

KMAP による船の制御(3)－オートパイロット

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に，針路を保つオートパイロットを設計せよ．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．

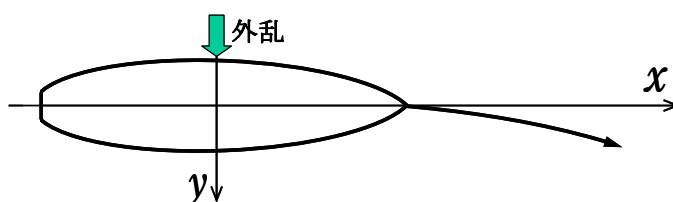


図1 船の外乱応答

【解】

図2に示すオートパイロット制御系を考える．

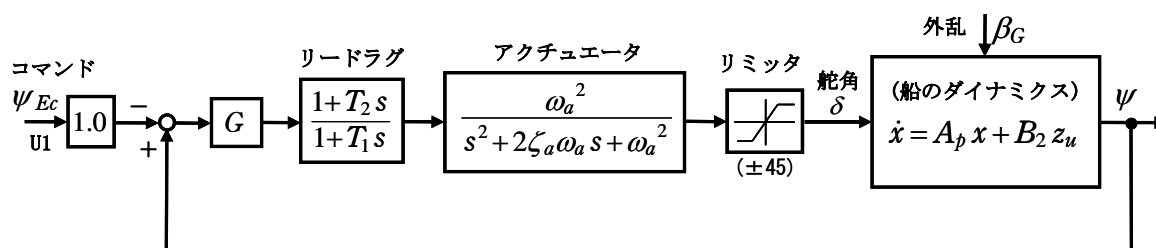


図2 オートパイロット制御系

ここで，舵の舵角リミッタは $\pm 45^\circ$ ，アクチュエータは減衰比 $\zeta_a=0.7$ ，固有角振動数 $\omega_a=6.28$ (rad/s) とする．船の固有安定は負であるから，ヨー角 ψ を単純にフィードバックすると制御系は不安定となる．そこで，安定化するためにリードラグフィルタを追加する．その分母，分子の時定数はそれぞれ 0.4 秒，4 秒としてみよう．

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」 ⇒ “60” キーイン
例題のインプットデータ ⇒ EIGE.PR7.2-3A.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( 8), EIVMAX= 0.6303D+01
  N      REAL      IMAG
  1  -0.44459104D+01  -0.44671810D+01 [ 0.7054E+00, 0.6303E+01]
  2  -0.44459104D+01   0.44671810D+01   周期 P(sec)= 0.1407E+01
  3  -0.22633879D+01   0.00000000D+00
  4  -0.72800882D-01   0.00000000D+00
  5  -0.53181449D-01  -0.19010663D+00 [ 0.2694E+00, 0.1974E+00]
  6  -0.53181449D-01   0.19010663D+00   周期 P(sec)= 0.3305E+02
  7   0.00000000D+00   0.00000000D+00
  8   0.00000000D+00   0.00000000D+00
ZEROS( 4), II/JJ= 6/ 1, G= 0.1501D+02
  N      REAL      IMAG
  1  -0.25000000D+00   0.00000000D+00
  2  -0.67978233D-01   0.00000000D+00
  3   0.00000000D+00   0.00000000D+00
  4   0.00000000D+00   0.00000000D+00
***** POLES AND ZEROS *****
POLES( 8), EIVMAX= 0.6280D+01
  N      REAL      IMAG
  1  -0.43960001D+01  -0.44848173D+01 [ 0.7000E+00, 0.6280E+01]
  2  -0.43960001D+01   0.44848173D+01   周期 P(sec)= 0.1401E+01
  3  -0.25000000D+01   0.00000000D+00
  4  -0.88525683D-01   0.00000000D+00
  5   0.00000000D+00   0.00000000D+00
  6   0.00000000D+00   0.00000000D+00
  7   0.00000000D+00   0.00000000D+00
  8   0.46153242D-01   0.00000000D+00
ZEROS( 4), II/JJ= 1/ 4, G=-0.1501D+02
  N      REAL      IMAG
  1  -0.25000000D+00   0.00000000D+00
  2  -0.67978233D-01   0.00000000D+00
  3   0.00000000D+00   0.00000000D+00
  4   0.00000000D+00   0.00000000D+00
```

周波数

ゲイン余裕

位相余裕

