

基礎論文

視覚障害者用電子レーズライタの試作

渡辺 哲也^{*1} 小林 真^{*2}

Prototypes of the Electronic Tactile Drawing System for Blind Persons

Tetsuya Watanabe^{*1} and Makoto Kobayashi^{*2}

Abstract: We have developed two prototypes of the electronic tactile drawing system. The first one consists of a PC, a tablet device, a tactile display device and originally programmed software. The evaluation of the system showed its potentialities for a writing and explanation tool of graphics for blind persons. It posed a few technical problems as well. One of them was separation of the input and output devices. This problem was solved in the second prototype by developing a 2-axis arm positioning system. The new system allows users to directly draw on the tactile surface and evaluators favored this feature.

Keywords: Blind persons, Tactile drawing system, Tactile display, Tablet, 2-axis arm

1. はじめに

近年、コンピュータの性能向上に伴いバーチャルリアリティ (VR) 技術も急激な進展を見せ、遠隔操作、訓練、シミュレーション、設計支援、アミューズメントなど様々な分野で実用段階に入っている。人と機械とのインタフェースである VR 技術は、上記の諸分野に加えて、障害者・高齢者支援の福祉の分野にも恩恵をもたらすと考えられる [1]。ただし、この分野におけるユーザはシステムへの入力指示やシステムが提示する情報の受容に何らかの問題をもつため、対象ユーザの特性に合わせた入出力系を設計することが肝要となる。本論文において私たちは視覚障害者向けのシステムを提案している。そこでは、VR で一般的な視覚ディスプレイではなく触覚ディスプレイをシステムを中心に据え、システムへの指示においても、視覚障害者特有の手指の動作を許容する入力装置を選択して、仮想的な触空間を視覚障害者が自由に操作できるシステムを目指している。

ここで、私たちのシステムが必要とされる背景を説明する。視覚に障害のない人が「見て」理解する絵や図形などの2次元パターン情報を、視覚情報をほとんどあるいは全く利用できない重度の視覚障害者に伝えるには「触図」が用いられている。これは、点・線・面を背景よりわずかに（通常は1 mm未満）浮き上がらせ、そのパターンを手で触って理解できるようにした図である。触図は立体コピー機、サーモフォームなどの機器で作成することが多いが、その利用には目の見える人の関与が欠かせない。視覚障害者自身にも触図の作成を可能とするのは現在のところレーズライタ(raised line draw-

ing kit) だけである [2]。レーズライタとは、鉄筆やボールペンなどでその上に線を描くと、その軌跡が盛り上がった凸線となる特殊な用紙である。また視覚障害者による描画を目的として、熱を加えた部分が盛り上がるスウェルペーパー (swell-paper) とデジタイザを用いた TDraw というシステムも開発されている [3]。しかし、これらのシステムや用具による触図では1度描いた線を部分的に消して修正することができない問題がある。

この再描画性の問題解決には触覚ディスプレイの利用が有効と考えられる。視覚障害者へのパターン情報提示手段としての触覚ディスプレイの歴史は1960年代までさかのぼる。環境情報の提示を目的とした TVSS (Tactile Vision Substitution System) [4] や、盲人用触読書器として広く使われたオプタコン (Optacon: Optical-to-Tactile Converter) [5] などがよく知られている。近年では、両手で触ってパターンを認識するスクリーン型の触覚ディスプレイ [6],[7] も開発されてきた。このうちメテック社のドットマトリクスディスプレイでは、各ドットを駆動するコイルを磁気検出器として用いて指先位置を計測できるが、位置検出周期が1秒、ディスプレイ全面の更新周期が20秒以上と長いため [6]、描画動作をリアルタイムで再現するには問題があると思われる。ほかに視覚障害者による描画を目的としたシステムも提案されてきたが [8]-[10]、レーズライタと同じ手順で描画させるものはまだない。

このような状況を背景として私たちは、視覚障害者自身がレーズライタと同様にペンを使ってリアルタイムで描画でき、さらにあたかも消しゴムを使うかのように任意の凸線を消去できる触覚の VR システム「電子レーズライタ」の開発を進めてきた。本論文では、試作したシステムについて、その構成・機能と視覚障害者による評価結果について報告する。

