

小型触覚ディスプレイの試作

吉崎 昌彦 新東 勇 松田 英夫 古野 二三也

職業能力開発大学校 福祉工学科

〒229 神奈川県相模原市橋本台 4-1-1

E-mail:ms06@uitech.ac.jp

あらまし 本報告では、視覚障害者への図形情報の伝達を支援する小型の触覚ディスプレイが提案されている。小型の触覚ディスプレイを用いた触図では、呈示図形を速く、正確になぞることが図形の認知にとって重要である。この目的のための一手法として“磁気ガイド”が提案されている。磁気ガイドは、磁力によって図形上に触覚ディスプレイを拘束することによって触察を容易にするための機構である。評価実験によって磁気ガイドの有効性を確認するとともに改善点についても検討している。

和文キーワード 視覚障害者、触覚ディスプレイ、磁気ガイド

A Development of Small-Sized Tactile Display

Masahiko YOSHIZAKI, Isamu SHINTO, Hideo MATSUDA and Fumiya FURUNO

Department of Rehabilitation Engineering, The Polytechnic University

4-1-1 Hashimoto-dai, Sagamihara-shi, Kanagawa, 229 Japan

E-mail: ms06@uitech.ac.jp

Abstract In this paper we propose a small-sized tactile display. In tactile reading of figures using the device, it is important to trace the line segment of the figures fast and correctly. The device is equipped with “magnetic guide” for the requirements. The magnetic guide is a function to constraint the device on the line segment of the figures by magnetic force. The availability of the device is confirmed experimentally.

英文 key words *visually handicapped person, tactile display, magnetic guide*

1. まえがき

近年の技術の進歩に伴って、パーソナルコンピュータの性能はひと昔前の大型計算機並みの性能をもつようになり、かつ、価格も下がってきた。このようなパーソナルコンピュータに点字ディスプレイや音声合成装置などを接続すれば、視覚障害者が文字によって情報のやりとりをすることも比較的容易になってきた。しかし、これらの装置は文字情報に関しては有用であるが、図形情報の伝達には向かない。地図、電子回路や機械の図面などでは図そのものを伝達する必要があり、図形情報の伝達を支援する機器の開発が望まれている⁽¹⁾。

視覚障害者への図形情報の伝達を目的とする支援機器がこれまでもいくつか提案されている。このような支援機器の一つとして、多数の触知ピンを2次元平面に配置して、図形情報に対応する触知ピンを上昇させることによって図を表現するという方式を採用した機器がある⁽²⁾。しかし、小型化、低価格化することは装置の原理上困難であることから普及するには至っていない。一方、森らは⁽³⁾仮想現実感を利用した小型の触覚ディスプレイを提案している。これは面積の小さい触覚ディスプレイでも手指を能動的に動かすことによって図形全体を認知が可能になるという方式の機器である。この方式による触覚ディスプレイは小型化が可能で低価格化も期待できるが、図形の部分情報に基づいて図形全体を認知する必要があるため、実用化のためにはいくつか検討の必要がある。

小型の触覚ディスプレイを実用化するためには以下の点について検討する必要があると考えられる。

- 触覚ディスプレイの操作性
- 図形の呈示方法

触覚ディスプレイによる触図方法が現実の3次元物体を触図する方法に近ければ近いほど認知の速さ及び精度は向上する。しかし、従来の小型の触覚ディスプレイでは呈示図形として最も単純な線分ですら、その上を正確に、且つ、速くなぞることは困難である。触察時には触覚ディスプレイをジグザグに動かす傾向が見られ、この動きは図形を認知する妨げとなっている。このような意味において、触覚ディスプレイの操作性については十分な検討が必要である。また、小型の触覚ディスプレイでは図形の部分情報に基づいて図形全体を認知する必要があるため、各部分情報と全体図形の関係を容易に認知できるような図形の呈示方法についても検討の必要がある。

今回の報告では触覚ディスプレイの操作性に関する問題についてのみ述べる。操作性を改善するための一手段として“磁気ガイド”を提案する。磁気ガイドは触覚ディスプレイが提示図形上に位置したとき、磁気によって触覚ディスプレイを図形上に軽く拘束することによって図形の触察を容易にしようというものである。本報告では磁気ガイドの有効性を評価し、評価実験の結果に基づいて磁気ガイドの改善点についても検討する。

