

触覚伝達における三次元表示の有効性

清水 豊
筑波技術短期大学

盲人用3次元情報表示装置を開発する一環として、グラフィック・ターミナル部となる触覚ディスプレイに関する情報表示方式を人間特性の面から検討した。触覚ディスプレイの開発において事前に評価しておかなければならない問題は、触知ピンの間隔をどこまで細かく配列すればよいか、どのような触覚表示方式をとればよいか、使用時に指先から触知ピンにどれくらいの力が加わるのかなどである。触覚認知実験から、触知ピンの間隔は少なくとも3mm以下は必要であることを明らかにした。また、情報表示方式としては、輪郭線のような2次元表示よりも、レリーフのように3次元表示する方が分かりやすいことを明らかにした。このような結果については、晴眼者はもとより、先天盲でも中途失明者でも同様であった。

Importance of Three-dimensional Presentaion for Tactile Communication

Yutaka Shimizu
Tsukuba College of Technology

A tactile display was assessed to develop a three-dimensional graphic system for the blind from the view point of human characteristics. Graphic pattern which is depicted on the display is recognized by haptic exploration. Thus the considerations about the density of pin-array and presenting mode of information become important factors. From experiments, it was found that the arrangement of pin-array seemed to need less than 3-mm interspacing. Furthermore, it was found that three-dimensional presentation such as the relief image was effective than two-dimensional presentation such as the wire-frame image for the blind and sighted subjects.

1. はじめに

技術の進歩に伴って、視覚障害者の生活を支援する機器も、高度技術を利用する試みが盛んになってきた。こうした機器の研究開発に当たって、それらが利用者にとって役に立つものを追及するという思想はいつの時代においても普遍であるが、最近の情報処理技術の進歩は、本来の視覚情報に手を加えることによって、より分かりやすいインターフェイスの設計を指向しているといえよう。ここでは、盲人用触覚伝達装置を開発する場合、事前に検討すべき主要な課題である触覚ディスプレイにおける情報表示方式について行なわれた研究結果に関する報告を行なう。

2. 触覚情報伝達装置の必要性

情報化社会の中で主要な位置を占める文字や図形メディアの伝達に必要な視覚代行器について、インターフェイスとなる代替感覚系に視点を置いて、これまでに研究されてきた機器について概観してみると、図1のようにまとめることができる。

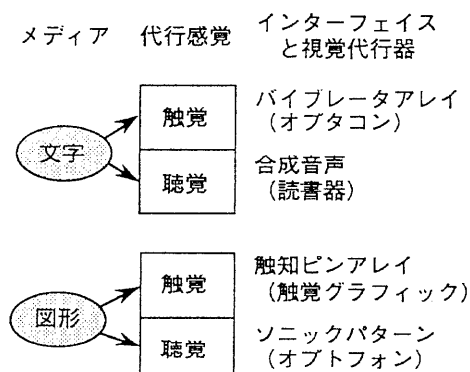


図1. 文字・図形の伝達方法

OCRや音声合成など情報処理技術の進歩に伴って、文字情報を視覚障害者に伝達する機器は、字形そのままを触振動子で表示したり、字形の空間関係に対応する音像

空間を表示するという方式から、音声合成器によって文字そのものを音訓表示する方式を採用する傾向が多くなってきた。

しかし、もう1つの主要な視覚メディアである図形の伝達においては、合成音声の恩恵に浴することは難しい。それは形状の幾何学的特質を全て音声表現で指摘しつづることが難しく、また、そのような音声表現から視覚障害者が形状を実際にイメージすることができるかなどの問題を抱えているからである。そこで、触覚に依存する形状情報の伝達の必要性は、今尚、必要であり、そのための装置開発研究は視覚代行器の中でも重要な問題である。

3. 盲人用3次元情報表示装置の概要と触覚方式

3-1 盲人用3次元情報表示装置の概要

図2は、現在試作中の盲人用3次元情報表示装置の模式図である。視覚情報はリアルタイムで撮像される視対象やパソコン内で計算されたグラフィック情報の場合と、エディタで作成されたオフラインのグラフィック情報を想定している。

