

20. 入出力データを利用したコントローラの設計に関する研究 -メカニカルシステムへの適用を考慮した設計法-

指導教員：平田 研二 准教授 機械創造工学課程 10306988 仲居 洋介

1. はじめに

背景

制御系の設計
→ システムに適切なコントローラを適用することで、システムの性能改善を実現する
コントローラの設計
▶ 制御対象の数学的モデルを必要とする
▶ 専門的な知識を要する
→ 現場で用いることができるよう、システム同定なしに自動でチューニングを行いたい

目的

制御対象の数学的モデルなしに、実験データに基づいた制御系設計を行う

2. 実験データに基づいたコントローラの設計法

最適化問題としてコントローラを設計する

- ▶ 入出力データのみでチューニングする → 同定不要
- ▶ 自動でチューニング → 誰でも使える

IFT (Iterative Feedback Tuning)

実応答が目標応答に近づくよう、パラメータを変化させながら実験を繰り返す
▶ 何度も実験を行う
▶ 時間がかかる
▶ 実験しているうちにシステムが物理的に劣化
→ 現場では使い物にならない

FRIT (Fictitious Reference Iterative Tuning) [1]

一回の実験データから仮想参照入力 (Fictitious Reference) を生成し、これに基づいてチューニングを行う
→ IFTの持つ問題を解消
▶ 実験が一回で済むのでコストを削減でき、システムの劣化を防げる
FRITは製造現場でのチューニングに有効

3. FRITの概要

仮想参照入力

どのような ρ を用いても u_0, y_0 が得られる
擬似的な参照入力

$$\tilde{r}(\rho) = C^{-1}(s, \rho)u_0 + y_0$$

- ▶ y_0 は以下のように得られる

$$y_0 = T(s, \rho)\tilde{r}(\rho)$$

定義

- ▶ リファレンスモデルの伝達関数: $T_d(s)$
- ▶ コントローラ: $C(s, \rho)$
- ▶ プラント: $G(s)$
- ▶ コントローラのパラメータ: ρ_i (i : FRITによる更新回数)
- ▶ 参照入力: r
- ▶ プラントへの入力: u
- ▶ 出力: y

