

2021年度 卒業論文

論文題目

道具操作におけるわずかな遅延の  
操作感覚への積極的影響に関する調査

指導教員

舟橋 健司 准教授

名古屋工業大学 工学部 創造工学教育課程  
2018年度入学 30119041

三輪 陽雲

# 目次

第1章 はじめに	1
第2章 奥行きに関する制限のない実験	5
2.1 実験の概要	5
2.2 実験システム	7
2.3 実験の手順	8
2.4 結果と考察	11
第3章 奥行きに関する制限のある実験	16
3.1 実験の概要	16
3.2 実験のシステム	18
3.3 実験の手順	18
3.4 結果と考察	18
第4章 むすび	22
謝辞	23
参考文献	24

## 第1章 はじめに

私たちは道具を使用したときの経験を使用感や使い心地、ユーザーエクスペリエンスなどの言葉により表現する。これらは効果効率などや便利さを評価する、使い勝手やユーザビリティという言葉とは区別される [1][2]。では、ユーザーエクスペリエンスはどのように得られるのだろうか。ユーザーエクスペリエンスは様々な表現で説明されるが、「ユーザーが触れるモノ・コト・環境などあらゆる外部要因に対する、ユーザーの内側で起きる心情の変化と、その結果としてユーザーの頭の中に残る記憶や印象、または感情」とまとめて言い表す。ユーザーエクスペリエンスとは体験を経て得られるものであり、その体験は主体的で、他者の体験を見聞きしただけでは得ることが出来ない。自らが経験し、得られた記憶や印象、感情こそがユーザーエクスペリエンスなのである。例えばマツダロードスターを試乗した自動車評論家は「車両の挙動に少し緩さを設け、後輪の動きを操りながらボディを内側に向ける楽しさがある」とコメントしている [3]。また卓球のラケットにおいては「球持ち」という概念が存在する。「球持ち」とはラケットとピンポン玉の接触時間の長さの事である。卓球用のラケットを製造する大手メーカーでは、選手はラケットの表面素材の組み合わせを変更することでラケットとピンポン玉の接触時間を変化させ、球のコントロールの感触を好みのものに調整することが出来ると商品を紹介している [4][5]。もちろん、プレイヤーは車やラケットなどの道具のコントロールにおいて、このような詳細な感触を得ることが出来ずとも車の軌道やピンポン玉の回転数と軌跡をコントロールすることが出来れば、道具の操作としての目的は達成できる。しかし、それは結果であり、そこに至るまでの操作過程で得られるものがユーザーエクスペリエンスなのである。

認知科学の分野では自己の認識についての研究が行われており、その研究として認知科学者の Gallagher は自己意識 (self consciousness) を narrative self と minimal

selfの二つに分けて考えた [6]. narrative selfとは「永続的に存在する自己」の事を指し、これは自分の存在、アイデンティティを指し示している。一方, minimal selfとは「一時的な、その場その限りの自己」の事を指し、これを更に自己主体感 (sense of self-agency) と身体所有感 (sense of self-ownership) に分けた。自己主体感は「自分自身で行為を行っている」という感覚であり、身体所有感は「ある行為は自分の身体によって行われている」という感覚である。この2つの感覚の違いを「卓球のラケットを使用し、球を打ち返す動作」という例に当てはめて考えると、「自分の意思で球を打ち返した」という感覚が自己主体感であり、「打ち返したラケットを操作したのは自分の手である」という感覚が身体所有感にあたる。ユーザーエクスペリエンスにおいて重要である「自らの経験」には「自分自身で行為をしている」という自己主体感が必要である。それは行為をしているのが自分であると感じ取れないのならば、その経験は自らの経験であるとは言えないからである。そして自己主体感の生起には、その背後において行為主が自分であるかという判断が必要である。つまり行為を行ったのが自分であるか、それ以外の人物であるかという行為主の判別こそが自己主体感の本質である [7][8].

では一体どのようにして人は行為主を判別しているのか。モーターコマンド (motor-command) 理論は、神経心理学的に行為のメカニズムを説明するものだが、行為主判別のメカニズムも説明することが出来る [8]. モーターコマンド理論によると、人々が行為をする際にインターナルモデル (internal model) という内部システムが働いているという [9]. インターナルモデルは更にフォワードモデルとインバースモデルに分けられる。フォワードモデルでは現在の状態においてある指令が与えられた際、次にどんな状態へと変化するのか予想する。インバースモデルでは目標の状態を達成するのに必要な指令を推定する。状態の変化の予測を行うフォワードモデルと目標が達成されるのに必要な指令を推定するインバースモデルの2つが相互に補完し合うことによって人々はスムーズな行為が出来る。フォワードモデルにはいくつかの有用性があると考えられており [7], その一つが行為主の判別である。フォワードモデルにより「行為の結果の予測」を行い、その予測と「実際の行為の結果」が一致した場合に、行為主を自己へと帰属すると考えられている [9][10]. つまりは自分の行為とその結果が予想通りであるとき、その行為をしたのは自分であると感じる

のである [11][12][13]. このような行為主の判断によって自己主体感は生起され、行為の予測と結果の一致が強いほど自己主体感は強まると考えられる.

人間の行動に着目した時、人は必ずしも外部からの情報を得て、判断し、結果を予測して行動を起こすかと問われればそうとは言えない. 一般に人間の環境への適応を見ると、外部から視覚や聴覚を利用した情報入力過程の終了を待っている動作が間に合わないため先を見越した行動をすることも多い [14]. 車の運転を例にすると、運転の際の状況判断として最も重要なのは目から得られる視覚情報であり、それを基に適切な判断をして脳は手や足に指令を送り、運転が行われる. 視覚情報が脳へと到達するのにはいくらか時間を要し、また筋肉が指令を受けて実際に動作するまでにも時間がかかる [15]. 一般に目で見えたものに対する反応時間は約 100ms-300ms である [15]. 文献 [14] では自動車運転の例を挙げて「人が車と道路の位置関係を把握してからハンドルを切っているのは反応が遅れてしまい、カーブ走行の際などで、道路に先んじてハンドルを切らないと安全走行は困難になる」と述べている. しかし、人間の視覚—運動系メカニズムには予測システムが存在し [16][17], このシステムは動作の時間遅れを過補完して環境の変化に先んじる特徴を持っている [18][19]. その上で文献 [14] では、「このシステムによって人間は安全性を確保した運転をすることが出来る」と述べている.

