



わずかな遅延による操作成績向上の調査における 奥行き移動制限にかかる入力装置の影響

Differences in input devices for improving operational performance with slight delay

木下新之助¹⁾, 舟橋健司²⁾, 谷田公二³⁾, 水野慎士⁴⁾

Shinnosuke KINOSHITA, Kenji FUNAHASHI, Koji TANIDA, and Shinji MIZUNO

1) 名古屋工業大学 (〒 465-8555 名古屋市昭和区御器所町, s.kinoshita.869@stn.nitech.ac.jp)

2) 名古屋工業大学 (〒 465-8555 名古屋市昭和区御器所町, kenji@nitech.ac.jp)

3) 近畿大学 (〒 577-8502 東大阪市小若江 3-4-1, tanida@mech.kindai.ac.jp)

4) 愛知工業大学 (〒 470-0392 豊田市八草町八千草 1247, s.mizuno@aitech.ac.jp)

概要: 当研究室では 3 次元入力装置を通じた道具操作においてわずかな遅延が操作成績に与える影響を調査しており, 奥行き移動を制限することで成績が向上することが示唆されている. 本研究では, 2 次元入力装置 (マウス) を利用した場合の影響を調査した. 通常のマウス利用においてはマウスの移動平面と画面内のカーソルの移動平面は 90 度程度異なる. そこで 3 次元入力装置のように移動方向を一致させた環境でも調査した.

キーワード: 道具操作, 遅延, 2 次元入力装置

1. はじめに

一般的に遅延は道具の操作において悪影響を与えると考えられている [1][2]. しかし, 日本の自動車メーカーのマツダ株式会社では「アクセルを動かし始めて, 首筋の緊張が始まるまでの時間は 0.2~0.3 秒で一定であり, “その構えのタイミング” に合わせて加速度を発生させることが, 理にかなった自然な反応を実現する第一の必要条件である。」[3] と述べている. また, ディズニー・スタジオでアニメーション監督を務めてきたリチャード・ウィリアムズは「動画と音声を一致させるのが一番いいときもあれば, 動画を 1 フレーム前にするといったケースもある. 2 フレーム前にするとうまくいくケースは確かに多いが, 3 フレーム前にするともっとうまくいくこともある。」[4] と述べている. これらの知見から, わずかな遅延が時には好影響を与えるかもしれないと期待できる. そこで, 当研究室ではこれまでにわずかな遅延が道具の操作成績に与える影響を調査している [5][6][7]. 操作成績の評価は, 6 自由度の 3 次元位置入力も可能な 3 次元力覚装置 (Geomagic Phantom Omni) と 22 インチ液晶モニターから構成される評価システムで行われている (図 1). 画面には, 高さの異なる 2 つの台, 球体, マジックハンドが表示されている (図 2). 評価の参加者は PHANTOM を操作することでマジックハンドを動かす. 球体は片方の台の上に置かれた状態で画面に表示されている. 参加者がマジックハンドでその球体をつかむと, まだ移動できないことを示すために球体の上に「蓋」が表示され, PHANTOM はその力覚提示機能により動きが 3 秒間固定される. 3 秒

後に蓋が消えたら, 参加者はつかんだ球体を他方の台の上に移動して乗せる. その後, 再び蓋が表示され, 3 秒間動きが固定される. 蓋が消えたら, 参加者は同じ球体を元の台の上に移動して乗せる. この一連の操作を, 参加者は 5 往復 (1 試行とする) 繰り返す. 特定の操作に慣れてしまわないよう, 台の位置は 1 試行ごとに変更する, ただし台同士の距離は常に一定である. マジックハンドの操作に様々な大きさの遅延を設け, 球体を一方の台から他方の台へ移動させるまでの時間を操作成績として計測した. 計測した時間を遅延の大きさごとに集計し, 移動タスクにかかる時間を比較することで操作成績が向上したかどうか評価した. 先行研究では, 奥行き方向への移動制限の有無, 実際の手の移動距離と画面内のマジックハンドの移動距離の比率, 台同士の距離, 台の大きさなどの条件を変更し, 様々な組み合わせで評価を行った. その条件の中で, 奥行き移動を制限した場合や, 移動距離の比率が小さい場合に, 遅延を設けていないときよりも移動に要する時間が短かった, すなわち操作成績の向上が見られた. ところで先行研究では 3 次元入力装置を用いて評価を行っていた. 奥行き方向への移動を制限する場合は 2 次元平面内の移動である. 一方で 3 次元「空間」内の鉛直平面内の移動とも捉えられ, 参加者の意識では 2 次元ではなく制限された 3 次元であったかもしれない. そこで本研究では, 3 次元入力装置を 2 次元入力装置に変更した場合でも成績向上が見られるのか否か, 身近な入力装置の「マウス」を用いて調査を行う. 先行研究では参加者の手の動きと画面内のマジックハンドの動きは



