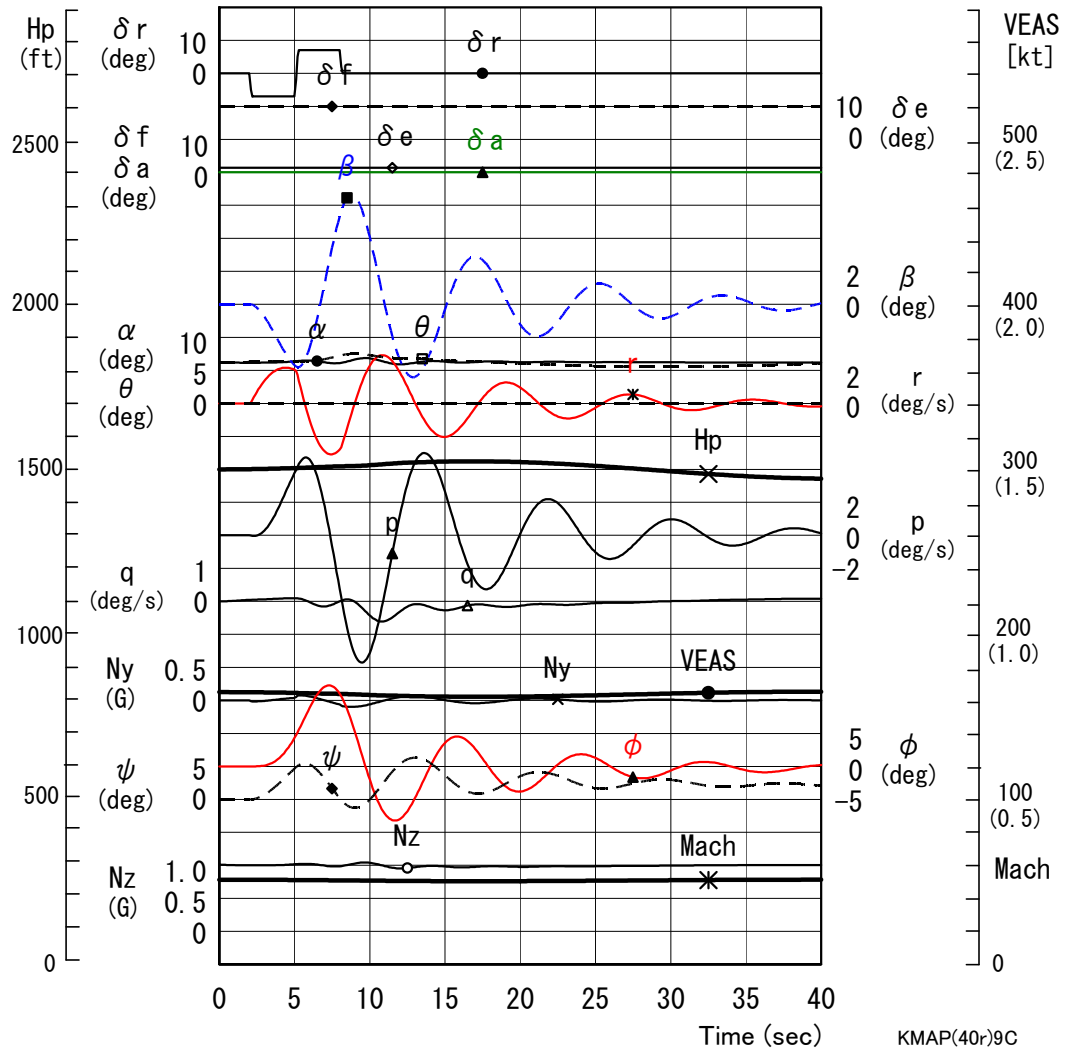


Z 接続法による航空機のヨーダンパの設計

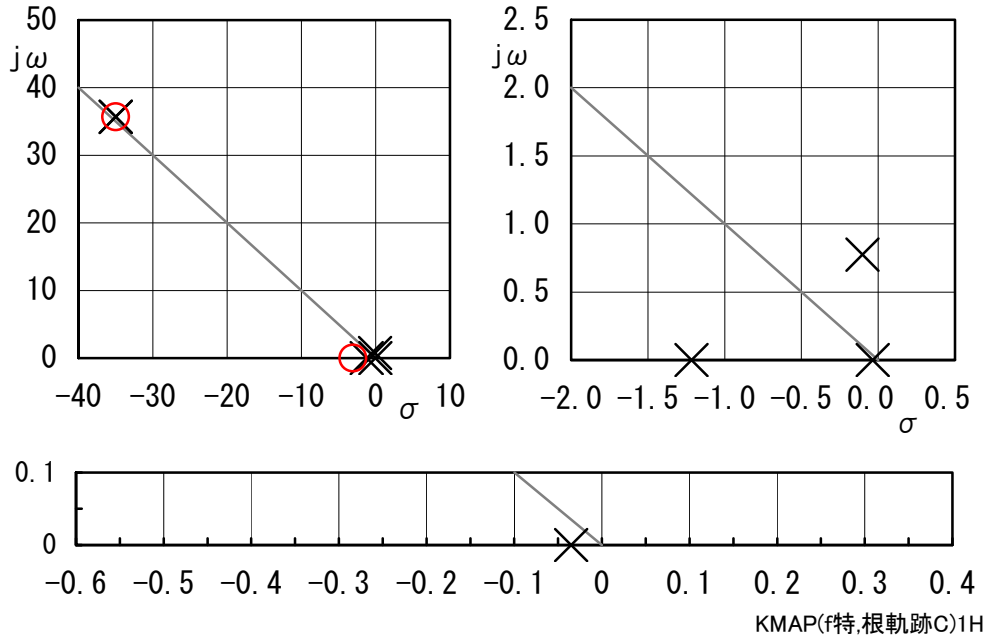
H28(2016). 8. 12 片柳亮二

減衰の悪いダッチロール運動モード(下記)を改善するため、ヨー系(ラダー)の安定増加装置ヨーダンパーを設計せよ。



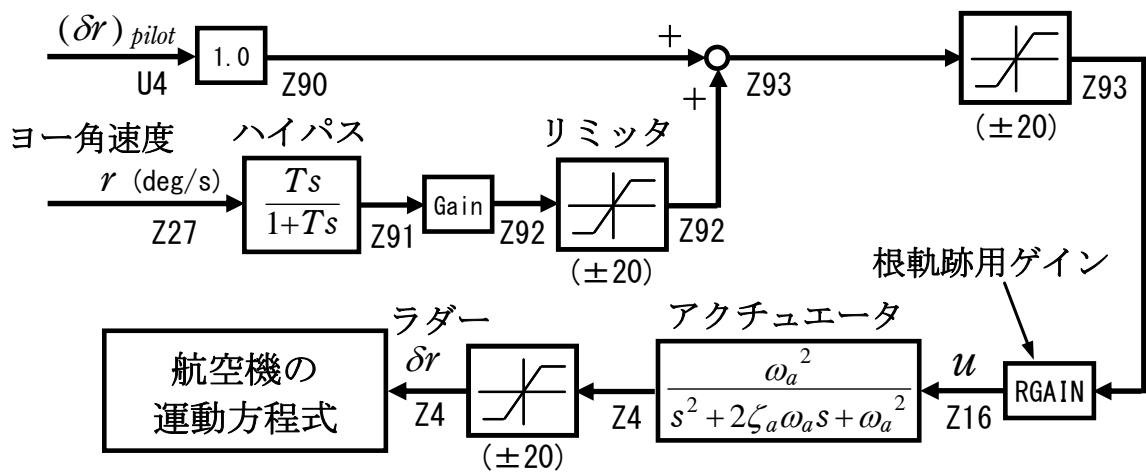
図(a) ダッチロール運動(ヨーダンパなし)

(W318.DAT) 大型旅客機のダッチロール運動, ラダー(ダッチロール誘起)操舵
(3-203)



図(b) $\phi / \delta r$ の極・零点(ヨーダンパなし)

ダッチロールモードの減衰を改善するヨーダンパの構成を図(c)に示す.これは, ヨー角速度 r をハイパスフィルタを介してラダーにフィードバックする構成である. このとき, ハイパス時定数 T とゲイン(Gain)を設計する.



