

ひらがな書字学習における触覚化支援手法

佐藤 綱祐^{1,a)} 陽奥 幸宏^{2,b)} 杉妻 謙^{3,c)} 坂井 聡^{4,d)} 水野 義博^{2,e)}

概要：本研究は、学習障害児や書字障害（ディスレクシア）児を対象として、ひらがな書字学習に触覚情報を付与した学習支援システムを提案する。スマートフォンのガラス表面を超音波振動させることにより様々な触覚情報が提示可能なパネルを用いて、運筆時に豊かな触覚表現を提示するとともに、“とめ”や“はらい”といった書字における重要な箇所に対して特定の触覚情報を提示する。書字学習において文字を書く楽しさを付与することで、学習意欲の向上を目的とするとともに、触覚化支援により正しく書字することの支援へと繋がるも期待される。これにより、学習時間の向上やそれに伴う記憶文字数の向上が見込まれる。本稿では書字学習における触覚の提示手法について述べるとともに、本システムのフィールド実験における知的障害児への適用を通じて有効性の検証を行った結果、および今後の展望についてまとめる。

1. はじめに

ひらがなや漢字の書字能力は、学校生活における学習の基礎能力であるが、書字障害（ディスレクシア）といわれる書字学習に困難を示す児童・生徒が特別支援学校や特別支援学級に一定数在籍している。また小中学校の通常学級においても 6.5%の割合で発達障害の可能性のある児童生徒が含まれていると文部科学省の調査によって報告されている [1]。

日本における書字学習では小学校入学後から体系的に指導が行われるが、近年は入学前からひらがな書字能力が身に付いている子供が 70%以上と報告されている。一方で、通常学級の 1,2 年生を対象とした調査では、書字学習において特別な支援を必要としている児童の在籍率は 1 年生で 4.5%，2 年生では 5.4%と報告されている [2]。読み書き能力の困難は学習全般に対して苦手意識を持たせ、学習意欲を喪失させるだけでなく、対人関係の形成における困難へと繋がるともいわれており、副次的な影響も大きい。

近年では発達障害や学習障害を持つ児童生徒を対象として、様々な研究が行われており、特に ICT 機器を用いた学習支援が行われている。その中でもスマートフォンやタブレット端末を用いたアプリケーションが中心となっている

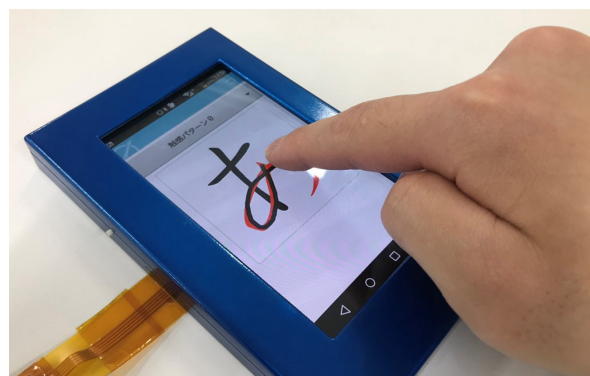


図 1 システム使用概要図

Fig. 1 Overview of our system.

が、静的/動的な運筆情報の可視化や運筆の正確性の判定、聴覚情報の付与などに留まっている。そこで本研究は、これまでの書字学習においてほとんど行われていない触覚情報を付与し、触覚化支援を行うとともに多感覚刺激による効果的な書字学習の支援システム（図 1）を提案する。本システムは触覚情報の付与により、書字学習における楽しさを付与することで学習意欲の向上を目的とするとともに、後に述べる触覚化支援により、正しく書字することの支援へと繋がる。その結果、学習時間の向上やそれに伴う記憶文字数の向上が期待される。

以下本論文では、2 章で従来の書字学習支援システムについて述べ、3 章で本研究において提案するシステムの構成とその制御手法について述べる。4 章では本システムを用いた学習障害児に対するフィールド試験について述べ、5 章でその結果と考察について述べる。6 章では本システムを発展させた応用アプリケーション、およびその副次的

¹ 筑波大学 | University of Tsukuba

² 株式会社富士通研究所 | FUJITSU LABORATORIES LTD.

