

令和元年6月18日現在

機関番号：32515

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01086

研究課題名(和文) 仮想化技術を用いたエンタテインメント型プログラミング学習支援システムの研究

研究課題名(英文) Research of entertainment type programming learning support system using virtualization technology

研究代表者

布広 永示 (NUNOHIRO, Eiji)

東京情報大学・総合情報学部・教授

研究者番号：50348421

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、要求分析能力から解決策の提案までの問題解決能力を養うことを目的として、学習者の目的や趣向に合わせて演習問題を生成する教育コンテンツの仮想化を有する問題解決型プログラミング学習支援システム(PPL)を開発した。更に、小学校でのプログラミング教育に着目してPPLシステムを改良し、プログラミング的思考型学習を支援するプログラミング的思考型学習支援システム(PTL)の開発、及び学習効果の評価を行った。アンケート結果から、PPLシステムやPTLシステムは、問題解決能力やプログラミング的思考能力の向上を支援するシステムとして、学習有効があると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プログラミング教育の必要性は、情報系の学生のみではなく、小学校から情報系以外の幅広い大学生に拡大している。また、企業が期待する学生の能力は、プログラミング作成能力だけではなく、問題分析、問題解決などの汎用的スキルがある。このような社会的背景を考えると、プログラミング教育を通して、問題分析能力、問題解決能力、論理的思考能力などを伸ばす教育が必要である。本研究では、このようなプログラミング教育を支援するために、学習者の目的や趣向に合わせて演習問題を生成する機能を持つ学習支援システムを研究したものであり、今後のプログラミング教育を実施する上で、教育分野における学術的・社会的意義は大きいと考える。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop problem solving ability from requirement analysis ability to solution proposal, and we developed the Problem based Programming Learning support system (PPL) with educational content virtualization that generates exercise according to the purpose and intention of the learner. Furthermore, focusing on programming education in elementary school, we improved the PPL system and developed the Programmatic Thinking based Learning support system (PTL) that supports programming thinking type learning and evaluated the learning effect. From the questionnaire results, it is considered that PPL and PTL systems are effective for learning as systems that support improvement in problem solving ability and programming thinking ability.

研究分野：教育工学

キーワード：教育工学 e-ラーニング プログラミング学習支援 エンタテインメント 仮想化 プログラミング的思考

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

プログラミング教育の必要性は、情報系の大学生のみではなく、小学校から情報系以外の幅広い分野の学生に拡大している。また、企業が期待する学生の能力としては、プログラミング作成能力だけでなく、問題分析、問題解決、プレゼンテーションなどの汎用的な能力も必要となっている。このような社会的背景を考えると、プログラミング能力の育成においては、単にプログラム作成能力に絞るのではなく、プログラミング教育を通して、問題分析能力、問題解決能力、解決策提案能力などを伸ばす教育が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、中学・高等学校や大学などの教育機関において、プログラミング教育を通して問題解決能力を身に付けるプログラミング学習モデルの提案とその学習を支援するe-Learningシステムの開発である。本研究では、学習モデルとして、要求分析から解決策の提案までの問題解決能力を養うことを目的とする。そして、その目的を達成するための支援システムとして、教育コンテンツを仮想化し、学習者の目的や趣向に合わせて演習問題を構成する教育コンテンツ構成機能を有する問題解決型プログラミング学習支援システム(PPLシステム: Problem based Programming Learning support system)を研究・開発する。

### 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、次の4つの項目を主要な研究テーマとした。

- ・プログラミング能力と問題解決能力の向上のための学習法に関する研究
- ・プログラミング到達能力と演習問題を関連付ける教育コンテンツの仮想化に関する研究
- ・学習者の理解度に対応して演習問題を構成できる教育コンテンツ構成機能に関する研究
- ・学習成果や進捗状況をリアルタイムに評価できる進捗状況確認機能に関する研究

上記、研究項目の内容を次に記述する。

#### (1) プログラミング能力と問題解決能力の向上のための学習法に関する研究

課題分析、プログラム設計、プログラム作成などのプログラミング学習における思考過程と問題分析、解決策提案、論理的思考などの汎用的スキルとの関連性について研究し、プログラミング能力を高めることで汎用的スキルが向上するのか、あるいは汎用的スキルを身に付けることでプログラミング能力が向上するのか、その関連性はどうかなどについて検討する。そして、検討結果から、プログラミング能力と問題解決能力を向上するための学習法や学習モデルについて提案する。

