

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：32710

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00444

研究課題名(和文)学習者の正誤情報を「見える化」する点字学習支援システム

研究課題名(英文)Braille Learning Assistant System of "Visualizing" of Learners' Error Information

研究代表者

元木 章博(MOTOKI, Akihiro)

鶴見大学・文学部・教授

研究者番号：80322163

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：視覚障害者の支援者として福祉や図書館サービスを提供する人々や、それらの資格取得を目指す晴眼の学習者たちがいる。彼らの点字学習効果を高めるべく、点字自身や学習者による入力内容の正誤情報の表示方法について、実験や分析を通して評価をした。鏡像関係理解のために推奨追加空マス数を実験結果から決定し、点字3DCG生成時の元データとした。彼らの誤答情報を元に、間違い箇所を赤く表示することで、逐次フィードバックを実施した。これらの機能を搭載したシステムで点字学習をした学習者の実験群は、統制群より高いテストの平均点であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究課題において開発した点字学習支援システム「点字といっしょ!」は、視覚障害者の支援者である専門家たち(福祉施設の職員や図書館司書等)や、そこを目指して学んでいる晴眼の人たちのためのシステムであります。搭載した様々な機能を兼ね備えているシステムは国内外を調査しましたが見当たりません。本システムは研究代表者の大学で司書課程等の授業で運用され、加えて、他の大学で特別支援教員免許の取得を目指している学生が履修する授業でも運用が始まりました。更に、高知県高知市の公立図書館であるオーテピア高知声と点字の図書館の点字体験コーナーに常設され、様々な来館者にご利用いただいております。

研究成果の概要(英文)：There are people who provide welfare and library services to support the visually impaired, as well as sighted learners who are working towards those qualifications. In order to improve their braille learning effectiveness, we evaluated the displaying methods of Braille and error information by the learners through experiments and analysis. The recommended number of recommended additional blank cells for understanding the mirror image relationship was determined from the experimental results and used as the original data for the Braille 3DCG generation. Based on their error information, we gave them feedback by displaying their mistakes in red. The experimental group of learners who learned Braille on the system with these functions had higher test scores than the control group.

研究分野：教育情報学

キーワード：点字 学習支援システム 3DCG 鏡像関係 推奨追加空マス数 点字器 打点 誤答分析

1. 研究開始当初の背景

点字は、視覚障害者が利用できるコミュニケーション手段の一つとして、とても重要な位置にある。そして、彼らの支援者として、福祉サービス提供施設や図書館等で従事している人たちがいる。加えて、そこを目指している学生等がいる。これらの支援者たちも、視覚障害者とのやり取り手段の一つとしてある点字の知識や運用能力が必要である(Motoki(2013), Argyropoulos et al.(2019))。そして彼らは、多くの場合、晴眼者である。イギリスの盲学校において、その専門教師として働くためには、QTVI(Qualified Teacher of the Visually Impaired)の免許が必要であり、法律で義務付けられている(英国盲人協会(2005))。そして、学習支援助手(TA: Teaching Assistant)も、視覚障害教育に関する知識と技能を要する。しかし、Johnston(2004)は、点字を教える教師の知識低下には、点字の読み書き能力不足があることを一つの要因として指摘している。

国内外の先行研究や実装を調査したところ、晴眼者のための点字学習を支援するシステムやアプリケーションにおける点字の表示は全て2次元での表現であった(日本語点字: 高橋ら(1999), 英語点字: Scheithauer and Tiger(2012), 日本語点字: 元木・松尾(2013), マレー語点字: Lee et al.(2015), 英語点字: Putnam and Tiger(2015), ウルドゥー語点字: Iqbal et al.(2017))。これらの仕組みでは、点の表現が塗り潰された丸(●)であり、2次元の表現である。しかし、この2次元での表現では、●の凹凸が不明であることが分かる(図1)。例えば、●が凹点であった場合、右から左方向へ「もとき」と読めるが、●が凸点であった場合、左から右方向へ「よしみ」と読むことが出来る。中村(2002)は、社会福祉学科と看護学科の学生たちに対して点字に関する授業を実施している。その際、『点字を教授するにあたり、最も気をつかなければならないのは、この「読み」と「書き」を混同させないことである。』と指摘しており、点字の凹凸面には鏡像関係が成り立っていることを学習者へ理解させる必要性について唱えている。

