

制御系解析プログラム KMAP (伝達関数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、解析ソフトによって簡単に計算でき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 伝達関数で表されたシステムの特性解析

伝達関数で表されたシステムについて、KMAPによる特性解析の方法を述べる。

2.1 運動方程式を伝達関数によって表す方法について

(1) ラプラス変換と伝達関数

図 2.1-1 のようなばねとダッシュポット系を考えてみよう。 m は質量、 k はばね定数、 c は速度に比例した力を発生するダッシュポットである。時間 t における変位 x の値を $x(t)$ 、強制力 u の値を $u(t)$ と書き、これらは時間 t の関数と言われる。

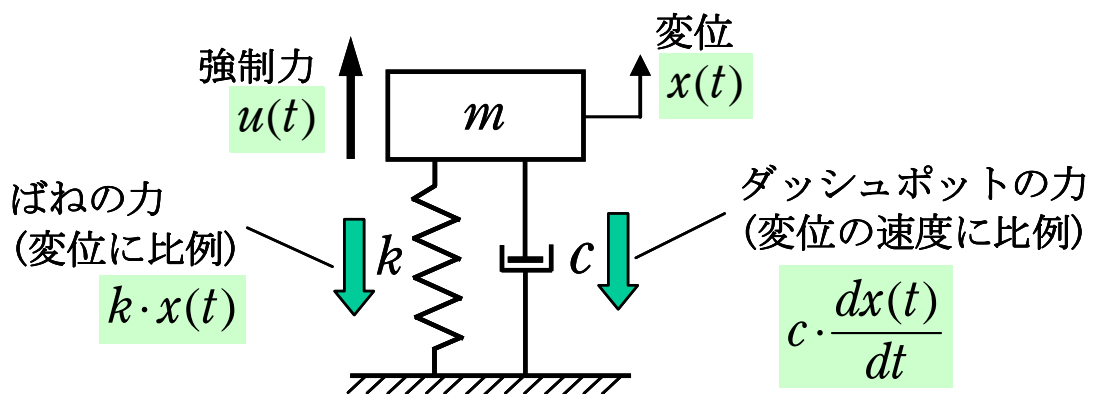


図 2.1-1 ばねとダッシュポット系

変位 $x(t)$ を時間で微分した関数 $dx(t)/dt$ はその時間 t における速度を表す。さらに数 $dx(t)/dt$ を微分した関数 $d^2x(t)/dt^2$ は加速度を表す。

さて、**ニュートンの運動方程式**は、次の関係式である。

$$\boxed{\text{質量} \times \text{加速度} = \text{力}} \quad (2.1)$$

このニュートンの運動方程式を適用すると、図 2.1-1 の系は次のような運動方程式で表される。

$$m \cdot \frac{d^2x(t)}{dt^2} = -k \cdot x(t) - c \cdot \frac{dx(t)}{dt} + u(t) \quad (2.2)$$

このように、運動状態を表す関係式は、一般的に $d^2x(t)/dt^2$, $dx(t)/dt$, $x(t)$, $u(t)$, m , k , c (m , k , および c は定数) で表され、この関係式は **微分方程式** と呼ばれる。ここで、 $k \cdot x(t)$ など k と $x(t)$ のかけ算を表す。

(2.2) 式の微分方程式は直接時間関数として解くよりも、**ラプラス変換** (時間 t からラプラスの s への変換) という手法を用いて解く方が簡単である。ラプラス変換とは次のような変換である。

<ラプラス変換は簡単!!>
ラプラス変換はこれだけ覚えればよい

$$x(t) \Rightarrow X(s) \quad (\text{時間関数 } x(t) \text{ は } s \text{ の関数 } X(s) \text{ に置き換える}) \quad (2.3a)$$

$$\frac{dx(t)}{dt} \Rightarrow s \cdot X(s) \quad (x(t) \text{ の微分は } X(s) \text{ に } s \text{ をかけたもの}) \quad (2.3b)$$

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} \Rightarrow s^2 \cdot X(s) \quad (x(t) \text{ の 2 回微分は } X(s) \text{ に } s^2 \text{ をかけたもの}) \quad (2.3c)$$

$$\int x(t) dt \Rightarrow \frac{1}{s} \cdot X(s) \quad (x(t) \text{ の積分は } X(s) \text{ を } s \text{ でわったもの}) \quad (2.3d)$$

(2.2)式の微分方程式について，ラプラス変換すると次のようになる．

$$m \cdot \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -k \cdot x(t) - c \cdot \frac{dx(t)}{dt} + u(t)$$

$$\Rightarrow m \cdot s^2 \cdot X(s) = -k \cdot X(s) - c \cdot s \cdot X(s) + U(s) \quad (2.4)$$

このようにラプラス変換すると，左辺と右辺の $X(s)$ は同じものとなるので，(2.4)式右辺の $X(s)$ の項を左辺に移して，左辺の $X(s)$ とまとめると次のようになる．

$$(m \cdot s^2 + c \cdot s + k) \cdot X(s) = U(s) \quad (2.5)$$

これから次式が得られる．

$$X(s) = \frac{1}{m \cdot s^2 + c \cdot s + k} U(s) \quad (2.6)$$

これが微分方程式(2.2)式のラプラス空間における(ラプラス変換法を用いた)解である．ラプラス変換を用いると非常に簡単であることがわかる．

(2.6)式を変形した次式 $G(s)$ (入力 $U(s)$ に対する出力 $X(s)$ を s の関数で表したものは **伝達関数** といわれる．また， s の関数のことを **フィルタ** とも呼ぶ．

$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{1}{m \cdot s^2 + c \cdot s + k} \quad (2.7)$$

すなわち，微分方程式の解を時間関数として求めなくても， s の関数である伝達関数によって解を評価できるので簡単である．

(2) 伝達関数の極および零点

伝達関数の分母および分子は、一般的には次のような s の高次方程式で表される。

$$G(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n} \quad (2.8)$$

(2.8) 式の **分母=0** の式は**特性方程式**と呼ばれる。いまその n 個の解を $s = p_1, \dots, p_n$ とすると、この s は**極**または**特性根**と呼ばれる。“特性根”といわれるのは、その値によって(2.8)式で表されるシステムの固有の特性(システムが外乱を受けたときの減衰特性など)が決まるからである。

(2.8) 式の **分子=0** の m 個の解を $s = q_1, \dots, q_m$ とすると、この s は**零点**と呼ばれる。このとき、(2.8)式は極および零点を用いて次のように表される。

$$G(s) = \frac{b_0 (s - q_1) \times (s - q_2) \times \dots \times (s - q_m)}{(s - p_1) \times (s - p_2) \times \dots \times (s - p_n)} \quad (2.9)$$

すなわち、伝達関数で表されるシステムの特性は、ラプラス平面上の**極・零点配置**によって決定される。極はシステムの固有の特性を決め、零点は入力に対する応答特性を決めるものである。

ラプラス空間での評価方法

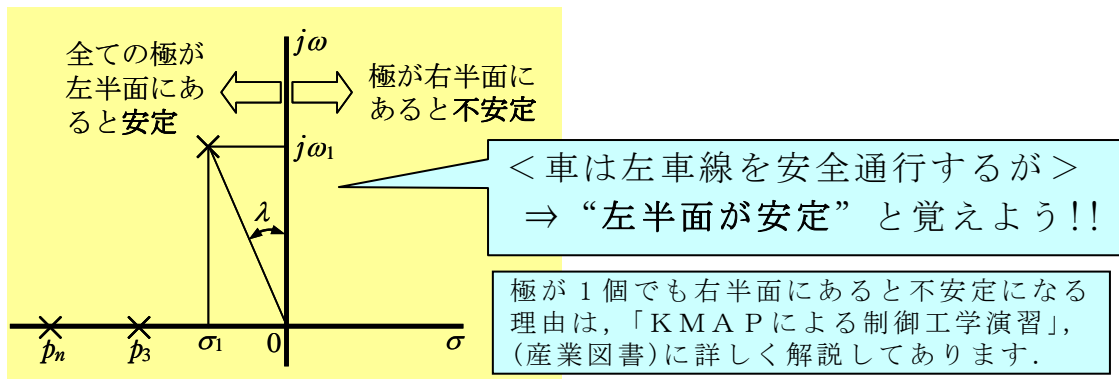


図 2.1-3 極の配置と安定性

$s = \sigma_1 \pm j\omega_1$: 複素極	
$\omega_n = \sqrt{\sigma_1^2 + \omega_1^2}$: 固有角振動数 (rad/s)	
$\omega_1 = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$: 減衰固有角振動数 (rad/s)	(2.10)
$\zeta = \sin \lambda = \frac{-\sigma_1 / \omega_1}{\sqrt{1 + (\sigma_1 / \omega_1)^2}}$: 減衰比	
$P = \frac{2\pi}{\omega_1}$: 周期 (sec)	

(3) 伝達関数の分割 (Z 接続法)

$$G(s) = \frac{b_0(s-q_1)(s-q_2)\cdots(s-q_m)}{(s-p_1)(s-p_2)\cdots(s-p_n)} \quad (2.9)$$

この伝達関数の分母と分子は, $(s-s_i)$ のかけ算で与えられる.

$$G(s) = b_0 \frac{s-q_1}{s-p_1} \times \frac{s-q_2}{s-p_2} \times \cdots \times \frac{s-q_m}{s-p_m} \times \frac{1}{s-p_{m+1}} \times \cdots \times \frac{1}{s-p_n} \quad (2.11)$$

この式の右辺の後半部の分子が 1 になっているのは, 一般的に分母の次数 (n) が分子の次数 (m) よりも等しいかまたは大きいことによる.