図(c) 航空機のヨーダンパ

(ダッチロール改善 3. Y130203. DAT) (3-67)

このヨーダンパの制御則は次のようになる.

ダッチロール改善 3. Y130203. DAT

```

61 //#####<<横方向系制御則>>#####
62 //(次の Z25~Z28 は変更不要)
63 Z25={BETA(deg)};           H 0           225 25 0 0 0 0
64 Z26={p(deg/s)};           H 0           222 26 0 0 0 0
65 Z27={r(deg/s)};           H 0           223 27 0 0 0 0
    
```

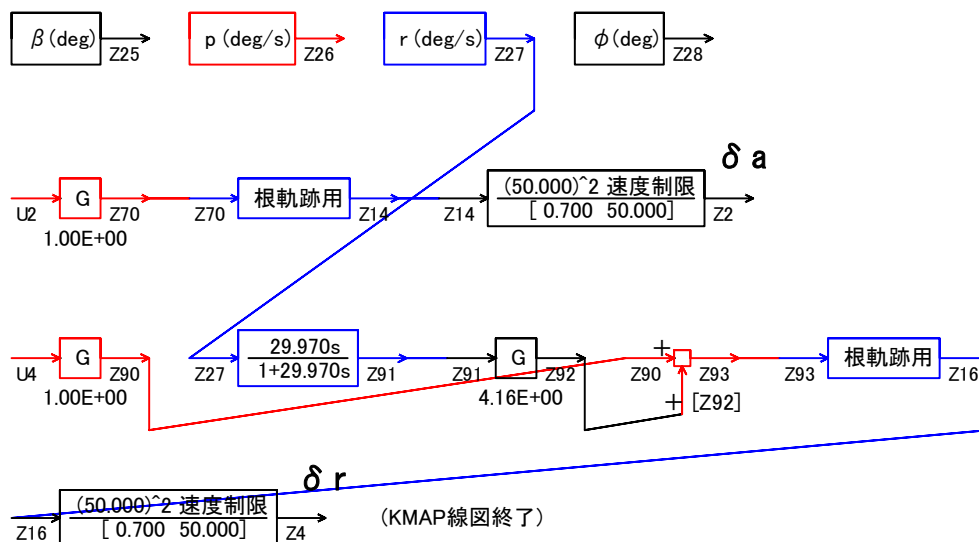
```

66 Z28={PHI(deg)};          H 0          224 28 0 0 0 0
67 //*****
68 //... <<Da系,ここから記述>>...
69 Z70=U2*G; (-pcmd)       H 0 0.1000E+01 52 70 2 0 0 0
70 //
71 Z70={G1<=, <=G2};      H 0 -0.2000E+02 85 70 0 0 0 0
72                          H 0 0.2000E+02 85 0 0 0 0 0
73 //(開ループ,根軌跡用ゲイン)(Da)
74 Z14={RGAIN(Da)}Z70;     H 0          302 14 70 0 0 0
75 //
76 //(Z14がDaコマンドに接続される)
77 //
78 //(アクチュエータ,2次遅れ)
79 Z2={G2^2/[G1G2]G3}Z14; H 0 0.7000E+00 124 2 14 21 0 0
80                          H 0 0.5000E+02 124 0 0 22 0 0
81                          H 0 0.1000E+04 124 0 0 0 0 0
82 Z2={G1<=, <=G2}; (Da)  H 0 -0.2000E+02 85 2 0 0 0 0
83                          H 0 0.2000E+02 85 0 0 0 0 0
84 //(Z2が舵角Daに接続される)
85 //
86 //*****
87 //... <<Dr系,ここから記述>>...
88 Z90=U4*G; (-rcmd)       H 0 0.1000E+01 52 90 4 0 0 0
89 //(ハイパス形)
90 Z91={GS/(1+GS)}Z27;     H 0 0.2997E+02 112 91 27 23 0 0
91 Z92=Z91*G; (Y/D On)     H 0 0.4162E+01 53 92 91 0 0 0
92 Z92={G1<=, <=G2};      H 0 -0.2000E+02 85 92 0 0 0 0
93                          H 0 0.2000E+02 85 0 0 0 0 0
94 Z93=Z90+Z92;           H 0          35 93 90 92 0 0
95 Z93={G1<=, <=G2};      H 0 -0.2000E+02 85 93 0 0 0 0
96                          H 0 0.2000E+02 85 0 0 0 0 0
97 //(開ループ,根軌跡用ゲイン)(Dr)
98 Z16={RGAIN(Dr)}Z93;     H 0          304 16 93 0 0 0
99 //(アクチュエータ,2次遅れ)
100 Z4={G2^2/[G1G2]G3}Z16; H 0 0.7000E+00 124 4 16 24 0 0
101                          H 0 0.5000E+02 124 0 0 25 0 0
102                          H 0 0.1000E+04 124 0 0 0 0 0
103 Z4={G1<=, <=G2}; (Dr)  H 0 -0.2000E+02 85 4 0 0 0 0
104                          H 0 0.2000E+02 85 0 0 0 0 0
105 //(Z4が舵角Drに接続される)

