

力覚フィードバックを用いた 遠隔ロボットシステム間の協調における 力情報によるロボット位置制御実験

石川 哲[†], 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 コミュニケーションクオリティ研究会(CQ)

2020年 6月 26日



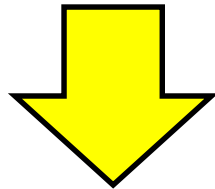
発表概要

- 背景
- 問題点と目的
- 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステム
- 一緒に物体を運ぶ作業
- 力情報によるロボット位置制御
- 実験方法
- 実験結果
- 結論と今後の課題

背景(1/2)

力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステムに関する研究が注目

- 力覚フィードバックを用いることで、物体の形状、柔らかさ、表面の滑らかさ、重さを感じることが可能
- システムを複数用いることで、多様な協調作業（物体を一緒に運んだり、手渡したり）が可能



作業の高効率化や高精度化が期待

背景(2/2)

QoS (Quality of Service) 保証のないネットワークを介して力覚情報を転送

ネットワーク遅延やその揺らぎ,
パケット欠落など

- ユーザ体感品質(QoE: Quality of Experience)が大きく劣化
- ロボット動作が不安化

QoS制御 & 安定化制御


問題点

*1 S. Ishikawa *et al.*, Prof. WSCE, Dec. 2019.

*2 P. Huang *et al.*, IJCNS, July 2019.

従来研究*1

- フィルタによる安定化制御*2を適用した二つのシステムを用いて一緒に物体を運ぶ協調作業を扱い, QoS制御として**力情報によるロボット位置制御**をシステムに適用
- 実験のために, 一方のシステムは自動で操作, 利用者はもう一方のシステムを操作
- 制御によりロボット位置を微調整

