

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-12-22

押荷重を利用した三次元入力デバイス

早川, 聡紀 / HAYAKAWA, Toshiki

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

8

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014352>

押荷重を利用した三次元入力デバイス

A Three-dimensional Input Device Utilizing Pressing Force.

早川聡紀

Toshiki HAYAKAWA

指導教員 鈴木郁

法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻修士課程

In recent years, there are many kinds of input-devices, such as the mouse and the game controller. Some smartphones and graphic tablets are capable of inputting a point on the 2-dimensional coordinate plane and the pressing force. The aim of study is to propose a new input device, which can input a point on the 2-dimensional coordinate plane and an analog value of the pressing force without using a force detecting stylus. The device might be suitable for gaming.

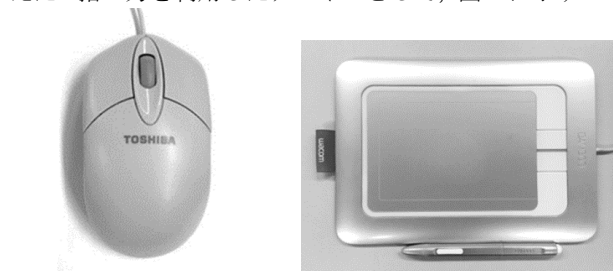
Key Words : Input device, 3-dimensional input, pressing force, controller

1. 研究背景と目的

近年、入力デバイスは多様化し、身体の動きや声等を利用したデバイスも増えてきたが、依然として図 1.a に示す従来型マウスのような座標入力デバイスが広く使われている。しかし、従来型のマウスは平面座標の指定以外に、クリック操作などの押すか否かの二値制御しか行えず、複数の機能を搭載するために単にボタンを増やすだけでは、操作性が損なわれてしまう。こうした中、平面座標の入力に加え、デバイスに加えた圧力を感知し、三次元座標の入力に利用するデバイスも増えてきた。主なデバイスでは、図 1.b に示すペンタブレットが挙げられる。ペンタブレットの中には、専用のペンを用いることで筆圧の検知を行えるものもあり、簡便にコンピューター上で文字や図形を描画することができる。しかし、ペンを使った入力は文字や図形の描画といった入力操作に特化しており、ゲームコントローラーとしての利用等には不向きであると考えられる。そこで、複雑な操作を必要とせずに機能を追加する方法として、指による押荷重が利用できるのではないかと考えた。指の力を利用したデバイスとして、図 2 に示すスマ



図 2 スマートフォン (Apple 製 iPhone6s)



(a) マウス
(TOSHIBA 製 M108-U1J)

(b) ペンタブレット
(WACOM 製 Bamboo)

図 1 既存のデバイス



(a) メールフォルダ (b) Peek の動作 (c) Pop の動作

図 3 3D Touch の動作例

ートフォンの一部に、ディスプレイ表面に加えた力を利用した三次元入力実装されているものもある。この機能は、Apple 社 (米国) 製のスマートフォン (iPhone) の一部の機種に搭載されている 3D Touch と呼ばれる機能である。これは、ディスプレイ表面を軽く押し込んだ際に Peek と呼ばれる機能が、更に強く押し込んだ際に Pop と呼ばれる機能がそれぞれ動作し、指の押す力の強弱で様々な操作が可能にしている。図 3 に示した動作例は、メールアプリを

使った例だが、メールフォルダからメールを確認する際、ディスプレイ表面を軽く押し込むとメールを開封せずに中身の確認ができ、強く押し込むとメールを開封することができる。しかし、急に強く押し込むといった操作をした際、Pop機能が動作しないことがあり、実際には押した強さに対応したのではないと考えられる。また、3D Touch搭載機種の利用者を対象に3D Touchの使用頻度について調査したところ、ほとんど使用していないといった意見が多数寄せられた。これは、3D Touchの機能変化が二段階しかないことから、従来のタップと長押しで代用できてしまうことが要因と考えられる。こうした現状を踏まえ、本研究では指の押荷重に応じた連続的あるいは多段階の入力操作が可能な入力デバイスを提案する。

2. 提案する荷重デバイスの概要

図4に示す構造により、簡便な操作で座標および押荷重を検出する。これは、デバイスの四辺に荷重センサを設置し、任意の位置を指で押した際、各センサより検出される荷重の比から平面座標を算出すると同時に、荷重の総和を押荷重として算出する仕組みである。押荷重および平面座標の値は、以下に示す計算式によって算出する。なお、式内の各番号は図5に示すセンサ番号と対応している。

$$F_a = F_{x1} + F_{x2} + F_{x3} + F_{x4} \quad (1)$$

ここで、 F_a は各センサにかかる荷重の総和、 F_x は各センサにかかる荷重である。この荷重の総和を押荷重の値とし、また、対面する2つのセンサにかかる荷重の比から、一次元座標を算出する。

