

視覚障害者用3次元触覚ディスプレイについて

篠原正美

製品科学研究所

近年のパーソナルコンピュータの進歩は、視覚障害者もある程度利用できる状況を作り出しているが、画面の複雑化やグラフィクスの導入は、それらへの有効なアクセス手段を増すための新たな方法が望まれている。実際、現状では視覚障害者が、視覚ではたやすい画面上の図形を知覚することが殆どできない。本稿では、これまでの視覚代替ディスプレイ技術を概観し、可能性を持ったメカニズム、3次元触覚ディスプレイの概念について議論を行った。

THREE-DIMENSIONAL TACTILE DISPLAY FOR THE BLIND

Masami SHINOHARA

Industrial Products Research Institute

1-1-4, Higashi, Tsukuba-Shi, Ibaraki 305, Japan

In recent years, personal computers have, to a certain extent, been adapted to the needs of the blind. However, as computers become more visually complex or graphic, new strategies are needed to augment the available approaches to provide access. Indeed, few of the pictures visually accessible on a computer screen are presently within the perceptual reach of blind persons. This article reviews past alternative display techniques and discuss possible mechanisms---i.e. 3-dimensional tactile display.

はじめに

「重度視覚障害者に、如何にして図形情報を伝達するか」というテーマは、近年徐々にではあるが、関心が払われるようになってきた。それは、一昔前には特殊なものとされていたコンピュータが、今やごく日常的なものになってしまったように、コンピュータを核とした情報関連技術の急速な進歩が、情報化社会という言葉で表現されるような生活の質の変化を、強力に推進しつつあることに歸するところが大きい。何故ならば、一般の人々が、日常性を維持しつつ、直観的・感覚的かつ速やかに情報を取得できることは重要なことであり、図形の使用が極めて有効的な手段であることは疑いのないところである。例えば、コンピュータ・インターフェースにおけるGUIの浸透などは、その典型と見なせる。また、各種情報ネットワークによるサービスや公共空間でのガイドなど、公私を問わず、日常生活の中で情報サービスを受ける機会が増加しており、そこでも図形が主要な地位を占めている。一方、そうした状況に対処するための支援技術はどうであろうか。詳しくは次節に譲るが、文字情報を伝達する（音声化、点字化）技術はある程度の熟成をみたものの、図形処理についてはこれからの感が強い。特に、触覚を利用しようとする場合、ハードウェア、より端的にはアクチュエータ構築の困難さがある。また、ソフトウェアの視点からは、日常的に提供される図形情報が、暗黙の内に晴眼者を念頭に置いており、視覚によるパターン認識能力が仮定されているという問題がある。デスクトップ・アイコンのような特殊なグラフィカル・シンボルは例外として、一般的にはこうした「見えに関わる常識」の処理が、図形の伝達を行う場合、十分に考慮されねばならない。

以上の状況を踏まえて、我々は昨年度より触覚ディスプレイの研究に着手しているが、本稿では基本的な考え方を紹介し、併せて、予備的な実験の結果について若干触れることとする。次節以降の構成は、1節で視覚代替ディスプレイの研究を概観し、2節で本研究の目指すものを、3節で現在進行中の予備的実験の一部を紹介する。

1. 視覚代替ディスプレイの現状

この節では、これまでの視覚代替研究の幾つかを、簡単に紹介する。図1は人間の感覚の一つの分類であるが、その中で網を掛けた部分が、従来より視覚の代替に用いられてきたものである。但し、触覚と圧覚については明確な境界がなく、むしろ触覚と振動感覚とした方が、今後の議論には都合がよい。

視覚を代替する研究は、モビリティを支援するための外界認識および読書を支援することを目的としたものが多く、コンピュータ・インターフェースを目指したものは、最近になって盛んに行なわれるようになった。従って、先ず前者の例を紹介する。超音波やレーザー光による対象物からの反射波の状態を、音に変換して伝達しようとする試みは、1967年のL.Kay¹⁾らを始めとして今日まで幾多の研究が継続されているが、とりわけ、超音波センサの出力を可聴音に変換して、対象までの距離、対象の大きさやキメなどを認識させるSonicguide²⁾は、S.Aitken³⁾による認知的研究によって知られている。文字情報の伝達を目的としたものには、1920年のE.E.F.d'AlbeによるOptphone⁴⁾を始めとして数多くあるが、1979年に文字のパターン認識結果を合成音声出力するKurzweil Reading Machine (KRM)⁵⁾が発表されて、この研究は大きな転機を迎えた。KRMはさらに改良が施され、現在では非常に良質の音声出力とハンドスキャナーを備え、アタッシュケース並のコンパクトな本体にまとめられている。