分母の極 p_i が実数の場合は, $(s-p_i)$ の項は, 一般的に少し変形した次の形式で表現される.

1 次遅れ形 (1 次遅れフィルタ)

$$\frac{1}{s-p_i} = T_i \times \frac{1}{1+T_i s}, \quad \text{ただし } T_i = \frac{1}{-p_i} \quad (2.12a)$$

リードラグ

$$\frac{s-q_i}{s-p_i} = G_i \times \frac{1+T_{i2}s}{1+T_{i1}s}, \quad \text{ただし } G_i = \frac{q_i}{p_i}, \quad T_{i1} = \frac{1}{-p_i}, \quad T_{i2} = \frac{1}{-q_i} \quad (2.12b)$$

ハイパス

$$\frac{s}{s-p_i} = \frac{T_i s}{1+T_i s}, \quad \text{ただし } T_i = \frac{1}{-p_i} \quad (2.12c)$$

T_i , T_{i1} , T_{i2} は時定数 (秒), G_i はゲインと呼ばれる.

2次遅れ形(2次遅れフィルタ)

$$\frac{1}{(s-p_1)(s-\bar{p}_1)} = \frac{1}{\omega_1^2} \times \frac{\omega_1^2}{s^2 + 2\zeta_1\omega_1 s + \omega_1^2} \quad (2.13b)$$

$$\bar{p}_1 \text{ は極 } p_1 \text{ の共役複素数, } 2\zeta_1\omega_1 = -(p_1 + \bar{p}_1), \quad \omega_1^2 = p_1 \bar{p}_1 \quad (2.13c)$$

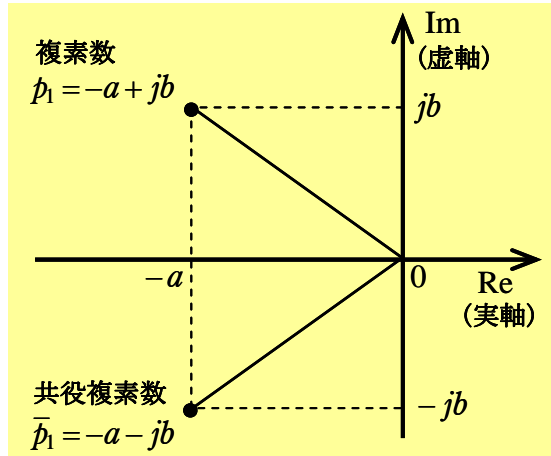


図 2.1-4 複素数と共役複素数

分母の極が複素数の場合(例えば p_1 が複素数の場合)は, 図 2.1-4 に示すように必ず**共役複素数**(実数部が等しく虚数部が反対符号の複素数で \bar{p}_1 と表す)が存在し, 複素数とその共役複素数との一対でひとつの振動特性根を表す.

このようなフィルタを用いると，(2.8)式のような分母の s の次数が大きな伝達関数は，表 2.1-1 に示す伝達関数の基本要素のかけ算で表すことができる。

$$G(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n} = K \times \frac{1}{s} \times \frac{1}{1+T_1 s} \times \frac{T_2 s}{1+T_2 s} \times \frac{1+T_3 s}{1+T_3 s} \times \frac{\omega_1^2}{s^2 + 2\zeta_1 \omega_1 s + \omega_1^2} \times \frac{s}{s^2 + 2\zeta_2 \omega_2 s + \omega_2^2} \times \frac{s^2 + 2\zeta_3' \omega_3 s + \omega_3'^2}{s^2 + 2\zeta_3 \omega_3 s + \omega_3^2} \times \dots \quad (2.14)$$

この伝達関数は，制御系全体の特性だけでなく，制御対象を制御するための制御則においても基本要素を用いて表すことができる。

表 2.1-1 伝達関数の基本要素

基本要素	伝達関数
積分	$\frac{1}{s}$
1次遅れ形 (1次遅れフィルタ)	$\frac{1}{1+Ts}$
ハイパスフィルタ	$\frac{Ts}{1+Ts}$
リードラグフィルタ	$\frac{1+T_2 s}{1+T_1 s}$
2次遅れ形 (2次遅れフィルタ)	$\frac{\omega^2}{s^2 + 2\zeta \omega s + \omega^2}$
1次/2次形	$\frac{s}{s^2 + 2\zeta \omega s + \omega^2}$
2次/2次形 (ノッチフィルタ)	$\frac{s^2 + 2\zeta_2 \omega_2 s + \omega_2^2}{s^2 + 2\zeta_1 \omega_1 s + \omega_1^2}$

全ての伝達関数は，これらの基本要素のかけ算で表される

この表で， T は時定数(秒)， ζ は減衰比(無次元)， ω は固有振動数(rad/s)である。この基本要素フィルタはどのような特性なのかをみるために，参考までにステップ応答を図 2.1-5 に示す。

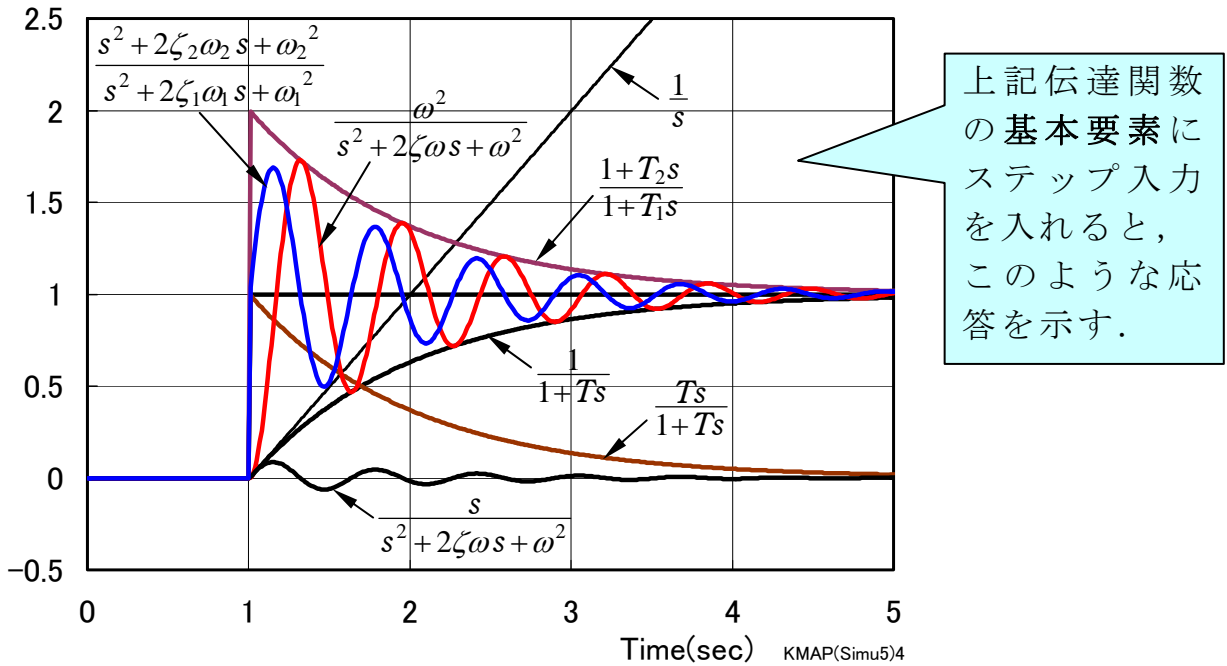


図 2.1-5 伝達関数の基本要素の特性

さて、一般の制御系は表 2.1-1 に示す伝達関数の基本要素のかけ算で表されることから、制御系の解析する場合に伝達関数を構成する基本要素の入出力に Z 変数を割り当て、伝達関数全体の入力から出力までを Z 変数でつなぐことで伝達関数を表すと便利である。ここでは、この方法を“Z 接続法” (Z-Connection Method) と呼ぶことにする。図 2.1-6 は、Z 接続法による伝達関数表現の一例である。

