

# メロ字ィ: 手書き練習における お手本と手書きのずれを考慮したメロディ提示手法

鳩貝 怜央<sup>†</sup> 松田 さゆり<sup>†</sup> 渡邊 健斗<sup>†</sup> 中村 聡史<sup>†</sup> 掛 晃幸<sup>††</sup>

<sup>†</sup>明治大学総合数理学部 〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1

<sup>††</sup>株式会社ワコム 〒349-1148 埼玉県加須市豊野台 2-510-1

E-mail: <sup>†</sup>ev210604@meiji.ac.jp

**あらまし** 日本における手書き文字練習では、同じ字を何回も手書きする必要があり、退屈であるために嫌いになっていくことは珍しくない。我々はこうした文字練習を楽しく、かつ効果的なものにするために、手書きストロークに応じてメロディを鳴らす手法を提案し、実装してきた。しかしこれまでのシステムでは、画面上のどこにペンを置いても音が鳴るため、お手本をなぞるための制約として十分に機能せず、ただ単に音を鳴らすものとして楽しまれてしまうという問題があった。そこで本研究では、手書きストロークがお手本のストロークから一定以上離れると音が止まるように手法を改良し、その影響について実験を行った。実験の結果、お手本に連動した音提示は手書き文字練習の速度を遅くすること、また音提示範囲内に収まる手書き練習が多くなることなどを明らかにした。

**キーワード** 手書き文字, 文字教育, 文字練習, 音提示, 軌跡

## 1. はじめに

2024年現在においても各種契約書や、サインなど様々な場面において手書きを行う機会が存在する。また、文化庁の調査によると普段の生活の中で手書きをする機会があると感じている人は7割以上存在し、文字を手書きする習慣は大切にするべきだと考える人は9割を超えている[1]。

ここで、日本では文字練習が小学校から始まり、その練習方法はノートに書き写すことや、音読をすることなど様々存在する。児童の漢字学習の仕方に関するアンケート[2]によると、全ての学年において何回もノートに書いて文字を覚える方法が行われている。この繰り返し書く文字練習は、効果的であると同時に退屈になりがちであり、高学年の児童ほど漢字の学習を嫌いになっていく傾向が明らかになっている。

我々はこれまでの研究[3]において、繰り返しの文字練習を楽しく、かつ効果的なものにするために、手書き軌跡に応じてメロディが鳴る手書き練習システム「メロ字ィ」を提案してきた。またシステムを用いた実験により、iPadにおいてメロ字ィを使用した実験協力者の練習回数が、メロ字ィを使用しない条件に比べて多くなるという結果が得られた。しかしこれまでのシステムでは、キャンパス上のどこをペンで書いてもメロディが鳴ってしまうため、ただ単に音を鳴らすものとして楽しまれてしまい、本来の目的である文字練習から離れてしまうという問題があった。実際、小学生に利用してもらった際に、音が出ること自体を楽しむ様子が見られた。

そこで本研究では、これまで提案してきた手法を改良し、手書きストロークがお手本のストロークから一

定以上離れると音が鳴らなくなるようにする。メロディが鳴るための条件を設けることで、お手本のストロークから外れにくくなり文字練習に集中させることが期待できる。また、従来型の音が出ない練習システムと、これまで提案してきたメロ字ィ（以降、旧メロ字ィと記述）、そして本研究において改良したメロ字ィ（以降、新メロ字ィと記述）を用いた実験を実施することで、その有用性を検証する。

## 2. 関連研究

### 2.1. 手書き文字練習支援

これまでに様々な手書き文字の文字練習システムが提案されている。

中村ら[4]は、プロジェクションマッピングを用いて適切な文字の位置と大きさを紙に投影することで、綺麗な手書き文字を書くことを可能とするシステムを提案している。また実験の結果、ユーザは書いた文字に対して高い自己評価をするだけでなく、自分らしい文字を書けることを明らかにしている。久保田ら[5]は、書写技能を向上させ、文字練習のモチベーションを維持するために、ユーザの手書き文字をお手本と融合することで美化して提示するシステム Mojivator を提案および実装している。また実験の結果、美化システムを用いることにより、ユーザの書写練習におけるモチベーションを高めることを確認している。