*1: 国立特殊教育総合研究所

*2: 筑波技術短期大学 情報処理科

*1: National Institute of Special Education

*2: Department of Computer Science, Tsukuba College of Technology

2. 電子レーザーライタのシステム要件

レーザーライタによる描画過程を電子的に再現し、さらに触覚ディスプレイの再描画機能を追加する形で電子レーザーライタのシステム要件を以下のように規定した。

- (1) ペンを使った描画／消去操作ができること
- (2) 描画／消去開始点の位置が触覚的にわかること
- (3) 描画／消去の動作に応じて実時間で触覚情報がフィードバックされること
- (4) 描いた図は何度でも触知できること
- (5) 全画面消去が簡単な操作でできること

3. 第1次試作

3.1 システム構成

第1次試作のシステム構成を図1に示す。システムはパーソナルコンピュータ(PC)、タブレット入力装置、触覚ディスプレイ装置、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。このタブレット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厚の亚克力版を貼り、この窓枠内を入力面とした。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96×72mmとした。入力面の右側には15×33mmおよび15×36mmの大きさのプラスチック板(厚さ0.3mm)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(図2)。これは、一端を固定した板状の圧電セラミックに高電圧(DC 200V)をかけて変位を生じさせ、圧電セラミックの自由端の上に配置した触知ピンをこの変位で押し上げる仕組みとなっている。製品仕様によれば触知ピンのストロークは0.7mm、触知ピン径は1.3mmで、ピン表面は丸め加工されている。触知ピンを触知板面まで押し込むのに必要な力は0.098Nである。これらは同社の点字セルとほぼ同じ仕様であり、従って同社の点字ディスプレイ(例えばKGS BrailleNote 46D)の点字のドットをなぞると同様な触覚を呈すると言える。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。

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PC(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。今回開発し

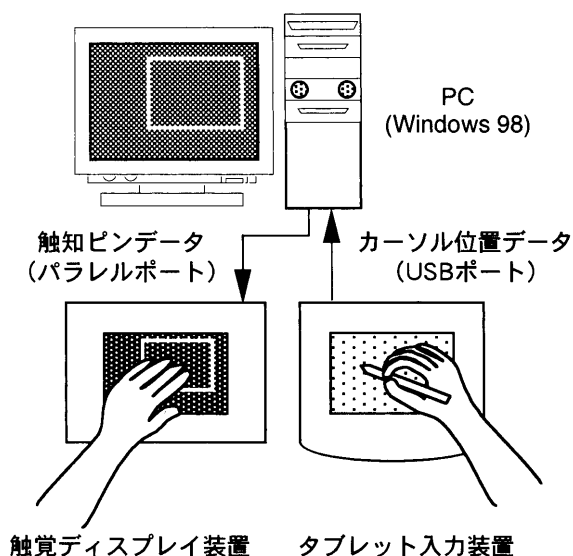


図1 電子レーザーライタ第1次試作のシステム構成

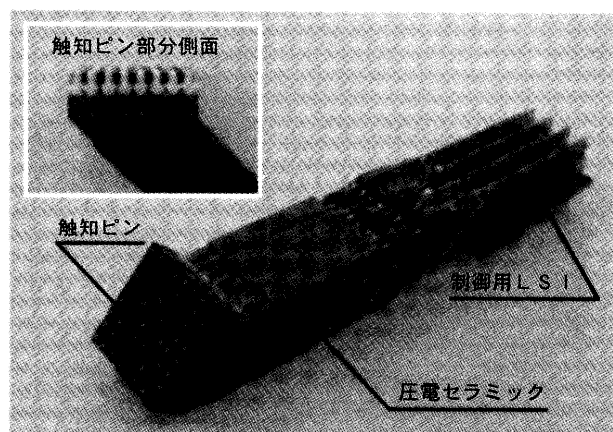


図2 触覚グラフィックセルとその触知ピン部分拡大図

た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。

3.2 機能

カーソル位置表示機能 ユーザが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ように、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(約2Hz)で上下させた。

描画／消去機能 ペンの状態が描画モードのとき、ペン先をタブレットにつけたままペンを動かすと、ペン先の軌跡に対応する触知ピンが突出し、凸線を描画できる。

ペンの状態が消しゴムモードのときは、同様の操作でペン先の軌跡に対応する触知ピンが下がり、凸線を消去できる。

モード切替機能 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と、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 タブレットの入力面右上にあるクリアボタンを押すと、描画を全消去できる。

音声出力機能 モードの切替と全消去の操作時にはそれぞれ「描画モード」、「消しゴムモード」、「全ピンクリア」という音声出力される。

音響サポート機能 Windows APIのSndPlaySound関数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2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、音響は描画/消去スイッチが押され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。

