

# 指先に取り付け可能な電気触覚点字ディスプレイの開発\*

辻 聡 史\*\*  
 折 居 英 章\*\*  
 小 浜 輝 彦\*\*  
 江 田 孝 治\*\*

## Development of an Electrical Stimulation Braille Display Attachable to a Fingertip

Satoshi TSUJI\*\*, Hideaki ORII\*\*, Teruhiko KOHAMA\*\* and Takaharu KOUDA\*\*

Braille is one of important tools to obtain information for visually impaired person. In this paper, we developed an electrical stimulation braille display attachable to a fingertip. This device presents braille by applying the electrical current pulse to skin of a finger using electrodes. The braille pattern by electrical stimulation using the prototype device was presented to 7 test subjects, and the total recognition rate is 75 %. In addition, a prototype device was combined with a character recognition system including a camera. The character information on the paper was presented to the finger by this device. This electrical stimulation braille display may be used as useful interface for visually impaired person.

**Key Words** : Braille display, Electrical stimulation, Image processing

### 1. はじめに

物が見えない、または見え難い視覚障害者は日本だけでも 30 万人以上いるといわれている<sup>(1)</sup>。視覚障害を持つ場合、情報取得の手段は主に聴覚と触覚が用いられる。聴覚を用いる手段として、近年では録音図書や電子機器の読み上げ機能の普及により、音声による情報伝達が広まりつつある。しかしながら、音声はプライバシーや適宜さかのぼりながら読むことができないなどの課題がある。一方、触覚を用いる手法として、点字があげられる。通常用いられる点字は、2 × 3 の 6 点のピンで表され、点字を作製するためには専用の装置が必要になる。そのような中、PC やスマートフォンの情報を点字で提示可能な点字ディスプレイが開発され、 piezo素子<sup>(2)</sup>、

高分子アクチュエータ<sup>(3)</sup>や形状記憶合金<sup>(4)</sup>等を用いたものがある。これらに応用した腕時計型のウェアラブル点字ディスプレイ<sup>(5)</sup>も提案されている。これらの多くは、点字のピンを機械的にアクチュエータで提示するものであり、デバイスに厚さが必要となる。

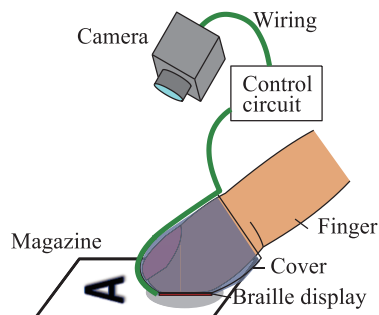


Fig. 1. The goal image of an electrical stimulation braille display in this study.

\* 平成 29 年 11 月 27 日受付

\*\* 電気工学科

本研究では、視覚障害者の日常的な情報取得を支援するため、ユーザーがいつでも・どこでも持ち運び、身に付けて利用可能な点字ディスプレイの開発を目的とする。図1に本システムの最終的なイメージを示す。ユーザーが手軽にデータ化されていない文字情報を取得するためにカメラで指先を検出し、指先の文字を取得する。取得した文字情報を指先に取り付けた点字ディスプレイで、指に提示する。それにより視覚障害者が点字に対応していない紙ベースの情報をいつでも・どこでも取得できると考える。

本研究では、指先に取り付け可能な点字ディスプレイを実現するために Kajimoto らが提案している電気触覚ディスプレイ<sup>(6)(7)</sup>を応用した電気触覚点字ディスプレイを提案する。まず、7名の被験者に試作した電気触覚点字ディスプレイにより指に点字パターンを提示し、点字パターンの認識実験を行った。その結果より提案点字ディスプレイにより点字が提示可能であることを示す。更に、試作ディスプレイとカメラを含む文字認識システムを組み合わせることにより、紙に印刷された文字情報を電気触覚点字ディスプレイにより指に提示し、本システムの有用性を検証する。