我々の研究も同様に、システムを活用してユーザ自身の意欲を高めながら、文字練習を行えるようにするものである。

### 2.2. 音階を用いた支援

ひとの行動に対して音階をフィードバックするこ

とで支援を行う研究も様々なされている。

木村[6]は、末梢神経障害や脳血管障害などの感覚障害を患った患者の正常な歩行を再学習するため、聴覚フィードバック装置を開発している。具体的には、踵のみを踏むと「ド」、踵と母趾球を踏むと「レ」、母趾球のみを踏むと「ミ」が鳴るシステムである。実際に使用した結果、進行方向をみながら歩くことができるようになったことを明らかにしている。前川ら[7]は、視覚障害者が色を面として認識するために、色の変化をリアルタイムに音の変化で提示するシステムを提案している。事前に色の RGB と音階を心理的屬性に考慮してマッピングをしておくことで、色の変化を時間遅れなく音で提示する。また、実際に患者がシステムを使用した結果、縞模様とグラデーションを高い精度で識別することが可能で、音のみを聞くことで色名を特定することが可能な場合もあったと述べている。一方、Matsuda ら[8]は、運転においてハンドルの修正舵を減らすことを目的として、ハンドルの操舵角に応じて音階を鳴らす手法を提案している。また実験により、音階の提示が修正舵を減らすことを明らかにしている。

このように音階を用いて音楽とは異なる技術の支援を行う研究は様々行われている。本研究では、音階を用いて文字練習を支援するものである。

### 2.3. 音により文字練習を支援する研究

文字を書くときの動作と音を組み合わせた研究も様々行われている。

中川ら[9]は、エクスカキバーという、ストロークを点、直線、曲線に分類し、ゲームの要素としてビジュアルサウンドエフェクトを加えることで学習効果の向上を目的とする文字練習システムを提案している。また実験の結果、システムがポジティブな感情を生起させ、筆記学習の負荷を軽減させられることを明らかにしている。牟田ら[10]は、「トメ」、「ハネ」、「ハライ」の終筆動作がなされたことを筆記音からリアルタイムに識別し、それぞれの終筆動作に対応した効果音を再生する文鎮型デバイス「i 文鎮」を提案している。ここでは終筆動作の認識に関する実験はなされているが、実際に使用する実験については行われていない。

Anderson ら[11]は、タブレット上での筆記において視覚と聴覚からフィードバックを与えることによって、より直線に近い線を書くことができることを明らかにしている。

このように筆記行動への音を用いたフィードバックにより学習支援をする研究は様々なされている。我々の研究は、文字を書いているペンの位置に応じた音階の音提示によって、文字練習を支援するものである。

## 3. 提案手法の改良

これまでの研究[3]で提案してきた旧メロディ手法は、キャンパス上のどこにストロークを書いても音が鳴ってしまう仕様であった。そのため、文字練習ではなくメロディが鳴るものとしてただ楽しんでしまう可能性があった。練習の効果を高めるためには、メロディ自体に気を取られすぎないようにし、文字練習に集中させることが重要である。

本研究では、メロディの鳴り方を制御することで、文字練習をより丁寧に行ってもらうことを目的とする。ここでは、お手本の文字をなぞる練習をする際に、お手本から一定以上離れて書いてしまうと音が鳴らなくなるようにシステムを改良する。このようにメロディが鳴る範囲を限定することで、音が途切れることなく常に鳴り続けることを意識させ、文字練習に集中できるようになると考えられる。また、音が途切れないようにするために丁寧に文字をなぞる意識が生まれ、筆記速度が遅くなることを期待される。さらに、メロディが鳴る範囲を限定して練習することで、お手本と書いたストロークとのユークリッド距離が短くなることが期待される。

