

グラフィカル情報提示のための
触覚ディスプレイシステムに関する研究

2001年3月

日本障害者雇用促進協会
障害者職業総合センター

NATIONAL INSTITUTE OF VOCATIONAL REHABILITATION

まえがき

障害者職業総合センターでは平成3年の設立以来、「障害者の雇用の促進等に関する法律」に基づき、わが国における職業リハビリテーションサービス機関の中核であるとともに、わが国の職業リハビリテーション研究における先導機関として、様々な研究業務に取り組んできています。

その研究テーマの1つとして、同センター適応環境研究部門では平成9年度から3年計画で「視覚障害者に対する触覚と聴覚を用いた情報提示法に関する研究」を実施してきました。そこでは、視覚障害者に対するグラフィカル情報提示法として、バーチャルリアリティを応用した小型触覚ディスプレイである「触覚マウス」と、視覚障害者自身が作図可能な2次元触覚ディスプレイシステムを試作し、それらの有効性を検討しました。本報告書は、その結果を取りまとめたものです。

この報告書が、視覚障害関連の研究者および障害者支援技術に携わる専門家の方々にとって有用な技術資料となり、また、視覚障害リハビリテーションや職業リハビリテーションの専門家の方々にとっては障害者支援技術に対するニーズを喚起する1つの材料となることを期待します。そして、将来的にはそのニーズと技術とが一致点を見出し、有効な障害者支援機器として具現化され、これを用いて視覚障害者の雇用の拡大・安定につながるとしたらこれ以上の喜びはありません。

平成13年3月

日本障害者雇用促進協会
障害者職業総合センター
研究主幹 後藤 憲夫

執筆担当者

渡辺 哲也	障害者職業総合センター	研究員	: 第1章～第2章 第3章第1節・第2節3.～4. 第3章第4節 第4章～第5章
須貝 克美	障害者職業総合センター	研究協力員	: 第3章第2節1.～2.
為近 哲夫	障害者職業総合センター	研究協力員	: 第3章第3節

本研究には、上記執筆担当者のほか、適応環境研究部門の岡田伸一主任研究員、坂尻正次研究員、竹内恭彦氏研究協力員が参画した。

謝 辞

触覚マウスの製作にあたっては、茨城大学教育学部の佐々木忠之先生から多くの有益な資料を提供して頂きました。2次元触覚ディスプレイシステムは、筑波技術短期大学情報処理学科の小林真先生と共同で製作したものです。両システムの構想・試作・評価には、視覚障害研究と障害者支援機器に関する専門家の方々から多大なる御助言と御協力を賜りました。以下にお名前を記し感謝の意を表します。

(敬称略。順序は五十音順)

- 伊福部 達 (北海道大学電子科学研究所)
- 大内 進 (国立特殊教育総合研究所視覚障害教育研究部)
- 久米祐一郎 (東京工芸大学光工学科)
- 篠原 正美 (経済産業省産業技術総合研究所生命工学工業技術研究所人間情報部)
- 清水 豊 (筑波技術短期大学電子情報学科)
- 下条 誠 (茨城大学工学部情報工学科)
- 皆川 洋喜 (筑波技術短期大学電子情報学科)
- 渡辺 文治 (神奈川県総合リハビリテーションセンター七沢ライトホーム)

最後に、試作システムの試用実験に参加して下さった方々に深く謝意を表す次第です。

目 次

第1章	序 論	
第1節	研究の背景	1
第2節	研究の目的	2
第2章	触図の作成と触覚ディスプレイシステム	
第1節	触図の作成	3
第2節	触覚ディスプレイシステム	5
第3節	まとめ	7
第3章	触覚マウスシステムの試作	
第1節	従来の研究	9
第2節	第1次試作	9
第3節	第2次試作	20
第4節	まとめ	24
第4章	2次元触覚ディスプレイシステムの試作	
第1節	はじめに	25
第2節	第1次試作	25
第3節	第2次試作	31
第4節	まとめ	33
第5章	研究のまとめ	35
	参考文献	36

概 要

本報告書は、障害者職業総合センター適応環境研究部門において平成9年度から平成11年度にわたって行った「視覚障害者に対する触覚と聴覚を用いた情報提示法に関する研究」の研究成果を取りまとめたものである。

本報告書は、全5章で構成されており、各章の内容は以下のとおりである。

第1章では、本研究の背景と目的を説明した。視覚障害者の職域拡大を進める上で障害者支援機器の役割がきわめて重要である。パソコンを核としたシステムは視覚障害者の文字処理能力を向上させ、事務系の職種への道を拓いてきた。ところが近年パソコンのマルチメディア化に伴い、文字以外のグラフィカルな情報を含んだ文書が増加してきており、その内容を視覚障害者が理解するための手段が必要となっていた。そこで本研究では、仮想現実感（バーチャルリアリティ）を応用した小型触覚ディスプレイである「触覚マウス」と、高密度触覚ディスプレイ素子（触知グラフィックセル）を利用した2次元触覚ディスプレイシステムを試作し、グラフィカル情報提示手段としての有効性を探ることとした。

第2章では、触図作成のための用具と機器、および、触覚ディスプレイシステムについて紹介するとともに、それらの特徴を整理した。

第3章では、本研究において製作した触覚マウスシステムについて述べた。触覚マウスとは、一般のコンピュータマウスに小型触覚ディスプレイを搭載した装置で、マウスの動きに応じた触覚情報を利用者の指先にフィードバックすることで図形情報を利用者に伝える。触覚マウスの操作においては触図形からの逸脱が問題点の1つであるが、パラメータを適切な値に設定することで触図形からの逸脱が少なくなり、かつ、高い正答率で図形を識別できることが見出された。さらに、ポインティング位置を音声で出力することで、簡単な地図情報を提示可能であることもわかった。また、画面を見ながらコンピュータを操作している弱視者向けに、画面上のオブジェクトをポインティングしたことを触覚的に提示する操作支援デバイスとしての応用の可能性も示唆された。

第4章では、触知グラフィックセルを利用して試作した2次元触覚ディスプレイシステムについて述べた。このシステムは、視覚障害者自身が作図可能な点でこれまでにない画期的なものである。第1次試作では入力装置としてタブレットを用いたシステムを構成し、これを4名の視覚障害者に試用してもらったところ、描画データの画像処理、入力面と触知面の不一致、触知ピンの間隔などの点を改善すべきであることがわかった。このうち、視覚障害者による描画のためには入力面と触知面の一致が重要なため、第2次試作では2軸の可動アームを製作し、このアームの先端に入力用ペンを接続することで、触知面上で直接ペンを動かして入力できるシステムを構築した。これを10人ほどの視覚障害者に試用してもらったところ、文字、フローチャート、地図が書けるなどの利用したい用途が提出され、おおむね好評な意見を得た。

第5章では、本研究の成果を要約した。

第1章 序 論

第1節 研究の背景

視覚障害者の職域拡大において、障害者支援機器の発達が重要な役割を果たしてきたことは論を待たない。カナタイプライタを用いた録音速記や、オプタコンでプログラムリストを読み取りながら行うコンピュータプログラマなどは、支援機器を活用して新たに開拓された職種の好事例である。最近の10数年では、パソコンを中心とした情報機器の活用が目覚ましい。スクリーンリーダーと呼ばれるソフトウェアにより一般用のワープロ・表計算・データベースなどの各種アプリケーションが視覚障害者にも利用可能となったことと、職場へのパソコンの急速な普及とが相まって、以前は不可能とされてきた重度視覚障害者の事務系職種への就労が実現された。さらに、OCR、CD-ROM辞書、インターネットなどパソコンを核としたシステムは、学校・大学の教職員、公務員、弁護士などの専門職においては、大量の情報を収集・処理する手段を提供してきた。

このように文字情報の処理は比較的容易になったが、他方において、文字では表現しきれない本質的にグラフィカルな情報（例えば、イラスト、地図、画像、動画など）を視覚障害者が自由に扱えるような機器はまだ実用的にはなっていない。パソコンのマルチメディア化によりイラストや画像などを含んだ情報が増え、それらがインターネットを通じて広く配布されており、グラフィカルな情報を扱う機会・必要性は今後ますます増えていくと予測される。したがって、一般企業における視覚障害者の就労を支援するには、グラフィカル情報を視覚障害者が適切に処理できるための機器が必要である。そのような機器が開発できれば、文字だけを扱える現在の状況よりも情報のコンテンツに対する理解が深まるのはもちろんのこと、図を扱う新たな仕事内容への発展も考えられる。

従来より、視覚障害者のグラフィカル情報の理解のためには、平面に線や面を凸状に浮出させ、これを指で触って理解できるようにした触図が利用されてきた。触図作成のための機器/システムは、立体コピー機をはじめとして数種類あり、その主なものは第2章で紹介する。これらの機器/システムの特長は、その本来の目的として触図の複製が容易なことである。しかし、最終的に触図を出力する過程に時間がかかるため、パソコンの画面に表示された画像を即時的に表現する用途には適さない。この用途のためには、グラフィカル情報を何度でも再構築できる触覚ディスプレイの利用が適切である。

触覚ディスプレイとは、2次元または3次元的なパターン情報を触覚を通じて利用者に伝達するための装置である。元来、聴覚障害者への音声の伝達や、視覚障害者への環境情報の提示を目的として研究が始められた。触覚ディスプレイを構成する技術は数種類あるが、いずれも機械的な駆動素子を用いるため経済性が問題となり、一般的に普及していないのが現状である。しかし近年、パソコンのマルチメディア化をきっかけとして、仮想現実感（バーチャルリアリティ）を応用した小型触覚ディスプレイが提案されたり、高密度触覚ディスプレイ素子が入手可能となるなど、視覚障害者用グラフィカル情報提示システムの実現可能性が高まってきた。

第2節 本研究の目的

以上のような状況を背景として、本研究では以下の3点を主たる目的とした。

- (1) これまでに研究/製品化されてきた機器/システムをレビューし、それぞれの特徴を整理する。
- (2) 仮想現実感を応用した小型触覚ディスプレイである「触覚マウス」を試作し、その有効性を探る。
- (3) 高密度触覚ディスプレイ素子を利用した触覚ディスプレイシステムを試作し、その有効性を探る。

ここで、研究の目的について説明を補足する。

近年一般的なマルチメディアパソコンでは、ウィンドウやアイコンなどの絵記号をマウスで指示するグラフィカルユーザインタフェース (Graphical User Interface; GUI) と呼ばれる操作手段が主流となった。GUIにより晴眼者はパソコンに親しみやすくなったが、一方で、視覚に偏重した操作体系は視覚障害者にはかえって使いづらいものとなった。この問題に対して当センターでは、絵記号を触感覚や音響に変換して提示する方策ではなく、絵記号から文字情報を適切に取出し音声または点字で出力するGUI対応型スクリーンリーダーという方策で解決を図った。したがって、本研究で取扱う触覚ディスプレイの目的はGUIパソコンの操作支援ではなく、あくまで、コンテンツに含まれるグラフィカル情報をグラフィカルなまま視覚障害者にも取扱い可能とすることである。

当センターで開発したGUI対応型スクリーンリーダーについては、本調査研究報告書の、

No.7 「重度障害者の総合的就労支援技術の開発 その1」

No.16 「重度障害者の職域拡大のための総合的就労支援技術の開発 その2」

No.20 「重度障害者の職域拡大のための総合的就労支援技術の開発 その3

視覚障害者用Windows 95画面読み上げソフトウェアの開発」

を参照されたい。このスクリーンリーダーは、「95Reader」という製品名で(株)システムソリューションセンターとちぎより販売され、多くの視覚障害者に利用されている。

第2章 触図の作成と触覚ディスプレイシステム

第2章では、触図作成のための用具と機器、および、触覚ディスプレイシステムについて簡単に紹介するとともに、それらの特徴を整理する。

第1節 触図の作成

レーズライタ

レーズライタは、鉄筆やボールペンなどでその上に線を描くと、描いた線が盛上がる特殊な用紙である。描いた内容をリアルタイムで触ることができるので、視覚障害者本人が作図できるのが特徴である。ただし、1度描いた線は消せないという不便さもある。主に教育の現場で、先天盲の児童に図形や文字を学習させるのに用いられる。



図2-1-1 レーズライタ

立体コピー

立体コピーシステムは、カプセルペーパー、立体コピー複写機、立体コピー現像機の3点で構成される。立体コピーを取るには、まず、通常のプリンタで印刷した図、または手書きの図を原紙として用意する。つぎにこの原紙を複写機でカプセルペーパーに複写する。複写されたカプセルペーパーを現像機にかけると、原紙の線や点に相当する部分に付着した発泡インクが膨らみ、紙面上に浮上がった凸部ができる。カプセルペーパーが高価なのが難点である。