- 
- ✓ 制御は利用者が操作するシステムのみで行う方が良し
 - ✓ 位置調整の最適値が存在
 - ✓ 最適値では, 物体に加わる力が最小

問題点

- ✓ 人が操作するロボット間の協調作業は未調査

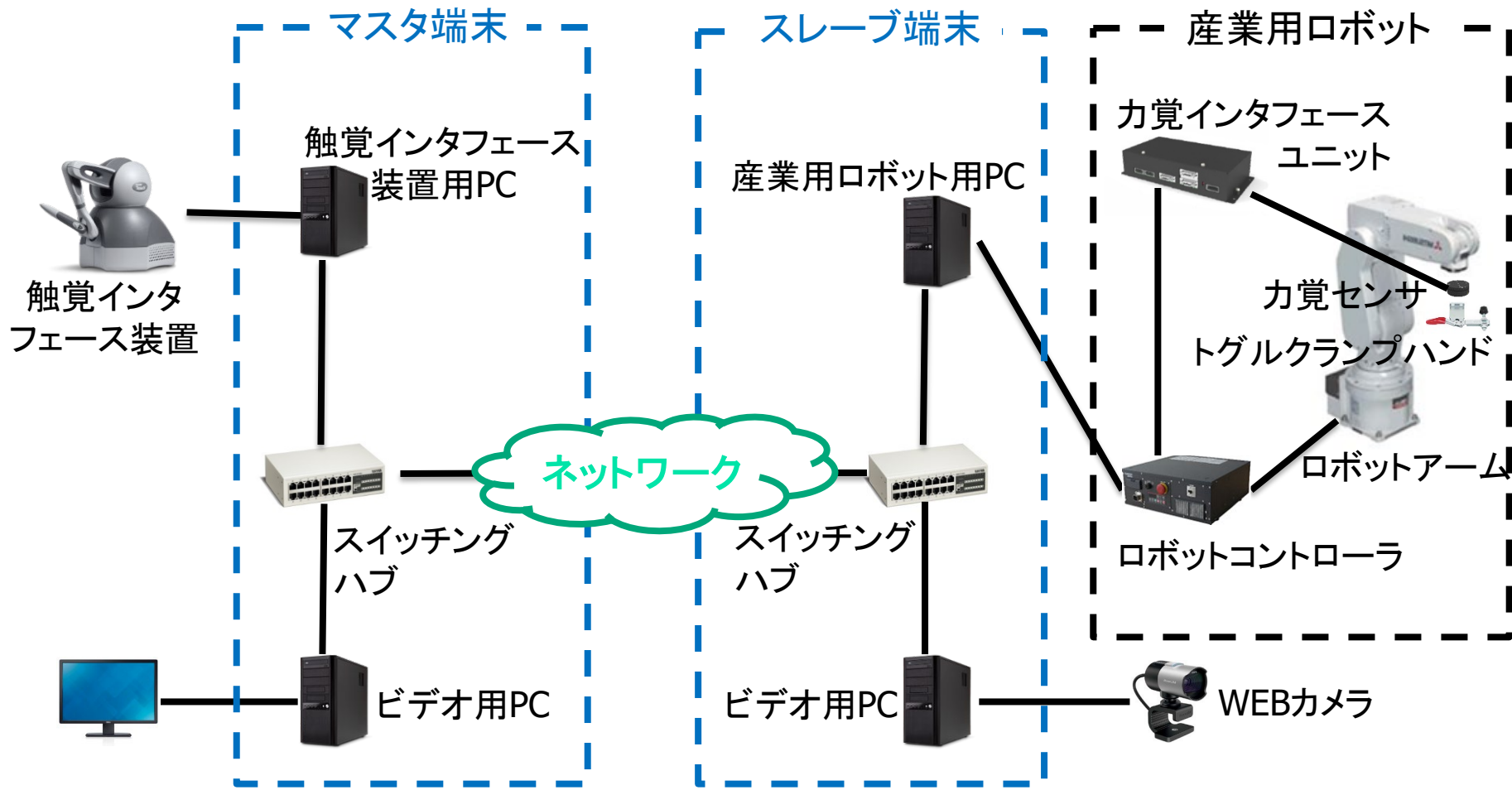


目的

本研究

- フィルタによる安定化制御を適用した二つのシステムを用いて、一緒に物体を運ぶ作業を対象とし、利用者が二つのロボットを操作する場合を調査
- 利用者が両方のシステムを操作するので、力情報によるロボット位置制御を片方だけで行う場合と、両方のシステムで行う場合が考えられるため、どちらが優れているを調査

力覚フィードバックを用いた 遠隔ロボットシステムの構成



実験では、二つのシステムを使用

反力の計算方法

*1 S. Ishikawa *et al.*, Prof. WSCE, Dec. 2019.

マスタ端末で出力される反力

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

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

$\mathbf{F}_t^{(s)}$: 時刻 $t(> 0)$ にマスタ端末がスレーブ端末から受信した力

力覚センサの値に、マスタ端末で一定の倍率($K_{\text{scale}} = 0.33^{*1}$)をかけて触覚インタフェース装置によって反力を提示

位置の計算方法

*3 K. Suzuki *et al.*, Prof. GCCE, Oct. 2015.

ロボットアームの位置

$$S_t = \begin{cases} M_{t-1} + V_{t-1} & (\text{if } |V_{t-1}| \leq V_{\max}) \\ M_{t-1} + V_{\max} \frac{V_{t-1}}{|V_{t-1}|} & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2)$$

S_t : 時刻 $t (> 0)$ におけるロボットアームの位置ベクトル

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

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移動速度 (5mm/ms^{*3})

