

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：20103

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04157

研究課題名（和文）技能習得予測モデルを核とした学習支援AI基盤の構築

研究課題名（英文）Construction of Learning Support AI Platform based on Prediction Model of Skill Acquisition

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） 10,090,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的はHCI（ヒューマンコンピュータインタラクション）技術および機械学習を統合した技能習得予測モデルの構築および学習支援AI基盤の構築である。ピアノ・書写・イラストなどの身体を伴う技能の習得には多大な時間と労力がかかる。学習者はいつ技能を習得できるようになるかわからず、不安や焦りをいだきながら、地味な基礎練習を続けなければならない。そこで本研究は初心者を対象とした技能習得予測モデルを構築する。そして、学習者のスキルを点検・モニタリング・診断し、学習者の要望（練習量・練習難度・習得完了希望日など）を考慮した学習プランを構築する学習支援AI基盤を構築することで解決する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

技能習得予測技術は、従来の学習支援システムを躍進させる革新的な成果になり、インタラクション・教育工学・認知心理学分野への学術的貢献ができる。また、本研究の成果は、身体を活用したゲーム開発や、新たな知育教材・情操教育用教材・生涯学習教材などの開発に直接的に応用できるだけでなく、人間の教師が生徒に指導する場合や、親が子供に技能を教える場合に、例えば、自立を促すためには何をどこまで指導するべきかなどの指導方法の検討においても応用でき、教育現場にも貢献できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to construct a predictive model for skill acquisition that integrates human-computer interaction (HCI) technology and machine learning, and to build an AI infrastructure to support learning. Learning physical skills such as piano, calligraphy, and illustration takes a great deal of time and effort. Learners do not know when they will be able to master a skill, and must continue to practice basic skills while feeling anxious and impatient. Therefore, this study constructs a predictive model of skill acquisition for beginners. The solution is to construct a learning support AI infrastructure that checks, monitors, and diagnoses the learner's skills, and constructs a learning plan that takes into account the learner's needs (amount of practice, degree of difficulty, desired date of completion, etc.).

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 インタラクション 情報デザイン 機械学習

1. 研究開始当初の背景

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、身体動作としてそれらを正確に再現する必要がある。これらは多大な時間と労力を要するため、技能習得に取り組むことそのものに躊躇したり、技能の習得途中で挫折したりする機会が多い。近年、HCI 技術の進展に伴い、テニス・ゴルフ・習字・楽器演奏・歌唱・触診などの技能の習得を補助(自転車の補助輪のように、技能の難度を下げあたかもできているようにみせかける補助ツール)する学習支援システムが多数提案されている。特に筆者らは、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(図1に示す補助輪からの離脱)、最終的にシステムの補助なしで技能を実施できるよう支援すべきという主張のもと、補助機能から離脱する手法について検討してきた[1]-[3]。

例えば、演奏したい(しなければならぬ)曲がある場合、初心者はどれくらいの時間をかけて練習すれば演奏できるようになるか予測することが困難である。このため、ピアノの練習へのモチベーションが下がってしまったり、ピアノを練習するという一歩が踏み出せなかったりする。現状の演奏能力や練習量をもとに、弾きたい曲を正しく弾けるようになるためにかかる時間や向上する演奏能力を予測し学習者に提示できれば、学習者の不安を軽減でき、意欲的にピアノの練習に取り組める。応募者らが構築した学習支援システムを含め既存の学習支援システムの多くは、既存システムや既存練習方法と比較してどれだけ学習効率(早く習得できるか)が高まるかについて議論されており、技能習得予測については検討されてこなかった。また、技能習得予測技術を活用することで、学習者の練習意欲や態度・学習方法の構築・教授支援など多岐にわたったり、技能習得体験を変革する可能性があり、その効果的な活用方法について検討する必要がある。

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」に基づく技能習得予測モデルの構築および学習支援 AI 基盤の開発を目的とする。

