

## シミュレーション言語SLCSIV（図形版）の使用法と磁気軸受研究への適用例

工学部 木戸 学 ・松村 文夫

### 1 はじめに

SLCSIV (Simulation Language for Continuous System IV) は、時間の変化に対応して変動する遷移現象の状態変化を調べるためのアプリケーションプログラムである。以下SLCSと呼ぶ。

SLCSで適用できる分野は、電気回路・自動制御系をはじめ一般に常微分方程式で表現できる系の解析に対してであり、遷移現象のシミュレーションを目的としている。

通常、シミュレーションを計算機にて行うには、系の微分方程式を解くためのプログラムを組み、必要に応じてGRACEなどのグラフィックパッケージを用いて、図形出力のプログラムを組み計算を行うというのが一般的であろう。SLCS（図形編）を用いた場合には、プログラムをつくるという作業はなく、代わりに系を表すブロック図を作成する。ブロック図が完成すればただちに計算が始まり、指定した地点の図形出力をグラフィックディスプレイ上に得ることができる。

また、SLCSIV（図形編）はまったく独立のアプリケーションであり、SLCSの使用法以外のTSSに関する知識（EDITの操作）やFORTRAN等のプログラミングの知識はほとんど必要ない。従って、その手引書だけでシミュレーションの計算を行うことができる。

SLCS（図形編）でシミュレーションを行い、系に対してある程度傾向がわかるようになれば、詳細な点について調べたいであろう。この場合、SLCS（言語編）を用いればよいであろう。SLCS（図形編）で作成したブロック図はSLCS（言語編）に変換可能であり、SLCS（言語編）はFORTRANと混合してプログラミングが可能である。つまり、SLCSは通常のプログラミングの一部として使用することもできる。この手引書はSLCS（言語編）については一切ふれていないので、必要ならば関連マニュアルを参考されたい。

### 2 使用方法

READY状態からSLCSにおける各種モードの移動状態を図1に示す。枠内の英字が端末からの各種促進メッセージで、矢印上の各入力によって移動が行われることを表す。ただし〈+E+〉は、何も入力せずRETURNキーを押すことを意味する。

簡単にSLCSの実行形態を説明する。図1、\*Aにてブロック図の入力を行う（入力例、図7）。\*Bにて各種パラメータ等を入力し、シミュレーションの計算を行う（入力例、図9）。\*Cにて、