3.3 試用と評価

本システムの視覚障害者用描画ツールとしての有効性および改良を要する箇所を検討するため、視覚障害者にシステムを試用してもらい、口頭で評価を得た。

3.3.1 手順

評価者は視覚障害をもつ成人男性4人である。4人の職業は公務員および団体職員で、4人のうち3人は視覚経験を有する。試用に先立って著者の1人がシステムの外形と機能、操作方法について数分程度の説明を行った。操作方法の説明は試用中も適宜行った。描画課題と試用時間は評価者の任意とした。試用状況の観察と、試用中および試用後に集めた意見をもとに、システムの有効性および改善点を検討した。

3.3.2 試用状況の観察

いずれの評価者もおおよそ20分以上システムを試用した。評価者が作成した内容は、**ひらがな、評価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。

部分的な消去操作より全消去機能が多用された。

評価者の質問に応じて著者の1人（晴眼者）が図を描き、評価者に触知させながらその図の内容を説明する状況もあった。説明したのはグラフィカル・ユーザ・インタフェースの構成要素（アイコン、マウスカーソル、メニュー、ウィンドウなど）、Webページのレイアウト、使用した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。

3.3.3 評価

試用中および試用後に得られた評価意見を機能ごとに整理した。

(1) システムの形状

触知面の水平方向の段差をなくしてほしい。

触知面の周囲に盛り上がった枠がほしい。

(2) カーソル位置の表示

カーソル位置を把握すること、確実に任意の場所から描画/消去を始めることが難しかった。後者は具体的には、カーソル位置把握後にペン先をタブレットに降ろすときに位置がずれる問題であった。これらの問題に対して以下のような提案がなされた。

(2-1) カーソル位置を十時形の5つの触知ピンの振動で表現する。

(2-2) ONになっているドットの上にカーソルが重なったことを音で知らせる機能を付加する。

(2-3) 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を付加する。

(3) 入力方法

触知面に直接ペンで書き込みたい。

(4) 表示内容

あらかじめ作成した画像を表示させる機能がほしい。

(5) 触知ピン間隔

触知ピンの間隔（3 mm）が広すぎる。

(6) 画像処理

(6-1) 斜め線のドット表現が2重になっているので、これをソフトウェアにより1本の線に修正してほしい。

(6-2) 描いた線をソフトウェアにより真っ直ぐな線に修正してほしい。

(7) 入力面の寸法

タブレット入力面（96 × 72 mm）より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ほしい。

(8) 使いたい用途

(8-1) 自分の書字の書き癖を知るのに使いたい。例えばクレジットカードのサインの練習のために1 × 5 cm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。

(8-2) 自分のサインを文書やはがきに印刷したい。

4. 第2次試作

第1次試作は触知面と入力面が分離していたため、カーソルの位置が触知面でどこに対応するのかを把握することが難しいという評価が得られた。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、触知面の上でペンを動かして直接入力できるシステムを製作することとした。

4.1 システム構成

システム構成を図3に示す。システムは触覚ディスプレイ

レイ装置とこれに取り付けた2軸の可動アーム、PC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次試作と同様にグラフィックセル 12 個で構成した。

可動アームの軸の回転角度はポテンショメータ (Contelec 2303N) で計測され、UPPカード (ラトックシステム REX-5059) を通してPC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ペン先位置が算出される (図4)。

ペンのグリップ部には2つのボタンを設置し、ペン先に近い側のボタンを描画/消去スイッチとし、遠い側のボタンをモード切替スイッチとした。クリア用ボタンも準備し、これはペンの後端部に取り付けた (図5)。これらのスイッチの情報もUPPカードのI/Oポートを介してPCに入力される。

アームの取り付け位置は、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3, 図5)。これは、レーザーライタを使った視覚障害者の図形描画過程では、ペンをも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おり、この触運動操作が図形の要素間の位置関係の把握などに重要な役割を果たしているという報告を考慮したものである [11]。また、ペン先と触知面の間に5 mm程度の間隙が空くようにアームを触知面から離して設置した。この空隙により、ユーザはペン先の下に指を入れて、触知ピンの振動でカーソル位置を確認することもできる。

4.2 機能

ここでは、第1次試作と異なる機能について述べる。

カーソル位置表示機能 振動させる触知ピンの数を1または5から選べるようにした。

描画/消去機能 ペン先の描画/消去スイッチを押しながら触知面上でペンを動かすことで凸線の描画/消去が行える。

画像保存機能 描画内容をファイルに保存できる。保存したファイルを開いて描画を再表示・再編集することもできる。

4.3. 比較実験

直接入力の効果を見るため、第1次試作 (タブレット入力) と第2次試作 (直接入力) のユーザビリティを比較する実験を行った。

4.3.1 方法

課題 直接入力の効果は、すでに描かれている凸線の位置を触察を通じて自身にフィードバックしながら描画あるいは消去する作業に現れると考えられる。そこでまず描画課題として、コの字型の触図形刺激を提示し、その開いている1辺を線分でないで四角形とする作業