2. 触覚ディスプレイの構成

本研究で試作したシステムの構成を図1に示す。この触覚ディスプレイは、触覚ディスプレイ、制御部、パーソナルコンピュータの3つの部分から構成される。なお、今回報告するシステムは試作機であるのでパーソナルコンピュータを演算処理のために用いている。将来は制御部も含めて一つの筐体に納める予定である。触覚ディスプレイは、更に図形情報を指の触覚に伝達するための触覚刺激部、触覚ディスプレイの2次元平面上の位置を検出するための位置検出部、磁気ガイドとして磁力によって触覚ディスプレイを呈示図形上に拘束するための磁気発生部からなる。

触覚刺激部の触知ピンには KGS 社製の点字セルを用いた。この点字セルには $4 \times 2 = 8$ 本のピンがあり、電気信号によって各ピンの上下を制御できる。本装置の触覚ディスプレイには点字セルを2つ並べ、 $4 \times 4 = 16$ 本のピンで図形の呈示を行う。この表示部分の大きさは 10×9 mm であり、示指の先端部で一度に触知できる程度の大きさである。総数16本の触知ピンで図形の呈示を行うと解像度の点からは十分ではないが、図形を線分に限定し、線分の太さを固定とすることで対応した。また、触覚ピンは触覚で敏感に捕らえやすいとされている約 200 Hz で振動させている。

触覚ディスプレイの位置の検出には、通常のパーソナルコンピュータに使用されている400カウントマウスの位置検出機構を利用した。磁気発生部の詳細は次節で述べる。

プログラムは、作図を行うプログラム、図形情報を触覚情報に変換するプログラム、磁力発生用の電磁石をコントロールするプログラムからなる。作成した図形データはフロッピーディスクに保管される。処理の手順は以下のものである。まず、パーソナルコンピュータ上において、位置検出部からの位置情報を図形データと照合する。もし、触覚ディスプレ

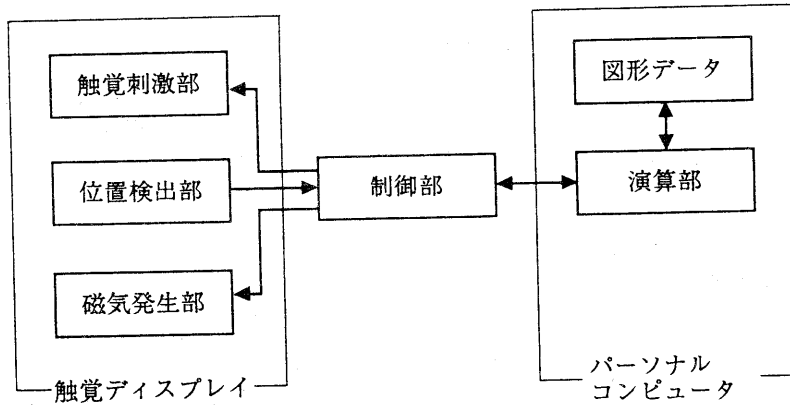


図1 触覚ディスプレイの構成

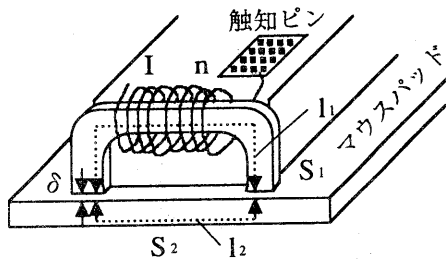


図2 触覚ディスプレイの外観

イの規準位置が呈示図形上にあれば、対応する触知ピンを振動させるよう制御回路から信号が出力される。同時に、制御回路からは触覚ディスプレイを呈示図形上に拘束するための信号が磁気発生部に送られる。

3. 磁気ガイド

3.1 構造

図2に触覚ディスプレイの外観を示す。触覚ディスプレイの先端部には磁力によって拘束力を与えるためのU字形の電磁石を取り付けてある。触覚ディスプレイは厚さ5mmの鉄板上で操作を行う。この鉄板と電磁石の間に働く磁力を拘束力として利用する。電磁石をU字形とした理由は、磁路を閉じた形にすることで漏れ磁束を少なくして電磁気を有効に利用するためである。もう1つの理由は操作性の向上のためである。電磁石を棒形状にすると、触覚ディスプレイに拘束力が働いたとき、電磁石を中心として触覚ディスプレイが回転しやすくなり触察に影響を与える。しかし、U字形であれば触覚ディスプレイ