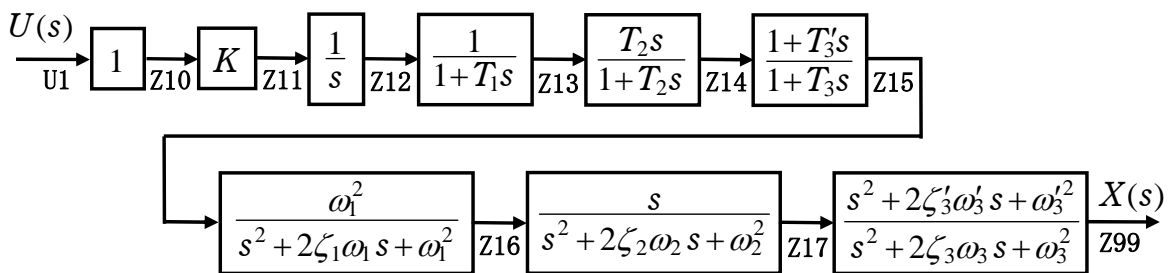


図 2.1-6 Z 接続法による伝達関数表現例

一般の制御系を図 2.1-6 のように表すと、その制御系の極・零点が明

確となり，制御系の構造の解釈が容易になる．また，複雑な制御系においても，解析を見通しよく行うことができる．

フィードバックがある場合も，そのZ変数を引き算するだけで簡単にフィードバック制御系を構成できる．具体例を図 2.1-7 に示す．

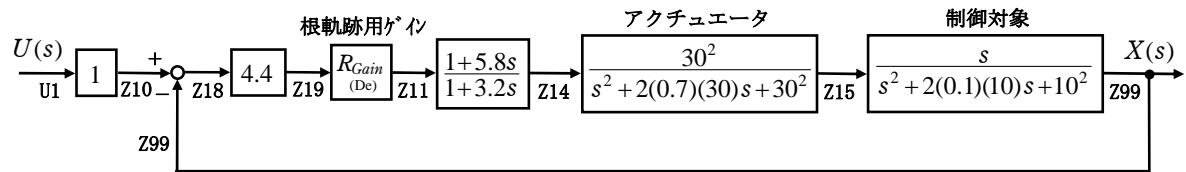


図 2.1-7 フィードバックがある場合の Z 接続法表現例

(4) 伝達関数の周波数特性

伝達関数 $G(s)$ は、入力 $U(s)$ に対する出力 $X(s)$ を s の関数で表したものであるが、 $G(s)$ における s を $j\omega$ におき換えると時間空間での応答性に関する情報が直接得られるので非常に便利である。この関数は**周波数伝達関数**と呼ばれ、次式で表される。

$$G(j\omega) = re^{j\phi} \quad (2.15)$$

ここで、 ω は入力 $u(t)$ を周期入力 $\sin\omega t$ とした場合の周波数 (rad/s) である。周波数伝達関数 $G(j\omega)$ は、複素数であるので図示すると、図 2.1-8 のように表される。

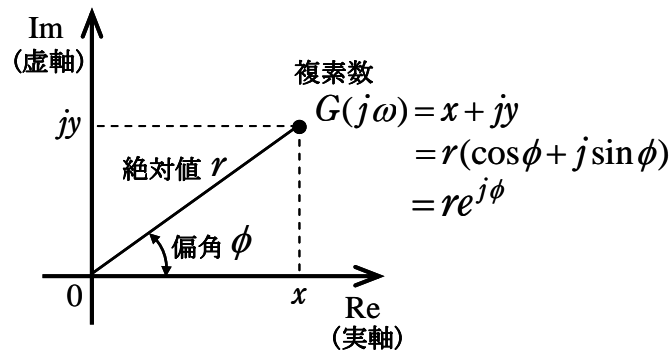


図 2.1-8 ラプラス平面 (複素数平面)

システムに周期入力を与えたときの出力との関係を図 2.1-9 に示す。

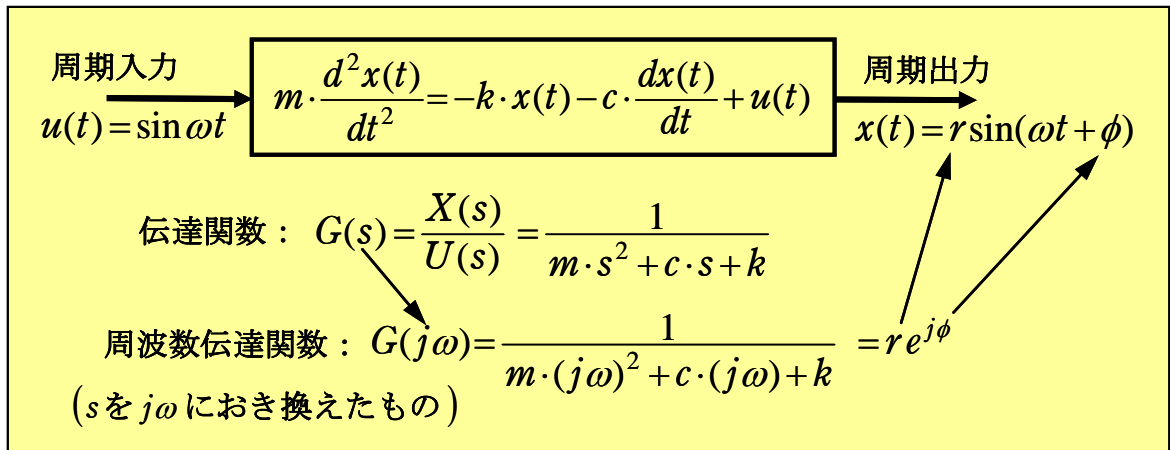


図 2.1-9 周波数伝達関数と時間応答の関係式

すなわち、システムに周期入力 $\sin \omega t$ を与えたとき、出力は同じ周波数の周期関数であり、応答の大きさは $G(j\omega)$ の絶対値 r 倍となり、位相が偏角 ϕ だけ遅れた応答となる。

この関係式は時間空間とラプラス空間とをつなぐ非常に便利な関係式である。よって、各周波数 ω に対して周波数伝達関数 $G(j\omega)$ のゲインと位相をプロットした図を描いておくと、制御系の時間応答量を簡単に把握できて便利である。この図は**ボード線図**と呼ばれる。ボード線図の例を図 2.1-10 に示す。このとき、ゲインおよび位相の単位は次が使用される。

ゲイン (Gain) : $20 \log|G(j\omega)| = 20 \log r$ [dB (デシベル)]

位相 (Phase) : $\angle G(j\omega) = \phi$ [deg]

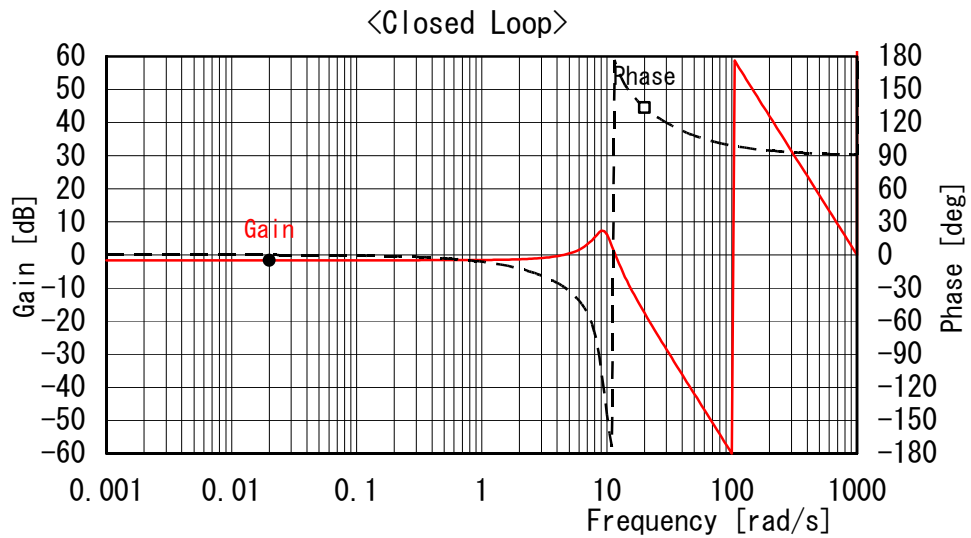


図 2.1-10 ボード線図の例

(5) 時間応答の求め方

時間応答は, (2.1)式の微分方程式を直接時間積分することによって得られる. 全ての初期状態が0の場合に, 単位ステップの入力に対する応答は単位ステップ応答またはインデシヤル応答と呼ばれる. 時間応答の特性を表すのに, 一般的に次の量が用いられる(図 2.1-11).

T_r (立ち上がり時間) (rise time) : 定常値の 0.1 倍から 0.9 倍に達するまでの時間

T_d (遅延時間) (delay time) : 定常値の 0.5 倍に達するまでの時間

T_p (行き過ぎ時間) (overshoot) : ピーク値となる時間

p_0 (行き過ぎ量) (peak time) : ピーク値と定常値との差

T_s (整定時間) (settling time) : 定常値の $\pm 2\%$ または $\pm 5\%$ の範囲になるまでの時間.

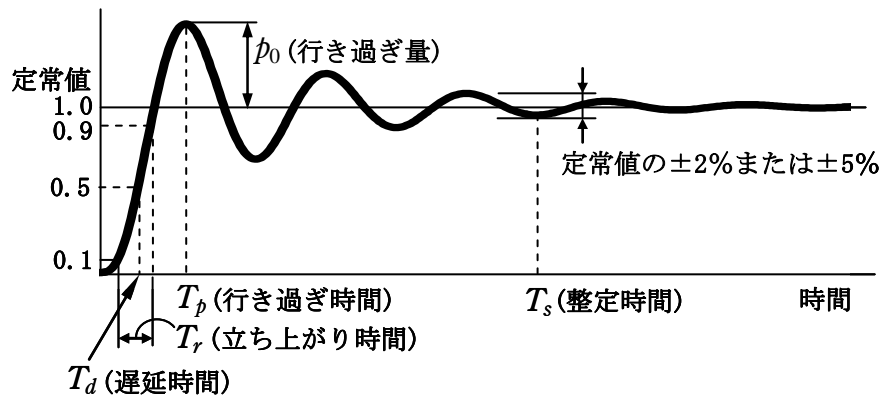


図 2.1-11 ステップ応答の特性量

制御系が 2 次遅れ要素の場合には, 次のような関係がある.

$$\text{行き過ぎ時間: } T_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2.16a)$$

$$\text{行き過ぎ量: } p_0 = e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad (2.16b)$$

$$\text{整定時間: } T_s \doteq \frac{4}{\zeta\omega_n} \text{ (}\pm 2\% \text{の場合)}, \quad \doteq \frac{3}{\zeta\omega_n} \text{ (}\pm 5\% \text{の場合)} \quad (2.16c)$$

