

Braille Pad Project : タブレット型ディバイスを使用した点字教育支援システムの提案

渡辺真太郎^{†1, a)} 馬場哲晃^{†1} 串山久美子^{†1}

概要 : 本研究は, タブレットを使用して, 特に盲児を対象とした幼少期における点字学習に効果的な支援を提供するシステムを提案する. 提案手法では, タブレットに点字が印字された用紙を重ねることで, 点字に触れている指の位置や動作を認識し, 指の状態に応じた聴覚フィードバックを提供する. 指の動作と音が関連付けられるため, ユーザの能動的な触覚活用や効率的な点字触読につながる触運動を促し, 指先の触覚の鋭敏性や巧緻性の向上が期待されるとともに, 点字学習の動機付けとして有用性が見込まれる. また, システムの構成が簡易にすることにより, 教育への導入, 普及が容易である. 本稿では, 提案システムの開発プロセス, 実装について述べ, 展示を通して得たユーザフィードバックに基づくシステム改良の経過を報告する.

キーワード : 点字教育, アクセシブル, タブレット型ディバイス

Braille Pad Project: Proposal of a Braille Education Support System using a Tablet Device

SHINTARO WATANABE^{†1, a)} TETSUAKI BABA^{†1}
KUMIKO KUSHIYAMA^{†1}

Abstract: In this study, as teaching materials of early Braille education for visually-impaired children, we propose a Braille learning support system, which they play touching Braille by using tablet devices. The proposed system provides auditory and tactile feedback in conjunction with finger movement touching Braille, relying on placing conventional Braille teaching materials on the touchscreen surface of a tablet device. In doing so, the system is effective in point of making user to touch and trace Braille actively and accurately, linking own finger movement with sound. Also, we entertain that the system can be used as motivational teaching material in early stage of Braille education. In addition, because that consists of the system is simplified based on product on products for sale generally and widely distributed in Braille education, the system is estimated using widely. In this paper, we describe about the process of development, system, and system improvement based on user feedback through exhibition of the system.

Keywords: Braille education, accessible, tablet device

1. はじめに

視覚障がい児, とりわけ視覚が活用できない盲児の場合, 学習の手段として点字が常用される. そのため盲児教育においては, 効果的な点字の読み書き能力の育成が不可欠である. 点字の読み書き学習では, その習得に多くの時間がかかるとされ, 学習を効率化する支援機器の活用が欠かせない. 従来では, パソコンに接続することで, 画面上の文字情報を点字で表示することのできる点字ディスプレイや, 点字で文字情報を入力することのできる点字キーボード, また点字文書を打ち出すことのできる点字タイプライターなどが使用されてきた. また近年では, 情報技術を活用し, 振動や音声のフィードバックを用いて, 点字の読み書き学習を支援する研究も多く報告されている[2][3][4][5]. しかし, これらの研究は, 主として画面上の点

字を認識することについての支援に焦点が向けられており, 物理的に点字に触れるといった触覚的体験や, そこでの指の動作の認識は考慮されていない. 特に触覚が未熟な盲児を対象とする点字初期教育では, 能動的に指先の触覚を活用し, 実際に点字に触れる体験が重要視される. またその体験を通して, 触覚の鋭敏性を高め, 効率的な点字触読につながる手指の基本的な触運動を訓練することが重要であるが, このような体験を考慮した点字初期学習の支援について検討している研究は少ない.

一方で, 近年 iPad 等のタブレット型ディバイス製品が普及し, パソコン等に比較して導入コストが比較的安く, 携帯性に優れ高機能であるといった理由から, 教育支援機器としての活用が期待されている[1]. タブレットは, タッチスクリーンの搭載により, スクリーンにタッチする複数の指の位置情報や動作 (ジェスチャー) 情報の高精度な検出が可能である. さらに, タッチ動作に応じた視覚的, 聴覚的な即時フィードバックも可能なため, ユーザのタッチ動作を誘発する性質を持つ. このことから, タブレットが提

^{†1} 首都大学東京大学院 システムデザイン研究科
Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University
^{a)} shintaro.watanabe1@gmail.com

