

タブレット端末と無線筆型デバイスを用いた 仮想書写支援システム

古川詩帆[†] 佐藤健[†] 細川靖[†]

軽度の発達障がいを持った児童や生徒は、書道学習を行う機会が少ない。そのため書道筆を正しく扱えないことが多く、墨汁を使用せずに利用できる学習支援システムが有効である。本研究では、先行研究として試作された仮想書道学習システムを基に筆型デバイスを3Dプリンタで試作し筆跡描画を改善した。その結果、この試作システムの表現性および再現性が大きく向上したことが利用者によるアンケート結果によって明らかになった。

The Virtual Handwriting Support System Using Tablet Computer and Wireless Brush-type Device

SHIHO FURUKAWA[†] KEN SATO[†] YASUSHI HOSOKAWA[†]

Mild developmentally disabled children and students have less calligraphy learning opportunities. Therefore, many of students cannot handle a calligraphy brush well, so the learning support system that China ink (Indian ink) isn't used is effective. In the present research, we have improved handwriting drawing by making brush-type prototype device which based on previous study by 3D printer. As a result, it is confirmed that the expression and representation ability of this prototype system has been improved by confirming survey results of the system user.

1. はじめに

書道とは、文字を美的に表現しようとする造形芸術[1]で、日本では古くから実用や趣味の形で親しまれてきた。学校教育の中にも国語の一部として毛筆を扱う書写の授業が取り入れられ、ほぼすべての日本人に書道の経験があるといえる。書道学習では、筆、硯、紙、墨といった用具が必要で、描くたびに紙を消費し、作品を乾燥させるスペースも必要とする。また、筆は使用后、洗いと乾燥等のメンテナンスが必要である。

近年、コンピュータ上で仮想的に書の表現を行う研究が行われている。これらの研究では、筆以外の書道用具や紙を必要としないが、本来の書道よりも広いスペースを必要とし、持ち運びも容易ではない。

そこで、山下らの研究[2]により、タブレット端末を用いた仮想書道学習システム「筆 veat」が試作された。この学習システムは、授業等で書道を学習する児童や生徒が、手軽に書道学習を行うこと目的とし、タブレット端末と筆型デバイスを用いて書道の練習と評価を行うシステムである。システムを評価するアンケートを行った結果、広い場所の確保や筆のメンテナンスを必要とせず、容易に持ち運びが可能で、また、用具を消費することなく書道練習を行うという点で高い評価を得ることができた。しかし、実際の書道と比較し、システムの描画における筆跡描画の表現性と再現性が高くないという問題が明らかになった。ここで述べた表現性とは、システム使用者が実際の書道筆と近い書

き心地で描画を行えることで、再現性とは、実際の書道のような、とめ・はね・はらいが再現できていることである。

書道を行ううえで基本となる教科は書写である。書写とは、小学校・中学校・中等教育機関において行われる文字を書くための基礎や文字の集まり(文字群)の書き方などを習得するための教科である。書写を学習する際の目標の中には、姿勢や筆記具の持ち方を正しくすることや、用紙に応じた文字の大きさや配列を決め、毛筆を使用して点画のつながりを意識して書くといったものがある。また、毛筆を用いた書写学習は、学習指導要領により小学校第3学年以上で行われることになっている[3]。

しかし、軽度の発達障がいを抱えた児童や生徒の中には、毛筆の正しい持ち方を習得することや、用紙に応じた文字のバランス、毛筆を使用した際の墨の適切な量を把握するまでに多くの時間を要する者がいる。そのような者に対して毛筆を用いた書写学習を行っている学校や施設があるが、学習を行う際には机や床など学習者の周囲を墨で汚さないような準備が必要で、通常の児童とは異なり、容易に毛筆を用いた書写学習が行えないという問題点がある。

近年では、スマートフォンやタブレット端末が普及し、身近になったことにより、軽度の発達障がいを抱えた児童らもそれらのデバイスを扱う事に抵抗がない。しかし、それらのデバイスを用いた軽度発達障がいの児童らに対する書写支援システムの開発は進んでおらず、現状として大がかりな準備をして、毛筆と墨を用いた書写学習を行わなければならない。