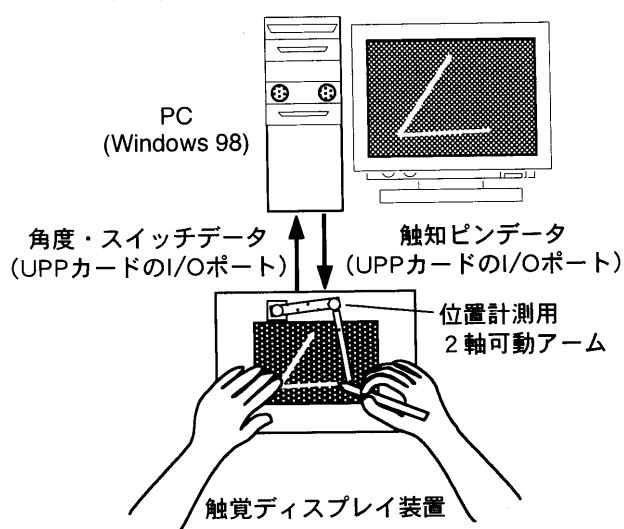


図3 電子レーザーライタ第2次試作のシステム構成

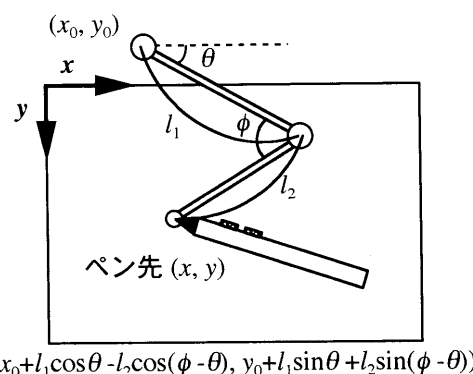


図4 ペン先位置の算出

を設定した。コの字の大きさは1辺が16ドットの正方形、口が開いている向きは上下左右の4種類とした。

消去課題では横向きの凸型触図形刺激を2種類用意した。凸型の本体部は1辺が16ドットの正方形で、左右いずれかの辺の中央部分が外側に向かって横6×縦8ドット飛び出しており、この部分を消去して正方形とする作業を設定した。

被験者 被験者は視覚障害をもつ右利きの男子学生2人 (20歳と22歳) である。

手順 最初に著者の1人がシステムおよび実験の概要を説明した。次に被験者をシステムの使用に慣れさせるため第1次および第2次試作をそれぞれ5分程度自由に使わせた。その後、実験手順を3回ないし4回行わせた。被験者1は第1次試作、第2次試作の順に実験を行い、被験者2は逆の順で行った。また、それぞれのシステムにおいては描画課題、消去課題の順に行わせた。

実験開始前は両手を膝の上もしくは机の縁にかけた状態で装置には触れせず、実験者の「用意、はじめ」の合図の声で装置を触り各試行を開始するよう被験者に指

示した。描画課題においてはコの字の向きを、消去課題においては凸の向きを被験者には告げておらず、触察で認識させた。被験者には認識ができた時点で描画／消去を始めさせた。設定課題に対して被験者が納得した形状になったら、試行が終わった旨を声で合図させた。実験の様子はビデオに撮影し、このビデオ映像において実験者の合図から描画／消去の音響が開始するまでを認識時間、音響開始から被験者による終了の合図までを描画／消去時間として計測した。

