

令和 6 年 6 月 28 日現在

機関番号：32639

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19941

研究課題名（和文）演習環境とデジタル教科書システムを統合したソフトウェア技術学習プラットフォーム

研究課題名（英文）An Integrated Software-Technology Learning Platform with Digital Textbooks and IDEs

研究代表者

田中 昂文（Takafumi, TANAKA）

玉川大学・工学部・講師

研究者番号：30851274

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、モデリングおよびプログラミングを行う開発環境とデジタル教科書を統合し、各部における学習者の活動ログを統一的に蓄積、分析可能な学習基盤を開発し、資料閲覧を中心とした基礎知識の習得に関する学習活動と実践的な技能習得の過程が相互に及ぼす影響を明らかにすることを主たる目的として実施した。開発した学習基盤を活用し、ペアモデリング演習の効果を向上させる支援手法を開発することができた。また、プログラミング演習において個々の学習者に適した問題選択を支援する手法や、解答に先だつて復習すべき項目を提示する手法と、それらを実装したシステムを開発することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、デジタル教科書とモデリングおよびプログラミングの統合学習基盤を開発することにより、ソフトウェア工学教育の改善に寄与する。学習者の活動を詳細に分析する基盤を開発したことで、個別最適な学習支援を可能にする。さらに、基礎知識と実践的技能的習得が相互に影響し合う過程を明らかにすることで、学習者にとって優先度の高い学習項目および学習活動を推薦を可能にし、効率的な学習活動の実現に寄与する。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to integrate a development environment for modeling and programming with digital textbooks, developing a learning platform that can uniformly store and analyze activity logs of learners in various sections. The primary goal was to elucidate the mutual impacts of learning activities centered on material review for basic knowledge acquisition and the process of acquiring practical skills. Additionally, using the developed learning platform, we were able to devise methods to enhance the effectiveness of pair modeling exercises. In programming exercises, we developed methods to support learners in choosing problems suited to their individual needs and systems that suggest items to review before answering, enhancing the overall learning experience.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：プログラミング教育 モデリング教育 学習ログ 学習分析

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 教育工学分野において、デジタル教科書および学習ログを活用した LA 技術が注目され、学習者の効果的な知識習得に関する研究が実施されている。

(2) ソフトウェア技術の学習には、方法論やアルゴリズム等の知識習得と、演習による技能習得の両方が不可欠である。また、ソフトウェア技術は、モデリングとプログラミングのように、異なる工程の知識、技能が相互に関連している例が数多く存在する。そのため、関連する知識、技能の習得状況が学習過程および学習効果に影響すると考えられる。

(3) しかしながら、大学等で実施される初学者向けの授業は、ほとんどが単独の工程を対象としており、他工程の知識、技能の習得状況が学習に与える影響は十分に明らかになっていない。また、教科書等を用いた学習ログと、開発環境等を用いた演習活動のログデータが分散しており、一元的な分析が困難である。

2. 研究の目的

本研究では、以下のリサーチクエスチョンを設定し、これらに対する回答を目指す。

RQ1: モデリングおよびプログラミングの学習において、各々に関する知識と技能の習得状況および学習過程の特徴が、互いの学習効果、学習過程にどのような影響を与えるか？

RQ2: 学習者の知識、技能の習得状況および学習過程の特徴に適した効果的な学習方法は何か？

リサーチクエスチョンへの回答のため、モデリングおよびプログラミング学習支援のための開発環境とデジタル教科書システムから構成される学習支援基盤を開発し、様々な学習活動から学習ログを収集、分析可能な環境を整備する。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、知識習得に用いるデジタル教科書、技能習得に用いるモデリングおよびプログラミング演習環境から一元的に学習ログを収集、分析することで、RQ1 および RQ2 への回答を目指す。従来の学習支援システムが抱える課題と本研究による解決策を表 1 に示す。

