

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：20106

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00492

研究課題名（和文）知識の定着・活用・創発を一元的に図る学習支援システム開発

研究課題名（英文）Development of Integrated Learning-Support System for Knowledge Acquisition, Utilization, and Collaborative Creation

研究代表者

小松川 浩（Komatsugawa, Hiroshi）

公立千歳科学技術大学・理工学部・教授

研究者番号：10305956

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：初等中等から大学初級を想定した数学・情報の知識マップを構築した。さらに、知識マップの項目毎に、知識の定着・活用・応用という難易度レベルで分類されるeラーニング演習教材を整備した。そして一連の教材を項目単位でCBT機能を用いて学習できる適応型学習支援システムを開発した。さらに、授業開始時に予習状況をCBTで確認してから知識活用向けの個人課題学習と創発を意識した共同学習を行う授業セットを複数週反復させて、知識定着・活用・創発を段階的に図り、目標を達成させる完全習得型の反転授業モデルを構築した。本モデルは、本学の基礎から専門教育課程に至る情報・数学関連の複数科目群で高い教育効果を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、知識の体系性を意識した学びの中で、学習者個々の学習状況に応じた学びの展開を図り、着実に知識の定着を図ると同時に、学習者に主体的・自律的に学ぼうとする意識を継続・向上させることを狙った授業設計や学習支援の方策を提案している。これらを情報システムで実現することで、研究者以外の教育関係者ならびに教育機関でも利活用可能な教育システムの提供を図ることができた点で、社会的な意義が大きい。また、特に知識の定着を伴わないアクティブラーニングの形骸化という教育的な課題を解決できる方策として有用性が高いと考えている。

研究成果の概要（英文）：We constructed knowledge map of information and mathematics from compulsory to higher education, and arranged e-learning drills that are classified into three categories for knowledge acquisition, utilization, and application on basis of difficulty. We developed adaptive learning system for a learning unit with a series of learning materials. Furthermore, we constructed flip from learning model in which learners acquired, utilized, and created knowledge through the personal assignment and the collaborative classroom managed in three weeks, and attained a learning objective. The proposed model was evaluated through a case study in several kinds of lectures for information and mathematics managed in both fundamental and specialized courses in our university. We confirmed educational effectiveness of the proposed model, and developed system.

研究分野：教育工学

キーワード：CBT 適応型システム 学習支援 eラーニング

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

社会活動のグローバル化の流れの中、様々な知識を活用して主体的に問題解決にあたる能力(コンピテンシー)の養成が求められている。また、ユニバーサル化時代の大学教育の質保証の観点で、初等中等教育から専門課程に至る教育課程を体系化し、学生の学びを通じて着実に知識修得・活用を図れる教育改革も求められている。主体的な問題解決については、学習者が共同で学び合うアクティブ・ラーニングが教育手法として注目されるが、教え込まない手法の特性上、学生が修得できる知識量は減る問題点も指摘される。このため、授業外での知識定着(反転学習)と組みあわせた教育実践事例も増えている。教育課程や知識体系を意識すると、学習者が反転で学習した既修知識をアクティブ・ラーニングで効果的に活用し、かつ自ら学ぶ知識体系を意識しながら新たな知識の創発を図れる実効的な授業設計が重要となる。そして、社会への質保証の観点では、特定のコンピテンシー養成を目指す複数の科目群(基礎から専門)が必要な知識群を共有した上での体系的なカリキュラムマネジメントが重要となる。

### 2. 研究の目的

本研究は、こうした背景を踏まえ、特定の知識領域でのコンピテンシー養成に関係する複数の科目群を対象に、知識の定着・活用・創発を一元的に支援できる教育システムの確立をテーマ設定とした。