2.2 伝達関数によって表されるシステムのKMAPによる解析

次の例題を用いて実際の解析方法について述べる。

【例題 2.2-1】 次の伝達関数の極・零点をラプラス平面に描き，ボード線図およびステップ応答を計算せよ。

$$\frac{2}{1+0.5s}$$

1 各ブロック要素に Z 番号をつける

まず，この問題のブロック図を描く．ブロック図の各要素の入出力に Z 番号をつける(図 2.2-1(a))．Z 番号は順番でなくてもよく，500 番まで使用できる．なお，入力は U1, U3, U5 の 3 つを使用できる．

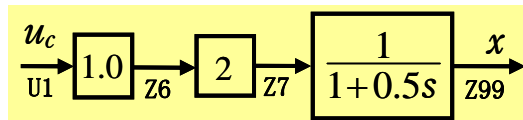


図 2.2-1(a) 例題(A)のブロック図

- ・まずはブロック図を書く
- ・各ブロック要素の入出力に Z 番号をつける
- ・最終段は **Z99** とするとよい。(出力変数ミス防止)
- ・入力は **U1** とする

2 既存のインプットデータをコピー利用

インプットデータを新規に作成するよりは，類似の既存のデータをコピー利用して，必要な修正を加えて作成する方が簡単である．その手順を次に示す．

2.1 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) ##
##                                     ##
## 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) ##
##                                     ##
## 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) ##
##                                     ##
## 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)

2.2 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 : 「GDES」       ⇒ 航空機の新規設計 *
* * * * *
*   3 : 「GDES.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 *
* * * * *
* * * * *
* * * * *
* * * * *
* * * * *
* * * * *
* * * * *
* * * * *
* * * * *
*   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。

2.3 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)

2.4 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)

2.5 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
 (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_∞ 制御
 64 : (EIGE. W318. SEIGY064. DAT) H_∞ 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 -->1

(←1をキーイン)

2.6 “1” (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. ○○○. DAT (○○○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)

2.7 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)

3 制御則の修正

3.1 上記メニューで“1”（制御則）を選択すると，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.DESIGN1.DAT (1次遅れ)
1  //(コマンド)
2  Z6=U1*G;          H 0  0.1000E+01  52  6  1  0  0  0
3  Z7=Z6*G;          H 0  0.2000E+01  53  7  6  0  0  0
4  //(1次遅れ)
5  Z99={1/(1+GS)}Z7X2;  H 0  0.5000E+00 111 99  7  2  0  0
6  //-----
7  //安定解析出力に追加する場合
8  //は,下記に R(6+NXP)~を設定.
9  R6=Z99;           H 0                101  6  99  0  0  0
10 //シミュレーション用出力(Z191~Z200)
11 //(このデータが TES6.DATに入る)
12 Z191=Z99*G;       H 0  0.1000E+01  53 191 99  0  0  0
13 Z192=Z6*G;        H 0  0.1000E+01  53 192  6  0  0  0
14 //(最後に次の END文が必要)
15 {Pitch Data END}; H 0                899 888 887 886  0  0
16 //*-----
17 //*(注1)状態方程式使用の場合
18 //* Z1,Z3,Z5      : 制御入力設定済
19 //* Z6~(NXP個)   : 状態変数設定済
20 //* Riは安定解析の出力で下記注意
21 //* R6~(NXP個)   : 状態変数に対応
22 //* R(6+NXP)~Rn: 出力変数の追加
23 //* 解析出力キーインは i=4~(R設定数)
24 //*
25 //*(注2)状態方程式使用しない場合
26 //* Ziは全て通常のZ変数
27 //* R6~出力変数を設定
28 //* 解析出力キーインは i=4~(R設定数)
29 // $-----
30 {Control Data END}; H 0                999  0  0  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
 ケーイン変更=6, シェア先文番号変更=7, Z等の番号変更=8, 修正完了=9

2

(←2をキーイン)

3.2 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、**2～5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“2”，削除終了行を“5”とキーインすると、次のように表示される。

削除開始行？	2								
削除終了行？	5								

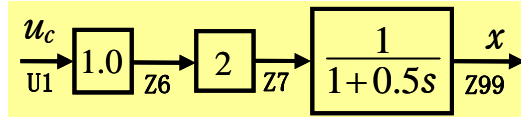
EIGE.DESIGN1.DAT (1次遅れ)									
1	//(コマンド)								
2	//-----								
3	//安定解析出力に追加する場合								
4	//は、下記に R(6+NXP)～を設定.								
5	R6=Z99;	H 0		101	6	99	0	0	0
6	//シミュレーション用出力 (Z191～Z200)								
7	//(このデータが TES6.DAT に入る)								
8	Z191=Z99*G;	H 0	0.1000E+01	53	191	99	0	0	0
9	Z192=Z6*G;	H 0	0.1000E+01	53	192	6	0	0	0
10	//(最後に次の END 文が必要)								
11	{Pitch Data END};	H 0		899	888	887	886	0	0
12	//*-----								
13	//*(注1)状態方程式使用の場合								
14	//* Z1, Z3, Z5 : 制御入力設定済								
15	//* Z6～(NXP個) : 状態変数設定済								
16	//* Ri は安定解析の出力で下記注意								
17	//* R6～(NXP個) : 状態変数に対応								
18	//* R(6+NXP)～Rn: 出力変数の追加								
19	//* 解析出力キーインは i=4～(R設定数)								
20	//*								
21	//*(注2)状態方程式使用しない場合								
22	//* Zi は全て通常の Z 変数								
23	//* R6～出力変数を設定								
24	//* 解析出力キーインは i=4～(R設定数)								
25	// \$-----								
26	{Control Data END};	H 0		999	0	0	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 ケーイン変更=6, シェア先文番号変更=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									

上記リストの 2～5 行目が削除された

(←1 をキーイン)

3.3 ここで新たに、本問題の制御則(下記参照)を書き込んでみよう。



ブロック図の入力 u_c は、インプットデータの最初の部分に時間関数として記述されているもので変数 U1 に入ってくる。そこで、制御則には

「U1 に 1.0 をかけて Z6 とする」

ことを書き込む。具体的には次のように行う。

“1” をキーイン(行追加)

“1” をキーイン(1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:使用済み Z, D, H, R 番号)----
(Zi) i=  6  99 191 192
(Di) i=
(Hi) i=
(Ri) i=  1  2  3  4  5  6
***** (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. )
-----
-3
-2
-1
 0
 1 //(コマンド)
<制御式の入力>
Q*

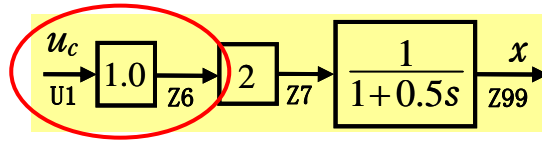
```

追加する行の前5行分が表示され、
<制御式の入力>の表示がでる。

(←Q*をキーイン)

3.4 ここで、「U1 に 1.0 をかけて Z6 とする」を制御式として挿入するが、「U にゲイン(倍率 G)をかけて Z に挿入する」という関数番号をキーインする。この関数番号は上記の「●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;	
<制御式の入力>	F74	Z1=Z2*H3;	F76	Z1=Z2*E3;	F23	H1=H2*H3;
F52	(←関数番号 F52 をキーイン)					



3.5 ここで、関数番号“F52”をキーインすると、「Z1=U2*G;」という関数が表示される。

F52
Z1=U2*G;
Z 番号 (-2 は関数再入力)=? 6
Z6=U2*G;
U 番号 (-1 は戻る, -2 は関数再入力)=? 1
Z6=U1*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)

3.6 ここで、Zを“6”番に、Uを“1”番に設定し、コメントはなし(単にEnter)とすると、次のように(2行目に)1行挿入される。

```

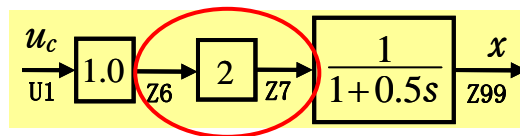
-----
EIGE. DESIGN1. DAT (1次遅れ)
1 //(コマンド)
2 Z6=U1*G; H 0 0.1000E+01 52 6 1 0 0 0
3 //-----
4 //安定解析出力に追加する場合
5 //は, 下記に R(6+NXP)~を設定.
6 R6=Z99; H 0 101 6 99 0 0 0
7 //シミュレーション用出力 (Z191~Z200)
8 //(このデータが TES6. DAT に入る)
9 Z191=Z99*G; H 0 0.1000E+01 53 191 99 0 0 0
10 Z192=Z6*G; H 0 0.1000E+01 53 192 6 0 0 0
11 //(最後に次の END 文が必要)
12 {Pitch Data END}; H 0 899 888 887 886 0 0
13 //*-----
14 //* (注1)状態方程式使用の場合
15 //* Z1, Z3, Z5 : 制御入力設定済
-----

```

●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)



3.7 次に、ブロック図において、「Z6に2をかけてZ7とする」部分を書き込む。それには行追加を続けるので、“1”（行追加を続ける）をキーインすると、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. )
-----
-2
-1
0
1 //(コマンド)
2 Z6=U1*G; H 0 0.1000E+01 52 6 1 0 0 0
<制御式の入力>
Q* (←Q*をキーイン)