ではこの環境の変化に先んじる予測システムが働いたとき、自己主体感はどう変化するのか考える. 時間遅れを過補完しているため、フォワードモデルにおける行為の結果の予測と実際の行為の結果は、実際の行為が先行することになり、予測と結果に不一致な部分生まれ自己主体感が低下するのではないだろうか. 過補完された時間遅れを意図的な遅延によって補完するのならばより高まった自己主体感、ユーザーエクスペリエンスを得ることが出来ると推測できる.

当研究室では何らかの道具操作の熟練者は、道具を自身の手足のように扱うという表現をすることから、人が道具を自身と一体であると認識し、手足のように扱う感覚を拡大的身体所有感とよんでいる [20][21]. また人間は道具を扱うときに道具を身体の延長として認識し、身体への接触の感知に関与する脳領域は、道具を持った場合でも同様の働きをする [22]. ならば拡大的身体所有感はどれほど道具を身体の延長として認識されているかの指標として扱えるだろう. 道具の操作に長けていな

い人物が拡大的身体所有感を感じ、道具をうまく利用するためには、適切に道具を認識しつつ、振り回されないようにすることが重要であると考え。モーターコマンド理論と人間の視覚—運動系メカニズムの予測システムの関係から、わずかな遅延が予測と結果を一致させることで、拡大的身体所有感を増大させ、道具の適切な認識に有効であると期待できる。

文献 [20] では遅延が長いほど自己主体感、身体所有感、道具操作性が単調減少するという結果が得られると予想し、VR 環境下において操作者による操作開始から実際の対象物の移動開始までの遅延に着目した実験を行った。その結果、全般的には自己主体感と身体所有感は遅延が長いほど単調減少する傾向を示していたが、わずかな遅延に対しては道具操作性が向上することが示唆された。しかし文献 [21] のように追実験をしたところ、わずかな遅延が道具操作性を向上させるという傾向はほとんどみられなかった。この2つの実験を精査したところ相違点が存在した。2つの実験では画面上に表示された球を台から台へ移動させるというタスクを被験者に課していたが、一方の実験では奥行き方向に関する移動を完全に制限しており、移動をさせることが出来ず、もう一方の実験では奥行き方向に関してある程度の移動を許容していた。後者の実験においては奥行き方向へ球と台の座標を合わせなければいけないため、これらの実験には難易度の差が存在したと考えられる。そこで、操作系における適切な遅延が自己主体感の獲得や、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引き継ぎ、追加の検証実験を行う。奥行き方向への移動の可不可が実験の結果に影響を与えと考え、文献 [20] に準じた奥行き方向への移動を完全に制限した実験と、文献 [21] に従い奥行き方向への移動をある程度許容した実験を行う。

本論文では、第2章と第3章で難易度を変化させた操作系における遅延に着目した実験について述べる。そして第4章では本研究のまとめと今後の課題について述べる。

## 第2章 奥行きに関する制限のない実験

### 2.1 実験の概要

操作系における適切な遅延が自己主体感の獲得や拡大的身体所有感に結び付く、という仮説を検証したい。また奥行き方向への移動の可不可が結果に与えた影響を調査したい。そこで先行研究 [20][21] で行われた実験の追試を行う。本論文中では最初に行われた奥行き方向への移動に制限がある実験を 1a, 次に行われた奥行き方向への移動に制限がない実験を 2a と呼ぶ。実験 1a ではわずかな遅延が操作成績に良い影響を及ぼしたことが示唆され, 図 2.1 の結果が得られた。遅延の大きさが 50[ms] と 100[ms] の時の平均タスク達成時間は 0[ms] のものより短くなっている。また 0[ms] と 100[ms] のタスク達成時間の間には 5%の有意差が見られた。このことから操作成績が向上していることが期待できる。しかし実験 2a ではよい影響がほとんど見られなかった。

