



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

Effects of moving task distance on improving operational performance with slight delay

三輪陽雲¹⁾, 舟橋健司²⁾, 谷田浩二³⁾, 水野慎二⁴⁾

Yakumo MIWA, Kenji FUNAHASHI, Tanida KOJI, Shinji MIZUNO

1) 名古屋工業大学 (〒 465-8555 名古屋市昭和区御器所町, y.miwa.915@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 (〒 407-0392 豊田氏八草町八千草 1247, s.mizuno@aitech.ac.jp)

概要: 当研究室のこれまでの実験で、道具操作により対象物を移動するタスクにおいてわずかな遅延が操作成績を向上させることが示唆された。また実際の手の移動量に対する画面上での移動量の比率が影響することを確認した。本研究では、移動する距離自体の違いによる影響について調査した。移動距離の近い方が成績向上が示唆される結果を得た。タスクの難易度の影響が確認できた。

キーワード: 道具操作, 遅延, 操作感覚

1. はじめに

筆者らはこれまでに、遅延が道具操作に及ぼす影響を調査している [1]。遅延は一般的に、道具操作に悪影響を与えるだけと考えられている [2][3]。しかし、日本の自動車メーカーであるマツダ株式会社は以下の様に述べ、遅延を肯定的にとらえている。「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」[4]。この見解と過去の実験 [5] から、我々は適切な遅延は道具の操作成績を向上させるという仮説をたて、遅延の影響を調査するための実験を行った。実験は、文献 [5] の単純なボタン押し操作等よりもやや複雑なタスクにおいて、遅延を用意に実装するために、VR 環境で行った [6]。画面にはマジックハンドが表示されており、被験者は 3 次元位置入力デバイスによってマジックハンドを操作する。マジックハンドによって被験者は画面内で球を一方の台から他方の台へと移動させる (図 1)。入力デバイスの操作から画面のマジックハンドの反応描写までの間に、意図的な遅延を設ける。実験の結果、50ms-100ms 程度のわずかな遅延において操作成績が向上した (図 2, 球を移動させる時間が減少した)。しかし、いかなる条件においてもわずかな遅延が操作成績を向上させるとは限らない。そこで我々はこの実験 (以下、実験 1) の実験システムにおけるどのような要素、要件が遅延による操作成績の向上に影響を与えているか調査している [7]。まず、同様のタスクに対して成績向上の見られない実験システムを新たに用意した (図 3)。試行錯誤の上でパラメータなどを

決定した。その上で、いくつかのパラメータを変更して比較実験を行い (実験 2~5)、奥行き方向への移動制限や、手の移動量とそれに応じた画面上での移動量の違いが、わずかな遅延による操作成績の向上に影響していることを確認した。また官能評価により、実際には力覚提示装置による支援を行っていないにもかかわらず、わずかな遅延において支援の存在を感じていることも確認した。本研究では、新たに移動タスクの距離の違いが操作成績の向上に与える影響を調査する。本論文では、まず初めに実験の手順を示し、続いてこれまでの実験結果について整理する。その後、移動距離の違いが操作成績の向上に与える影響について述べる。なお、本研究の目的は遅延が道具操作の成績を向上させるメカニズムの解明ではなく、遅延が成績を向上させる条件を特定することにある。

2. 実験について

2.1 実験システムと手順

実験では、位置入力に力覚提示の可能な PHANTOM (Geomagic Phantom Omni) を使用した。出力装置として 22 インチ液晶ディスプレイを用いており、画面に表示されるマジックハンドは PHANTOM スタイラスと連動して表示される。被験者は PHANTOM を操作することで画面上のマジックハンドを操作し、画面内の対象物を台から台へ移動させる。PHANTOM による入力と画面への出力の間に遅延をもうけることで、被験者の手からマジックハンド、そして対象物の動きに対しての遅延を実現する。操作成績を得るために対象物の移動時間を計測したい。そのため操作可能