そこで本研究では、軽度の発達障がいを抱えた児童や生徒に対して、周囲を汚すことなく手軽に毛筆に近い描画を

[†] 八戸工業高等専門学校
National Institute of Technology, Hachinohe College

行える、タブレット端末を用いた書写学習の入門的なシステムを試作する。また、毛筆の正しい持ち方を学習できる筆型デバイスを試作し、システムの筆跡描画の表現性と再現性を実際の毛筆に近づける。

2. 先行研究と本研究の目的

2.1 先行研究

コンピュータ上で仮想的に書の表現を行う研究には、筆に3次元位置センサを取り付け、プロジェクタによって映し出された仮想の半紙に文字を書く島田らの研究[4]や、筆に赤外線 LED を取り付け、2台の赤外線カメラにより3次元位置を特定して画面上に文字を書く藤井らの研究[5]などがある。また、ハプティックデバイスを用いた書道表現についての研究を Jeng-sheng Yeh ら[6]が行っている。ハプティックデバイスは、仮想世界の動きに合わせて操作者に力感覚や触覚を与えるデバイスである。このデバイスを使用すると、書道筆を実際に使用したかのように力のフィードバックが行われる。しかし、このデバイスは高価であるため、手軽に入手することが出来ない。そのため、障がい児童や生徒が簡単に利用できるシステムとはならない。

また、書道学習支援システムや障がい児に対する識字学習支援システムも研究が行われている。VR 技術を用いた書道学習支援システム[7]や拡張現実を用いた習字学習支援システム[8]があるが、これらのシステムでは、プロジェクタや習字台と呼ばれるカメラを設置した台、カメラ付きヘッドマウントディスプレイを使用する必要があり、手軽ではない。平仮名識字学習支援システム[9]は対象を発達性読み書き障がい児としており、操作をマウスで行っている。実際に筆を使用しないため、筆の正しい持ち方を学習することはできない。

2.2 筆 veat

八戸工業高等専門学校の山下らの研究[2]により、仮想書道学習システム「筆 veat」が試作された。このシステムにより、授業で書道を学ぶ児童や生徒が容易に持ち運びでき、直感的に操作できる Android タブレット端末と筆型デバイスを用いた仮想的な書道学習が可能となった。筆 veat で試作された筆型デバイスを図 1 に示す。実際の書道筆に導電糸や導電布を巻きつけたものを筆型デバイスとした。この筆型デバイスは、現実の書道とのギャップを埋めるため筆に実際の書道筆を使用している。また、導電糸や導電布はタブレット端末の静電容量方式のタッチパネルに対し、指の代わりとして使用するために巻きつけている。これにより広い場所の確保や筆のメンテナンスを必要とせず、容易に持ち運びが可能で、また、用具を消費することなく書道の練習を行うことが可能となった。



図 1 先行研究で試作された筆

Figure 1 Previous research's brush.

2.3 本研究の目的

山下らの研究[2]において、システム評価のアンケート調査が行われた。このアンケートより、広い場所の確保や筆のメンテナンスを必要とせず、容易に持ち運びが可能で、また、用具を消費することなく書道の練習を行うという点で高い評価を得たことが報告されている。これにより、書道学習の導入として有効であることが分かった。しかし、そのアンケート調査において、「実際の書道と比較しシステムの筆跡描画における表現性と再現性が高くない」という意見や、「墨で書いているようでない」という意見が挙げられた。また、試作された筆型デバイスは筆本来の弾力が無いという意見や力加減が難しいという意見があった。

以上より、本研究では先行研究で試作された仮想書道学習システムを基に、軽度の発達障がいを持った児童・生徒に書写練習として汚れず手軽に利用でき、正しく筆を持つことができ、筆型デバイスにセンサを搭載することで筆跡描画を実際の筆に近づけ、将来的に実際の書道・習字を行えるように支援するシステムとすることを目的とする。