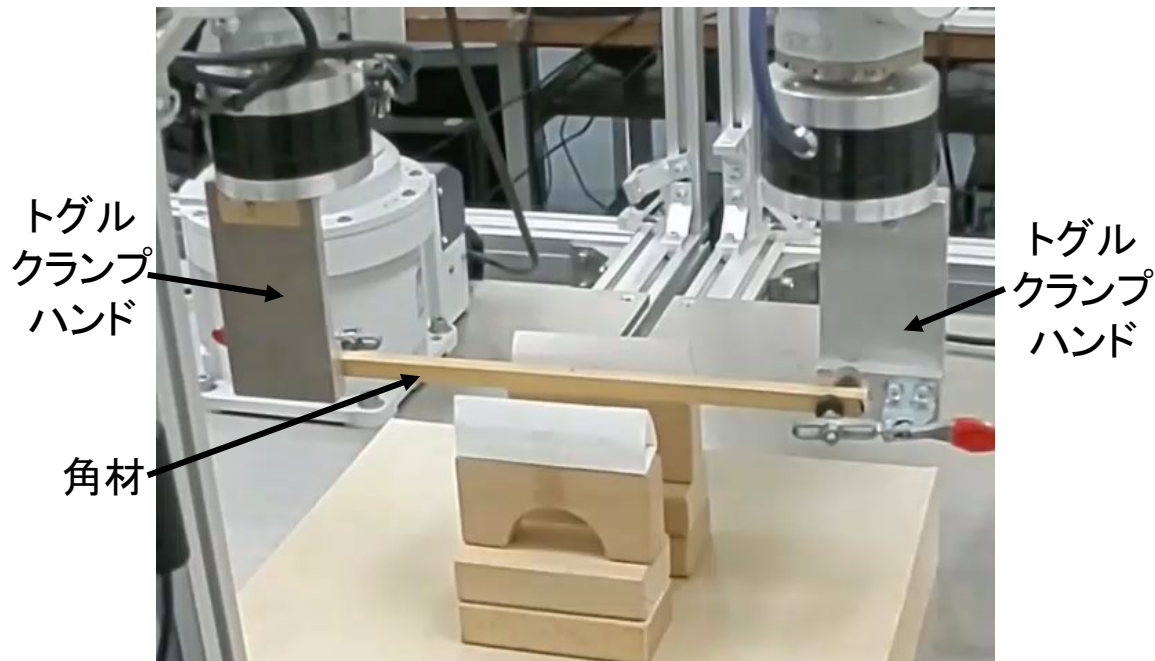
一緒に物体を運ぶ作業

*2 P. Huang *et al.*, IJCNS, July 2019.

- 一人の利用者が二つの触覚インタフェース装置を両手で操作することで、角材を一緒に運ぶ作業
- 安定な操作を確保するために、ロボットアームは左右方向(y軸)と上下方向(z軸)には動かないようにし、フィルタによる安定化制御*2を適用



マスタ端末側



スレーブ端末側



力情報によるロボット位置制御(1/2)

- 力情報によるロボット位置制御は, 角材に加わる力を軽減するためにロボット位置を微調整する制御
- 時刻 $t(> 0)$ におけるロボットアームの位置ベクトル \widehat{S}_t を式(2)で得られる S_t に P を加えた値とする

$$\widehat{S}_t = S_t + P \quad (3)$$

P : 二つのロボットアームの位置ベクトルの差を小さくするような値を有するベクトル

力情報によるロボット位置制御(2/2)