## 2. 電気触覚点字ディスプレイ

本研究では、ユーザーがいつでも・どこでも持ち運び、身に付けて利用可能な点字ディスプレイの開発を目的とする。そのために指への文字情報の提示方法として電気触覚ディスプレイ<sup>(6)(7)</sup>を応用する。電気触覚ディスプレイは皮膚表面に配置した電極により電流を流し、皮膚下の神経を刺激することで触覚を提示するものである。本ディスプレイの特徴は、触覚提示に電極のみを用いることで、触覚提示面を薄型化できる点である。それにより、指先に点字ディスプレイを取り付ける際、違和感なく取り付けることができると考える。図2及び図3に今回試作した電気触覚点字ディスプレイの概要を示す。図2(a)に指に取り付けた電気触覚点字ディスプレイを、図2(b)に制御回路を、図2(c)に指に電流を流すための電極を、図2(d)に指先デバイスの上部を、図2(e)に指先デバイスの底部をそれぞれ示す。図2(b)の制御回路は、主にマイコンとDC-DCコンバータ及び電子回路から構成される。本ディスプレイは、指に電気刺激を与えるために、電極から皮膚に数mAの電流パルスを送る。電極間の指の抵抗が数十kΩであることから、数mAの電流を皮膚に流すためには電圧が350V程度必要となる。本ディスプレイでは、持ち運び可能にするためスマートフォンやモバイルバッテリーで利用することを想定し、USB電源の5Vで制御可能なシステムの構築を行う。そのため、5Vを350Vに昇圧させるため、絶縁型DC-DCコンバータであるフライバックコンバータを用いた。指先に電流パルスを送るためにD/Aコンバータ、電圧-電流変換回路及びカレントミラー回路からなる電子回路と

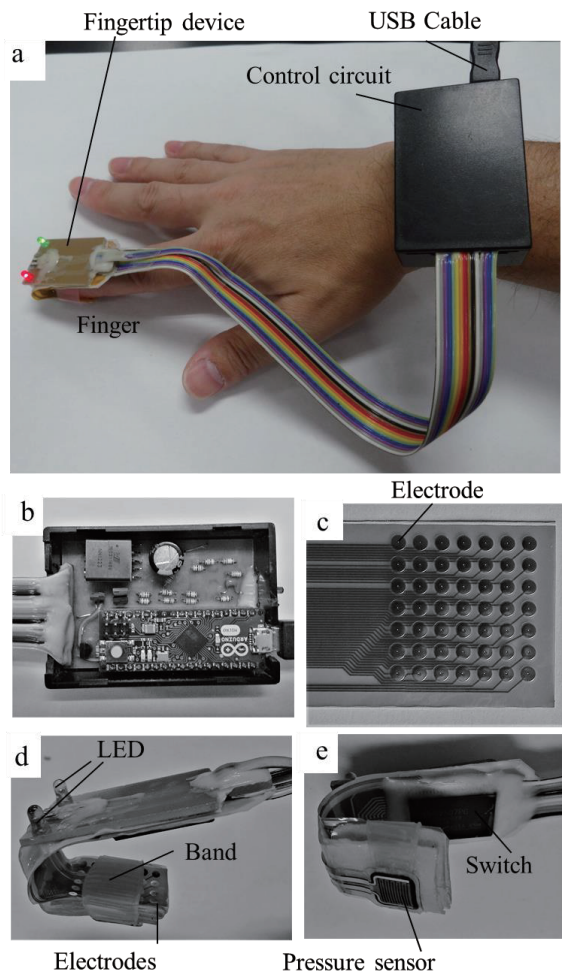


Fig. 2. The prototype electrical stimulation braille display. (a) The braille display attachable to a fingertip. (b) The control circuits. (c) Electrodes. (d) The top view of the fingertip device. (e) The bottom view of the fingertip device.

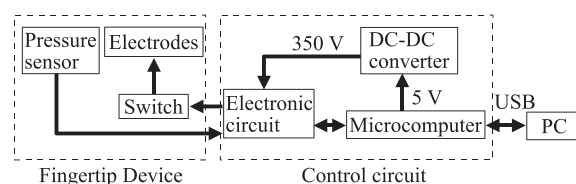


Fig. 3. The system structure of the proposed braille display.