```

3.8 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>
F53 (←関数番号 F53 をキーイン)

```

3.9 ここで、“F53”とキーインすると、次のように3行目に「Z7=Z6*G;」が挿入される。

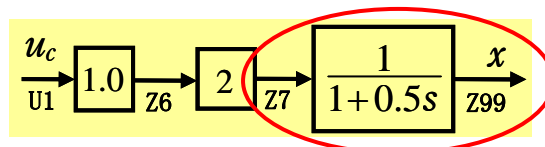
F53**Z1=Z2*G;****Z 番号** (-2 は関数再入力)=? **7****Z7=Z2*G;****2 つ目の Z 番号** (-1 は戻る, -2 は関数再入力)=? **6****Z7=Z6*G;****ゲイン G**=? **2**(下記範囲に**コメント**記入) (-1 は同関数の最初に戻る, -2 は関数再入力)

EIGE. DESIGN1. DAT (1 次遅れ)

```

1 // (コマンド)
2 Z6=U1*G;           H 0  0.1000E+01  52  6  1  0  0  0
3 Z7=Z6*G;         H 0  0.2000E+01  53  7  6  0  0  0
4 //-----
5 //安定解析出力に追加する場合
6 //は, 下記に R(6+NXP)~を設定.
7 R6=Z99;           H 0                    101  6  99  0  0  0
8 //シミュレーション用出力 (Z191~Z200)
9 //(このデータが TES6. DAT に入る)
10 Z191=Z99*G;      H 0  0.1000E+01  53 191  99  0  0  0
11 Z192=Z6*G;       H 0  0.1000E+01  53 192   6  0  0  0
12 //(最後に次の END 文が必要)
13 {Pitch Data END}; H 0                    899 888 887 886  0  0
14 //*-----
15 //*(注 1)状態方程式使用の場合

```

●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)**

3.10 次に, ブロック図において, 「**Z7 に 1 次遅れフィルタを通して Z99 とする**」の部分を書き込む. それには行追加を続けるので, “**1**” (行追加を続ける)とキーインすると, ●**メニュー表示**とともに再び<**制御式の入力**>が表示される.

```

-----
-2
-1
0
1 //(コマンド)
2 Z6=U1*G;          H 0  0.1000E+01  52  6  1  0  0  0
3 Z7=Z6*G;          H 0  0.2000E+01  53  7  6  0  0  0
<制御式の入力>
//

```

(←//をキーイン)

3.11 ここで、次に挿入する「1次遅れ」の説明用にコメント行を入れてみる。制御式入力欄に“//”とキーインすると、コメント記入欄ができるので、そこに“(1次遅れ)”とキーインすると、次のように4行目にコメント行が挿入できる。

そして、“1” (行追加を続ける)をキーインすると、再び<制御式の入力>が次のように表示される。

```

***** (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.   )
-----
-2
-1
0
1 //(コマンド)
2 Z6=U1*G;          H 0  0.1000E+01  52  6  1  0  0  0
3 Z7=Z6*G;          H 0  0.2000E+01  53  7  6  0  0  0
4 //(1次遅れ)
<制御式の入力>
QF

```

(←QFをキーイン)

3.12 ここで、上記の「●メニュー表示」の中の“QF”をキーインすると関数のメニューが表示されるので、“F111”とキーインして、Z番号を“99”，“7”，時定数を“0.5”とキーインすれば、次のように3行目に「Z99={1/(1+GS)}Z7X2;」が挿入できる。

[フィルタ]	F110	積分;	F119	(S+G1)/S;	F111	1次遅れ;
	F112	ハイパス;	F113	リードラグ;	F121	2次遅れ;
	F122	(s+G3)/2次;	F123	2次/2次;	F124	レート制限2次遅れ;

<制御式の入力>
F111
Z1={1/(1+GS)}Z2X3; 1次遅れ
Z番号 (-2は関数再入力)=? **99**
Z99={1/(1+GS)}Z2X3; 1次遅れ
2つ目のZ番号 (-1は戻る, -2は関数再入力)=? **7**
Z99={1/(1+GS)}Z7X3; 1次遅れ
時定数 G(s)=? 0.5

(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. DESIGN1. DAT (1次遅れ)
1 // (コマンド)
2 Z6=U1*G; H 0 0.1000E+01 52 6 1 0 0 0
3 Z7=Z6*G; H 0 0.2000E+01 53 7 6 0 0 0
4 //(1次遅れ)
5 Z99={1/(1+GS)}Z7X2; H 0 0.5000E+00 111 99 7 2 0 0
6 //-----
7 //安定解析出力に追加する場合
8 //は,下記に R(6+NXP)~を設定.
9 R6=Z99; H 0 101 6 99 0 0 0
10 //シミュレーション用出力(Z191~Z200)
11 //(このデータが TES6. DATに入る)
12 Z191=Z99*G; H 0 0.1000E+01 53 191 99 0 0 0
13 Z192=Z6*G; H 0 0.1000E+01 53 192 6 0 0 0
14 //(最後に次のEND文が必要)
15 {Pitch Data END}; H 0 899 888 887 886 0 0
  
```

●その行の後に、行追加を続けますか? Yes=1, No=0
0

(←0をキーイン)

3.13 これで、制御則が全て挿入できたので、“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)

3.14 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= 0)
 修正しますか? ⇒ (修正なし=0, 修正する=1)
 0 (←0をキーイン)

3.15 ここで、状態方程式の場合の**次元数確認**がある。現状 NXP=0 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**の設定 (R6~)
 (安定解析の出力変数 Z は下記でよいですか?)
 9 R6=Z99; (出力 i=4 番目)
 (修正なし=0, 修正する=1)
 0 (←0をキーイン)

3.16 ここで、**安定解析の出力変数**の確認がある。Z99 が設定していることを確認して、“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？

12 Z191=Z99*G;

13 Z192=Z6*G;

(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

(←0をキーイン)

3.17 ここで、シミュレーションの出力変数の確認がある。Z99 と Z6 が設定していることを確認して、“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= 0)

(・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)

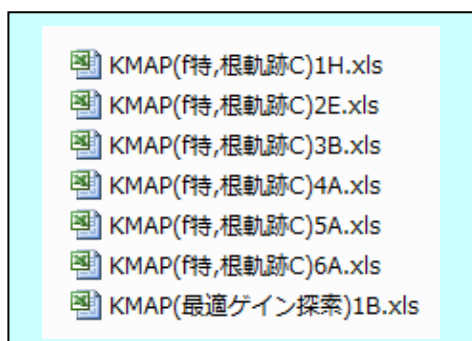
3.18 ここで、上記メニューで修正がなければ、“0”をキーインすると、次のように表示される。

```
***** (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
```

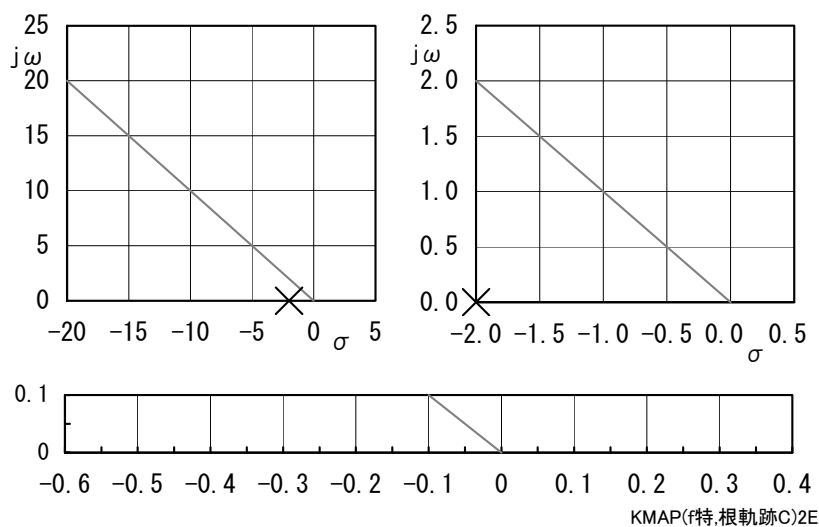
(←1をキーイン)

3.19 ここで、入力はU1系であるので、“1”をキーインすると、解析が開始される。

4.3 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)2E” 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(a) 極・零点 (入力 U1, 出力 Z99)