#### (2) プログラミング到達能力と演習問題を関連付ける教育コンテンツの仮想化に関する研究

学習者の目的に合わせたプログラミング学習を実現するために、大学の理系や社会系、あるいは、中学・高等学校などの教育内容の違いを調べ、演習問題の出題方法や出題形式、プログラミング言語の文法やアルゴリズムのレベル、そして、関連知識に関する学習の順序性などの共通化について検討する。次に、共通化した結果を用いて教育コンテンツのひな型を定義し、そのひな型を仮想的な教育コンテンツとして、学習者に対応した演習問題を構成する処理方法を考える。このため、(1)の検討結果を踏まえ、プログラミング能力を達成するために必要な教育コンテンツを整理し、教育コンテンツを構成するために必要な演習問題の種類や内容などについて検討する。

#### (3) 学習者の理解度に対応して演習問題を構成できる教育コンテンツ構成機能に関する研究

学習者の能力や趣向に合わせて教育コンテンツ(演習問題)を構成する機能として、プログラミング演習問題を自動生成する機能を考える。また、択一形式の設問作成に関連する機能として、正答のキーワードを元にして偽答を自動生成する機能を開発する。この機能は、単語をベクトル表現化するWord2Vecを用いて、正答との類似性が高い言葉を抽出して偽答を生成する。次に、演習問題の自動生成処理の研究を進め、(2)の研究成果を用いて、学習者の理解度や学習目的に応じて演習問題を構成する教育コンテンツ構成方法について研究する。

#### (4) 学習成果や進捗状況をリアルタイムに評価できる進捗状況確認機能に関する研究

学習者の学習効率や進捗度を向上させるためには、学習者の学習状況や問題点を正確に捉え、学習者の状況に合ったサポートが必要である。そこで、学習者の学習進捗状況をリアルタイムに集計して進捗度や問題点を把握することで、学習者の理解状況に応じたサポートを実現できる学習支援機能について研究する。

### 4. 研究成果

#### 【平成27年度】

平成27年度は、「プログラミング能力と問題解決能力の向上のための学習法」、「プログラミング到達能力と演習問題を関連付ける教育コンテンツの仮想化」に関する研究を進めた。

#### (1) プログラミング能力と問題解決能力の向上のための学習法

与えられた問題に対して、問題の理解、問題の分析、解決策の詳細化、解決策の提案の順に、問題の解決策を立案していくことで、問題解決能力を身に付ける問題解決型のプログラミング学習法を検討した。次に、その学習を支援する e-Learning システムとして PPL システムの試作版を開発した。また、解決策をフローチャートで表現するために、プログラムの流れとデータの変化を図で表す手法として Problem Break-down チャートを検討し、PPL システムに実装した。

#### (2) プログラミング到達能力と教材を関連付ける教育コンテンツの仮想化

教育コンテンツの構成を仮想的に定義する演習問題のひな型を検討し、そのひな型に対して、学習者の到達レベルに応じた問題文や設問文を関連付ける教育コンテンツの仮想化について検討した。また、(1)の結果から、問題解決型プログラミング学習の流れと問題文・設問文の構成についての検討も進めた。

#### 【平成28年度】

平成28年度は、「プログラミング能力と問題解決能力の向上のための学習法」、「学習者の理解度に対応して演習問題を構成できる教育コンテンツ構成機能」、「学習成果や進捗状況をリアルタイムに評価できる進捗状況確認機能」に関する研究を進めた。次に、研究成果である学習法や PPL システムの機能を評価するため、東京情報大学 総合情報学科の学生に対して、アンケートなどを実施した。

#### (1) プログラミング能力と問題解決能力の向上のための学習法

課題分析、プログラム設計、プログラム作成などのソフトウェア工学における設計手法をプログラミング学習に適応する学習法が、演習問題を理解してプログラミング作成に至る学習に効果があるかについて評価した。PPL システムを利用した学生と利用しない学生の問題分析能力を評価した結果では顕著な差は見られなかったが、本学習法や PPL システムに関するアンケート結果から、演習問題を分析してプログラミング作成に至るまでの学習過程を理解し、問題の詳細化の必要性や詳細化手法の認識に対して学習効果があると確認できた。

#### (2) 学習者の理解度に対応して演習問題を構成できる教育コンテンツ構成機能

学習者の能力や趣向に合わせて教育コンテンツのひな型からプログラミング演習問題を自動生成する機能として、択一形式の設問を生成する主要な機能である正答のキーワードを元にして偽答を自動生成する機能を開発した。この機能は、単語をベクトル表現化する Word2Vec を用いて、正答との類似性が高い言葉を抽出して偽答を生成する。偽答としての質についての改善は必要であるが、生成処理の実用性については確認できた。

#### (3) 学習成果や進捗状況をリアルタイムに評価できる進捗状況確認機能

学習者の学習進捗状況をリアルタイムに集計して進捗度や問題点を把握することで、学習者の理解状況に応じたサポートが実現できる学習機能についての検討を進めた。

#### 【平成29年度】

平成29年度は、教育コンテンツの仮想化及び教育コンテンツ構成機能を実装するための主要な機能である「学習者の学習レベル(理解度)に応じた演習問題(学習コンテンツ)自動生成機能」と「学習成果や進捗状況をリアルタイムに評価できる進捗状況確認機能」の開発を進めた。