図2-1-2(a) 立体コピー複写機



図2-1-2(b) 立体コピー現像機と
できあがった立体コピー

点字プリンタ/点字プロッタ

通常は点字の印刷に用いられる点字プリンタだが、適切に凸点を配置すれば図形パターンを表現することもできる。点訳ソフトの中には、簡単な幾何図形を編集できるものもあり、これを利用すれば図形と点字が混在した文書を作成できる。

また、はじめから点図の作成用途を考慮して開発された点字プロッタという製品もある。点径、点間隔などを任意に変更できるので、これを設定することより、点字専用のプリンタよりもなめらかな線を描くことができる。



図2-1-3 点字プリンタ

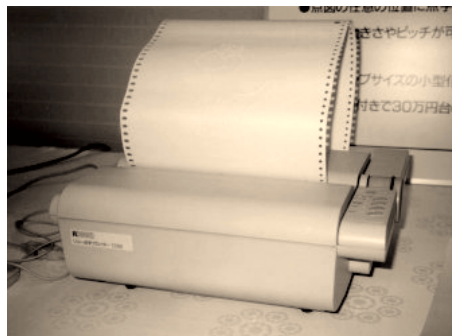


図2-1-4 点字プロッタ

3次元レーザープリンタ

プリンタ・リボンにレーザー光を照射して熱を加えると、リボンの熱膨張性インクが膨張し、また感熱接着層が接着力をもつことで非転写紙に凸状のパターンをつくる（伊藤, 数藤, 小田, 1999）。3次元レーザープリンタの長所は、特殊な用紙が不要で普通紙に印刷できること、出力時の騒音がないこと、細かなパターン表現が可能なことなどである。現在、実用化を目標に研究開発が進められている。

立体コピー、点字プリンタ、点字プロッタの各種製品の詳しい情報については『こころリソースブック』（中邑ほか, 1999）や、視覚障害者用機器に関するインターネットのWebサイトなどを参照されたい。

第2節 触覚ディスプレイシステム

触覚ディスプレイシステムは、その目的（どのような情報を伝えるか）、提示方式（生体のどの部位に接触させるか、あるいは手で自由に触らせるのか、など）、構成技術（振動子、静止型触知ピン、ウォーター/エアージェット、電極など）などにより様々な種類に分かれる。ここでは、代表的なシステム5種類を取り上げ、その概要を記した。

TVSS (Tactile Vision Substitution System)

カメラで撮影した外界の映像を触覚刺激または電気刺激に変換し、2次元パターン情報として皮膚を介して伝えるシステムである。1960年代にアメリカのSmith-Kettlewell視科学研究所で研究が始められた（例えばCollins, 1970）。日本では1970年代から製品科学研究所（現在の生命工学工業技術研究所）で研究開発が進められた（荒井ほか, 1982）。日米いずれのシステムも、触覚刺激子をマトリクス状に並べた触知面を椅子の背もたれに配置し、利用者は背中でパターン情報を知覚する。このように装置が大型なことに加え、伝達できる情報量が視覚に比べて格段に少ないため、視覚代行器として日常的に用いられるには至っていない。

触覚テレビ

カメラで捉えた映像を触覚刺激に変換して利用者に提示するという原理はTVSSと同じだが、TVSSが触知面を皮膚に密着して固定するのに対し、触覚テレビの利用方法は、利用者が能動的に触知面上で指を動かしながらパターン情報を知覚するものである。日本では製品科学研究所（上述）で触覚テレビに関する研究が行われた（荒井ほか, 1982）。なお、末田（1986）による触覚テレビはこれとはやや異なる。末田の触覚テレビでは、小型の触覚ディスプレイを利用者が手で動かしながら、ディスプレイの触知面より大きな図形を認識させようとするもので、その動作原理は触覚マウスにも応用されている。

オプタコン

オプタコン(Optacon; Optical-to-Tactile Converter)は、印刷された文字を触覚的に読取らせることを目的とした視覚触覚変換器の一種である（Linvill, Bliss, 1966）。これは小型カメラと指先サイズの触知盤（触覚ディスプレイ）から構成されており、利用者が読書材料の上をカメラで走査すると、カメラで取り込んだ映像の文字部分に相当する触知盤の振動子が振動し、利用者の指先にパターン情報を伝える。パターン情報のまま取扱うので、図形の読取りにも応用できる。アタッチメントを取付けることで、コンピュータ画面を読む用途にも使える。アメリカでは1971年に製品化された。日本でも1974年から販売が開始され、1991年には販売台数600台を計上した（村中ほか, 1993）。文書を読む必要のあるあらゆる局面で利用され、視覚障害者の職域を広げた。問題は、着実に文字を読取れるようになるのに十分な訓練を要する点である。

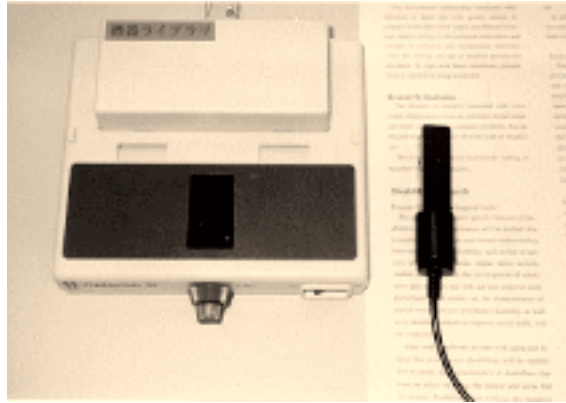


図2-2-1 オプタコン

触覚マウス

触覚マウスは、コンピュータのGUI化に伴い、コンピュータ画面上の画像情報を触覚化して伝えることを目的として考案されてきた。一般のコンピュータマウスに小型触覚ディスプレイを搭載した構成となっており、マウスの動きに応じた触覚情報を利用者の指先にフィードバックすることで図形情報を利用者に伝える。いくつかの研究機関で開発が行われ、その評価が報告されている。これについては第3章第1節で詳しく述べる。

2次元触覚ディスプレイ

触覚マウスと同様に、コンピュータのGUI化に伴い、コンピュータ画面をそのまま触覚的に提示することを主たる目的として開発が行われてきた。触知面に2次元のパターン形状を作り、それを利用者が能動的に指を動かしながら知覚する。このように利用方法に関しては触覚テレビと同じである。触知ピンの駆動には小型ソレノイドや圧電型素子が用いられる。

図2-2-2は、製品化された2次元触覚ディスプレイである（Schweikhardt, 1996）。ディスプレイ部は120×60本の触知ピンが3mm間隔で正方格子状に並べられている。表示の書換えにはやや時間を要し、触知ピン1本につき3msかかる。そこで画面書換え時間を短縮するため、直前の画像から状態の異なる触知ピンだけ変更するアルゴリズムが採られている。触知している指の位置を計測する検出器をオプションで追加することで、コンピュータとのリアルタイムの対話が可能となる。

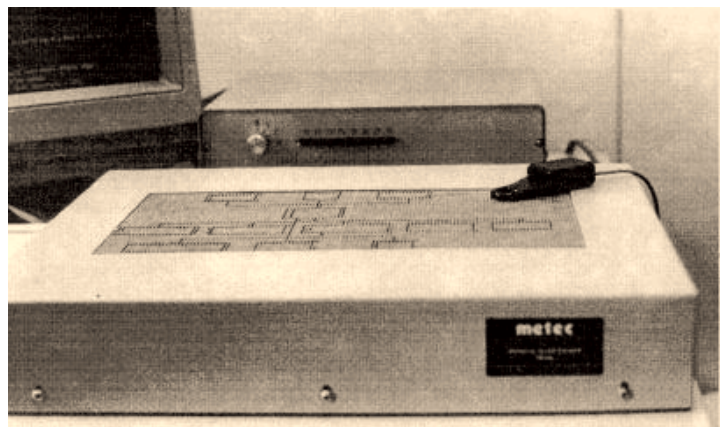


図2-2-2 2次元触覚ディスプレイ（独metec社, DMD 12060）（文献（Schweikhardt, 1996）より引用）

3次元触覚ディスプレイ

新エネルギー・産業技術総合開発機構と生命工学工業技術研究所が共同で開発した（疑似）3次元触覚ディスプレイは、通常のテーブルの大きさの触覚ディスプレイ本体1台と、サイドテーブル大のドライバーボックス2台から構成される（Shinohara, Shimizu, Mochizuki, 1998）。ディスプレイ部には64×64の触知子が千鳥格子状に配列されており、これをコンピュータで駆動し、立体的なレリーフパターンを形成する。表示速度は15秒/画像である。このディスプレイの有効性は、盲人の学生を被験者とし、漢字、日用品、地図、科学イラストを題材にした評価実験で検証されている。地図については、音声や点字と組み合わせれば有効な表示システムとなることが報告されている。

以上、2次元ないし3次元パターン情報の伝達を目的とした触覚ディスプレイについて紹介した。触覚ディスプレイについて技術的に詳しく知りたい方は、単行本『視覚障害とその代行技術』（市川ほか、1984）の第4章「知的活動の補助」、筑波技術短期大学の清水が作成したWebサイト「触覚伝達機器の設計支援情報」などを参考にされたい。

第3節 まとめ

第1節と第2節で紹介した触図作成のための用具と機器、および、各触覚ディスプレイシステムの特徴をまとめると表2-3-1のようになる。TVSSと触覚テレビはデバイスとしては2次元触覚ディスプレイと同じなので表から除いた。また、3次元レーザプリンタは情報書換えとリアルタイム性に関しては立体コピーと同様な特徴をもつ。

表 2-3-1 グラフィカル情報提示装置の特性

装置	情報書換え	リアルタイム	備考
レーザーライタ	×		複製不可
立体コピー	×	×	運用コストが高い
点字プリンタ/プロッタ	×	×	
オプタコン			図の認識には不向き
触覚マウス			相対座標である
2次元触覚ディスプレイ			
3次元触覚ディスプレイ			装置が大型

第3章 触覚マウスシステムの試作

第1節 従来の研究

指先サイズあるいは手掌サイズの触覚ディスプレイをポインティングデバイスに搭載し、利用者が触覚ディスプレイを動かすと、触覚ディスプレイの位置に応じた触覚情報を新たに提示する。このような手法により本来の触覚ディスプレイ面よりも広い面積の触覚情報を提示させるという考え方は比較的古くからあった（井出, 磯田, 1987; 酒井, 伊東, 米沢, 1983; 末田, 1986）。触覚マウスとしての特徴は、触覚ディスプレイをコンピュータマウスに載せている点にあり、第2章でも述べたように、コンピュータのGUI化と、それに伴いマウスが普及したことが開発の契機となった。いくつかの研究機関で開発が行われてきたが、その中には粗い振動感覚を伝えるもの（Hughes, Forrest, 1996）、触知ピンが1本のもの（赤松, 1994; Terry, Hsiao, 1988）、力覚フィードバックを与えるもの（Kerstner, Pigel, Tscheligi, 1994）、点字を表示するもの（York, Karshmer, 1989）なども含まれる。

多数の触知ピンをマトリクス状に並べて面的な情報を伝えることを目的としたデバイスは2種類ほど報告されている。ひとつはVanderheiden et al. (1991)により開発された触覚マウスで、これはオプタコンの5×20の振動部をマウスに搭載したものである。この装置を使い、図形を触りやすくなるパラメータに関する実験を行っている。森と佐々木(1993)は、点字ディスプレイ用の点字セル4個(8×4dot)を用いた触覚マウスを開発し、図形の弁別実験を行っている。

第2節 第1次試作

1. はじめに

触覚マウスを使って閉眼状態で触図形を認識するには、図形からマウスを逸脱させることなく凸線をなぞることが不可欠である。ところがこのなぞりと逸脱の観点から触覚マウスの操作性が検討されたことはなかった。触図形からの逸脱について調べるには触図形をなぞる際の手(によって動かされるマウス)の動きを計測する必要がある。そこで、これを計測できる触覚マウスシステムを開発することとした。

2. 触覚マウスシステム

2.1 システム構成

触覚マウスシステム第1次試作のシステム構成を図3-2-1に示す。システムは、触覚マウス、パソコン、制御ボード、音響出力回路、開始/停止ボタンで構成され、パソコン以外の各要素はすべて本試作において新たに製作した。

