

22 液晶パネル搬送ロボットの制御系設計

指導教員 平田 研二 准教授 機械創造工学課程 06304388 佐藤 祐介

1. はじめに

搬送対象となる液晶パネルの大型化

搬送を行うロボット自体も大型化し、搬送精度等の目標を達成する事は従来の小型ロボットに比べて難しくなった

高度な制御系が必要

目的: ロボットの動特性を考慮した制御系の設計

2. 新型液晶パネル搬送ロボット

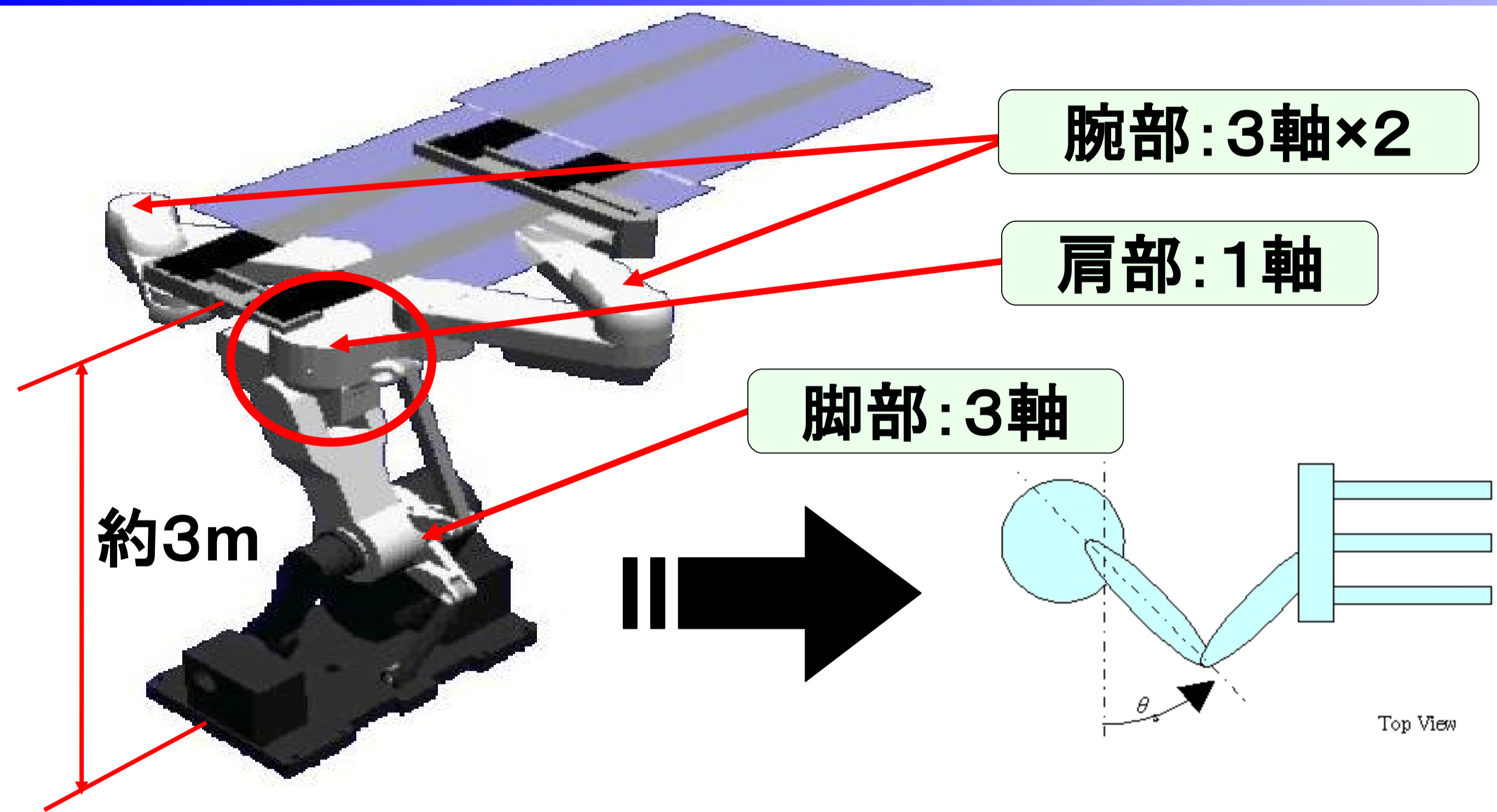


Fig.1 新型液晶パネル搬送ロボット

機構概要: 脚部, 肩部, 腕部からなり, 2本のアームで液晶パネルを搬送する

初めからロボット全体の制御系設計を行う事は難しい

片腕のみ(3自由度)に着目して制御系設計

3. 片腕の運動方程式・伝達関数の導出

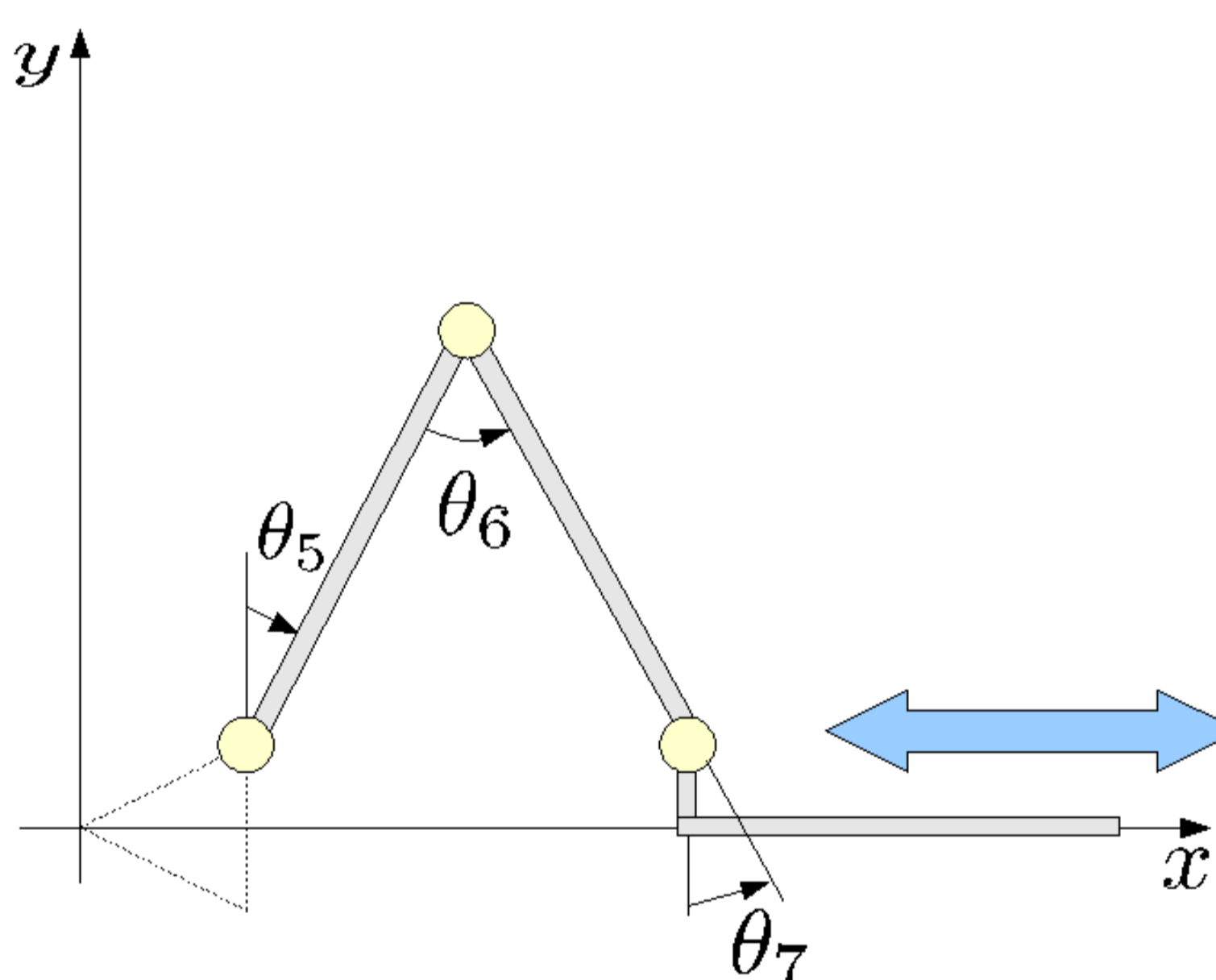


Fig.2 片腕のロボットモデル

Fig.2に対して以下のような機構の関係を考える
 $\theta_6 = 2\theta_5, \theta_7 = \theta_5$

アームは常に直進運動を行う

機構の関係を考慮し, ラグランジュ法で運動方程式を導出