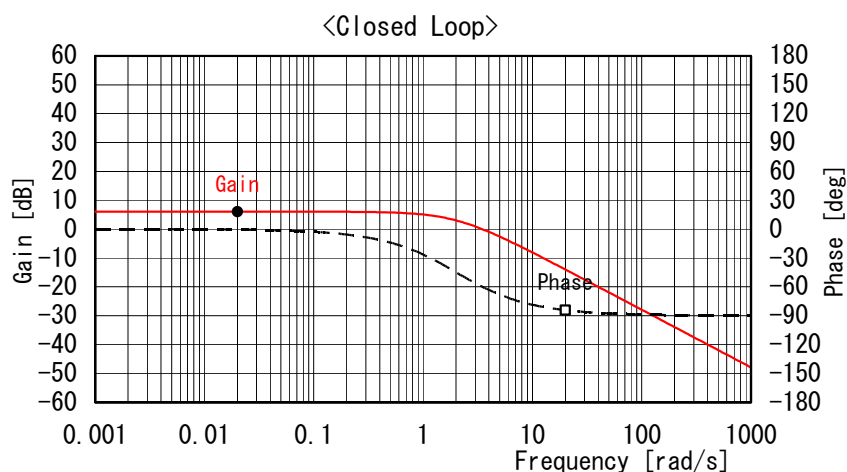
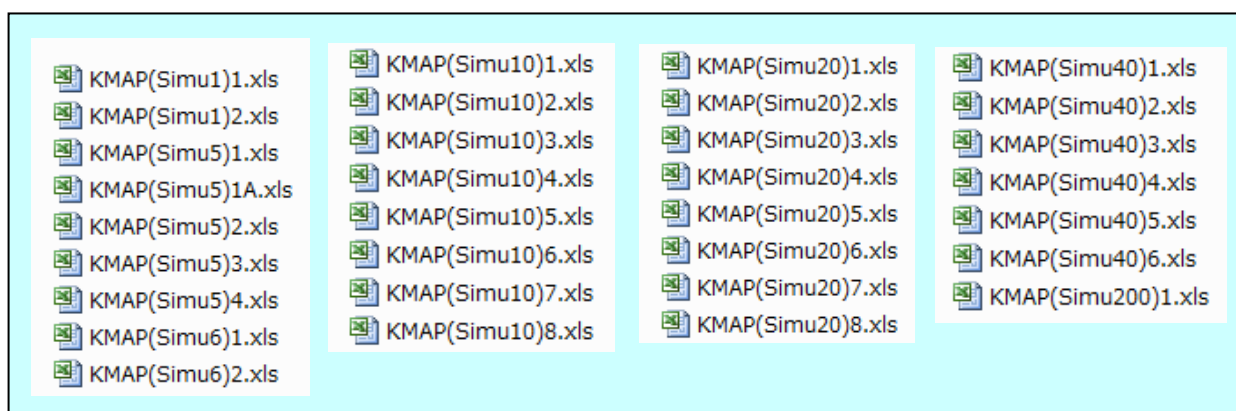


図 (b) ボード線図 (入力 U1, 出力 Z99)

(この図は、上記極・零点図を上スクロールすると表示される)

4.4 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(Simu10)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。

第 3 章 伝達関数で表されたフィードバック制御系の解析

伝達関数で表されたフィードバック制御系について，次の例題を用いて KMAP による特性解析の方法を述べる．

【例題 3.1】 次の伝達関数で表された **フィードバック制御系** について解析せよ．ただし， $K=10$ ， $K_1=1$ とする．

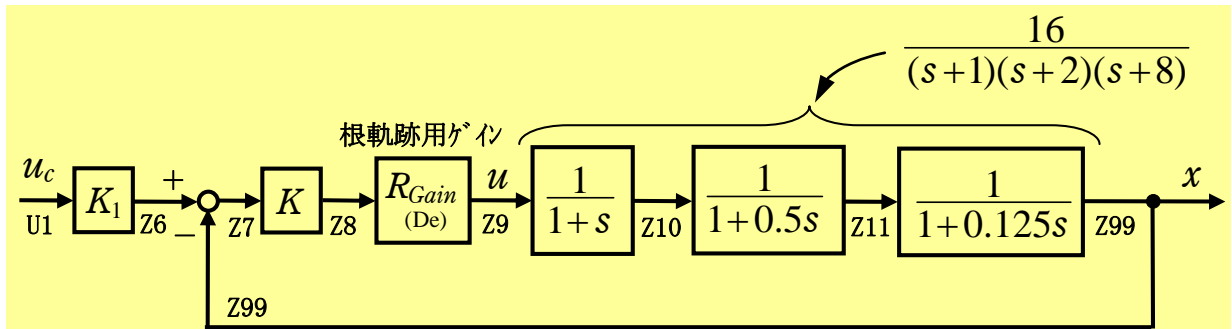


図 (a) 1 次遅れフィルタ 3 個のフィードバック制御系

1 各ブロック要素に Z 番号をつける

KMAP の **Z 接続法** によれば，**フィードバック制御系も簡単に構成できる**．図 (a) に示すブロック図の各要素の入出力に Z 番号をつけると，フィードバックがある場合もその **Z 番号の情報に戻すだけ** である．なお，本問題の 1 次遅れフィルタ 3 個は，次のように標準形に変形できる．

$$\frac{16}{(s+1)(s+2)(s+8)} = \frac{1}{1+s} \cdot \frac{1}{1+0.5s} \cdot \frac{1}{1+0.125s}$$

このように，KMAP で解析するには，表 2.1-1 に示した伝達関数の基本要素の形式で表しておく必要がある．それは，KMAP では呼び出す関数は標準形が基準となっているためである．

2 既存のインプットデータをコピー利用

インプットデータを新規に作成するよりは、類似の既存のデータをコピー利用して、必要な修正を加えて作成する方が簡単である。ここでは、第2章で作成したインプットデータ「EIGE.0.DAT」をコピーしてそれを修正して新たにインプットデータを作ってみよう。以下にその手順を示す。

3 ます、第2に章示した手順 2.3 において、“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 -->2

```

(←2をキーイン)

4 ここで、“2” (既存のファイルをコピー利用)をキーインすると、次のように表示される。

```

1: EIGE. PRB1A. DAT
2: EIGE. PRB1D. DAT
3: EIGE. PRB1E. DAT
4: EIGE. PRB1G. DAT

```

(途中省略)

```

187: EIGE. 微分方程式 (3. 1). Y150513. DAT
188: EIGE. 微分方程式 (3. 2). Y150513. DAT
189: EIGE. 1. DAT
190: EIGE. 0. DAT
191: LISTRKFILE. TXT

```

=====

(1 のファイルを選択したい場合は、一度そのファイルを更新してください)
(-1 と入力すると戻ります)

●上記 2～ の番号を選択 -->190

(←190 をキーイン)

5 ここでは、第2章で作成したインプットデータ「EIGE. 0. DAT」が「190」番として登録されているので、“190”とキーインすると、新しいインプットデータのファイル名の入力画面がでる。ただし、この表示された前回のデータ番号はユーザーによって異なるものである。

ここで、新しいファイル名を例えば“FB1”とキーインすると、インプットデータの修正の表示がでるので、“1”（制御則）をキーインすると次のように表示される。

```

-----
EIGE. DESIGN1. DAT (1 次遅れ)
1  //(コマンド)
2  Z6=U1*G;          H 0  0.1000E+01  52  6  1  0  0  0
3  Z7=Z6*G;          H 0  0.2000E+01  53  7  6  0  0  0
4  //(1 次遅れ)
5  Z99={1/(1+GS)}Z7X2;  H 0  0.5000E+00 111  99  7  2  0  0
6  //-----
7  //安定解析出力に追加する場合
8  //は、下記に R(6+NXp)~を設定.
9  R6=Z99;           H 0                101  6  99  0  0  0
10 //シミュレーション用出力(Z191~Z200)
11 //(このデータが TES6. DAT に入る)
12 Z191=Z99*G;       H 0  0.1000E+01  53 191  99  0  0  0
13 Z192=Z6*G;        H 0  0.1000E+01  53 192  6  0  0  0
14 //(最後に次の END 文が必要)
15 {Pitch Data END}; H 0                899 888 887 886  0  0
16 //*-----
17 //*(注 1)状態方程式使用の場合
18 //* Z1, Z3, Z5      : 制御入力設定済
19 //* Z6~(NXp 個)    : 状態変数設定済
20 //* Ri は安定解析の出力で下記注意
21 //* R6~(NXp 個)    : 状態変数に対応
22 //* R(6+NXp)~Rn: 出力変数の追加
23 //* 解析出力キーインは i=4~(R 設定数)
24 //*
25 //*(注 2)状態方程式使用しない場合
26 //* Zi は全て通常の Z 変数
27 //* R6~出力変数を設定
28 //* 解析出力キーインは i=4~(R 設定数)
29 // $-----
30 {Control Data END}; H 0                999  0  0  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
 キー変更=6, シャット先文番号変更=7, Z 等の番号変更=8, 修正完了=9

4

←4 をキーイン

6 これから制御則を修正していくが、画面表示される範囲を短くして見やすくすることができる。いま、“4”（別範囲表示）をキーインして、行表示開始行を“1”，行表示終了行を“15”とキーインすると、次のように表示される。

EIGE. DESIGN1. DAT (1次遅れ)

```

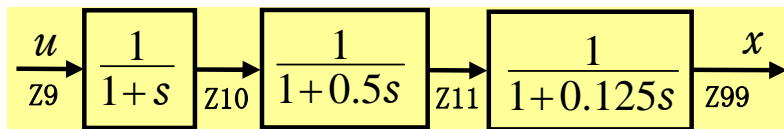
1 //(コマンド)
2 Z6=U1*G; H 0 0.1000E+01 52 6 1 0 0 0
3 Z7=Z6*G; H 0 0.2000E+01 53 7 6 0 0 0
4 //(1次遅れ)
5 Z99={1/(1+GS)}Z7X2; H 0 0.5000E+00 111 99 7 2 0 0
6 //-----
7 //安定解析出力に追加する場合
8 //は, 下記に R(6+NXp)~を設定.
9 R6=Z99; H 0 101 6 99 0 0 0
10 //シミュレーション用出力(Z191~Z200)
11 //(このデータが TES6. DAT に入る)
12 Z191=Z99*G; H 0 0.1000E+01 53 191 99 0 0 0
13 Z192=Z6*G; H 0 0.1000E+01 53 192 6 0 0 0
14 //(最後に次の END 文が必要)
15 {Pitch Data END}; H 0 899 888 887 886 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, ショット先文番号変更=7, Z等の番号変更=8, 修正完了=9

1

(←1をキーイン)



7] これから制御則を修正していく。まず、1次遅れを3つに増やす。それには、“1” (行追加) および “5” をキーインして、5行目の次に行を追加していくと次のように<制御式の入力>が表示される。ここで、2つ目の1次遅れを追加していく。