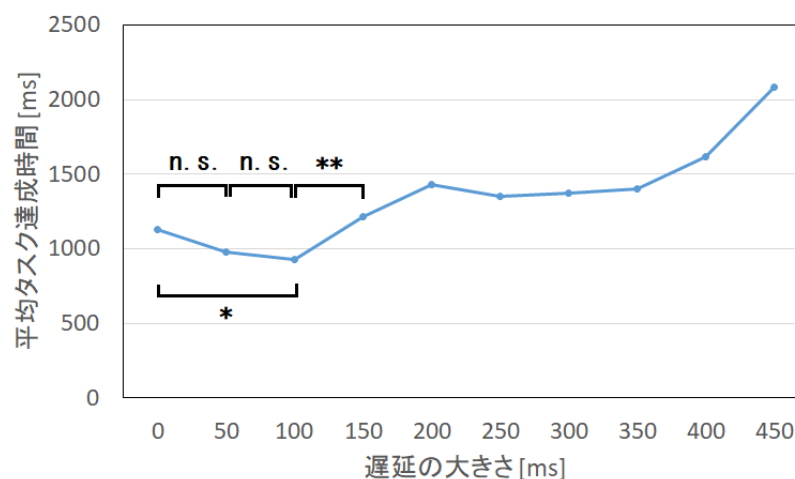


図 2.1: 実験 1a の遅延の大きさの変化に対する平均タスク達成時間の遷移, 論文 [20] より引用

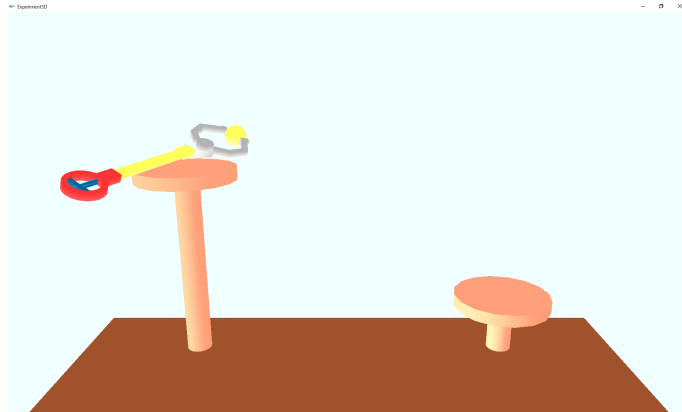


図 2.2: 実験システムで対象物を移動する様子

そこで続いて、実験 2a の結果を再確認するために追加実験 2b を行う。実験 2b では実験 2a と同様に、被験者に道具を使って対象物を操作するタスクを与える。タスクをシンプルにするために、道具はマジックハンドとし、操作は対象物のある台から別の台への移動とする。被験者の手から道具であるマジックハンド、そして最終的な対象物の動きに対して遅延を実現するため、タスクはバーチャル空間での操作とする。具体的には、画面上に 2 つの台と対象物 (球)、そしてマジックハンドを描画する。マジックハンドの動きは把持部位が 3 次元的に動くペン型入力装置の動きと連動している。入力装置については 2.2 節で詳しく述べる。被験者は入力装置を操作し、画面上のマジックハンドによって対象物を台から台へ移動する (図 2.2, 図 2.3)。このとき、入力装置とマジックハンドの間に遅延をもうける (入力遅延と描画遅延以外の遅延をもうけない場合も含む)。対象物の運動は、等速直線運動や等角速度回転運動および停止状態などの定常状態と、過渡状態に分けて考えることができる。定常状態での遅延は被験者に認識されにくいことが考えられるので、短い移動とすることで過渡状態に注目してもらう。自己主体感と拡大的身体所有感、ならびに道具操作性を、被験者による操作感覚についてのアンケート回答と、対象物の台から台への移動時間により評価する。実験 2b の被験者は大学生および大学院生 (20 代) の男性 23 名女性 1 名、計 24 名である。22 名が入力装置を右手で操作し、2 名が左手で操作した。また全ての参加者から実験参加について同意が得られている。





図 2.3: ペン型入力装置を操作し、画面上のマジックハンドを動かす様子

## 2.2 実験システム

実験 2b は実験 2a と同一の実験システムを利用して行う。実験には、PC と 22 インチ液晶ディスプレイを使用する。また、入力装置として 3 次元力覚入出力デバイス (Geomagic Phantom Omni, 以降 PHANTOM) を使用する (図 2.4)。PHANTOM は、ペンを持つように操作することで、その 3 次元座標やペンの角度などを得ることができる。また、力覚フィードバックによる出力装置としても用いることも可能であり、ペンの位置をシステム側から操作したり固定したりできる。

被験者による対象物の移動時間を計測したい。また定常状態と過渡状態を明確に分けたい。そこで移動開始前には画面中の対象物を固定する。このとき、視覚的にも固定されていることを表すために対象物の上に「ふた」を描画する (図 2.5)。また同じく画面中のマジックハンドの移動も制限し、PHANTOM を固定する。移動操作開始を予告するために 3 秒間のカウントダウンを数字で表示する。カウントダウン後に前述の固定を解除することで、被験者は移動操作が可能となる。また、台と台の位置関係が常に同じであると被験者が操作に慣れてしまう恐れがあるため、台の位置も変更可能とする。ただし、互いの距離が変化してしまうとタスクの公平性



図 2.4: 使用したデバイス PHANTOM

が保てず、移動時間の評価に支障をきたすため、これらの距離は常に一定とする (図 2.6).

### 2.3 実験の手順

実験に先立ち、被験者にタスクの位置づけを理解してもらうために、以下の基準動作 1-4 を体験してもらう。

**動作 1** 手で対象物 (スポンジ) を直接操作する (図 2.7).

**動作 2** 実物のマジックハンドで対象物 (スポンジ) を直接操作する (図 2.8).

**動作 3** 遅延を最小とした実験システムにおいて対象物を操作する (図 2.9).

**動作 4** 実験における最大の遅延としたシステムにおいて操作する。

この動作 1 により道具を利用しない移動操作を理解してもらうとともに、動作 2 により実際に道具を手にして道具により対象物の移動操作を行う状況を体感してもらう。動作 3 は動作 2 と同等と位置づけであるとの説明を与えるとともに、実験システムに慣れてもらう。動作 4 により実験においてこのような遅延を付加することがあることを理解してもらう。またこれらは、実験後のアンケートにおいて回答の指

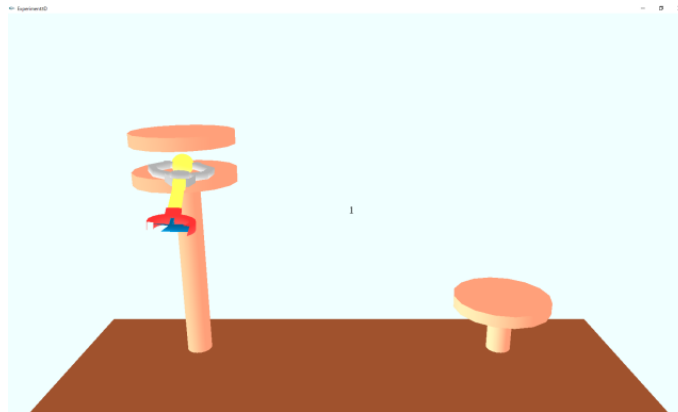


図 2.5: カウントダウン中の様子

標としていることも説明する。

実験における遅延は0[ms](入力遅延と描画遅延を含めると最小でも16[ms]であるが、ここでは16[ms]の遅延を「遅延なし」0[ms]と扱う)から450[ms]までの、50[ms]刻みの10種類とする。被験者には1回の試行において10回の移動タスク(5往復)を連続して行ってもらう。被験者24名に対して1人あたり10試行、10通りの遅延をランダムな順で割り当てる。実験システムを含む基準動作の体験ののち、以下の手順で実験を1人あたり10試行(10通りの遅延)行う。被験者にはPHANTOMを用いた実験システムに慣れてもらうために実験前に遅延が無い状態において最低でも1試行、10回の移動タスクを与える。その後、「慣熟に関して不安があるかどうか」と質問をし、不安を感じる場合は慣熟したと感じるまで10回の移動タスクを繰り返し行ってもらう。なお、全ての被験者は1試行で慣熟したと答えた。

