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作業における安定化制御および QoS 制御実験: 物体を手渡す作業

リ　ラクショウ[1]，石橋　豊[1]，黄　平国[2]，立岩　佑一郎[1]

[1]名古屋工業大学，[2]岐阜聖徳学園大学

映像情報メディア学会 学会創立70周年記念大会
2020年　12月22日

発表概要

- 背景
- 先行研究と問題点
- システム構成
- 力情報を用いたロボット位置制御
- フィルタによる安定化制御
- 実験方法
- 実験結果
- まとめと今後の課題

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

ユーザは、触覚インタフェース装置を使用して，力覚センサーを備えたロボットアームを遠隔で操作

- システムを複数用いることで，様々な作業を行うことが可能

力覚フィードバックを用いることにより，物体の形状，表面の滑らかさ，柔らかさ，重さを知覚することが可能

作業の効率と精度が大幅に向上することが期待

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伝達

ネットワーク遅延、遅延揺らぎ、パケット欠落

ユーザ体感品質
(QoE: Quality of Experience)
が劣化

不安定現象が発生

◆ 安定化制御
◆ QoS制御

先行研究

*1 Q. Qian *et al.*, Proc. ICCET, Apr. 2019.

- 協調作業として，二つのシステムのロボット間で一つの物体を手渡す作業を扱い，安定化制御の効果を調査*1

安定化制御により，平均作業時間が短縮されることを確認

問題点

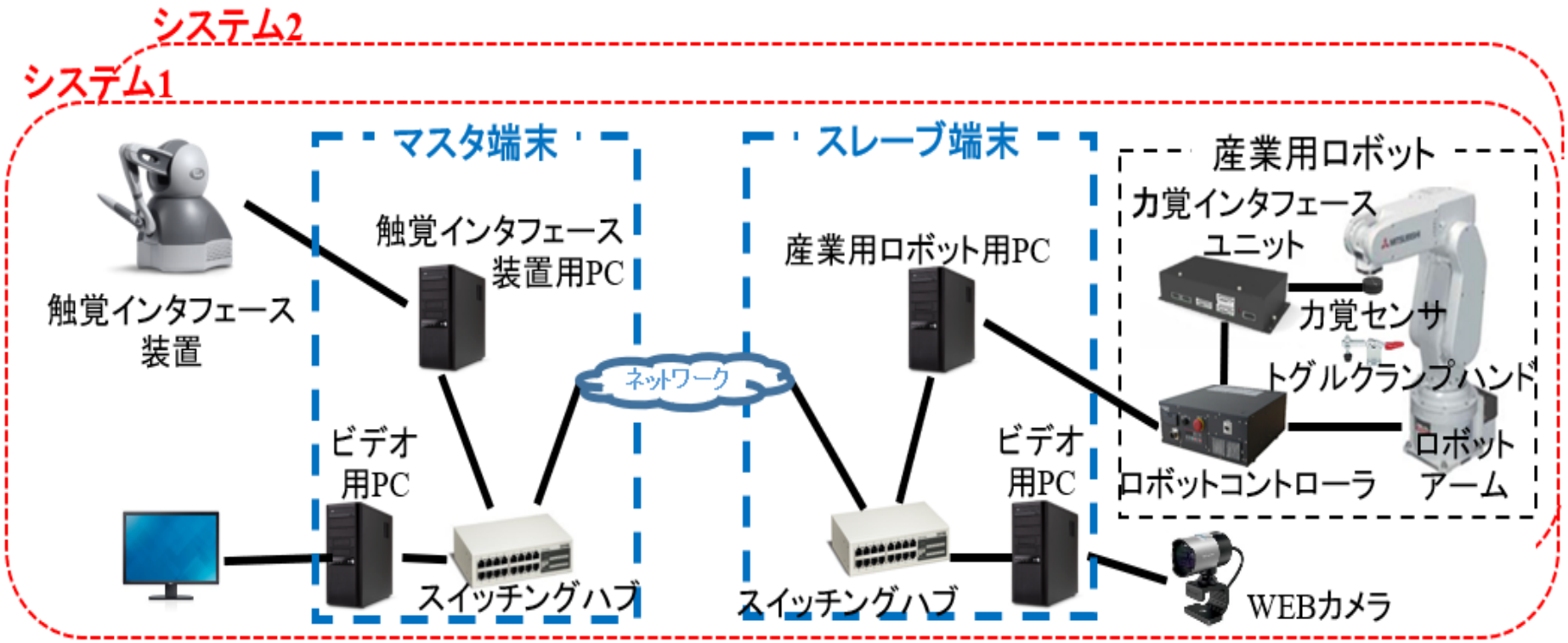
- ✓ **安定化制御と QoS 制御を組み合わせた効果は明らかにされていない**
- ✓ **平均作業時間だけではなく，角材に加わる力を調査する必要**

