

## 論文

情報福祉論文特集

## 点字触読時の接触力測定方法の確立とその応用

## —接触力と点字触読速度の関係—

渡辺 哲也<sup>†</sup> 大内 進<sup>†</sup> 金子 健<sup>†</sup> 山口 俊光<sup>†</sup>  
 島田 茂伸<sup>††</sup> 下条 誠<sup>†††</sup>

Establishment of a Method of Measuring Contact Force during Braille Reading and Its Application —Relationship between Contact Force and Reading Speed—

Tetsuya WATANABE<sup>†</sup>, Susumu OOUCHI<sup>†</sup>, Takeshi KANEKO<sup>†</sup>,  
 Toshimitsu YAMAGUCHI<sup>†</sup>, Shigenobu SHIMADA<sup>††</sup>,  
 and Makoto SHIMOJO<sup>†††</sup>

あらまし 視覚障害者が点字を指で触って読む際、熟達した読者であれば紙面への接触力が軽く安定しているのに対して、未熟者では力が強く不安定であると主張してきた。しかし従来の接触力測定方法には信頼性が欠けている。そこで6軸力センサを組み込んだ装置と適切なデータ補正手段を適用することで、精度、時間応答性、安定性に優れた接触力測定システムを実現した。このシステムを使って点字読者を対象とした実験を行ったところ、従来の研究では観察されなかった接触力データの微細な変動をとらえることができた。更に定量データを集積した結果、未熟者の接触力は軽く不安定であること、更に熟達者では未熟者に比して人による接触力の違いが大きいことという従来の主張を覆す実証データを得ることができた。この結果は、点字の指導法や触覚認知の理解に大きな影響を与えるだろう。

キーワード 視覚障害者、点字、接触力、点字触読速度、6軸力センサ

## 1. まえがき

点字は、視覚障害者が指で触って読む文字である。点字の読みについては、目による読みと比べた心理学的な興味から様々な研究が行われてきた。テーマとしては、触読に用いる手や指の種類とその動かし方（触運動）[1]～[4]、点字の形状[5]、これらと読み能力との関係などがある。運指については、熟達した点字読者は行に沿って水平に一定速度で指を動かすのに対して、未熟者は上下方向の動きを伴うことが認められている。

同様に接触力、すなわち紙面に指が触れる力についても、熟達者は軽く安定しているのに対して、未熟者は強く変動が大きいと主張されている[1], [2]。しかし従来の測定結果は信頼性が低かったといわざるを得ない。

最大の理由は、両研究とも測定装置の校正に関する記述がなく、接触力の数値データが示されていないことである。これでは、同一の装置による測定結果の範囲内でしかデータの比較ができない。更に、接触力による点字板の沈降を空気シリンダに伝えたり[1]、回転ドラム上の記録紙に直接伝える装置では[2]、気体の圧縮、記録紙と針の摩擦により応答の遅れは避けられず、接触力の微細な変化をとらえていなかった可能性も高い。そこで、電子・機械分野の力計測技術を用いることで、点字触読時の接触力を高精度かつ高い時間応答性で測定する方法を確立し、これを点字触読速度と接触力の関係の定量的解明に応用することを本研究の目的とする。

定量的な接触力測定のため、我々はこれまで微小変

<sup>†</sup> 国立特殊教育総合研究所、横須賀市

National Institute of Special Education, 5-1-1 Nobi,  
 Yokosuka-shi, 239-0841 Japan

<sup>††</sup> 東京都立産業技術研究センター、東京都

Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute, Tokyo, 115-8586 Japan

<sup>†††</sup> 電気通信大学知能機械工学科、調布市

The University of Electro-Communications, Mechanical Engineering and Intelligent Systems, Chofu-shi, 182-8585 Japan

位センサ（日本システム開発、DS2001-TS01）を用いたシステム [6]、及び面圧力分布測定システム（ニッタ、I-SCAN）[7]という2種類のシステムを導入し、測定を試みた。両システムにより、従来の研究で見られなかった微細な接触力の変化を観察できた。しかし同一加重をかけても測定時及び測定面上の位置により出力値が変動する問題があった。この変動の幅は測定対象の値に比べて大きく、定量データとしての信頼性に欠けた。

接触力を安定かつ精密に測定する技術的選択肢として、ロードセルを使った重心動描計と6軸力センサがある。実際の計測では指の動きの横方向力が加わり測定面がずれるおそれがあるため、測定面をセンサに固定しなければならない。すると固定点に多軸方向力、及び各軸回りのモーメント荷重が加わり、本来1軸方向力を検出するロードセルではその解析は難しいものとなる。他方で6軸力センサでは、測定面とセンサをしっかりと固定すれば、そのとき発生する各軸方向の力とモーメントを測ることは容易である。このような理由から6軸力センサを用いることとした。

力センサを用いた測定装置においても、同一加重なのに接触位置による出力値の変動が見られたが、両者の関係は測定時ごとに変動することではなく安定していた。そこで位置による出力値の変動を補正する計算手法を適用したところ理想値とよい一致を見ることができた。以上をもって接触力を精度良く安定して測定可能と判断したので、同装置を用いて点字読者を被験者とした接触力測定実験を行い、触読速度と接触力の関係について考察した。本論文では、測定装置の構成と補正方法、点字触読時の接触力測定実験とその結果得られた新たな知見について報告する。

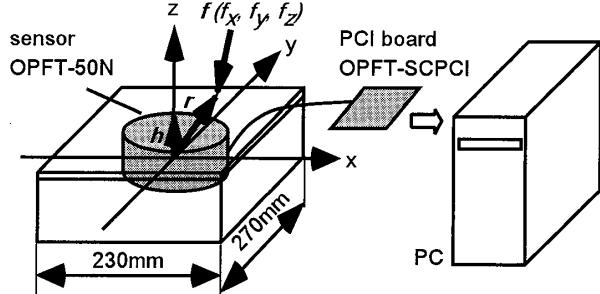
なお、従来の研究では「接触力」の意味で「触圧」という用語（英語では単に“pressure”）が用いられてきたが、力センサで計測するのは力（単位：N）であるため、本論文では「接触力」という用語を用いる。

## 2. 6軸力センサを使った測定システム

### 2.1 システム要件

点字触読時の触運動と接触力の変動をとらえるため、システム要件を以下のように定めた。指の位置の計測精度（許容誤差）は、点字の点間隔を目安に2 mmとする。接触力の計測精度は、過去の研究における接触力が1 N程度であったことを受けてその5%程度とする。測定対象が人の手指動作及びそれに伴う力なので、

$r(r_x, r_y, r_z)$ : vector from the original point of the sensor to an arbitrary point on the measurement surface



$h(0, 0, h_z)$ : vector from the original point of the sensor to the nearest measurement surface

図1 接触力測定システムの構成  
Fig. 1 Contact force measuring system.