- 二つのロボットアームのトグルクランプハンドで角材の両端を把持
- 片方のロボットアームを動かし, 角材に加わる力を測定*4

$$P_x = a_x F_x \quad (4)$$

P_x : ロボットアームの移動距離

F_x : 力覚センサが検知した力ベクトル

a_x : 角材の長さ l に対する係数*1

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

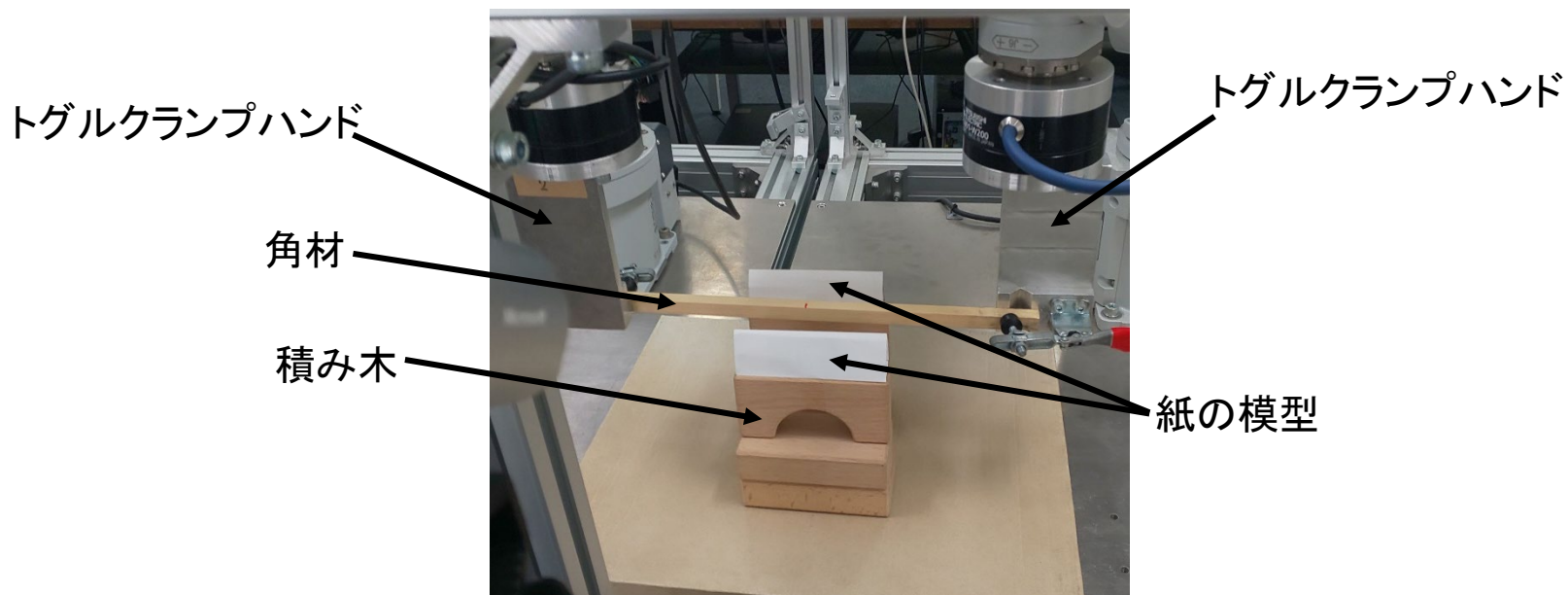
式(4), (5)により, 長さ l [cm]の角材における力ベクトルから二つのロボットアームの位置ベクトルの差が計算可能

*1 S. Ishikawa *et al.*, Prof. WSCE, Dec. 2019.

*4 Q. Qian *et al.*, Prof. ICC, Dec. 2018.

実験方法(1/2)

- 二つのロボットアームで一つの角材を把持し、一緒に運ぶ作業
- 利用者は二つの触覚インターフェース装置を両手で操作
- 角材: 1cm × 1cm × 30cm (高さ × 幅 × 長さ)
- 動かし方を統一するために、角材の初期位置の前後に積み木と紙の模型を配置



