

セルフリオネット：指先力入力システムによる 全身アバタ操作と多様な触覚インタラクションの実現

平尾 悠太郎^{1,*} 橋本 健^{2,*}

1: 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学領域 yutaro.hirao@is.naist.jp

2: 東京大学 大学院情報理工学系研究科 hashimoto@cyber.t.u-tokyo.ac.jp

*: 共同筆頭著者



国立大学法人
奈良先端科学技術大学院大学
NARA INSTITUTE OF SCIENCE and TECHNOLOGY



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

研究概要

目的：最小限の動作で”全身”を動かし，多様な触感を感じる

背景

VRアバタの操作は実身体とアバタの動作を同部位で結びつけることが一般的
しかし，以下のような問題を抱えている。

空間的制約

全身運動を可能とする十分広い空間を確保
する必要がある。

身体的制約

身体に障がいや怪我を抱えるユーザがアバ
タの全身を動かさない。

アバタの全身を動かすためにわざわざリアル
の全身を動かすのは疲れる。

触力覚提示の難しさ

VR空間でのインタラクションを通じ全身
で感じ得る触力覚をレンダリングするため
には，全身に触力覚提示装置を装着する必
要がある。

Pseudo-hapticsのような視覚と運動情報
の関係性を変えるアプローチもあるが，提
示可能な触知覚強度の範囲が狭い。

本研究のアプローチ

実身体の一部の動作とアバタの全身運動
を対応づける

→空間的/身体的制約からの解放

力入力によって連続的にアバタを動かす
→多様な触力覚提示を可能に

先行研究との関連

同じ部位のマッピング

動作 to 動作

フルボディトラッキング

異なる部位のマッピング

力 to 動作

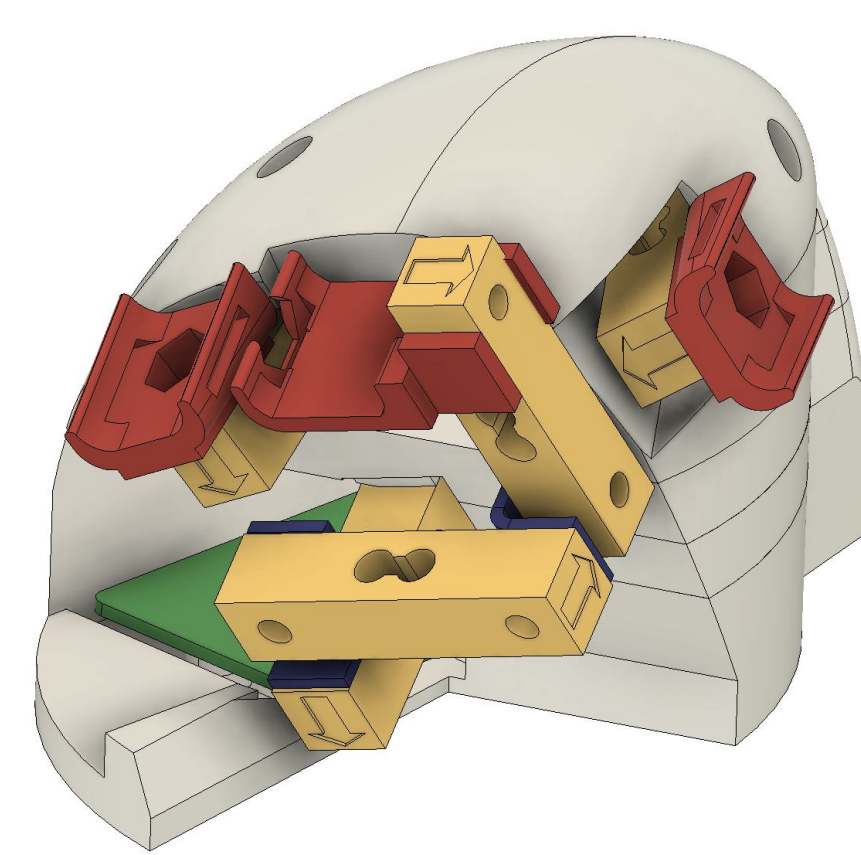
Motionless VR (望月ら, 2019)

FingerMapper (Tseng et al., 2023)

