

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14101

研究課題名（和文）学習者のコミュニケーション活動を取り入れた適応学習支援システムの提案

研究課題名（英文）Supporting adaptive learning for programming education based on students' communication behavior

研究代表者

榎原 絵里奈（Makihara, Erina）

立命館大学・情報理工学部・講師

研究者番号：90822875

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）：適応学習とは、各学習者の理解度に応じて、最適な学習コンテンツを自動で提供する学習形態を指す。学習者の理解度を計測する際、既存研究では学習者のテストの成績や出席率など、システム上に登録されたデータから理解度を計測するが、高等教育機関において実施されるプログラミング演習の多くでは、学習者は演習の際自由に動き、学習者同士や教員と相談しながら課題のプログラムやプログラミングについて理解を深めていく。そこで本研究では、学習者の他者とのコミュニケーション活動を分析することで、適応学習における学習者の理解度測定への導入や精度向上を検討した。調査の結果、学生による行動の違いや傾向を計測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
ソフトウェアの社会的需要の高まりからプログラミング教育に注目が集まる中、教育者の人材不足は喫緊の課題である。適応学習をプログラミング教育に導入することで、教員に負担を強いることなく、学習者一人一人の苦手や得意といった理解度に応じた学習コンテンツを提供できる。個人最適な学習は文科省も推奨しており、プログラミング教育において適応学習を実現できた際の社会的意義は高いと考える。また、コミュニケーション活動が適応学習にどのような影響を与えるか調査することで、学習者モデルを構築する際に優先的に選択されるメトリクスについても考慮できるため、学術的にも意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Adaptive learning refers to a form of learning in which personalized learning content is automatically provided to each learner according to his or her level of comprehension. When measuring learner comprehension, existing studies measure comprehension based on data registered in the system, such as learners' test scores and attendance rates. However, in many programming exercises, learners are encouraged to move freely, consult each other and the instructor, and deepen their understanding of the assigned program. This study analyzed the communication activities of learners to enhance the accuracy of comprehension measurement in adaptive learning for programming exercises. The results of the study measured differences and trends in behavior among students.

研究分野：プログラミング教育

キーワード：プログラミング教育 適応学習 コミュニケーション活動 行動分析 プログラミング演習

1. 研究開始当初の背景

現在、AI や IoT (Internet of Things、モノのインターネット) のような IT 技術は我々の生活において広く浸透している。Society 5.0、AI 時代に対応した人材育成のため、小学校、中学校、高校でプログラミングが必修化するだけでなく、文部科学省が平成 30 年度 6 月に提示した未来投資戦略 2018 — 「Society 5.0」 「データ駆動型社会」 への変革—[1] では、大学においても分野や年齢を問わずより一層幅広い人材へプログラミング教育を施していくことが政府より望まれている。

このように様々な背景や知識を持つ学習者がプログラミング教育の現場に参加するため、当然として各学習者の進捗には大きな差が生じる。そこで、個々の学習者の理解度や進捗に応じて、適切なタイミングで適切な学習コンテンツを提供する適応学習(Adaptive Learning)に近年注目が集まっている[2]。適応学習では教育現場における ICT(Information and Communication Technology)やデジタルコンテンツを通して得られた学習履歴を、機械学習等で分析することにより各学習者の「理解度」を測定する。そして理解度を基に次の問題をレコメンドし、各学習者にとっての最適な学習プロセスを提供する。

代表者はこれまでに、プログラミング教育に関わる研究に従事してきた。特に、プログラミング演習の自動化を目指し、学習者のコーディング過程を自動取得、およびリアルタイムに分析し、各学習者がどのような躓きや試行錯誤を行っているか、分析したデータを元に教員が主体的に予測可能なシステムおよびアルゴリズムを提案した[3][4]。提案手法により、教育者は各学習者のソースコードを精査せずとも、各学習者の躓きの原因について推測することが可能となった。

2. 研究の目的

1 より、代表者はこれまでにプログラミング教育の自動化に従事しており、個人最適化の要素を加えることで、プログラミング教育へ適応学習を取り入れることが可能になると考える。また、多くの教育機関において、プログラミング教育(プログラミング演習)は自由度が高く、学習者は学習者同士や教員・ティーチングアシスタント(TA)へ自由に質問できる。

