

仮想音響スクリーンを用いた盲人用 文字図形筆記支援システム

伊東 一典* · 稲垣 嘉洋** · 米沢 義道*** · 橋本 昌巳****

A Support System for Handwriting Characters and Drawing Figures for the Blind Using a Virtual Auditory Screen

Kazunori ITOH*, Yoshihiro INAGAKI**,
Yoshimichi YONEZAWA***, and Masami HASHIMOTO****

Recently, the number of adventitious blind has increased because of traffic accidents and diseases. It is difficult for the old aged adventitious blind to learn Braille. We have been studied a method of transmitting pictorial information through auditory sensation as a sensory aid for the visually handicapped. This method utilizes the control of sound lateralization. In this paper, we propose a sound support system which helps the adventitious blind to handwrite characters and to draw figures by using feedback of sound imaging signals. Handwriting patterns can be expressed on a virtual auditory screen perceived with headphones listening. In this system, pen positions on the tablet are converted into point sound images. We design a virtual auditory screen which is based on accuracy of sound image location. We also examine the possibility of handwriting and drawing by using this system.

1. はじめに

現在、わが国には約 33 万人の視覚障害者がおり、年々高齢者の割合が高くなっている。最近では医学の進歩により、先天的な障害者は減少傾向にあるが、交通事故や糖尿病などによる中途失明者は増加している。高年齢で失明した人は、新たに点字を覚えることが困難な場合が多く、失明前のように文字を書いたり絵を描くことを望んでいる。

視覚障害者の文書作業を補助する技術¹⁾の進歩に伴い、盲学校や福祉施設に情報機器が導入され、盲人が音声出力機能を有するパーソナルコンピュータおよびワードプロセッサを用いる機会が多くなっている。これらの装置は文字の形を知らなくても使用できる利点

* 情報工学科 助教授

** 大学院博士前期課程情報工学専攻

*** 情報工学科 教授

**** 情報工学科 助手

がある。しかし、盲人が普通の文字(墨字)を学んだり、文字や図形を筆記するための補助には、レーズライター²⁾があるのみである。これは弾力性のあるゴム板上に特殊紙を乗せ、ボールペンで筆記して、その隆起部分を手でなぞるもので、リアルタイムで現在の筆記位置を知らせたり、文字および図形の形状を把握させる装置はほとんど見られない。また、コンピュータへの入力方法として、手書き入力方式³⁾が有望視されているが、現在のところ視覚障害者はこれを利用することができず、福祉分野におけるヒューマンインタフェースの研究の必要性が指摘されている⁴⁾。

ところで、我々の聴覚は物音からその位置を把握したり、危険を察知することができる。このような聴覚による空間知覚は両耳に入る音響情報を巧みに処理して行われるもので、音像定位と呼ばれている。したがって、この音像定位を模擬すれば、聴覚空間の任意の位置に点音像を設定することが可能で、この点音像を歩行路上の障害物、文字や図形などの画素に対応させると、歩行補助や画像情報の伝達補助が期待できる。

この発想をもとに、我々は音像定位を利用して、聴覚を通して画像情報を伝達する方法を種々検討してきた^{5),6)}。現段階では、聴覚は視覚に比べて受容情報量が小さいこと、ヘッドホン受聴では音像定位の模擬が十分に行えないことなどの理由から文字や図形の伝達は簡単なものに限られている。しかし、このような制約はあるものの、中途失明者に対する文字や図形の筆記支援は本方法でも可能ではないかと思われる。それは手の感覚のみで、ある程度筆記できるので、筆記具の位置情報、文字や図形などの形の情報、マスの情報など紙面の所定の位置に筆記できる情報を音響信号によって提供すればよいと考えられる。

そこで、第1段階として、ヘッドホン受聴によって知覚される仮想音響スクリーンを通して、筆記具の先の位置情報を、視覚障害者に伝える筆記支援システムについて検討を重ねている^{7)~9)}。