$$\frac{F_{x1}}{L_a - L_{x1}} = \frac{F_{x3}}{L_a - L_{x3}} \quad (2)$$

式(2)は、左右方向の一次元座標算出式である。奥行き方向の一次元座標は、式(3)により算出する。

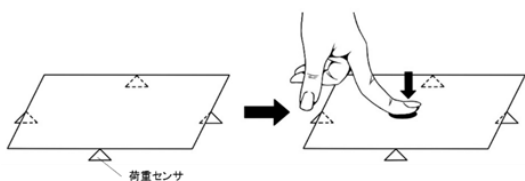
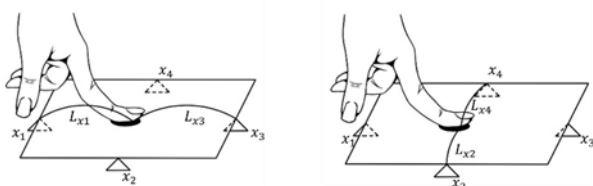
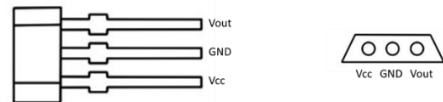


図4 荷重デバイスの概要および入力操作の例



(a) 左右方向の算出 (b) 奥行き方向の算出

図5 押荷重および平面座標算出の概要図



(a) A1324LUA-Tの概形 (b) A1324LUA-Tの底面

図6 ホールセンサー (A1324LUA-T)

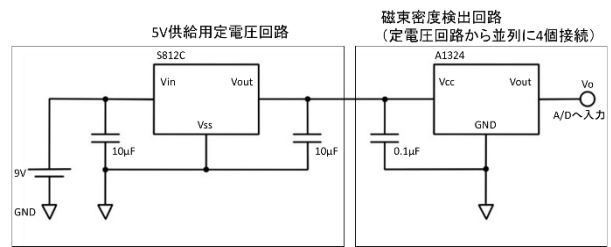


図7 荷重入力回路

$$\frac{F_{x2}}{L_b - L_{x2}} = \frac{F_{x4}}{L_b - L_{x4}} \quad (3)$$

ここで、 L_a はセンサ1からセンサ3までの距離、 L_b はセンサ2からセンサ4までの距離、 L_x は荷重が加えられた位置からセンサまでの距離をそれぞれ表している。

3. 使用するセンサー

本研究では、荷重センサとして図6に示した Allegro Micro Systems 社 (米国) 製のホール効果センサー A1324LUA-T を用いる。同製品は、磁束密度に比例した出力電圧を得ることができ、変位量や角度位置、電流測定等に应用可能な製品である^[1]。磁束密度が 0[T]の時約 2.5V を出力し、これを基準として、0 ~ 5[V]の範囲で磁石の S 極に対しては電圧が上昇、N 極に対しては下降するように動作する。センサは図7に示したように回路に接続した。センサには 5[V]の定電圧をかけており、磁石がセンサに接近することで磁束密度が変化し、荷重に対応した出力電圧 V_o を得る。得られた電圧は LabJack 社 (米国) 製の AD コンバータ LabJack U12 を用いて計算機へ入力される。入力された電圧を基にした荷重と電圧の関係を図8に、荷重に対するセンサと磁石の距離の関係を図9にそれぞれ示す。なお、LabJack U12には、短絡と過電圧保護の目的で抵抗が入っており、約 1.5[V]の電圧降下をもたらすため、結果的には - 1.5 ~ 3.5[V]の範囲で出力電圧を得ている。また、デバイスの構造上、無荷重の状態でも磁界が発生するため、約 0.8[V]のオフセットがかかっている。

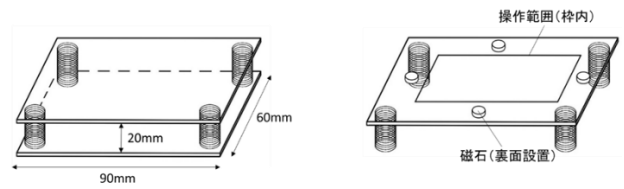
4. デバイスの構造

デバイスは図10に示すように、荷重入力操作を行う操作具、ホールセンサーに定電圧を供給する電源、センサーから得た値を計算機へ入力する AD コンバータの3つに分かれている。操作具は図11.aに示すように、長辺 9cm、短辺 6cm、厚さ 3mm のアクリル板2枚の四隅に、ばね定数約 0.653N/mm のバネ4本を挟み込むように設置し、荷重を加える操作具上部裏面には図11.bに示すように、直

径 1cm, 厚さ 3mm の磁石を取り付けた. 操作具下部には, 図 11.c に示すようにストローク調整用の土台が取り付けられており, 土台にはホールセンサーを実装した基板を取り付けた. これにより, 操作具上部は最大 6mm 降下させることが可能である. 操作範囲は磁石が設置されている位置よりも内側を想定しているが, 範囲外を押し込んだ際に板の反対側が浮いてしまい, バネが外れる恐れがあるため, 図 11.d に示すように上部を抑える部位を操作具外部の四隅に取り付けた.