3. 研究の方法

- (1) ピアノ・イラスト描画・演劇など異なる知覚および身体動作をもつ技能の獲得を支援するための支援方法を構築する。
- (2) (1)で構築したシステムを活用した技能習得データセットを構築する。
- (3) (2)で構築したデータセットをもとに技能習得予測モデルを構築する。

4. 研究成果

本研究では、ピアノ・イラスト描画・ボウリング・演劇・コミュニケーションといった異なる知覚および身体動作をもつ技能の獲得を支援するための支援方法を提案した。また、ピアノおよびイラスト描画に関しては技能習得データセットを構築した。さらに、ピアノに関しては技能習得予測モデル[4]を、イラスト描画に関しては技能習得予測モデル構築に必要な要素技術である巧拙性の評価モデル[5]をそれぞれ構築した。以下、ピアノの技能習得予測モデルおよび描画イラストの巧拙性の評価モデルについてそれぞれ詳述する。なお、本研究の一連の成果は、10 件の学術論文誌に採録され、12 件の国際会議に採択された。

ピアノ学習における課題曲合格時期予測モデルの構築

ピアノを対象とした技能習得予測モデルの構築について詳述する。これは、ピアノ学習者が教師から与えられた課題曲の合格時期を予測するモデルである。ピアノ学習においてはレッスンを受講することが重要であるが、実際の学習時間のほとんどはレッスンよりも自宅での独習に費やされている。しかし、学習者は演奏技術や知識が未熟であり、次のレッスンまでに何をどれだけ練習すれば良いのか、課題曲に合格するにはどれくらいの期間が必要なのかわからない。そのため、学習者が課題曲に対する自身の目標の決定や、練習の計画を綿密に立てることは難しい。そこで学習者の日々の課題曲の演奏データに応じて、学習者が教師から合格を貰えるまでの残り日数を予測する。

被験者に合計 5 日間課題曲を練習してもらい、各日の演奏データを取得した。被験者が課題曲を練習している様子を 2 視点から撮影し、両手の打鍵時刻と音高、演奏動画(図1)を取得した。

被験者は 25 歳から 36 歳までの男女 6 名であった。被験者は全員、学校教育以外でのピアノ演奏経験が 1 年未満の初学者であった。初学者を対象とした理由は、上級者であればあるほど自身の演奏のレベルを把握しやすく、学習者本人が合格までの道のりを把握できる。対象者の中にはギターなどピアノ以外の楽器の経験がある者もいたが、五線譜のト音記号が読める者はいなかった。課題曲は世界中で民謡として広く親しまれている「子犬のマーチ」とした。本楽曲は旋律が広く知られており、また全 16 小節と程良い長さであるため、初学者が演奏するのに馴染み

やすい。また、左手の伴奏形が最も基本的な3和音の全音符のみである。さらに、和声が基本的なカデンツを構成するトニック、ドミナント、サブドミナントの3種類のみである。そのため、ピアノ未経験者や初学者にとっても馴染みやすく、かつピアノ演奏の最も基礎的な技能のみが要求されると言える。以上の理由から本課題曲を選定した。

課題曲合格日を予測するために必要な音高正解率、旋律部音高正解率、IOI類似度、和音IOI、和音欠損率の5つの要素を算出する。音高正解率は課題曲の両手の正しく打鍵できている割合を算出した値である。旋律部音高正解率は旋律部である右手部分のみの音高正解率の値である。すなわち、全ての音符に対して、打鍵された鍵のうちからミス打鍵を除いたものの割合である。IOI類似度は、課題曲の演奏のうち、旋律部(右手)の各音符の発音時刻の差分の標準偏差を算出した値である。和音IOIは課題曲の演奏のうち、各小節の左手和音部の最初に打鍵された音と、最後に打鍵された音の発音時刻の差分である。和音欠損率は左手全体に対する3和音のうち、2音以上が未打鍵、または誤打鍵の箇所の割合である。

5つのデータを説明変数、合格までの残り所要日数を目的変数として重回帰分析を適用し、合格までの日数予測モデルを構築した。本予測モデルの精度は80.03%であり、高い精度で合格ま