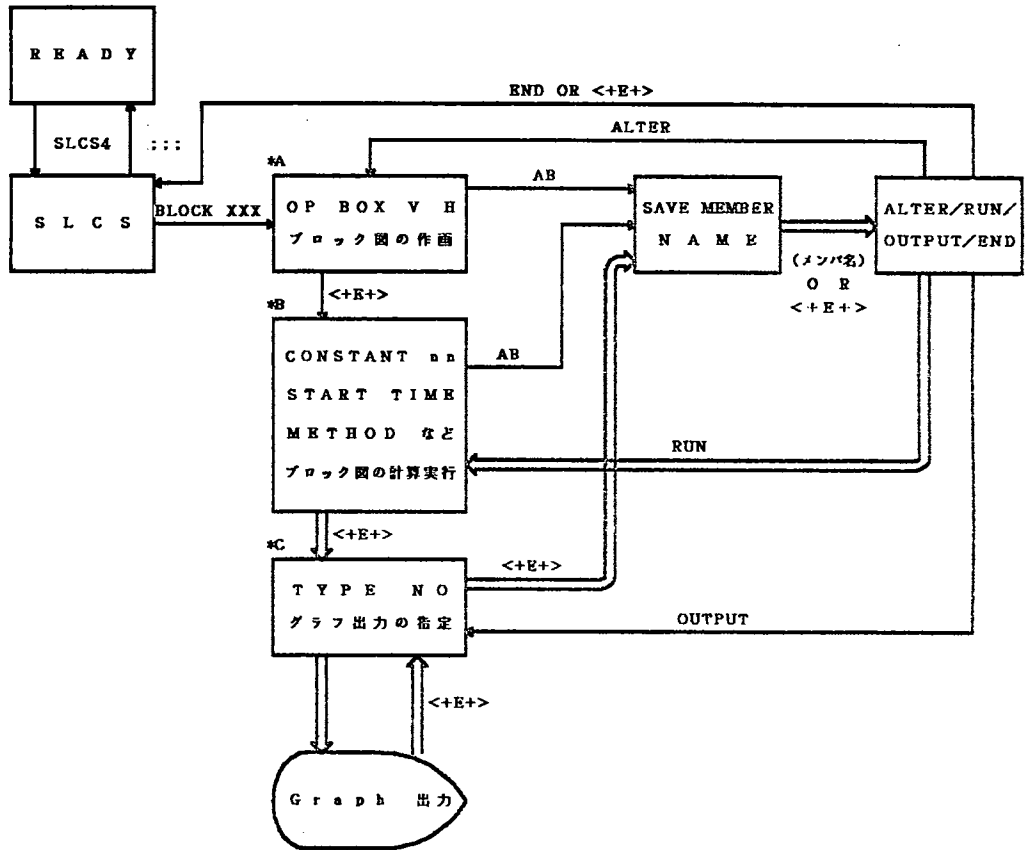


図1 各モードの移動状態

ブロック図中に指定しておいたグラフ番号を入力することによって、シミュレーション結果であるグラフ出力が得られる（例、図10、11）。パラメータをいろいろ変えシミュレーションを行う場合、図1の二重線のループをくり返すことになる。

各入力の詳細は次節以降で説明するが、図1を比較しながら読むとよい。

ディスプレイのハードコピー用にHCコマンドがあるが、ハードコピーは、キーボードのSHIFT PRINTキーで可能である。

### 2-1 ブロック図シミュレータの起動

LOGONからブロック図シミュレータの起動例を図2に示す（アンダーラインはキー入力）。

\*1 LOGONコマンド

\*2~\*4 SLCSでは作成したブロック図の保存用に、レコード形式FB、レコード長80、

ブロックサイズ3120の  
区分データセットが必要。  
EDITによる新規データ  
セットの確保例を示してお  
く。すでに確保してある場  
合は必要なし。

\*5 ALLOCATEコマンド  
にて、DD名BLOCKと  
データセットを割り当てる。

\*6 SLCSの起動。

\*7 促進メッセージSLCSに

対してBLOCKコマンドを入力してブロック図シミュレーションを起動。AAAはモデル  
名で、適当でよい。入力後、図3の画面が表われる。

SLCSの終了は、促進メッセージSLCSに対して ; ; コマンドを入力、READY状  
態にもどる。

```
JCB936I NO INTERPRET TABLE
JCB931I PLEASE LOGON
*1 LOGON TSS AB9999
      メッセージ表示
      READY
*2 E TEST(A) DATA
DATA SET NOT FOUND. ASSUMED TO BE NEW
INPUT
*3 *00010 -----
E
*4 END S
SAVED. BUT DATA SET IS EMPTY
READY
*5 ALLOC F(BLOCK) DA(TEST.DATA)
READY
*6 SLCS4
SLCS
*7 BLOCK AAA
```

図2 ブロック図シミュレーターの起動

## 2-2 ブロック図の作成

図3における、促進メッセージOP BOX V Hに対して入力する。

### i ブロック要素の入力

座標1 {座標2} ブロック名 {V} {H} {nn}

入力例を図4に示す。ブロック図の修正は、直接再入力すればよい。消去の場合は、ブロック  
名をDELとすればよい。

### ii 画面の移動

PL {座標/ALL}

指定した座標が画面上の左上となって画面が移動する。ALLを指定した場合、入力したブ  
ロック図がすべて表示されるようにブロック図の大きさが変更されて画面に表われる。

### iii 保存してあるブロック図を使用する場合

INSERT メンバ名 {座標}

メンバ名は、図1においてALLOCATEしたデータセットのメンバ名。座標は、画面上に  
挿入されるメンバ名のブロック図の挿入開始位置、省略時は0. 0となる。

以下の説明において、次に示す問題の過渡応答を例にとってブロック図を作成してみる。

問-1 図5 (a) に示す回路で  $sw$  を  $t = t_1$  で接点1に倒し、 $t = t_2$  で接点に瞬時に切りか  
えた。電流  $i$ 、コンデンサの電圧  $e_c$  を求めよ。コンデンサの初期電圧は0とする。

