

# 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

原田公一, 堀川勇壮, 渡辺 顯, 名越孝行  
(航空宇宙技術研究所)

## 1. はじめに

本システム (FSK-II) は汎用飛行シミュレータ用計算機として開発されたミニコン5台からなる複合計算機である。(図1)

その概略は、既に昭和50年3月、本研究会で報告しているが(1), (2), (3)、具体的なオペレーティング・システムの機能、運転および応用例について詳述していない。

その後、大型ジェット機のフライト・シミュレーション (FSPP<sup>1)</sup>) を実施し、さらにシミュレーション言語 (RTSL) が完成するにおよび、しだいに経験が蓄積されてきた。

本文では、その後の進展、オペレーティング・システムの構成、運転の方法および、その応用としてのフライト・シミュレーション・プログラムの構成を具体例をまじえて報告する。

FSK-IIは、複合計算機とシミュレータ用計算機としての特殊性を両方もっている。

その特徴は、

- 1) NO. 0の計算機に System Control Program (SCP) を入れ、ジョブの管理を行なう。
- 2) シミュレーション・プログラムはNO. 1~4計算機内の Real Time System Monitor (RTSM) の下に動作する。(図2)
- 3) 実時間シミュレーション時には、SCPが、各計算機間の同期を10msごとに取り、計算機間のデータ転送を行なう。
- 4) 計算機間のデータ転送をHSBCを用い、1対多で行なう。
- 5) 入出力機器と計算機はデバイス・セレクタで接続される。

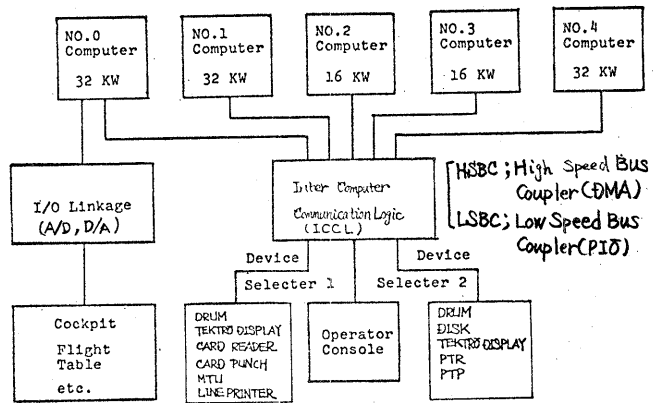


図1. FSK-IIの構成

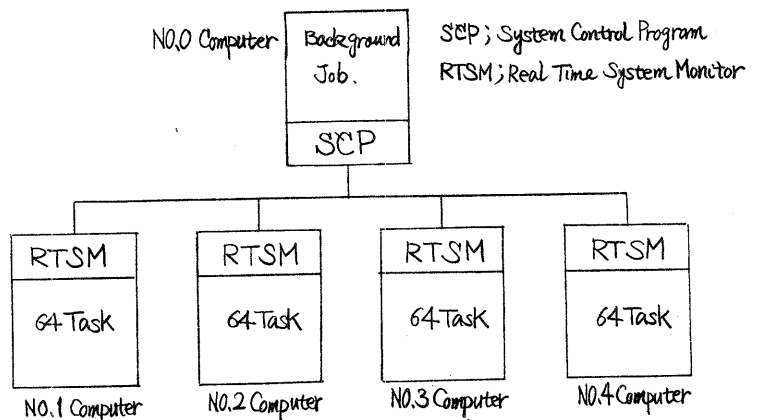


図2. モニタの構成

等である。

## 2. オペレータ・コンソール

オペレータ・コンソールを図3に示す。

それは

サイドコントロールパネル(左側面)

システムディスプレイパネル(左上)

システムコントロールパネル(左下)

でRT(中央)

