000 $\text{mm}$ (高)  
 重 量 約50kg  
 設置方式 フロアトップ方式

## 12. グラフィック・ディスプレイ仕様

製 造 VECTOR GENERAL (伯東機)  
 型 式 モデル 3D3

(1) 高速3次元グラフィック・ディスプレイモデル3D3  
 : ディスプレイ・コントローラ, 3次元座標  
 変換器, ベクトル発生器, CRTから成り

CRT管面に垂直方向に明暗度でZ軸を表わし、3次元図形のスケージング、移動、回転機能をハードウェアで行う。

3次元座標変換：

$$\begin{pmatrix} X^t \\ Y^t \\ Z^t \end{pmatrix} = PS \left[ CS \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{pmatrix} \right]$$

ベクトル発生器： ベクトル・モード：

ABSOLUTE, RELATIVE,  
INCREMENT, AUTO  
INCREMENT

ライン表示：線、破線、点線、点

輝度レベル：32

分解能：4096×4096

スピード：L<0.25の時3μs

L>0.25の時

MOVE : [(L-0.25)(0.7)+3] μs

DRAW : [(L-0.25)(0.7)+3] μs

POINT : [(L-0.25)(0.7)+4] μs

(L=ベクトル長)

シーザリング：ハードウェア

CRT : 寸法：21"

表示域：14"×13"

けい光体：P4

スポット・サイズ：20mil(0.5mm)

(2) 付属装置

1) サブ・ルーティンスタック：

ディスプレイ・コントローラ内にメモリ・アドレス、スタックポインター、テンポ・ジェネラルの3種のレジスタを内蔵しコンピュータ・プログラムに関係なくディスプレイ側でディスプレイ・リストを制御する。

2) ライト・ペン：内蔵のホト・セルによりCRT上の図形エレメントの検出、作図等を行う図形処理のインタラクティブ・コントロール装置。

3) データ・タブレット：

CRT上の格子点に対応したX-Y座標格子を持ったタブレットにスタイラスを用いて図形信号を入力する装置。

画面寸法 14"×14"

精度 ±0.2% フルスケール(X, Y軸)

分解能 0.1% フルスケール(X, Y軸)

エンコーディング・レート = 10,000対/秒

4) 2-Dウィンド：

図形表示範囲を設定するハードウェア・オプション

付 録 3

RTSLの例題

## 共通サブルーチン (1)

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0001

OM PTP;
/* COMMON SUBROUTINE */
SUBROUTINE :TTL:(1);
DCL I E;
WRITE(5,FMT)I;
RETURN;
FMT*FORMAT(1H1,///,X,9HRTSL TEST,2X,F4.1//);
END;

```

## 共通サブルーチン (2)

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0001

OM PTP;
/* COMMON SUBROUTINE */
SUBROUTINE :END:(1);
DCL I E;
WRITE(5,FMT)I;
RETURN;
FMT*FORMAT(1H0,4HTEST,2X,F3.1,5H END);
END;

```

例題 1 (1)

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0001

```

DM PTP;
  /**
  /** ARITHMETIC EXPRESSION TEST **/
  /**
TASK TEST31;
DCL (I:IA) I;
DCL J JB;
DCL JA J10;
DCL K K16;
DCL KA K20;
DCL (E,EA) E;
DCL (F,FA) F;
DCL IB I;
DCL B1 B:(IB,1);
DCL B2 B:(IB,2);
DCL B3 B:(IB,3);
DCL B4 B:(IB,4);
DCL B5 B:(IB,5);
DCL F0 F INIT(0.0F);
DCL F1 F INIT(0.0F);
DCL F2 F INIT(0.0F);
DCL F3 F INIT(0.0F);
DCL F4 F INIT(0.0F);
DCL F5 F INIT(0.0F);
DCL TEST E;
TEST=3.14E1;
CALL :TTL:(TEST);
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5; FMT3=FORMAT(6D16.3);
READ(4,FMTA)F,FA; FMTA=FORMAT(D10.3 D10.3);
WRITE(5,FMTAA)F,FA; FMTAA=FORMAT(/,4H X =,D10.3/,4H XA=,D10.3);
I=F; IA=FA;
J=F; JA=FA;
K=F; KA=FA;
E=F; EA=FA;
WRITE(5,FMTB); FMTB=FORMAT(/9H +X );
F1=+I; F2=+J; F3=+K; F4=+E; F5=+F;
WRITE(5,FMT1); FMT1=FORMAT(/9H );
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
WRITE(5,FMTC); FMTC=FORMAT(/9H -X );
F1=-I; F2=-J; F3=-K; F4=-E; F5=-F;
WRITE(5,FMT1); FMT1=FORMAT(/9H );
WRITE(5,FMTD); FMTD=FORMAT(/9H X+XA );
F1= I+ IA; F2= J+ JA; F3= I+ KA; F4= I+ EA; F5= I+ FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= J+ IA; F2= J+ JA; F3= J+ KA; F4= J+ EA; F5= J+ FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= K+ IA; F2= K+ JA; F3= K+ KA; F4= K+ EA; F5= K+ FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= E+ IA; F2= E+ JA; F3= E+ KA; F4= E+ EA; F5= E+ FA;

```

例題 1 (2)