```

このインプットデータは次の KMAP 線図により作画できる。

(注記) $[\zeta \omega_n]$ は $(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)$ を表す



このヨーダンパのハイパス時定数およびゲインを Z 接続法ゲイン最適化法により求める。求める 2 つの値は 90 行目と 91 行目であるから、その行を指定すると、最適探索結果が図 (d) のように得られる。

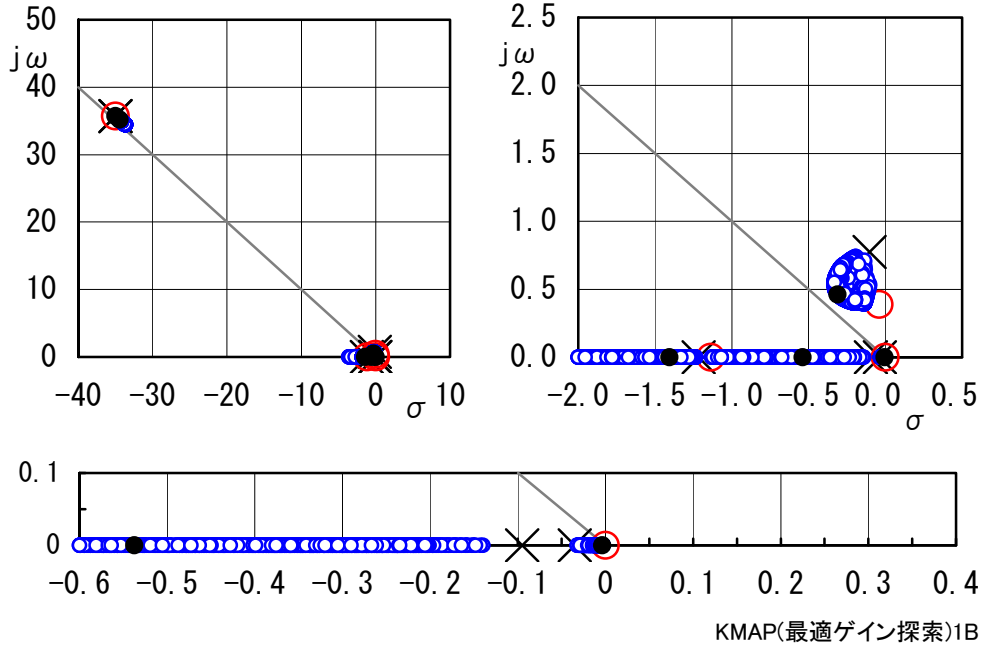


図 (d) ヨーダンパの最適ゲイン探索

(ダッチロール改善 3.Y130203.DAT) (3-67)