本研究

・二つのシステムのロボット間で物体を手渡す作業を対象とし，フィルタによる安定化制御と，QoS制御として力情報を用いたロボット位置制御の効果を調査

・フィルタによる安定化制御と，力情報を用いたロボット位置制御を独立に行う場合と二つの制御を組み合わせて行う場合の比較

システム構成


システム2
システム1
マスタ端末
スレーブ端末
産業用ロボット
触覚インタフェース装置
触覚インタフェース装置用PC
ネットワーク
産業用ロボット用PC
力覚インタフェースユニット
力覚センサ
トグルクランプハンド
ロボットコントローラ
ロボットアーム
ビデオ用PC
ビデオ用PC
スイッチングハブ
スイッチングハブ
WEBカメラ

位置の計算方法

ロボットアームの位置

$$\boldsymbol{S}_t = \begin{cases} \boldsymbol{M}_{t-1} + \boldsymbol{V}_{t-1} & (\mathrm{if}|\boldsymbol{V}_{t-1}| \leq V_{\max}) \\ \boldsymbol{M}_{t-1} + V_{\max}\dfrac{\boldsymbol{V}_{t-1}}{|\boldsymbol{V}_{t-1}|} & (\mathrm{otherwise}) \end{cases}$$

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

$\boldsymbol{M}_t$:時刻$t(>0)$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

$\boldsymbol{V}_t$: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)

力情報を用いたロボット位置制御[*2]

*2 S. Ishikawa *et al.*, Proc.WSCE, Dec. 2019.

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

$$\widehat{\boldsymbol{S}_t} = \boldsymbol{S}_t + \boldsymbol{P}$$

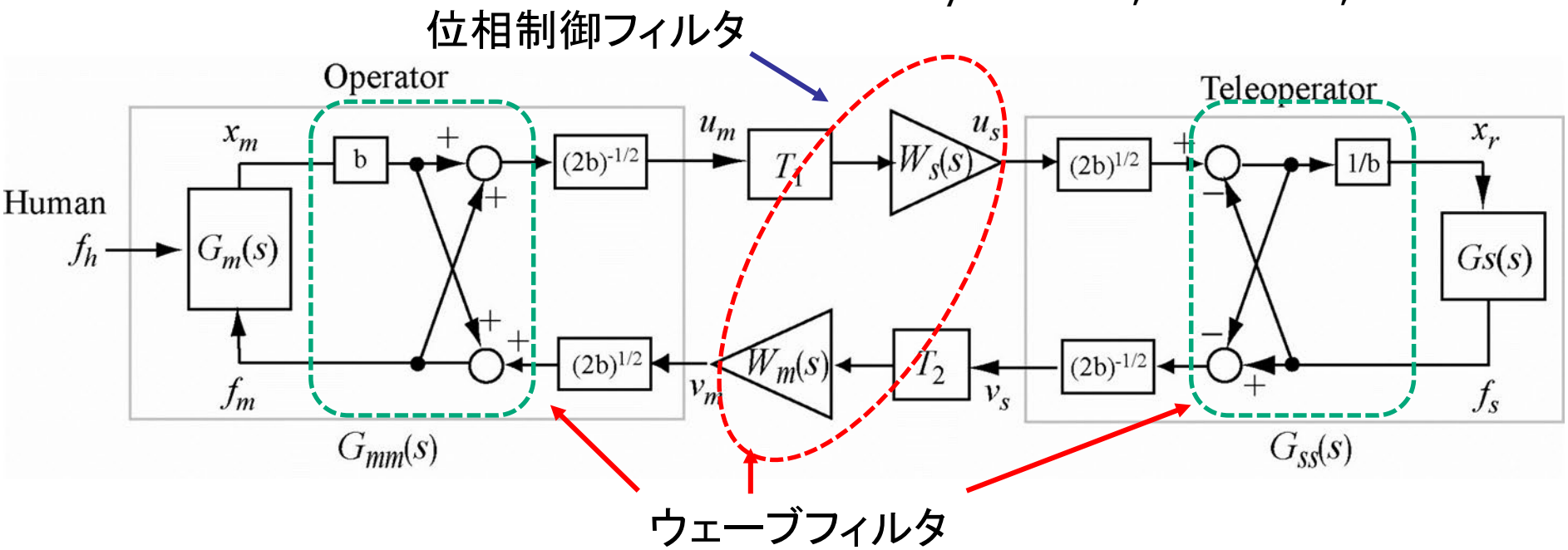
$\widehat{\boldsymbol{S}_t}$:時刻$t(> 0)$におけるロボットアームの新しい位置ベクトル

