

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：12101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K18163

研究課題名（和文）振動と視覚を組み合わせた動作教示システムの開発 -三味線の学習支援への応用-

研究課題名（英文）Development of a Motion Learning Assist System Combining Visual and Vibration Stimulus -Application to Shamisen Learning Assist-

研究代表者

柴田 傑（Shibata, Takeshi）

茨城大学・理工学研究科（工学野）・助教

研究者番号：90649550

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：楽器演奏などの身体技能を学習する場合、身体の動きを把握して練習することが重要である。そこで、学習者に視覚によって身体動作を提示する手法が研究されている。しかし、三次元空間中の詳細な身体の動きを視覚のみで把握することは難しい。また、視覚での情報提示に代わって力触覚による動作の提示システムも研究されているが、装置の制限などによって動作そのものを阻害する可能性がある。そこで、本研究では動きを阻害せずに効果的に動作を教示するために、振動提示と視覚提示を組み合わせた動作教示システムの開発を目指した。特に、楽器演奏の技能の教示場面として三味線の学習を例とし、三味線演奏の動作を教示するシステムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果によって、三味線学習の初期に必要な右腕の三次元的な動きを、視覚と振動を組み合わせで提示可能となり、短い時間で基礎練習を完了してスムーズに曲の練習に移行可能となった。これにより、日本の代表的な民俗芸能である三味線の学習を支援することができる。また、本成果は、三次元的な動きの習得が必要な他の楽器や身体技能の習得にも活用できると考えられる。特に奥行方向の動きを含む動作で、従来の映像による学習が難しい動作においても効果的な学習支援が可能であり、幅広い応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：Recognizing details of human motion is important for learning skills including musical instruments performance. A learning assist method by visual stimulus has been proposed in the literature; however, this approach cannot sufficiently recognize human motion in 3D space. Moreover, instead of visual stimulus, haptics stimulus is also used for learning assistance. However, the haptics feedback has a probability to impede the motion. Hence, in this study, we proposed a system that provides visual and haptics feedback without impeding the motion. First, we discussed a fundamental method to represent human motion by haptic stimulus. After that, a motion representation system via visual and vibrational feedback for learning Japanese musical instrument, such as shamisen, was proposed. Our experimental results demonstrated that the combination stimulus of visual and vibrational feedback is better at learning the shamisen motion compared to a previously developed system.

研究分野：学習支援システム

キーワード：身体動作 学習支援 パーチャルリアリティ 振動刺激 身体動作解析 マルチモーダル

## 1. 研究開始当初の背景

身体的な動作である身体技能は、演技者に蓄積された非言語の知識である。芸能における身体技能には地域や流派の文化と特徴が含まれており、貴重な文化財と考えられる。しかしながら、身体技能のコツは演技者も言語化できないことが多く、言語によらない学習支援システムの開発が必要とされている。

これまでの研究において、VR を活用した芸能の学習支援システムの開発に取り組んできた。画面に熟練者の模範演技と学習者の動きをリアルタイムに提示するシステム[文献 1]、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いて熟練者の撥の位置を提示するシステム[文献 2]、プロジェクションマッピング(PM)によって三味線の指の押さえる位置とタイミングを提示するシステム[文献 3]である。

これらの手法は、熟練者や学習者自身の動作を視覚的に提示する手法である。既存の視覚的な動作の教示手法には次のような課題がある。**課題 1) 画面上で三次元のズレを把握するのは難しく、模範となる熟練者の身体部位の位置を提示しても、どちらにどのように動きを修正すればよいか把握できない、課題 2) 提示される情報に視線や意識が向くために、学習者の姿勢や動きのタイミングが崩れる、課題 3) 映像を投影する対象に制限があり、空中には投影できない。**

本研究では、身体性のズレおよび情報の投影方法といった視覚による情報提示の課題を補うために、**視覚に加えて振動を用いることによって動きを阻害せずに、動作を教示できるかという学術的な問いに取り組む**。腕に装着したデバイスの振動を用いて、腕の移動の方向や速さのような動作の情報をユーザに直接提示できれば、学習者は視線や姿勢を崩さず、動きを阻害されずに腕の動かし方を把握することができると考えられる。本研究では動作教示の応用例として、日本を代表する民俗芸能である三味線の学習支援を取り上げる。

