

# 最適サーボシステムを用いた 平行リンクマニピュレータの目標値追従制御

首都大学東京 ヒューマンメカトロニクスシステムコース B4 村崎 智文 (児島研究室)

## 1.はじめに

### ☆人間機械協調系

近年のロボット技術の発展により,人の運動・作業を補助または拡張するような**パワーアシストシステム**が注目されている。

### ☆人間機械協調システムの役割<sup>[1]</sup>

- ・機械システムが人と直接かかわることで人間を支援する。
- ・人と人が協調して仕事ができるよう,人と人との間で機械システムが働く。

### ☆シリアルリンクとパラレルリンクの特性

シリアルリンク 直列なリンクで連結される  
 パラレルリンク 複数のリンクを並列に連結

|      | シリアルリンク | パラレルリンク |
|------|---------|---------|
| 精度   | 低い      | 高い      |
| 剛性   | 低い      | 高い      |
| 最大力  | 小さい     | 大きい     |
| 作業領域 | 広い      | 狭い      |

### 平行リンクマニピュレータ

→パラレルリンクの一種であり,高い剛性と位置決め精度を持ち,**パワーアシストシステムへの展開**が期待されているが,**姿勢によって大きくダイナミクスが変化**してしまう。

### 目的

平行リンクマニピュレータを用いて,通常の**サーボ系**と,大域的に性能を保証するために,パラメータ変動の範囲を考慮した**ロバストH<sub>2</sub>制御**の効果を確認する。

## 2.平行リンクマニピュレータ

制御対象であるモデル(平行リンクマニピュレータ)を考える。

### ☆手先位置

$$p(t) = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{00}\cos q_0 + l_{11}\cos q_1 \\ l_{00}\sin q_0 + l_{11}\sin q_1 \end{bmatrix}$$

### ☆ヤコビ行列

$$J_s(q) = \begin{bmatrix} -l_{00}\cos q_0 & -l_{11}\cos q_1 \\ l_{00}\sin q_0 & l_{11}\sin q_1 \end{bmatrix}$$

### ☆運動方程式

$$H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + r(\dot{q}) = \tau$$

$$H(q) = \begin{bmatrix} I_0 & -C_r \cos 0_{01} \\ -C_r \cos 0_{01} & I_1 \end{bmatrix}$$

$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & -C_r \dot{q}_1 \sin 0_{01} \\ C_r \dot{q}_1 \sin 0_{01} & 0 \end{bmatrix}$$

$$r(\dot{q}) = \begin{bmatrix} B_0 \dot{q}_0 + E_0 \operatorname{sgn}(\dot{q}_0) \\ B_1 \dot{q}_1 + E_1 \operatorname{sgn}(\dot{q}_1) \end{bmatrix}$$