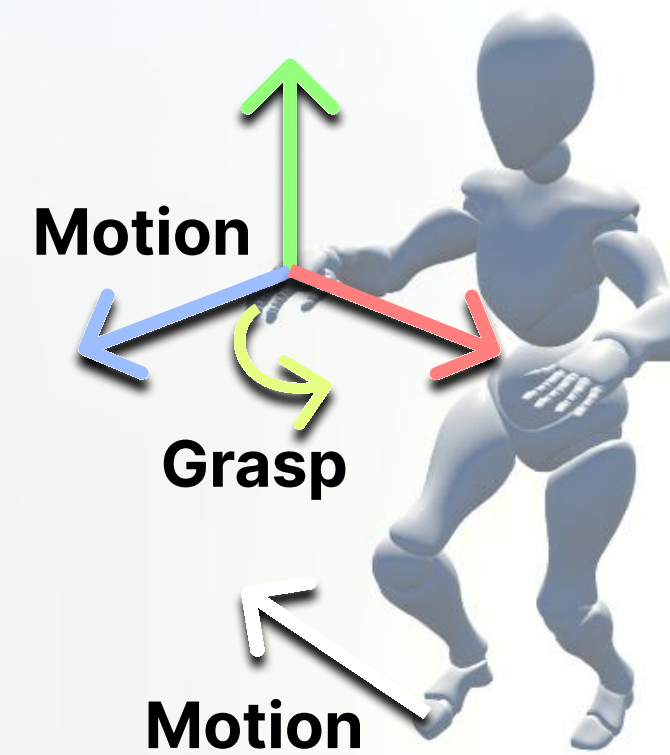
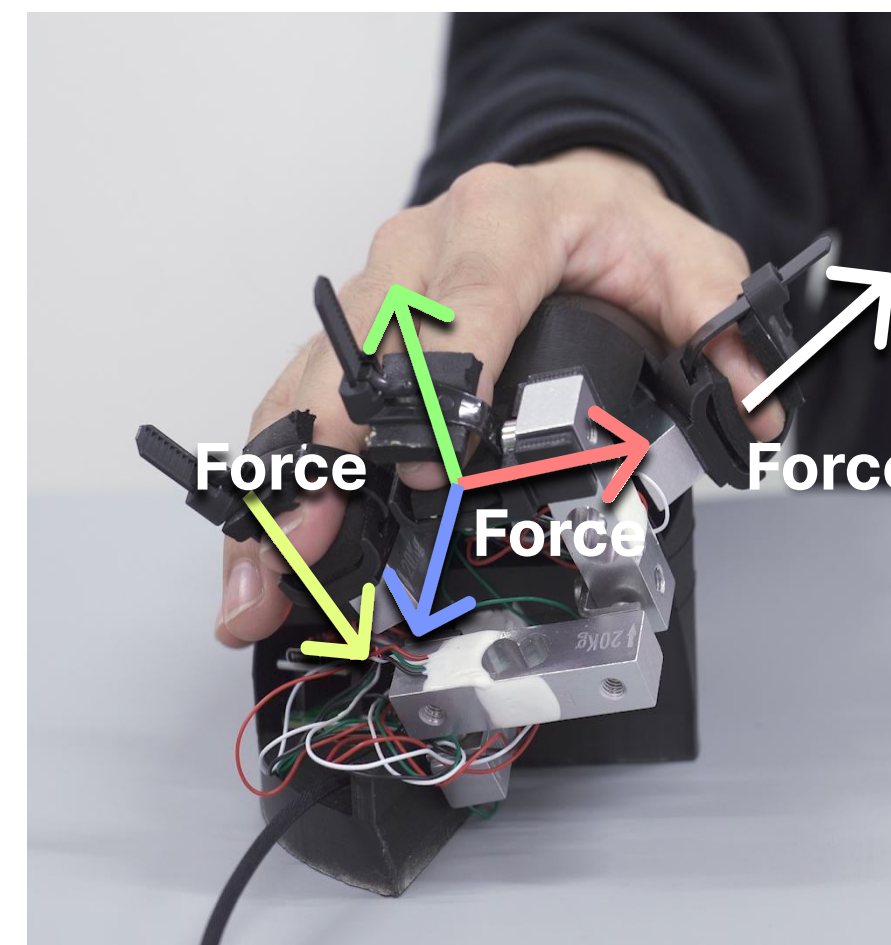
セルフリオネット(本手法)