データリードアンドセットパネル(右)から構成されている。

### 2.1 サイドコントロールパネル(図4)

使用する計算機を指定し、グルーピングを行なう。

その理由は、複数のユーザーがシステムの計算機を分割して使用する場合、互いに干渉しないようにハードウェアで保護するためである。

さらに、デバイス・セクタを手動で任意の計算機に接続できるロータリースイッチがある。

### 2.2 システム・ディスプレイパネル

各計算機の状態(RUN, ERROR, POWER)およびデバイス・セクタの接続状態を表示し、システム全体に電力を供給するスイッチがある。

### 2.3 システム・コントロールパネル

各計算機に対応したコンピュータ・コントロール・ユニットとファンクション・スイッチに分れる。

#### 1) コンピュータ・コントロール・ユニット(図5)

各計算機のパワー、IPLスイッチを取出し、集中させている。

さらに、必要に応じて、このパネルより取りはずし、ファンクション・スイッチと共に、リモート・コントロール・ボックスに組み込み、持ち運びができる。

#### 2) ファンクション・スイッチ(図6)

15種のファンクション・スイッチを箱えてあり、SCP下のタスクとして処理され、その各機能および動作については後述する。

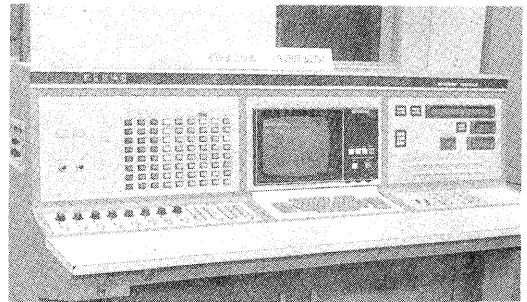


図3. オペレータ・コンソール

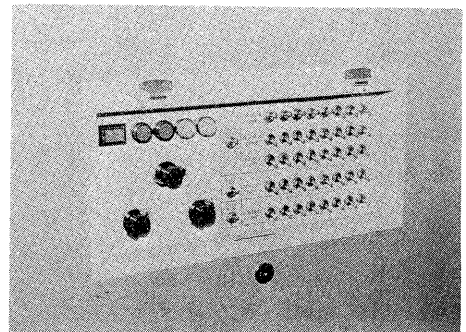


図4. サイド・コントロール・パネル

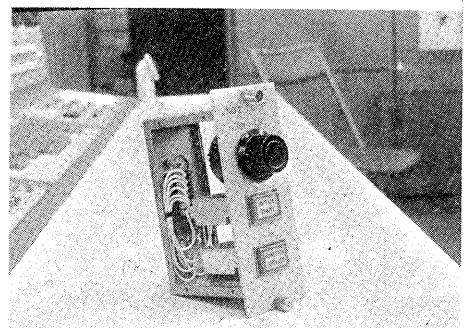


図5. コンピュータ・コントロール・ユニット

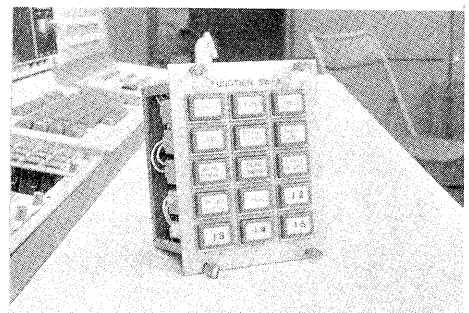


図6. ファンクション・スイッチ

## 2.4 CRT

シミュレーションの状態を表示する。

## 2.5 データ・リード・アンド・セット・パネル

16進数・10進数で計算機内の情報を読み書きする時に用いる。

## 3. システムの起動とジョブ制御

### 3.1 起動

オペレータ・コンソールで使用する計算機の組合せを指定し、システム・コントロール・パネルから各計算機に電源を入れ、ドラムをNO.0計算機に接続する。

各計算機のIPLスイッチを押すと、NO.0計算機はドラムより、システムジェネレータを読み込む。他計算機は、ダミーランとなる。

以後、ユーザーは、必ずとするプログラムをテクトロ・ディスプレイから指定できる。通常「SCP」を指定することにより、本システムのために開発したオペレーティング・システムが、ドラムより、NO.0計算機に読み込まれる。

次に、このシステムに対するコマンドの入力機器を指定する。図7にカード・リーダより、以後のコマンドが入力される場合を示す。

コマンドはジョブ制御命令であり、次の種類がある。

- 1) RTSL (Simulation 用言語のコンパイル)
- 2) LEP (複合計算機用リンク・ローダ)
- 3) FILE (ファイル・メンテナンス)
- 4) DATA (メモリ・ダンプとモディファイ)
- 5) EDIT (文字列の編集)
- 6) LOAD (単体計算機用のローダ)