..... (釣り合い飛行時のデータ)

S = 0.51100E+03 (m ²)	CBAR = 0.83200E+01 (m)	Hp = 0.15000E+04 (ft)
W = 0.25500E+06 (kgf)	qbarS= 0.22996E+06 (kgf)	ROU = 0.11952E+00 (kgf·s ² /m ⁴)
V = 0.86778E+02 (m/s)	VKEAS= 0.16500E+03 (kt)	b = 0.59640E+02 (m)
Ix= 0.18980E+07 (⇒)	Iz = 0.59592E+07 (⇒)	Ixz = 0.11410E+06 (kgf·m·s ²)
CL= 0.11089E+01 (—)	α = 0.62505E+01 (deg)	CG = 0.25000E+02 (%MAC)

(この CL は初期釣合 G に必要な CL です)

T = 0.76699E+04 (kgf)	δ f = 0.20000E+02 (deg)	δ e = -0.85938E+01 (deg)
CL α = 0.9980E-01 (1/deg)	Cm α = -0.2200E-01 (1/deg)	

縦安定中正点 (neutral point) hn=(0.25-Cm α /CL α)*100= 0.47044E+02 (%MAC)

(CG=25%)	(CG= 25.00%)	(ﾌﾞﾗｲﾄﾞ 有次元)
Cy β = -0.168000E-01	Cy β = -0.168000E-01	Y β ' = -0.980399E-01
Cy δ r = 0.305000E-02	Cy δ r = 0.305000E-02	Y δ r ' = 0.177989E-01
Cl β = -0.386000E-02	Cl β = -0.386000E-02	L β ' = -0.157930E+01
Cl δ a = -0.800000E-03	Cl δ a = -0.800000E-03	L δ a ' = -0.332498E+00
Cl δ r = 0.120000E-03	Cl δ r = 0.120000E-03	L δ r ' = 0.346635E-01
Cl p = -0.450000E+00	Cl p = -0.450000E+00	Lp ' = -0.112446E+01
Cl r = 0.101000E+00	Cl r = 0.101000E+00	Lr ' = 0.236807E+00
Cn β = 0.262000E-02	Cn β 1 = 0.262000E-02	N β ' = 0.315277E+00
Cn δ a = -0.110000E-03	Cn δ a = -0.110000E-03	N δ a ' = -0.208727E-01
Cn δ r = -0.190000E-02	Cn δ r 1 = -0.190000E-02	N δ r ' = -0.249901E+00
Cnp = -0.121000E+00	Cnp = -0.121000E+00	Np ' = -0.117226E+00
Cnr = -0.300000E+00	Cnr = -0.300000E+00	Nr ' = -0.232730E+00

(NAERO=22) 方向 δ r コントロールシステム解析

●出力キー: i=3:BETA, 4:p, 5:r, 6:PHI (不明なら 6 入力)

***** (フィードバック前の極チェック) *****

***** POLES *****

POLES(9), EIVMAX= 0.500D+02

N	REAL	IMAG	
1	-0.34999999D+02	-0.35707143D+02	[0.7000E+00, 0.5000E+02]
2	-0.34999999D+02	-0.35707143D+02	[0.7000E+00, 0.5000E+02]
3	-0.34999999D+02	0.35707143D+02	周期 P(sec)= 0.1760E+00
4	-0.34999999D+02	0.35707143D+02	周期 P(sec)= 0.1760E+00
5	-0.12153928D+01	0.00000000D+00	
6	-0.10225823D+00	-0.77516882D+00	[0.1308E+00, 0.7819E+00]
7	-0.10225823D+00	0.77516882D+00	周期 P(sec)= 0.8106E+01
8	-0.35322325D-01	0.00000000D+00	
9	-0.33366701D-01	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(9), EIVMAX= 0.5000D+02

