

平成 30 年 6 月 24 日現在

機関番号：20103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00279

研究課題名(和文)「システム補助の利用」と「システム補助からの離脱」を考慮した技能学習支援システム

研究課題名(英文) A Learning System Considering Withdrawal from a System Support

研究代表者

竹川 佳成 (Takegawa, Yoshinari)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・准教授

研究者番号：60467678

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、「システム補助の利用」と「システム補助からの離脱」を考慮した技能学習支援システムの構築をめざす。本研究では、学習者の習得度に応じて提示する手本の内容を手動で切り替えられる機能をもつ臨書支援システム、正解情報・曖昧情報・虚偽情報を提示するバイオリン学習支援システム、マルチモーダル補助情報(視覚的補助情報および聴覚的補助情報)を提示するバイオリン学習支援システムなど主に3種類の離脱手法を提案した。また、提案システムのプロトタイプシステムを実装し、その有用性を検証した。

研究成果の概要(英文)：The goal of our study is to construct a learning system considering withdrawal from a system support. In this research, we propose a transcription support system which has a function that changes the sample characters based on the learner's skill level to withdraw from the system support, a positioning learning support system using true information and false information and vague information for violin beginner, and another positioning learning support system by multimodal information presentation for violin beginner. Additionally, we evaluate the effectiveness of the proposed systems.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：学習支援 教授支援 補助からの離脱

1. 研究開始当初の背景

近年、HCI(ヒューマンコンピュータインタラクション)技術の進展に伴い、テニス・ゴルフ・習字・楽器演奏・歌唱・触診・会話などの技能の習得を補助する学習支援システムが多数提案されている。技能の習得には、一連の動作の記憶や、効果的な身体の動かし方の分析といった頭で理解するだけでなく、正確に身体動作としてそれらを表現する必要があるため、多大な時間と労力を要する。このために、多くの人は技能の習得に挫折してしまったり、ある程度技能を習得した段階で伸び悩んでしまう。

既存の学習支援システムは、例えば、「ラケットにワイヤを取り付け力覚によりテニススイングを学習者に教示する[1]」や、申請者が開発した「ピアノ学習において次に弾く鍵や運指情報を視覚的に提示する(図1)」といったように、学習者に視覚・力覚・聴覚などを介して、動作直前に模範を提示したり、動作中の現状を提示したりする。学習者は、この支援を使いながら繰り返し訓練することで技能を習得していく。また、人は誤りを指摘されることで正しく理解するため、学習者の一連の行動をシステムが認識および分析し、誤りの指摘、正解率や誤りの傾向の提示などをオンラインあるいはオフラインで提供するシステム[2][3]もある。このような、模範の提示、誤りの指摘、ペナルティの提供は、効率的な学習に大きく貢献する。特に、動作直前や動作中の模範や現状の提示は、学習の敷居を下げモチベーションの維持に効果があり、学習の初期段階における挫折を防ぐ上で重要である。

しかし、人前での披露などシステムの補助を利用できる状況ばかりでないため、最終的にシステムの補助なしで技能を実施できるよう練習すべきである。システムの補助に依存し続けると、技能の基礎力(システムの補助を利用しながら新規の課題を練習し、最終的にシステムの補助を利用せずに課題を実施する能力)を効率的に高められないことが申請者の実験結果より得られている[4]。また、技能の学び方や技能を学ぶコツなど身体的なメタ認知が獲得できず、応用力(システムの補助を利用しない、すなわち、自力で新しい課題を練習し、実施できるようになる



図1: 打鍵位置や指使い情報が投影されたピアノ

能力)も向上しない。したがって、動作直前あるいは動作中に模範などを提示する学習支援システムは、初学者に対する補助の検討だけでなく、補助情報からの離脱も考慮する必要があると考える。模範や現状を提示する機能をもつ既存の学習支援システムの多くは、システムによる補助に注力しており離脱についてはほとんど考慮していなかった。