サンプリング周波数 50 Hz で追隨可能だと判断した。被験者の都合に合わせて実験日を設定するため 20 人を超える被験者数では実験期間が長期にわたると予測される。そこでひとまずは、1か月の間をおいて同じ校正条件で同じ出力値を得られるかどうかを安定性の要件とした。

### 2.2 システム構成

6軸力センサは  $x, y, z$  軸方向の軸方向力 ( $f_x, f_y, f_z$ ) と各軸回りのモーメント ( $m_x, m_y, m_z$ ) を検出するセンサであり、今回はミネベア社の光学式センサ OPFT-50N を用いた。その定格容量は  $f_x, f_y: 50\text{N}$ ,  $f_z: 100\text{N}$ ,  $m_x, m_y, m_z: 2.5 \text{ N} \cdot \text{m}$  である。センサは円盤形をしており、円の直径は 50 mm、厚さは 31.5 mm である。出力値は専用 PCI ボード（ミネベア、OPFT-SCPCI）を通じてコンピュータに取り込む。PCI ボードには力データ収集ソフト（同、OPFTD-01）が添付されており、校正及び実験ではこれを用いてデータを記録した。製品仕様によると、センサ自体は  $100\text{ }\mu\text{s}$  周期でデータを出力できるが、このソフトを使って実測した最小周期は  $500\text{ }\mu\text{s}$  程度であった。これは、パソコンの処理能力にも依存している（使用パソコン 2 台の仕様（CPU 及びメモリ）は、Pentium4 3.00 GHz, 512 MB RAM, 及び PentiumM 1.60 GHz, 1 GB RAM であった）。実際の実験では、システム要件を満たす 65 Hz/50 Hz となるようにデータ収集ソフトを設定した。

円盤状センサの上面に測定用のアルミ板を取り付けた（図1）。長方形のアルミ板の寸法は縦 270 mm × 横 230 mm とした。国内で一般的な B5 サイズ（257 mm × 182 mm）の点字用紙を載せられる広さである。押圧時に測定面がたわまないようアルミ板は

## 論文／点字触読時の接触力測定方法の確立とその応用——接触力と点字触読速度の関係——

5 mm の厚さのものを選んだ。センサは測定面の中心位置に取り付けた。センサの下面には、測定面と同じ寸法・厚さのアルミ板を台座として取り付けた。測定面と台座の間には側面を取り付けた。側面上部と測定面下部のすき間は 1.5 mm と狭くした。側面は、測定面が下がりすぎて最大荷重（容量の 2 倍）以上の力がセンサに加わることを防止する役割をもつ。

### 2.3 システムの校正

センサ上に矩形の測定面を固定した場合、測定面の重量と接触力によるモーメントの影響、及び 6 軸センサと測定面との組み立て誤差が予測されるので、これを補正するためにシステムの校正を行う。

測定面の中心を  $x-y$  平面の原点（座標：(0, 0)）と定めて、 $x, y$  方向の -9.0, -4.5, 0, 4.5, 9.0 mm の位置で垂直線または水平線を引いたとき、水平線と垂直線が交わる 25箇所を校正位置（分銅を載せる位置）とした。この校正位置を印刷した OHP シートを測定面に載せて接着テープで固定した。この時点ではデータ収集ソフトのオフセット調整を行う。我々の過去の研究では点字熟達者の接触力は 1 N 程度だったので [6], [7]、校正には 0.1 kg の分銅を用いた。校正位置に分銅を載せて 2 s 以上経ってから記録を開始し、2 s 以上データを記録した。記録開始から 2 s 間のデータの平均値を求めた。

この校正を 1 か月空けて 2 回行ったところ、同じ校正箇所で測定した鉛直方向の力  $f_z$  と 3 軸方向のモーメント  $m_x, m_y, m_z$  の値はほぼ一定値を示した。他方  $x$  及び  $y$  方向の力  $f_x$  と  $f_y$  は、校正ではその方向に力を加えていない。このため校正時での変動範囲は 0.06 N 以内の非常に小さな値に収まっている（図 2(a) 参照）。

### 2.4 接触力の鉛直方向成分の補正

同じ重さの分銅を載せても、接触位置により出力データは変化した。恐らく多軸間の力の干渉によるものと思われる。実用面から見れば、原因のいかんによらず、接触位置と出力データとの関係が安定していればよい。実際に両者の関係は定期校正の間安定していたので、ここでは両者の関係を数式で表し、測定値から真値を推定する方法について考える。

校正位置ごとに測定した力  $\mathbf{f}(f_x, f_y, f_z)$  とモーメント  $\mathbf{m}(m_x, m_y, m_z)$  データの変化の様子を図 2(a), (b) に示す。 $x$  と  $y$  の両方に比例して  $f_z$  が変化している様子から、 $(x, y, f_z)$  空間において計測値  $f_z$  は  $x-y$  平面に対する傾斜平面に変換されたとみなせる。この

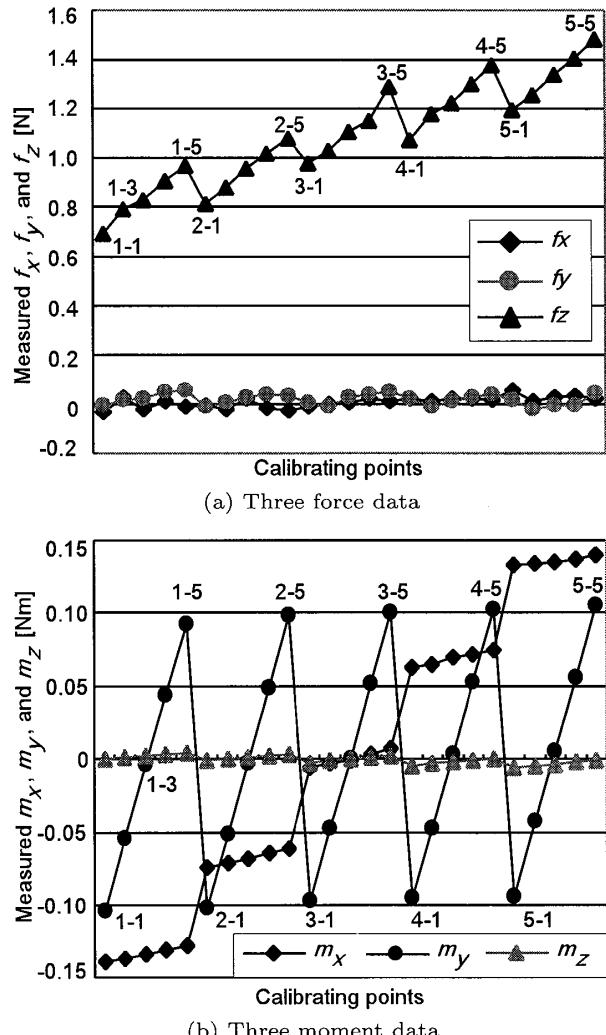


図 2 正方格子状に並んだ 25 箇所の校正位置に 0.1 kg の分銅を載せたときの力 (a) 及びモーメント (b) 出力値。図中の「数字-数字」は校正位置を表し、最初の数字は行を、二つ目の数字は列を表す。1-1 は左上隅、5-5 は右下隅、3-3 は原点である。

Fig. 2 Force and moment data measured at 25 calibrating points when using a 0.1 kg weight. "Number-number" in the figure denotes the calibrating points.

傾斜平面は、一次変換であるアフィン変換の式で表せる。また、2種類の分銅 (0.05 kg と 0.1 kg) を使って計測したところ、傾斜平面の傾きには変化がないことが確認できた。これより、鉛直方向の力の期待値と測定値の関係はアフィン変換で補正できると判断した。測定値  $f_z$  と分銅による垂直方向の力の期待値  $f_{ze}$  の関係を以下の式 (1) で表す。

$$f_z = (ax_c + by_c + c)f_{ze} \quad (1)$$

$a, b, c$  は定数、 $x_c, y_c$  は校正位置（分銅を載せた位置）である。25 箇所の校正位置で式 (1) のデータが

求まっているので、これを 25 式並べて両辺を  $f_{ze}$  で割ると式(2)の連立一次方程式を得る。

$$\begin{bmatrix} \frac{f_{z1}}{f_{ze1}} \\ \frac{f_{z2}}{f_{ze2}} \\ \frac{f_{z3}}{f_{ze3}} \\ \vdots \\ \frac{f_{z25}}{f_{ze25}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{c1} & y_{c1} & 1 \\ x_{c2} & y_{c2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{c25} & y_{c25} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (2)$$

右辺の 3 列 25 行の行列を  $A$  で表す。 $(a, b, c)$  を求めるため  $A$  の疑似逆行列  $A^+$  を用いて式(2)を変形すると、

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = A^+ \begin{bmatrix} \frac{f_{z1}}{f_{ze1}} \\ \frac{f_{z2}}{f_{ze2}} \\ \frac{f_{z3}}{f_{ze3}} \\ \vdots \\ \frac{f_{z25}}{f_{ze25}} \end{bmatrix} = ({}^t A \cdot A)^{-1} {}^t A \begin{bmatrix} \frac{f_{z1}}{f_{ze1}} \\ \frac{f_{z2}}{f_{ze2}} \\ \frac{f_{z3}}{f_{ze3}} \\ \vdots \\ \frac{f_{z25}}{f_{ze25}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