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0002

```

WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= F+ IA; F2= F+ JA; F3= F+ KA; F4= F+ EA; F5= F+ FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
WRITE(5,FMTE); FMTE=FORMAT(/9H X-XA );
F1= I- IA; F2= I- JA; F3= I- KA; F4= I- EA; F5= I- FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= J- IA; F2= J- JA; F3= J- KA; F4= J- EA; F5= J- FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= K- IA; F2= K- JA; F3= K- KA; F4= K- EA; F5= K- FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= E- IA; F2= E- JA; F3= E- KA; F4= E- EA; F5= E- FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= F- IA; F2= F- JA; F3= F- KA; F4= F- EA; F5= F- FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
WRITE(5,FMTF); FMTF=FORMAT(/9H X*XA );
F1= I* IA; F2= I* JA; F3= I* KA; F4= I* EA; F5= I* FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= J* IA; F2= J* JA; F3= J* KA; F4= J* EA; F5= J* FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= K* IA; F2= K* JA; F3= K* KA; F4= K* EA; F5= K* FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= E* IA; F2= E* JA; F3= E* KA; F4= E* EA; F5= E* FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= F* IA; F2= F* JA; F3= F* KA; F4= F* EA; F5= F* FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
WRITE(5,FMTG); FMTG=FORMAT(/9H X/XA );
F1= I/ IA; F2= I/ JA; F3= I/ KA; F4= I/ EA; F5= I/ FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= J/ IA; F2= J/ JA; F3= J/ KA; F4= J/ EA; F5= J/ FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= K/ IA; F2= K/ JA; F3= K/ KA; F4= K/ EA; F5= K/ FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= E/ IA; F2= E/ JA; F3= E/ KA; F4= E/ EA; F5= E/ FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
F1= F/ IA; F2= F/ JA; F3= F/ KA; F4= F/ EA; F5= F/ FA;
WRITE(5,FMT1) F1,F2,F3,F4,F5;
WRITE(5,FEJC);
WRITE(5,FMTH); FMT=FORMAT(/9H X*XA );
F1= I**IA; F4= I**EA; F5= I**FA;
WRITE(5,FMT2) F1, F4,F5;
F1= E**IA; F4= E**EA; F5= E**FA;
WRITE(5,FMT2) F1, F4,F5;
F1= F**IA; F4= F**EA; F5= F**FA;
WRITE(5,FMT2) F1, F4,F5;
IB=0;
WRITE(5,FMTI); FMTI=FORMAT(/9H X=XA );
B1# I==IA; B2# I==JA; B3# I==KA; B4# I==EA; B5# I==FA;
WRITE(5,FMT5)IB;

```

## 例題 1 ( 3 )

```

RTSL COMPIL LIST ( ) VER-01 PAGE 0003

      B1# J==IA; B2# J==JA; B3# J==KA; B4# J==EA; B5# J==FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# K==IA; B2# K==JA; B3# K==KA; B4# K==EA; B5# K==FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# E==IA; B2# E==JA; B3# E==KA; B4# E==EA; B5# E==FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# F==IA; B2# F==JA; B3# F==KA; B4# F==EA; B5# F==FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
WRITE(5,FMTJ); FMTJ*FORMAT(/9H X> XA );
      B1# I> IA; B2# I> JA; B3# I> KA; B4# I> EA; B5# I> FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# J> IA; B2# J> JA; B3# J> KA; B4# J> EA; B5# J> FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# K> IA; B2# K> JA; B3# K> KA; B4# K> EA; B5# K> FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# E> IA; B2# E> JA; B3# E> KA; B4# E> EA; B5# E> FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# F> IA; B2# F> JA; B3# F> KA; B4# F> EA; B5# F> FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
WRITE(5,FMTK); FMTK*FORMAT(/9H X< XA );
      B1# I< IA; B2# I< JA; B3# I< KA; B4# I< EA; B5# I< FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# J< IA; B2# J< JA; B3# J< KA; B4# J< EA; B5# J< FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# K< IA; B2# K< JA; B3# K< KA; B4# K< EA; B5# K< FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# E< IA; B2# E< JA; B3# E< KA; B4# E< EA; B5# E< FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# F< IA; B2# F< JA; B3# F< KA; B4# F< EA; B5# F< FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
WRITE(5,FMTL); FMTL*FORMAT(/9H X>=XA );
      B1# I>=IA; B2# I>=JA; B3# I>=KA; B4# I>=EA; B5# I>=FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# J>=IA; B2# J>=JA; B3# J>=KA; B4# J>=EA; B5# J>=FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# K>=IA; B2# K>=JA; B3# K>=KA; B4# K>=EA; B5# K>=FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# E>=IA; B2# E>=JA; B3# E>=KA; B4# E>=EA; B5# E>=FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# F>=IA; B2# F>=JA; B3# F>=KA; B4# F>=EA; B5# F>=FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
WRITE(5,FMTM); FMTM*FORMAT(/9H X<=XA );
      B1# I<=IA; B2# I<=JA; B3# I<=KA; B4# I<=EA; B5# I<=FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# J<=IA; B2# J<=JA; B3# J<=KA; B4# J<=EA; B5# J<=FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# K<=IA; B2# K<=JA; B3# K<=KA; B4# K<=EA; B5# K<=FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;

```

## 例題 1 ( 4 )

```

RTSL COMPIL LIST ( ) VER-01 PAGE 0004

      R1# E<=IA; B2# E<=JA; B3# E<=KA; B4# E<=EA; B5# E<=FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
      B1# F<=IA; B2# F<=JA; B3# F<=KA; B4# F<=EA; B5# F<=FA;
      WRITE(5,FMT5)IB;
CALL :END:(TEST);
EXIT;
FMT1" FORMAT(20X,5(D16.3));
FMT2" FORMAT(20X,D16.3,20X,2(D16.3));
FMT5" FORMAT(25X,Z4);
FEJC" FORMAT(1M1,5/);
END;

```

## 例題 1 の入力

```

3,0      9,0      TEST 3.1 INPUT DATA

```



例題 1 の結果 (1)

```

RTSL TEST 3.1
      0.000D+00      0.000D+00      0.000D+00      0.000D+00      0.000D+00      0.000D+00
X = 0.300D+01
XA= 0.900D+01

+X
      0.300D+01      0.300D+01      0.300D+01      0.300D+01      0.300D+01
-X
     -0.300D+01     -0.300D+01     -0.300D+01     -0.300D+01     -0.300D+01
X+XA
      0.120D+02      0.120D+02      0.120D+02      0.120D+02      0.120D+02
      0.120D+02      0.120D+02      0.120D+02      0.120D+02      0.120D+02
      0.120D+02      0.120D+02      0.120D+02      0.120D+02      0.120D+02
      0.120D+02      0.120D+02      0.120D+02      0.120D+02      0.120D+02
X-XA
     -0.600D+01     -0.600D+01     -0.600D+01     -0.600D+01     -0.600D+01
     -0.600D+01     -0.600D+01     -0.600D+01     -0.600D+01     -0.600D+01
     -0.600D+01     -0.600D+01     -0.600D+01     -0.600D+01     -0.600D+01
     -0.600D+01     -0.600D+01     -0.600D+01     -0.600D+01     -0.600D+01
X*XA
      0.270D+02      0.270D+02      0.270D+02      0.270D+02      0.270D+02
      0.270D+02      0.270D+02      0.270D+02      0.270D+02      0.270D+02
      0.270D+02      0.270D+02      0.270D+02      0.270D+02      0.270D+02
      0.270D+02      0.270D+02      0.270D+02      0.270D+02      0.270D+02
X/XA
      0.000D+00      0.333D+00      0.333D+00      0.333D+00      0.333D+00
      0.332D+00      0.333D+00      0.333D+00      0.333D+00      0.333D+00
      0.333D+00      0.320D+00      0.200D-01      0.333D+00      0.333D+00
      0.333D+00      0.333D+00      0.333D+00      0.333D+00      0.333D+00
      0.333D+00      0.333D+00      0.333D+00      0.333D+00      0.333D+00
  