```

0.10000 (rad/s) (1) 10.83015 (dB)
0.22000 (rad/s) (1) 26.24251 (deg)
2.75000 (rad/s) (2) 28.53146 (dB)

```

ゲイン余裕最小値 = 10.83015 (dB), 位相余裕最小値 = 26.24251 (deg)

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、根軌跡、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。

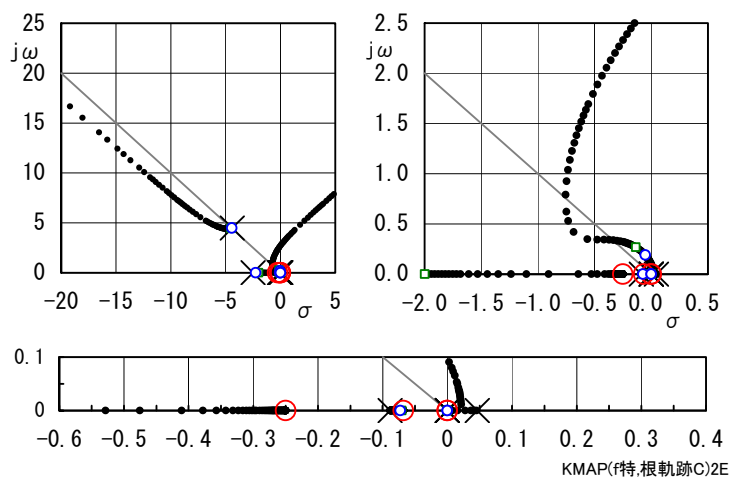


図 3 根軌跡 (EIGE. PRB7. 2-3A. DAT)

図 3 は、本制御系の根軌跡である．根軌跡上の小さい○印はゲイン 1 倍，小さい□印はゲイン 2 倍の場合である．船の固有特性として実軸上 $s=0.046$ にあった不安定極は，ゲイン 1 倍の場合はフィードバックによって減衰比 $\zeta=0.27$ の安定な振動極に変化していることがわかる．図 4 は ψ/δ の極・零点配置であるが，安定であることが確認できる．

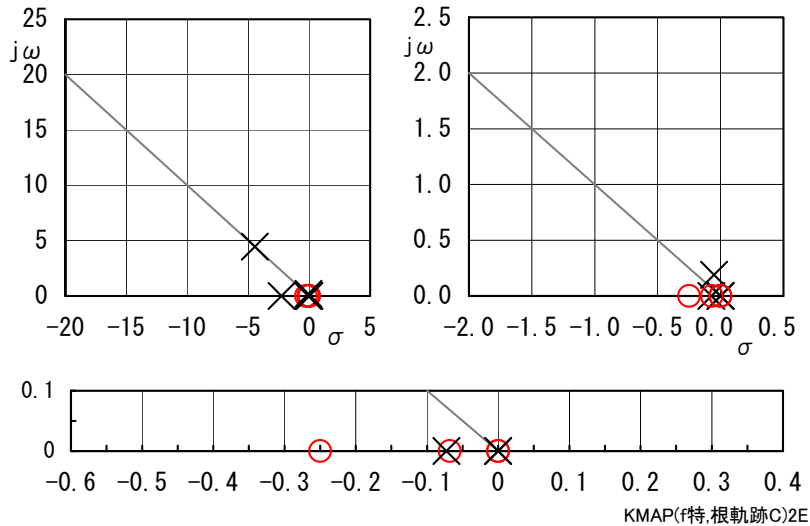


図 4 ψ/δ の極・零点

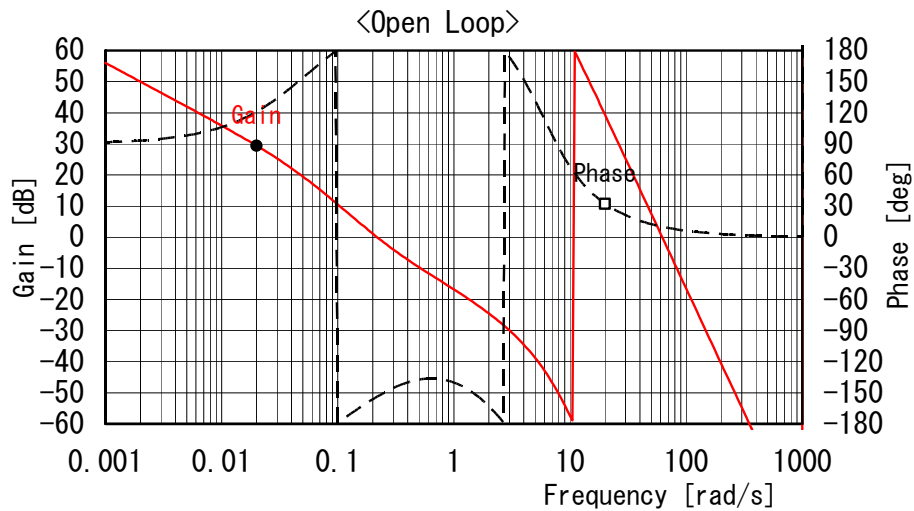


図 5 オープンループの周波数特性

図 5 は、オープンループの周波数特性である．これから，ゲイン余裕 10.8dB，位相余裕 26° であることが確認できる．

図 6 は， $\beta_G=-5^\circ$ 相当の外乱を 4 秒間受けた場合のシミュレーション結果である．オートパイロット制御系によりヨー角その他のデータは変化していないことがわかる．図 7 に運動軌跡を示すが，外乱があっても船の運動方向は変化していないことが確認できる．

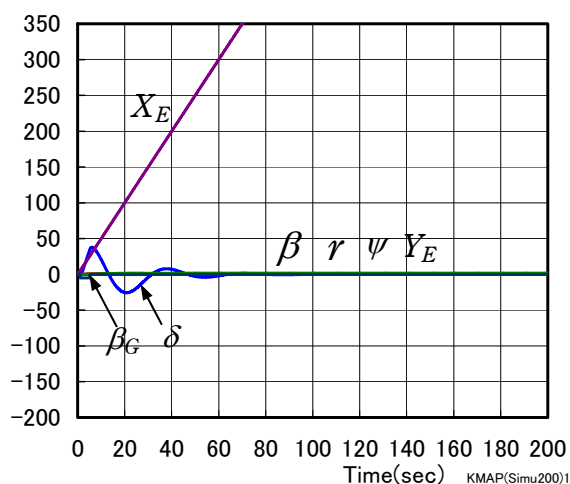
