

令和 6 年 5 月 8 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11918

研究課題名（和文）「手足のような」道具操作を実現するための遅延・支援・先行動作による影響の調査

研究課題名（英文）Investigation of the effect of delay, assist, and preceded action to realise "limb-like" tool operation

研究代表者

舟橋 健司（Funahashi, Kenji）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：00303694

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、操作タスクの難易度を大きく変えることで成績向上の変化を調査した。また実際に操作支援を行うことで成績向上の変化を調査した。しかし、変化があることは示唆されたが、明確な関連性を見出すには至らなかった。続いて、操作動作範囲を制限して難易度を小さく変えることで成績向上の変化を調査した。すると期待する有意差を確認することができた。さらに、実際の手の移動量に対する画面上での手の移動量を小さくする（細かな操作が容易になる？）ことで成績向上の変化を調査した。操作系に、適切にわずかな遅延を加えることで、操作成績を向上させ得ることが強く示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

道具操作の熟練者は道具が自身と一体であると認識し、手足のように感じると表現することがある。本研究ではこれを認知科学分野で研究されている身体所有感の延長として捉え、拡大的身体所有感とよぶ。操作系における適切な遅延が道具の特性把握の助けとなり拡大的身体所有感に結び付くという仮説を検証した。適切な遅延が拡大的身体所有感を与え、操作成績を向上させることが示唆された。操作の練度を高めることなく、すなわち熟練者でなくても「手足のように」操作できるインタフェースの設計に寄与する知見を見出すことが期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated changes in performance improvement by significantly changing the difficulty level of the manipulation task. We also investigated changes in performance improvement by actually providing manipulation assistance. However, although the results suggested that there was a change, a clear relationship could not be found. Next, we investigated the change in performance improvement by restricting the range of manipulation movements and changing the difficulty level to a small amount. Then, the expected significant difference was confirmed. Furthermore, we investigated the change in performance improvement by reducing the amount of hand movement on the screen relative to the actual amount of hand movement. It was strongly suggested that the manipulation performance could be improved by adding an appropriate small delay to the manipulation system.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：自己主体感 身体所有感 操作遅延

### 1. 研究開始当初の背景

道具操作の熟練者は道具が自身と一体であると認識し、手足のように感じると表現することがある。本研究ではこれを身体所有感の延長として捉える。遅延を伴う実験における知見から、操作系における適切な遅延が道具の特性把握の助けとなり拡大的身体所有感に結び付くという仮説を立て、予備実験により検証した。適切な遅延が拡大的身体所有感を与え、操作成績を向上させることが示唆された。本研究では、道具の違いによる適切な遅延の変化を含めてこの仮説を詳細に検証する。また、操作支援や先行動作による拡大的身体所有感の変化も検証することで、「手足のように」操作できるインタフェースの設計に寄与する知見を見出し、その有効性を確認する。

### 2. 研究の目的

道具操作の熟練者は道具が自身と一体であると認識し、手足のように感じると表現することがある。本研究ではこれを認知科学分野で研究している身体所有感の延長として捉え、拡大的身体所有感とよぶ。遅延を伴う実験における知見から、操作系における適切な遅延が道具の特性把握の助けとなり拡大的身体所有感に結び付くという仮説を立て、予備実験により検証した。適切な遅延が拡大的身体所有感を与え、操作成績を向上させることが示唆された。本研究では、道具の違いによる適切な遅延の変化を含めてこの仮説を詳細に検証することを目的としている。また、操作支援や先行動作による拡大的身体所有感の変化も検証することで、「手足のように」操作できるインタフェースの設計に寄与する知見を見出すことも目的とし、その有効性を確認することも目的とする。

### 3. 研究の方法

慣れていない道具を操作する場合に、各項目において実験を行うことで明らかにする。

(A) わずかな遅延が拡大的身体所有感を感じさせて、すなわち自身の手足の延長のように感じることで、さらには操作成績も向上するのか：これまでに、マジックハンドを想定した予備実験において、わずかな遅延が拡大的身体所有感を生起させることが示唆されている。しかしこれは、絶対的なもの(遅延時間)とは考えていない。そこで短いマジックハンド(比較的自身の手に近い感覚)や長いマジックハンド(自身の手よりも操作しづらい)の場合に操作成績や拡大的身体所有感がどのように変化するのか調査することで、道具の習熟度の違いに対する適切な遅延時間を明らかにする。

