

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 1 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350296

研究課題名(和文)プログラミングにおける成熟的学習活動を可能とする視線追跡に基づくスキル標準の構築

研究課題名(英文) Construction of a skill standard to realize active learning of programming by using eye tracking

研究代表者

山岸 秀一 (Shuichi, Yamagishi)

広島工業大学・情報学部・教授

研究者番号：10609902

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：プログラミングの技能評価は総合点のみで行われるのが現状である。そのため、学習者各人はそれぞれの技術要素に対する到達水準が不明確である。その結果、成熟的学習活動が困難な層が生じる。そこで本研究では、プログラミングが学習経験に強く関係する暗黙的思考技能である点に着目する。そして、蓄積経験が強く反映される眼球運動を分析し、成熟的学習活動を可能とするスキル標準の構築を目的とする。まず、プログラミングの技術要素を明確化し、各要素の習熟度を評価するための学習教材と判定試験、Webシステムを開発する。これらを用いて学習者の理解度を定量化する。このデータを基に、技術要素や学習者の習熟度ごとの教示法を構築する。

研究成果の概要(英文)：The achievement result of programming skill is currently evaluated only by the comprehensive point. As the result, learner's achievement level of programming in each technical element is unclear, and it makes active learning difficult. This paper focuses on the implicitness of programming strongly related to learning experiences. Then, this paper utilizes eye movement to clarify learner's understanding which is assumed to be greatly affected by programmer's experiences. Based on the analysis result of eye movement, this paper aims to construct a skill standard to realize active learning of programming. Firstly, this paper clarifies the technical elements of programming, develops learning materials to judge learner's understanding levels in each technical element, and develops a Web system. Secondly, this paper quantifies learner's understanding level by using the learning log data and examines teaching methods of programming depending on learner's understanding level.

研究分野：教育工学

キーワード：プログラミング 思考過程 アイトラッキング スキル標準 成熟的学習活動 Webシステム C言語

1. 研究開始当初の背景

情報工学に関連する大学等専門領域において、プログラミング技能は特に重要な科目として位置づけられている。しかしながら、プログラミング学習者の集団においては、その到達度を分析すると、数学的論理思考力を持つもの、苦手とするものの二つの層が各学年必ず存在する。この傾向は、年齢や性別、教育水準の差に関わらず、等しく発生することが従来から経験的に知られている。日本のソフトウェア開発力の向上は、国際競争の中で不可欠であり、そのためには、プログラミングを不得手とする層の底上げが必要である。現在の世界的な社会構造の変化を踏まえると、ソフトウェア開発に対する社会の要望は、今後一層増大することが予測される。このような背景のもと、プログラミングを対象とした研究は次の3種類に大別される。

- ・ 学習者の分析と特徴の発見
- ・ プログラミング学習の教示方法の提案
- ・ プログラミング学習支援ソフトウェアの開発

しかしながら、ほとんどは初心者を対象としたもので、さらに示唆・提言に留まっている。初学者からスタートして学習者が個々の学びの段階に応じて成熟的に学習を進めるための学習支援法や、学習者の学びの段階に応じた教示法の提案までには至っていないと考えられる。

従来の一元的学習者評価手法の問題は、図1に示す通り1点の目標水準しか用意されていない点にある。その理由としては、学習者が結果を得るまでの過程を明らかにできていないこと、学習者視点での困難水準設定ができていないこと、それに基づいた考え方や教材法が用意されていないことにあると考えられる。

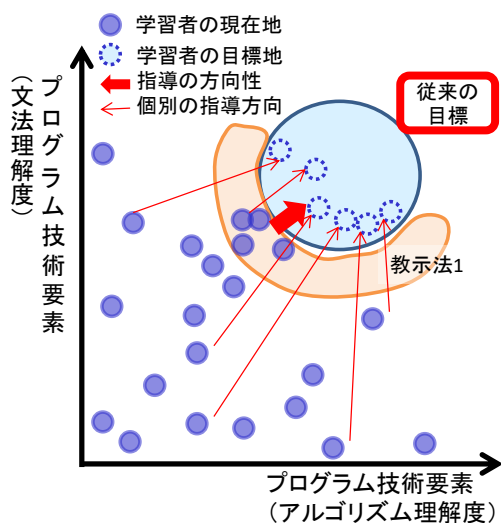


図1 既存教育手法の例

2. 研究の目的

本研究では、課題を以下のように大きく次の3つの項目にわけて提案を行う。この手法により研究における目標は従来と異なり多くの目標を設定可能となる。各学習者の技能に応じた教示法により、各学習者に応じた目標を設定できるようになると考える(図2参照)