000 001 002 003 004 005 006 007 008 009 010

000

001

002

003

004

005

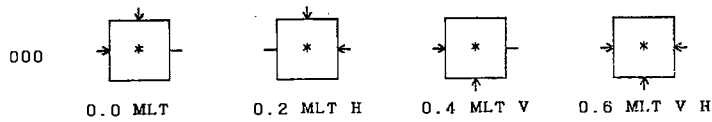
006

---

OP BOX V H

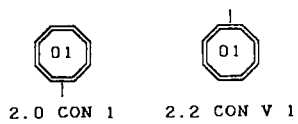
図3 最初の表示画面

000 001 002 003 004 005 006 007 008 009 010



001

002



003

004

4.0 4.5 LR

005

006

---

OP BOX V H

図4 ブロック要素の指定例

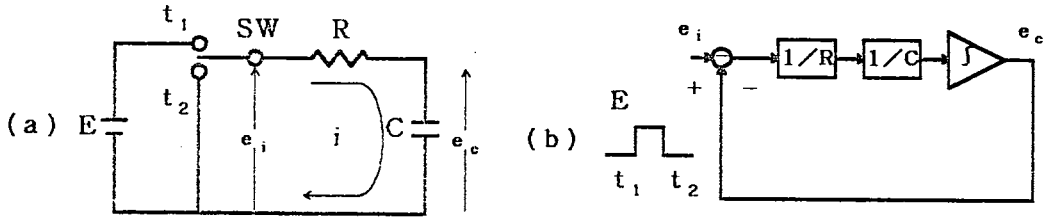


図5 CR回路の短形波駆動

図5 (a) のような電気回路は、ブロック線図かシグナルフローグラフに変換する。次式の関係からブロック線図は図5 (b) のように表される。

$$e_i = E \{u(t-t_1) - u(t-t_2)\}$$

$$e_c = \frac{1}{C} \int i dt$$

$$i = \frac{1}{R} (e_i - e_c)$$

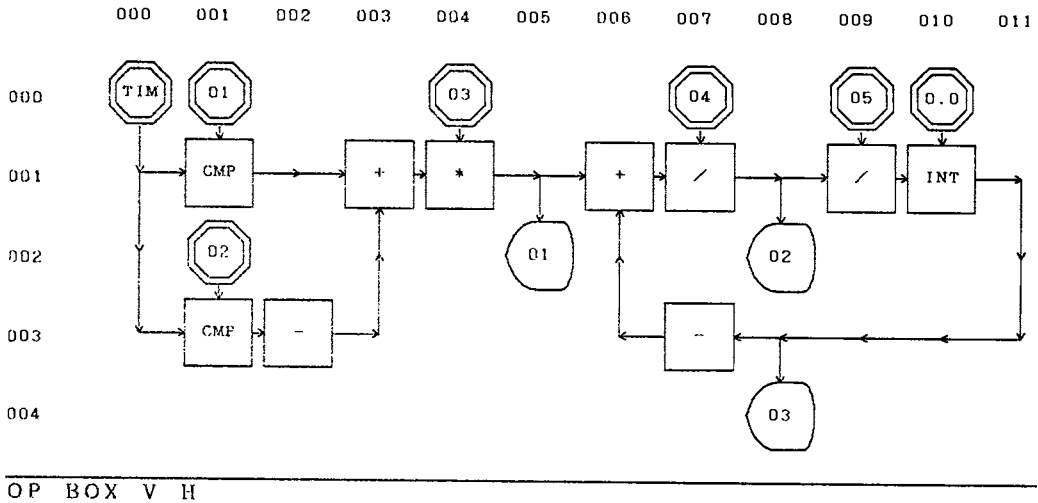


図6 問1の回路に対するブロック図

図3のスクリーンに対して、このブロック図を作成していく。実際に作成したブロック図を図6に、入力したブロック要素名を図7に示す。図3の画面では、座標の最大が6. 10であり、1. 11 LDなどの入力は画面をこえてしまう。画面をこえた座標の入力を行った場合は、自動的に入力した座標を中心として画面が移動するのでかまわない。入力がすべて終わった時点でPL ALLと入力す

