

KMAP による工作機械の制御 (4) - 位置決め制御系

2017 (H29). 12. 1 片柳亮二

【問題】 前資料「KMAP による工作機械の制御 (3)」において、モータ回転速度コマンド $\dot{\theta}_c$ に対するモータ回転角速度 $\dot{\theta}_m$ および被駆動体位置 x_t の応答特性について検討したが、 $\dot{\theta}_m$ は $\dot{\theta}_c$ によく追従する特性が得られたが、 x_t はほとんど発生しない結果であった。そこで、ここでは図 1 に示すように、被駆動体への入力であるモータ位置 x_m を直接コマンドする制御系を解析せよ。

ただし、データは次の値とする。

$$\begin{aligned} R &= 1.0 (\Omega = \text{V}/\text{A}), & L &= 0.01 (\text{V} \cdot \text{s}/\text{A}), & K_r &= 1.0 (\text{N} \cdot \text{m}/\text{A}), \\ K_E &= 1.0 (\text{V} \cdot \text{s}/\text{rad}), & J_m &= 0.02 (\text{kg} \cdot \text{m}^2), & M_t &= 500 (\text{kg}), \\ k_t &= 1.0 \times 10^8 (\text{N}/\text{m}), & c_t &= 1.0 \times 10^4 (\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}), & Q &= 0.003 (\text{m}/\text{rad}) \\ K_V &= 1, & K_I &= 50 \end{aligned}$$

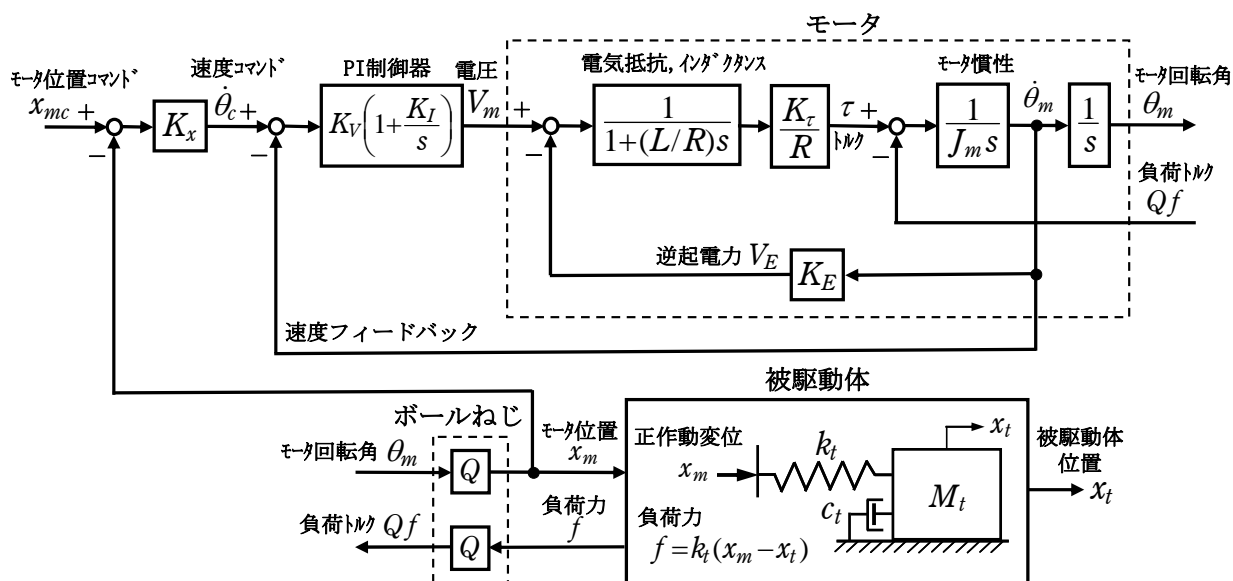


図 1 位置決め制御系のブロック図

【解】

ゲイン $K_x=5000$ として、KMAP で解析する。

KMAP (バージョン 114 以降) を起動して、

- ① 「KMAP**解析内容選択画面」 ⇒ “5” キーイン
- ② 「データファイル利用方法」 ⇒ “3” をキーイン
- ③ 「3:機械システム制御の実際の例題」 ⇒ “6” キーイン