申請者は、ピアノ演奏の学習支援を対象に、学習者の視線情報を活用することで打鍵位置情報からの自然な離脱を促すピアノ学習支援システムを構築した。図1に示すように、学習者は鍵盤上に提示された打鍵位置情報や運指情報を見ながら練習する。上達するにつれ、これらの情報を見ずにブラインドで演奏できるようになる。図2に示すように、学習者に鍵盤を見ながら演奏したか、鍵盤を見なくても演奏できたかを示す情報を楽譜上に提示する。具体的には、鍵盤を見ずに弾けた場合、信号機のように、1回目は黄色、2回連続でできた場合は青色、3回連続でできた場合は透明に変化する。一度でも鍵盤を見れば玉の色は赤色に戻ってしまう。また、たとえ鍵盤を見ずに弾いたとしても打鍵ミスがあれば玉の色が赤色に変わる。学習者は訓練中、楽曲を最初から最後まで演奏したりある箇所を何度も繰り返し練習する部分練習を行うが、偶然、次に弾く鍵や2番目に弾く鍵を覚えている場合もあり、技術の定着を促すために、鍵盤目視ボールの色を段階的に変え、一度でも鍵盤を見れば元に戻ってしまう仕様にした。これにより、学



楽譜を見ているとき



鍵盤を見ているとき

図2: 補助情報利用箇所フィードバックおよび視線計測カメラ

習者は楽譜上のどの音符に対して鍵盤上に提示される情報に頼っているかがわかる。

被験者実験よりシステムからの離脱機能を適用することで、それを適用しなかった場合よりも短時間で打鍵ミス数が減少（基礎力の向上）し、離脱機能の効果が確認された。また、自分の弱点を省察するようなメタ認知獲得につながる学習姿勢が観測された。

## 2. 研究の目的

本研究では、「システム補助の利用」と「システム補助からの離脱」を考慮した学習支援システムの開発を目的とする。

## 3. 研究の方法

- ① ピアノ・書写・バイオリンといった異なる知覚（視覚/聴覚）をもつ技能の獲得を支援するための、離脱手法を構築する。
- ② 「システム補助の利用」と「システム補助からの離脱」を考慮した学習支援システムを構築する。
- ③ 提案システムの評価実験を実施し、離脱手法の有用性を検証する。

## 4. 研究成果

本研究では、主に3種類の離脱手法を提案し、その有用性を検証した。以下、各離脱手法について説明する。

### 補助情報の選択的な削減

書写を対象として、タブレット端末を用いて、手本の情報を徐々に削減していくことで手本から離脱できる学習支援システムを開発した。具体的には、書写において文字バランスの習得は重要であり、文字バランスの練習方法として、手本と見比べながら文字を書く臨書がある。しかし、手元の手本と実際に文字を書く半紙は離れているため、文字のバランスが適切であるかどうかは直観的に判断しづらい。そこで提案システムは、手本を表

示したタブレット上に半紙を置き、学習者が手本をなぞる学習スタイルを採用する。半紙は薄い紙であるため、半紙越しにタブレットに表示されている手本を見られる。また、筆の一部に導電性テープを貼り付けることで、タブレットに触れている筆の位置をタブレットが正確に認識できる。この特性を活かし、学習者の習得度に応じて提示する手本の内容を手動で切り替えられる機能（図？）、学習者が書いた筆跡から文字バランスを採点する機能、採点結果を学習者に視覚的にフィードバックする機能といった学習効果を高める機能を提供する。専門家を被験者としたアンケート調査を実施することで、文字バランス採点アルゴリズムの妥当性を検証した。手本と見比べながら練習する従来の臨書練習法を比較手法として評価実験を実施した。提案手法は短時間で文字バランスを習得できることがわかり、提案手法の有用性を確認できた。