また、実験によって得られた初期値 $u(\rho_0), y(\rho_0)$ を u_0, y_0 と表記

FRITの考え方

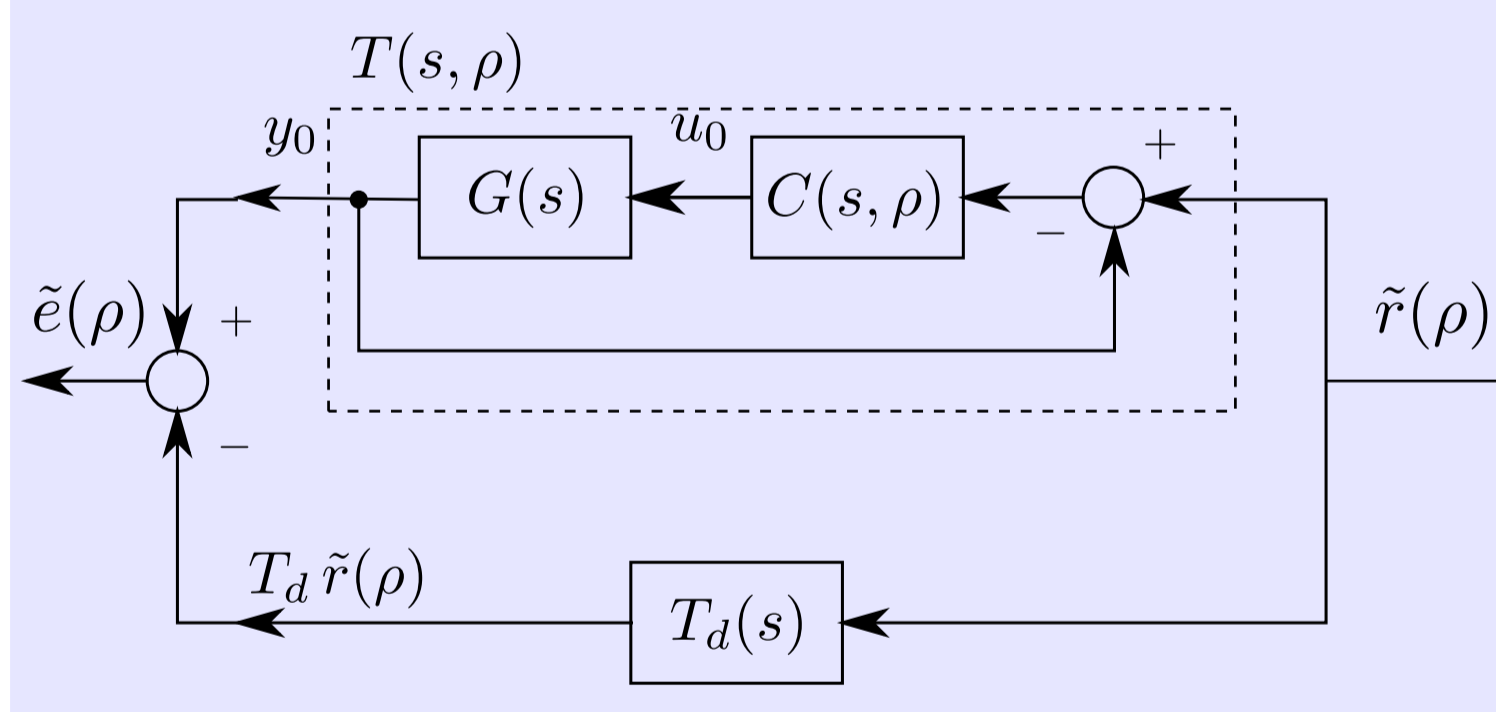


Fig. 1: FRITの発想

Fig.1において、 $T_d \tilde{r}(\rho)$ が y_0 となる ρ を調整
→ 実データに目標応答を合わせる

IFTとは逆の発想

誤差信号を $\tilde{e} = y_0 - T_d(s)\tilde{r}(\rho)$ と定義したとき、 \tilde{e} は以下ようになる

$$\tilde{e} = (T(s, \rho) - T_d(s))\tilde{r}(\rho)$$

$\tilde{e} \cong 0$ とすると、
上式より $T(s, \rho) \cong T_d(s)$ となること分かる

最適化問題

非線形最適化問題として $J_F \cong 0$ となるよう ρ を求解する

- ▶ 評価関数: $J_F = \|\tilde{e}\|_2^2 = \|(T(s, \rho) - T_d(s))\tilde{r}(\rho)\|_2^2$