校正位置とそこでの  $f_z$  を式(3)に代入して解くと  $(a, b, c)$  が求まる。この  $(a, b, c)$  と校正位置  $(x_c, y_c)$ 、並びに測定値  $f_z$  を使って計算すれば補正値  $f_{ze}$  が得られる。こうして求めた補正値を、分銅による鉛直方向の力  $0.98\text{ N}$  ( $= 0.1\text{ kg} \times 9.8\text{ m/s}^2$ ) と比較すると、1か月間をおいて 2 回測った 25箇所の平均誤差は 2.1%と 2.8%であり、接触力の計測精度要件 (1N の 5%) を満たしたと判断できる。

## 2.5 接触位置の補正

$f_z$  を補正するには、 $f_z$  が加わっている位置情報が必要である。点字読みの場合、これは指の接触位置となる。点字読み時の接触位置をビデオ映像から求める方法もあるが、ビデオカメラ（通常は複数台）と解析ソフトが必要であり、更に接触力データと同期をとる必要もある。一方、センサの 6 軸出力データを用いて算出する手法もある[8]。この方法では機材が不要な上、同期をとるために特別な準備は必要ないので、今回はこちらの方法を用いる。

図 1 に示すようなセンサ上に固定した計測平面（剛体）上に力  $f$  が加わったときの方程式は以下となる（導出については付録を参照）。

$$r = \frac{\mathbf{h} \times \mathbf{m} + (\mathbf{h} \cdot \mathbf{h})\mathbf{f}}{\mathbf{h} \cdot \mathbf{f}} \quad (4)$$

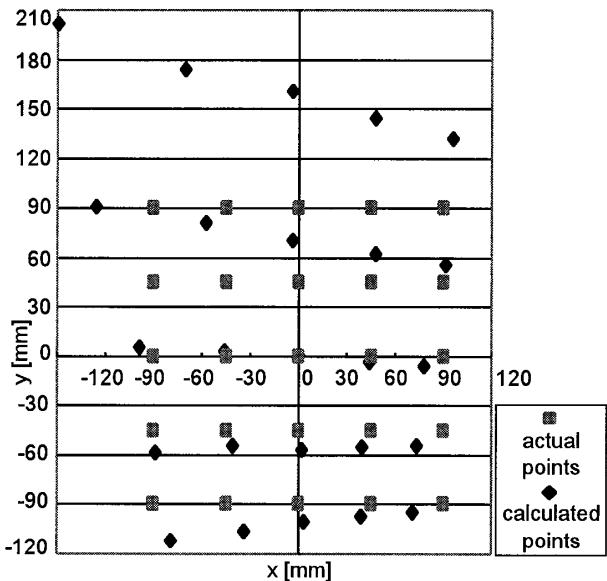


図 3 算出した接觸位置と校正位置の対比。算出位置は射影変換を受けたよう見える。

Fig. 3 Calculated contact points superimposed on the actual points. Calculated points seem as if they are projective-transformed.

ここで、 $r$  は接觸位置ベクトル、 $f$  は力ベクトル、 $m$  はモーメントベクトル、 $h$  はセンサ原点から接觸面へ下ろした法線ベクトルである。今、接觸面とセンサは直接なく取り付けられているとし、 $h = (0, 0, h_z)$  として、接觸位置ベクトル  $r$  を求めると以下となる。

$$r = \left( \frac{h_z f_x - m_y}{f_z}, \frac{h_z f_y + m_x}{f_z}, h_z \right) \quad (5)$$

ここに  $h_z$  はセンサの  $z$  方向の原点から平面の上面までの距離で、今回は  $20.75\text{ mm}$  である（センサの厚さの半分  $15.75\text{ mm}$  とアルミ板の厚さ  $5\text{ mm}$  を足した値）。

校正時の 6 軸の測定データを式(5)に入力して  $(r_x, r_y)$  を算出し、校正位置と比べると図 3 のようになる。前項で述べたとおり  $f_z$  が接觸位置により変化するため、実際の校正位置からのずれが大きい。算出誤差は、センサ中心から離れるに従って大きくなる。第 2 象限で誤差が特に大きいのは、式(5)で分母となる  $f_z$  値が小さいためである。算出位置と校正位置との関係を見ると、射影変換を受けたよう見える。実際、校正時に計測した  $m_x, m_y, f_z$  は一次変換の様相であったことから（図 2）、これらを式(5)に代入すると射影変換となることが数式からも分かる。

$r'_x, r'_y$  を射影変換後の値（補正前の算出位置）、 $r_x, r_y$  をもとの値（真の接觸位置）とすると、射影変換は

## 論文／点字触読時の接触力測定方法の確立とその応用——接触力と点字触読速度の関係——

$$\begin{bmatrix} r_{x1} & r_{y1} & 1 & 0 & 0 & 0 & -r_{x1}r'_{x1} & -r_{y1}r'_{x1} & -r'_{x1} \\ 0 & 0 & 0 & r_{x1} & r_{y1} & 1 & -r_{x1}r'_{y1} & -r_{y1}r'_{y1} & -r'_{y1} \\ r_{x2} & r_{y2} & 1 & 0 & 0 & 0 & -r_{x2}r'_{x2} & -r_{y2}r'_{x2} & -r'_{x2} \\ 0 & 0 & 0 & r_{x2} & r_{y2} & 1 & -r_{x2}r'_{y2} & -r_{y2}r'_{y2} & -r'_{y2} \\ \vdots & \vdots \\ r_{x25} & r_{y25} & 1 & 0 & 0 & 0 & -r_{x25}r'_{x25} & -r_{y25}r'_{x25} & -r'_{x25} \\ 0 & 0 & 0 & r_{x25} & r_{y25} & 1 & -r_{x25}r'_{y25} & -r_{y25}r'_{y25} & -r'_{y25} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{11} \\ p_{12} \\ p_{13} \\ p_{21} \\ p_{22} \\ p_{23} \\ p_{31} \\ p_{32} \\ p_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

以下の行列式で表される。

$$w \begin{bmatrix} r'_x \\ r'_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

上式を展開して、係数  $w$  を消去して移項すると以下の式になる。

$$\begin{aligned} p_{11}r_x + p_{12}r_y + p_{13} - (p_{31}r_x + p_{32}r_y + p_{33})r'_x &= 0 \\ p_{21}r_x + p_{22}r_y + p_{23} - (p_{31}r_x + p_{32}r_y + p_{33})r'_y &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

これに 25箇所の校正位置におけるデータを入力すると 50行の齊次方程式が成り立つ(式(8))。

ここで、左辺左側の行列を  $B(50, 9)$  とし、

$$\mathbf{p} = {}^t \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots & p_{33} \end{bmatrix} \quad (9)$$

とすると、上式は  $B\mathbf{p} = 0$  と表現される。ここでは、最小二乗の意味での解とするため  $\min_{\mathbf{p}} |B\mathbf{p}|^2$  として  $\mathbf{p}$  を求める。 $B\mathbf{p}$  は一次元ベクトルなので、以下のようになる。

$$|B\mathbf{p}|^2 = {}^t(B\mathbf{p})(B\mathbf{p}) = {}^t\mathbf{p}^t B^t B \mathbf{p} = {}^t\mathbf{p} \lambda \mathbf{p} = \lambda |\mathbf{p}|^2 \quad (10)$$

ここで  $\lambda$  は  $B^t B$  の固有値で、 $B^t B \mathbf{p} = \lambda \mathbf{p}$  を満たすものとする。

ベクトル  $\mathbf{p}$  は定数倍の不定性があるため、 $\|\mathbf{p}\| = 1$  となる条件のもとで解くと、

$$\min_{\mathbf{p}} |B\mathbf{p}|^2 = \min_{\mathbf{p}} (\lambda |\mathbf{p}|^2) = \min_{\mathbf{p}} (\lambda) \quad (11)$$

