

KMAP による工作機械の制御 (2) - 被駆動体

2017 (H29). 12. 1 片柳亮二

【問題】 図 1 は，ボールねじ部と被駆動体である．モータの回転はボールねじ部に伝えられ，モータ回転角 θ_m から直線移動の変換係数 Q により $Q\theta_m (=x_m)$ だけ直線移動する．このとき，モータにはボールねじ部から負荷トルク Qf が加えられる．ボールねじ部の変位 x_m が生じると，ばねおよびダッシュポット (速度に比例した力を発生) の応答特性を介して被駆動体に変位を与える．

このボールねじ部の変位 x_m に対する被駆動体の位置 x_t の応答を解析せよ．ただし，データは

$$M_t = 500 \text{ (kg)}, \quad k_t = 1.0 \times 10^8 \text{ (N/m)}, \quad c_t = 1.0 \times 10^4 \text{ (N}\cdot\text{s/m)}$$

とする．

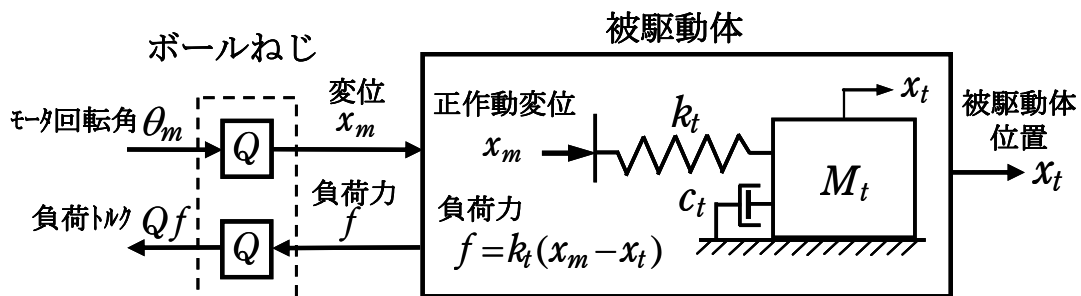


図 1 ボールねじ部と被駆動体

【解】

被駆動体の運動方程式は次式である．

$$M_t \ddot{x}_t = -c_t \dot{x}_t + k_t (x_m - x_t) \quad (1)$$

ラプラス変換して変形すると次のように表される．

$$x_t = \frac{\omega_t^2}{s^2 + 2\zeta_t \omega_t s + \omega_t^2} \cdot x_m \quad (2)$$

ただし，

$$\omega_t = \sqrt{\frac{k_t}{M_t}}, \quad \zeta_t = \frac{c_t}{2\omega_t M_t} \quad (3)$$

また，(1)式をブロック図で書くと，図 2 のようになる．

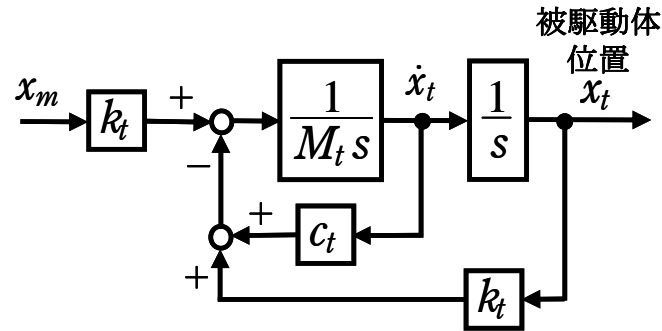


図 2 ねじ部変位 x_m から被駆動体位置 x_t

図 2 のシステムにおいて、ボールねじ部の変位 x_m のステップ入力に対する被駆動体の位置 x_t の応答を 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」 ⇒ “2” キーイン
例題のインプットデータ ⇒ EIGE.MEC.PR5.1-2.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、安定解析結果が次のように表示される。

```
***** POLES AND ZEROS *****
POLES( 3), EIVMAX= 0.4472D+03
N      REAL      IMAG
1  -0.1000000D+02  -0.44710178D+03 [ 0.2236E-01, 0.4472E+03]
2  -0.1000000D+02   0.44710178D+03   周期 P(sec)= 0.1405E-01
3   0.22222223D+03   0.00000000D+00
ZEROS( 1), II/JJ= 4/ 1, G= 0.2000D+06
N      REAL      IMAG
1   0.22222223D+03   0.00000000D+00
```

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」とキーイン/Enterすると、極・零点およびボード線図が次のように Excel で表示することができる。

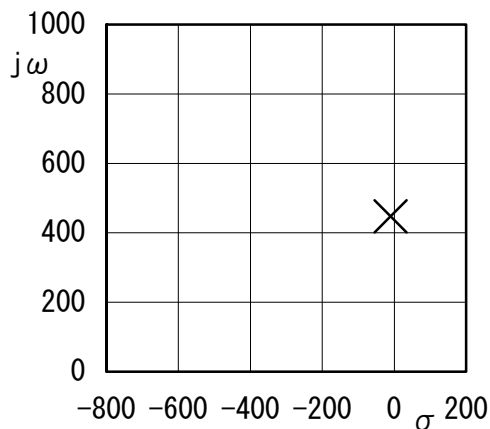


図3 x_t/x_m の極・零点
(EIGE. MEC. PRB5. 2-2. DAT)