そこで本研究の目的は学習者と他学習者・教授者間のインタラクションと理解度の相関を解明することである。コンピュータ上で取得可能な学習者の学習履歴に加え、学習者がいつどの学習者や教授者と、どのような内容対話・議論したかをインタラクション情報として収集・分析する。インタラクション情報を加味した学習者の理解度を学習コンテンツへ反映することで、質の高い教育コンテンツの提供や、学習者の多面的なスキル評価も可能となる。学習者のコミュニケーションやディスカッションは年齢を問わず行われるため、本研究で得られる知見は今後必修化される小学生や高校生のプログラミング教育にも応用可能である。

3. 研究の方法

本研究では下記 3 点の課題解決に取り組む形で研究を進行する。

課題 1: プログラミング学習中に学習者が、学習者間あるいは教授者と実際にどのようなコミュニケーションやディスカッションを行っているかの実態調査

課題 2: 細粒度な振る舞いを収集可能なプログラミング環境の開発

課題 3: 他者とのインタラクションが学習者の理解度に及ぼす影響調査

課題 1 では実際のプログラミング演習において、学習者がどのようなコミュニケーションを取りどのような質疑を行っているか、実態調査を行う。位置情報の取得は図 1 の LiDAR(Light Detection and Ranging, Laser Imaging Detection and Ranging)を用いる。LiDAR は据え置き本体からレーザー光を照射し、物体までの距離や位置を測定する。プログラミング演習は学習者や教授者が自由に動き回る環境であり、プライバシーの点からもビデオ撮影より LiDAR が優れていると考える。LiDAR で得られた座標データを演習室のレイアウトと組み合わせる。

課題 2 では学習者のプログラミング過程を取得することで、学習者のコミュニケーション活動がコーディングにどのような影響を与えたか、関連を調査する。そして課題 3 において、学習者のどのような行動が最終的に成績やプログラムの質に影響を与えたかを調査する。



図 1 使用した LiDAR (RPLIDAR A2M8) および計測手法

表1 実験を行ったプログラミング演習の単元の概要

	第8回目	第9回目
参加人数	85名	84名
講義内容	分割コンパイル	ファイル入出力
質問件数	15件	31件
平均提出時間	75分	100分
平均点 (4点満点)	3.71	3.61

4. 研究成果

(1) プログラミング演習における学習者のコミュニケーション活動の調査結果[5]

本来、長期的なデータの取得を通して学習者のコミュニケーション活動の変化を取得する予定であったが、COVID-19により3年ほどプログラミング演習がオンライン、あるいはハイブリッドでの実施となった。したがって、対象の講義を絞り、2022年11月同志社大学理工学部インテリジェント情報工学科2年生向けの講義、第8回目と第9回目の合計2回にて、実際の学生の行動の調査(課題1に対応)および分析(課題3に対応)を行った。

第8回目と第9回目で行われた課題、質疑および学習者の課題提出時間、平均点を表1に示す。なお、演習形態としては2コマ連続の講義(1コマあたり90分)であり、教員は授業開始時に前回課題の解説および、今回課題や課題を解くために必要な知識の座学を行う。終了後、学習者は課題に各自で取り組む。また、今回は座席の指定を行わなかったが、特定の学習者の行動の変化を容易に追うには座席を指定する必要もあると考える。今回の調査では座席と学習者のマッピングは大学が提供する教室管理システムを用いて行った。

表1より、第8回目より第9回目の方が演習課題の難易度は高いものであった。そのため、第9回目の方が質疑の回数や提出にかかる時間が向上し、また平均点はわずかながら下がった。

図2に演習時間中の人流計測の結果の一部を示す。先述したとおり、最初の30分ほどは座学を行ったため、演習が開始してからの時間を序盤、中盤、終盤に分けて分析を行った。色が暖色(赤)に近づくほど人の流れが過密していることを示す。なお、各画像の下部は教室後方であり、通常ティーチングアシスタント(TA)の学生は後方に待機し、学習者が挙手を行った場合に学生の元に伺うことが多い。

図2より、終盤に近づくにつれ学習者の動きは活発化することが分かった。また、演習時間を通し①教員・TAに補助を求めず独力で解く学生②学生間で移動し合いながら相談する学生③教員やTAのみに質疑する学生の3つの行動を得た。学習者がどのタイプの学習を好むか調査を進めることで、グループワーク時のグループ分けや、フィードバックの与え方などを個人の学習形態に併せて適切な提供が行えると思われる。

