

## KMAP による船の制御(2)－外乱応答

2017(H29). 12. 15 片柳亮二

【問題】前資料「KMAP による船の制御(1)－舵の操舵応答」と同様に、船に横流れ角  $\beta_G=5^\circ$  相当の外乱が入った場合の運動を解析せよ。ただし、運動は水平面内のスウェイ運動  $v$  とヨー運動  $r$  のみを考える。また、運動方程式およびデータは前資料「KMAP による船の制御(1)－舵の操舵応答」と同じとする。

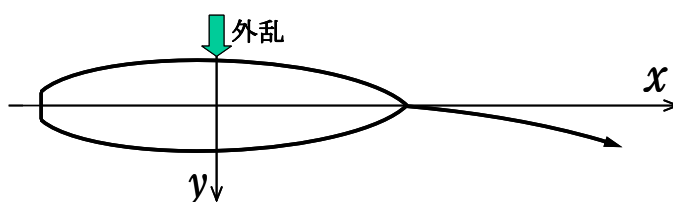


図1 船の外乱応答

### 【解】

データは前資料「KMAP による船の制御(1)－舵の操舵応答」と同じものを使うと、行列  $A_p, B_2$  は次のようである。

$$\dot{x} = A_p x + B_2 z_u \quad (1)$$

$$x = \begin{bmatrix} \beta \\ r \\ \psi \end{bmatrix}, \quad A_p = \begin{bmatrix} \bar{Y}_\beta & \bar{Y}_r & 0 \\ \bar{N}_\beta & \bar{N}_r & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} \bar{Y}_\delta & \bar{Y}_\beta \\ \bar{N}_\delta & \bar{N}_\beta \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad z_u = \begin{bmatrix} \delta \\ \beta_G \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$A_p = \begin{bmatrix} -0.0277 & -0.502 & 0 \\ -0.00894 & -0.01465 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0.00343 & -0.0277 \\ -0.000761 & -0.00894 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

このデータを用いて、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」 ⇒ “4” キーイン
- ② 「データファイル利用方法」 ⇒ “3” をキーイン
- ③ 「例題ファイルデータの取得」 ⇒ 例として、“3” をキーイン
- ④ 「3:機械システム制御の実際の例題」 ⇒ “58” キーイン

例題のインプットデータ ⇒ EIGE.PR7.2-2.DAT

- ⑤ 「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 6

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( 5), EIVMAX= 0.8853D-01
  N      REAL      IMAG
  1  -0.88525683D-01  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   0.46153242D-01  0.00000000D+00
ZEROS( 3), II/JJ= 6/ 1, G=-0.7611D-03
  N      REAL      IMAG
  1  -0.67978233D-01  0.00000000D+00
  2   0.00000000D+00  0.00000000D+00
  3   0.00000000D+00  0.00000000D+00
```

この画面を消すと、「解析結果の表示」の画面になるが、画面を上スクロールすると、次の AP, B2 行列およびスタティックマージンが次のように表示されている。

```
....AP..... NI= 3 NJ= 3
-0.2772D-01  -0.5022D+00  0.0000D+00
-0.8944D-02  -0.1465D-01  0.0000D+00
 0.0000D+00   0.1000D+01  0.0000D+00

....B2..... NI= 3 NJ= 2
 0.3426D-02  -0.2772D-01
-0.7611D-03  -0.8944D-02
 0.0000D+00   0.0000D+00
```

次の「解析結果の表示」に戻す。

```
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$< 解析結果の表示 >$$$$$$$$$$$$ (KMAP***)$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$$ 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」, 「7」 および 「10」とキーイン/Enter すると、極・零点、外乱応答および運動軌跡 ( $X_E$  および  $Y_E$ ) が次のように Excel で表示することができる。

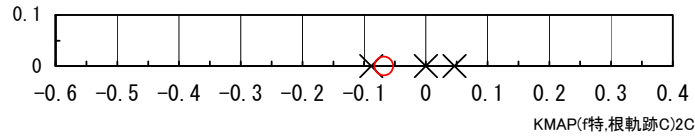


図 2  $\psi/\delta$ の極・零点 (EIGE. PRB7. 2-2. DAT)