表 1 従来の学習支援システムが抱える問題と本研究による解決策

| 従来の学習支援システムが抱える課題 | 本研究による解決策 |
|--|---|
| 【独立したシステムによる学習ログの分散】 ● 知識習得、モデリング演習、プログラミング演習のシステムが独立していることによる、学習ログの分散 | ● 各種学習支援システムを統合したログ蓄積、分析基盤を開発 (RQ1) ● 知識習得、技能習得および工程をまたいだ統一的な学習ログの蓄積、管理 (RQ1) |
| 【知識習得と技能習得の関連が不明】 ● 学習者が何を学ぶと、成果物やその作成過程がどのように変化するかが不明 ● 各工程単独および複合的な学習において、効果的な学習順序、方法が不明 | ● 統合された学習ログに対し、AI によるビッグデータ分析を適用し、知識、技能習得過程のパターンを抽出 (RQ2) ● 分析結果に基づく効果的な学習内容、学習方法を推薦 (RQ2) |

(2) 表 1 の解決策を実現するため、図 1 に示すソフトウェア技術学習基盤を開発する。デジタル教科書システム、モデリング演習システム、プログラミング演習システムから学習ログを収集、分析できる環境を構築する。

4. 研究成果

(1) モデリング演習環境 KIFU とデジタル教科書の学習ログを活用したペアモデリング演習支援
筆者が以前から開発を続けているモデリング演習環境 KIFU は、UML クラス図を作図するためのシステムである。モデルの編集における細粒度な操作ログを収集し、編集過程を再現することができる。また、正解例と学習者のモデルの類似度を評価する機能を持ち、編集中のモデルの評価の変動を計測することができる。この研究では、学習者がペアを組み、あらかじめ作成したモデルについて議論しながら誤り箇所の修正を行うペアモデリング演習に対して、独自のペア編成手法を適用し、その有効性を評価した。

評価にあたり、ペアでの議論中およびその後のモデル修正時間におけるモデルの編集ログと、デジタル教科書システムに掲載したモデリング手法および演習課題の資料に対する閲覧ログを関連付けて分析した。その結果、ペアワーク中に改善が多く見られたペアは、資料の演習課題部分だけでなく、モデリング手法の基礎に関するページも閲覧しながら議論と修正を行っていたことが明らかになった。