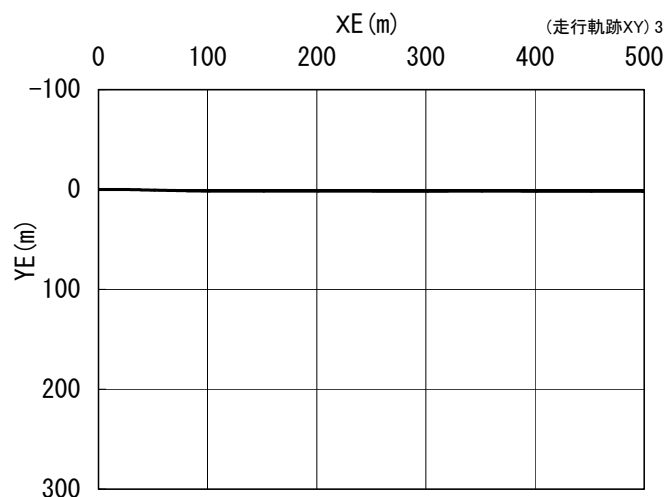
図 6 $\beta_G = -5^\circ$ 外乱応答

図 7 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. 2-3A. DAT (外乱+ $\delta$ 制御, 運動軌跡)
NXP          = 3
tmax(s)      = 200.000
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> 9 0 0.0 0
<Control System Data>          Hi *---GAIN---NCAL*N01*N02*N03*NGO*LNO
1 //AP, B2 行列データ設定
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; (Nbetabar)	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; (Ydel tabar)	H 0		24	91	75	79	0	0
120	H92=H77/H85; (Ndel tabar)	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; (Ydel tabar)	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; (Ndel tabar)	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 Z16=U1*G; H 0 0.1000E+01 52 16 1 0 0 0
170 Z3=U3*G; H 0 0.1000E+01 52 3 3 0 0 0
171 Z22=Z8-Z16; H 0 36 22 8 16 0 0
172 Z17=Z22*G; H 0 0.5000E+02 53 17 22 0 0 0
173 Z19={(1+G2S)/(1+G1S)}Z17X5; H 0 0.4000E+00 113 19 17 5 0 0