本研究でおこなったこと

手の指に込める力のみでアバタの手足の位置を操作



指固定部 ロードセル



親指：1自由度

示指：3自由度 の力情報を取得

中指：1自由度

各指の力の値を，アバタの四肢の位置情報や指の屈曲に変換（下式）

力と位置の関係を操作することで，多様な触知覚を実現

指の力入力とアバタ位置を変換する運動方程式

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + k(x - x_c) = F_f + f_m$$

手足の加速度，速度，位置

手足のバネ マス ダンパ

指に込める力 触覚レンダリング項

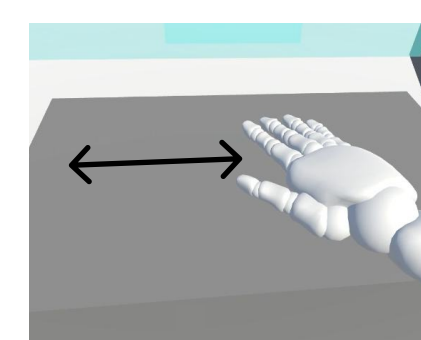
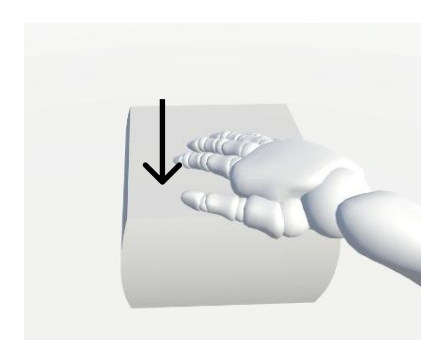
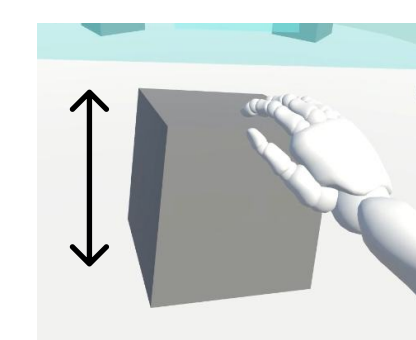
触覚提示項の例

