

# 制御系解析プログラム KMAP (状態方程式表現による制御系解析)

2017(H29).10.26

片柳亮二

## 第1章 はじめに

制御系解析プログラム **KMAP (ケーマップ)** は、航空機の運動解析用に開発されたソフトウェアです。これをバージョンアップする形で、制御系設計解析機能をはじめ各種解析に必要な機能を初学者にも簡単に使えるように追加発展しているものです。

**KMAPを使う利点**について考えてみましょう。例としては次のようなことがあります。

運動方程式をラプラス変換して求めた伝達関数の分母を0とおいた式はその運動の特性を決める式であることから、**特性方程式**と呼ばれています。これは、 $s$ に関する高次方程式となり、この $s$ の解(特性根、また極ともいう)をラプラス平面上にプロットして全ての特性根が左半面にあるとその運動は安定であると判断できます。

ところが、制御工学の本を開くと、 $s$ に関する高次方程式の係数を使って特殊な配列表をつくり、それらの各要素を手計算して同一符号となるかを調べて安定判別を行う“**ラウス、フルビッツの安定判別法**”という古典的手法がありますが、いまだに詳しく説明している本が多く見受けられます。

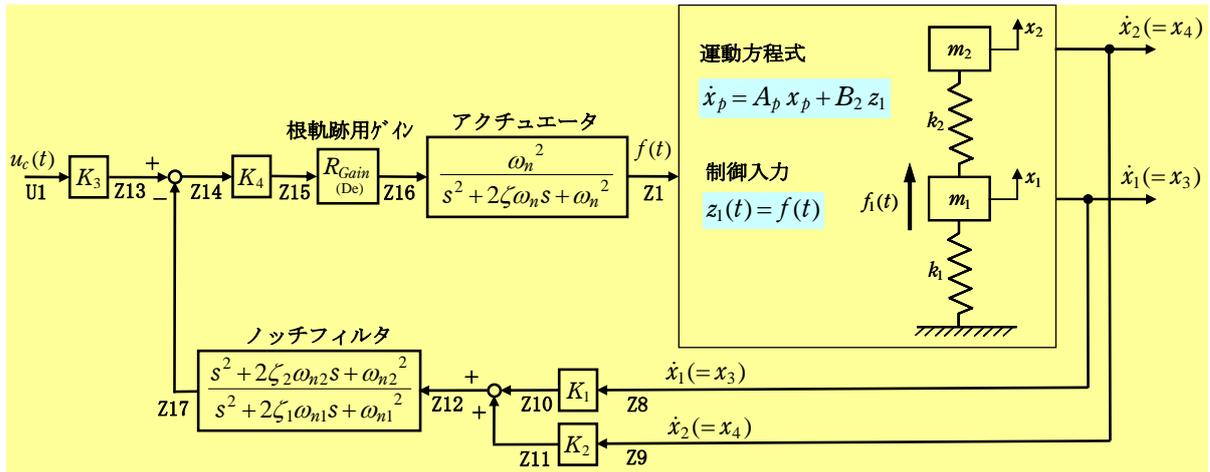
今は、学生も強力な計算能力のある**自分専用のパソコン**を持っており、ソフトウェアさえあれば、簡単に多くの解析を行える時代となっています。システムが安定であるかどうかは、特性方程式を直接解いて、ラプラス平面上に特性根をプロットすればよいわけです。

**特性方程式を導出することは設計の基本ですが、特性方程式を解くのはパソコンにまかせればよい**わけです。ここで紹介するKMAPは、特性方程式を解いたり、ボード線図やシミュレーションの応答の計算など簡単に求めることができます。ぜひ活用して欲しいと思います。

## 第2章 状態方程式で表されたシステムの特性解析

次の例題を用いて実際の解析方法について述べる。

【例題 2-1】 次の2自由度ばね振動系を安定化する制御系を設計せよ。ただし、質量  $m_1=1\text{kg}$ ,  $m_2=10\text{kg}$ , ばね定数  $k_1=500\text{N/m}$ ,  $k_2=1000\text{N/m}$  とする。また、 $f(t)$  は制御入力である。



図(a) 2自由度ばね振動系の制御

### 1 制御対象の2自由度ばね振動系を状態方程式で表す

本例題の場合、制御対象(2自由度ばね振動系)の状態方程式は次式で表される。状態方程式の次元(NXP)は4である。

$$\dot{x}_p = A_p x_p + B_2 z_1 \quad (\text{ここで、}\dot{x}\text{は}x\text{の時間微分を表す})$$

$$\text{ただし、} x_p = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix}, \quad A_p = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{k_1+k_2}{m_1} & \frac{k_2}{m_1} & 0 & 0 \\ \frac{k_2}{m_2} & -\frac{k_2}{m_2} & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{m_1} \\ 0 \end{bmatrix}$$

質量  $m_1$  および  $m_2$  の速度  $\dot{x}_1 (= x_3)$  および  $\dot{x}_2 (= x_4)$  の状態変数を、ノッチフィ

ルタを介してフィードバックして振動の減衰を良くしようという制御問題である。

このように，制御対象を状態方程式で表した場合の状態変数  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ ,  $\dots$  と Z 変数との対応は次のようである。

$$x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t) = Z6, Z7, Z8, Z9$$

すなわち, Z6 から状態変数の数 (NXP 個) が状態変数に対応しているので, その状態変数をフィードバックするばあいは, 直ちに Z6~Z9 を用いてフィードバックとして用いることができる。

それでは, この制御対象の状態方程式を用いて, インพุットデータを作成していこう。

## 2 KMAP の起動

C:\¥KMAP フォルダ内の, “KMAP\*\*実行スタートファイル.BAT” (\*\*はバージョン番号) バッチファイルをダブルクリックすると, 解析プログラム KMAP が起動します(下記)。

```
##### < KMAP ** 解析内容選択 > #####
##                                     (20**.*.*) ##
## 0 : 航空機, ロボット, 工作機械, 自動車, 船および水中ビークル ##
##   の運動, 制御, 振動, 最適化解析 ##
##                                     (詳細は, 参考図書①~⑬ を参照下さい) ##
##                                     ##
## 2 : 有限要素法 (FEM) による構造物の弾性解析 ##
##                                     (詳細は, 参考図書⑥ を参照下さい) ##
##                                     ##
## 3 : 差分法 (FDM) による流体, 熱の流れの解析 ##
##                                     (詳細は, 参考図書⑥ を参照下さい) ##
##                                     ##
## 7 : KMAP 変更内容の履歴 ##
## 8 : 注意事項の表示 ##
## 9 : 終了 ##
#####
```

●何を解析しますか? 0, 2, 3, 7, 8, 9 を選択 -->0

(←0 をキーイン)

### 3 解析の細部メニュー

次に、何を解析するかを上記 0, 2, 3 のメニューから選択します。本書では、解析 2 および 3 については参考図書 (KMAP による工学解析入門, 産業図書, 2011.) を参照願うとして、解析 “0” についてその使い方を以下解説します。