N	REAL	IMAG	
1	-0.34999999D+02	-0.35707143D+02	[0.7000E+00, 0.5000E+02]
2	-0.34999999D+02	0.35707143D+02	周期 P(sec)= 0.1760E+00
3	-0.34459979D+02	-0.35190280D+02	[0.6997E+00, 0.4925E+02]
4	-0.34459979D+02	0.35190280D+02	周期 P(sec)= 0.1785E+00
5	-0.14049967D+01	0.00000000D+00	
6	-0.53757935D+00	0.00000000D+00	
7	-0.31110535D+00	-0.46195564D+00	[0.5586E+00, 0.5569E+00]
8	-0.31110535D+00	0.46195564D+00	周期 P(sec)= 0.1360E+02
9	-0.38520878D-02	0.00000000D+00	

ZEROS(5), II/JJ= 6/ 2, G= 0.1824D+02

N	REAL	IMAG	
1	-0.34999999D+02	-0.35707143D+02	[0.7000E+00, 0.5000E+02]
2	-0.34999999D+02	0.35707143D+02	
3	-0.30493923D+01	0.00000000D+00	
4	-0.33366701D-01	0.00000000D+00	
5	0.18006407D+02	0.00000000D+00	

***** POLES AND ZEROS *****

POLES(9), EIVMAX= 0.5000D+02

N	REAL	IMAG	
1	-0.34999999D+02	-0.35707143D+02	[0.7000E+00, 0.5000E+02]
2	-0.34999999D+02	-0.35707143D+02	[0.7000E+00, 0.5000E+02]
3	-0.34999999D+02	0.35707143D+02	周期 P(sec)= 0.1760E+00
4	-0.34999999D+02	0.35707143D+02	周期 P(sec)= 0.1760E+00
5	-0.12153928D+01	0.00000000D+00	
6	-0.10225823D+00	-0.77516882D+00	[0.1308E+00, 0.7819E+00]
7	-0.10225823D+00	0.77516882D+00	周期 P(sec)= 0.8106E+01
8	-0.35322325D-01	0.00000000D+00	
9	-0.33366701D-01	0.00000000D+00	

ZEROS(6), II/JJ= 2/ 4, G=-0.2600D+04

N	REAL	IMAG	
1	-0.34999999D+02	-0.35707143D+02	[0.7000E+00, 0.5000E+02]
2	-0.34999999D+02	0.35707143D+02	
3	-0.11377390D+01	0.00000000D+00	
4	-0.39283996D-01	-0.38726123D+00	[0.1009E+00, 0.3892E+00]
5	-0.39283996D-01	0.38726123D+00	
6	0.00000000D+00	0.00000000D+00	