**手順1** 遅延と台の位置を設定する。

**手順2** 対象物移動の実験の開始を意識してもらうために、被験者に自身でPHANTOMを操作してもらい、画面中のマジックハンドを動かして台の上の対象物をつかんでもらう。

**手順3** 1試行あたり、以下のタスクを10回(5往復)行う。

**3-1** 3秒間のカウントダウンの間、待機してもらう。

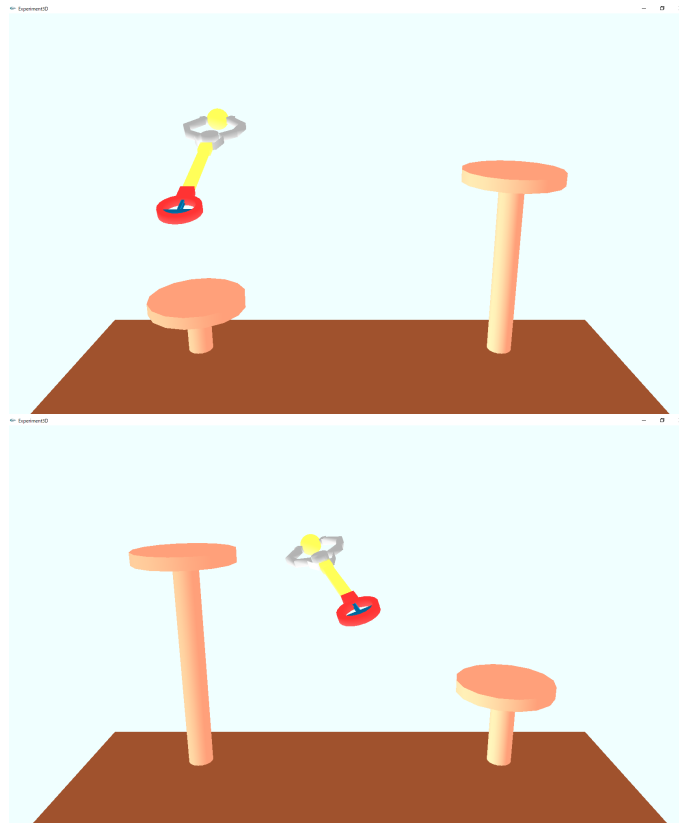


図 2.6: 台同士的位置関係の例

**3-2** 開始の合図と同時に、台の上の対象物をもう一方の台へできるだけ早く放物線を描くように移動してもらう。

**手順 4 1** 試行ごとに操作時の感覚について、以下のアンケートに回答してもらう。

**質問 1** 自身の意図でマジックハンドを動かせたかどうか (自己主体感)

**質問 2** マジックハンドを自身の手のように感じたかどうか (拡大的身体所有感)

なお、質問 1 と質問 2 は、0 から 9 の 10 段階で評価してもらう。このとき前述の基準動作 1-4 において、自身の手による動作 1 を評価値 10、実際のマジックハンドによる動作 2 と実験システムによる動作 3 を同等であると位置付けて評価値 5、実験システムによる遅延最大の動作 4 を評価値 0 とし、指標として 0 から 9 の間で各試行を評価してもらう。例えば、ある遅延における操作が、遅延なしのマジックハンドの状況と遅延最大の状況の間と感じたのであれば、評価は 1 から 4 となる。また、



図 2.7: 手で対象物を操作する様子

もしも遅延なしのマジックハンドの状況よりも実際の手による直接的な操作に近いと感じれば評価は5より大きくなる。

## 2.4 結果と考察

実験 2b に要した時間は各被験者ごとに異なるが、各タスクは全ての遅延によっておおよそ1秒から4秒程度で完了し、各試行は平均1分30秒程度で終了した。また説明や練習の時間を含めて、1人あたり20分程度で終了した。

タスク達成時間について考察する。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を図2.10に示す。図2.10に示される検定結果はマンホイットニーのU検定によって得られた結果である。実験2bにおいて全体では遅延が大きくなるほど平均タスク達成時間は長くなっていることが分かる。実験2bでの平均タスク達成時間は遅延がより小さいときの平均タスク達成時間よりも短くなることはなかった。ただし遅延16[ms]と50[ms]、遅延100[ms]と150[ms]の平均タスク達成時間の検定結果は有意差が見られない事から、わずかな遅延が操作性へ好影響を与える可能性も完全には否定できない。



図 2.8: マジックハンドで対象物を操作する様子

遅延の大きさと難易度以外の条件がタスク達成時間に影響を及ぼしていないことを実験 2a と同様に確認した。各試行 (10 回, 5 往復の移動) のうちのタスク 1 回目, タスク 6 回目, タスク 10 回目の総当たりの組み合わせと遅延の大きさについて二元配置分散分析を行った。その結果, 各試行におけるタスクの順番によるタスク達成時間に有意差はなく, またそれぞれの順番のタスクと遅延に交互作用も見られなかった。このことから, 1 試行のタスク数が 10 回であることにより遅延が小さい場合には慣れが生じる, ないしは遅延が大きい場合には疲労が蓄積されるなどの影響はなく, すなわちタスク達成時間は 1 試行あたりのタスク数に影響されていないことが分かった。

次に自己主体感に関するアンケート結果と拡大的身体所有感に関するアンケート結果について考察する。実験 2b における遅延の大きさと自己主体感に関する官能評価の関係を図 2.11 に, 遅延の大きさと拡大的身体所有感に関する官能評価の関係を図 2.12 に示す。図 2.11, 図 2.12 に示される検定結果はマンホイットニーの U 検定で得られたものである。実験 2b における官能評価は, どちらも遅延が大きくなるにつれて官能評価の評価値は小さくなっている。



図 2.9: 実験システムにおいて対象物を操作する様子

実験 2b の結果は実験 2a の結果と同じように遅延によって操作性や自己主体感, 拡大的身体所有感を向上させることはなかった.