スレーブ端末側



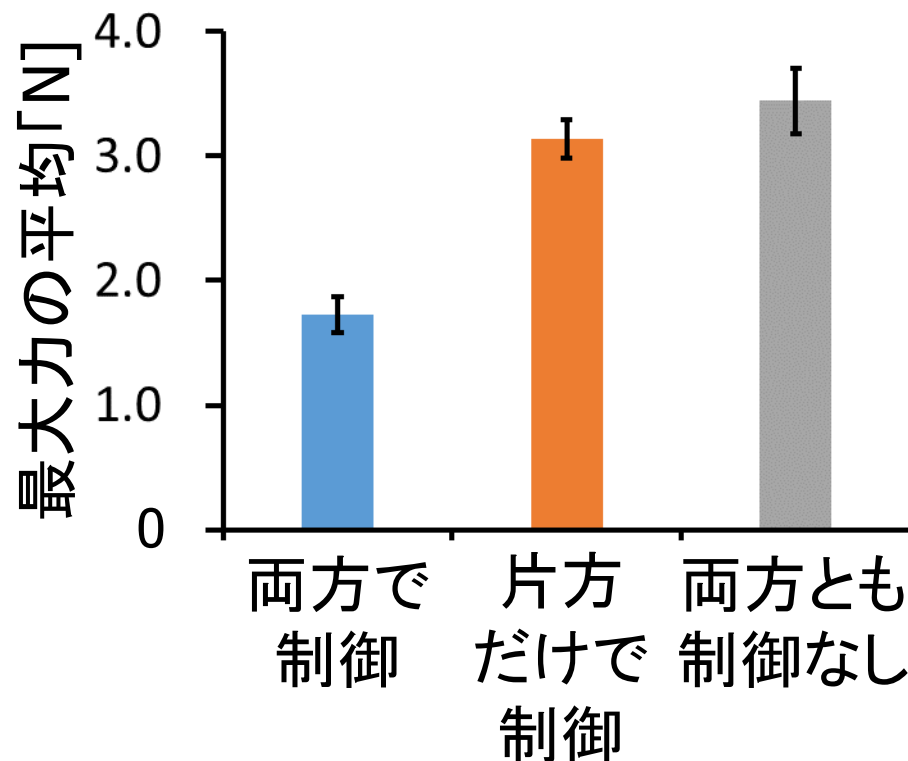
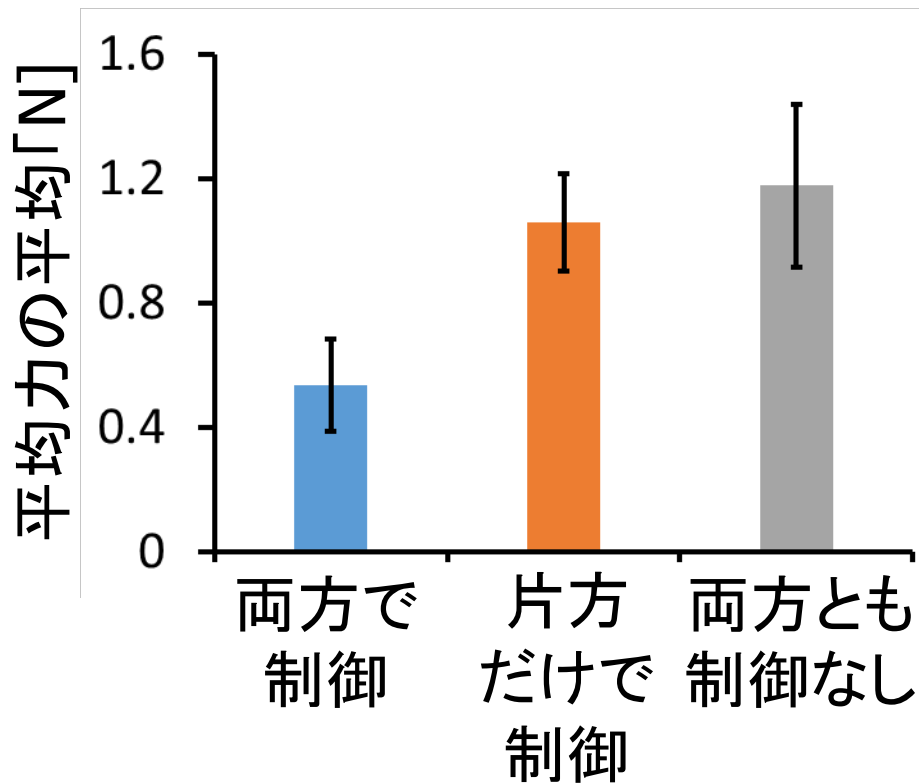
実験方法(2/2)

- 力情報によるロボット位置制御を両方のシステムで行う場合、片方のシステムだけで行う場合、両方とも行わない場合で協調作業を行う
- 3通りをランダムな順番で10回ずつ行い、各作業において角材に加わった力の平均と最大を測定
- 10個の力の平均と最大からそれぞれ平均(平均力の平均, 最大力の平均)を求め、3つの場合で比較

実験結果(1/4)