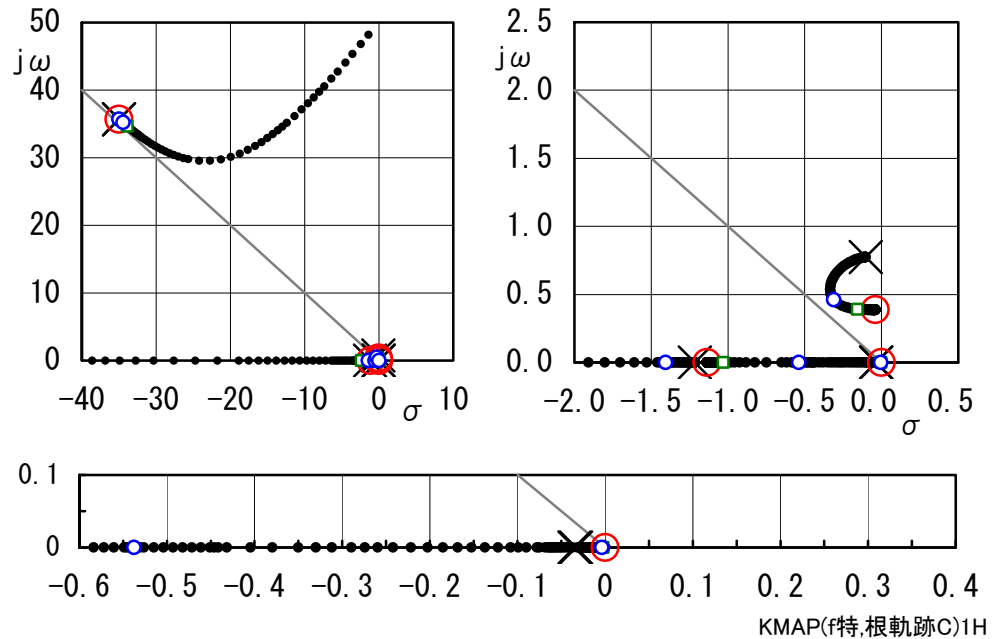
& (1) 90 行目 0.2997E+02 &

& (2) 91 行目 0.4162E+01 &

この探索結果から，次の最適値が次のよう出力される．

$$T=30.0 \text{ [s]}, \quad \text{Gain}=4.16 \text{ [deg/(deg/s)]}$$

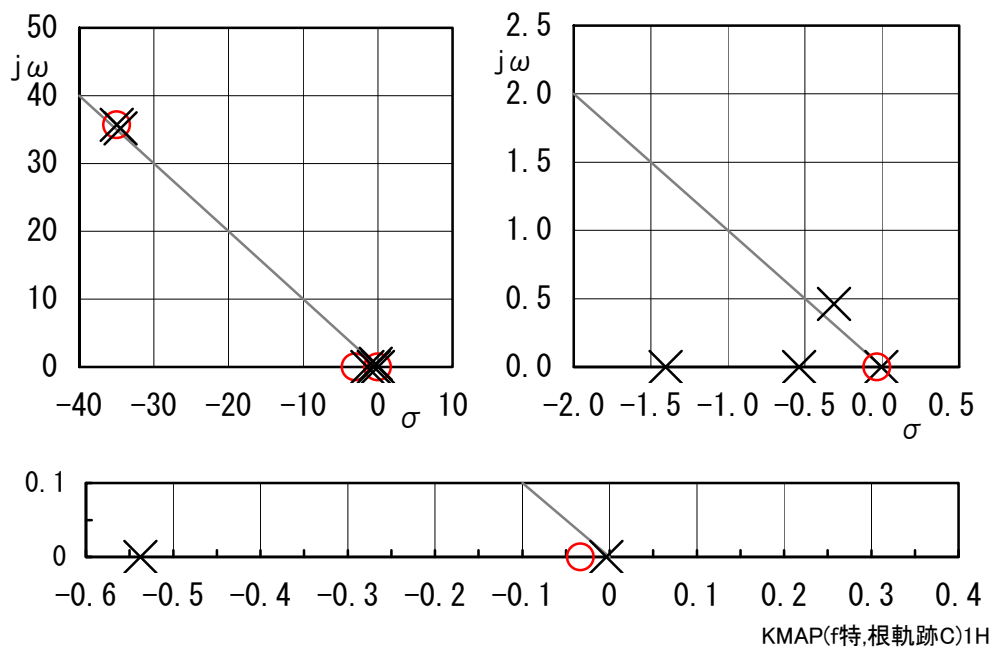
このときの根軌跡を図(e)である．極が安定のよい位置(小さな○印)に移動していることがわかる．なお，小さな□印はゲインを2倍にした場合で，安定性に余裕があることを示している．