実時間シミュレーションは、LEPでプログラムをロードした後動作するので、LEPの項で述べる。また、ここでは、RTSL、LEPの起動について述べる。SCPと各プログラム間の関係を図8に示す。

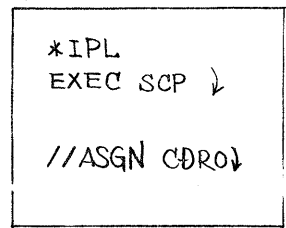


図7. SCPとシステム  
インプットの指定

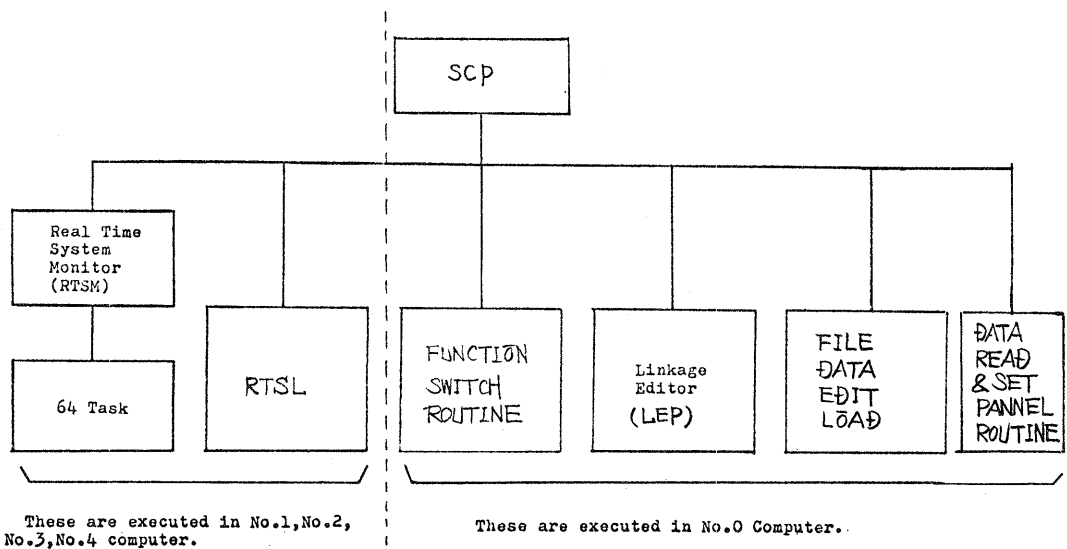


図8. ソフトウェアの構成

### 3.2 RTSLの起動

RTSLは、米国のLINK-GroupがSDS Sigma 5/7 で実現したシミュレータ用数式モデルを記述する言語「SOFT」を基に、それを発展させ、FSK-IIで実現したシミュレーション用言語である。

その特徴を次に示す。

- 1) 固定小数点の実数を扱うことができる。
- 2) 論理演算と数値演算を混合して簡潔に記述できる。(図9)
- 3) 数表からなる関数を簡潔に記述できる。これは、風洞実験や飛行試験から得られたデータをそのままの型で使用しやすくするためである。(図10)
- 4) 固定小数点数を扱うため、小数点の位置をプログラムで動かすことができる。

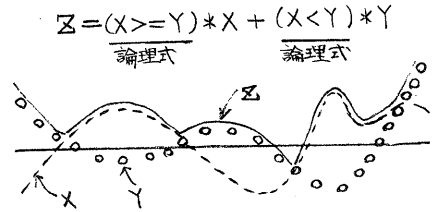


図9. 数理混合式の記述例。

RTSLの詳細は、いずれ報告する機会もあるであろうから、ここではこれ以上触れない。

ジョブ「LEP」, 'FILE' 等は、NO. 0 計算機の後半16KWで実行されるが、RTSLは記憶容量のため、さらに、その一部に市販のアセンブラを、できるだけ、そのまま使用するため、NO. 1/4 計算機で実行する。