には2点が力が働くので回転しにくくなる。

鉄板と電磁石の間に働く電磁気の大きさ f は近似的に次式のように表される。

$$f = \frac{n^2 I^2 S_1}{\mu_0} \left/ \left(\frac{l_1}{\mu} + \frac{2\delta}{\mu_0} + \frac{l_2 S_1}{\mu S_2} \right)^2 \right. \quad (1)$$

但し、 n はコイルの巻き数、 I はコイルに流れる電流、 μ_0 は真空の透磁率、 μ は電磁石の鉄芯及び鉄板の透磁率である。また、 δ は電磁石の鉄芯と鉄板間のギャップ、 S_1, S_2 は磁路の各断面積であり、 l_1, l_2 は磁路長である。電磁石の吸引力 f は式(1)からわかるように、電磁石の鉄芯と鉄板間のギャップ δ が小さいほど強く、コイルに流れる電流 I の2乗に比例する。触覚ディスプレイに装着されたマウスが滑らないようにするためにマウスパッドが必要であるが、通常のマウスパッドでは厚すぎ、必要な電磁気の発生には大きなコイル電流が必要となってしまう。そのため通常のマウスパッドの代用として滑りにくい厚さ0.1mmの紙を用いた。コイルで巻き数 n は約8000回であり、吸引力はコイル電流が130mAのとき約450gfである。

電磁石の特性は図3に示すようなヒステリシスループを描く。磁気を発生させる際にはコイルに電流 $I_c = 130\text{mA}$ を流す(図中a)。磁気が必要ないときには電流を流さなければよいが、残留磁場 B_r のために磁気が残ってしまう。残留磁場をゼロにするために消磁を行わなければならない。励磁電流とは逆向きの電流 I_r をコイルに流すことによってb→oの経路で消磁が行われる。

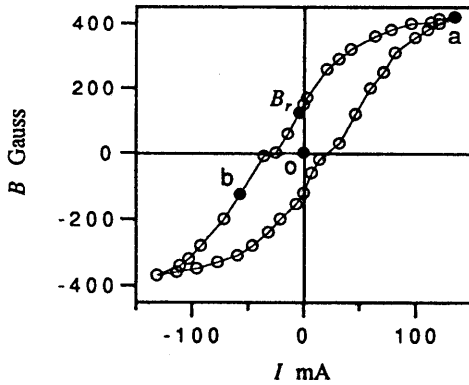


図3 電磁石の特性

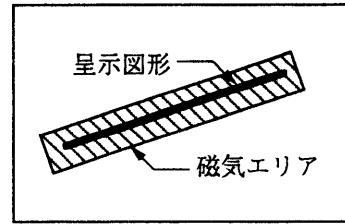
3.2 動作

線図形に対応した磁気の与え方はいく通りか考えられる。例えば、図4(a)に示すように、触覚ディスプレイが線分の近傍に位置したとき磁気による拘束力を発生させる方法である。図中の斜線部分が磁気による拘束力が働く領域である。この方法は領域内のどの位置に図形があるのかを探すのに有効である。しかし、磁気が加わっているとき、触覚ディスプレイの動かしやすさが静止時と動いた後では異なるため触察に影響を与えるという問題がある。この方法とは逆に、図4(b)に示すように線分の近傍外で磁気を発生させるという方法も考えられる。この場合、線分近傍で拘束力が働かないので触覚ディスプレイが動かしやすという利点があるが、図形のない領域で触覚ディスプレイが動かしにくってしまうという問題がある。

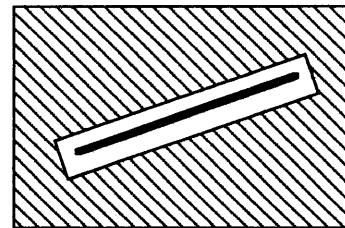
本研究では、線図形に対応した磁気を図4(c)に示すような領域で発生するようにした。これは図4(a)、(b)の両方式の長所を取り入れたものであり、領域内の図形が探しやすく、触覚ディスプレイも動かしやすい方式である。また、触覚ディスプレイが図の領域外に出てしまうのを防ぐために外枠部分に磁気の発生領域を設けた。磁気だけではなく音によっても警告するようにした。

4. 評価実験

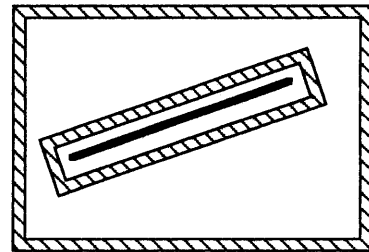
磁気ガイドの効果について検討を行うため、線分図形の長さや方向の認知実験を行った。被験者は成人男子9名であり、閉目条件で行った。実験に入る前に実験者が用意したマニュアルと主旨に準じた線図形を使用して十分な練習を行わせた。