この成果から、本研究で提案する学習基盤を用いることで、演習中に必要な資料を確認するこ

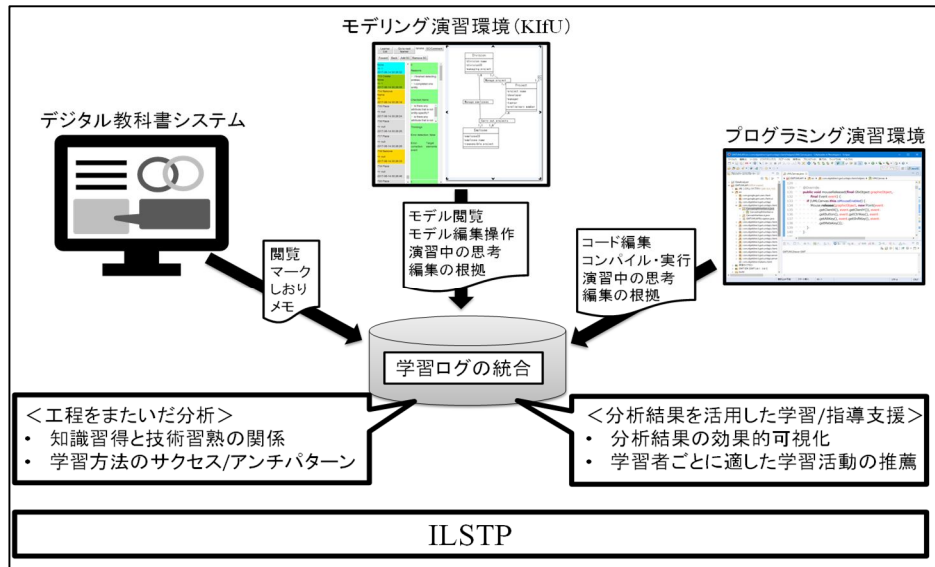


図1 本研究で開発するソフトウェア技術学習基盤の概要

とが成果物の改善につながることをエビデンスに基づいて示すことが可能になると示唆された。

(2) デジタル教科書システム EBook の開発

本研究で、資料閲覧についての学習ログとして収集する主要な情報は、閲覧した資料、閲覧者、閲覧ページ、閲覧時刻である。よって、本研究で使用するデジタル教科書は、これらのログを収集し、いつでも分析可能である必要がある。また、学習者が日常的に学習に使用するため、一定のユーザビリティを確保する必要がある。しかしながら、企業が運営する多くの既存のデジタル教科書システムは、学習ログを取得、分析する場合にサービス運営者に対する手続きが必要であるため、即時の分析が難しいという問題があり、本研究が提案する学習基盤に統合するうえで問題となる。そこで、本研究では独自のデジタル教科書システム EBook を開発した。EBook は PDF 形式の資料を表示できる Web アプリケーションであり、知識学習のログとして必要なデータを収集することが可能である。また、学習基盤として大学の授業に導入するため、授業管理、履修者管理等の機能を持つ。また、EBook 上に登録した資料には、各ページに学習項目のタグを付与することができる。EBook の資料閲覧画面を図 2 に示す。資料表示のユーザインタフェースは、ブラウザ上で PDF ファイルを表示するためのライブラリである PDF.js を拡張して開発した。PDF.js は Mozilla Firefox ブラウザの PDF ビューアに使用されており、これをベースに開発した EBook は、資料閲覧について十分なユーザビリティを確保することができた。

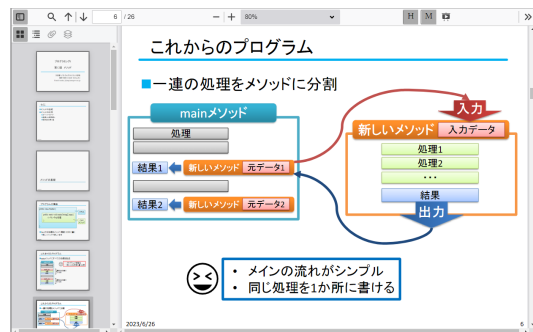


図2 EBook の資料閲覧画面

(3) プログラミング学習ログ収集システム colog と、その可視化システム colog-view の開発

統合開発環境を用いたプログラミング演習におけるプログラム編集およびプログラムの実行と実行結果についてのログデータを収集するため、コーディングログ収集システム colog を開発した。colog は、統合開発環境である IntelliJ IDEA 用のプラグインであり、入力カーソルの移動をトリガーとしてコードの変更を検出し、編集の種別、変更箇所、変更部分の文字列、時刻等のデータを JSON 形式のログファイルに記録する。また、プログラム実行時には、コンパイル結果および実行結果を同様に記録する。演習終了時に、学習者にプログラムとともにログファイルを提出させることで、細粒度なプログラム作成過程のログデータを収集することができる。また、収集したログデータを可視化用アプリケーション colog-view に入力することで、Web 上で編集過程を再現することができる。

colog および colog-view を活用したプログラミング学習支援の一環として、初学者のエラー修正力を向上させる手法を提案した。本手法では、学習者がエラー修正の演習中に行き詰まった際、類似したエラーの発生から修正に成功するまでの過程を閲覧させることで、学習者の問題解決を支援する。この時、演習問題とは異なるプログラムにおける類似したエラーの修正過程を提示することで、エラー修正アプローチの応用力を向上させる。本手法の評価実験にあたり、複数のエラーを含むプログラムと要求仕様から、エラーを修正する問題（以下、エラー修正問題）を

4問用意した。また、それらの4問とは無関係のプログラムにおいて、著者がエラー修正を行った過程のデータを colog-view に登録し、実験群が閲覧できるように準備した。基礎プログラミングを学ぶ学習者30名を実験協力者とし、実験群15名と統制群15名にグループ分けして4問エラー修正問題に取り組んでもらった。この4問は、事前テスト、練習1、練習2、事後テストから構成され、実験群が練習1と練習2に取り組む際のみ提案手法を使用することができる。

表2は、エラー修正に成功した割合と収集された各種ログデータの件数を示している。また、図3は平均変更文字数のグラフである。表2と図3から、実験群と統制群でエラーの修正率は明確な差がないものの、平均変更文字数は提案手法を導入している演習の方が少ないことがわかった。このことから、提案手法によってエラー修正率を変化させず、修正にかかる編集量を減少させることができ、エラー修正を効率化することができたと結論付けた。