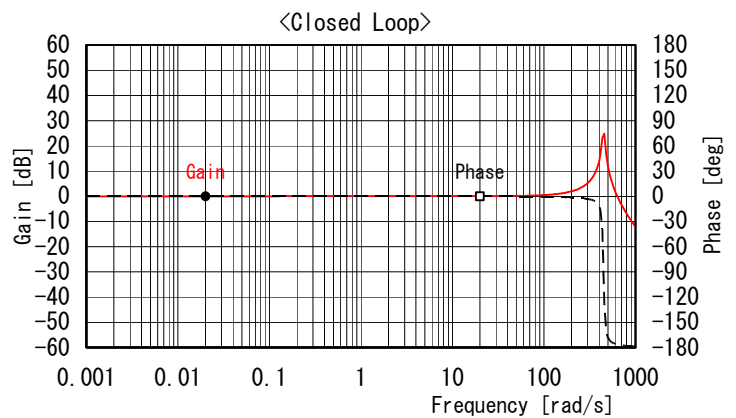


図4 x_t/x_m のボード線図

次に、「解析結果の表示」画面で「7」とキーインすると、シミュレーション図を次のように Excel 表示させることができる。

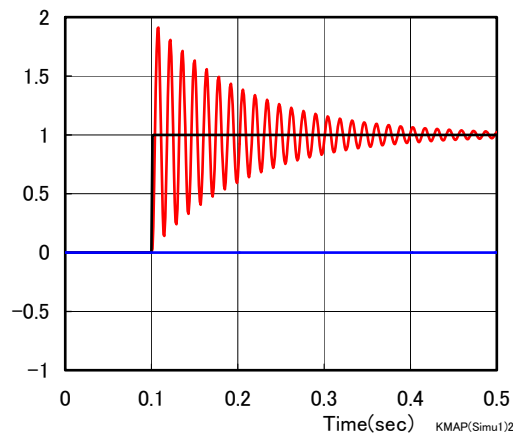


図5 ステップ応答

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. 2-2. 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> 5 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  Z7={1/(1+GS)}Z6X2; (dummy) H 0 -0.4500E-02 111  7  6  2  0  0
3  H8=G; (kt)                 H 0  0.1000E+09  11  8  0  0  0
4  H11=G; (ct)                H 0  0.1000E+05  11 11  0  0  0
5  H12=G; (Mt)                H 0  0.5000E+03  11 12  0  0  0
6  //
7  Z8=Z6*H8;                  H 0                      74  8  6  8  0  0
8  Z10={RGAIN(De)}Z8;         H 0                      301 10  8  0  0  0
9  Z18=Z24/H12; (/Mt)        H 0                      75 18 24 12  0  0
10 Z19={1/S, t>=G}Z18X5; (xtdot) H 0  0.0000E+00 110 19 18  5  0  0
11 Z20={1/S, t>=G}Z19X4; (xt)  H 0  0.0000E+00 110 20 19  4  0  0
12 Z21=Z19*H11; (ct*xtidot)  H 0                      74 21 19 11  0  0
13 Z22=Z20*H8; (kt*xt)       H 0                      74 22 20  8  0  0
14 Z23=Z10-Z22;              H 0                      36 23 10 22  0  0
15 Z24=Z23-Z21; (Mt*xt2idot) H 0                      36 24 23 21  0  0
16 Z99=Z20*G; (xt)           H 0  0.1000E+01  53 99 20  0  0
17 //-----
18 R6=Z99;                    H 0                      101  6 99  0  0  0
19 //シミュレーション用出力 (Z191~Z200)
20 Z191=Z99*G;                H 0  0.1000E+01  53 191 99  0  0  0
21 Z192=Z6*G;                 H 0  0.1000E+01  53 192  6  0  0  0
22 //(最後に次の END 文が必要)
23 {Pitch Data END};          H 0                      899 888 887 886  0  0
24 //*-----
25 //* (注 1) 状態方程式使用の場合
26 //* Z1, Z3, Z5 : 制御入力設定済
27 //* Z6~(NXP 個) : 状態変数設定済
28 //* Ri は安定解析の出力で下記注意
29 //* R6~(NXP 個) : 状態変数に対応
30 //* R(6+NXP)~Rn: 出力変数の追加
31 //* 解析出力キーは i=4~(R 設定数)
32 //*
33 //* (注 2) 状態方程式使用しない場合
34 //* Zi は全て通常の Z 変数
35 //* R6~出力変数を設定
36 //* 解析出力キーは i=4~(R 設定数)
```

```
37 // $-----  
----- (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 -----  
38 {Control Data END};          H 0          999 0 0 0 0 0  
----- (DATA END) -----
```

(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