となる。これは、最小二乗解は  $B^t B$  の最小固有値に対応する固有ベクトルとして求まるることを意味する。

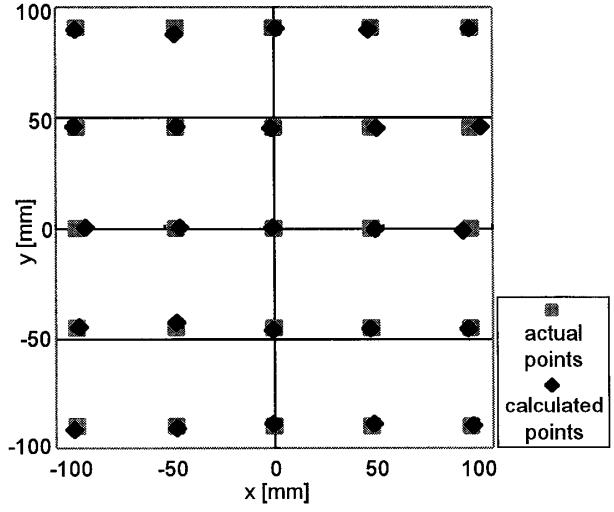


図 4 補正後の接触位置と校正位置の対比。両者はほぼ一致している。

Fig. 4 Corrected contact points superimposed on the actual points. They are mostly identical.

最小二乗法の意味で  $\mathbf{p}$  が求まつたら、次にその逆行列  $Q$  を求める。式(6)の両辺に  $Q$  を掛けて下式を得る。

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ 1 \end{bmatrix} = wQ \begin{bmatrix} r'_x \\ r'_y \\ 1 \end{bmatrix} = w \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r'_x \\ r'_y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

上式を展開して  $w$  を消去すれば、接触位置の補正值は以下の式で求まる。

$$\begin{aligned} r_x &= \frac{q_{11}r'_x + q_{12}r'_y + q_{13}}{q_{31}r'_x + q_{32}r'_y + q_{33}} \\ r_y &= \frac{q_{21}r'_x + q_{22}r'_y + q_{23}}{q_{31}r'_x + q_{32}r'_y + q_{33}} \end{aligned} \quad (13)$$

このようにして補正した接触位置を真の接触位置

(ここでは校正位置)と重ね合わせて表示すると図4のようになる。1か月間をおいて2回測った25箇所の平均誤差は1.6mmと1.7mmであり、接触位置の計測精度要件(2mm)を満たしたと判断できる。

なお、固有値と逆行列は表計算ソフトMicrosoft Excel 2003の関数を用いて計算した。

### 3. 触読材料

有意義文章の読み速度を測定する際は、出現単語の難易度を調整しておく必要がある。そこで、読み材料のテキストには小学校5年・6年の国語教科書と中学の社会教科書の文章の一部を利用した。文章は、触読速度が速い人向けの長文セット、遅い人向けの短文セット、その中間の長さの中文セットの3種類を用意した。それぞれのセットには、触読速度測定用に10文章、接触力測定用に6文章を当初は用意した。実験の進行につれて、適宜文章の追加と削除を行ったので、実際に使用した文章の合計数はこれより多くなった。

長文、中文、短文の各セット内の文章の漢字仮名交じり文の文字数、点字変換後ます数(点字の1文字を「ます」と数える。濁点記号も1ます使う)、点字文章の行数、単語親密度を表1に示す。音声単語親密度及び文字単語親密度の平均値は7段階で6前後であり[9]、親密度の高い単語で文章が構成されているといえる。

点訳した読み材料を点字プリンタ(ESA300 Pro/ESA721Ver'95, JTR)でB5版(32けた、22行)の点字用紙に印刷したものを触読材料として用いた。いずれの文章も点字用紙1ページに収まる長さである。

被験者が測定開始の合図を待つ間、指を待機させる

表1 長文、中文、短文の各セット内の文章の文字数と単語親密度。単語親密度は、各文章内の平均値。

Table 1 Number of letters calculated in Kanji-Kana sentences and in braille sentences and familiarity of words appearing in them.

	漢字仮名 交じり文 の文字数	点字変 換後の 文字数	点字 行数	音声単 語親密 度	文字単 語親密 度
長文	最大	288	403	18	6.053
	平均	229.8	315.1	14.1	5.899
	最小	124	173	8	5.699
中文	最大	179	245	10	6.113
	平均	126.6	175.6	7.6	5.930
	最小	82	110	5	5.693
短文	最大	78	106	5	6.158
	平均	57.8	82.0	3.6	5.879
	最小	38	58	3	5.392

場所として、触覚的特徴のある点字の「メ」の字(点字の6点すべてが盛り上がっている)を、文章の直前行の3けた目から6けた目まで並べた。触読速度測定用の文章は点字用紙の2行目から印刷した。接触力測定用文章は、初回の実験のみ点字用紙の2行目から印刷したが、2回目以降は点字用紙の上下方向の中央近傍の位置に印刷した。これはセンサに近い位置で接触力を測定するためである。

### 4. 触読速度測定実験:普段の読みと片手読みの比較

測定装置の制約上、被験者には片手の1本指で読んでもらわなければならない。片手の1本指による読みが普段の読み方(半数の被験者は両手読み)と様相が異なるかどうかについて読み速度の観点から調べた。この実験は接触力測定実験に先立って実施した。

#### 4.1 被験者

被験者は視覚障害者23人(男性12人、女性11人)である。年齢は16歳から65歳、平均38.3歳、点字学習開始年齢は5歳から53歳、平均18.3歳、点字利用年数は2年から50年、平均19.6年である。普段点字読みに両手を利用すると答えた人が半数強だったが、実際の両手の関与の度合は様々で、両手とも点字文字列をなぞる人は8人のみであった。これ以外の被験者は片方の手だけが文字列をなぞり他方の手は行頭または行末を確認するだけであったあり、あるいは全く片手しか使わなかったりした。点字読みの利き手は、本人の申告によれば右手が11人、左手が12人であった。片手1本指読みのときにはこの手の示指を触読に使わせた。

#### 4.2 手順

最初に読み材料の長短を選択した。触読速度に関する被験者の申告をもとに、実用的な速度の人には長文を、それより遅い人には短文を割り当てた。実用的な速度とは1枚の点字用紙を1分前後で読み終える速度を目安とした。実験期間の後半では、読みが速い人には中文を割り当てた。

被験者には、机上に固定した点字用紙1ページを座位で、普段通りの速度で黙読させた。まず普段の読み方(触運動)で黙読させたときの読み時間を測った。読み時間は、実験者が測定開始を合図してから、被験者が読みを口頭で報告するまでの時間を Stopwatchで計測した。読み時点は、被験者の報告だけでなく、実験者が被験者の指先を観察して確かめた。内容が理

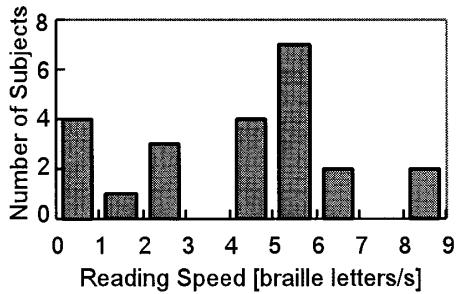


図 5 被験者 23 人の触読速度の分布

Fig. 5 Histogram of reading speed of 23 subjects.