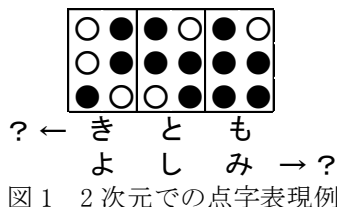


図1 2次元での点字表現例

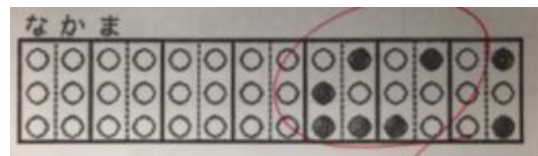
そこで、元木(2014)は、2次元表現の問題点を指摘した上で、3DCG(3 Dimensional Computer Graphics)での点字表現を行なった。そして、2次元・3次元両方の点字画像を見ながら学習した晴眼の対象者によって5段階評価を実施したところ「3次元表現の方がわかりやすい」もしくは「どちらかというとも3次元表現の方がわかりやすい」を選んだ人の割合の合計が68%であったことを報告している。

Argyropoulos et al.(2019)は、ルーマニア

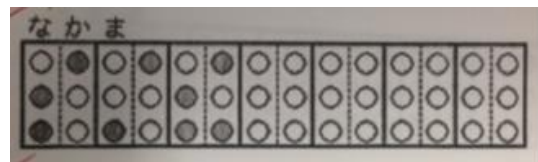
で特別支援教育を学んでいる大学生の34.9%が「鏡像関係の学習に苦勞している」と指摘している。そこで、元木[13]は、VRML(Virtual Reality Modeling Language)を用い、点字を3DCGとして表現した。このCGは学習者が任意のタイミングで表裏を回転することが出来るため、鏡像関係を自由に確認することが出来る。しかし、学習後のテストにおいて、特徴的な2種類の誤答が検出された。図2は凹面で点字を記述する問題の正誤答例である。

「元木(2014)で報告された点字の鏡像関係に関する不適切な理解」に基づく誤答を「誤答1」とする。書き点字(凹面)の問題で「なかま」という単語の凹点を●として塗り潰し解答するものである。正答は3マス分の点字を凹点として右詰めで塗り潰してある。授業実践におけるテストにおいて、元木(2014)では見られなかった新しい誤答2が現われた。単語の全マスを全体で回転しているが、左詰めでなっていることが見て取れる。凹面で記述する点字の要件として(1)「2次元の表現である場合●は凹点であること」、(2)「右詰めであること」の2点がある。

【正答例】



【誤答1】(元木(2014)で指摘された誤答)



【誤答2】(元木[13]で指摘された誤答)

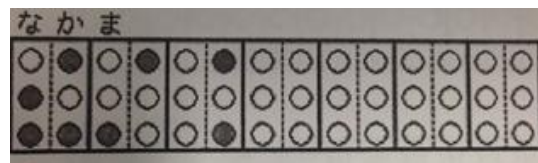


図2 凹面での点字の正答, 誤答(1, 2)例

2. 研究の目的

そこで本研究において、晴眼者の点字学習過程において、鏡像関係や誤答の「見える化」を行ない、学習効果について評価する。

3. 研究の方法

先行研究で指摘のあった問題点等について仮説を立て、実験・検証する。

- (仮説1) 空マスを追加した点字を3DCGで表現することが鏡像関係の理解を助ける
- (仮説2) 打点実習は、点字の読み書き能力を高める

(仮説 3) 点字 3DCG を表示する際、学習者の間違った箇所を赤く表示することは、点字学習に効果がある

仮説 1 にある点字 3DCG に追加すべき空マス数を評価した先行研究や報告等が無いため、被験者を集め主観的評価を実施し、推奨追加空マス数を求めることとする。元となる点字を表現するのに必要なマス数に対して、追加が推奨される空マス数を求める。実験の際、順序効果を踏まえた上での実験が必要である。

上記の実験結果から定量的に得られる推奨追加空マス数に基づき、点字 3DCG を自動生成し、点字学習支援システム「点字といっしょ！」に当該機能を新たに実装する。先行研究で問題であった VRML による学習機会・環境（原則、VRML プレイヤーが追加インストールされたパソコン）の限定だが、JavaScript のライブラリである three.js を利用して実装することにより、学習環境が制限されないことになる。インターネットへの接続が担保されていれば、パソコン、タブレット PC、スマートフォンといったどのデバイスでも、JavaScript が機能する Web ブラウザさえあれば、いつでも、どこでも点字 3DCG を学習者が希望する任意のタイミングで回転でき、鏡像関係の確認しながら点字の学習をすることが可能となる。