供するタッチインタラクションに、物理的に点字に触れる触覚体験を組み合わせることができれば、導入期における点字教育への応用が期待できる。

そこで本研究では、タブレットを使用した、点字に触って楽しむことができる点字学習支援システムの開発に取り組んでいる[6]。提案システムでは、点字用紙をタブレットのタッチスクリーン面に重ねることで、点字に接触する指の位置や動作の情報を認識することが可能となり、その指の状態に応じた聴覚フィードバックを提供することができる[図 1]。これにより、指先の動作と音の関連性が意識付けられるため、能動的な触覚活用を促し、点字学習の動機付けの一助としても有用性が見込まれる。また、指先の微細な動作に対する集中力が高まり、触覚の鋭敏性や巧緻性について向上が期待される。本研究では、実際に教育に導入可能であり、普及が容易な教材としてシステムを実現することを目指す。そのため、システムの構成を、一般的に購入可能であり、広く普及している製品を下地とした。また、システムの開発プロセスでは、特別支援学校教員へヒアリングを重ねることで、点字教育のニーズに的確に対応することを考慮した。本稿では、関連研究とその課題について述べ、ヒアリング調査を踏まえたシステムの検討について述べる。次に、実装したシステムの詳細とユーザフィードバックに基づいたシステムの改良について述べる。

2. 関連研究

点字は、長方形を 6 分割したエリアにそれぞれ 6 つの点が配置され、各点の凹凸のパターンにより文字が一意に定められたものである。近年では、この点字の概念と情報技術を利用して、ユーザに点字文字を伝え、読み書きの学習を支援しようとするシステムの開発が多く報告されている。

Jayant らは、モバイルデバイスのタッチスクリーンと振動フィードバックを利用して、画面上に表示された点字文字を伝えるアプリケーション「VBraille」[2]を提案している。このアプリケーションは、点字文字の空間に対応するように画面を 6 分割し、指が触れるエリアに応じて振動フィードバックのパターンを制御することで、ユーザへの点字文字の伝達を実現している。Rantala らは、振動フィードバックによって点字を伝える独自のタッチスクリーン技術を開発している[3]。このシステムは、タッチスクリーン裏に振動する圧電素子を取り付け、点字のパターンに合わせて定期的に振動の強弱を制御することで、画面上の点字文字を伝えることができる。例えば、「C」という文字を点字で表すと一番目と四番目のセルに凸点（ドット）がある。そこで、振動の強さを、一回目と四回目だけ強く、他は弱く振動させることで、セル上の凸点（ドット）の有無の識別を可能にしている。また、Frey らは、画面上に点字文字を入力することができるモバイルデバイス用アプリケーション



図 1 システムを操作している様子

Figure 1 Photograph of using system.

ョン「BrailleTouch」を提案している[4]。このアプリケーションは、背面にしたモバイルデバイスを両手で握んだ状態で使用する。画面には点字を構成する 6 つの点に対応する 6 つのボタンが配置されており、ユーザは、両手の人差し指、中指、薬指の 6 本の指を、6 つのボタンのエリアに合うように、それぞれ画面上に配置する。各エリアをタッチすることにより、点字を構成する各点の凸点（ドット）の有無を選択することができる。また、マルチタッチ検出により、点字の 6 点の入力を同時に行うことができる。点字文字は音声フィードバックにより認識される。これらの研究は、モバイルデバイスやタブレットの、タッチスクリーンと振動や音声のフィードバックを利用しているが、独自のデバイスを利用するシステムも検討されている。Seim らは、パソコンに接続し、振動する手袋型ウェアラブルデバイスと、それを装着した状態で 6 つのキーを押下することのできるボタンデバイスを開発している[5]。点字のフレーズに応じて手袋に伝える振動を制御することで、画面上の点字をユーザに伝達することができる。また、ユーザは、手袋と連動するパッドのボタンを押下することで、点字文字を入力することもできる。彼らはこの手法を用いて、受動的触覚学習（PHL: Passive Haptic Learning）に基づいた、点字の読み書き学習支援システムを提案している。

これまで述べたシステムは、振動や音声のフィードバックを制御することで、点字の読み書き学習の支援を実現している。しかし、これらは画面上の点字を認識することについての支援に焦点が向けられており、物理的に点字媒体に触れるといった触覚的体験や、そこでの指の動作の認識は考慮されていない。そのため、実際に点字に触れる触覚体験を重要視する、盲児を対象とした点字初期教育に活用することは困難である。

3. 提案手法の検討

本研究では、特に幼少期における盲児を対象ユーザとし、

点字に物理的に触って楽しむ体験を重視した、導入期の点字学習を支援する手法を検討する。提案手法は、特別支援学校の教員にヒアリングを重ねて検討することにより、点字教育のニーズに的確に対応するとともに、教育への導入、普及のし易さを考慮する。