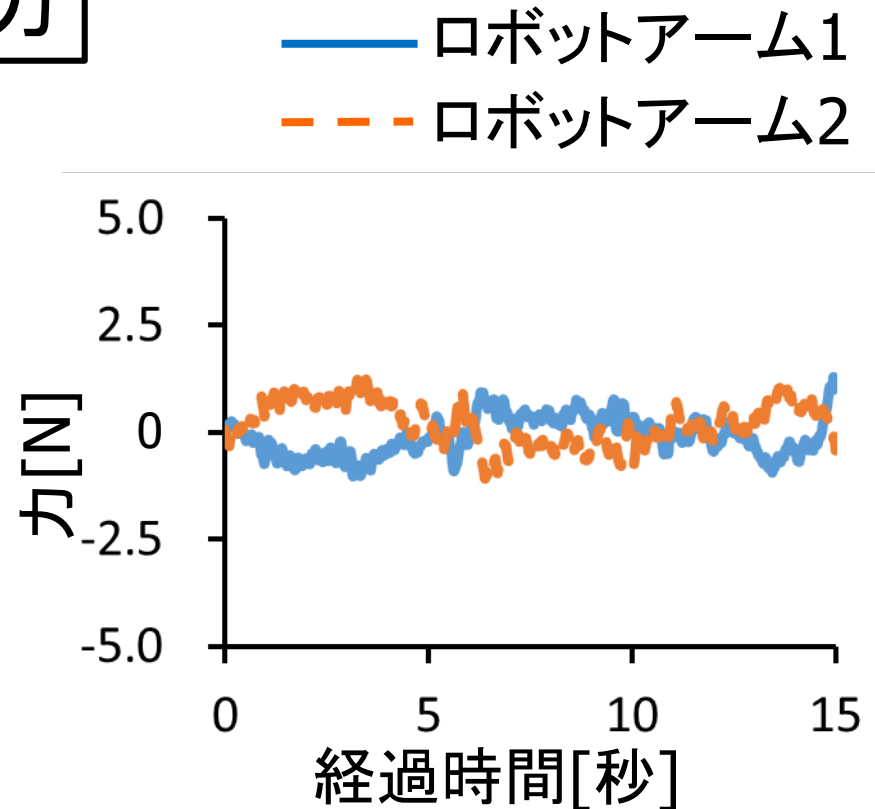
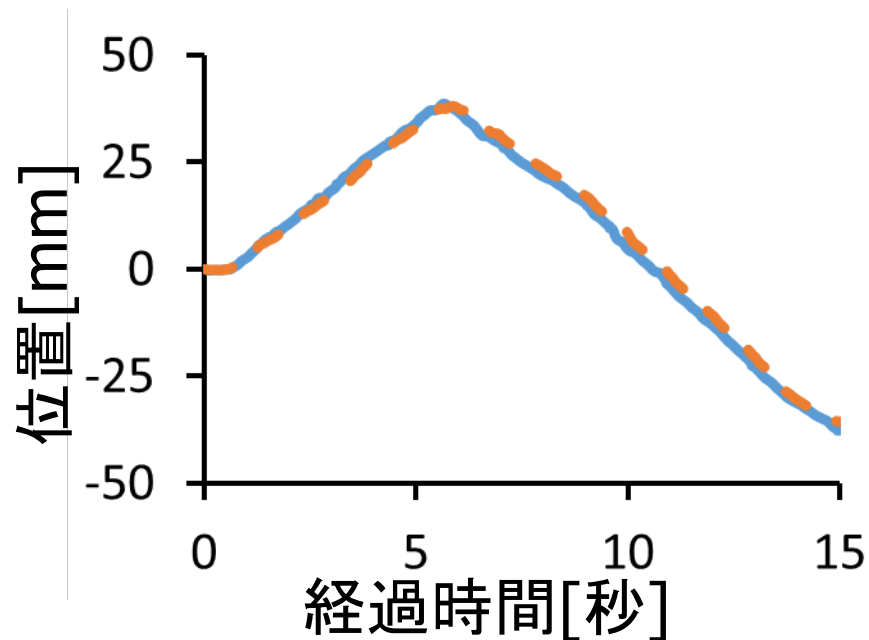
平均力の平均と最大力の平均

I : 95%信頼区間



実験結果(2/4)

