



力覚を用いた遠隔ロボットシステム間の 協調作業実験

田口 英次郎[†], 石橋 豊[†], 黄 平国^{††}, 立岩佑一郎[†]
[†]名古屋工業大学, ^{††}星城大学

電子情報通信学会総合大会
2018年 3月 21日 東京電機大学



発表概要

- 背景
- 目的
- 力覚を用いた遠隔ロボットシステム
- 反力の計算方法
- 実験方法
- 実験結果
- 結論と今後の課題

背景

力覚を用いた遠隔ロボットシステムに関する研究が注目

- 物体の形状, 柔らかさ, 重さなどを伝達することが可能であるため, 作業効率の向上や高精度化が期待
- システムを複数用いて協調作業を行うことで, 物体を運んだり手渡したりなどの様々な作業が可能

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送

ネットワーク遅延など

- ユーザ体感品質
(QoE: Quality of Experience)の劣化
- ロボット動作の
安定性が損失

QoS制御を行うため, その影響を調査することが必要

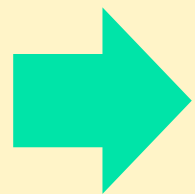
目的(1/2)

*1 K. Suzuki *et al.*, Proc. IEEE GCCE, Oct. 2015.

*3 黄 他, 信学技報, CQ2016-125, Mar. 2017.