ここで音が鳴る範囲について、著者等によるプロトタイプシステムを用いた試行錯誤により、お手本内の点との最小ユークリッド距離が 20 ピクセル以下と設定した。また、ストロークとお手本の画数の順番を対応づけることで、お手本に示された書き順とは異なる順番で書くと音が鳴らないようにした。

本システムは Web アプリケーションフレームワークの Nuxt.js をフロントエンド、Go 言語をバックエンドで使用した。また、データベースには MySQL を採用して実装した。

今回のシステムでは、これまでの研究で用いていたお手本と手書き文字を平均化する機能は外し、実験協力者の本来の文字を使用して実験を行った。これは、ある程度汚く文字をなぞったとしても綺麗に書けてしまうため、丁寧になぞる意識を削いでしまうと考えたためである。

## 4. 実験

### 4.1. 実験概要

本実験では、「手書きストロークがお手本のストロークから一定以上離れると音が鳴らないようにすると、音が常に鳴り続ける先行研究と比べて丁寧になぞろうとする」という仮説を立て、その検証を行う。

また、メロディの鳴る範囲を限定することによる書く速度への影響を調査するため、実験協力者にとっての書き慣れていない文字を練習してもらう必要がある。そこで、日本人にとって馴染みのない「梵字」を実験



図1 メロ字ィの文字練習画面



図2 実験対象とした16文字



図3 テスト画面

用の文字として16文字選定した。そして、これまでメロ字ィを用いた実験に参加していない人を実験対象とした。

#### 4.2. 実験手順

実験では、旧メロ字ィを使用する群（以下、旧メロ字ィ群）、手書きストロークがお手本のストロークから一定以上離れると音が鳴らなくなるメロ字ィを使用する群（以下、新メロ字ィ群）、そして音提示を行わない

文字練習システムを使用する群（以下、音無し群）の3つの群に分けて実験を行った。

実験協力者にはシステム（図1）を用い、対象とする梵字16文字（図2）を、各5回ずついずれかの手法で練習してもらった。また、音提示の仕方が文字を書く速度に与える影響を調査するために、5分間休憩をした後になぞるためのお手本がない真っ白なキャンバスに文字を書くテストを全群音提示無しで実施した。なお、テストを実施することは実験協力者に事前に伝えた。図3は実際のテスト画面である。左側には16文字のお手本をランダムな順番で提示し、右側のキャンバスにその梵字を書いてもらった。ここで、書きたびに多少のずれがあることを考慮して、一文字あたり3回ずつ書いてもらった。テストにおいては、キャンバスにはなぞるためのお手本を提示せず、隣のお手本の大きさはキャンバスの大きさより少し小さく提示することで、実験協力者自身の文字を書いてもらい、お手本に近い文字を書けるかどうかを調査できるようにした。なお、テストではお手本の画数や音の提示をしないことで、記憶に与える影響も調査できるようにした。

さらに実験後にはアンケートを実施し、文字を書いている時に意識していたことについて、自由記述で回答してもらった。

実験は、iPad ProとApple Pencilを用いて実施した。実験協力者は大学生、大学院生36名（男性32名、女性4名）であり、3つの群それぞれに12名ずつ分けて実験を行った。本実験では1人当たり、16文字を練習で5回ずつとテストで3回ずつの計128回書いてもらったが、そのうち数回は通信環境の影響でデータが正しく取得できなかったため、分析から除外した。その結果、36名分のデータを分析対象とした。その結果、36名で合計4320件のデータを分析対象とした。

## 5. 実験結果

### 5.1. 評価指標

音無し群、旧メロ字ィ群、新メロ字ィ群においてそれぞれの音提示の方法が文字をなぞる速さへ与える影響を調査するため、文字をなぞる時間にどのような違いがあるかを分析する。また、実験協力者の書いた文字とお手本とのユークリッド距離に与える影響についても分析する。さらに、全ての群に対して行ったテストの結果についても分析を行う。