高等教育での ICT 活用は、学部教育の随所で行われ始めている。例えば、初年次やリメディアルを中心に知識定着のための CBT 活用は一般的になっている。また、社会で求められる高次の能力(思考・判断・表現・協調的な問題解決力)は、パフォーマンス評価の必要性から、学習者の課題を蓄積し、それを評価するポートフォリオシステムが試行されている。一方、大学教育改革の流れの中では、学部でのディプロマポリシーに基づくコンピテンシー養成の観点で、知識の定着・活用・発展・創造(創発)といった修得プロセスを一体的に扱うことが必要となる。また、社会に対する質保証の観点で、こうしたプロセスで得られた学習成果を一元的に可視化することも重要である。しかし、これらを実現できる情報システムは一般的には確立されていない。本研究では、学部レベルでのコンピテンシー養成を念頭に、対応する特定知識領域を踏まえた知識マップを持つ情報システムを整備・活用して、一連の修得プロセスの実施と学習成果の可視化の可能性を実証的に探ることとした。

### 3. 研究の方法

情報・数学を対象に知識マップの整備と関連する CBT 教材の割り振りを行った。その上で、CIST-Solomon をレガシーシステムとして、知識マップを介して学習を行うシステムを整備した。初年次系を中心として反転学習を想定した授業実践を図り、知識定着や知識活用の効果検証を行った。次に、学年進行で必要となる高次のコンピテンシー養成を想定して、様々な学習素材を知識マップ上に蓄積・公開・共有できる機能を開発した。専門課程での科目群を中心に、アクティブ・ラーニングを想定した授業を通じて利活用を図った。一連の実証研究を通じて、特定のコンピテンシーの軸に沿って、同一の知識マップを介して知識の定着・活用・創発の支援を図り、かつ学習成果の可視化を図れるかを検証した。

### 4. 研究成果

#### (1) 情報・数学の知識マップ(データベース)及び関連する CBT 教材の整備

情報は資格系(基本情報処理対策及びプログラミング)を意識し、数学は教員養成系の数学を意識し、高校で取り扱う知識レベルから大学初級までを範囲とした。知識階層は4階層とした。第1階層は、数学、情報とする。第2階層は、各知識領域の大分類とし、例えば情報ではプログラム、アルゴリズム、情報理論等である。そして第3階層を特定の知識領域と関連するコンピテンシーと位置づけ、第4階層を関連する知識群とする。一連の知識体系は、情報システムで扱えるようにデータベース化した。

その上で、知識マップの第4階層(知識項目)に、CBT用の教材を割り振った。なお CBT 用の教材については、平成28年度大学教育再生加速プログラム(AP事業)の採択を受けて、全学的に Item Response Theory(IRT)ベースでの稼働を想定した CBT 教材の拡充を進めており、本研究では、この成果を活用することとした。

#### (2) 適用型 e ラーニングシステムの開発

CIST-Solomon を改良し、知識マップを学習の起点として、第4階層に紐づく CBT を受けられる機能を実装した。先に述べた AP 事業を通じて、CIST-Solomon での IRT ベースの CBT 機能は実装されている。本研究では、この成果を活用し、知識マップのインターフェイスの実装を図った。その上で、知識定着に向けた演習の提示ロジックについて検討した。本研究では、主に3つのロジックを整備した。具体的には、プレテストを受けた後に知識マップ上の教材をすべて閲覧しながら、自分で学習するようにした。プレテストを受けた後にシステムが自動的に間違えた問題の難易度近辺の問題を収集して、学習者に提示するようにした。その後、ポストテストを意識して、模擬テストをコンピュータが自動的に生成し、それを受講できるようにした。

上記の CBT とは別に、学習者の学習成果を、知識マップを介して学習者コミュニティで共有・活用できる機能を実装した。具体的には、既存のフォーマットに従って CBT 教材を作る作問機能を実装した。なお、学習者が作った演習と解説内容の質は、学習者相互に学び合う際に重要となることから、作成した教材を相互に評価できる機能（問題評価機能）を実装し、学習コミュニティでの共同学習の質向上を図れるようにした。開発したシステムと知識マップの概要を図 1 に示す。