その手順は次の通りである。

- 1) RTSLが指定されると、SCPは、NO. 0 計算機にドラムからジェネレータを讀出す。(図11)
- 2) 指定した計算機に、それをHSBCを通して転送する。
- 3) IPLでダミーランになっているループを解くデータをSCPから送る。
- 4) ループから出た制御はジェネレータに移る。
- 5) ジェネレータは自分の計算機にデバイス・セレクトを持續し、ドラムから、RTSL

RTSL COMPILE LIST ( )				VER-01
/ ** /				
OM PTP;				
/ *** DATA STATEMENT TEST *** /				
/ ** /				
FUNCTION F3(X,Y,Z);				
DCL F3 J7;				
DCL (X,Y,Z) J8;				
DATA	0,0@J8	3,0@J8	1,0@J8	4,0@J7,
			2,0@J8	5,0@J7,
			4,0@J8	7,0@J7,
		6,0@J6	"	7,0@J7,
				8,0@J7,
				10,0@J7,
	1,0@J8	"	"	5,0@J7,
				6,0@J7,
				8,0@J7,
			"	8,0@J7,
				9,0@J7,
				11,0@J7;
END;				

図10. RTSLによる3変数関数のテーブル記述例。

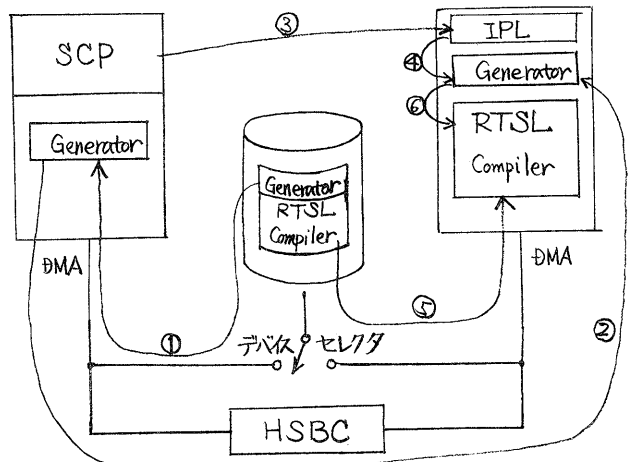


図11. RTSLの実行

コンパイラを誂出す。

6) 制御をコンパイラに移し、接続された入力機器より、ソース・プログラムを誂込み、処理に入る。

7) 必要に応じて、ドラムより次のフェーズのプログラムを誂出し、処理を続ける。

RTSLには、次の3フェーズがあり、その間のデータ受渡しには、ディスクを用いている。

a. フェーズ1

文法チェック  
および中間言語への翻訳。

b. フェーズ2

中間言語からアセンブル言語への変換。

c. フェーズ3

アセンブルおよびオブジェクトプログラムの出力。

7) 処理が終了すると、SCPに知らせる。

8) SCPは、デバイス・セクタを自身に接続し、次のジョブ制御を待つ。

図12にRTSLのジョブ制御の例を示す。

3.3 LEPの起動

RTSLから得られたオブジェクト・プログラムは単体計算機用のプログラムであり、これらを結合し、かつ複合計算機に適したロード・モジュールを作製するのがLEPの役割である。

その動作の詳細は文献3に記されているので、ここでは、LEPを起動するためのパラメータを図17に示す。

LEPで生成したロード・モジュールは、次のものである。

1) NO、0計算機のコアイメージ---各計算機のコアイメージに関する制御情報・計算機間のデータ転送を行う制御情報等。

2) RTSMの下で動作する応用プログラムのコアイメージ

3) 各シンボルのアドレスを示すシンボル・テーブル

2)と3)は生成時ディスクに格納されているが、LEPの'LD'命令で、2)は各計算機にNO、0計算機を経由して転送されRTSMの制御を受け、3)はドラムに移され、次に述べる理由により、SCPの管理を受ける。

LEPで生成されたロード・モジュールは、次の情報を欠いている。

・各変数の属性(浮動/固定小数点数, 小数点の位置, 単/倍精度等)