本研究では、ヒアリング調査で得た意見から、導入期の点字学習に適した教材としてシステム、及びアプリケーションに求められる要件を以下のように設定する。

要件 1. 能動的な触覚活動を促すこと

特に幼少期における点字教育では、点字の概念が未形成であり、触覚が未熟な盲児が対象となる。そのため、点字への興味関心を高め、能動的に触覚を活用して、物理的に点字に触れる触覚体験を促すことが必要となる。また、盲児の主体的な学習活動を促すためには、教員等のサポートを必要とすることなく、盲児が自らシステムを活用できることが望まれる。

要件 2. 効果的な点字触読のための手指の基本動作を習得すること

点字導入期では、点字の言語体系を学習する以前に、効率的な点字触読を行うための手指の基本的動作を習得することが大きな目標となる。効率よい触読が行われるためには、触知の際の指先の微細な動き、左から右へ横方向に読み進めていく探索の動き、またこれらの動きを統制する協応的な両手の動き等が求められる。そのためには、手指の触運動を促し、触覚の鋭敏性や手指運動の巧緻性を高めることが必要となる。

要件 3. 教育への導入、普及が容易であること

一般的に、障がい支援機器は、高価であることや、特別なデバイスを必要とする事例が多く見られる。そのため、容易に教育に導入することが難しく、研究成果を広く普及させることが困難であるといった課題がある。そのため、本研究では、システムの構成を極力簡易化するとともに、一般的に特別支援学校に導入されている支援機器等の資産を有効に活用し、導入コストを抑えることが望まれる。

4. 提案システム

4.1 システム概要

本研究では、盲児を対象とした幼少期における点字初期学習に効果的な支援を提供するため、タブレットに点字が印字された用紙を重ねることで、点字に触って楽しむ体験を重視したシステムを提案する。タブレットのタッチスクリーン面に点字用紙を重ねることで、用紙上の指の位置や動作の情報を検出し、点字に接触する指を認識することが

た聴覚フィードバックの提供が可能である。このインタラクションにより、要件 1 となる、ユーザの触覚活用、及び能動的な学習活動を促進する。

また、点字用紙に印字する点字の形態を、始点と終点のあるシンプルな線形を基本とした図形とすることで、運動の方向づけを行い、点字のたどり動作を誘発する[図 2]。また、直線、曲線、角形の線など、線種を変化させることにより、多様なたどり動作を引き出す。点図は、形状に一定の規則性を持つ図形から、規則性を持たず線種が変化する図形、それらが交差する図形等、形状の複雑さに段階を設定することで、発達の段階に応じた学習を行うことができる。また、聴覚フィードバックとして提供する電子音を、点字に触れる指の位置や動作に連動して変化させることで、指の動作と音が関連付けられるため、直感的に指の動作を微調整することができる。これにより、点字から指を離したりずらしたりすることなく、確実に点字をたどる動作を定着させる。また指の接触検出はマルチタッチ検出方式で行うことで、複数の指の認識を可能にする。これらにより、要件 2 となる、指先の触覚の鋭敏性や巧緻性を高めることが期待され、点字触読の基本となる触運動の習得につながるができる。