この極は実根 3 個，零点は 1 個である．この極の実根 1 個は右半面にあり非振動不安定根であることがわかる．

図 3 は， $\beta_G = -5^\circ$  相当の外乱を 4 秒間受けた場合の応答である．船は非振動不安定であるから，舵による旋回運動と同様に機首を右に回転し続ける．図 4 は運動軌跡である．船は時計回りに旋回する様子も舵による旋回特性と同様である．

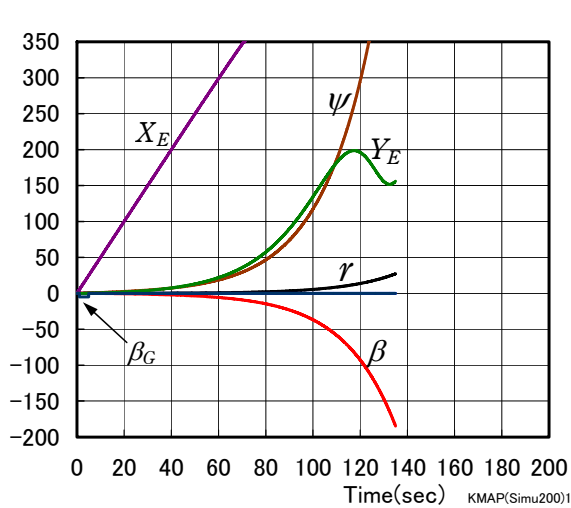


図 3  $\beta_G = -5^\circ$  外乱応答  
(EIGE. PRB7. 2-2. DAT)

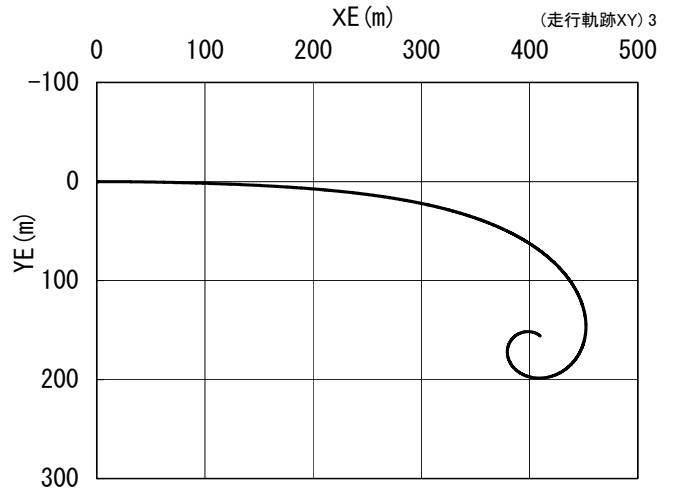


図 4 運動軌跡

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. PRB7. 2-2. DAT (外乱応答, 運動軌跡)
NXP          = 3
tmax (s)     = 135.000
1. NU1-----> 2
  T , U1          0.0000    0.0000
                  60.0000    0.0000
3. NU3-----> 6
  T , U3          0.0000    0.0000
                  1.0000    0.0000
                  1.0010   -5.0000
                  5.0000   -5.0000
```