今回は、ガウス・ニュートン法を用いる
→ よく知られていて、シンプル

4. フィードバック制御系に対する適用

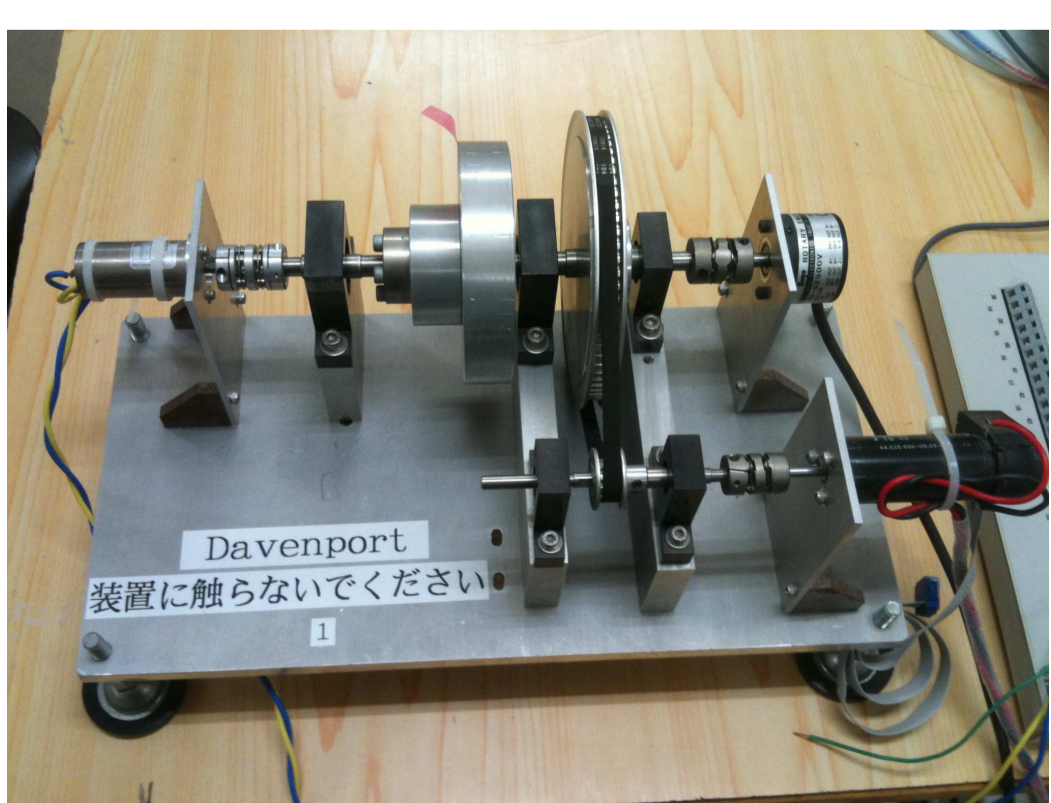


Fig. 2: DCモータ実験機

対象として Fig.2 の DCモータ実験機を用いる

- ▶ これについて Fig.3 のようなシステムを想定し、実験機を

$$G(s) = \frac{32.99}{s(s+10.1)}$$