```

例題 1 の結果 (2)

```

X***XA
      0.197D+05      0.197D+05      0.197D+05
      0.197D+05      0.197D+05      0.197D+05
      0.197D+05      0.197D+05      0.197D+05
X==XA
      0000
      0000
      0000
      0000
      0000
X> XA
      0000
      0000
      0000
      0000
      0000
X< XA
      003E
      003E
      003E
      003E
      003E
X>=XA
      0000
      0000
      0000
      0000
      0000
X<=XA
      003E
      003E
      003E
      003E
      003E
  
```

TEST 3.1 END

例題 2 ( 1 )

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0001

OM PTP;
DF 1;
  /**/
  /*** BIT PATTERN EXPRESSION TEST ***/
  /**/
TASK TEST33;
DCL TEST E;
DCL (I,IA) I;
DCL (J,JA) J5;
DCL (K,KA) K10;
DCL (E,EA) E;
DCL (F,FA) F;
DCL IB I;
DCL II I;
DCL B B:(IB,0);
  DCL B1 B:(IB,1);
  DCL B2 B:(IB,2);
  DCL B3 B:(IB,3);
  DCL B4 B:(IB,4);
  DCL B5 B:(IB,5);
  DCL B6 B:(IB,6);
DCL F0 F INIT(0.0F);
DCL F1 F INIT(0.0F);
DCL F2 F INIT(0.0F);
DCL F3 F INIT(0.0F);
DCL F4 F INIT(0.0F);
DCL F5 F INIT(0.0F);
TEST=3.3RE;
CALL :TTL:(TEST);
READ(4,FMTA)F,FA,II; FMTA*FORMAT(216,216,13);
B#F; BA#FA;
I#F; IA#FA;
J#F; JA#FA;
K#F; KA#FA;
E#F; EA#FA;
WRITE(5,FMTB); FMTB*FORMAT(/9H X<>II );
  F1# B<>II; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# I<>II; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# J<>II; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# K<>II; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# E<>II; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# F<>II; WRITE(5,FMT4) F1;
WRITE(5,FMTC); FMTC*FORMAT(/9H X<<II );
  F1=0.00F;
  F1# B<<II; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# I<<II; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# J<<II; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# K<<II; WRITE(5,FMT4) F1;

```

例題 2 ( 2 )

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0002

  F1# E<<II; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# F<<II; WRITE(5,FMT4) F1;
WRITE(5,FMTD); FMTD*FORMAT(/9H -X );
  F1=0.00F;
  F1# B; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# I; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# J; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# K; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# E; WRITE(5,FMT4) F1;
  F1# F; WRITE(5,FMT4) F1;
WRITE(5,FMTE); FMT*FORMAT(/9H X& XA );
  F1=0.00F;
  F2=0.00F;
  F3=0.00F;
  F4=0.00F;
  F5=0.00F;
-----
F0# B& BA; F1# B& IA; F2# B& JA; F3# B& KA; F4# B& EA; F5# B& FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# I& BA; F1# I& IA; F2# I& JA; F3# I& KA; F4# I& EA; F5# I& FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
-----
F0# J& BA; F1# J& IA; F2# J& JA; F3# J& KA; F4# J& EA; F5# J& FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# K& BA; F1# K& IA; F2# K& JA; F3# K& KA; F4# K& EA; F5# K& FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# E& BA; F1# E& IA; F2# E& JA; F3# E& KA; F4# E& EA; F5# E& FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# F& BA; F1# F& IA; F2# F& JA; F3# F& KA; F4# F& EA; F5# F& FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
-----
WRITE(5,FMTF); FMTF*FORMAT(/9H XI XA );
  F1=0.00F;
  F2=0.00F;
  F3=0.00F;
  F4=0.00F;
  F5=0.00F;
-----
F0# B! BA; F1# B! IA; F2# B! JA; F3# B! KA; F4# B! EA; F5# B! FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# I! BA; F1# I! IA; F2# I! JA; F3# I! KA; F4# I! EA; F5# I! FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
-----
F0# J! BA; F1# J! IA; F2# J! JA; F3# J! KA; F4# J! EA; F5# J! FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# K! BA; F1# K! IA; F2# K! JA; F3# K! KA; F4# K! EA; F5# K! FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# E! BA; F1# E! IA; F2# E! JA; F3# E! KA; F4# E! EA; F5# E! FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# F! BA; F1# F! IA; F2# F! JA; F3# F! KA; F4# F! EA; F5# F! FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
-----
WRITE(5,FEJC);
WRITE(5,FMTG); FMTG*FORMAT(/9H XI XA );