ラグランジュ法

$$\tau_i = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_i}$$

$L = T - U$: ラグランジュ関数
 τ : 関節トルク (Nm)

M : 慣性項
 h : 非線形項(コリオリカ項等)

$$\tau = M(\theta_5)\ddot{\theta}_5 + h(\theta_5, \dot{\theta}_5)$$

$$M(\theta_5) = \frac{1.33 \times 10^2}{1.25} \cos(\theta_5)^2 + \frac{60.2}{2.50}$$

$$h(\theta_5, \dot{\theta}_5) = \frac{-1.33 \times 10^2}{2.50} \sin(2\theta_5) \dot{\theta}_5^2$$

非線形の状態空間モデル

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta_5 \\ \dot{\theta}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_5 \\ -M^{-1}(\theta_5)h(\theta_5, \dot{\theta}_5) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}(\theta_5)\tau \end{bmatrix}$$

線形の状態空間モデル

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta_5 \\ \dot{\theta}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_5 \\ \dot{\theta}_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}(\theta_5) \end{bmatrix} \tau$$

平衡点の導出

平衡点近傍での動作を考える

テイラーの定理を用いて線形化

線形化された運動方程式より伝達関数を導出

$$G_p(s) = \frac{2.50}{265 \cos(\theta_5)^2 + 60.2} \cdot \frac{1}{s^2}$$

姿勢(θ_5)によりゲインが変動
(動作範囲内では約15[dB]程度変動)

