

(104D) 飛行経路角保持 1 (ピッチ角保持 2 + 内部モデル制御)

2019 (R1). 10. 27 (D) 片柳亮二

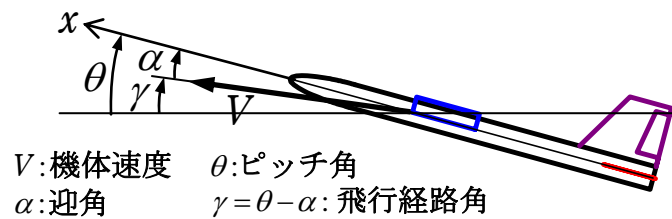


図 1.1 飛行経路角の説明

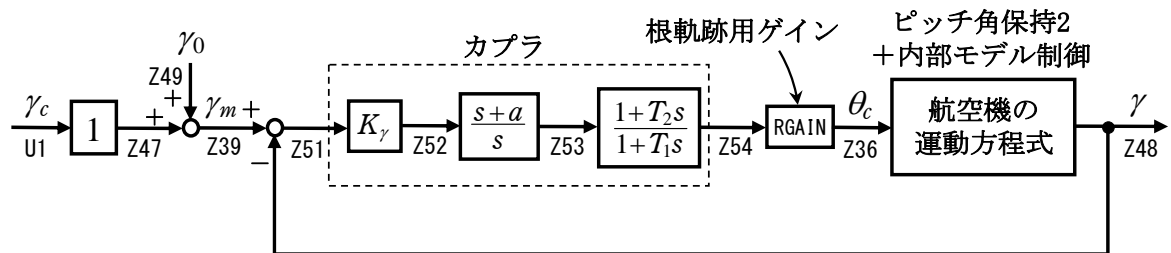


図 1.2 飛行経路角保持 1 の制御系

1. ピッチ角保持 2 の事前計算

飛行経路角保持 1 は、ピッチ角保持 3 (ピッチ角保持 2 + 内部モデル制御) へのピッチ角を指令する方式とする。このピッチ角保持 3 を用いた飛行経路角保持 1 の計算は、ピッチ角保持 2 を事前に計算しておけば、内部モデル制御を加味して自動的にピッチ角保持 3 を構成した上で、飛行経路角保持 1 を自動的に設計できる。

2. 飛行経路角保持 1 の設計

KMAP を起動して、ピッチ角保持 2 の事前計算後、これに指令する方式の高度保持 1 の最適ゲインを求める。

ピッチ角保持 2 の最適ゲイン計算後に表示される「解析結果の表示」画面において、「0 0」とキーイン/Enter すると、初期画面に戻ります。ここで、

- ① 「KMAP***解析内容選択画面」⇒ “23” キーイン
- ② 「設計方式」⇒ “13” をキーイン
- ③ 「機体データの取得方法」⇒ここでは例として、“99” をキーイン
- ④ 「機体データの取得」⇒ここでは例として“44” をキーイン

(CDES. B777-200. Y120505. DAT)

- ⑤ 「制御則の選択」⇒ “104” キーイン

縦系．飛行経路角保持 1 (ピッチ角保持 2 + 内部モデル制御)

- ⑥ピッチ角保持 2 を実施済みかどうかと表示されるので、1 をキーイン
 ⑦「インプットデータ修正(後半部)」と表示されるので、飛行経路角保持部のゲイン最適化計算のために次のようにキーイン

1 9 1 0 0 1 0 0 98 0 0 1 8

このとき、解析計算が自動的に実行されて、次の「解析結果の表示」の画面になる。この解析計算では、その前に計算された「ピッチ角保持 2」で計算された最適ゲインを用いて、制御則内の構成を内部モデル制御に変換し、さらに飛行経路角保持の制御則を加えた上で、飛行経路角保持の最適ゲイン計算が行われる。