また、図3は各回における課題の提出時間と採点結果、そして学習者の行動との比較である。教室全体として、右側に着席する学生は成果物の提出時間が早く、そして採点結果も高い学習者が多かった。そのため、教員やTAの補助を受けずとも、十分なプログラミング理解を得ていると考えられる。また、一部の学生では第8回目にくらべ第9回目に質問回数が増加し、成績も向上した。そのため、教員やTAへの相談がプログラミング理解度に影響を与える学生と、個人で進めることを好む学習者が存在する。この結果は教員・TA間の連携や教育効果の向上にも使用可能であるため、継続的な調査を行うことが好まれる。

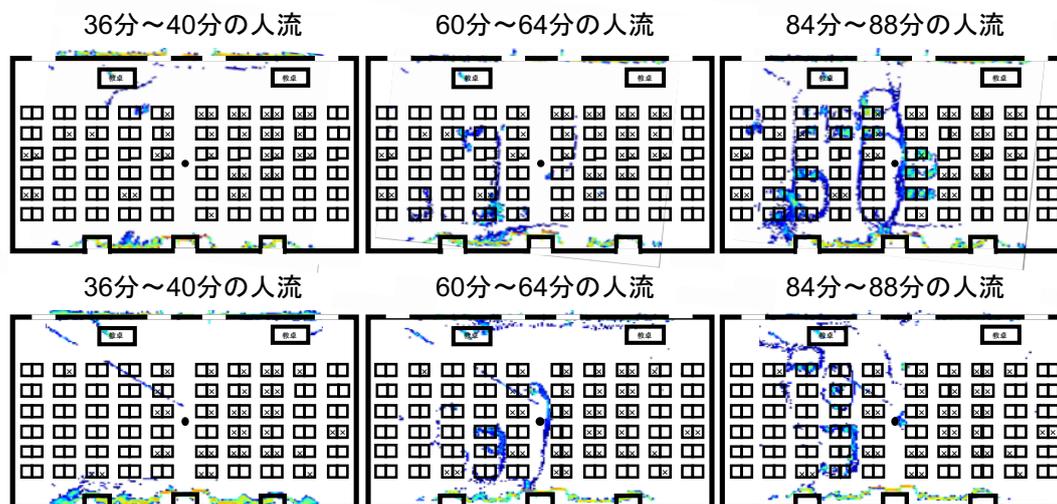


図2 プログラミング演習時の人流計測の結果(上部:第8回目 下部:第9回目)

(2) 学習者のプログラミング行動取得システムの開発 (課題2に対応)

図4は学習者のプログラミング行動取得可能なプログラミング環境である。学習者が何かプログラムを変更した際、2秒ごとにプログラムのスナップショットをサーバに保存する。大学のプログラミング演習への導入が困難であったため、4-1で述べたプログラミング演習参加者を対象に有志による実験を行った。

実験の結果、教員が学習者のログを確認することで、学習者のプログラミングの方針や躓きを知ることができた。また、生体情報と組み合わせることで、学習者の状況についてより詳細に理解できた ([6]、他国内論文3件)。4-1の結果と組み合わせることで、学習者へ教員・TAが主体的に質疑を伺いに行うことや、学習者同士の相談の活発化や優先的に指導すべき学生の特定に繋がると考える。

なお、本ツールの作成は同志社大学 COVID-19 Research Project の助成も受けた [7]。

(3) プログラミング教育における適応学習導入に向けた他諸調査の結果

COVID-19の影響によりプログラミング演習がオンライン化した。その際、学習者の現地での行動を取得できない代わりに、本研究の一環として①適応学習における自学自習の課題推薦②オンラインにおける学習者のコミュニケーション活動の調査③学習者の成績予測についても一定の成果を上げることができたため、本章に記す。現地でのデータが取得できなかったため、オンラインジャッジシステム、Stack Overflow、Scratchなどのデータを利用したが、これらの研究で得られた結果はプログラミング演習においても活用可能である。

①適応学習における自学自習の課題推薦 ([8]、他国内会議発表件5件)

6000問を超えるオンラインジャッジシステム Codeforces の提出履歴を分析し、学習者の理解度に応じた問題推薦モデルを構築した。構築したモデルは学習者がどのように問題に着手してきたかによって異なる問題を推薦することができる。本研究の学習者の行動を基にしたプログラミング理解度と組み合わせることで、学習者に応じた自学自習の問題推薦が可能となり、プログラミング演習だけでなく自学自習の支援にも繋げることができる。

②オンラインにおける学習者のコミュニケーション活動の調査 ([9]、他国内会議発表件2)

