



力覚センサを用いた遠隔ロボットアーム の移動制御の比較

西依 航太[†], 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

映像情報メディア学会年次大会
2022年 8月 24日

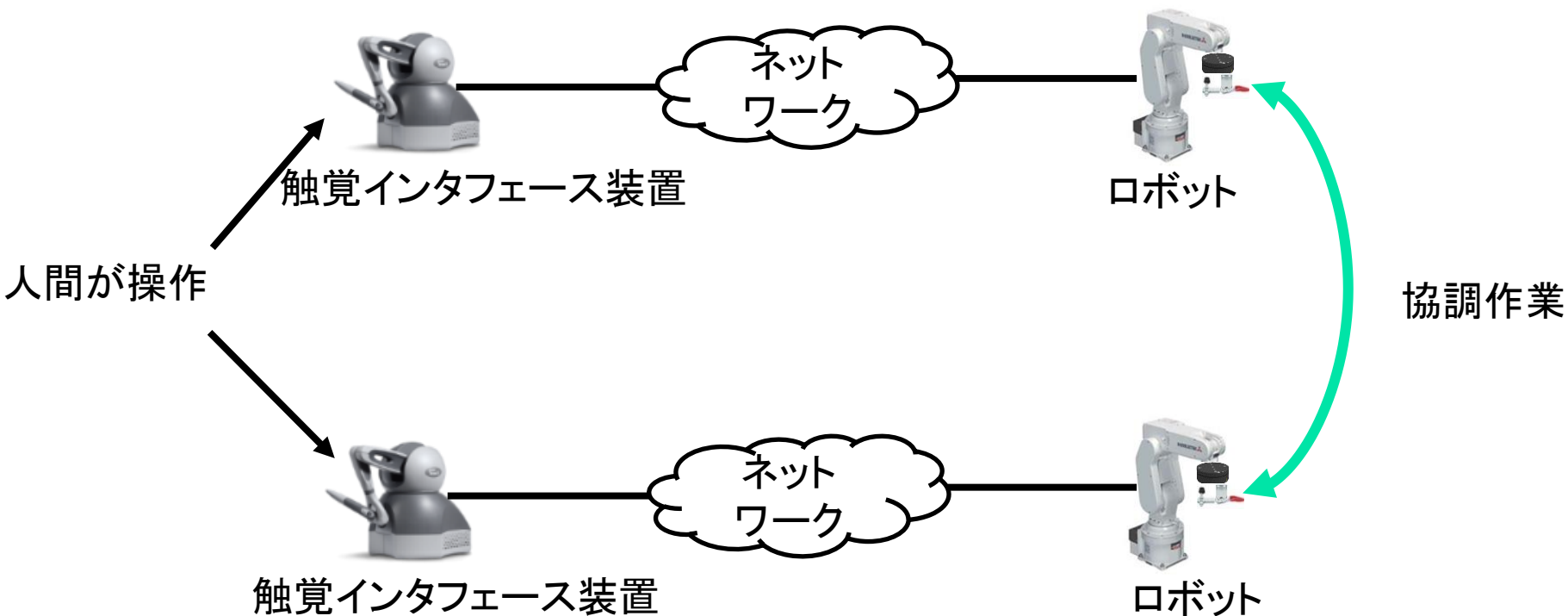


発表内容

- ▶ 背景
- ▶ 従来研究
- ▶ 本研究
- ▶ 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
- ▶ 実験内容
- ▶ 実験結果
- ▶ 結論
- ▶ 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

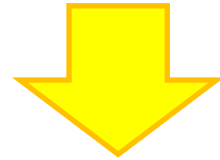


触覚インターフェース装置を用いて遠隔操作が可能



背景(2/2)

通信環境が劣悪になると様々な不具合が発生する可能性



ロボット間通信が困難な場合に、力情報を用いたロボット移動制御の検討



従来研究

二つの力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステム
を使用して, 角材を把持して一緒に運ぶ作業



劣悪な通信環境を想定して力覚センサからの
力情報のみを用いた4つのロボット移動制御の提案



- ・位置制御*1
- ・拡張位置制御*2
- ・指数による制御*3
- ・運動方程式による制御*4

*1 S. Ishikawa *et al.*, Proc. WSCE. pp. 210-214, Dec. 2019.

*2 S. Ito *et al.*, Proc. ICIET, pp 257-261, Mar. 2021.

*3 金石他, 信学技報, CQ2021-1, Mar. 2021.

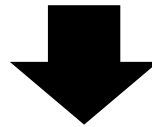
*4 Y. Ishibashi *et al.*, Proc. IEEE ICCE-TW. 2022.