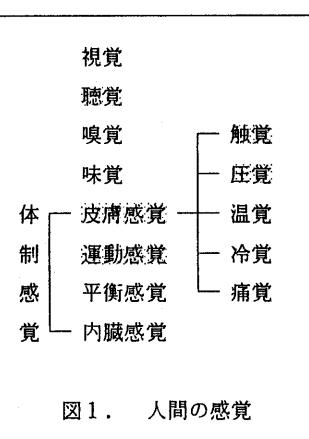


図1. 人間の感覚

以上は、聴覚にインターフェースするものであったが、次に、触覚にインターフェースするものを紹介する。モビリティ支援を目的としたものとして、外界の光学像を触覚パタンに変換して身体各部位に提示する試みが、1970年のC.C.CollinsらによるTVSS⁶⁾を始めとして幾つか行われている。しかしながら、点字ディバイスは別として、実用化されかつ広範に普及している唯一のものが、Linvilleらによって1966年に発表されたOPTACON⁷⁾である。これは、24×6 本の圧電振動子を用いて、印刷（主として文字）パタンを振動パタンに変換し、人差指に伝達するものである。これは、使いこなす迄にかなりの訓練を要し、字形の複雑な漢字との相性は、必ずしも良いとはいえないが、各種アクセサリーの充実によってもたらされる「ルーベの手軽さ」が、大きな成功の主要因であったと思われる。最近の改良によって、時流に合わせてコンピュータの端末としての機能が強化され、コンパクト化、低廉価が図られている。

ところで、上述のKRMやOPTACONなどは、何れも近年コンピュータの音声端末、触覚ディスプレイ端末でもあることが充分に意識されているが、それでは、現在のグラフィック化の流れの下での視覚代替ディスプレイはどうであろうか。G.C.Vanderheiden⁸⁾は、視覚表示情報を11のタイプに分類し、各々に対する可能な代替メカニズムについてレビューしている。それを、表1に引用する。11のタイプとは、表1の9タイプにAnimated imageおよび3-dimensional imageを加えたものである。表からも、聴覚と触覚の相補的利用の重要性と触覚利用技術の立ち遅れ、図形への対応の困難さが推察される。

2. 本研究の目指すもの

冒頭に述べたように、図形には対象を図形化する過程で、視覚に基づいた暗黙の了解があり、その了解のもとに受け手も情報を取得する。従って、視覚図形と相似な平面図形を

表1. 視覚代替ディスプレイ技術の要約
(J. of Visual Impairment & Blindness October 1989 より)