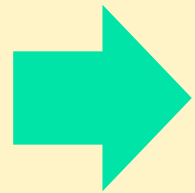
従来研究

力覚を用いた遠隔ロボットシステムを対象に, 金属棒を穴に入れる作業を扱い, ネットワーク遅延が作業効率に及ぼす影響を調査^{*1}



システムを一つ用いる場合の影響は調査されているが, 複数用いる場合は必ずしも十分には検討されていない

反力を緩やかに増加させる衝突時反力制御を提案し, その効果をQoE評価^{*2}



システムの不安定現象が抑制されることが示されている

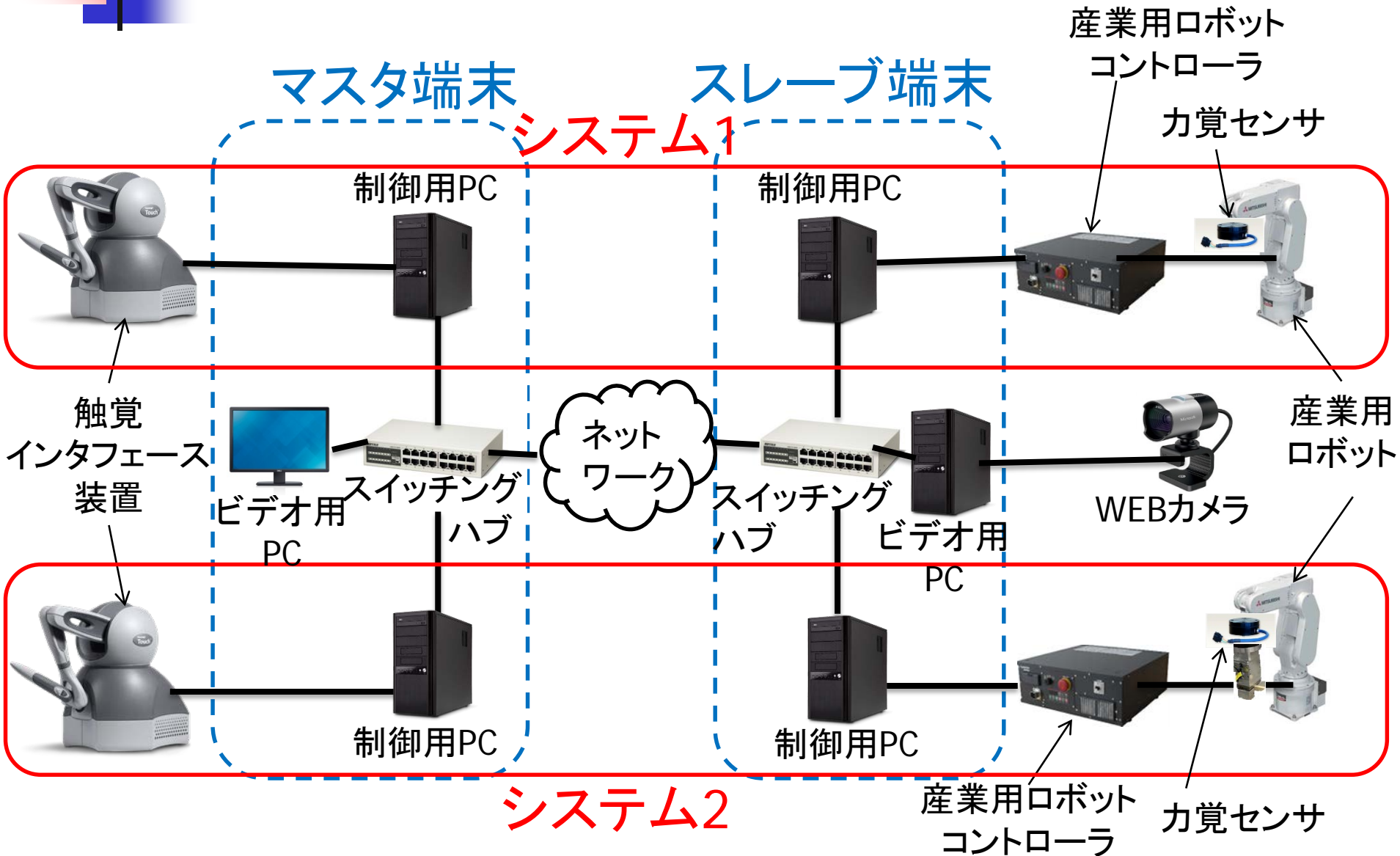


目的(2/2)

本研究

- 衝突時反力制御を二つの力覚を用いた遠隔ロボットシステムに適用し, 二つのロボットを遠隔操作して, 反力を感じながら, 物体を一緒に動かす作業を扱う
- 実験によってネットワーク遅延が作業にどのような影響を及ぼすかを調査する

システム構成





ロボットの位置の決定方法^{*1}

^{*1} K. Suzuki *et al.*, Proc. IEEE GCCE, Oct. 2015.

$$\mathbf{S}_t = \begin{cases} \mathbf{M}_{t-1} & (|\mathbf{M}_{t-1} - \mathbf{M}_{t-2}| \leq V_{\max}) \\ \frac{V_{\max}}{|\mathbf{M}_{t-1}|} \mathbf{M}_{t-1} & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

\mathbf{S}_t : 時刻 t (≥ 2) におけるロボットの位置ベクトル

\mathbf{M}_t : 時刻 t (≥ 2) 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_{\max} : 産業用ロボットの最大移動速度 (5mm/s)

反力の計算方法

*2 有馬 他, 信学技報, CQ2017-98, Jan. 2018.

反力の計算は衝突時反力制御*2を用いる

$$\mathbf{F}_t^{(m)} = \begin{cases} K_{\text{scale}}(\mathbf{F}_{t-1}^{(m)} + K_i \mathbf{F}_{\text{th}}) & (|\mathbf{F}_{t-1}^{(m)} - K_{\text{scale}} \mathbf{F}_{t-1}^{(s)}| > |\mathbf{F}_{\text{th}}|) \\ K_{\text{scale}} \mathbf{F}_{t-1}^{(s)} & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

直前にマスタ端末で出力した力と, 力覚センサが検知した反力の差が閾値を超える場合, 触覚インタフェース装置が出力する反力の増加量を徐々に大きくして, 緩やかに反力を増大しながら出力