174 H 0 0.4000E+01 113 0 0 0 0 0
175 Z18={RGAIN(De)}Z19; H 0 301 18 19 0 0 0
176 Z1={G2^2/[G1G2]}Z18X7X8;(ACT) H 0 0.7000E+00 121 1 18 7 0 0
177 H 0 0.6280E+01 121 0 0 8 0 0
178 Z1={G1<=, <=G2};(Limiter) H 0 -0.4500E+02 85 1 0 0 0 0
179 H 0 0.4500E+02 85 0 0 0 0 0
180 //----- (XE, YE)
181 Z9=Z8+Z6;(PSI+BETA) H 0 35 9 8 6 0 0
182 H35=Z9;(PSI+Beta) H 0 12 35 9 0 0 0
183 H36=FCOSD[H35];(cos(PSI+Beta)) H 0 19 36 35 0 0 0
184 H37=FSIND[H35];(sin(PSI+Beta)) H 0 18 37 35 0 0 0
185 Z10=H36;(cos(PSI+Beta)) H 0 54 10 36 0 0 0
186 Z11=H37;(sin(PSI+Beta)) H 0 54 11 37 0 0 0
187 Z12=Z10*H9;(XEdot) H 0 74 12 10 9 0 0
188 Z13=Z11*H9;(YEdot) H 0 74 13 11 9 0 0
189 Z14={1/S, t>=G}Z12X6;(XE) H 0 0.0000E+00 110 14 12 6 0 0
190 Z15={1/S, t>=G}Z13X9;(YE) H 0 0.0000E+00 110 15 13 9 0 0
191 //-----
192 //安定解析出力に追加する場合
193 //は, 下記に R(6+NXP)~を設定.
194 //シミュレーション用出力(Z191~Z200)
195 //(このデータが TES6. DAT に入る)