$\boldsymbol{S}_t$:時刻$t(> 0)$における触覚インターフェースによって計算されたロボットアームの位置ベクトル

$\boldsymbol{P}$:位置調整ベクトル

フィルタによる安定化制御*3

*3 T. Miyoshi *et al.*, Proc. IEEE, Oct. 2006.



$G_m(s)$:マスタの伝達関数
$G_s(s)$:スレーブの伝達関数
x_m:マスタの位置
x_r:スレーブへの位置の指令値

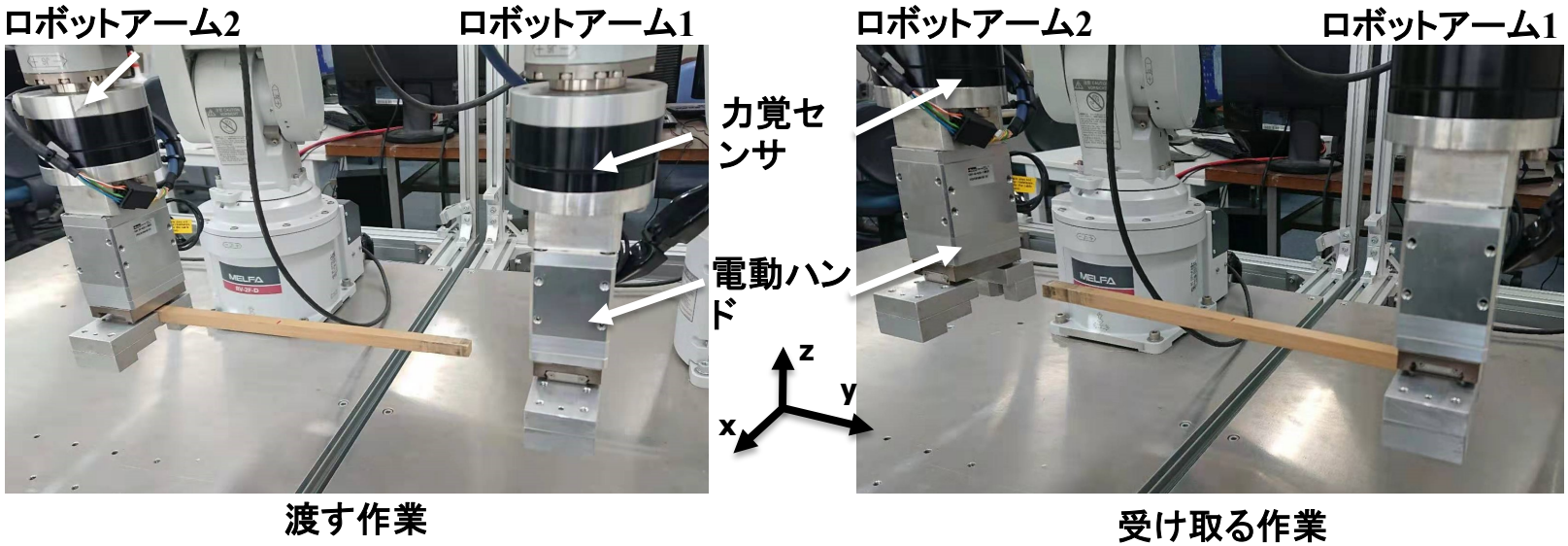
f_m:マスタが操作者に伝える力
f_s:スレーブが受ける力
f_h:操作者の意図した力
T_1, T_2:ネットワーク遅延

実験方法

・二つのロボットアームで，ロボットアーム2が角材を渡す作業，または角材を受け取る作業

・角材(木の棒)は1cm×1cm×30cm (高さ×幅×長さ)