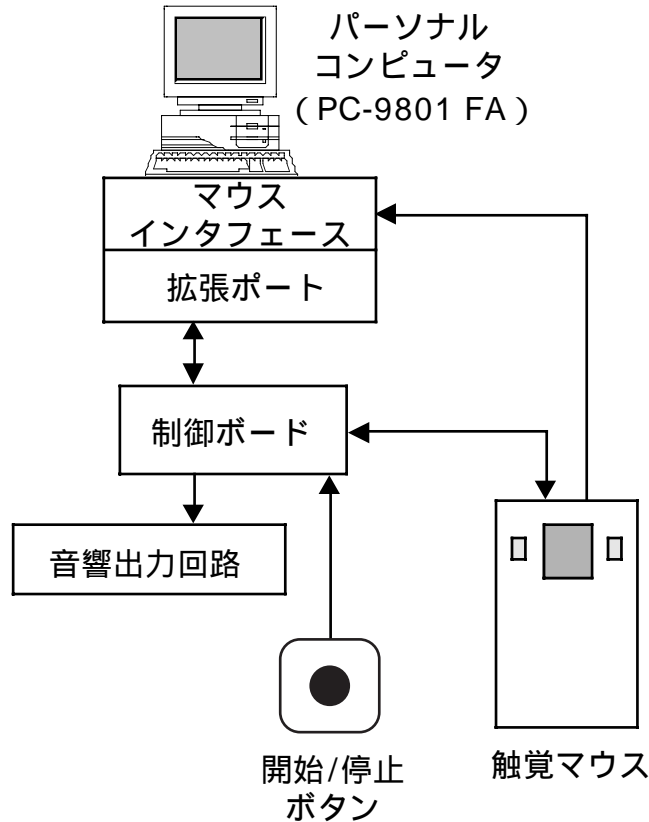


図 3-2-1 実験システムの構成

2.2 触覚マウス

今回開発した触覚マウスは、森と佐々木（1993）が製作したものと同一形状で、縦140 mm、幅84 mm、高さ54 mmのケースに市販のコンピュータマウス（東京ニーズ, TN-98PX1）と触覚ディスプレイ部とを納めたものである（図3-2-2）。触覚ディスプレイ部は点字セル（KGS, SC-2）と、セルを駆動するための電源供給部からなる。点字セルの仕様を表3-2-1に、外観を図3-2-3に示す。ひとつの点字セルには縦4本横2本で合計8本の触知ピンが並んでいる。触知ピンは圧電セラミックで駆動され、ピンストローク0.5～0.8mmを生じる。このセルを4台使用することで、利用者が示指と中指で触る程度の広さをもったディスプレイ面（25.6×21.0mm）を構成する。ディスプレイ面には32本の触知ピンが縦8列横4行のマトリクス状に並ぶ（図3-2-4）。

点字セルを駆動するためには高電圧（仕様ではDC 250V）を必要とするが、消費電力は小さい（仕様では、DC 250V ±2.5%で使用時、0.15 mA以下）。そこで、本触覚マウスでは、コンピュータマウスに供給される電源（DC 5 V）を、触覚マウス内の電源回路でDC 250 Vまで昇圧して利用した。

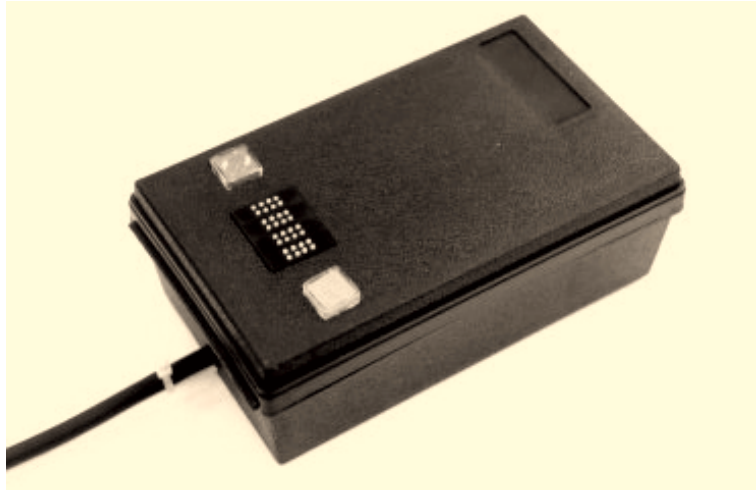


図3-2-2 触覚マウス（第1次試作）

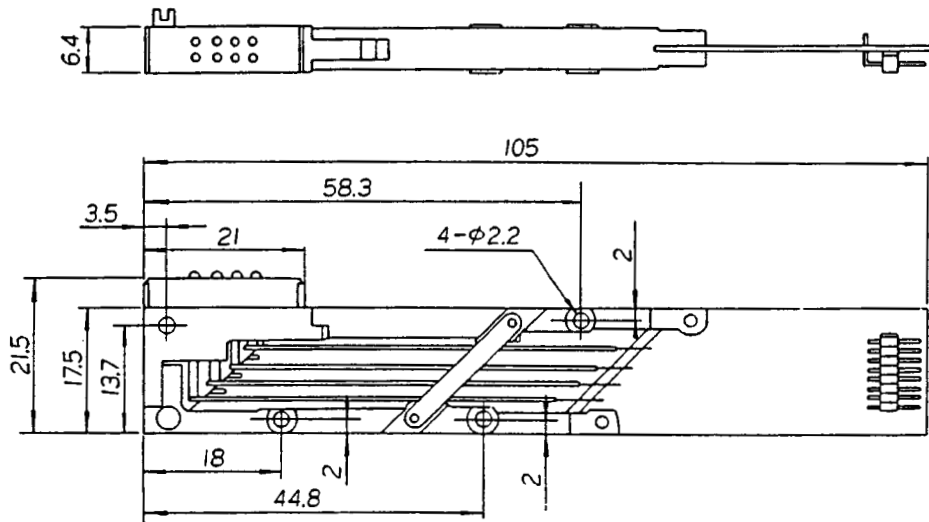


図3-2-3 感知セル（KGS製品仕様書より引用）

表3-2-1 点字セルの仕様（KGS製品仕様書より引用）

触知ピンのストローク	0.5 ~ 0.8 mm
点間ピッチ	2.4 mm
触知ピンの押圧力（突出した触知ピンを触知板面まで押し込んだときの力）	10 gf (min.)
触知ピン径	1.3 mm

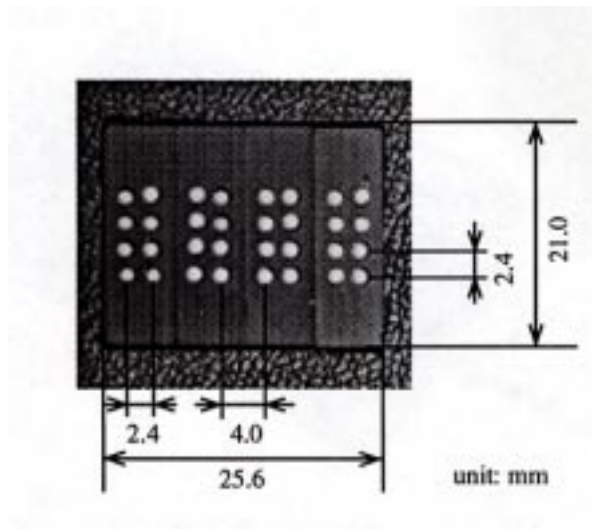


図3-2-4 触覚ディスプレイ部

2.3 制御ボード

制御ボードはパソコンの拡張スロットに装着され、触覚マウスの触知ピンの制御、音響出力の制御、開始 / 停止ボタンからの情報取得を行う。

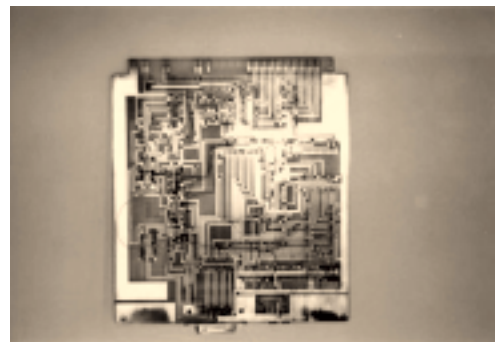
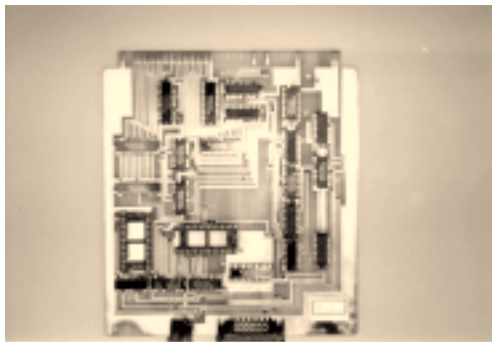


図3-2-5 制御ボード（左が1枚目表、右が1枚目裏）

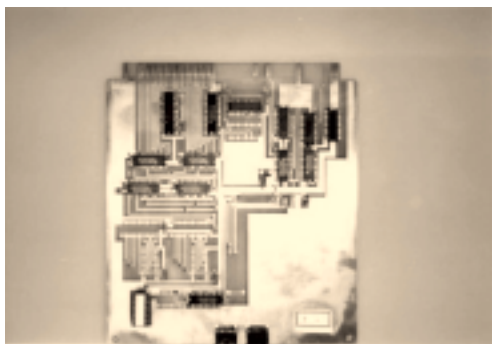


図3-2-6 制御ボード（左が2枚目表、右が2枚目裏）

2.4 音響出力回路

音響出力回路は聴覚刺激を出力する。刺激は約763Hzの矩形波で、回路に接続されたスピーカから出力される。

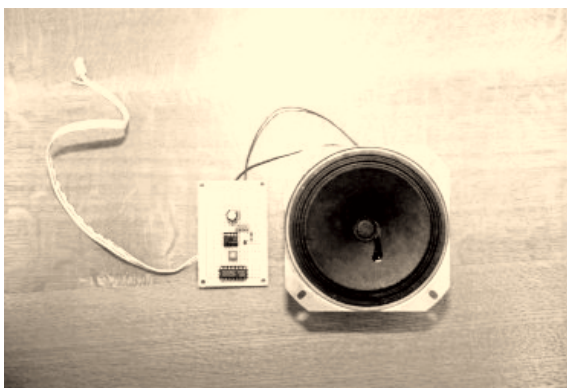


図3-2-7 音響出力回路

2.5 開始 / 停止ボタン

開始 / 停止ボタンは実験中に被験者が操作するボタンである。各試行の開始準備ができたときと、ターゲットをポインティングしたときに、被験者はボタンを押すよう指示される。

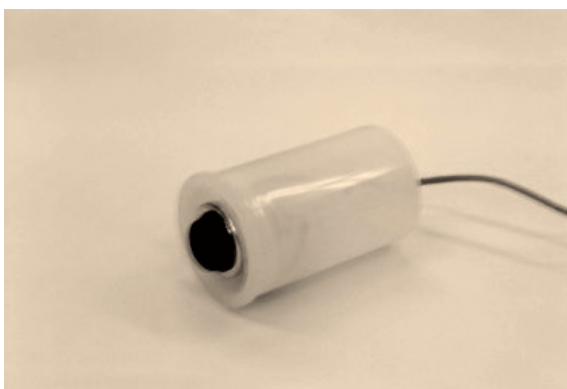


図3-2-8 開始 / 停止ボタン

3 . 触覚マウスの動作

ユーザは示指と中指でディスプレイ面を触る。触覚マウスはパソコン（NEC PC-9801 FA, OS: MS-DOS version 6.20）に接続されており、パソコン画面上のマウスカーソル左上の矩形領域（8×4dot）を触覚ディスプレイは表示する（図3-2-9）。今回は、パソコンのグラフィック画面の1dotを触覚ディスプレイの1pinに対応させており、画面上で発光しているドットに対応したピンが突出する。このシステムでは、例えば水平方向の仮想線分は触覚ディスプレイ面上で突出したピン数本の並びで表現される。ユーザがマウスを水平方向に動かせばピンは突出したままで、この方向に線が延びているとユーザに感じさせる。一方、上向きに動かせば、初期に突出したピンよりも下のピンの列が順次突出し、あたかも手の上に動かしたため線が相対的に下へ移動したかのように感じさせる。触覚ディスプレイへ送出する触覚情報の更新周波数は100Hzである。このようなマウス操作において、触覚ディスプレイ上の触知ピンの凹凸状態を1pin分変位させるのに要するマウスの移動量をHMP比（hand-movement-to-pin ratio）と定義する。HMP比を変化させると、マウスの移動量が同じでも、画面上のカーソルの移動量、および、触覚デ

ディスプレイ上の触知ピンの凹凸状態の変化量が異なってくる（図3-2-10）。このHMP比が小さいほどわずかな手の動きで図形情報が変化するので図形情報の密度を高くできるが、同時に、図形の線分をとらえ続けるのにユーザはより巧緻なマウス操作が求められ、図形が触覚ディスプレイの提示領域から逸脱する可能性が高くなると予測される。

