

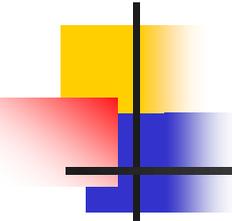
移動を考慮した遠隔ロボットシステムに おける力覚センサを用いた ロボット移動制御の効果

中川博詞[†] 石橋豊[†]

黄平国[‡] 立岩佑一郎[†]

[†]名古屋工業大学 [‡]岐阜聖徳学園大学

電子情報通信学会 CQ研究会
つくば国際会議場
2023年1月26日



発表概要

- 背景
- 従来研究と問題点
- 目的
- 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステム
- ロボット移動制御
- 実験方法
- 実験結果
- 結論と今後の課題

背景(1/2) *1

*1 金石 他, 信学技報, CQ2021-1, May 2021.

- 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステムは
利用者がロボットの力を感じながら作業可能

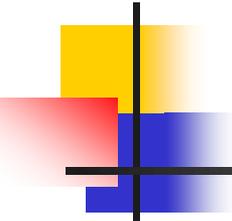
➡ 様々な分野で作業の高効率化や
精度向上の期待

- ロボットが移動可能であれば, さらに有用性が向上



ネット
ワーク





背景(2/2)

- 複数のロボットで凸凹した道を移動しながら協調作業をする場合, 急激な位置変化が起こる可能性

 物体に大きな力がかかり破損の恐れ

力を抑える制御が必要

従来研究(1/3)

*1 金石 他, 信学技報, CQ2021-1, May 2021.

- 二つのロボットが移動しながら物体を一緒に運ぶ作業を対象

*1

- 片方のロボットが急激な位置変化
- 他方のロボットを指数関数的に位置制御

➡ 大きな力を抑制

問題点

- 力を抑えるのに要する時間が長い
- 位置制御値が動的に変化しない
- どちらのシステムが急激な位置変化をしたかわからない⇒両方のシステムで制御する必要

従来研究(2/3)

*2 中川 他, ITE冬季大会, 31A-7, Dec. 2021.

- 二つのロボットが電動ハンドにより物体を手渡す作業を対象

*2

- 片方のロボットが自由落下
- 自由落下と同じ加速度で位置修正
- 2つのシステムにそれぞれ制御適用の有無の4つの場合の比較
- ➡ 他方のロボットを制御する方が効果的

問題点

- 移動制御値を動的に変化しない

従来研究(3/3)

*3 Y.Ishibashi et al., ICCE-TW, 31A-7, July 2022.

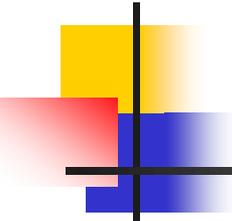
- 二つのロボットが移動しながら物体を一緒に運ぶ作業を対象

*3

- 前後方向におけるロボット間のずれを調整
- 従来の位置制御と運動方程式に基づいたロボット移動制御を比較

➡ 運動方程式に基づいたロボット移動制御が効果的

急激な位置変化, 上下方向の検討が行われていない



目的

- 2つのロボットが移動しながら一緒に物体を運ぶ作業
- 片方のロボットが上下に急激な位置変化



両方のシステムに3つロボット移動制御を
適用し効果を比較

- 力情報を用いた制御
- 指数関数による制御
- 運動方程式による制御

力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステム(1/3)

システム2

産業用ロボット



触覚インタフェース装置



マスタ端末



スレーブ端末



ロボットコントローラ



ロボットアーム

トグルクランプ
ハンド

ネット
ワーク

力覚インタ
フェースユニット

力覚センサ

システム1



触覚インタフェース装置



マスタ端末



Webカメラ



スレーブ端末



ロボットコントローラ



ロボットアーム

トグルクランプ
ハンド

力覚フィードバックを用いた 遠隔ロボットシステム(2/3)

*1 金石 他, 信学技報, CQ2021-1, May 2021.

反力の計算方法

*1

$$\mathbf{F}_t^{(m)} = K_{\text{scale}} \mathbf{F}_{t-1}^{(s)} \quad (1)$$

$\mathbf{F}_t^{(m)}$: 時刻 $t(> 0)$ (ms)にマスタ端末で出力される反力

$\mathbf{F}_t^{(s)}$: 時刻 t (ms)にスレーブ端末から取得した値

K_{scale} : $\mathbf{F}_{t-1}^{(s)}$ にかける倍率(=0.5)

力覚フィードバックを用いた 遠隔ロボットシステム(3/3)

*1 金石 他, 信学技報, CQ2021-1, May 2021.

