

飛行ロボットコンテスト出場機体の開発

(モデルベース制御系設計)

飛行ロボットサークルNAVIX

航空宇宙工学専攻 修士2年 中村亮介

飛行ロボットサークルNAVIX

- ▶ 無人航空機を作って大会に挑戦するサークル
- ▶ 飛行ロボットコンテスト
 - ▶ マニュアル・自動操縦の無人航空機の競技
 - ▶ ミッション達成点で順位づけられる
 - ▶ ミッション以外も評価される
(デザイン・プレゼンテーション)



飛行ロボットコンテスト（一昨年）

- ▶ 一般部門に出場
 - ▶ 滞空性能について最適化した飛行機
 - ▶ プレゼンテーション賞を獲得
 - ▶競技ミッションはうまくいかず



失敗の原因・年間目標

- ▶ 少なすぎる練習時間
 - ▶ 体育館が週数時間しか借りられない
 - ▶ 航空法改正によりさらに屋外練習は困難

現状
短い練習で成果を出すしかない



制御器を使って操縦補助を行う！

(学部生でも理論的に調整可能な制御器で)

主たる結果

- ▶ モデルベース制御のためのモデル計算方法の確立
 - ▶ xflr5と実験で妥当なモデルが計算可能
 - ▶ アクチュエータを考慮したモデル化が必要
- ▶ モデルベースPID設計ノウハウの獲得
 - ▶ 根軌跡+伝達関数:ゲイン調整過程の可視化

モデルの計算

▶ モデルの計算: xflr5[1]

▶ MITが開発した小型機向け空力計算ソフト

▶ 線形運動モデル(A, B, x_{eq})を計算可能

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)) \Rightarrow \Delta \dot{x}(t) \approx A \Delta x(t) + B \Delta u(t)$$

▶ モデルの修正

▶ 実飛行データ(飛行速度・モード振動数)

実験データ(慣性モーメント)

→ 不確定な空力パラメータを修正



対象とした飛行機「ぷちトレーナー」

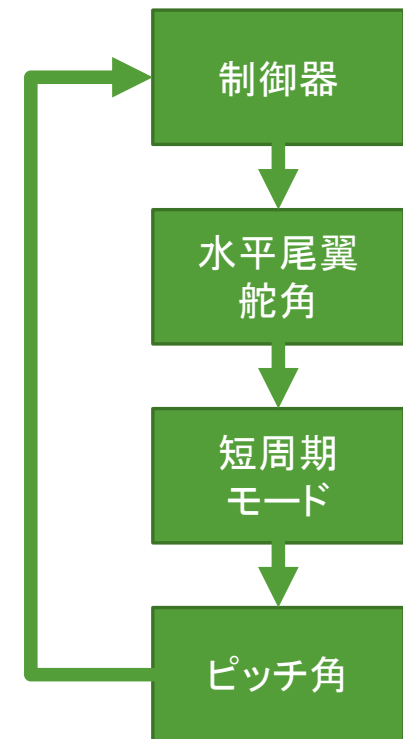
適切な制御対象の選定

▶ 扱われる変数

- ▶ 入力: **水平尾翼舵角**, 垂直尾翼舵角, スロットル
- ▶ 出力: 角速度・加速度・対気速度・**姿勢**

▶ 重要な運動モード^[2]