## 2. 研究の目的

最初に振動を用いて動作の情報を教示する手法を開発し、実験によって効果を検証する。次に、申請者が過去に開発した三味線の学習支援システムと実験で得られた知見を組み合わせ、**振動と視覚を組み合わせた学習支援システムを構築し、効果を明らかにする。**

## 3. 研究の方法

本研究では、三味線の撥さばきを想定し、視覚刺激と合わせて前腕に触覚刺激を提示することによって腕の動きを提示し、学習を支援する。

まず、**(1) 視覚刺激によらず、前腕の触覚刺激のみを用いた前腕の動作の誘導について実験**する。触覚刺激の一つで制御が容易な電気刺激を用いて、直線状に配置された目的点との距離に応じて刺激の強さを変えることによって、前腕を目印のない目的点に移動可能かどうか実験によって明らかにする。

次に、**(2) 視覚刺激と振動刺激を組み合わせ、三次元空間中の任意の目的点に前腕を誘導するためのシステムを開発**する。開発したシステムを用いて、視覚と振動を用いることによって、前腕をスムーズに目的点へ動かすことができることを示す。

さらに、**(3) 三味線の撥さばきを想定し、視覚刺激と振動刺激を用いて前腕の反復動作を学習可能なシステムを開発**する。開発したシステムを用いた実験によって、短い時間で反復動作を習得できることを示す。

最後に、本研究の今後の展開として、**(4) 演奏時の姿勢、右手の撥さばき、および左手の運指を総合的に学習するシステムのプロトタイプを開発**する。

## 4. 研究成果

### (1) 電気刺激を用いた直線動作の誘導実験の結果

図 1 に電気刺激を用いた直線動作の誘導実験の様子を示す。同図(a)に示すように、本実験では、前腕に巻き付けて筋電刺激を提示するデバイスを用いて刺激を与えた。実験では、同図(e)の直線状に設定した目的点に向けて、段階的に刺激の強さを変えて提示し、前腕を動かすよう指示した。与える刺激 $f_n$ は目的点までを $n$ 分割して目的点との距離が遠くなるほど刺激を強くする( $n=0$ は刺激を変化させない)。

図 2 に実験結果を示す。同図の横軸は刺激の与え方( $f_n$ )、縦軸は目的点とのズレである。同図に示すように分割数が大きくなるにつれ、ズレの中央値が大きくなっているものの、分割なしの場合は大きな外れ値を含んでいることがわかる。同図の $f_3$ に示すように、ある程度距離に応じて刺激を変化させることによって、**前腕を目的点まで誘導できる可能性があることを示した。**