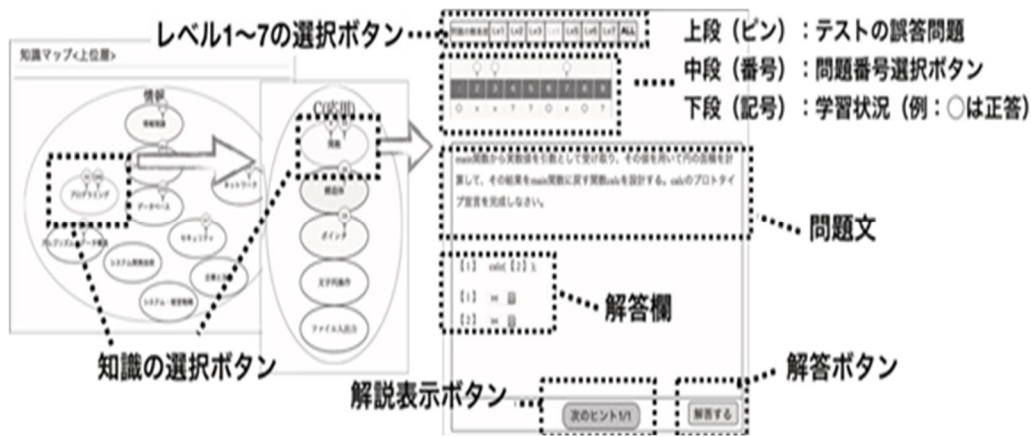


図 1 知識マップと関連する適応型システムの概要

### (3) 反転学修モデルと授業設計

一連の適用型システムと知識マップを活用して、学習者が主体的に課題解決を図るための授業設計を考案した。研究では、複数回の授業で 1 つの単元を扱い、段階的な学習目標に沿って授業展開を図る授業構成を想定している。そこで同一単元内で各授業回の学習目標に沿った予習を毎週行わせ、授業開始時に予習の理解度を確認するテスト（以下、確認テスト）を行うことで、単元全体の学習目標に沿った学びの展開を図るモデルとした。大学での適用を想定して、各学習目標はルーブリックで大きく 3 段階で設定した。各週の授業はルーブリックに対応した実習内容を行い、1 つの単元の学びが通常 3 週程度を想定する。この際、単元の予習教材を段階的な学習目標に沿って構造化した。

本研究提案の適応型システムで、授業時間外にトレーニング機能を介して教材にアクセスできるようにして予習を可能にした。授業内には単元の該当する段階に追従できる予習が行えていることを確認するテストをテスト機能で可能にした。各週の授業に向けて学習者がそれぞれの理解度に応じて予習と復習ができるように、どの週においても単元の段階全てを取り組めるようにした。

予習教材は、単元全体の授業構成を解説する教科書とルーブリックで規定する段階的な学習目標に呼応する学習内容の定着を図るための解説付き演習問題で構成される。ルーブリック 1 とルーブリック 3 は各々に基礎・標準の 2 段階を設け、中間に位置するルーブリック 2 は前後のつながりを考慮して基礎・標準・応用の 3 段階を設けた。結果、演習教材は 7 段階（以下、レベルと呼称）で構造化された。各レベルの問題数を 10 問目安に整備し、後述する C プログラミングの検証授業では、扱う全単元をカバーするために、執筆時点で計 481 問を用意した。