解されたことを確認するため、読み後に文章の内容について口頭で簡単に説明してもらった。被験者の触運動の様子はデジタルビデオで上方及び側方より撮影した。次に、片手の 1 本指で黙読させたときの読み時間を測った。

使用する読み材料の数は、普段の読み及び片手 1 本指による読みとも 5 文章を基本とした。ただし、読みが遅い被験者では文章数を減らしたり、文章の一部のみを使用するなど適宜調整をし、接触力測定を含めた実験全体が 1 時間内に収まるようにした。

読みが遅い被験者では、発声速度に比べて読み速度が十分に遅いので、触読しながら内容を発声させることで、触読後の内容確認の質問を省略した。

触読速度は、読み材料の点字ます数（空白ます数は除く）を読み時間で割って算出した。

#### 4.3 結果と考察

普段の読み方による触読速度の分布を図 5 にヒストグラムで表した。人数が集中している中央の領域の前後で区切ると、読みが遅い群（8 人）と平均的な速度の群（11 人）、そして速い群（4 人）の 3 群に分けることができる。平均的な速度（4~6 ます/秒）は、点字用紙 1 枚を 1 分前後で読み終えられる速度である。以後、本論文ではこの速度以上を熟達者として取り扱う。遅い群の速度では点字用紙 1 枚を読むのに数分かかるので読みには長い時間を要する。この群の被験者の点字の用途は、メモを取ること、物品の弁別のため貼付した点字メモを読み取ること程度である。

普段の読み方による触読速度と被験者の年齢及び点字学習開始年齢との関係を示したのが図 6(a) 及び(b) である。年齢と触読速度の間に相関は見られないが（図 6(a)）、点字学習開始年齢と速度の間にはいくつかの傾向が見られる（図 6(b)）[10]。15 歳までに点字の学習を始めた被験者 13 人は 2 人を除いて、触読速度 4 ます/秒以上と平均的な速度以上を達成してい

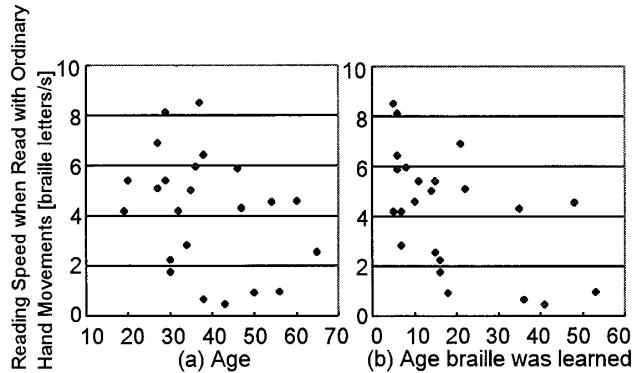


図 6 年齢 (a) 及び点字学習開始年齢 (b) と触読速度の関係

Fig. 6 Relationship between chronologic age (a)/ age braille was learned (b) and reading speed.

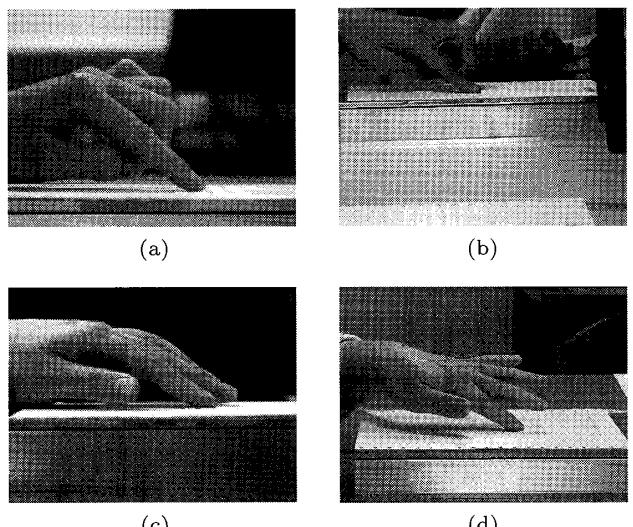


図 7 片手 1 本指による触読姿勢（手指周辺部）

Fig. 7 Snapshots of the subjects' hand reading with one finger of one hand.

る。他方で、15 歳より遅くに点字学習を始めた被験者 10 人は実用的な速度を達成できた 4 人と読みが遅い 6 人に分かれ、遅い人の方が数が多い。48 歳という比較的高い年齢で学習を始めても実用的な速度を達成できた人がいることは注目に値する。

片手 1 本指による読みでは、示指以外の指及び手掌が測定面に触れないように教示した。そのときの被験者の姿勢（手指周辺部）4 例を図 7 に示す。示指以外を曲げているもの ((a) と (b))、伸ばしているもの ((c) と (d))、比較的自然な姿勢に見えるもの ((a) と (c))、不自然に見えるもの ((b) と (d)) がある。

普段の読み方と片手 1 本指による読みの間で点字触読速度を比較したのが図 8 である。図中のプロットは、複数の読み材料における触読速度を被験者ごとに平均し

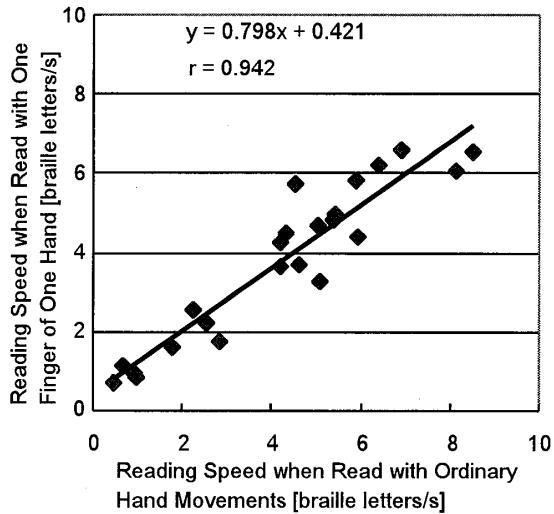


図 8 普段の読み方と片手 1 本指による読みの速度の比較

Fig. 8 Comparison of reading speed between ordinary hand movements and one hand reading.

たものである。線形近似したときの相関係数は 0.94 であり、両者の間に高い相関が見られた。近似直線の傾きは 0.80 で、普段の読み方より片手 1 本指による読み方では速度が遅くなった。熟達した点字読者の場合、行の後半を右手で読むと同時に左手が次の行頭を探すという技法で読速度を上げている例が多い。片手読みではこの技法が使えないことが、速度低下の一因と考えられる。

読み姿勢の観察及び触読速度の低下から、1 本指による読みが普段の読みと様相が異なることは否めない。手指を浮かせているために読み指に余分な力がかかる可能性も否定しきれない。その一方で、普段の 8 割の速度で内容を理解しながら文章を読めていることから、被験者は自分にとって読みやすいように力のかけ方を調節できていたといえる。今回の接触力データはそのような状態で測られたものである。接触力に関する過去の研究でも被験者には片手 1 本指で読ませており [1], [2]、これらと結果を比較することに問題はない。なお、片手 1 本指読みにしたことによる接触力の変化については、精度は落ちるが普段の読み方で測れるタクタイルセンサシート [7] と本測定装置を組み合わせた実験による検証が必要で、今後の重要な研究課題の一つである。

## 5. 接触力測定実験

### 5.1 被験者

被験者は読み速度測定実験と同じ 23 人である。

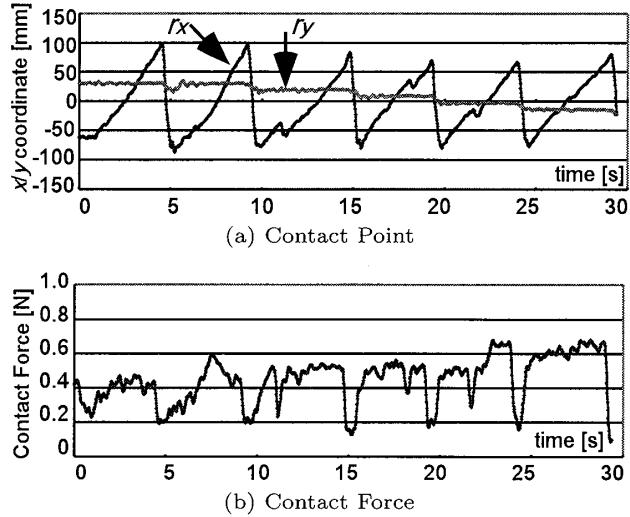


図 9 平均的な触読速度被験者の触運動と接触力の例

Fig. 9 Contact points and force when a subject with an average reading speed read a page of braille.