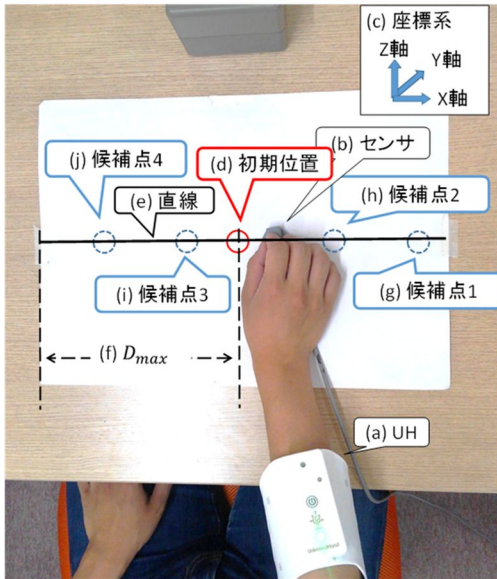


図1 電気刺激による直線動作の誘導実験

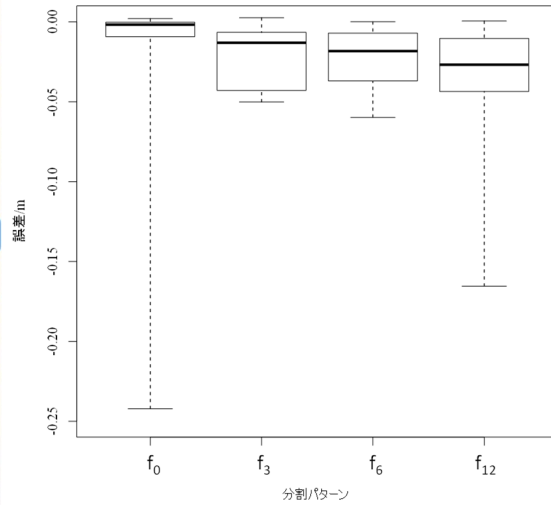


図2 誘導の精度

## (2) 視覚刺激と振動刺激を組み合わせた三次元空間中の前腕誘導のプロトタイプシステム

図3に開発した前腕の誘導システムのプロトタイプを示す．本プロトタイプシステムでは，同図(i)に示すように，12個の振動子を，3Dプリンタで作成したジグを介して前腕に装着する．同図(ii)に示すように，振動子はマイコンボードと通して制御用コンピュータに接続される．また，制御用コンピュータは磁気式のモーションキャプチャ(MoCap)に接続され，前腕の位置をリアルタイムに計測する．使用者には同図(iii)に示すようなソフトウェア画面が表示され，目的点の位置がCG空間中に視覚的に表示されると同時に，目的点との距離に応じて振動子が振動し，腕を動かすべき方向を提示する．

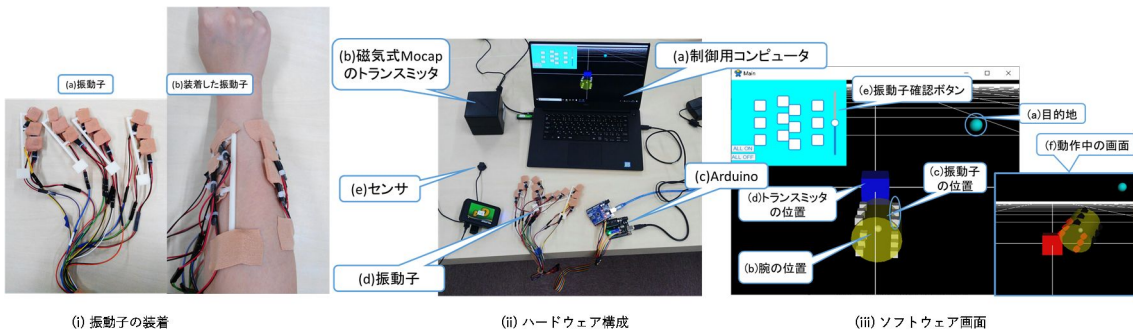


図3 前腕の誘導システムのプロトタイプ

図4に本プロトタイプシステムを用いた視覚刺激と振動刺激を組み合わせて空間中の目的点に誘導した場合と，従来手法と同様に視覚刺激のみで目的点に誘導した場合のズレを示す．同図の縦軸はスタート時点の距離で正規化した値で，0未満は前腕が目的点より奥，1以上は前腕がスタート地点より手前であることを示している．同図に示すように，視覚と振動を組み合わせた提案手法では，四分位範囲が0から1に収まっており，スタート地点と目的点から逸脱せずに目的点にたどり着いている．一方で，視覚のみの場合はばらつきも大きく，奥方向に行き過ぎる傾向があることがうかがえる．このことから，**視覚刺激と振動刺激を組み合わせることによって，効果的に空間中の目的点に腕を誘導できる可能性があることが示した．**