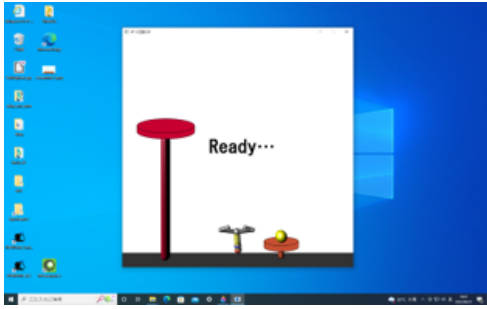


図 1: 実験 1 の画面

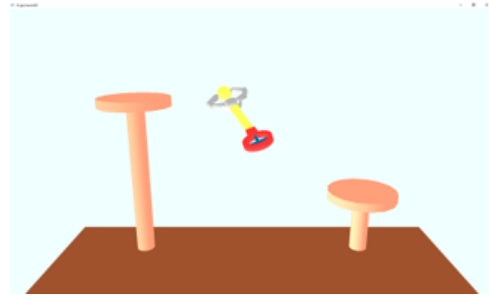


図 3: 実験 2~5 の画面

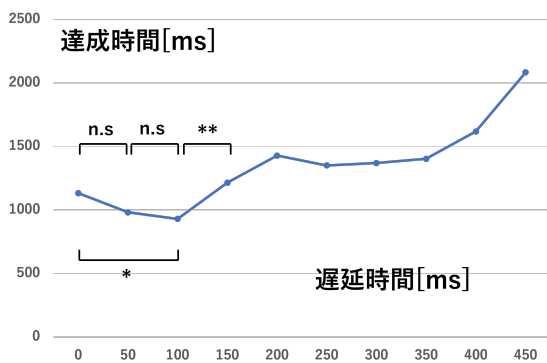


図 2: 実験 1 の操作成績

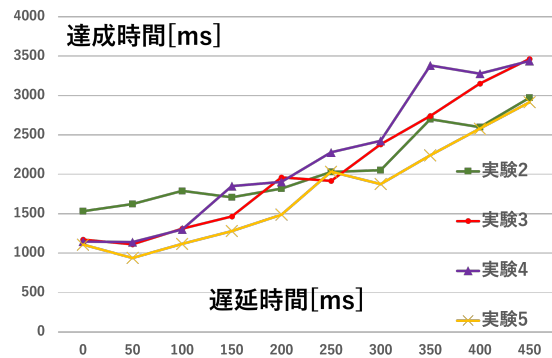


図 4: 実験 2~5 の操作成績

な時間計測状態と、操作不可能な非計測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。加えて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。この時、PHANTOMを固定することで、画面中のマジックハンドの移動も制限する。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間の公平性が保てず、移動時間の評価に支障をきたすため、これらの距離は大きく異なるものとした。被験者には実験に先立ち、タスクの位置づけを理解してもらうため、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。
- 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 遅延を最小としたシステムで対象物を操作する。
- 動作 4 実験における最大の遅延を設けてシステムにおいて対象物を操作する。

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 により実際の道具による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。実験における遅延は 0ms (入力遅延と描画遅延を含めると最小でも実験 1 では 5ms, 実験 2 以降は 16ms であるが、ここではそれぞれの遅延を「遅延なし」0ms と扱う) から 450ms までの、50ms 刻みの 10 種類とする。被験者には以下の通り、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。

- 手順 1 遅延と台の位置をセットする。
- 手順 2 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掴んでもらう。
- 手順 3 各試行において、タスクを 10 回 (5 往復) 行う。
 - 3-1 カウントダウンの 3 秒の間待機してもらう。
 - 3-2 開始の合図と同時に、台の上の対象物を他方の台にできるだけ早く滑らかに移動してもらう。

実験 1 では、被験者 20 名に対して 1 人あたり 5 試行、5 通りの遅延をランダムな順で割り当てた。実験 2 では、被験者 30 名に対して 1 人あたり 8 試行、8 通りの遅延をランダムな順で割り当てた。実験 3 では被験者 24 名、実験 4, 5 では被験者 10 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た。

2.2 各実験の違い

本節ではまず、比較のために変更を考慮したパラメータなどを列挙する。

- (1) 操作量
 - (1)-1 奥行き方向の移動制限の有無

表 1: 手座標距離と画面座標距離の関係

	手座標距離 [mm]	画面座標距離 [mm]
実験 1, 4 & 5	1	0.78
実験 2 & 3	1	1.48
実験 6 & 7	1	1.07

表 2: 台の大きさと位置関係

(直径/垂直距離/水平距離/直線距離)

実験	手座標距離 [mm]	画面座標距離 [mm]
実験 1(タイプ 1)	71.8/162/162/229	56/127/127/179
実験 1(タイプ 2)	71.8/162/162/229	56/127/127/179
実験 1(タイプ 3)	71.8/144/144/203	56/113/113/160
実験 1(平均)	71.8/156/156/220	56/122/122/173
実験 2 & 3	46/67/147/161	72/89/222/239
実験 4 & 5	46/67/147/161	35/52/174/186
実験 6	46/67/147/161	49/72/157/172
実験 7	46/82/205/220	49/88/220/236