・入出力を実行する手段

したがって、初期値を設定し、また演算結果を確認する方法をSCPに持たせた。

ここで、用意したテーブルとファンクション・スイッチの主なものを述べる。

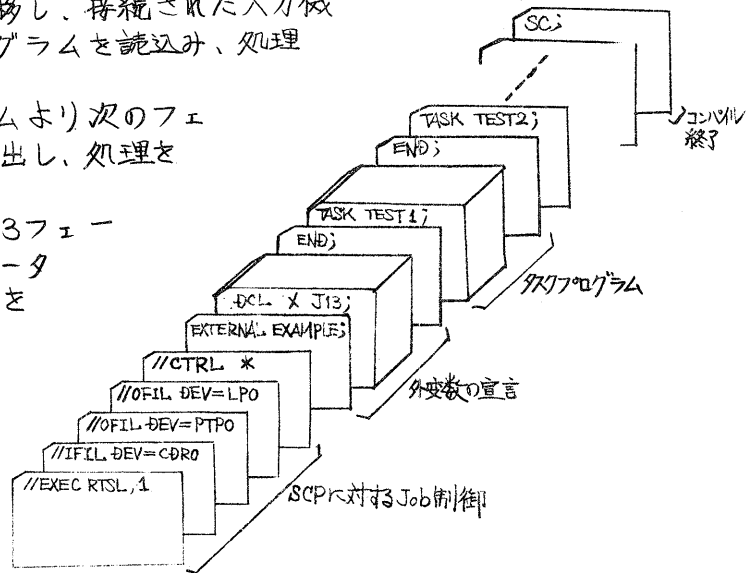


図12. RTSLのジョブ制御例

(1) テーブル

これらのテーブルは、シンボル・テーブルと同じく、ドラムに格納され、SCPによって参照される。

a) 属性テーブル(図13)

変数の属性を記述したテーブルである。

図13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。同様に'QA'は単精度固定小数点変数であることを示す。

b) READYテーブル(図14)

演算回数、変数の初期値を記述したテーブルである。

c) HOLDテーブル(図15)

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。

BLK READY	
-1	
READY	=0
HD	=0
DL	=0
TEST	=0
HAI	=0
HTHVI	=0
IWE	=0
IX	=0
IY	=0
IZ	=0
IHPD	=0
IHP	=0
/#	

図14、READYテーブル

BLK ATTRIBUTE	
DCL FXA	K+10;
DCL FYA	K+10;
DCL FZA	K+10;
DCL MXA	K+04;
DCL MYA	K+04;
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 :UET	K+18;
DCL :VET	K+18;
DCL :WET	K+18;
DCL INITIAL	;
DCL START	;
/#	

図13、属性テーブル

BLK HOLD	
B	
S	
C	
UW	
LMG	
SNMAX	
K1	
K2	
K3	
K4	
I11	
I21	
KCL1	
KCM3	
KCY1	
/#	

図15、HOLDテーブル

(2) ファンクション・スイッチ

LEPでロードされたロード・モジュールはSCP・RTSMの下で動作する。

前述のテーブルとファンクション・スイッチを組合せ、シミュレーションの初期値設定・演算結果の出力に用いる。

SCPは、ファンクション・スイッチの対応する処理プログラムやテーブルをドラムより読み込み処理する。以下に各機能を述す。

a) READY

READYテーブルとシンボル・テーブル、属性テーブルより変数およびRTSMの初期設定を行なう。

これにより、シミュレーションの準備ができる。

b) OPERATE

READYテーブルに記された回数だけ、10ms間隔で同期信号をRTSMに発信し、シミュレーションが実行される。

c) HOLD

HOLDテーブルに指定された変数の値をドラムに退避し、シミュレーションを停止する。

d) READ (CARD)

ロード・モジュールには乗算ない属性テーブル・READYテーブル・HOLDテーブルを読み込み、ドラムに格納する。

e) PRINT (HOLD)

HOLDで、HOLDテーブルに指定された変数値は、ドラムに格納される。この値を印字する。

その他、実時間シミュレーションに必要なファンクション・スイッチ。

f) LINK

複数の計算機にまたがるプログラムが正確に結合していることを確認する。

g) TASK

実時間シミュレーション時、NO、1~4計算機にはRTSMがあり、それは64ヶのタスクを制御することができる。しかし、シミュレーションによっては、特定のタスクを手動で制御したい場合がある。