ロボットアームの位置

*1

$$\mathbf{S}_t = \mathbf{M}_{t-1} + \mathbf{V}_{t-1} \quad (|\mathbf{V}_{t-1}| < V_{\max}) \quad (2)$$

\mathbf{S}_t : 時刻 $t(> 0)$ におけるロボットアームの位置ベクトル

\mathbf{M}_t : 時刻 $t(> 0)$ にスレーブ端末がマスタ端末から受信した
触覚インタフェース装置の位置ベクトル

\mathbf{V}_t : 時刻 $t(> 0)$ におけるロボットアームの速度ベクトル

V_{\max} : ロボットアームの最大速度 (=5mm/ms)

ロボット移動制御(1/4)

*4 石川 他, 信学技報, CQ2020-18, June 2020.

ロボット移動制御

*4

$$\hat{\mathbf{S}}_t = \mathbf{S}_t + \mathbf{P}_t \quad (3)$$

$\hat{\mathbf{S}}_t$: 時刻 $t(> 0)$ におけるロボットアームの位置ベクトル

\mathbf{S}_t : 時刻 $t(> 0)$ における触覚インタフェース装置の位置から決まる位置ベクトル

\mathbf{P}_t : 時刻 t における位置調整ベクトル

ロボット移動制御(2/4)

*4 石川 他, 信学技報, CQ2020-18, June 2020.

力情報を用いた制御

*4

$$\mathbf{P}_t = a\mathbf{F}_t \quad (4)$$

$$a = 4.82 \times 10^{-2}l - 1.16 \quad (5)$$

\mathbf{P}_t : 時刻 t における位置調整ベクトル

\mathbf{F}_t : 時刻 t に物体に加わる力

l : 角材の長さ (cm)

ロボット移動制御(3/4)

*1 金石 他, 信学技報, CQ2021-1, May 2021.

指数関数による制御

*1

$$P_t = \begin{cases} \pm 0.01 \times (1.12)^n & (\text{if } |F_t| \geq 1\text{N}) \\ aF_t & (\text{Otherwise}) \end{cases} \quad (6)$$

P_t : 時刻 t における位置調整ベクトル

F_t : 時刻 t に物体に加わる力

n : 位置調整回数 (≥ 0)

ロボット移動制御(4/4)

*3 Y.Ishibashi et al., ICCE-TW, 31A-7, July 2022.

*5 石川 他, 信学技報, CQ2019-34, July 2019.

運動方程式による制御

*3

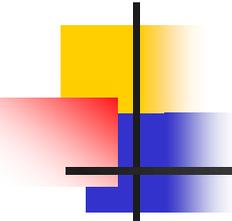
$$\mathbf{P}_t = \begin{cases} \alpha \mathbf{P}_{t-1} + K \mathbf{F}_t & (\text{if } |\mathbf{P}_{t-1}| \geq 0.1\text{mm}) \\ K \mathbf{F}_t & (\text{Otherwise}) \end{cases} \quad (7)$$

\mathbf{P}_t : 時刻 t における位置調整ベクトル

\mathbf{F}_t : 時刻 t に物体に加わる力

α : 位置調整ベクトルの係数 (=0.95)

K : 物体に加わる力にかかる係数 (=0.349)^{*5}



実験方法(1/2)

- 二つの対等なシステムを用いる
 - 利用者は触覚インタフェース装置で左右, 上下方向は操作できない
- システム1が自動で前方向に動く
 - 移動中に20mm降下させる
 - 落下速度は加速度 g , $g/2$, $g/4$, $g/8$, 等速 0.2m/s
- 利用者はシステム2を前方向に操作
- 両方のシステムの上下方向に3つのロボット移動制御をそれぞれ適用し, 効果を比較
 - 力情報を用いた制御
 - 指数関数による制御
 - 運動方程式による制御

実験方法(2/2)