描画課題は4種類の刺激を2試行ずつ計8試行、消去課題は2種類の刺激を2試行ずつ計4試行実施した。

実験終了後、被験者に使いやすかった入力方式とその理由を口頭で答えさせた。

装置と設定 実験用PCとして富士通FMV-BIBLO MC4/45Cを用いた。カーソル位置表示機能は1ピンのみ振動に設定した。

4.3.2 結果

描画／消去中の触運動操作 ビデオ記録映像をもとに、描画／消去過程における被験者の左手（ペンをもたない側の手）の手指の動き（大庭 [11] にならってこれを触運動操作と呼ぶ）を観察した結果を記す。被験者1の直接入力による描画過程では、人差し指と親指を描画開始点（のペン先）に当て、実際の描線前に描線予定経路を指でなぞり、その後にペン先に人差し指と親指を添えたまま描線する操作が8試行中6試行で観察された。他の2試行のうち1試行では、左手指を開始点に残したまま描線し、描線後に凸線をなぞった。残る1試行では、左手を定規のように用い、左手の端にペンを沿わせて描線した。一方タブレットによる描画過程では、左手の人差し指と中指の2本をペンの描線の動きに同期させて触知面上で描画開始点から目標点までなぞる触運動操作が8試行中3試行に見られた。この指のなぞり動作が実際の描線に先行した操作も3試行で観察された。左手指は描画開始点にとどまり、描線後に凸線をなぞる操作は2回見られた。

被験者2の直接入力による描画過程では、左手の人差し指と中指（水平線の場合）、または人差し指と親指（垂直線の場合）をVの字の形に開いて、それぞれの指を描画開始点と目標点に当て、その間をペンで描線する操作が最も多く8試行中7試行で見られた。7試行のうち2試行は、人差し指をペン先に添えて描線する動作も伴った。人差し指をペン先に添えて描線する操作のみの試行は1試行であった。一方タブレット入力では、ペンで描画するのに同期させて左手の人差し指で描画点をなぞる触運動操作が8試行すべてに見られた。

被験者1の直接入力による消去過程では、左手人差し指と親指をペンの左側に添えながらペンを動かして消去する操作が見られた。消去の途中で時折、ペンを止

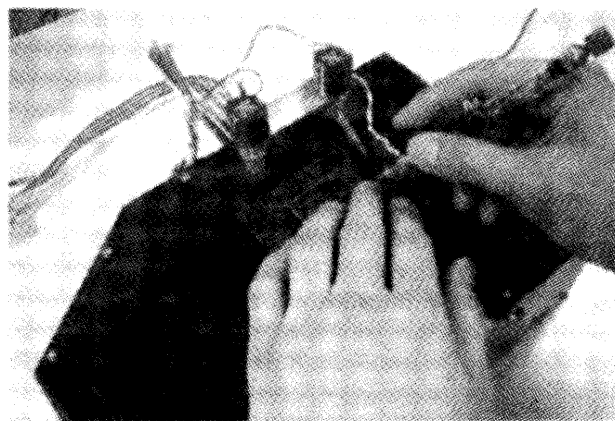


図5 第2次試作システムで描画している様子

めて左手で凹凸状態を確認することがあった。タブレット入力では、タブレット上でペンを小刻みに上下または左右に動かしながら左手で触知面上のピンの凹凸を確認する操作が見られた。このとき右手と左手は連動していなかった。

被験者2の直接入力による消去過程では、人差し指をペン先に添えて縦のドット列ごとに消去していった。被験者1と同様に、消去途中で時折ペンを止めて凹凸状態を確認することがあった。一方タブレット入力では、消去点に同期させて左手人差し指を上から下へなぞっていく操作が見られた。

操作時間 操作時間の計測結果を図6に示す。入力方式と被験者の違いに関わらず、全体として描画より消去に長く時間がかかった。

今回規定した実験手順では入力方式間の違いが認識時間に現れるとは考えられないので、以後は描画／消去に要した時間について考える。なお、被験者数、試行数ともに少ないため差異の検定は行わない。

描画課題においてタブレット入力と直接入力の操作時間の平均値を比較すると、被験者1では10.1 s vs. 10.7 sで大きな差はなく、被験者2では12.6 s vs. 9.2 sとなり直接入力の方が操作が速かった。図6の描画操作の中で特に長い時間がかかった試行（*をつけたバー）は修正のために消去動作や加筆を行ったものである。

消去時間の平均値について入力方式間の違いを見ると、被験者1ではタブレット入力対直接入力が41.3 s vs. 59.8 sでタブレット入力の操作時間は直接入力の3分の2であった。被験者2では95.2 s vs. 32.4 sとなり逆に直接入力の方が3倍速かった。

被験者2名とも、また描画と消去いずれの課題においても、先に実験した入力方式の方が操作時間の平均値は短かった。学習効果があれば後に行った操作ほど操作時間が短くなるが、その傾向は示しておらず、従って実験の順序が学習効果として実験結果に影響を与えることはなかったと考えられる。