本研究

従来研究の問題点

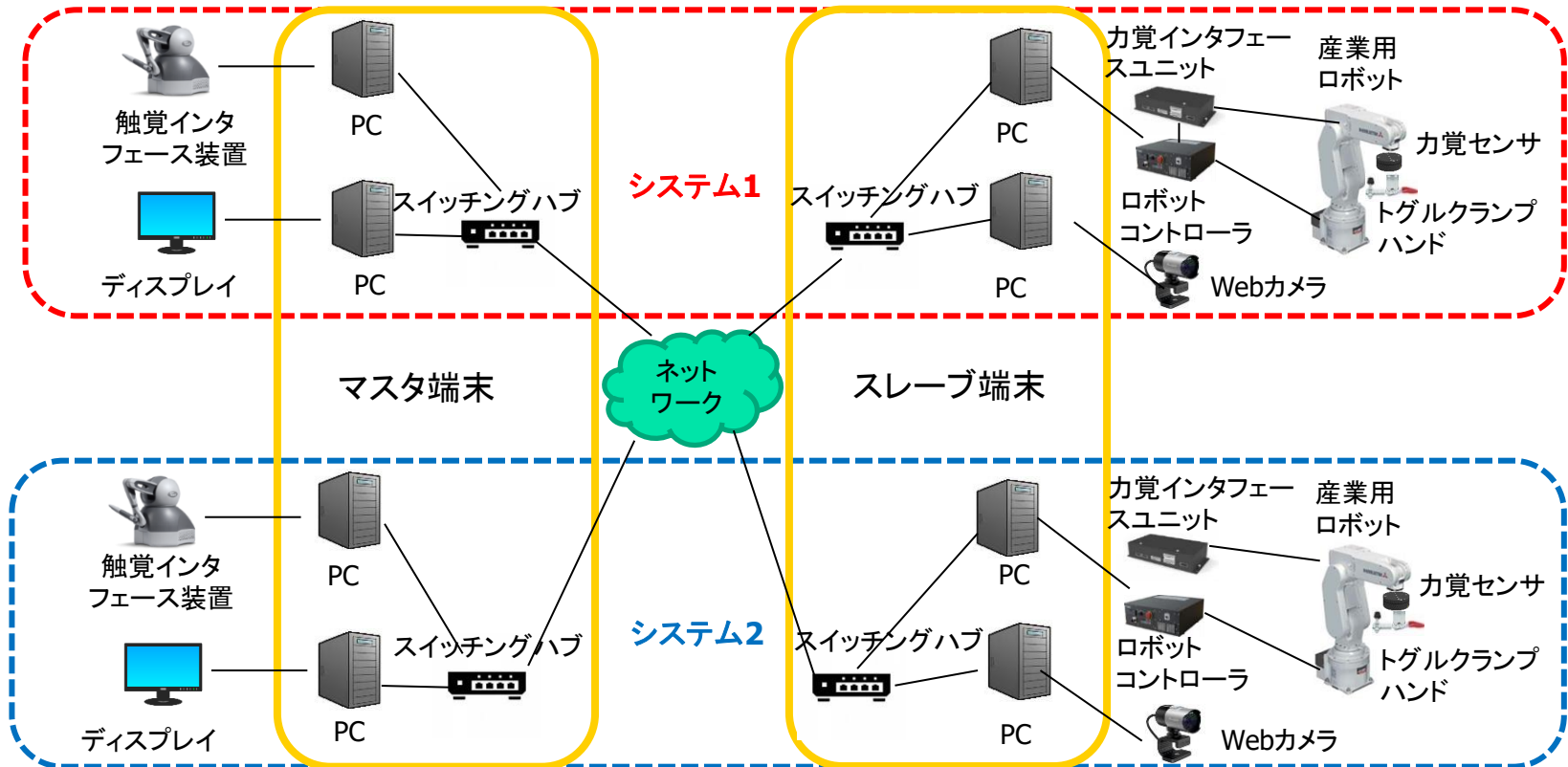
4つの移動制御の相互の定量的な関係が明らかにされていない



本研究

4つの移動制御と、人での作業との比較を行い、各制御の効果を定量的に調査

システム構成





力情報を用いたロボット移動制御

$$\widehat{\mathbf{s}}_t = \mathbf{s}_t + \mathbf{P}_t \quad (1)$$

$\widehat{\mathbf{s}}_t$: 制御後の時刻 t におけるロボットアームの位置ベクトル

\mathbf{s}_t : 時刻 t におけるロボットアームの位置ベクトル

\mathbf{P}_t : 時刻 t における物体に加わる力を軽減する位置調整ベクトル

ロボット移動制御(1/4)

*1 S. Ishikawa *et al.*, Proc. WSCE. pp. 210-214, Dec. 2019.