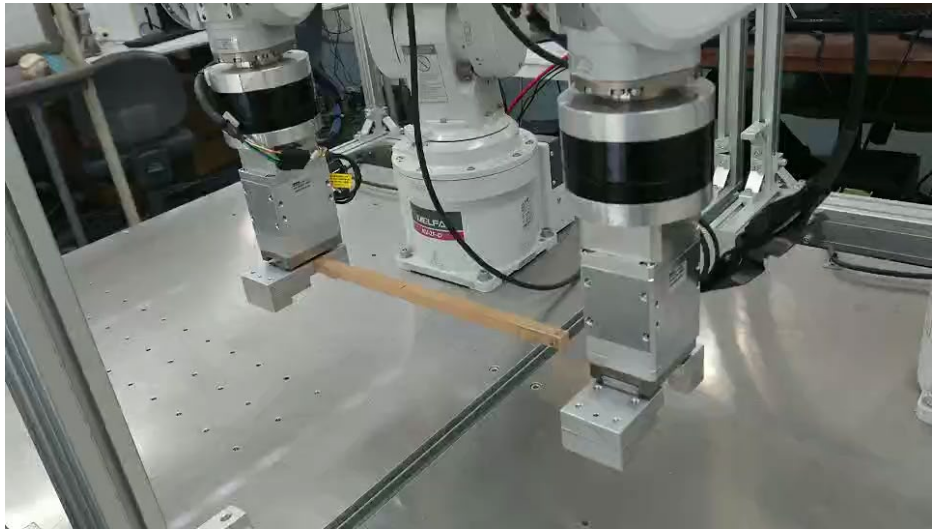
・実験は二人の操作者で行う，一人はロボットアーム1を操作し，もう一人はロボットアーム2を操作