$\cos 0_{01} = \cos(q_0 - q_1)$ ,  $\sin 0_{01} = \sin(q_0 - q_1)$ とする。



Fig.1 平行リンクマニピュレータ

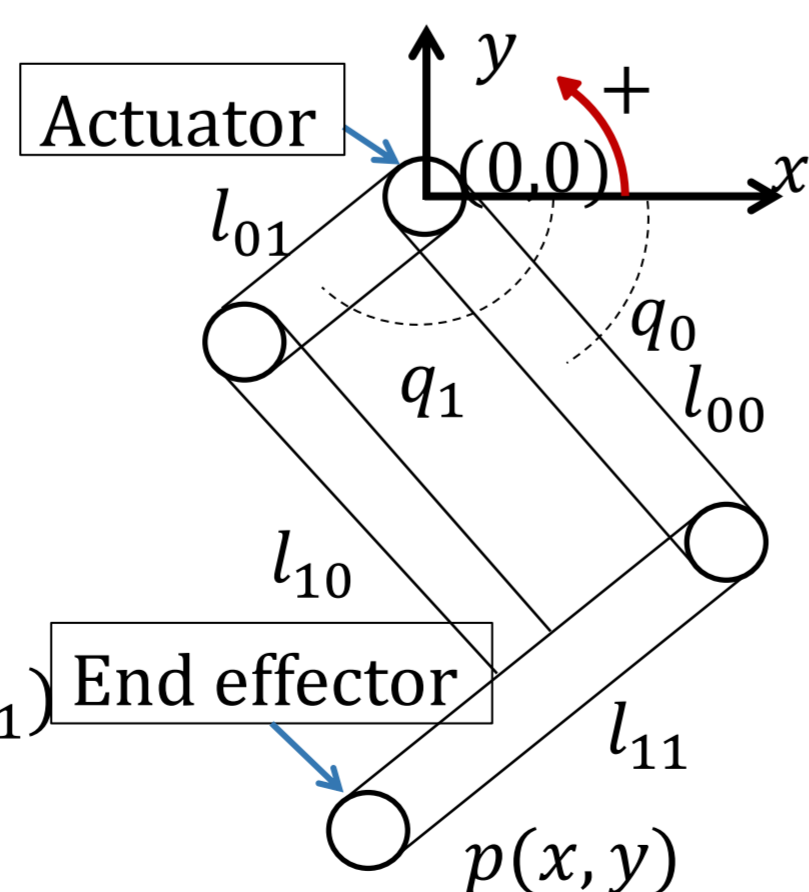


Fig.2 制御対象

Table 1 各パラメータの推定値

| $I_0$ [kgm <sup>2</sup> ] | $I_1$ [kgm <sup>2</sup> ] | $C_r$ [kgm <sup>2</sup> ] | $B_0$ [Nms] | $B_1$ [Nms] | $E_0$ [Nm] | $E_1$ [Nm] |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 0.22                      | 0.14                      | -0.18                     | 2.94        | 1.63        | 1.68       | 1.46       |

## 3.目標値追従実験

### ☆実験条件

以下の評価関数  $J$  を最小にするような入力決定する。

$$J(x_0) = \int_0^{\infty} (\bar{x}(t)^T Q \bar{x}(t) + \bar{u}(t)^T R \bar{u}(t)) dt, \quad Q > 0, R > 0$$