本論文では、初めに本システムの仮想音響スクリーンの構成法を述べ、次に筆記支援の可能性について種々検討したので、それらの結果を述べる。

2. 音像定位と仮想音響スクリーンの構成法

音像定位は両耳で行われるので、聴覚空間を Fig.1 に示すように、頭部を中心として(a)左右、(b)上下、(c)遠近、の3感覚に分解して考えることにする。

左右感すなわち水平面の定位要因は、両耳に入る音響信号の両耳間レベル差および両耳間時間差である。上下感すなわち正中面の定位は、耳介での音の反射、散乱が重要な鍵を握っていると考えられているが、まだ不明な点が多く、最近では頭部伝達関数の測定が重要視されている。また、我々の聴覚は高い周波数の音は高い位置に、低い周波数の音は低い位置に音像を知覚する傾向があり、これは方向決定帯域と呼ばれている。遠近感すなわち距離知覚に関連しており、音のラウドネスが重要な決定要因で、直接音と間接音のエネルギー比なども定位に関係しているが、上下感と同様にその傾向の解明は今後の課題となっている。したがって、現在のところヘッドホン受聴によって実空間の音源を模擬する方法としては、頭部音響伝達関数を推定して音源に畳み込む方法¹⁰⁾が最も有力である。しかし、

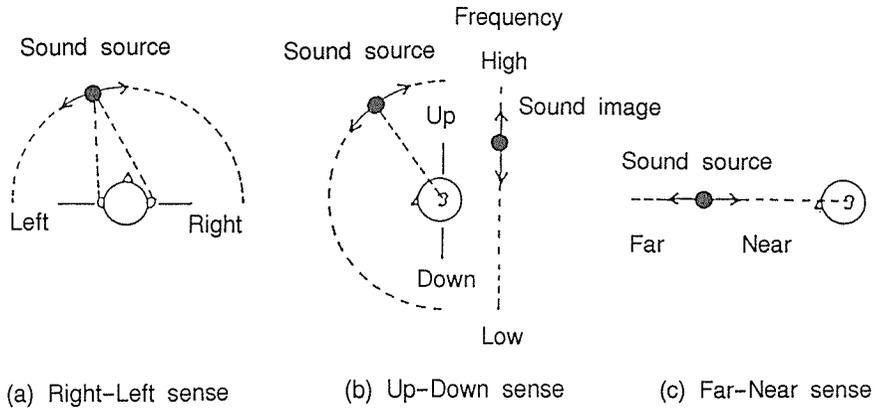


Fig.1 Schematic illustration of the sound localization.

効果的な音像の合成には至っておらず、複雑なデジタル信号処理を必要とする。

これらの知見から、本研究では点音像の合成の可能性と容易性を考慮して、仮想音響スクリーンの構成は左右を両耳間時間差および両耳間レベル差、上下を呈示音周波数の変化の定位要因で行うことにした。

そこで、仮想音響スクリーンの呈示音と紙面上の位置関係をそれぞれの定位要因について検討した。被験者は晴眼者で、聴覚の正常な成人男性 3 名、呈示音は $T_{on} = 30\text{ms}$, $T_{off} = 10\text{ms}$ の正弦波短音、聴取レベルはピーク時に 80dB(SPL) である。

まず、左右方向の両耳間時間差または両耳間レベル差を付加した呈示音を与えたときに、頭内に定位する音像と「右」「中心」「左」の印を付けた紙面上の直線上の位置との対応について調べた。ここで、左端と右端の印の間の距離は 3cm と 17cm の 2 種である。3cm は、小学生が初めて文字を習う時の枠の大きさに相当し、17cm は、両耳間の距離にほぼ相当するもので、頭内の音像位置を紙面上に投影しやすいと考えた。

左右の印の間隔が 3cm と 17cm の場合の差異はほとんどみられなかったので、3cm の場合について、その結果を両耳間時間差について Fig.2 に、両耳間レベル差について Fig.3 に示す。両図から、音像と直線上の位置との対応が直線的で飽和しない呈示音パラメータの範囲は、両耳間時間差では $\pm 0.6\text{ms}$ まで、両耳間レベル差では $\pm 20\text{dB}$ までである。そこで、 $\pm 0.6\text{ms}$ までの両耳間時間差と同様の特性を示す両耳間レベル差 $\pm 14\text{dB}$ までの範囲を選び、この両者を組み合わせて仮想音響スクリーンの左右方向に利用することにした。

