

点図ディスプレイを用いた触図作成システムにおけるペン・指先入力の比較

Comparison Pen and Fingertip-Input for Drawing on Tactile Displays

学生会員 守井清吾[†], 正会員 石井雅博^{††}, 学生会員 鈴木淳也[†],
川原茂敬^{†††}, 広林茂樹^{†††}

Shingo Morii[†], Masahiro Ishii^{††}, Junya Suzuki[†], Shigenori Kawahara^{†††} and Shigeki Hirobayashi^{†††}

Abstract Understanding, creating, and transmitting texts and figures is important in an information-based society. While systems that help visually impaired people understand, create, and transmit texts are available, ones to help them create figures are still needed. We are developing a pilot system that enables them to draw tactile figures with their fingertips using a tactile display and computer vision techniques. Experimental evaluation of the usability of the system in comparison with that of a pen-input drawing system showed that is more effective?

キーワード：視覚障害者，触図作成システム，ペン入力，指先入力，点図ディスプレイ

1. ま え が き

インターネット，パーソナルコンピュータ，スマートフォンなどの普及は情報の獲得と発信の方法を変化させ，我々に様々な恩恵をもたらした．これは健常者だけでなく視覚障害者にも当て嵌まる．受信した文字を点字端末に表示したり，スクリーンリーダによって読み上げたりすることが比較的容易になったことも相まって，視覚障害者の情報獲得環境は少しずつ改善してきた．言語情報の入力では，パーソナルコンピュータ用キーボードの他に，点字用六点入力キーボードが利用可能であるなど，情報発信面での障壁も低くなってきた．しかし，インターネットなどを介して送受信されるのは文字情報だけでなく，図形やグラフなどの視覚的情報も含まれ，その重要性はますます高まっている．一部の視覚的情報に関しては，言語による説明や数表などに変換されてきたが，すべてを言語化するのには容易ではな

い．視覚的情報を視覚障害者に伝えるには，図や文字を隆起させ情報を触覚的に提示することが可能な「触図」の利用が有効であり，立体コピー機などの専用機器を用いれば，触図は作成できる．視覚障害者がこれらの機器を使って予め用意された原稿から触図を作成することは比較的容易であるが，原稿を視覚障害者が描くことは困難である．

視覚障害者が晴眼者の協力を得ずに触図を作成するためのものとしては表面作図器がある．これは，鉄筆等で線を引くと軌跡が凸状となって浮き上がるセロファン状シートを使用する視覚障害者用の筆記用具である．触覚で作成途中の図形を確認しながら，触図作成を進めることが可能である．表面作図器は，盲学校における教育でも用いられている¹⁾．構造が単純で直感的操作によって使用が可能な道具であることが，教育現場で用いられてきた要因の一つである，と我々は考えている．直感的に操作できることは創造的行為を行う上で重要な要素であり²⁾，この意味で表面作図器は優れた道具であるといえるが，描画システムとしては二つの改善可能性があると思われる．一つは，一度描いた線を消去できないことである．図形の修正には加筆だけでなく消去機能が必要である．もう一つは，デジタルデータへの変換作業に晴眼者の協力が必要となることである．これらの課題を解決するためには，ソフトコピーを提示することのできる点図ディスプレイ³⁾⁴⁾の利用が有効であろう．

点図ディスプレイは，電気信号によって上・下を制御できる点字端末用の触知ピンをマトリックス状に配置したものである．点図ディスプレイの一例を図1に示した．

2013年6月28日受付，2013年9月20日再受付，2013年10月21日採録

[†] 富山大学 大学院生命融合科学教育部

(〒930-8555 富山市五福 3190 TEL:076-445-6701)

^{††} 札幌市立大学 大学院デザイン研究科

(〒005-0864 札幌市南区芸術の森 1 TEL:011-592-2300)

^{†††} 富山大学 大学院理工学研究部

(〒930-8555 富山市五福 3190 TEL:076-445-6701)

[†] Graduate School of Innovative Life Science for Education, University of Toyama

(Gofuku 3190, Toyama, 930-8555, Japan)

^{††} Graduate School of Design, Sapporo City University

(Minami-ku, Sapporo, 005-0864, Japan)

^{†††} Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama

(Gofuku 3190, Toyama, 930-8555, Japan)



図 1 点図ディスプレイ
A tactile display.