3. 実装

3.1 システム構成

システム構成を図 2 に示す。Arduino とタブレット端末は USB ホスト機能を用いて、USB 接続ケーブルで相互シリアル通信することが可能である。USB ホスト機能は、タブレット端末やスマートフォンで USB 機器を使用できるようにするための機能である。筆型デバイスには、穂がどの程度曲がっているか判定をするための曲げセンサと、運筆の加速度を取得し、その変化量を使用して筆跡の幅を変更するため加速度センサを搭載している。各センサは Arduino と接続し、シリアル通信を行う。

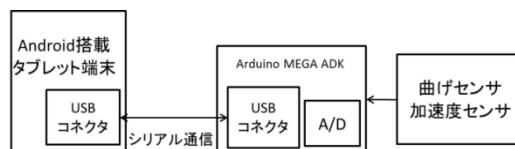


図 2 システム構成

Figure 2 System configuration.

3.2 Arduino 側通信

搭載している各センサの値をひとつの構造体に格納し、通信速度 115200[bps]で連続してタブレット端末へ送信している。

3.3 タブレット端末(Android)側通信

メインクラスや描画クラスは山下らの研究[2]で作成されたものを使用する。前述の USB ホスト機能を用いるための処理をメインクラスの中に組み込む。Arduino から送信されるデータの型と、タブレット端末で使用するデータの型は異なっている。そのため、タブレット端末内で型変換処理を行い、その数値を使用して描画に反映する。

4. 筆型デバイスの構成

使用しているタブレット端末の仕様を表 1 に示す。山下らの研究[2]の筆型デバイスは、書道筆に導電布や導電糸を巻きつけたものである。本研究で試作した筆型デバイスは、導電布だけでなく書道筆に曲げセンサと加速度センサを取り付けている。使用した曲げセンサの仕様を表 2 に、加速度センサの仕様を表 3 に示す。また、各センサを筆型デバイスに組み込んだ様子を図 3 に示す。表 1 に示す通り、タブレット端末のプロセッサ性能は高くないため、複雑な処理を行うと動作が遅くなる。そのため、単純な処理で毛筆の表現性と再現性を高める必要がある。表 2 より、曲げセンサの値は約 20[k Ω]変化する。これを分圧回路を用い、電圧を A/D 変換してその値を使用する。加速度センサには、表 3 に記載されている標準電圧の 3.3[V]を印加し、加速度センサの電圧値を A/D 変換して使用する。

山下らの研究[2]の筆型デバイスではタブレット端末との接触面積のみを考慮している。そのデバイスに加速度センサ搭載することで、実際の書道のように運筆加速度と穂の曲がり量を計測することが出来るようになる。それにより、筆跡描画の表現性と再現性を高められると考えた。

表 1 タブレット端末の仕様

Table 1 Tablet computer's specification.

端末	SAMSUNG GALAXY Tab 10.1
ディスプレイ	約 10.1 インチ
OS	Android 4.0.4
メモリ (RAM)	1[GB]
プロセッサ	APQ8060 1.5GHz (Dual Core)

表 2 曲げセンサの仕様

Table 2 Bending sensor's specification.

型番	SPECTRASymbol-001
抵抗値(平面時) [k Ω]	約 10
抵抗値(曲げ時) [k Ω]	約 30
電力定格[W]	0.5~1
全長[mm]	112
センサ長[mm]	95

表 3 加速度センサの仕様

Table 3 Acceleration sensor's specification.

メーカー名	Kionix 社
型番	KXM52-1050
測定レンジ	±2g
感度[mV/g]	660 (電源 3.3[V]時)
0g 出力[V]	1.65(電源 3.3[V]時)
電源電圧[V]	2.7~5.5(標準 3.3[V])
出力	3 軸 (X, Y, Z) アナログ出力

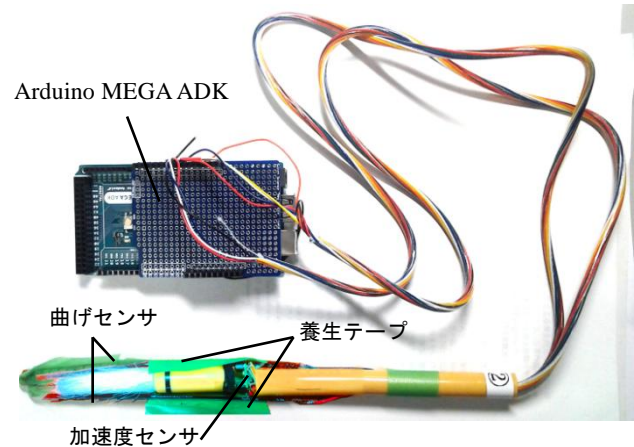


図 3 筆型デバイスの構成

Figure 3 Brush-type device's configuration.