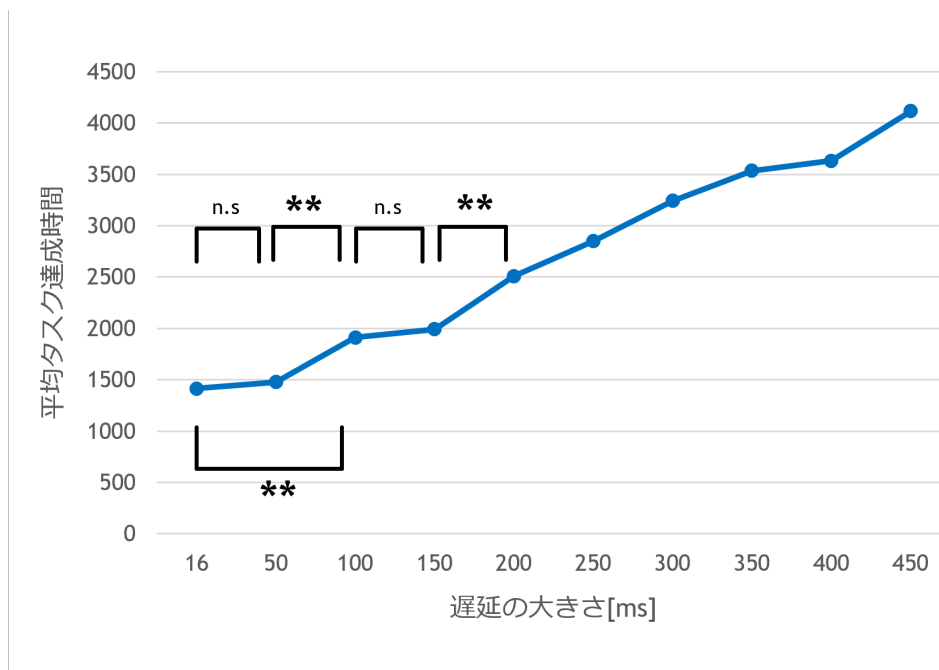


図 2.10: 実験 2b の遅延の大きさの変化に対する平均タスク達成時間の遷移

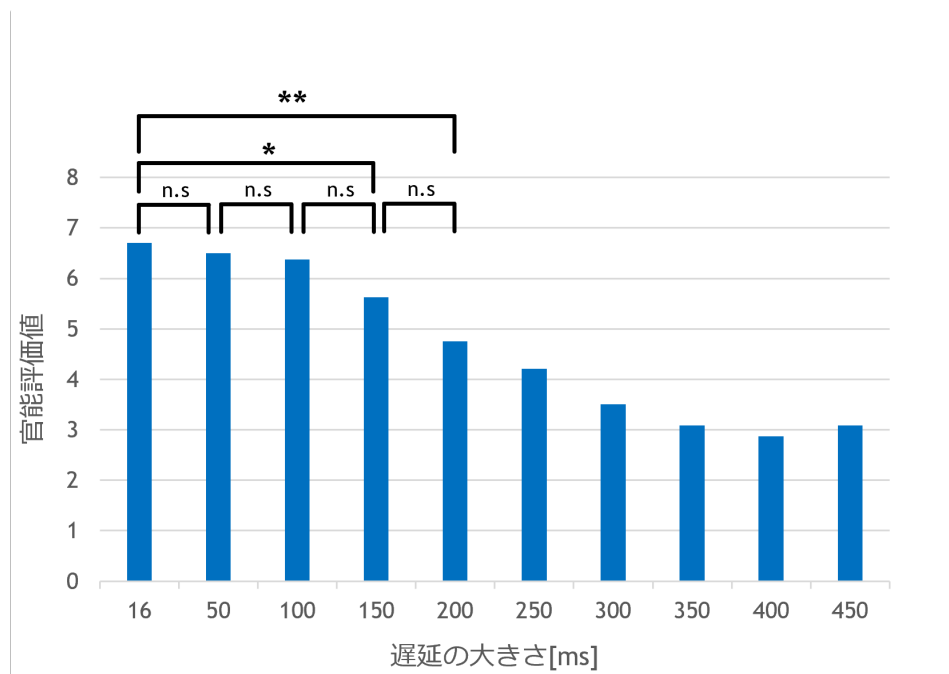


図 2.11: 実験 2b の遅延の大きさの変化に対する自己主体感に関する平均官能評価の遷移



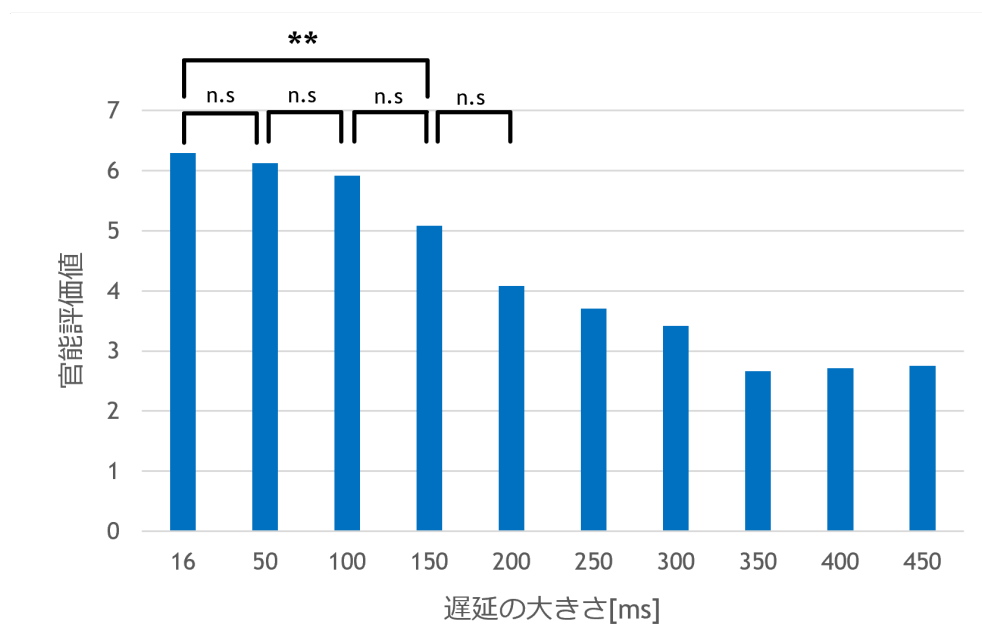


図 2.12: 実験 2b の遅延の大きさの変化に対する拡大的身体所有感に関する平均官能評価の遷移

## 第3章 奥行きに関する制限のある実験

### 3.1 実験の概要

前章の実験 2b では期待した結果は得られなかった。前述の通り実験 2b のシステムは実験 2a と同一である。ところで実験 2a のシステムは機器構成は実験 1a と同一であるが、プログラムに若干の変更が加えられた。本質的な変更は行っていないはずであったが、精査したところ結果に影響しそうな変更が認められた。具体的には奥行き方向への移動の可否である。図 3.1 に示すように、被験者から見て、実験 1a では上下左右方向の移動に限定されていた。それに対して実験 2a と 2b では同様の上下左右の移動に加えて、対象物 (マジックハンドの操作部分) が台の奥行き分だけ前後にも移動することができた。台の奥行き分に限定されているため操作の難易度は変わらないかとも思えるが、変わらないのは台の上面が帯状の前後稼働範囲を隙間なく占めている場合だけである。実際には台の形状が円形であり、前後移動が制限されている場合と比べると (図 3.2(上)), 奥行きの座標によりタスク達成のゴール地点の左右座標の範囲に大きな違いが生じる (図 3.2(下))。実験ではステレオ視を行っておらず、被験者は球やマジックハンドの大きさなどから奥行きを把握する必要があった。すなわち難易度に差があった。そこで実験 2b のプログラムを奥行き方向への移動の点においてのみ変更することで実験 1a 相当の実験環境を再現して、さらに、実験 1a の追加実験 1b を行う。