約2300万のソフトウェア開発・プログラミングに対する回答を持つ Stack Overflow において、特定の投稿と、その投稿においてリンクで参照される投稿の関係を調査した。調査の結果、Stack Overflow における回答への評価と、参照される回数に相関関係はほとんど存在しなかった。Stack Overflow における質問と回答は、オンラインにおける学習者と教授者のコミュニケーション活動と見なすことができる。特定の質問に対するベストアンサーと、学習者に対し閲覧を促されるような投稿は別であることから、教授者の考える学習者の回答と、学習者にとって良い回答は別であり、プログラミング演習の際は、教員やTAはそのギャップを埋めるような指導が求められると考える。

③学習者の成績予測 ([10]、他学術論文1件、国内会議発表5件)

Scratch における提出履歴を元に、学習者が次に投稿するプログラムの CT スコアを予測するモデルを構築した。本研究により、学習者のプログラム理解度を測るだけでなく、さらに学習者の行動予測や成績予測を行うことで、より学習効果の高い指導を行うことが可能となる。

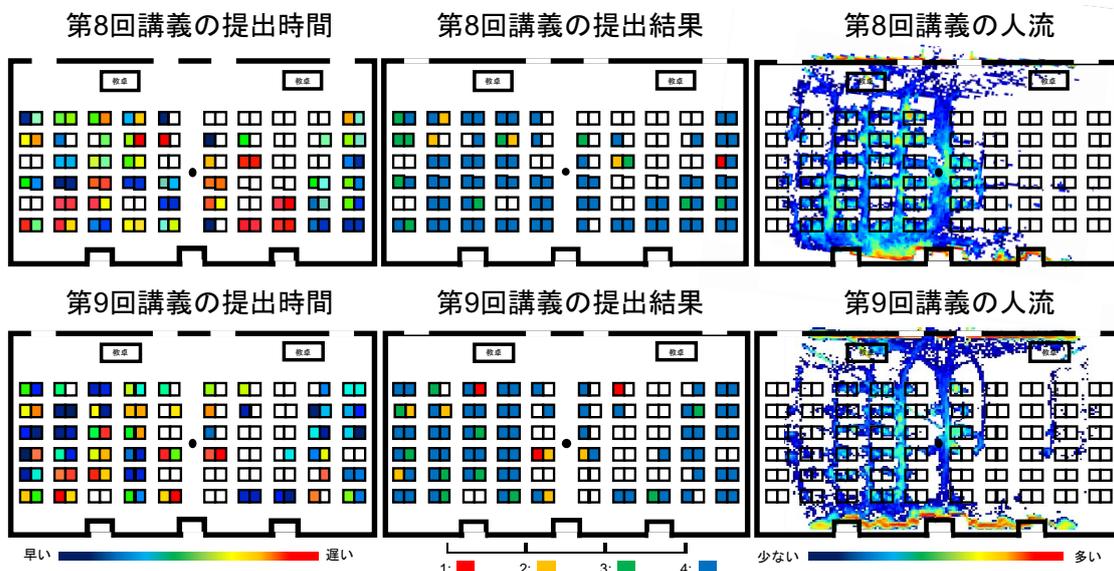


図3 課題の提出時間および採点結果と人流計測の対応

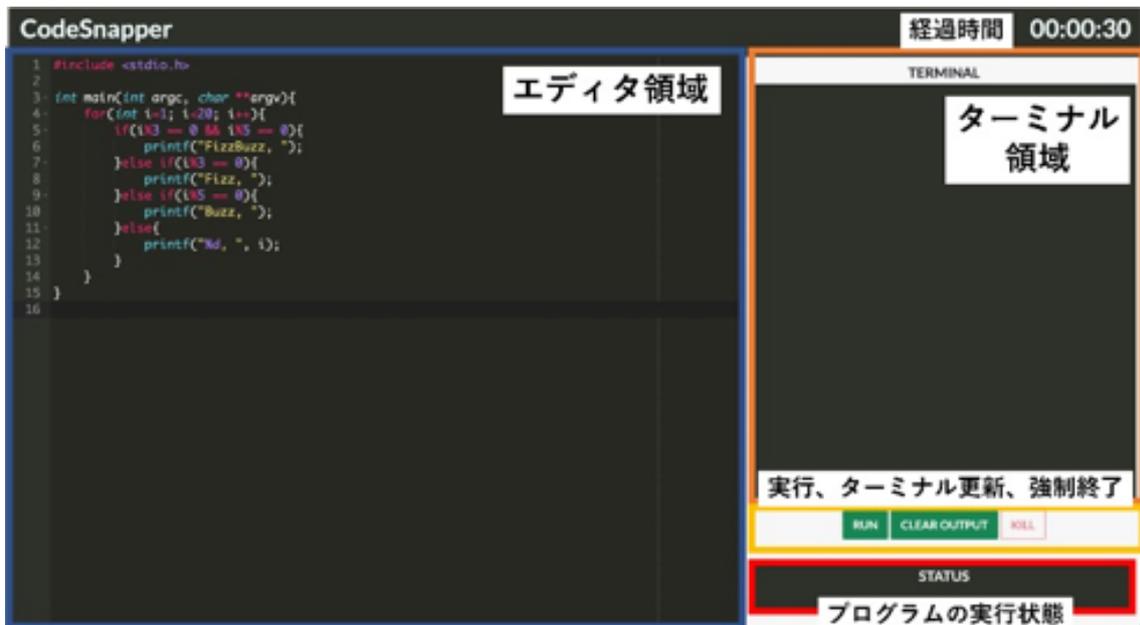


図4 学習者のプログラミング行動取得ツール

引用・参考文献：

- [1] 文部科学省未来投資戦略 2018 — 「Society 5.0」「データ駆動型社会」への変革—：
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2018_zentai.pdf
 (2024/06/07 閲覧)
- [2] Hattie, J. (2008). Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement. London: Routledge.
- [3] 榎原 絵里奈, 他 4 名, “プログラミング演習における探索的プログラミング行動の自動検出手法の提案”, コンピュータソフトウェア, Vol. 35, No. 1, pp. 110-116, 2018 年 1 月.
- [4] Erina Makihara, et al., “Detecting exploratory programming behaviors for introductory programming exercises”, In Proceedings of the 24th IEEE International Conference on Program Comprehension (ICPC), pp. 1-4, May 2016.
- [5] 室塚翔太, 他 3 名, “学習者のコミュニケーション活動と成果物の関係調査,” 電子情報通信学会総合大会, 2 page, 2023 年 3 月.
- [6] 新濱遼大, 他 3 名, “生体情報を用いたプログラミング時における学習者の状態推定の試み,” 知能ソフトウェア工学研究会, Vol. 120, No. 423, pp. 31-35, 2021 年 3 月.
- [7] 同志社大学 COVID-19 Research Project: <https://rd.doshisha.ac.jp/rd/reactivities/covid-19research.html> (2024/06/07 閲覧)
- [8] 榎原 絵里奈, 他 3 名 “オンラインジャッジシステムにおける解答履歴を利用した問題の関係性調査”, 情報処理学会論文誌, Vol. 63, No. 3, pp. 842-851, 2022 年 3 月.
- [9] 白木 大貴, 他 4 名, “StackOverflow における参照利用に関する実証調査 ～プログラミングにおける QA コミュニケーション支援に向けて～,” 研究報告ソフトウェア工学 (SE), Vol. 10, pp. 1-7, 2023 年 7 月.
- [10] 木内 正浩, 他 3 名, “Scratch ユーザのコンピューショナル・シンキング習熟順序把握に向けた作品ジャンルの特徴分析,” 情報教育シンポジウム, pp. 125-132, 2023 年 8 月.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2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 榎原 絵里奈, 米田 浩崇, 小野 景子	4. 巻 8