重さ $f_m = -m\ddot{x} - mg$ 摩擦

粘り気 $f_m = -c\dot{x}$

柔らかさ $f_m = -kx$

$$f_m = \begin{cases} -f_p \\ -\mu' \|f_n\| \hat{f}_p \end{cases}$$

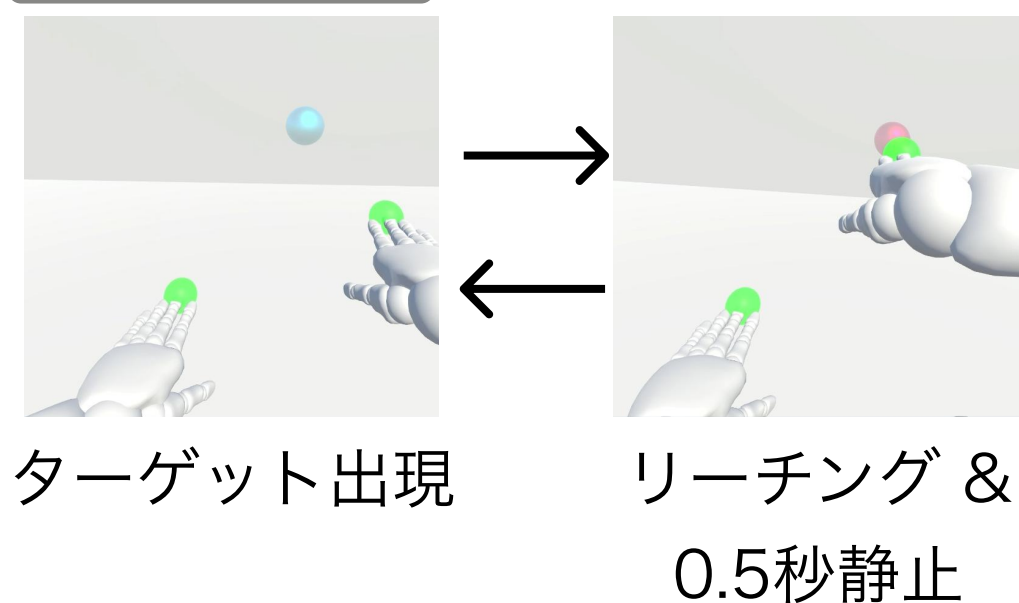


実験1：到達運動課題

N = 18 男女9名ずつ

実験目的：セルフリオネットによる身体動作性能の検証

実験タスク



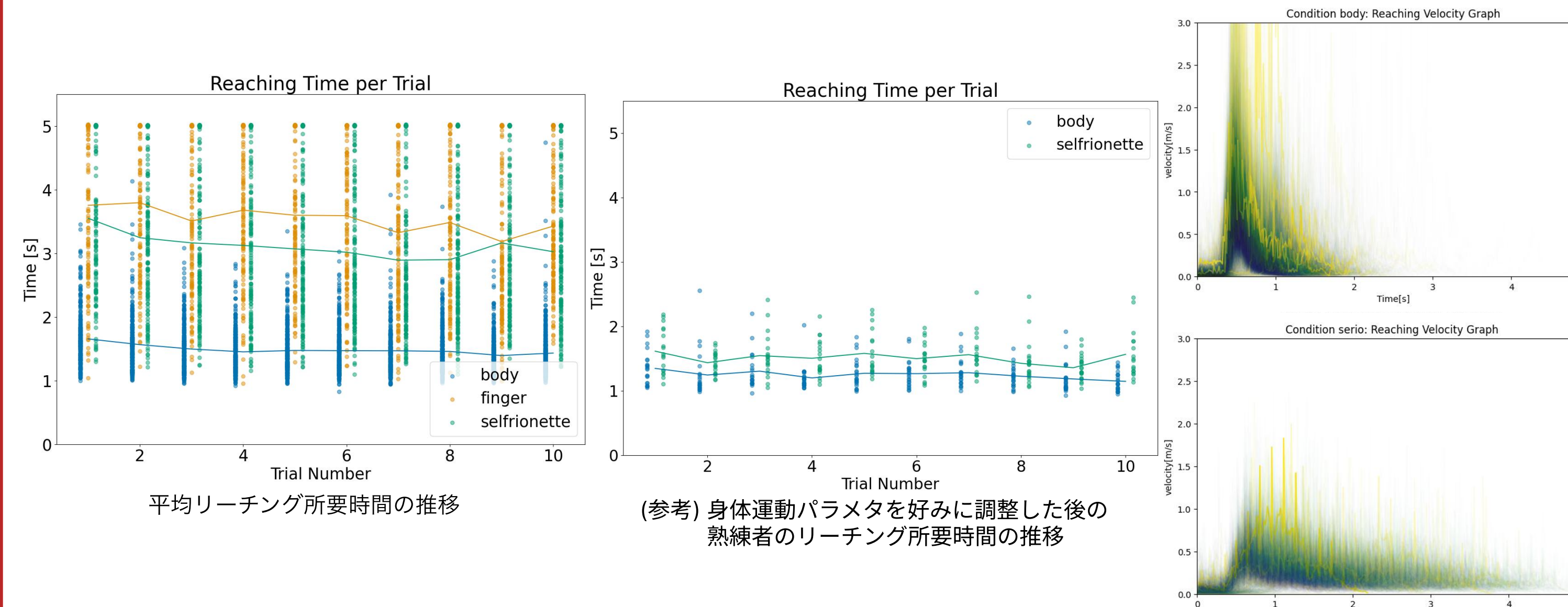
30秒間
X
10試行

実験条件



セルフリオネット (異部位力入力) FingerMapper (異部位動作入力) Body Tracking (同部位動作入力)