(a)



(b)

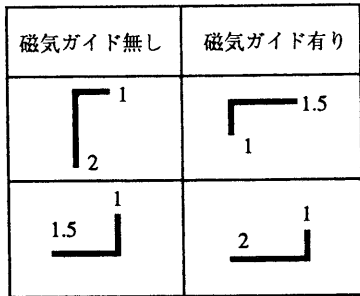


(c)

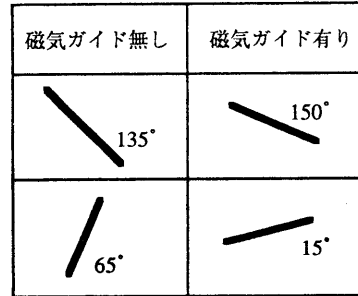
図4 磁気ガイドの動作領域

4.1 長さの認知実験

図5(a)は、長さの認知実験に用いた図形である。呈示図形は長さ以外の要素がなるべく入らないように単純なL字形の線図形とした。また、縦方向と横方向の触察の違いを排除するために、横線に比べて縦線の長いL字形図形と逆に縦線の方が短いL字形図形の2種類を呈示図形とした。図5(a)中に示した数値は縦線と横線の長さの比である。実際の長さは、数値“1”が60mmに対応する長さである。実験は、図5(a)の各図形に対して磁気ガイドを用いない方法と用いた方法で触図を行わせ、触図に要した時間を計測するとともに、被験者自身に触図した図形を描かせた。触図の正確さは、縦線と横線の長さの比を評価基準として算出した。

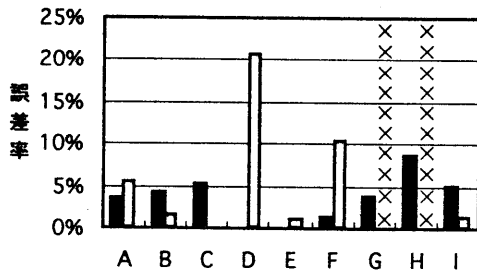


(a)

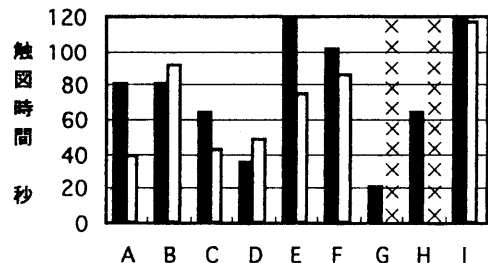


(b)

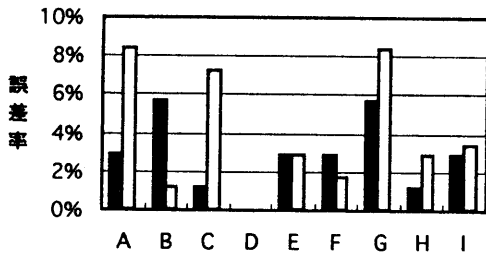
図5 呈示図形



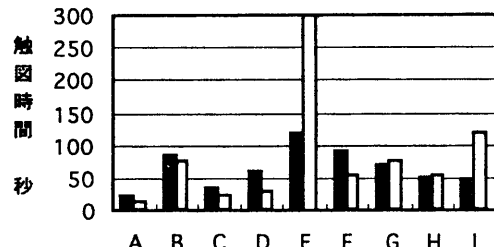
(a)



(a)



(b)



(b)

図6 触図の誤差。(a): 長さの認知, (b): 方向の認知

図7 触図時間。(a): 長さの認知, (b): 方向の認知

4.2 方向の認知実験

図5(b)は、方向の認知実験に用いた図形である。図中に示した角度は水平線に対する角度である。呈示図形は方向以外の要素がなるべく入らないように単純な線分とした。また、線分の方向による触察の違いを排除するために、各実験について角度の異なる2種類の線図形とした。実験は、図5(b)の各図形に対して磁気ガイドを用いない方法と用いた方法で触図を行わせ、触図に要した時間を計測するとともに、触図した図形を描かせた。触図の正確さは描かれた線分の角度によって評価した。