実験 1b の被験者は大学生および大学院生の男性 23 名、女性 1 名、計 24 名である。22 名が入力装置を右手で操作し、2 名が左手で操作した。実験 1b と 2b の両方に参加した被験者は 9 名であり、実験 2b への協力から 1 か月以上の間隔があいている。また全ての参加者から実験参加について同意が得られている。

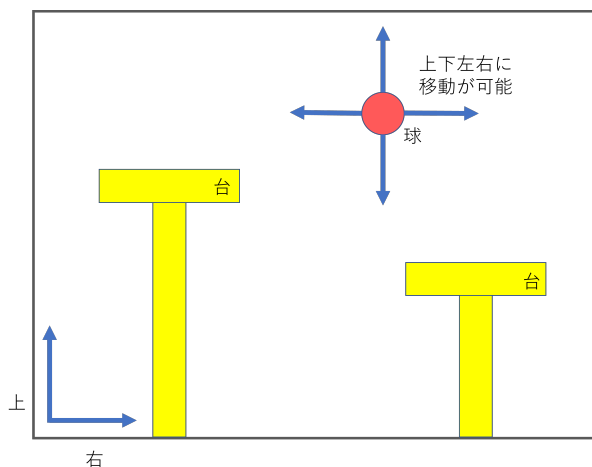


図 3.1: 実験 1a, 2a で用いた実験システムの側面図

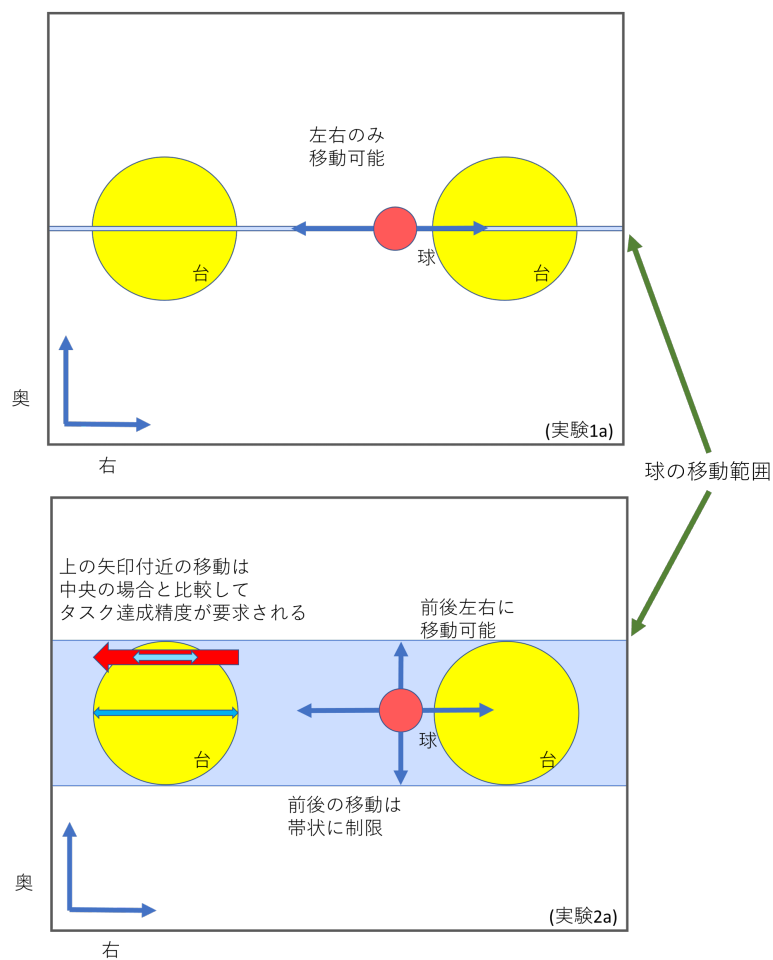


図 3.2: 実験 1a で用いた実験システムの平面図 (上) と実験 2a で用いた実験システムの平面図 (下)

## 3.2 実験のシステム

実験システムは奥行き方向への移動の制限を除いて、第2章で行った実験2bと同一である。移動の制限は実験1aや、実験2a, bの帯状の制限方法と同様にPHANTOMの機能を用いて行う。

## 3.3 実験の手順

実験手順は第2章で行った実験2bと同一である。同じ動作、手順、タスクを被験者に行ってもらい、自己主体感と拡大的身体所有感に関するアンケートも同じ内容、同じ評価基準で回答してもらい。

## 3.4 結果と考察

実験に要した時間は各被験者ごとに異なるが、各タスクは全ての遅延によっておおよそ1秒から4秒程度で完了し、各試行は平均1分30秒程度で終了した。また説明や練習の時間を含めて、1人あたり20分程度で終了した。

タスク達成時間について考察する。実験1bにおける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を図3.3に示す。実験1bにおいて全体では遅延が大きくなるほど平均タスク達成時間は長くなっていることが分かる。しかし、50[ms]に着目すると16[ms]に比べ平均タスク達成時間が短くなっている。このことから、難易度が低い操作系では適切な遅延が操作成績を向上させることが期待できる。しかしマンホイットニーのU検定を行ったところ、50[ms]と16[ms]の平均タスク達成時間において有意差はみられなかった。