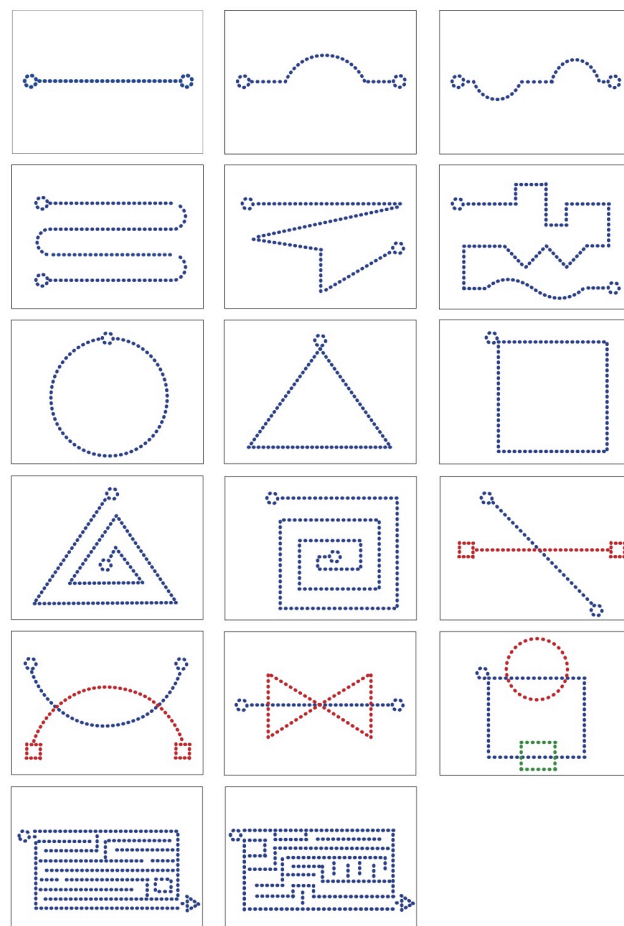


図 2 点図パターン

Figure 2 Graphics of dot pattern.

できる。これにより、点字に触れる指の動作や状態に応じ

システムで使用する点字用紙は、従来の点字教材として使用される標準のものを使用する。これにより、一般的に学校に導入されているオーサリングソフト、及び点字プリンタを利用して用紙の出力が可能になるため、教員自身による点字教材の作成、編集が可能である。また紙の耐久性の限界から、繰り返し使用することで、指の摩擦により点字の凸点が平坦化してしまうことが考えられるが、点字用紙を出力し直すことで再度使用することが可能となる。点字用紙以外に必要なのはタブレットと筐体のみである。システムの構成が簡易なため、要件 3 となる、教材としての導入、普及が容易である。

4.2 プロトタイプシステムの実装

4.1 で述べたシステムのプロトタイプを実装する。システムは、Apple 社製タブレット型製品「iPad Air 2」、点字が印字された点字用紙、それらを装着する筐体から構成される[図 3]。点字用紙の規格は、厚さが 90kg, 110kg, 135kg の 3 種類あり、今回はタッチ情報の検出精度を高めるため、最も薄い 90kg を使用する。点字用紙の標準サイズは幅 191mm×縦 240mm であり、用紙の両サイドには、一般的に綴じ穴が付随している。iPad Air 2 のサイズは幅 196.5mm×縦 258mm であるため、点字用紙を iPad に重ねた場合、用紙の綴じ穴部分が iPad の外側に位置する状態となる。この綴じ穴を利用して突起の付いた筐体に装着する。これにより、iPad のタッチスクリーン面と点字用紙が隙間なく重なった状態で固定され、点字用紙上の指の位置や動作の情報を検出することができる。また、用紙の綴じ穴、突起は触覚的に認知することが可能なため、用紙の装着作業は視覚が遮断された状態でも可能である。

筐体の特徴としては、iPad のスピーカ部分を覆うような形状の設計がある。これにより、スピーカ出力された音の振動が筐体から点字に伝搬するため、音出力された時、連動して振動フィードバックを提供する。より振動を伝搬しやすい筐体の材質を検証するため、プラスチック製、アクリル製、木製の 3 つの異なる材質で試作を行い、最も振動の増幅効果を得られた木製の材質を選定している[図 4]。

4.3 アプリケーション

iPad 上で動作するアプリケーションは、JavaScript、ライブラリとして jQuery, P5.js を開発環境として使用している。アプリケーションは、実行の流れとして、ロックモードとたどるモードの大きく 2 つのモードに分けられる。ロックモードは、アプリケーション起動時の状態（初期状態）である。盲児には、点字の細部を読み始める前に、まず点字の配置や構成といった全体構造を空間的に把握する作業が

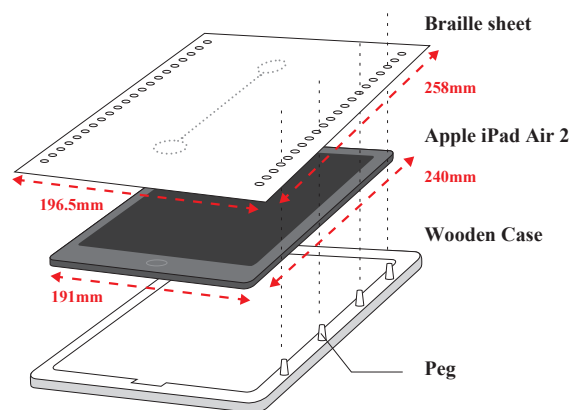


図 3 システム構成

Figure 3 System configuration.