ユーザは、触知面を手指で走査することでそこに書かれた 2 次元図形を認知することが可能である。渡辺と小林は、点図ディスプレイと 2 次元の位置計測装置を組合せて電子的な表面作図器を試作した⁵⁾。位置計測装置には入力用ペンが接続されており、左手で触図を確認しながら右手で保持したペンで描画できるようになっていた。この装置では図形の編集や保存が可能となっていた。彼らは、2 名の視覚障害者を被験者として実験を行い、点図ディスプレイを用いた触図作成システムの実用可能性を示した。

手描きスケッチのような創造的行為は、暫定的に決めた解を図として外在化させ、その結果を確認し、それに対する修正箇所を思考する、という過程を経る⁶⁾。行為者が満足する解を得るまで、これらが循環されることになる。視覚障害者による触図作成も創造的行為であるので、同様の過程が取られる。つまり、直感的に入力できることは当然重要であるが、入力結果を効果的に確認できることも等しく重要である。

さて、触知における左右の手の使い方について、左右双方の手を活用して読み進めることが最適であると報告されている^{7)~9)}。利き手を主体的に使いながら、反対の手指も協調的に使うのである。前述した渡辺と小林のシステムでは、利き手で保持したペンで描画し、反対の手で触図を確認することを想定しており、両手での触知は考慮されていない。手からペンを放すことで両手指での触知が可能になるが、描画動作に移るときにはペンを再び持ち直さなければならない。我々は、両手での触図確認が可能で、かつ、この時の手指の姿勢に近い状態で作図が可能なシステムが有効である、と考えた。

近年、液晶パネルのような表示装置とタッチパッドのような位置入力装置を組合せたタッチスクリーンを採用した情報機器が普及してきた。タッチスクリーンは、ユーザが画面上の対象を見ながら指先で操作できるため、直感的にわかりやすく、操作が簡単になるという点で優れている。視覚障害者用の触図入力システムにおいても、触知面上の

図形を触りながら、指先で描画する方法が有効となる可能性がある。指先で入力できれば、ペンを持ったり放したりする動作が不要となり、両手での触知が容易になると想定できるからである。

そこで本論文では、このような指先で操作するタッチスクリーンの考えを拡張し、指先で描画可能な視覚障害者用の描画システムを提案する。点図ディスプレイを用いて指先入力で描画・消去できるシステムを試作し、ペン入力によるシステムとユーザビリティの比較をする。近年見られるタッチパネルとペン入力を共に備えたノート PC 等の使用感から、視覚障害者用描画システムのユーザビリティをおおよそ予測することは可能かもしれない。しかし両者は、情報の獲得という点で同一ではない。ノート PC の場合は視覚で情報を獲得し手指で外界に働きかけるが、本研究のシステムでは手指の触覚で情報を獲得し手指で外界に働きかける。そこで視覚障害者用の描画システムを対象として、特に、目標を達成するために用いられる際の有効さ（正確さ）、効率（費やした時間）、ユーザの満足度の度合いを被験者実験によって調べる。

2. 実験用装置

2.1 装置の構成

比較実験に用いた装置は、指先あるいはペン先の位置を検出するために用いられる画像取得装置、触図を提示する点図ディスプレイ、およびこの二つを制御するためのパーソナルコンピュータから構成されていた。図 2 に画像取得装置と点図ディスプレイを示す。

画像取得装置には 640 × 480 画素、30FPS の USB カメラを用いた。点図ディスプレイはピエゾ素子駆動の触知ピンによって構成されていた。1 本の触知ピンの直径は 1.2mm、上下のストロークは 0.7mm であり、ピン先は丸め加工がなされていた。横 48 本、縦 32 本のピンがマトリックス状に配置されており、ピン間隔は 2.4mm であった。点図ディスプレイとパーソナルコンピュータは USB で接続された。点図ディスプレイを机上に水平に置き、上方に配置したカメラで触知面を撮影した。カメラの画角と触知面は一致させた。

人差し指の爪の先端付近に光学マーカを取り付け、画像処理によってマーカの重心位置を求め、この点を指先の位置とした。(図 3 左)。これらの処理は Windows 7 上の Visual C#および OpenCV によって実現された。Core i5(1.7GHz) の CPU および 4096MB のメモリーを搭載したパーソナルコンピュータで実行したところ、画像取得から点図を表示するまでのサイクルは 20FPS 程度であった。同一のシステムで、マーカをペン先に付け換えることで、ペン入力を実現した。(図 3 右)。



図 2 実験装置
Apparatus.