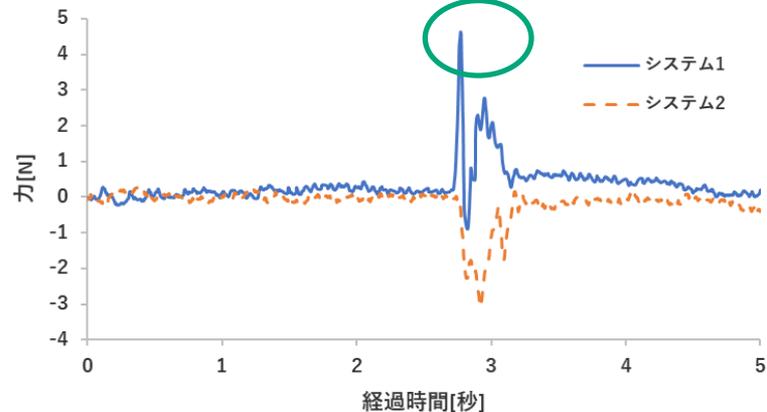
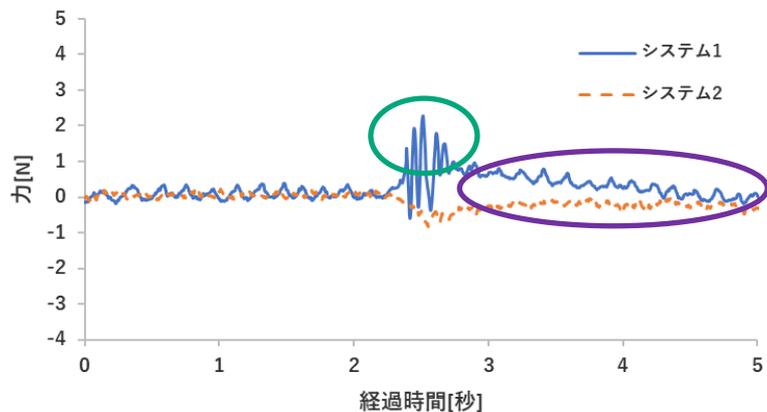


実験結果(1/6)

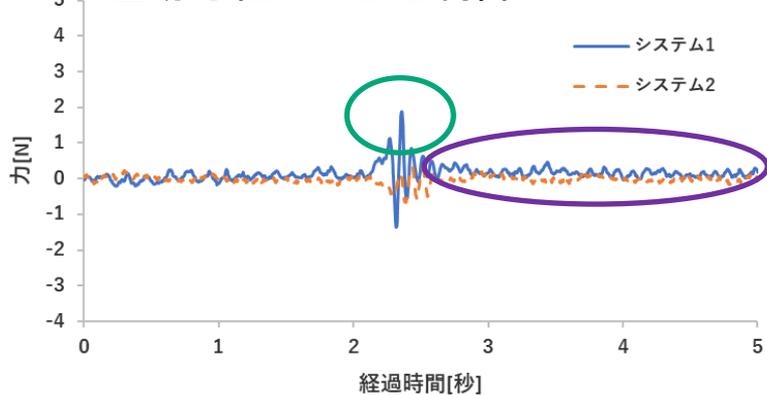
経過時間に対する力の変化

加速度: g 指数関数による制御

力情報を用いた制御



運動方程式による制御



運動方程式による制御が、力の最大値、力のかかる時間が最も小さい

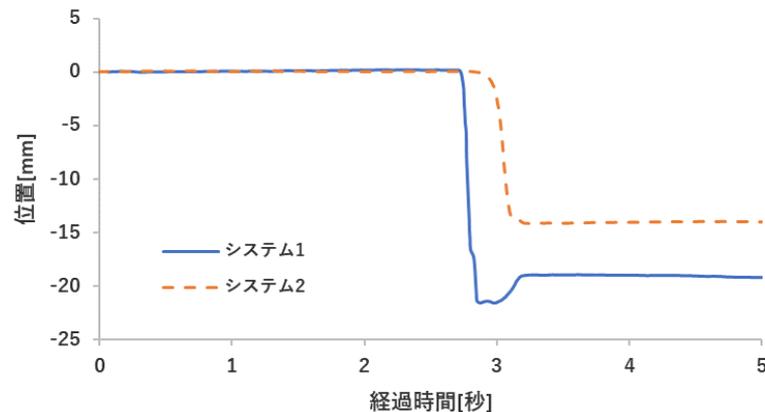
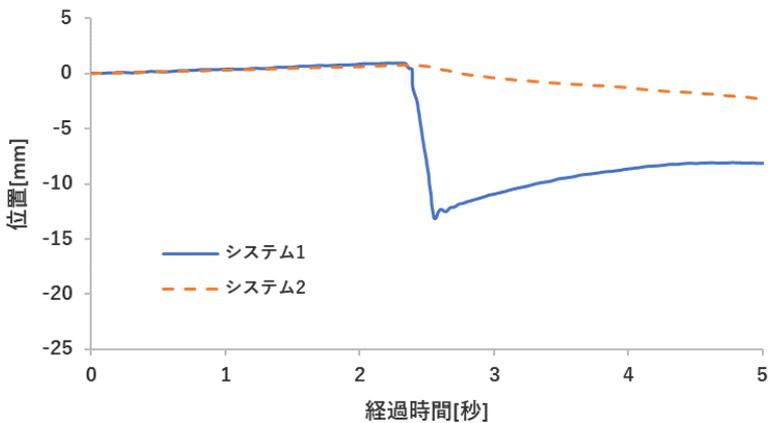
実験結果(2/6)