上記メニューで “0” を選択すると、解析 0 の細部メニューが次のように表示されます (下記)。

上記解析メニュー “0” で、  
解析 0 の細部メニューが表示

```

*****
* [1] : 航空機, ロボット, 工作機械, 自動車, 船および水中ビークル *
*       の運動, 制御, 振動, 最適化解析                               *
*****
*   1 : 一般 (下記以外) ⇒ 航空機の運動・制御系解析                 *
*                                                                 *
*   2 : 「CDES」           ⇒ 航空機の新規設計                       *
*                                                                 *
*   3 : 「CDES.WAT」       ⇒ 水中ビークルの運動・制御系解析         *
*                                                                 *
*   4 : 「EIGE」           ⇒ ・基礎的な制御工学の問題               *
*                           ・振動工学の問題                       *
*                           ・最適化問題                           *
*                           ・ロボットの制御                       *
*                           ・自動車の制御                         *
*                           ・船の制御                             *
*                           ・Z 接続法ゲイン最適化の問題           *
*                                                                 *
*   5 : 「EIGE.MEC」       ⇒ 工作機械の制御解析                     *
*                                                                 *
*   6 : 「HAYA」           ⇒ キーインなしで航空機シミュレーション *
*                                                                 *
*  13 : シミュレーションデータの保存と加工                         *
* (-1) : (戻る)                                                   *
*****

```

(飛行機設計なら 2 を入力)

●上記の解析内容 1~ を選択 -->4

(←4 をキーイン)

解析 0 の中には上記 7 つの細部メニューがあります。これらの細部メニューの解析は、使用するインプットデータのデータファイル名の最初の 4~8 文字で判断されて、対応する細部解析ルーチンが実行されるようになっていきます。例えば、基礎的な制御工学の解析であれば、最初の 4 文字は“EIGE”を付けて、EIGE.DESIGN1.DAT のようなファイル名です。ただし、ユーザーはこの最初の 4 文字を気にすることは不要です。後で説明するように、例題ファイルをコピー利用する方法で簡単に自分のデータファイル作成することができます。

4 ここで、“4” (EIGE) をキーインすると、次のように表示される。

```

*****< データファイル利用方法 >*****
*   1 : 既存のファイルでそのまま解析実行   *
*   2 : 既存のファイルをコピー利用して新規作成 *
*   3 : 例題ファイル(下記にリスト表示される)をコピー利用して新規作成 *
*                                           *
* (-1) : (戻る)                               *
*=====
*           pdf 資料(表示)                     *
*           101 : KMAP の関数(一覧表)           *
*           102 : KMAP の関数(説明書)           *
*           103 : 機体データ E や一般的注意事項など *
*****
(不明時は 3 を入力)

●上記利用方法 1~ を選択 -->3

```

(←3 をキーイン)

5 ここで、“3” (例題ファイル利用) をキーインすると、次のように表示される。

< 下記の例題ファイルから番号を選択しコピーして使う >  
(次の分類から選んでください)

**1 : KMAPによる制御工学演習(産業図書, 2008)の例題**

2 : KMAPによる工学解析入門(産業図書, 2011)の例題

第2章 : 制御工学の解析法

第3章 : 振動工学の解析法

第7章 : 最適化の解析法

3 : 機械システム制御の実際(産業図書, 2013)の例題

第2章 : 基礎的な制御問題

第4章 : ロボットの制御

第6章 : 自動車の制御

第7章 : 船の制御

4 : 例題で学ぶ航空制御工学(技報堂出版, 2014)の例題

5 : 「形と飛行特性」関連の例題

6 : 「概念設計および演習」関連の例題

7 : 振動工学の問題集

8 : 微分方程式の初期値問題

(-1) : (戻る)

=====

(不明時は1を入力)

●EIGE解析の細部分類 1~ を選択 -->1

**(←1をキーイン)**

6 ここで, “1” をキーインすると, 次のように表示される.

1 : (EIGE. DESIGN1. DAT) 1次遅れ(基本的例題)

-----参考図書③ KMAPによる制御工学演習(産業図書, 2008)の演習問題より

4 : (EIGE. W318. SEIGY04. DAT) 2次遅れ

7 : (EIGE. W318. SEIGY07. DAT) 1次遅れ×3

14 : (EIGE. W318. SEIGY014. DAT) 直列+並列積分+リードラグ+1次遅れ×3

16 : (EIGE. W318. SEIGY016. DAT) 状態方程式(Ap, B2行列)のばね制御系解析

18 : (EIGE. W318. SEIGY018. DAT) 積分

19 : (EIGE. W318. SEIGY019. DAT) 1次遅れ

20 : (EIGE. W318. SEIGY020. DAT) 2次遅れ

21 : (EIGE. W318. SEIGY021. DAT) 2次遅れ

**24 : (EIGE. W318. SEIGY024. DAT) 状態方程式(Ap, B2行列)+フィードバック**

25 : (EIGE. W318. SEIGY025. DAT) 2次遅れ

(途中省略)

48 : (EIGE. W318. SEIGY048. DAT) オブザーバ

54 : (EIGE. W318. SEIGY054. DAT) サーボ系(LQI制御系)

55 : (EIGE. W318. SEIGY055. DAT) サーボ系(LQI制御系)でシステム変化の影響

62 : (EIGE. W318. SEIGY062A. DAT) 一般H $\infty$ 制御

64 : (EIGE. W318. SEIGY064. DAT) H $\infty$ 状態フィードバック

(-1):(戻る)

=====

(不明時は1を入力)

●上記をコピー利用する, 1~の番号を選択 -->24

(←24をキーイン)

7 “24”(1次遅れ)をキーインすると, 次のように表示される.

```
*****< 新しいファイル名入力してください >*****
* (現在のファイル名): EIGE. DESIGN1. DAT
*      入力例: EIGE. 000. DAT (000のみ記入, 文字数は任意)
*****
```

●新しいファイル名を入力(不明時は0入力)(-1は戻る) -->0

(↑適当なファイル名をキーイン)

8 ここで, ファイル名として“0”(自分でわかりやすいもの何でもよい)をキーインすると, 次のように表示される.

\*\*\*\*\*<< インプットデータ修正 >>\*\*\*\*\*

**1 = 制御則**

(・制御ブロック図における各ブロックの入出力関係をインプットデータに記述 )  
(・Z 接続法ゲイン最適化を行う場合は “1” を選択してください.)