なるプラントとして考え、PIコントローラ $C(s, \rho) = \rho(1) + \frac{\rho(2)}{s}$ を設計する

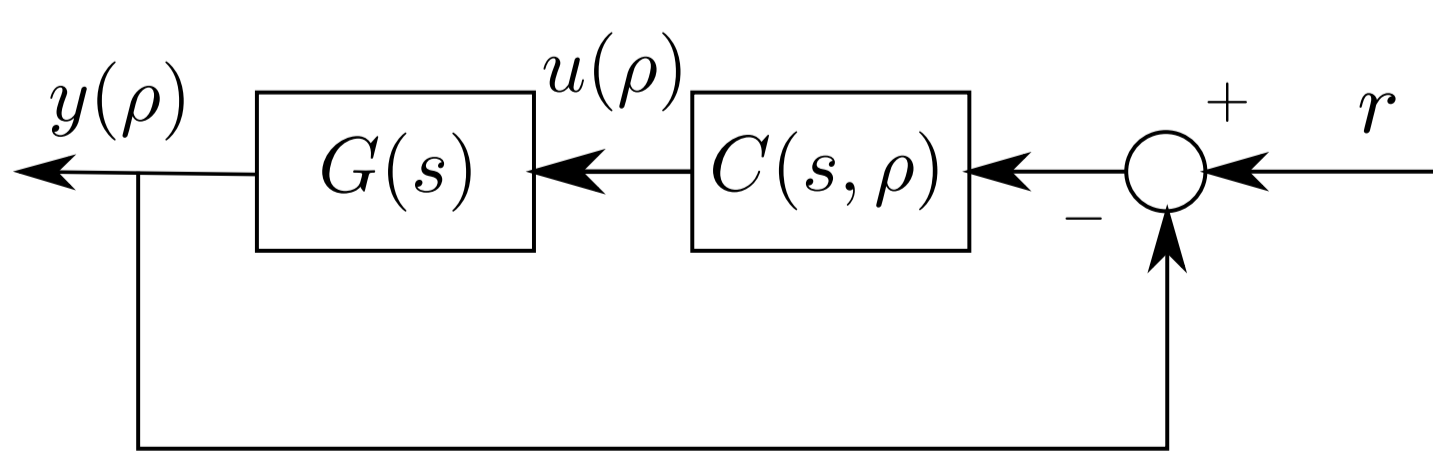


Fig. 3: フィードバック制御系

シミュレーション

- ▶ MATLAB/Simulink上でシミュレーションを行った

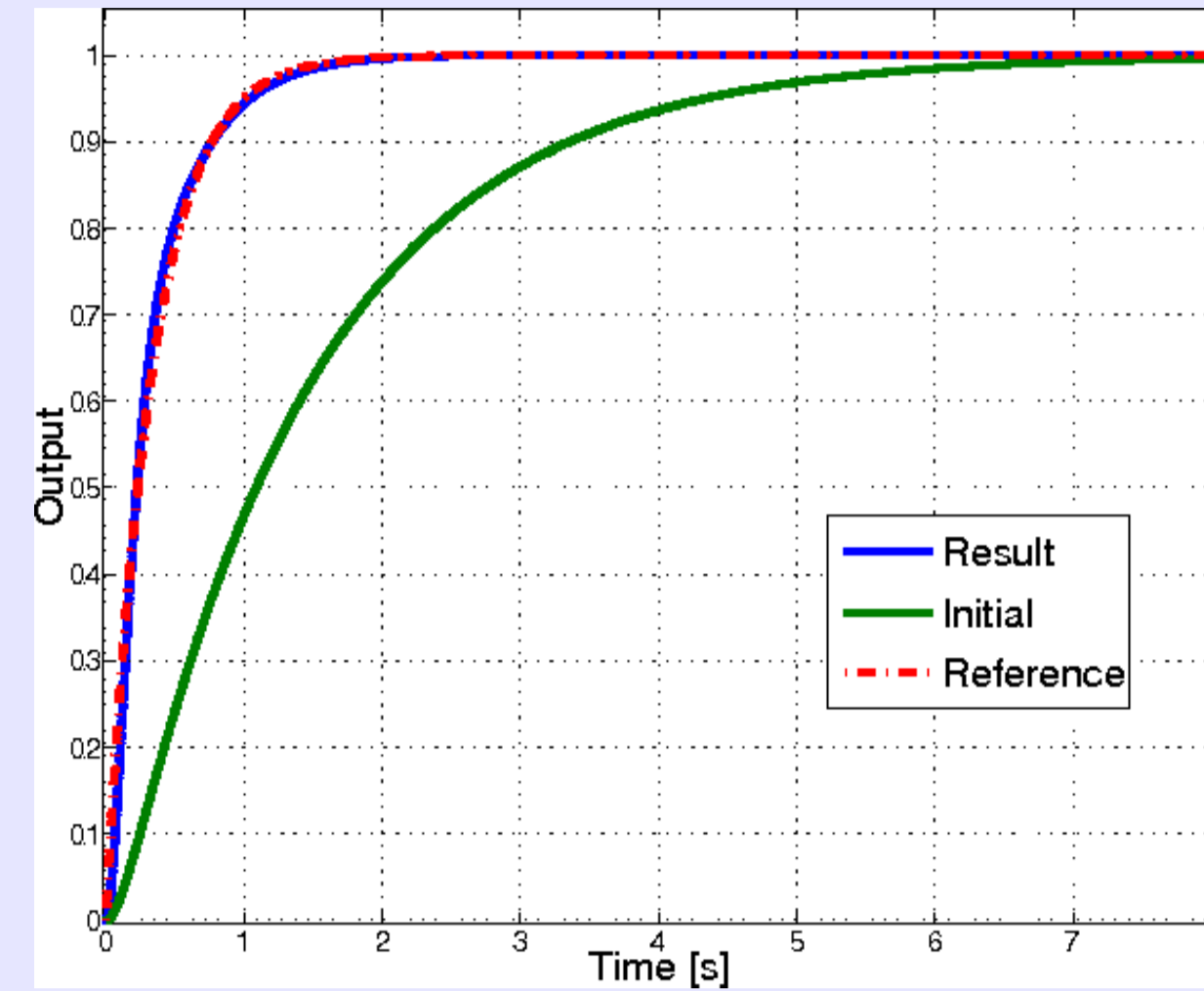


Fig. 4: 得られた応答(フィードバック制御系)