5. 評価

試作した筆型デバイスとシステム上の筆跡描画が実際の筆の表現に近づいたか評価するために、2015 年 12 月 12 日に青森県八戸市にある八戸ポータルミュージアムはっちで行われたまちなか高専祭にてシステムの体験学習会を実施し、アンケート調査を行った。

主に小学生約 40 名を対象としたアンケート結果を図 4、図 5、図 6、図 7 に示す。図 5 に示すように、習字や書道経験をしたことのある被験者が多かった。評価項目は 9 つあり、その中でも重視したのは、「実際の習字のように書くことができたか」と「筆型デバイスは使いやすかったか」という項目である。試作された筆型デバイスの使いやすさについて、1/3 以上の被験者が使いやすかったと回答した。しかし、実際の習字のようにできたかという問いに対しては、評価が高くなかった。

試作された筆型デバイスは、センサと Arduino 間、また Arduino とタブレット端末間をケーブルで接続している。体験学習会にて体験した児童の多くが、邪魔にならないように線をまとめていた。このことから、有線では児童がシステム体験に集中できないと考えられる。

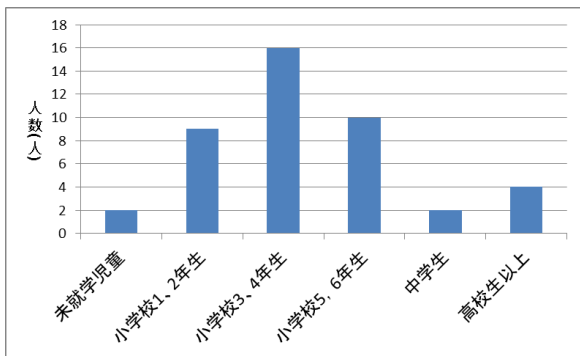


図4 被験者の学年(2015)

Figure 4 Grade of testees (2015).

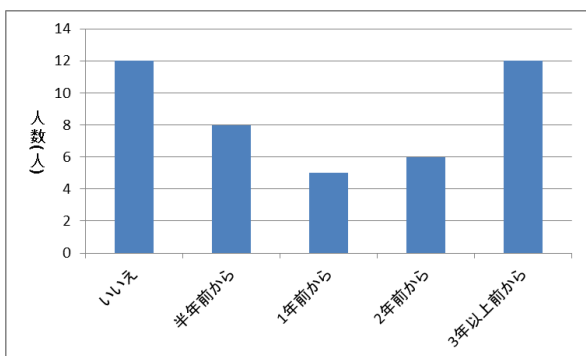


図5 被験者の習字経験(2015)

Figure 5 Calligraphy experiences of testees (2015).

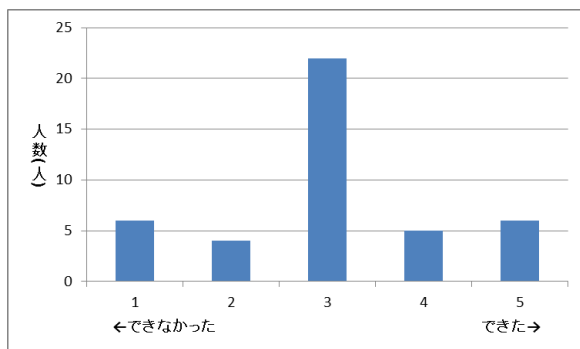


図6 実際の習字のようにできたか(2015)

Figure 6 Could you write as actual calligraphy (2015)?