マイコンで電流制御を行った。図2(d)(e)の指先デバイスは、指先に電流を流すパターンを変更するためのスイッチと電極、接触状態を測定する圧力センサ及びカメラにより指の位置、姿勢を検出するためのマークとしてLED(赤と緑)で構成される。図2(c)の電極は7×7の49点であり、電極間隔は3mmとした。各電極の直径は、2mmである。電極は、厚さ約0.1mmのフレキシブル基板で作製した。また、電極を指にフィットさせるために電極面は、指の形状に合わせ弧形のPET板に固定し、指と電極の固定にはゴムバンドを用いた。本研究では、

電気刺激を与える電極 1 点を陰極にし、残りの電極を陽極とする陰極刺激<sup>(6)</sup>を用いた。電流パルスの大きさは、マイコンと制御回路で 0 mA から 10 mA まで制御可能であるが、今回基礎研究として 3 mA 一定とし、電流パルスのパルス幅は 1 ms とした。図 4 に今回用いた電極パターン及び点字パターンを示す。E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub>, E<sub>5</sub>, E<sub>6</sub> を電気刺激電極として用いた。今回基礎研究として a, b, c, k, l, m, u, v, x の 9 個の点字パターンを提示する。複数点の電気刺激を提示する点字パターンでは、各電極の電気刺激を時間で区切り 1 点ごとに電流パルスを通した。その時の電流パルスの順番は E<sub>1</sub> から E<sub>6</sub> とし、時間間隔は 150 ms とした。例えば、u のパターンを提示する場合、E<sub>1</sub> に電流パルスを通し、150 ms 後に E<sub>5</sub>、更に 150 ms 後に E<sub>6</sub> に電流パルスを通す。これらの制御はマイコンにて行う。

### 3. 実験及び考察

#### 3.1 電気触覚点字ディスプレイの評価実験

試作した電気触覚点字ディスプレイで点字パターンが認識可能か検証するために、被験者の指に電気触覚点字ディスプレイを装着し、点字パターンの認識実験を行った。被験者は 20 代の男性 6 名と 30 代の男性 1 名、合計 7 名で行った。実験の様子を図 5 に示し、下記の手順で実験を行った。

- (1) 被験者の右手人差し指に指先デバイスを取り付け、指をテーブルの上に置く。
- (2) 被験者に電流パルスの流れる順番、点字パターンを印刷した紙の説明を行い、被験者は参照のために紙を見ながら実験を行う。
- (3) 被験者に E<sub>1</sub> から E<sub>6</sub> までの各電極に電流パルスを通し、各電極の電気刺激が認識可能か確認を行う。
- (4) 9 パターンの点字を被験者に指示しながら点字ディスプレイで点字パターンを指に提示し、パターンが認識可能か確認を行う。
- (5) 点字パターンを点字ディスプレイでランダムに 45 回 (9 パターン × 5 回) 提示する。被験者は 1 回の点字パターンを提示後、口頭で認識したパターンを回答する。

なお、手順 (3) において電流パルスを認識できない被験者 1 名、及び手順 (3) で刺激が苦痛と感じた被験者 1 名には実験を行っていない (被験者 7 名には含まれない)。また、筆者 1 名を除く 6 名は、電気刺激提示は本実験が初めてであった。表 1 に各点字パターンの認識結果を、表 2 に各刺激回数の認識結果をそれぞれ示す。今回の実験において、刺激パターン全体の認識率は 75 % であった。表 1 より a, b, c の認識率が高く、v, x の認識率が低い。また、刺激回数が 2 回以下の刺激回数の認識率が 96 % に対し、刺激回数が 3 回以上の刺激回数の認識率は 71 % であった。これらのことから刺激回数が少ないほど認識率が高いことがわかる。v の提示において u

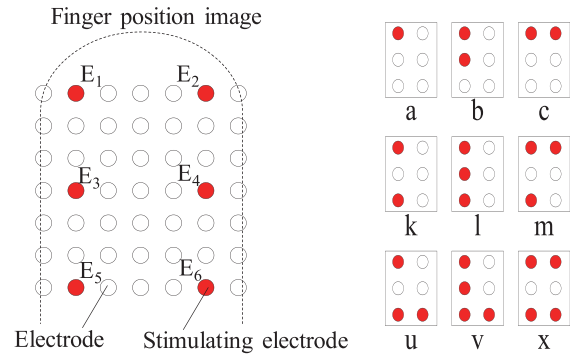


Fig. 4. The electrode positions of electrical stimulation braille.