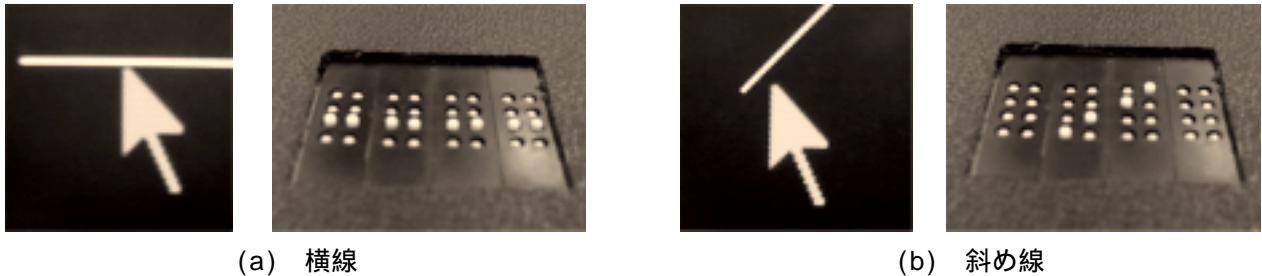


図3-2-9 スクリーン上の線分と触覚ディスプレイ部のドットの凹凸との対応

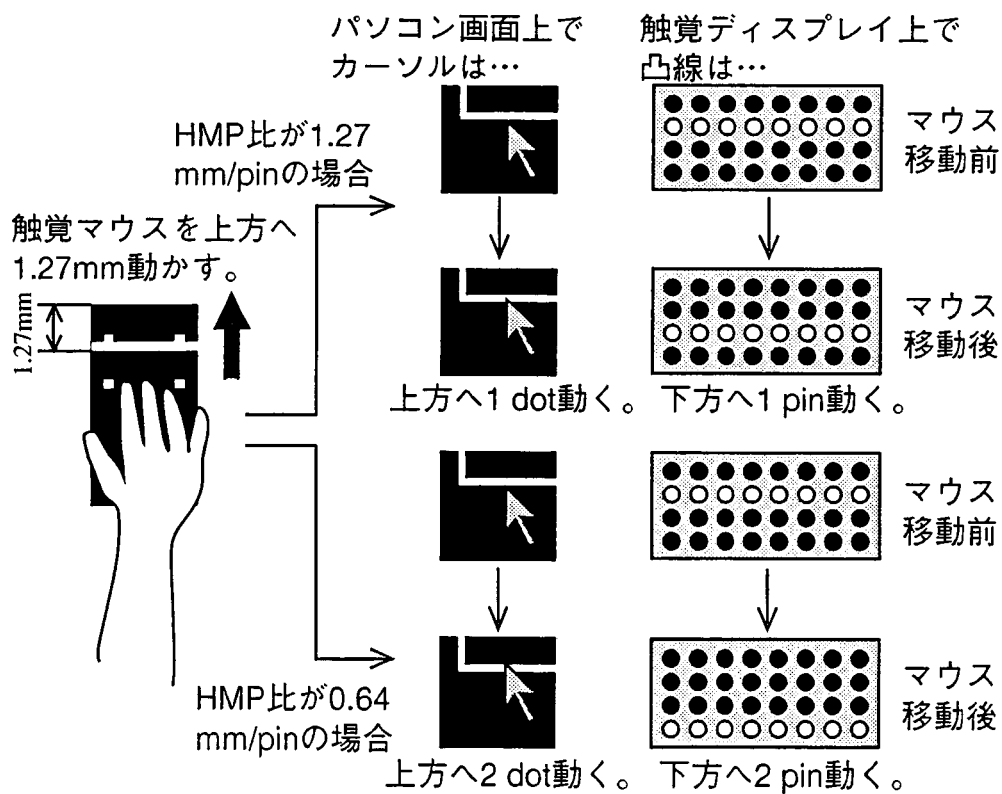


図3-2-10 同じマウス移動量に対する触覚情報の変化量が、HMP比条件の違いにより変化する様子。HMP比が1.27mm/pinの場合、マウスを上方向に1.27mm動かせば、パソコン画面上のカーソルは1dot上へ移動し、触覚ディスプレイ上の凸線は1pin下へずれる。HMP比が0.64mm/pinの場合、同じように1.27mmマウスを上方向に動かすと、カーソルは2dot上へ移動し、凸線は2pin下へずれる。触覚ディスプレイ面の白抜きの丸()は突出しているピン、黒塗りの丸()は下がっているピンを表す。

4 . 触覚マウスによる図形の識別

図形の識別におけるHMP比の影響を見るため実験を行った。

4.1 実験方法

角の数が異なる単純な幾何図形 5 種類 (三角形、四角形、五角形、六角形、円) を刺激として選んだ。多角形はすべて正多角形である。これを0.32 ~ 3.81mm/pinの 6 種類のHMP比で提示するので総刺激数は30となる。全図形の周囲長、すなわち被験者が触察してなぞるべき距離はおよそ156mm一定となるように画面上の図形のドット数を調節した。従って図形を構成するドット数は $156\text{mm} / \text{HMP比}[\text{mm/pin}] = 41 \sim 488\text{dot}$ であり、これを辺の数で割った値が各辺のドット数となる。ただし計算中の丸め誤差と、斜線と曲線もマトリクス状のドットで構成する影響とにより、各辺の正確なドット数はこの値からいくらか変動する。なぞるべき距離を一定にしたのは、画面上の図形の大きさを一定にすると、HMP比条件によってなぞるべき距離が変動し、これが操作時間の長短に影響を及ぼしたと考えられる報告が過去にあり (田淵, 佐々木, 堀籠, 1994) この影響を避けるためである。

被験者を触覚マウスに慣れさせるため、実験に先立って 30分程度マウスを自由に使用させた。実験では最初に刺激図形の図を被験者に見せた。以後の実験中、被験者は図形識別の回答時にこの図を見ることができたが、マウスによる触察中は見せられなかった。実験では30種類の刺激をランダムな順序で 1 回ずつ触覚マウスに提示した。各刺激は最長 4 分まで触察することができた。被験者の視覚情報を遮断するため、触察中は被験者の肘部に黒い布を垂らし、被験者の手とマウスが被験者に見えないようにした。被験者には図形の特徴をはっきり識別した時点で触察を終了させ、触った図形と一致する図形を刺激図形の図から強制選択させた。アイマスクを使用しないことで、視覚的な選択がスムーズに行える。実験中は回答の正誤を被験者に伝えなかった。図形の識別と同時に、形状の触りやすさを 5 段階の基準 (5 : 大変触りやすい、4 : 触りやすい、3 : 普通、2 : 触りにくい、1 : 大変触りにくい) で評価させた。実験システムにより、触察に要した全操作時間と凸線提示領域からの逸脱時間を各試行ごとに測定した。すべての刺激の触察が終了した後、被験者には図形の識別基準を口頭で説明させた。

被験者は晴眼者の男性 4 人と女性 5 人の計 9 人、平均年齢は21.9歳であった。全被験者とも右利きで、マウスの使用歴は 1 年半以上であった。

4.2 実験結果

識別率は 8 人の被験者で80%を越えており、チャンスレベル (20%) を大きく上回った。ただし 1 人のみは50%の識別率にとどまった。心理物理実験において被験者が、できるだけ速く、かつ、できるだけ正確にタスクを遂行するように教示を受けた場合、操作時間は短いが正確さに欠ける、あるいは逆に、タスクは正確に遂行されたが操作時間が長いというように、操作時間と正確さの間でトレードオフの関係が見られることがある。このようなデータを対象に統計解析を行い、操作時間に関して有意な差を見ても、条件の変化と正確性のばらつきのいずれが要因なのか判然としない。そこでまず、識別率が大幅に異なる 1 人のデータは解析から除くこととした。次に、識別率の高かった 8 人のデータについて操作時間と回答の正誤の関係を見たところ、両者の間にトレードオフの関係は見られず、むしろ誤識別された

図形は、正しく識別された図形より長い操作時間を要した。この場合、正誤の違いは操作時間に影響を及ぼしていないと考えられるので、誤答された試行も含めたすべての試行を対象として、HMP比の変化と図形の種類を要因とする2元配置の分散分析を行った。

図3-2-11は各条件における操作時間と逸脱時間、触りやすさの評価値を表している。HMP比が最低(0.32mm/pin)あるいは最高(3.81mm/pin)のときに、操作時間は他の条件と比較して長かった。逆に、操作時間の短い試行の多くはHMP比が1mm/pin近傍であった。高いHMP比において操作時間が長くなるかどうかは図形により結果が異なった。操作時間について2元配置の分散分析を行ったところ、HMP比の変化の有意な効果が見られた($F(5, 140)=6.57, p<0.01$)。しかし図形の違いによる効果、および、交互作用の有意な効果は見られなかった(図形の違い: $F(4, 140)=1.84, p>0.1$; 交互作用: $F(20, 140)=1.25, p>0.1$)。テューキーの多重比較(1%)を実行すると、刺激図形が三角形、四角形、五角形、円の場合、最も低いHMP比である0.32mm/pinと他のHMP比のほとんどの間で有意な差が見られ、六角形と三角形では、最も高いHMP比である3.81mm/pinと中間3つあるいは4つの条件の間で有意な差が見られた。

低いHMP比条件で操作時間が長くなったのは、明らかに逸脱時間の増加が要因である(図3-2-11)。0.32mm/pinにおける平均逸脱時間は他の5種類の条件に比べ有意に長い($F(5, 140)=20.41, p<0.01$)。逸脱時間はHMP比が高くなるにつれて減少し、図形の違いの影響は受けなかった($F(4, 140)=0.85, p>0.1$)。またHMP比が1.27 mm/pin以上では平均逸脱時間は短いまま安定することが確認された。

一方、高いHMP比条件で操作時間が長くなったのは図形の識別が困難だったためと考えられる。HMP比が0.32と1.27mm/pinでは誤答は極めて少なく、0.64と0.95mm/pinの条件では誤答が見られなかったのに対して、2.40と3.81mm/pinの両条件では誤答率がそれぞれ15%と35%と高かった(図3-2-12)。表3-2-2の混同表によると誤答は五角形、六角形、円の間で頻繁に見られた。今回の実験では、すべての条件においてマウスの移動距離を一定とするためHMP比が高くなると相対的に刺激図形を構成するドット数が少なくなり、五角形、六角形、円のドット表現がお互いに類似してきた。ところで、被験者の多くは図形識別の手がかりとして、角の検出、直線と曲線の弁別、角度の計測を挙げ、このうち角の検出や、直線と曲線の弁別が難しい刺激があったという感想を報告している。したがって、少ないドット数による表現のため類似した刺激図形においては角の検出や曲線の弁別が難しくなり、頻繁に誤答を生じさせたと推測できる。

表3-2-2 図形認識の混同表(提示された図形を最左列に、認識された図形を最上列に示した)

	Triangle	Square	Pentagon	Hexagon	Circle	Sub Total
Triangle	---	---	2	---	---	2
Square	---	---	2	---	---	2
Pentagon	1	1	---	1	6	9
Hexagon	---	---	2	---	5	7
Circle	---	---	2	4	---	6
Total						26

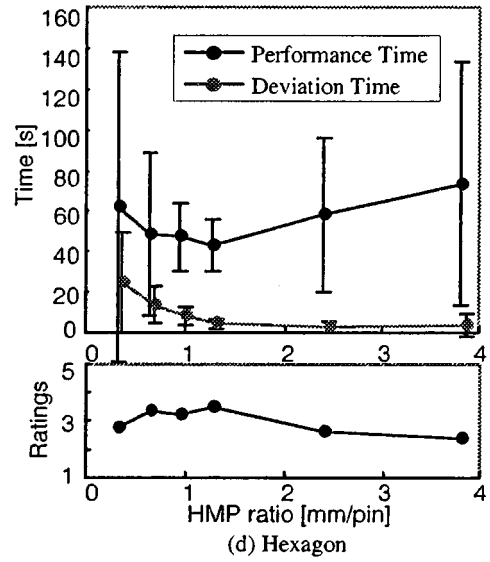
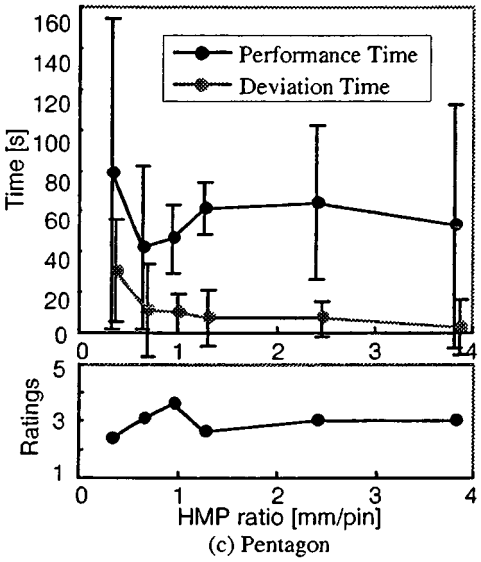
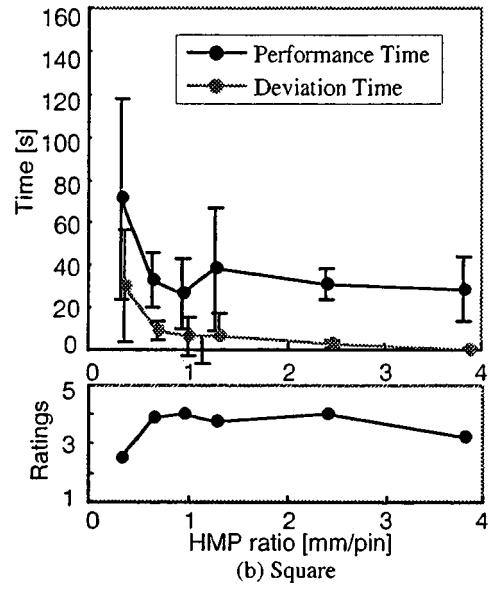
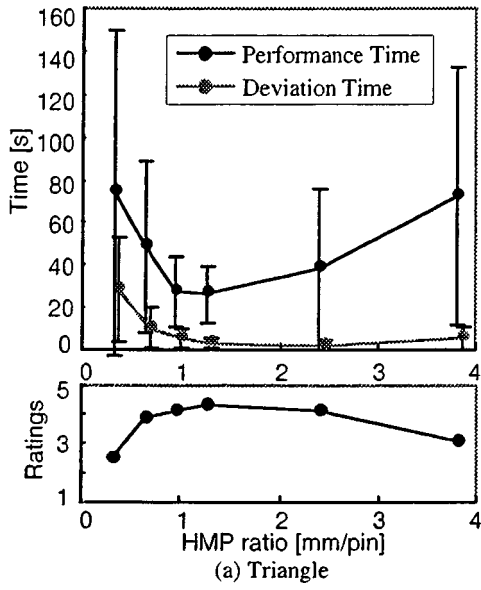