位置制御*1

$$\mathbf{P}_t = a \mathbf{F}_t \quad (2)$$

$$a = 4.82 \times 10^{-2} l_{\text{opt}} - 1.16 \quad (3)$$

$$l_{\text{opt}} = 2.01 \times 10^{3.34 \times 10^{-2} \times L} \quad (4)$$

\mathbf{P}_t : 時刻 t におけるロボットアームの位置調整ベクトル

\mathbf{F}_t : 時刻 t における角材に加わる力

L : 角材の長さ



ロボット移動制御(2/4)

*2 S. Ito *et al.*, Proc. ICIET, pp 257-261, Mar. 2021.

拡張位置制御*2

$$P_t = K F_t \quad (5)$$

P_t : 時刻 t におけるロボットアームの位置調整ベクトル

F_t : 時刻 t における角材に加わる力

K : 移動速度によって変わる係数



ロボット移動制御(3/4)

*3 金石他, 信学技報, CQ2021-1, Mar. 2021.

指数による制御*3

$$P_t = 20 v \times (1.01)^n \quad (6)$$

P_t : 時刻 t におけるロボットアームの位置調整ベクトル

v : ロボットアームの移動速度(mm/ms)

n : ロボットの位置調整回数



ロボット移動制御(4/4)

*4 Y. Ishibashi *et al.*, Proc. IEEE ICCE-TW, July. 2022.

運動方程式による制御*4

$$\mathbf{P}_t = 0.9 \mathbf{P}_{t-1} + 0.279 \mathbf{F}_t \quad (7)$$

\mathbf{P}_t : 時刻 t におけるロボットアームの位置調整ベクトル

\mathbf{F}_t : 時刻 t における角材に加わる力



実験内容(1/3)

ロボット-ロボット間

- 二つのロボットアームで角材を把持し, 前方に40mm, 後方に80mm動かす協調作業
- 片方のロボットは自動で移動するように設定し, もう片方は移動制御によって追従
- 自動での移動速度は8mm/s, 16mm/s, 24mm/s, 32mm/s

実験の様子(1/2)

ロボット-ロボット間
32mm/s、運動方程式による制御





実験内容(2/3)

人-ロボット間

- 移動制御を行うロボットの代わりに人がマジックハンドを用いて角材を把持
- 自動で動くロボットに追従
- 自動での移動速度は8mm/s, 16mm/s, 24mm/s, 32mm/s

実験の様子(2/2)