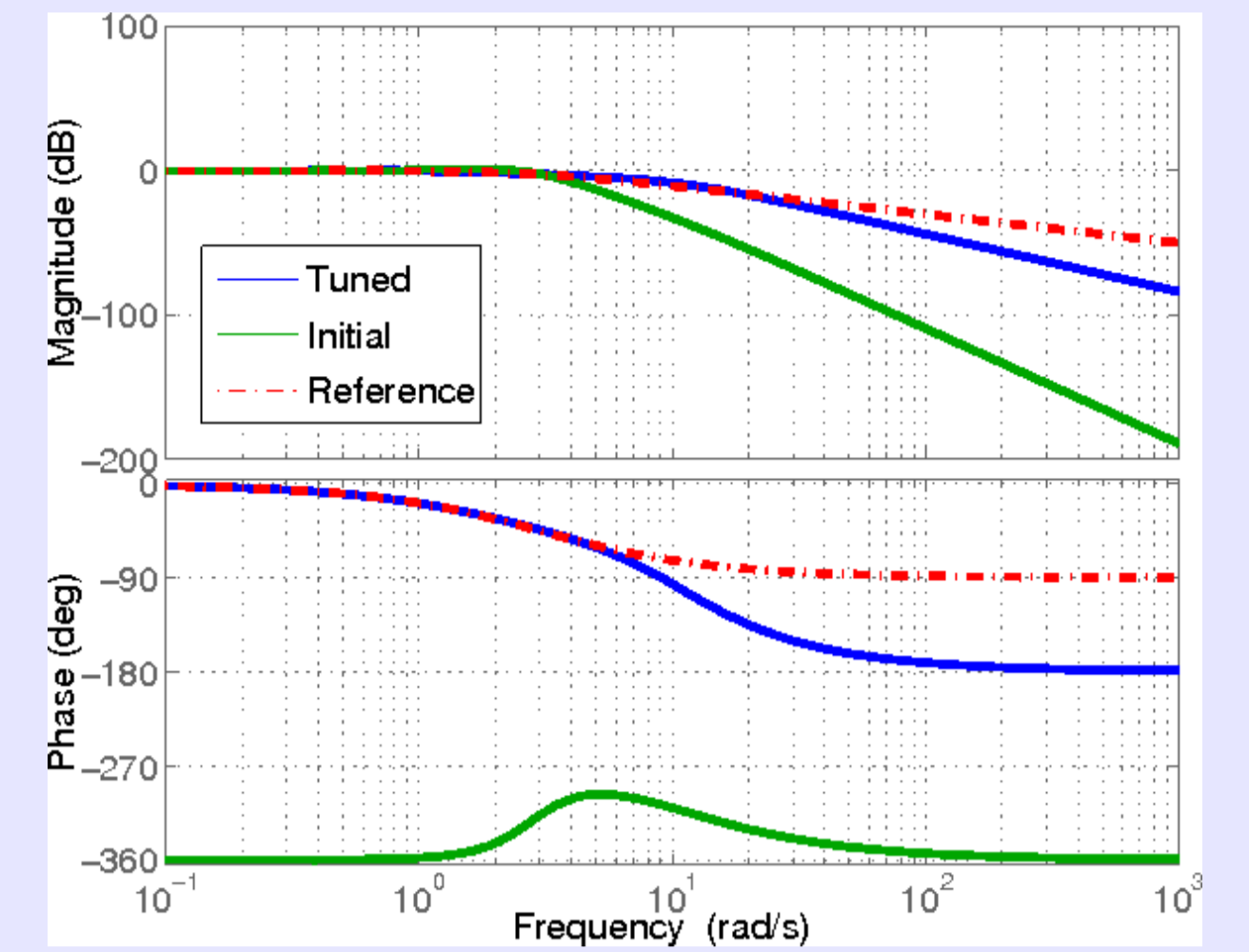


Fig. 5: ボード線図(フィードバック制御系)

- ▶ Fig.4より、FRITの目的である目標応答への実応答の追従は達成されたと考えられる
- ▶ Fig.5より、システムはリファレンスモデルにより近づいている
→ FRITによるフィードバックコントローラ設計が可能であることが確認された