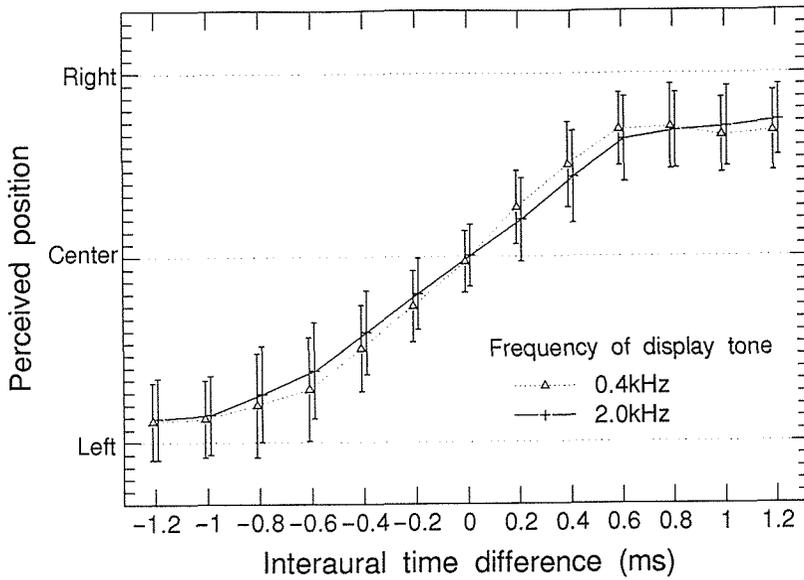


Fig.2 Relation between the sound image synthesized by interaural time difference and perceived position on the tablet.

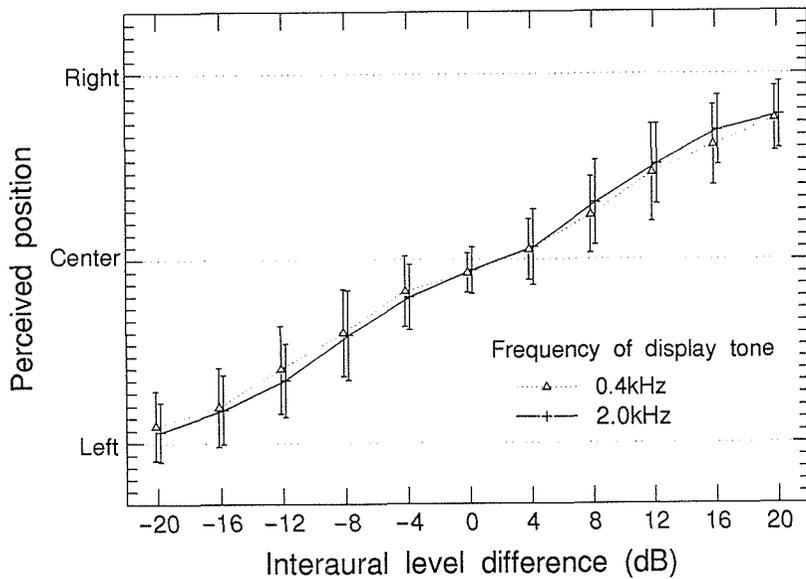


Fig.3 Relation between the sound image synthesized by interaural level difference and perceived position on the tablet.

次に、上下方向について検討した。呈示音周波数の範囲を 0.1kHz から 10kHz までとして、メル尺度でほぼ等間隔になるように 12 個の呈示音を選んだ。ここでメル尺度には、Fant の近似式を採用した。呈示音周波数を f とすると、メル数 m は次式で表される。