```

## 例題 2 (3)

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0003

F1=0.02F;
F2=0.02F;
F3=0.02F;
F4=0.02F;
F5=0.02F;
F0# B! BA; F1# B! IA; F2# B! JA; F3# B! KA; F4# B! EA; F5# B! FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# I! BA; F1# I! IA; F2# I! JA; F3# I! KA; F4# I! EA; F5# I! FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# J! BA; F1# J! IA; F2# J! JA; F3# J! KA; F4# J! EA; F5# J! FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# K! BA; F1# K! IA; F2# K! JA; F3# K! KA; F4# K! EA; F5# K! FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# E! BA; F1# E! IA; F2# E! JA; F3# E! KA; F4# E! EA; F5# E! FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# F! BA; F1# F! IA; F2# F! JA; F3# F! KA; F4# F! EA; F5# F! FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
WRITE(5,FMT4); FMT4"FORMAT(/9H X##XA );
F1=0.02F;
F2=0.02F;
F3=0.02F;
F4=0.02F;
F5=0.02F;
F0# B##BA; F1# B##IA; F2# B##JA; F3# B##KA; F4# B##EA; F5# B##FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# I##BA; F1# I##IA; F2# I##JA; F3# I##KA; F4# I##EA; F5# I##FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# J##BA; F1# J##IA; F2# J##JA; F3# J##KA; F4# J##EA; F5# J##FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# K##BA; F1# K##IA; F2# K##JA; F3# K##KA; F4# K##EA; F5# K##FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# E##BA; F1# E##IA; F2# E##JA; F3# E##KA; F4# E##EA; F5# E##FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
F0# F##BA; F1# F##IA; F2# F##JA; F3# F##KA; F4# F##EA; F5# F##FA;
WRITE(5,FMT3)F0,F1,F2,F3,F4,F5;
WRITE(5,FMT1); FMT1"FORMAT(/6H 'X')";
F1=0.02F;
F1# 'B'; WRITE(5,FMT4) F1;
F1# 'I'; WRITE(5,FMT4) F1;
F1# 'J'; WRITE(5,FMT4) F1;
F1# 'K'; WRITE(5,FMT4) F1;
F1# 'E'; WRITE(5,FMT4) F1;
F1# 'F'; WRITE(5,FMT4) F1;
CALL :END:(TEST);
EXIT;
FEJC" FORMAT(1H1,5/);
FMT3" FORMAT(10X,6(4X,216));
FMT4" FORMAT(33X,216);

```

## 例題 2 (4)

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0004

END;

```

## 例題 2 の入力

```

0123456789ABCDEFEDCBA9876543210 0 TEST 3,3 INPUT DATA

```

例題 2 の結果 ( 1 )

RTSL TEST 3.3

X<>II

0000000000000000  
2301000000000000  
2301000000000000  
2345670100000000  
2345670100000000  
23456789ABCDEF01

X<<II

0000000000000000  
2300000000000000  
2300000000000000  
2345670000000000  
2345670000000000  
23456789ABCDEF00

X

8000000000000000  
FEDC000000000000  
FEDC000000000000  
FEDCBA9800000000  
FEDCBA9800000000  
FEDCBA9876543210

X& XA

0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000

XI XA

8000000000000000	8000000000000000	8000000000000000	8000000000000000	8000000000000000	8000000000000000
8000000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000
8000000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000
8000000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000
8000000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000
8000000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000

例題 2 の結果 ( 2 )

XI XA

8000000000000000	8000000000000000	8000000000000000	8000000000000000	8000000000000000	8000000000000000
8000000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000
8000000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000
8000000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000
8000000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000
8000000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000	FFFF000000000000

X&&XA

0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000

'X'

0000000000000000  
0000000000000000  
0000000000000000  
0000000000000000  
0000000000000000  
0000000000000000

TEST 3.3 END

## 例題 3

```

RTSL COMPIL LIST ( ) VER-01 PAGE 0001

OM PTP;
DF 1;
/**/
/**/ MIXED EXPRESSION TEST /**/
/**/
TASK TEST34;
TEST=3.4DE;
CALL :TTL:(TEST);
DO I=0,7,1,BEGIN
    J=B:(I,2)*100+B:(I,1)*10+B:(I,0)*1;
    WRITE(5,FMT1)I,J;
END;
CALL :END:(TEST);
EXIT;
FMT1=FORMAT('I3,I5,');
END;

```

## 例題 3 の結果

```

RTSL TEST 3.4
-----
0 0
-----
1 1
-----
2 10
-----
3 11
-----
4 100
-----
5 101
-----
6 110
-----
7 111
-----
TEST 3.4 END
-----
-----
-----
-----

```

## 例題 4

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0001

OM PTP;
    DF 1 ;
    /**/
    /**/ INDIRECT,INDEX EXPRESSION TEST,/**/
    /**/
TASK TEST35;
TEST=3.50E;
CALL :TTL:(TEST);
GO TO START;
ASM;
1; 10
11; 11
12; 12
13; 13
10; 0
11; 5
12; 4
12; 1
2
3
13; 12+2
12+3
11+1
;; :END
END ;
START*
J=A:(10); WRITE(5,FMT1)J;
J=11; WRITE(5,FMT2)J;
J=#1; WRITE(5,FMT3)J;
J=1#7; WRITE(5,FMT4)J;
J=#((1#2)+1); WRITE(5,FMT5)J;
J=#(1+5); WRITE(5,FMT6)J;
J=#(#((1#3)+2)); WRITE(5,FMT7)J;
CALL :END:(TEST);
EXIT;
FMT1" FORMAT(2X,13H:A:(10) ,24,/)
FMT2" FORMAT(2X,13H1 ,24,/)
FMT3" FORMAT(2X,13H#1 ,15,/)
FMT4" FORMAT(2X,13H1#7 ,15,/)
FMT5" FORMAT(2X,13H#((1#2)+1) ,15,/)
FMT6" FORMAT(2X,13H#(1+5) ,15,/)
FMT7" FORMAT(2X,13H#(#((1#3)+2)),15,/)
END;

```

## 例題 4 の結果