一般に、学習において、座学等で知識を付けるだけでなく、体験学習の一つとしての実習が伴う場合、学習効果が期待される。有本(2000)では「実際に手や身体を動かして何かを体得することが、直感や洞察力、認識の世界においてかなり重要な位置を占めているのではないかという考え方である。」と述べている。点字を実際に打点することで、知的技能と運動技能の養成になることが期待される。しかし、点字学習において、その効果について評価した報告はない。そこで、仮説 2 にある点字の打点実習の学習効果だが、打点実習を含む授業（実験群）と、含まない授業（統制群）で比較を行う。それぞれの授業では、点字の歴史や仕組み、視覚障害者にとっての点字の意味等の講義を実施し、実験群のみ打点実習を実施する。講義の前に事前テスト、実験群の打点実習終了後のタイミングで最終テストを実施し、それらから得られた結果を元に、学習効果について比較分析する。

仮説 3 は、学習者へのフィードバックを「見える化」することによる学習効果の評価を実施する。点字学習支援システムにおいて、学習者が回答した結果に対するフィードバックが「正解」もしくは「不正解」のみが表示されていた。不正解の場合、学習者が自身の間違った箇所が分からず、点字のルールに関する内省が不可能であった。そこで、学習者の打点した結果と正解双方の点字 3DCG を表示し、学習者の 3DCG の間違った箇所を赤く表示するフィードバック機能を実装する。



図 3 スマートフォンでの打点入力画面例



図 4 図 1 の入力画面に対してタップして打点入力した表示例（タップした場所が凹んで見える 3DCG に置換される）

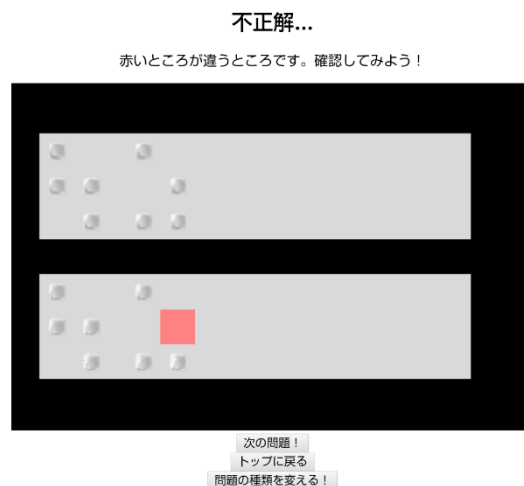


図 5 2 マス目の 5 点に打点されていないことが間違いである旨のフィードバック表示例（確認は凸面での表示とした）

本システムの実装は、PHP/JavaScript/HTML/CSS で行う。インターネット上のサーバ (CentOS) で、Web サーバとして apache、データベースサーバとして MySQL を稼働させる。

学習者は、パソコン、タブレット、スマートフォン等のネットワーク端末について制限されることは無く、基本的に Web ブラウザが稼働する端末で、インターネットへの接続さえあれば、いつでも、どこでも点字学習支援システムが利用できる。

#### 4. 研究成果

点字を 3DCG 表示する際、凸面では左寄せ、凹面では右寄せであることを、学習者が直感的に把握するために必要な空マス数を求める必要がある。元の点字において使用するマス数 (b) に対して、追加する必要がある空マス数 (a) を実験から求めた。元の点字のマス数を 1-

10とした上で、それぞれに1-10マスの空マスを追加した3DCGを作成し、紙に印刷したものを、被験者への刺激とした。被験者への3DCGの提示順は、順序効果のことを考慮し、短いマス数から刺激を与え始めたグループが25名(有効回答人数)、長いマス数から始めたグループが25名(有効回答人数)であった。順番に刺激を提示していく過程において被験者が主観的評価で「反転しているということ」が分からなくなったと感じたところで止めてもらい、その手前までの追加したマス数をデータとして得た。

そして、これらの実験で得られたデータを元に、1から10までのbに対するaの算術平均による平均追加空マス数(a)と標準偏差を求めた。bとaの関係性について説明する最適な統計モデルを得るため、複数のモデルから最適な統計モデルを選択するための指標の1つである、AIC(赤池情報量基準)を求めた(表1)。AICの値が最小であった、ゴンペルツ成長モデルを採用し、式(1)を得た(図6)。