### 曖昧情報および虚偽情報による離脱

バイオリン初心者を対象とし、虚偽情報および曖昧情報教示機能をもつポジショニング学習支援システムを提案した。バイオリン演奏では、正確なポジショニング（左手の指で弦を指板に向かって押し付けること）が求められる、それらの習得には長期間の基礎的な練習を必要とする。バイオリンの指板にはフレットが無く、押弦位置が数ミリメートルずれるだけで音高が大きすぎてしまうため、正確なポジショニングの習得は非常に難しい。提案システムは、打鍵位置を提示する光るピアノのように、バイオリンの指板上にポジショニング位置を提示する機能をもつ。この補助から離脱を促すために、正しいポジショニング位置だけでなく、複数のポジショニング情報を提示したり、誤ったポジショニング情報を提示する機能を提案した。評価実験により、正確な補助情報のみで学習を進めた群よりも、曖昧な情報や虚偽情報を習熟度に合わせて学習する群の方が学習の効果が高いことが明らかになった。



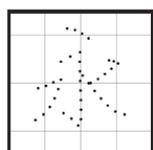
図3: タブレットを用いた臨書支援システムおよび手本の段階的削減



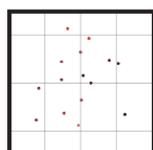
アニメーション



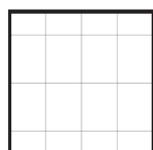
白抜き



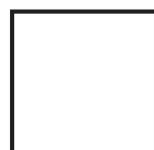
点線



始点・終点のみ



昇目のみ



白紙

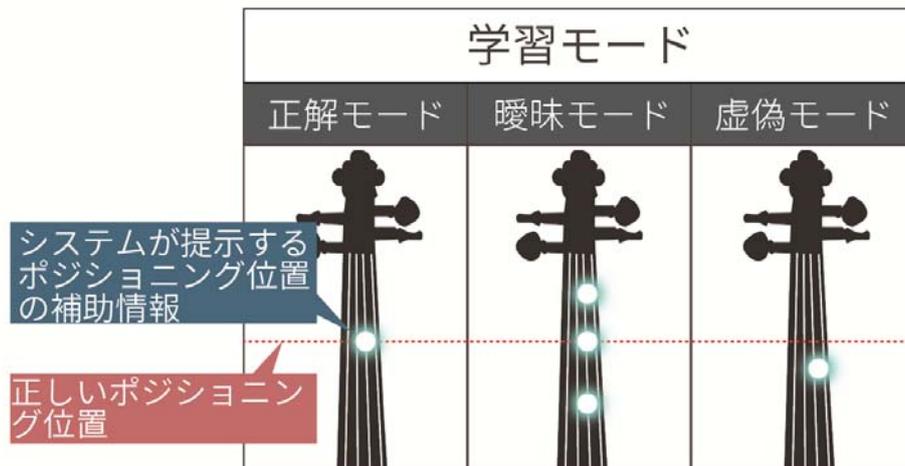


図 4: ポジショニング位置における曖昧情報および虚偽情報を提示

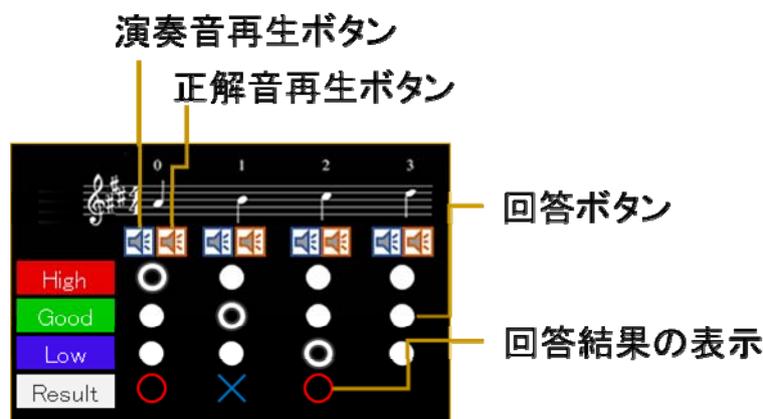


図 5: 聴覚的補助情報

#### マルチモーダル情報提示による離脱

提案システムはポジショニング位置を直感的に理解するために、上述した視覚的なポジショニング補助情報提示機能をもつ。それに加え、ポジショニング位置補助情報から離脱するために聴覚的補助情報提示機能をもつ。聴覚的補助情報として、提案システムは正解音（現在演奏している譜面上の音符に対応する音高）を出力したり、演奏音（直前の撥弦あるいは擦弦において出力された音）を出力したりする機能をもつ。また、譜面上の音符ごとに演奏音を記録でき、正解音と演奏音の双方を聴き比べてその違いをクイズさせる機能をもつ。バイオリン初心者を対象に、演奏音と正解音の音高差を評価指標とするポジショニング精度を計測することで、マルチモーダル手法を用いた本システムの有用性を検証した。実験では「視覚的補助と視覚的振り返り」を体験した被験者群と「視覚/聴覚的補助と視覚/聴覚的振り返り」を体験した被験者群に分かれてもらった。その差は「聴覚的補助と聴覚的振り返り」が加わっているかどうかということなるが、「視覚/聴覚的補助と視覚/聴覚的振り返り」を体験した被験者群の方がポジショニング精度が高くなったという結論が得られた。

#### <引用文献>

- [1] S. Kawamura et al.: Development of A Virtual Sports Machine Using a Wire Drive System-A Trial of Virtual Tennis, Proceedings of IEEE/SRJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 111--116, 1995.
- [2] 竹川佳成ら: 運指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, pp. 917--927, 2011.
- [3] T. Nakano et al.: MiruSinger: A Singing Skill Visualization Interface Using Real-Time Feedback and Music CD Recordings as Referential Data, Proceedings of IEEE International Symposium on Multimedia Workshops, pp. 75--76, 2007.