例題のインプットデータ ⇒ EIGE.MEC.PR5.4-1.DAT

④「新しいファイル名入力してください」と表示されるので、以下、
次のようにキーイン

0 0 1

これで解析計算が実行されて、フィードバックゲインおよび安定解析結果が次のように表示される。

```
***** (フィードバック前の極チェック) *****
***** POLES *****
POLES ( 6), EIVMAX= 0.100D+03
  N      REAL      IMAG
  1  -0.10000000D+03  0.00000000D+00
  2   0.00000000D+00  0.00000000D+00
  3   0.00000000D+00  0.00000000D+00
  4   0.00000000D+00  0.00000000D+00
  5   0.00000000D+00  0.00000000D+00
  6   0.00000000D+00  0.00000000D+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 ( 6), EIVMAX= 0.4968D+03
  N      REAL      IMAG
  1  -0.30132395D+02 -0.66327797D+02 [ 0.4136E+00, 0.7285E+02]
  2  -0.30132395D+02  0.66327797D+02  周期 P(sec)= 0.9473E-01
  3  -0.21570146D+02 -0.10358725D+02 [ 0.9014E+00, 0.2393E+02]
  4  -0.21570146D+02  0.10358725D+02  周期 P(sec)= 0.6066E+00
  5  -0.82974601D+01 -0.49672467D+03 [ 0.1670E-01, 0.4968E+03]
  6  -0.82974601D+01  0.49672467D+03  周期 P(sec)= 0.1265E-01
ZEROS ( 1), II/JJ= 4/ 1, G= 0.1500D+11
  N      REAL      IMAG
  1  -0.50000000D+02  0.00000000D+00
***** POLES AND ZEROS *****
POLES ( 6), EIVMAX= 0.4968D+03
  N      REAL      IMAG
  1  -0.35221175D+02 -0.70117661D+02 [ 0.4489E+00, 0.7847E+02]
  2  -0.35221175D+02  0.70117661D+02  周期 P(sec)= 0.8961E-01
  3  -0.32903897D+02  0.00000000D+00
  4  -0.83268772D+01 -0.49672398D+03 [ 0.1676E-01, 0.4968E+03]
  5  -0.83268772D+01  0.49672398D+03  周期 P(sec)= 0.1265E-01
  6   0.00000000D+00  0.00000000D+00
ZEROS ( 3), II/JJ= 1/ 4, G=-0.7500D+05
  N      REAL      IMAG
  1  -0.50000000D+02  0.00000000D+00
  2  -0.10000000D+02 -0.44710178D+03 [ 0.2236E-01, 0.4472E+03]
  3  -0.10000000D+02  0.44710178D+03
```

```
-----
      周波数          ゲイン余裕          位相余裕
15.0000 (rad/s)          (1) 14.99149 (dB)      (1) 72.58508 (deg)
72.50001 (rad/s)
```

```
-----
ゲイン余裕最小値= 14.99149 (dB),  位相余裕最小値= 72.58508 (deg)
-----
```