実機を用いた実験

実際にはプラントの数学モデルは得られていない
→ u_0, y_0 を用いてコントローラの設計を行う

Fig.6より、次のことが分かる

- ▶ 立ち上がりがチューニング前より鋭い
- ▶ 定常偏差が減少している
→ 完全に目標応答に追従しない要因として、摩擦の存在が考えられる

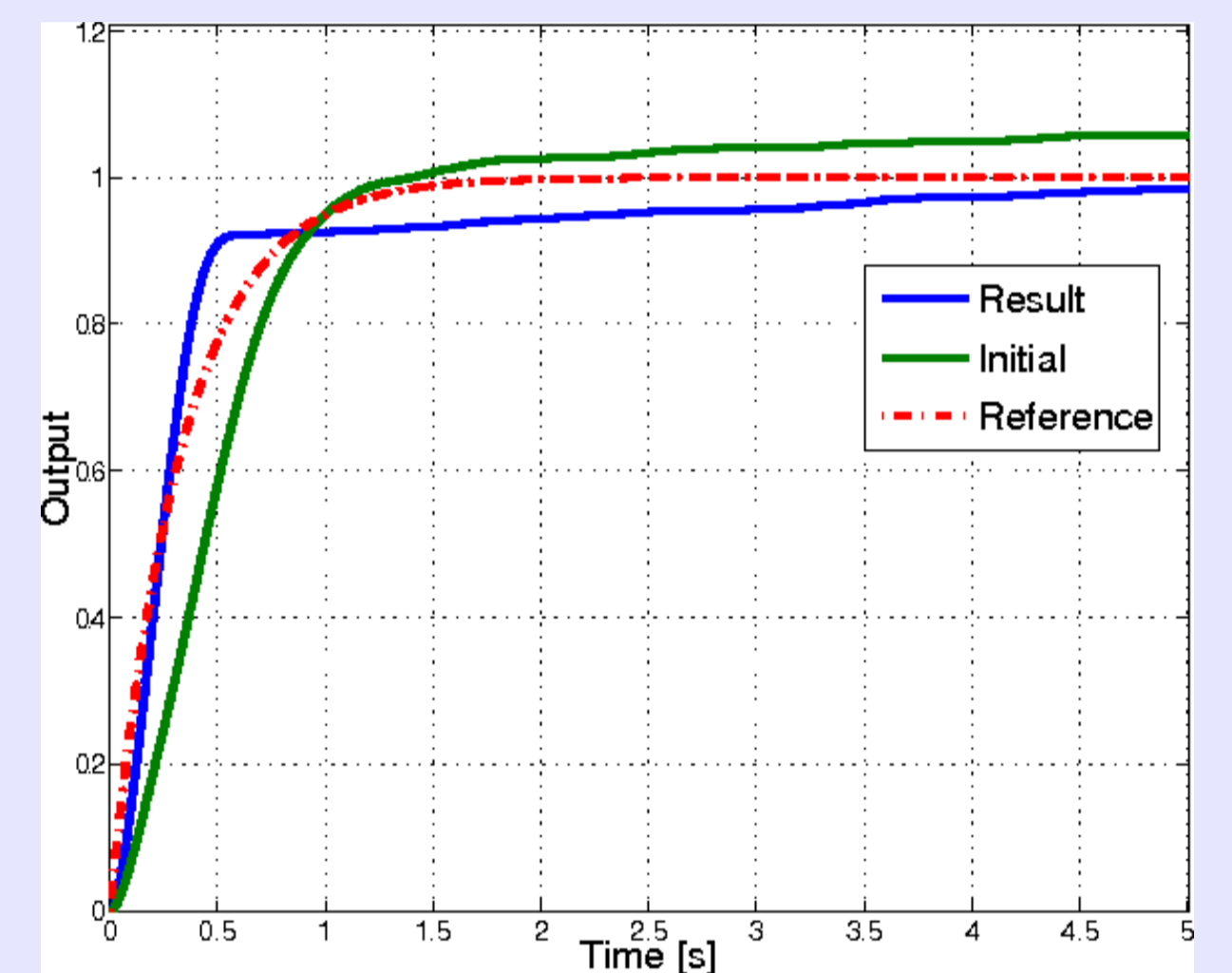


Fig. 6: 得られた応答(実機による実験)

応答の改善はある程度達成

5. 2自由度制御系に対する適用

2自由度制御系

- ▶ フィードバックとフィードフォワードに分けて考える
フィードバック 安定性と雑音に対する耐性を確保
フィードフォワード 目標値応答特性を改善
▶ これらの要件を個別に設計できる

シミュレーションによる実験

今回はシミュレーションのみ行った

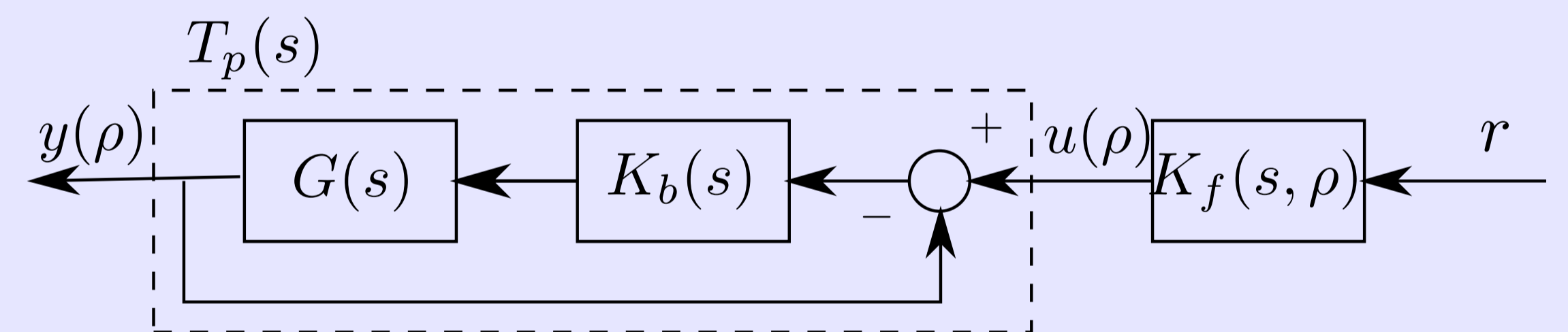


Fig. 7: 想定する2自由度制御系

- ▶ Fig.7のシステムを想定し、 $K_f(s, \rho) = T^{-1}(s, \rho)T_d(s)$ として $T^{-1}(s, \rho)$ について FRIT で調整 ($K_b(s)$ は固定)
- ▶ $T_p(s) = \frac{G(s)K_b(s)}{1 + G(s)K_b(s)}$ であり、 $G(s)$ は詳細な数学モデルは未知
- ▶ メカニカルシステムなので、 $T_p(s)$ の形式は推定できる