(1) 学習者の評価指標の作成

プログラミング技術を細分化し、その多次元にわたる技術評価の習得状況を確認するためのスキル標準を開発する。スキル項目とそれらの困難度は、項目反応理論や既存の先行研究・書籍を参照しながら構築し、スキル判定試験を作成する。

(2) 視線計測実験とその解析

スキルチェックでは測れない経験の度合いに応じた思考の過程については、視線を計測し学習者の思考パターン分類を行う。これらを入力項目として、多変量分析手法を用いて目標(優位集合)を設定し、目標に応じた教示法を提案する。

(3) 学習者に応じた学習効率性の評価

効率的に学習が行われているかの評価を行う。

また、学習者の習熟度と適正に応じたキャリアパスを提示する。キャリアとの対応付けを行うことで学習者は能力に応じた将来の目標を見出すことが可能となり、学習意欲向上につながると考える。また、目標に達成するために現時点で不足している技術要素の確認が可能になり学習の方向性や現在位置を随時可能となり学習者に自ら目標を設定可能となり、有益な情報になると考える。

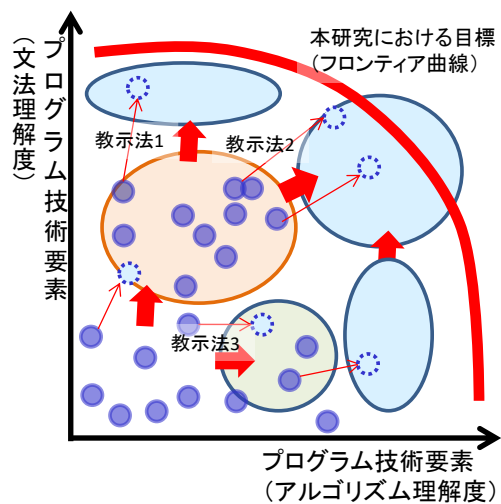


図2 提案教育手法の例

3. 研究の方法

まず、学習者の評価指標を作成する。プログラミングの技術要素を明確化し、各要素の習熟度を評価のための学習教材の開発とスキルチェック表を開発する。プログラミング言語の文法のみでなく、アルゴリズムやその

他のプログラミングの能力に関わる項目を引き出す作業を行う。次に、学習者のプログラミング技能項目に関するスキルチェックを行うための学習教材の開発を行う。最小単位のモジュールを取り上げ、入力、出力、処理の中で不足部分を補うコード補完形式の問題であり、技術要素に応じた思考力の養成を図る。以上を利用して、学習者に教示・試験することでフィードバックを行う。このサイクルを繰り返す過程で、学習者理解度と困難度を定量的に算出する。結果を踏まえ、学習者の到達度に応じて学習者層を定義する、以上により、学習教材と判定試験を充実させる。Moodle のレッスンモジュールを活用し、学習履歴を効率的に収集する。

次に、学習者の視線を分析することにより、各設問に対する答えを得るまでの考察の過程を明確化する。試験では測れない経験や要素技術に対する理解度は、学習者の視線を計測し学習者の思考パターン分類を行うことで明らかとなる。

4. 研究成果

(1) スキルチェック表の作成

提案手法によりまず、学習者の評価指標の案を作成した。表1に示すようにプログラミングの技術項目を細分化した。大きく文法とアルゴリズムの理解と分けた。詳細な分類に関しては、独立行政法人情報処理推進機構の示すC言語に必要な知識を参考に作成を行った。これらの分類により学習者も分類されることが可能となる。

表1 スキルチェック表の一例

プログラミング技術項目			グループA		グループB		グループN	
			A1	A2	B1	B2	N1	N2
文法	C言語基本	C言語とは						
		文字列の出力						
	データ型	構文						
		変数とデータ型						
	標準入出力	構文						
		変数データの計算と表示						
		整数値の入力						
		整数型以外の数値の入出力						
	演算子	1文字、文字列の入出力						
		キャスト演算子						
アルゴリズム基本	ソート							
	サーチ							
	リスト							
	スタック&キュー							
	再起呼び出し							
	ツリー構造							
	マップとハッシュ							
その他								