³ 富士通デザイン株式会社 | FUJITSU DESIGN LTD.

⁴ 香川大学 | Kagawa University

^{a)} kosuke@vrlab.esys.tsukuba.ac.jp

^{b)} youoku@jp.fujitsu.com

^{c)} suginome.ken@jp.fujitsu.com

^{d)} sakai@ed.kagawa-u.ac.jp

^{e)} mizuno.yoshi@jp.fujitsu.com

な見込み効果について述べ、7章でまとめと今後の展望について述べる。

2. 関連研究

従来の典型的な学習方法は、紙に印字された手本の文字を指やペンでなぞり書きする手法が中心的である。しかしこれらは単調な反復練習を要するため、相当量の紙を消費するだけでなく、学習に対する意欲が低下傾向になることが問題となる。また学習効果向上の定量的な把握が困難である。

一方、近年では ICT 機器を用いた新たな手法が提案されている。これまで ICT 機器を用いた書字学習支援に関する研究において最も行われているのは、スマートフォンやタブレット端末を用いたアプリケーションにより学習支援を行い、指やスタイラスペンによるなぞり書きを行う研究である [3]。芳野らは任天堂 DS を用いた書字学習トレーニング手法を提案し、特にゲーム性を取り入れた学習意欲を持続させるアプリケーションを開発している [4]。また、入力された文字を評価するアルゴリズムを用いて採点を行い、フィードバックすることで書字学習を支援するアプリケーションも多く見受けられる [5]。また学習支援システムではないが、ペン習字上達支援のためのアプリケーションとして、浦らは運筆のリズムを可視化することにより短時間で上達させる手法を提案している [6]。これらの手法やアプリケーションは静的、あるいは動的な運筆情報の可視化や運筆の正確性の判定、聴覚情報の付与などに留まっており、従来の紙を用いた学習方法を電子的な入出力に置き換えたのみであるシステムが多い。

さらにはアナログな支援手法として、特殊印刷技術を用いて紙に物理的な隆起形状を生成し、線や文字の枠からはみ出すことのないように書字練習が行える製品が市販化されている [7]。

一方、正しく書字することではなく楽しく書字することを目的として、筆記音を拡張して聴覚フィードバックする研究が金らによって行われており [8]、単純な筆記作業における作業効率の向上が示唆されている。また、この知見を応用した製品も市販化されている [9]。

そこで本研究はこれらの知見を応用し、これまでのスマートフォンにおける書字支援アプリケーションの視覚化・聴覚化支援に加えて、触覚情報を付与することで多感覚刺激による効果的な書字学習支援システムを提案する。スマートフォンを用いることで反復練習を容易にできる従来の特徴に加えて、触覚情報により楽しく書くことの拡張や正しく書くことの支援が可能となる。文字に触る感覚を拡張することで学習意欲の向上が期待され、文字に触れる機会が増加することで学習時間や使用回数の向上へと繋がると推察される。

3. 触覚化支援

3.1 触覚提示手法

なぞり学習における触覚化支援の有効性を検証するにあたり、以下のシステム要件を立てる。

- (1) 指とスタイラスペンのなぞり入力に対応可能
- (2) 多様な触覚情報が提示可能
- (3) 学習者の身体に非装着型

触覚情報を付与する手法として、スマートフォンの本体/表面パネルを振動させる手法 [10] やスタイラスペンを振動させる手法 [11]、指爪部に振動子を貼付して指を振動させる手法 [12] などがこれまでの先行研究で提案されている。そこで本研究は、システム要件 (1)-(3) を満たす、スマートフォンの表面パネルを振動させる手法を採用する。

超音波方式を利用して表面パネルを高速に振動させることにより、パネルと指（またはスタイラスペン）との境界に高圧の空気膜が生じ、摩擦が低下するスキューズ膜効果という現象が一般的に知られている。谷中らはこの現象を応用して、タブレット端末におけるパネル表面のなぞり知覚でつるつる感やざらざら感の触覚情報の提示を可能としている [10]。そこで本研究ではこの手法を利用して、スマートフォンの表面パネルにて触覚提示を行う。

3.2 システム構成

本システムは、スマートフォン (Android) 用アプリケーションである筆順理解支援アプリ「特別支援スマホアプリ 筆順 ひらがな [13]」(以下、アプリ) (富士通株式会社製)、超音波振動の提示が可能なパネル (以下、パネル)、パネルを制御するためのモジュール (以下、制御モジュール) から構成される (図 2)。Android 端末と制御モジュールは Bluetooth 通信により接続され、アプリからの制御信号を制御モジュールで受信 (0-5[V]) し、信号を変調・増幅した後にパネルへの出力を行い触覚提示を行う。パネルは



図 2 システム構成図

Fig. 2 System Configuration.