(1)-2 画面上マジックハンドと入力装置の移動量の比率

(2) 台

(2)-1 台の大きさ

(2)-2 台の位置関係

(3) 表示サイズ

(3)-1 モニタサイズ

(3)-2 ウィンドウサイズ

(4) 奥行き感

(4)-1 視線の仰角

(4)-2 床面の見え方

(5) 見栄え

(5)-1 色合い

(5)-2 陰影

続いて、各項目について詳細を述べる。

(1)-1: 実験 1 では、タスクを簡単化するために、力覚提示装置により奥行き方向の移動を完全に制限していた。すなわち、ボールを掴んだマジックハンドの先端は上下左右の移動のみが可能な垂直平面内に限られていた。実験 2~5 では奥行き移動を制限しない環境でのタスクと比較した。

(1)-2: 実験システムにおいて、実際の手の移動量と画面内のマジックハンドの移動量の関係は等しいとは限らない。それぞれを手座標距離、画面座標距離として、これらの距離の関係、すなわち比率は実験 1 において 0.78 であった(表 1)。実験 2~5 では異なる比率の環境でのタスクと比較した。

(2)-1: 実験ではマジックハンドにより球を一方の台から他方の台へと移動させる。本論文では新たに、台の配置(台同士の距離)に注目した比較実験を行う(3 節, 実験 6 と 7)。各実験において台同士の配置は 3 種類を用意している。実験 1 と 2~5 (および 6 と 7) における各台の大きさと位置関係を表 2 に示す。距離の各数値は左から順に、台の直径/台同士の中心の垂直方向の距離/台同士の中心の水平方向の距離/

表 3: 実験 2~5 の比較項目と結果

		移動量の比率	
		0.78	1.48
奥行き方向への移動制限の有無	有り	実験 5 [*]	実験 3 [#]
	無し	実験 4 [#]	実験 2 [-]

[*] 5%の有意差をともなう成績向上

[#] 有意差の無い成績向上

[-] 成績向上無し

台同士の中心の直線距離である。実験 1 においてはタイプ 1 に対してタイプ 2 は左右対象、タイプ 3 は台同士の関係は全体に高く同じ角度のまま中央に寄っており距離が近かった。(2)-2: 実験では球を台の上へと移動させる。台の大きさも結果に影響することが考えられるが、各実験における台の大きさは表 2 の通り、実験 1 に対して実験 2 以降では小さく、全て同じであり、まだ比較していない。なお、画面座標系においては前述の比率の通り、一様ではない。また、実験 1 の台の直径に関しては、ターゲット台の直径を表 2 に示しており、スタート台は手座標系で 43.1mm、画面座標系で 34mm と異なる大きさにしていた。

(3): モニタは、BenQ G2200W 22inch, 画素数 1680 × 1050 である。実験 1 を含めて全ての実験で同一であった。ウィンドウサイズは図 1 に示す通り、実験 1 は 800 × 800 であった。実験 2 以降は、実験 1 とは異なる 1680 × 1050(フルスクリーン)であった。ウィンドウサイズに注目した比較実験も、まだ行っていない。

(4), (5): 視線の仰角は、実験 1 では水平方向の並行投影をベースに擬似的に立体感を表現していたため、単純に示すことが困難である。実験 2 以降では、15.8 度の角度である。床面と色合いや陰影などは、実験 1 は図 1, 実験 2 以降は図 3 の通りである。これらに注目した比較実験も行っていない。

2.3 奥行き制限と移動量比率の比較実験

実験 2~5 において奥行き方向の移動制限と移動量の比率による違いを比較した。組み合わせと結果を表 3 に示す。

(1)-1: 実験 2 と 3 の結果を比較すると、移動を制限をした実験 3 のみで遅延の大きさが 50ms の時に成績がわずかに向上していた(図 4)。実験 4 と 5 では、遅延 50ms において実験 4 では成績がわずかに、実験 5 ではやや向上していた。実験 3 と 4 での成績向上は有意差が見られなかったが、実験 5 では 5%の有意差が見られた。奥行き方向への移動制限は遅延による操作成績向上に必要な要素であると考えられる。(1)-2: 実験 2 と 4 の結果を比較すると、実験 2 では操作成績の向上は見られず、実験 4 では遅延の大きさが 50ms の時に操作成績がわずかに向上していた(図 4)。実験 3 と 5 では、遅延 50ms において実験 3 では成績がわずかに、実験 5 ではやや向上していた。前述の通り実験 5 では 5%の有意差が見られた。すなわち、移動量の比率が小さいことは遅延による操作成績向上に必要な要素であると考えられる。しかし、比率は小さいほど操作成績を向上させるとは限らない。