- 0.0 TIM
- 1.0 URD
- 2.0 UD
- 3.0 UR
- 0.1 CON 1
- 1.1 CMP
- 2.1 CON 2
- 3.1 CMP
- 1.2 LR
- 3.2 INV
- 1.3 ADD
- 2.3 DU
- 3.3 LU
- 0.4 CON 3
- 1.4 MLT
- 1.5 LRD
- 2.5 GRP 1
- 1.6 ADD V
- 2.6 DU
- 3.6 RU
- 0.7 CON 4
- 1.7 DIV
- 3.7 INV H
- 1.8 LRD
- 2.8 GRP 2
- 3.8 RLD
- 4.8 GRP 3
- 0.9 CON 5
- 1.9 DIV
- 3.9 RL
- 0.1 ZER
- 1.1 INT
- 3.1 RL
- 1.11 LD
- 2.11 UD
- 3.11 UL

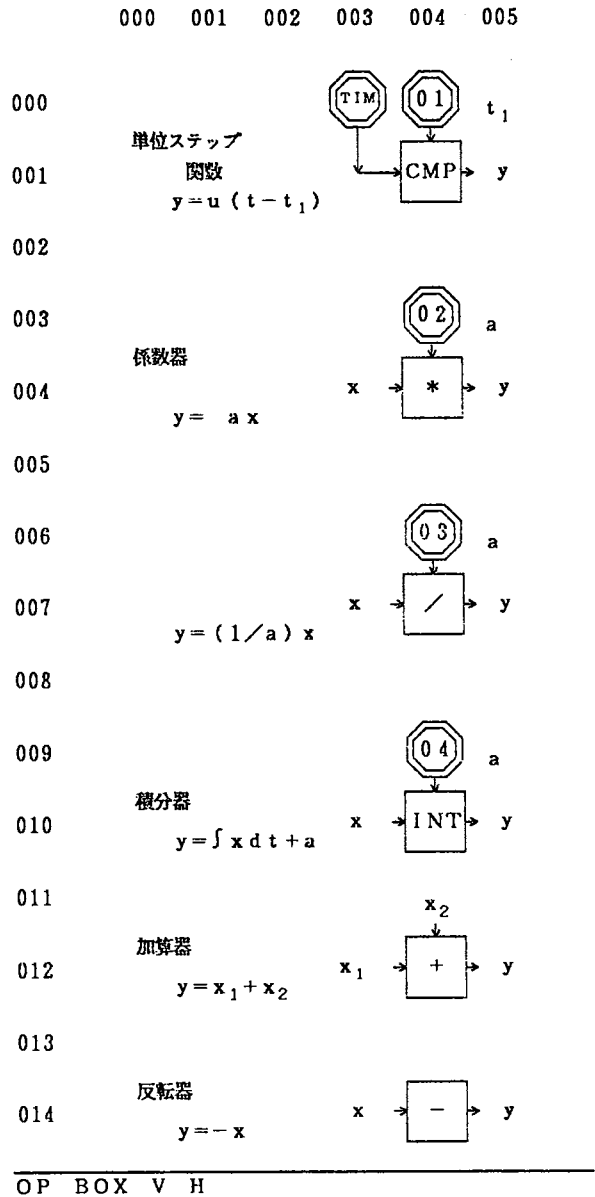




図7 入力した図5の  
ブロック要素

図8 ブロック要素の説明

ると図6の画面が得られる。

使用したブロック要素の説明を図8、使用できるブロック要素の一覧表は関連マニュアル(1)を参照すること。ブロック要素で、定数( 、CON nn)、伝達関数( 、TRS nn)などはシミュレーションの計算実行の際に入力要求がくるのでその時に、数値、伝達関数の

係数を入力することになる。グラフ出力 (  $\text{nn}$  )、GRP nn) は計算終了後、促進メッセージ TYPE NO に対して nn を入力することにより、その地点の計算結果であるグラフ出力が得られる。

### 2-3 実行手順

ブロック図が完成したなら、何も入力せず RETURN キーを押す。エラーがなければ、ブロック図中の定数に対する入力要求 CONSTANT nn などがくる。エラーがあればエラーメッセージが OPEN BOX V H の下に表示される。図 6 に対する実行例を図 9 に示す。