人-ロボット間
32mm/s

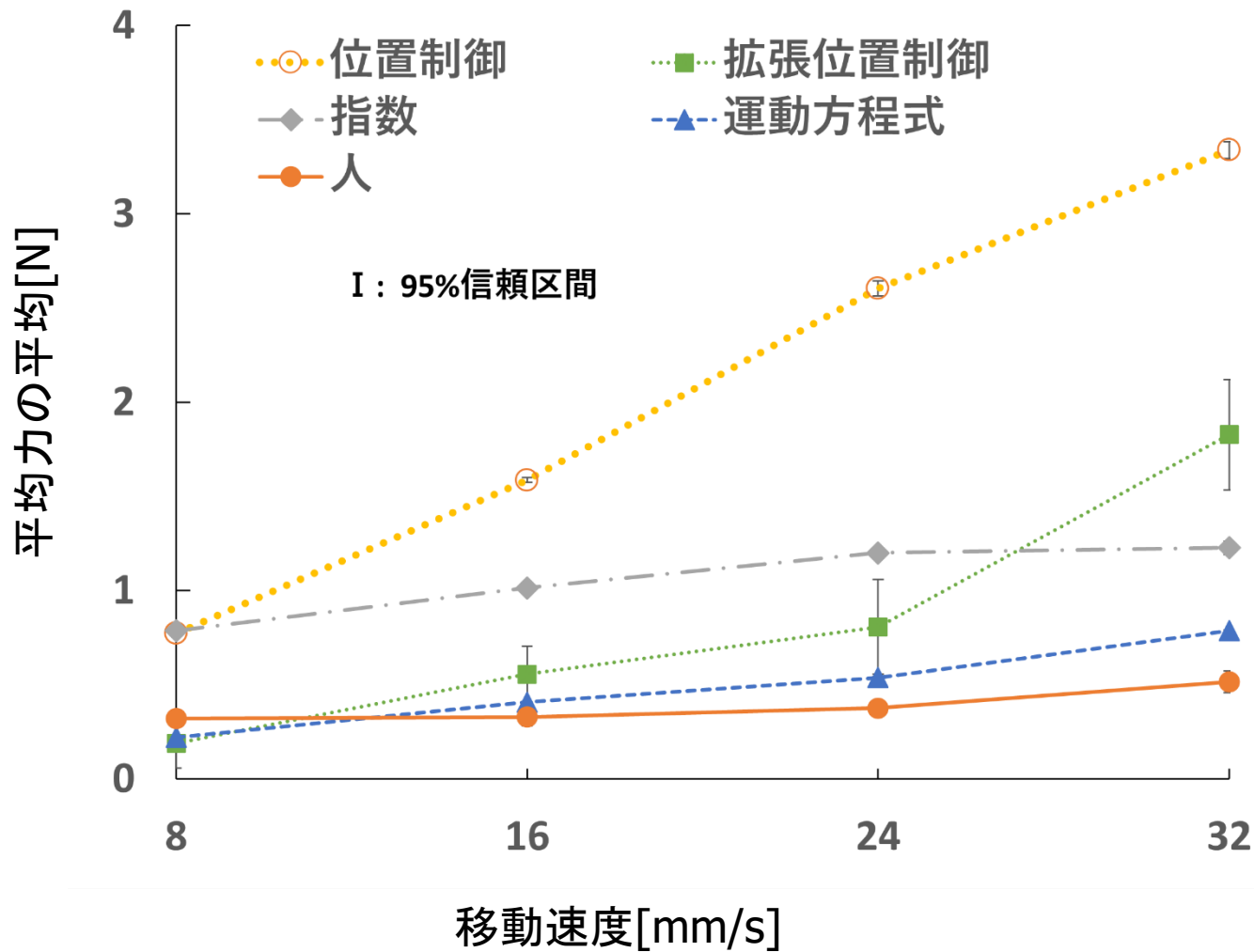




