

(105D) 高度保持 1 (ピッチ角保持 2 + 内部モデル制御)

2019 (R1). 10. 27 (D) 片柳亮二

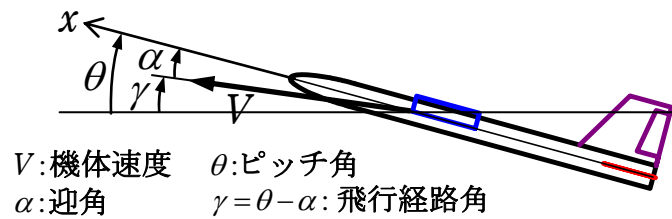


図 1.1 飛行運動変数の説明

図 1.1 の図から、高度 h の変化率 \dot{h} は次のように表される。

$$\dot{h} = V \sin \gamma \quad (1.1)$$

ここで、飛行経路角 γ (deg) は小さいとして、ラプラス変換すると、次の関係式が得られる。

$$h = \frac{V}{57.3s} \gamma \quad (1.2)$$

この高度の変数を用いると、ブロック図は図 1.2 のようになる。

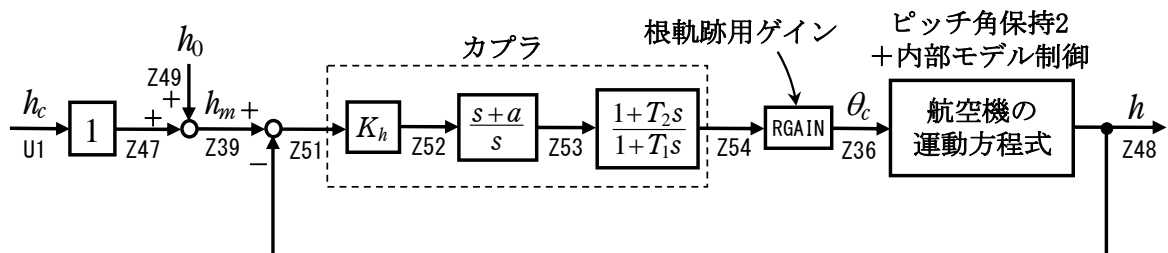


図 1.2 高度保持 1 のブロック図

1. ピッチ角保持 2 の事前計算

高度保持モードは、ピッチ角保持 3 (内部モデル制御) へのピッチ角を指令する方式とするが、そのためには事前にピッチ角保持 2 にてその機体に対する最適ゲイン計算を実施しておく必要がある。このピッチ角保持 2 の計算については、別途まとめているので、それを参照願いたい。

2. 高度保持 1 の設計

KMAP113 (以降のバージョン) 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」⇒ “105” 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, 高度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 9 8 0 0 1 8

これで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%)                (フライット有次元)
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    Za'  = -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 (15), EIVMAX= 0.300D+02

N	REAL	IMAG
1	-0.2100000D+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	-0.84674002D-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	
15	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(15), EIVMAX= 0.2959D+02

N	REAL	IMAG	
1	-0.20763718D+02	-0.21076607D+02	[0.7018E+00, 0.2959E+02]
2	-0.20763718D+02	0.21076607D+02	周期 P(sec)= 0.2981E+00
3	-0.20085658D+01	-0.70217396D+00	[0.9440E+00, 0.2128E+01]
4	-0.20085658D+01	0.70217396D+00	周期 P(sec)= 0.8948E+01
5	-0.99611726D+00	-0.99499663D+00	[0.7075E+00, 0.1408E+01]
6	-0.99611726D+00	0.99499663D+00	周期 P(sec)= 0.6315E+01
7	-0.32355664D+00	-0.26373326D-02	[0.1000E+01, 0.3236E+00]
8	-0.32355664D+00	0.26373326D-02	周期 P(sec)= 0.2382E+04
9	-0.26668698D+00	-0.26689931D+00	[0.7068E+00, 0.3773E+00]
10	-0.26668698D+00	0.26689931D+00	周期 P(sec)= 0.2354E+02
11	-0.15257607D+00	-0.17060279D+00	[0.6666E+00, 0.2289E+00]
12	-0.15257607D+00	0.17060279D+00	周期 P(sec)= 0.3683E+02
13	-0.61193387D-01	0.00000000D+00	
14	-0.55928320D-01	0.00000000D+00	
15	-0.18083184D-01	0.00000000D+00	

ZEROS(11), II/JJ= 8/ 1, G=-0.4394D+02 (←h/U1)