## 5.2 手 順

6 軸力センサシステムを机上に設置し、その測定面上に点字用紙を置いた。被験者には座位でこの点字用紙を黙読させた。読材料の内容の理解を確かめるため、読後に内容を口頭で説明させた。触読速度測定期と同様に、読みが遅い被験者には触読中に発声させ、読後の内容説明を省略した。読み指は、点字読みの利き手の示指 1 本のみに制限し、これ以外の部位がセンサシステムに触れないように指示した。6 軸データ ( $x$ ,  $y$ ,  $z$  方向の力とモーメント) はサンプリング周波数 65 Hz/50 Hz (サンプリング周波数は使用パソコンにより異なった) で記録した。被験者の触運動の様子を 2 台のデジタルビデオで撮影した。上方からは手の  $x$ - $y$  平面上の動きを撮影した。側方から撮影した映像は、読み指以外の部位が紙面に当たっていないことを確認するのに用いた。

## 5.3 結果と考察

### 5.3.1 測定及び補正手法について

分銅を使った校正時、すなわち静止時にも出力データに若干の変動が見られたため、出力データには平滑化処理を施した。平滑化の点数は 7 点とし、接触力データの特徴が消えないことをグラフを見ながら確認した。6 軸データから接触位置 ( $r_x$ ,  $r_y$ ) を算出し、既述の手法により補正を行った (2.)。次に、補正後の接触位置データを使って接触力  $f_z$  の補正を行った。

図 9 には、平均速度群の 1 人が 1 枚の触読材料を 1 本指で読んだときの接触位置 (上段 (a)) と接触力 (下

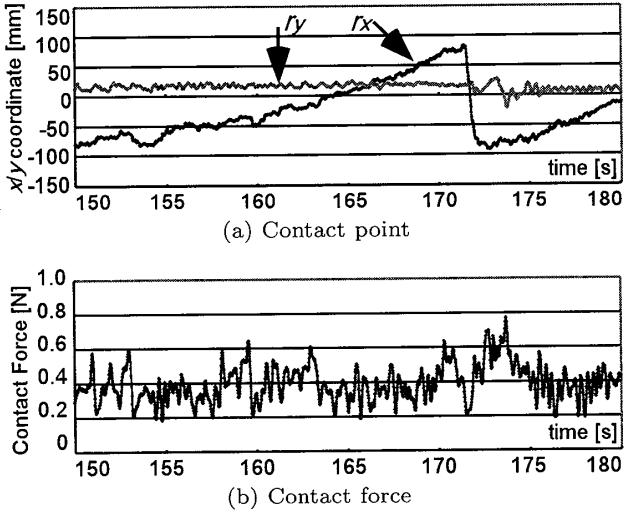


図 10 触読速度が遅い被験者の触運動と接触力の例  
Fig. 10 Contact points and force when a subject with a slow reading speed read two lines of braille.

段 (b)) の推移を例示した。横軸の時間は上下の図で同期がとれている。接触位置について見ると、 $x$  方向の動きは鋸歯状を、 $y$  方向の動きは階段状を呈している。 $r_x$  が直線的に上昇する区間で  $r_y$  は一定値を保っている。この区間は、指が点字 1 行を一定速度で左から右へなぞっている動作に相当する。指が右端まで行った後、 $r_x$  が急速に下がる短い区間は、次の行頭まで指を移動させている動作（これを掃引 (sweep) と呼ぶ）である。このとき接触力も大きく下がる様子が明確に現れている。指が点字 1 行をなぞる間の接触力に注目してみると、0.4 N から 0.6 N 程度の値を保っているが、その間にもいくらか変動は見られる。3, 4, 5 行目の行読み途中に大きな接触力の低下が見られる。このとき接触位置のうち  $r_x$  がやや下がっている様子が見て取れる。これは、被験者が指を戻して読み返しをしている動作である。従来の研究では、熟達した読者では行読み中はもちろん行替え時も「触圧」は一定値を保つと主張してきたが [1], [2]、これは測定装置の時間応答性が低く、短時間の接触力の変化を記録できなかつたためだと考えられよう。

もう一つ典型的な例として、速度が遅かった被験者のデータを図 10 に示す。1 行を読み終えるのに 20 s 以上かかっている。その間、接触位置は  $r_x$ ,  $r_y$  ともに微細な動きが観察される。図 9 には見られなかった  $r_y$  の微細変動は指の上下運動を表しており、この動作は読みが遅い人の特徴とされる。更にこの動作に応じるように接触力も変動しているが、その値は決して高くはない。

以上のように接触位置と接触力データを同期して高精度に計測できるのが本測定・補正法の大きな特長である。

他方で問題も見られた。初回の実験時に点字用紙の 1 行目から印刷した触読材料を使ったところ、 $r_y$  が原点から離れるに従って、行読み中の  $r_y$  の変動が大きくなつた。同様に接触力も、 $r_y$  が原点から離れた行では、原点近傍の行より低い値となつた。ビデオ映像を見る限り、上方の行だけ指の上下運動が大きいようには見えないことから、 $r_y$  の変動はセンサシステムの特性に起因すると考えられるが、静的な校正では現れず検出できなかつた。 $f_z$  の補正データ  $f_{ze}$  にも同様な変動が見られた。このようにセンサ中心から離れた位置での計測には問題があると思われることから、以後は  $y$  軸方向で原点から  $\pm 3\text{ cm}$  以内の行 (3~6 行程度) を分析対象とする。2 回目以降の実験で、読み材料を用紙の中央に配置したのはこの理由による。

### 5.3.2 接触力の平均値と読み速度の関係

接触位置データのうち  $r_x$  を使って、行読みの開始点と終了点を切り出した。具体的には、 $r_x$  データの 2 回差分をとることで得られたスパイクが、正になった部分の周辺で  $r_x$  が極小となる点を探し、行読みの開始点とした。また、スパイクが負になった部分の周辺で  $r_x$  が極大となる点を探索し、行読みの終了点とした。

抽出された行読みの開始点から終了点までのデータについて、接触力  $f_{ze}$  の平均値を行ごとに求めた。第 1 段階として、読み返しのない行を対象にこの操作を行つた。読み返しが多く、分析対象行の数が 10 未満となつた被験者においては、接触位置・力データ及びビデオ映像をもとに、読み返し以外の箇所を筆者らが切り出して接触力の平均値を求めた。行ごとの接触力平均値を更に被験者ごとにまとめて平均を求めた。これを縦軸とし、横軸に普段の読み方による読み速度をとり、被験者ごとのデータをプロットしたのが図 11 である。白抜き四角は触読時に指の上下運動を伴つた被験者を、塗りつぶし四角は上下運動が見られなかつた被験者を表す。図 11 からは、次のようなことがいえる。

- 触読速度が遅い人は接触力が軽い (0.1~0.4 N) 例がほとんどであった。
- 触読速度が平均的、及び速い被験者群は、遅い被験者群より接触力が強い人が多く (0.3~1.5 N)，また個人によるばらつきも大きかった。
- 全般にいって、読みが速い人が接触力が軽く、読みが遅い人が強いという従来より主張してきた関

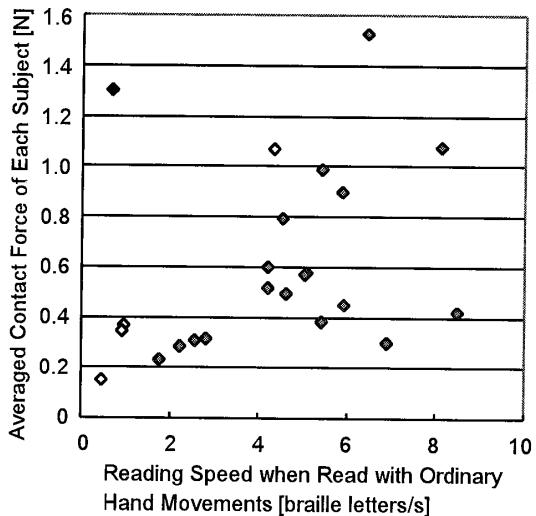


図 11 読み速度と接触力平均値との関係白抜き四角は読時に指の上下運動を伴った被験者を、塗りつぶし四角は上下運動が見られなかった被験者を表す。  
Fig. 11 Relationship between contact force and reading speed.