経過時間に対する位置の変化

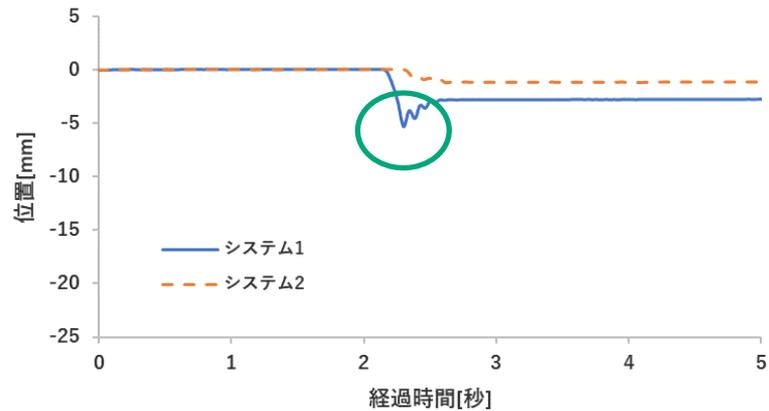
力情報を用いた制御

加速度: g

指数関数による制御



運動方程式による制御



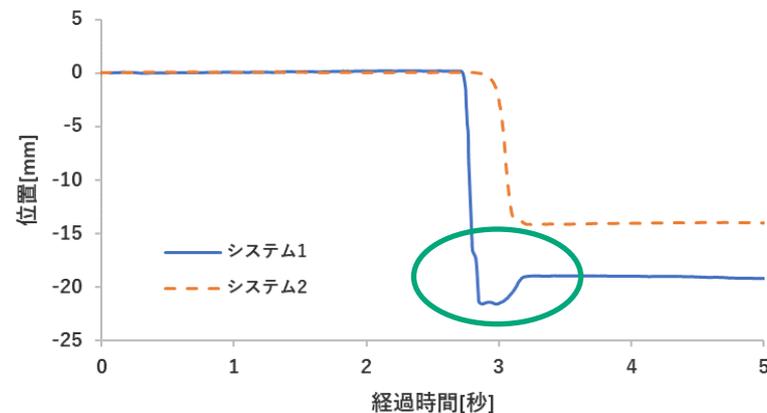
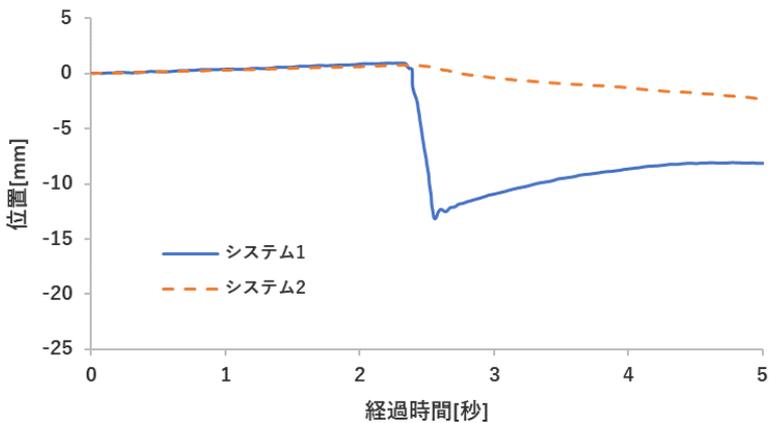
実験結果(2/6)