| Information Type | Display Technique |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Running Text | <ul style="list-style-type: none"> • Braille (single character, 1-40 cell, or full page) • Speech • Tactile image (Optacon) • Morse code (auditory and tactile) |
| Text Attributes | <ul style="list-style-type: none"> With speech... <ul style="list-style-type: none"> • Announcement • Background tone (presence, pitch, volume, apparent direction) • Sound (presence, type, pitch, volume, apparent direction, short or continuous) • Speech attribute (timbre, voice, volume, pitch) • Environment (echo, tremolo) With braille... <ul style="list-style-type: none"> • See items listed under "With Speech" • Frequency of pin vibration • Slow pulse of pins • Extra pins at top or bottom of text • Separate tactile or electrotactile stimulator |
| Spatially Related (Text) Information | <ul style="list-style-type: none"> • Apparent source of speech • Pitch • Haptic sense (with haptic tablet or joystick) • Haptic with tone • Tactile tablet (full or virtual) (with tones, speech) • Grids • Temporary ridges • Lockable tracking mechanism • Driven cursor (puck, mouse, joystick) • Direct request (voice or keyboard) • Best match(es) • High/low-speed scan • Direct control scan (slider with indents or puck with ridges between choices) • Search/read a block of text |
| Pick from List | <ul style="list-style-type: none"> • Concurrent sound (beep, tone, or sound) • Speech announcement • Tactile stimulator (vibrator or electrotactile stimulator) • Olfactory |
| Interruption/Alert | <ul style="list-style-type: none"> • Speech • Tone and echo location • Pitch and repetition rate of beep • Pitch and timbre • Virtual source • Braille • Tactile direction indication • Haptic table with auditory or tactile cross hair (absolute position) • Driven mouse/puck (absolute position) |
| Directing | <ul style="list-style-type: none"> • Recognized and announced (by number or name) • Image interpretation with verbal output (see above for text display approaches) |
| Icon image | <ul style="list-style-type: none"> • High-resolution, full tactile tablet • Pressure-sensitive full tactile tablet (with tones, speech) • Virtual tactile tablet (with tones, speech) • Driven puck, graphics, or tactile tablet (using guided or constrained movement) • Object drop-out • Z-oriented images • Image interpretation |
| Stereotypic image | |
| Pictographic image | |

何らかの形で表現して他感覚にインターフェースしたとしても、それが解釈可能であるという保証はない。例えば、2次元ディスプレイ上の2次元图形を見て、晴眼者は、それが複雑な图形を単純图形の組合せであることや、あるいはそれが3次元立体であることが自然に判るのである。これに対して、触覚の場合、小柳ら⁹⁾は2次元图形における「全体一部分関係」の認識を、寺島ら¹⁰⁾は3次元立体と透視図との対応付け認識についての実験的検証を行い、それらが非常に困難であることを見い出すとともに、学習によってある程度認識可能となることも実証した。多少の飛躍があるが、2次元图形を疑似的に3次元图形にすることによって、また、3次元立体と透視図との関係を媒介する中間像（レリーフ像）を構成することによって、こうした「見え」に関わる暗黙の知識が（明示的かも知れないが）身に付く可能性があると考えたわけである。その観点から、聴覚よりもより形状把握が容易な触覚を選び、Sonicguideのように、認識主体の運動が本質的な役割を担うという観点から、奥行き測定光学系と多階高（通称3次元）触覚ディスプレイとの組合せを選んだ。コンピュータ端末として見た場合、多階高は例えば色のような絵素または图形エレメントの属性を表現する手段ともなりうる。聴覚以外の感覚として、TVSSのような皮膚電気刺激、温覚、静電吸着による抵抗感などを用いるものがあるが、分解能、順応、安全性、特に認知の能動性の総合的な観点から排除された。能動性については、触察においても自由に触らせた場合の方が形の弁別がうまくいくとされている。触ではなく触運動が重要であるということである。

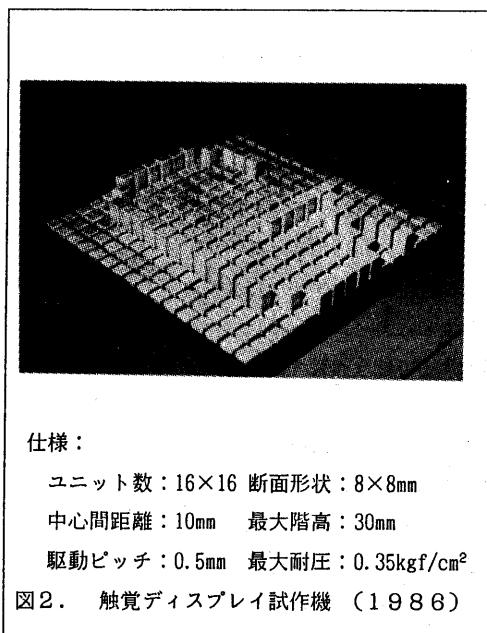
それでは、3次元触覚ディスプレイの満たすべき固有な仕様について考えてみよう。

- ①分解能：触覚における2点弁別しきいに近付けること。圧点の密度は最も高い手指第3間接内側で100点/cm²とされているが、実際の弁別しきいは2mm前後とされている。
- ②滑らかさ：曲線や曲面のある程度の滑らかさが確保されねばならず、曲線特に円图形を考えると、次節で述べるような千鳥格子が有望である。また曲面については、階高弁別しきい以下のステップで駆動制御の必要がある。
- ③駆動力：触圧に耐えうる駆動力が必要である。
- ④駆動速度：ファンタム・センセーションや仮現運動といった効率化に貢献する現象が利用可能である。
- ⑤手で包み込むような触察を可能とするような高さが必要である。