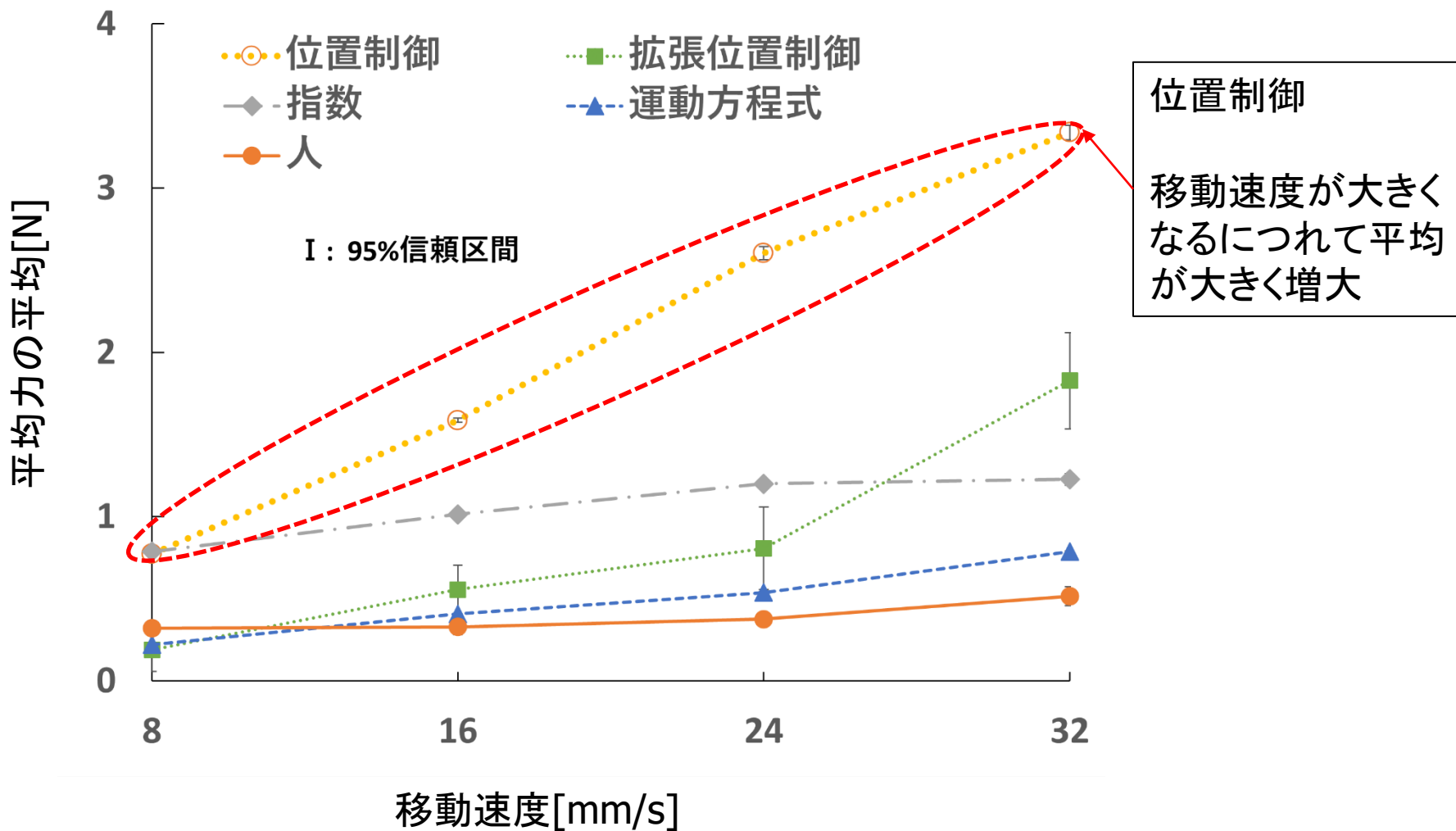
実験内容(3/3)