この時、このスイッチを押し、テクトロ・ディスプレイより、タスクの起動/停止を行なうことができる。(図16)

RUN	E000	↓
HLT	A000	↓
END		↓

この時もシンボル・テーブルが参照される。

図16. タスクの切換

4. 本システムで実施したフライト・シミュレーションの例

FSPFを用いて、FSK-Ⅱの機能・性能を確認した。

その構成は、次の様に分類できる。その各タスクをTable1~3に示す。

- 1) フライト・ダイナミックス (25タスク, 7740語)
- 2) エンジン・ダイナミックス (12タスク, 1626語)
- 3) 油圧サーボ等の外部機器インタフェース (5タスク, 1138語)
- 4) ライブラリ (5ヶ, 848語)
- 5) 空カデータ (161ヶ, 7715語)
- 6) 空カデータ・テーブル (277ヶ, 1009語)

また、これらを結合した、LEPの命令を図17に、さらにそのダイナミックを図18に示す。図19には、各計算機間で交換されるデータ数を示す。

5. 開発過程における技術的課題点と今後の課題

昭和47年から始まった、汎用飛行シミュレータ用計算機更新プロジェクトは同49年に終了し、FSK-Ⅱは、更新された計算機である。またその機能は本文に示した通りである。しかし、開発過程でも、多くの改良点が発見される等、試行錯誤的に作業を進めなければならぬ所が多くあった。

最も大きな改良は、計算機間を結ぶICCLの改造で、それ以前の1対1の転送から1対多の転送に変えたことである(昭和48年度)。これにより、データ転送による負荷が軽減された。また、コンパイル等は、NO、0計算機の後半で、実時間シミュレーションの空き時間を利用し、行なう予定であったが、市販のアセンブラ等を用いるため、コア容量が不足し、かつNO、0計算機の負荷

Table 1 FLIGHT DYNAMICS

Task Name	Variable	Program Size	Comment	Iteration (ms)
F000	6	288	Body Axis Force and Moment	80
F010	9	266	Body Axis Linear Acceleration and Angular Velocities	80
F020	27	495	Quaternions and Direction Cosine and Euler Angle	80
F030	18	311	Earth and Body Axis Velocities	80
F040	22	352	Rate and Position and Stability Axis Angular Velocities	80
F050	35	634	Ground Forces and Moment and Velocities	80
F055	6	195	Nose Wheel Angle	840
F056	8	153	Brake Forces	840
F060	48	748	Engine Force and Moments	420
F100	13	260	Fast Integration Lift Coefficient	80
F101	4	97	Fast Integration Drag Coefficient	80
F102	14	382	Fast Integration Pitching Moment Coefficient	80
F103	6	134	Fast Integration Side Force Coefficient	80
F104	8	267	Fast Integration Rolling Moment Coefficient	80
F105	6	130	Fast Integration Yawing Moment Coefficient	80
F106	35	503	Middle Integration Coefficient	420
F110	15	295	Medium Band Partial Force and Moment Coefficient	420
F130	12	196	Longitudinal Control System	10
F132	15	320	Lateral Control System	10
F134	15	411	Directional Control System	10
F150	15	206	Normalized Value	80
F300	16	322	Mode Control	840
F320	14	301	Environment	210
F340	9	275	Weight and Balance	840
F400	9	199	Indicated Parameter	210

Table 2, ENGINE DYNAMICS

Task Name	Variable	Program Size	Comment	Iteration (ms)
E003	4	88	Compressor Inlet Temperature and Pressure Ratio	210
E100	12	132	High Pressure Rotor Speed (N2 Demanded)	210
E103	6	38	Percent High Pressure Rotor Speed	210
E104	18	326	Engine High Pressure Rotor Speed and Acceleration	420
E111	6	192	Percent Low Pressure Rotor Speed	420
E120	6	83	Steady State Fuel Flow	420
E121	24	223	Fuel Flow and Fuel Flow Dot	210
E130	6	137	Engine Pressure Ratio	420
E140	12	167	Exhaust Gas Temperature	840
E144	6	69	Surge Bleed Valve	840
E160	6	102	Engine Thrust	210
E170	6	69	Engine thrust Reverser	840