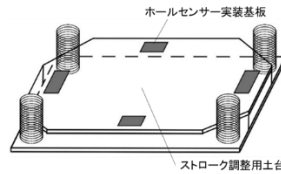
5. 荷重デバイスの評価実験用ペイントソフト

提案する荷重デバイスと既存のデバイスの操作性を比較するため, ペイントソフトを用いた描画実験を行うことにした. しかし, 荷重デバイス用のデバイスドライバを作成していないためドライバの置き換えが行えず, 既存のペ

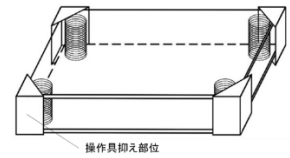


(a) 操作具全体の概形

(b) 操作具上部の構造



(c) 操作具下部の構造



(d) 操作具抑え部位の概形

図 11 操作具の構造

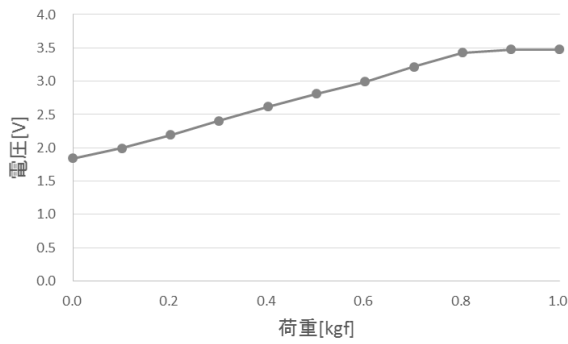


図 8 荷重と出力電圧の関係

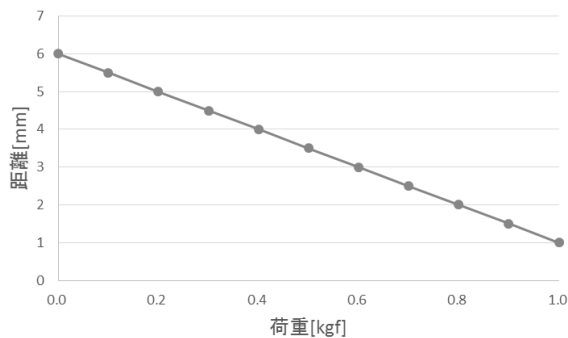


図 9 荷重と距離の関係



図 10 提案する荷重デバイスの実機

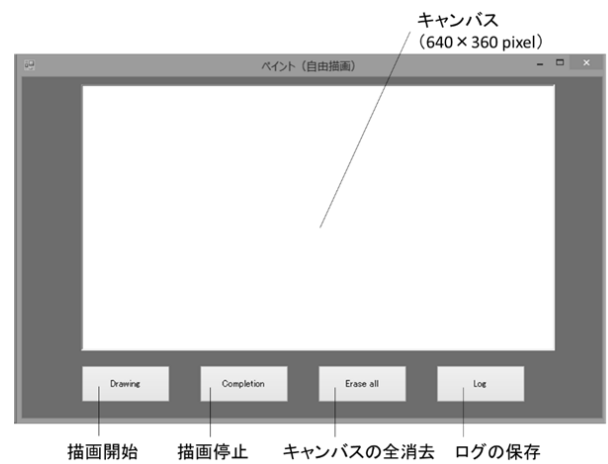


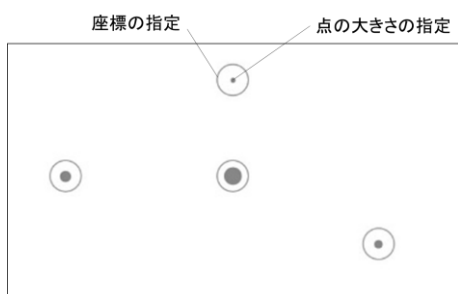
図 12 荷重デバイスの評価実験用ペイントソフト

イントソフトを用いることができない. そこで, 図 12 に示したような AD コンバータを経由して入力された電圧値を元に描画を行うペイントソフトを作成した. このペイントソフトは, デバイスに一定以上の荷重が加えられた時, 640×360[pixel]のキャンバスに絶対座標で点が描画され, 荷重が大きくなるにつれ描画するペンサイズも大きくなるように動作する. ここで, ヒトが指によって判別できる弾性力の変位量は, 親指で 0.31mm, 人差し指で 0.58mm であると言われている^[3]ことから, ストロークが 6mm である荷重デバイスでは, ペンサイズを親指基準で 19 段階, 人差し指基準で約 10 段階に設定することができる. 多くのユーザーが親指もしくは人差し指を使うことを想定し, 人差し指基準で機能を別けることにしたが, 図 8 および図 9 に示したように, 出力電圧に変化が見られるのは 0.8[kgf]まで, 距離にして 4mm までである. これらを考慮し, ペンサイズは 8 段階で変化するように設定した. また, ペンサイズが大きくなるだけでは, 点同士が重なる位置において, 描画が行われているか視覚的に確認できない恐れがあるため, 実験用に荷重に対応した色の変化も併装している. 色は小さい荷重から順に, 紫, 青, 水色, 黄緑, 緑,