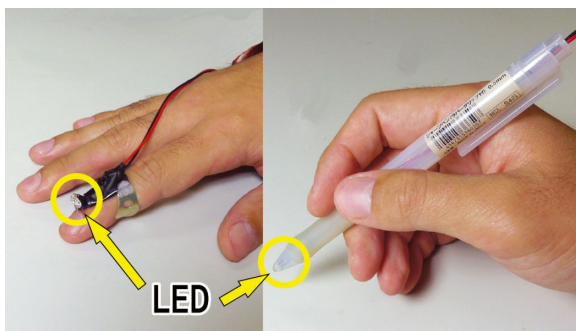


図 3 マーカー
Marker.

2.2 機能

主要な機能として三つの操作モードを設定した。一つ目は閲覧モードである。このモードでは、ユーザは点図ディスプレイに表示されている触図を自由に触って確かめられる。描画や消去は行われない。二つ目は描画モードである。このモードでは、マーカー直下のピンが DOWN 状態ならば UP 状態に変更される。この状態で指あるいはペンを移動させると、軌跡にあるピンが UP となり線を描いたことになる。三つ目は消去モードである。この状態で指あるいはペンを移動させると、軌跡にあるピンが DOWN となる。

これらのモード切り替えは触知面の手前に配されたボタン 1 によって行われる。システムの基本機能としては、ボタン 1 が 1 回押されるごとに、「閲覧」⇒「描画」⇒「消去」⇒「閲覧」と循環的にモードが切り替わる。

モードが切り替えられた時には、それぞれ「閲覧モード」「描画モード」「消去モード」と音声読み上げを行い、ユーザに現在のモードを伝えた。その他の補助機能として、初期化ボタン（ボタン 2）、全消去ボタン（実験では使用していない）などを設定した。実験用には、タスク完了通知ボタン（決定ボタン）を設定した。これらのボタンは親指での操作を想定し、触知面の近くに配置されている。

3. 実験

点図ディスプレイを用いた、視覚障害者用触図作成システムにおける指先入力とペン入力の違いを明らかにするために、(1) 有効さ、すなわち達成された課題の正確さ、(2) 効率、具体的には課題を達成するために費やされた時間、(3) ユーザ満足度、を晴眼者と視覚障害者の被験者実験によって調べた。

本論文の冒頭で述べたように、本研究では触図作成システムにおける描画の修正機能に着目している。特に、既存の触知図形に対して、所望の場所に所望の図形要素を新たに追加できること、および、既存の触知図形の所望の場所の所望の図形要素を消去できることが重要であると考えている。そこで、以下に示す 3 種類の課題における有効さと効率を調べることにした。

- a 決められた場所に一つの点を追加する課題（ポイント課題）
- b 決められた場所に決められた長さ・向きの線分を追加する課題（描画課題）
- c 決められた場所の決められた図形要素を消去する課題（消去課題）

実験終了時に被験者から得た意見や感想を分析し、ユーザ満足度評価とした。これらは、質問項目を設けず、自由に発言してもらった。実験の最後に、ペン入力と指先入力を総合的に比較した場合、どちらが優れていると感じるか尋ねた。

3.1 方法

(1) 課題

上で述べた三つの課題、すなわち a, b, c に対して、それぞれ 2 種類の課題を設定した。つまり、本研究で用いた課題は 6 種類であった。なお、ターゲットが右方にある場合と左方にある場合の実験試行を行っている。それぞれの課題を図 4～図 6 に示す。ここでは、触知面の左右方向を水平、上下方向を垂直と表現し、触知ピンの一つをドットと表現する。図 4～図 6 において、白丸は DOWN 状態、黒丸は UP 状態のドットを表している。灰色の丸は被験者が描画または消去すべきドットである。

ポイント課題 1 は、触知面上に二つの点 P1, P2 が与えられ、 $P1P2 = P2P3$ となるような点 P3 を、線分 P1P2 の右または左方向の延長線上に追加する課題であった。なお、P1 および P2 は水平な位置にあり、P1P2 は 10 ドットであった（図 4 上段）。ポイント課題 2 は二つの点 P1, P2 が与えられ、 $P1P2P3$ が正三角形となるような点 P3 を、線分 P1P2 の右または左側に追加する課題であった。P1 および P2 は垂直な位置にあり、P1P2 は 11 ドットであった（図 4 下段）。ポイント課題を実験する際には、決定ボタンを押すとマーカー直下のピンが UP 状態になるようにした。