```

          5.0010      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> 6 0 0.0 0
  <Control System Data>      Hi *---GAIN---NCAL*N01*N02*N03*NGO*LNO
  1 //AP, B2 行列テータ設定
  2 H1=G; (m)                H 0 0.3000E+08 11 1 0 0 0 0
  3 H2=G; (L)                H 0 0.1700E+03 11 2 0 0 0 0
  4 H3=G; (B)                H 0 0.2400E+02 11 3 0 0 0 0
  5 H4=G; (d)                H 0 0.1000E+02 11 4 0 0 0 0
  6 H5=G; (Cb)               H 0 0.6500E+00 11 5 0 0 0 0
  7 H6=G; (hR)               H 0 0.7000E+01 11 6 0 0 0 0
  8 H7=G; (CR)               H 0 0.4000E+01 11 7 0 0 0 0
  9 H8=G; (ROU)              H 0 0.9990E+03 11 8 0 0 0 0
 10 H9=G; (V)                H 0 0.5000E+01 11 9 0 0 0 0
 11 //
 12 H10=H5*H2; (Cb*L)        H 0                23 10 5 2 0 0
 13 H11=H10*H3; (*B)         H 0                23 11 10 3 0 0
 14 H12=H11*H4; (Vol)        H 0                23 12 11 4 0 0
 15 H13=H2*H2; (L*L)         H 0                23 13 2 2 0 0
 16 H14=H3*H3; (B*B)         H 0                23 14 3 3 0 0
 17 H15=H13+H14; (L*L+B*B)   H 0                21 15 13 14 0 0
 18 H16=H15*G; (/20)         H 0 0.5000E-01 17 16 15 0 0 0
 19 H17=H16*H8; (*ROU)       H 0                23 17 16 8 0 0
 20 H18=H17*H12; (Izw)       H 0                23 18 17 12 0 0
 21 H19=H2*H4; (S)           H 0                23 19 2 4 0 0
 22 H20=H6*H7; (SR)          H 0                23 20 6 7 0 0
 23 H21=H4*G; (2*d)          H 0 0.2000E+01 17 21 4 0 0 0
 24 H22=H21/H2; (A)          H 0                24 22 21 2 0 0
 25 H23=H6*H6; (hR*hR)       H 0                23 23 6 6 0 0
 26 H24=H23/H20; (AR)        H 0                24 24 23 20 0 0
 27 //
 28 H25=H2/H3; (L/B)          H 0                24 25 2 3 0 0
 29 H26=G/H25; (0.5/(L/B))    H 0 0.5000E+00 25 26 25 0 0 0
 30 H27=G; (0.03)            H 0 0.3000E-01 11 27 0 0 0 0
 31 H28=H26-H27; (mx/(ROU*Vol)) H 0                22 28 26 27 0 0
 32 H29=H8*H12; (ROU*Vol)    H 0                23 29 8 12 0 0
 33 H30=H28*H29; (mx)        H 0                23 30 28 29 0 0
 34 //
 35 H31=H25*H25; ((L/B)**2)   H 0                23 31 25 25 0 0