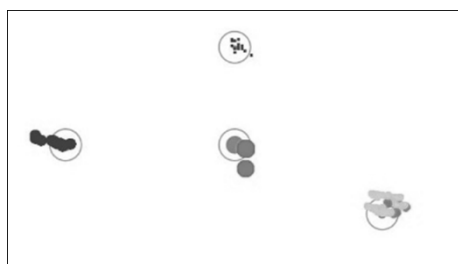
黄, 橙, 赤と変化する. また, 詳しい評価実験の方法については後述するが, 描画に要した時間を測定するため, 描画の開始と終了がわかりやすくなるよう, 描画を行うためのボタンと描画を停止するボタンをそれぞれ実装している. 併せて, キャンバスに描画された点を全て消去するボタンと, 描画を行うために入力された電圧値や, 描画された点の座標, 大きさ, 色を記録するボタンも実装している.

6. デバイスの動作確認

提案するデバイスの基本的な動作として, 操作具に荷重を加えた位置と対応する座標および荷重に対応する点がキャンバスに描画されるか確認を行った. 確認方法として, まず, 作成したペイントソフトのキャンバスに図 13.a に示すような座標と点の大きさを指定した図を表示し, この図に沿って描画を行う. 図中の点は描画するペンサイズを, 点の周りの円は描画する座標領域をそれぞれ示している. 描画する座標を明確に指定していないのは, スマートフォン等ではどのような画面サイズであっても操作対象を確実にタップできるよう, タップ可能な最小領域を指定している²⁾ことから, 提案する荷重デバイスにおいても一定の領域を確保する必要があると考えられ, また, 座標を明確に指定することで, ユーザーに慎重な操作を要求し, 操作性を欠く可能性も考えられたためである. 図 13.b に示す動作確認の結果から, 右下に指定した点の周囲に, 指定したペンサイズよりも大きな点が数点入力されているが, 操作具の押下位置とキャンバスの座標および, 荷重とペンサイズをおおよそ対応させることができた. 次に, キャンバスに図 14.a に示すような図を表示させ, この図に沿って線を描画する. これは, 徐々に荷重を変化させ, 機能を変えながら線を引くことができるかを確認する. 図 14.b に示す結果から, 荷重を変えながら線を引く動作も十分可能

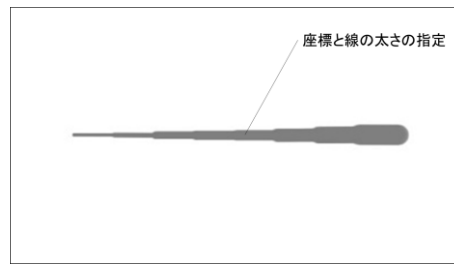


(a) ポインティング課題

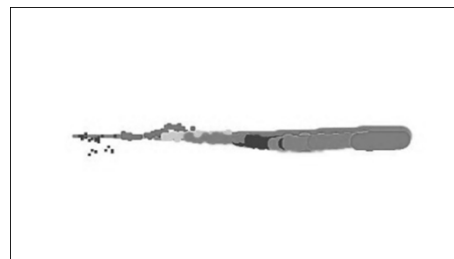


(b) ポインティング結果

図 13 ポインティングの動作確認



(a) 線描画課題



(b) 線描画結果

図 14 線描画の動作確認

表 1 被験者のデバイス使用経験

被験者	マウス 使用歴(頻度)	ペンタブレット 使用歴(頻度)
A	6年(20h/週)	0.5年(3h/週)
B	9年(84h/週)	3年(14h/週)
C	10年(28h/週)	2年(10h/週)
D	8年(21h/週)	3年(12h/週)
E	4年(14h/週)	使用経験なし
F	2年(12h/週)	使用経験なし
G	15年(84h/週)	6年(8h/週)

だと考えられる. なお, 本動作確認の結果は, 著者自らが実験を行い得られたものである.

7. デバイスの比較実験

既存の入力デバイスと提案する荷重デバイスを比較し, 評価を行う. 本実験では, 比較対象である既存の入力デバイスとしてマウスを用いた. ここで, 荷重デバイスとマウスの C/D 比について補足する. 荷重デバイス操作具の操作エリアの横縦比は 6.5×3.7 [cm]である. 使用したディスプレイは解像度 1366×768 [pixel]であり, 横縦比 640×360 [pixel]のキャンバスを表示すると実寸の横縦比 12.9×7.3 [cm]に相当する. これらから, 荷重デバイスの C/D 比は 0.51 であるため, マウスの C/D 比もおおよそ 0.51 になる様に調整した. なお, マウスカーソルのアクセラレータは無効にした. 実験を行う被験者は, 20 代前半の男性 7 名で, マウスやペンタブレットの使用経験は表 1 に示したような特徴があった. 実験を開始する前に, 被験者に自由に荷重デバイスを操作させ, どのような動作をするデバイスであるか確認させた. 併せてデバイスの動作確認実験も行い, 荷重デバイスの操作にある程度慣れさせた後, 実験を開始した. 実験は, マウスおよび荷重デバイスを用いて四