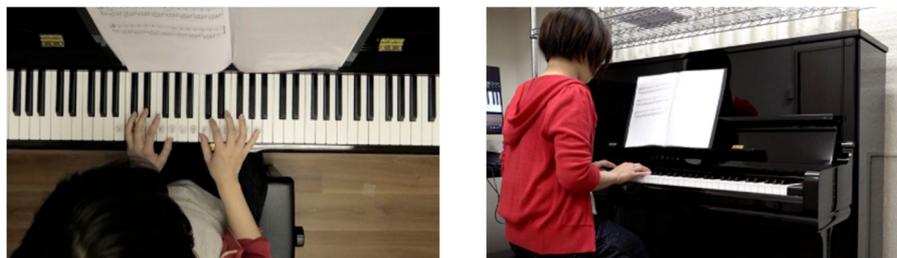


図1 演奏動画

での日数を予測することができた。

幾何図形から構成されるイラストの巧拙を評価するための特徴量の同定と評価モデル

イラストの基礎練習として模写がある。しかし、学習者が描画したイラストを学習者自身で客観的に評価することは難しい。本研究ではこの問題を解決するために、イラスト経験者の評価基準を反映したイラストの巧拙に関する評価モデルを提案する。このために、図2に示す4種類の課題イラストを用意した。幾何図形で構成した理由は関連研究でユーザが描画した図形を幾何図形に補正するシステムや、イラストの上達支援の観点から、イラストの描画に初歩的なスキルとして、幾何図形でイラストを描くことが重要だと考察したためである。33名の初心者に4種類の課題イラストをそれぞれ描いてもらい、合計132個のイラストに対して、経験者にイラストの巧拙性を評価してもらい、その評価方法についてインタビューした。その結果、イラストの巧拙に関わる特徴量として面積や各幾何図形の重心などの5つの特徴量が抽出された。これらの特徴量を説明変数とし、主観的に評価されたイラストの巧拙に関するスコアを目的関数とした重回帰分析を適用することでイラストの巧拙を表現可能な評価モデルを構築する。提案モデルに対して、交差検証を適用した結果、当該モデルから生成された結果は、初心者の評価モデルから生成された結果よりも、経験者の評価モデルから生成された結果に近くなった。したがって、初心者が行う評価よりも当該モデルは正確に評価できるという結果が得られた。

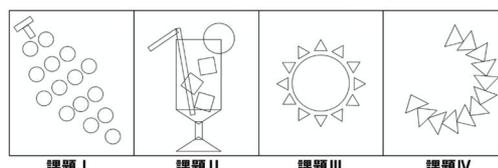


図2 課題イラスト

[1]竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦, 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, 日本ソフトウェア科学会論文誌, Vol. 30, No. 4, pp. 51--60, 査読有 (2013年).

[2]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, Vol. 57, No. 8, pp. 1861--1870, 査読有 (2016年).

[3]齊藤 壘, 竹川佳成, 平田圭二, バイオリン初心者のためのマルチモーダル情報提示によるポジショニング学習支援システム, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 20, No. 3, pp. 333--342, 査読有 (2018年).

[4]松井遼太, 竹川佳成, 平田圭二, 柳沢 豊, ピアノ学習における課題曲合格時期予測システムの構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 63, No. 3, pp. 761--772, 査読有 (2022年).

[5]佐々木綾音, 竹川佳成, 寺井あすか, 平田圭二, 幾何図形から構成されるイラストの巧拙を評価するための特徴量の同定と評価モデルの提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 63, No. 6, pp. 1315--1320, 査読有 (2022年).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10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 Endo Shiori, Takegawa Yoshinari, Funaki Ayaka, Matsumura Kohei, Hirata Keiji, Igarashi Takeo	4. 巻 29
2. 論文標題 Construction of a Switching Support System for Live Broadcast of Oral Presentation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 206 ~ 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjip.29.206	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 -
1. 著者名 Yoshino, K., Takegawa, Y., Hirata, K., Tominaga, A.	4. 巻 37
2. 論文標題 Construction of a Model for Predicting Student's Performance in Programming Exercise Lecture	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 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)	6. 最初と最後の頁 -
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 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 -
1. 著者名 松井遼太, 長谷川麻美, 竹川佳成, 平田圭二, 柳沢 豊	4. 巻 61
2. 論文標題 ピアノ教師向け悪癖発見支援システムの設計と実装および評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 789-797
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00204229	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 -
1. 著者名 竹川佳成, 原 史也, 平田圭二	4. 巻 61
2. 論文標題 音量制御のためのホワイトノイズ手法と音声フィードバック手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1210--1215
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 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 -