4.3 結果と検討

図6(a)は長さの認知実験の結果である。横軸は9名の被験者A~Iを表しており、縦軸は呈示図形の2線分の比と触図図形の2線分の比から算出した相対誤差である。9名の被験者のうち、被験者GとHは磁気ガイドを使用した触図に失敗した。この2名の被験者を除くと、磁気ガイドを使用してもしなくてもL字形といった単純な図形では触図の正確さに大きな違いは見られなかった。

図6(b)は方向の認知実験の結果である。縦軸は呈示した線分の角度に対する触図線分の角度の相対誤

差である。長さの認知実験と同様、線分といった単純な図形では方向認知の精度改善に磁気ガイドは効果を示さなかった。

図7(a)は長さの認知実験において、各被験者が触図に要した時間を磁気ガイドを使用しない場合と使用した場合について比較した結果である。被験者A, C, E, F, Iでは、磁気ガイドを使用した方が触図に要する時間は短かった。逆に被験者B, Dでは磁気ガイドを使用しない方が触図に要する時間は短かった。また、GとHは磁気ガイドを使用した触図に失敗した被験者である。

図7(b)は方向の認知実験に対する結果である。被験者A, B, C, D, Fでは、磁気ガイドを使用した方が触図に要する時間は短かった。逆に被験者E, G, H, Iでは磁気ガイドを使用しない方が触図に要する時間は短かった。

以上の結果から、線分という単純な図形の認知精度に磁気ガイドの有効性は認められなかった。しかし、触図に要する時間に関しては、長さの認知実験と方向の認知実験において被験者9名中5名に磁気ガイドの有効性が認められた。

評価実験の結果と被験者による意見に基づいて、磁気ガイドの改善点について検討する。先天盲児が物体の長さを知覚する方法には以下の3通りに分類されると言われている⁽⁴⁾。

1. 自分の身体の一部を測定の尺度とする
2. 筋運動感覚を基に判断する
3. 時間感覚の違いを手がかりとする

実験終了後に各被験者から確認したところ、被験者A, B, C, D, E, Fは分類1または2の方法で、被験者G, H, Iは分類3の方法によって長さを知覚していた。分類1または2の方法で長さを知覚する被験者群は磁気ガイドが有効に機能した被験者群と一致している。また、分類3の方法によって長さを知覚する被験者群は磁気ガイドが有効に機能しなかった被験者群と一致している。

分類3の方法によって長さを知覚する方法は、触覚ディスプレイを線分の一方の端から他方の端まで一定の速さで動かす、その所用時間の違いから長さを判断しようという方法である。もし、なんらかの原因で触覚ディスプレイを一定の速さで動かせないと、この分類3の方法で長さを知覚することは難しくなる。一方、分類1または2の方法で長さを知覚する被験者群に対しては、触覚ディスプレイを動かす速さはあまり影響しない。本報告で提案した磁気

ガイドは電磁石と鉄板の間に働く吸引力を利用している。この吸引力のために触覚ディスプレイを一定の速さで動かすことができないこともある。このことが、分類3の方法によって長さを知覚する被験者群に対して磁気ガイドが有効に機能しなかったことの原因である。従って、吸引力ではなく反発力を用いることができれば、滑らかに触覚ディスプレイを動かすことができるので、磁気ガイドは両被験者群に対して有効に機能するものと考えられる。

今回マウスパッドとして用いた鉄板は強磁性体である。強磁性体とその近くに置かれた磁石との間に働く力は、磁石の極性には関係なく常に吸引力である。これに対して、反磁性体では磁石との間に働く力は反発力である。例えば反磁性体であるビスマスの板をマウスパッドとして用いれば、反発力を利用した磁気ガイドが構成可能である。

5. むすび

本報告では、視覚障害者への図形情報の伝達を支援する小型の触覚ディスプレイを試作し、その有効性について検討を行った。図形の知覚精度に対して磁気ガイドの有効性は認められなかったが、触図に要する時間は磁気ガイドの使用によって短縮することが確認された。

今後の課題としては、反発力を利用した磁気ガイドを構成すること、複雑な図形の認知が容易となるような図形の呈示方法を検討することなどがある。

文 献

- (1) 清水, 篠原: “視覚障害者の3次元画像認識のためのエレクトロニクス”, 日本ME学会雑誌, 7, 7, pp. 8-14 (1993).
- (2) 医療福祉機器研究所 (編): “医療福祉機器技術研究開発成果報告書—盲人用三次元情報処理装置—” (1994).
- (3) 森, 佐々木: “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 (1993).
- (4) 佐藤: “視覚障害心理学”, 学芸図書 (1988).