次に、視線計測実験と解析を行った。プログラミングの基本を既に習得している大学生を被験者として、視線運動計測実験を行った。眼球運動計測には、トビー・テクノロジー社製 X2-30 アイトラッカーを使用した。学習者にはプログラムを読ませ、どのような結果が表示されるか答えてもらう問題を複数作成した。今回は非接触型の視線計測器を用いてプログラムの思考過程を計測した。図3に示す視線データはどちらとも不正解の解答をした学習者である。しかし、視線データ

から学習者によって理解度が異なることが示されている。具体的にはユーザ1はプログラムの重要となるキーのラインを把握していることがわかる。ループの for 文のデータの流ても把握しているが、解答に至らなかったことが示されている。ユーザ2に関してはプログラムの重要なポイントが理解出来ておらず、何度も丁寧に1文、1文理解をしようと繰り返し読み直している様子が伺える。このように学習者に応じて視線情報から学習者の理解度や性格が読み取れることが明らかとなった。

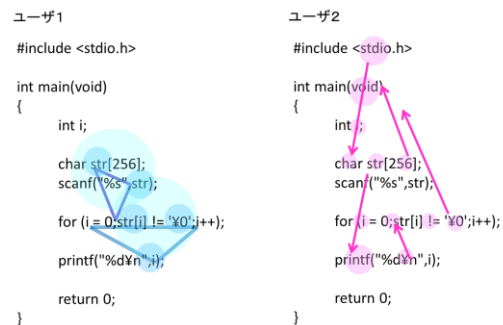


図3 学習者の視線データ

本研究において、プログラミング学習に役立つ学習指標の作成を目標に、視線経路に基づいたプログラミングの思考過程の推定を行った。その結果、これまで評価されていなかった学習者に応じた技術要素に対する達成水準を得ることが可能となることが明らかとなった。今後、多くの実験を行い詳細なスキル調査とスキルに応じた最適なキャリアの提案を行い、応用可能であるか評価を行いたい。キャリア提示の例を図4に示す。

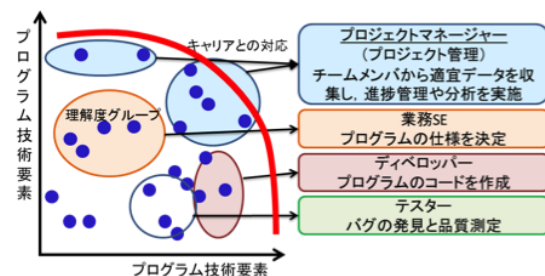


図4 理解度に応じたキャリア提示例

(2) 読解学習支援システムの開発

本研究では、読解の手軽さとトレース・デバッグ学習の基礎力向上に対しての有効性、プログラミングの基本である順次処理の反復学習の有効性を踏まえた上で、外的構造の意味に頼らない、プログラムソース自身が保持する内的な構造(データ依存関係)にのみ基づいた読解学習をプログラミング指導に用いた。読解学習課題は任意の規則で生成されたものであり、言語仕様に関する知識と記憶力・計算力のみで直結する学習課題である。よって、プログラムを不得手とする学習者の特徴を十分に把握できていない

という問題の解決に貢献可能な仕組みであると考えている。加えて、プログラムソース自身が保持する内的な構造にのみ依存する学習課題を題材として学習者の技量を相対的に定量化できれば、内的構造の観点における指導が可能となるため、従来プログラミングの適性が十分でないといわれてきた学習者層に新たな観点での教授法を提供可能になると考えている。本研究では、読解学習課題を自動生成し提示可能なシステム(図5参照)を実講義で適用し、学習支援を試みた。

開発したシステムは、C言語の読解学習を対象としたものであり、ソースコードを題材とした問が自動生成され学習者に提示される。生成されるソースコードは数十行の短いものである。この点は、「1メソッドは1画面に収まる程度とする」という設計論は一般的であり開発現場で採用されることが多いことから、1ページ内に収まる処理の読解を行うことができるようになれば、大規模なプログラム読解も抵抗なく対応できるようになるのではないかと考えている。加えて、近年のオープンソースソフトウェアを活用しプログラマは中核に据えたソフトウェア開発手法が各所で積極的に導入されており、コメント文に頼らないプログラム読解技能の必要性は高いこと、プログラミングの時間のほとんどはコードを読む時間と言われていることなどから、プログラム読解は学習課題として十分に有用であると考えられる。