```

----(Q4:使用済み Z, D, H, R 番号)----
(Zi) i= 6 7 99 191 192
(Di) i=
(Hi) i=
(Ri) i= 1 2 3 4 5 6
***** (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. )
-----
-2
1 //(コマンド)
2 Z6=U1*G; H 0 0.1000E+01 52 6 1 0 0 0
3 Z7=Z6*G; H 0 0.2000E+01 53 7 6 0 0 0
4 //(1次遅れ)
5 Z99={1/(1+GS)}Z7X2; H 0 0.5000E+00 111 99 7 2 0 0
<制御式の入力>
QF (←QFをキーイン)

```

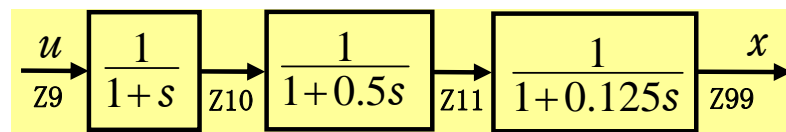
8 ここで、上記の「●メニュー表示」の中の“QF”をキーインすると関数のメニューが表示されるので、“F111”とキーインして、Z 番号を上記の「使用済み Z, D, H, R 番号」以外の番号で“11”，“10”，時定数を“0.5”とキーインすれば、6 行目に「Z11={1/(1+GS)}Z10X3;」が挿入される。

さらに、「●その行の後に、行追加を続けますか? Yes=1, No=0」で“1”とし、“F111”とキーインして、3 つ目の 1 次遅れとして Z 番号を“99”，“11”，時定数を“0.125”とキーインすれば、7 行目に「Z99={1/(1+GS)}Z11X4;」が挿入される。

ここで、「行追加を続けますか?」で“0” (No)をキーインすると、次のように表示される。

EIGE. DESIGN1. DAT (1次遅れ)									
1	//(コマンド)								
2	Z6=U1*G;	H 0	0.1000E+01	52	6	1	0	0	0
3	Z7=Z6*G;	H 0	0.2000E+01	53	7	6	0	0	0
4	//(1次遅れ)								
5	Z99={1/(1+GS)}Z7X2;	H 0	0.5000E+00	111	99	7	2	0	0
6	Z11={1/(1+GS)}Z10X3;	H 0	0.5000E+00	111	11	10	3	0	0
7	Z99={1/(1+GS)}Z11X4;	H 0	0.1250E+00	111	99	11	4	0	0
8	//-----								
9	//安定解析出力に追加する場合								
10	//は, 下記に R(6+NXp)~を設定.								
11	R6=Z99;	H 0		101	6	99	0	0	0
12	//シミュレーション用出力 (Z191~Z200)								
13	//(このデータが TES6. DAT に入る)								
14	Z191=Z99*G;	H 0	0.1000E+01	53	191	99	0	0	0
15	Z192=Z6*G;	H 0	0.1000E+01	53	192	6	0	0	0

●その行の後に, 行追加を続けますか? Yes=1, No=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									
8									
(←8をキーイン)									



9 ここで, 1次遅れの入出力の Z 番号をブロック図どおりに設定し直す. 2つ目と3つ目の1次遅れは既にブロック図どおりになっているが, 1つ目の1次遅れは元のインプットデータのままであるので, これを変更する必要がある. ここでも, “8” (Z 等の番号変更) とキーインし, 変更する行を “5” 行目を指定し, 関数番号 “F111” とキーインして, Z 番号を “10”, “9” をキーインする.

さらに, 時定数を変更する必要があるので, “6” (ゲイン変更) をキーインし, “5” 行目を指定すると, 時定数入力が表示できるので, “1” とキーインすると時定数を変更される. これで, 3つの1次遅れがブロック図どおりに結合され, 次のように表示される.

EIGE. DESIGN1. DAT (1次遅れ)

```

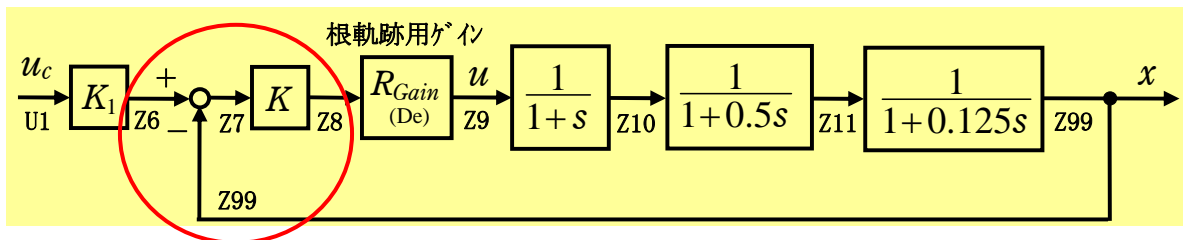
1 //(コマンド)
2 Z6=U1*G; H 0 0.1000E+01 52 6 1 0 0 0
3 Z7=Z6*G; H 0 0.2000E+01 53 7 6 0 0 0
4 //(1次遅れ)
5 Z10=[1/(1+GS)]Z9X5; H 0 0.1000E+01 111 10 9 5 0 0
6 Z11=[1/(1+GS)]Z10X3; H 0 0.5000E+00 111 11 10 3 0 0
7 Z99=[1/(1+GS)]Z11X4; H 0 0.1250E+00 111 99 11 4 0 0
8 //-----
9 //安定解析出力に追加する場合
10 //は, 下記に R(6+NXp)~を設定.
11 R6=Z99; H 0 101 6 99 0 0 0
12 //シミュレーション用出力(Z191~Z200)
13 //(このデータが TES6. DAT に入る)
14 Z191=Z99*G; H 0 0.1000E+01 53 191 99 0 0 0
15 Z192=Z6*G; H 0 0.1000E+01 53 192 6 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, シャット先文番号変更=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)



10 次にフィードバックを構成しよう. 最終段の Z99 を戻すだけで簡単にフィードバック制御系を構成することができる.

“1” (行追加)をキーインし, “3” 行を指定すると, <制御式の入力>が表示されるので, “Q-” (引き算)をキーインする.

ここで, “F36” (Z変数の引き算)とキーインし, Z番号を“7”, “6”, “99”とキーインすると, フィードバックを表す1行が追加される.

さらに, “Q*” (かけ算)から関数“F53” (Z変数のかけ算)をキーインしてゲインK=“10”をキーインすると, 次のように表示される.

フィードバックも、
Z 番号を戻すだけで
簡単に設定できる。

```

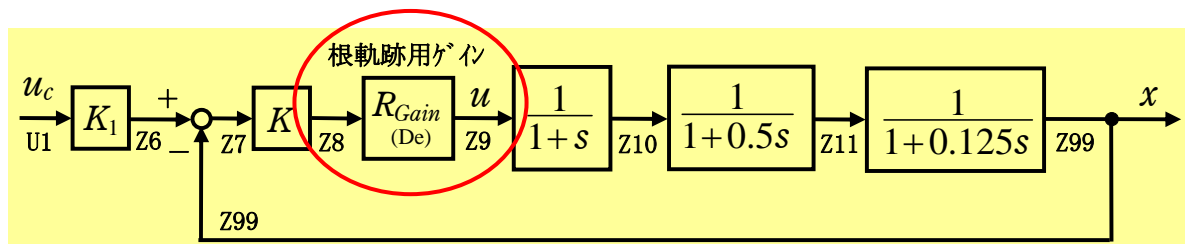
EIGE. DESIGN1. DAT (1 次遅れ)
1  //(コマンド)
2  Z6=U1*G;           H 0  0.1000E+01  52  6  1  0  0  0
3  Z7=Z6*G;           H 0  0.2000E+01  53  7  6  0  0  0
4  Z7=Z6-Z99; (←フィードバック部) H 0           36  7  6  99  0  0
5  Z8=Z7*G;           H 0  0.1000E+02  53  8  7  0  0  0
6  //(1 次遅れ)
7  Z10={1/(1+GS)}Z9X5; H 0  0.1000E+01 111 10  9  5  0  0
8  Z11={1/(1+GS)}Z10X3; H 0  0.5000E+00 111 11 10  3  0  0
9  Z99={1/(1+GS)}Z11X4; H 0  0.1250E+00 111 99 11  4  0  0
10 //-----
11 //安定解析出力に追加する場合
12 //は、下記に R(6+NXP)~を設定.
13 R6=Z99;           H 0           101  6  99  0  0  0
14 //シミュレーション用出力 (Z191~Z200)
15 //(このデータが TES6. DAT に入る)

```

● 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)



11 フィードバック制御系では、ループゲインを変化させると特性根(極)の位置が移動する。この根の軌跡を根軌跡という。この根軌跡を得るには、どのラインのゲインを変化させるかを指定する必要がある。KMAPでは、“根軌跡用ゲイン”を変化させるラインに挿入することで根軌跡を計算する。