#### (1) 学習者の学習レベル(理解度)に応じた演習問題(学習コンテンツ)自動生成機能

学習者の能力や趣向に合わせてプログラミング演習問題を自動生成する演習問題自動生成機能の主要な処理として、演習問題のひな型から学習者の学習レベルに応じて、問題文と設問文を自動生成する問題設問文生成処理と設問文の解答欄に用いる偽答を自動生成する偽答生成処理の開発を進めた。次に、演習問題自動生成機能の有効性を評価するために、システム設計関連の講義を受けていない1年生とシステム設計関連の講義を受けている2,3年生の2つのグループにPPLシステムを使用して貰い、アンケート評価によって、問題解決型学習の理解状況の差や学習レベルに応じた演習問題の難易度の変化について調べた。「PPLシステムを利用することで、与えられた問題を詳細化していく能力が高まると思いますか?」というアンケートでは、1年生、2,3年生の両学生において良い評価が得られた。この結果から、本機能は、与えられた問題を段階的に詳細化して問題を解決する問題解決型学習の流れの理解に対して効果はあると考える。また、「演習問題の難易度は、3段階(高・中・低)に変化したと思いますか?」というアンケートにおいても、1年生、2,3年生の両学生において良い評価が得られた。この結果から、学習レベルに応じて演習問題を生成する機能は、試作段階ではあるが実装出来たと考える。

#### (2) 学習成果や進捗状況をリアルタイムに評価できる進捗状況確認機能

学習者の学習進捗状況をリアルタイムに集計して進捗度や問題点を把握することで、学習者の理解状況に応じたサポートが実現できる学習機能について研究を進めた。学習履歴管理機能については、ほぼ予定通り実装出来たが、見栄えなど、インターフェースの改善が必要と考えられる。

## 【平成30年度】

平成30年度は、本研究の最終年度である。本年度は、「プログラミング能力と問題解決能力の向上のための学習法に関する研究」を発展させて、「プログラミング的思考型の学習法」を提案し、プログラミング的思考型学習を支援するプログラミング的思考型学習支援システム(PTLシステム: Programming Thinking based Learning support system)を開発した。また、PPLシステムの教育コンテンツ構成機能や進捗状況確認機能に対する改良も進めた。

### (1) プログラミング能力と問題解決能力の向上のための学習法

小学校でのプログラミング教育必須化という社会的背景から、学習者の対象を小学生に広げ、演習問題として、料理などの身近な社会活動に関わる内容を取り入れた。小学校でのプログラミング教育の学習法としては、「一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけばより意図した活動に近づくのか」という能力を伸ばすプログラミング的思考型学習について検討した。次に、PPLシステムを改良し、プログラミング的思考型学習を支援する PTL システムの開発を進め、学習効果を評価した。PTLシステムについては、研究を継続して小学校のプログラミング教育に活用していく予定である。また、問題解決するための能力を訓練するためのツールとして、システム設計技術に基づく実用的な問題解決のための教育フレームワークと動画教材に関するフレームワークの適用性について提案・評価した。更に、プログラミング作成能力の向上を支援するプログラミング学習支援システム(CAPTAINシステム: Computer Aided Programming Training And Instruction system)の研究・開発も継続して行った。

### (2) 学習者の理解度に対応して教材を構成できる教育コンテンツ構成機能

PPLシステムの品質向上として、教育コンテンツ構成機能の主要な機能である偽答生成処理の精度向上を実施した。次に、演習問題のひな型から学習者の理解度に適合する難易度の問題文と設問文を生成する演習問題自動生成機能の改良を進めた。

### (3) 学習成果や進捗状況をリアルタイムに評価できる進捗状況確認機能

PPLシステムのユーザインタフェースの改善と共に、小学生向けの表示方法を検討し、PTLシステムのユーザインタフェースの開発を進めた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 14件)

布広永示、岸本頼紀、山口崇志、菅田茂生、大城正典、問題解決型プログラミング学習支援システムの開発、東京情報大学研究論集、査読有、Vol.22、No2、pp. 3 12

大城正典、岸本頼紀、布広永示、プログラミング学習支援システム CAPTAIN のための自動ダミー断片処理、東京情報大学研究論集、査読有、Vol.22、No2、pp. 13 21

菅田茂生、山口崇志、狩野達哉、岸本頼紀、布広永示、プログラミング学習に向けたビデオからの手順とリソース抽出に基づく教育手法、東京情報大学研究論集、査読有、Vol.22、No2、pp. 101 113