角形と円形を描画するもので、計4つの課題を課した。なお、各実験は課題の図形をなぞるものではなく、図形が印刷された紙を見せながら自由に描画を行わせた。また、描画の際はなるべく一筆で描くよう指示した。1つ目の実験は、荷重デバイスを操作し、実験用ペイントソフトを用いて、図15に示すような四角形を描画させる。この図は、四角形の辺それぞれが異なる太さで描かれており、対応するペンサイズで描画するよう指示した。2つ目の実験は、マウスを操作し、Microsoft Windowsにプリインストールされているペイントソフトを用いて、1つ目の実験と同様に四角形を描画させた。3つ目の実験は、荷重デバイスを操作し、実験用ペイントソフトを用いて、図16に示すような円形を描画させる。この図は、楕円の円周を太さ毎に四等分して描かれており、対応するペンサイズで描画するよう指示した。4つ目の実験は、マウスを操作し、Microsoft Windowsにプリインストールされているペイントソフトを用いて、2つ目の実験と同様に円形を描画させる。

8. 実験結果

四角形を描画させる実験の結果を図17に、円形を描画させる実験の結果を図18にそれぞれ示す。なお、マウスを用いる実験ではMicrosoft Windowsにプリインストールされているペイントソフトを用いたが、このペイントソフトではペンサイズを4段階しか変化させることができない。このため、ペンサイズを8段階で変化させられる荷重デバイスの実験では、1段階目と2段階目を合わせて1段階とみなす。また、本実験は課題の図形をなぞらせるものではなかったことから、描画された図形が課題の図形にどれだけ類似していたか、相似率で考える。結果から、実