(B) 操作者の操作量に応じた操作支援がある場合には(操作成績の向上は期待できるが)拡大的身体所有感をどのように感じるのか：操作支援がある場合の拡大的身体所有感について調査する。ここでは電動アシスト自転車のように、操作者の操作量に応じた操作支援(受動的支援)がある場合を想定し、また操作者が「ペダルが軽くなる」のを感じるように、実験システムにおいて力覚提示量を調整する。加えて遅延も同時に考慮することで、遅延と受動的支援との関係も明らかにする。

(C) 操作者の操作がない場合の操作支援(操作目標へ向かうための予測が必要である)がある場合：操作者の操作がない場合の操作支援(能動的支援)に対する拡大的身体所有感について調査する。例えば自動車における車線逸脱防止装置のような機能を想定している。この場合、操作の予測が必要であるが、タスクを限定することで操作者の目標を固定して、簡易的な予測とすることで実験を行う。自身の意図と異なる、あるいは先行する能動的支援と拡大的身体所有感との関係を明らかにする。本項目は、前項(B)と統合的に評価することで、各種運転支援が実用化されてきている自動車に対する「自分で運転している感覚(自己主体感)」や「思い通りに運転できている感覚(拡大的身体所有感)」の評価につながることを期待している。

(D) 操作者の手(身体)に感じる支援なしに操作対象が先行して動作する場合の拡大的身体所有感の感じ方：遅延に対して、道具が先行して動作する場合の拡大的身体所有感について調査する。なおこれは、前項(C)において力覚提示がない状況を想定しており、運転者がブレーキの踏み具合をあまり意識していない状態での衝突防止自動ブレーキなどが当てはまると考えている。

### 4. 研究成果

本研究では、遅延を伴う実験における知見から、操作系における適切な遅延が道具の特性把握の助けとなり拡大的身体所有感に結び付くという仮説を立て、操作成績を向上させることを目的にこの仮説を詳細に検証している。予備実験により検証したところ(図1)適切な遅延が拡大的身体所有感を与え、操作成績を向上させることが示唆されている(図2)。



図1. ペン型入力装置を操作して画面上的マジックハンドにより物体操作する様子(予備実験)

(1)まず、マジックハンドを想定した実験において追試験（本実験）を行ったところ（図3）予備実験同様に適切な遅延が操作成績を向上させることが示唆された。また、この遅延時間は絶対的なものとは考えておらず、道具の難易度を、短いマジックハンド（比較的自身の手に近い感覚）や長いマジックハンド（自身の手よりも操作しづらい）として表現することで比較実験を行った（図4）。その結果、難易度により適切な遅延やその状況における成績の向上に変化があることは示唆されたが、明確な関連性を見出すには至っていない。

(2)適切な遅延が被験者には操作支援と捉えられているため、実際に操作支援を行った場合との比較を行うことでその効果の把握を目指した。操作者の操作量に応じた操作支援や、操作者の操作がない場合の予測的な操作支援を行う予備実験において（図5）支援の大きさや、遅延先行度合いを変化させたところ、操作成績や操作精度の向上的な変化は確認できたが、明確な関連性を見出すには至っていない。しかし、それぞれの実験において、一般には悪影響であると捉えられている操作遅延（レイテンシ）も、適切に制御することで操作成績の向上につながることを示唆されている。

(3)実験環境、実験システムを改めて精査した。本実験で利用した実験システムは、予備実験のシステムから、タスクや環境を引き継ぎつつ、臨場感を高めるなどの改良を行っていた。すなわち、全く同一ではなかった。しかし実験タスクは同等であり同様の結果が得られると期待していた。ところが複数回の追試ともやや期待に沿わない結果であった。実験タスクを精査したところ、被験者の操作動作範囲の制限がやや異なっていた。実はこの点は、より臨場感が高まることでさらに有意な結果を期待したものであった。そこでこの制限を同等にした上でさらに実験を行ったところ、予備実験に近い有意差を確認することができた（図6）。

(4)マジックハンドの長さを変更することで難易度の変化に応じた適切な遅延時間を見出す予定であったが、もっと繊細な違いにより遅延の好影響自体の発現が影響されることが示唆された。具体的には、空間的な移動において奥行き方法の移動を制限することや、実際の手の移動量に対する画面上での手の移動量を小さくする（細かな操作が容易になる？）ことが効果的であった。また、実験時のアンケートでは、被験者がありもしない支援を感じていたため、実際に各種支援行為を付加して、さらに遅延の好影響を高める方策を検討する予定であったが、前述の通り、支援を加えることによりそもそも発現が阻害されていた可能性がある。当初、期待していた結論とは若干異なってしまったが、支援、先行動作はもちろん、遅延による好影響の傾向を見出すことができた。