- ▶ **短周期モード**: **機体高度・失速の制御に関連**
- ▶ **スパイラルモード**: **ロール角・進行方向の制御に関連**



[2]加藤寛一郎ら,「航空機力学入門」

根軌跡によるPIDゲインの検討

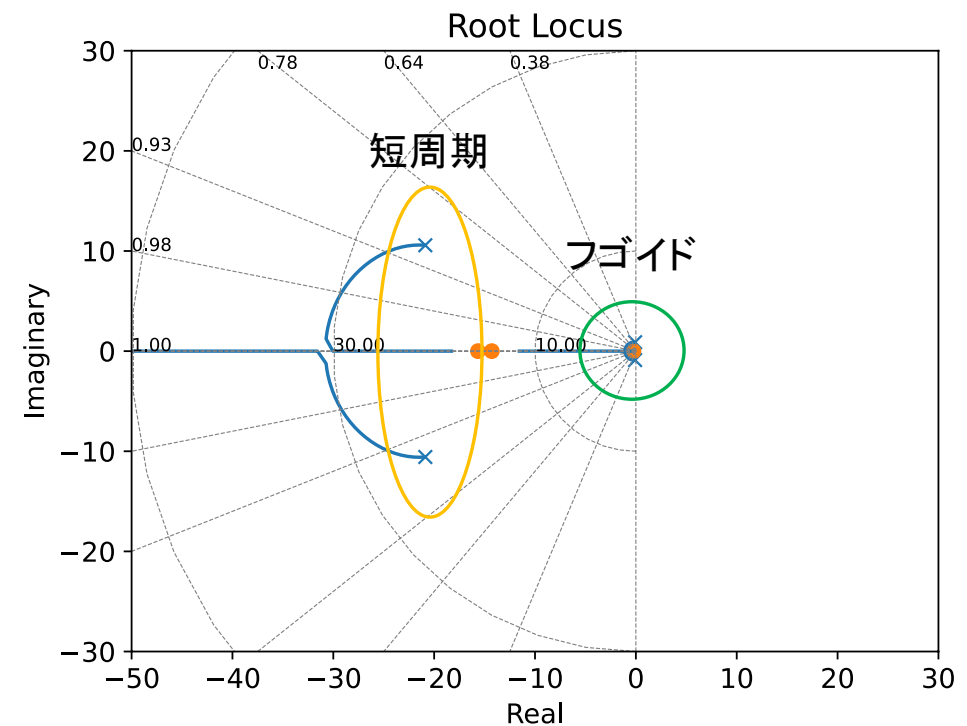
▶ ピッチ角→尾翼舵角PIDフィードバックの根軌跡 $C_{PID}(s) = (K_D s + 1 + K_I/s)K$

▶ ピッチ角のモード

- ・短周期モード
- ・フゴイドモード

▶ $K_D = 0.07$, $K_I = 0.0$, $K \rightarrow \infty$
フゴイド・短周期共に振動しない

▶ 実機飛行で確認



飛行試験

- ▶ 舵角・機体が振動→モデルに含まれない要素有り

動画リンク: <https://youtu.be/2x7WfOl3Ofs>

未モデル化要素の調査

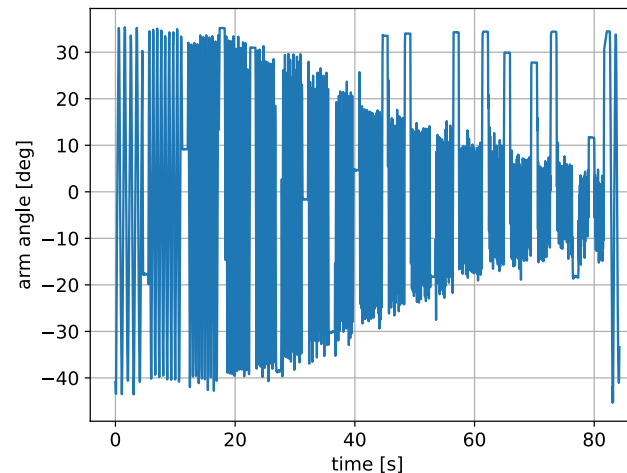
▶ アクチュエータ遅れの測定

▶ 1Hz-10Hz, 0.5Hz刻みの入力応答→ボード線図

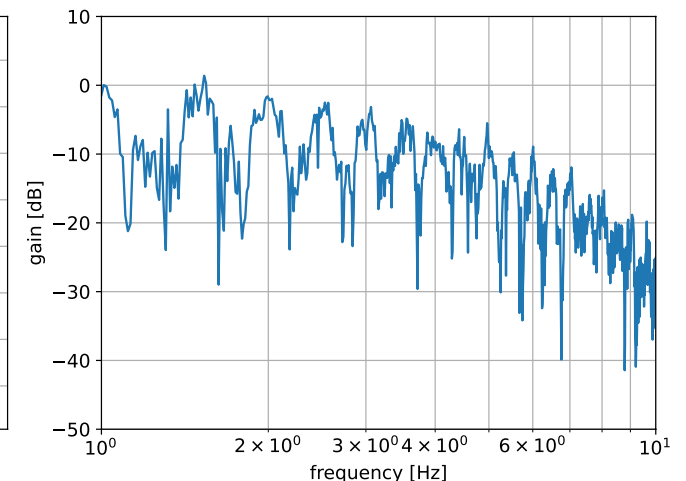
▶ カットオフ周波数約3Hz(短周期モードより遅い)