この画面を消すと、次の「解析結果の表示」の画面になる。

```

$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$< 解析結果の表示 >$$$$$$$$$$$$$(KMAP***)$$$$$$$$$$$$
$$ 0 : 表示終了 (次の解析 または 終了へ) $$
$$ 1 : 安定解析図 (f 特, 根軌跡) (Excel を立ち上げてください) $$
$$ (極・零点配置, 根軌跡, 周波数特性などの図が表示できます) $$
$$ (極・零点の数値データは“9”(安定解析結果)で確認できます) $$
$$ 6 : ナイスト線図 (Excel を立ち上げてください) $$
$$ 7 : シミュレーション図 (KMAP (Simu)) (Excel を立ち上げてください) $$
$$ (Z191~Z200 に定義した値をタイムヒストリー図に表示できます) $$
$$ 9 : 釣り合い飛行時のデータおよび安定解析結果 (TES13. DAT) $$
$$ 10 : その他の Excel 図, 101 : KMAP 線図 (1), 102 : KMAP 線図 (2) $$
$$ 14 : 取り扱い説明書 (pdf 資料), (15:インプットデータ表示), (16:Ap, B2 行列表示) $$
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

```

ここで、「1」および[7]とキーインすると、根軌跡、極・零点およびステップ応答が次のように Excel で表示することができる。

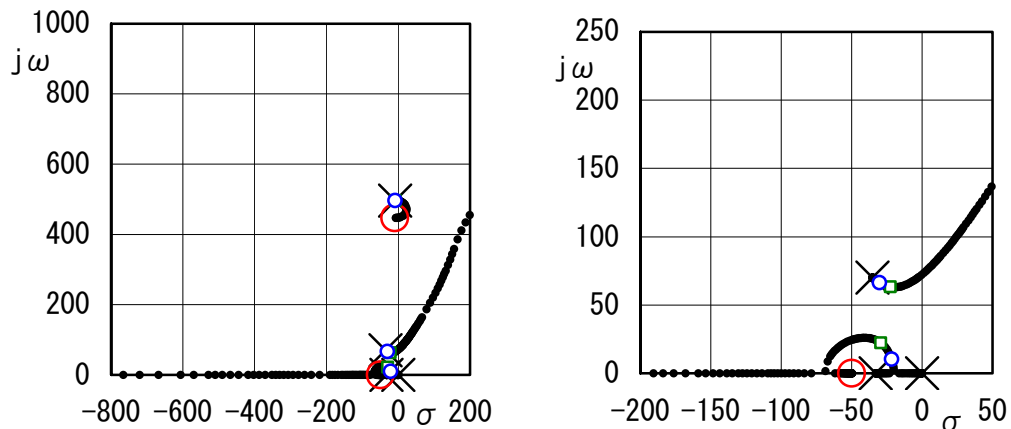


図 2 根軌跡 (EIGE. MEC. PRB5. 4-1. DAT)

