

# KMAP法で簡単に設計できる多目的制御設計 一極の実部領域を指定したロール角制御系

片柳亮二

---

片柳亮二：Z接続法ゲイン最適化による多目的制御設計一極の実部を指定したロール角制御系，第62回システム制御情報学会研究発表講演会，2018年5月．

## 研究背景 (1/2)

- 多目的飛行制御設計の方法としては、 $H_\infty$ 制御、LMIによる制御など各種方法が研究されているが、いずれも数学的に難解であることから、簡単に利用するには難しい方法と考えられる。
- 特に、制御対象のダイナミクスと飛行制御系構成要素による拡大系に対して、多目的設計の行列方程式を解き、その結果からフィードバックゲインを求めていくには大変な労力が必要です。

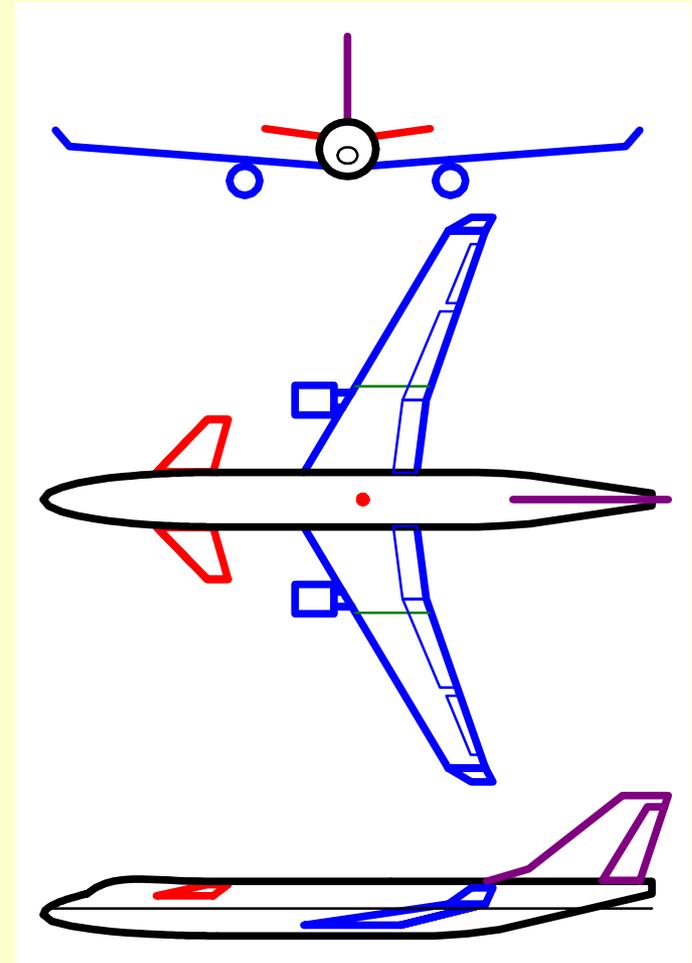
## 研究背景 (2/2)

- そこで、今回提案する多目的飛行制御設計は、求めたいフィードバックゲインの組み合わせを最初に仮定して、設計目的を満足するまで探索を繰り返すモンテカルロ法である。
- この方法では、難しい制御理論は必要ないため簡単で、しかも多くの問題に対処できる柔軟な方法と考えられます。
- 本論文では、Z接続法ゲイン最適化により、アクチュエータを考慮し、極の実部領域を指定して設計したロール角制御系の結果を報告する