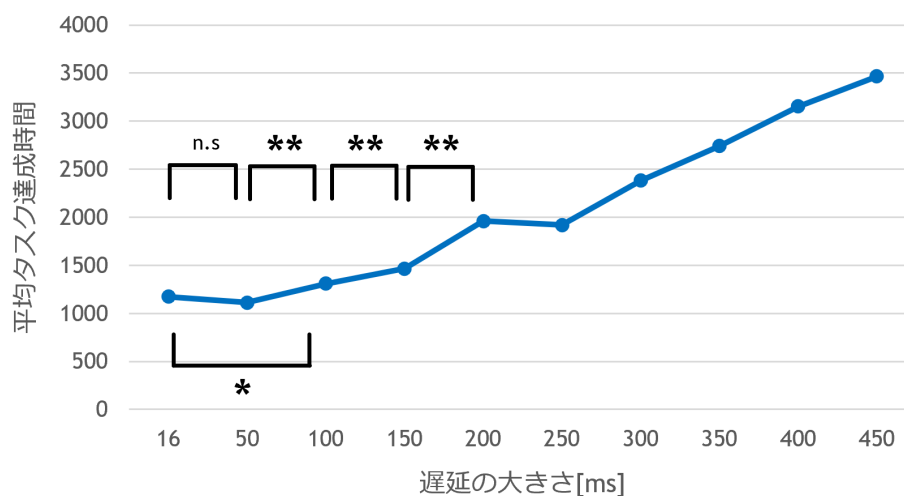


図 3.3: 実験 1b の遅延の大きさの変化に対する平均タスク達成時間の遷移

遅延の大きさと難易度以外の条件がタスク達成時間に影響を及ぼしていないかを検討する。各試行(10回, 5往復の移動)のうちのタスク1回目, タスク6回目, タスク10回目の総当たりの組み合わせと遅延の大きさについて二元配置分散分析を行った。その結果, 各試行におけるタスクの順番によるタスク達成時間に有意差はなく, またそれぞれの順番のタスクと遅延に交互作用も見られなかった。このことから, 1試行のタスク数が10回であることにより遅延が小さい場合には慣れが生じる, ないしは遅延が大きい場合には疲労が蓄積されるなどの影響はなく, すなわちタスク達成時間は1試行あたりのタスク数に影響されていないことが分かった。

次に自己主体感に関するアンケート結果と拡大的身体所有感に関するアンケート結果について考察する。実験1bにおける遅延の大きさと自己主体感に関する官能評価の関係を図3.4に, 遅延の大きさと拡大的身体所有感に関する官能評価の関係を図3.5に示す。実験1bにおける官能評価は全体を通して右肩下がりであるが, 自己主体感に関する平均官能評価遅延と拡大的身体所有感に関する平均官能評価の大きさが50[ms]のとき, 16[ms]のものを超え, 最も大きくなっている。このことから難易度が低い操作系では適切な遅延が自己主体感や拡大的身体所有感に結び付くことが期待できる。しかし16[ms]と50[ms]の評価の組み合わせを対象としてマンホイットニーのU検定を行ったところ, どちらにも有意差が見られなかった。

遅延の大きさが50[ms]のときにタスク達成時間が最も小さくなったこと、アンケートでの平均官能評価の結果が最も大きくなったことから、難易度が低い操作系において適切な遅延は操作性を向上させ、操作系における適切な遅延が自己主体感の獲得や、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可能性がある。