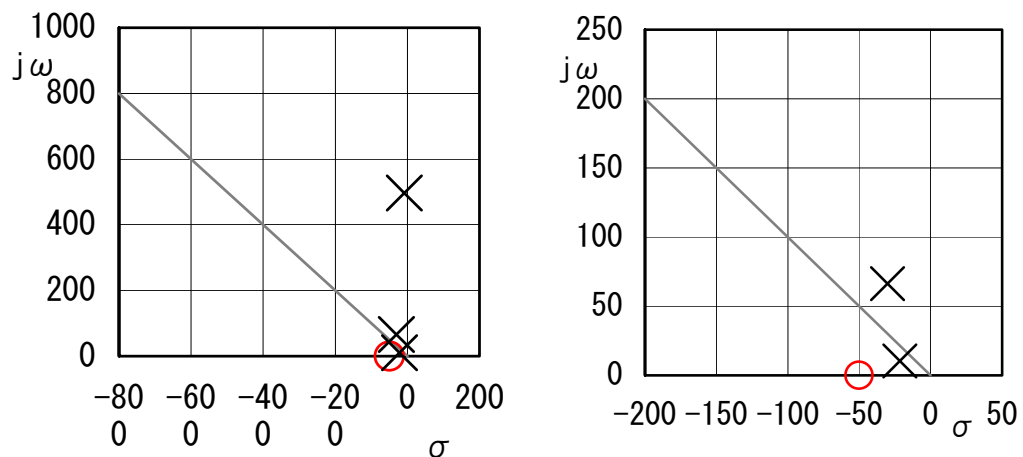


図 3 x_t/x_{mc} の極・零点

図 2 および図 3 から、システムは安定であるが、500 (rad/s) 付近に減衰比の小さい振動モードがあることがわかる。

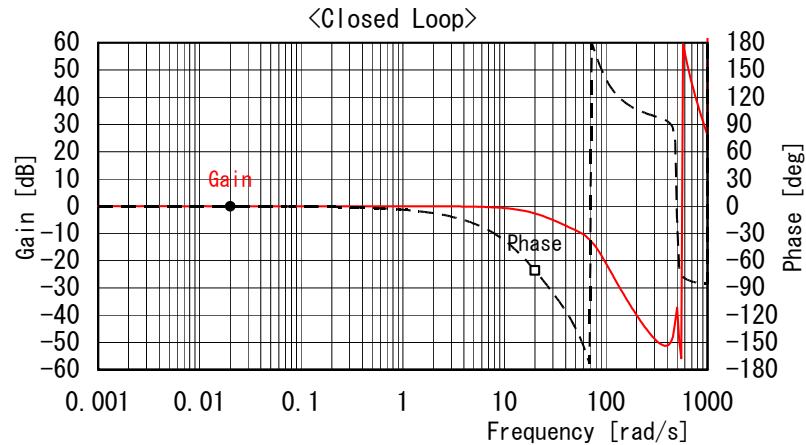


図 4 x_t/x_{mc} のボード線図

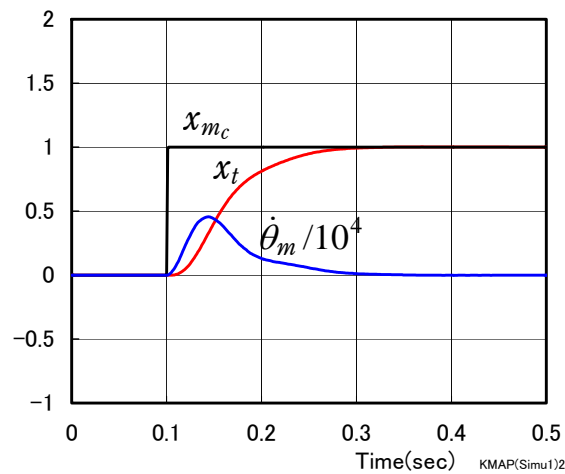


図 5 ステップ応答

図 5 から、被駆動体位置 x_t の応答がモータ位置コマンド x_{mc} に追従していることが確認できる。

このケースのインプットデータは次のようである。

(同様な問題では、例題ファイルをコピー利用して、数値を変更して解析を行っていくとミスを防ぐことができる)

```
##### (インプットデータ) #####
EIGE. MEC. PRB5. 4-1. DAT
NXP                = 0
tmax (s)          = 4.000
1. NU1-----> 4
  T , U1          0.0000    0.0000
                  0.1000    0.0000
                  0.1010    1.0000
                  60.0000    1.0000
3. NU3-----> 2
  T , U3          0.0000    0.0000
                  60.0000    0.0000
```