$\mathbf{F}_t^{(m)}$: 時刻 t (≥ 1) にマスタ端末で出力される反力

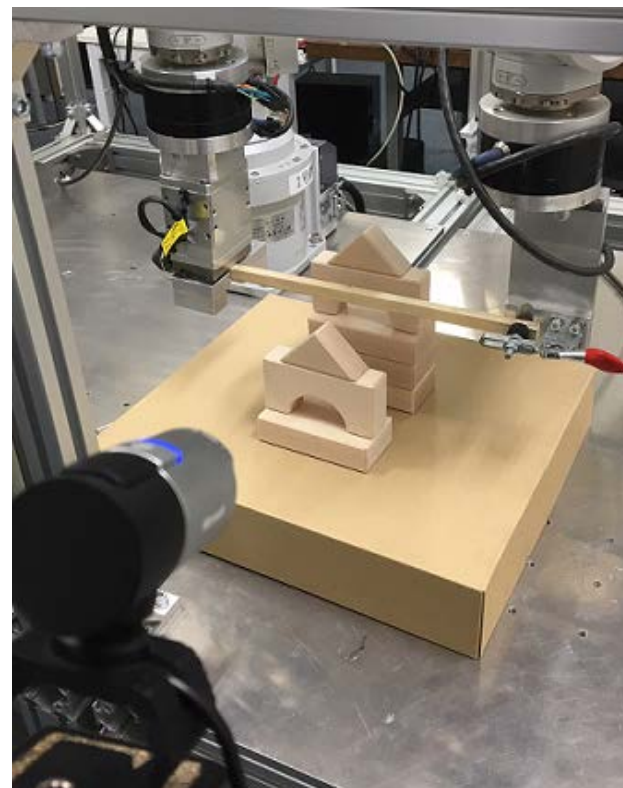
$\mathbf{F}_t^{(s)}$: 時刻 t (≥ 1) にマスタ端末がスレーブ端末から受信した力

\mathbf{F}_{th} : 閾値 (0.003 N/ms)

K_i : $1.000 + 0.001i$ ($i \geq 0$)

実験方法(1/2)

- 右下の図のように、実験開始前に二つの産業用ロボットアームで把持された角材の初期位置の前後に積み木を置く
- 一人の利用者が両手で触覚インターフェース装置を用いて、二つの積み木の一番上の積み木のみを押して落とす作業
- 二つのマスタ端末と二つのスレーブ端末をネットワークエミュレータを介して接続し、転送される各パケットに対して双方向に同じ固定遅延を付加