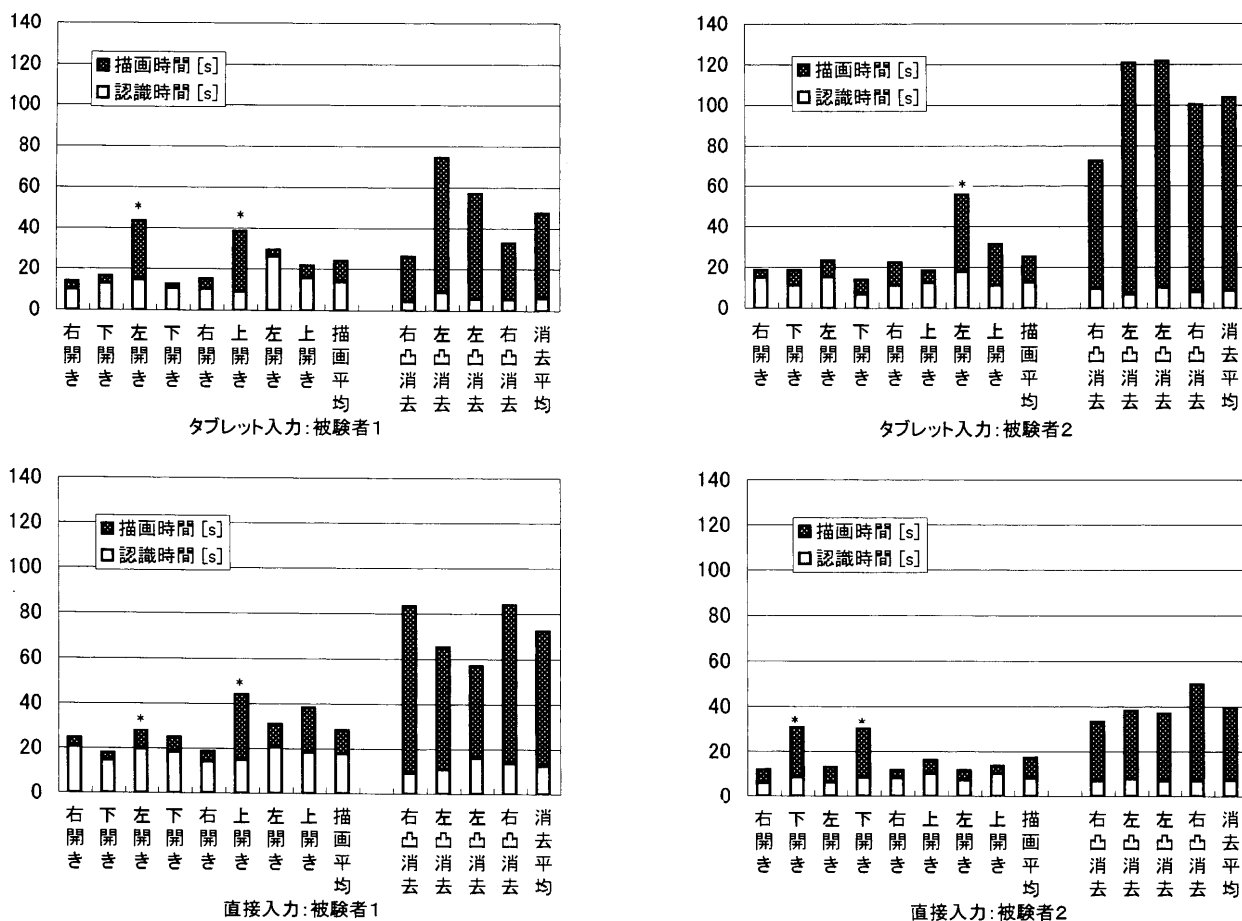


図6 描画・消去課題の操作時間

描画/消去結果 描画課題において、コの字の開いている1辺の上下左右の位置を認識し、これに対応する線が描ければその試行は成功と見なしたところ、すべての試行が成功であった。ただし、描画開始点と終了点が、描線の垂直方向に3ドット以上ずれた描画結果を斜め描線として計数すると(図7)、被験者1ではタブレット入力では5試行が斜め描線であったのに対して、直接入力では0試行であった。被験者2では両入力方式とも斜めになったのは1試行ずつだった。

消去課題の描画結果では、消し過ぎたドットと消し残したドットを足して誤消去ドットとして計数した(図8)。タブレット入力と直接入力の誤消去ドットの平均値を比較すると被験者1では19.75 vs. 5.25ドットでタブレット入力の方が誤消去ドットが多かった。被験者2では4.00 vs. 5.25ドットでほぼ同じであった。