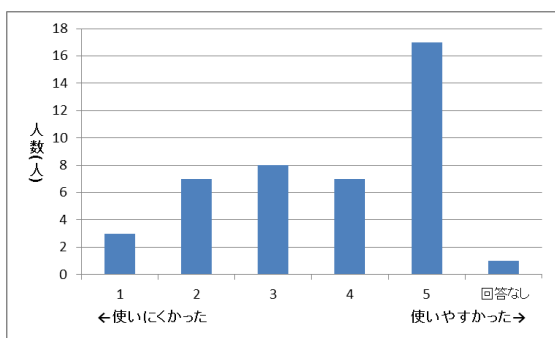


図7 筆型デバイスは使いやすかったか(2015)

Figure 7 Ease of use of the brush-type device (2015)?

6. 実地調査

2016年3月19日に青森県八戸市小中野にある一般社団法人青葉の杜「Harmony 八戸」にてシステムの使用感を確かめるための体験学習会を行った。「Harmony 八戸」は、軽度の発達障がいを抱えた児童や生徒に対し、放課後等デイサービスを行っている。またここでは、児童や生徒がタブレット端末を用いて学習を行っている。

小学生から中学生まで約10名の児童と生徒にシステムの体験学習会を実施した。児童や生徒だけでなく、施設スタッフの方々からも意見を得られた。そこで判明した問題は以下の通りである。

- 施設で行っている書道・習字の実施機会は少なく、また行うときには、部屋を汚さないように準備をすることが必要である
- 学習機会が少ないため、筆の正しい持ち方が分からない
- 穂に含ませる適切な墨の量が分からない

この問題点で述べられている「部屋を汚さないようにするための準備」とは具体的に、部屋にブルーシートを敷いて床や机を墨で汚さないようにするためにする準備のことである。これは、筆の穂につける墨の量がわからず、多量につけることで紙以外にも墨を垂らしてしまうことが原因の一つとなっている。現状では、軽度の発達障がいを抱えた児童や生徒が毛筆を用いた書写学習を行うにはこのような大がかりな準備が必要で、このため頻りに習字を行えないことが明らかになった。

さらに、システムに関する意見も得た。その中には汚れずに習字をできるのがいいという意見があった。しかし、システムとして描画面が不十分であるという意見もあった。また、八戸地域エリアマネージャー兼 Harmony 白銀管理者兼 Harmony 白銀児童発達支援管理責任者である武尾健司氏より、「黒以外の色を扱えるようにしたら良い」、「筆形状であれば実際の書道筆でなくて良い」など、筆型デバイスやシステムの改善点と要望について多くのアドバイスを受けた。

7. 筆型デバイスの無線化

5章で述べたアンケート調査により、有線で Arduino と筆型デバイスを接続した状態では筆の可動域が狭くなり、使いにくい問題が明らかになった。その問題を解決するために、筆型デバイスの無線化を行った。無線化実現の為にモノワイヤレス社[10]製の「TWE-LITE DIP-PCB」を用いた。TWE-LITE DIP-PCB に曲げセンサを接続し筆型デバイスに実装した。TWE-LITE DIP-PCB の主な仕様を表4に示す。

表 4 TWE-LITE DIP-PCB の仕様

Table 4 TWE-LITE DIP-PCB's specification.

製品型番	TWE-L-DI-P
無線規格	IEEE802.15.4
サンプリング回数[/秒]	50
通信速度[bps]	115200
動作電圧[V]	2.3~3.6
出力	三軸(X, Y, Z)アナログ出力

また、同社の TWE-LITE-2525A を加速度センサとして使用した。TWE-LITE-2525A はコイン電池(CR2032, 3[V])で駆動する小型の無線タグである。

タブレット端末側は、筆型デバイスからの信号を受信するために同社製の USB ドングル「ToCoStick」を使用した。無線化した筆型デバイスとタブレット端末を図 8 に示す。