係は見られなかった。

未熟な点字読者は点字を容易に知覚できないため、文字の上で指を上下させ、その動作の結果として強くて変動の大きな接触力を呈すると従来は考えられてきた。このうち指の上下運動と接触力の大きな変動は4人の被験者で見られた（図11の白抜きのプロット）が、接触力の平均値は必ずしも強くはなかった。点字の形状をすぐに知覚できなかった場合、より強く指を押し当てるのではなく、逆に軽く当てることで点字の凸部を感じ取ろうという戦略を用いているのかもしれない。

なお、触読速度が遅く、かつ接触力が強い（1.5～1.6 N）被験者が1人だけ見られたが、この人は糖尿病性網膜症であった。糖尿病では末梢神経に障害が生じるため、点字の認知が困難なことが知られている[11]。この被験者が接触力を強くしたのは、このためと推察される。その確認のため、糖尿病性網膜症の視覚障害者相当数を被験者とし、触知覚能力と、点字の認知に必要な接触力を併せて計測することは今後の課題である。

平均以上の触読速度の被験者群の方が、遅い被験者群より平均接触力が強いことも予想外の結果であった。指を一定速度で水平方向に動かすには、文字列からずれないように適度な力をかける必要があるなどの理由も考えられるが、まだ全く推測の域を出ない。点字の知覚しやすさの観点から今後の研究が必要である。

### 5.3.3 読返し動作

草島によると、読材料に読み慣れない語があると点字読者は「急に触圧を動搖させながら再読・三読」する[2]。しかしながら筆者らの接触力データでは、熟達者においても通常の行読み中から接触力の変動が見られており、これと区別するほど顕著な変動は読返し動作の際に観察されていない。もっとも、指を戻す際の接触力の急激な低下と、読返し位置を探るために指の運動は認められる（図9を参照）。草島の触圧データはこれらをとらえた可能性がある。

ここでは、読返し時に強い力でゆっくり読む動作を被験者がとったかどうかを検討してみる。触読速度が平均以上の被験者のデータで、読返しが観察された行（11人から3行ずつ、1人から4行、1人から1行、合計38行）の読返しをした区間にについて、読返しの前後で接触力の平均値と運指の速度を比較した。38データのうち30データにおいて読返し後の接触力の方が低い値となった。38データの平均は0.72 N（読返し前）対0.65 N（読返し時）であった。運指の速度については、25データで読返し後の方が速く、平均では3.69 cm/s（読返し前）対5.22 cm/s（読返し時）で、後の方が1.4倍速かった。この理由として、最初に読んだときは容易に読み取れなかたため指の速度が遅かった、あるいは読返し時は内容を再確認するだけで素早く読んだ、あるいはその両方などが考えられる。

### 5.3.4 行読み中の接触力の変動幅

接触力の変動幅について検討するため、被験者1人当たり一つの読材料から1行を選び、行読み中の接触力の変動の大きさを計測した。変動幅をコンピュータプログラムで自動的に抽出するのは難しいため、筆者らが接触力データを観察して極値の位置を定め、隣り合う極値同士の接触力の差分をとった。触読速度が平均以上の被験者群から13人分のデータについて分析した。1行につき4個から31個（平均15個）の変動値をとり、その平均値を被験者ごとに求め、その被験者の変動幅とした。変動幅は0.06 Nから0.23 Nに分布し、平均0.13 Nとなった。ここで変動幅と触読速度の関係、変動幅と平均接触力の比率、変動幅と1行内の変動の回数の関係なども検討してみたが、いずれも低い相関関係しか見られなかった。

なお、上下運動をしても実用的な速度を達成している被験者（図9で、速度4ます/s強、接触力1.0 N強の白抜きプロット）の存在は、上下運動すなわち未熟者の動作とはいえない点で注目すべきデータである。

## 論文／点字触読時の接触力測定方法の確立とその応用——接触力と点字触読速度の関係——

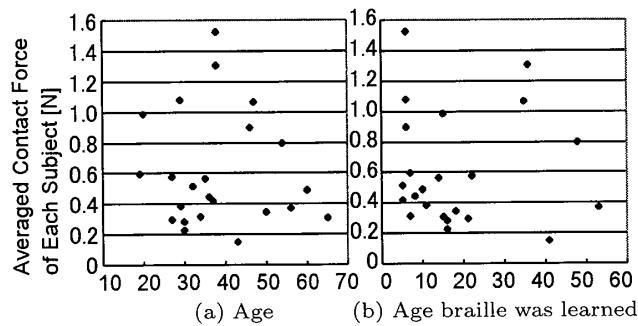


図 12 接触力と年齢及び点字学習開始年齢との関係  
Fig. 12 Relationship between contact force and age.

### 5.3.5 接触力と年齢及び点字学習開始年齢との関係

接触力と年齢及び点字学習開始年齢との関係を示したのが図 12(a) 及び (b) である。両要因と接触力との相関は見られなかった(それぞれ,  $r = 0.08$  と  $r = 0.01$ )。 (a) のグラフからは 30 歳前後で軽い接触力(0.2~0.6 N) である群が見られるが、被験者のうちこの年齢層が最も数が多いことも要因だろう。また、50 歳代以上になると接触力が下がるように見られる。ただしその検証にはより多くの被験者データが必要である。点字学習開始年齢と接触力の関係においても、開始年齢がおよそ 20 歳までで接触力が軽い(0.2~0.6 N) 群が見られる。しかしこれ以外の被験者のデータは年齢と接触力の両方向に広く分布しているので、明確な関係を見出すことはできなかった。

### 5.4 全体考察

今回の実験結果を、点字指導と、触覚によるパターンの認知という二つの観点から考察する。

視覚障害教育及びリハビリテーションの現場では、軽い接触力を目標とした点字指導が行われることがある。その際、接触力の数値データがなければ接触力の強弱の判定は指導者の主觀に頼らざるを得なく、一貫した指導は難しい。そこで定量データを収集することが本研究の当初の目的であった。しかし実験の結果、熟達者が必ずしも軽い接触力を呈するわけではなかった。また、指の上下運動は速い読みを妨げる動作として問題視されることもあるが、上下運動があっても実用的な速度を達成している被験者もいた。これらのことから、触運動と接触力に関する点字指導の内容については再検討が必要とされるだろう。また、指導内容はどうあれ、今回のように接触力をリアルタイムで計測する装置が安価に利用できるようになれば、点字指導に有効に活用されることが見込まれる。

今回の計測の結果、点字触読の際の接触力の範囲が分かった。このデータと指腹部の弾性データを組み合わせて[12]、指と点字の接触状況を解析することが期待される。この解析から、接触力の違いにより、集中的に反応する触覚受容器が異なるといった結果が導かれれば、それが未熟者と熟達者の認知機序の違いの要因であるかもしれない。このような研究の発展につながることが望まれる。

## 6. むすび

6 軸力センサを使った接触力測定システムを構築した。校正及び実際の点字読み時の接触力測定から、このシステムは精度、時間応答性、出力の安定性、接触位置と接触力の同期計測の各点で優れていることを確認した。

点字利用者 23 人を被験者とした接触力測定結果から、未熟者の接触力は軽く不安定であること、熟達者では未熟者に比して人による接触力の違いが大きいことなど、従来の主張とは異なる実証的データを得た。