描画課題 1 は正方形の 3 辺が与えられ、残りの 1 辺の線分を追加して正方形を完成させるものであった。

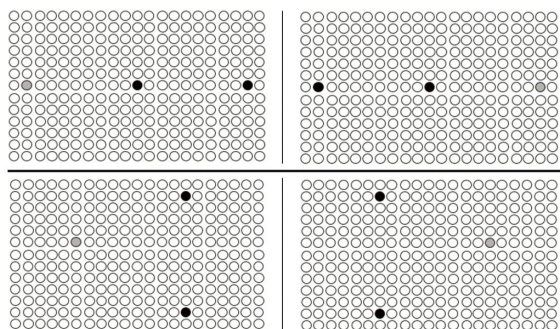


図 4 ポイント課題 (上:課題1 下:課題2)
Point task(upper:task1 lower:task2).

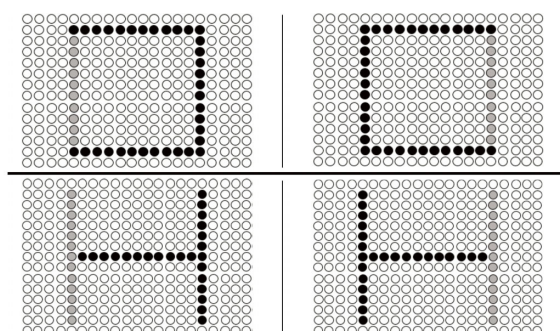


図 5 描画課題 (上:課題1 下:課題2)
Draw task(upper:task1 lower:task2).

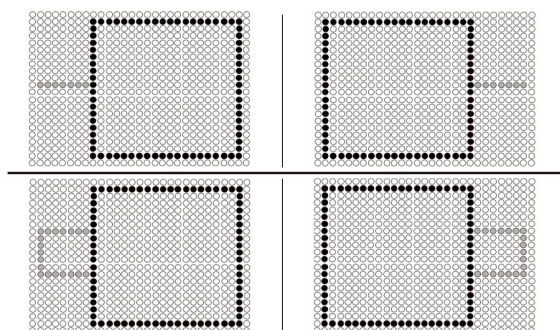


図 6 消去課題 (上:課題1 下:課題2)
Delete task(upper:task1 lower:task2).

1 辺の長さは 12 ドットであり、追加すべき線分は右辺あるいは左辺であった (図 5 上段)。描画課題 2 は、H 型図形の 2 本の線分が示され、1 本の線分を追加して H 型の図形を完成させるものであった。1 本の線分の長さは 13 ドットであり、追加すべき線分は右側あるいは左側の垂直線分であった (図 5 下段)。描画課題を実験する際には、「閲覧」⇒「描画」⇒「閲覧」とモードが切り替わるようにした。

消去課題 1 は、正方形とその外側に線分が与えられ、線分を消去する課題であった。消去対象の線分は、正方形の右辺あるいは左辺の中心に接するように置かれた。正方形の 1 辺は 20 ドットであり、線分の長さは 7 ドットであった (図 6 上段)。消去課題 2 は、消去課題 1 の線分を 1 辺 7

ドットの正方形に置き換えた課題であった (図 6 下段)。消去課題を実験する際には、「閲覧」⇒「消去」⇒「閲覧」とモードが切り替わるようにした。

なお、点図ディスプレイのドットはマトリックス状に配置されており、さらに解像度が低いため、滑らかな斜線を表現することは困難であった。そこで今回の実験では斜線は扱わないこととした。

(2) 手順

6 種類の課題が、2 種類の入力方法で遂行された。一つの条件について 5 回の試行がなされた。ペン入力と指先入力はそれぞれ別のブロックとして実験した。順序効果を考慮して、晴眼被験者のうち半数の被験者はペン入力の実験を行ってから指先入力の実験を行い、残りの被験者は、その逆の順番で実験を行った。視覚障害被験者の半数はペン入力から、残りは指先入力から実験を行った。それぞれのブロックの中では、各条件がランダムに試行された。

実験前、被験者は点図ディスプレイを経験する時間が 5 分間与えられた。この時、触知面には簡単な図形が提示された。また、実験用装置の機能に関する説明がなされ、被験者はその動作を確かめた。各試行の開始時には、被験者は手を膝の上に置くように指示された。試行開始の合図が与えられ、各課題を開始した。被験者は、なるべく速く、正確に課題を行うように指示されていた。被験者は、課題を終えたら、ボタンでその旨を知らせた。

ポイント課題では、ドットを追加するべき位置が右方か左方が不明確であったので、当該試行の前には、右あるいは左が音声で指示された。ペン入力の際には、ペンを机の上において両手指で図形を確かめることが許可されていた。