図中の \* 1 ~ \* 9 は

- \* 1 図 6 のブロック図の定数 1、問 1 の  $t_1$
- \* 2 図 6 のブロック図の定数 2、問 1 の  $t_2$
- \* 3 図 6 のブロック図の定数 3、問 1 の E
- \* 4 図 6 のブロック図の定数 4、問 1 の R
- \* 5 図 6 のブロック図の定数 5、問 1 の C
- \* 6 シミュレーションの開始時間、 $t_s$
- \* 7 シミュレーションの終了時間、 $t_f$
- \* 8 シミュレーションのキザミ幅、省略の場合  $(t_f - t_s) / 1600$
- \* 9 計算方法 (オイラー法、ルンゲ・クッタ法、ルンゲ・クッタ・ギル法のうちオイラー法を指定した。)

```

CONSTANT 1  t1
* 1  1
CONSTANT 2  t2
* 2  2
CONSTANT 3  E
* 3  1
CONSTANT 4  R
* 4  1
CONSTANT 5  C
* 5  1
START TIME
* 6  0
FINISH TIME
* 7  3
INTERVAL
* 8  0.003
METHOD
* 9  RECT
START OF EXECUTION

```

TYPE NO

\* 1 1 2 3

図 10 グラフ出力の指定例

---

IIC

図 9 図 6 に対する計算の実行例

### 2-4 グラフ出力の方法

実行が終了すれば、何も入力せず RETURN キーを押す。画面が変わり、促進メッセージ TYPE NO が表れる。先の実行例に対し図 10 のように入力する。グラフ出力番号 1、2、3 の重なったグラフ図 11 が得られる。図 11 の右端に VAR とあるが、問 1 の問題に対し、1 が入力電圧  $e_i$ 、2 が電流  $i$ 、3 がコンデンサ電圧  $e_c$  である。

RETURN キーを押せば、再び促進メッセージ TYPE NO となる。例えば 2 とだけ入力すれ

ば、グラフ出力番号2だけのグラフが得られる。

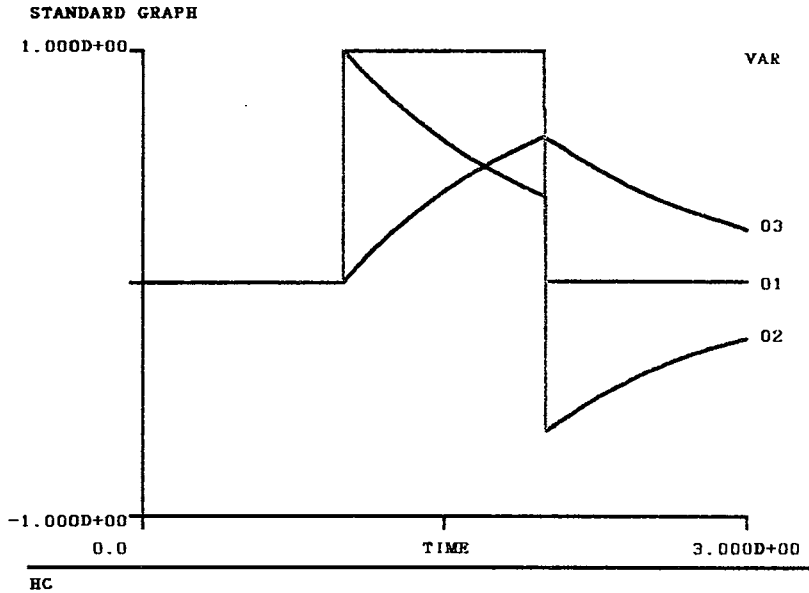


図11 グラフ出力例

## 2-5 処理モードの指定

促進メッセージTYPE NOに対して何も入力せずRETURNキーを押す。促進メッセージSAVE MEMBER NAMEが表示される。メンバ名を入力すれば、先にALLOCATEしたデータセットにブロック図が保存される。何も入力しなければ保存は行なわれない。次に促進メッセージALTER/RUN/OUTPUT/ENDが表示される。各入力に対して以下ようになる。

- ALTER ... ブロック図の再表示。OP BOX V Hモードとなる。
- RUN ... 計算の再実行。
- OUTPUT... グラフ出力の再表示。TYPE NOモードとなる。
- END ... 終了。SLCSモードとなる。