 36 H32=H31*H25; ((L/B)**3)   H 0                23 32 31 25 0 0
 37 H33=H32*G; (0.0012*(L/B)**3) H 0 0.1200E-02 17 33 32 0 0 0
 38 H34=H31*G; (0.0285*(L/B)**2) H 0 0.2850E-01 17 34 31 0 0 0
 39 H35=H25*G; (0.2294*(L/B)) H 0 0.2294E+00 17 35 25 0 0 0
 40 H36=H33-H34;              H 0                22 36 33 34 0 0
 41 H37=H36+H35;              H 0                21 37 36 35 0 0
 42 H38=G; (0.3127)           H 0 0.3127E+00 11 38 0 0 0 0
 43 H39=H37+H38; (my/(ROU*Vol)) H 0                21 39 37 38 0 0
 44 H40=H39*H29; (my)        H 0                23 40 39 29 0 0
 45 //
 46 H41=H32*G; (0.0014*(L/B)**3) H 0 0.1400E-02 17 41 32 0 0 0
 47 H42=H31*G; (0.0378*(L/B)**2) H 0 0.3780E-01 17 42 31 0 0 0
 48 H43=H25*G; (0.3567*(L/B)) H 0 0.3567E+00 17 43 25 0 0 0
 49 H44=G; (0.3328)           H 0 0.3328E+00 11 44 0 0 0 0
 50 H45=H41-H42;              H 0                22 45 41 42 0 0
 51 H46=H45+H43;              H 0                21 46 45 43 0 0
 52 H47=H46-H44; (Jz/Izw)    H 0                22 47 46 44 0 0
 53 H48=H47*H18; (Jz)        H 0                23 48 47 18 0 0

```

54	//								
55	H49=G; (12)	H 0	0. 1200E+02	11	49	0	0	0	0
56	H50=H15/H49; ((L**2+B**2)/12)	H 0		24	50	15	49	0	0
57	H51=H50*H1; (Iz)	H 0		23	51	50	1	0	0
58	//								
59	H52=H8*G; (0. 5*ROU)	H 0	0. 5000E+00	17	52	8	0	0	0
60	H53=H9*H9; (V**2)	H 0		23	53	9	9	0	0
61	H54=H52*H53; (0. 5*ROU*V**2)	H 0		23	54	52	53	0	0
62	H70=H54*H20; (0. 5*ROU*V**2*SR)	H 0		23	70	54	20	0	0
63	H71=H24*G; (6. 13*AR)	H 0	0. 6130E+01	17	71	24	0	0	0
64	H72=G; (2. 25)	H 0	0. 2250E+01	11	72	0	0	0	0
65	H73=H24+H72; (AR+2. 25)	H 0		21	73	24	72	0	0
66	H74=H71/H73; (6. 13AR/(AR+2. 25))	H 0		24	74	71	73	0	0
67	H75=H70*H74; (Ydelta)	H 0		23	75	70	74	0	0
68	//								
69	H76=H2*G; (-L/2)	H 0	-0. 5000E+00	17	76	2	0	0	0
70	H77=H75*H76; (Ndelta)	H 0		23	77	75	76	0	0
71	//								
72	H55=H54*H19; (0. 5*ROU*V**2*S)	H 0		23	55	54	19	0	0
73	H56=G; (PAI)	H 0	0. 3142E+01	11	56	0	0	0	0
74	H57=H56*H22; (PAI*A)	H 0		23	57	56	22	0	0
75	H58=H57*G; (/2)	H 0	0. 5000E+00	17	58	57	0	0	0