```



```

196 Z191=Z6*G; (BETA)           H 0 0.1000E+01 53 191 6 0 0 0
197 Z192=Z7*G; (r)             H 0 0.1000E+01 53 192 7 0 0 0
198 Z193=Z8*G; (PSI)          H 0 0.1000E+01 53 193 8 0 0 0
199 Z194=Z1*G; (Input Z1)     H 0 0.1000E+01 53 194 1 0 0 0
200 Z195=Z14*G; (XE)          H 0 0.1000E+01 53 195 14 0 0 0
201 Z196=Z15*G; (YE)          H 0 0.1000E+01 53 196 15 0 0 0
202 Z197=Z3*G; (Input Z3)     H 0 0.1000E+01 53 197 3 0 0 0
203 //(最後に次の END 文が必要)
204 {Pitch Data END};           H 0 899 888 887 886 0 0
205 /*-----
206 /*(注 1)状態方程式使用の場合
207 /* Z1, Z3, Z5 : 制御入力設定済
208 /* Z6~(NXP 個) : 状態変数設定済
209 /* Ri は安定解析の出力で下記注意
210 /* R6~(NXP 個) : 状態変数に対応
211 /* R(6+NXP)~Rn: 出力変数の追加
212 /* 解析出力キーインは i=4~(R 設定数)
213 /*
214 /*(注 2)状態方程式使用しない場合
215 /* Zi は全て通常の Z 変数
216 /* R6~出力変数を設定
217 /* 解析出力キーインは i=4~(R 設定数)
218 /*$-----
----- (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
219 {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。

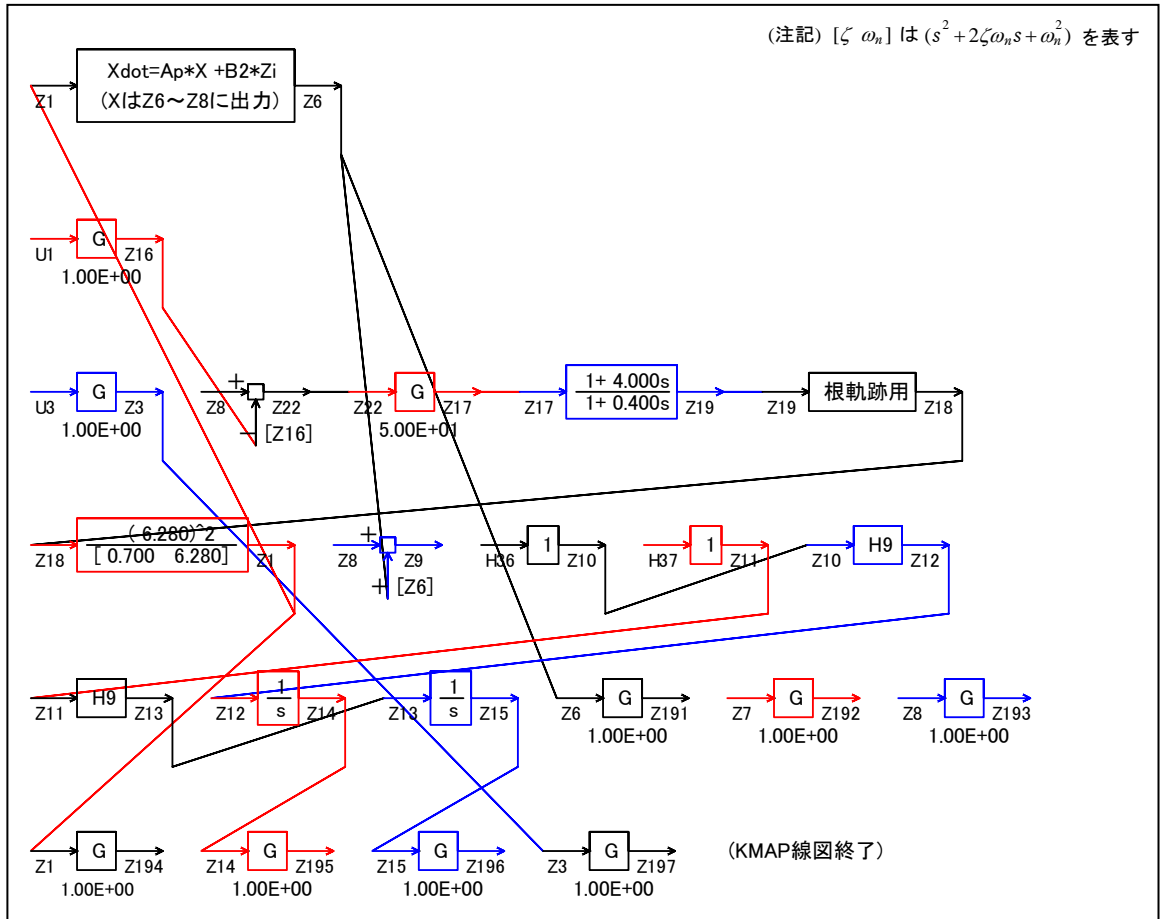


図 8 KMAP 線図

図 8 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 9 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。

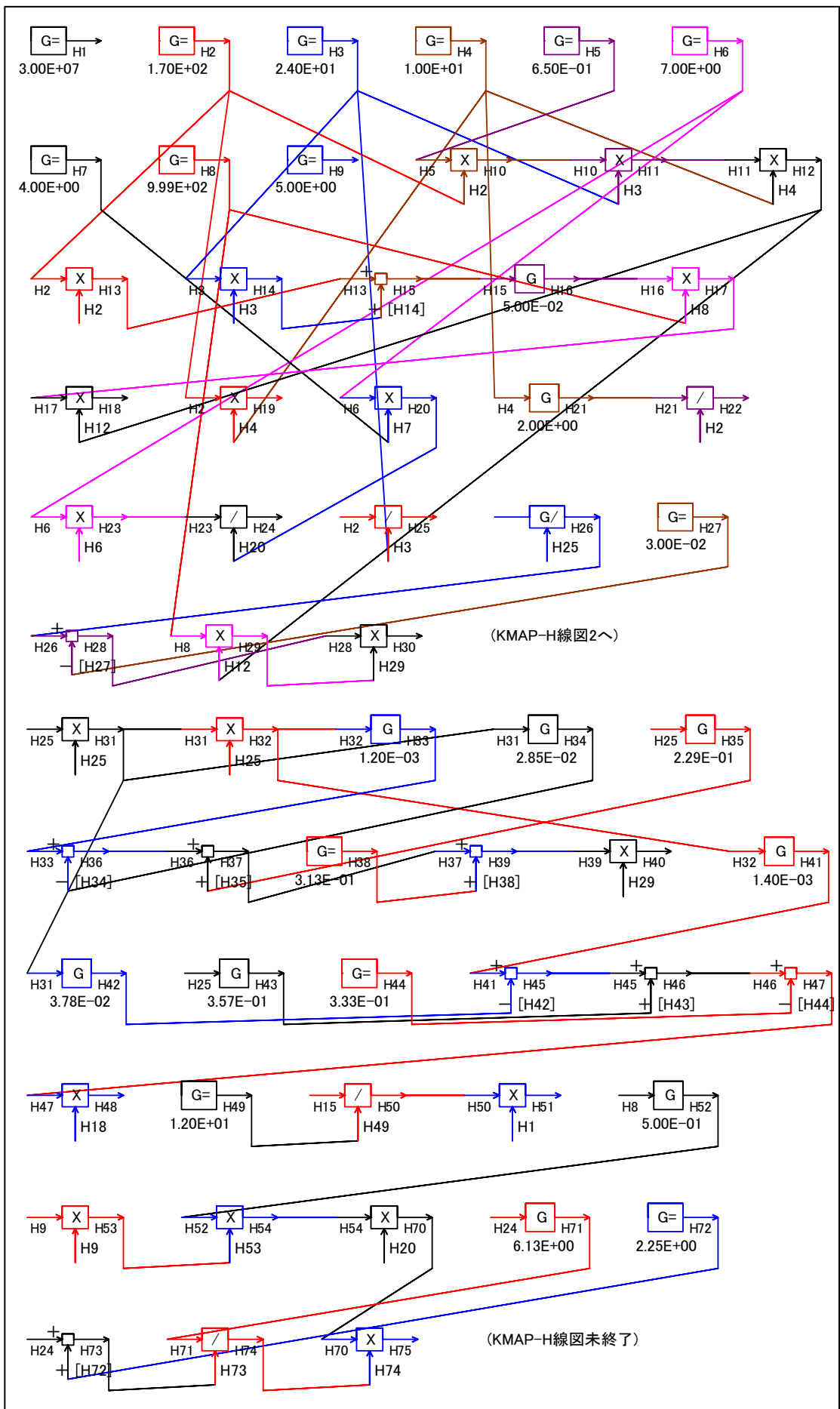


図 9 KMAP-H 線図

(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) 片柳亮二：(KMAP 解説資料)
KMAP による船の制御(2)－外乱応答，2017.
- 11) <http://r-katayanagi.air-nifty.com/>

以上