(3) 被験者

晴眼被験者は、20 歳代の右利きの男性 7 名であった。いずれの被験者も裸眼あるいは矯正で正常な視覚を有していた。被験者は、実験前には点字や触図に触れた経験がほとんどなかった。すべての被験者は、実験の目的を知らなかった。実験中はアイマスクを装着した。

視覚障害被験者は、40 歳代後半および 20 歳代後半の右利き男性 2 名で、いずれも全盲であった。日常的に点字や点図をよく利用している。なお、著者の 2 名がこれらの被験者であった。

3.2 結果

初めに晴眼被験者の結果について述べる。ターゲットが右方にある場合と左方にある場合の実験試行を行ったが、左右差は見られなかったため、今回は両者を統合して解析した。

(1) 正確さ

達成された課題の正確さに関しては、課題毎に別々の基準を定めて評価した。ポイント課題は、被験者が追加したドットの位置が目標のドット位置と一致した実験試行の割合 (表 1)、さらに、目標あるいはその周囲 8 近傍のドットの位置と一致した試行の割合 (表 2) によって評価した。

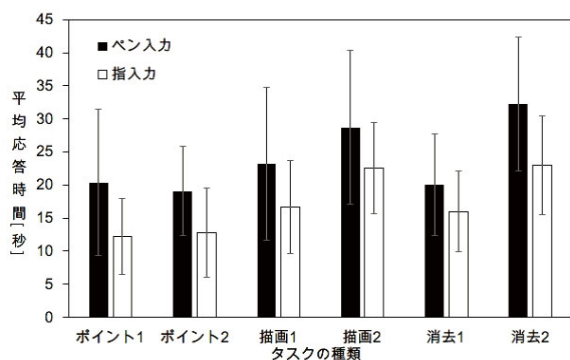


図 7 平均課題達成時間と標準偏差 (秒)
Mean and SD of task completion time (sec).

描画課題は、追加された線の長さ、具体的には目標に対して過不足したドットの数 (表 3)、さらに、位置ずれ、ここでは水平方向のずれ量 (表 4) によって評価した。消去課題は、未消去ドット数、つまり消し残したドットの数 (表 5)、および過消去ドット数、つまり消去対象でない正方形の線分を消したドットの数 (表 6) によって評価した。6 種類のすべての課題において、指先入力とペン入力の間には差は認められなかった (t 検定, 対応あり, 両側, 有意水準 5%)。

(2) 効 率

各試行の開始から終了までにかかった時間 (5 試行の平均) を課題達成時間とした。図 7 に実験の結果を示す。値は被験者 7 名 × 2 種類の平均で、エラーバーは標準偏差である。すべての課題において、指先入力はペン入力よりも短い時間で遂行されている。指先入力とペン入力の平均課題達成時間の差が統計的に有意かを確かめるために、有意水準 5% で対応あり両側検定の t 検定を行ったところ、有意差が認められた ($t(13)=2.16$)。それぞれの t 値を示す。ポイント課題 1; 3.105, ポイント課題 2; 4.593, 描画課題 1; 2.204, 描画課題 2; 2.614, 消去課題 1; 2.186, 消去課題 2; 3.559 であった。

(3) 満足度

ペン入力と指先入力のどちらが総合的に優れているか、の質問に対しては、ポイント課題では 7 名、描画課題では 5 名、消去課題では 6 名が指先入力の方が優れていると答えた。被験者から得られた感想の中で指先入力の優位性を示すものには次のようなものがあった。

「指先入力では、即座に変更箇所を認知できる」

「指先入力では、多くの指を同時に使えるので、図形が認知しやすい」

「ペン入力では、利き手での図形確認が面倒だった」

一方、ペン入力の優位性を示す意見は、次のようなものであった。

「H の文字はペンが書きやすかった」

「日頃鉛筆で描いているから、ペンを持ったほうがいつも通りで書きやすいと感じた」

「指だと今どこを書いているかよくわからなかった」などがあげられた。また、全体に対する意見として次のものがあった。

「モードの切替が面倒である」

これらの被験者は晴眼者であり、日常的にペン類を扱っている。つまり彼らにとっては指先入力よりもペンの方が馴れていると思われる。ここに示した被験者の発言は、ペンに馴れた被験者であっても閉眼時の触図作成では指先入力の方が使いやすいのではないかと示唆する。

表 1 正しい位置にポイントされた率 (pct.)
Rate of trial dot placed on the right position (pct.).