### 5.2. 実験結果

3種類の音の提示の方法が文字のなぞる速度に影響を与えるか検証するため、文字を書くのにかかった時間に関して分析を行った。図4は各群における1ピクセルあたりの文字を書くのにかかった時間を箱ひげ図で示したものである。図の縦軸は1ピクセルを描画す

際にかかった時間（ミリ秒）である．文字の種類ごとにデータ数が異なるため，各文字のデータを手法別で平均することで分析を行った．その結果，音無し群と旧メロ字群は大きな違いはみられなかったのに対して，新メロ字群を使用した場合において，他の群に比べて文字をなぞる速度が遅くなっていることがわかる．各群における文字を書く速度について分散分析を行ったところ，有意水準 0.1%の有意差が認められた．また，2 群間の比較を行うため HSD 検定を行ったところ，新メロ字群と音無し群，新メロ字群と旧メロ字群のどちらにおいても有意水準 0.5%の有意差がみられた．

次に，お手本と実際になぞった手書きのずれを検証するため，5 回の練習におけるお手本とのずれを，ユークリッド距離をもとにして求めた．お手本とのユークリッド距離とは，書いたストロークを成すそれぞれの点に対して，お手本のストロークの点との最小ユークリッド距離を文字ごとに平均したものである．また，同じ画数番目のストロークを対応付けてユークリッド距離を求めた．ここで，手書きしたストロークの点の数はその手書きをした速度によって数が変化するため，点の間の距離が 1 ピクセル以上になるように間引く処理をした．

図 5 は，各群のなぞった手書き文字とお手本のユークリッド距離を求めた結果である．図の縦軸はユークリッド距離の平均（ピクセル）を表している．この図より，音無し群の平均は 6.76，旧メロ字群の平均は 7.22，新メロ字群の平均は 6.82 であった．音無し群と新メロ字群のユークリッド距離の総和は旧メロ字群に比べ短くなっているが，各群に有意差は認められなかった．

本実験における新メロ字では，お手本と手書きのストロークが 20 ピクセルを超えると音が鳴らなくなるよう設定していたため，新メロ字ではこの 20 ピクセル以内に収まる点の数が多くと期待される．そこで，手法および手書き文字ごとに，手書きしたストロークのお手本から離れた距離が 20 ピクセルを超えた割合を，累積で示したグラフを図 6 に示す．なお，文字の種類ごとのデータ数の違いを考慮するため，ダウンサンプリングを行った．図の横軸はある手書き文字についてお手本と 20 ピクセルを超えた距離の割合，縦軸は文字の個数を割合で表したものである．この図より，一文字の中でお手本との距離が 20 ピクセルを超えた割合が 0.05 以下で新メロ字群が最も高く，それ以降はほとんど差がないことがわかる．