$$m = \frac{1000}{\log 2} \log \left(1 + \frac{f}{1000} \right) \quad (1)$$

これらの呈示音が紙面上の「上」「中心」「下」に印を付けた直線上 (3cm, 17cm) のどこに対応するかを調べた。その結果を Fig.4 に示す。ここで、音像と直線上の位置との対応は、0.4kHz 以下の呈示音周波数では変化が急であるが、それ以上の呈示音周波数では上下の間隔によらずほぼ直線的であることがわかる。この結果と、2kHz 以上の呈示音は長く聞くと疲れるという被験者の感想等を考慮して、次に、呈示音周波数の範囲を 0.4kHz から 2.0kHz までとして、8 個の呈示音について同様の実験を行った。その結果を Fig.4 に合わせて示す。呈示音周波数の範囲を狭めても、「上」から「下」まで、メル尺度上ではほぼ直線的に対応しているので、仮想音響スクリーンの上下方向は、この範囲の呈示音周波数を用いることにした。なお、上下、左右とも印の間隔が 3cm と 17cm 場合の実験を行ったが、ほとんど同じ結果が得られており、仮想音響スクリーンは紙面の大きさに関わらず対応可能と考えられる。

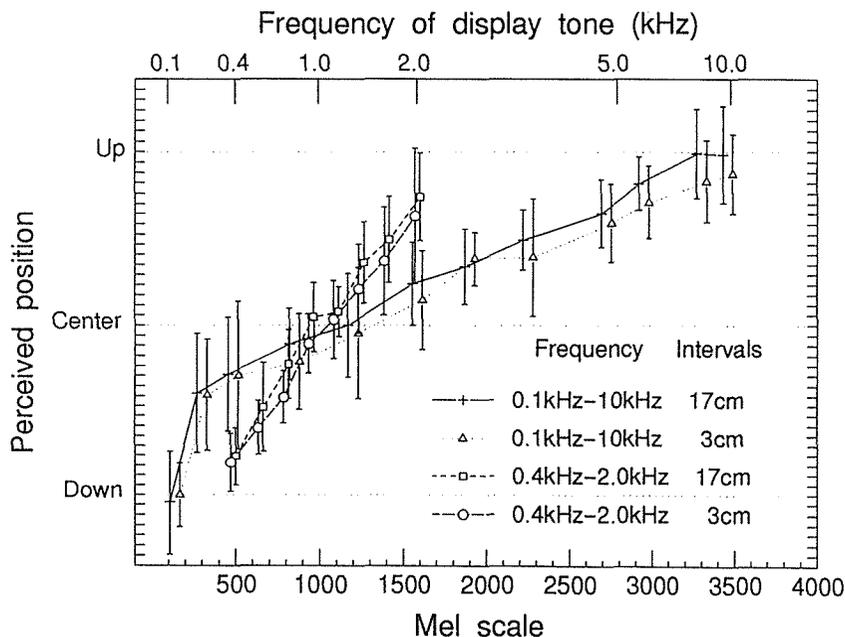


Fig.4 Relation between the frequency of display tone and perceived position on the tablet.

3. 筆記支援システムの概要

Fig.5 に筆記支援システムの構成を示す。文字や図形は仮想音響スクリーンに対応するタブレット (WACOM : SD-420A) 上に設定した任意の大きさの窓すなわち枠内に筆記される。このタブレットは、付属ペンが小型軽量でコードレスであり、さらに電磁授受作用方式のため、ペン先がタブレット上約 1cm まで浮いていても座標を読み取ることが可能である。このため、書き始めの位置を探す始点探索時などペン先がタブレットに接していないときでも音響フィードバックが可能である。また、分解能は 0.02mm であり本システムの目的には十分である。タブレットから得られたペン先の位置データは、パーソナルコンピュータ (EPSON : PC-386VR) に転送され、仮想音響スクリーン用のデータに変換される。

呈示音のパラメータは、すでに述べたように上下方向が呈示音周波数、左右方向が両耳間時間差、両耳間レベル差である。このパラメータによって、パーソナルコンピュータから各機器を制御する。発振器 (TOA : FS-2201) から出力された信号は、BBD 遅延装置に