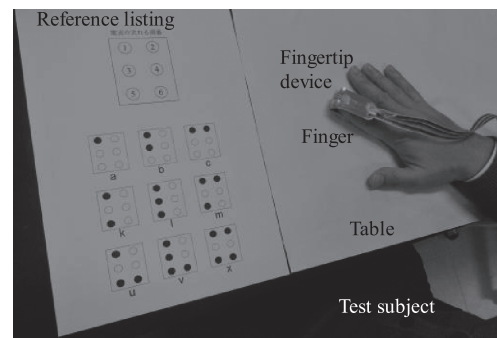


Fig. 5. The condition of the experiment.

と誤認識し、x の提示において m や u と誤認識している。これらは、v, x の提示から電気刺激を 1 点少なく誤認識していることが原因である。今回 1 点の刺激を時間で区切りパターン提示を行っているが、連続して刺激を行うために、刺激間隔が短く途中もしくは最後の刺激が感じられなかった、もしくは指と電極の接触状態が悪く刺激を十分に感じられなかったことが原因と考える。また、u を v や x と刺激の回数を多く誤認識しているが、無意識に刺激を補充したことが原因であると考えられる。一方、刺激回数が合っている場合においても、k を b と誤認識しているが、これは認識位置の誤認識が原因である。また、実験後の被験者へのヒアリングで刺激部位により刺激の感じ方が異なるとの意見と電気刺激を繰り返し行うことにより刺激が感じにくくなるとの意見があった。この改善方法として、電気刺激を安定的に与えるために Kajimoto が提案している皮膚抵抗を測定し、電流パルスにフィードバック制御する手法<sup>(7)</sup>があげられる。表 3 に各被験者の認識率を示す。今回の実験における最高認識率は筆者 (被験者 A) であり、予備実験として点字パターンの電気刺激を多く受け、刺激パターンを自然に学習したことで認識率が高くなったと考える。なお、この時の誤認識は 7 回中 4 回が x の場合であり、x を省くと認識率は 93 % になる。このことから電気刺激による点字パターンの認識訓練を行うことにより、認識率を高めることができると考える。本ディスプレイにおいて電流

Table 1. The recognition result (%) of stimulation patterns.

Input Data	Estimated Data								
	a	b	c	k	l	m	u	v	x
a	97.1	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
b	0.0	94.3	2.9	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
c	5.7	0.0	94.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
k	0.0	22.9	0.0	68.6	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0
l	0.0	2.9	0.0	5.7	80.0	2.9	2.9	2.9	2.9
m	0.0	2.9	2.9	5.7	0.0	85.7	2.9	0.0	0.0
u	0.0	0.0	0.0	2.9	8.6	5.7	48.6	17.1	17.1
v	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	2.9	22.9	60.0	8.6
x	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	34.3	11.4	2.9	48.6

Table 2. The recognition result (%) of stimulation number.

Input Data	Estimated Data			
	1	2	3	4
1	97.1	2.9	0.0	0.0
2	1.9	95.2	2.9	0.0
3	0.0	7.6	79.0	13.3
4	0.0	1.4	38.6	60.0

Table 3. The recognition rate (%) of each test subject.

Input Data	Test subject						
	A	B	C	D	E	F	G
a	100	100	100	80	100	100	100
b	100	80	100	100	80	100	100
c	100	100	100	100	60	100	100
k	100	20	40	60	80	100	80
l	100	100	100	80	40	80	60
m	80	100	100	100	60	100	60
u	100	20	20	60	40	20	80
v	60	60	100	20	80	40	60
x	20	0	60	80	20	80	80
Total	84	64	80	76	62	80	80

パルスの時間間隔, 大きさや電極パターンの改良, フィードバック制御を行うことで認識精度を高めることができると考える。

### 3.2 リアルタイム点字提示システム

試作した電気触覚点字ディスプレイを用い, カメラを含む文字認識システムと組み合わせ, 紙に印刷した文字情報を電気触覚点字ディスプレイにより指に提示した。図6に実験の様子を示す。指に取り付けた指先デバイスが紙に接触したことを圧力センサにより検知し, 接触情報をマイコンからUSB経由でPCに送信する。接触情報をもとにカメラからPCに画像を取り込む。その画像から指に取り付けたLEDを検出し, 指の位置, 姿勢を検出する。検出した指の上部画像を用い文字認識を行う。得られた文字情報をPCからマイコンにUSB経由で送信し, その文字を点字として電気触覚点字ディスプレイにより指に提示する。今回試作した電気触覚点字ディスプレイはUSB経由でPCと接続しているが, モバイルバッテリーと無線通信技術を用いることによりウェアラブル化が可能であると考え。実験として, 紙に a, b, c,