N	REAL	IMAG	
1	-0.39261094D+01	0.00000000D+00	
2	-0.99614997D+00	-0.99482924D+00	[0.7076E+00, 0.1408E+01]
3	-0.99614997D+00	0.99482924D+00	
4	-0.32701111D+00	0.00000000D+00	
5	-0.26671337D+00	-0.26686938D+00	[0.7069E+00, 0.3773E+00]
6	-0.26671337D+00	0.26686938D+00	
7	-0.13693003D+00	0.00000000D+00	
8	-0.59850000D-01	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(15), 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  -0.84674002D-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
15   0.00000000D+00  0.00000000D+00
ZEROS(11), II/JJ= 1/ 4, G= 0.4394D+02
  N      REAL      IMAG
 1  -0.39261094D+01  0.00000000D+00
 2  -0.99614997D+00 -0.99482924D+00 [ 0.7076E+00, 0.1408E+01]
 3  -0.99614997D+00  0.99482924D+00
 4  -0.32701111D+00  0.00000000D+00
 5  -0.26671337D+00 -0.26686938D+00 [ 0.7069E+00, 0.3773E+00]
 6  -0.26671337D+00  0.26686938D+00
 7  -0.13693003D+00  0.00000000D+00
 8  -0.59850000D-01  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=-0.3796E+03

```

-----
      周波数      ゲイン余裕      位相余裕
      0.21000 (rad/s)      (1) 44.20958 (deg)
      0.72500 (rad/s)      (1) 14.29758 (dB)
-----