図3-2-11 操作時間、逸脱時間、評価値刺激図形ごとに2つの図を作成した。

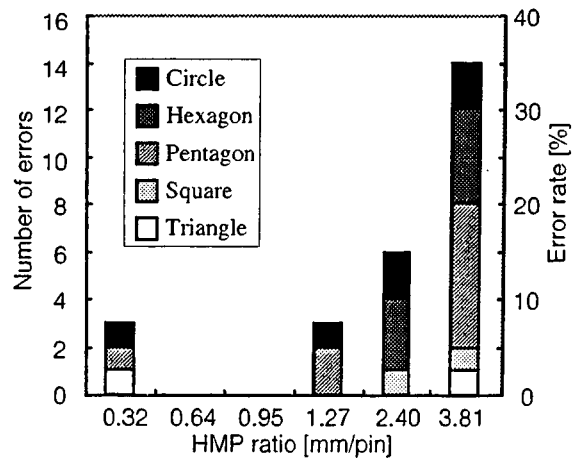
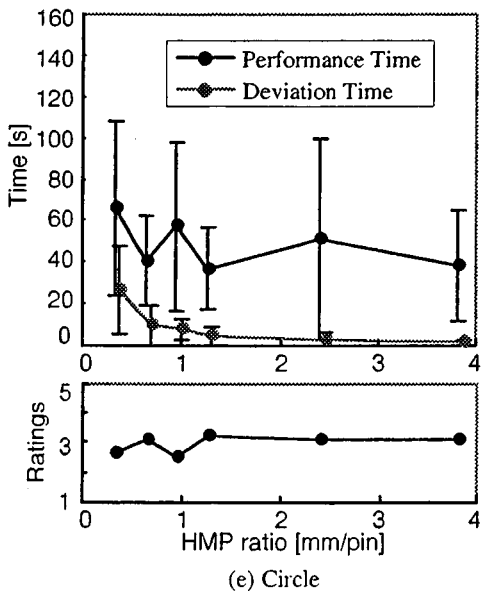


図3-2-12 誤認識された試行数（各HMP比における総試行数は40（=5刺激×8被験者）である）

図3-2-11において、触りやすさの評価値を表すグラフの形状は操作時間とは上下逆の形になっている。すなわち操作時間が短い条件ほど評価値が高かった。触りやすさの評価値についてHMP比と図形の種類を要因とする2元配置の分散分析を行ったところ、HMP比に有意な要因効果が見られた ($F(5, 140)=4.86, p<0.01$)。また、図形の要因についても有意差が認められた ($F(4, 140)=4.22, p<0.01$)。各刺激図形ごとにチューキーの多重比較(1%)を行うと、三角形ではHMP比0.64, 0.95, 1.27, 2.40mm/pinの4条件は0.32と3.81mm/pin条件より高く評価された。四角形では中間の4つの条件は、最も低い0.32mm/pin条件より高い評価だった。五角形では0.95mm/pin条件は0.32と1.27mm/pin条件より評価が高かった。六角形では0.64と1.27mm/pinは3.81より評価が高かった。円ではいずれの条件でも高い評価は得られなかった。

4.3 考察

凸線分をなぞる際に線分が触覚ディスプレイに提示されつづけるには、線分の法線方向の手(マウス)の動きを凸線提示領域の幅以下に抑える必要がある。この幅は(HMP比×ピンの本数)で決定される(図3-2-10を参照)。そこで実験では前者のHMP比を変化させて逸脱の生起の様子を観察した。その結果、水平方向の凸線分のなぞり操作においてHMP比の変化の顕著な効果が見られ、0.44mm/pin以下の条件はそれより高いHMP比条件より逸脱試行の割合が有意に増加し、さらに逸脱試行においてはHMP比が低いほど操作時間は長くなった。触覚ディスプレイの縦方向のピン数は4本であるから、HMP比が0.32および0.44mm/pinのときの凸線提示領域の幅は1.27または1.78mmとなる。したがって被験者は垂直方向の手の動きをこれら以下に抑えながらマウスを水平方向に動かさなければならず、困難な操作であったことがうかがえる。逸脱試行の割合が10%程度に抑制された0.95mm/pin条件では凸線提示領域の幅は3.81mmであり、提示領域の幅がこれ以上となるようにHMP比を設定すれば、触覚マウスの操作における逸脱試行の影響は軽減できると言える。HMP比変化の効果は図形の識別においても同様に観察され、HMP比0.32mm/pinの条件下で、それよりも大きいHMP比条件より有意に長い平均逸脱時間が測定された。図形の識別では水平線以外に垂直線、斜め線、円弧の触察も含まれるが、触覚ディスプレイのピン配列からこれらの凸線提示幅は水平線のそれより広くなる。したがって水平線からの逸脱が生じにくいHMP比では、他種の線でも逸脱は生じにくかったと考えられる。

逸脱を抑制するもう1つの手段は触覚ディスプレイのピン数の増加である。触覚情報を提示する指先部の面積は有限なので、ピン数の増加はピン密度の増加と言ってもよい。ピン本数およびピン密度の増加は触覚ディスプレイの製作技術に規定されるが、近年では図形情報の提示などを目的に高密度かつ小型の触覚ディスプレイの開発が進められており(洪ほか, 1994)、今後はピン密度の増加により逸脱を抑制する方策も期待がもてる。

図形の識別実験においてはHMP比の変化の影響は逸脱の制御だけでなく誤答率にも現れた。すなわちHMP比が0.64と0.95mm/pinのとき誤答はなかったが、HMP比がこれより高くなるにつれて誤答が増える様子が観察された。その原因は少ないドット数表現により図形が互いに類似したためと考えた。これより、十分なドット数で図形を表現すれば高いHMP比でも誤答率を低くできるという考えが自然に導出される。しかし触察してなぞるべき図形が大きくなるとマウスをより大きく動かす必要が生じ、これに伴って操作時間も延びる(田淵, 佐々木, 堀籠, 1994)。さらに、0.64と0.95mm/pinの低いHMP比において高

い識別率と短い操作時間が達成されている以上、高いHMP比を設定し、これに合わせて画面上の図形のドット数を増やす方策は得策ではないと言える。

以上の議論を経たところ、本触覚マウスシステムにおいてはHMP比条件を0.64～1.27mm/pinに設定することで、触図形からの逸脱を抑制でき、高い正答率で幾何図形の識別が可能となることがわかった。したがって、図形情報伝達のためのデバイスとして触覚マウスの有効性が示されたと言える。ただし、今回の実験は晴眼者を対象に行われており、その結果から導かれる知見が視覚障害者に対しても同様に有効性をもつか検討しておく必要がある。従来の研究を見ると、視覚障害者と晴眼者との間で触察による形状認識の成績に相違があるかどうかについて心理学の分野で多くの研究がなされている。それらの研究は、樹脂シートに凸状に浮出したり、ドットプリンタで紙面に凸状に打出したりした図形や文字の認識実験であるが、視覚障害者と晴眼者の間で差異がないことが報告されている（大山, 今井, 和気, 1994; 佐藤, 1991）。これらの実験と触覚マウスとはタスクが全く等しいわけではないが、被験者が自由に指先を動かして図形を触察する点で類似しており、触覚マウスの使用においても同様に晴眼者、視覚障害者間の差異はないと考えられる。また、アイマスクをした被験者を中途失明者と見なしたときの先天盲との相違について検討すると、視覚経験のない先天盲児に対しては特殊教育において図形認知の学習が行われており（佐藤, 1991）、今回の実験で用いた円や多角形などの簡単な単一平面図形の識別タスクの範囲内では視覚経験の有無の影響は見られないと考えられる。

触覚マウスシステムでは、ユーザが現在触っている位置情報をコンピュータが把握している。そこで、このポインティング位置に対応したテキスト情報を音声で出力することで、地図のルート案内にも適用可能と考えられる（皆川, 大西, 杉江, 1994）。この音声出力の効果について、第3節では新たなシステムを構築して検討する。

第3節 第2次試作

1. はじめに

触覚マウスの第1次試作は、マウスの動きの計測を目的に開発した。第2次試作では、地図情報の提示という応用を念頭に置いた開発を行った。この目的のための改良点は以下の通りである。

(1) マルチメディアOSであるWindows 95に接続して使用可能とする。

Windows 95環境で動作させることにより、図形情報と音響情報とをMS-DOS環境よりも自由に扱えるようになる。

(2) スクリーンリーダーソフトの音声出力関数を利用して音声出力を可能とする。

地図情報では、位置を示すために音声出力を行う。このために、視覚障害者用として一般に用いられているスクリーンリーダーソフトを活用する。

これに加えて、第1次試作の評価で指摘された点に関して改良を行う。

(3) 触覚マウス本体を小型化する。

これは、第1次試作ではマウス本体が大きくて持ちづらいという意見が評価者から得られていたためである。

2. 触覚マウスシステム

2.1 システム構成

二次試作のシステムは触覚マウス、制御回路、パソコンから構成されている。パソコンはサウンドカードを搭載しているPC/AT互換機(OS: Windows 95)を使用した。

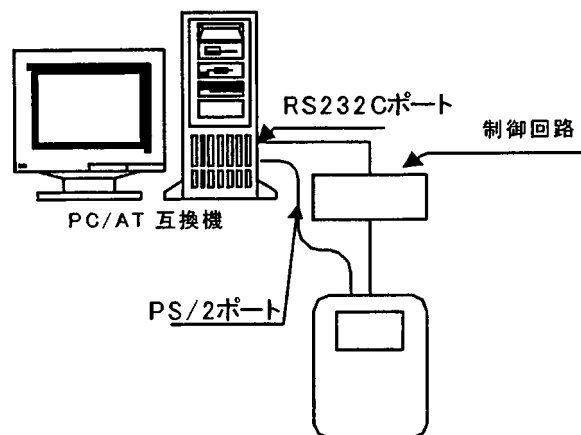


図3-3-1 システム構成

2.2 触覚マウス

触覚マウスの外観を図3-3-2に示す。筐体には第1次試作よりも小型のケースを用いた。その寸法は縦125 mm、横78 mm、高さ45 mmである。触覚マウスは触覚ディスプレイ部とマウス機構部からなる。これらには第1次試作のマウスと同様に、点字セル（KGS, SC-2）とコンピュータマウス（東京ニーズ, PX-1）を用いた。



図3-3-2 触覚マウス（第2次試作）

2.3 制御回路

触覚マウスの触知ピンのON/OFF情報は、パソコン（PC/AT互換機）からRS-232Cポートを介して制御回路へ送られる。ここで、点字セルのインタフェース仕様に適したデータ型に変換され、触覚マウスへ転送される。RS-232Cのボーレート（通信速度）は2400～38.4kbsまで設定可能だが、デフォルトは9600bpsとした。

2.4 ソフトウェア

本システムのソフトウェアは主に次の3つの部分から構成されている。

（1）図形情報検出部

コンピュータ画面上に表示されている図形情報の検出を行う。マウスポインタを中心とした一定の大きさの矩形領域をクリッピングし、その領域内のピクセルの色情報から図形オブジェクトの有無を判断する。