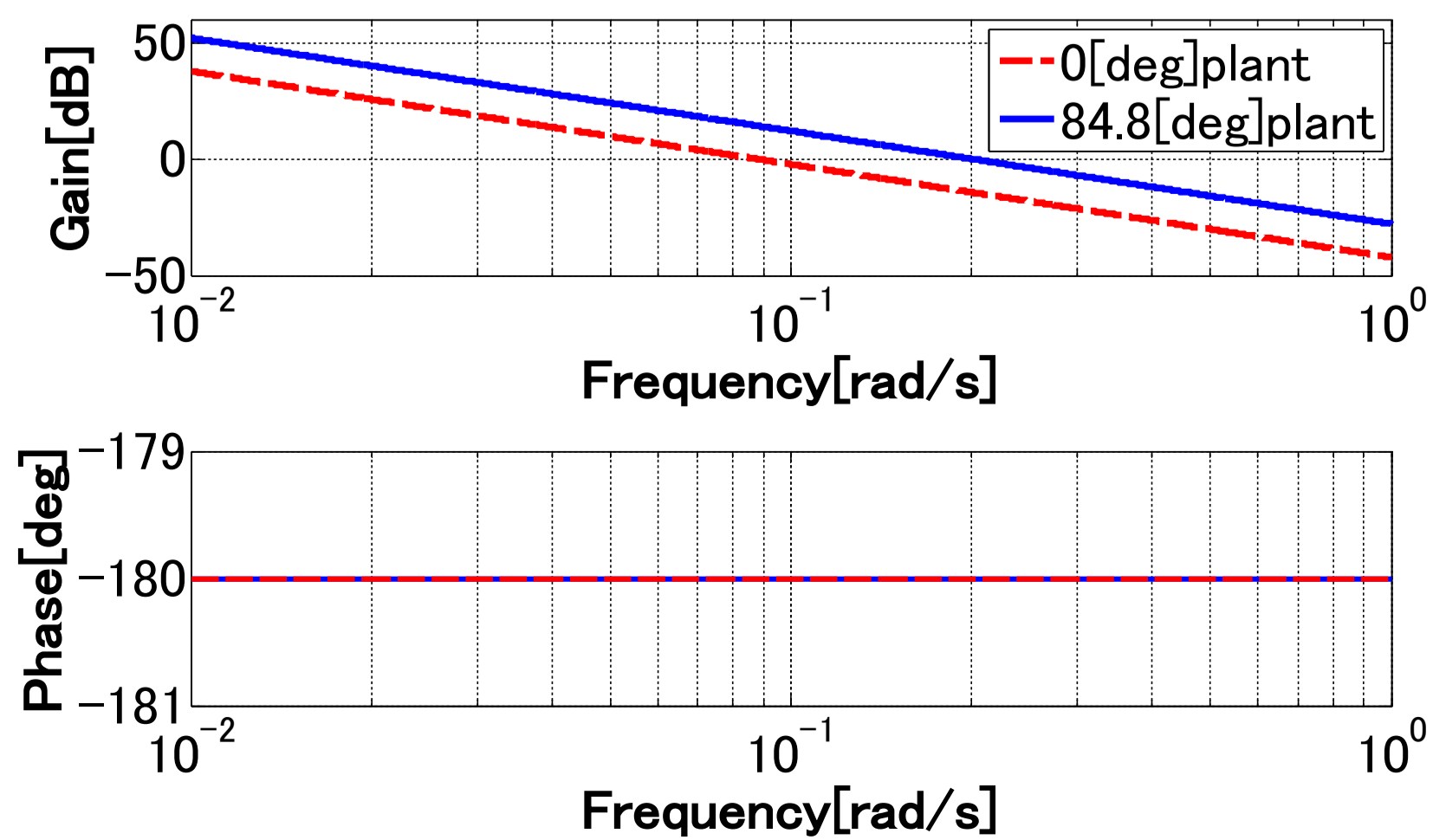


Fig.3 モデルの伝達関数のボード線図

4. 二自由度制御系の設計

4-1 フィードバックコントローラ(PI+位相進み補償)の設計

設計目標

アームの移動範囲内(-51.4[deg]~84.8[deg])で

バンド幅10[rad/s]以上
位相余裕50[deg]以上

フィードバックコントローラ(PI+位相進み補償)