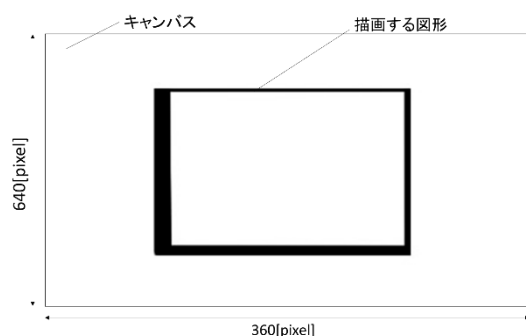


図15 四角形描画の実験課題

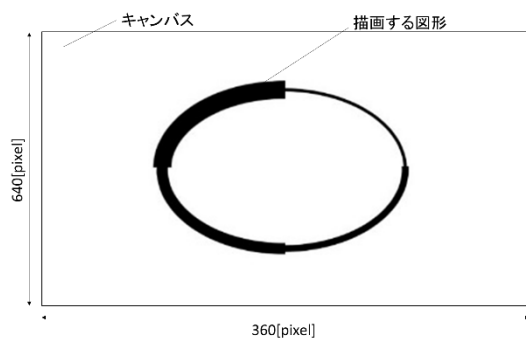


図16 円形描画の実験課題

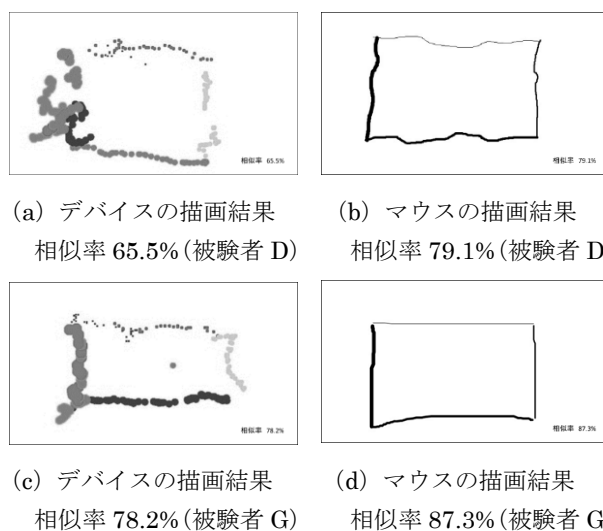


図17 四角形描画実験の結果例

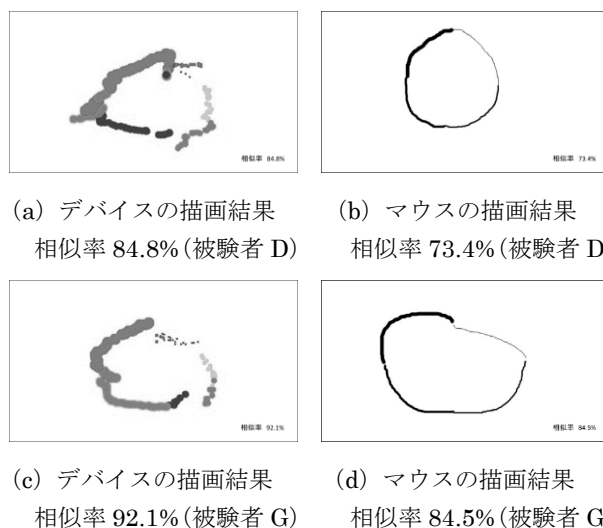


図18 円形描画実験の結果例

験課題の図形との相似率は、四角形の描画はマウスの方が僅かに優位な結果が得られたが、円形の描画は荷重デバイスの方が優位な結果が得られた。次に、図19に示す図形の描画に要した時間の結果から、荷重デバイスの方が短い時間で図形を描画できることがわかった。これは、マウスではペンサイズを変える度にメニューからペンサイズを選択する必要があるが、荷重デバイスでは押し込む強さを変えることで瞬時にペンサイズを変更できるため、描画時間の短縮に繋がったと考えられる。被験者の意見からも、荷重デバイスではペンサイズを選び直す手間を省くことができ快適だったという評価を得られた。

9. 被験者による主観評価

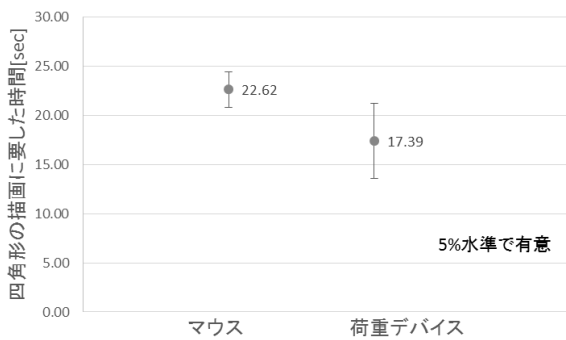
実験後、操作性についていくつかの項目別に被験者から評価を得た。評価はVAS (Visual Analog Scale) を用いて行った。VASとは、図20に示すような長さ10cmの直線を用意し、左端を操作し難い、右端を操作し易いとして、操作性がどの程度か直線に印を付けさせ、付けられた印を

内分比で求め、これを主観評価の値として得る評価法である。得られた値から区間推定を行い、各項目に対する評価の推定値を得る。

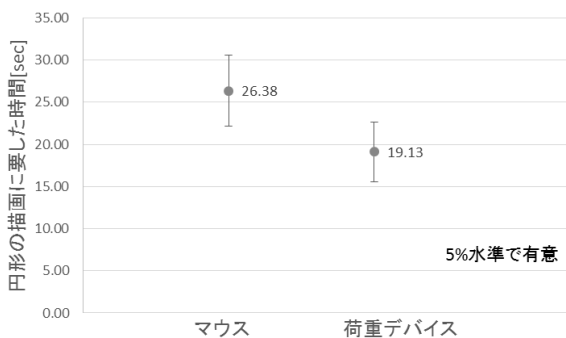
各項目の評価結果を図 21 に示す。図 21.a に示す指定した座標への入力操作の評価結果から、マウスの方が操作し易かったという結果が得られた。これは、マウスでは指定された座標にカーソルを合わせてクリックすれば正確な座標に点を描画できるのに対し、荷重デバイスではユーザーの指の大きさに依って点の入力座標がズレることから、操作が難しいと感じられたものと考えられる。特に、小さい荷重で動作する範囲ではペンサイズも小さいことから入力座標が大きくズレたように感じ易く、実験中の被験者からも操作に手間取る様子が見られた。図 21.b に示すペンサイズ別操作性評価の結果からも、荷重が小さい部分では操作が難しかったことがわかった。また、マウス操作ではディスプレイにマウスカーソルが表示されるが、荷重デバイスでは座標を絶対座標で入力することからカーソルを表示させていなかったため、ユーザーへの視覚的フィー