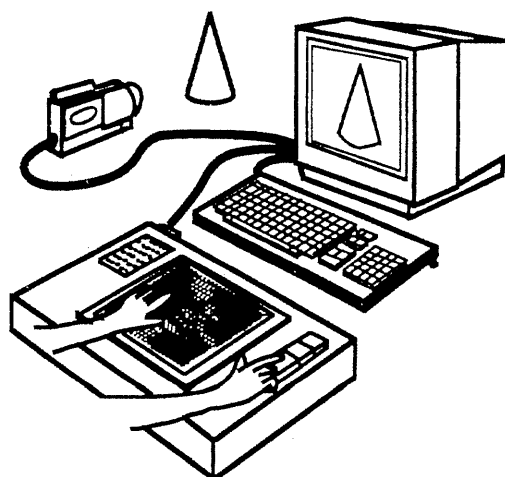


図2. 盲人用3次元情報伝達装置の模式図

使用者とのインターフェイスとなる触覚ディスプレイは、従来型のものとは違ってある点がいくつかある。1つは、図3 (a) に示されるように、触知ピンの配列が正方マトリックス状であった従来型のものに対して、ここでは、図3 (b) に示すように奇数列を偶数列とずらした六角形配置とする。また、たとえピン間隔が技術的製作の困難性から広がってしまったとしても、相互の間隙を埋めるようにピンヘッドを大きくする。それによってできる限り滑らかな表示面を構成する努力を図る。さらに、従来型のように触知ピンをグラフィック・イメージに対応させて一定の高さだけ浮上させるON-OFF型とは違って、対象の高さ方向についても多段階に浮上させること、即ち、対象の3次元表示をすることを特徴としている。

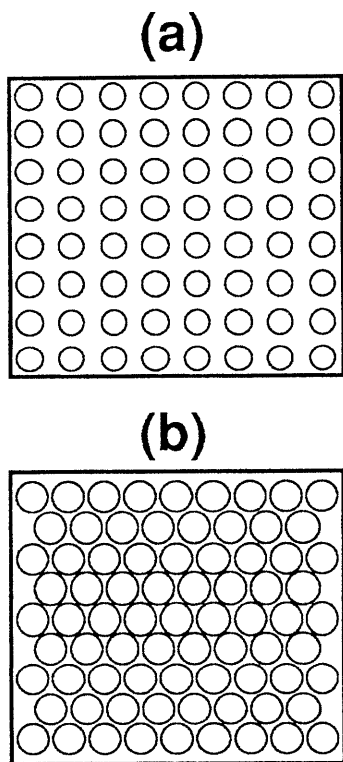


図3. ピン配列の例

3-2 触ディスプレイ開発における人間特性的問題点

このような触ディスプレイを開発するに当たって、人間特性の面から検討しなければならない問題がいくつかある。特に、われわれが採用しているディスプレイは小さな触知ピンを対象の位置に対応させて上下させるという機構をもつため、ピンの集積度に技術的限界を伴う。それゆえ、どのくらいの間隔までピン配置を許容できるかを知っておく必要がある。また、haptic perception に従った場合、それぞれの触知ピンにどれくらいの力が加わるのかという問題がある。その結果に基づいて、触知ピンを駆動するのに適切なアクチュエータを設計する必要があることである。さらに、どのような触覚表示方式をとれば、視覚代行器として有効に利用できるかという問題がある。

4. 触認知実験

4-1 実験用ピンディスプレイ

触覚実験のために試作した触知ピンモデルは、ピンヘッドを装填した接触子が上方方向に最高30mmまで自由に動かせるようになっている。上面から見れば、各ピンは既に指摘したように六角形状に配列されている。このようなモデルは、ピン間隔を2mmで配列したものと3mmで配列したものの2種類試作した。ディスプレイの触知範囲はどちらも120x120mmに統一したので、ピンの総数は、2mm間隔のものが3,927本、3mm間隔のものが1,827本である。

実験で提示されるパターンは、これらピンアレイの下に次項で説明するようなワイヤないしは粘土で形成した鋳型を挿入する。アクリル板の上に接着されている鋳型は、さらに、上下の微調整が可能なステージの上に固定する。その結果、触ディスプ