2. 論文標題 オンラインScratchプログラミング演習支援にむけたコードメトリクス可視化ツールの提案および評価	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 pp.37-50
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 榎原 絵里奈, 池田 太郎, 小野 景子, 新濱 遼大	4. 巻 63
2. 論文標題 オンラインジャッジシステムにおける解答履歴を利用した問題の関係性調査	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 742 ~ 751
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00217469	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 大正 歩夢, 児嶋 達弥, 榎原 絵里奈, 小野 景子, 中山 知美	4. 巻 62
2. 論文標題 Scratchプログラミング学習における生体情報を用いた学習者の状態と躰きの分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 同志社大学ハリス理化学研究報告 = The Harris science review of Doshisha University	6. 最初と最後の頁 219 ~ 224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14988/00028679	査読の有無 無
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18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 新濱遼大, 榎原絵里奈, 小野景子, 大正歩夢
2. 発表標題 オンラインジャッジシステムの問題選択支援に向けた問題文間の意味的類似度の算出
3. 学会等名 第29回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ(FOSE2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若松玲依, 榎原絵里奈, 小野景子, 新濱遼大
2. 発表標題 Scratchを用いたプログラミング演習における教員支援を目的とした採点支援システムの提案
3. 学会等名 第29回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ(FOSE2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryota Shinhama, Erina Makihara, Keiko Ono, Akitaka Yaguchi, Ayumu Taisho
2. 発表標題 Comparison of Different Keyphrase Extraction Algorithms for Supporting Problem Selection in Online Judge System
3. 学会等名 29th Asia-Pacific Software Engineering Conference(APSEC2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 室塚翔太, 木内正浩, 榎原絵里奈, 小野景子
2. 発表標題 学習者のコミュニケーション活動と成果物の関係調査
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 愛智万莉子, 白木大貴, 榎原絵里奈, 小野景子
2. 発表標題 Kaggleにおけるコンペティション選択支援に向けたメソッド特徴調査
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今元 佑, 横原絵里奈, 島崎悠斗, 小野景子
2. 発表標題 Pythonicなリスト内包表記の習得を目的としたヒント提示手法の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会知能ソフトウェア工学研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新濱 遼大, 横原 絵里奈, 小野 景子, 幾島 直哉, 山川 蒼平