5. NU5-----> 2

T , U5 0.0000 0.0000
 60.0000 0.0000

*****10*****20*****30*****40*****50*****60*****70*****

<積分数, IRIG, TDEBUG 時間, 補間関数> 7 0 0.0 0

```

<Control System Data>
Hi *---GAIN---NCAL*N01*N02*N03*NGO*LNO
 1 Z6=U1*G; H 0 0.1000E+01 52 6 1 0 0 0
 2 H1=G; (R) H 0 0.1000E+01 11 1 0 0 0 0
 3 H2=G; (L) H 0 0.1000E-01 11 2 0 0 0 0
 4 H3=H2/H1; (L/R) H 0 24 3 2 1 0 0
 5 H4=G; (Ktau) H 0 0.1000E+01 11 4 0 0 0 0
 6 H5=H4/H1; (Ktau/R) H 0 24 5 4 1 0 0
 7 H6=G; (KE) H 0 0.1000E+01 11 6 0 0 0 0
 8 H7=G; (Jm) H 0 0.2000E-01 11 7 0 0 0 0
 9 H8=G; (kt) H 0 0.1000E+09 11 8 0 0 0 0
10 H9=G; (Dm) H 0 0.0000E+00 11 9 0 0 0 0
11 H10=G; (Q) H 0 0.3000E-02 11 10 0 0 0 0
12 H11=G; (ct) H 0 0.1000E+05 11 11 0 0 0 0
13 H12=G; (Mt) H 0 0.5000E+03 11 12 0 0 0 0
14 //
15 Z33=Z13*H10; (Q*THm) H 0 74 33 13 10 0 0
16 Z32=Z6-Z33; H 0 36 32 6 33 0 0
17 Z34=Z32*G; (*Kx) H 0 0.5000E+04 53 34 32 0 0 0
18 Z10={RGAIN(De)} Z34; H 0 301 10 34 0 0 0
19 //
20 Z27=Z10-Z12; H 0 36 27 10 12 0 0
21 Z28=Z27*G; (*KV) H 0 0.1000E+01 53 28 27 0 0 0
22 Z29={1/S, t>=G} Z28X7; H 0 0.0000E+00 110 29 28 7 0 0
23 Z30=Z29*G; (*KI) H 0 0.5000E+02 53 30 29 0 0 0
24 Z31=Z28+Z30; (Vm) H 0 35 31 28 30 0 0
25 //
26 Z7=Z31-Z15; (Vm-VE) H 0 36 7 31 15 0 0
27 Z8={1/(1+HS)} Z7X2; H 3 115 8 7 2 0 0
28 Z9=Z8*H5; (tau) H 0 74 9 8 5 0 0
29 Z11=Z26/H7; (/Jm) H 0 75 11 26 7 0 0
30 Z12={1/S, t>=G} Z11X3; (THmdot) H 0 0.0000E+00 110 12 11 3 0 0
31 Z13={1/S, t>=G} Z12X6; (THm) H 0 0.0000E+00 110 13 12 6 0 0
32 Z14=Z12*H9; (Dm*THmdot) H 0 74 14 12 9 0 0
33 Z15=Z12*H6; (VE) H 0 74 15 12 6 0 0
34 Z16=Z9-Z14; (tau-Dm*THmdot) H 0 36 16 9 14 0 0
35 Z25=Z23*H10; (Q*f) H 0 74 25 23 10 0 0
36 Z26=Z16-Z25; (tau-Dm*THmdot-Q*f) H 0 36 26 16 25 0 0
37 //
38 H13=H8*H10; (kt*Q) H 0 23 13 8 10 0 0
39 Z17=Z13*H13; (kt*xm) H 0 74 17 13 13 0 0
40 Z18=Z24/H12; (/Mt) H 0 75 18 24 12 0 0
41 Z19={1/S, t>=G} Z18X5; (xtidot) H 0 0.0000E+00 110 19 18 5 0 0
42 Z20={1/S, t>=G} Z19X4; (xt) H 0 0.0000E+00 110 20 19 4 0 0
43 Z21=Z19*H11; (ct*xtidot) H 0 74 21 19 11 0 0
44 Z22=Z20*H8; (kt*xt) H 0 74 22 20 8 0 0
45 Z23=Z17-Z22; (kt*xm-kt*xt) H 0 36 23 17 22 0 0
46 Z24=Z23-Z21; (Mt*xt2idot) H 0 36 24 23 21 0 0
47 Z99=Z20*G; (xt) H 0 0.1000E+01 53 99 20 0 0 0
48 //-----
49 R6=Z99; H 0 101 6 99 0 0 0
50 //シミュレーション用出力 (Z191~Z200)
51 Z191=Z99*G; H 0 0.1000E+01 53 191 99 0 0 0
52 Z192=Z6*G; H 0 0.1000E+01 53 192 6 0 0 0
53 Z193=Z12*G; H 0 0.1000E-03 53 193 12 0 0 0
54 //(最後に次の END 文が必要)
55 {Pitch Data END}; H 0 899 888 887 886 0 0