レイ上にはどれも一定の高さをもつ触パターンが、同じ手触りで表現できるようになっている。

4-2 2つの触情報提示方式と実験用パターン

触覚ディスプレイに表現する方式には2種類がある。第1の提示方式は2次元提示方式であり、従来、視覚障害者がグラフィックの教材を触るようなドットで表現されるパターンである。ここでは、このようなパターンを表示するために、ワイヤで形成した鋳型をステージの上に置いた。第2の提示方式は3次元提示方式である。これは物体の凹凸の形状に対応した面を構成する表現法である。実験用の触ディスプレイに対してこの方式を実現するために、粘土で凹凸をもつ物体の鋳型を作り、それを同じステージの上に置いた。

今回の実験で提示するパターンは、よく知られた物体を使用した。表現したパターンは、顔、手、りんご、さくらんぼ、魚、瓶、カップ、はさみ、スプーン、電気プラグの10種類であり、どれも視覚障害者が、日常、接しているものである。表示方向については、ここでは、ごく一般的というあいまいな表現に留めておく。これらのパターンそれぞれについて2次元表示と3次元表示を行なう。2次元表示された場合の触ディスプレイに現われるピンの高さは、どれも一定で1.5mm、また、3次元表示された物体の最大の高さはどれも10mmに統一した。

4-3 被験者

触覚実験では、被験者として盲人と晴眼者とを対比して使用することがある。この研究においても、実際の利用者が盲人であるため、晴眼者の他に、盲人被験者のデータをとることが不可欠である。そこで、先

天盲、中途失明者、晴眼者の3グループからなる被験者の構成に基づいて実験を行なった。その具体的構成は、先天盲被験者が9名(平均年齢27.7才)、中途失明被験者が9名(平均年齢40.2才)、晴眼者が10名(平均年齢24.5才)であった。

4-4 最適なピン間隔

視覚に比べて、触覚の分解能が劣っているとはいふものの、触ディスプレイに表示される対象が精細であることに越したことはない。しかし、今回検討しているような構造のシステムを開発する限りにおいては、技術的にも価格的にも可能なピンの配置間隔には制約が伴う。価格の問題は別として、ここでは3mm間隔の触ディスプレイと2mm間隔の触ディスプレイとでは触認識結果に相異があるかどうかを検討した。

触ディスプレイにパターンを提示したときに、被験者が認知した名称を記録すると共に、応答が得られるまでの反応時間を測る他に、触りやすさの計測も行なった。この計測は、物体の名称が分かったか分からなかったかは別として、それが触りやすいものであったか否かを主観的に-3から+3までの7段階の数値で判定してもらうという方法で行なわれた。評価基準としてあてはめる数値に対応する言語は、-3(極めて悪い)、-2(悪い)、-1(やや悪い)、0(普通)、+1(やや良い)、+2(良い)、+3(極めて良い)であった。

実験結果を被験者グループ毎にまとめた結果を示すと以下ようになる。図4(a)、(b)は提示パターンの正答率について示した結果、図5(a)、(b)は同じく反応時間について示した結果である。また、図6(a)、(b)は触覚的触りやすさの評価に関する結果である。これらの結果から、客観的に計測さ

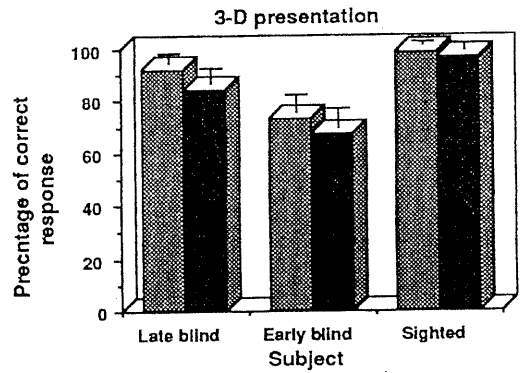
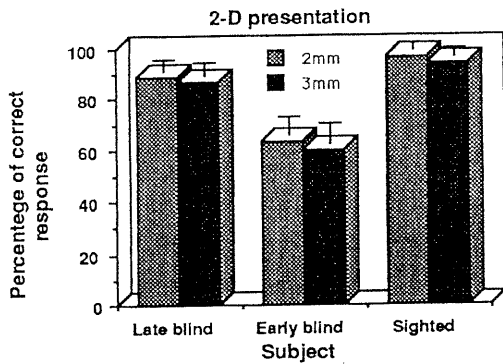