経過時間に対する位置の変化

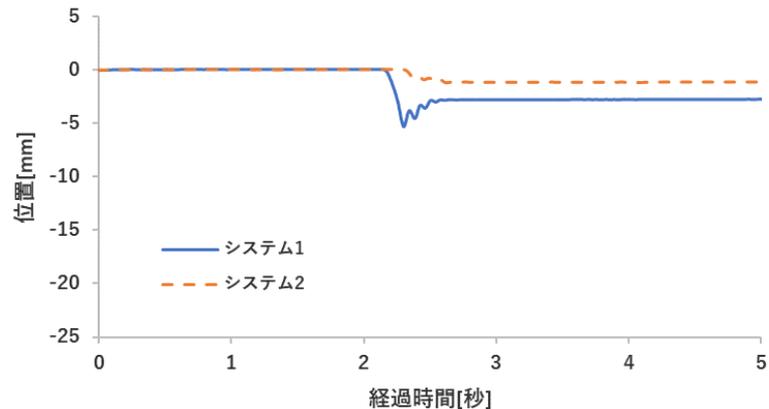
力情報を用いた制御

加速度: g

指数関数による制御



運動方程式による制御



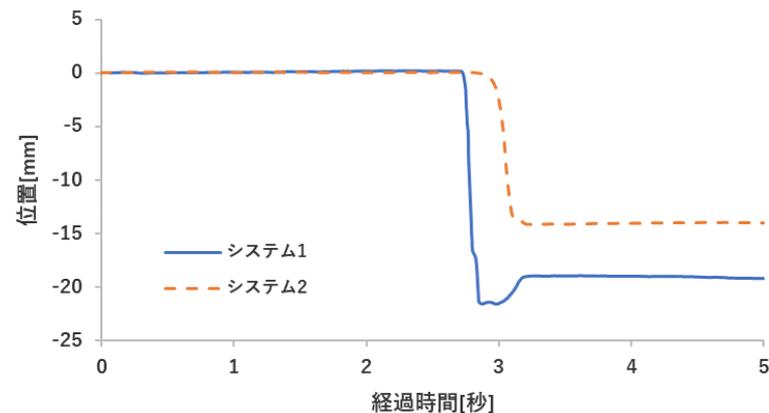
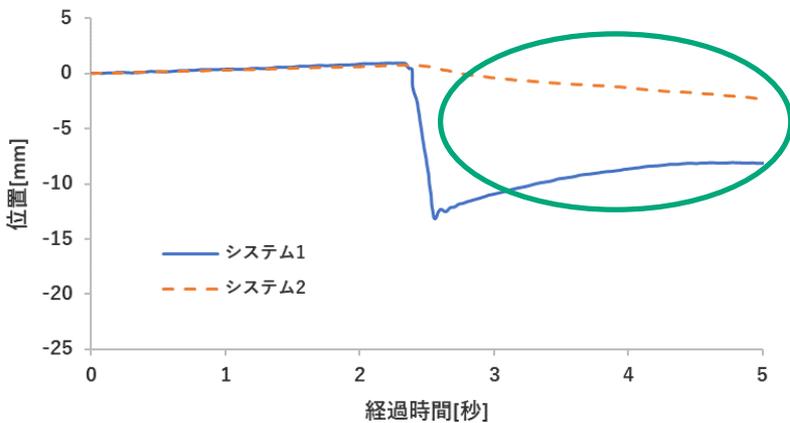
実験結果(2/6)