1. 著者名 佐々木 綾音、竹川 佳成、寺井 あすか、平田 圭二	4. 巻 63
2. 論文標題 幾何図形から構成されるイラストの巧拙を評価するための特徴量の同定と評価モデルの提案	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1315 ~ 1320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00218422	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 -

1. 著者名 松井 遼太、竹川 佳成、平田 圭二、柳沢 豊	4. 巻 63
2. 論文標題 ピアノ学習における課題曲合格時期予測システムの構築	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 761 ~ 772
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00217471	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 -

1. 著者名 浦谷 成敏、竹川 佳成、平田 圭二	4. 巻 63
2. 論文標題 なげれる君：ボウリング初心者のための投球フォームリフレクション支援アプリケーションの設計と実装	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 250 ~ 256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00215735	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 -

1. 著者名 増井 元康、竹川 佳成、徳田 雄嵩、杉浦 裕太、正井 克俊、平田 圭二	4. 巻 63
2. 論文標題 水冷回路と導電性銀ナノ粒子インク印刷による電熱回路を統合した高速サーモクロミズム制御手法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 482 ~ 490
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00216256	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 -

1. 著者名 増井 元康、竹川 佳成、平田 圭二	4. 巻 63
2. 論文標題 仮面劇のためのプロトタイピングが容易な動的な外見拡張手法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 242 ~ 249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00215734	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 -