これで解析計算が自動的に実行されて、「解析結果の表示」の画面になる。ここで、“9” とすると「安定性解析結果」が数値で次のように表示される。

```

..... (釣り合い飛行時のデータ) .....
S = 0.42800E+03 (m2)   CBAR = 0.79460E+01 (m)   Hp = 0.15000E+04 (ft)
W = 0.16091E+06 (kgf) qbarS= 0.19261E+06 (kgf) ROU = 0.11952E+00 (kgf·s2/m4)
V = 0.86778E+02 (m/s) VKEAS= 0.16500E+03 (kt)   Iy = 0.29382E+07 (kgf·m·s2)
θ= 0.37503E+01 (deg) α = 0.37503E+01 (deg) CG = 0.25000E+02 (%MAC)
CL= 0.83554E+00 (—)  CD = 0.13045E+00 (—)  CDα = 0.83655E-02 (1/deg)
(この CL, CD, CDα は初期釣合 G に必要な CL, CD, CDα です)
T= 0.24891E+05 (kgf) δf = 0.20000E+02 (deg) δe = -0.18750E+01 (deg)
縦安定中正点 (neutral point) hn=(0.25-Cmα/CLα)*100= 0.48983E+02 (%MAC)
脚 ΔCD= 0.20000E-01 (—),   スピードブレーキ ΔCD= 0.40000E-01 (—)
脚-DN,   スピードブレーキ オフン,   初期フラップ角 δfpilot= 0.20000E+02 (deg)
(微係数推算用フラップ δf = 0.20000E+02 (deg))

(CG=25%)           (CG= 25.00%)           (フライト 有次元)
Cxu = -0.370428E+00  Cxu = -0.370428E+00  Xu = -0.352690E-01
Cxα = 0.621637E-02  Cxα = 0.621637E-02  Xα = 0.743926E-01
Czu = 0.000000E+00  Czu = 0.000000E+00  Zu' = -0.149163E+00
CLα = 0.107293E+00  CLα = 0.107293E+00  Zα' = -0.845891E+00
CLδe = 0.579212E-02  CLδe = 0.579212E-02  Zδe' = -0.448654E-01
CLδf = 0.215446E-01  CLδf = 0.215446E-01  Zδf' = -0.166883E+00
Cmu = 0.000000E+00  Cmu = 0.000000E+00  Mu' = 0.319084E-01
Cmα = -0.257326E-01  Cmα = -0.257326E-01  Mα' = -0.587113E+00
Cmδe = -0.221051E-01  Cmδe = -0.221051E-01  Mδe' = -0.650192E+00
Cmδf = -0.625773E-02  Cmδf = -0.625773E-02  Mδf' = -0.151081E+00
Cmq = -0.292629E+02  Cmq = -0.292629E+02  Mq' = -0.911800E+00
CmαD = -0.896965E+01  CmαD = -0.896965E+01  Mθ' = 0.158000E-02
(Mu = 0.000000E+00) (Mα = -0.768062E+00) (Mδe = -0.659790E+00)
(Mδf = -0.186780E+00) (Mq = -0.697885E+00) (MαD = -0.213916E+00)

```

(NAERO=11) 縦 δe コントロールシステム解析

●出力キー: i:4:u, 5:ALP, 6:q, 7:THE (不明なら 7 入力)

***** (フィードバック前の極チェック) *****

***** POLES *****

POLES(14), EIVMAX= 0.300D+02

N	REAL	IMAG	
1	-0.21000000D+02	-0.21424286D+02	[0.7000E+00, 0.3000E+02]
2	-0.21000000D+02	0.21424286D+02	周期 P(sec)= 0.2933E+00
3	-0.40000000D+01	0.00000000D+00	