図 1: 先行研究での評価の様子



図 3: マウスの移動平面をモニタに一致させる台



図 2: 評価システムの画面

一致（奥行き方向への移動においては、画面内では透視投影による CG で奥行きを表現）していたが、通常のマウス操作ではマウスの前後の移動が画面内での上下の移動に対応しているため、一致しない。マウスの移動平面をモニタと平行になるよう鉛直に配置し、マウスの動きと画面内のマジックハンドの動きが一致する場合においても調査し、一致しない場合との比較も行う。

2. 2次元入力装置による評価

2.1 評価システム

評価には、先行研究と同じサイズのモニタを用い、また入力装置は PC 用のマウスを使用する。画面には高さの異なる 2 つの台、球体、マジックハンドが先行研究と同様に表示されている。評価の参加者はマウスを操作することでマジックハンドを動かす。参加者が行うタスクは先行研究と同様に 1 試行において 5 往復の移動である。先行研究では PHANTOM の機能によって物理的な固定を行っていた。本研究ではマウスを使用すること、また先行研究での観察の結果からも過度な「フライング」は恐れる必要がなさそうなことから、視覚的な表示のみにより固定を表現する。通常のマウス操作では、マウスの前後移動が画面内のマウスカーソルの上下移動に対応している。画面内に 3 次元空間を想定した場合も同様に対応させることは多いだろう。マウスの前後移動をマジックハンドの上下移動に対応させる。

この場合、それぞれの動きが一致しない。そこで、マウスの移動平面をモニタの傾きと平行になるように傾けて、マウスの動きとマジックハンドの動きを一致させた状況でも評価する。マウスの移動平面をモニタの傾きと一致させるために、マウスの操作に支障がない広さの傾いた台（以降は誤解の恐れがない場合に「台」と省略表記する）を準備する（図 3）。なお、モニタの傾きに完全に一致させてしまうとマウスの操作に支障をきたす可能性があり、また一般的にモニタは完全に鉛直でない場合もある。そこで、台の角度は 60° とし、便宜的にモニタと「平行」であると表現した。

2.2 評価手順

評価の参加者には、操作に支障がない広さの机上でのマウス操作による評価（図 4）と、机の上に固定した前述の台上でのマウス操作による評価（図 5）の両方を行ってもらう。また、先行研究で好影響が示唆された移動距離の比率（画面内の移動距離÷実際の手の移動距離）の違いについても調査するために、机上と台上それぞれに対して、比率 0.75 と 1.5 の 2 つの条件を設定する。合計 4 つの条件で評価を行う。また、画面内のマジックハンドの操作に対して付加する遅延の大きさは 0ms（入力遅延および描画遅延を含めると実際には最小で 16ms だが、本研究ではこれを 0ms として扱う）から 450ms の 50ms 刻み、すなわち 10 種類とする。評価に先立ち、参加者には実際の手で物を動かす感覚と、道具を使って物を動かす感覚を理解してもらうために以下の動作を体験してもらう。

動作 1 手で対象物（スポンジ）を直接操作する。

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。

動作 3 各条件それぞれで遅延を最小に設定した評価システムで対象物を操作する。

動作 4 各条件それぞれで遅延を最大に設定した評価システムで対象物を操作する。

動作 1 および 2 では、参加者にはできる限り奥行き方向への移動は避けて体験してもらう。そして、動作 1 では自身の手で物を動かすこと、動作 2 では道具を用いて物を動かすことを参加者に理解してもらう。動作 3 は動作 2 と同等

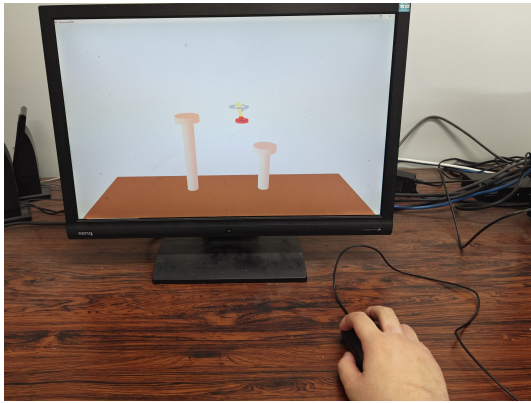


図 4: 机上でのマウス操作による評価の様子



図 5: 台上でのマウス操作による評価の様子

の位置づけであるとの説明を参加者にし、評価システムに慣れてもらう。動作 4 では遅延を加えることで操作がどのように変わるのか体感してもらう。評価時には、1 試行ごとにランダムな順で遅延の大きさを割り当てる。参加者は各条件において 10 種類すべての遅延を 1 回ずつ評価し、すなわち各条件で 10 試行、4 条件で計 40 試行行う。各試行は以下の手順の通り、評価する。