結果・考察



初心者は実身体の50パーセント程度，熟練者は80パーセント程度の速度で動ける
リーチングにかかる時間は，短期的な（5分ほどの）学習によっては向上しない

💡 保守的な身体運動パラメタを用いたことにより学習が早期で収束した可能性

NEXT 身体運動パラメタの最適化によって速い動きを早期に習得することを目指す

セルフリオネットはBodyTrackingに比べて速度の立ち上がり成分（フィード
フォワード）が小さく，誤差修正成分（フィードバック）が大きい

💡 感覚フィードバックに依存した，場当たり的な運動方策が取られていた可能性

NEXT フィードフォワード制御を意識させるような学習体系を作り運動学習を行う

実験2：触覚体験タスク

N = 8 男性6名, 女性2名

実験目的：セルフリオネットによる触覚表現力の調査

実験タスク

5段階の重さ，摩擦，柔らかさを持つ
バーチャル物体とインタラクション
触感のリアリズムを評価

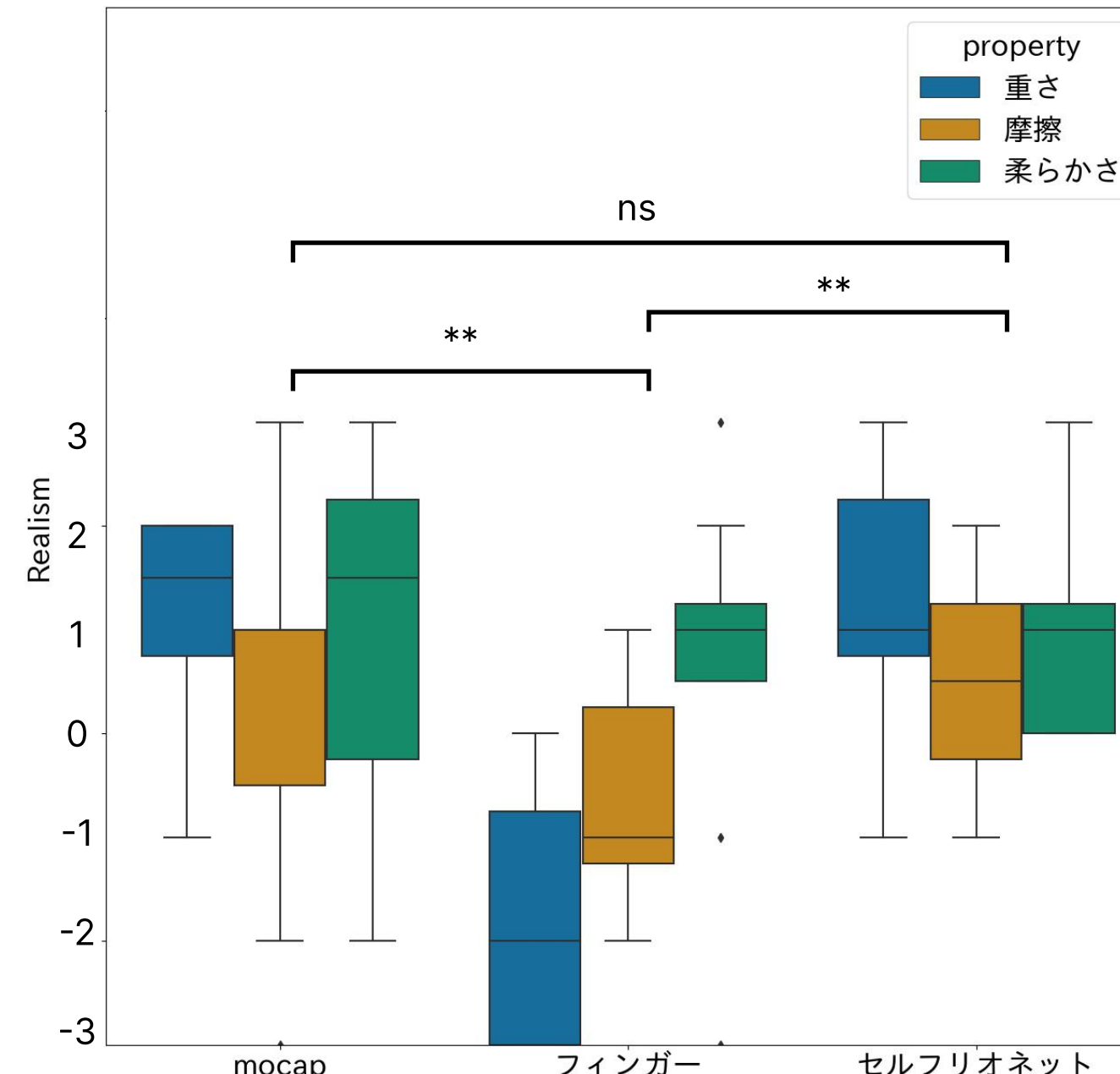
実験条件

実験1と同様
それぞれの条件の触覚提示にはPseudo-haptics技術を利用

実験仮説

セルフリオネット条件では，バーチャル物体とのインタラクション時に指にかかる反力が変化するため，
反力が生じないFingerMapperやBodyTrackingよりも触感のリアリズムのスコアが高くなる

結果・考察



セルフリオネットとBodyTrackingの間には触感の
リアリズムに大きな差はない（両方高いスコア）

💡 BodyTrackingにおいて手の可動域が比較的狭
かったため，触覚インタラクションのリアリズム
低下を招くほどバーチャルとリアルの手的位置が
大きく乖離しなかった可能性がある

NEXT BodyTrackingでは実現できない力覚の強度
範囲をセルフリオネットで表現可能かを調査

セルフリオネットはFingerMapperよりも触感のリア
リズムが高い

💡 同じ動作を行うときに必要な力の大きさの範囲
が，セルフリオネットの方が広い，広い強度範
囲の触感のリアリズムを感じやすかった

参考文献

Tseng, Wen-Jie, et al. "Fingermapper: Mapping finger motions onto virtual arms to enable safe virtual reality interaction in confined spaces." Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2023.

望月典樹, 中村杜亮. "Motion-Less VR: リアル身体の運動を必要としない全身没入型 VR インタフェース." 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文
集 (2019): 6B-09.

謝辞 本研究は，JST ムーンショット型研究開発事業 JPMJMS2013，および JSPS 科研費 23K20007，
24K20818の助成を受けて行われた。