(5)学会等では、本仮説とその結果について様々な意見をもらうことができた。当初は懐疑的な意見も少なくなかったが、試行数や試行パターンを増やすことで、結果の信頼性も高まり、レイテンシーが好影響を与える場合もあるかもしれないと、好意的な意見をえられるようになった。

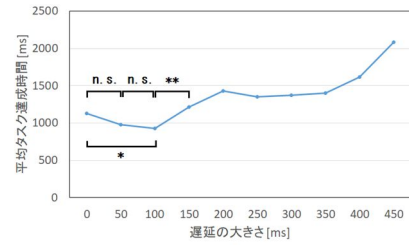


図2．遅延の大きさの変化に対する平均タスク達成時間の遷移（予備実験）



図3．ペン型入力装置を操作して画面上のマジックハンドにより物体操作する様子（本実験）

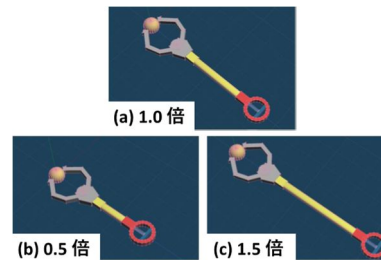


図4．道具の長さの違いによる難易度の表現

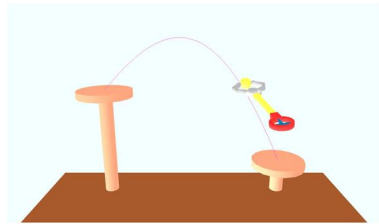


図5．支援のための擬似予測データ

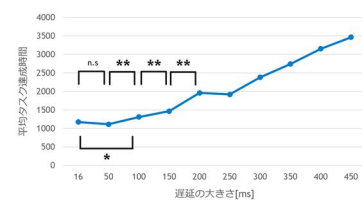


図6．遅延の大きさの変化に対する平均タスク達成時間の遷移（本実験）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計34件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Seitaro Inagaki, Kenji Funahashi
2. 発表標題 Facilitating rearward visibility by controlling eye direction in HMD viewing of panoramic images
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kyo Kato, Hayato Maki, Kenji Funahashi
2. 発表標題 Diversification of a novel tap operation interface for people with visual impairment
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seitaro Inagaki, Kenji Funahashi
2. 発表標題 Easy rearward visibility by the control of eye direction in viewing panoramic images with HMD
3. 学会等名 ACM SIGGRAPH 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤馨, 舟橋健司
2. 発表標題 非視認状態でのタッチパネル利用を想定した新しいスワイプ操作インタフェース
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第27回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三輪陽雲, 舟橋健司, 谷田公二, 水野慎士
2. 発表標題 道具操作におけるタスクの違いとわずかな遅延の積極的影響に関する調査
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第27回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Genki Uryu, Kenji Funahashi, Shinji Mizuno
2. 発表標題 Photo based improvement of virtual living room system using video call to connect family moderately
3. 学会等名 IEEE-GCCE 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Haruki Kondo, Kenji Funahashi, Shinji Mizuno
2. 発表標題 AR tooth brushing game to promote children's oral care habits through object tracking
3. 学会等名 IEEE-GCCE 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤陸, 水野慎士, 舟橋健司
2. 発表標題 トランポリンによる足元触覚と平衡感覚を用いたVRシステムの開発
3. 学会等名 情報処理学会第118回GN・第36回CDS・第33回DCC合同研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤陸, 水野慎士, 舟橋健司
2. 発表標題 VR空間での視覚操作による実物体サイズの触錯覚
3. 学会等名 情報処理学会第28回DCC研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Genki Uryu, Kenji Funahashi
2. 発表標題 Virtual living room system based on video call to connect nursing home resident and family moderately
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haruki Kondo, Kenji Funahashi
2. 発表標題 AR tooth brushing system to promote oral care habits of children
3. 学会等名 NICOGRAPH International 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤春希, 舟橋健司
2. 発表標題 小児の歯磨き指導効率上昇を目的としたARばい菌表示システム
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第26回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 顔晟裕, 秋元遼太, 舟橋健司
2. 発表標題 老視者のための実際の紙が拡大されたように見えるARドキュメント拡大眼鏡
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第26回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田貴士, 舟橋健司
2. 発表標題 BMIのための入力脳波長の異なるCNNのブレンドによる変化に鋭敏な実時間分類
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第26回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瓜生賢輝, 舟橋健司
2. 発表標題 施設入所高齢者の環境変化によるストレス軽減を目指すバーチャルリビングシステムの提案
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第26回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryota Akimoto, Masatoshi Miyaji, Kenji Funahashi, Koji Tanida, Shinji Mizuno
2. 発表標題 Positive Effect of Slight Delay for Operational Performance