表1 使用したモデルとAIC値

モデル名	AIC値
ゴンペルツ成長モデル	-8.59612
漸近指数モデル	-8.38888
累乗モデル	-5.23098
線形近似モデル	-4.08563
指数モデル	4.612549

$$\bar{a} = 6.48 \times 0.29^{\exp(-0.18b)} \dots (1)$$

式(1)より平均追加空マス数を算出し、推奨追加空マス数(a')を導いた(表2)。なお、式(1)より得られる数は小数点以下を含む値であるが、点字は1マスずつしか追加することができない。そこで、小数点以下を切り上げとして推奨追加空マス数を算出した。

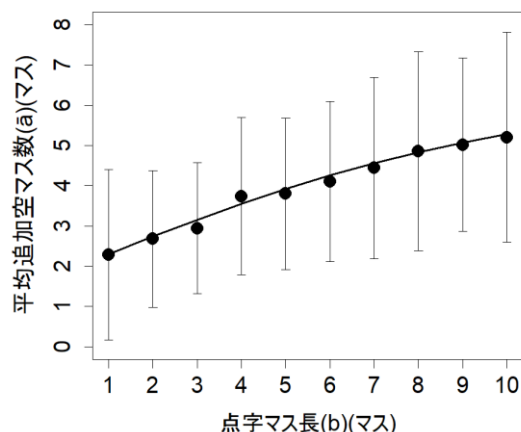


図6 点字マス数に対する平均追加空マス数の散布図(上下のバーは標準偏差を表す)

表2 平均追加空マス数と推奨追加空マス数の一覧

点字マス数(b)	平均追加空マス数(a)	推奨追加空マス数(a')
1	2.30	3
2	2.73	3
3	3.15	4
4	3.55	4
5	3.92	4
6	4.26	5
7	4.56	5
8	4.83	5
9	5.07	6
10	5.28	6

続いて、得られた推奨追加空マス数の値(a')を用いて点字3DCGを自動生成する機能を実装し、点字学習支援システムに搭載した。

図7は、実験結果から得られたデータをもとに求めた推奨追加空マス数(表2)に基づき、推奨されるマス数を追加した点字3DCG(実験群:上側)と追加空マス無しの点字3DCG(統制群:下側)表示例である。

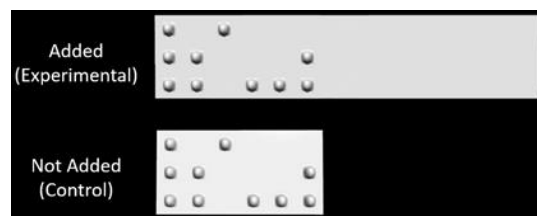


図7 空マスを追加した点字3DCGと追加無しの点字3DCG表示例

同機能を搭載した点字学習支援システムを使用したグループを「実験群」、同機能未搭載のシステムを使用したグループを「統制群」として、学習効果の評価を実施した。どちらの群においても、システム導入前後のテスト点数(15点満点)の変化だが、統計的に有意な差は(危険率5%以上であり)認められなかった。

しかし、以下の特徴が検出された。(特徴1)システム導入前後におけるテストの点数の差分を5点刻みで、各群での人数を確認した。実験群は統制群と比べて、10点以上の差分があった学習者が24.6%多く、5点未満の差分があった学習者は19.3%少なかった(図8)。

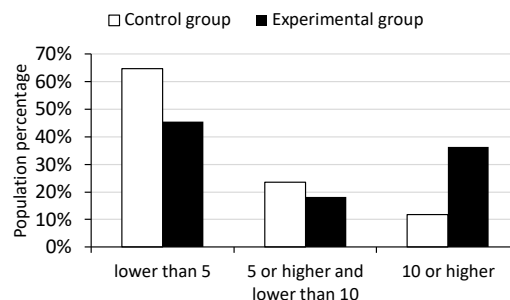


図8 実験群と統制群におけるシステム導入前後テストの点数の差分比較

(特徴2)実験群における「誤答1」の出現数は0件であった(表4)。空マスを追加した3DCGを表示する点字学習支援システムを利用した

学習者には「点字列全体を回転すること」の理解の助けになったことが推測される。

表 4 各群における誤答 1 および 2 の出現割合比較表

	Control group	Experimental group
Error 1	24%	0%
Error 2	6%	5%

ここまでの結果から、仮説 1 の「空マスを追加した点字を 3DCG で表現することが鏡像関係の理解を助ける」の評価だが、凹面での点字について右詰めにする必要がある点に問題が残っているが、点字文字列全体を回転する必要があるという知的技能が得られたと言えよう。