4	-0.88541169D+00	-0.76986471D+00	[0.7546E+00, 0.1173E+01]
5	-0.88541169D+00	0.76986471D+00	周期 P(sec)= 0.8161E+01
6	-0.79051384D+00	0.00000000D+00	
7	-0.32693395D+00	0.00000000D+00	
8	-0.11237217D+00	0.00000000D+00	
9	-0.94339619D-01	0.00000000D+00	
10	-0.50192426D-01	0.00000000D+00	
11	-0.11068734D-01	-0.11805121D+00	[0.9335E-01, 0.1186E+00]
12	-0.11068734D-01	0.11805121D+00	周期 P(sec)= 0.5322E+02
13	0.00000000D+00	0.00000000D+00	
14	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(14), EIVMAX= 0.2960D+02

N	REAL	IMAG	
1	-0.20775326D+02	-0.21086587D+02	[0.7018E+00, 0.2960E+02]
2	-0.20775326D+02	0.21086587D+02	周期 P(sec)= 0.2980E+00
3	-0.19660864D+01	-0.62491086D+00	[0.9530E+00, 0.2063E+01]
4	-0.19660864D+01	0.62491086D+00	周期 P(sec)= 0.1005E+02
5	-0.99610502D+00	-0.99501099D+00	[0.7075E+00, 0.1408E+01]
6	-0.99610502D+00	0.99501099D+00	周期 P(sec)= 0.6315E+01
7	-0.32519826D+00	-0.35711885D-02	[0.9999E+00, 0.3252E+00]
8	-0.32519826D+00	0.35711885D-02	周期 P(sec)= 0.1759E+04
9	-0.26667031D+00	-0.26692967D+00	[0.7068E+00, 0.3773E+00]
10	-0.26667031D+00	0.26692967D+00	周期 P(sec)= 0.2354E+02
11	-0.21821805D+00	-0.21626994D+00	[0.7103E+00, 0.3072E+00]
12	-0.21821805D+00	0.21626994D+00	周期 P(sec)= 0.2905E+02
13	-0.55928420D-01	0.00000000D+00	
14	-0.16175214D-01	0.00000000D+00	

ZEROS(11), II/JJ= 8/ 1, G=-0.1768D+02 (← $\gamma/U1$)

N	REAL	IMAG	
1	-0.39261094D+01	0.00000000D+00	
2	-0.28350000D+01	0.00000000D+00	
3	-0.99614997D+00	-0.99482924D+00	[0.7076E+00, 0.1408E+01]
4	-0.99614997D+00	0.99482924D+00	
5	-0.32701111D+00	0.00000000D+00	
6	-0.26671337D+00	-0.26686938D+00	[0.7069E+00, 0.3773E+00]
7	-0.26671337D+00	0.26686938D+00	
8	-0.17992083D+00	0.00000000D+00	
9	-0.55928414D-01	0.00000000D+00	
10	-0.17363675D-01	0.00000000D+00	
11	0.29964037D+01	0.00000000D+00	

入力 1.0 のステップ応答定常値= 0.1000E+01

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

POLES(14), EIVMAX= 0.2959D+02

N	REAL	IMAG	
1	-0.20765010D+02	-0.21076489D+02	[0.7018E+00, 0.2959E+02]
2	-0.20765010D+02	0.21076489D+02	周期 P(sec)= 0.2981E+00
3	-0.18968543D+01	-0.62060556D+00	[0.9504E+00, 0.1996E+01]
4	-0.18968543D+01	0.62060556D+00	周期 P(sec)= 0.1012E+02
5	-0.99613749D+00	-0.99503406D+00	[0.7075E+00, 0.1408E+01]
6	-0.99613749D+00	0.99503406D+00	周期 P(sec)= 0.6315E+01
7	-0.79039657D+00	0.00000000D+00	
8	-0.32704348D+00	0.00000000D+00	
9	-0.26671157D+00	-0.26688044D+00	[0.7069E+00, 0.3773E+00]
10	-0.26671157D+00	0.26688044D+00	周期 P(sec)= 0.2354E+02
11	-0.94339619D-01	0.00000000D+00	
12	-0.55927843D-01	0.00000000D+00	
13	-0.50178888D-01	0.00000000D+00	

```

14 0.00000000D+00 0.00000000D+00
ZEROS(11), II/JJ= 1/ 4, G= 0.1768D+02
N REAL IMAG
1 -0.39261094D+01 0.00000000D+00
2 -0.28350000D+01 0.00000000D+00
3 -0.99614997D+00 -0.99482924D+00 [ 0.7076E+00, 0.1408E+01]
4 -0.99614997D+00 0.99482924D+00
5 -0.32701111D+00 0.00000000D+00
6 -0.26671337D+00 -0.26686938D+00 [ 0.7069E+00, 0.3773E+00]
7 -0.26671337D+00 0.26686938D+00
8 -0.17992083D+00 0.00000000D+00
9 -0.55928414D-01 0.00000000D+00
10 -0.17363675D-01 0.00000000D+00
11 0.29964037D+01 0.00000000D+00