```

RTSL TEST 3.5
A:(10) 3116
1 3116
#1 0
1#7 1
#((1#2)+1) 2
#(1+5) 3
#(#((1#3)+2)) 4

TEST 3.5 END

```

例題 5 (1)

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0001

DM PTP;
      DF 1 ;
      /*** BUILT-IN FUNCTION TEST ***/
TASK TEST4;
      /**/
      /**/
DCL JX J14;
DCL JY J14;
DCL JZ J14;
DCL J11 J11;
DCL R0 J15;
DCL P I;
DCL R1 J15;
DCL KX K17;
DCL KY K17;
DCL KZ K17;
DCL FX F;
DCL FY F;
DCL FZ F;
TEST=0.10E;
CALL :YTL:(TEST);
      READ (4,FMT0)X,Y,Z,I,E,R1;
      WRITE(5,FMT1)X,Y,Z,I,E,R1;
      IX=X; IY=Y; IZ=Z;
      JX=X; JY=Y; JZ=Z; J11=X;
      KX=X; KY=Y; KZ=Z;
      EX=X; EY=Y; EZ=Z;
      FX=X; FY=Y; FZ=Z;
      WRITE(5,FMT);
      EJ=SIN (JX); EE=SIN (EX); FF=SIN (FX); WRITE(5,FMT2)EJ,EE,FF;
      EJ=COS (JX); EE=COS (EX); FF=COS (FX); WRITE(5,FMT3)EJ,EE,FF;
      EJ=ATAN(D.9990J14);
      EE=ATAN(EX); FF=ATAN(FX); WRITE(5,FMT4)EJ,EE,FF;
      EJ=EXP (JX); EE=EXP (EX); FF=EXP (FX); WRITE(5,FMT5)EJ,EE,FF;
      EE=SINH(EX); FF=SINH(FX); WRITE(5,FMT6) EE,FF;
      EE=COSH(EX); FF=COSH(FX); WRITE(5,FMT7) EE,FF;
      EJ=LOG(J11); EE=LOG (EX); FF=LOG (FX); WRITE(5,FMT8)EJ,EE,FF;
      EJ=SQRT(JX); EE=SQRT(EX); FF=SQRT(FX); WRITE(5,FMT9)EJ,EE,FF;
      II=ABS(-IX); EJ=ABS(-JX); EK=ABS(-KX);
      EE=ABS(-EX); FF=ABS(-FX);
      WRITE(5,FMTA)II,EJ,EK,EE,FF;
      II=MOD(IX,IY); EJ=MOD(JX,JY); EK=MOD(KX,KY);
      EE=MOD(EX,EY); FF=MOD(FX,FY);
      WRITE(5,FMTB)II,EJ,EK,EE,FF;
      II=MAX(IX,IY,IZ); EJ=MAX(JX,JY,JZ); EK=MAX(KX,KY,KZ);
      EE=MAX(EX,EY,EZ); FF=MAX(FX,FY,FZ);
      WRITE(5,FMTC)II,EJ,EK,EE,FF;
      II=MIN(IX,IY,IZ); EJ=MIN(JX,JY,JZ); EK=MIN(KX,KY,KZ);

```

例題 5 (2)

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0002

      EE=MIN(EX,EY,EZ); FF=MIN(FX,FY,FZ);
      WRITE(5,FMTD)II,EJ,EK,EE,FF;
      II=LIMIT(IX,IY,IZ); EJ=LIMIT(JX,JY,JZ); EK=LIMIT(KX,KY,KZ);
      EE=LIMIT(EX,EY,EZ); FF=LIMIT(FX,FY,FZ);
      WRITE(5,FMTE)II,EJ,EK,EE,FF;
      II=DBND (IX,IY,IZ); EJ=DBND (JX,JY,JZ); EK=DBND (KX,KY,KZ);
      EE=DBND (EX,EY,EZ); FF=DBND (FX,FY,FZ);
      WRITE(5,FMTF)II,EJ,EK,EE,FF;
      II=TRANS1(I); WRITE(5,FMTG)II;
      II=TRANS0(E); WRITE(5,FMTH)II;
      R0=0; P=0;
      DO I=1,10000,1,BEGIN
      P=P+(R0#R0#R1#R1(C.25#K30)#1;
      R0=R1; R1=RANDOM(R1); END;
      S=16.00E#P/10000.0E;
      WRITE(5,FMTI)S;
CALL :END:(TEST);
EXIT;
FMT0" FORMAT(3(F5.2),Z4,Z8,Z4);
FMT" FORMAT(22X,1H1,8X,1HJ,12X,1HK,13X,1HE,16X,1HF);
FMT1"FORMAT (3H X=,F5.2,/
3H Y=,F5.2,/
3H Z=,F5.2,/
3H I=,X,Z4,/
3H E=,X,Z8,/
3H R=,X,Z4,///);
FMT2"FORMAT(/5X,11HSIN (X) , F18.4, F27.6,F22.16);
FMT3"FORMAT(/5X,11HCOS (X) , F18.4, F27.6,F22.16);
FMT4"FORMAT(/5X,11HATAN(X) , F18.4, F27.6,F22.16);
FMT5"FORMAT(/5X,11HEXP (X) , F18.4, F27.6,F22.16);
FMT6"FORMAT(/5X,11HSINH(X) , F45.6,F22.16);
FMT7"FORMAT(/5X,11HCOSH(X) , F45.6,F22.16);
FMT8"FORMAT(/5X,11HLOG(X) , F18.4, F27.6,F22.16);
FMT9"FORMAT(/5X,11HSQRT(X) , F18.4, F27.6,F22.16);
FMTA"FORMAT(/5X,11HABS(-X) ,17,F11.4,F15.9,F12.6,F22.16);
FMTB"FORMAT(/5X,11HMOD(X,Y) ,17,F11.4,F15.9,F12.6,F22.16);
FMTC"FORMAT(/5X,11HMAX(X,Y,Z) ,17,F11.4,F15.9,F12.6,F22.16);
FMTD"FORMAT(/5X,11HMIN(X,Y,Z) ,17,F11.4,F15.9,F12.6,F22.16);
FMTE"FORMAT(/5X,12HLIMIT(X,Y,Z) ,16,F11.4,F15.9,F12.6,F22.16);
FMTF"FORMAT(/5X,12HDBND (X,Y,Z) ,16,F11.4,F15.9,F12.6,F22.16);
FMTG"FORMAT(/5X,12HTRANS1(I) ,16);
FMTH"FORMAT(/5X,12HTRANS0(E) ,16);
FMTI"FORMAT(/5X,12HRANDOM(R) ,F15.2);
END;

```

## 例題5の入力