Android 端末の画面表面に覆うように配置されており、アプリのタッチ位置は Android 端末で取得可能であるため、タッチしている指先へ直接触覚情報が提示される。アプリの運筆イベントに応じて、後に述べる触覚提示を行い、学習支援における触覚化支援を行う。

従来の「特別支援スマホアプリ」の機能に関して以下に述べる。まず学習対象とする文字を選択し、その後1画ずつ視覚、聴覚、振動情報が動的に提示される。運筆開始位置にてタップ動作を行うと、「グー」という音声情報とともにスマートフォンのバイブレーション機能により振動が提示される。また運筆終了位置近傍まで動かした後、「ピタッ」（“とめ”時）あるいは「シュッ」（“はらい”時）という音声情報とともにバイブレーション機能が停止する。1画ずつ手本をなぞるように運筆を行うが、運筆中に手本から大きく外れた場合は音声情報とバイブレーション機能が停止し、開始位置に戻る。

本システムでは上記イベント時に Android 端末と制御モジュールとの通信を行い、以下に述べる触覚情報の提示を行う。

3.3 触覚提示アルゴリズム

触覚提示は大きく2つの役割を有する。1つ目はなぞり書き中における運筆動作の拡張であり、スマートフォン画

面のなぞり感覚を触覚フィードバックにより拡張する。2つ目は正しく書きするための特定箇所の触覚強調であり、“とめ”や“はらい”などにおける触覚教示を行う。

運筆において、文字のなぞり動作中は小さな凹凸情報の触覚提示を行い、“ぶつぶつ”や“ぼこぼこ”といった錯覚の触覚を提示する。視覚、聴覚提示とともに触覚フィードバックを行うことで、“書いている感覚”が拡張され行為主体感が拡張する。この凹凸情報を多様に提示することにより、子どものなぞり動作への関心を引く目的も有している。また運筆の軌跡が、正解データから一定距離（この距離は書字困難の程度によって個々人でパラメータ調整が必要がある）外れた場合、触覚情報の提示を止める。その結果、視覚情報のみならず触覚情報からも自身の運筆が外れていることを認識することが可能となり、より効果的な学習となると推察される。

また、正しく文字を書字することにおいて重要となる文字内の“とめ”や“はらい”、“おれ”では、特定の触覚情報を提示する。“とめ”においては、“とめ”箇所では運筆動作をしっかりとめることを意識させる必要があるが、学習障害児などはそのまま通過してしまったり、はらい動作をしてしまうことが多く見受けられる。そこで触覚情報の提示により疑似的に指/スタイラスペンが止まる感覚を知覚させる。スクイーズ膜効果により40msのすべり触感提示の