手順 1 遅延と画面内の台の位置を設定する。

手順 2 参加者にマウスを操作してもらい、画面内の台の上に置かれている球体をつかんでもらう。

手順 3 カウントダウン (3 秒) の後、球体を画面内の台から台へ、できるだけ早く滑らかに移動してもらう。これを 5 往復繰り返してもらう。

大学生 12 名に参加を同意してもらい、評価に協力してもらった。4 つの条件に対する順序は特に考慮しなかった。

3. 評価結果

最初に、机上でのマウス操作による評価結果を示す。移動距離の比率 1.5 の場合では、遅延 0ms に対して 50ms の実行時間は短かったが、その差はほとんどなく、成績向上したとは言えない (図 6)。一方で、移動距離の比率 0.75 の場合では、遅延 0ms に対して 50ms の実行時間が短いことを目

視で確認でき、成績向上した (図 7)。しかし、0ms の実行時間と 50ms の実行時間に対してマンホイットニーの U 検定を行ったところ有意差はなかった。次に台上のマウス操作による評価結果を示す。移動距離の比率 1.5 の場合では机上と同じく、遅延 0ms に対して 50ms の実行時間は短かったが、その差はほとんどなく、成績向上したとは言えない (図 8)。移動距離の比率 0.75 の場合では、遅延が大きいほど実行時間も長いことが確認でき、そもそも成績向上していなかった (図 9)。机上でのマウス操作による評価では、先行研究と同様に移動距離の比率が小さい場合に、わずかな遅延による操作成績の向上が確認できた。ただし有意差は確認できなかった。一方で、傾いた台上でのマウス操作による評価では、先行研究とは異なり移動距離の比率が小さい場合に、大きい場合よりも成績が悪化した。しかし、比率が大きい場合には机上、台上ともに同様の結果を示しており、マウスの動きとマジックハンドの動きを一致させたことが一概に悪影響を与えているとも考えにくい。通常のマウス操作は机上で行うものであり、傾いた台上でのマウス操作に参加者が慣れていなかったことが結果に影響を与えたかもしれない。全体としては、2 次元入力装置であるマウス操作において、わずかな遅延による好影響が確認できるとは言えなかった。しかし、移動距離の比率が大きい場合の結果を考慮すれば、マウス操作においてもわずかな遅延による好影響が完全に否定されたわけでは無いと考えられる。

4. むすび

わずかな遅延が操作成績に与える好影響について、様々な条件における調査を行っている。先行研究では 3 次元入力装置を用いて評価しており、特に奥行き移動を制限した場合にわずかな遅延による好影響が確認されている。そこで 2 次元入力装置を利用した場合にも同様に好影響が確認できるのか調査した。具体的には身近なマウスによる操作で評価した。通常は、ほぼ鉛直に立っているモニタに対して、マウスは水平な机上で操作する。このとき、一般にマウスの前後移動が画面内の上下移動に対応している。そこでマウスを操作する手の動きと画面内の道具の動きを一致させて、モニタに近い角度の台上でも評価した。また、奥行き移動制限と同様に好影響の確認されている、実際の手の移動距離と画面内のマジックハンドの移動距離の比率による違いも調査した。その結果、机上でのマウス操作による評価において、移動距離の比率が小さい場合に、わずかな遅延による操作成績の向上を確認した。しかし、有意差は確認できず、2 次元入力装置においても、わずかな遅延が操作成績に好影響を与えることが期待されるものの、結論づけることはできなかった。さらに、台上でのマウス操作による評価では、比率の大小に関わらず成績向上を確認できず、良い結果を得られなかった。参加者が傾いた台上でのマウス操作に慣れておらず結果に悪影響を及ぼしたのかもしれない。今後は、実際の手の動きと画面内の道具の動きを一致させるためにマウスの移動平面を変更するのではな