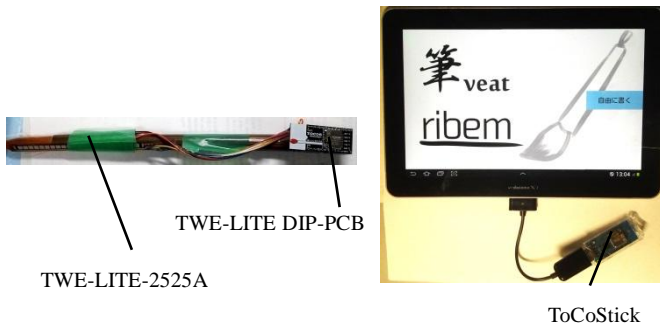


図 8 無線化した筆型デバイスとタブレット端末

Figure 8 Wireless brush-type device and tablet computer.

8. アンケート調査

試作した有線と無線の筆型デバイスの評価を行うため、2016年5月22日に青森県東北町青森原燃テクノロジーセンターで行われたサイエンスフェスティバル 2016にて体験学習会を実施し、アンケート調査を行った。アンケート結果を図 9、図 10、図 11、図 12、図 13 に示す。

調査対象は小学校3年生以上の27名で、図 9 に示すように、習字経験が1年以上の被験者が半数以上であった。評価は10項目で、5章で行ったアンケート調査と比較するため、「実際の習字のように書くことができたか」と「筆型デバイスは使いやすかったか」の項目を図 11、図 12 に示す。「実際の習字のようにできたか」の項目では、5章の評価値 3.02 であったが、図 11 では評価値 3.38 と評価が高くなっている。「筆型デバイスは使いやすかったか」の項目も5章の評価値が 3.67 であったのに対し、図 12 では評価値 3.81 と高くなっている。また、図 13 「筆型デバイスは有線と無線ではどちらが使いやすかったか」の質問項目では、半数以上の被験者が「無線の方が良い」と回答している。

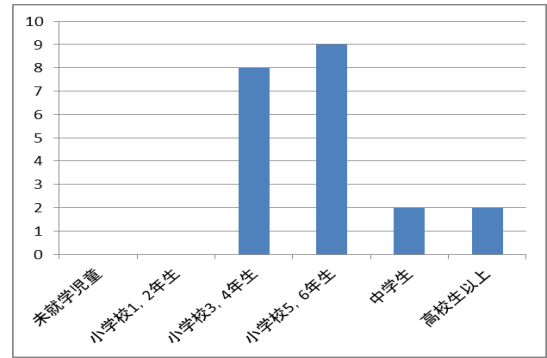


図 9 被験者の学年(2016)

Figure 9 Grade of testees (2016).

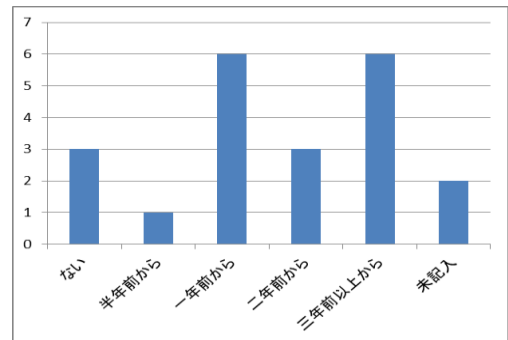


図 10 被験者の習字経験(2016)

Figure 10 Calligraphy experiences of testees (2016).

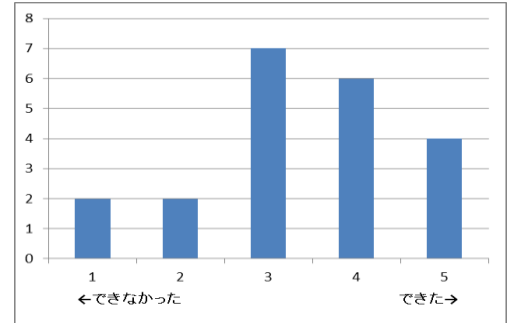


図 11 実際の習字のようにできたか(2016)

Figure 11 Could you write as actual calligraphy (2016)?