```
1.00 1.50 1.75   DFEDCBA981234   TEST 4 INPUT DATA
```

## 例題5の結果

```
RTSL TEST 4.1
```

```
X= 1.00
Y= 1.50
Z= 1.75
I= 0000
E= FEDCBA98
R= 1234
```

	I	J	K	E	F
SIN (X)		0.8415		0.841471	0.8414710000000000
COS (X)		0.5402		0.540302	0.5403022000000000
ATAN(X)		0.7853		0.785398	0.7853981000000000
EXP (X)		2.7180		2.718276	2.7182810000000000
SINH(X)				1.175198	1.1752000000000000
COSH(X)				1.543078	1.5430800000000000
LOG(X)		0.0000		0.000000	0.0000000000000000
SQRT(X)		1.0000		1.000000	1.0000000000000000
ABS(-X)	1	1.0000	1.0000000000	1.000000	1.0000000000000000
MOD(X,Y)	1	1.0000	1.0000000000	1.000000	1.0000000000000000
MAX(X,Y,Z)	2	1.7500	1.7500000000	1.750000	1.7500000000000000
MIN(X,Y,Z)	1	1.0000	1.0000000000	1.000000	1.0000000000000000
LIMIT(X,Y,Z)	2	1.5000	1.5000000000	1.500000	1.5000000000000000
DBND (X,Y,Z)	-1	-0.5000	-0.5000000000	-0.500000	-0.5000000000000000
TRNSI(I)	-1				
TRNSO(E)	7				
RANDOM(R)		3.20			
TEST 4.1 END					



## 例題 6 (1)

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0001

OM PTP;
DF 1;
  /**/
  /**/ DATA STATEMENT TEST /**/
TASK TEST26;
DCL J JB;
  DCL (X,Y,Z) JB;
  DCL (A1,A2,A3,V) E;
  TEST=2.60E;
  CALL :TIL:(TEST);
  J=3.40JB;
  A1=J; V=F1(J)JB;
  WRITE(5,FMT1)A1,V;
  X=-0.34JB;
  Y=56.78JB;
  A1=X; A2=Y; V=F2(X,Y)JB;
  WRITE(5,FMT2)A1,A2,V;
  X=0.34JB;
  Y=5.67JB;
  Z=1.23JB;
  A1=X; A2=Y; A3=Z; V=F3(X,Y,Z)JB;
  WRITE(5,FMT3)A1,A2,A3,V;
CALL :END:(TEST);
EXIT;
FMT1=FORMAT(2X,F5.2,25X, F6.1);
FMT2=FORMAT(2X,F5.2,3X,F8.2,16X, F6.1);
FMT3=FORMAT(2X,F5.2,3X,F8.2,3X,F6.2,7X,F6.1);
END;

```

## 例題 6 (2)

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0001

OM PTP;
  /**/
  /**/ DATA STATEMENT TEST /**/
  /**/
FUNCTION F1(X);
DCL F1 J;
DCL X JB;
  DATA 3.0JB 3.0JB,
        4.0JB 4.0JB,
        5.0JB 5.0JB;
END;

```

## 例題 6 (3)

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0001

OM PTP;
  /**/
  /**/ DATA STATEMENT TEST /**/
  /**/
FUNCTION F2(X,Y);
DCL F2 J;
DCL (X,Y) JB;
  DATA -1.0JB -20.0JB -21.0JB,
        50.0JB 49.0JB,
        60.0JB 59.0JB,
        70.0JB 69.0JB,
        0.0JB " -20.0JB,
        50.0JB,
        60.0JB,
        70.0JB,
        5.0JB " -15.0JB,
        55.0JB,
        65.0JB,
        75.0JB;
END;

```

例題 6 ( 4 )

```

RTSL COMPILE LIST (      )          VER-01          PAGE 0001

  /**/
OM PTP;
  /**/ DATA STATEMENT TEST /**/
  /**/
  FUNCTION F3(X,Y,Z);
  DCL F3 J7;
  DCL (X,Y,Z) J8;
  DATA 0.02J8 3.02J8 1.02J8 4.02J7,
        2.02J8 5.02J7,
        4.02J8 7.02J7,
        6.02J8 " 7.02J7,
        8.02J7,
        10.02J7,
        1.02J8 " " 5.02J7,
        6.02J7,
        8.02J7,
        " 8.02J7,
        9.02J7,
        11.02J7;
  ENDI
  
```

例題 6 の結果

```

RTSL TEST 2.6
  3.40
-0.34 56.78 3.4
  0.34 5.67 1.23 56.4
  7.2
TEST 2.6 END
  
```

## 例題 7 (1)

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0001

OM PTP:
-----
      DE 1 :
/ ** /
/ *** TOTAL TEST 1 (NUMERICAL INTEGRATION) *** /
/ ** /
TASK TEST71:
DCL A(2,2) E;
DCL H E;
DCL K10 E;
DCL X0(2) E;
DCL U(2) E;
DCL DU(2) E;
DCL V(2) E;
DCL DV1(2) E;
DCL DV2(2) E;
DCL Y(2) E;
DCL Y1(2) E;
DCL Y2(2) E;
DCL Y3(2) E;
DCL W(2) E;
DCL Q1(2) E;
DCL Q2(2) E;
DCL Q3(2) E;
DCL Q4(2) E;
DCL R1(2) E;
DCL R2(2) E;
DCL R3(2) E;
DCL R4(2) E;
DCL Z(2) E;
DCL EXP:AM(2,2) E;
DCL AH:K(11,2,2) E;
DCL TEM E;
DCL OB(133) I;
FUNCTION F(K,X);
DCL F E;
DCL K I;
OCL X(2) E;
F=A(K,0)*X(0)+A(K,1)*X(1);
RETURN;
END;
TEST=7.10E;
CALL :TTL:(TEST);
WRITE(5,F00);
READ( 4,F10)A,X0,H,N; /*READ
PARAMETERS#/
WRITE(5,F20) A(0,0),A(0,1),X0(0),A(1,0),A(1,1),X0(1),H,N;
WRITE(5,F30);
DO K=0,1,1,BEGIN /*INITIATE#/

```

## 例題 7 (2)