(4) デジタル教科書と連携した課題管理システム Exa の開発とその学習ログを活用したプログラミング学習支援システム

プログラミング演習におけるより詳細な学習ログ収集のため、課題の管理、提示、答案提出、採点等を総合的に支援し、学習ログを収集できる課題管理システム Exa を開発した。Exa の課題閲覧画面を図4に示す。Exa は EBook と共通した学習項目タグを持ち、これらを各演習課題に付与することで、EBook のページと演習課題を紐づけすることを可能にした。

EBook と Exa を活用し、各課題が個々の学習者にとって「難しい」か否かを推定する手法を提案した。プログラミング演習の難しさは、その問題で使用する命令とその動作の対応やアルゴリズムなどの知識事項の充分性と、学習者が対応できるプログラムの規模や複雑性に依存する。知識事項に関しては、課題に紐づけられた学習項目のタグから関連する資料のページを特定し、その学習者の該当ページの累計閲覧時間を計算し、知識の充分性の指標とする。また、課題の複雑性への対応についてはコードメトリクスを主な指標とすることとし、過去に解答した課題のメトリクスと取り組もうとしている問題のメトリクスを比較することで、その学生にとっての課題が複雑であるか否かを判断する。

そのうえで、知識については学習が不足していると考えられる学習項目と、それについて記述された EBook の資料を推薦する。また、課題の複雑性に対応することが難しいと判定された場合は、過去に提示された課題の中から、同様の学習項目のタグを持ちつつ複雑性が少ない課題を先に解く、または見返すように推薦する。

提案手法の評価実験を行った結果、難易度判定と復習項目の提示が解答に有効に働く事例が見受けられたものの、過去の演習解答の分析結果から予想よりも多くの問題が難しいと判定される問題が明らかになった。今後は、難しさの判定精度の向上や、復習すべき項目やその学習方法についても学習者に合わせて提案できるように拡張を続けていきたい。

表2 エラー修正支援の実験結果

| 指標 | 事前 | 練習1 | 練習2 | 事後 |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| 修正率 | 39.3% | 65.8% | 18.3% | 31.7% |
| 実行回数 | 11.9 | 8.2 | 9.7 | 10.9 |
| カーソル移動回数 | 27.0 | 9.3 | 14.8 | 35.8 |
| 変更文字数 | 799.7 | 208.4 | 480.3 | 789.7 |
| 修正率 | 41.3% | 65.2% | 25.9% | 35.7% |
| 実行回数 | 10.2 | 7.6 | 9.1 | 10.1 |
| カーソル移動回数 | 25.4 | 15.3 | 27.4 | 30.5 |
| 変更文字数 | 580.6 | 407.1 | 872.3 | 524.7 |