作業の様子

マスタ端末側



産業用ロボットアーム

ビデオ用PC

角材

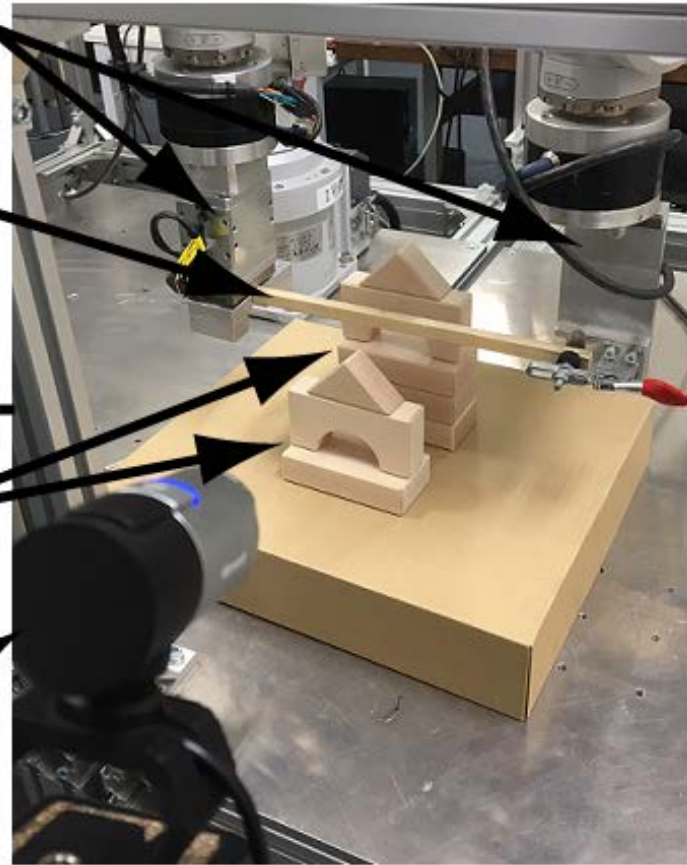


積み木

WEBカメラ

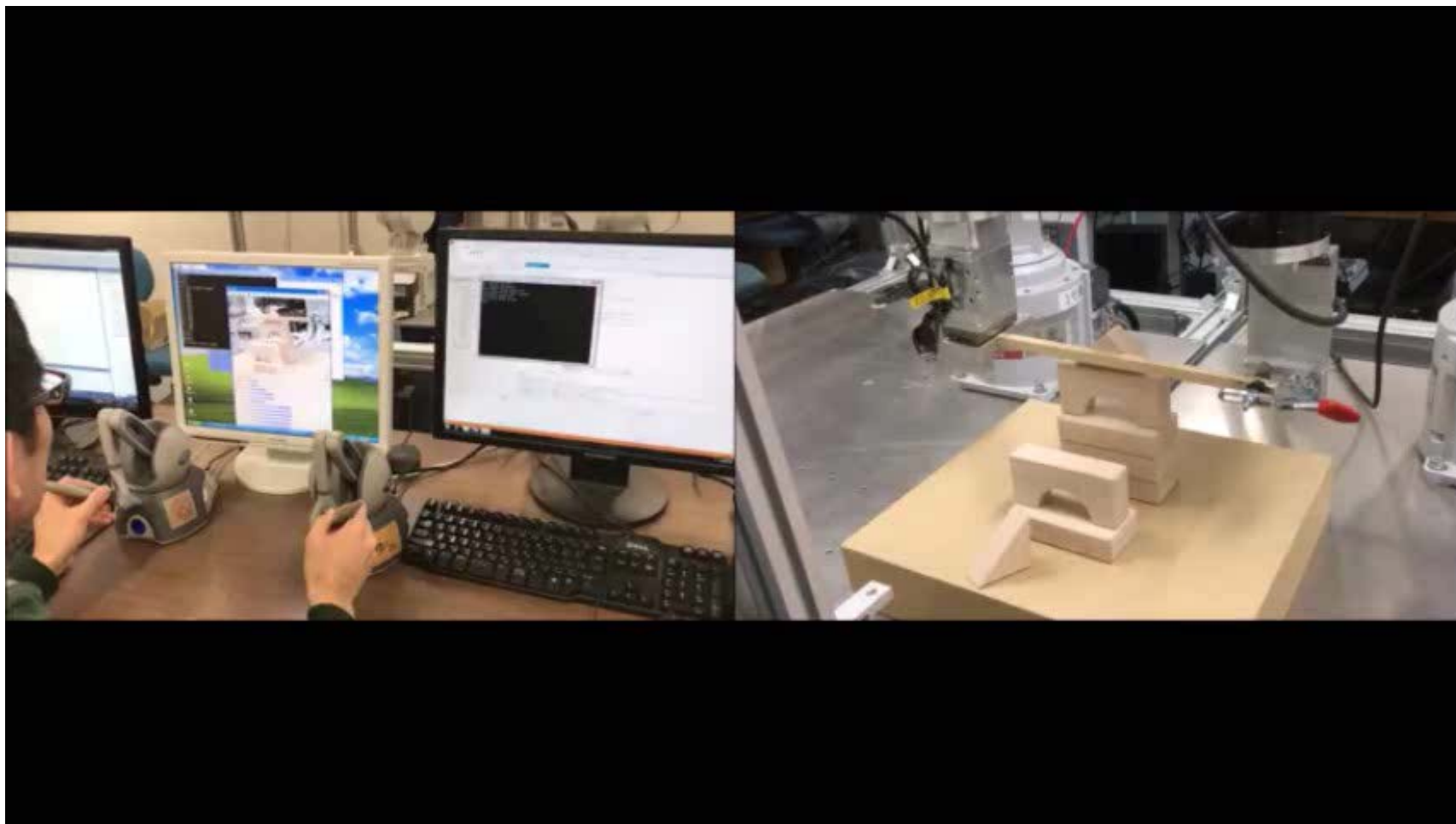
触覚インターフェース装置

スレーブ端末側





作業の様子