今回は紙面に垂直方向の力について分析したが、今後は紙面と水平方向の力と点字の認知の関係も探っていきたい。

**謝辞** 数多くの実験の機会を設定して頂いた日本盲人職能開発センターの北林裕氏に深く感謝します。本研究は、科学研究費補助金(特定領域研究(2)課題番号: 16091217)により実施した。

## 文献

- [1] K. Bürklen, Touch reading of the blind, American Foundation for the Blind, New York, 1932.
- [2] 草島時介, 点字読書と普通読書—研究と指導法, 秀英出版, 東京, 1983.
- [3] 佐藤泰正, 視覚障害児の読書速度に関する発達的研究, 学芸図書, 東京, 1984.
- [4] S. Millar, Reading by touch, Routledge, London, 1997.
- [5] 林美恵子, 鴨田真理沙, 藤本浩志, “識別しやすい点字の形状に関する研究,” 人間工学, vol.39, pp.117-122, 2003.
- [6] 渡辺哲也, 大内 進, “点字触読時の触圧測定の試み,” 第 29 回感覚代行シンポジウム, pp.43-46, Dec. 2003.
- [7] 渡辺哲也, 大内 進, 金子 健, 山口俊光, 下条 誠, 島田茂伸, “点字読み速度と触圧の関係について—面圧力分布測定システムを使った触圧の測定,” 信学技報, HIP2005-92, Dec. 2005.
- [8] 篠原正美, 下条 誠, 谷井通世, 清水 豊, “直接操作型触覚ディスプレイ(I)—概要, 問題点および解消策,” 第 30 回感覚代行シンポジウム, pp.117-120, Dec. 2004.
- [9] 天野成昭, 近藤公久(編著), NTT データベースシリーズ日本語の語彙特性第 1 期 CD-ROM 版単語親密度, 三

- 省堂, 東京, 2003.
- [10] G.E. Legge, C. Madison, and J.S. Mansfield, "Measuring braille reading speed with the MNREAD Test," Visual Impairment Res., vol.1, no.3, pp.131-145, 1999.
- [11] 坂本洋一, 中島八十一, 今村夏音, 管 一十, 中野泰志, "糖尿病性網膜症の触弁別(1) —事象関連電位P300と触弁別," 第23回感覚代行シンポジウム, pp.153-156, Dec. 1997.
- [12] 前野隆司, 小林一三, 山崎信寿, "ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係," 日本機械学会論文集, vol.63, no.607-C, pp.881-888, March 1997.

## 付 錄

### 接触位置推定式(4)の導出

6軸力センサに測定盤が固定されている(図A・1)。その盤面(測定面 $\pi$ )の1点(接触位置)に力 $f$ が加わったとき, センサ中心にかかる力とトルクを検出す。 $h$ はセンサ中心から測定面までの方向ベクトルで $h \perp \pi$ を満たす。 $r$ はセンサ中心から接触位置への法線ベクトルである。センサ中心にかかるモーメント $m$ は力 $f$ との外積で表される。

$$m = r \times f \quad (A \cdot 1)$$

本システムの条件 $h \perp \pi$ として,

$$(r - h) \cdot h = 0 \quad (A \cdot 2)$$

式(A・1)に左から $h$ を掛けて,

$$h \times m = h \times r \times f \quad (A \cdot 3)$$

ベクトル三重積の公式から,

$$h \times m = h \times (r \times f) = (h \cdot f)r - (h \cdot r)f$$

移項して,

$$(h \cdot f)r = h \times m + (h \cdot r)f$$

整理すると,

$$r = \frac{h \times m + (h \cdot r)f}{h \cdot f} \quad (A \cdot 4)$$

一方, 式(A・2)は内積の定義から以下のように書き換えられる。

$$r \cdot h - h \cdot h = 0$$

つまり,

$$r \cdot h = h \cdot h \quad (A \cdot 5)$$

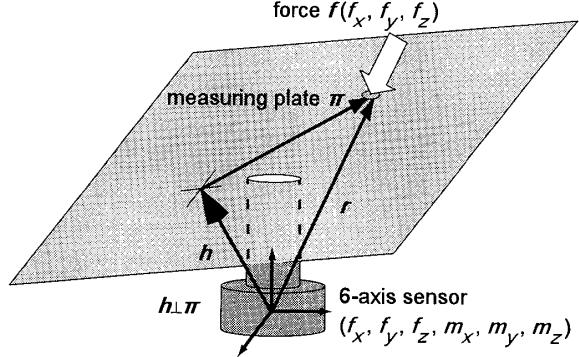


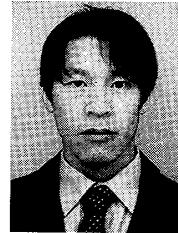
図 A・1 6軸力センサに測定盤が固定され, 測定面上の1箇所に力が加わったときの様子

Fig. A・1 A force is applied onto the measuring plate which is connected firmly to the 6-axis sensor.

式(A・5)を式(A・4)に代入して, 式(A・6)を得る。

$$r = \frac{h \times m + (h \cdot h)f}{h \cdot f} \quad (A \cdot 6)$$

(平成18年6月26日受付, 9月29日再受付)



渡辺 哲也 (正員)

1993 北海道大学大学院工学研究科了。同年水産庁水産工学研究所研究員, 1994 障害者職業総合センター研究員, 2001 国立特殊教育総合研究所研究員, 2005 主任研究官, 2006 主任研究員。この間2004年3月~8月米国イスコンシン大学工学部客員研究員。音声・触覚情報を用いた視覚障害補償技術の研究開発に従事。日本音響学会, ヒューマンインターフェース学会, 日本特殊教育学会, 視覚障害リハビリテーション協会等各会員。博士(工学)。



大内 進

1993 筑波大学教育研究科了。1974 東京都立養護学校教諭, 1975 東京教育大学附属盲学校教諭, 1978 筑波大学附属盲学校教諭, 1999 国立特殊教育総合研究所盲教育研究室長, 2004 総括主任研究官, 2006 上席総括研究員。視覚障害教育指導法及び視覚障害児の心理に関する研究, 音声・触覚情報を活用した視覚障害教育用の教材教具の研究開発に従事。日本特殊教育学会, 日本教育心理学会, 人類動態学会, リハビリテーション連携科学学会, 視覚障害リハビリテーション協会等各会員。

論文／点字触読時の接触力測定方法の確立とその応用——接触力と点字触読速度の関係——



金子 健

1986 東北大学大学院教育学研究科博士前期課程了。1993 同大学院教育学研究科博士後期課程単位取得退学。同年国立特殊教育総合研究所研究員、2002 主任研究官、2006 主任研究員。視覚障害教育、特に視覚障害児の触覚認知に関する研究、触覚教材・拡大教材の研究及び開発に従事。日本特殊教育学会、日本教育心理学会、日本発達心理学会等各会員。修士（教育学）。



山口 俊光

2004 神奈川工科大学大学院工学研究科情報工学専攻了。同年神奈川工科大学工学部福祉システム工学科研究生。2004年11月より国立特殊教育総合研究所科学研究支援員。視覚障害者情報補償に関する研究開発に従事。情報処理学会、視覚障害リハビリテーション協会各会員。



島田 茂伸

2004 北海道大学大学院工学研究科了。同年電気通信大学 SVBL 非常勤研究員、2006 東京都立産業技術研究センター研究員、電気通信大学特別研究員併任、現在に至る。ロボティクス・メカトロニクスの研究に従事。触覚を用いたインターフェース方式の研究開発を行っている。日本機械学会、日本ロボット学会、計測自動制御学会、日本バーチャルリアリティ学会等各会員。博士（工学）。



下条 誠（正員）

1976 東京工業大学大学院総合理工学研究科精密機械システム専攻了。同年通産省工業技術院製品科学研究所入所、1997 茨城大学工学部情報工学科教授、2001 電気通信大学電気通信学部知能機械工学科教授、現在に至る。この間 1985 年 9 月～8 月米国スタンフォード大学工学部客員研究員。ロボティクス・メカトロニクスの研究に従事。触覚センシング、ロボットハンド、触覚を用いたインターフェース方式の研究開発を行っている。日本機械学会、日本ロボット学会、日本バーチャルリアリティ学会会員。日本機械学会フェロー、博士（工学）。