課題	ペン	指先
ポイント 1	14.3	12.9
ポイント 2	2.9	1.4

表 2 近い位置にポイントされた率 (pct.)
Rate of trial dot placed near the right position (pct.).

課題	ペン	指先
ポイント 1	62.9	65.7
ポイント 2	22.9	38.6

表 3 追加された線分長の平均誤差 (ドット)
Mean error of line length (dot).

課題	ペン	指先
描画 1	0.3	0.0
描画 2	0.2	1.2

表 4 水平方向の平均誤差 (ドット)
Mean error on horizontal direction (dot).

課題	ペン	指先
描画 1	0.9	0.9
描画 2	0.7	0.7

表 5 平均未消去ドット数 (ドット)
Mean number of undeleted dots (dot).

課題	ペン	指先
消去 1	1.3	1.3
消去 2	1.7	2.1

表 6 平均誤消去ドット数 (ドット)
Mean number of wrongly deleted dots (dot).

課題	ペン	指先
消去 1	0.6	0.3
消去 2	1.1	0.6

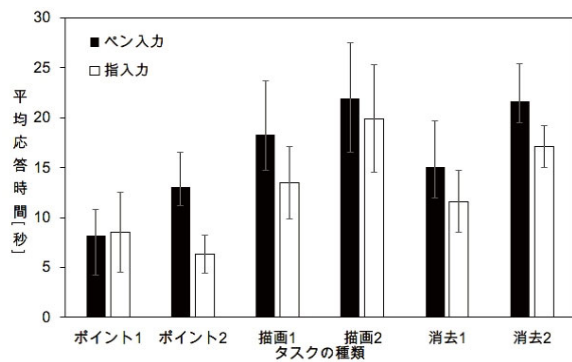


図 8 平均課題達成時間と標準偏差 (秒)
Mean and SD of Task Completion Time (sec)

(4) 視覚障害者による評価

図 8 に課題達成時間を示す。前述した晴眼者の結果と類似した結果であった。なお、被験者数が少ないため、統計的な検定を行わないこととした。正確さに関する結果では、晴眼被験者と同様に、ペン・指先入力での差は見られなかった。

満足度に関しては、ポイント課題についてはペン入力の方が良く、描画課題と消去課題についてはどちらの入力方法でも同等であると感じた。ポイント課題でペン入力を支持するのは、ペン先は 1 点を確実にとらえることができるが、指先では指の腹全体が描画先であるので、どの 1 点が入力されるかわりにくいからである。

4. 考 察

触図作成過程では、まず現在の状態を触知により確認する。その後、行為者の意図する描画あるいは消去を行い、その結果を確認する。このような行動を繰り返すことで、漸近的に解である図形を「見つける」。すなわち、触図作成過程では、触知による確認行動が頻繁に行われている。冒頭でも述べたように、触知による確認行動については、多くの手指を用いることが最適であるとされており、この意味で、ペンを持った描画では一度に使える手指が少なくなる。したがって、最適な触知のため、行為者はペンを置く・持つ動作を繰り返しながら描画を行うこととなり、結果としてこのような行動が描画に費やす時間に含まれることとなる。結果の効率の項でも述べたが、すべての課題に対して、費やした時間は指先入力の方が短く、これはペンを置く・持つという動作の有無が関係していると考えられる。被験者ごとに見ると、2 名の被験者がペン・指先入力のいずれでもほぼすべての課題に対して平均より大幅に時間がかかっていた。また、ポイント課題でペン入力ではすべての被験者が 10 秒以上費やしているのに対し、指先入力ではおおむね 10 秒前後、中には 3 秒前後という場合もあった。実験後の聞き取り調査でも、「指先で直接入力できることは、ペンを持ち直す動作が必要ないので簡単だった」という意見があった。また、描画行動そのものにおいても、ペン入力では所望の場所にペンを置いた後で、ペン先が行為者の意