2. 発表標題 オンラインジャッジシステムにおける問題文の類似度調査
3. 学会等名 情報処理学会研究報告ソフトウェア工学 (SE)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木内正浩, 横原絵里奈, 若松玲依, 小野景子
2. 発表標題 Scratchにおける自動リファクタリングを用いた可読性向上の試み
3. 学会等名 電子情報通信学会研究技術研究報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 千歩野亜, 横原絵里奈, 新濱遼大, 小野景子
2. 発表標題 オンラインジャッジシステムにおける問題推薦に向けた複数の特徴量分析
3. 学会等名 電子情報通信学会研究技術研究報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島崎悠斗, 横原絵里奈, 若松玲依, 小野景子
2. 発表標題 プログラミング演習におけるソースコード内の制御構造を利用したヒント提示手法の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会研究技術研究報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 若松玲依, 横原絵里奈, 新濱遼大, 藤原賢二, 小野景子
2. 発表標題 Scratchプログラムの差分情報に着目した採点補助システム構築に向けて
3. 学会等名 第28回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新濱 遼大, 横原 絵里奈, 小野 景子
2. 発表標題 学習者の活動ログから集中力を推定する試み学習者の活動ログから集中力を推定する試み学習者の活動ログから集中力を推定する試み学習者の活動ログから集中力を推定する試み学習者の活動ログから集中力を推定する試み
3. 学会等名 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 八十田 周作, 横原 絵里奈, 小野 景子, 米田 浩崇
2. 発表標題 初学者同士におけるペアプログラミング学習の支援 -Scratchにおける細粒度操作ログ取得環境の提案-
3. 学会等名 第27回 ソフトウェア工学の基礎ワークショップ(FOSE2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米田 浩崇, 横原 絵里奈, 小野 景子
2. 発表標題 Scratchを用いたプログラミング授業における教員支援のためのリアルタイム分析可視化システムCRABERの提案
3. 学会等名 第27回 ソフトウェア工学の基礎ワークショップ(FOSE2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新濱遼大, 横原絵里奈, 八十田周作, 小野景子
2. 発表標題 生体情報を用いたプログラミング時における学習者の状態推定の試み
3. 学会等名 知能ソフトウェア工学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木内 正浩, 横原 絵里奈, 小野 景子, 花本 凧
2. 発表標題 Scratchユーザのコンピューショナル・シンキング習熟順序把握に向けた作品ジャンルの特徴分析
3. 学会等名 情報処理学会情報教育シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 白木大貴, 横原絵里奈, 小野景子, 谷裕貴, 花本凧
2. 発表標題 StackOverflowにおける参照利用に関する実証調査 ~プログラミングにおけるQAコミュニケーション支援に向けて~
3. 学会等名 情報処理学会研究報告ソフトウェア工学 (SE)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小西 杏典, 槇原 絵里奈, 千歩 野亜, 小野 景子
2. 発表標題 ユーザベース協調フィルタリングを利用したオンラインジャッジシステムにおける問題推薦手法の提案
3. 学会等名 情報処理学会研究報告ソフトウェア工学 (SE)
4. 発表年 2023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
---------	---------