76	H59=H5/H25; (Cb*B/L)	H 0		24	59	5	25	0	0
77	H60=H59*G; (1. 4*Cb*B/L)	H 0	0. 1400E+01	17	60	59	0	0	0
78	H61=H58+H60; (PAI*A/2+1. 4CbB/L)	H 0		21	61	58	60	0	0
79	H62=H55*H61;	H 0		23	62	55	61	0	0
80	H93=H62*G; (Ybeta1)	H 0	-0. 1000E+01	17	93	62	0	0	0
81	H95=H93-H75; (Ybeta)	H 0		22	95	93	75	0	0
82	//								
83	H63=H57*G; (PAI*A/4)	H 0	0. 2500E+00	17	63	57	0	0	0
84	H64=H55*H63; (Yr1)	H 0		23	64	55	63	0	0
85	H96=H2/H9; (L/V)	H 0		24	96	2	9	0	0
86	H97=H96*G; (L/(2V))	H 0	0. 5000E+00	17	97	96	0	0	0
87	H98=H75*H97; (Yr2)	H 0		23	98	75	97	0	0
88	H99=H64+H98; (Yr)	H 0		21	99	64	98	0	0
89	//								
90	H65=H55*H2; (0. 5*ROU*V**2*S*L)	H 0		23	65	55	2	0	0
91	H66=H65*H22;	H 0		23	66	65	22	0	0
92	H94=H66*G; (Nbeta1)	H 0	-0. 1000E+01	17	94	66	0	0	0
93	H100=H2*G; (L/2)	H 0	0. 5000E+00	17	100	2	0	0	0
94	H101=H75*H100; (Nbeta2)	H 0		23	101	75	100	0	0
95	H102=H94+H101; (Nbeta)	H 0		21	102	94	101	0	0
96	//								
97	H67=G; (0. 54)	H 0	0. 5400E+00	11	67	0	0	0	0
98	H68=H22-H67; (A-0. 54)	H 0		22	68	22	67	0	0
99	H69=H66*H68; (Nr1)	H 0		23	69	66	68	0	0
100	H103=H98*H100; (Nr2)	H 0		23	103	98	100	0	0
101	H104=H69-H103; (Nr)	H 0		22	104	69	103	0	0
102	//								
103	H78=H1+H40; (m+my)	H 0		21	78	1	40	0	0
104	H79=H78*H9; ((m+my)V)	H 0		23	79	78	9	0	0
105	H80=H95/H79; (Ybetabar)	H 0		24	80	95	79	0	0
106	//								
107	H81=H1+H30; (m+mx)	H 0		21	81	1	30	0	0
108	H82=H81*H9; ((m+mx)V)	H 0		23	82	81	9	0	0
109	H83=H99-H82; (Yr-(m+mx)V)	H 0		22	83	99	82	0	0
110	H84=H83/H79; (Yrbar)	H 0		24	84	83	79	0	0
111	//								
112	H85=H51+H48; (Iz+Jz)	H 0		21	85	51	48	0	0
113	H86=H30-H40; (mx-my)	H 0		22	86	30	40	0	0
114	H87=H86*H53; ((mx-my)V**2)	H 0		23	87	86	53	0	0

115	H88=H102+H87; (Nbeta+(mx-my) V**2)	H 0		21	88	102	87	0	0
116	H89=H88/H85; (Nbatabar)	H 0		24	89	88	85	0	0
117	H90=H104/H85; (Nrbar)	H 0		24	90	104	85	0	0
118	//								
119	H91=H75/H79; (Ydeltabar)	H 0		24	91	75	79	0	0
120	H92=H77/H85; (Ndeltabar)	H 0		24	92	77	85	0	0
121	//								
122	AP(I1, J1)H80; (Ybetabar)	H 0		621	1	1	80	0	0
123	AP(I1, J2)H84; (Yrbar)	H 0		621	1	2	84	0	0
124	AP(I2, J1)H89; (Nbetabar)	H 0		621	2	1	89	0	0