（2）データ送信部

図形情報の検出結果を4バイトのデータとして、コンピュータのRS-232Cポートからインタフェース回路へ送信する。

（3）音声出力部

検出された図形オブジェクトに割り当てられた音声データ出力する。音声出力には、当センターで開発したWindows用スクリーンリーダ「95Reader」を使用した。

3. 評価

視覚障害者6人にシステムを触っていただいた上で、自由に意見を述べてもらった。6人は第22回全国障害者技能競技大会（主催：日本障害者雇用促進協会）の日本語ワード・プロセッサ部門の競技参加者であり、競技終了後に本評価への協力を依頼した。

3.1 評価試験用ソフトウェア

評価試験用ソフトウェアのウィンドウには図3-3-3に示すような図が表示される。図は鉄道の路線図を模式的に表したもので、図中の矩形のノードを駅に、その間を結ぶ直線を路線に見立てている。図中のノードや線上にマウスポインタを移動させると、ピクセルデータに応じた触覚パターン情報がマウスの触覚ディスプレイ部へ出力される。また、各ノードには駅名を示す音声データをテキストで割当てており、ノードの上にマウスポインタを移動させると、そのテキストがスクリーンリーダーにより音声で出力される。評価試験時のシステム構成を表3-3-1に示す。

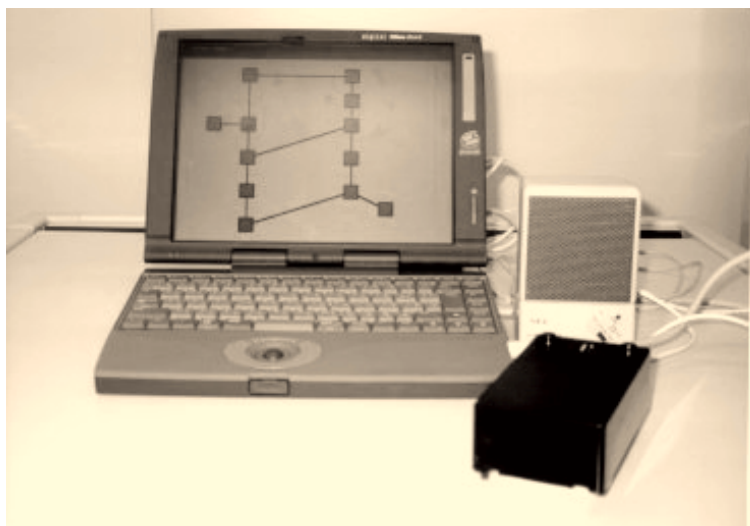


図3-3-3 評価試験用の触覚マウスシステム

表3-3-1 システム構成

パソコン	Digital HiNote ultra II, DEC
基本ソフト	Windows 95
音声出力	95Reader
画面の解像度	800×600ピクセル
ピクセル/ピン比	50（縦10×横5）/1

ピクセル/ピン比とは、触覚マウスのピンディスプレイ（縦4×横8）のピン1本に対応したパソコン画面上のピクセル数（縦10×横5）を表している。マウスの速度は、Windows 95のコントロールパネル[マウス]-[動作]-[ポインタの速度]で最も遅い速度に設定した。

3.2 手順

- (1) パソコン画面上に縦、横、斜めの線を表示し、その各線を触覚マウスで被験者にたどらせ、触覚マウスに慣れてもらった。
- (2) 図3-3-3に示した図形をパソコン画面上に表示し、その図形を触覚マウスで被験者にたどってもらった。
- (3) 評価シートに対する回答、および、システムを使用した感想を被験者に述べてもらった。

3.3 評価結果

評価試験後に得られた評価シートに対する回答と感想をまとめたものを以下に示す。

(1) マウスの感度について

マウスの距離感度が高過ぎた。つまり、マウスを少し動かしただけでカーソルが大きく動くため、線をとらえるのが難しかった。(最も多い意見)

(2) マウスの形状について

マウスが大きかった。ふつうのマウスぐらいの大きさになってほしい。(女性の方は手が小さいので特に感じたようだった)

(3) ソフトウェアの機能について

カレントウィンドウの特定の場所にマウスポインタが来るようになっていれば使いやすかった。アイコンの位置で触覚を提示すればWindowsを使うのに利用できる。

(4) システム全体について

(弱視の方) 画面と併用すれば使える可能性がある。

(全盲の方) Windowsの画面自体がわからないので難しかった。

触覚マウスに慣れれば使えた。慣れれば線をたどることができた。

4. 考察

マウスの感度が高過ぎる状況は、実際に触図を触る時に非常に速い速度で手を動かした場合と等価であり、このため線を捉らえるのが困難であったと考えられる。今回の評価試験の場合、マウスを横方向に50mm移動させたときのマウスポインタの移動量は725ピクセルであった。評価試験用ソフトウェアでは横方向では5ピクセルを触知ピン1本に対応させている。これより、今回の触覚マウスの触覚ディス

ブレイ部のデータを触知ピン1本分シフトさせるのに必要なマウスの移動量は $5 \times 50 / 725 = 0.34$ mmとなる。これは、前節の実験で逸脱時間が増加したHMP比 = 0.32mm/pinの条件と近い値であった。HMP比はマウスの距離感度と評価試験用ソフトウェア内のピクセル / ピン比に規定される。距離感度はWindowsシステムで設定可能な最も遅い速度にしているため、これ以上遅く設定することはできない。したがって、線を捉えやすくするためにはピクセル / ピン比をより大きな値に設定する必要があることがわかる。

また、マウスの移動を検出するのにWindowsのMOUSE_MOVEメッセージしか使用していなかったため、マウスを速く動かした場合、マウスの移動を完全に検出することができず、画面上でマウスポインタが直線を横切っても触覚情報を提示できなかったこともあった。これも、線を捉えにくかった原因の1つと考えられる。

本触覚マウスの外形は、一般的に広く使用されているマイクロソフトマウスの寸法（縦113 mm × 横60 mm × 高さ38 mm）などと比べると明らかに大きく、また形状も決して持ちやすいとはいえない。この点も改良する必要があると考えられる。

第4節 まとめ

コンピュータマウスに触覚ディスプレイを搭載した触覚マウスを試作し、そのHMP比を変化させたときの図形からの逸脱に着目して触覚マウスの操作性を検討したところ、適切な条件下では逸脱が抑制され、かつ、高い正答率で図形を識別できることが見いだされた。さらに、ポインティング位置を音声で出力することで、簡単な地図情報を提示可能であることもわかった。ただし、マウスは相対的なポインティングデバイスであり、画面上のポインタ位置の把握が困難という問題点もある。このため、特定のボタンを押下すれば任意の場所（画面の左上や中央など）へ移動させるソフトウェアなどが必要なことが評価試験で提起された。また、当初意図した図形の認識への利用のほかに、画面を見ながらコンピュータを操作している弱視者向けに、画面上のオブジェクトをポインティングしたことを触覚で提示する操作支援デバイスとしての応用の可能性が示唆された。今後、実用化のためには、ユーザがわかりやすいように画面上の情報を適切に触覚マウスに提示できるソフトウェアの充実が重要な点であろう。

第4章 2次元触覚ディスプレイシステムの試作

第1節 はじめに

本研究開始以後、触知グラフィックセル・モジュールという電子部品が販売されるようになった。その最大の特徴は、触知ピンを駆動するバイモルフを触知面に対して斜めに配置することで、グラフィックセル同士を上下左右いずれの方向にも並置可能とした点である。このセルを複数台用意すれば、広面積の触覚ディスプレイ面が構築でき、このような触覚ディスプレイシステムでは触図の認識が触覚マウスよりも容易になると考えられる。また、このセルは触知ピンの駆動にピエゾ素子を用いており、第2章で紹介した2次元触覚ディスプレイシステムよりディスプレイの描画速度が速い利点もある。そこで、この触知グラフィックセルを利用した触覚ディスプレイシステムを試作し、その有効性を検討することとした。

第2節 第1次試作

本試作システムでは、触覚情報の提示とともに、触図を視覚障害者自身が作成できることに重点を置いた。この機能により、例えば文書レイアウトを確認するだけでなく、その修正も視覚障害者が自在に行えるようになると期待できる。

1. システム構成

システム構成を図4-2-1に、システム外観を図4-2-2に示す。システムは、タブレット入力装置、触覚ディスプレイ装置、パソコンと制御用ソフトウェアからなる。タブレット入力装置には市販のタブレット(WACOM FAVO USB)を利用した。この製品には専用のペンが付属しており、電磁誘導方式によりペン先の位置を検出する。ペン先のタブレットへの接触の有無も出力できる。タブレットの上面には96×72mmの矩形に窓を設けた3mm厚のアクリル版を貼り、この窓内を入力面とした。入力面の寸法は触覚ディスプレイ装置の触知面と等しくした。入力面の右側には15×33～36mmの大きさのプラスチック板(厚さ0.3mm)2枚を縦に並べて貼り、「ボタン」とした。ユーザはこのボタンの位置をペン先で1回叩くことでボタン押下を実行できる。

触覚ディスプレイ装置には視覚障害者用触覚グラフィックセル(KGS SC-5)を利用した。グラフィックセルの24×24mmの触知面には触知ピンが3mm間隔で8×8本の正方格子状に配置されている。このセルを横4×縦3台並べることで、96×72mmの触知面に32×24本の触知ピンを有する触知面を構成した。装置を机上において使用する際の触りやすさに配慮して、触知面は水平から24°の角度をもたせた。

タブレット入力装置はUSBポートを介して、触覚ディスプレイ装置はパラレルポートを介してパソコ

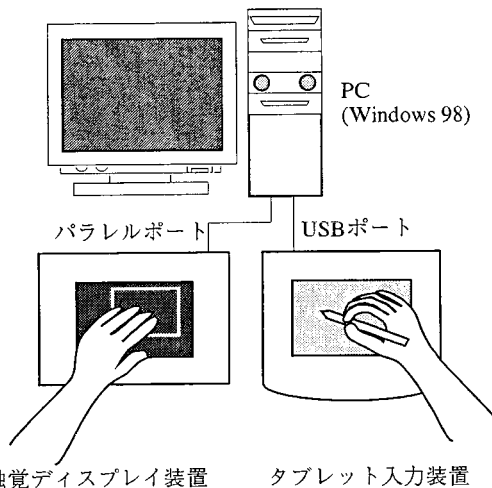


図4-2-1 2次元触覚ディスプレイシステム第1次試作の構成



図4-2-2 2次元触覚ディスプレイシステム第1次試作の外観

ン(OS: Windows 98)と接続した。タブレットの位置情報はマウスカーソルの位置情報としてOSへ渡される。制御ソフトウェアは、入力面内のマウスカーソルの位置情報を触覚ディスプレイ出力用の32×24ドットの位置情報に変換する。各ドットは触覚ディスプレイ装置の触知ピンに1対1で対応しており、あるドットがONならばそれに対応する触知ピンは突出し、逆にドットがOFFであれば触知ピンは触知面より低く下がった状態になる。各ドットのON/OFF状態、およびカーソル位置は画面上でも確認できる。

2. システムの機能

カーソル位置表示機能 カーソル位置のドットに対応する触覚ディスプレイ装置の触知ピンを一定の周期で上下させた。これによりユーザは入力面内のペン先の位置を触知面上で触覚的に確認できる。

描画機能 ペンの状態が描画モードのとき、ペン先をタブレットに接触させると、ペン先の位置に対応するドットがONとなる。実際の描画では、ペン先をタブレットにつけたままペンを移動させると、ONとなったドットが連続して、線を描いたことになる。

消去機能 ペンの状態が消しゴムモードのとき、ペン先をタブレットに接触させると、ペン先の位置に対応するドットがOFFとなる。

モード切替機能 描画モードと消しゴムモードを切替えることができる。モードを切替えるにはタブレットの入力面右下にあるモード切替ボタンを押すか、あるいは、キーボード上のSpaceキーを押す。モードの切替えは、「描画モード」または「消しゴムモード」という音声出力で確認できる。

全消去機能 すべてのドットをOFFにする。全消去するにはタブレットの入力面右上にあるクリアボタンを押すか、あるいは、キーボード上のEscキーを押す。全消去時には「全ピンクリア」と発声される。

音響サポート機能 Microsoft社のDirectSoundを利用して描画および消去時に音響出力を行う。音響サポートの役割は3つある。1番目は描画および消去が行われていることの確認で、音響はペン先がタブレットに接触している間繰り返し再生される。2番目は描画と消去の各モードの区別であり、このためにモードごとに異なる音響ファイルをWAV形式で用意した。3番目は音像定位によるペン位置の把握のサポートである。音像定位のためにはDirectSoundの2次元音響効果機能を活用した。これにより、例

えばペンが入力面の左上にあるときは左上から、右下にあるときは右下から音響が聞こえてくるようにユーザに感じさせる。

3．システムの試用

本システムを有効に利用できる用途、および、その用途のための改良点を探るため、視覚障害者にシステムを試用してもらった。

3.1 手 順

試用者は視覚障害をもつ成人男性4人である。4人のうち3人は視覚経験を有する。4人の職業は公務員および団体職員である。試用に先立って筆者がシステムの外形と機能、操作方法について数分程度の簡単な説明を行った。操作方法の説明は試用中も適宜行った。課題は特に定めず、書く／描く内容と試用時間は試用者の任意とした。試用状況の観察と、試用中および試用後に集めた意見・感想を主な材料として、システムの利用可能性と改善点を考察する。