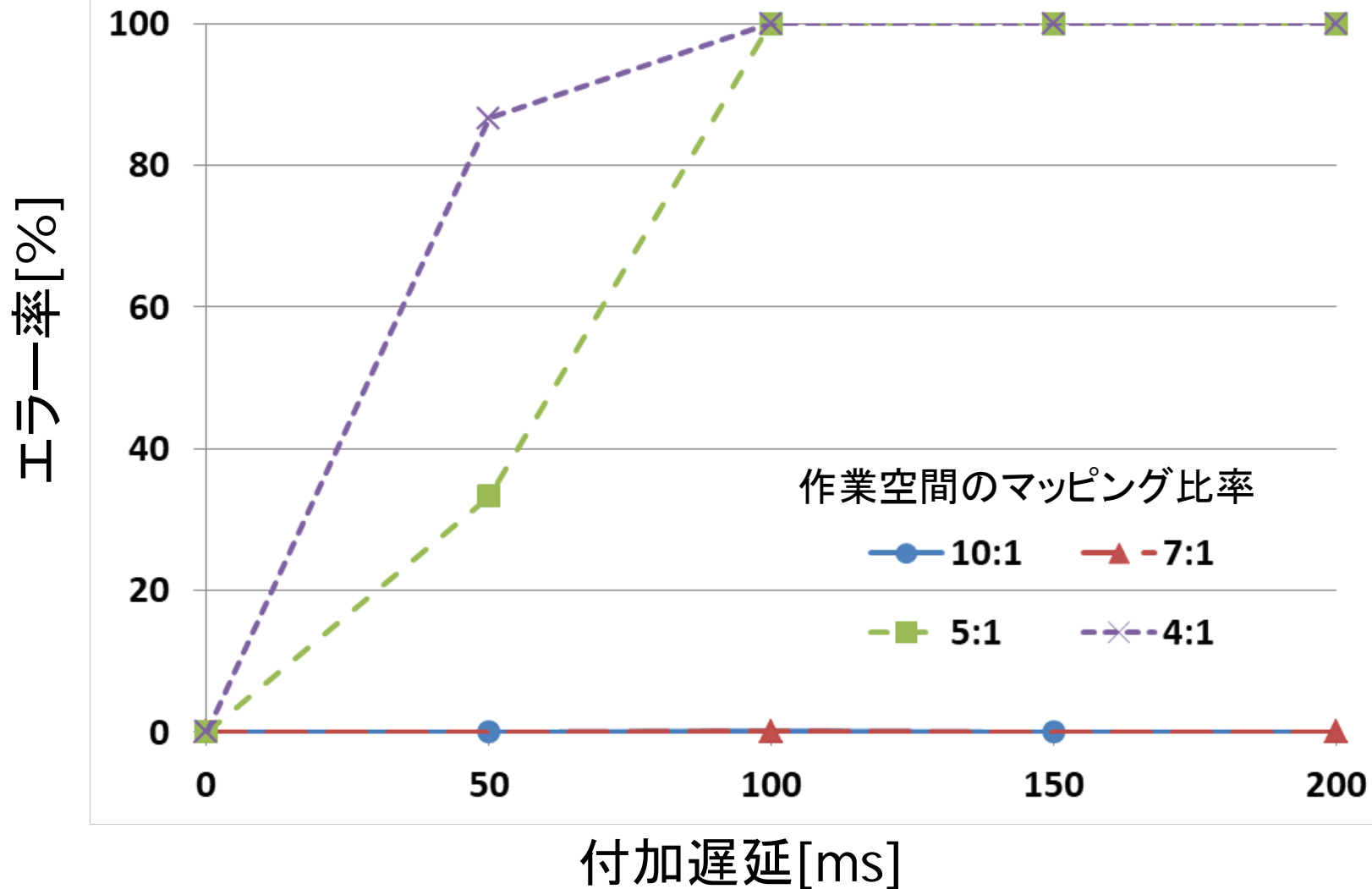




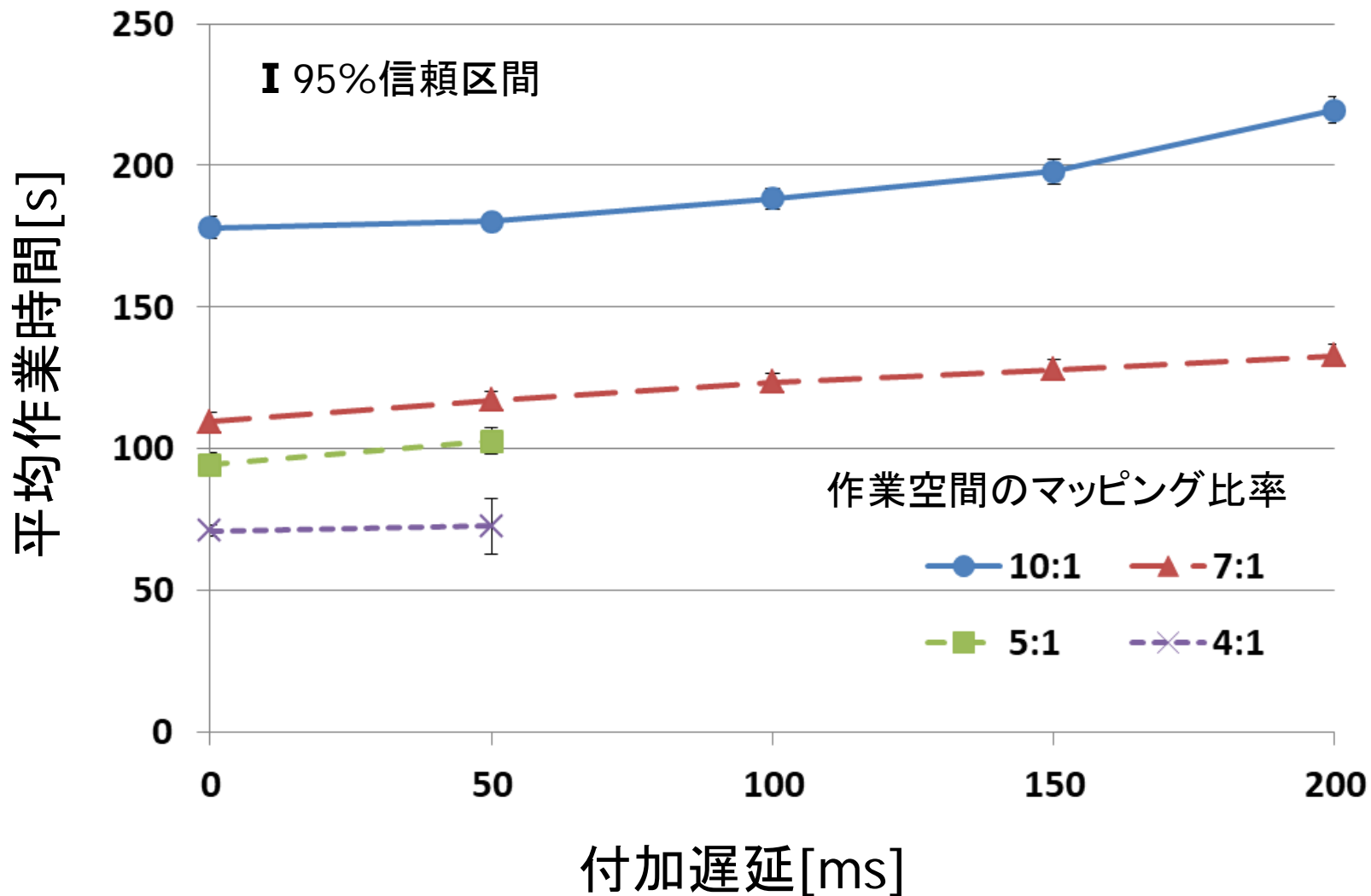
実験方法(2/2)

- 触覚インタフェース装置と産業用ロボットアームの作業空間のマッピング比率を変更(10:1, 7:1, 5:1, 4:1)し, 二つの積み木を落とすまでの時間を計測
- このときネットワーク遅延を増加させると, 力覚センサが過大な力を検知した場合, 安全のためロボットアームの動作を停止させエラーとみなし, その回数を計測
- ネットワーク遅延と作業空間のマッピング比率の組み合わせ一つに対して10回ずつ試行を行い, それらをランダムな順序で提示
- これを3回繰り返して, 平均作業時間とエラー率を求める