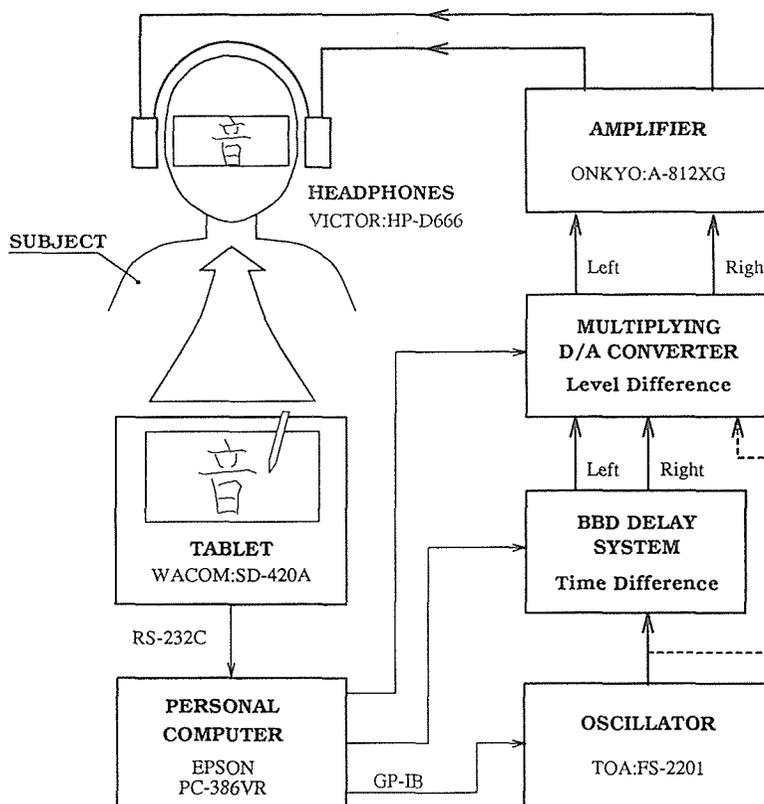


Fig.5 Block diagram of the support system for handwriting.

よって時間差が付いた左右の信号に変換され、さらにマルチプライング D/A コンバータによってレベル差が付けられる。この信号をステレオアンプ (ONKYO : A-812XG) で増幅した後、ヘッドホン (VICTOR : HP-D666) で被験者に聞かせる。なお、BBD 遅延装置は左右の信号の特性を揃えるために、2 個の BBD 遅延回路の遅延時間の差を利用して時間差を付けている。

4. 筆記の諸特性

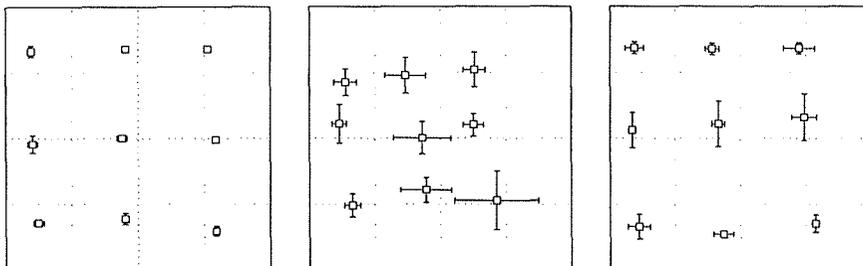
仮想音響スクリーンを用いた筆記支援システムの有効性を調べるために、小学生が最初に文字を練習する 3cm 角の大きさの枠をタブレット上に設定して、点、線分、文字および図形の筆記実験を行った。枠として 2mm 程の厚さのボール紙を切り抜いたものをタブレット上に貼りつけ、この枠の大きさに対応する仮想音響スクリーンを設定した。筆記実験は晴眼時および盲目時との差異を比較検討するために、次の 3 種の条件下で晴眼者について行った。被験者は聴覚の正常な成人男性 3 名であり、目隠しにはアイマスクを使用した。

1. 視覚フィードバックのみの場合 (晴眼時)
2. 視覚フィードバックおよび音響フィードバックの無い場合 (盲目時)
3. 音響フィードバックのみの場合 (本システム使用時)

なお条件の 2 は、枠を頼りに筆記する触覚フィードバックが有る場合に対応するとも考えることができる。

初めに、点の筆記について調べた。被験者に筆記をするように指示した点は Fig.6 に示す枠内の格子点 9 点である。

Fig.6 (a),(b),(c) は上記の 3 種の条件における点の筆記位置の精度を、被験者の一人を例



(a) With visual feedback (b) Without visual feedback (c) With sound feedback and without sound feedback

Fig.6 Accuracy of handwritten points. (Size of frame 3cm×3cm)