125	AP(I2, J2)H90; (Nrbar)	H 0		621	2	2	90	0	0
126	AP(I3, J2);	H 0	0. 1000E+01	611	3	2	0	0	0
127	//								
128	B2(I1, J1)H91; (Ydeltabar)	H 0		623	1	1	91	0	0
129	B2(I1, J2)H80; (Ybetabar)	H 0		623	1	2	80	0	0
130	B2(I2, J1)H92; (Ndeltabar)	H 0		623	2	1	92	0	0
131	B2(I2, J2)H89; (Nbetabar)	H 0		623	2	2	89	0	0
132	//								
133	{Print(AP, B2, CP)} I3J2K1;	H 0		671	3	2	1	0	0
134	{P} H1; (m)	H 0		601	1	0	0	0	0
135	{P} H2; (L)	H 0		601	2	0	0	0	0
136	{P} H3; (B)	H 0		601	3	0	0	0	0
137	{P} H4; (d)	H 0		601	4	0	0	0	0
138	{P} H5; (Cb)	H 0		601	5	0	0	0	0
139	{P} H6; (hR)	H 0		601	6	0	0	0	0
140	{P} H7; (CR)	H 0		601	7	0	0	0	0
141	{P} H8; (ROU)	H 0		601	8	0	0	0	0
142	{P} H9; (V)	H 0		601	9	0	0	0	0
143	{P} H19; (S)	H 0		601	19	0	0	0	0
144	{P} H20; (SR)	H 0		601	20	0	0	0	0
145	{P} H22; (A)	H 0		601	22	0	0	0	0
146	{P} H24; (AR)	H 0		601	24	0	0	0	0
147	{P} H25; (L/B)	H 0		601	25	0	0	0	0
148	{P} H30; (mx)	H 0		601	30	0	0	0	0
149	{P} H40; (my)	H 0		601	40	0	0	0	0
150	{P} H51; (Iz)	H 0		601	51	0	0	0	0
151	{P} H18; (Izw)	H 0		601	18	0	0	0	0
152	{P} H93; (Ybeta1)	H 0		601	93	0	0	0	0
153	{P} H95; (Ybeta)	H 0		601	95	0	0	0	0
154	{P} H80; (Ybetabar)	H 0		601	80	0	0	0	0
155	{P} H64; (Yr1)	H 0		601	64	0	0	0	0
156	{P} H99; (Yr)	H 0		601	99	0	0	0	0
157	{P} H84; (Yrbar)	H 0		601	84	0	0	0	0
158	{P} H75; (Ydelta)	H 0		601	75	0	0	0	0
159	{P} H91; (Ydeltabar)	H 0		601	91	0	0	0	0
160	{P} H94; (Nbeta1)	H 0		601	94	0	0	0	0
161	{P} H102; (Nbeta)	H 0		601	102	0	0	0	0
162	{P} H89; (Nbetabar)	H 0		601	89	0	0	0	0
163	{P} H69; (Nr1)	H 0		601	69	0	0	0	0
164	{P} H104; (Nr)	H 0		601	104	0	0	0	0
165	{P} H90; (Nrbar)	H 0		601	90	0	0	0	0
166	{P} H77; (Ndelta)	H 0		601	77	0	0	0	0
167	{P} H92; (Ndeltabar)	H 0		601	92	0	0	0	0
168	// (コントロール Z1, Z3)								
169	Z1=U1*G;	H 0	0. 1000E+01	52	1	1	0	0	0
170	Z3=U3*G;	H 0	0. 1000E+01	52	3	3	0	0	0
171	//----- (XE, YE)								
172	Z9=Z8+Z6; (PSI+Beta)	H 0		35	9	8	6	0	0
173	H35=Z9; (PSI+Beta)	H 0		12	35	9	0	0	0
174	H36=FCOSD[H35]; (cos(PSI+Beta))	H 0		19	36	35	0	0	0
175	H37=FSIND[H35]; (sin(PSI+Beta))	H 0		18	37	35	0	0	0