練習における音提示の違いが，音提示がないテストにおける文字を書く速さに影響を与えるか検証するため，提示された文字を 3 回ずつ書くテストを実施した．

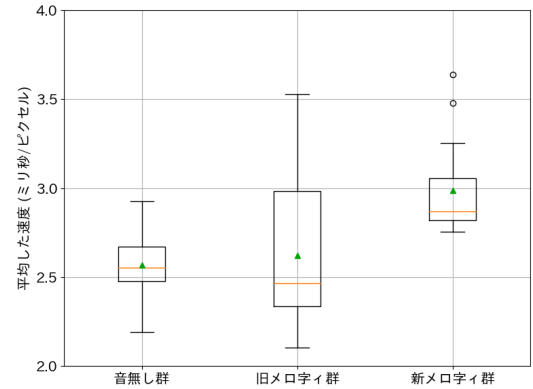


図 4 群ごとの 1 ピクセル書くのにかったミリ秒

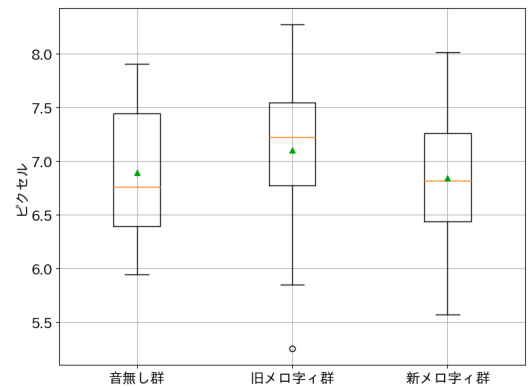


図 5 群ごとの平均ユークリッド距離

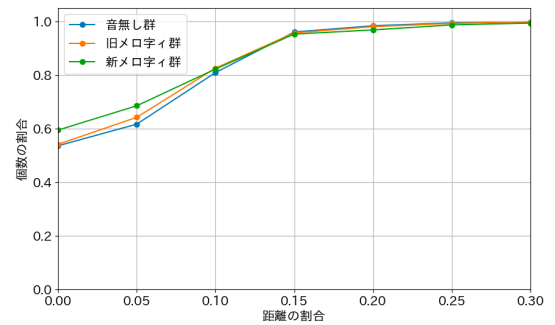


図 6 群ごとのお手本との距離が 20 以上の距離の割合

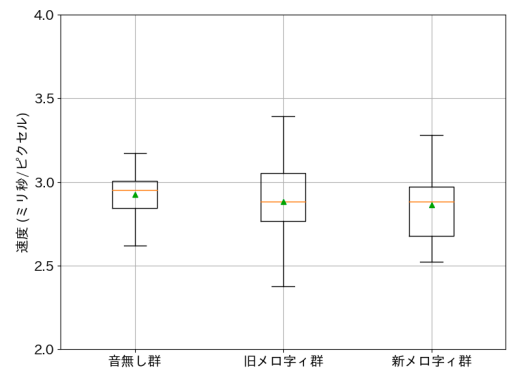


図 7 1 ピクセル書くのにかったミリ秒（テスト）

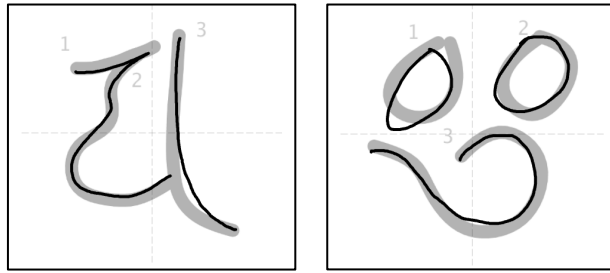


図 8 音無し群における手書きがお手本からずれていた事例

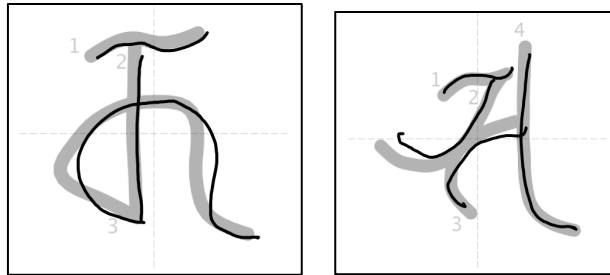


図 9 旧メロ字ィ群における手書きがお手本からずれていた事例

群ごとの 1 ピクセルあたりの文字を書くのにかった時間を示した箱ひげ図を図 7 に示す。音無し群の中央値は 2.92 で平均は 2.95、旧メロ字ィ群の中央値は 2.88 で平均は 2.88、新メロ字ィ群の中央値は 2.87 で平均は 2.88 であった。図より、それぞれの群において、大きな違いはみられなかった。