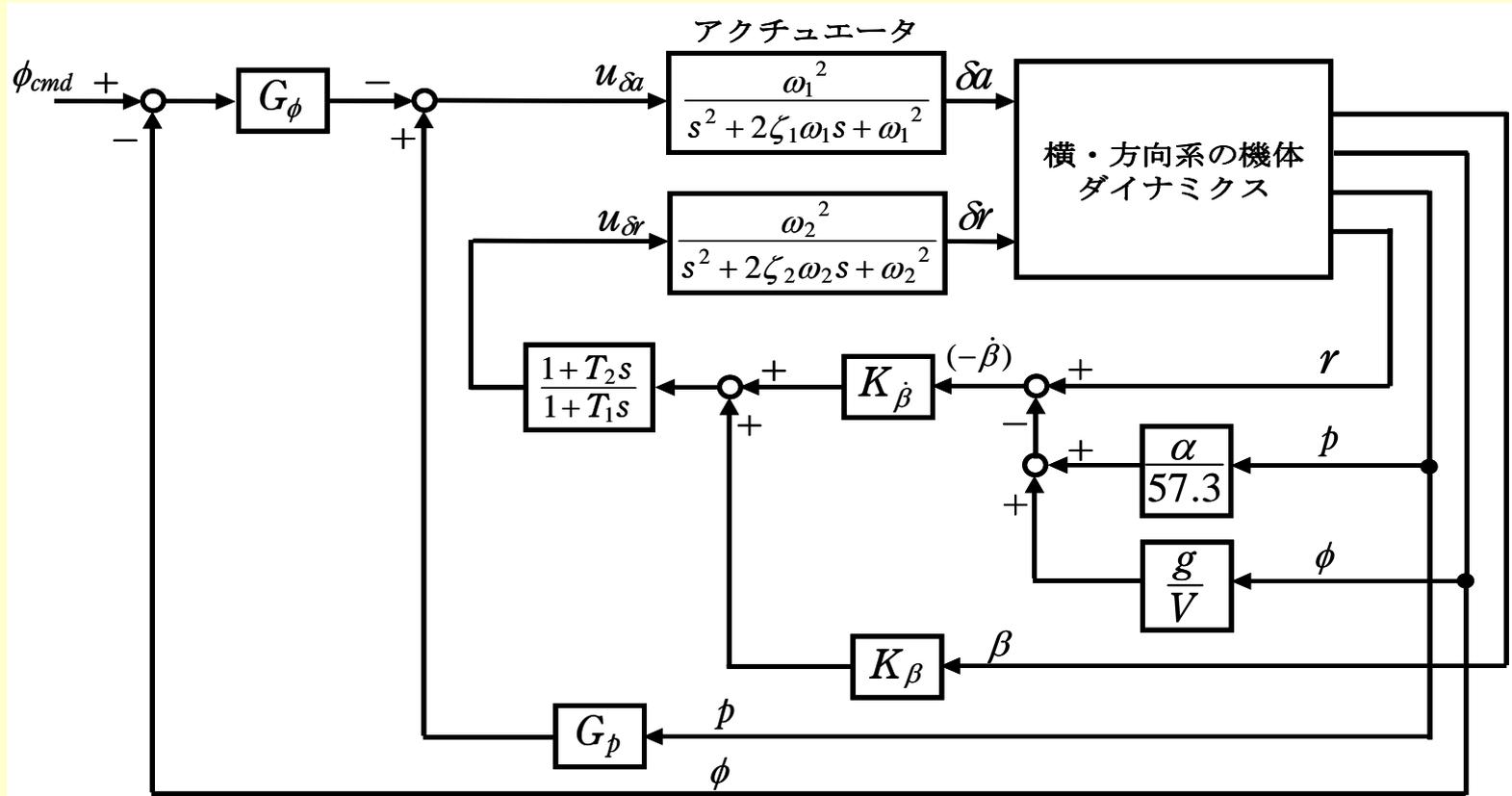
# 機体例の主要諸元と3面図

## 先尾翼機(10人乗り)

機体重量(着陸)	6.45 (tf)
主翼面積	20.7 (m <sup>2</sup> )
翼面荷重	312 (kgf/m <sup>2</sup> )
平均翼弦	1.74 (m)
スパン	12.8 (m)
胴体長	14.0 (m)
垂直尾翼面積	6.14 (m <sup>2</sup> )
主翼垂直尾翼間距離	4.34 (m)
垂直尾翼容積比	0.740 (—)
全機空力中心	10.3 (%MAC)
重心	35.3 (%MAC)