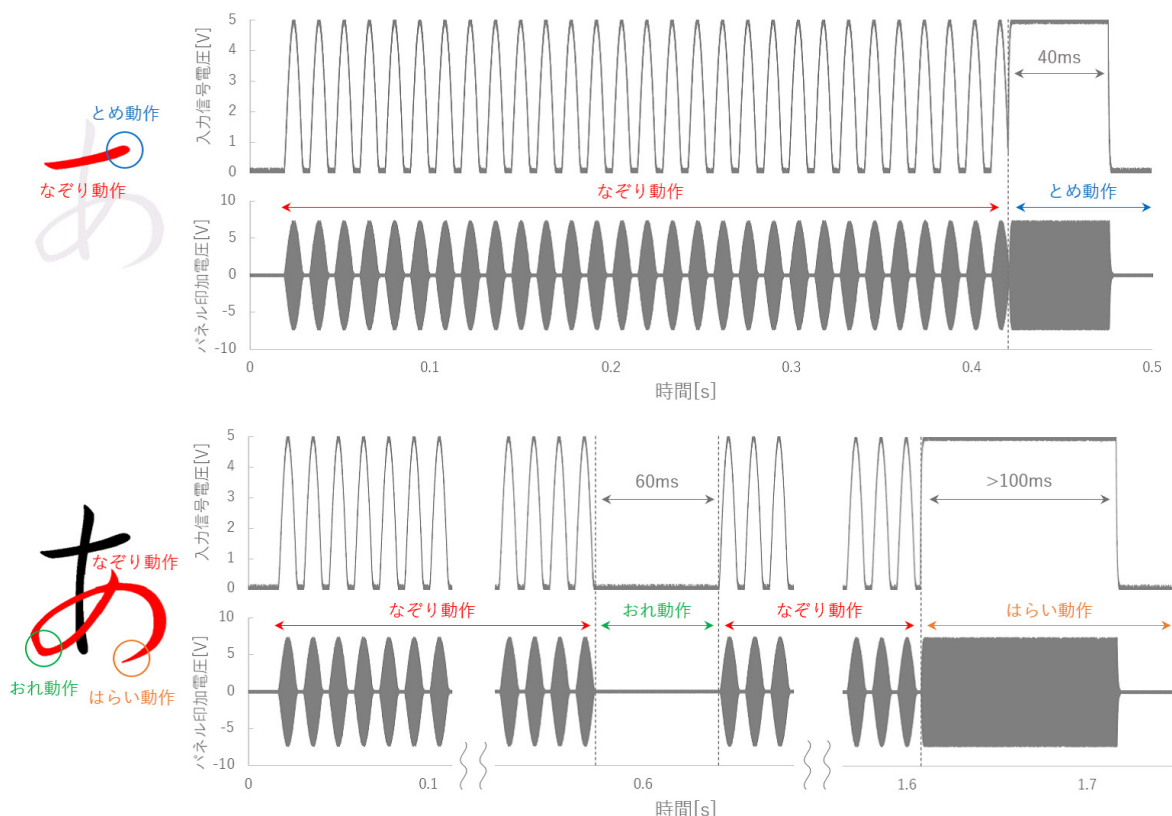


図 3 各運筆イベントにおける特定の触覚提示パターン

Fig. 3 Specific haptic presentation pattern at each stroke event.

後、触覚提示を停止させることで疑似的に指の止まる感覚を提示し、文字のとめ箇所を強調提示する（図3上）。一方“はらい”では、スクイーズ膜効果によりすべり触感を提示（>100ms）することにより、はらい動作を強調提示する（図3下）。また“おれ”では、なぞり動作中に触覚提示を一時的（60ms）に停止させ、その後運筆における文字なぞりの触覚を提示する。これより指の引っかかる感覚を提示し、文字のおれ箇所を強調提示する（図3下）。これら3か所における特定触覚情報の提示時間は、予備実験により最も効果を感じやすいパラメータとして実験的に求められた。なおパネルに電圧を印加していない時の指先とパネルの動摩擦係数 μ' は0.78であり、入力信号電圧が5.0Vの時（摩擦が最も小さい時）の動摩擦係数 μ' は0.24であった。

4. フィールド実験

本システムにおける触覚化支援の有効性は、ひらがな学習における学習意欲と記憶文字数の向上によって示される。本稿ではまず学習意欲の向上を検証し、本システムの有効性を検証する。そこで香川大学教育学部と協力してフィールド実験を行った。実験対象者は特別支援学級に通う小学校1年生男児（中度知的障害、自閉症）とした。対象者は現在ひらがな学習に取り組んでおり、特に自身の名前を積極的に学習している最中であったため、本システムを用いて自身の名前（ひらがな6文字）の学習を行ってもらった。なお実験には香川大学教育学部の学部生の実験協力者（男性）が付き添い、学習指導を行った。本システム使用中は学習の様子を動画撮影により記録した（図4）。