```

入力 1.0 のステップ応答定常値=-0.9505E+04

```

-----
          周波数           ゲイン余裕           位相余裕
          0.24000 (rad/s)           (1) 56.02073 (deg)
          0.95500 (rad/s)   (1) 16.91272 (dB)
-----

```

ゲイン余裕最小値= 16.91272 (dB), 位相余裕最小値= 56.02073 (deg)

- ★振動極の $\zeta = \sin\lambda$ の角度 $\lambda = 45.00$ (deg)
- ★伝達関数のゲイン最大値指定なし
- ★安定余裕指定なし

```

IMONTE= 1000001 評価関数 J= 3.178300E-01
#####(最適ゲイン探索結果)#####
& (1) 56行目 0.1401E+00 &
& (2) 57行目 0.2835E+01 &
& (3) 59行目 0.1060E+02 &
& (4) 60行目 0.5558E+01 &
#####

```

- (注1) 空中では初期速度が 10kt を超え、かつ、インプットデータで脚下げ指定の場合は脚 DN およびスピードブレーキオープンとしてトリム計算する。
- (注2) 空中では初期速度が 10kt 以下の場合、フラップと連動して、フラップ 5° 以上で脚 DN とする。
- (注3) 滑走中は脚は常に DN、また、スピードブレーキは初期速度が 10kt を超える場合にオープン。