経過時間に対する位置の変化

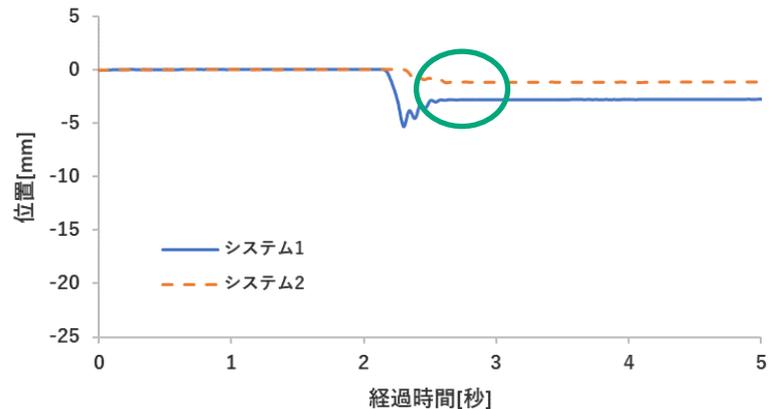
力情報を用いた制御

加速度: g

指数関数による制御



運動方程式による制御

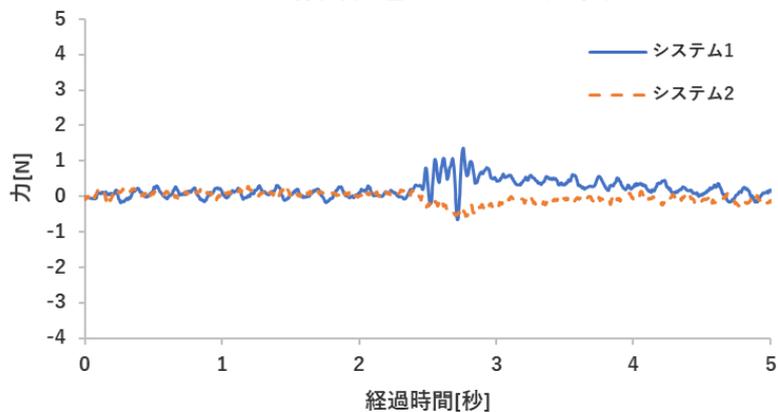


実験結果(3/6)

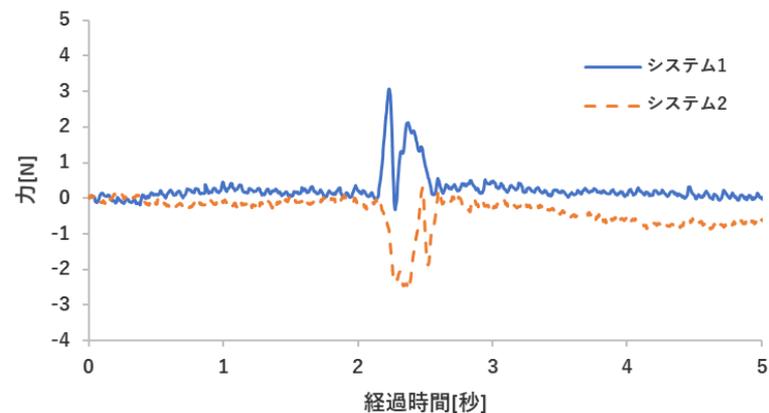
経過時間に対する力の変化

加速度: $g/2$

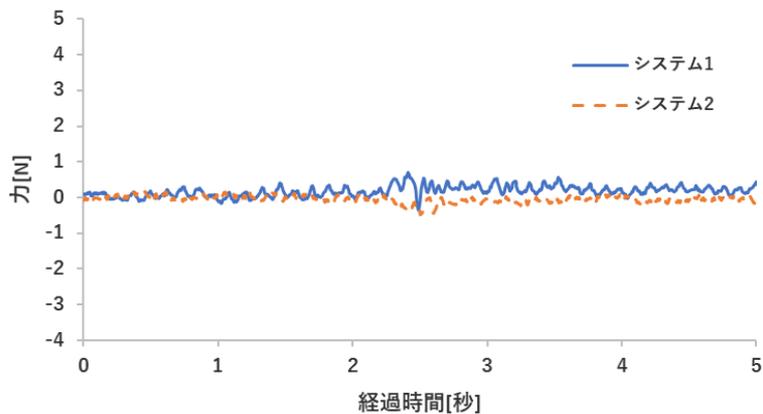
力情報を用いた制御



指数関数による制御



運動方程式による制御

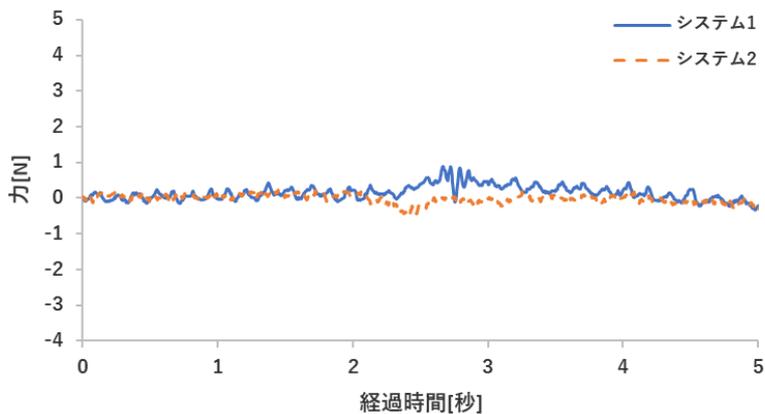


実験結果(4/6)