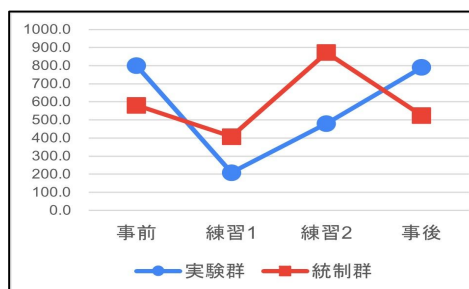


図3 平均変更文字数の変化

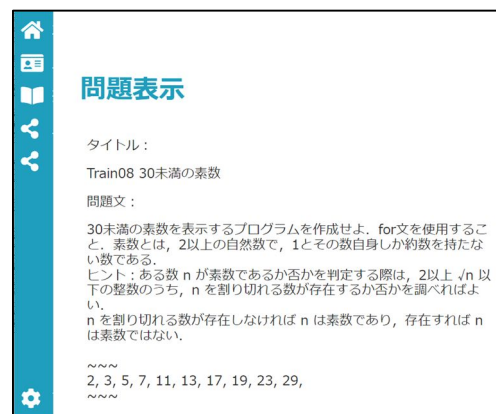


図4 Exa の課題閲覧画面

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 1件）

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 Nishio Toshiaki, Mouri Kousuke, Tanaka Takafumi, Okamoto Masaru, Matsubara Yukihiro | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Effects of Pairing Methods Based on Digital Textbook Logs and Learner Artifacts in Conceptual Modeling Exercises | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Distance Education Technologies | 6. 最初と最後の頁 1~16 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4018/IJDET.296703 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 Toshiaki Nishio, Kousuke Mouri, Takafumi Tanaka, Masaru Okamoto, Yukihiro Matsubara | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Effects of Pairing Methods Based on Digital Textbook Logs and Learner Artifacts in Conceptual Modeling Exercises | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Distance Education Technologies | 6. 最初と最後の頁 1-16 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4018/IJDET.296703 | 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13件（うち招待講演 0件／うち国際学会 8件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hatsune Ochiai, Takafumi Tanaka |
| 2. 発表標題 Programming Learning Support System using Digital Textbook and Exercise Management Systems |
| 3. 学会等名 Proc. of the 2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2023) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kouki Asakawa, Takafumi Tanaka |
| 2. 発表標題 Visual Programming Environment for Learning Functional Programming Using Unit Test |
| 3. 学会等名 Proceedings of the 12th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments (LTLE2022) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 Kana Suetake, Takafumi Tanaka |
| 2 . 発表標題 A Support System for Programming Exercises Using Test-first Approach |
| 3 . 学会等名 Proceedings of the 12th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments (LTLE2022) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 Takahiro YAMAZAKI, Takafumi TANAKA, Atsuo HAZEYAMA, Hiroaki HASHIURA |
| 2 . 発表標題 A Tool for Supporting Round-Trip Engineering with the Ability to Avoid Unintended Design Changes |
| 3 . 学会等名 Proceedings of the 11th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD 2023) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 Takato OKAJIMA, Takafumi TANAKA, Atsuo HAZEYAMA, Hiroaki HASHIURA |
| 2 . 発表標題 SpiderTailed: A Tool for Detecting Presentation Failures Using Screenshots and DOM Extraction |
| 3 . 学会等名 Proceedings of the 14th International Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering (JCKBSE 2022) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 Kouki Asakawa, Takafumi Tanaka |
| 2 . 発表標題 Visual Programming Environment for Learning Functional Programming Using Unit Test |
| 3 . 学会等名 12th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments (LTLE2022) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kana Suetake, Takafumi Tanaka |
| 2. 発表標題 A Support System for Programming Exercises Using Test-first Approach |
| 3. 学会等名 12th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments (LTLE2022) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 岡嶋 隆人, 田中 昂文, 樫山 淳雄, 橋浦弘明 |
| 2. 発表標題 スクリーンショット抽出とDOMを利用したPresentation Failure検知手法の提案 |
| 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, 2022.3. |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 杉本 晃佑, 田中 昂文 |
| 2. 発表標題 初学者向けノードベースプログラミング言語 sine の開発 |
| 3. 学会等名 第84回 情報処理学会全国大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山崎 貴弘, 田中 昂文, 樫山 淳雄, 橋浦 弘明 |
| 2. 発表標題 クラス図とソースコード間のラウンドトリップエンジニアリング支援ツール |
| 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, 2022.1. |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takafumi Tanaka, Ikki Fujie, Yoshiki Kakara, Hiroaki Hashiura |
| 2. 発表標題 A Visualization System of Program Behavior by Animations for Novice Learners |
| 3. 学会等名 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communication, and Signal Processing 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉田優介, 橋浦弘明, 田中昂文, 櫛山淳雄, 高瀬浩史 |
| 2. 発表標題 Annotationを利用したUMLとソースコード間のトレーサビリティリンク作成手法の提案 |
| 3. 学会等名 第207回 情報処理学会ソフトウェア工学研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 尾崎弘幸, 橋浦弘明, 田中昂文, 櫛山淳雄 |
| 2. 発表標題 トレース表を用いたプログラミング指導 対象者発見手法の提案 |
| 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, 2020.9. |
| 4. 発表年 2020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 |
|---------|---------|
|---------|---------|