5. 結果と考察

スタイラスペンを用いて自身の名前6文字をなぞり学習した結果について述べる。実験対象者の学習の段階を考慮して、今回の実験は指ではなくスタイラスペンを使用した学習であった。名前の1文字目は計7回のなぞり学習を行った（5回目の最後のなぞり箇所そのまま塗りつぶす動作が観察されたため、ナンバリングを5'としている）。1文字目ははじめの段階では、上手くなぞれていない場面（図4:1-3）やぐちゃぐちゃに塗りつぶしてしまう場面（図4:5'）、鏡文字になってしまう場面（図4:6）が見受けられた。しかし数回なぞり動作を行っていく上で、なぞり動作のスピードが緩やかになり、正解データからのずれが極端に小さくなるのが観測された（図4:7）。また、2-6文字目は1,2回のなぞり学習を行ったが、そのほとんどにおいて正解データからのずれが小さいことが動画から観測された（個人情報観点から他の文字に関しては図示しない）。

さらに実験協力者による学習文字選択の作業中には、「早く次の文字をなぞりたい」といった行動が見られた。また実験協力者の意見として、「これまでの他の手法を活用した書字学習と比較して、今回のシステムの方が興味を持って

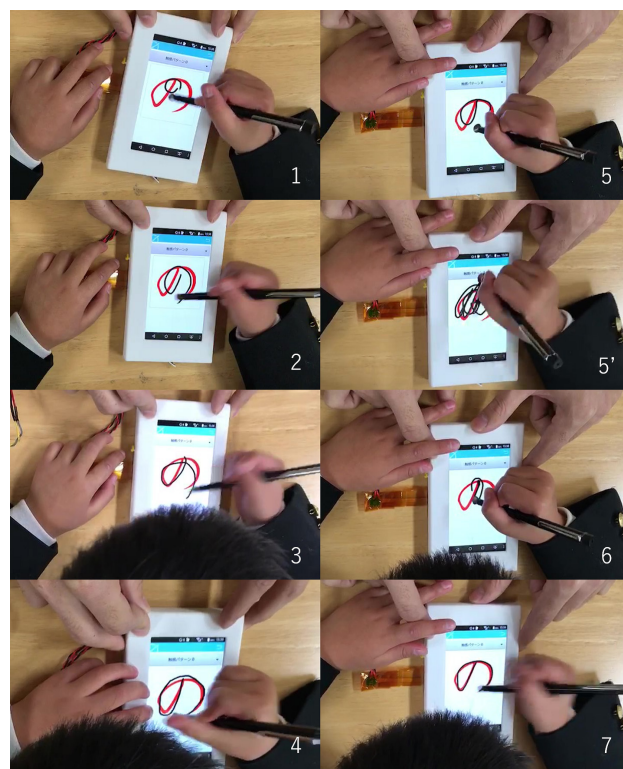


図4 フィールド実験の様子

Fig. 4 The state of the field experiment.

学習に取り組んでいるように見えた」との報告を受けた。

今回のフィールド実験の結果を受けて考察する。実験対象者は数回のなぞり動作の中で自身のなぞり動作に対する触覚フィードバックを次第に知覚していき、しっかりとなぞることに意識が向けられるようになったと推察される。また学習文字選択の作業中に表出した行動や、実験協力者からの意見をふまえて、触覚提示によりなぞり学習における興味・関心の誘発がされていることが示唆された。

6. 応用アプリケーション

本システムの応用システムとして、以下2つ、試験実装したアプリケーションについて述べる。

文字で物の名前を書くためには、物の名前を頭の中で音にして、その音の順序性を把握する力が必要であるといわれている。また語彙の獲得は日常生活の中に組み込まれると良いといわれている [14]。そこで機械学習を活用して、スマートフォン内蔵カメラによる撮影物の文字起こしを行う機能を付与した。普段接しているものを学習対象として書字学習を行うことにより、学習意欲が向上するとともに、連想記憶として定着することで記憶文字数が向上すると推察される。

また本システムを2つ用いることにより、相互の触覚情報や運筆情報の交換や共有を行うことが可能となる。指導者と学習者が対になり、触覚情報や運筆情報を交換することで、学習者にとっては、指導者の手本を参考にしながら学

習することが可能となり、一方で指導者にとっては、学習者の問題点を容易に把握することが可能となる。また指導者と学習者、あるいは学習者同士が対になり、触覚情報や運筆情報を共有することで、2人で一緒に学習を行うことによる学習意欲の向上が見込まれるとともに、特に知的障碍児のコミュニケーション機会の創出や発話のきっかけとなることが期待される。