- 2 = 状態方程式次元 (現状の次元数  $NXP=0$ )  
(・ $NXP>0$  のときは,  $Z1, Z3, Z5$  が制御入力,  $Z6\sim(NXP$  個)は状態変数)  
(・ $NXP=0$  のときは,  $Z1\sim$ 全て通常の  $Z$  変数として利用できる )
- 3 = 外部入力  
(・ $U1, U3, U5$  を時間の折れ線関数として設定して利用できる )  
(・シミュレーション時は,  $U1, U3, U5$  が同時に入力される )
- 4 = デバッグ時間(制御則部)  
(・シミュレーション時に各状態変数を 0.1 秒毎に表示する開始時間 )
- 5 = シミュレーション計算時間 (現状  $TMAX=0.4000E+02$  秒)
- 6 = インプットデータのタイトル
- 7 = 補間関数

参考 (①  $Z500, X50, H500, U40, R40, E80, D4$  まで可能. 制御則は 900 行まで可能.)  
(② 変数  $Z$  は, リミット関数以外は 2 回以上定義しないこと.)  
(③ 外部入力は  $U1, U3, U5$ , 状態方程式(次元数  $NXP\neq 0$ )の制御入力は  $Z1, Z3, Z5$ . )  
(④ 状態方程式を用いる ( $NXP\neq 0$ ) 場合は,  $Z_i (i=6+NXP)\sim, R_i (i=6+NXP)\sim$  使用可能.)  
(⑤ 状態方程式を用いない ( $NXP=0$ ) 場合は,  $Z1\sim, R6\sim$  使用可能.)

\*\*\*\*\*

●何を修正しますか? (番号キー), 修正なし(完了)=0

1

(←1 をキーイン)

9 上記メニューで “1” (制御則)を選択すると, 制御則(インプットデータの詳細)が表示されるが, やや長いので制御則修正にはやりにくいため制御則表示範囲をキーインするように表示がでる. そこで, 行表示開始行 “1”, 行表示終了行 “20” とキーインすると, 次のように表示される. なお, 制御則の中の “//” はコメント行で計算には影響しない行である.

| EIGE. W318. SEIGY024. DAT (ばねの2自由度振動+フィードバック+ノッチ) |                            |     |             |     |    |    |    |   |   |
|---|----------------------------|-----|-------------|-----|----|----|----|---|---|
| 1   | //AP, B2 行列データ設定           |     |             |     |    |    |    |   |   |
| 2   | H1=G; (m1)                 | H 0 | 0.1000E+01  | 11  | 1  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 3   | H2=G; (m2)                 | H 0 | 0.1000E+02  | 11  | 2  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 4   | H3=G; (k1)                 | H 0 | 0.5000E+03  | 11  | 3  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 5   | H4=G; (k2)                 | H 0 | 0.1000E+04  | 11  | 4  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 6   | H5=H3+H4;                  | H 0 |             | 21  | 5  | 3  | 4  | 0 | 0 |
| 7   | H6=H5/H1;                  | H 0 |             | 24  | 6  | 5  | 1  | 0 | 0 |
| 8   | H7=H6*G; -(k1+k2)/m1       | H 0 | -0.1000E+01 | 17  | 7  | 6  | 0  | 0 | 0 |
| 9   | H8=H4/H1; (k2/m1)          | H 0 |             | 24  | 8  | 4  | 1  | 0 | 0 |
| 10  | H9=H4/H2; (k2/m2)          | H 0 |             | 24  | 9  | 4  | 2  | 0 | 0 |
| 11  | H10=H9*G; -(k2/m2)         | H 0 | -0.1000E+01 | 17  | 10 | 9  | 0  | 0 | 0 |
| 12  | H11=G;                     | H 0 | 0.1000E+01  | 11  | 11 | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 13  | AP(I1, J3)H11;             | H 0 |             | 621 | 1  | 3  | 11 | 0 | 0 |
| 14  | AP(I2, J4)H11;             | H 0 |             | 621 | 2  | 4  | 11 | 0 | 0 |
| 15  | AP(I3, J1)H7;              | H 0 |             | 621 | 3  | 1  | 7  | 0 | 0 |
| 16  | AP(I3, J2)H8;              | H 0 |             | 621 | 3  | 2  | 8  | 0 | 0 |
| 17  | AP(I4, J1)H9;              | H 0 |             | 621 | 4  | 1  | 9  | 0 | 0 |
| 18  | AP(I4, J2)H10;             | H 0 |             | 621 | 4  | 2  | 10 | 0 | 0 |
| 19  | // (コントロール入力)=(Z1, Z3, Z5) |     |             |     |    |    |    |   |   |
| 20  | H12=H11/H1; (1/m1)         | H 0 |             | 24  | 12 | 11 | 1  | 0 | 0 |

行追加=1, 行削除=2, 行移動=3, 別範囲表示=4, 行コピー挿入=5  
 ケン変更=6, シャンプ先文番号変更=7, Z等の番号変更=8, 修正完了=9

**2** (←2をキーイン)

**10** 上記制御則の内、 $AP(I_n, J_m)H_i$  が制御対象の状態方程式の AP 行列である。ここで、 $H_i$  は一般変数で種々の途中計算などに利用できる便利な変数で、500 個利用できる。 $H_i$  にデータを格納しておく、 $AP(I_n, J_m)H_i$  としておくと、 $H_i$  の値が  $AP(I_n, J_m)$  に設定される。

上記ファイルには、既に本問題の制御則が書き込まれているが、ここでは練習のため、**10~13 行目を削除**してみよう。上記メニューの“2” (行削除) を選択 (キーイン) し、削除開始行を“10”，削除終了行を“13”とキーインすると、次のように表示される。

削除開始行？  
5  
削除終了行？  
7

上記リストの10～13行目が削除された

---

EIGE. W318. SEIGY024. DAT (ばねの2自由度振動系(バック+ノッチ))

|    |                                 |     |             |     |    |    |    |   |   |
|----|---------------------------------|-----|-------------|-----|----|----|----|---|---|
| 1  | //AP, B2 行列データ設定                |     |             |     |    |    |    |   |   |
| 2  | H1=G; (m1)                      | H 0 | 0.1000E+01  | 11  | 1  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 3  | H2=G; (m2)                      | H 0 | 0.1000E+02  | 11  | 2  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 4  | H3=G; (k1)                      | H 0 | 0.5000E+03  | 11  | 3  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 5  | H4=G; (k2)                      | H 0 | 0.1000E+04  | 11  | 4  | 0  | 0  | 0 | 0 |
| 6  | H5=H3+H4;                       | H 0 |             | 21  | 5  | 3  | 4  | 0 | 0 |
| 7  | H6=H5/H1;                       | H 0 |             | 24  | 6  | 5  | 1  | 0 | 0 |
| 8  | H7=H6*G; -(k1+k2)/m1            | H 0 | -0.1000E+01 | 17  | 7  | 6  | 0  | 0 | 0 |
| 9  | H8=H4/H1; (k2/m1)               | H 0 |             | 24  | 8  | 4  | 1  | 0 | 0 |
| 10 | AP(I2, J4)H11;                  | H 0 |             | 621 | 2  | 4  | 11 | 0 | 0 |
| 11 | AP(I3, J1)H7;                   | H 0 |             | 621 | 3  | 1  | 7  | 0 | 0 |
| 12 | AP(I3, J2)H8;                   | H 0 |             | 621 | 3  | 2  | 8  | 0 | 0 |
| 13 | AP(I4, J1)H9;                   | H 0 |             | 621 | 4  | 1  | 9  | 0 | 0 |
| 14 | AP(I4, J2)H10;                  | H 0 |             | 621 | 4  | 2  | 10 | 0 | 0 |
| 15 | //(コントロール入力)=(Z1, Z3, Z5)       |     |             |     |    |    |    |   |   |
| 16 | H12=H11/H1; (1/m1)              | H 0 |             | 24  | 12 | 11 | 1  | 0 | 0 |
| 17 | B2(I3, J1)H12;                  | H 0 |             | 623 | 3  | 1  | 12 | 0 | 0 |
| 18 | //                              |     |             |     |    |    |    |   |   |
| 19 | {Print(AP, B2, GP)} I4, J1, K1; | H 0 |             | 671 | 4  | 1  | 1  | 0 | 0 |
| 20 | Z10=Z8*G; (K1)                  | H 0 | 0.1000E+01  | 53  | 10 | 8  | 0  | 0 | 0 |