次に、「解析結果の表示」の画面で「1」とキーイン/Enterすると、次に示す根軌跡と極・零点の図を表示できる。

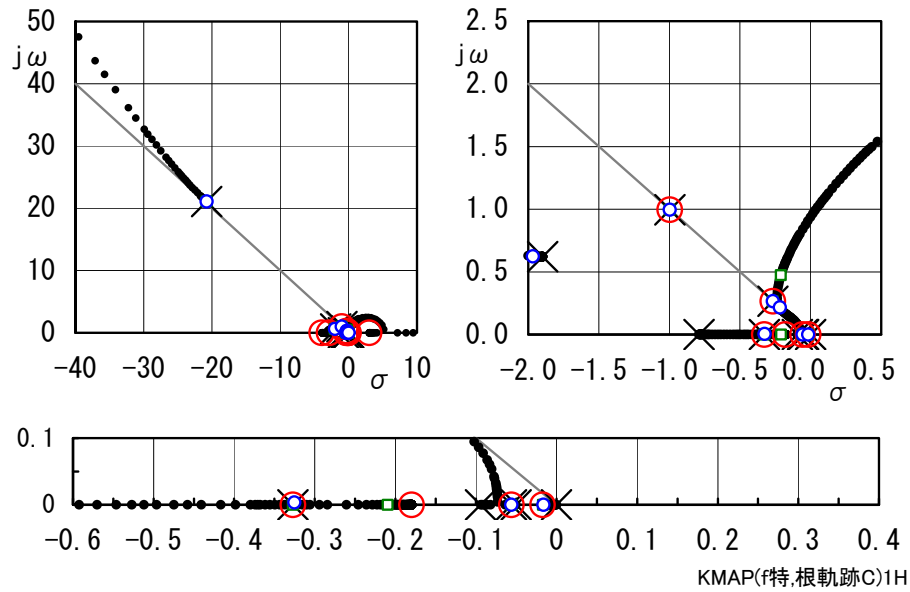


図 2.1 飛行経路角保持 1 の根軌跡

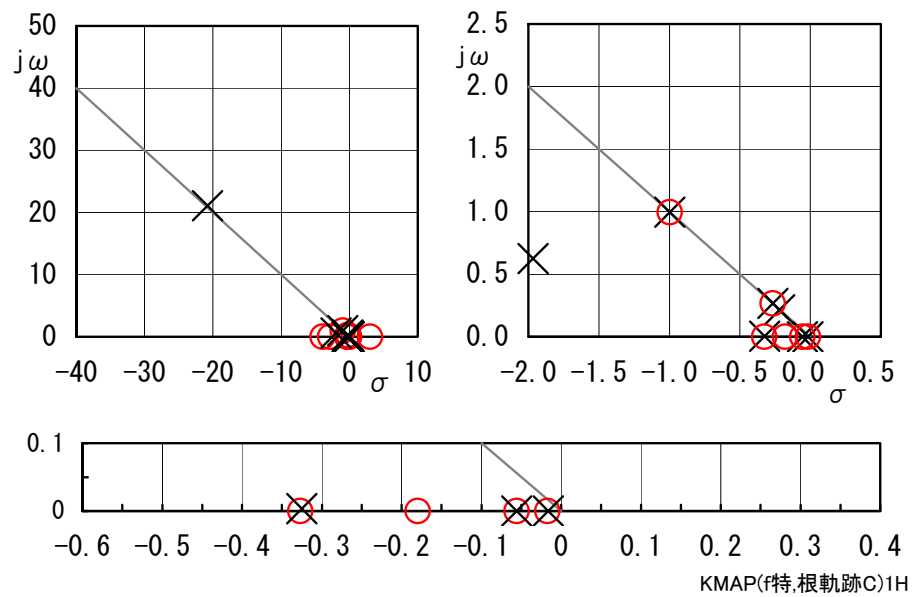


図 2.2 飛行経路角保持 1 の極・零点 ($\gamma/U1$)

図 2.1 は根軌跡，図 2.2 は閉ループの極・零点である．図 2.2 から，多くの位置の極と零点がキャンセルしていることがわかる．

次に，「解析結果の表示」画面で「2」とキーイン/Enterすると，図 2.3 に示すシミュレーション図を Excel 表示させることができる．図 2.3 から，飛行経路角 $\gamma = -2^\circ$ の変化が達成されていることがわかる．