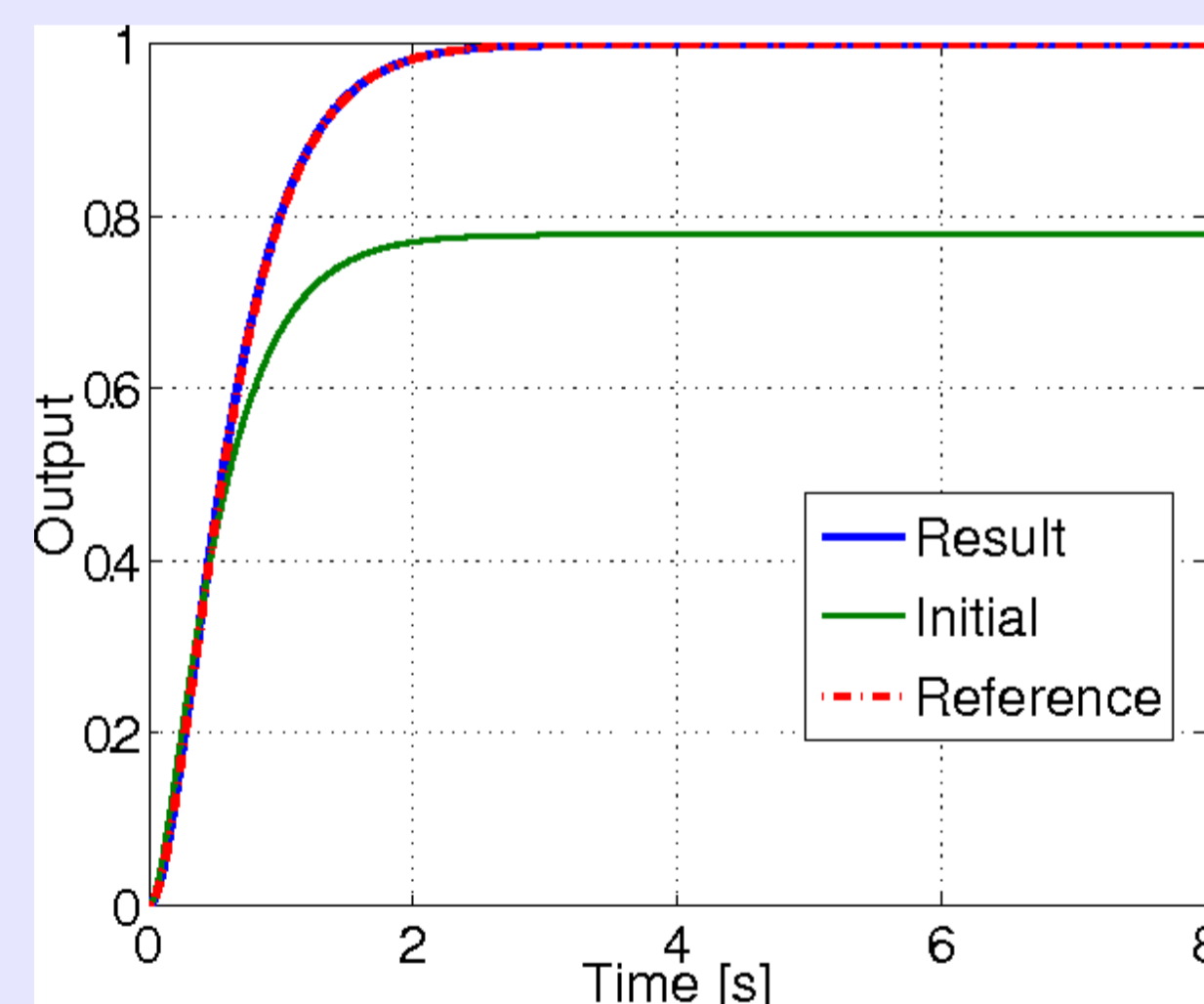


Fig. 8: 得られた応答(2自由度制御系)