---

**行追加=1,** 行削除=2, 行移動=3, 別範囲表示=4, 行コピー挿入=5  
 ゲイン変更=6, ジャンプ先文番号変更=7, Z等の番号変更=8, 修正完了=9  
 (-1 を入力すると、いま行った処理を戻せます)

**1** (←1をキーイン)

**11** ここで、先ほど削除した下記制御則を再び書き込んでみよう。

|    |                    |                 |
|----|--------------------|-----------------|
| 10 | H9=H4/H2; (k2/m2)  | H 0             |
| 11 | H10=H9*G; -(k2/m2) | H 0 -0.1000E+01 |
| 12 | H11=G;             | H 0 0.1000E+01  |
| 13 | AP(I1, J3)H11;     | H 0             |

“1” をキーイン(行追加)

“9” をキーイン(9行目の後に追加する)

このとき、次のように<制御式の入力>が表示される。

```

***** (Q4) *****
(●メニュー表示 ⇒ QD:[代入], Q+:[足し算], Q-:[引き算], Q*:[かけ算], )
( Q/:[割り算], QF:[フィルタ], QG:[行列], QL:[リミット,R], QM:[モーメント], )
( QS:[数学], QK:[根軌跡], QJ:[Z時間変化], QT:[GOTO文] )
(●その他の関数表示は“F0”を, 制御則を表示するには“P”をキーイン。 )
-----
5 H4=G; (k2) H 0 0.1000E+04 11 4 0 0 0 0
6 H5=H3+H4; H 0 21 5 3 4 0 0
7 H6=H5/H1; H 0 24 6 5 1 0 0
8 H7=H6*G; -(k1+k2)/m1 H 0 -0.1000E+01 17 7 6 0 0 0
9 H8=H4/H1; (k2/m1) H 0 24 8 4 1 0 0
<制御式の入力>
Q/

```

(←Q/をキーイン)

12 ここで、「 $H9=H4/H2;$ 」を制御式として挿入するが、割り算であるので、「●メニュー表示」の中の“Q/”をキーインすると次のように表示される。

```

[割り算] F75 Z1=Z2/H3; F77 Z1=Z2/E3; F24 H1=H2/H3;
F25 H1=G/H3;
<制御式の入力>
F24

```

(←関数番号 F24 をキーイン)

13 ここで、関数番号“F24”をキーインすると、「 $H1=H2/H3;$ 」という関数が表示される。

F24

**H1=H2/H3;**H 番号 (-1 は戻る, -2 は関数再入力)=? **9**

H9=H2/H3;

2 つ目の H 番号 (-1 は戻る, -2 は関数再入力)=? **4**

H9=H4/H3;

3 つ目の H 番号 (-1 は戻る, -2 は関数再入力)=? **2**

H9=H4/H2;

(下記範囲にコメント記入) (-1 は同関数の最初に戻る, -2 は関数再入力)

**14** ここで、H を “9”, “4”, “2” 番に設定し、コメントはなし (単に Enter) とすると、次のように (9 行目に) 1 行挿入される。

-----  
EIGE. W318. SEIGY024. DAT (ばねの 2 自由度振動+フィードバック+ノッチ)

1 //AP, B2 行列データ設定

2 H1=G; (m1) H 0 0.1000E+01 11 1 0 0 0 0

3 H2=G; (m2) H 0 0.1000E+02 11 2 0 0 0 0

4 H3=G; (k1) H 0 0.5000E+03 11 3 0 0 0 0

5 H4=G; (k2) H 0 0.1000E+04 11 4 0 0 0 0

6 H5=H3+H4; H 0 21 5 3 4 0 0

7 H6=H5/H1; H 0 24 6 5 1 0 0

8 H7=H6\*G; -(k1+k2)/m1 H 0 -0.1000E+01 17 7 6 0 0 0

9 **H8=H4/H1; (k2/m1)** H 0 24 8 4 1 0 0

10 H9=H4/H2; H 0 24 9 4 2 0 0

11 AP(I2, J4)H11; H 0 621 2 4 11 0 0

(途中省略)  
-----

●その行の後に、行追加を続けますか? Yes=1, No=0

**1****(←1 をキーイン)**

15] ここで、先ほど削除した 11 行目の下記制御則を再び書き込む。

```

11  H10=H9*G; -(k2/m2)           H 0 -0.1000E+01
12  H11=G;                       H 0  0.1000E+01
13  AP(I1, J3)H11;              H 0

```

“1” をキーインして行追加を続けると、再び<制御式の入力>が表示される。

```

***** (Q4) *****
(●メニュー表示 ⇒ QD:[代入],   Q+:[足し算],   Q-:[引き算],   Q*:[かけ算], )
(   Q/[割り算],   QF:[フィルタ],   QG:[行列],   QL:[リミット,R],   QM:[モーメント], )
(   QS:[数学],   QK:[根軌跡],   QJ:[Z時間変化],   QT:[GOTO文] )
(●その他の関数表示は“F0”を,   制御則を表示するには“P”をキーイン。 )
-----
6  H5=H3+H4;                       H 0           21  5  3  4  0  0
7  H6=H5/H1;                       H 0           24  6  5  1  0  0
8  H7=H6*G; -(k1+k2)/m1           H 0 -0.1000E+01 17  7  6  0  0  0
9  H8=H4/H1; (k2/m1)              H 0           24  8  4  1  0  0
10 H9=H4/H2;                       H 0           24  9  4  2  0  0
<制御式の入力>
Q*

```

(←Q\*をキーイン)

16] ここで、再び上記の「●メニュー表示」の中の“Q\*”をキーインすると次のように表示される。

```

[かけ算]   F52  Z1=U2*G;   F53  Z1=Z2*G;   F17  H1=H2*G;
           F74  Z1=Z2*H3;   F76  Z1=Z2*E3;   F23  H1=H2*H3;
<制御式の入力>
F17

```

(←関数番号 F17 をキーイン)

17 ここで、“F17”とキーインし、H番号を“10”，“9”，ゲインを“-1”とキーインすると、次のように11行目に「H10=H9\*G;」が挿入される。

**F17**

H1=H2\*G;

H番号 (-1は戻る, -2は関数再入力)=? **10**

H10=H2\*G;

2つ目のH番号 (-1は戻る, -2は関数再入力)=? **9**

H10=H9\*G;