具体的には、図2に示した試作機の精密版を想定している。

3. ノンアクチュエータ・ディスプレイによる予備実験

本質的に、こうした触知実験は、豊富なバリエーションを持つ実動機を用いて行われるべきである。しかしながら、コストの制約から、図3に示すような仕様のノンアクチュエータ・ピンディスプレイを3種類（ピン間隔 2.0, 2.5, 3.0mm）を試作し、アクチュエータ構成のための検討を開始した。検討事項は大きく3つに分かれている。先ず、こうした3次元表示が本当に有効であるか否かを、日常的なものの線图形とレリーフパターン（図4）を用いて比較検討する実験、触知時にピンに掛かる押圧を計測す



仕様：

ユニット数：16×16 断面形状：8×8mm
中心間距離：10mm 最大階高：30mm
駆動ピッチ：0.5mm 最大耐圧：0.35kgf/cm²

図2. 触覚ディスプレイ試作機（1986）

る上記③に関わる実験、および②に関わるいわば白黒ディスプレイにおける階調の検討を行うための実験である。④⑤はそれらに順じて行われる予定である。実験は分担して行われているため、本稿では、筆者が行った3番目の予備実験の結果に絞って、紹介する。

(1) 実験方法

予備実験は、ピン間隔2mmのモデルを用いて行われた。実験は2段階に分かれる。一つは1点のみを突出させて、ディスプレイ支持台上手前ピン領域外から触察を開始して、ピンの突出の有無を応答させ、そのしきい値を調べるもの