$$C(s) = \frac{3225s^2 + 16075s + 5000}{0.04631s^2 + 3s}$$

位相余裕: 52.3[deg]~59[deg]
バンド幅: 12[rad/s]以上

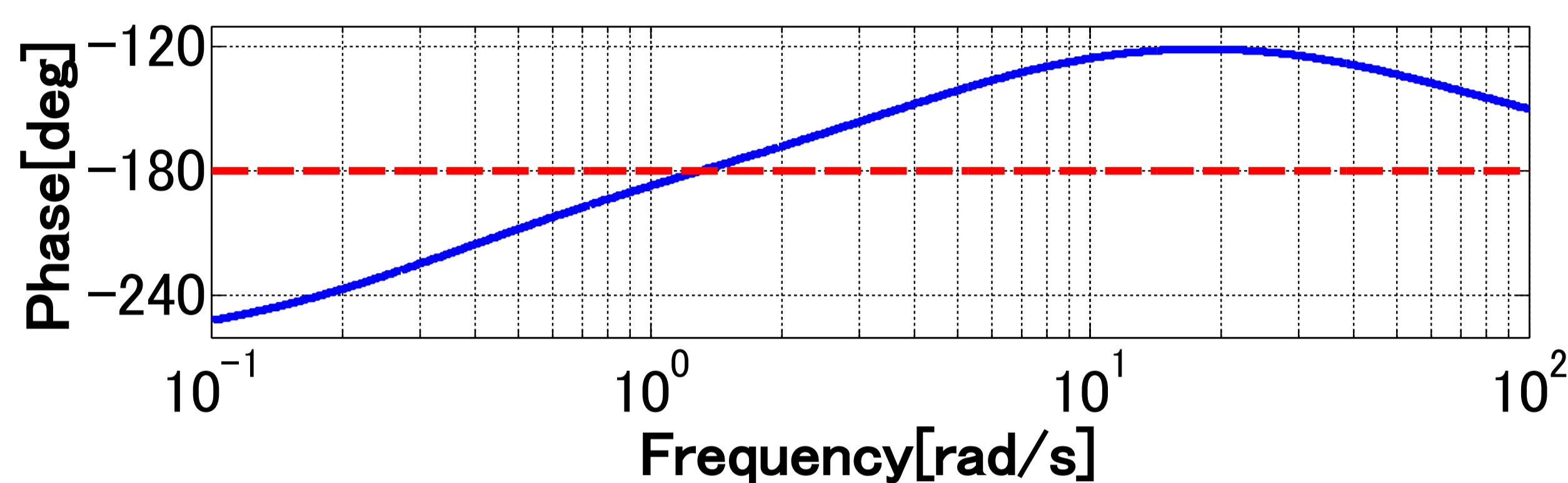
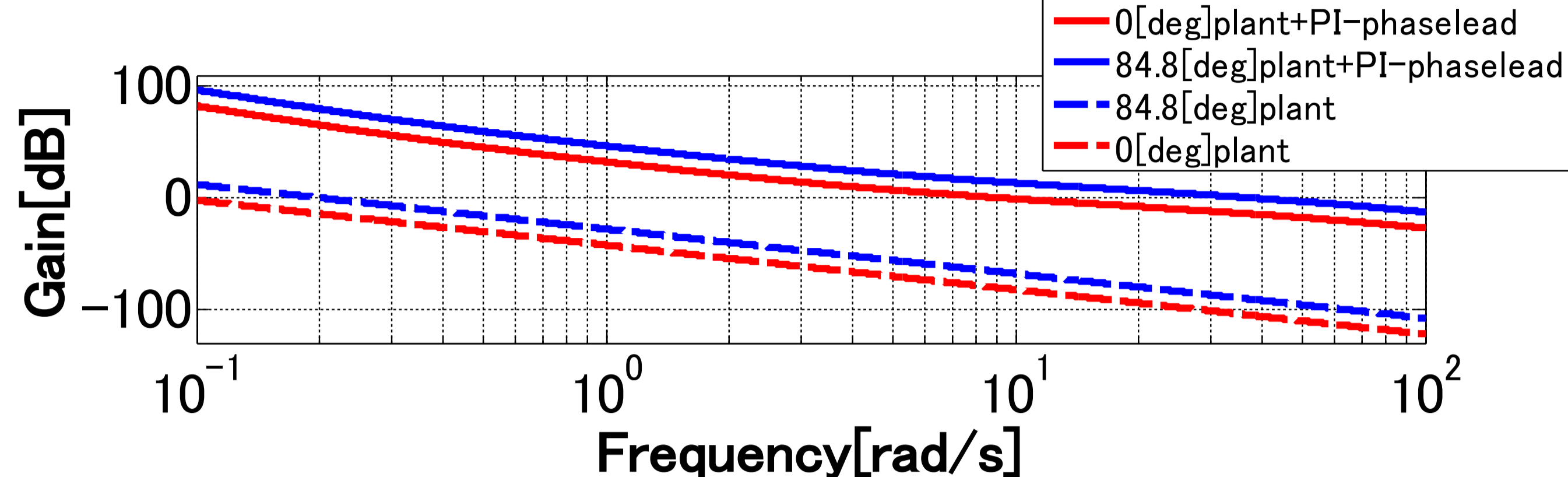