- ▶ ロボット-ロボット間の4つの移動制御、人-ロボット間の場合の5種類の実験
- ▶ それぞれ実験を10回ずつ行い、加わる力の平均と最大の平均を求める
- ▶ 4つの移動制御と人での場合を比較

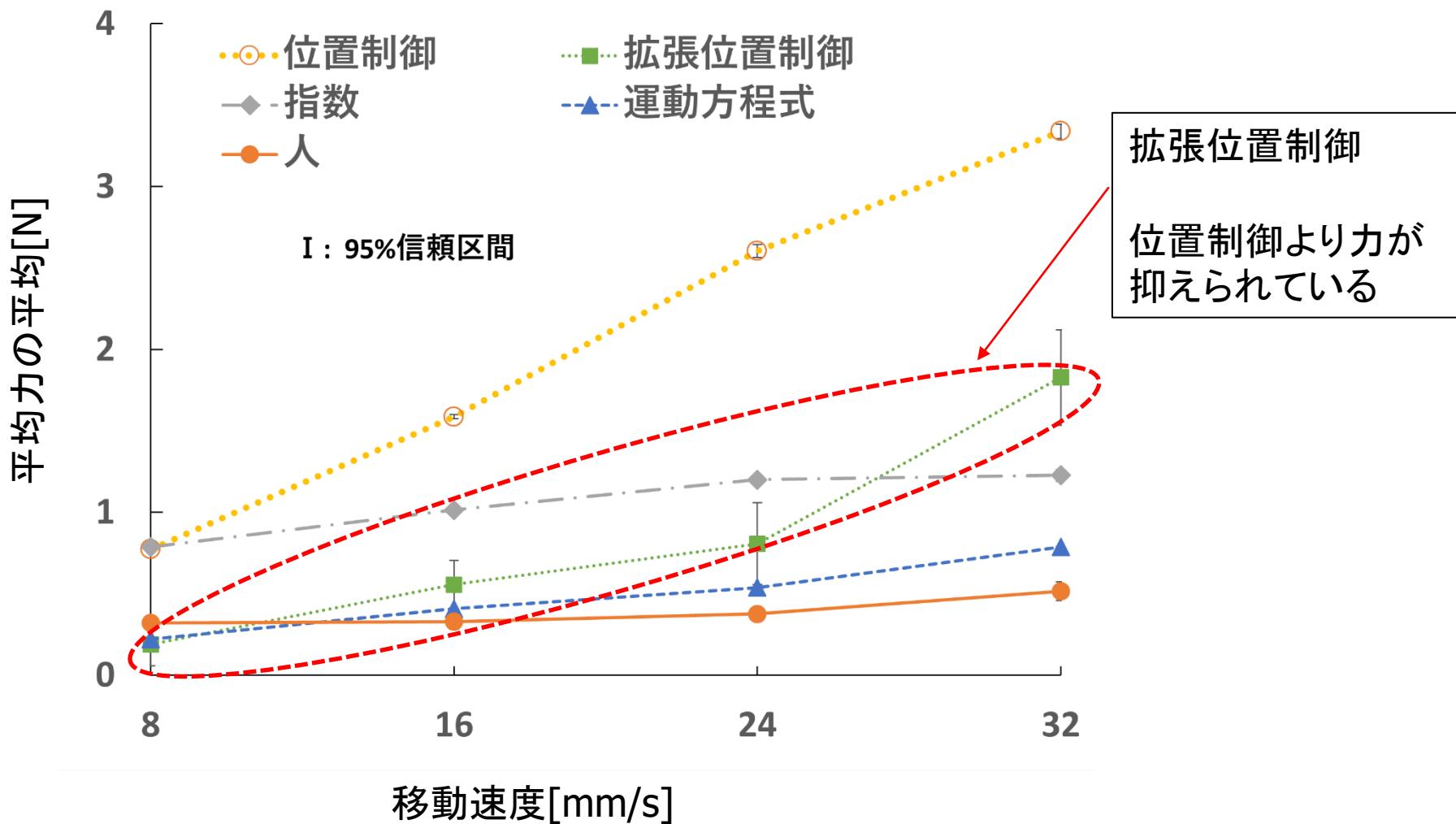
実験結果



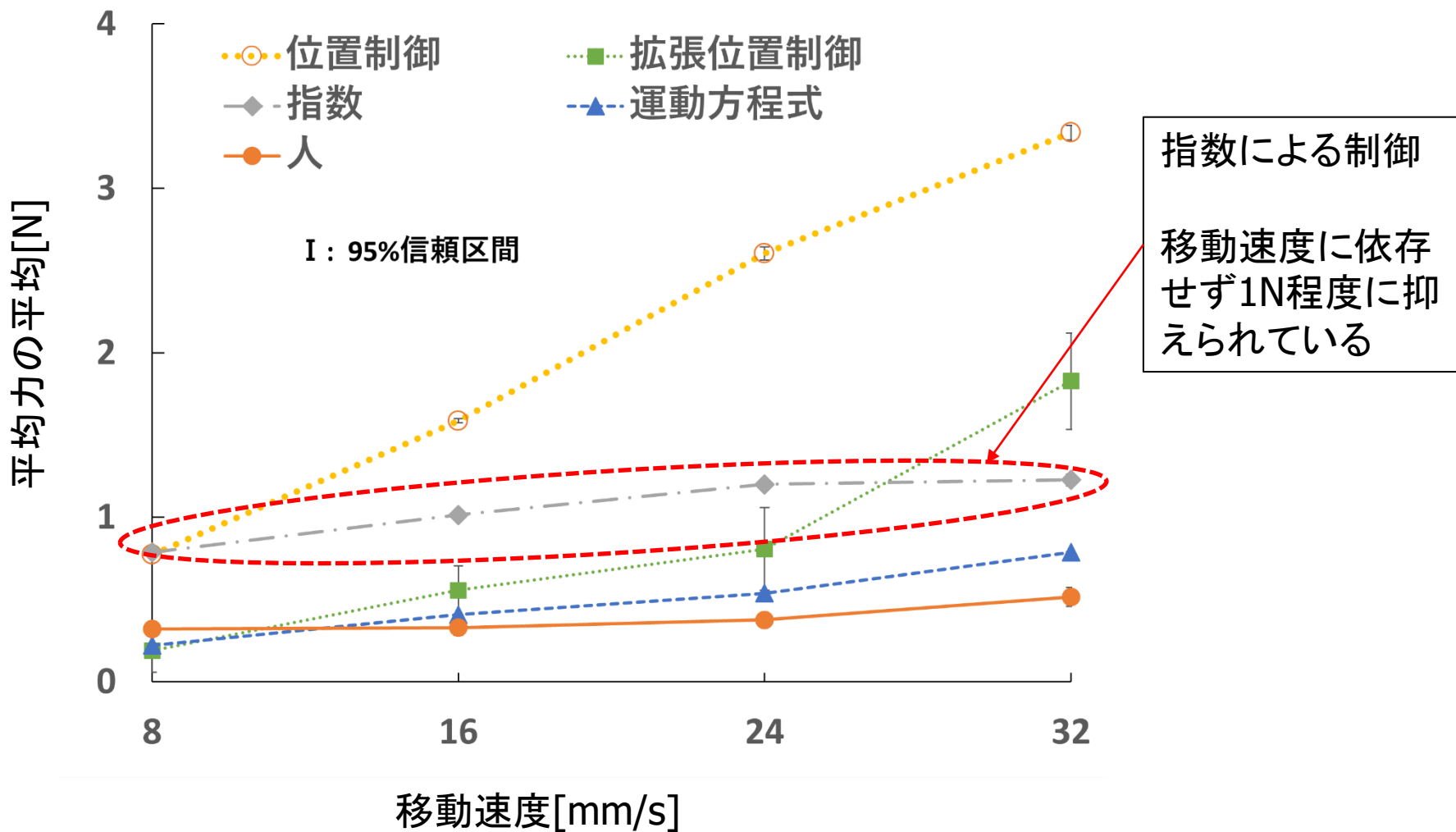
実験結果



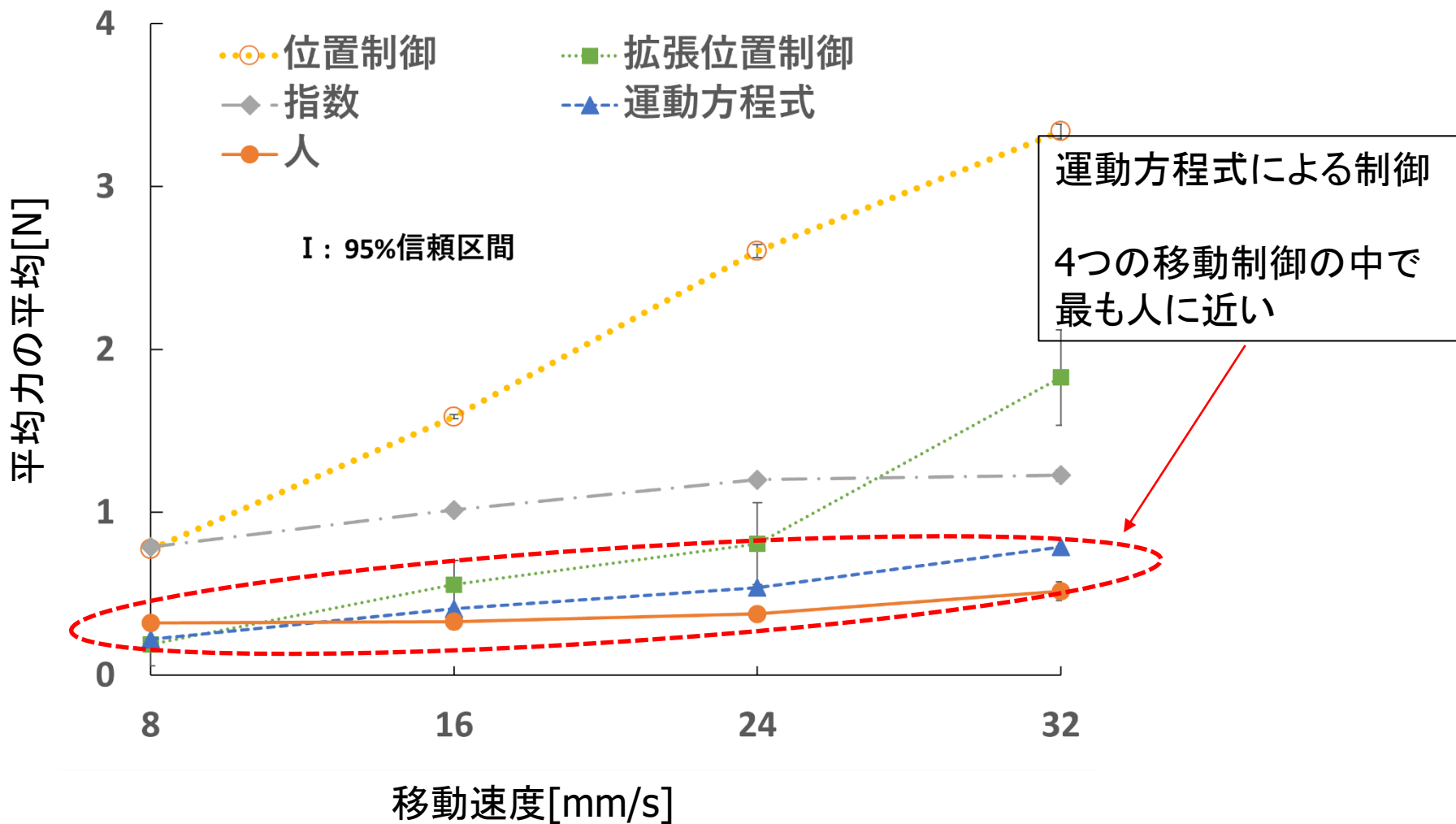