にして、各点の平均値と左右方向および上下方向の標準偏差とで示したものである。視覚フィードバックおよび音響フィードバックが無い場合には、筆記点のばらつきが大きく、上下、左右おのおの3つの点も直線上に並んでいない。ところが音響フィードバック時には、これらの点のばらつきは多少大きいものの、視覚フィードバック時に近い位置に各点とも筆記しており、音響フィードバックの効果が認められる。

Fig.7 は3種の条件下における、点を筆記するまでの探索時間を3名の被験者について示したものである。音響フィードバック時は、視覚フィードバック時に比べ約3.5倍の時間がかかることがわかる。また、視覚フィードバックおよび音響フィードバックが無い場合よりも多くの時間がかかっている。これは、音響フィードバック時には、呈示音を聴いて現在のペン先の位置を確認するまでに、十分な時間が必要であることを示している。

次に線分の筆記を試みた。被験者に筆記を指示した線分はFig.6に示した前述の点の筆記に用いたおのおのの格子点を結んだ縦線と横線の合わせて6本である。

1つの線分に対して5回実験を行い、それらを最小2乗近似して求めた線分をFig.8(a),(b),(c)に示す。Fig.8(c)の音響フィードバック時は、Fig.8(b)の視覚フィードバックおよび音響フィードバックの無い場合に比べて、線分の傾きが水平、垂直ではないが、ほぼ一定の間隔で各線が並んでいることがわかる。

以上のように、本システムを用いた点および線分の筆記特性から、ある程度の筆記の可能性を見出したので、実際に中途失明者に文字および図形を筆記してもらうことにした。

Fig.9(a),(b),(c)は、漢字、任意の図形および円を枠内の指定した場所に、中途失明者が

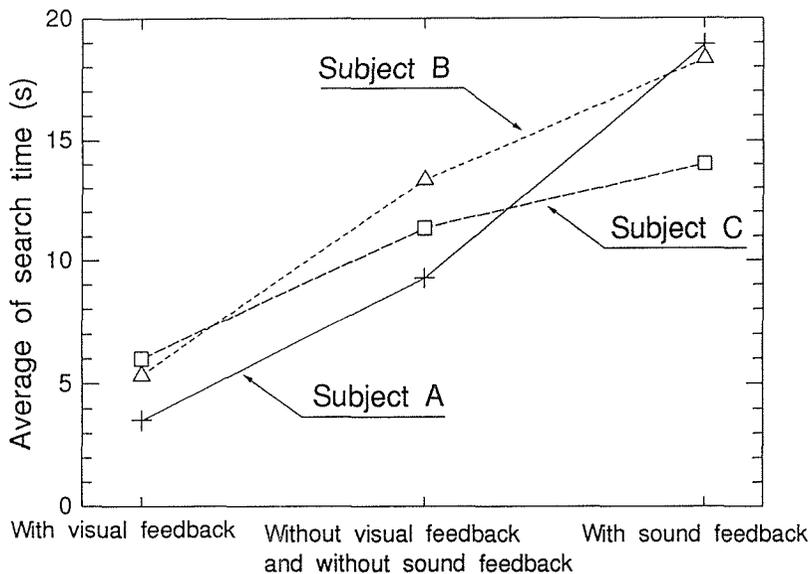


Fig.7 Search time of the handwritten points under various conditions of feedback.

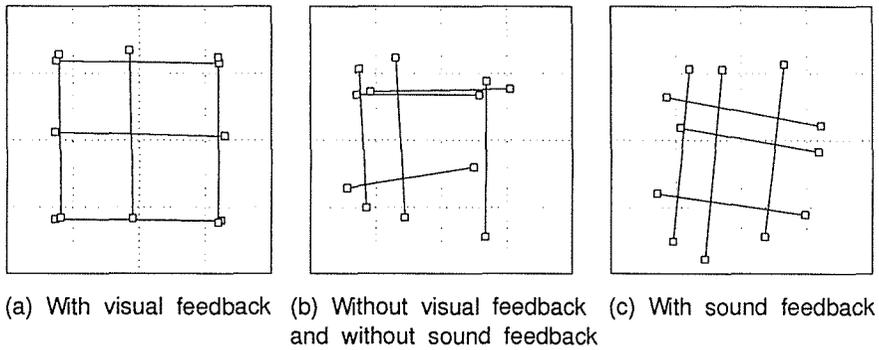


Fig.8 Least square approximation of handwritten lines.
(Size of frame 3cm×3cm)