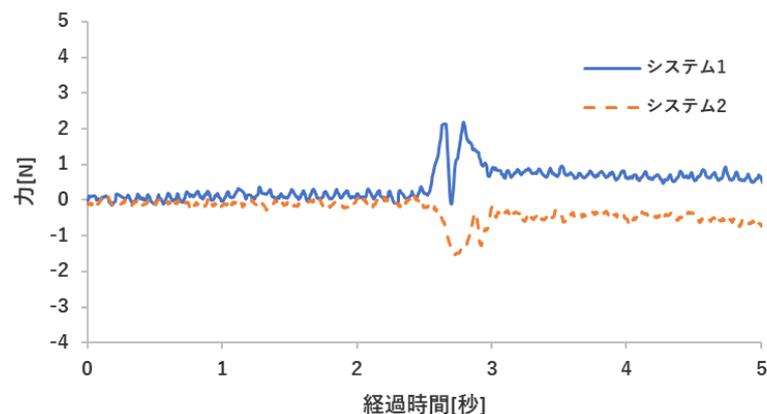
経過時間に対する力の変化

加速度: $g/4$

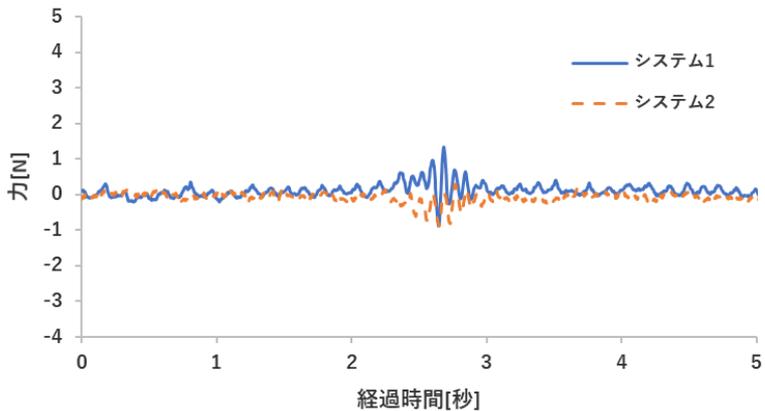
力情報を用いた制御



指数関数による制御



運動方程式による制御

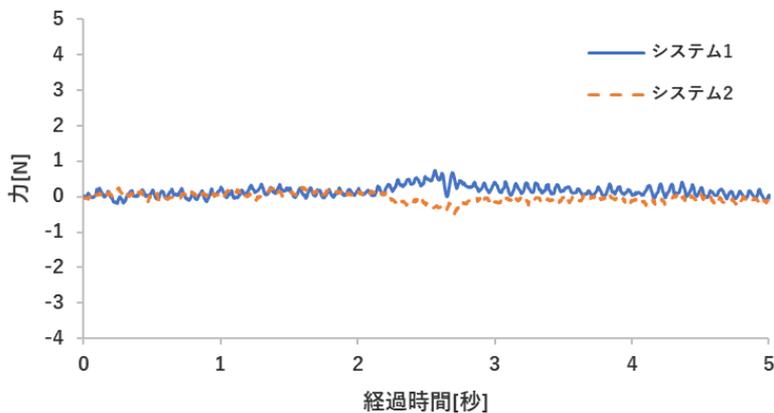


実験結果(5/6)