ゲインG=? **-1**

(下記範囲にコメント記入) (-1は同関数の最初に戻る, -2は関数再入力)

-----  
EIGE. W318. SEIGY024. DAT (ばねの2自由度振動+フィードバック+ノッチ)

|    |                            |     |                    |     |    |    |    |   |
|----|----------------------------|-----|--------------------|-----|----|----|----|---|
| 1  | //AP, B2 行列データ設定           |     |                    |     |    |    |    |   |
| 2  | H1=G: (m1)                 | H 0 | 0.1000E+01         | 11  | 1  | 0  | 0  | 0 |
| 3  | H2=G: (m2)                 | H 0 | 0.1000E+02         | 11  | 2  | 0  | 0  | 0 |
| 4  | H3=G: (k1)                 | H 0 | 0.5000E+03         | 11  | 3  | 0  | 0  | 0 |
| 5  | H4=G: (k2)                 | H 0 | 0.1000E+04         | 11  | 4  | 0  | 0  | 0 |
| 6  | H5=H3+H4;                  | H 0 |                    | 21  | 5  | 3  | 4  | 0 |
| 7  | H6=H5/H1;                  | H 0 |                    | 24  | 6  | 5  | 1  | 0 |
| 8  | H7=H6*G: -(k1+k2)/m1       | H 0 | -0.1000E+01        | 17  | 7  | 6  | 0  | 0 |
| 9  | H8=H4/H1: (k2/m1)          | H 0 |                    | 24  | 8  | 4  | 1  | 0 |
| 10 | H9=H4/H2;                  | H 0 |                    | 24  | 9  | 4  | 2  | 0 |
| 11 | <b>H10=H9*G;</b>           | H 0 | <b>-0.1000E+01</b> | 17  | 10 | 9  | 0  | 0 |
| 12 | AP (I2, J4) H11;           | H 0 |                    | 621 | 2  | 4  | 11 | 0 |
| 13 | AP (I3, J1) H7;            | H 0 |                    | 621 | 3  | 1  | 7  | 0 |
| 14 | AP (I3, J2) H8;            | H 0 |                    | 621 | 3  | 2  | 8  | 0 |
| 15 | AP (I4, J1) H9;            | H 0 |                    | 621 | 4  | 1  | 9  | 0 |
| 16 | AP (I4, J2) H10;           | H 0 |                    | 621 | 4  | 2  | 10 | 0 |
| 17 | // (コントロール入力)=(Z1, Z3, Z5) |     |                    |     |    |    |    |   |
| 18 | H12=H11/H1: (1/m1)         | H 0 |                    | 24  | 12 | 11 | 1  | 0 |
| 19 | B2 (I3, J1) H12;           | H 0 |                    | 623 | 3  | 1  | 12 | 0 |
| 20 | //                         |     |                    |     |    |    |    |   |

●その行の後に、行追加を続けますか? Yes=1, No=0

1

(←1をキーイン)

18] ここで、先ほど削除した 12 行目の下記制御則を再び書き込む。

```
12 H11=G; H 0 0.1000E+01
13 AP(I1, J3)H11; H 0
```

“1” をキーインして行追加を続けると、再び<制御式の入力>が表示される。

```
***** (Q4) *****
(●メニュー表示 ⇒ QD:[代入], Q+:[足し算], Q-:[引き算], Q*:[かけ算], )
( Q/:[割り算], QF:[フィルタ], QG:[行列], QL:[リミット,R], QM:[モーメント], )
( QS:[数学], QK:[根軌跡], QJ:[Z時間変化], QT:[GOTO文] )
(●その他の関数表示は“F0”を, 制御則を表示するには“P”をキーイン. )
-----
6 H5=H3+H4; H 0 21 5 3 4 0 0
7 H6=H5/H1; H 0 24 6 5 1 0 0
8 H7=H6*G; -(k1+k2)/m1 H 0 -0.1000E+01 17 7 6 0 0 0
9 H8=H4/H1; (k2/m1) H 0 24 8 4 1 0 0
10 H9=H4/H2; H 0 24 9 4 2 0 0
<制御式の入力>
QD (←QD をキーイン)
```

19] ここで、「●メニュー表示」の中の“QD”（代入）をキーインすると次のように表示される。

```
[代入] F11 H1=G; F12 H1=Z1; F13 H1=E2; F54 Z1=H2;
<制御式の入力>
F11 (←関数番号 F11 をキーイン)
```

20 ここで，“F11” とキーインし，H 番号を “11”，ゲインを “1” とキーインすると，次のように 12 行目に「H11=G;」が挿入される。

```

F11
H1=G;
  H 番号 (-1 は戻る, -2 は関数再入力)=? 11
H11=G;
  ゲイン G=? 1

(下記範囲にコメント記入) (-1 は同関数の最初に戻る, -2 は関数再入力)
-----

EIGE. W318. SEIGY024. DAT (ばねの 2 自由度振動+フィードバック+ノッチ)
1 //AP, B2 行列データ設定
2 H1=G: (m1)           H 0  0.1000E+01  11  1  0  0  0  0
3 H2=G: (m2)           H 0  0.1000E+02  11  2  0  0  0  0
4 H3=G: (k1)           H 0  0.5000E+03  11  3  0  0  0  0
5 H4=G: (k2)           H 0  0.1000E+04  11  4  0  0  0  0
6 H5=H3+H4;           H 0                21  5  3  4  0  0
7 H6=H5/H1;           H 0                24  6  5  1  0  0
8 H7=H6*G: -(k1+k2)/m1 H 0 -0.1000E+01  17  7  6  0  0  0
9 H8=H4/H1: (k2/m1)   H 0                24  8  4  1  0  0
10 H9=H4/H2;           H 0                24  9  4  2  0  0
11 H10=H9*G;           H 0 -0.1000E+01  17 10  9  0  0  0
12 H11=G;           H 0  0.1000E+01 11 11  0  0  0  0
13 AP (I2, J4) H11;   H 0                621 2  4 11  0  0
14 AP (I3, J1) H7;    H 0                621 3  1  7  0  0
15 AP (I3, J2) H8;    H 0                621 3  2  8  0  0
16 AP (I4, J1) H9;    H 0                621 4  1  9  0  0
17 AP (I4, J2) H10;   H 0                621 4  2 10  0  0
18 //(コントロール入力)=(Z1, Z3, Z5)
19 H12=H11/H1: (1/m1) H 0                24 12 11  1  0  0
20 B2 (I3, J1) H12;   H 0                623 3  1 12  0  0
-----

●その行の後に, 行追加を続けますか?  Yes=1,  No=0
1

```

←1 をキーイン)