```

176 Z10=H36; (cos (PSI+Beta))      H 0          54 10 36 0 0 0
177 Z11=H37; (sin (PSI+Beta))      H 0          54 11 37 0 0 0
178 Z12=Z10*H9; (XEdot)            H 0          74 12 10 9 0 0
179 Z13=Z11*H9; (YEdot)            H 0          74 13 11 9 0 0
180 Z14={1/S, t>=G} Z12X5; (XE)     H 0 0.0000E+00 110 14 12 5 0 0
181 Z15={1/S, t>=G} Z13X6; (YE)     H 0 0.0000E+00 110 15 13 6 0 0
182 //-----
183 //安定解析出力に追加する場合
184 //は, 下記に R(6+NXP)~を設定.
185 //シミュレーション用出力 (Z191~Z200)
186 //(このデータが TES6. DAT に入る)
187 Z191=Z6*G; (BETA)                H 0 0.1000E+01 53 191 6 0 0 0
188 Z192=Z7*G; (r)                   H 0 0.1000E+01 53 192 7 0 0 0
189 Z193=Z8*G; (PSI)                 H 0 0.1000E+01 53 193 8 0 0 0
190 Z194=Z1*G; (Input Z1)            H 0 0.1000E+01 53 194 1 0 0 0
191 Z195=Z14*G; (XE)                 H 0 0.1000E+01 53 195 14 0 0 0
192 Z196=Z15*G; (YE)                 H 0 0.1000E+01 53 196 15 0 0 0
193 Z197=Z3*G; (Input Z3)            H 0 0.1000E+01 53 197 3 0 0 0
194 //(最後に次の END 文が必要)
195 {Pitch Data END};                 H 0          899 888 887 886 0 0
196 //*-----
197 //*(注 1)状態方程式使用の場合
198 //* Z1, Z3, Z5 : 制御入力設定済
199 //* Z6~(NXP 個) : 状態変数設定済
200 //* Ri は安定解析の出力で下記注意
201 //* R6~(NXP 個) : 状態変数に対応