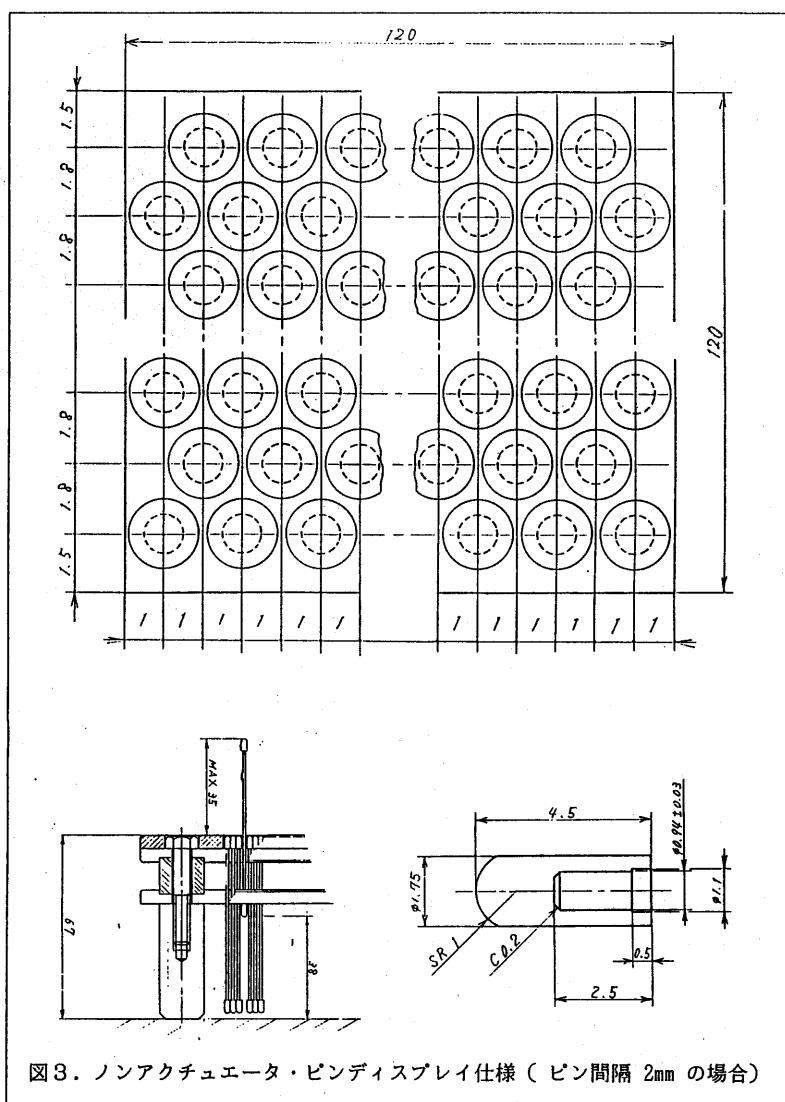


図3. ノンアクチュエータ・ピンディスプレイ仕様（ピン間隔 2mm の場合）

である。これは、アクチュエータ装着時の面性維持の精度を規定するものである。もう一つは、2ピン間の階高差の弁別しきい値を、4種類のピン階高（1, 2, 4, 8 mm）および3種類のピン中心間距離（16, 30, 46mm）について調べるものである。ピン階高の制御は、0.02mmのピッチを持つxz光学ステージを用いて手動で行われ、最初の面調整は小半径の錐の平面を利用している。しきい値は上昇系列を用いた極限法によって求めた。被験者は晴眼者2名（A：48才男性、B：26才女性）で、実験中はアイマスクを装着している。応答は、最初の実験では「ここが出てる」または「どこも出てない」、2番目の実験では「右」、「左」、「同じ」というように、何れも口頭で得ている。触察方法は自由とし、時間の制約も課していない。実験は1人当たり2日を要し、距離高さの組合せで、1組10試行とした。但し、表2に示したように、被験者間で1試行の形態が異なっている。組合せの順序は、ピン階高から距離へと移行している。組合せ間の休憩は、通常原則として5分とし、自己申告により、15分程の休憩を挟んでいる。ティータイム、昼食も挟むこととなつた。実験終了後に、総括的な感想を述べてもらつ

ている。

(2) 結果と考察

ピン突出識別しきい値

被験者A、Bともに10試行ずつ行い、Aについては、[最大値：0.2、最小値：0.15、平均値：0.165、標準偏差：0.133]、Bについては、[最大値：0.2、最小値：0.1、平均値：0.135、標準偏差：0.139]（単位はmm）を得た。通常のこうした計測は、滑らかな平面上で行われることが多く、極端な場合、複写印刷のトナーの凹凸も識別できるほどの能力を備えている例も報告されているが、このディスプレイに限っては、0.1から0.15mm程度には面の精度を保つ必要があるのではないかと考えられる。ちなみに、標準的な点字の点の突出高は0.4から0.6mmとなっている。

ピン階高差弁別しきい値

被験者Aについては上昇系列および下降系列両方のしきい値を記録し、Bについては上昇系列のみを記録した。グラフ化するにあたっては、上昇系列のみを用いたため、Aのサンプル数はBの半分となっている。試行例は表2に示したように、RまたはEからLに移行してかつしが連続して現れた場合の、前方のLに対応する数値を、しきい値として採用している。Lの直後にEまたはRが現れた場合は、そのまま試行を継続した。また、各試行の初期値は、前試行で求められたしきい値から0.5mm加減した値とした。ただし、各組最初の試行の初期値は、ピン階高1および2mmの場合が0.5mm、4mmの場合が1mm、8mmの場合が1.5mmを各々減じた値としている。A、Bの各試行を、ピン階高とピン間距離の組毎にまとめ、平均と標準偏差軸上にプロットしたのが図5である。あくまで予備実験のレベルで、統計的な考察を加える余地はないものの、距離の効果が希薄であり、この距離範囲では階高としきい値とがある種の単調関係を持つのではないかとの雰囲気を得た。ただし、ピン上降機構の制約から、より近距離での実験ができなかったが、同時触知可能距離では、階高依存の傾向が変わるものではないかと予想している。