試用は3回に分けて行った。初回と2回目の試用時（各1人ずつ）にはタブレット上の枠とボタン、音響サポート機能は用意しておらず、モード切替と全消去はキーボード操作で実行された。

3.2 試用状況の観察

いずれの試用者もおよそ20分以上システムを試用した。試用者の任意で書かれた／描かれた内容は、ひらがな、試用者自身の名前の漢字、簡単な幾何図形やシンボルなどであった。

描画操作の学習には問題はないようだった。これは、実世界におけるペン操作との相似性によると考えられる。部分的な消去操作はあまり使われず、全消去機能が多用された。これは、ペン先の位置が触知面上で確認しづらいため、全消去した状態から描き直す方が操作が楽だったためであろう。

描画時にペンを持たない側の手の利用様式は以下の3つに分かれた。

- (1) 触知面上で既描画の触図と描画/消去開始点を確認する、
- (2) タブレット上で入力面の枠とペン先の位置を確認する、
- (3) 全く使わない（あるいはタブレットを押さえる）。

(2)と(3)の様式は書字の際に観察された。(1)と(2)の様式は併用されることもあった。

試用者ではなく晴眼者が描画を行い、試用者は触知する役割となることもあった。これは、試用者の質問に応じて著者の1人が図を描き、試用者に触知させながらその図の内容を説明した状況である。説明したのはGUIの構成要素（各種アイコン、マウスカーソル、カレット、メニューバー、プルダウンメニュー、ウィンドウ）一般的なホームページのレイアウト、グラフィックセルの外形と動作の仕組み、試用を実施した建物の外観などであった。

3.3 システムに対する意見・感想

試用中および試用後に得られた意見・感想を機能ごとに整理した。4人の意見をすべて記載したため、矛盾する意見が含まれることもある。

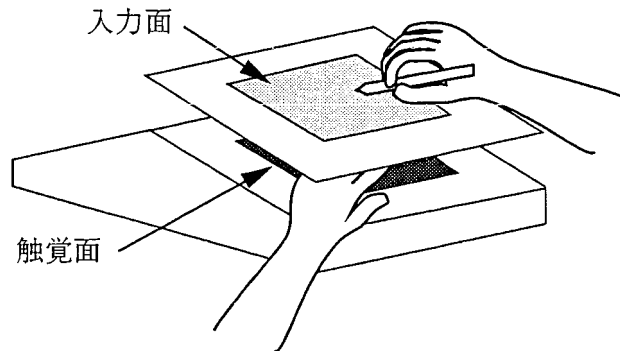


図4-2-3 触知面と入力面の重ね合わせ

システムの形状

触知面の水平方向の段差が気になる。

触知面の周囲に盛り上がった枠がほしい。

タブレットを触知面の上方に水平に重ねてはどうか（図4-2-3）。この構成では、高さ方向でずれはあるものの、2次元的には入力面上のペン先の位置と触知面上のカーソル位置が一致するので、描画/消去開始点を把握しやすいと思われる。

音響サポート

描いているときの音響が断続的なのはよくない。連続して描いているときは連続的な音を出力してほしい。（音響サポートは同じファイルを繰り返し再生するためユーザには断続的に聞こえる）

ペン先の位置表示

すでに描かれているドットの上にペン先が来たことを、音で知らせる機能があれば位置の特定が楽になる。

触知ピンの振動によりペン先の位置はわかるが、ペン先をタブレットにおろすときに位置がずれることがある。改善策として例えばペンの筆圧を検出して、ペンがタブレットに軽く触れているときは位置表示だけ行い、強く押しつけると描画する機能があるといい。

ペン先（カーソル）の位置がわかりにくい。カーソルを触知面にもっとはっきり表示してほしい。例えば、触知ピン1つだけでなく、十時形に5つの触知ピンを振動させるとか。

入力方法

触知面に直接ペンで書き込みたい。

表示内容

あらかじめ作成した画像を表示させる機能があるといい。

触知ピン間隔

触知ピンの間隔（3mm）が広すぎる。仮に触知面にフィルムをかぶせてピン間をつないでも、ピン径を太くしてピンが隣接するようにしても、現在のピン間隔のままでは図が粗いと思われる。これでは触図を触ったときの感動は受けられない。視覚障害をもつ児童の文字学習に使うと、文字に関して誤った認識を与えてしまう懸念がある。

画像処理

視覚的なフィードバックなしに水平/垂直の線をまっすぐ描くのは困難であるから、ソフトウェアでまっすぐな線に修正してほしい。

斜め線のドット表現において点の数が多すぎる。

入力面の寸法

タブレット入力面（96×72mm）のように大きな字を書く人はいない。もっと狭い描画領域を触知面全体に拡大して表示させる機能があるといい。

使いたい用途

自分の書字の書き癖を知るのに使える。これを応用して例えばクレジットカードのサインの練習のために1×5cm程度の面積に描いた文字を本システムの触知面に拡大して表示してほしい。

自分のサインを文書やはがきに印刷したい。

4. 考 察

今回の試用において本システムの利用可能性が示唆された用途は、書字の練習と晴眼者による図の説明であった。いずれの用途においても、描画した内容を実時間で触察可能なことに加えて、全消去と再描画が手軽にできることが便利な点であった。また晴眼者による図の説明では、図中で説明している箇所を触知ピンの振動で指示できることもこのシステム独自の長所である。学校の授業において視覚障害をもつ児童・生徒に対して図の説明を行うなどの場面で役立つだろう。なお、図の説明時には、視覚ディスプレイと入力面が一体化した入力タブレット装置を使うのが便利であると感じられた。書字の練習のためには、練習用途に応じた寸法の枠を入力面上に用意し、この枠内に書かれた内容を拡大して触知面に表示する機能をソフトウェアにもたせればよいと考えられる。

上記の用途が期待できる一方で、視覚障害者による自由な作図のためには検討すべき課題が多いこともわかった。その1つ目は画像処理の必要性である。現在のアルゴリズムでは、入力面を触知ピンと同じ配列の小さな正方形の区画に分割し、各区画をマウスカーソルが通過した時点でその区画に対応したドットをONとしている。このため斜線を描くと必ず2重の線となり（図4-2-4）、その影響は細かな斜線や曲線を描けないだけでなく、広い触知ピン間隔と相まって触覚的には触知ピン単位で細かに折れ曲がった線という印象をユーザに与える。また水平あるいは垂直方向の直線を引こうとしていくらか曲がってしまった場合、自動的に直

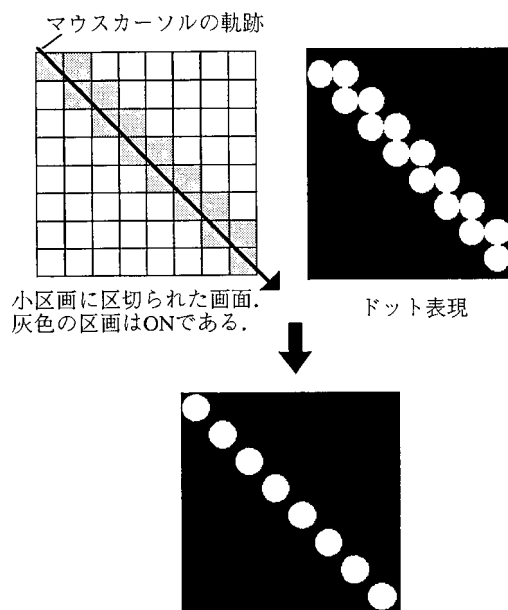


図4-2-4 画像処理を施していない現在のシステムでは、マウスカーソルが通過した小区画に対応するすべてのドットがONとなるため、斜線が2重になる（上右図）。これを1本の線（下図）で表現するための画像処理が必要である。

線に補正する機能の実装もユーザから求められている。これらの画像処理機能は1画の描画が行われる度に、あるいはユーザが処理を要求した時点で行えばよいと思われる。

2つ目の課題は入力面と触知面の一致である。現在のシステムではこれらの面が分かれているため、カーソル位置に相当する触知ピンを振動させることで描画/消去開始点を伝える工夫をした。その結果、カーソル位置の把握が可能となったが、操作方法の習得に多少の学習時間を必要とし、習得してもなお簡単な操作ではないことが試用者の意見からうかがえた。この問題の改善策として試用者から提案されたのは、音響の利用、筆圧の検出、より多くの触知ピンの振動、あるいはタブレット入力面と触知面との重ね合わせであった(図4-2-3)。これらの方策はいずれも実装してその有効性を探りたい。一方、究極的な解決策は、入力面と触知面を一致させ触知面に直接ペンで書き込める機能である。レーズライタを使った視覚障害者の図形描画過程では、ペンを持たない側の手の指が、ペンの動きと密接に結びついた触運動操作を行っている(大庭, 1991)。この触運動操作は図形の要素間の位置関係の把握に重要な役割を果たしており、これを可能にするためには入力面と触知面の一致が不可欠であろう。

3番目に触知ピンの間隔について検討する必要がある。試用者からはピン間隔の広さに対する不満が多く聞かれた。日本における点字のピン間隔が1~2間距離で2.37mm、1~4間距離で2.13mmであることを考慮すると(中野ほか, 1997)、3mm間隔のピンの並びが線ではなく離散的な点の集まりに感じられるのは当然だろう。しかし、文字認識の観点からピン間隔を検討すると、過去の報告ではドットパターンプロッタで作成した16mmの大きさの平仮名文字の点間隔を変化させて被験者に読み取らせたところ、点間隔3mmでも90%程度の認識率が得られている(荒井ほか, 1982)。また図形の表示の観点からは、触運動を伴う形状の判別では3mmのピン間距離で十分であるという報告もある(下条, 篠原, 福井, 1997)。ただしこの報告で用いられた装置ではピン同士が密に配置されており、本システムで用いたグラフィックセルのように離散的なピン配置では結果はやや異なるかもしれない。以上より、本システムの触知ピンの間隔は認識率の観点からは適正な範囲にあるものの、ユーザの満足度を高めるには不十分であったと考えられる。ピン間隔の縮小は技術的に困難が多く、他の触覚ディスプレイでも3mm程度となっており(シェーファー, 1994)、早急な改良は難しいと思われる。しかし今後の開発目標を設定するためにも、触覚ディスプレイのモックアップなどを用い、認識率だけでなくユーザの満足度も考慮した触知ピン間隔を検討しなくてはならない。同時に、触知面をゴム膜等で覆い、ピン間をなめらかにつないだり、触知ピン径を太くしてピンを密接させるなどのアイデアも試してみたい。

第3節 第2次試作

第1次試作を4人の視覚障害者に評価してもらったところ、書字の練習と晴眼者による図の説明には有効であったが、視覚障害者による自由な描画のためには検討すべき課題がいくつか挙げられた。そのうち重要な課題のひとつが、入力面と触知面の不一致であった。タブレットを入力装置として用いたために触知面と入力面が別位置となり、ペン先の位置が触知面でどこに対応するのか把握しづらく、円滑な描画/消去を妨げていた。そこで第2次試作では、ペン先の位置を計測するために2軸の可動アームを製作し、このアームを触知面の上に設置することで、触知面の上で直接ペンを動かして入力できるシステムの可能性を試みた。

1. システム構成

システム構成を図4-3-1に示す。システムは、触覚ディスプレイ装置とこれに取り付けた2軸の可動アーム、パソコンと制御用ソフトウェアからなる。触覚ディスプレイ装置は第1次試作と同じものである。今回製作した2軸の可動アームを図4-3-2に示す。この軸の回転角度は汎用インターフェースであるジョイスティックポートを介してパソコンに入力される。入力された角度とアームの長さから2次元平面内でのアーム先端の位置、すなわちペン先の位置を算出する。

アーム先端に取り付けられたペンには2つのスイッチを設けた。ペンの先端に近い側のスイッチを描画/消去スイッチとし、遠い側のスイッチをモード切替スイッチとした。ほかにクリアスイッチも準備し、これは触覚ディスプレイ本体に取り付けた。これらのスイッチの情報もジョイスティックポートを介してパソコンに入力される。アームの取付け位置は、右手で描画する際に左手が触知面をなぞれるように、触知面の左上に設定した(図4-3-3)。