21 ここで、先ほど削除した 13 行目の下記制御則を再び書き込む。

13 AP(I1, J3)H11;

H 0

“1” をキーインして行追加を続けると、再び<制御式の入力>が表示される。

```

***** (Q4) *****
(●メニュー表示 ⇒ QD:[代入], Q+:[足し算], Q-:[引き算], Q*:[かけ算], )
( Q/:[割り算], QF:[フィルタ], QG:[行列], QL:[リミッタ,R], QM:[モーメント], )
( QS:[数学], QK:[根軌跡], QJ:[Z時間変化], QT:[GOTO文] )
(●その他の関数表示は“F0”を, 制御則を表示するには“P”をキーイン. )
-----
6 H5=H3+H4; H 0 21 5 3 4 0 0
7 H6=H5/H1; H 0 24 6 5 1 0 0
8 H7=H6*G; -(k1+k2)/m1 H 0 -0.1000E+01 17 7 6 0 0 0
9 H8=H4/H1; (k2/m1) H 0 24 8 4 1 0 0
10 H9=H4/H2; H 0 24 9 4 2 0 0
<制御式の入力>
QH (←QH をキーイン)

```

22 ここで、「●メニュー表示」の中の“QG”（行列）をキーインすると次のように表示される。

```

[行列] F621 AP(I1, J2)H3; F622 BP(I1, J2)H3; F628 B1(I1, J2)H3;
F623 B2(I1, J2)H3; F624 CP(I1, J2)H3; F625 C1(I1, J2)H3;
F671 {Print(AP, B2, CP)} I1J2K3; (行列の使い方については QH キー)
<制御式の入力>
QH (←関数番号 QH をキーイン)

```

23 ここで，“QH”（行列の使い方の説明）とキーインすると，次のように表示される．

**QG**  
 [行列] **F621 AP(I1, J2)H3;** F622 BP(I1, J2)H3; F628 B1(I1, J2)H3;  
 F623 B2(I1, J2)H3; F624 CP(I1, J2)H3; F625 C1(I1, J2)H3;  
 F671 {Print(AP, B2, CP)} I1J2K3; (行列の使い方については QH キー)

<制御式の入力>

**QH**  
 [行列の使い方説明] EIGE では  $\dot{X} = AP \cdot X + B1 \cdot \text{外力}(U1, U3, U5) + B2 \cdot \text{コントロール}(Z1, Z3, Z5)$ .  
 ここで, B1 は BP と同じで, B1 で定義しても内部では BP となる. C1 と CP とは異なり.  
 EIGE の H $\infty$  制御では B1, C1, CP を定義要. 一般 DAT も含め航空機の場合は, AP, B1, B2 は  
 定義不要であるが最適制御の評価関数用には CP を定義要.

<制御式の入力>

**F621** (←関数番号 F621 をキーイン)

24 ここで，“F621”とキーインし，I 番号を“1”，J 番号を“3”，H 番号を“11”とキーインすると，次のように 13 行目に「AP(I1, J3)H11;」が挿入される．

**F621**

AP (I1, J2) H3;

I 番号 (-2 は関数再入力)=? 1

AP (I1, J2) H3;

J 番号 (-1 は戻る, -2 は関数再入力)=? 3

AP (I1, J3) H3;

H 番号 (-1 は戻る, -2 は関数再入力)=? 11

AP (I1, J3) H11;

(下記範囲にコメント記入) (-1 は同関数の最初に戻る, -2 は関数再入力)

EIGE. W318. SEIGY024. DAT (ばねの 2 自由度振動+フィードバック+ノッチ)

```

1 //AP, B2 行列データ設定
2 H1=G; (m1)           H 0  0.1000E+01  11  1  0  0  0  0
3 H2=G; (m2)           H 0  0.1000E+02  11  2  0  0  0  0
4 H3=G; (k1)           H 0  0.5000E+03  11  3  0  0  0  0
5 H4=G; (k2)           H 0  0.1000E+04  11  4  0  0  0  0
6 H5=H3+H4;           H 0  0.6000E+04  21  5  3  4  0  0
7 H6=H5/H1;           H 0  0.6000E+04  24  6  5  1  0  0
8 H7=H6*G; -(k1+k2)/m1 H 0 -0.1000E+01  17  7  6  0  0  0
9 H8=H4/H1; (k2/m1)   H 0  0.1000E+04  24  8  4  1  0  0
10 H9=H4/H2;           H 0  0.1000E+04  24  9  4  2  0  0
11 H10=H9*G;           H 0 -0.1000E+01  17 10  9  0  0  0
12 H11=G;              H 0  0.1000E+01  11 11  0  0  0  0
13 AP (I1, J3) H11;   H 0  0.1000E+01  621 1  3 11  0  0
14 AP (I2, J4) H11;   H 0  0.1000E+01  621 2  4 11  0  0
15 AP (I3, J1) H7;    H 0  0.1000E+01  621 3  1  7  0  0
16 AP (I3, J2) H8;    H 0  0.1000E+01  621 3  2  8  0  0
17 AP (I4, J1) H9;    H 0  0.1000E+01  621 4  1  9  0  0
18 AP (I4, J2) H10;   H 0  0.1000E+01  621 4  2 10  0  0
19 //(コントロール入力)=(Z1, Z3, Z5)
20 H12=H11/H1; (1/m1) H 0  0.1000E+01  24 12 11  1  0  0

```

●その行の後に、行追加を続けますか? Yes=1, No=0

0

(&lt;0 をキーイン)

25 図(a)のブロック図の中で、状態方程式で表した制御対象以外の制御則は、伝達関数で構成されているので、これについては「伝達関数表現による制御系解析」の説明書が別途あるので、ここでは省略する。

これで、制御則が全て完了したとして、“0” (行追加は終了)、“9” (修正完了)とキーインすると、次のように表示される。

● **ゲイン最適化**を実行しますか？

⇒ =0(実行しない), =1(実行する)

0

(←0をキーイン)

26 ここで、**ゲイン最適化**を実行するかの確認がある。ここでは“0”（実行しない）をキーインすると、次のように表示される。

● AP 行列を使用(状態方程式を使用)する場合の**次元数確認**

(状態方程式を使用しない場合は NXP=0 です) ⇒ (現状 NXP= 4)

修正しますか? ⇒ (修正なし=0, 修正する=1)

0

(←0をキーイン)

27 ここで、状態方程式の場合の**次元数確認**がある。現状 NXP=4 を確認して、“0”をキーインすると、次のように表示される。

● **シミュレーション時の初期値**は現在次のようになっています。

初期値 X( 1)= 0.0000E+00

X( 2)= 0.0000E+00

X( 3)= 0.0000E+00

X( 4)= 0.0000E+00

・初期値を修正しますか? ⇒ (修正なし=0, 修正する=1)

0

(←0をキーイン)

28 ここで、**シミュレーション時の初期値**の確認がある。初期値を確認して、“0”をキーインすると、次のように表示される。

- **安定解析の出力変数 Z** は下記でよいですか？
- 0 R6=Z6: (出力 i=4 番目) (状態変数 x1 を設定済み)
  - 0 R7=Z7: (出力 i=5 番目) (状態変数 x2 を設定済み)
  - 0 R8=Z8: (出力 i=6 番目) (状態変数 x3 を設定済み)
  - 0 R9=Z9: (出力 i=7 番目) (状態変数 x4 を設定済み)
- (修正なし=0, 修正する=1)

0

(&lt;0 をキーイン)