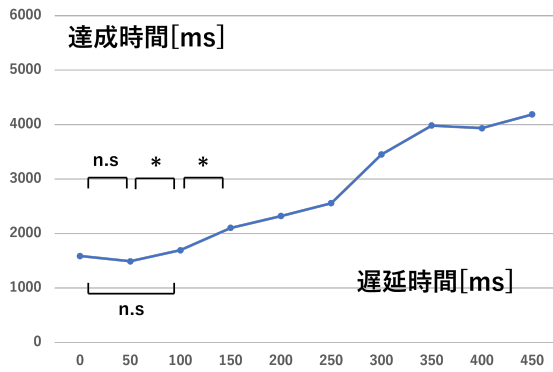


図 5: 実験 6 の操作成績

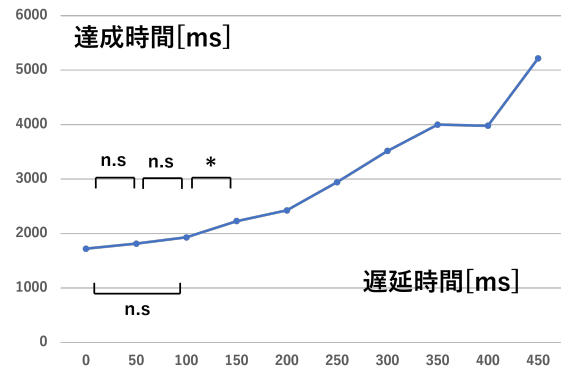


図 6: 実験 7 の操作成績

3. 距離の違いによる比較実験

本節では新たに、台の位置関係を変更した実験 6, 7 を行う (前節 (2)-1)。なお、奥行き方向への移動は制限せずに、移動量の比率は 1.07 にする。台の配置は 3 種類であるが、左右対象や高さ違いであり、相対的に同じである。実験 6 の台同士の距離は手座標で 161mm (実験 2~5 に同じ)、実験 7 の距離は 220mm (傾きは実験 6 と同じで直線距離が実験 1 の平均に同じ) である (表 2)。被験者は大学生及び大学院生であり、実験 6 では 18 名、実験 7 では 17 名である。またすべての参加者から実験参加について同意が得られている。両実験の被験者に対して 10 名は 1 人当たり 5 試行、残りの被験者は 1 人あたり 10 試行、両者とも 10 通りの遅延をランダムな順で割り当てる。実験の準備や手順については、2.1 節と同様である。

タスク達成時間について考察する (図 5, 6)。実験 6 の遅延 50ms に着目すると遅延なし (0ms) に比べて平均タスク達成時間が短くなっている。遅延が 0ms の平均タスク達成時間と 50ms の平均タスク達成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見られなかった。しかし実験 2~5 のときのように、単独の項目では有意に成績が向上しなくても (実験 3 や 4)、複数の項目の組み合わせにより有意な成績向上が期待できそうである (実験 5)。しかし、距離が近いほど操作成績を向上させるとは限らない。

4. むすび

本研究では、移動タスク距離の変更がわずかな遅延による道具操作成績の向上にどのような影響を与えるのか調査を行った。移動距離が長い実験では成績の向上が見られなかったが、短い実験では有意差は確認できなかったものの、わずかな遅延による操作成績の向上が見られた。移動タスクにおける距離の短縮は操作成績の向上に影響を与えていそうである。今後は、台の大きさの違いによる影響についても比較実験を行うとともに、合わせて移動量比率や移動距離がさらに小さい場合についての検証実験を行う予定である。これらの知見はユーザインタフェースデザインに貢献するだろう。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 JP20K11918 および JP23K11182 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] T. Kataoka, K. Funahashi, K. Tanida and K. Yashiro. A Study of Sense of Self-Agency Focused on Noise and Delay in Multiple Input Operation, Proc. of the GCCE 2017, pp. 484-487, 2017
- [2] T. Waltemate, I. Senna, F. Hulsmann, M. Rohde, S. Kopp, M. Ernst, and M. Botsch. The impact of latency on perceptual judgments and motorperformance in closed-loop interaction in virtual reality. Proc. of the VRST 2016, pp. 27-35, Nov. 2016. doi: 10.1145/2993369.2993381
- [3] H. Tochioka, H. Ikeda, T. Hayakawa and M. Ishikawa. Effects of latency in visual feedback on human performance of path steering tasks. Proc. of the VRST 2019, Article No. 65, Nov. 2019. doi: 10.1145/3359996.3364726
- [4] 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.
- [5] C. Farrer, G. Valentin, and J. M. Hupé. The time windows of the sense of agency. Consciousness and Cognition, 22(4): 1431-1441, Dec. 2013. doi: 10.1016/j.concog.2013.09.010
- [6] R. Akimoto, M. Miyaji, K. Funahashi, K. Tanida, S. Mizuno, Positive Effect of Slight Delay for Operational Performance, Proc. of the GCCE, pp. 162-166, 2021.
- [7] 三輪陽雲, 舟橋健司, 谷田公二, 水野慎士, 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, 第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2D1-5, 2022.