図4. 正答率に及ぼすピン間隔の効果

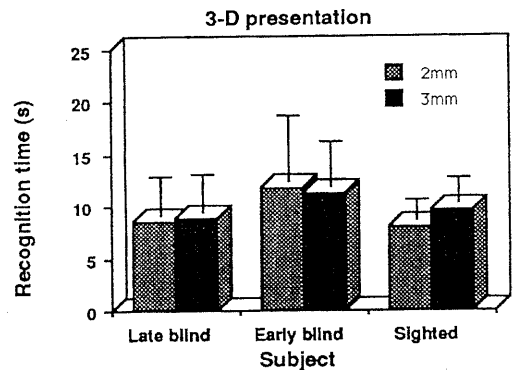
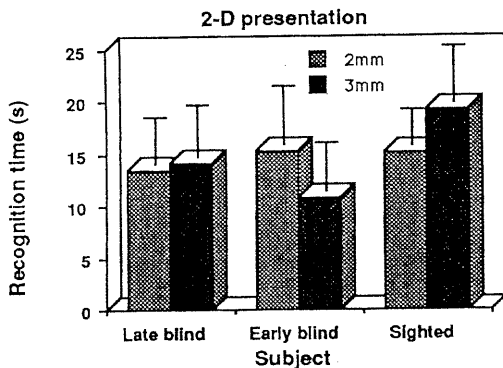


図5. 認識時間に及ぼすピン間隔の効果

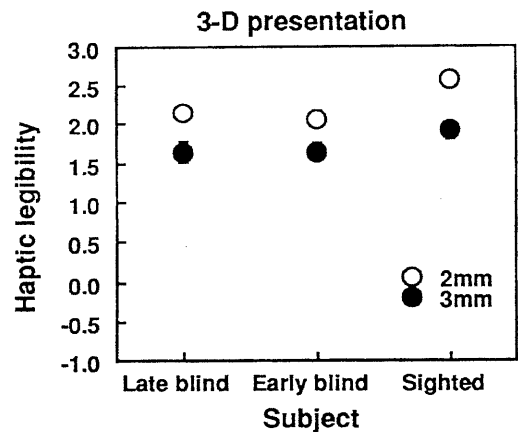
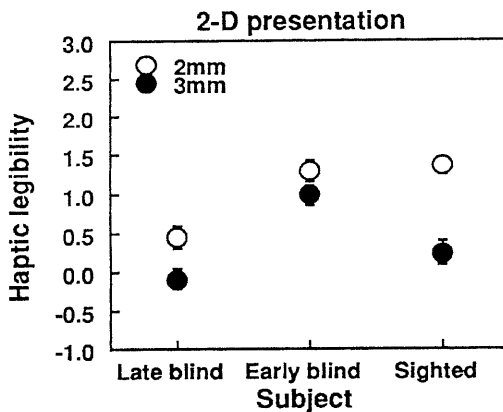


図6. 触りやすさに及ぼすピン間隔の効果

れた正答率と反応時間については、2 mm と 3 mm のディスプレイ間にはどの被験者グループにおいても、ほとんど差が認めら

れなかったが、被験者の主観に基づいて計測された触りやすさの評価では大きな相異が示されることが明らかになった。

以上の結果に基づいて検討を加えると、主観的には利用者は細かく滑らかな触ディスプレイを好むけれども、対象を認知する場合には3mm間隔のディスプレイでも有効であるといえよう。しかし、今回行の実験で使われたパターンが、名称付けの明らかな物体で、かつ、120 x 120 mmの範囲に提示されるという条件が付加しているということに注意をはらわなければならない。

4-5 2次元表示と3次元表示

一般に、晴眼者からみれば、視覚的3次元表示が現実感を表すものとして好ましいのに対応して、触覚的にも3次元表示は好

ましいと考えられるが、盲人の場合はどうであろうか。実験は前項に記述したものと同一であり、データの分析の仕方を変えたのが本項で説明しているものである。

図7(a),(b)は正答率について、2次元表示と3次元表示の比較を示した結果である。また、図8(a),(b)は反応時間の平均について比較した結果である。どの被験者グループについても、2次元表示よりも3次元表示の方が正答率が高く、かつ、平均反応時間も低くなっている。しかし、図中に示した誤差棒(標準誤差範囲)からも明らかなように、統計的検定によって有意となるのは先天盲の被験者群における正答率間の差(0.01%)のみであった。その理由は、中