29 ここで、**安定解析の出力変数**の確認がある。出力変数を確認して、“0”をキーインすると、次のように表示される。

- **シミュレーションの出力変数** は下記でよいですか？
- 45 Z191=Z6\*G: (x1)
  - 46 Z192=Z7\*G: (x2)
- (シミュレーションに出力したい Z, U 番号を, Z191~Z200 に設定しましたか?)  
(修正なし=0, 修正する=1)

0

(&lt;0 をキーイン)

30 ここで、**シミュレーションの出力変数**の確認がある。出力変数を確認して、“0”をキーインすると、次のように表示される。

```

*****<< インプットデータ修正) >>*****
1 = 制御則
    (・制御ブロック図における各ブロックの入出力関係をインプットデータに記述 )
    (・Z接続法ゲイン最適化を行う場合は“1”を選択してください。)

2 = 状態方程式次元 (現状の次元数 NXP= 4)
    (・NXP>0 のときは, Z1,Z3,Z5 が制御入力, Z6~(NXP 個)は状態変数)
    (・NXP=0 のときは, Z1~全て通常の Z 変数として利用できる )

3 = 外部入力
    (・U1,U3,U5 を時間の折れ線関数として設定して利用できる )
    (・シミュレーション時は, U1,U3,U5 が同時に入力される )

4 = デバッグ時間(制御則部)
    (・シミュレーション時に各状態変数を 0.1 秒毎に表示する開始時間 )

5 = シミュレーション計算時間 (現状 TMAX= 0.4000E+02 秒)
6 = インプットデータのタイトル
7 = 補間関数

参考 (①Z500, X50, H500, U40, R40, E80, D4 まで可能. 制御則は 900 行まで可能.)
      (②変数 Z は, リミット関数以外は 2 回以上定義しないこと. )
      (③外部入力は U1, U3, U5, 状態方程式(次元数 NXP≠0)の制御入力は Z1, Z3, Z5. )
      (④状態方程式を用いる(NXP≠0)場合は, Zi (i=6+NXP)~, Ri (i=6+NXP)~使用可能.)
      (⑤状態方程式を用いない(NXP=0)場合は, Z1~, R6~使用可能. )
*****
●何を修正しますか? (番号キー), 修正なし(完了)=0
0

```

(←0 をキーイン)

31 ここで, 上記メニューで修正がなければ, “0” をキーインすると, 次のように表示される.

```

***** (制御系解析メニュー) *****
* 1 : U1 系 (f 特, 根軌跡, 極・零点) *
* 3 : U3 系 (f 特, 根軌跡, 極・零点) *
* 5 : U5 系 (f 特, 根軌跡, 極・零点) *
*****
(不明時は 1 入力)
●上記解析メニューから選択してください

```

1

(←1 をキーイン)



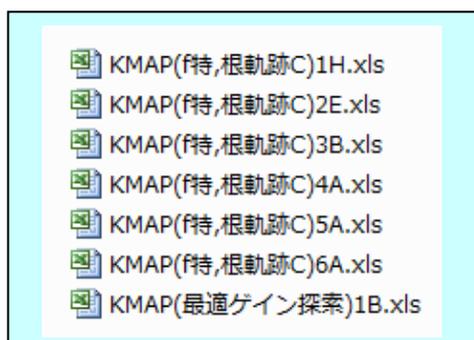
```

***** (フィードバック前の極チェック) *****
***** POLES *****
POLES ( 8), EIVMAX= 0.500D+02
  N      REAL      IMAG
  1  -0.34999999D+02  -0.35707143D+02 [ 0.7000E+00, 0.5000E+02]
  2  -0.34999999D+02   0.35707143D+02  周期 P(sec)= 0.1760E+00
  3  -0.12000000D+02  -0.38157568D+02 [ 0.3000E+00, 0.4000E+02]
  4  -0.12000000D+02   0.38157568D+02  周期 P(sec)= 0.1647E+00
  5   0.00000000D+00  -0.39599426D+02 [ 0.0000E+00, 0.3960E+02]
  6   0.00000000D+00  -0.56467181D+01 [ 0.0000E+00, 0.5647E+01]
  7   0.00000000D+00   0.56467181D+01  周期 P(sec)= 0.1113E+01
  8   0.00000000D+00   0.39599426D+02  周期 P(sec)= 0.1587E+00
*****
(以下の解析結果は インプットデータの制御則 による)
***** POLES AND ZEROS *****
POLES ( 8), EIVMAX= 0.5065D+02
  N      REAL      IMAG
  1  -0.44589048D+02   0.00000000D+00
  2  -0.20147669D+02   0.00000000D+00
  3  -0.89808951D+01  -0.49851072D+02 [ 0.1773E+00, 0.5065E+02]
  4  -0.89808951D+01   0.49851072D+02  周期 P(sec)= 0.1260E+00
  5  -0.35308952D+01  -0.61187661D+01 [ 0.4998E+00, 0.7064E+01]
  6  -0.35308952D+01   0.61187661D+01  周期 P(sec)= 0.1027E+01
  7  -0.21198512D+01  -0.41642583D+02 [ 0.5084E-01, 0.4170E+02]
  8  -0.21198512D+01   0.41642583D+02  周期 P(sec)= 0.1509E+00
ZEROS ( 4), II/JJ= 4/ 1, G= 0.2498D+04
  N      REAL      IMAG
  1  -0.12000000D+02  -0.38157568D+02 [ 0.3000E+00, 0.4000E+02]
  2  -0.12000000D+02   0.38157568D+02
  3   0.00000000D+00  -0.10000000D+02 [ 0.0000E+00, 0.1000E+02]
  4   0.00000000D+00   0.10000000D+02

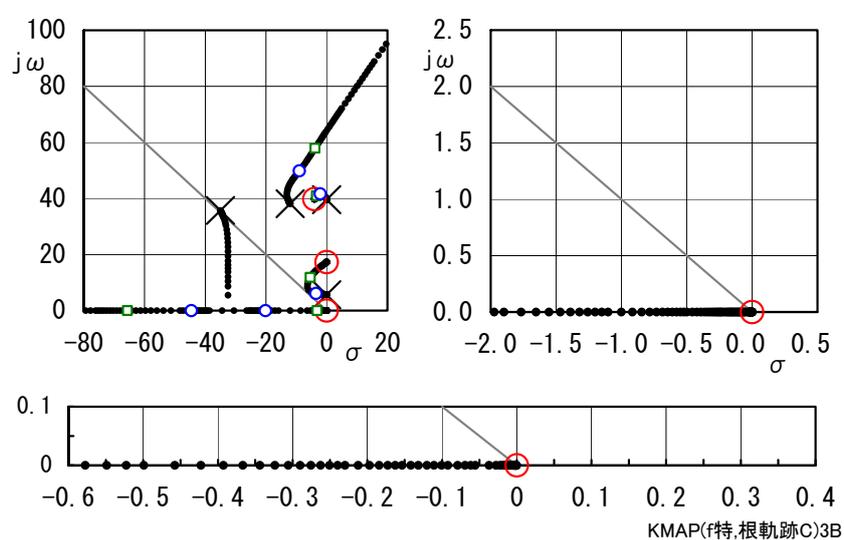
```