被験者のコメント どちらの入力方式が使いやすかったかという質問に対して被験者1は、描画・消去ともに直接入力方式がよいとした。その理由は、直接入力では両手で位置決めができ、ペン先位置がずれないことと、逆にタブレット入力では左手と右手の位置を頭の中で一致させるのが困難であることを挙げた。被験者2は、タブレット入力ではペン先が描画面に接しているのに対して直接入力ではペン先が浮いておりフラフラした感じがするという理由で描画課題ではタブレット入力の

方がよいとした。他方、消去のためには直接入力方式がよく、その理由は消す面の上をなぞりながらその場を消せる、すなわち消す箇所が指先で把握しやすいことであった。

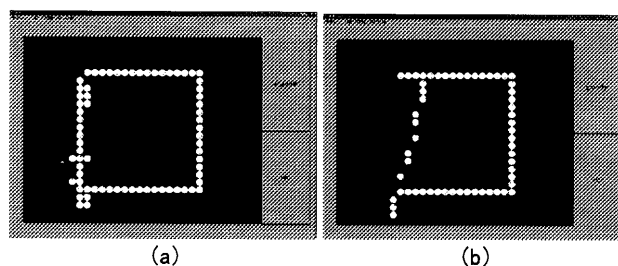


図7 被験者1の左開きコの字の描画課題の結果の例。(a)直接入力。比較的直線的に描けた試行。(b)タブレット入力。斜め描線となった試行。

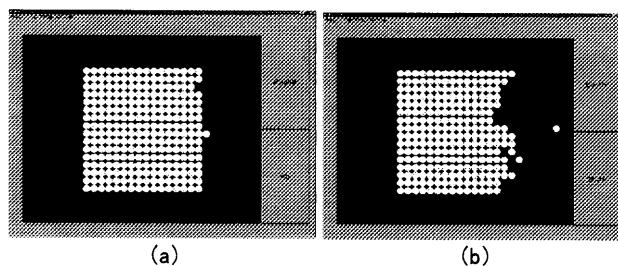


図8 被験者1の右凸消去課題の結果の例。(a)直接入力。比較的正確に消去できた試行。(b)タブレット入力。誤消去ドットの多くなった試行。

5. 考察

試作したシステムの機能を電子レーズライタのシステム要件5項目と比較すると、第1次試作では(1)および(3)～(5)は実現されたものの、(2)の要件「描画／消去開始点の位置が触覚的にわかること」を十分に満たすことができず、このため評価においてはいくつかの意見と提案が出された(3.3.3.の(2)と(3))。そこで第2次試作ではアーム機構を使うことにより触知面上での直接入力を実現した。その改良の効果を見るためタブレット入力方式との比較実験を行ったところ、直接入力方式での描画過程において、大庭がその論文で整理した触運動操作[11]が認められており、第2次試作がレーズライタと同じ手順で触図を描画するための条件を満たしていることが確認できた。

操作時間と描画／消去結果を照らし合わせて考察すると、被験者1の描画課題では両入力方式の操作時間に大差はなかったが、直接入力の方がタブレット入力より描線が斜めになる試行が少なく、直接入力の優位性が見られた。被験者1の消去課題では、タブレット入力の方が操作時間は短いものの、誤消去ドットは4倍ほど多く計数されており、操作時間と操作の正確性とのトレードオフが観察された。

被験者2の描画課題では両方式とも斜め描線は1試行でしか見られなかったが、操作時間は直接入力の方が速かった。被験者2の消去課題では、誤消去ドットの観点からは両方式の成績に違いはないものの、タブレット入力では直接入力の3倍の時間を要した。従って、被験者2においては直接入力の効果が見られたと言えるだろう。

被験者のコメントでは、ペン先位置が把握しやすいという理由で直接入力は好評な意見を得た。被験者2のコメントでは直接入力のペン先が触知面から浮いていることが問題とされたが、これは機構的に解決可能なものであり今後改良したい。本試作では右利きのユーザを想定してアーム機構を構成したが、これは左利きのユーザには問題となると予測される。この問題は、アーム機構で固定するのではなく無線式のペンで入力を可能とすることで解決できると思われる。近年では携帯情報端末の入力装置として、あるいはキーボードが苦手な人向けの入力装置としてペン入力技術の発達が著しい[12]。今後、これらの技術を電子レーズライタへ適切に応用することで、ペンの使い勝手の問題も解決可能と期待できる。

第1次試作の評価で挙げられた課題の中には、直接入力のほかにも検討すべき重要な項目があった。その1つ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、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がいくらか曲がってしまった場合、自動的に直線に補正する機能の実装も求められた。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。