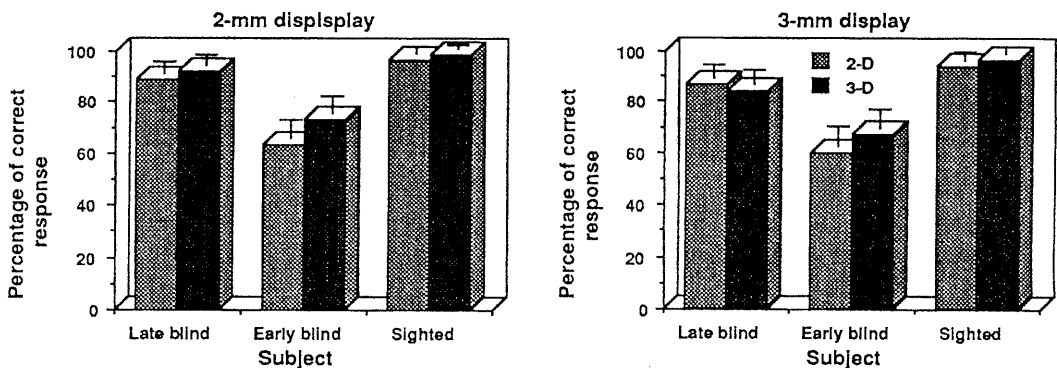


図7. 正答率に及ぼす2次元表示と3次元表示の相異

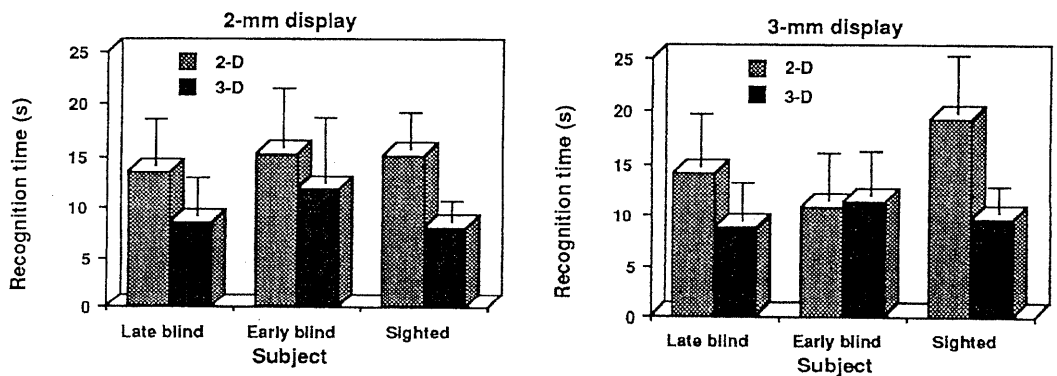


図8. 認識時間に及ぼす2次元表示と3次元表示の相異

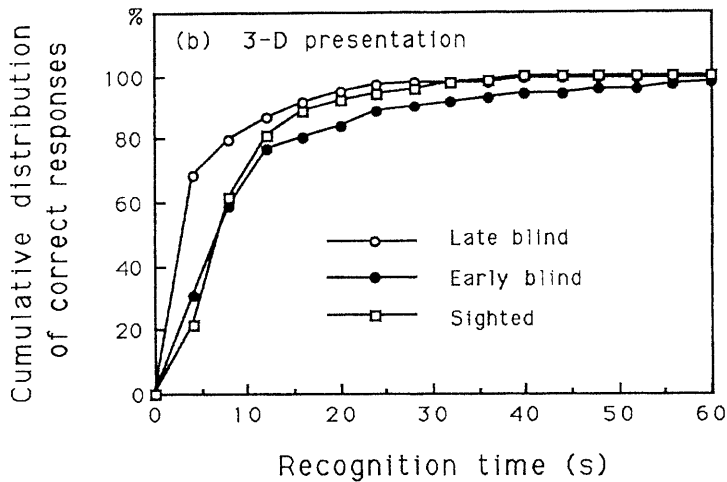
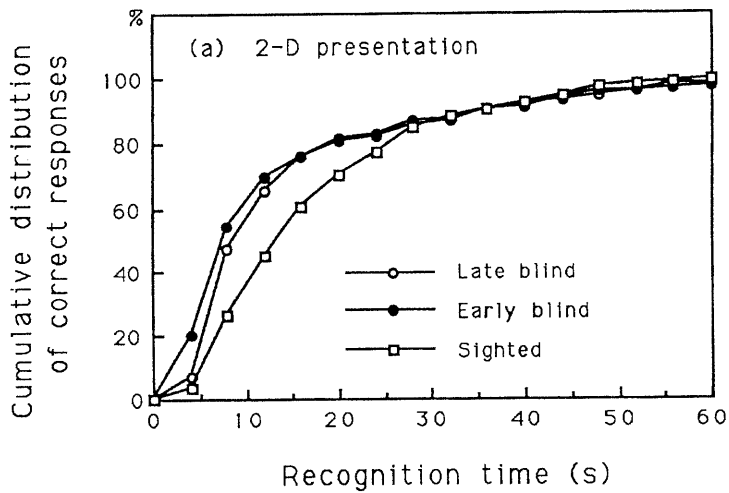