Case 1 初期値:  $(q_0, q_1) = (-\frac{\pi}{2}, -\pi)$

目標値:  $(q_0, q_1) = (0, -\frac{\pi}{2})$

Case 2 初期値:  $(q_0, q_1) = (-\frac{\pi}{2}, -\pi)$

目標値:  $(q_0, q_1) = (0, -\frac{2\pi}{5})$

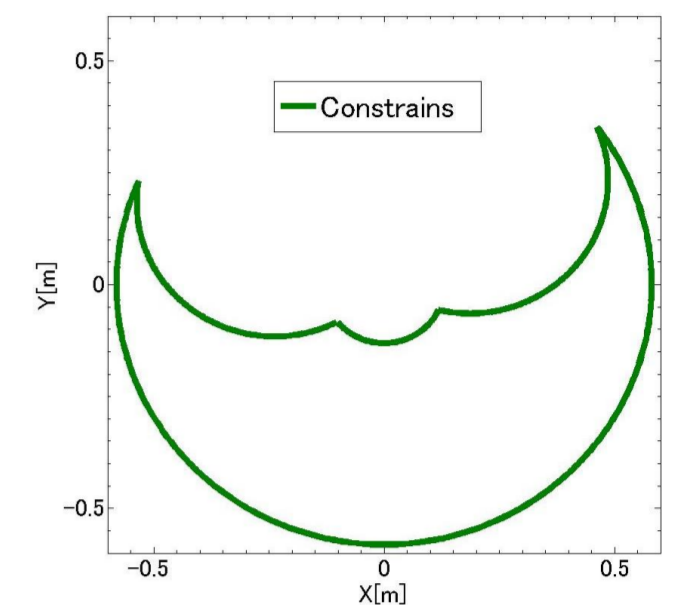


Fig.3 動作範囲

### ☆実験結果

#### ●通常のサーボ系

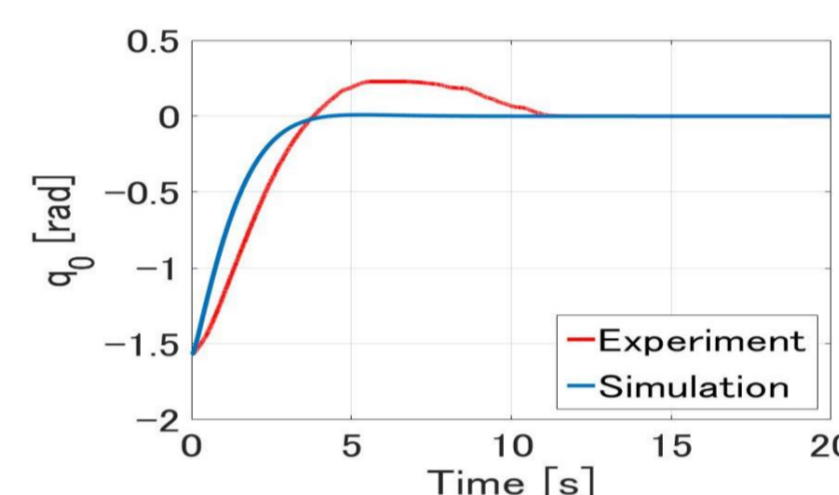


Fig.4 Case 1:  $q_0$

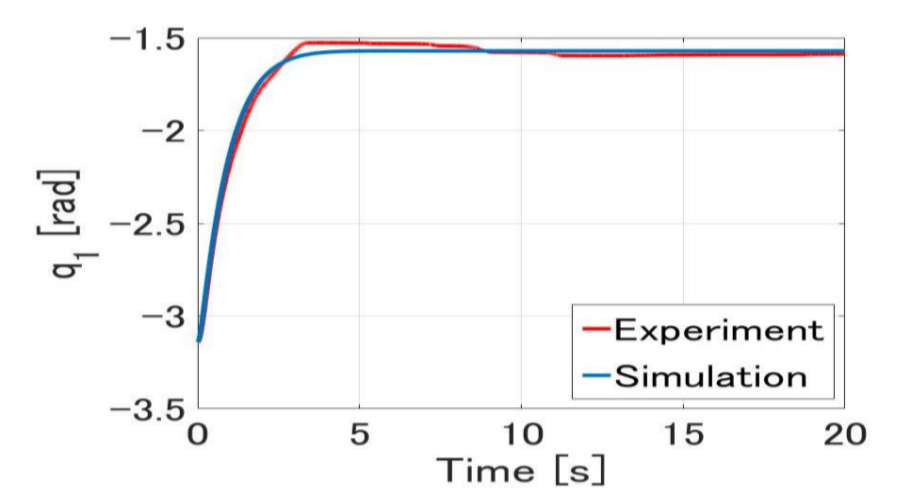


Fig.5 Case 1:  $q_1$