触知ピンの間隔についても検討しておく必要がある。評価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ドット間隔が第1ドットと第2ドットとの間で2.37 mm、第1ドットと第4ドットとの間で2.13 mmであることを考慮すると[13]、3 mm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16 mm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3 mmでも90%程度の認識率が得られている[14]。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3 mmのピン間距離で十分であるという報告もある[15]。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3 mm程度となっており[6]、早急な改良は難しいと思われる。しかし今後の開発目標設定のためにも、触覚ディスプレイのモックアップなどを製作し、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。

以上の技術的課題はあるものの、比較的早期に実現可能な用途も示唆された。その1つは書字の練習で、このためには練習用途に応じた寸法の枠をタブレット入力面上に用意し、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。また視覚障害者の描画用途ではないが、晴眼者による図の説明にも有効であった。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は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。

6. おわりに

視覚障害者自身が自由に修正を加えながら書字や描画を楽しめることを目標として電子レーザライタの試作を行った。試用の結果、書字の練習や晴眼者による図の説明などの用途に有効であることがわかった。操作性の課題のうち触知面と入力面の一致については、アーム機構を用いることで触知面上で直接入力可能なシステムへ改良することができた。今後は、考察で述べた技術的課題に取り組んでいきたい。将来的には、本システムを通信機能と組み合わせることにより、音声メディアとして利用できない盲聾者用のコミュニケーション装置としての発展も考えられるだろう。

謝辞

本システムの試用および実験に参加して下さった方々、試用の場を設定して頂いた大内進氏（国立特殊教育総合研究所）、本研究について熱心にご討論頂いた篠原正美氏（産業技術総合研究所）、下条誠氏（電気通信大学）、清水豊氏（筑波技術短期大学）に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 舘暉, “ロボットから人間を読み解く—バーチャルリアリティの現在,” 日本放送出版協会, 東京, 1999.
- [2] 香川邦生編著, “視覚障害教育に携わる方のために,” 慶應義塾大学出版会, 東京, 1996.
- [3] M. Kurze, “TDraw: A computer-based tactile drawing tool for blind people,” ASSETS 96, The 2nd Annual Conf. on Assistive Technologies, pp.131-138, 1996.
- [4] C.C. Collins, “Tactile television: mechanical and electrical image projection,” IEEE Trans. on Man-Machine Syst., Vol.MMS-11, pp.65-71, 1970.
- [5] J.G. Linvill and J.C. Bliss, “A direct translation reading aid for the blind,” Proc. of IEEE, Vol.54, pp.40-50, 1966
- [6] ユーゲン・シェーファー, “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型装置〜,” Pin, No.15, pp.68-73, 視覚障害情報機器アクセスサポート協会, 1994.
- [7] M. Shinohara, Y. Shimizu and A. Mochizuki, “Three-dimensional tactile display for the blind,” IEEE Trans. Rehabil. Eng., Vol.6, No.3, pp.249-256, 1998.
- [8] 和気典二, 斎田真也, 広田光男, “盲人用描画補助装置の研究,” 第7回感覚代行シンポジウム, pp.100-103, 1981.
- [9] 末田統, “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, 1986.
- [10] K. Itoh and Y. Yonezawa, “Support system for handwriting characters and drawing figures for the blind using feedback of sound imaging signals,” J. Microcomput. Appl.,

- Vol.13, pp.177-183, 1990.
- [11] 大庭重治, “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, 1991.
- [12] 加藤直樹, “ペン入力技術,” 信学誌, Vol.84, No.3, pp.200-201, 2001.
- [13] 中野泰志, 坂本洋一, 管一十, 木塚泰弘, 中島八十一, “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, 1997.
- [14] 佐川賢, “ドットパターン・プロッター,” 製品科学研究所研究報告, No.95, pp.45-52, 1987.
- [15] 下条誠, 篠原正美, 福井幸男, “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,” 信学論, Vol.J80-D-II, No.5, pp.1202-1208, 1997.

(2001年5月31日受付)

[著者紹介]

渡辺 哲也 (正会員)



1993年北海道大学大学院工学研究科修了。同年水産庁水産工学研究所研究員, 1994年障害者職業総合センター研究員, 2001年国立特殊教育総合研究所研究員, 現在に至る。視覚障害者用感覚代行技術の研究開発に従事。博士(工学)。

小林 真 (非会員)



1996年筑波大学大学院博士課程工学研究科中途退学。同年筑波技術短期大学情報処理学科助手, 現在に至る。音響・触覚情報提示を用いた視覚障害保障に関する研究に従事。博士(工学)。