ここで問1の問題について、パラメータを変えて再実行してみよう。図12の\*2でRUNを指定したため、再び図9と同じブロック図中の定数に対する入力要求がくる。RUNを指定した場合、前回の入力図9の\*1~\*9が保存されている。それゆえ変更する値のみを入力すればよい。ここではCONSTANT 5 (問1のC)を変更した。CONSTANT nnなどは群パラメータという



図12\*8のような与え方ができる。群パラメータを与えた場合、入力したパラメータごとに計算がくり返し実行される（最大10個）。群パラメータはひとつの定数に対してのみ指定できる。図12の場合、3回計算が実行される。

### 3. SLCS (図形編) の応用例

筆者自身の研究で申し訳ないのであるが、磁気軸受の解析に利用した例をあげておく。

図13を見てもらいたい。図13は、磁気軸受のサブシステムの概略図で、吸引電磁石1、2によって接極子Aを空中に浮上させようとするものである。もちろんこのままでは安定に浮上しないので、接極子Aの変位、速度やコイル電流を検出し、コイル電圧 $e_1$ 、 $e_2$ にフィードバックすることになる。このシステムには変数同士の乗算、除算やリミッタなどの非線形要素が多く含まれている。

このシステムに、ステップ状外力が加わる場合の系全体のシミュレーションを行ってみる。図14がSLCS (図形編) のブロック図で、図15がシミュレーション例である。このシミュレーションは接極子Aにステップ外力42、43、44 Hが加わった場合の、接極子Aの動きを見たものである。これより42 Hの外力までは系が耐え得るが、これ以上の外力では不安定となる様子がわかる。もちろんこれはフィードバック量や図13の飽和電圧Eにより変わるわけで、これを1つのグラフにまとめたものが図16である。

```

TYPE NO
*1  SAVE MEMBER NAME
*2
*3  ALTER, RUN, OUTPUT, END
   RUN
*4  CONSTANT 1
*5  CONSTANT 2
*6  CONSTANT 3
*7  CONSTANT 4
*8  CONSTANT 5
*9  1 0.5 0.1
   START TIME
*10 FINISH TIME
*11 INTERVAL
*12 METHOD
START OF EXECUTION
START OF EXECUTION