ドバックが少なかったことも要因と考えられる。これは、図 21.c に示す視認性の評価結果からも読み取れる他、被験者の意見でもカーソルが表示されればマウスと同等以上の操作性が得られる様に思われるといった意見が多数寄せられた。次に、直感性について考える。なお、本研究では各デバイスに不慣れな人が使用した際、すぐに十分使えるかどうかを直感性と定義している。図 21.d に示す結果から、マウスに比べて荷重デバイスの直感性は低いことが読み取れるが、ここで信頼区間が広いことに着目した。この要因として、荷重デバイスに類似したデバイスの使用経験に依って評価が大きく変わることが考えられる。今回実験を行った被験者は、ペンタブレットの使用年数が 2 年を超える者が半数おり、もう半分はペンタブレットの使用経験は無い、もしくは限りなく無いに等しかった。この中で、図 22 に示すようにペンタブレットの使用経験が長い被験者ほど荷重デバイスの直感性を高く評価していた。更に、ペンタブレットの使用経験が無い被験者の中でも、マウスの使用経験が長い被験者ほど荷重デバイスを高く評価する傾向にあった。これらのことから、荷重デバイスを十分操作できるようになるにはある程度の慣れが必要であり、既存のデバイスの使用経験が長いほど荷重デバイスへの慣れに要する時間は短いと考えられる。最後に、評価実験にて四角形と円形を描かせたが、この図形の描き易さについて考える。図 21.e および図 21.f に示す結果から、四角形の描画ではマウスが僅かに操作し易く、円形では荷重デバイスが操作し易かったことがわかった。これは、描画実験から得られた相似率の結果とも対応している。また、図 21.g および図 21.h に示す直線および曲線の描き易さの評価結果からも、直線ではマウスが、曲線では荷重デバイスがそれぞれ操作し易かったことが読み取れる。被験者の意見でも、直線の描画はマウスを縦横にスライドさせるだけで良いため、時間をかければマウスの方が大きなズレのない直線を引くことができるが、曲線ではマウスを斜めにスライドさせなければならず、斜めに操作しようとする段階状に動かしてしまい易いため、曲線の描画は荷重デバイスの方が操作し易かったという評価が多かった。