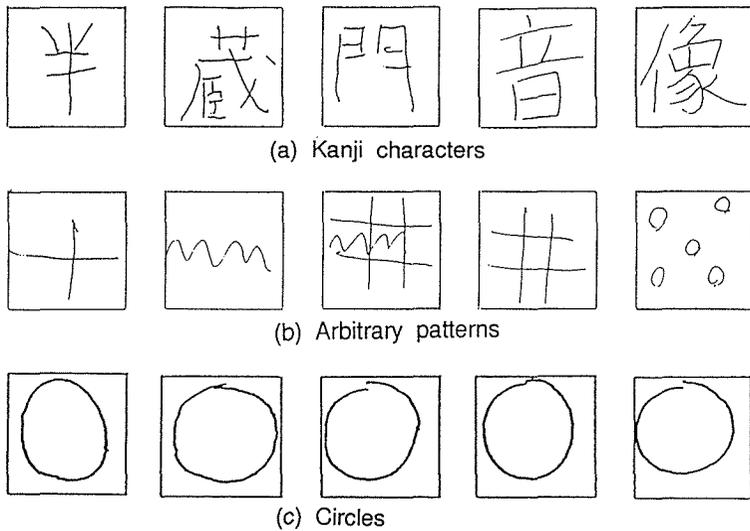


Fig.9 Examples of handwriting with sound feedback.
(Size of frame 3cm×3cm)

筆記した一例である。筆記されたものは、文字および図形ともにほぼ所定の枠内にバランスよく収まっていることがわかる。また、前述の線分を筆記した場合にはかなりの誤差がみられたにもかかわらず、文字を筆記した場合には、ほぼ正確に筆記されていることから、文字を筆記する場合は、文字の形を記憶しているため、手の感覚にたよるところが大きいと考えられる。

5. まとめ

呈示音周波数を用いた上下方向，両耳間時間差と両耳間レベル差を用いた左右方向それぞれについて，呈示音と紙面の位置関係の検討から仮想音響スクリーンを設定して筆記実験を行い，以下のことを見いだした。

1. 枠内の指定した場所への点の筆記精度は，晴眼時にはおよばないが，本システムを用いた場合には，用いない場合に比べ精度が向上する。
2. 枠内の指定した場所への文字の筆記は，線分の筆記に比べて正確な筆記が可能であるが，これは手の感覚によるところが大きい。
3. 本システムを用いた筆記では，始点の探索時間が晴眼時に比べてかなりかかる。

以上のように，現在の仮想音響スクリーンは，ペン先の位置情報のみのフィードバックであるために，まだいくつかの問題点があるので，さらに実空間の音像定位に近づけた仮想音響スクリーンの構築と，より使いやすい音響フィードバックの方法について検討を重ね，筆記支援システムの改善を図りたい。

なお，本研究の一部は，文部省科学研究費（一般C, 06650461）の助成による。

文献

- 1) 米沢義道，日本 ME 学会誌，**7**, 7, 2 (1993).
- 2) 小柳恭治：触覚の世界（光生館，1978）pp.160～164.
- 3) 福永 泰，情報処理，**33**, 7, 820 (1992).
- 4) 北風晴司，情処技報，**92**, 15, 61 (1992).
- 5) 伊東，米沢，城戸，電子通信学会論文誌（A），**J69-A**, 1, 174 (1986).
- 6) 伊東，城戸，米沢，日本音響学会誌，**42**, 9, 708 (1986).
- 7) 伊東，若林，米沢，信学技報，**88**, 256, 1 (1988).
- 8) Kazunori Itoh and Yoshimichi Yonezawa, J. Microcomputer Applications, **13**, 2, 177 (1990).
- 9) 稲垣，伊東，米沢，橋本，信学技報，**93**, 282, 1 (1993).
- 10) 川浦，鈴木，曾根，日本音響学会誌，**42**, 10, 774 (1986).