図 4 木製の筐体

Figure 4 Photograph of wooden case.

必要となる。この作業の間、フィードバックの提供が行われた場合、全体構造の把握の妨げとなるため、起動時は点字に指が触れても何も反応が起こらない状態に設定している。ロックモードの状態から、スタートボタンを 1 度タップすることによりたどるモードに移行する。このモードでは、指の点字接触の状態に応じて、聴覚フィードバックが提供される状態となる。なお、ページを切り替えた際は、ロックモードの状態となる。

アプリケーションの構造は、1) 当たり判定、2) 点字接触動作認識、3) 聴覚フィードバック制御、4) ページ切り替えの大きく 4 つから構成される。

4.3.1 当たり判定

各ページでは、点字用紙に印字される点図を視覚化した画面表示用の画像[図 5]と、その点図の形状に合わせて作成した当たり判定用の画像（画面には表示しない）[図 6]を読み込んでいる。点図を視覚化した画像は、晴眼者でもシステムを楽しめるようにするための配慮として画面表示する。当たり判定用の画像は、機能が異なる領域ごとに色

が振り分けられている。各部分の色情報から、スタートボタン、エンドボタン、ページ切り替えボタン、接触検知エリアを認識することで、当たり判定を実行している。それぞれの機能、及び色の構成は以下の通りである。

- 1) ページ切り替えボタン: White(255, 255, 255)
- 2) スタートボタン: Red(255, 0, 0)
- 3) エンドボタン: Blue(0, 0, 255)
- 4) 接触検知エリア: Green(0, 255, 0)
- 5) 判定なし: Black(0, 0, 0)

接触検知エリアの範囲設定は、ユーザに要求するたどり動作の正確性を規定することにつながる。点字学習に最適な接触検知エリアの範囲設定を検証するため、特別支援学校の教員2名（1名は晴眼者の成人、1名は全盲の成人）と全盲の大学生1名による予備検討を行った結果、設定する範囲が狭いと、点字から少しずれただけで指が認識されず、範囲が大きいと、点字から大幅にずれた状態でも指が認識されてしまうことが見受けられた。直線計の点図の、点字（ドット）を中心として上下幅5px幅ずつ段階的に範囲を変化させて実験し、3名から指の認識に違和感を感じないという意見が得られた25px幅を学習に最適な接触検知エリアの設定範囲として実装した。

4.3.2 点字接触動作認識

指の点字接触動作は、iPadのタッチスクリーンと指の接触動作の検出により認識している。点字教育では、点字の読み取りを効率的に行う手法として、両手読みが推奨される。両手読みでは、人差し指をメインとし、補助的に中指や薬指など他の指が使用されるが、人差し指から他の指に力点が自然に移る際、結果として人差し指が一瞬点字から離れてしまうことがある。複数の指が同時に点字に触れている場合、初めに触れた指が離れても、即座に他の接触中の指を認識する。プログラム実行中は、マルチタッチ検出方式によりこの変化を常に監視し、最大で10箇所まで同時に認識する。なお認識する情報は、あくまで画面と皮膚の接触の有無であり、どの指でなぞられたかといった情報は検出できない。

タッチスクリーンに指が触れた場合、接触しているすべての指の位置の座標情報が取得され、表示されているページの当たり判定用画像に応じて、ボタンに触れたか、点字に沿ってたどっているか等の判定が行われる。結果、指の接触状態に応じて、電子音による聴覚フィードバックの再生、停止が実行される。

4.3.3 電子音によるフィードバック

いずれかの指が点字に接触している間、継続して電子音

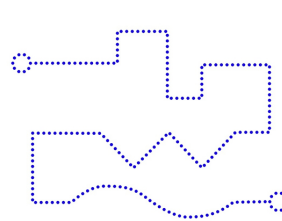


図5 画面表示用画像
Figure 5 Dot Pattern
Graphics.

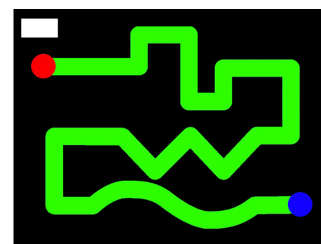


図6 当たり判定用画像
Figure 6 Collision Detection
Graphics.