実験結果



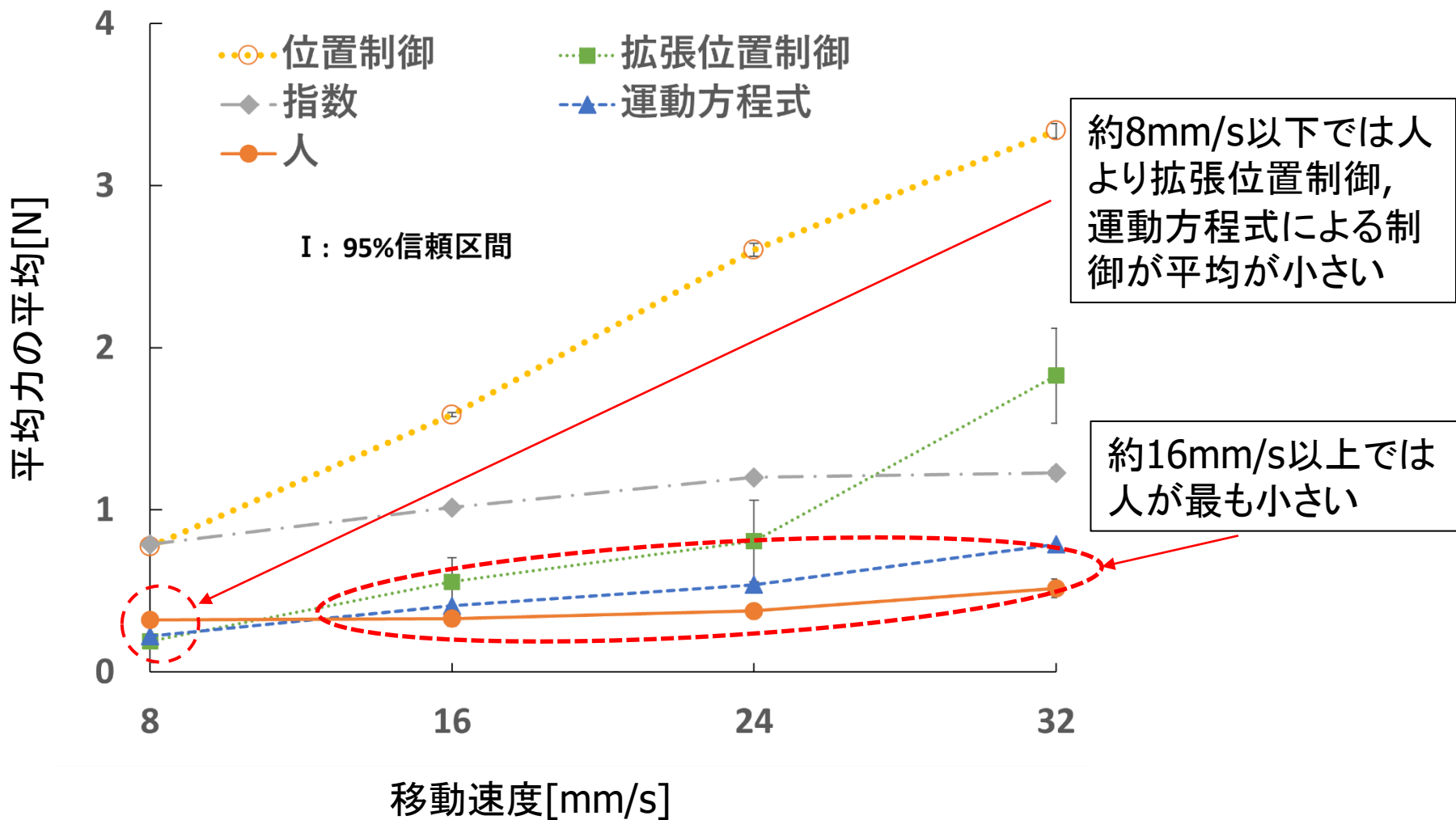
実験結果



実験結果

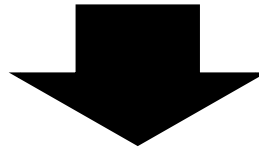


実験結果



結論(1/2)

劣悪な通信環境を想定した力情報を用いたロボット移動制御による協調作業において、4つの移動制御と人での場合の比較



- 移動速度が増大するにつれて位置制御の平均が大きく増大
- 拡張位置制御は位置制御より平均が小さくなっている
- 指数による制御は移動速度に依存せず力が抑えられている



結論(2/2)

- ▶ 約8mm/s以下では人よりも運動方程式による制御と拡張位置制御が力が小さい
- ▶ 約16mm/s以上は人が一番小さい
- ▶ 運動方程式による制御が人に最も近い



今後の課題

- ▶ 運動方程式による制御を改良し、移動速度が速い場合に、人の場合の作業により近づける
- ▶ ロボット間通信が可能な場合と困難な場合との制御の切り替え