# ロール角制御系のブロック図



$\delta\alpha$  : エルロン舵角  
 $\delta r$  : ラダー舵角

$\beta$  : 横滑り角  
 $p$  : ロール角速度  
 $r$  : ヨー角速度  
 $\phi$  : ロール角

# Z接続法ゲイン最適化多目的飛行制御設計(その2)

(その2)

- 設計目的①：アクチュエータを考慮する
- 設計目的②：振動極を極力左45°のライン上に配置して安定化する
- 設計目的③：極の実部領域を指定する

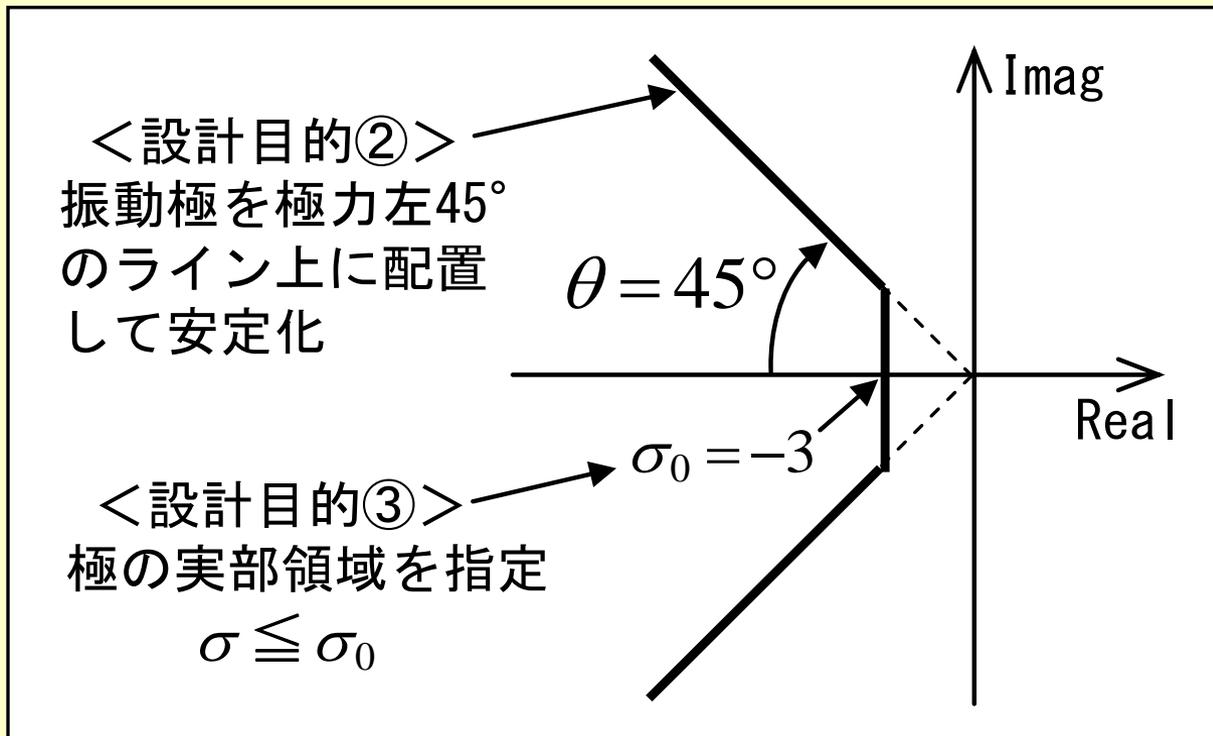


図4.1 設計目的②, ③の極の領域

## Z接続法ゲイン最適化多目的飛行制御設計(その2)

評価関数  $J$  は次式である。

$$J = \sum_{i=1}^n (\zeta_i - 0.7071)^2 - \text{重み係数} \times \sqrt{\sigma_i^2 + \omega_i^2}$$