## 6. 考察

実験の結果より、新メロ字ィ群が最もお手本をなぞる速度が遅くなっていた。これは新メロ字ィ群では、書いた線がお手本からずれたときに音の再生が止まるため、実験協力者は音が止まらないように注意して書くようになり、結果としてなぞる速度が遅くなったと考えられる。このことより、新メロ字ィは手書き練習を丁寧に取り組むことを誘導するものであるといえる。また、音無し群の平均値は旧メロ字ィ群と同程度であったが、その分散は小さかった。これは、音の提示がないため、音による影響がないことにより筆記速度が実験者間で変化がなかったことが考えられる。また、旧メロ字ィ群が最も速度の振れ幅が大きくなっていた。これは、メロ字ィの音のデザインとして、線を書く速度に連動して音の鳴り方も早くなったり遅くなったりするため、旧メロ字ィにおいて音の鳴り方が一定になるように書いた実験協力者が一定数いたからであると考えられる。アンケートの回答においても、音の鳴り方が一定になるように意識していた実験協力者が複数いた。

お手本とのユークリッド距離に関する分析を行っ

たところ、旧メロ字ィに比べ新メロ字ィはユークリッド距離の平均が少なかった。ここで、音無し群と旧メロ字ィ群において、お手本からずれていた例を図 8、9 に示す。図の太線はお手本を、細線は実際に書かれた手書きを表している。この結果より、音無し群や旧メロ字ィ群では明らかにお手本からずれている事例が観測される。

手書きに要した時間から、旧メロ字ィに比べ新メロ字ィは丁寧に書く傾向があると考えられるが、有意な差はみられなかった。ここで、図 6 に示すお手本から 20 ピクセル離れた手書きストロークの割合に関する分析より、新メロ字ィ群が 0.00 および 0.05 において値が大きいことがわかる。つまり、お手本から 20px より大きく離れたことが一度もないまたは 5%程である文字の割合が多いことから、音が鳴る幅の制約が効果的に機能していると考えられる。そのため、例えば丁寧になぞることが難しい小学生などではこの幅を広くし、丁寧になぞることが容易な大人ではこの幅を狭くするなど、この幅を適切にコントロールすることで、ユーザの手書き行動を誘導できると考えられる。

テストの実験結果より、それぞれの群における 1 ピクセル書くのにかった時間の中央値や平均値でほとんど差がみられなかった。これは、テストでは音がならないことにより制限がなくなったため、新メロ字ィ群の実験協力者の文字の書く速度が元に戻ったためと考えられる。なお、テストにおける手書きが、どの程度お手本と類似していたのかについては、大きさが異なるため検証できていなかった。そこで今後は大きさ

を考慮しつつどの程度類似していたのかを検証していく予定である。また、今回の実験ではそれぞれの手書き文字の練習回数は5回ずつであったため、その影響が出なかった可能性もある。そこで今後は、練習回数を増やしていくことにより、その影響を明らかにしていく予定である。

実験終了後に実施したアンケートにおいて、実験を通して文字を書く際に意識したことを回答してもらった。36人の実験協力者のうち最も多かった回答は13人が回答した書き順である。これは、図1で示す通り、システム上で書き順を示していた事と、テストを実施することを伝えたことが影響したことが原因として考えられる。そこで今後は、どの程度システムによる練習が書き順を守ることにつながるかを行ったことについて検証予定である。また、今回の実験ではテストにおいて音提示をしていないが、旧メロ字イ群と新メロ字イ群の実験協力者において、音の鳴り方をイメージしながら書いたと回答した人がそれぞれ1人ずついた。このことから、音を利用した練習は、一部のユーザにとって、その手書き文字を筆記する際の書き順や書き方などを想起させる可能性が考えられる。

今回提案した音提示手法は、手書き文字の練習をする子どもが真面目に練習に取り組んでいるかどうかを、その音だけでその親や先生が他の作業に取り組みながら判断可能なものであると期待される。そこで今後は、この手書き練習をどの程度真面目にやっているかを、音だけで判断可能かについて検証を行っていく予定である。