次に、点字の打点実習の効果について評価を実施した。15 点満点テストの点数について比較した(図 9)。

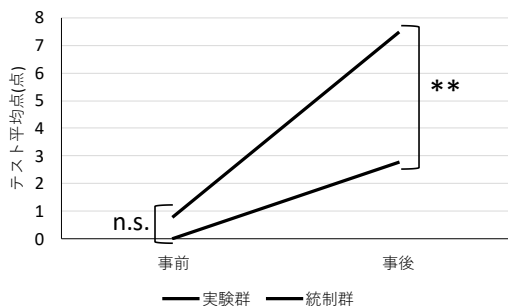


図 9 点字学習前後のテスト平均点の推移

どちらの群も事後テストの平均点は上昇している。しかし、実験群の方が、平均点が 4.7 点高くなっている(危険率 1%で優位)。加えて、凸面の点字から凹面を生成する際の 2 段階である、(1)点字文字列全体を回転させる、(2)回転させた文字列を右詰めで書く(打つ)という 2 点に注目して、事後テストの回答を分析した。加えて、(1)について誤っている(誤答 1)回答者の割合と、(2)について誤っている(誤答 2)回答者の割合を算出した。合わせて、2 群の比率の差の検定を行い、それぞれの有意差の有無を確認した。その結果、どちらも、実験群の方が誤答 1, 2 の割合が低いということが明らかになった(表 6)。

表 6 各群における誤答 1, 2 の割合

誤答	実験群	統制群	p 値
誤答 1	0%	28%	0.0082(**)
誤答 2	5%	39%	0.0069(**)

上記のことから、仮説 2 の「打点実習は、点字の読み書き能力を高める」の評価だが、晴眼者の点字学習において、点字器を用いた実習を行なうことは、点字の凸面・凹面の理解について一定の効果があり、また、鏡像関係の理解を促進する一助になると推測できる。知的技能に加えて、運動技能が得られたと言えよう。ただ、点字器を用いた打点実習だが、学習者が誰でも点字器を所持している訳では

なく、かつ、所持していたとしても、打点をする場所は比較的制限される。

そこで、仮説 1 で得られた、点字 3DCG を生成する際、空マスを推奨される数だけ追加すること、仮説 2 で確認された打点実習機会を広げるために、方法で先述した機能を搭載した点字学習支援システムを活用した。学習者は同システムを利用して点字の学習を行った。

同機能を搭載した点字学習支援システムを使用したグループを「実験群」、同機能未搭載のシステムを使用したグループを「統制群」として、学習効果の評価を実施した。

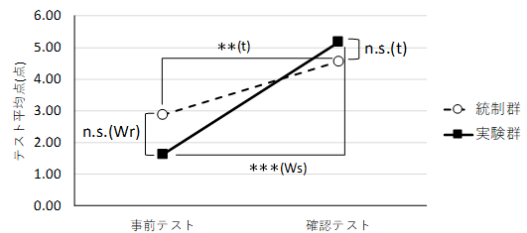


図 10 点字学習前後のテスト平均点の推移

どちらの群も事後テストの平均点は上昇している。群間の差は統計的には現われなかったが、各群における点字学習前後のテスト平均点は、それぞれ有意差が認められた。

各群における事前テスト、確認テストそれぞれの点数に対する人数の比率を算出した(図 11)。統制群では、事前テストにおいて低得点群と高得点群の 2 群に分かれ、確認テストにおいても、同様の 2 群に分かれることが確認された。実験群では、事前テストにおいて高得点を取る群は出現しなかったが、確認テストにおいては高得点を取る群が出現したことが確認された。