ここで、 $\zeta_i$  はラプラス平面の上半面の極の減衰比である。また、実数極の場合は  $\zeta_i = 1$  としている。式内の数字の 0.7071 は、左  $45^\circ$  ライン上にある極の減衰比である。重み係数は、極位置を原点から遠い位置にして応答を速めるためのもの。

# Z接続法ゲイン最適化多目的飛行制御設計(その2)

Z接続法ゲイン最適化の結果, 設計目的①～③を満足するフィードバックゲイン等が次のように得られる.

$$\begin{aligned} G_p &= 1.609, & G_\phi &= 7.36, & K_{\dot{\beta}} &= 1.249, \\ K_\beta &= 8.28, & T_1 &= 0.1947, & T_2 &= 0.500 \end{aligned} \quad (4.1)$$

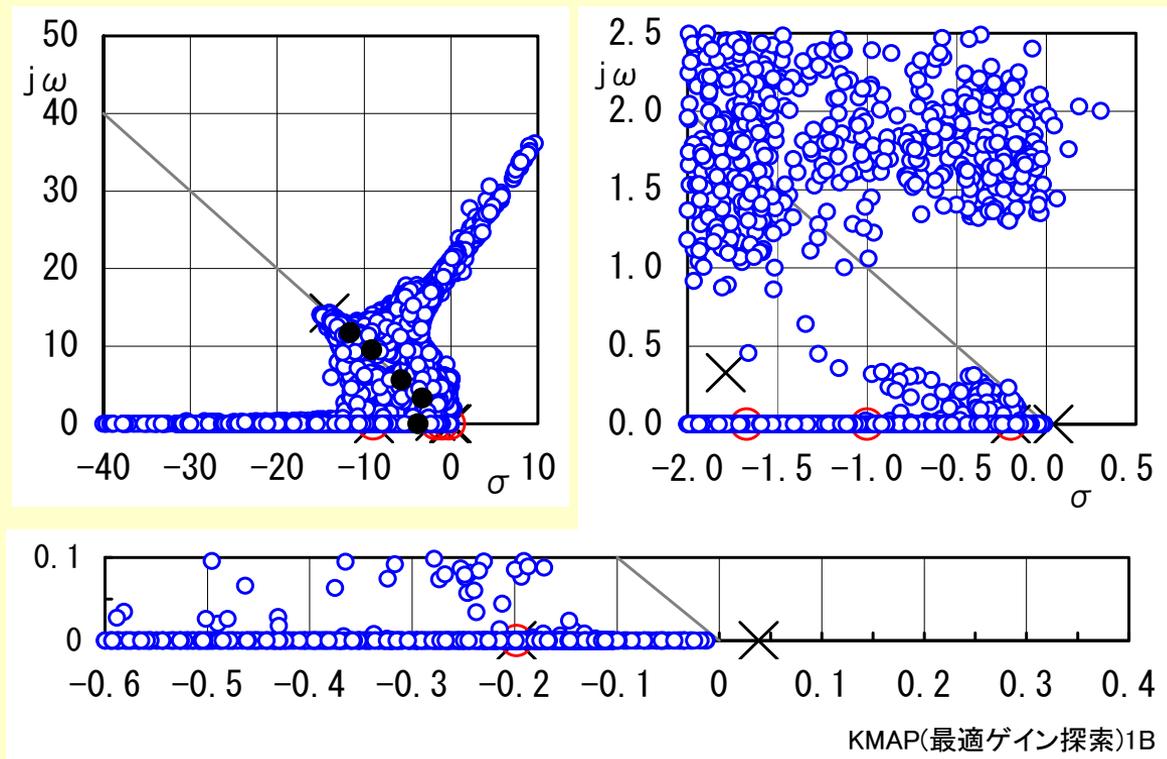


図4.2 最適ゲイン探索結果(設計その2)