Fig.4 Gp(s)とC(s)の開ループ伝達関数

4-2 リファレンスモデルの選定

モデルの伝達関数は2次系

リファレンスモデルは3次系

アームの原点復帰姿勢(-51.4[deg])から最大伸展角度(84.8[deg])まで約2秒で到達出来るよう, パラメータを設定

$$T_{ref} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \cdot \frac{\omega_n}{s + \omega_n} = \frac{110.6}{s^3 + 13.44s^2 + 64.51s + 110.6}$$

$\omega_n = 4.8[\text{rad/s}]$
 $\zeta = 0.9$

4-3 二自由度制御系の構成

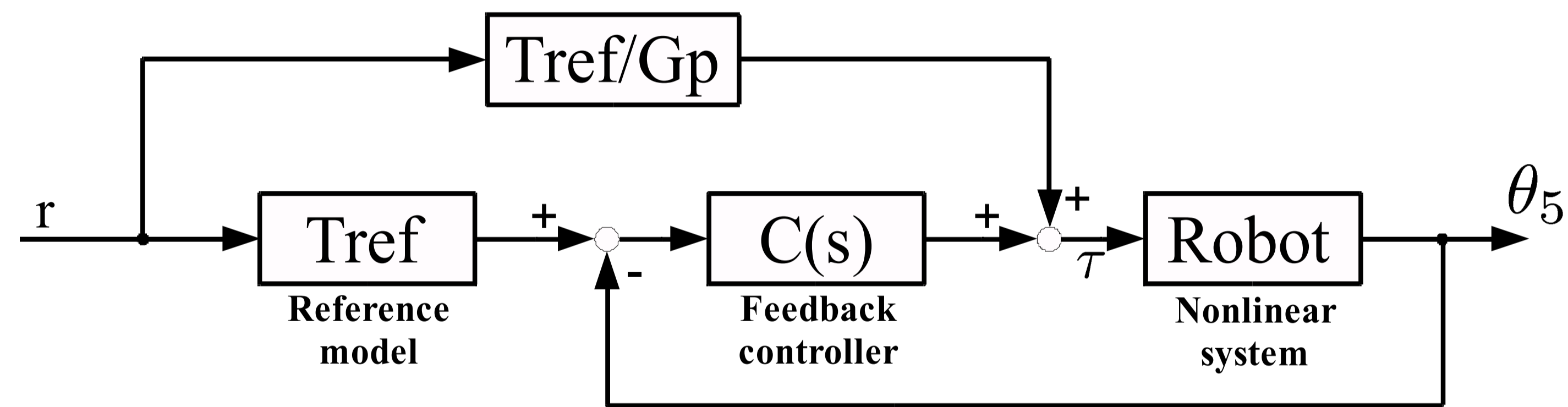


Fig.5 二自由度制御系

シミュレーション内容

- Fig.5のようにSimulinkで制御系を構築
- 制御対象は非線形の運動方程式の状態空間モデル
- 初期位置は原点復帰姿勢の-51.4[deg](-0.897[rad])
- 5[s]後に最大伸展角度84.8[deg](1.48[rad])までの目標値の入力を行いシミュレーションする