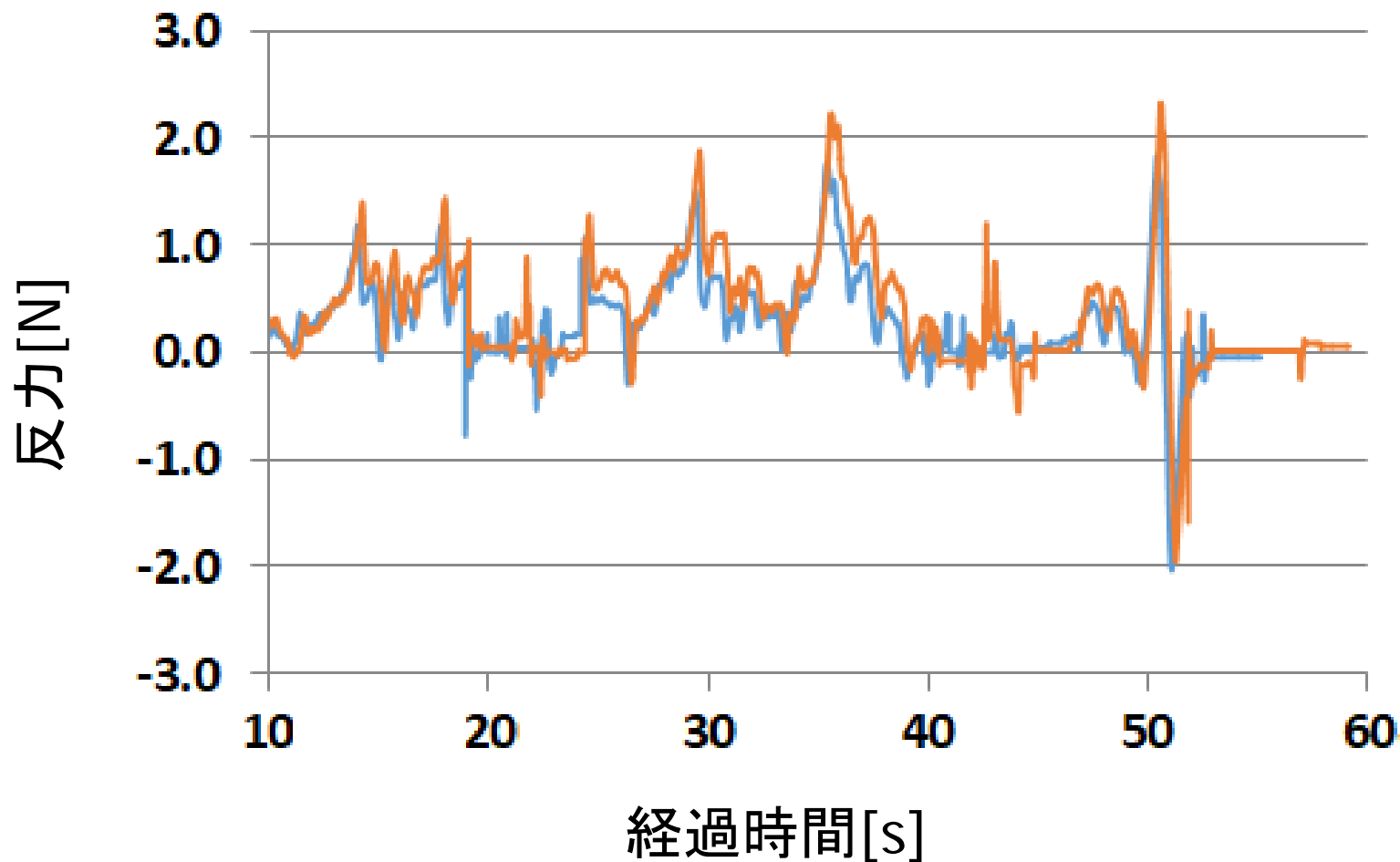
実験結果(1/4)



実験結果(2/4)