(ここで, “Enter” を押すとこの表示は消える)

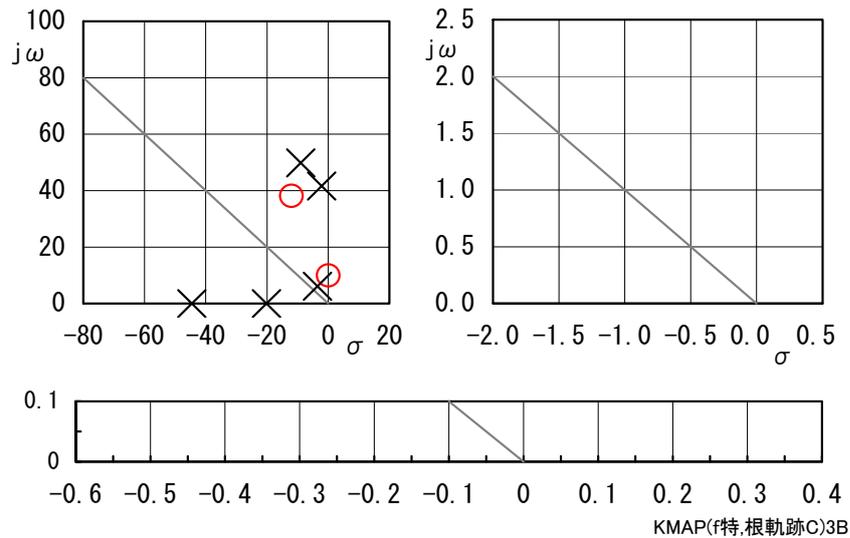
**35** 次に, <解析結果の表示>で “1” をキーインすると, Excel ファイルの一覧表が次のように表示される.



ここで、“**KMAP(f 特, 根軌跡 C)3B**”というエクセルファイルを開いてデータ更新すると次のように極・零点およびボード線図を描くことができる。

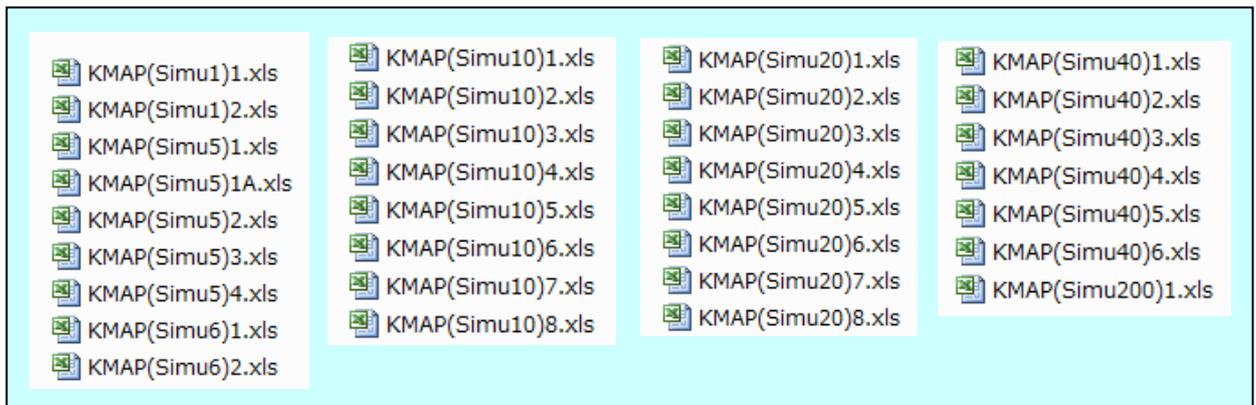


図(b) 根軌跡 (入力  $U_1$ , 出力  $x_1(t)$ )

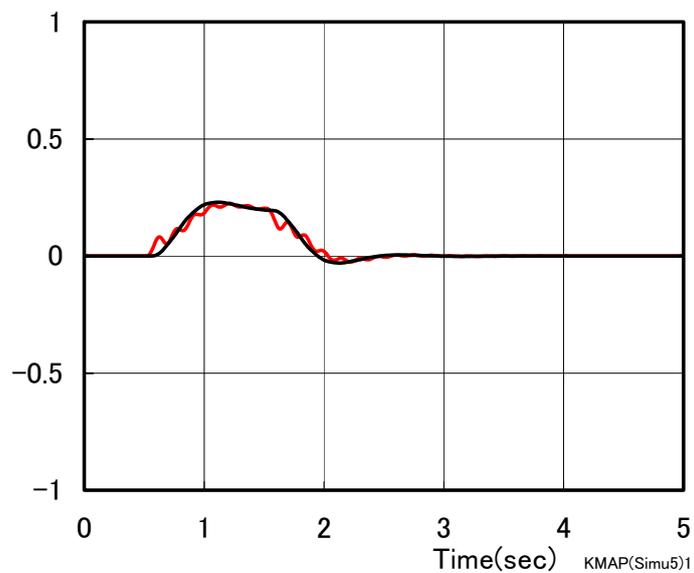


図(c) 極・零点 (入力  $U_1$ , 出力  $x_1(t)$ )

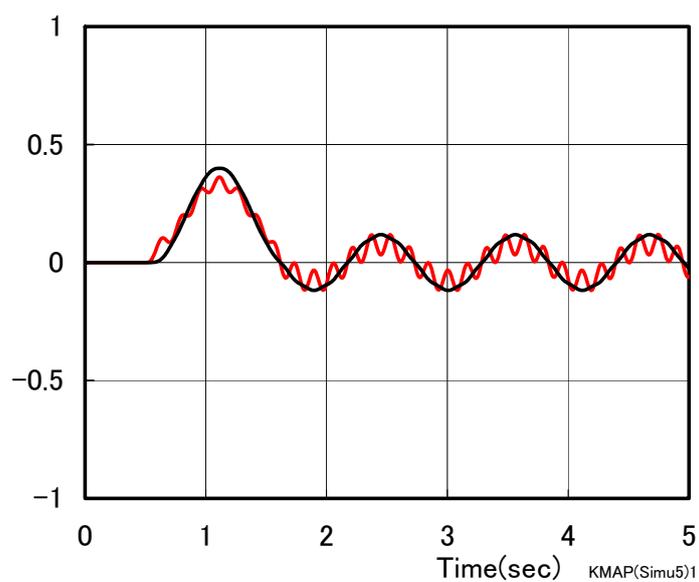
**36** 次に、<解析結果の表示>で“7”をキーインすると、Excelファイルの一覧表が次のように表示される。



ここで、“KMAP(Simu5)1”というエクセルファイルを開いてデータ更新すると以下のようにシミュレーション図を描くことができる。



図(d) 制御有りシミュレーション (赤:  $x_1(t)$ , 黒:  $x_2(t)$ )



図(e) 制御なしシミュレーション (赤:  $x_1(t)$ , 黒:  $x_2(t)$ )