Ryosuke Kamikura, Yorinori Kishimoto, Takashi Yamaguchi, Masanori Ohshiro, Shigeo Tsukuta, Eiji Nunohiro, Expansion of Automatic Practice-Problem Creating Function in PPL system, Proceeding of the Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2018 (AROB 23rd 2018)、査読有、ISBN 978-4-9907582-4-0、ISSN 2185-3797、pp. 421 426

Masanori Ohshiro, Yorinori Kishimoto, Eiji Nunohiro, Automatic incorrect program fragments handling for programming training system CAPTAIN, Proceeding of the Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2018 (AROB 23rd 2018)、査読有、ISBN 978-4-9907582-4-0、ISSN 2185-3797、pp. 431 433

Yorinori Kishimoto, Masanori Ohshiro, Eiji Nunohiro, A considerations of characteristic analysis about program source written by students in early education course exercises, Proceeding of the Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2018 (AROB 23rd 2018)、査読有、ISBN 978-4-9907582-4-0、ISSN 2185-3797、pp. 431 433

Shigeo Tsukuta, Takashi Yamaguchi, Tatsuya Kano, Yorinori Kishimoto, Eiji Nunohiro, Practical Problem based Programming Learning using video, Proceeding of the Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2018 (AROB 23rd 2018)、査読有、ISBN 978-4-9907582-4-0、ISSN 2185-3797、pp. 434 439

Eiji Nunohiro, Yorinori Kishimoto, Takashi Yamaguchi, Masanori Ohshiro, Shigeo Tsukuta, Development of practice problems generating function in PPL system, Proceeding of the Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2017 (AROB 22nd 2017)、査読有、ISBN 978-4-9907582-3-3、ISSN 2185-3797、pp. 482 487

Yorinori Kishimoto, Takashi Yamaguchi, Masanori Ohshiro, Shigeo Tsukuta, Eiji Nunohiro, An effect of the problem breakdown chart for system development group work exercise, Proceeding of the Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2017 (AROB 22nd 2017)、査読有、ISBN 978-4-9907582-3-3、ISSN 2185-3797、pp. 488 491

Masanori Ohshiro, Takashi Yamaguchi, Yoshihiro Kawano, Eiji Nunohiro, Automatic learning planning systems for programming learning support system, Proceeding of the Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2017 (AROB 22nd 2017)、査読有、ISBN 978-4-9907582-3-3、ISSN 2185-3797、pp. 492 495

Shigeo Tsukuta, Tatsuya Kano, Takashi Yamaguchi, Eiji Nunohiro, Online Peer Instruction System for Flipped Classroom, Proceeding of the Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2017 (AROB 22nd 2017)、査読有、ISBN 978-4-9907582-3-3、ISSN 2185-3797、pp.496 499

Eiji Nunohiro, Yorinori Kishimoto, Takashi Yamaguchi, Masanori Ohshiro, Shigeo Tsukuta, Development of Problem-Based Programming Learning System using Stepwise Refinement, Proceeding of the Twenty-First International Symposium on Artificial Life and Robotics 2016 (AROB 21st 2016)、査読有、ISBN 978-4-9907582-2-6、ISSN 2185-3797、pp. 289 294

Yorinori Kishimoto, Eiji Nunohiro, Takashi Yamaguchi, Masanori Ohshiro, Shigeo Tsukuta, An expression method of hierarchical structure diagram for problem-based programming learning system, Proceeding of the Twenty-First International Symposium on Artificial Life and Robotics 2016 (AROB 21st 2016)、査読有、ISBN 978-4-9907582-2-6、ISSN 2185-3797、pp. 295 298

Shigeo Tsukuta, Shota Sekikawa, Takashi Yamaguchi, Yorinori Kishimoto, Eiji Nunohiro, Application of Cloud-based Educational Infrastructure on Exercises of Information Technologies, Proceeding of the Twenty-First International Symposium on Artificial Life and Robotics 2016 (AROB 21st 2016)、査読有、ISBN 978-4-9907582-2-6、ISSN 2185-3797、pp. 299 302

〔学会発表〕(計 3件)

上倉諒佑、小久保証宏、布広永示、PPL システムにおける偽答生成機能の開発、教育システム情報学会、2017

佐藤亮哉、岸本頼紀、大城正典、布広永示、PPL システムにおける演習問題生成機能の開発、教育システム情報学会、2019

大塚哲也、岸本頼紀、岡田大和、布広永示、PTL システムの開発、教育システム情報学会、2019

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

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：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6．研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：大城正典  
ローマ字氏名：OHSHIRO, masanori  
所属研究機関名：東京情報大学  
部局名：総合情報学部  
職名：准教授  
研究者番号（8桁）：80364959

研究分担者氏名：岸本頼紀  
ローマ字氏名：KISHIMOTO, yorinori  
所属研究機関名：東京情報大学  
部局名：総合情報学部  
職名：准教授  
研究者番号（8桁）：70425130

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：  
ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。