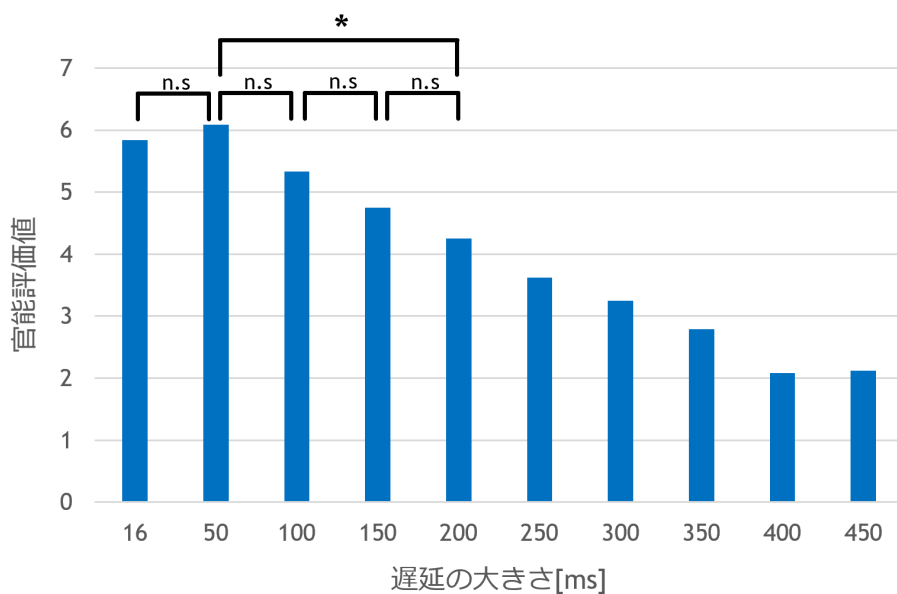


図 3.4: 実験 1b の遅延の大きさの変化に対する自己主体感に関する平均官能評価の遷移

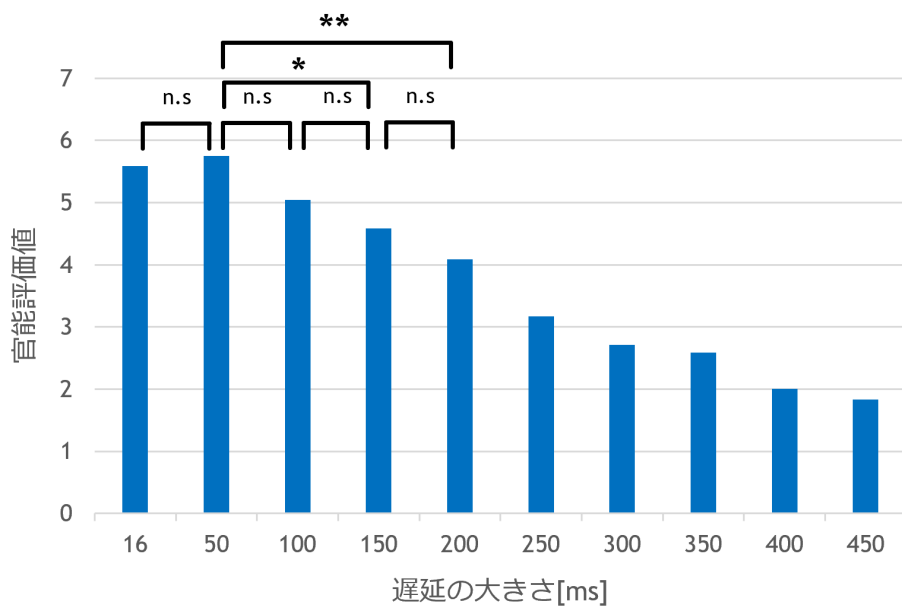


図 3.5: 実験 1b の遅延の大きさの変化に対する拡大的身体所有感に関する平均官能評価の遷移

## 第4章 むすび

本研究では先行研究 [20][21] から、操作系における適切な遅延が、自己主体感の獲得や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引き継ぎ、追加の検証実験を行った。その結果、適切な遅延により自己主体感と拡大的身体所有感は遅延が無い時よりも高まり、操作成績も遅延がない場合と比較して向上することが示唆された。このことから、適切な遅延は自己主体感の獲得や拡大的身体所有感の増大に結び付き、道具の適切な認識に有効であるかもしれない。しかし有意差が確認できる結果は得られず、また難易度が低い操作系ほど有効であることも示唆された。難易度が低い操作系でなければ適切な遅延による成績と操作感覚の向上が見られないのならば、インターフェイス改善への応用は期待できないかもしれない。しかし、人間の道具操作の特性への理解という点からは、遅延の好影響の興味深さは変わらない。

今後は、操作難易度の違いにより適切な遅延による操作性への好影響の有無が異なることに注目したい。今回の実験では奥行き方向への移動を制限することによって操作難易度を変更したが、他の観点からの操作で操作難易度を変更した際に適切な遅延による操作性の変化が見られるかどうかは不明である。操作難易度が更に低くなれば、より顕著に操作性の向上が認められると考える。水平面上の物体の操作や単純な線上の物体の操作など様々な操作方法を想定することで難易度を変更し、操作難易度と適切な遅延による操作性の向上の関係性を明らかにしていきたい。



## 謝辞

本研究を進めるにあたって、日頃から多大な御尽力をいただき、ご指導を賜りました名古屋工業大学、舟橋健司 准教授、伊藤宏隆 助教に心から感謝致します。また、本研究の共同研究者である近畿大学の谷田公二様に研究の機会を与えてくださったことを深く感謝致します。

最後に、本研究に多大な御協力いただきました舟橋研究室諸氏ならびに被験者の方々に心から感謝致します。

## 参考文献

- [1] ISO9241-11, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals. Guidance on Usability, 1998.
- [2] 小南祐貴, 伊藤恵, ユーザーエクスペリエンスを考慮したソフトウェア開発支援, 日本ソフトウェア科学会第30大会講演論文集, 2013.
- [3] 渡辺陽一郎, “マツダ「ロードスター」の新型と旧型を比較してみた”,  
<https://autoc-one.jp/mazda/roadster/special-2164960/0003.html>  
(閲覧日: 2022年2月4日)
- [4] “初級者向け／シェークのおすすめ組み合わせ”,  
<https://www.butterfly.co.jp/learning/combo/shake.html>  
(閲覧日: 2022年2月4日)
- [5] “初級者向け／ペンのおすすめ組み合わせ”,  
<https://www.butterfly.co.jp/learning/combo/pen.html>  
(閲覧日: 2022年2月4日)
- [6] Shaun Gallagher, Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science, *Trends in Cognitive Science*, 4, 14–21, 2000.
- [7] D. M. Wolpert, Z. Ghahramani, M. I. Jordan, An internal model for sensorimotor integration, *Science*, 269, 1880–1882, 1995.
- [8] D. M. Wolpert, Computational approaches to motor control, *Trends in Cognitive Science*, 1, 209–216, 1997.
- [9] R. C. Miall, D. M. Wolpert, Forward models for physiological motor control, *Neural Networks*, 9, 1265–1279, 1996.

- [10] S. J. Blakemore, D. A. Oakley, C. D. Frith, Delusions of alien control in the normal brain, *Neuropsychologia*, 41, 1058–1067, 2003.
- [11] S. J. Blakemore, D. M. Wolpert, C. D. Frith, Abnormalities in the awareness of action, *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 237–242, 2002.
- [12] C. D. Frith, S. J. Blakemore, D. M. Wolpert, Abnormalities in the awareness and control of action, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Biological Sciences*, 355, 1771–1788, 2000.
- [13] C. D. Frith, S. J. Blakemore, D. M. Wolpert, Explaining the symptoms of schizophrenia: Abnormalities in the awareness of action, *Brain Research Reviews*, 31, 357–363, 2000.
- [14] 高地康宏, 村岡一信, 沢田康次, 太田博雄, 高齢運転者のカーブ走行時運転挙動特性について, *人間工学*, 44, 3, 165-170, 2008.
- [15] J.R. Carl, R.S. Gellman, Human smooth pursuit: stimulus-dependent responses, *Journal of Neurophysiology*, 57, 1446–1463, 1987.
- [16] R.C. Miall, D.J. Weir, J.F. Stein, Manual tracking of visual targets by trained monkeys, *Behavioral Brain Research*, 20, 185–20, 1986.
- [17] S.J. Blakemore, G. Rees, C.D. Frith, How do we predict the consequence of our actions?, *Neuropsychology*, 36, 521–529, 1998.
- [18] 石田文彦, 沢田康次, 人の感覚運動システムにおける先行位相の定量的研究, 計測, 自動制御学会論文集, 39, 59–66, 2013.
- [19] F. Ishida, Y. Sawada, Human hand moves proactively to the external stimulus: An evolutionary strategy for minimizing transient error, *Physical Review Letter*, 93, 168105, 2004.
- [20] 宮路大勇, 舟橋健司, 谷田公二, 遅延が道具における身体所有感に与える影響に関する調査, 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2019.

- [21] R. Akimoto, M. Miyaji, K. Funahashi, K. Tanida, S. Mizuno, Positive Effect of Slight Delay for Operational Performance, IEEE-GCCE, 162–166, 2021.
- [22] Tobias Heed, Somatosensory Cortex Efficiently Processes Touch Located Beyond the Body, *Current Biology*, 29, 24, 1301–1303, 16, December 2019.