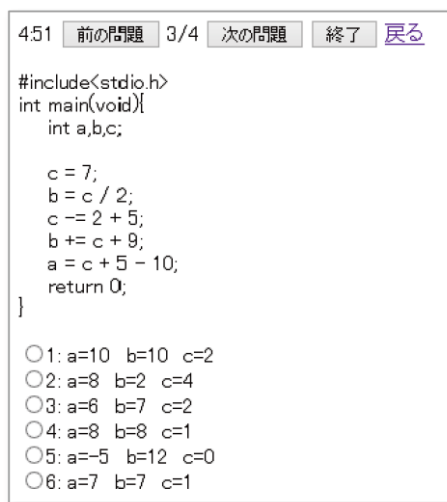


図5 プログラム読解学習システムの動作例

(3) 項目反応理論を用いた読解学習のログ分析

自動生成されたソースコードの構成に応じたパターンや特徴を明らかにするため、C言語プログラミングの基本を既に取得している大学4年生10名の被験者に対して予備実験を行った。言語仕様を完全に理解していれば解ける多肢選択方式による15問のテストを10分の制限時間で行い、回答ログデータを収集した。プログラミング関連科目の成

績を調査したところ、被験者の技能水準は同様であることを確認している。変数は2-4個、行数は3-5行とし、全て代入文(複合代入演算とインクリメント、デクリメントを含める)のみで構成されるソースコードを提示した。演算子は四則演算と剰余、演算対象(右辺)は1-3個である。全て単純な仕組みに基づいているが、制限時間内に全て回答するためには滞りなく読解を進めなければならない。実験終了後、項目反応マトリクスを出力した後、4母数ロジスティックモデルにより各問題のパラメータを計算し、各項目のロジスティックモデルのパラメータ及び項目情報量に基づいて結果を分析した。

15問の項目情報量をまとめたものを図6に示す。項目情報量が他と比較して顕著に低い問題が6問存在しており、そのうち5問には、複合代入演算やインクリメントが共通して記述されていた(図7参照)。このことから、これらの要素がプログラミングを得意とする学習であってもプログラム理解効率・可読性を妨げている原因のひとつではないかと仮説を設定した。とりわけ、プログラミングを不得手とする学習者層にとっては、学習を阻害することに強く寄与する不適切な記述であると考えられる。このことを踏まえれば、教授の現場では、これらの記述に対する指導を徹底することや、あるいはコーディング規約で禁止するなどの対応が必要であると考えられる。

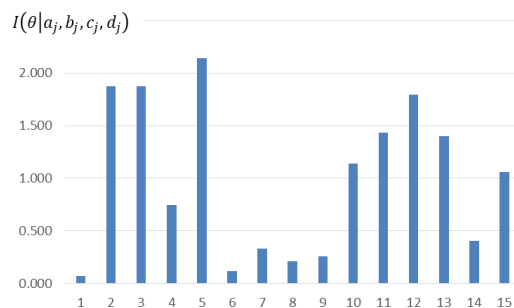


図6 問題ごとの項目情報量

int a,b,c,d; b = 10; a = 5 * 7; b += 1 + ++a; b = 9; a += 1;	int a,b,c,d; d = 3 * 6; d += 4; d /= 6; c = 4;	int a,b,c,d; d = 1; b = 6; d *= b / 8; a = b * b;	int a,b,c,d; b = 3 * 9; b += 1 - 5 * b; a = b - 7; b += 8;	int a,b,c,d; b = 2; d = b; d += 2 + 9; b = d;
問題(1)	問題(6)	問題(7)	問題(8)	問題(9)

図7 項目情報量が顕著に低い問題

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6件)

- ① K. Okimoto, S. Matsumoto, S. Yamagishi, T. Kashima, Proposal of a Game Development-Based Online Programming Learning System Based on the Concept of Parson's Puzzle, Proc. of The Twenty-Second International Symposium