```

RTSL COMPILE LIST ( ) VER-01 PAGE 0002

      U(K)=X0(K);
      V(K)=X0(K); DV1(K)=0.00E;
      Q4(K)=0.00E; Y(K)=X0(K);
      Z(K)=X0(K);
      END;
DO J=0,1,1,
DO K=0,1,1,BEGIN
      AH(K(0,J,K)=(J==K)*1.0E;
      EXP:AH(J,K)=(J==K)*1.0E;
      END;
DO I=1,10,1,
DO J=0,1,1,
DO K=0,1,1,
      AH(K(I,J,K)=(AH(K(I-1,J,0)*A(0,K)
      +AH(K(I-1,J,1)*A(1,K))*H)/I;
DO I=1,10,1,
DO J=0,1,1,
DO K=0,1,1,
      EXP:AH(J,K)=EXP:AH(J,K)+AH(K(I,J,K);
DO M=1,N,1,BEGIN /*INTEGRATE#/
CALL OBINIT(OB);
DO X=0,1,1, /*EULER#/
      DU(K)=H*F(K,U);
DO K=0,1,1,
      U(K)=U(K)+DU(K);
CALL OBSET(U(1),2H1 @1,OB);
DO K=0,1,1, /*MOD.
      EULER#/
      DV2(K)=DV1(K);
DO K=0,1,1,
      DV1(K)=H*F(K,V);
DO K=0,1,1,
      V(K)=V(K)+1.50E*DV1(K)-0.50E*DV2(K);
CALL OBSET(V(1),2H2 @1,OB);
K10=0.29289320E; /*RUNGE
      -KUTTA
      -GILL#/
DO K=0,1,1,BEGIN
      R1(K)=H*F(K,Y);
      W(K)=0.50E*R1(K)-Q4(K);
      Y1(K)=Y(K)+W(K);
      Q1(K)=Q4(K)+3.00E*W(K)-0.50E*R1(K);END;
DO K=0,1,1,BEGIN
      R2(K)=H*F(K,Y1);
      W(K)=K10*(R2(K)-Q1(K));
      Y2(K)=Y1(K)+W(K);
      Q2(K)=Q1(K)+3.00E*W(K)-K10*R2(K);END;
DO K=0,1,1,BEGIN

```



## 例題 7 (7)