図(e) 根軌跡

(ダッチロール改善 3. Y130203. DAT) (3-67)

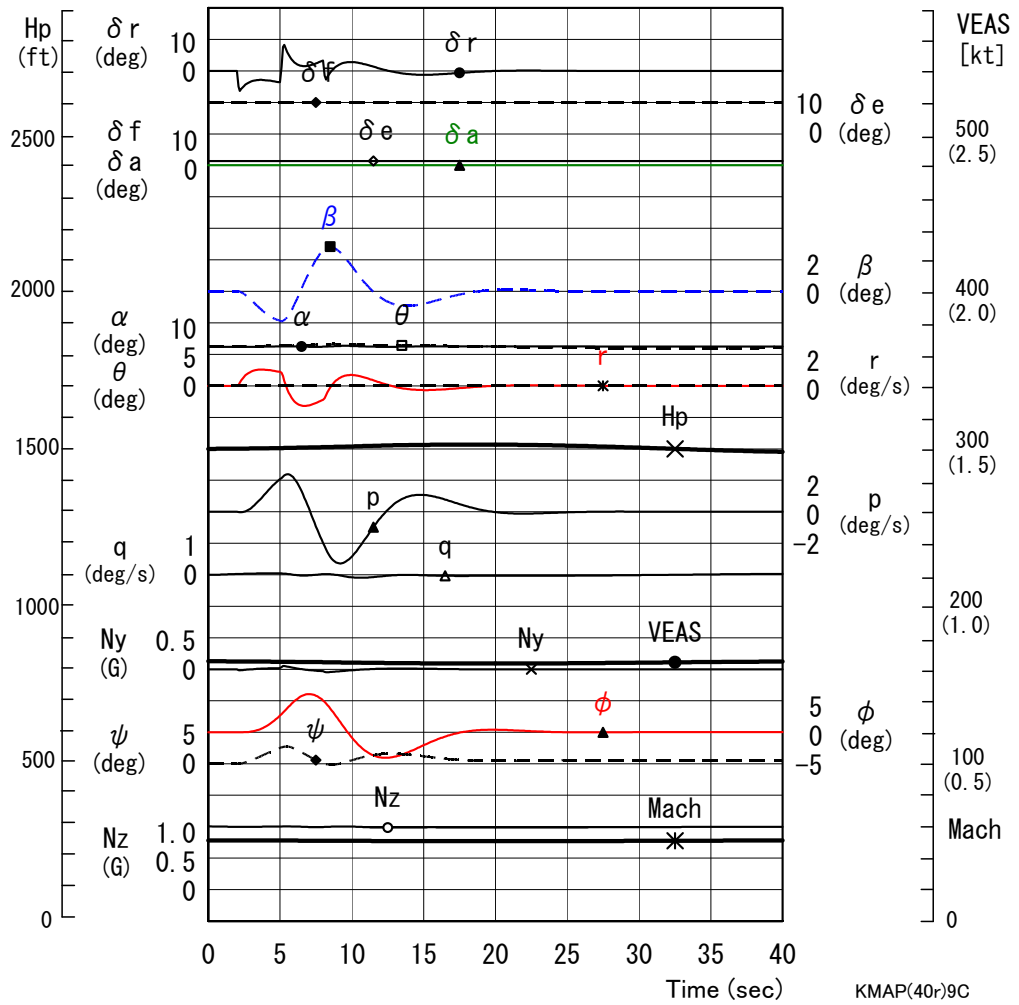
また，このときの $\phi / \delta r$ の極・零点配置を図(f)に示す．



図(f) 極・零点

(ダッチロール改善 3. Y130203. DAT) (3-67)

図(g)はシミュレーション結果である. ヨーダンパなしの場合と比較するとヨーダンパの効果が明確にわかる.



図(a) ダッチロール運動(ヨーダンパ有り)
(ダッチロール改善 3.Y130203.DAT) (3-67)

以上