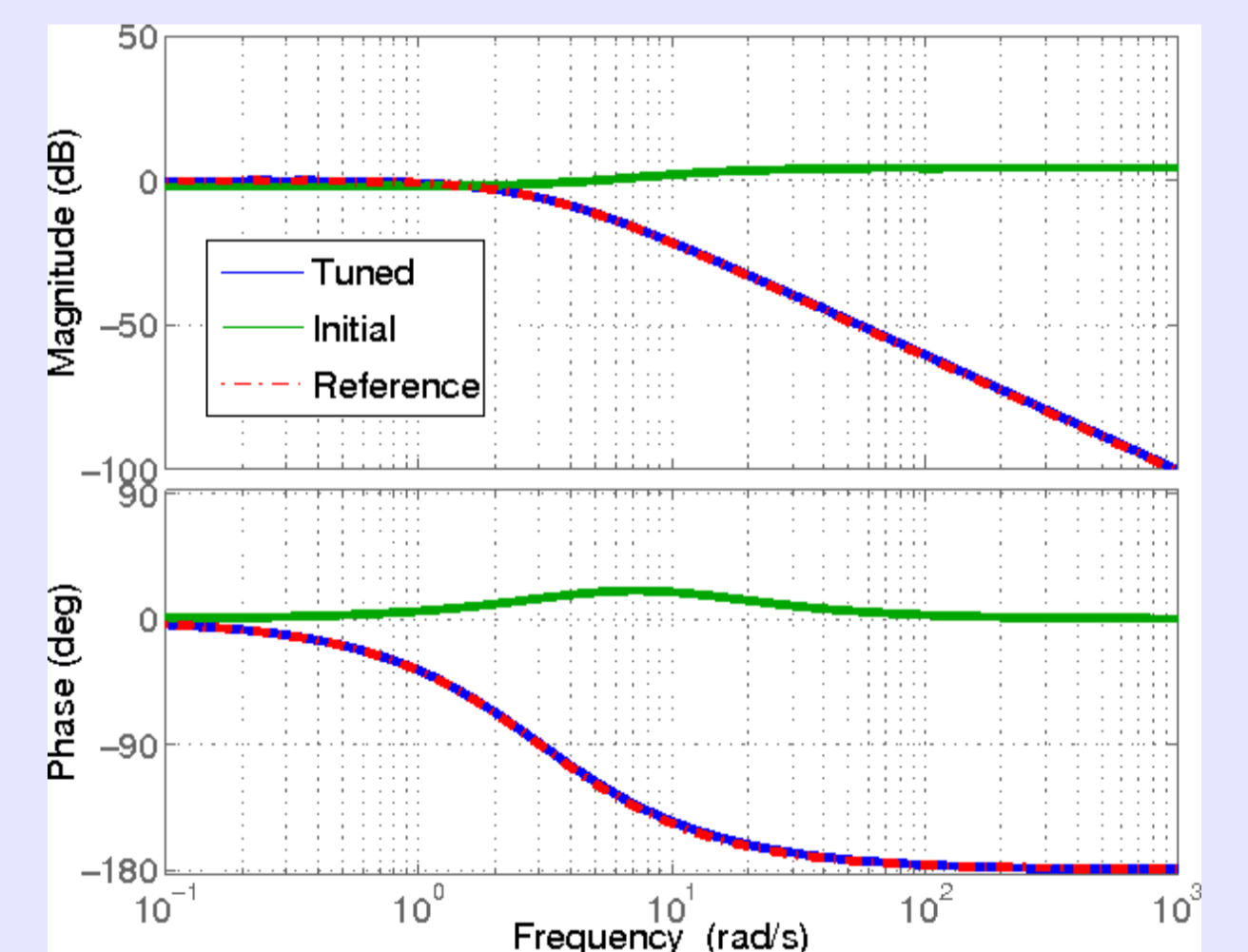


Fig. 9: ボード線図(2自由度制御系)

- ▶ Fig.8より、目標応答に実応答が追従したと考えられる
- ▶ Fig.9より、システムがリファレンスモデルにほぼ一致したと考えられる
→ プラント(ここでは $T_p(s)$)の詳細な数学モデルが未知でも2自由度制御系の設計ができる

6. おわりに

まとめ

- ▶ 一回の実験データに基づくコントローラ設計が行えることが確認できた
- ▶ プラントの数学モデルを必要としない
- ▶ 様々な形式のコントローラに対して適用可能

今後の課題

- ▶ 実機に対する2自由度制御系のチューニング
- ▶ 多入出力系への拡張

参考文献

[1] 相馬, 金子, 藤井: "一回の実験データに基づく制御器パラメータチューニングの新しいアプローチ-Fictitious Reference Iterative Tuningの提案"