による聴覚フィードバックが提供される。現在のバージョンでは、スクリーン上の指の位置に応じて音の周波数を変動させているため、点字をたどる動作に連動して電子音の音程が変化する。周波数の変動幅は、55.00Hz～3520.00Hzの6オクターブ分である。人間の可聴域に近い変動幅に設定することにより、より音程の変化を感じやすくなるように設計している。音程は、スクリーンの右上に位置する程高音域となり、左下に位置する程低音域となるが、その変化は12音階のような段階的なものではなく、切れ目なく、なだらかかつ連続的な変化となる。これにより、点字をたどる指の動作速度が速いほど音程の変化が急激に感じられ、速度が遅いほど音程の変化は緩やかに感じられる。点字に触れる指の位置やたどり動作の速度と音の変化が連動するため、その関連性が意識付けられ、直感的に指の位置や動作を調整することができ、指先の触覚の鋭敏性や巧緻性を高める効果が期待される。

これらの電子音は、一度スタートボタンに触れた状態で、いずれかの指が点字に接触した状態のまま、ゴールボタンに到達するまでの間、持続して再生される。ゴールボタンに到達した際は、ゴールを告げる電子音が再生される。これにより、スタートボタンからエンドボタンまで、点字から指を離したりずらしたりすることなく、確実に点字をたどる動作を定着させる。

4.3.4 ページ切り替え

第1プロトタイプでは、各ページの切り替えを行うため、切り替えボタンを作成した。各ページに番号を付与し、ページ切り替えボタンを1度タップすることにより、次ページの点図に切り替えることができる。アプリケーション起動時は1ページ目の点図が表示される。ページ番号が進むにつれ、点図の形状が複雑化する構成となる。最終ページが表示された状態でページ切り替えボタンをタップすると、1ページ目の点図に戻る構成となる。

5. ユーザフィードバックと考察

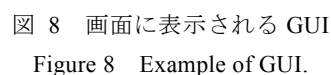
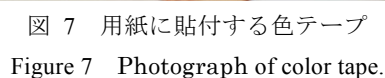
実装したプロトタイプシステムの効果を検証するため、システムデモの展示を通して、ユーザの様子を観察し、フ

体験者からは、電子音のフィードバックにより点字を触ることが楽しくなる、点字をたどりたくなるといった肯定的な感想が多く得られ、好評であった。また、ほとんどの体験者が、点字をたどる動作の途中で点字から指が外れてしまう現象や離れてしまうといった現象が見られたが、その際、正しく点字をたどることができるまで、楽しみながら何度もたどる動作を繰り返す場面が多く見られた。結果として、実装したシステムが、ユーザの能動的な触覚活用や触運動を促す効果があることが確認された。また、晴眼者の点字への興味を引き出す機会となり、点字や視覚障がい者への理解を深めるツールとしての有用性も示唆された。一方、機能面の課題として、ページ切り替えの際、切り替ボタンを押下する作業が手間であるといった意見が多く得られた。また現在のページ切り替え手法では、アプリケーション起動時に1ページ目から表示されるため、任意のページを即座に表示させることができないといった点も改良点として挙げられた。

5 章で述べたユーザフィードバックを基に、任意の用紙筐体に装着した際、該当するページを自動で識別し表示する手法を検討し、システムの改良を行った。

各ページに設定する2色の組み合わせと色相差の閾値を検討するため、用紙に貼付した色テープの色相値を計測する実験を行った。実験は一般的な室内蛍光灯環境下（照度500ルクス、色温度5500ケルビン）で実施し、色テープは、光を通しやすいという理由から、半透明で蛍光色（8色）の市販の製品を使用した。用紙の置き方により光量が変化し、取得される画像の色情報が変動することを考慮するため、計10回ずつ筐体に装着し色相値を計測した。

実験結果を図 8 に示す。同色でもシートを装着する度に取得される色相値に微小な差異が見られるが、変動幅は 10 以内に収まることが確認できた。色相は環状で表現され、0 と 255 の値を同色と見なすことができるため、今回使用した 8 色の色テープの中では Orange と Pink の色が最も色相が近い組み合わせとなる。反対に、最も色相が遠い組み合わせは Orange と Light-Blue である。この実験結果を基に、色相差に安定性のある 2 色の組み合わせとして、現在 6 パターンを設定している[図 9][図 10]。



No.	Color	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max	Min	Avg
1	Purple	227	226	221	229	225	226	226	226	227	224	229	221	225.7
2	Pink	246	245	248	246	247	247	248	245	246	246	248	245	246.4
3	Light Blue	132	131	132	126	126	130	130	132	134	134	134	126	130.7
4	Orange	7	6	9	8	9	7	6	7	7	6	9	6	7.2
5	Vivid Pink	234	234	233	234	234	233	232	234	234	234	234	232	233.6
6	Yellow	45	46	47	46	48	48	48	44	46	47	49	45	46.5
7	Yellow-Green	68	68	66	67	69	70	68	67	69	68	70	67	68
8	Blue	100	100	95	99	102	101	101	102	104	102	104	95	100.6

図 8 色相値取得実験の結果

Figure 8 Result of preliminary experiment.