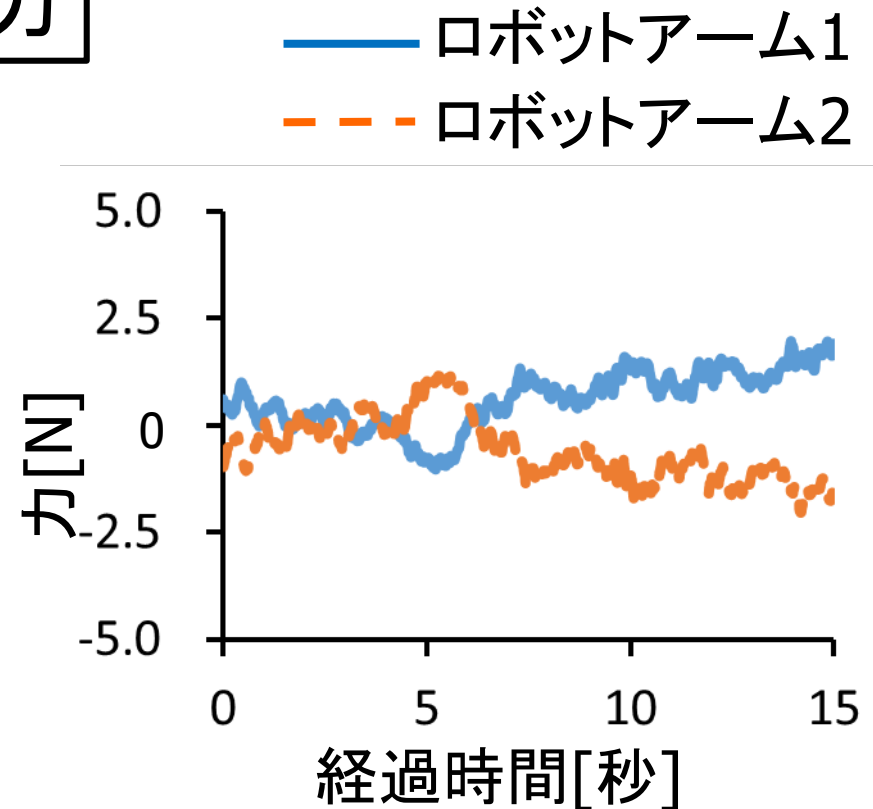
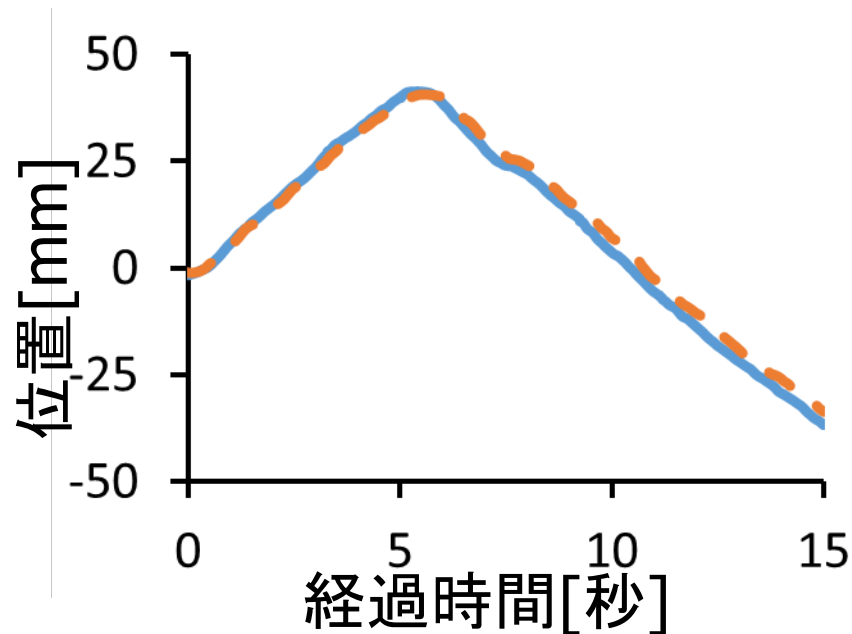
経過時間に対する位置と力



両方のシステムで制御

実験結果(3/4)