図した位置にあるかを指先で確認する必要があるが、指先での入力はこのような確認は必要ないので、効率が向上した要因となっていると考えられる。

効率およびユーザ満足度では指先入力が優位であったが、作成した画像の正確さについては、入力方法による差は確認できなかった。実際の描画行動は、ポイント課題であればペン・指先を所望の位置に置くこと、直線描画課題であれば、所望の始点から終点まで動かすこと、消去課題では、消去領域をなぞることである。いずれの行動においても、行為者はまず現在描かれている状態を触知により確認し、描画・消去を行いたい領域を把握してから具体的な描画・消去行動を行う。渡辺らの報告にもあるが、今回のポイント課題や直線描画課題のように、「2 点間の距離を比べる」「ある点から次の点まで線を引く」などの行動では、2 本の指を開き、その位置や距離を常に確認しながら空いた手でペンで描画する。複雑な描画内容になれば、位置や距離の把握に必要な指が増え、両手の使用も想定される。このような場合、表面作図機や渡辺らのシステムのようなペン入力システムでは、ペンを持つために指を描画面から離す必要があり、位置や距離把握が困難であろう。さらに、表面作図機のような消去不可能なものでは、描画行動の後で失敗すると、初めからやりなおす必要があり、すでに何度か描画している場合には、正確な描画より初めから書き直す労力を優先することも考えられる。結果として満足する描画が行えない。そこで、消去可能であり指先入力も可能な本システムを試作した。本システムは、消去を行えることはもちろんであるが、いずれの入力方法でもなるべく描画面から指を離す必要がないように、各種ボタンは描画面の近くに配置した。今回の比較実験の結果では、描画・消去行動に対して、触知の時のような、多くの手指を利用できることは、作成された画像に影響しないと言える。

ところで、視覚障害者は大きく、先天的な視覚障害と後天的な視覚障害に分けられる。先天的な障害の場合、文字や画像の入力は主として点字・触図を利用している。すなわち、先天的な視覚障害者は、日ごろから触知行動を行っており、上述の「位置と距離の把握」に充分慣れていると考えられる。一方、視覚を失った年齢にも依存するが、後天的な視覚障害者は先天的な視覚障害者に比べ、触知行動に慣れていない場合が多く、今回の被験者は後天的な視覚障害者に相当すると考えることができる。そのうえ、本実験では、被験者は初めに練習する時間を数分与えられただけで、この時間で触知に充分なれることができたとは考えにくい。その結果として、正確さについては入力方法による違いがみられなかったのではと考える。先天的な視覚障害者では、効果的な触知行動が行えるため、効率が向上することが予想される。実験に示した 2 名の視覚障害者はいずれも視覚を失ってから 15 年以上が経過している。この結果では、いずれの入力方法、すべての課題に対して効率が向上している。「位置と距離の把握」だけでなく、触知による

探索の速さも影響しているだろう。正確さについては、「位置と距離の把握」に慣れている先天的な視覚障害者で、指先入力により正確な結果となることが予想されるが、2名の視覚障害者からは読取ることができなかった。被験者数が少ないため、効率も含めてより詳細な検討が必要である。

今回試作したシステムは、ペン・指先位置の検出精度や、各種ボタン配置はいずれの入力でも同じであり、したがって、入力方法以外で効率や正確さに影響は与えない。本システムを用い、後天的な視覚障害者に相当する被験者で入力方法の違いを比較したところ、効率と満足度では指先入力が優位となった。正確さについての違いがみられなかったことから、指先入力での描画システムの可能性が示された。また、指先につけるマーカの位置を自由に換えられるので、左右どちらが利き手のユーザでも使用できる。しかし、正確さとも関連して、本ディスプレイは点の集合で描画するため、斜線や曲線などの描画、あるいは直線を描くことは難しい。さらに、前述したように被験者から、触知面が小さい、そして、モードの切替が面倒である、との意見があった。本実験で用いた点図ディスプレイの解像度は、横48本、縦32本であり、十分な大きさとはいえない。さらに大きなディスプレイが理想的であると思われる。大きな点図ディスプレイを用いる際には、モード切り替えに関しての何らかの工夫が必要となるだろう。両手は触知のために使われているので、手指以外の方法でモードを切り替える方法である。例えば、音声による入力や足で押すスイッチなどが考えられる。また、実験システムを体験した視覚障害者の一人は、指の腹のどの部分が入力点になるかがわかりにくいとコメントした。この点に関しては、ユーザが触っている箇所の認知が容易になるよう、当該ピンを数 Hz 程度で上下に振動させるという方法が提案されている⁵⁾。これにより、位置の認知に関する問題は改善されと考えられるが、指の直下のピンを常に振動するように制御すると、触図閲覧時の認知を低下させるのは明らかである。ユーザの意志で振動と無振動の状態を切り替えるか、ユーザの意図をくみ取ってこれらの切り替えを自動で行うような仕組みが必要になると思われる。