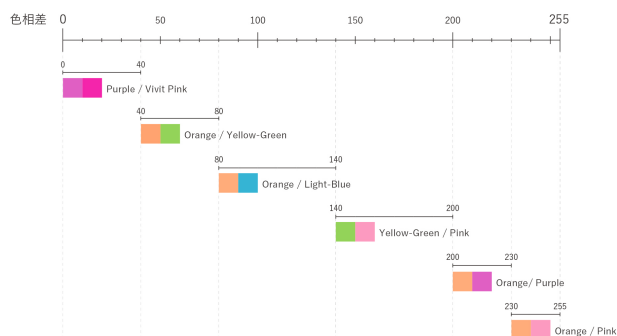


図 9 2 色の組み合わせの例

Figure 9 Example of color combination.



図 10 取得画像と色相差の閾値

Figure 10 Example of capture image and threshold.

6.3 今後の展開

色相差に安定性のある 2 色の組み合わせのパターンを増やすため、使用するテープの色、素材を更に検討する必要があると考えている。また、今回は室内の環境光を想定し、一般的な昼白色の蛍光灯下で実験を行ったが、今後昼光色や白色、白熱球など異なる環境光下でも実験を行い、それぞれの環境光に適した色の組み合わせや閾値を検討する必要がある。

7. おわりに

本稿では、特に幼少期における盲児の点字初期学習に対して効果的な支援を提供するため、タブレットに点字用紙を重ねることで、点字を触って楽しむことのできると同時に、効率的な点字触読につながる触運動を誘発するシステ

ムを提案した。点字に触れる指の情報を認識し、その状態に応じて電子音による聴覚フィードバックを提供するシステムを実装した。実装したシステムは、ユーザの能動的な触覚活用や触運動を促す効果があることが確認された。またユーザフィードバックに基づいたシステムの改良として、色テープとカメラを用いた 2 色間色相差による自動ページ切り替え機能を実装した。今後は、識別パターンの増加、安定性の確保を行うため、実験を重ね機能の改善に継続して取り組む。また提案システムの特別支援学校における教材としての実用化及び普及を目指し、盲児及び教員を対象とした評価を行い、有用性を検証する。

謝辞 本研究にご協力頂いた筑波大学附属視覚特別支援学校の山口崇先生、首都大学東京の茂木龍太先生、兼松祥央様に謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1] Murphy, G. D.. Post-PC devices: A summary of early iPad technology adoption in tertiary environments. e-Journal of Business Education & Scholarship of Teaching. Vol. 5, Iss. 1, p. 18-32, 2011.
- [2] Chandrika, J., Christine, A., William, A. J., Janet, H. and Richard, E. L.. VBraille: Haptic Braille Perception using a Touch-screen and Vibration on Mobile Phones. Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility. ACM. p. 295-296, 2010.
- [3] Jussi, R., Roope, R., Jani, L., Veikko, S., Jukka, R., Katri, S., Toni, P. and Arto, H.. Methods for Presenting Braille Characters on a Mobile Device with a Touch-screen and Tactile Feedback. IEEE Transactions on Haptics. Vol. 2, Issue No. 1, IEEE Computer Society, p. 28-39, 2009.
- [4] Frey, B., Southern, C. and Romero, M.. Brailletouch: mobile texting for the visually impaired. Proceedings of the 6th International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction. Context Diversity, p. 19-25, 2011.
- [5] Seim, C., Chandler, J., DesPortes K., Dhingra S., Park M. and Starner, T.. Passive Haptic Learning of Braille Typing. Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers. p. 111-118, 2014.
- [6] Shintaro, W., Paul, H., Tetsuaki, B., Kumiko K.. Braille Pad Project: Proposal of a Braille Education Support System using a Tablet Device. International Journal of Asia digital art and design. Vol. 20 – no. 2, 2016.