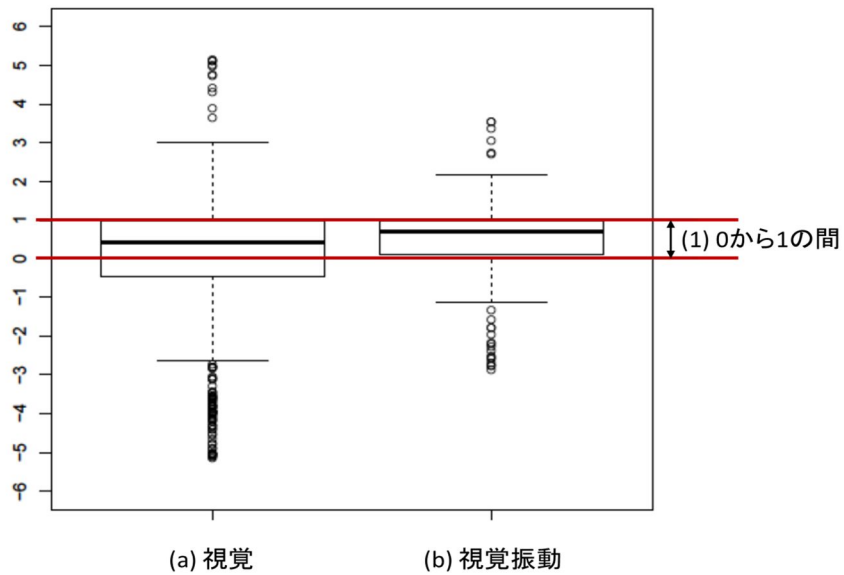


図4 プロトタイプシステムによる前腕の誘導の結果

### (3) 視覚刺激と振動刺激を用いて前腕の反復動作を学習可能なシステム

(2)で開発したプロトタイプのソフトウェア面を改良し、三味線の右腕前腕の動きを想定した反復動作の学習支援システムを開発した。実験では、10名の実験参加者について、従来の視覚のみを用いたシステムと、開発した視覚と振動を組み合わせた提示システムを用いて三味線の右腕の動きを模した反復動作を繰り返し、正しい位置に到達するまでの前腕の移動距離を繰り返し回数で正規化した値（正規化移動距離）を比較した。図5にすべての実験参加者の正規化移動距離を示す。同図横軸は練習の回数、縦軸は正規化移動距離である。同図が示すように、視覚と振動を組み合わせた提案手法によって、より短い距離でばらつきが少ない状態で反復動作が実行できていることがわかる。

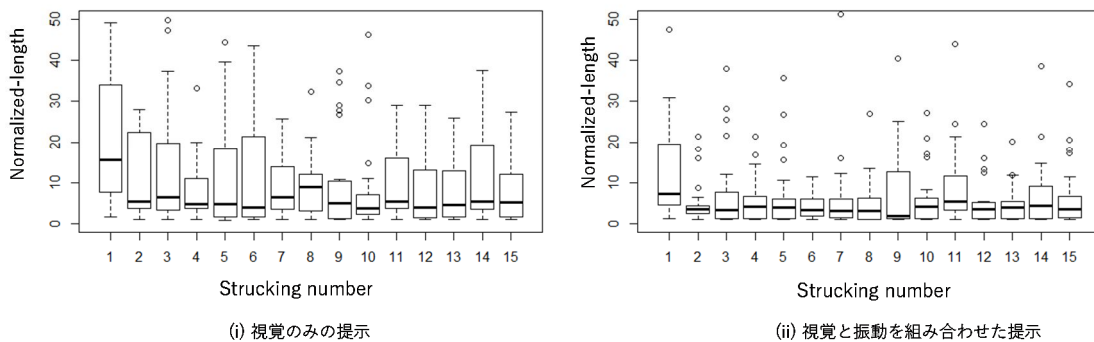


図5 正規化移動距離の比較

表1に実験参加者毎の正規化移動距離の従来手法と提案手法のマン・ホイットニーのU検定の結果と、どちらのシステムが練習しやすかったか質問した結果を示す。同表と図5より、10名中5名が提案手法の方が優位に正規化移動距離が短くなっていた。また、正規化移動距離が長くなった実験参加者はいなかった。

表 1 正規化移動距離の U 検定の結果

Participants	U-Test of Normalized-length	Impressions of participants (Which was easier?)
A	*	Proposed-feedback is better
B		No difference
C	**	Proposed-feedback is better
D		Proposed-feedback is better
E		No difference
F		Proposed-feedback is better
G	**	Proposed-feedback is better
H	**	Proposed-feedback is better
I	**	No difference
J	†	Proposed-feedback is better