# Z接続法ゲイン最適化多目的飛行制御設計(その2)

(その2)

- 設計目的①：アクチュエータを考慮する
- 設計目的②：振動極を極力左45°のライン上に配置して安定化する
- 設計目的③：極の実部領域を指定する

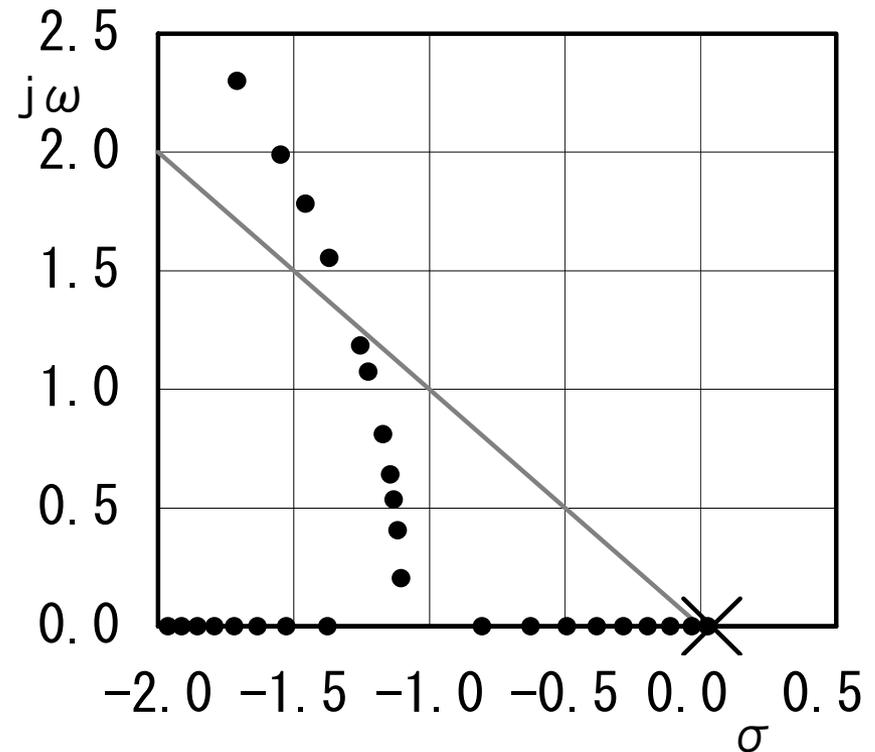
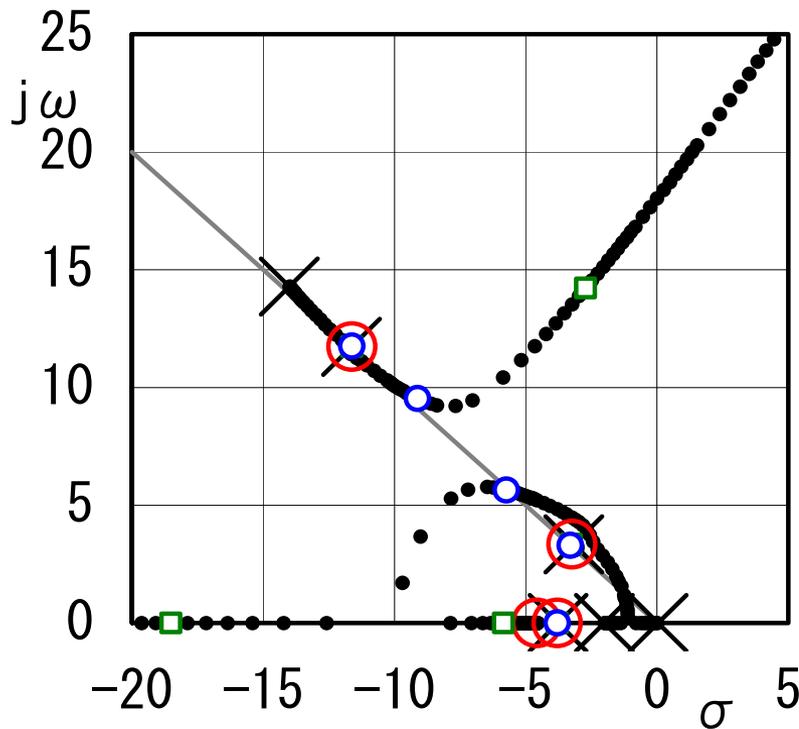
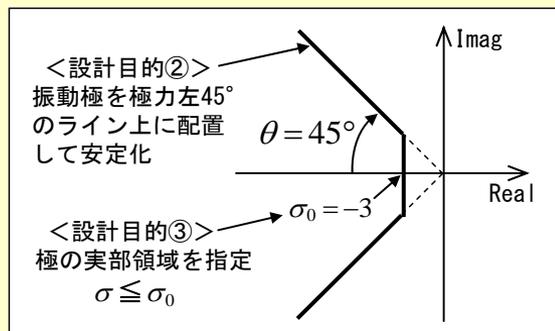