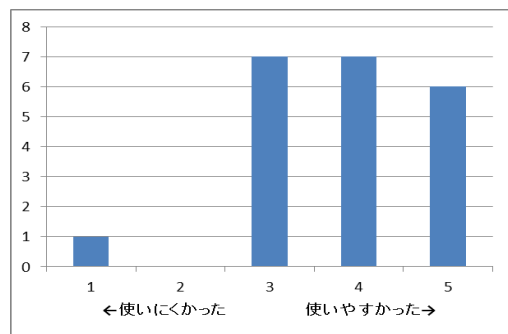


図 12 筆型デバイスは使いやすかったか(2016)

Figure 12 Ease of use of the brush-type device (2016)

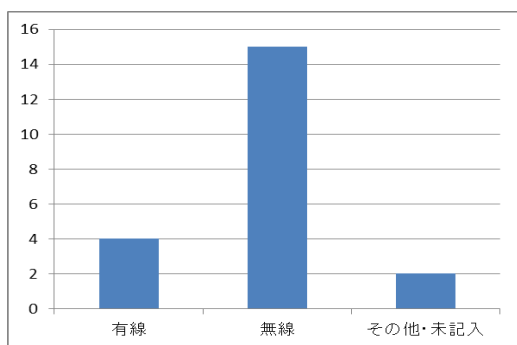


図 13 有線と無線ではどちらが使いやすかったか
Figure 13 Which is easy to use?

9. 3D プリンタを用いた筆型デバイスの試作

6 章で行った実地調査で得た意見と 7 章で行った筆型デバイスの無線化より、無線モジュールの安定化と導線を束ねて持ちやすくする必要が生じた。そのため、無線モジュールと各センサを内包する形状の筆型デバイスを試作する。目的や用途に応じて大きさや形状を自由に設計でき、複雑な形状でも製作できる 3D プリンタで筆を試作した。試作した筆型デバイスを図 14 に示す。書道筆の穂にあたる部分は導電ゴムや導電布を使用して試作した。曲げセンサとそれらを直接接触させることができないため、曲げセンサを使用せず、TWE-LITE-2525A のみ用いたデバイスにした。寸法は約 26×12×4(長さ×幅×高さ)[cm]である。今後、筆の正しい持ち方を指導する指の絵を筆の軸に張り付ける予定である。

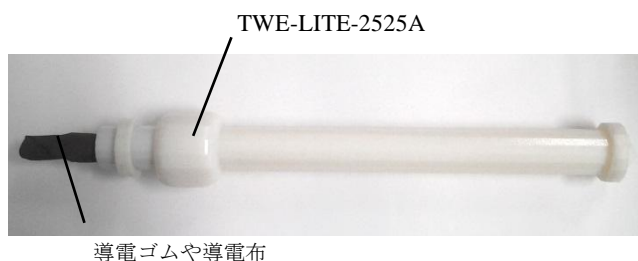


図 14 3D プリンタで試作した筆型デバイス
Figure 14 Brush-type device made by 3D printer.

10. 3D プリンタで試作した筆型デバイスに関する意見交換

3D プリンタを用いて試作した筆型デバイスについて、2016 年 8 月 8 日に青森県八戸市白銀にある「Harmony 白銀」を訪問し、武尾健司氏と意見交換を行った。

試作した筆型デバイスに関して、「軸の太さは 4[cm]で適切であると考えられるが、より多くの人が使用できるように、細めの軸で太さを変更できる付属物があると良い」とのことだった。穂先は、「導電ゴムに導電布を張り付けたものに切り込みを入れ毛筆のようにするか、導電糸を撚りま

とめたものを束にして穂先にするのが良いのではないかと」という意見であった。もしくは、「初めからシリコンのような材質のもので穂先の形を制作し、取り付ければよいのではないかと」という意見も得られた。

この意見交換会で得られた案を元に、今後穂先を試作する予定である。

11. 結果と考察

タブレット端末を使用した仮想的な練習や学習は、手軽で安全なため軽度の発達障がいを持った児童に対し高いニーズがあるということがわかった。そこで、周囲を汚すことなく手軽に毛筆に近い描画を行える、タブレット端末を用いた書写学習の入門的なシステムを試作した。また、有線であった筆型デバイスを無線化することにより使いやすさを向上することができた。無線化する際に無線モジュールを内包させるため、3D プリンタを用いて筆型デバイスを試作した。