- [4] 竹川佳成ら: システム補助からの離脱を考慮したピアノ演奏学習システムの設計と実装, コンピュータソフトウェア(日本ソフトウェア科学会論文誌), Vol. 30, No. 4, pp. 51--60, 2013.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6件)

- ① Kumaki, M., Takegawa, Y., Hirata, K., Design and Implementation of a Positioning Learning Support System for Violin Beginners, Using True, Vague and False Information, Journal of Information Processing, 査読有, Vol. 26, pp. 285--293 (Mar. 2018).
- ② 竹川佳成, 椿本弥生, 田柳恵美子, 平田圭二, 鍵盤上への演奏補助情報投影機能をもつピアノ学習支援システムを用いた熟達過程の評価分析, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 58, No. 5, pp. 1093--1100 (2017年5月).
- ③ 上田健太郎, 竹川佳成, 平田圭二, ピアノ練習状況の可視化および気づきのアノテーション機能をもつ学習支援システムの設計と実装, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 57, No. 12, pp.2617--2625 (2016年12月).
- ④ 伊藤悠真, 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦, フレーズ間類似度に基づく楽曲構造提示機能を持つ暗譜支援システム, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 57, No. 8, pp. 1871--1886 (2016年8月).
- ⑤ 竹川佳成, 平田圭二, 臨書初級者のための文字バランス学習支援システムの設計と実装, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 57, No. 8, pp. 1861--1870 (2016年8月).
- ⑥ 竹川佳成, 福家悠人, 柳 英克, モチベーションを考慮したピアノ学習支援システム, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 57, No. 4, pp. 1193--1206 (2016年4月).

[学会発表] (計 2件)

- ① Kurotaki, R., Takegawa, Y., and Hirata, K., "Proposal of an Erasure-Oriented Drawing Style to Develop the Ability to Copy Images," Proceeding of International Conference on Entertainment Computing (ICEC2017), pp. 209--216 (Sept. 2017).
- ② Takegawa, Y., Hirata, K., Tayanagi, E. and Tsubakimoto, M. Analysis of a Chunk-Based Learning Process in a Piano Learning Support System,

Proceedings of World Conference on Educational Media and Technology (EdMedia2015), pp. 1577--1585 (June 2015).

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者  
竹川 佳成 (TAKEGAWA YOSHINARI)  
公立ほこだて未来大学・システム情報科学部・准教授  
研究者番号：60467678

(2) 研究分担者 ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号：

(4) 研究協力者 ( )