```

ゲイン余裕最小値= 14.29758 (dB), 位相余裕最小値= 44.20958 (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= 4.009032E-01

~~~~~( 最適ゲイン探索結果 )~~~~~

& ( 1) 56 行目 0.5942E-01 &

& ( 2) 57 行目 0.5985E-01 &

& ( 3) 59 行目 0.1181E+02 &

& ( 4) 60 行目 0.7303E+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、次の根軌跡と極・零点の図を表示できる。

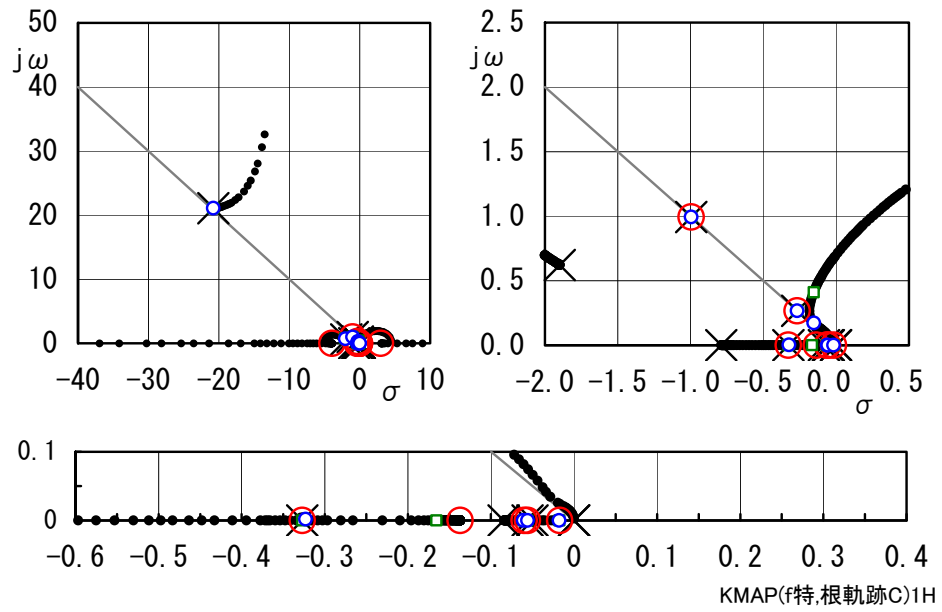


図 2.1 高度保持 1 の根軌跡

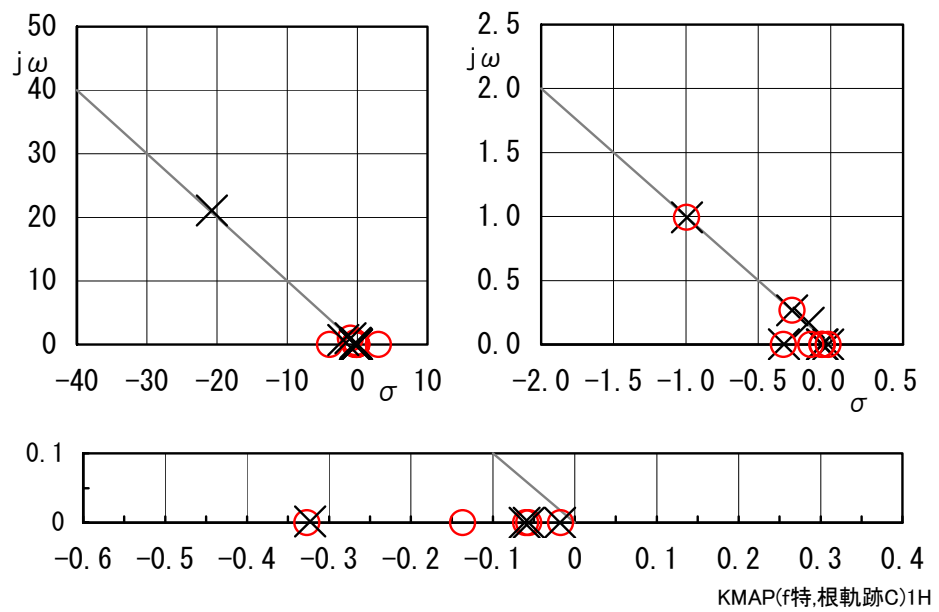


図 2.2 高度保持 1 の極・零点

このときの、高度制御のシミュレーション結果を図 2.3 に示すが、10ft の高度変化が達成されていることがわかる。

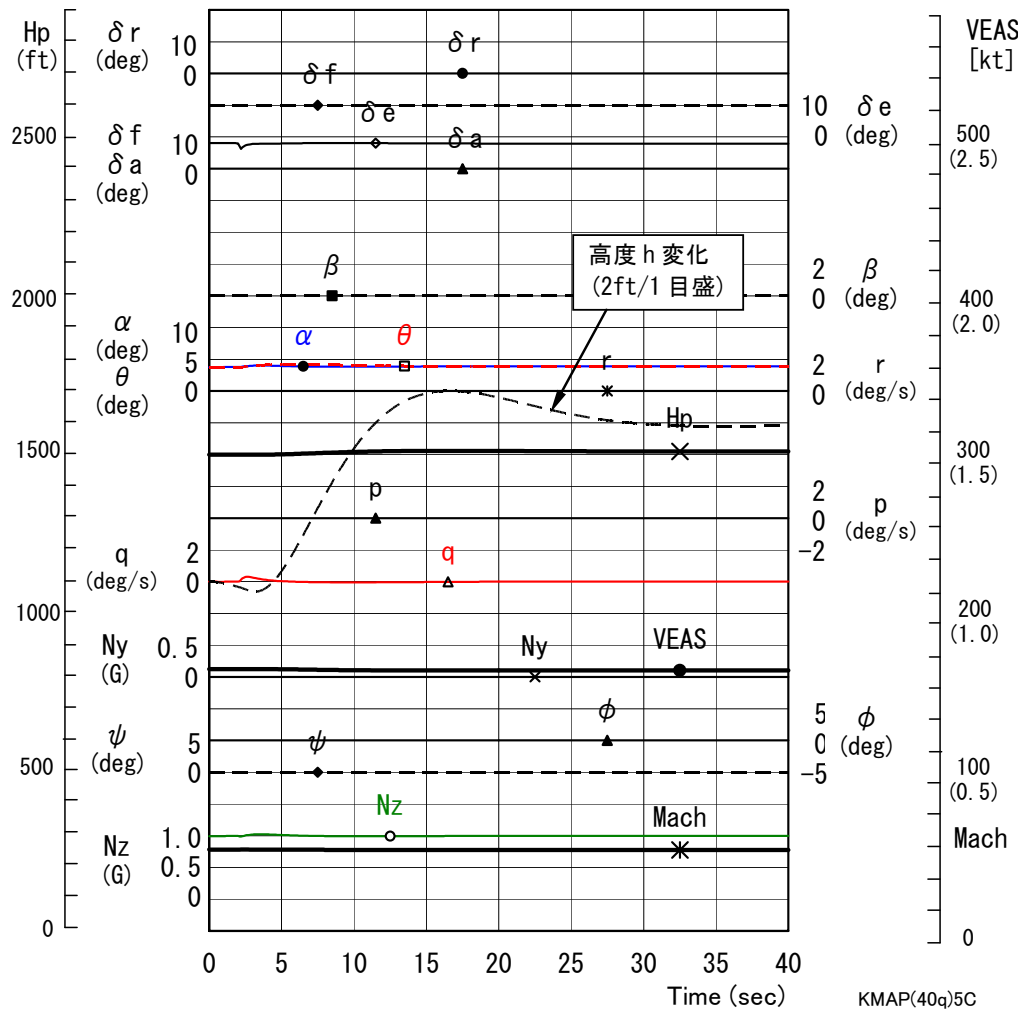


図 2.3 高度保持 1 のシミュレーション

「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。

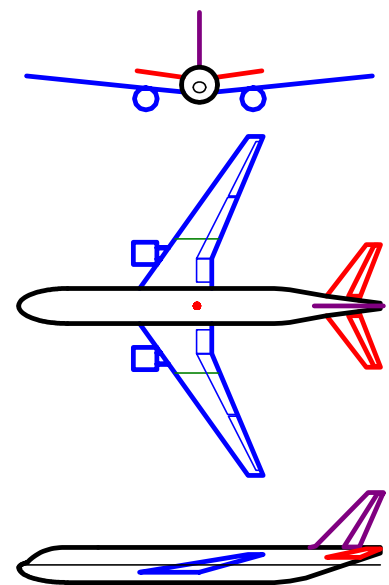


図 2.4 機体 3 面図

以上