- on Artificial Life and Robotics 2017, GS6-1, pp.139-142 (2017), 査読有
- ② K. Morita, S. Matsumoto, Developing a Cloud-Based Programming Learning Support Tool - Aiming to the Most Accessible Development Environment for University Students -, Proc. of The Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2017, GS6-2, pp.143-146 (2017), 査読有
- ③ S. Matsumoto, K. Okimoto, S. Yamagishi, T. Kashima, Examining Effect and Expectation of Reading Simple Source Codes for Improving Programming Skill, Proc. of the Fifth Asian Conference on Information Systems 2016, pp.188-191 (2016), 査読有
- ④ K. Okimoto, S. Matsumoto, S. Yamagishi, and T. Kashima, A source code reading based learning support system for novice programming education, Proc. of The 21nd International Symposium on Artificial Life and Robotics, PS3, pp.765-768 (2016), 査読有.
- ⑤ T. Kashima, S. Matsumoto, and S. Yamagishi, Proposal of a Method to Measure Difficulty Level of Programming Code with Eye-Tracking, Human-Computer Interaction. Advanced Interaction Modalities and Techniques, Part II, pp.264-272 (2014), 査読有.
- ⑥ T. Kashima, S. Matsumoto, and S. Yamagishi, Knowledge Acquisition with Eye-Tracking to Teach Programming Appropriate for Learner's Programming Skill, Proc. of The Third Asian Conference on Information Systems, pp.287-292 (2014), 査読有.
- 〔学会発表〕(計 24 件)
- ① 大下昌紀, 石井元規, 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, カード演習方式によるプログラミング学習支援における学習活動の分析, 2016 年度教育システム情報学会学生研究発表会(中国地区)講演論文集, P10, pp.203-204 (2017 年 3 月 4 日, 広島工業大学五日市キャンパス, 広島県広島市).
- ② 岩本朋也, 石井元規, 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, カード演習方式を用いたプログラミング学習支援システムの開発, 2016 年度教育システム情報学会学生研究発表会(中国地区)講演論文集, P11, pp.205-206 (2017 年 3 月 4 日, 広島工業大学五日市キャンパス, 広島県広島市).
- ③ 森田浩平, 松本慎平, 大学におけるプログラミング講義のためのオンライン実行環境の構築とその性能評価, 2016 年度教育システム情報学会学生研究発表会(中国地区)講演論文集, P13, pp.209-210 (2017 年 3 月 4 日, 広島工業大学五日市キャンパス, 広島県広島市).
- ④ 田中貴士, 松本慎平, プログラム読解学習支援システムの開発, 2016 年度教育システム情報学会学生研究発表会(中国地区)講演論文集, P16, pp.215-216 (2017 年 3 月 4 日, 広島工業大学五日市キャンパス, 広島県広島市).
- ⑤ 石井元規, 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, 認知負荷を減らしたプログラミング学習支援に関する研究, 2016 年度教育システム情報学会学生研究発表会(中国地区)講演論文集, C4, pp.175-176 (2017 年 3 月 4 日, 広島工業大学五日市キャンパス, 広島県広島市).
- ⑥ 石井元規, 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, プログラミングを苦手とする学習者のための学習支援システムの検討, 第 18 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, 410. 情報その他, A4-59, pp.202-205 (2016 年 11 月 19 日, 20 日, 山口大学宇部キャンパス, 山口県宇部市).
- ⑦ 石井元規, 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, カード操作によるプログラミングを苦手とする学習者の支援に向けて, 平成 28 年度(第 67 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, R16-27-03 (2016 年 10 月 22 日, 広島大学東広島キャンパス, 広島県東広島市).
- ⑧ K. Okimoto, S. Matsumoto, S. Yamagishi, T. Kashima, Analyzing Programming Learners and Learning Materials Based on the Learning Activities of Mainly Reading Source Codes, 2016 Annual Conference of Electronics, Information and Systems Society, I. E. E. of Japan, SS4-6, pp.1446-1447 (2016 年 8 月 31 日, 神戸大学 六甲台第 2 キャンパス, 兵庫県神戸市).
- ⑨ 松本慎平, 沖本恒輝, 花房亮, 林雄介, 平嶋宗, プログラム読解戦略とデータ依存関係の基礎的分析, 平成 28 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, TC5-6, pp.121-122 (2016 年 8 月 31 日, 神戸大学 六甲台第 2 キャンパス, 兵庫県神戸市).
- ⑩ 沖本恒輝, 松本慎平, 山岸秀一, 加島智子, 潜在ランク理論によるプログラミング初学者のソースコード読解学習のログ分析, 2016 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会講演論文集, pp.116-117 (2016 年 7 月 16 日, 広島大学東広島キャンパス, 広島県東広島市).
- ⑪ 松本慎平, 山岸秀一, 加島智子, 林雄介, 平嶋宗, 書かせること以外のプログラミング指導から見てきたこと, The 30th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial

- Intelligence, 2016, 1C5-0S-13b-2 (2016年6月6日, 北九州国際会議場, 福岡県小倉市).
- ⑬ 石井元規, 岩井健吾, 松本慎平, 平嶋宗, 林雄介, プログラムを書かせないプログラミング学習支援の可能性検証ー命令を組み立てることによるプログラム作成方式ー, 2015年度教育システム情報学会学生研究発表会中国地区講演論文集, P02, pp.115-116 (2016年2月29日, 広島市立大学サテライトキャンパス, 広島県広島市).
- ⑭ 松本慎平, 沖本恒輝, 藤本宣人, 古岡良太, 山岸秀一, プログラムコード読解によるプログラミング導入教育の実践, 第20回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会講演論文集, S3-1, pp.35-36 (2015年12月12日, 広島市立大学サテライトキャンパス, 広島県広島市).
- ⑮ 花房亮, 沖本恒輝, 松本慎平, 山岸秀一, 林雄介, 平嶋宗, 確率モデルによるプログラム読解中の視線運動の分析, 平成27年度(第66回)電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, 27-11 (2015年10月17日, 山口大学工学部常盤キャンパス, 山口県山口市).
- ⑯ 沖本恒輝, 松本慎平, 加島智子, 山岸秀一, プログラミング読解過程中的視線運動のプログラム構造に基づく解析, 平成27年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, OS4-2, pp.653-656 (2015年8月26日-29日, 長崎大学文教キャンパス, 長崎県長崎市).
- ⑰ 沖本恒輝, 松本慎平, 山岸秀一, 加島智子, プログラム読解中の注視箇所分析支援システムの開発, 2015 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会講演論文集, 講演ID:39, pp.115-116 (2015年7月18日, 広島市立大学, 広島県広島市).
- ⑱ 松本慎平, 山岸秀一, 加島智子, プログラミング読解学習教材の適応提供システム, 2015年度人工知能学会全国大会(第29回)講演論文集, 1N2-4 (2015年5月30日-6月2日, 公立ほこだて未来大学, 北海道函館市).
- ⑲ 花房亮, 山岸秀一, 松本慎平, 加島智子, 機械学習処理に基づいたプログラミング読解中の視線軌道の自動分類, 2015年度人工知能学会全国大会(第29回)講演論文集, 3N3-2 (2015年5月30日-6月2日, 公立ほこだて未来大学, 北海道函館市).
- ⑳ 杉本稜, 松本慎平, 加島智子, 山岸秀一, プログラム読解学習支援システムの開発とプログラムコードの困難度定量化, 2014年度教育システム情報学会学生研究発表会中国地区講演論文集, P01, pp.119-120 (2015年2月28日, 広島大学東広島キャンパス, 広島県東広島市).
- ㉑ 花房亮, 沖本恒輝, 山岸秀一, 加島智子, 松本慎平, 視線追跡に基づくプログラミング技能評価に関する研究-データ分析ソフトウェアの開発-, 2014年度教育システム情報学会学生研究発表会中国地区講演論文集, A02, pp.105-106 (2015年2月28日, 広島大学東広島キャンパス, 広島県東広島市).
- ㉒ 北川浩也, 松本慎平, 加島智子, 山岸秀一, プログラム読解学習支援システムの開発と技能分析, 第16回IEEE広島支部学生シンポジウム論文集, B-43, In CD-ROM (2014年11月15日-16日, 広島市立大学, 広島県広島市).
- ㉓ 沖本恒輝, 松本慎平, 加島智子, 山岸秀一, 青木真吾, プログラミングトレース学習の思考過程推定法の提案, 第39回教育システム情報学会全国大会講演論文集, SG1-2, pp.309-310 (2014年9月10日-12日, 和歌山大学, 和歌山県和歌山市).
- ㉔ 松本慎平, 山岸秀一, 青木真吾, 竹野英敏, 加島智子, プログラミング学習における視線データを活用した理解度の調査, 平成26年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, OS11-6, pp.1136-1139 (2014年9月3日-6日, 島根大学松江キャンパス, 島根県松江市).
- ㉕ 内藤将, 山岸秀一, 松本慎平, 加島智子, 視線追跡に基づいたアルゴリズム思考過程の推定, 2014 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会講演論文集, pp.29-30 (2014年7月19日, 広島市立大学, 広島県広島市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山岸 秀一 (Shuichi Yamagishi)
 広島工業大学・情報学部・教授
 研究者番号: 10609902

(2) 研究分担者

松本 慎平 (Shimpei Matsumoto)
 広島工業大学・情報学部・准教授
 研究者番号: 30455183

加島 智子 (Tomoko Kashima)
 近畿大学・工学部・講師
 研究者番号: 30581219

青木 真吾 (Shingo Aoki)
 広島工業大学・情報学部・准教授
 研究者番号: 80364042