Table 3. EXTERNAL DEVICE INTERFACE

Task Name	Variable	Program Size	Comment	Iteration (ms)
A000	9	133	Control Loading Analog I/O	10
A010	14	330	Flight, Engine Instrument	210
A020	14	285	Motion, F/T, V/D, Out	10
A030	21	210	System Input	420
A040	19	99	Initial Condition Set	80

```

//EXEC LEP
//CTRL *
BI=1.
BO=1.
LO=0.
MD=1.
EI.
JS=FSPP ,FSPP:LB,CACMODL
CS=2,2,2,2,1
CS=1,84,42,21,8
TS=A000:2,3F,1
TS=F130:2,3E,1
TS=F132:2,3D,1
TS=F134:2,3C,1
TS=A020:2,3B,1
TS=A040:1,3F,1
TS=F150:1,3E,1
TS=F100:1,3D,1
TS=F101:1,3C,1
TS=F102:1,3B,1
TS=F103:1,3A,1
TS=F104:1,29,1
TS=F105:1,38,1
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=F320:1,2F,1
TS=E003:1,2E,1
TS=E100:1,2D,1
TS=E103:1,2C,1
TS=E104:1,2B,1
TS=E121:1,2A,1
TS=F400:1,29,1
TS=E160:1,28,1
TS=A010:1,27,1
TS=F060:1,1F,1
TS=F106:1,1E,1
TS=F110:1,1D,1
TS=E111:1,1C,1
TS=E120:1,1B,1
TS=A030:1,1A,1
TS=E130:1,19,1
TS=F055:1,0F,0
TS=F056:1,0E,1
TS=F300:1,0D,1
TS=F340:1,0C,1
TS=E140:1,0B,1
TS=E144:1,0A,1
TS=E170:1,09,1
LS= DIWORD,DI,10F
LS= DWA1, A1,80
LS= USA1, A1,81
LS= DPA1, A1,82
LS= FWCA1, A1,86
LS= FSCA1, A1,87
LS= FPCA1, A1,88
LS= DTTAA1,A1,89
LS= SFRLA1,A1,8A
LS= DTRAI1,A1,8B
LS= FLP, A1,8D
LS= DT1, A1,8E
LS= DT2, A1,8F
LS= PAIM, AO,80
LS= THETH, 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= EWAQ, AO,8F
LS= FSAO, AO,90
LS= FPAO, AO,91
LS= PAIVD2, AO,95
LS= THEVD2, AO,96
LS= PSIVD2, AO,97
LS= XVD2, AO,98
LS= YVD2, AO,99
LS= ZVD2, AO,9A
LS= EPRAQ, AO,FO
LS= EPLAQ, AO,F1
LS= N2RAQ, AO,F2
LS= N2LAQ, AO,F3
LS= EGRAQ, AO,F4
LS= EGLAQ, AO,F5
ES.
PN.
PR.
RD=FSPP,
LD.
EX.

```

図17 LEPのパラメータ例



が予想以上に重いため、他計算機で実行させることにした。

ファンクション・スイッチの仕様についても、始めの予定と現実とは一致しておらず、変更を余儀なくされたところもあったが、シミュレーション用の機能を組込んだことはよかったと思っている。使い勝手を良くするために、オペレータ・コンソールの仕様決定は、最も時間を要した。

その他、FSPPを組込式のプログラムから、SCP-RTSMの下で動作するように変更したことは、プログラム作製手法を確認する上で有効であった。

RTSMの応用を現在、行なっているもので、いずれ発表する時もあるであろう。さらに、コンパイラと関連して、ファイル・ライブラリの充実が、要求されており、今後の課題である。

現在、システムの見なおしを行なっており、さらに使い易くなるものと思われる。

しかし、一個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、高級言語・スケジューラ等の開発等、ソフトウェア上、高度の問題を解決しなければならず、とうてい我々の手のおよぶところではない。