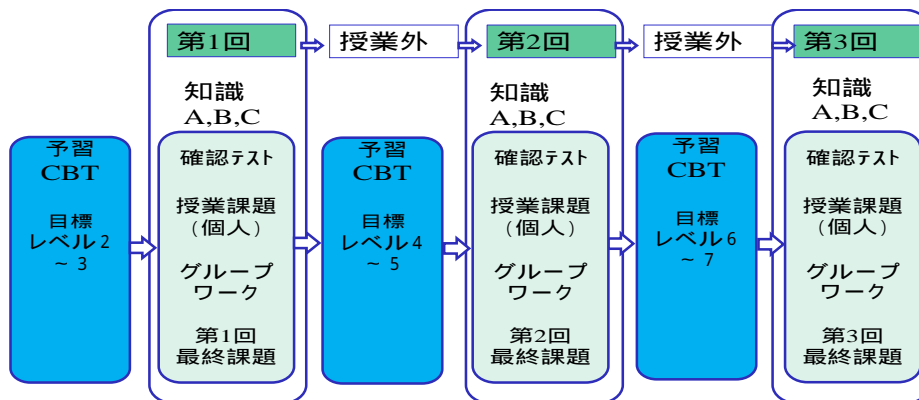


図 2 反転学習モデル

#### (4) 実証評価

情報を中心にした授業実践を通じて、知識定着及び活用に関する効果を調べた。特に、2学年の実証を通じて、本授業デザインの有用性を示すこととした。具体的には、2017年及び2018年の2年間でのCプログラミングの中の「関数」についての結果を示す。図3に、2017年及び2018年、2学年分の第1回～3回までの授業開始時に実施した確認テストの結果を示す。図より分かるように、両年度とも、授業回を増す毎に学習者の知識レベルが向上していることが分かる。特に、レベル3～4を想定している第2週では、それより高い学習者（自律的な学習者）が1週に比べて増加する一方、低い学習者（リメディアル対応の学習者）の混在が確認できる。これに対し、第3回では、概ね知識レベルの低い学習者は減少し、予習段階で本来達成すべき学習目標に達成できている。なお、同様の調査を他科目（アルゴリズムとプログラミング及びJavaプログラミング）でも行った結果、概ね同様の傾向を示した。このように、本授業デザインを活用することで、特定領域・科目内容をある程度超えて、自己調整を図りながら知識定着を図れる様子を確認できた。

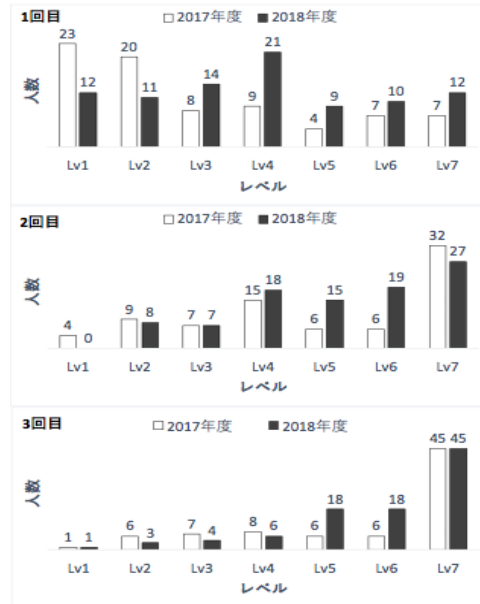


図3 レベルテストの変化

次に、2016年（授業改善前）と2017年及び2018年（授業改善後）の中間試験の結果を図4に示す。試験内容は毎年同じ（毎回回収）で、主に知識に近い内容を見ている。各年度の平均av及び標準偏差stは、2016年度（av=80.3, st=12.5）、2017年度（av=84.6, st=10.7）、2018年度（av=82.9, st=10.5）となった。t検定の結果、2016年と2017年は $p(T \leq t) < 0.05$ （自由度df=148,  $t=-2.331$ ）で有意な差を示し、一方2016年と2018年は全体の得点分布では $p=0.173$ となったが、平均±標準偏差の範囲の学習者の得点分布では $p=0.00369$ , df=118,  $t=-2.96$ で有意な差が見られた。この結果、授業改善前との比較の中でも、基本的な知識の定着・活用が促進されていることが確認できた。

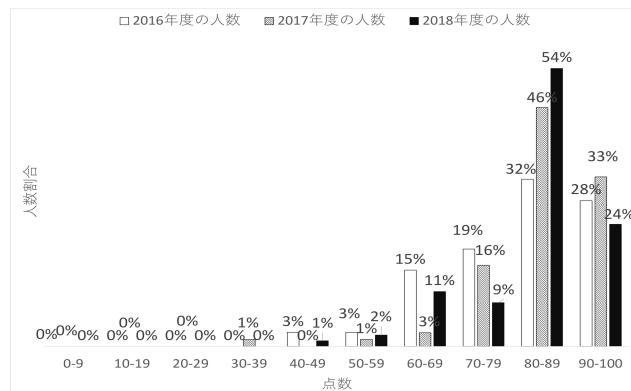


図4 学生のコンピテンシーの変化（年次）

#### (5) コンピテンシーの変化

学習支援システムを活用した授業モデルは、自己調整学習支援のための基礎データの取得が行われた。情報に関しては、科研研究期間中に、学部1年全学必修（情報技術概論）、2年次情報学科の必修（Cプログラミング、Javaプログラミング、アルゴリズム）、3年次情報学科の必修（ソフトウェア工学概論）で運用されるに至った。こうした中で、年次進行に応じて、課題解決型の学習内容になり、アクティブ・ラーニングのグループワークを通じた知識創発型の授業展開が見られた。また学習者の成果物（プログラミングのソースコードやシステム設計図）の蓄積や学習者の振り返りをシステム上で共有できる仕組みを試行して、学習者の成長度合いに応じた学習データの蓄積を図った。