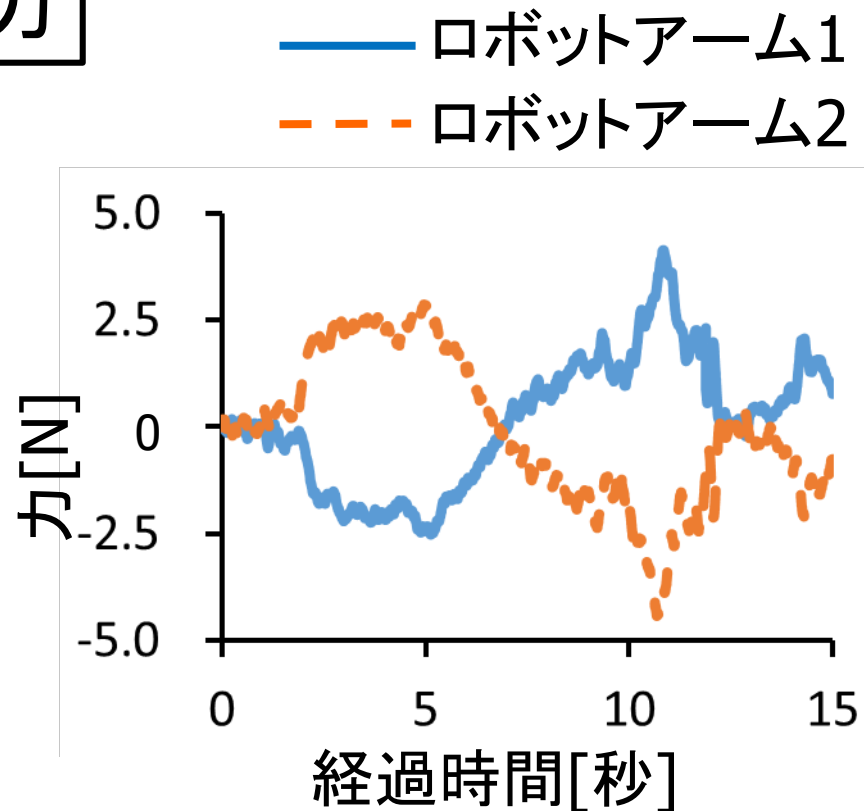
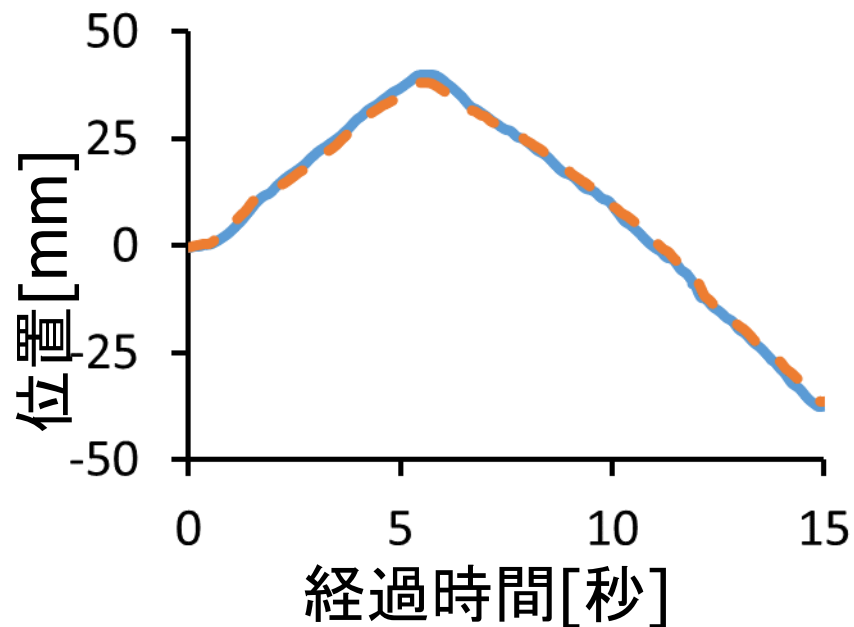
経過時間に対する位置と力



片方のシステムだけで制御

実験結果(4/4)

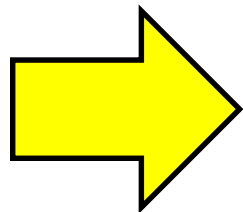
経過時間に対する位置と力



両方ともで制御なし

結論

- 力覚フィードバックを用いた二つの遠隔ロボットシステムにおいて、一つの物体を一緒に運ぶ作業を実施
- 力情報によるロボット位置制御を両方のシステムで行う場合、片方のシステムだけで行う場合、両方とも行わない場合をそれぞれ比較



- ✓ 制御を両方で行う場合に物体に加わる力が最小
- ✓ 両方とも行わない場合に物体に加わる力が最大

制御を両方のシステムで行う場合が最良



今後の課題

- ロボットが動作する軸の数を増加
- ネットワーク遅延の影響を調査
- 二人の利用者がそれぞれ触覚インタフェース装置を用いて作業を行う場合を調査