図9 (a), (b) 認識時間の累積度数分布

途失明者と晴眼者の結果が、正答率の点では2次元表示の場合も3次元表示の場合も100%水準に近づいているという天井効果によって、有意差が認められなかったものによるのかも知れない。

一方、反応時間については、それぞれの被験者、提示されたパターンによって相当ばらつきが現われるため、平均的傾向のみでは有意差が現われにくかったと考えられる。そこで、被験者グループ毎に正答と

なった反応時間の累積度数分布を描いてみた。図9 (a) は2次元表示の結果を、同様に図9 (b) は3次元表示の結果を示す。これらの結果に基づいて (a) 図と (b) 図とを比較すると、どの被験者グループについても、100%レベル（総度数）に近づく時間は3次元表示の方が速い。

さらに、触りやすさの評価については、既に示した図6からみても明らかなよう

に、3次元表示の方が2次元表示よりも好ましいと評価されている。

以上を総合して判断する限り、触ディスプレイにおける表示方式は2次元であるよりも3次元である方がよいという実験結果がどの被験者グループからも得られたといえよう。

4-6 被験者グループ間の相異

正答率について比較すると、先天盲被験者グループは2次元表示においても3次元表示においても、中途失明者や晴眼者グループよりも結果が悪かった。一般に、点や線などを弁別する能力は先天盲が優れているといわれている。今回、実験に使用しているのパターンであり、それゆえ、パターン認知と点や線などの触覚弁別とでは状況が相異していると考えられる。事実、2次元の輪郭線パターンの認知については、先天盲よりも中途失明者の結果の方が優れているという報告もあり(Heller,1990)、さらに、盲人の触覚パターン認識はあまりよくないという結果もいろいろと報告されている(例えば、Magee & Kennedy, 1980)。

従って、このような背景を調べる限りにおいても、今回行なった実験は異常な結果であるとはいえない。即ち、触感覚と触認識とでは情報処理様式が相異していることを裏付ける結果になったといえよう。また、中途失明者の結果は晴眼者との間で有意差が認められなかったことは、過去において視覚経験が存在していたことが関与しているからかも知れない。

5. 結び

今回行なった実験的検討から、触覚表示は、従来型の2次元表示に頼るよりも、3次元表示を行なった方が好ましいという結果を裏付けた。このことは、従来、2次元

表示に基づいて下された、触覚グラフィックは有効ではないという指摘を少しでも克服する1つの提案になったものといえる。しかし、ここで説明している装置の完成までには、ソフトウェアシステムの構築を含めてまだ時間が必要であり、検討すべき課題も多い。今後、一層の努力をはらわねばならない。

最後に、本研究は工業技術院製品科学研究所でなされたものである。予算的支援を賜った本院の関係諸氏、ならびに、製品科学研究所の同僚であった篠原正美、斎田真也の諸氏、盲人のデータ取得に協力を賜った国立特殊教育総合研究所の志村 洋氏に謝意を表する。

参考文献

- Magee, L., & Kennedy, J. (1980). Exploring pictures tactually. *Nature*, 283, 287-288.
- Heller, M.A. (1989). Picture and pattern perception in the sighted and the blind: the advantage of the late blind. *Perception*, 18, 379-389.
- Shimizu, Y. (1986). Tactile display terminal for the visually handicapped. *Displays*, 7, 116-120.
- Shimizu, Y., Saida, S., & Shimura, H. (1991). Development of 3-D Tactile Display for Blind Computer Users. *Proc. of the 11 th International Ergonomics Association*, 3, 214-242.