恒常法や調整法が可能なメカニズムに改善することにより、統計的議論に耐えうるデータを収集すること

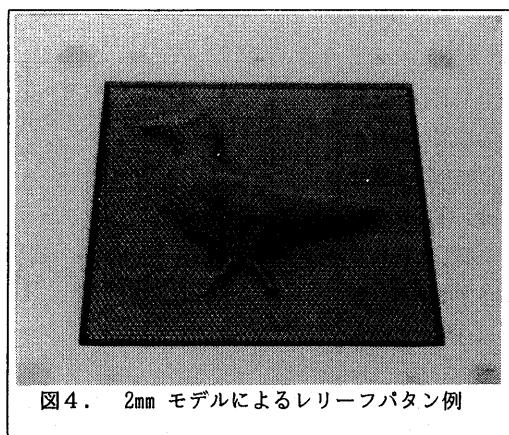


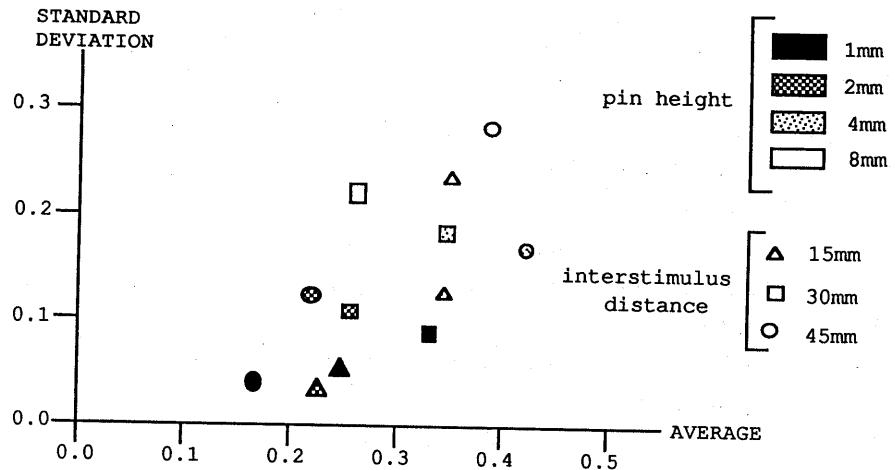
図4. 2mm モデルによるレリーフパターン例

表2. ピン階高差弁別実験における試行例

| 被験者A | | | 被験者B | | | | |
|------|---|---|------|----|------|---|---|
| 系列 | 1 | 2 | 3 | 系列 | 1 | 3 | |
| 方向 | ↑ | ↓ | ↑ | 方向 | ↑ | ↓ | ↑ |
| | | | | | 3.80 | | R |
| 4.00 | R | R | | | . | . | . |
| 05 | R | . | . | | . | . | . |
| 10 | R | . | 4.00 | R | . | . | . |
| 15 | R | . | . | | . | . | . |
| 20 | R | . | . | | . | . | . |
| 25 | R | R | 20 | R | . | . | . |
| 30 | R | R | 25 | E | R | R | |
| 35 | R | R | 30 | L | R | R | |
| 40 | E | R | 35 | L | E | R | |
| 45 | E | E | 40 | E | E | | |
| 50 | E | E | 45 | L | E | | |
| 55 | L | L | 50 | L | E | | |
| 65 | L | | 55 | L | L | | |
| 70 | L | | 65 | L | | | |
| . | . | | 70 | L | | | |
| . | . | | . | . | . | | |
| . | . | | . | . | . | | |
| 5.00 | L | | 80 | L | | | |