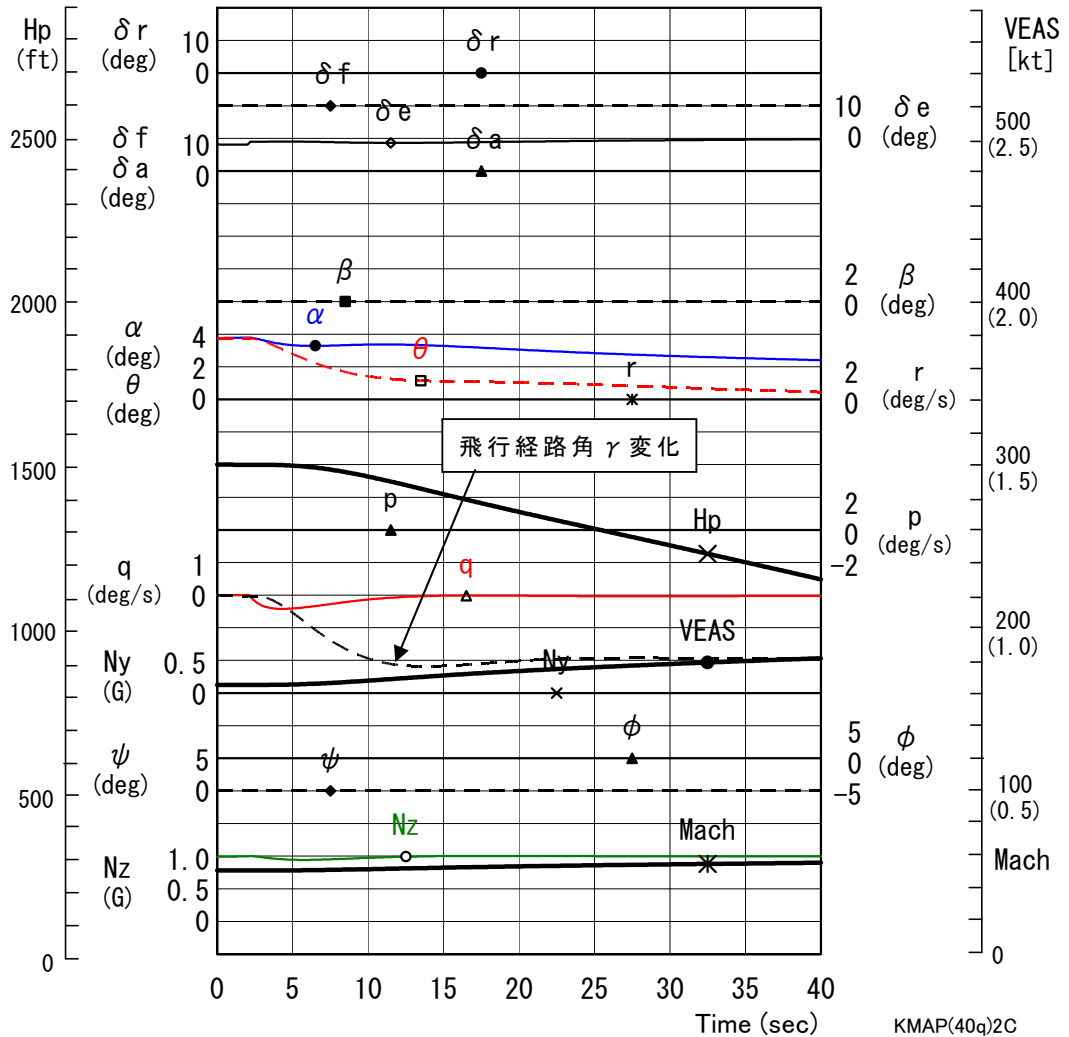


図 2.3 飛行経路角保持 1 のシミュレーション

「解析結果の表示」画面で「3」とキーイン/Enterすると、「KMAP(機体図)8.xls」を用いて機体3面図を表示させることができる。

なお、これらの Excel 図を Word に貼り付けるには、当該部分の領域を選択し、Word の「編集」タグから「形式を選択して貼り付け」を実施すると、上記のように精度よく図を貼り付けることができる。

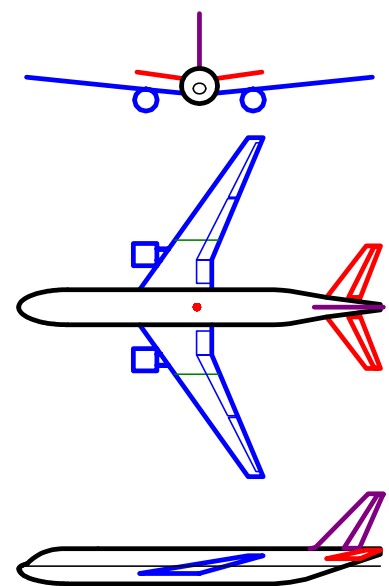


図 2.4 機体 3 面図

以上