```

HC

図12 計算の再実行

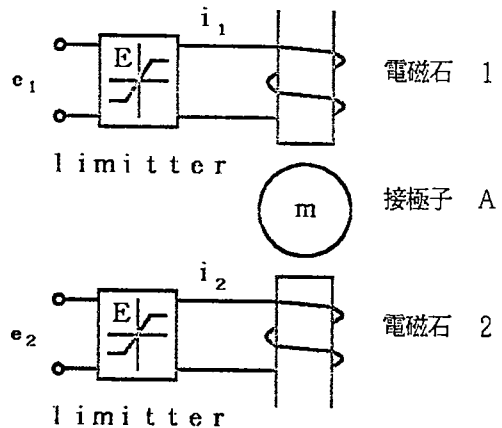


図13 サブシステムの概略図

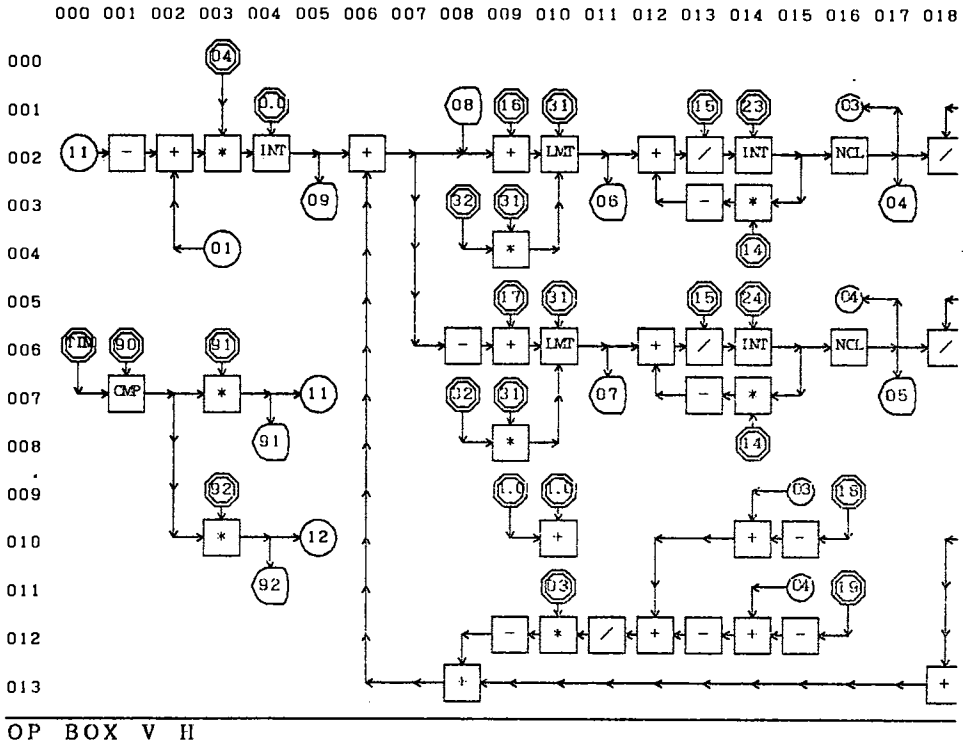


図14 サブシステムのブロック図 (左側部分)

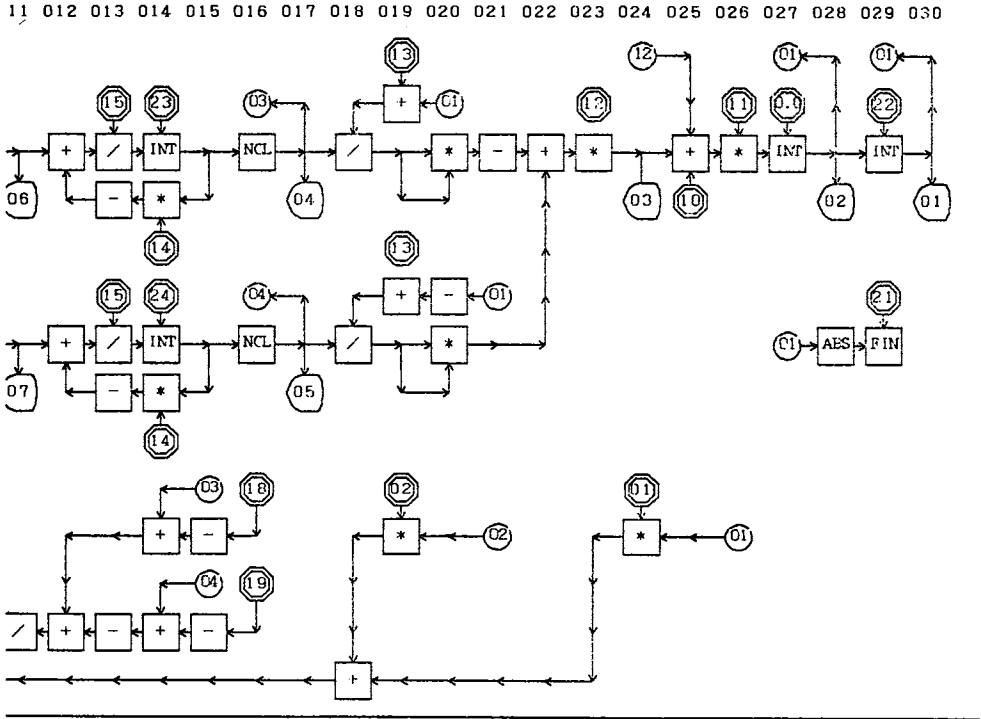


図14 サブシステムのブロック図 (右側部分)

図16は、横軸がフィードバック量（右方向にフィードバック量が増加）、縦軸が系が耐え得る最大ステップ外力を表し、飽和電圧Eをパラメータとしている。図中の各点についてシミュレーションを行い、図15のように安定の限界を調べたわけである。飽和がない場合は（図中のE：999）、フィードバック量が増すにつれて、耐え得る外力も大きくなる。しかし、系の中に飽和が存在する場合は極大値をもち、最適なフィードバック量があることがわかる。