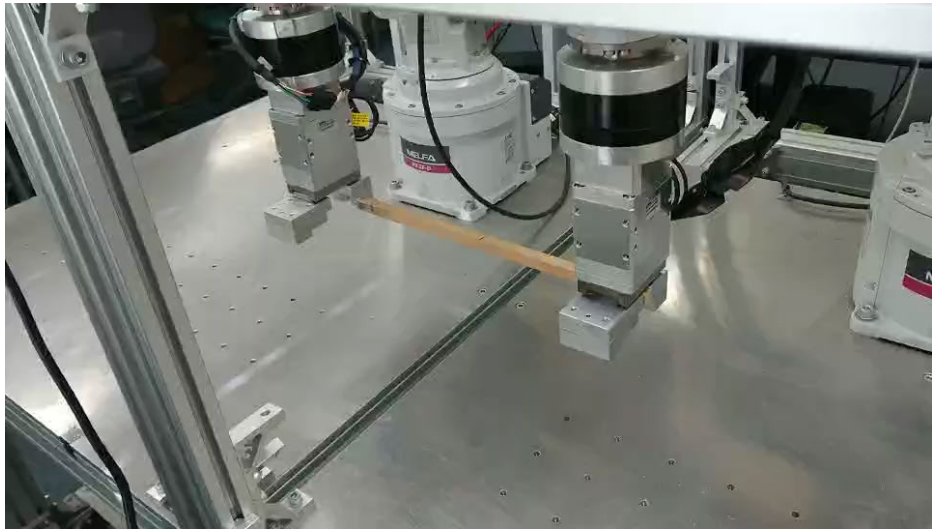
渡す作業　　受け取る作業

実験方法

ロボットアーム2が角材を渡す作業



ロボットアーム2が角材を受け取る作業



実験方法

・実験は，各制御が行われるか否かによって次の四種類に分けられた：

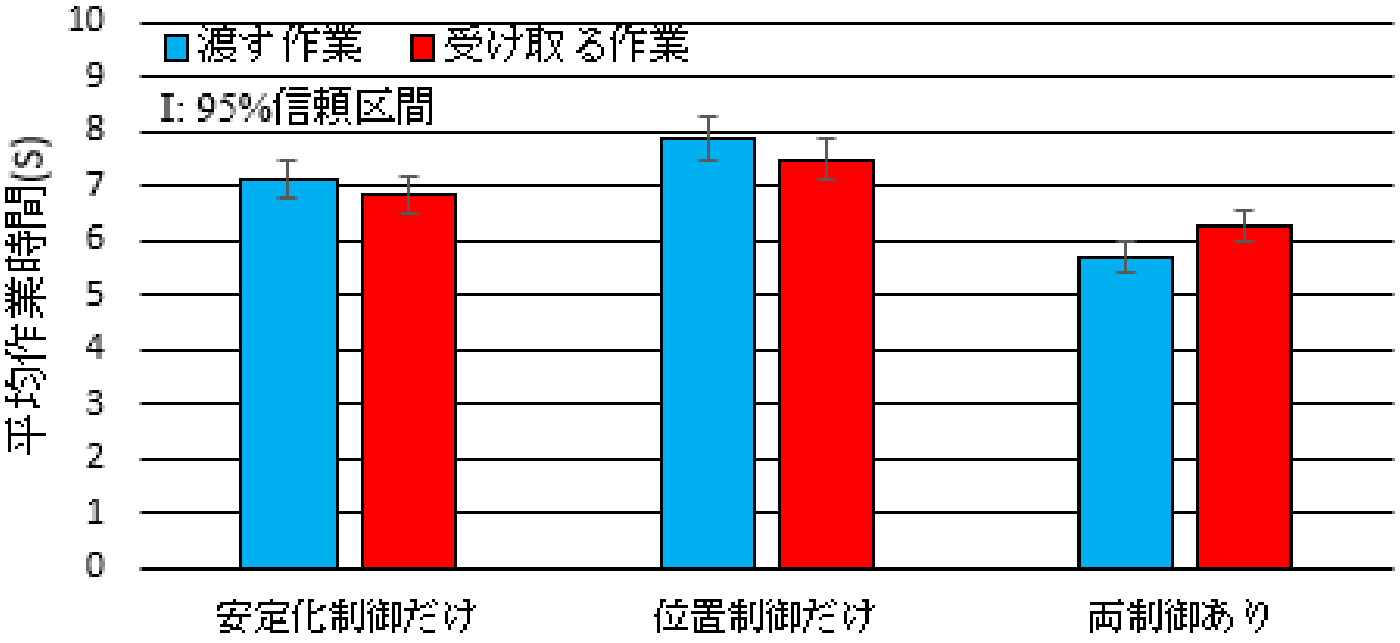
①両制御を行わない場合　　②安定化制御だけの場合

③位置制御だけの場合　　④両制御を行う場合

・作業は各場合に対して遅延を0msとし，10回ずつ行い，ロボットアームの最大力の平均と平均作業時間を測定

実験結果(1/3)