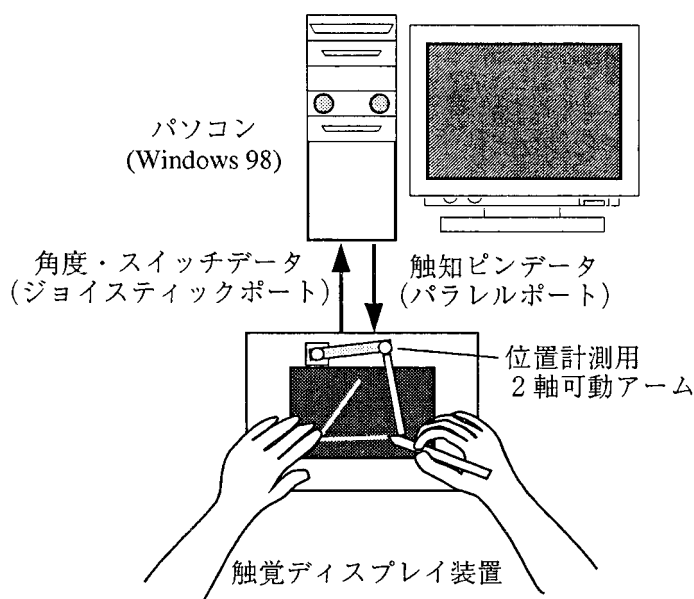


図4-3-1 2次元触覚ディスプレイシステム第2次試作の構成

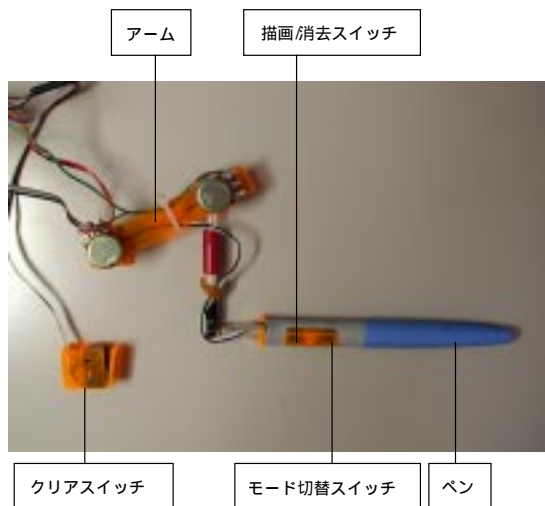


図4-3-2 2軸可動アーム、ペン、クリアボタン



図4-3-3 可動アームに取り付けたペンで描画している様子

2. 機能

第1次試作と異なる機能を中心に述べる。

カーソル位置表示機能 ペン先位置にある触知ピンを一定の周期で上下させ、触覚的に確認できるようにした。これによりユーザは描画/消去開始点をより正確に把握できる。上下させる触知ピンの数は1または5（十字型）を選べる。

描画機能 ペンの状態が描画モードのとき、描画/消去スイッチを押しながら触知面上でペンを動かすと、ペンの軌跡にある触知ピンが突出し、凸線の描画が行える。

消去機能 ペンの状態が消しゴムモードのとき、描画/消去スイッチを押しながら触知面上でペンを動かすと、ペンの軌跡にある触知ピンが下がり、凸線を消去できる。

モード切替機能 ペンに取り付けたモード切替スイッチを押すことで、描画モードと消しゴムモードを切替えることができる。

全消去機能 クリアスイッチを押すとすべての触知ピンが下がり、描画情報を全消去できる。

3. システムの試用

視覚障害情報機器アクセスサポート協会の研修会にて本システムを紹介した後、20分のデモンストレーションの時間に10人ほどの視覚障害者に使ってもらい、意見を聞いた。触知ピン間隔が粗いという問題が出たが、他方で、文字が書ける、フローチャートや地図が書けるなどの使いたい用途が表明された。また、操作の様子の観察から、描画と消去それぞれの操作用にスイッチを用意した方が実世界での操作と類似性が高く、理解しやすいと推察された。

4 . 今後の課題

今後は、アームによる位置計測の精度の測定、タブレット入力方式と直接入力方式の描画結果の違いなどを実験で探っていく予定である。

第4節 まとめ

視覚障害者自身が作図可能な触覚ディスプレイシステムを試作した。第1次試作では入力装置としてタブレットを用いたシステムを構成し、これを4人の視覚障害者に試用してもらったところ、描画データの画像処理、入力面と触知面の不一致、触知ピンの間隔などの点を改善すべきであることがわかった。このうち、視覚障害者による描画のためには入力面と触知面の一致が重要なため、第2次試作では2軸の可動アームを製作し、このアームの先端に入力用ペンを接続することで、触知面上で直接ペンを動かして入力できるシステムを構築した。これを10人ほどの視覚障害者に試用してもらったところ、文字、フローチャート、地図が書けるなどの利用したい用途が提出され、おおむね好評な意見を得た。

第5章 研究のまとめ

視覚障害者へのグラフィカル情報提示手段として、バーチャルリアリティを応用した小型触覚ディスプレイである「触覚マウス」と、高密度触覚ディスプレイ素子（触知グラフィックセル）を利用した2次元触覚ディスプレイシステムを試作し、それらの有効性を探った。触覚マウスシステムについては、そのパラメータの1つであるHMP比を適切な値に設定すれば、ユーザは触図形から逸脱することが少なくなり、かつ、高い正答率で図形を識別できることが見出された。さらに、ポインティング位置を音声で出力することで、簡単な地図情報を提示可能であることもわかった。図形の識別という利用のほかに、画面を見ながらコンピュータを操作している弱視者向けに、画面上のオブジェクトにポインタが重なったときに触覚情報を提示することで、ポインティング作業を支援するデバイスとしての応用の可能性が示唆された。

本研究で試作した2次元触覚ディスプレイシステムは、視覚障害者自身が作図可能な点で画期的なものである。特に触知面に直接書き込める方式の第2次試作の試用後の感想は好意的で、文字を書きたい、フローチャートを書きたい、地図を書きたいなどの利用したい用途に関する意見を多くの視覚障害者から得ることができた。

いずれのシステムも今後、実用化のためには、一般のアプリケーションの画面を触覚ディスプレイに提示できるソフトウェアの開発が重要であると考えられる。

近年、情報化社会が進展し、コンピュータの専門家でない人たちの間でもインターネットの利用が一般的となった。視覚障害者がインターネットを使う場合、画面上の文字をスクリーンリーダーの音声で聞く方法がある。しかし、このホームページにも文字だけでなく図や絵などのグラフィカル情報を含むものがますます増えてきており、視覚障害者がこれを理解するための有効な手段が求められていた。今回試作した触覚ディスプレイが実用化されればこのようなグラフィカル情報の理解に役立つだけでなく、視覚障害者自身がグラフィカル情報の発信者となることができると思われる。

参 考 文 献

【第2章】

- 荒井廣, 武市啓司郎, 清水豊, 菊池 正, 山下由己夫, 佐川賢, 斎田真也, 和気典二 (1982) : 盲人用人工眼の開発に関する研究 視覚代行器 , 製品科学研究所研究報告, No.95.
- Collins, C (1970) : Tactile television Mechanical and electrical image projection, IEEE Transactions on Man-Machine Systems, Vol.MMS-11, pp.65-71.
- 市川宏, 大頭仁, 鳥居修晃, 和気典二 (1984) : 視覚障害とその代行技術, 名古屋大学出版会.
- 伊藤和幸, 数藤康雄, 小田浩一 (1999) : 盲聾者を対象とした触読パターン印刷用三次元レーザ・プリンタ, 第14回リハ工学カンファレンス講演論文集, pp.539-542.
- Linville J.G., Bliss J.C. (1966) : A direct translation reading aid for the blind, Proceedings of IEEE, Vol.54, pp.40-50.
- 村中義夫, 山縣浩, 中村哲夫 (1993) : 世界を見つめる指先の目 オプタコンの20年 , 日本オプタコン委員会.
- 中邑賢龍, 塩田佳子, 高原淳一 (こころリソースブック編集会) (1999) : こころリソースブック1999-2000年版, こころリソースブック出版会.
- Schweikhardt W. (1996) : Interactive exploring of printed documents by blind people, ICCHP '96 Proceedings, pp.451-458.
- 清水豊 (1997) : 視・聴覚障害者用触覚情報伝達機器の設計支援, 平成8年度文部省科学研究費補助金, 基盤研究(B-2)課題番号06452407.
- Shinohara, M., Shimizu, Y., Mochizuki, A. (1998) : Three-dimensional tactile display for the blind, IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, Vol.6, No.3, pp.249-256.
- 末田 (1986). "盲人用画像入力システム," システムと制御, Vol.30, No.6, pp.48-51.

【第3章】

- 赤松幹之 (1994) : ポインティング操作におけるマルチモーダルインタフェースの効果, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J77-D-II, No.8, pp.1457-1464.
- Hughes, R.G., Forrest, A.R. (1996) : Perceptualisation using a tactile mouse, IEEE, pp.181-187.
- 井出英人, 磯田洋 (1987) : 可動タクトイル・ボード式文字提示装置, T. IEE Japan, Vol.107-C, No.10, pp.962.
- Kerstner, W., Pigel, G., Tscheligi, M. (1994) : The FeelMouse: Making computer screens feelable, Lect. Notes Computer Science Vol.860, pp.106-113.
- 洪理樹, 白石幸雄, 谷義之 (1994) : 多数行の点字情報が表示可能な小型点字セルモジュール, 第20回感覚代行シンポジウム, pp.5-8.
- 皆川洋喜, 大西昇, 杉江昇 (1994) : 触覚と聴覚による盲人用図表現システム, 電子情報通信学会論文誌D-

II, Vol.J77-D-II, No.3, pp.616-624.

森佐知子, 佐々木忠之 (1993) : 触覚における仮想現実感を利用した盲人用触覚ディスプレイの研究, 第19回感覚代行シンポジウム, pp.119-122.

大山正, 今井省吾, 和気典二 (1994) : 新編感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書房.

酒井一郎, 伊東一典, 米沢義道 (1983) : 手の移動と画像シフトを同期させた簡易点字表示装置, 第9回感覚代行シンポジウム, pp.77-80.

佐藤泰正 (1991) : 視覚障害学入門, 学芸図書.

末田統 (1986) : 盲人用画像入力システム, システムと制御, Vol.30, No.6, pp.48-51.

Terry, J.A., Hsiao, H. (1998) : Tactile feedback in a computer mouse, IEEE, pp.146-149.

田淵奈緒子, 佐々木忠之, 堀籠義明 (1994) : マウス型触覚ディスプレイにおける情報提示面積の影響, 第20回感覚代行シンポジウム, pp.79-82.

Vanderheiden, G.C., Mendenhall, J., Ford, K.L., Anderson, T., Boyd, W.L. (1991) : Access to graphical-based operating systems for blind individuals: "System 3" Model, Trace R&D Center Annual Report 1991, pp.19-20.

York, B.W., Karshmer, A.I. (1989) : Tools to support blind programmers, 17th Annual ACM Computer Science Conference, pp.5-11.

【第4章】

荒井廣, 武市啓司郎, 清水豊, 菊池正, 山下由己夫, 佐川賢, 斎田真也, 和気典二 (1982) : 盲人用人工眼の開発に関する研究 視覚代行器, 製品科学研究所研究報告, No.95.

ユージェン・シェーファー (1994) : ドット・マトリックス・ディスプレイ~グラフィックス及びテキストのための対話装置~, Pin, No.15, pp.68-73, 視覚障害情報機器アクセスサポート協会.

中野泰志, 坂本洋一, 管一十, 木塚泰弘, 中島八十一 (1997) : 糖尿病性網膜症の触弁別(2) サイズ可変点字印刷システムの試作, 第23回感覚代行シンポジウム, pp.157-160.

大庭重治 (1991) : 視覚障害児の描画表現過程における触運動操作, 上越教育大学紀要, Vol.11, No.1, pp.91-100.

下条誠, 篠原正美, 福井幸男 (1997) : 3次元触覚ディスプレイにおける提示ピン配置密度と形状判別特性, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D-II, No.5, pp.1202-1208.

【参考Webサイト】(2001年1月現在)

触覚伝達機器の設計支援情報 : <http://www.tsukuba-tech.ac.jp/info/kenkyu/kaken/home.html>

こころリソースブック : <http://www.kokoroweb.org/index.asp>

視覚障害その他の理由で活字のままではこの報告書を利用できない方のために、営利を目的とする場合を除き、「録音図書」「点字図書」「拡大写本」等を作成することを認めます。その際は、下記までご連絡下さい。

視覚障害者の方等でこの資料シリーズ（文書のみ）のテキストファイルをご希望されるときも、下記までご連絡下さい。

障害者職業総合センター 企画部企画調整室

電話：043-297-9067

FAX：043-297-9057

調査研究報告書 No.41

グラフィカル情報提示のための触覚ディスプレイシステムに関する研究

編集・発行 日本障害者雇用促進協会
障害者職業総合センター
〒261-0014 千葉県美浜区若葉3-1-3
TEL: 043-297-9067
FAX: 043-297-9057

発行日 2001年3月

印刷・製本 株式会社 青松社

©障害者職業総合センター 2001