が、次の課題である。

被験者A



被験者B

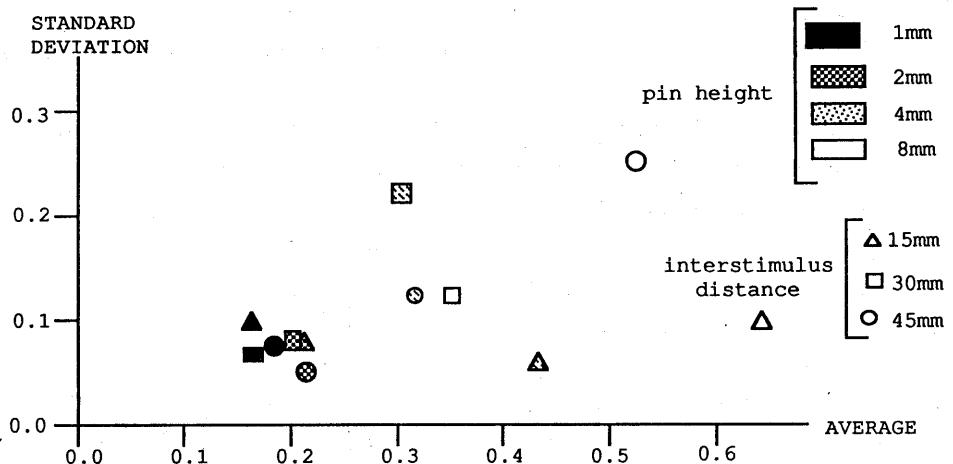


図5. ピン階高およびピン間距離を変化させた場合の階高差弁別しきい値の変化

おわりに

視覚障害者のための3次元触覚ディスプレイについて、未だ概念モデルから大きく踏み出してはいない段階ではあるが、基本的考え方と若干の検討事例を示した。こうした領域には、常に大きなリスクがある。一つは、我々自身が確たる根拠のない大きな（希望的）仮説の上に立っているということである。「視覚図形を大きく加工せずとも、触察によって図形が理解できる状況が作り出せる可能性」を肯定しているのである。これは、何回も繰り返し述べているように、「視覚における暗黙の了解」を身に付けることと同じである。このこと自体が、根底から覆される可能性がある。ただ、幸いなことに、こういった装置がなければ、その検証自体が不可能に近い。また、センサやコンピュータの長足の進歩が、概念から実現へと後押しをしている。もう一つは、逆にハードウェアに由来するリスクである。周知のように、要請を満足するようなサイズのアクチュエータは現存しない。今まで潜在的には望まれながら、一般的に見れば、極めて特殊な領域である。これについても、幸いなことに、民間企業との協力関係が確保されている。

以上の環境の中で、「実体を触知する。ある点から見たそのレリーフ像を触知する。レリーフ像の縮退した線画を触知する。それらの関係を理解し、知識として獲得する。」という体験的学習状況が生まれることが、究極の夢である。

最後に、本稿を書くにあたり、有益な助言を頂いた製品科学研究所基礎人間工学部感覚情報工学課長清水豊氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) L. Kay :A soner and to enhance spatial perception of the blind, Engineering design and evaluation, The Radio and Electronic Engineer, 44, 11, 605-629, (1974).
- 2) J. A.. Brabyn, H. R. Sirisena & G. R. S. Clark :Instrumentation systems for blind mobility aid simulation and evaluation, IEEE Trans., Biomedical Engineering, BME-25, 556-562, (1978).
- 3) S. Aitken & T. G. R. Bower :Intersensory substitution in the blind, Journal of Experimental Child Psychology, 33, 309-323, (1982).
- 4) E. E. F. d'Albe :The Optophone :An instrument for the reading by ear, Nature, 105, 295-296, (1920).
- 5) G. L. Goodrich, R. R. Bennet, W. R. de L'Aune, H. Lauer & L. Mowinski :Kurzweil reading machine :A partial evaluation of its optical character recognition error rate, Visual Impairment and Blindness, Dec., 389-399, (1979).
- 6) C. C. Collins :Tactile television-mechanical and electrical image projection, IEEE Trans., Man-Machine Systems, MMS-11, 1, 65-71, (1970).
- 7) J. G. Linvill & J. C. Bliss :A direct translation reading aid for the blind, Proc. IEEE, 54, 40-50, (1966).
- 8) G. C. Vanderheiden :Nonvisual Alternative Display Techniques for Output from Graphic-Based Computers, Journal of visual Impairment and Blindness, Oct., 383-390, (1989).
- 9) 小柳恭治：触覚の世界，光生館，(1977) .
- 10) 佐藤泰正：視覚障害児の心理学，学芸図書株式会社，(1973) .