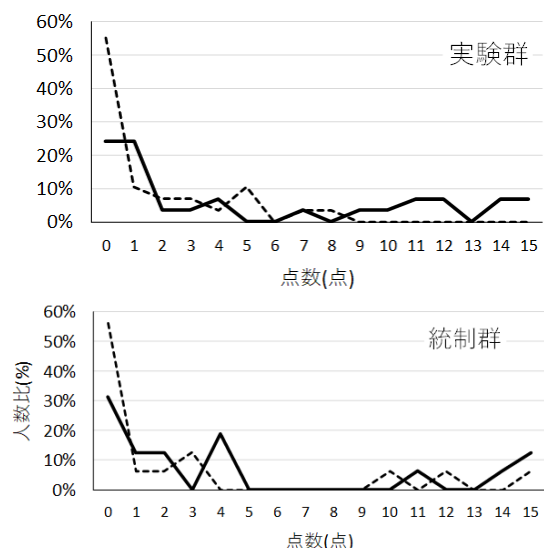


図 11 各群の点数毎の人数比

ここまでの結果から、仮説 3 の「点字 3DCG を表示する際、学習者の間違っただ箇所を赤く表示することは、点字学習に効果がある」の評価だが、実験群の方が平均点の上昇が大きく、知的技能に加えて、運動技能が得られたと言えよう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 元木章博・星野ゆう子	4. 巻 57
2. 論文標題 順序効果を踏まえた点字鏡像関係の直感的理解を助ける表示方法に関する考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 鶴見大学紀要（第4部）	6. 最初と最後の頁 37-41
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yuko Hoshino and Akihiro Motoki	4. 巻 10896
2. 論文標題 An Evaluation of the Displaying Method on the Braille Learning System for the Sighted: For Understanding of the Mirror Image Relation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science, ICCHP 2018: Computers Helping People with Special Needs	6. 最初と最後の頁 117-121
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-319-94277-3_21	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 星野ゆう子・元木章博
2. 発表標題 晴眼点字学習者に対する点字器を用いた実習の効果に関する検討
3. 学会等名 電子通信情報学会教育工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 星野ゆう子・元木章博
2. 発表標題 晴眼者向け点字学習支援システムにおける表示機能の評価
3. 学会等名 第21回研究会(主催:情報メディア学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志田祥子・元木章博
2. 発表標題 点字学習時のテストにおける誤答の詳細分析
3. 学会等名 第21回研究会(主催:情報メディア学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuko Hoshino and Akihiro Motoki
2. 発表標題 An Evaluation of the Displaying Method on the Braille Learning System for the Sighted: For Understanding of the Mirror Image Relation
3. 学会等名 International Conference on Computers Helping People with Special Needs 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 元木章博・星野ゆう子
2. 発表標題 誤答分析による点字学習者の「つまずき」の明確化
3. 学会等名 電子情報通信学会第91回福祉情報工学研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 星野ゆう子・元木章博
2. 発表標題 順序効果を踏まえた点字鏡像関係の直感的理解を助ける表示方法に関する実験
3. 学会等名 電子情報通信学会第91回福祉情報工学研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

晴眼者向け点字学習支援システム「点字といっしょ!」のWebページのURL (鶴見大学)  
[http://ccs.tsurumi-u.ac.jp/motoki\\_lab/tenji/](http://ccs.tsurumi-u.ac.jp/motoki_lab/tenji/)

開発した晴眼者向け点字学習支援システム「点字といっしょ!」は、高知県高知市にある公立図書館「オーテピア高知声と点字の図書館」の点字体験コーナーに常設していただくことになりました。来館者の傾向を踏まえ、相談の上、オーテピア高知声と点字の図書館向けのアレンジをシステムに施しています。

本件の掲載WebページのURL (オーテピア高知声と点字の図書館)  
<https://otepia.kochi.jp/braille/about.html>

日本学術振興会「ひらめき ときめき サイエンス」のプログラム「点字の秘密を探る! ~自分の名前の3DCG点字を、コンピュータで作ってみよう~」として、2017年8月(中学生:13名)と、2018年8月(小学5・6年生:17名)を受講生として、実施しました。本プログラムは、横浜市教育委員会と鶴見区の後援を受けております。

それぞれの実施報告書のURL (日本学術振興会)  
[https://www.jsps.go.jp/hirameki/ht29000\\_jisshi/ht29138jisshi.pdf](https://www.jsps.go.jp/hirameki/ht29000_jisshi/ht29138jisshi.pdf)  
[https://www.jsps.go.jp/hirameki/ht30000\\_jisshi/ht30115jisshi.pdf](https://www.jsps.go.jp/hirameki/ht30000_jisshi/ht30115jisshi.pdf)

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----