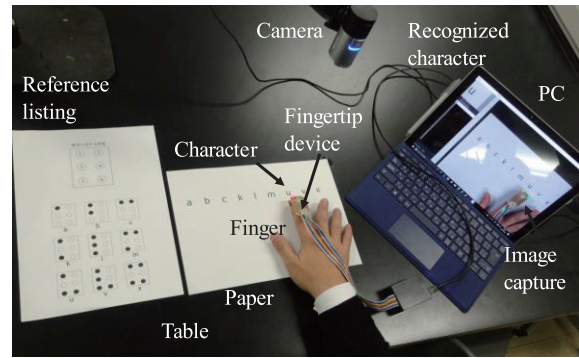


Fig. 6. The condition of the experiment.

k, l, m, u, v, x が印刷された文字を指でさし, カメラから取得した画像を文字認識し, その文字を電気触覚点字ディスプレイで指に提示した。なお, 今回基礎研究としてカメラはスタンドに固定し, 紙の真上から画像を取得した。その結果, リアルタイムに紙の文字を電気触覚点字ディスプレイで提示可能であることを確認した。

### 4. まとめ

本研究では, 指先に取り付け可能な電気触覚点字ディスプレイの開発を行った。提案電気触覚点字ディスプレイは, 指先に取り付けた電極から皮膚に電流パルスを流すことにより, 皮膚下の神経を刺激し, 触感を提示するものである。この電流パルスを流すパターンにより点字パターンを指に提示した。実験として, 試作した電気触覚点字ディスプレイで7名の被験者に点字パターンを提示し, パターンの認識実験を行った。その結果, 点字パターンの全体の認識率は75%であった。認識率に課題を残すものの提案した電気触覚点字ディスプレイにより点字が提示可能であることを示した。更に試作ディスプレイとカメラを含む文字認識システムを組み合わせることにより, 紙に印刷された文字情報を電気触覚点字ディスプレイにより指に提示可能であることを示した。これらのことより, 提案した電気触覚点字ディスプレイは視覚障害者の日常的な情報取得を支援するための有用なツールとなる可能性があると考え。

### 謝辞

本研究の一部は, 福岡大学研究推進部の研究経費によるものである(課題番号: 155006)。本研究に被験者としてご協力を頂きました福岡大学工学部電気工学科電気回路研究室の学生に感謝の意を表します。

### 参考文献

- [1] 厚生労働省社会・援護局障害保健福祉部企画課, “平成18年身体障害児・者実態調査結果”(2008)
- [2] KGS Corporation, <https://www.kgs-jpn.co.jp/index.php?%E8%A3%BD%E5%93%81%E8%A9%B3%E7%B4>

%B0

- [3] Y. Kato, T. Sekitani, M. Takamiya, M. Doi, K. Asaka, T. Sakurai, T. Someya, "Sheet-Type Braille Displays by Integrating Organic Field-Effect Transistors and Polymeric Actuators", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 54, No. 2, pp. 202-209 (2007)
- [4] 松本悟志, 嶋脇聡, 酒井直隆, "コイル形状記憶合金を用いた触覚ディスプレイの評価", 人間工学, Vol. 45, No. 2 pp. 135-140 (2009)
- [5] K. Minatani, "A Wristwatch-Shaped Wireless Refreshable Braille Display Which Realizes Augmented Mobile Access for Blind Persons", Proc. 2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics, pp. 206-210 (2014)
- [6] H. Kajimoto, M. Inami, N. Kawakami, S. Tachi "SmartTouch: Electric Skin to Touch the Untouchable", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 24, No. 1, pp. 36-43 (2004)
- [7] H. Kajimoto, "Electro-tactile Display with Real-Time Impedance Feedback using Pulse Width Modulation", IEEE Transactions on Haptics, Vol. 5, No. 2, pp. 184-188 (2012)