5. 非線形モデルでシミュレーションした結果

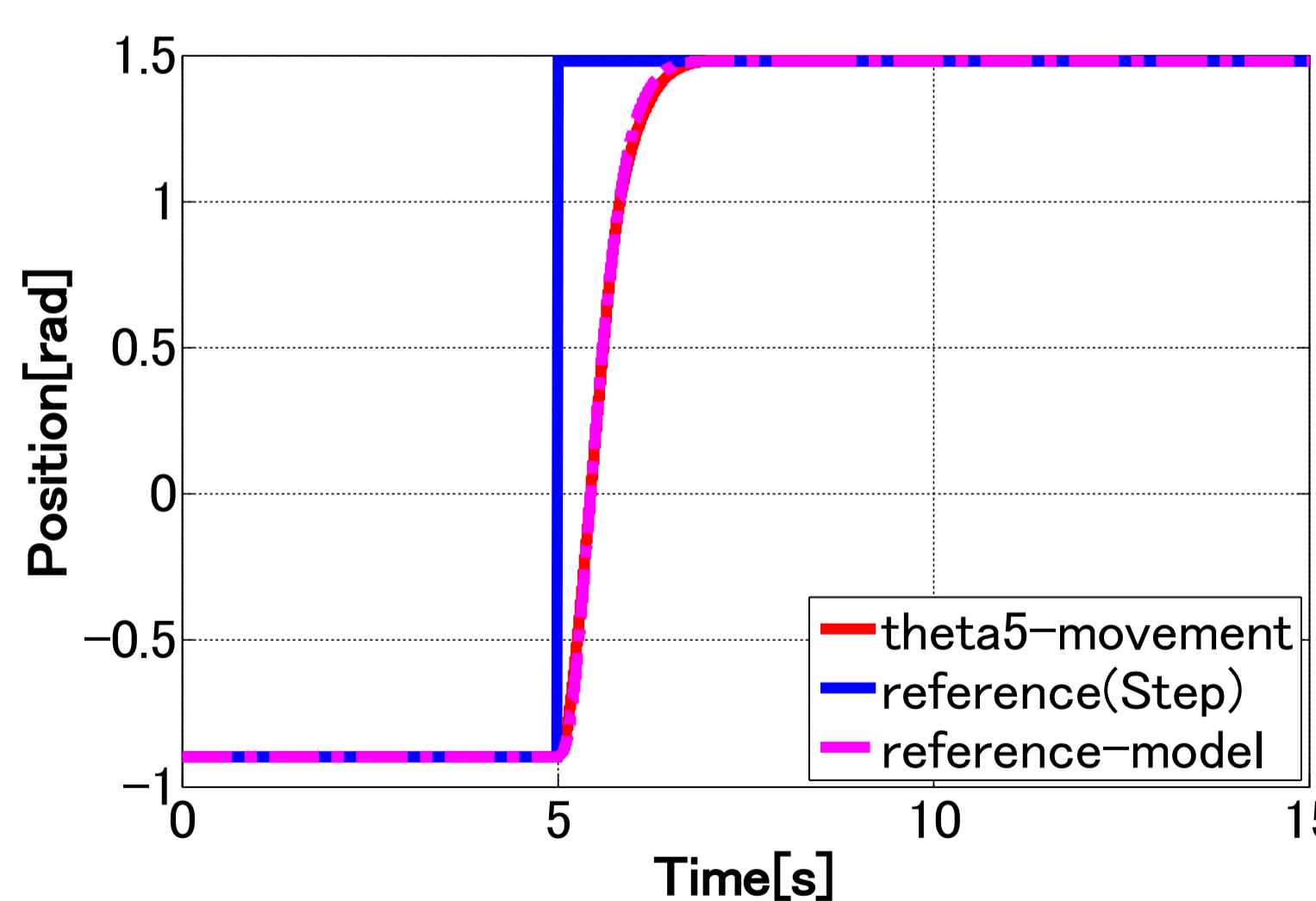


Fig.6 目標値に対する応答

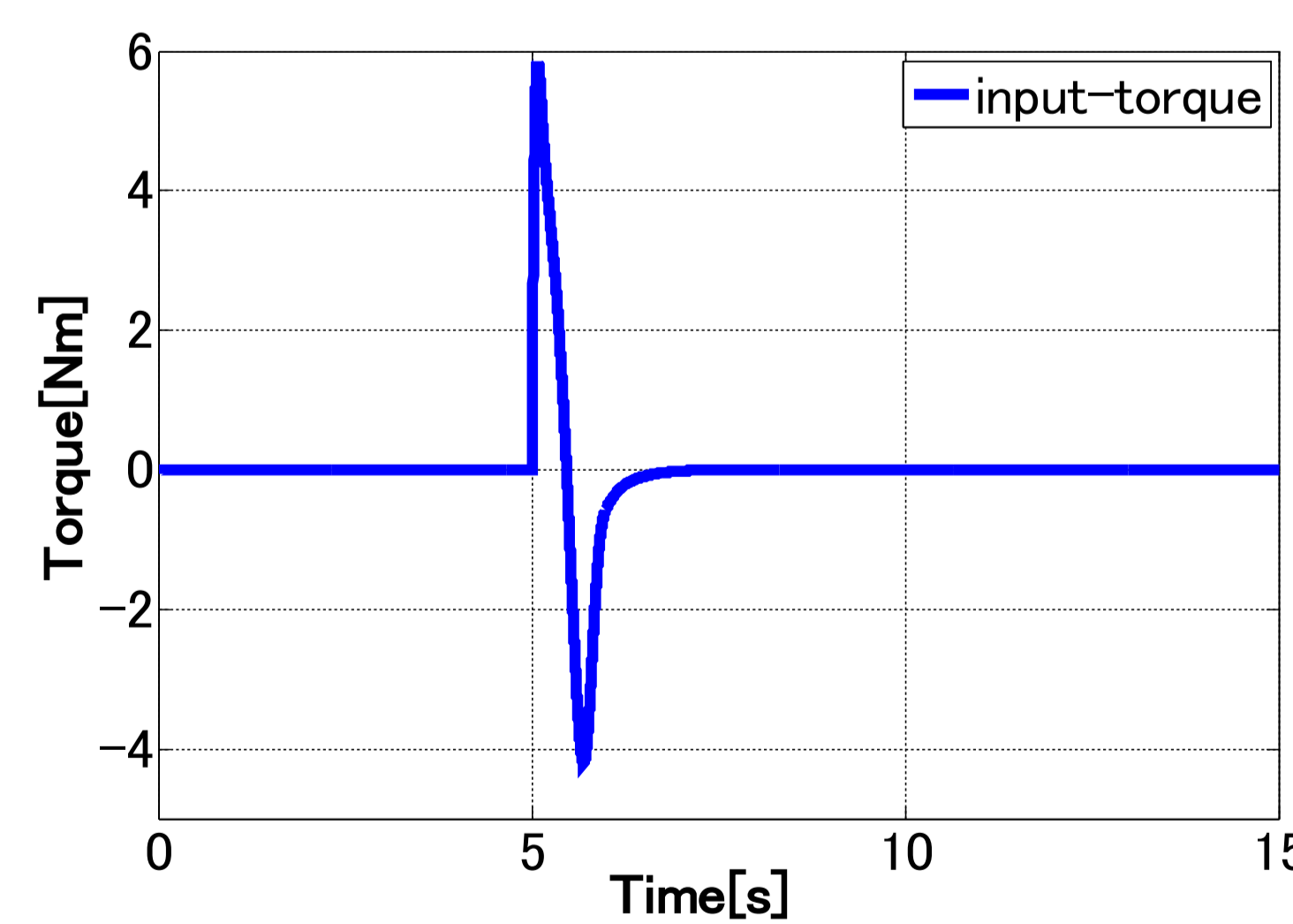


Fig.7 モータの入カトルク

入カトルクをモータの定格トルク(7.5[Nm])の80%以内に収め, オーバーシュート無しで最大伸展角度まで到達

6. おわりに

- 片腕のモデルを作成し非線形の運動方程式を導出することが出来た
- 非線形の運動方程式を線形化し伝達関数を求めた
- 求めた伝達関数に二自由度制御系の設計をした
- 非線形の運動方程式に設計した制御系を実装しシミュレーションを行った

7. 今後の課題

- 実機に実装して動作実験→共同研究先と実験中
- 制御対象の両腕化→脚部を合わせロボット全体を制御対象とする
- 実機に実装した時の動作検証(動作精度評価等)