3. 学会等名 IEEE-GCCE 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安素羅, 水野慎士, 舟橋健司
2. 発表標題 立体的映像を用いたオンライン参加型プロジェクションマッピングの開発
3. 学会等名 情報処理学会第184回CG・第29回DCC・第227回CVIM合同研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤馨, 牧隼永, 舟橋健司
2. 発表標題 非視認状態を想定した新たなタップ操作インタフェースの多様化の提案
3. 学会等名 NICOGRAH2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Ota, Kenji Funahashi
2. 発表標題 Blending CNNs with Different Signal Lengths for Real-time EEG Classification Sensitive to the Changes
3. 学会等名 IWAIT 2022 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江本峻, 岩堀祐之, 舟橋健司, 春日井邦夫
2. 発表標題 1枚の内視鏡画像からの形状と大きさの復元
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 江本峻, 岩堀祐之, 舟橋健司, 宇佐美裕康, 小笠原尚高, 春日井邦夫
2. 発表標題 血管構造に基づく非剛体運動のための画像マッチング手法
3. 学会等名 第23回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋元遼太, 舟橋健司, 柴田航
2. 発表標題 介護施設入居者や小児入院患者のためのVRコンテンツによる心的ケアの試み
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第25回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daichi Shibata, Kenji Funahashi
2. 発表標題 Camera Based Presentation Support System for Multiscreen Venue Using Laser Pointer
3. 学会等名 IEEE-GCCE 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮路大勇, 舟橋健司, 谷田公二, 水野慎士
2. 発表標題 道具操作におけるわずかな遅延の積極的影響と難易度に関する調査
3. 学会等名 第18回情報学ワークショップ(WiNF)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江本峻, 岩堀祐之, 舟橋健司, 宇佐美裕康, 小笠原尚高, 春日井邦夫
2. 発表標題 内視鏡画像の血管構造に着目したグラフマッチング手法
3. 学会等名 第18回情報学ワークショップ(WiNF)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kenji Funahashi, Hayato Maki, Yuji Iwahori
2. 発表標題 Novel tap operation on capacitive touch screen for people with visual impairment
3. 学会等名 ICAT-EGVE 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴田侑里子, 中川輪子, 横江夏実, 舟橋健司, 水野慎士
2. 発表標題 フレイル予防のための循環型コンテンツを用いた歩行運動システムの提案
3. 学会等名 情報処理学会第34回DCC研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三輪陽雲, 舟橋健司, 谷田公二, 水野慎士
2. 発表標題 移動タスク距離の違いがわずかな遅延による操作成績向上に与える影響に関する調査
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第28回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 稲垣正太郎, 舟橋健司
2. 発表標題 パノラマ360度画像のHMD視聴における視線方向制御とベクションによる不快感の軽減
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第28回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yakumo Miwa, Kenji Funahashi, Koji Tanida, Shinji Mizuno
2. 発表標題 Positive Effect of Slight Delay and Task Conditions for Operational Performance
3. 学会等名 IEEE-GCCE 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenji Funahashi, Yuzuki Matsunoo
2. 発表標題 A Visual Approach to Pseudo Unseen Presence in the Metaverse Using HMD
3. 学会等名 ICAT-EGVE 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuriko Shibata, Wako Nakagawa, Natsumi Yokoe, Shinji Mizuno, Kenji Funahashi
2. 発表標題 Development of a walking exercise system to prevent frailty that allows users themselves to create interactive video content
3. 学会等名 IWAIT 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Seitaro Inagaki, Kenji Funahashi
2. 発表標題 Eye direction control and reduction of discomfort by vection in HMD viewing of panoramic images
3. 学会等名 IEEE VR 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yakumo Miwa, Kenji Funahashi, Koji Tanida, Shinji Mizuno
2. 発表標題 Effects of moving task condition on improving operational performance with slight delay
3. 学会等名 IEEE VR 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	谷田 公二  (Tanida Koji)  (80803931)	近畿大学・理工学部・准教授   (34419)	
研究分担者	水野 慎士  (Mizuno Shinji)  (20314099)	愛知工業大学・情報科学部・教授   (33903)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------