これらの結果から、提案する荷重デバイスはある程度の慣れを必要とするが、実用に堪えるデバイスであると考えられる。

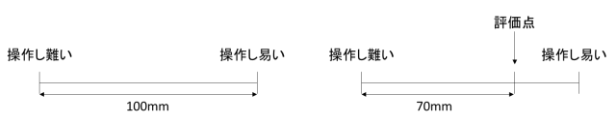


(a) 四角形の描画に要した時間



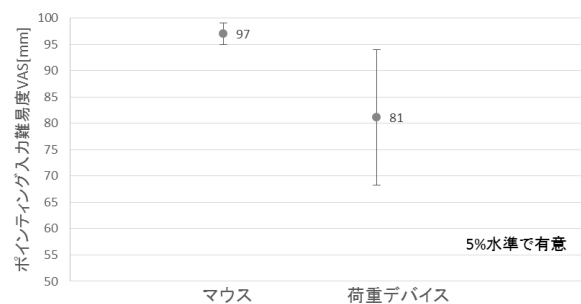
(b) 円形の描画に要した時間

図 19 描画に要した時間 (平均値と 95%信頼区間)

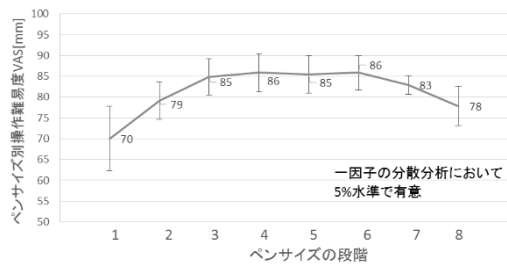


(a) 評価直線 (b) 被験者による主観評価例

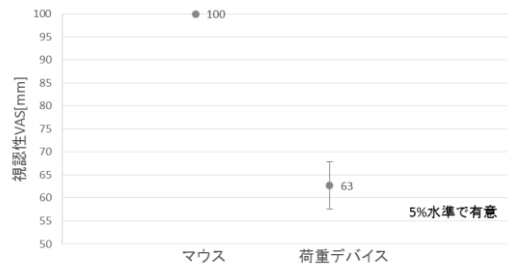
図 20 Visual Analog Scale



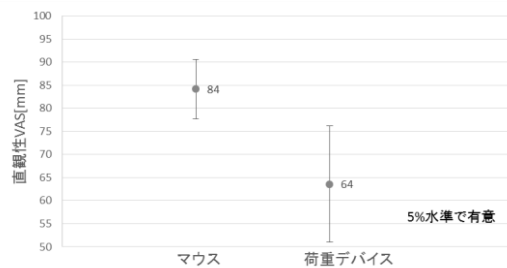
(a) 指定座標への入力操作評価



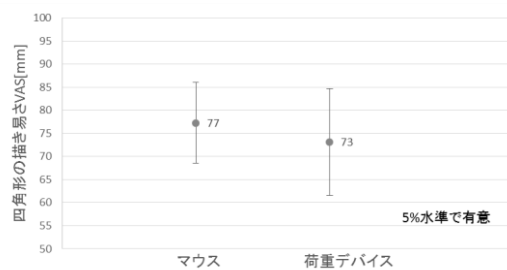
(b) ペンサイズ別操作性評価



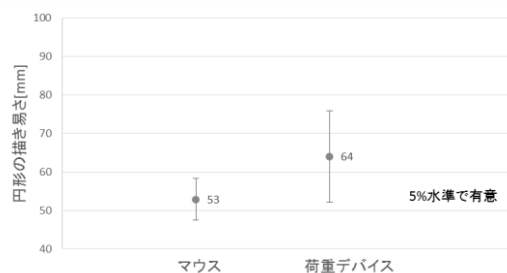
(c) 視認性の評価



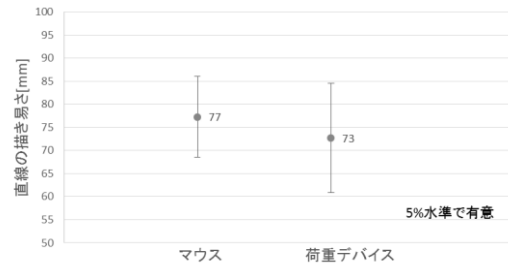
(d) 直観性の評価



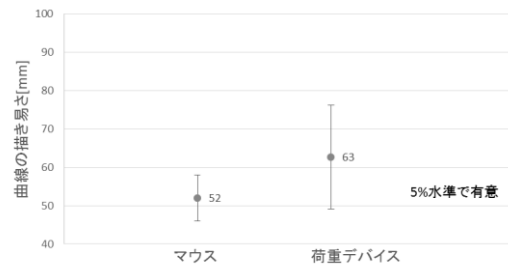
(e) 四角形の描き易さ評価



(f) 円形の描き易さ評価



(g) 直線の描き易さ評価



(h) 曲線の描き易さ評価

図 2 1 被験者の主観評価 (平均値と 95%信頼区間)

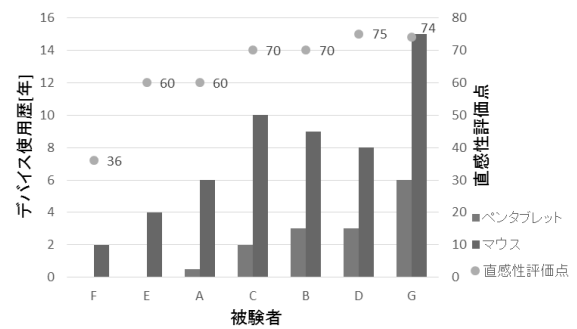


図 2 2 既存デバイスの使用経験に依る直観性の評価

10. 結び

習熟が必要であるという前提条件はあるが、提案する荷重デバイスが実用に堪えるデバイスであることを示した。しかし、被験者の主観評価から得られた結果より、視覚的フィードバックの少なさが操作性に与える影響は小さくない。また、荷重により機能を瞬時に切り替えられることは概ね高い評価を得られたが、機能が切り替わったタイミングを聴覚や触覚等にフィードバックされることを望む意見もあった。これらから、荷重デバイスの用途に合ったフィードバックの実装が今後の課題と言える。また、図 23 に示すような、入力操作を行っていないにもかかわらず点が描画されてしまう現象が稀にあった(なお、図 23 は第 7 項で示した図 17.c と同じものである)。これは、荷重入力を行った後瞬時に抜重した際、バネの反動で入力操作が行われてしまうという、荷重デバイスの構造の問題が考えられる。これらから、荷重デバイスの構造には改良の余地があると考えられる。最後に、本研究では荷重デバイスの操作具とディスプレイは分離されており、操作具の入力座標とディスプレイに描画される座標をユーザーがマッピン

グする必要があった。図 24 に示すように荷重デバイスの操作具上部に液晶ディスプレイを設置する等した場合に、どのような結果が得られるかについても、研究余地があると考えられる。こうした課題を解決した新しい操作デバイスの実現に向け、継続的な研究が必要である。

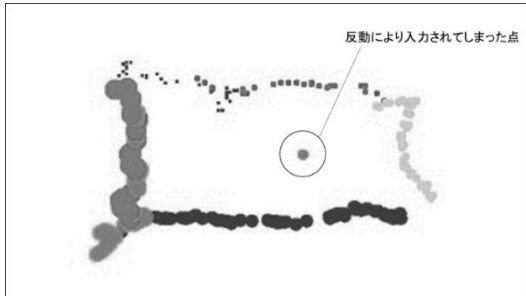


図 2 3 四角形描画実験における誤入力

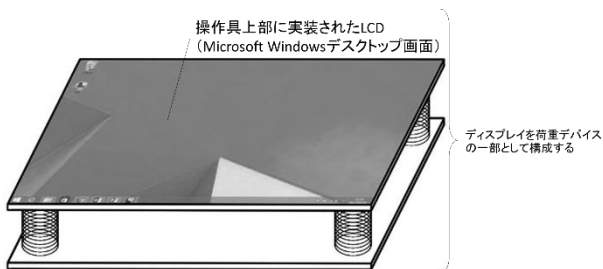


図 2 4 操作具にディスプレイを実装した例

参考文献

- 1) Allegro Micro Systems : A1324, A1325, および A1326 データシート, <http://www.allegromicro.com/ja-JP/Products/Magnetic-Linear-And-Angular-Position-Sensor-ICs/Linear-Position-Sensor-ICs/A1324-5-6.aspx> (2016/12/26 閲覧)
- 2) Apple iOS Human Interface Guidelines : <http://developer.apple.com/ios/human-interface-guidelines/visual-design/layout/> (2016/12/26 閲覧)
- 3) 田中瑞穂, 梅沢侑実, 土井幸輝, 藤本浩志 : 弾性物体を押し込む指と硬さ弁別特性の関係, 日本機械学会論文集, Vol.82, pp.10-11, 2016