図4.3 エルロン系の根軌跡(設計その2)

# Z接続法ゲイン最適化多目的飛行制御設計(その2)



(その2)

- 設計目的①：アクチュエータを考慮する
- 設計目的②：振動極を極力左45°のライン上に配置して安定化する
- 設計目的③：極の実部領域を指定する

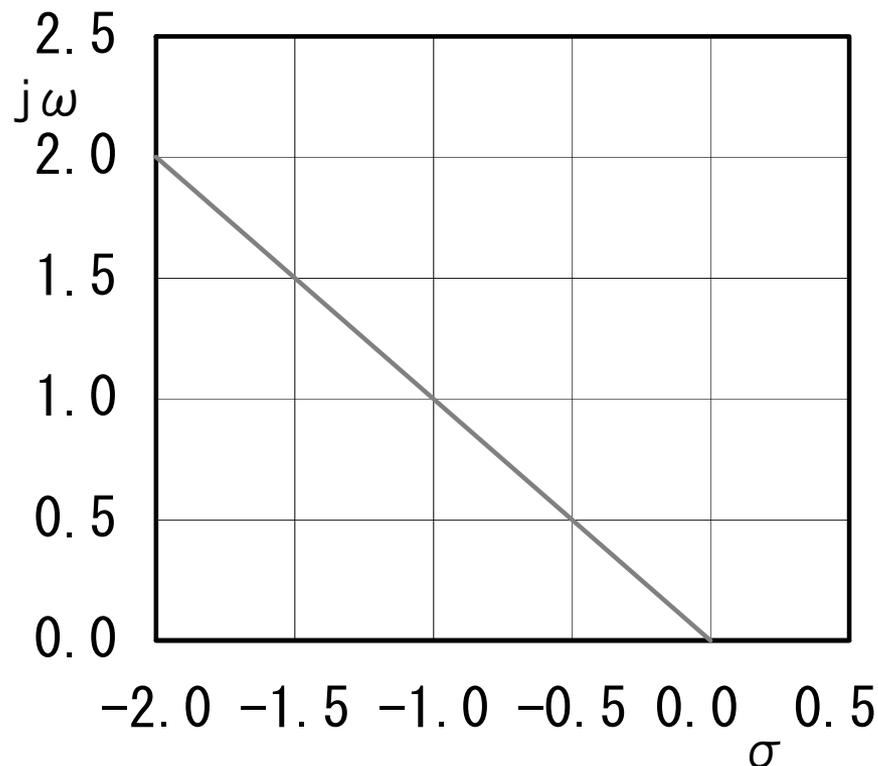
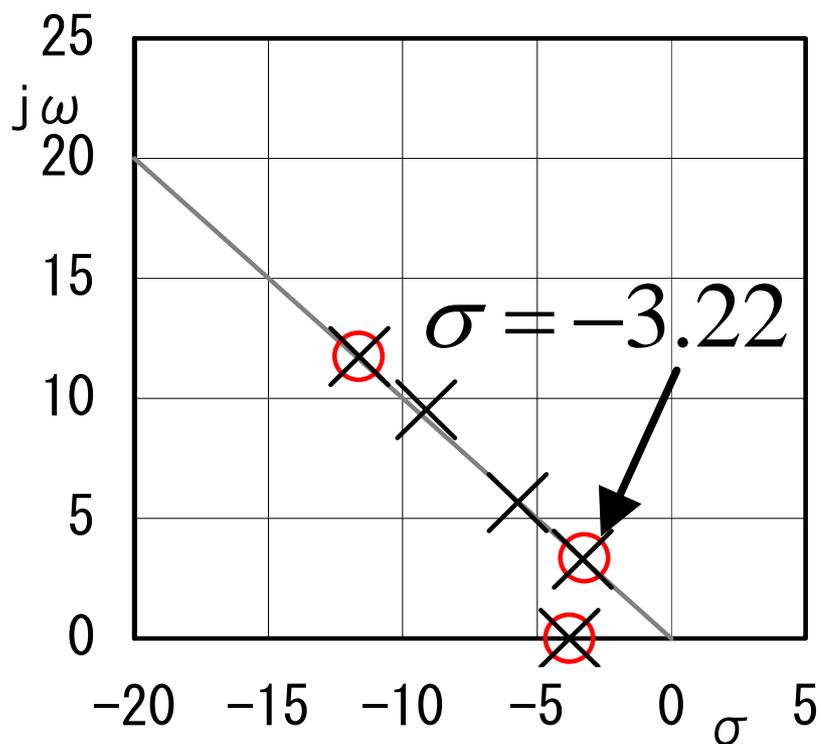
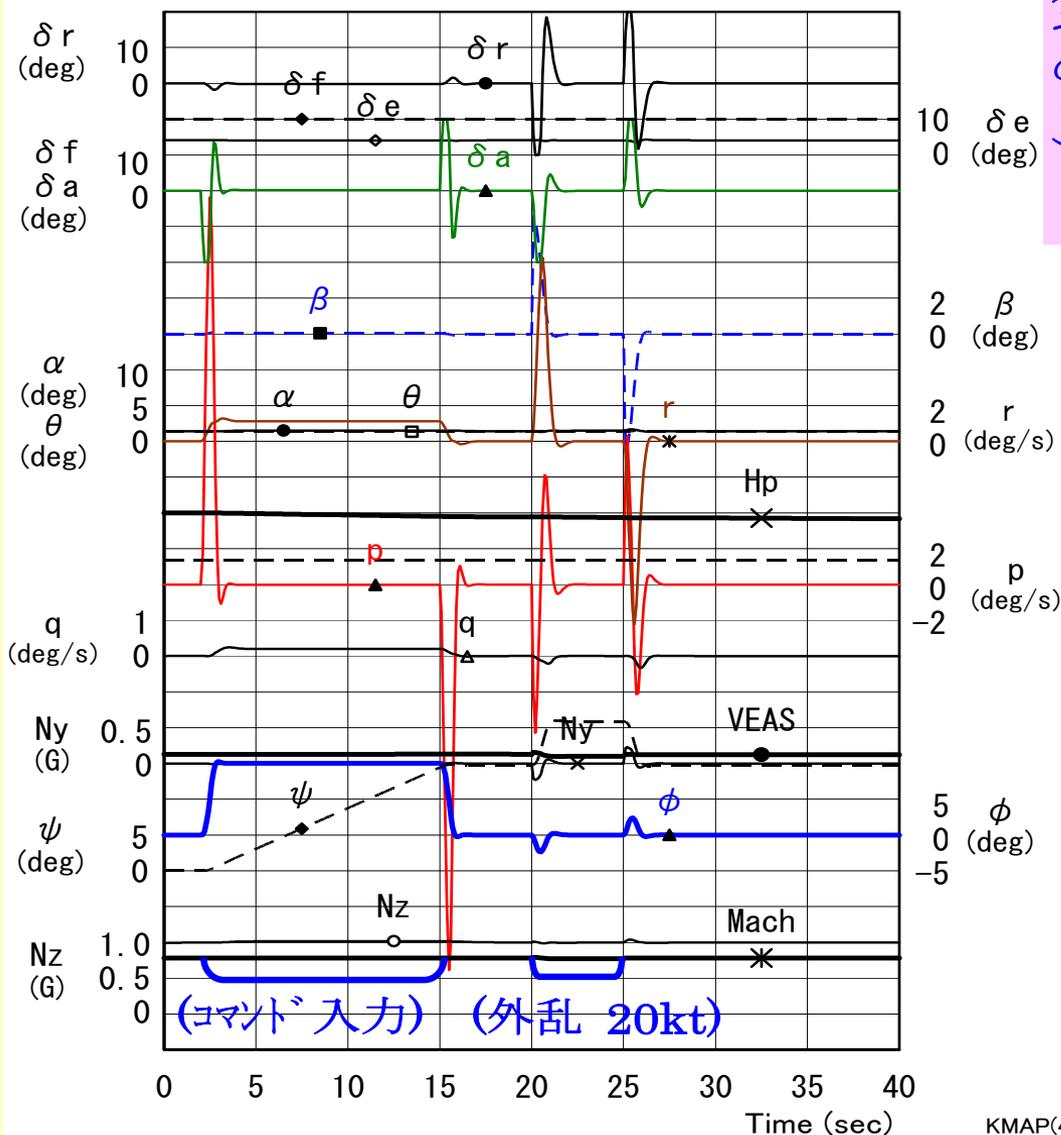