ただし、扱う対象を限定し、応用プログラムを充実させてゆくことにより、多くの利点が生じてくるものと考えている。

以上、FSK-IIの現状とオペレーティングシステム関係について述べた。

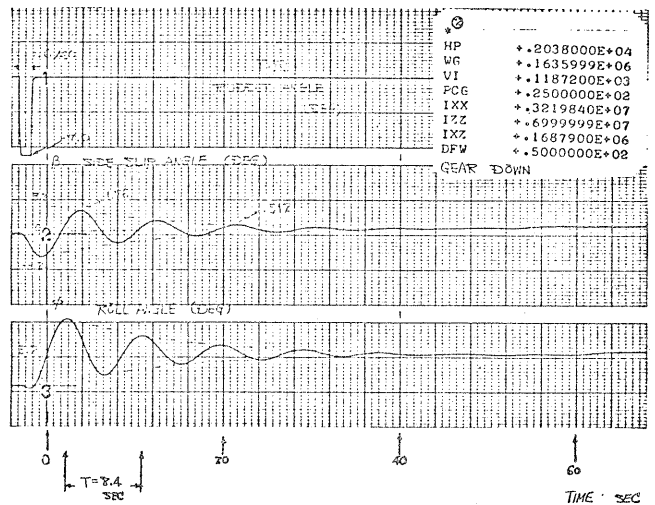


図18 フライト・ダイナミクスの例

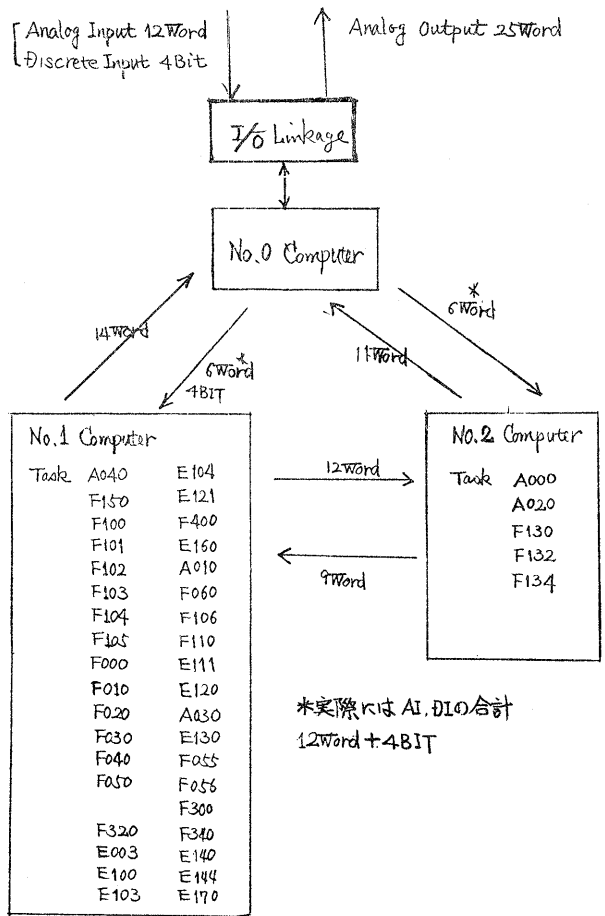


図19 フライトシミュレーション時のデータ転送数

7. おわりに、

本システムの開発は、三菱フ

レシジョンの協力の下に行なわれた。

製作の調整にあたるれた林岑男・梶原景範の両氏，ハードを担当した藤野卓男・大西啓修・刀根川公雄，SCPを担当した中原義大・緒方正人，LEPを担当した富山和雄・後藤昌美男，FSPPを担当した西野一郎，RTSLを担当した藤野勝の三菱レシジョンの諸氏に感謝の意を表す。

### 参 考 文 献

1. 堀川他：航技研の実時間シミュレーション用複合計算機FSK-II，情報処理計算機アーキテクチャ研究会資料75-12，1975年3月
2. 林他：複合計算機FSK-IIの結合方式，情報処理計算機アーキテクチャ研究会資料75-13，1975年3月
3. 原田：複合計算機FSK-IIのデータ転送とリンケージデータ，情報処理計算機アーキテクチャ研究会資料75-14，1975年3月