```

```

56  /*-----
57  /*(注 1)状態方程式使用の場合
58  /* Z1, Z3, Z5   : 制御入力設定済
59  /* Z6~(NXP 個) : 状態変数設定済
60  /* Ri は安定解析の出力で下記注意
61  /* R6~(NXP 個) : 状態変数に対応
62  /* R(6+NXP)~Rn: 出力変数の追加
63  /* 解析出力キーは i=4~(R 設定数)
64  /*
65  /*(注 2)状態方程式使用しない場合
66  /* Zi は全て通常の Z 変数
67  /* R6~出力変数を設定
68  /* 解析出力キーは i=4~(R 設定数)
69  /*$-----
----- (縦系ゲイン最適化 - 探索範囲) -----
探索ゲイン数= 0
重み係数= 0.0000E+00  影響範囲(rad/s)= 0.0000E+00
***** (ゲイン最適化 - 重み関数 W(s)) *****
極の数= 0
零点の数= 0
ゲイン= 0.0000E+00 -----
70 {Control Data END};                H 0                999  0  0  0  0  0
----- (DATA END) -----

```

この入力データの制御則部は、「解析結果の表示」画面で「101」および「102」とキーインすると、次の KMAP 線図で確認できる。

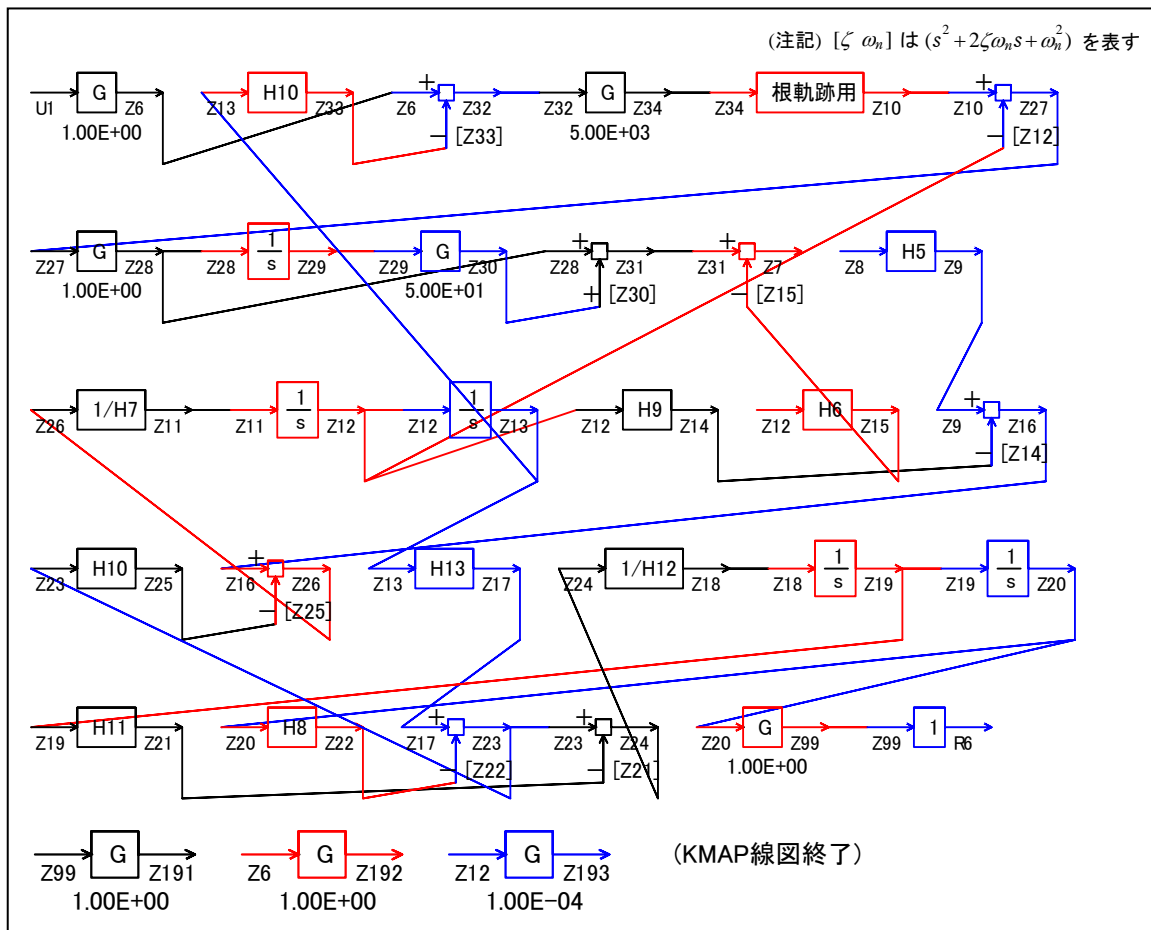


図 6 KMAP 線図

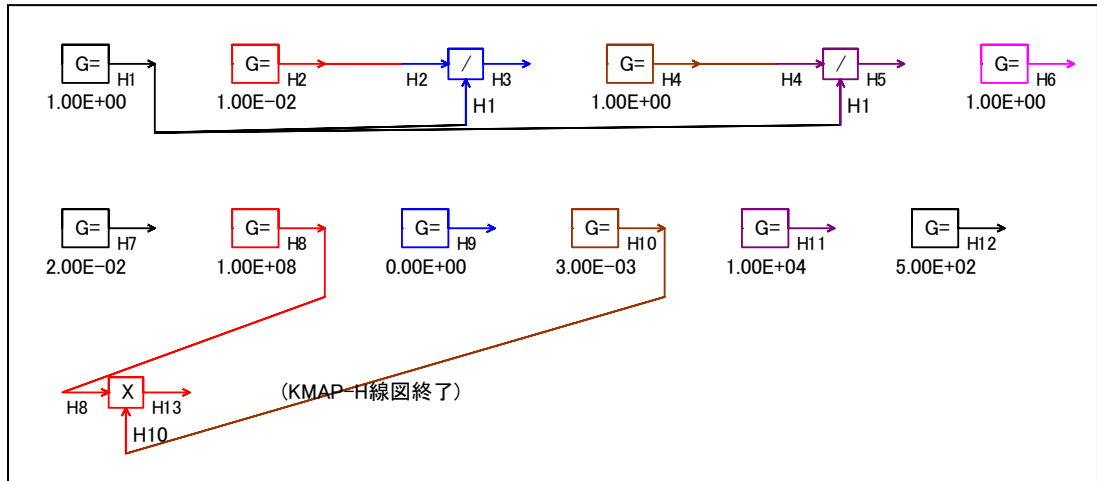


図 7 KMAP-H 線図

図 6 の KMAP 線図は、インプットデータの制御則部をそのデータ順に図にしたもので、信号の流れにミスがないか確認するのに便利である。

また、図 7 の KMAP-H 線図は、計算に用いられる中間変数 H についての信号の流れを図にしたものである。

(参考図書)

- 1) 片柳亮二：初学者のための KMAP 入門，産業図書，2012.
- 2) 片柳亮二：機械システム制御の実際－航空機，ロボット，工作機械，自動車，船および水中ビークル，産業図書，2013.
- 3) <http://r-katayanagi.air-nifty.com/>

以上