図4.4  $\phi / \phi_{cmd}$ の極・零点(設計その2)

# Z接続法ゲイン最適化多目的飛行制御設計(その2)

(その2)

- 設計目的①：アクチュエータを考慮する
- 設計目的②：振動極を極力左45°のライン上に配置して安定化する
- 設計目的③：極の実部領域を指定する



- ・安定は十分
- ・外乱入力に対するロール角の応答の減衰は良好

## まとめ(1/2)

- 本論文では，航空機のロール角制御系を例として，
  - アクチュエータを考慮
  - 振動極を極力左 $45^\circ$  ライン上に配置して安定化
  - 極の実部を $-3$ 以下とする

の多目的要求により設計を行った。その結果，安定は十分で，ロール角の応答と外乱に対する応答が良好な制御系が得られた。

## まとめ(2/2)

- 多目的飛行制御設計の方法としては、 $H_\infty$ 制御、LMIによる制御など各種方法が研究されているが、いずれも**数学的に難解**であることから、一般のエンジニアが簡単に利用するには難しい方法と考えられる。
- 本論文で提案する方法は、多目的仕様を満足するように飛行制御系の**極・零点配置を直接的に決定していく**もので**簡単で実用的な方法**と考えられる。

# 一般の制御系設計

( $H_\infty$ , LMI等)

航空機のダイナミクス

アクチュエータ

制御則 (フィードバックゲイン)

重み関数等

難しい  
制御理論

設計目的を満足する  
行列方程式を解く

フィードバックゲイン計算

終了

# Z接続法ゲイン最適化設計

“逆転の発想”  
難しい理論不要

フィードバック  
ゲインを仮定

(100万回)

極・零点計算

設計目的を満足？

Yes

終了

No

ご静聴ありがとうございました.