## 7. まとめ

本研究では、繰り返し書く文字練習を楽しく効果的なものにするため、我々がこれまでに提案してきた手書きに連動して音がなる「メロ字イ」を、お手本の文字と手書きストロークに合わせてメロディの鳴り方を制御するよう改良し、システムとして実装した。また、「手書きストロークがお手本のストロークから一定以上離れると音が鳴らないようにすると、音が常に鳴り続ける先行研究と比べて丁寧になぞろうとする」という仮説のもと、梵字を練習してもらった実験を実施した。実験の結果、新メロ字イを使用することで、音提示無しや旧メロ字イに比べ、ゆっくり丁寧になぞる傾向にあることが明らかとなった。また、お手本とのずれや、テストにおける筆記速度に関しては差がみられなかったが、お手本とのユークリッド距離が20ピクセル以内である割合は、新メロ字イ群の実験協力者が少なく、音提示がずれを考慮した手書きにつながっていることが示唆された。

今後は、音を鳴る範囲をさらに狭めるように制御す

るなど、より文字練習に集中させる手法について検討を行っていく予定である。また、練習回数が増加したときにどうなっていくのかについても検証を行う予定である。さらに、今回は手書き文字として梵字を利用したが、小学生や日本語の学習をしようとしている海外のひとの漢字練習においてどの程度効果的なのかについても検証を行っていく予定である。

## 文 献

- [1] 文化庁, “平成 26 年度『国語に関する世論調査』の結果の概要”, [https://www.bunka.go.jp/tokei\\_hakusho\\_shuppan/tok-eichosa/kokugo\\_yoronchosa/pdf/h26\\_chosa\\_kekka.pdf](https://www.bunka.go.jp/tokei_hakusho_shuppan/tok-eichosa/kokugo_yoronchosa/pdf/h26_chosa_kekka.pdf) (2024.1.19 確認)
- [2] 島村直己, “児童の漢字学習: アンケート調査の結果から”, 国立国語研究所研究報告集, no.10, pp.133-172, Mar.1989.
- [3] 松田さゆり, 渡邊健斗, 横山幸大, 青木由樹乃, 青木柊八, 中村聡史, 掛晃幸, 石丸築, “メロ字イ: 手書き軌跡に連動したメロディ提示による手書き文字練習システムの提案”, 信学技報, vol.123, no.24, pp.182-187, May.2023.
- [4] 中村優文, 山口周悟, 森島繁生, “motebi~文字を手書きで美しく書くための支援ツール”, 第 24 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2016)論文集, 2016.
- [5] 久保田夏美, 新納真次郎, 中村聡史, 鈴木正明. “Mojivator: 手書き文字の自動融合により書きやすくなる練習支援システム”, 第 24 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2016)論文集, 2016.
- [6] 木村和樹, “圧力センサのフットスイッチを用いた塗油各フィードバック装置の開発と信頼性”, 日本義肢装具学会誌, vol.32, no.1, pp.45-49. 2016.
- [7] 前川満良, 今井有希子, 関啓明, 神谷好承, 橋爪慎哉, “視覚障害者のための色模様認識システムの開発”, 精密工学会学術講演会講演論文集, 2004, 2004 年度精密工学会春季大会, no.25, pp.1229-1230, 2004.
- [8] Sayuri Matsuda, Yukina Funazaki, Takanori Komatsu, Naoto Matsuyama, Yuki Nakagawa, Satoshi Nakamura, Hideyuki Takao, Ryuichi Sumikawa, and Takeshi Torii. “DoReMi Steering Wheel: Proposal for a Driving Assist System with Sound Display Depending on the Rotation Angle of Steering Wheel,” Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 26th International Conference, pp.4504-4513, 2022.
- [9] 中川久倫, 伊藤弘大, 藤田和之, 岸楓馬, 福島力也, 伊藤雄一, “エクスカキバー: ビジュアル・サウンドエフェクトを用いた筆記支援”, インタラクシオン 2022 論文集, pp.641-644, 2022.
- [10] 牟田将史, 石川優, 里井大輝, 星野准一, “i 文鎮: 書くことを楽しくする文鎮”, 情報処理学会研究報告, pp.1-5, 2014.
- [11] Tue Haste Andersen and Shumin Zhai, “Writing with Music: exploring the use of auditory feedback in gesture interface,” ACM Transactions on Applied Perception, vol.7, no.3, Article 17. 2010.