“1” (行追加を続ける)をキーインし、“QK” (根軌跡)とキーインして、“F301”を選択し、Z 番号を“9”、“8”とキーインすると次のように表示される。

```

EIGE. DESIGN1. DAT (1次遅れ)
1 // (コマンド)
2 Z6=U1*G; H 0 0.1000E+01 52 6 1 0 0 0
3 Z7=Z6*G; H 0 0.2000E+01 53 7 6 0 0 0
4 Z7=Z6-Z99; H 0 36 7 6 99 0 0
5 Z8=Z7*G; H 0 0.1000E+02 53 8 7 0 0 0
6 Z9={RGAIN(De)}Z8; H 0 301 9 8 0 0 0
7 //(1次遅れ)
8 Z10={1/(1+GS)}Z9X5; H 0 0.1000E+01 111 10 9 5 0 0
9 Z11={1/(1+GS)}Z10X3; H 0 0.5000E+00 111 11 10 3 0 0
10 Z99={1/(1+GS)}Z11X4; H 0 0.1250E+00 111 99 11 4 0 0
11 //-----
12 //安定解析出力に追加する場合
13 //は、下記に R(6+NXP)~を設定.
14 R6=Z99; H 0 101 6 99 0 0 0
15 //シミュレーション用出力(Z191~Z200)

```

●その行の後に、行追加を続けますか? Yes=1, No=0
0

(←0をキーイン)

11 これで、制御則が全て挿入できたので、“0”（行追加は終了）をキーインする。

後は、第2章に述べた手順 3.12 ~ 3.16 を実施すると、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~(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
6

```

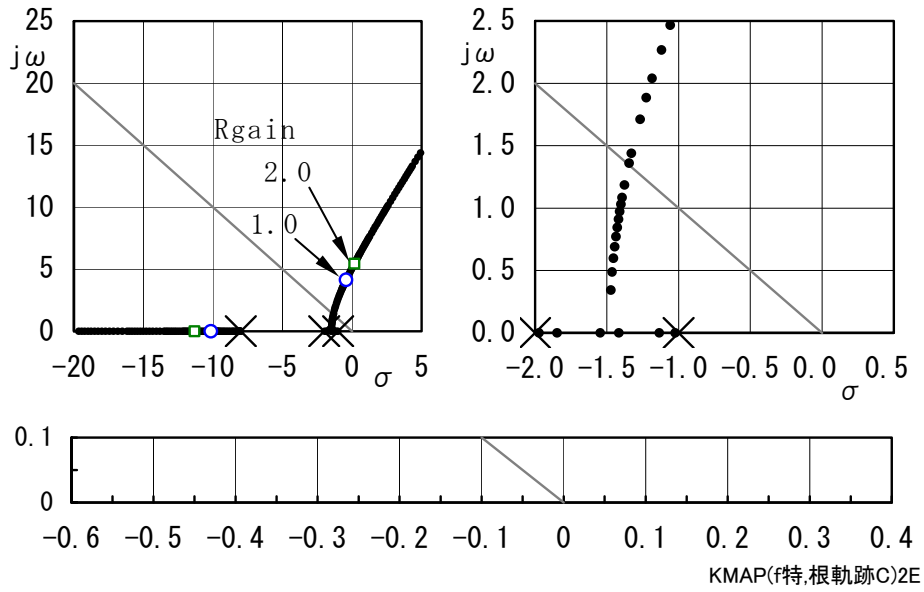
(←6 をキーイン)

12 ここで作成したインプットデータは、既存のデータをコピーして新たな“EIGE.FB1.DAT”のファイルとなっている。このファイルの1行目は題目が記入されており、通常はインプットデータ名と同じものが記入されている。そこで、このファイルの1行目も新しいファイルと同じに書き換えておいた方がよい。

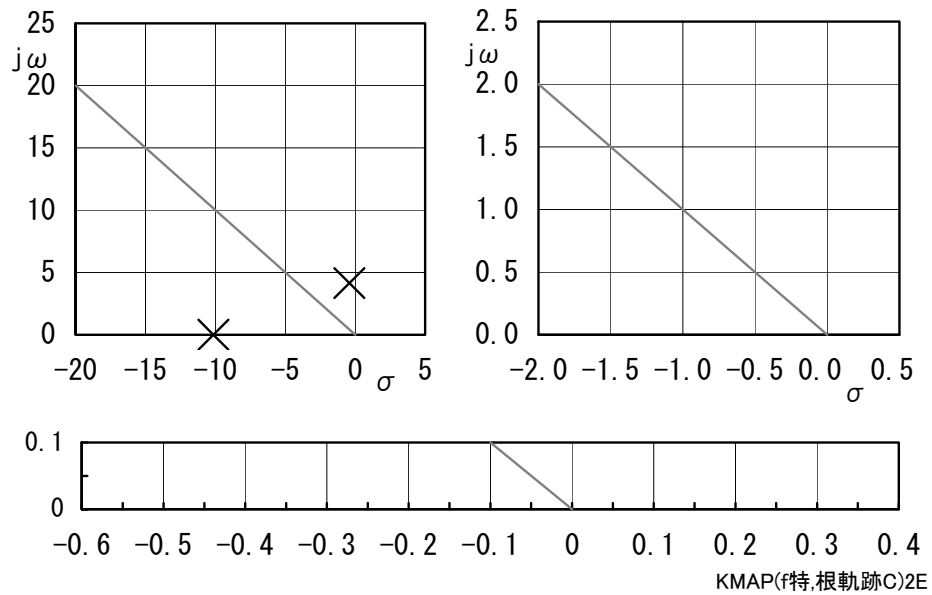
上記“6”(インプットデータのタイトル)はそのような目的で準備されているものである。

このタイトル修正を終えると、その他の修正がなければ、“0”をキーインし、さらに、“1”(U1系の解析)をキーインすると、解析が開始されて、<解析結果の表示>の画面が現れる。結果の表示方法は第2章で説明したものと同一である。ただし、フィードバック制御系の場合は、“1”(安定解析図)に根軌跡の結果も追加されて表示される。

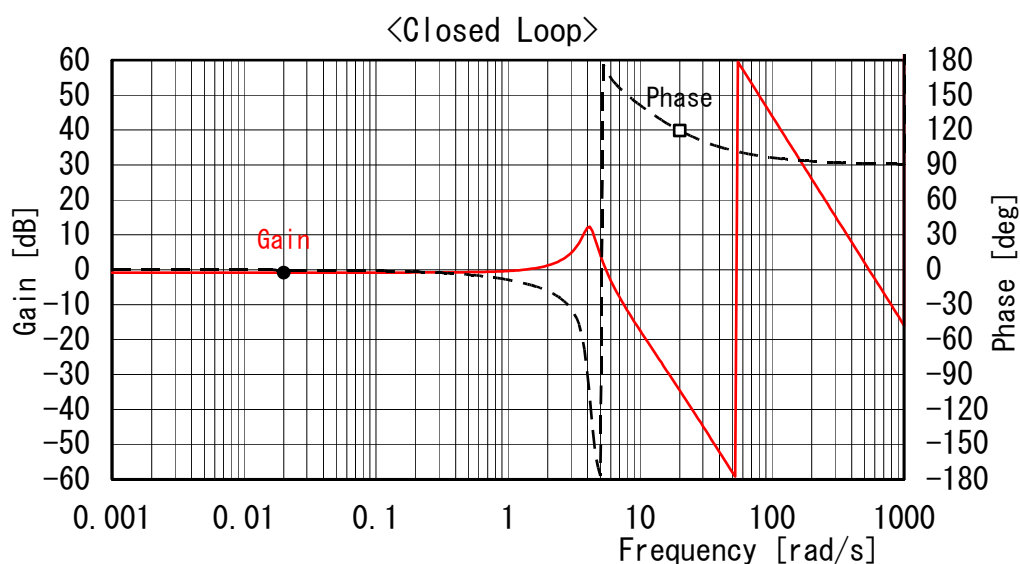
13 フィードバック制御系の解析結果を下記に示す.



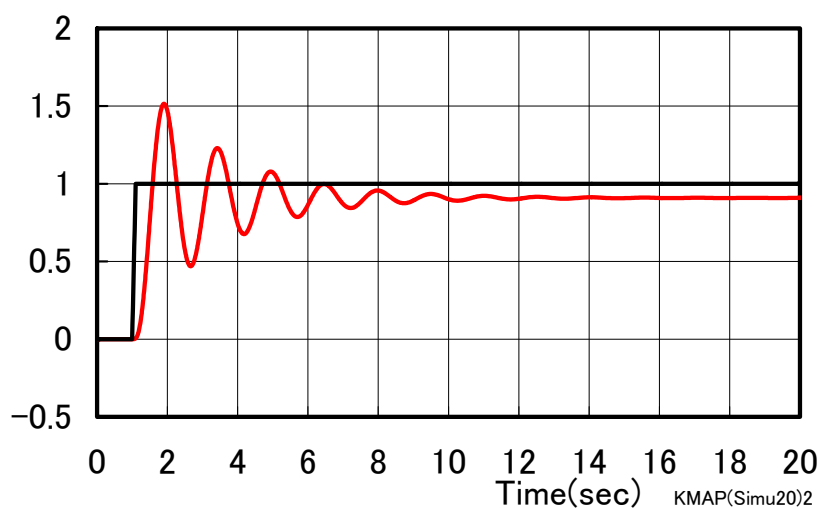
図(b) 根軌跡 (Rgainを変動)



図(c) 特性根(極) (Rgain=1)



図(d) ボード線図 (入力 U1, 出力 Z99)



図(e) シミュレーション (入力 U1, 出力 Z99)

図(b)～図(e)の結果から、このフィードバック制御系は安定性が十分でないことがわかる。図(b)の根軌跡から、ゲインを適切に選択しても良好な特性を得ることがむずかしいことがわかる。良好なフィードバック制御系を得るための方法については別途解説する。

以上