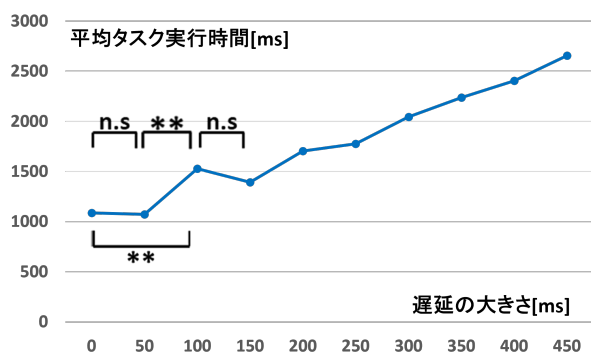


図 6: 机上のマウス操作, 比率 1.5 の平均タスク実行時間

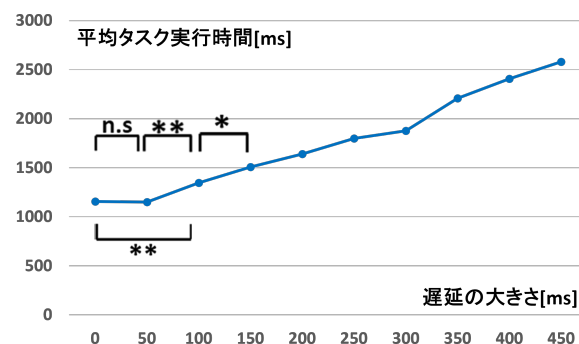


図 8: 台上のマウス操作, 比率 1.5 の平均タスク実行時間

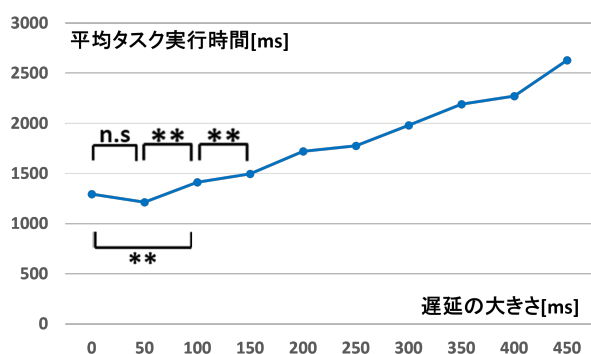


図 7: 机上のマウス操作, 比率 0.75 の平均タスク実行時間

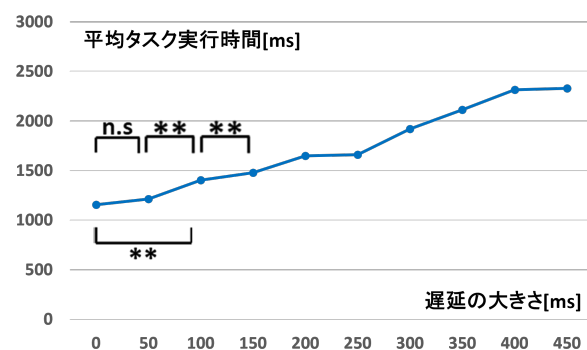


図 9: 台上のマウス操作, 比率 0.75 の平均タスク実行時間

く, モニタの設置角度を変更した場合も検討したい。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 JP23K11182 および JP22K12337 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] T. Waltemate, I. Senna, F. Hulsmann, M. Rohde, S. Kopp, M. Ernst, M. Botsch, “The Impact of Latency on Perceptual Judgments and Motor Performance in Closed-Loop Interaction in Virtual Reality”, VRST 2016, pp. 27–35, Nov. 2016.
- [2] H. Tochioka, H. Ikeda, T. Hayakawa, M. Ishikawa, “Effects of Latency in Visual Feedback on Human Performance of Path-Steering Tasks”, VRST 2019, No.65, pp. 1–2, Nov. 2019.
- [3] 渡辺洋史, 田中健治, 藤岡陽一, 國分弥則, 山口俊行, 新型デミオのパフォーマンスフィール, マツダ技報, No.32, pp. 42–47, 2015.
- [4] リチャード・ウィリアムズ (著), 郷司揚子 (訳), アニメーターズサバイバルキット, グラフィック社, p. 310, 2004.
- [5] R. Akimoto, M. Miyaji, K. Funahashi, K. Tanida, S. Mizuno, “Positive Effect of Slight Delay for Operational Performance”, IEEE-GCCE 2021, pp. 162–166, 2021.
- [6] Y. Miwa, K. Funahashi, K. Tanida, S. Mizuno, “Positive Effect of Slight Delay and Task Conditions for Operational Performance”, IEEE-GCCE 2023, pp. 460–464, 2023.
- [7] Y. Miwa, K. Funahashi, K. Tanida, S. Mizuno, “Effects of moving task condition on improving operational performance with slight delay”, IEEE VR 2024, pp. 903–904, 2024.