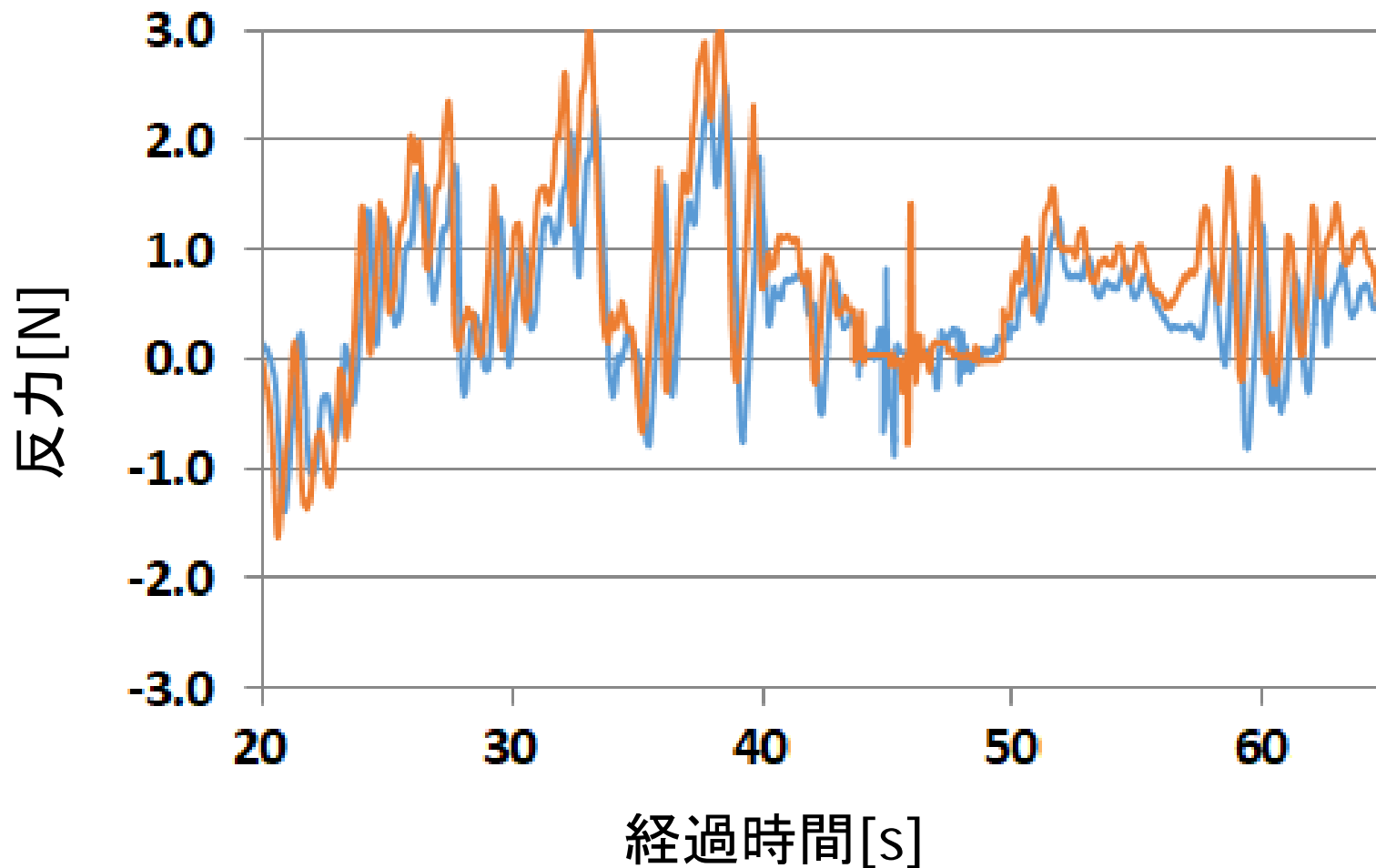


実験結果(3/4)



作業空間のマッピング比率 5:1, 付加遅延 0ms

実験結果(4/4)



作業空間のマッピング比率 5:1, 付加遅延 100ms

結論

- 衝突時反力制御を適用した，二つの力覚を用いた遠隔ロボットシステムを用いて，反力を感じながら，物体を一緒に動かす作業を扱う
- 実験によってネットワーク遅延が作業にどのような影響を及ぼすかを調査する



- ネットワーク遅延が増加することで，平均作業時間は長くなり，エラー率は大きくなる
- 作業空間のマッピングを変更することで，作業効率の低下をある程度まで抑制できる



今後の課題

- ▶ 作業時間を短くするための制御の検討
- ▶ 振動を軽減させるための制御の検討
- ▶ 作業を二人で行う場合の調査