202 //* R(6+NXP)~Rn: 出力変数の追加
203 //* 解析出力キーインは i=4~(R 設定数)
204 //*
205 //*(注 2)状態方程式使用しない場合
206 //* Zi は全て通常の Z 変数
207 //* R6~出力変数を設定
208 //* 解析出力キーインは i=4~(R 設定数)
209 //\$-----
----- (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
零点数= 0
ゲイン= 0.0000E+00 -----
初期値 X( 1)= 0.0000E+00
X( 2)= 0.0000E+00
X( 3)= 0.0000E+00
210 {Control Data END};                 H 0          999 0 0 0 0 0
----- (DATA END) -----

```

このインプット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。

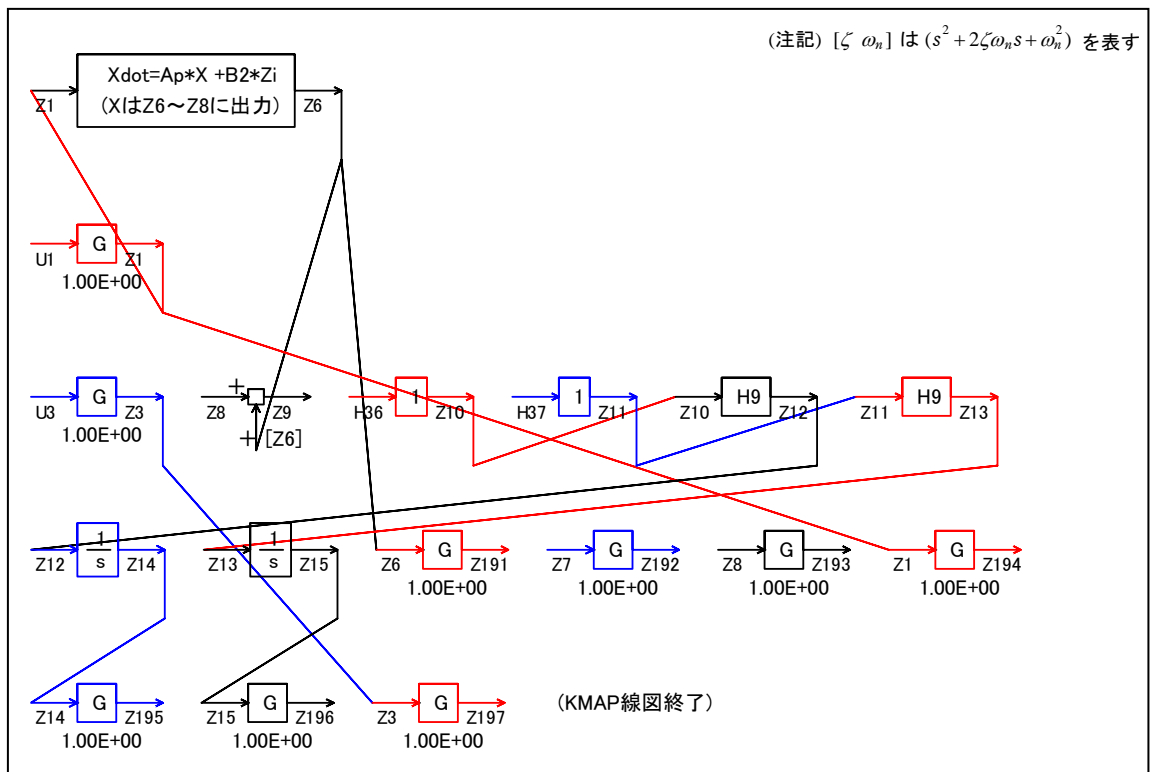


図 5 KMAP 線図

図 5 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 6 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。



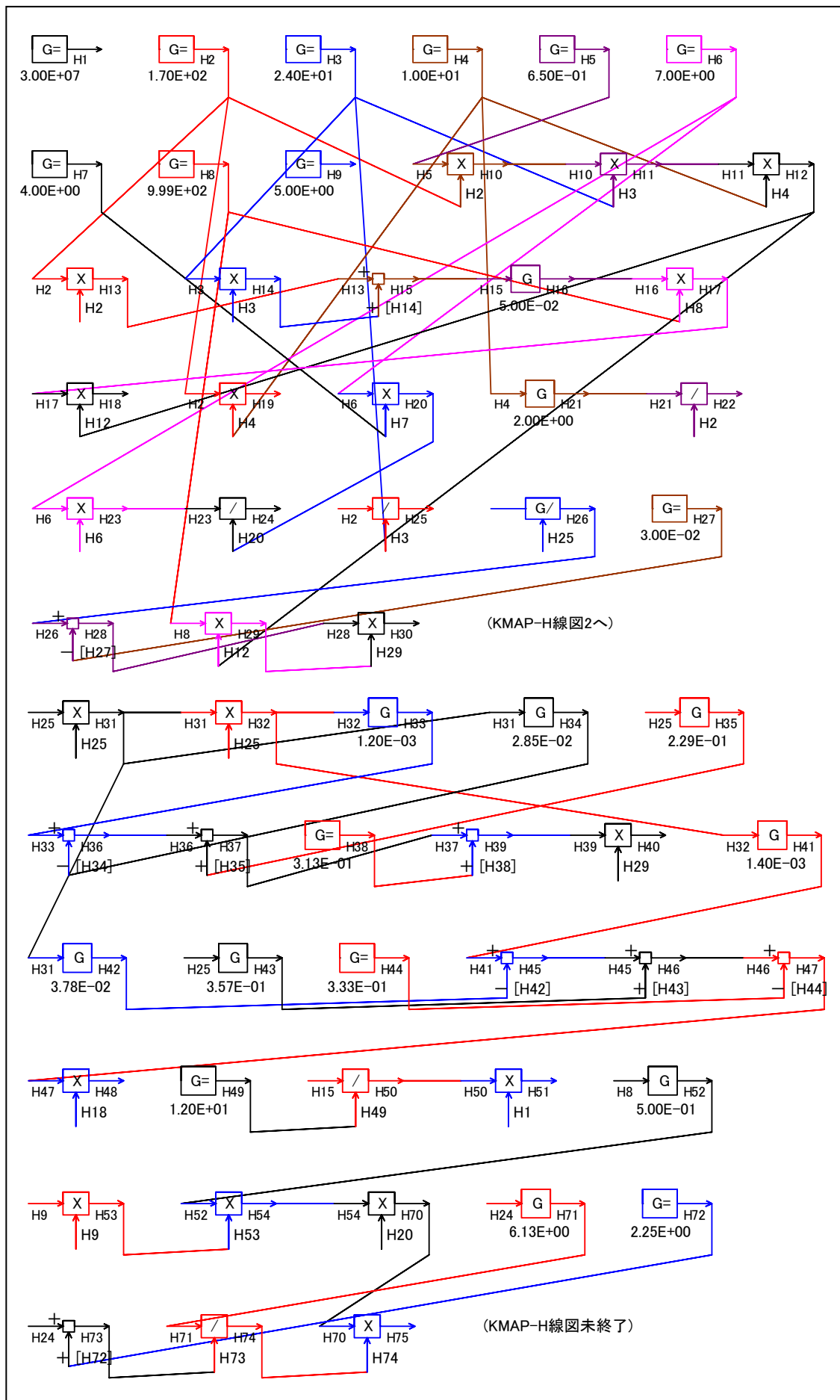


図 6 KMAP-H 線図

---

(参考図書)

- 1) 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.
- 2) 片柳亮二：初学者のためのKMAP入門，産業図書，2012.
- 3) 片柳亮二：航空機の飛行力学と制御，森北出版，2007.
- 4) 廣田 實：船舶制御システム工学<増補版>，成山堂書店，1984.
- 5) 本田啓之輔：操船通論，成山堂書店，1992.
- 6) 元良誠三監修，著者小山健夫，藤野正隆，前田久明：  
改訂版 船体海洋物の運動学，成山堂書店，1992.
- 7) 元良誠三：船体運動力学（電子訂正版），（社）日本船舶海洋工学会，2005.
- 8) Lamb, H.: hydrodynamics Sixth Edition, Cambridge Univ. Press, 1932.
- 9) 片柳亮二：(KMAP 解説資料)  
KMAP による船の制御(1)－舵の操舵応答，2017.
- 10) <http://r-katayanagi.air-nifty.com/>

以上