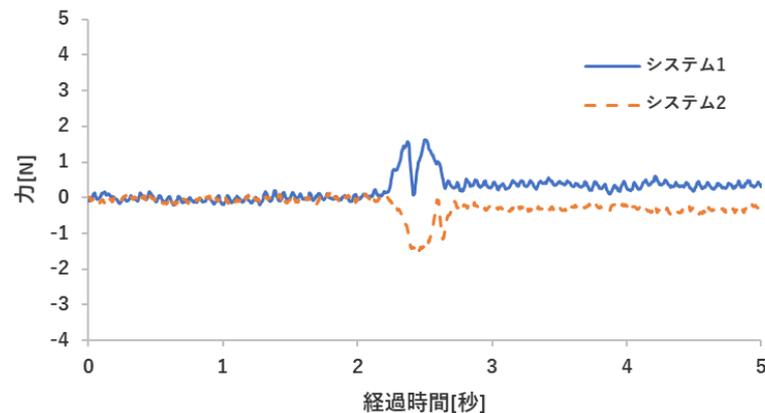
経過時間に対する力の変化

加速度: $g/8$

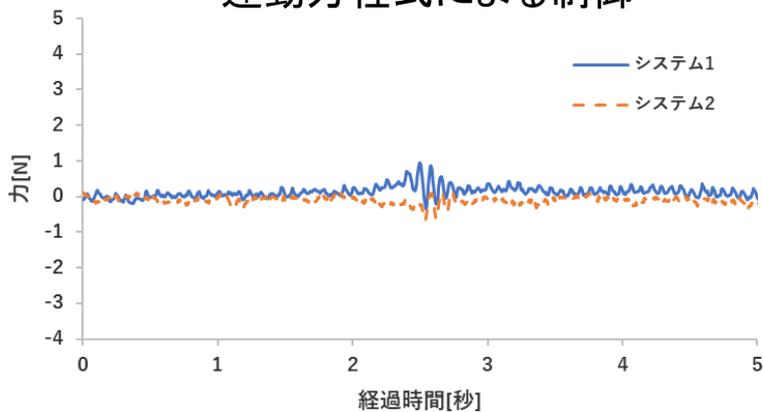
力情報を用いた制御



指数関数による制御



運動方程式による制御

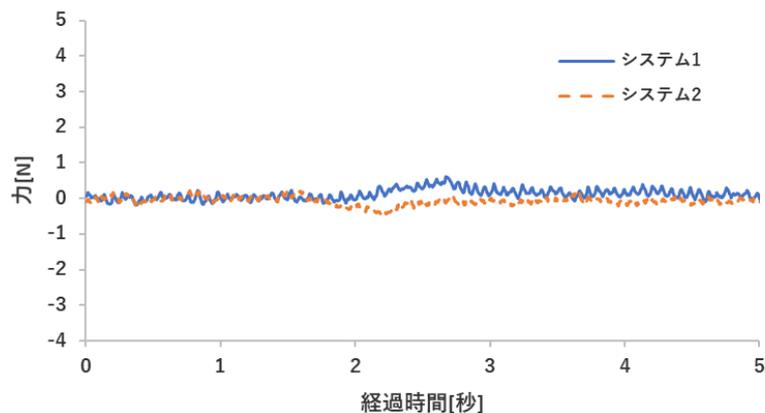


実験結果(6/6)

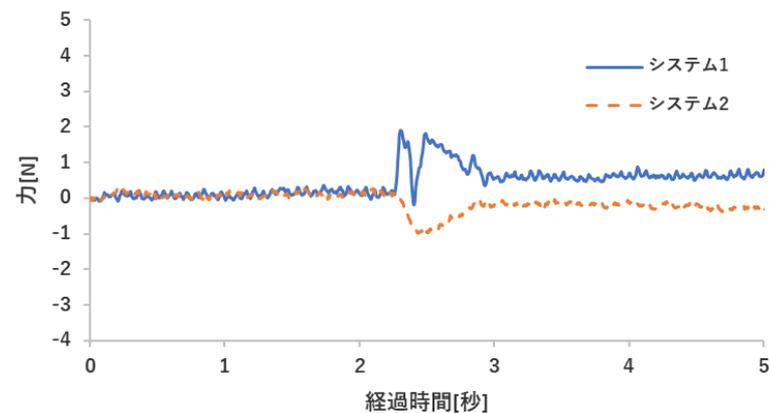
経過時間に対する力の変化

等速: 0.2m/s

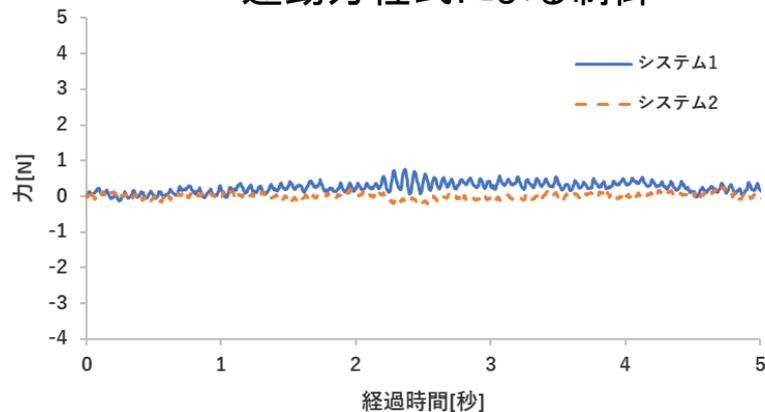
力情報を用いた制御



指数関数による制御



運動方程式による制御



結論

- 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステムを2つ用いて物体を一緒に運ぶ協調作業
 - 片方のシステムに上下に急激な位置変化
 - 実験により, 3つの制御の効果を比較
- ➡ 運動方程式によるロボット移動制御が最も効果的である

今後の課題

上昇, 前後, 左右に対しての効果の調査