対象としたサーボモータ



出力プロット

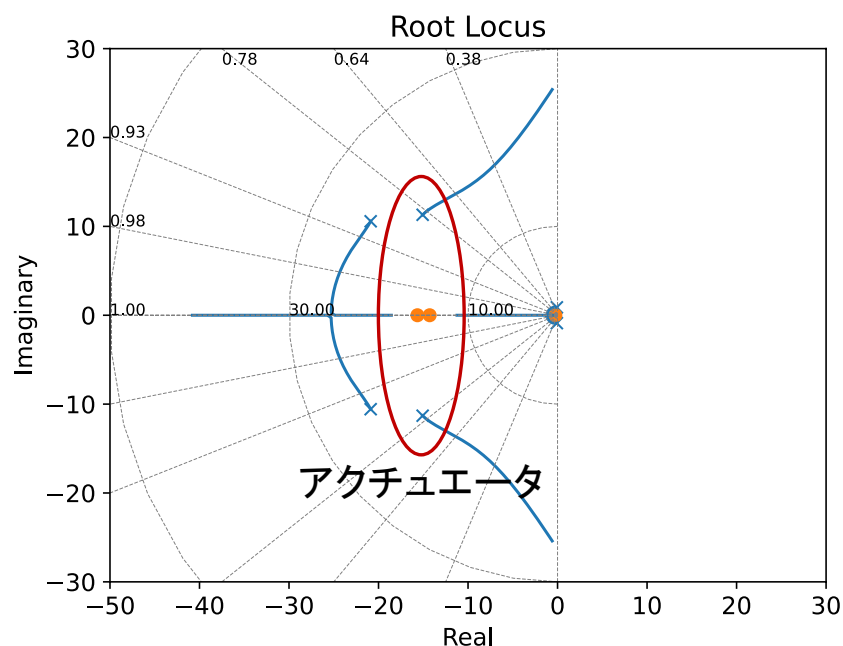


ゲイン線図

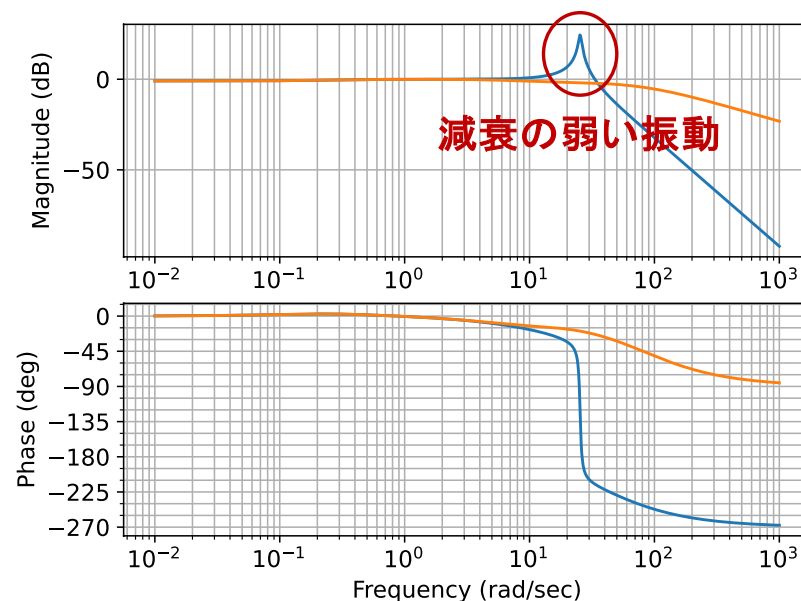
アクチュエータ遅れの影響の調査

▶ 振動の原因はアクチュエータ遅れ

▶ 比例ゲイン増加→アクチュエータの根の減衰減少



アクチュエータ込みの根軌跡 $K_D = 0.07$, $K_I = 0.0$, $K = 2.0$



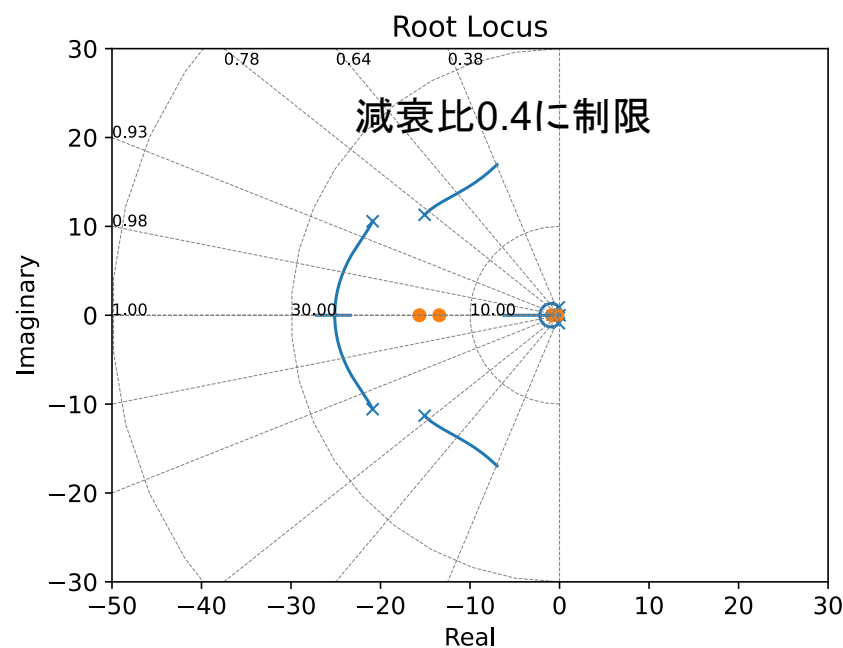
目標値→出力伝達関数の比較

2023/5/31

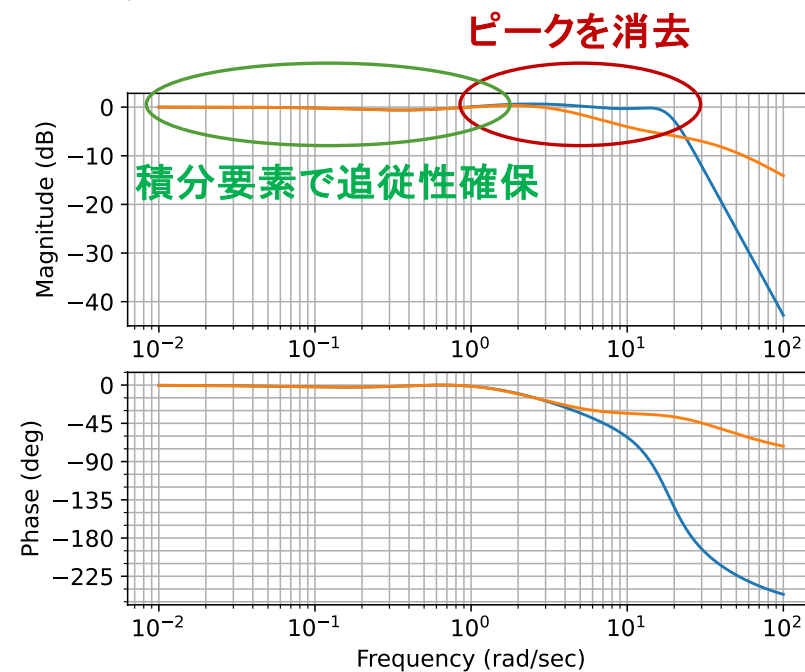
アクチュエータを考慮した制御設計

▶ アクチュエータを考慮した設計例

▶ 比例ゲイン小・積分ゲイン大に設定すると良い



アクチュエータ込みの根軌跡 $K_D = 0.07$, $K_I = 0.8$, $K = 0.6$



目標値→出力伝達関数

2023/5/31

まとめ

▶ サークルにおける課題

- ▶ 練習不足で成果が出せない＋練習時間は増やせない

▶ 解決策

- ▶ モデルベース制御で制御系設計・操縦を簡単化

▶ 挑戦の結果

- ▶ xflr5＋実験でそれなりのモデルが計算可能なことを確認
- ▶ アクチュエータ遅れの影響が顕著であることを解明
- ▶ アクチュエータを考慮した制御系設計ノウハウを獲得

予算概略

種目	金額(円)	内訳
マイコン, センサ, 機体用素材(電気系含む)	203,650	NanoPi neo他
センサ, 機体用素材	53,910	Runesas FS3000-1005他

- マイコン・センサ系:
モデル製作時の各種データ測定・制御に使用
実データ測定によってモデルの精度を向上
特に速度データを取得できたことが大きく貢献
- 機体用素材:
第18回大会の**自動制御部門出場機**に使用
予選敗退するも大会に向けた取り組みから
アクチュエータの影響を認識



参考文献

[1] xflr5:<http://www.xflr5.tech/xflr5.htm>

[2]加藤寛一郎, 大屋昭男, 柄沢研治, 「航空機力学入門」, 東京大学出版会