```

RTSL COMPIL LIST ( ) VER-01 PAGE 0001

DN PTP;
      /N COMMON SUBROUTINE */
SUBROUTINE :END:(1);
  DCI I E;
  WRITE(5,FMT)I;
  RETURN;
FMT=FORMAT(1H0,4HTEST,2X,F3.1,5H END);
END;

```

## 例題 7 の入力

-1.0	TEST 7.1 INPUT DATA
12.5664	TEST 7.1 INPUT DATA
-12.5664	TEST 7.1 INPUT DATA
-1.0	TEST 7.1 INPUT DATA
1.0	TEST 7.1 INPUT DATA
0.	TEST 7.1 INPUT DATA
0.01	TEST 7.1 INPUT DATA
100	TEST 7.1 INPUT DATA

## 例題 7 の結果

RTSL TEST 7.1

SECOND ORDER LINEAR DIFFERENTIAL EQUATION

$$\dot{x}_1 = -1.0000x_1 - 12.5664x_2 \quad x_1(0) = 1.0000$$

$$\dot{x}_2 = 12.5664x_1 - 1.0000x_2 \quad x_2(0) = 0.0000$$

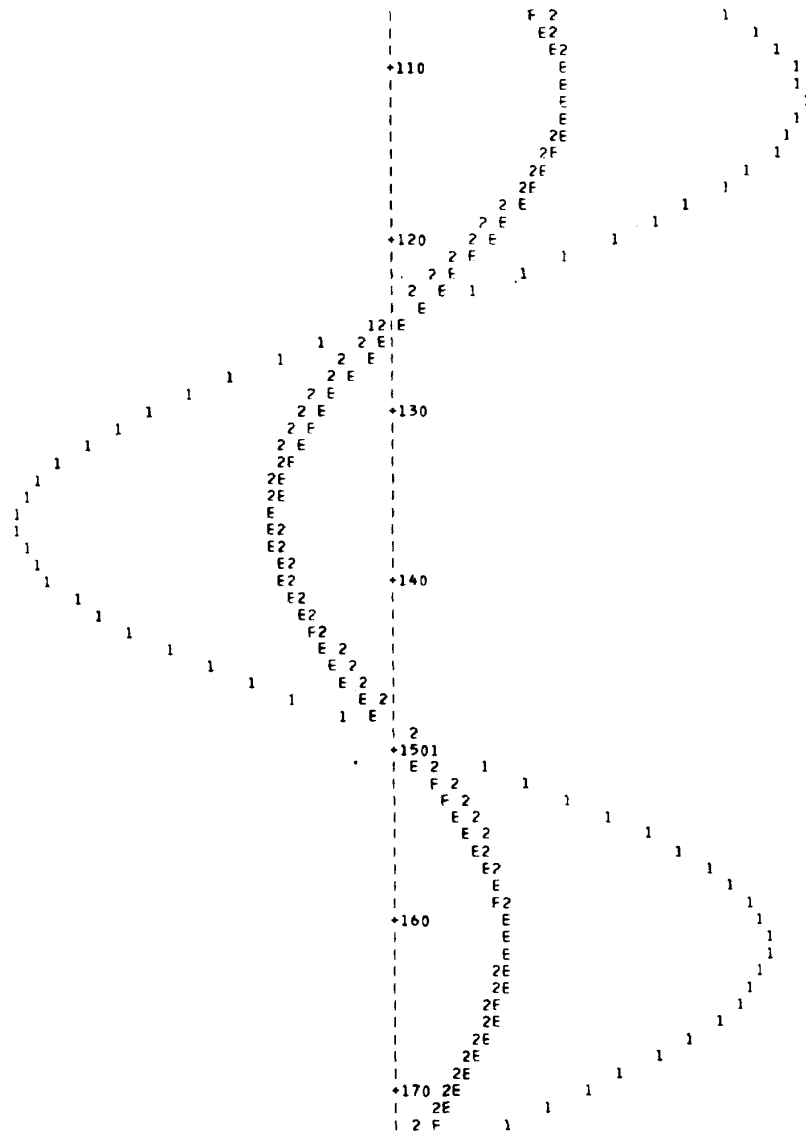
H= 0.0100

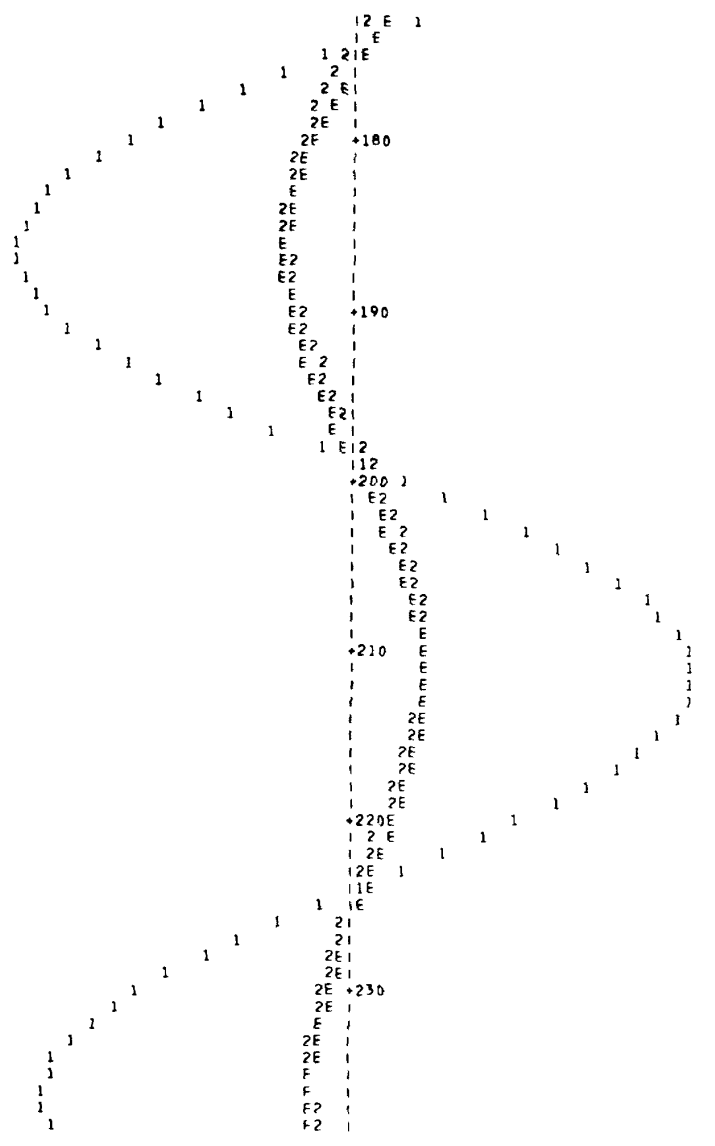
N=300

SOLUTION

1 BY EULER  
 2 BY MOD. EULER  
 R BY RUNGE-KUTTA- GILL  
 E EXACT











## 付録 4

## FSPPのLEPパラメータ

//EXEC LEP

//CTRL \*

MD,1,

WS,1,

ET,

JS,FSPP,FSPP,LB,CACDMODL,

CS,1,84,42,21,8

CS,2,2,2,2,1

TS,F000,1,37,1

TS,F010,1,36,1

TS,F020,1,35,1

TS,F030,1,34,1

TS,F040,1,33,1

TS,F050,1,32,1

TS,F055,1,0F,0

TS,F056,1,0E,1

TS,F060,1,1F,1

TS,F100,1,3D,1

TS,F101,1,3C,1

TS,F102,1,3B,1

TS,F103,1,3A,1

TS,F104,1,39,1

TS,F105,1,38,1

TS,F106,1,1E,1

TS,F110,1,1D,1

TS,F130,2,3E,1

TS,F132,2,3D,1

TS,F134,2,3C,1

TS,F150,1,3E,1

TS,F300,1,0D,1

TS,F320,1,2F,1

TS,F340,1,0C,1

TS,F400,1,29,1

TS,E003,1,2E,1

TS,E100,1,2D,1

TS,E103,1,2C,1

TS,E104,1,2B,1

TS,E111,1,1C,1

TS,E120,1,1B,1

TS,E121,1,2A,1

TS,E130,1,19,1

TS,E140,1,0B,1

TS,E144,1,0A,1

TS,E160,1,28,1

TS,E170,1,09,1

TS,A000,2,3F,1

TS,A010,1,27,1

TS,A020,2,3B,1

TS,A030,1,1A,1

TS,A040,1,3F,1

TS,PENREC,1,31,1

LS, DIWORD,DI,10F

LS, DWA], AI,80

LS, DSA], AI,81

LS, DPA], AI,82

LS, FWCA], AI,86

LS, FSCA], AI,87

LS, FPCA], AI,88

LS, DTAA], AI,89

LS, SFRLA], AI,8A

LS, DTTRA], AI,8B

LS, FLP, AI,8D

LS, DT1, AI,8E

LS, DT2, AI,8F

LS, PAIM, AO,80

LS, THETM, AO,81

LS, VIAO, AO,83

LS, HPAO, AO,85

LS, PAIAO, AO,86

LS, THAO, AO,87

LS, PSIAO, AO,88

LS, RBAO, AO,89

LS, RAAO, AO,8A

LS, RCAO, AO,8B

LS, FWAO, AO,8F

LS, FSAO, AO,90

LS, FPAO, AO,91

LS, PA1VD1, AO,92

LS, THEVD1, AO,93

LS, PSIVD1, AO,94

LS, PA1VD2, AO,95

LS, THEVD2, AO,96

LS, PSIVD2, AO,97

LS, XVD2, AO,98

LS, YVD2, AO,99

LS, ZVD2, AO,9A

LS, EPRAO, AO,FO

LS, EPLAO, AO,F1

LS, N2RAO, AO,F2

LS, N2LAO, AO,F3

LS, EGRAO, AO,F4

LS, EGLAO, AO,F5

LS, WF2, AO,F6

LS, WF3, AO,F7

LS, PN12, AO,F8

LS, PN13, AO,F9

LS, REC1:0, AO,E0

LS, REC1:1, AO,E1

LS, REC1:2, AO,E2

LS, REC1:3, AO,E3

LS, REC1:4, AO,E4

LS, REC1:5, AO,E5

LS, REC1:6, AO,E6

LS, REC1:7, AO,E7

LS, REC2:0, AO,E8

LS, REC2:1, AO,E9

LS, REC2:2, AO,EA

LS, REC2:3, AO,EB

LS, REC2:4, AO,EC

LS, REC2:5, AO,ED

LS, REC2:6, AO,EE

LS, REC2:7, AO,EF

LS, GRSW,DI,CO

ES

PN,

PR,

RD,FSPP,

LD,

EX,

---

## 航空宇宙技術研究所報告 553 号

昭和 53 年 12 月 発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺町 1880  
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)☎182

印刷所 株式会社 東京プレス  
東京都板橋区桜川 2-27-12

---

**Printed in Japan**