1. 著者名 増井 元康、竹川 佳成、新田 野乃華、徳田 雄嵩、杉浦 裕太、正井 克俊、平田 圭二	4. 巻 62
2. 論文標題 PerformEyebrow : 装着者の感情表現を拡張できる人工眉毛形状制御デバイス	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1817 ~ 1828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00213695	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21件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Takegawa, Y., Tokuda, Y., Umezawa, A., Suzuki, K., Masai, K., Sugiura, Y., Sugimoto, M., Plasencia, M. D., Subramanian, S., and Hirata, K.
2. 発表標題 Digital Full-Face Mask Display with Expression Recognition using Embedded Photo Reflective Sensor Arrays
3. 学会等名 the 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Noguchi, K., Takegawa, Y., and Hirata, K.
2. 発表標題 Pseudo Human Sense in the Loop: Proposal of a Presentation Support Method by Pseudo Feedback of Audience Sense
3. 学会等名 the 23rd International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nishimura, M., Takegawa, Y., Matsumura, K., and Hirata, K.
2. 発表標題 Pokerepo Join:Construction of a Virtual Companion Experience System
3. 学会等名 the 23rd International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野口紅葉, 竹川佳成, 平田圭二
2. 発表標題 Pseudo Human Sense in the Loop: 聴衆の感覚の疑似フィードバックによるプレゼンテーション支援方法の提案
3. 学会等名 情報処理学会 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増井元康, 竹川佳成, 徳田雄嵩, 杉浦裕太, 正井克俊, 平田圭二
2. 発表標題 PerformEyebrow: 表情拡張可能な人工眉毛形状制御デバイスの提案
3. 学会等名 情報処理学会 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西村南海, 竹川佳成, 松村耕平, 平田圭二
2. 発表標題 ポケレポJoin:仮想的な同行体験を支援するワンマンレポートシステムの提案
3. 学会等名 情報処理学会 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 比佐翔太, 竹川佳成, 松村耕平, 五十嵐健夫, 平田圭二
2. 発表標題 登壇発表のライブ中継における自動スイッチングシステムの提案
3. 学会等名 情報処理学会北海道シンポジウム講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増井元康, 竹川佳成, 徳田雄嵩, 杉浦裕太, 正井克俊, 平田圭二
2. 発表標題 水冷回路と導電性銀ナノ粒子インク印刷による電熱回路を統合した高速サーモクロミズム制御手法の提案
3. 学会等名 情報処理学会 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 遠藤史央里, 竹川佳成, 松村耕平, 平田圭二, 五十嵐健夫
2. 発表標題 多視点カメラ映像の選好を収集するための視聴行為を阻害しない映像提示方法の検討
3. 学会等名 情報処理学会 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 比佐翔太, 竹川佳成, 松村耕平, 平田圭二, 五十嵐健夫
2. 発表標題 登壇発表を対象としたライブ中継のためのマルチカメラ自動スイッチングシステムの提案
3. 学会等名 情報処理学会 エンタテインメントコンピューティング研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浦谷成敏, 竹川佳成, 平田圭二
2. 発表標題 ポウリング初心者のための投球フォームリフレクション支援システムの提案
3. 学会等名 情報処理学会 エンタテインメントコンピューティング研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊田翔護, 西村南海, 竹川佳成, 松村耕平, 平田圭二
2. 発表標題 仮想同行体験システムの構築に向けて人間関係性を考慮したユーザインタフェースの提案
3. 学会等名 情報処理学会 エンタテインメントコンピューティング研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新田野乃華, 竹川佳成, 鈴木あゆみ, 徳田雄高, 鈴木克洋, 杉浦裕太, 正井克俊, 杉本麻樹, 平田圭二
2. 発表標題 組み込み型光センサレイを用いたフルフェイスマスクの表情認識精度の向上
3. 学会等名 情報処理学会 エンタテインメントコンピューティング研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Umezawa Akino, Takegawa Yoshinari, Suzuki Katsuhiko, Masai Katsutoshi, Sugiura Yuta, Sugimoto Maki, Tokuda Yutaka, Plasencia Diego Martinez, Subramanian Sriram, Takahashi Masafumi, Taka Hiroaki, Hirata Keiji
2. 発表標題 E2-MaskZ: a Mask-type Display with Facial Expression Identification using Embedded Photo Reflective Sensors
3. 学会等名 Augmented Humans International Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Tanaka, S., Takegawa, Y., Hirata, K.
2 . 発表標題 Proposal of a Support System for Learning Brushstrokes in Transcription for Beginners
3 . 学会等名 International Conference on Intelligent User Interfaces (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Matsui, R., Takegawa, Y., Hirata, K.
2 . 発表標題 Adaptive Score-Following System by Integrating Gaze Information
3 . 学会等名 International Computer Music Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Noguchi, K., Takegawa, Y., Tokuda, Y., Sugiura, Y., Masai, K., and Hirata, K.
2 . 発表標題 Study of Interviewee 's Impression Made by Interviewer Wearing Digital Full-face Mask Display During Recruitment Interview
3 . 学会等名 International Conference on Human-Agent Interaction (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Masui, M., Takegawa, Y., Tokuda, Y., Sugiura, Y., Masai, K., and Hirata, K.
2 . 発表標題 High-Speed Thermochromism Control Method Integrating Water Cooling Circuits and Electric Heating Circuits Printed with Conductive Silver Nanoparticle Ink
3 . 学会等名 International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 Matsui, R., Takegawa, Y., Hirata, K., Kumaki, M., and Yanagisawa, Y.
2. 発表標題 Proposal of a Piano Learning Support System Considering Gamification Based on Reconsolidation
3. 学会等名 International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masui, M., Takegawa, Y., and Hirata, K.
2. 発表標題 Dynamic Appearance Augmentation Method that Enables Easy Prototyping of Masks for Performance
3. 学会等名 Augmented Humans 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Uraya, S., Takegawa, Y., Hirata, K.
2. 発表標題 Nagereru-Kun: Design and Implementation of a Bowling Form Reflection Support Application for Beginners
3. 学会等名 International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2022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
研究分担者	平田 圭二 (Hirata Keiji) (30396121)	公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授 (20103)	

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