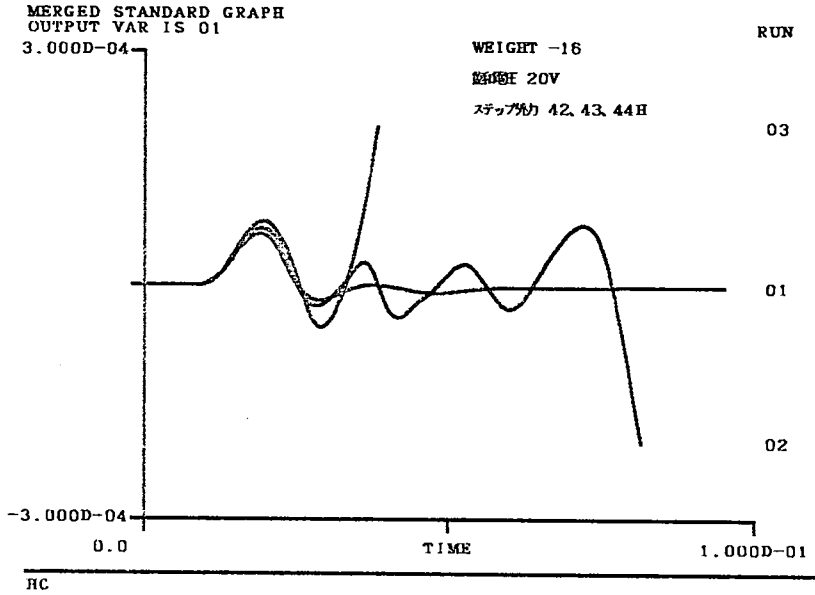


図15 サブシステムのシミュレーション例

関連マニュアル

- (1) FACOM OSIV SLCSIV解説書（図形編）、富士通
- (2) FACOM OSIV SLCSIV解説書（言語編）、富士通
- (3) 車古 正樹著、利用の手引き、SLCSIV使用方法

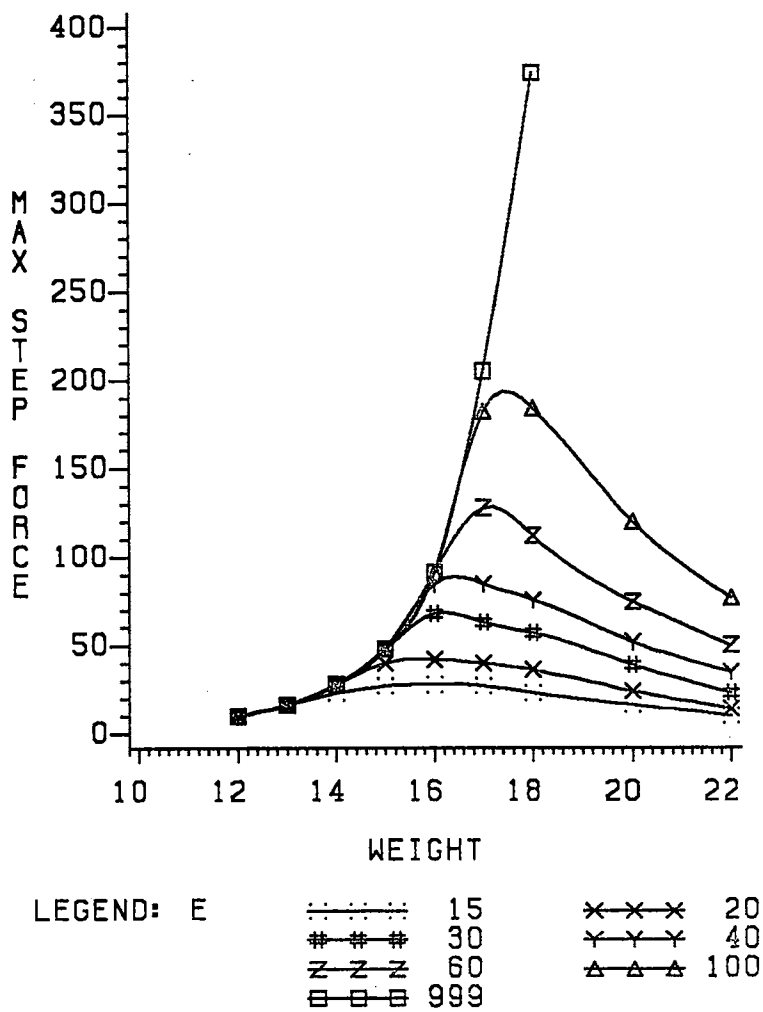


FIG.1 (B)

図16 系が耐え得る外力