5. む す び

触図作成過程における、ペン・指先入力のユーザビリティを比較する目的で、点図ディスプレイを用いた描画・消去可能なシステムを試作し、両入力による比較実験を行った。その結果、指先入力では、触知行動が即座に行え、その結果として効率とユーザ満足度が高かった。一方、作成された画像の有効さについては、入力方法による違いは見られなかったが、被験者の中にはペンに慣れていることからペン入力を支持するものもあった。視覚障害者を対象とした場合、ペンや触知行動への慣れは障害を負った時期に影響される。今後我々は、点図ディスプレイを用いての触図作成システムを検討して行きたいと考えている。今回の比較

実験から、後天的な視覚障害者に対して、効率やユーザ満足度の観点では指先入力の可能性が示唆されたが、先天的な視覚障害者や、作成される画像の有効さについては今後のさらなる検討が必要である。

本研究に関して、富山大学教授津田正明氏には熱心なご議論をいただいた。ケージーエス株式会社には実験用システムの構築に関してご協力をいただいた。著者の守井は、カレッジ・ウイメンズ・アソシエーション・オブ・ジャパンから岡靖秀記念 CWAJ 視覚障がい学生奨学金を受けている。著者の石井は科学技術振興機構 CREST の研究援助を受けている。以上、記すとともに感謝の意を表します。

【文 献】

- 1) 東京教育大学附属盲学校、本校における養護・訓練＝その歩みと方向に、養護・訓練公開授業資料、(1975)
- 2) Yamamoto, Y., and Nakakoji, K., Interaction Design of Tools for Fostering Creativity in the Early Stages of Information Design, International Journal of Human-Computer Studies, **63**, 4-5, pp. 513-535 (2005)
- 3) Collins, C., Tactile television—Mechanical and electrical image projection, IEEE Transactions on Man-Machine Systems, **MMS-11**, pp. 65-71 (1970)
- 4) Linvill J. G., and Bliss J. C., A direct translation reading aid for the blind, Proceedings of IEEE, **54**, pp. 40-50 (1966)
- 5) 渡辺哲也, 小林真, 視覚障害者用電子レーズライタの試作, 日本バーチャリアリティ学論, **7**, 1, pp. 87-94 (2002)
- 6) Schoen, D. A., The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action, Basic Books, New York (1983)
- 7) 黒川哲宇, 点字の legibility と触野について, 心身障害学研究, 1, 11-18 (1977)
- 8) Burken, K., Touch reading of the blind. New York: American Foundation For the Blind (1932)
- 9) Foulke, E., Braille. In Heller M. Schiff W. (Eds.) Psychology of Touch. Erlbaum, pp. 219-233 (1991)



守井 清吾 モリイ シンゴ 2011 年、富山大学教育学研究科数学教育専攻修了。同年、同大学大学院生命融合科学教育部入学、現在に至る。視覚障害者用の各種支援機器の研究・開発に従事。学生会員。



鈴木 淳也 スズキ ジュンヤ 1993 年、ソニー株式会社入社。2009 年、富山大学大学院生命融合科学教育部入学。音響工学を利用した視覚支援機器の研究に従事。学生会員。



石井 雅博 イシイ マサヒロ 1995 年、東工大大学院博士課程修了。York University, Centre for Vision Research, Post-doctoral Fellow, 東京工業大学精密工学研究所助手、富山大学大学院理工学部准教授などを経て、札幌市立大学教授。博士（工学）。ヒトの知覚に関する研究に従事。正会員。



川原 茂敬 カワハラ シゲノリ 1984 年、東京大学薬学部卒業、1986 年、同大学大学院薬学系研究科修士課程修了、1988 年、同大学院博士課程中退、1988 年、東京大学薬学部助手、1993 年、博士（薬学）取得、2001 年、東京大学大学院薬学系研究科助教授、(2002 年- 2003 年、米国アリゾナ大学客員研究員)、2007 年富山大学大学院理工学部教授、現在に至る。感覚情報処理と運動制御の協調に関する研究、学習・記憶メカニズムに関する行動神経科学的研究に従事。



広林 茂樹 ヒロバシ シゲキ 1994 年、工学院大学工学研究科修士課程修了。1995 年、月同大学院博士課程中退、同年、金沢大学工学部助手。1999 年、富山大学工学部講師、2000 年、同大学助教授、2008 年、同大学大学院理工学部教授現在に至る。主として、音響波動・振動論、音響信号処理、音場制御、流体伝達系のモデル化に関する研究に従事。IEEE、日本設備管理学会各会員、博士（工学）。