\*\* p<0.01, \* p<0.1, † p<0.1

同表から、正規化移動距離が短くならなかった実験参加者であっても、提案手法の方がよいフィードバックだったとの感想を持った参加者がおり、反復学習における自己効力感の向上にも貢献する可能性があることが示された。

#### (4) 三味線演奏の総合的学習支援システムのプロトタイプ開発

当初計画にはなかったものの、研究の一部を展開し、従来の研究で開発していた三味線の演奏姿勢の学習支援システム、撥さばきの学習支援システム、運指の学習支援システムを統合したシステムのプロトタイプも開発した。図 6 に開発したプロトタイプの構成を示す。

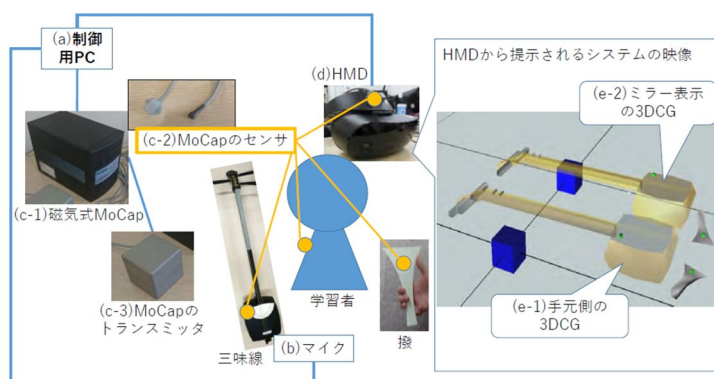


図 6 三味線の総合学習支援システムのプロトタイプ

本プロトタイプを用いた予備的な実験から、本プロトタイプを用いると初心者であってもある程度楽曲の練習ができることから、本研究の成果と組み合わせることで、より効果的な三味線演奏の学習支援に寄与できる可能性が示された。

これらのことから、本研究で提案した視覚と振動を組み合わせた空間中の位置提示方法によって三味線演奏における右腕動きの反復学習を効果的に進められる可能性があることが明らかとなった。本手法は、主に三味線演奏の撥さばきの学習を想定して実験を進めたものの、奥行き方向の動きを含む動作の学習に広く応用できるものと考えられる。

今後の展開として、プロトタイプとして開発した総合的な三味線の学習支援システムと本研究の成果を組み合わせることによって、より効果的な学習支援に寄与できると考えられる。また、他の楽器や身体動作への応用とその効果の検証も今後の課題である。

#### [参考文献]

- [文献 1] 柴田 傑, 他 4 名: 学習者中心のインタラクティブ舞踊学習支援システムの開発, 信学論 D, Vol. J97-D, No. 5, pp. 1014 - 1023, 2014.
- [文献 2] Takeshi Shibata, 他 5 名: Development of an Uchi Self-learning System for Mutsumiryu-style Shamisen Using VR Environment, Intelligent Robotics and Applications 9th International Conference, pp. 359 - 370, Springer, 2016.
- [文献 3] 大向 飛翔, 柴田 傑: 簡易型モーションキャプチャを用いた三味線の運指計測手法の検討, 平成 28 年度 電気・情報関係学会 北海道支部連合大会講演論文集, p. 156, 2016.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 0件）

1. 著者名 Takeshi Shibata, Misa Tanaka	4. 巻 46
2. 論文標題 Development of a forearm motion learning-assist system for playing the Japanese shamisen instrument	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Entertainment Computing	6. 最初と最後の頁 100564-100580
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.entcom.2023.100564	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田中聖紗, 柴田傑
2. 発表標題 視覚と振動を用いた反復動作の学習支援システムの評価
3. 学会等名 第25回日本バーチャルリアリティ学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村奏水, 柴田傑
2. 発表標題 三味線演奏の入門学習を支援するVR教材の提案
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷川華奈子, 柴田傑
2. 発表標題 振動を用いた動きの教示による撥さばき習得システムの検討
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中聖紗, 柴田傑,
2. 発表標題 視覚刺激と振動刺激を用いた位置情報提示手法の評価
3. 学会等名 第24回日本バーチャルリアリティ学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中聖紗, 柴田傑
2. 発表標題 電気刺激を用いた誘導の提示方法の検討
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム 2018, 23
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------