書写支援システムとして、筆跡描画の表現性と再現性を高めるために筆型デバイスにセンサを搭載した。各システムの筆跡描画の比較を図 15 に、丸で囲まれた部分(入筆部分)の比較を図 16 に示す。本研究で書道筆にセンサを搭載し、その値を使用して描画に反映させることで、山下らの研究[2]のシステムより表現性と再現性を高めることができた。しかし、より実際の毛筆の筆跡描画に近づけるために、各センサの閾値を決定する必要がある。



図 15 筆跡描画の比較
Figure 15 Comparison of handwriting drawing.



図 16 入筆部分の比較
Figure 16 Comparison of started writing.
(左：山下らの研究[2]，右：本研究)
(left: Previous research, right: Present research)

支援システムとして完成度を高めるためには、さらなる実地調査を行い、筆型デバイスの強度や操作性の向上、筆跡描画の表現性と再現性をより高める、インタフェースを理解しやすいものにするといった改善が必要である。

12. まとめと今後の展望

本研究では、タブレット端末を用いた手軽で周囲を汚さない書写支援システムの試作を行い、システムに合わせた筆型デバイスの試作を行った。筆型デバイスは、3Dプリンタを用いて無線モジュールを内包するような形状とした。筆型デバイスにセンサを搭載することにより書写支援システムにおける筆跡描画の表現性と再現性の向上を図った。その結果、先行研究の「筆 veat」システムより筆跡描画の表現性と再現性を高めることができた。しかし、実際の毛筆の筆跡描画には十分でないという問題点も明らかになった。

今後の課題として、軽度の発達障がいを持った児童や生徒に体験してもらい、筆型デバイスの耐久性について確かめる必要がある。また、穂先をさまざまな材質で試作し、どの材質が毛筆に近いのか確かめる必要がある。

謝辞 本研究を進めるにあたり、まちなか高専祭来場者の方々、サイエンスフェスティバル 2016 来場者の方々、Harmony 八戸、Harmony 白銀の方々にアンケート調査にご協力頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 横山豊蘭：「書道」の教科書，実業之日本社，2008.
- 2) 山下和志：タブレット端末を用いた書道学習システム試作，平成 24 年度八戸工業高等専門学校卒業論文.
- 3) 文部科学省：小学校学習指導要領解説 国語編(平成 20 年 6 月)，http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/syokaisetsu/
- 4) 島田英之，島田興宏，大倉充：毛筆で筆記可能な仮想書道システムの開発，情報処理学会論文誌，Vol.47, No.12, pp.3392-3401(2006.12).
- 5) 藤井尚也，松山克胤，今野晃市：仮想書道システムのための赤外線カメラを利用した筆姿勢推定手法の検討，平成 23 年度第 2 回芸術学会東北支部・研究会論文【23-02-08】，(2012.3).
- 6) Jeng-sheng Yeh, Ting-yu Lien, Ming Ouhyoung : On the Effects of Haptic Display in Brush and Ink Simulation for Chinese Painting and Calligraphy, Computer Graphics and Applications, 2002. Proceedings. 10th Pacific Conference on , pp.439 - 441(2002).
- 7) 村中徳明，山本隆史，今西茂：VR 技術を用いた書道学習支援システムとその学習効果，電気学会論文誌 A(基礎・材料・共通部門誌) Vol.123, No.12, pp.1206-1216 (2003).
- 8) 藤塚哲也，岩倉純，山下聖也，新井浩志；拡張現実を用いた習字学習支援システム，電子情報通信学会総合大会講演論文集，2014 年_情報・システム(1)，p.163(2014).
- 9) 山添(池下)花恵，三家礼子，河合隆史，佐藤正，山形仁，山崎隆，宮尾益知：発達性読み書き障害児における立体視を用いた平仮名識字学習の効果，日本教育工学会論文誌，Vol.32, No.4, pp.417-424 (2009.2).
- 10) モノワイヤレス株式会社：
<http://mono-wireless.com/jp/index.html>