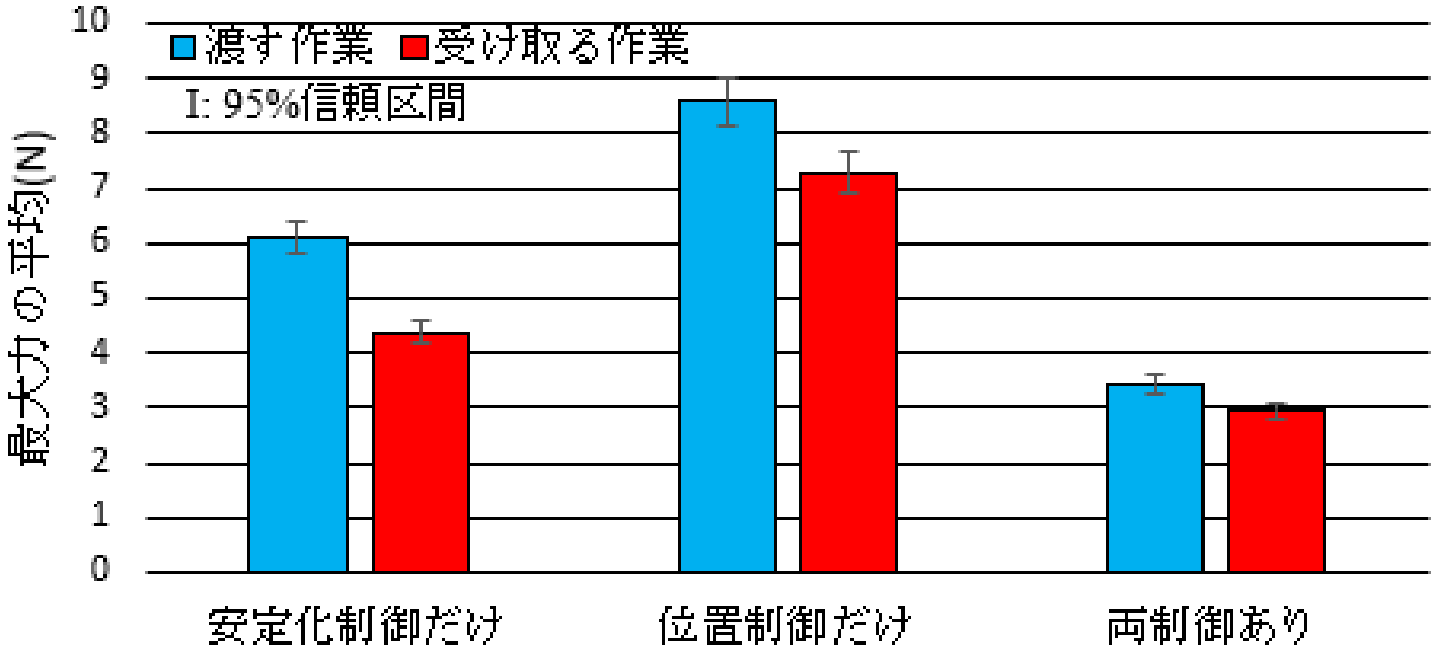
平均作業時間



・両制御を行わない場合，ロボットアームと触覚インタフェース装置が大きく振動して，不安定となったため，作業を行うことができなかった

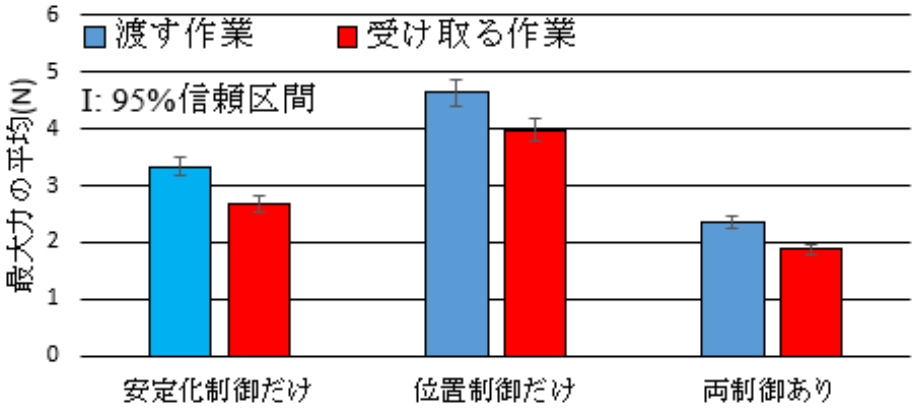
実験結果(2/3)

最大力の平均(前後方向)

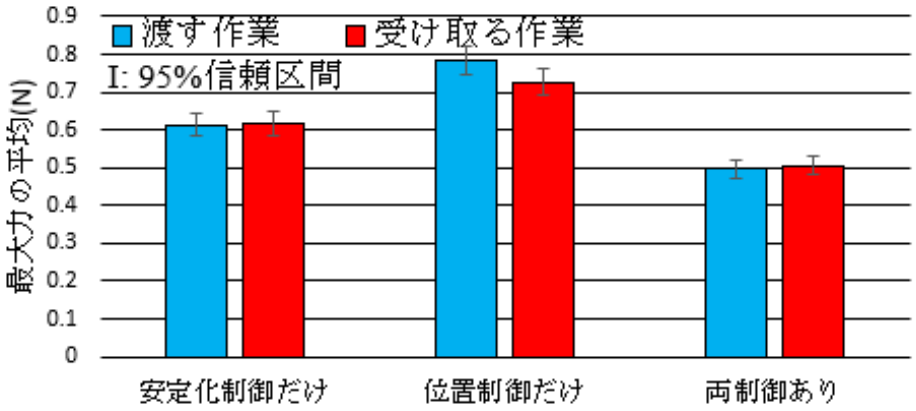


実験結果(3/3)

最大力の平均(左右方向)



最大力の平均(上下方向)



まとめ

・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，物体を手渡す作業を実施

・フィルタによる安定化制御と，力情報を用いたロボット位置制御の効果を各場合で比較

↓

・フィルタによる安定化制御と力情報を用いたロボット位置制御，両方を用いた場合に物体に加わる力最大力が最小

・制御を単独で行う場合，力情報を用いたロボット位置制御より，フィルタによる安定化制御のほうが効果的

今後の課題

・二つのロボットシステム間の協調だけでなく，ロボットシステムと人の間の協調においても制御の有効性を調査