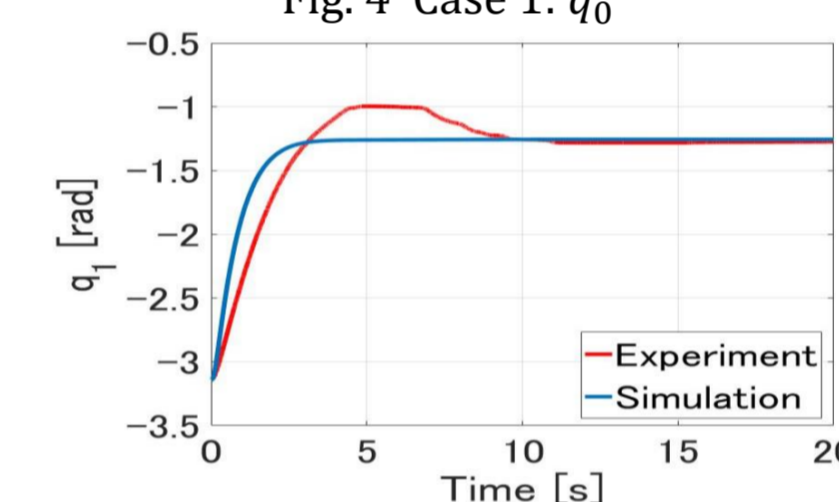


Fig.6 Case 2:  $q_0$

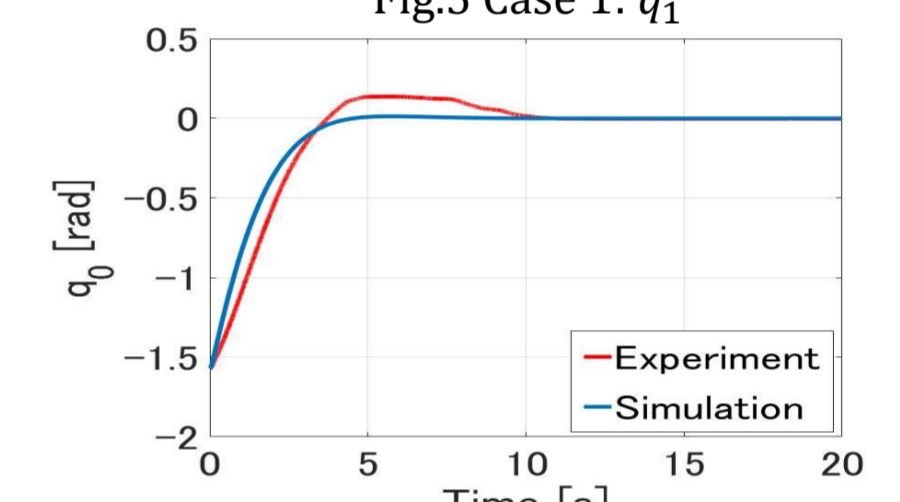


Fig.7 Case 2:  $q_1$

#### ●ロバストH<sub>2</sub>制御

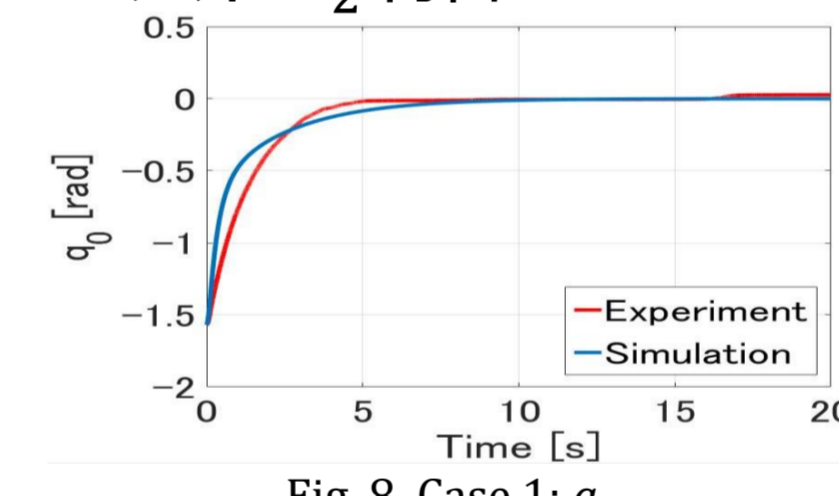


Fig.8 Case 1:  $q_0$

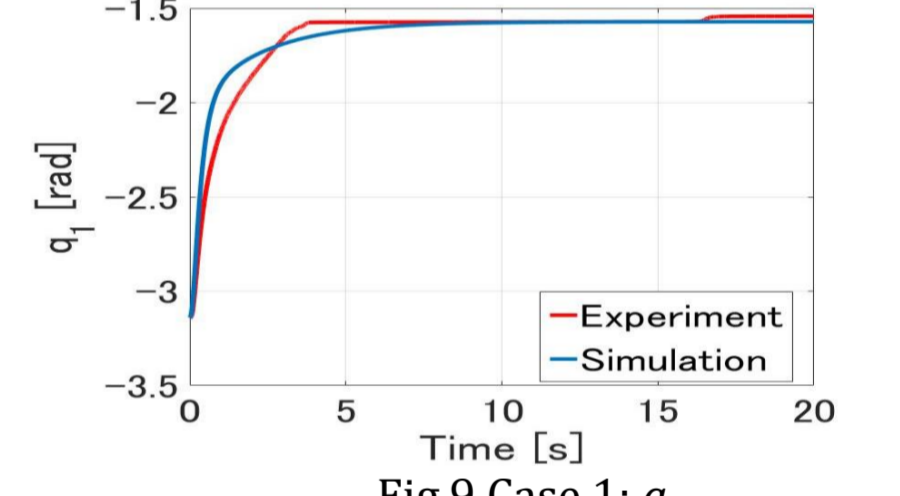


Fig.9 Case 1:  $q_1$

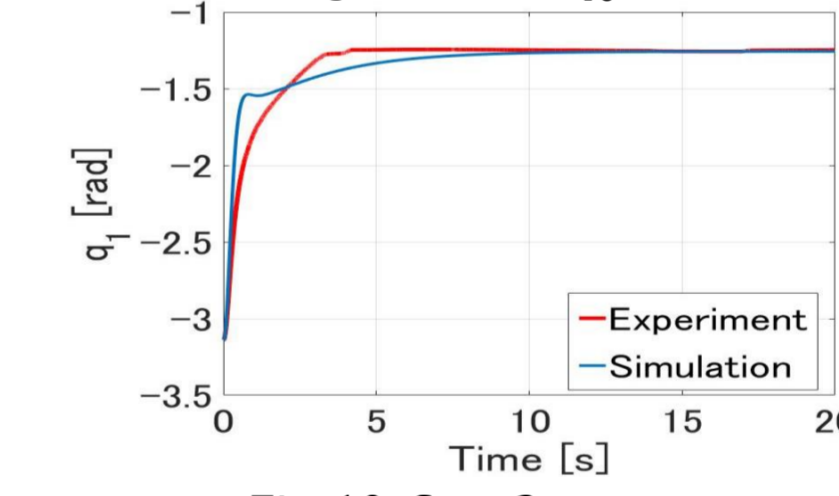


Fig.10 Case 2:  $q_0$

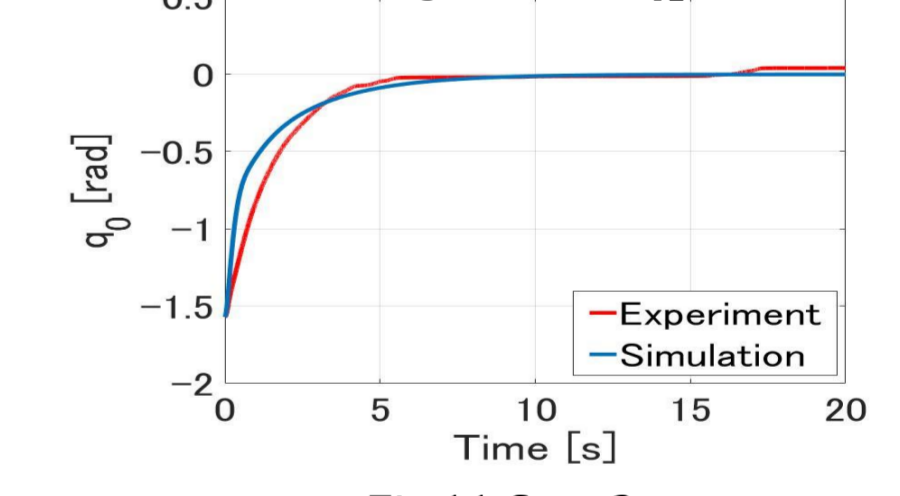


Fig.11 Case 2:  $q_1$

通常のサーボ系では目標値に収束しているが立ち上がりが遅く,オーバーシュートしている。H<sub>2</sub>制御の実験ではほぼ同じ軌道で目標値へ向かっているが,通常のサーボ系と比べると目標値とずれて収束していることが分かる。

## 4.まとめ

### ☆まとめ

平行リンクマニピュレータに対して,最適サーボシステムとロバストH<sub>2</sub>制御を適用させた。

ロバストにH<sub>2</sub>制御より決定したゲインは,目標値を変化させてもその値に適切な過渡特性を維持しながら追従する傾向が確認される。

今後は新しい摩擦補償の導入や重み行列の検討を行う。

## 参考文献

- [1]佐藤知正: 人間機械協調システム,計測と制御,Vol.35, No.4, pp262-267 (1996)