7. まとめと今後の展望

本研究はひらがな書字学習における学習支援システムとして、新たに触覚を付与するシステムを提案し、その触覚化支援手法について述べた。特別支援学校に通う生徒を対象に行ったフィールド実験を通じて、本システムの学習意欲向上における有効性が示唆された。本稿では即時的な効果の検証に留まっているため、今後は中長期的な運用を行い、読み書き理解評価「URAWSS」や読み書きスクリーニング検査「STRAW」を定期的に行うことで、定量的な効果の検証を行う予定である。また応用アプリケーションで述べた手法も併用することで、より効果的な書字学習手法を確立していく。さらに今後の展望としては、学習障害や書字障害の方だけに留まらず、通常学級や就学前教育、片麻痺患者の利き手交換のための非利き手書字訓練 [15] などへの応用を進めていく。

参考文献

- [1] 文部科学省: 通常の学級に在籍する発達障害の可能性のある特別な教育的支援を必要とする児童生徒に関する調査 (online), 入手先 (http://www.mext.go.jp/a_menu/shoto_u/tokubetu/material/_icsFiles/afieldfile/2012/12/10/1328729_01.pdf) (2012).
- [2] 大庭重治: 通常の学級における低学年児童の書字学習状況とその支援課題, 上越教育大学研究紀要, Vol.29, pp.151-157 (2010).
- [3] 成田滋, 田中敦夫, 西谷淳, 小林茂, 石野恵子, 三原義男: 書字に困難な児童へのタブレット PC 上の教材開発と指導改善, 学校教育学研究, Vol.18, pp.89-99 (2006).
- [4] 芳野可奈子, 高田雅美, 天白成一, 城和貴: ニンテンドーDSを用いた書字学習トレーニングソフトの開発, 情報処理学会研究報告数理モデル化と問題解決, No.19, pp.81-84 (2007).
- [5] 園田貴章, 井上朋美, 岡崎泰久: 漢字書字困難児に対する指導法の開発: 液晶ペンタブレットを用いた漢字学習支援システム, 佐賀大学教育実践研究, Vol.30, pp.63-68 (2014).
- [6] 浦正広, 遠藤守, 山田雅之, 宮崎慎也, 安田孝美: 運筆リズムにより短時間での上達を支援するペン習字アプリ, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.113, No.109, pp.23-28 (2013).
- [7] 株式会社オフィスサニー: 凹凸書字教材シリーズ, 入手先 (<http://www.office-sunny.shop/>).
- [8] 金ジョンヒョン, 橋田朋子, 大谷智子, 苗村健: 筆記音のフィードバックが筆記作業に与える影響について, 情報処理学会インタラクション 2012, pp.445-450 (2012).
- [9] issue+design: Write More - かくをたのしむボード, 入手先 (<http://issueplusdesign.jp/writemore/>) (2015).
- [10] 谷中聖志, 鎌田裕一, 宮本昌規, 遠藤康浩: 豊かな触覚を提示する超音波触感ディスプレイ技術, 雑誌 FUJITSU, Vol.68, No.1, pp.86-91 (2017).
- [11] Lee Johnny C., Dietz Paul H., Leigh Darren, Yerazunis William S., & Hudson Scott E.: Haptic Pen: A Tactile Feedback Stylus for Touch Screens, Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp.291-294 (2004).
- [12] Ando H., Watanabe J., Inami M., Sugimoto M., & Maeda T.: A fingernail - mounted tactile display for augmented reality systems, Electronics and Communications in Japan, Vol.90, No.4, pp.56-65 (2007).
- [13] 富士通株式会社: 特別支援スマホアプリ 筆順 ひらがな, 入手先 (https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fujitsu.stroke_order_hiragana)
- [14] 鴨下賢一: 発達が気になる子への読み書き指導とはじめ, 中央法規出版株式会社 (2016).
- [15] 明崎慎輝, 川上佳久, 平賀康嗣, 野村卓生, 佐藤厚: 非利き手の書字正確性を向上させる練習方法, 理学療法科学, Vol.24, No.5, pp.689-692. (2009).