次に、学習者アンケートを通じた学習者の分類と態度の変化を通じて、カリキュラムマネジメントに関する知見を纏める。受講者アンケートの結果からは、大半は新しい授業形態を支持した一方で、そうでは無い受講者も一定程度存在した。2017年度に従来型が良いとした受講者の原因を分析するとグループワークと一斉講義の必要性に関する二つに大別された。グループワークを原因とした受講者の特性を分析した結果、そもそもグループワークに馴染まない受講者とグループワークで教える立場の受講者に分類された。後者は、本授業デザインでグループワークの最適化を図り、知識レベルが高い受講者と推察される。そこで、教員が2年後期実施の科目群で、グループワークでのリーダーシップの必要性等キャリア教育の観点を踏まえた指導を図った。その結果、2018年度実施のアンケートでは、こうした受講者の声は見られなくなった。

一方、グループワークに馴染めない受講者のコメントは2018年も残ったことから、彼らに対する支援は今後の課題といえる。

一斉講義の必要性は、新しい授業方法に慣れたこともあり、2018年アンケートでは減少傾向となった。しかし、どちらともいえないと答えた受講者も含め、一定程度残った。これは、授業実施にあたりどこまで予習を求めるかという学生負担の問題に係る可能性が高い。今回の授業実施では、担当する複数の教員及び学生も、知識・技能、協働性、主体性等のいわゆる新しい学力3要素に関わる幅広い能力養成に寄与したことを実感している。しかし、それは予習の実質化が大きな要因で、学生の負担感の増加と直結する。授業運営

側にしても、仮に本授業形式が理工系の確かな学力（能力）養成の切り札として、全科目で実施された場合、果たしてすべての科目で受講者が今回と同じパフォーマンスを発揮できるかは判断しかねる。少なくとも、学科のディプロマポリシーに照らし合わせ、コアとなる領域の基盤系科目群での実施（いわゆる実習・実験科目としての位置づけ）を図る一方で、関連する選択科目で一斉型の授業を配置し、深い知識と省察を行えるようなカリキュラムマネジメントの設計が肝要と考える。

#### (6) 運用フェーズに向けた纏め（2019年度）

最後に、運用フェーズに向けた成果と今後について纏める。まず、数学を中心にリメディアル系から理工系の大学初級（解析・代数）のCBTの整備を図った。その上で、特に入学前教育などの高大接続に関わる部分から、知識マップを活用した学びの推進を図れるようになった。またこうした知識マップを活用した入学前教育では、導入前と比べた学習の継続時間の増加などの効果を確認し、日本リメディアル教育学会の全国大会（2019年度）にて発表し、大会優秀賞を受賞した。

プログラミング等の情報系については、科研ではCプログラミングやアルゴリズム系の授業での実践が中心であったが、それ以外にもJavaプログラミングなどの他科目への展開も図れた。特に、Javaプログラミングでは、2018年までの科研の成果を展開して、予習教材の充実化やグループワークの工夫改善を図り、教育効果を高めた。その成果は、教育システム情報学会の年間の研究会優秀賞にも選定された。

システム面では、予習を行うCBT機能だけでなく、授業中のグループワークの支援機能（例えばグループワークの最適化機能やグループでの振り返り支援機能）の整備を図った。また、CBTの作問機能の開発と評価や、大学におけるポータルシステムと連携したポートフォリオ機能の仕様策定も行うことができた（2019年度）。

一連の成果は、本科研の研究者が連携する、大学eラーニング協議会を經由して、創価大学や岡山理科大学の初年次系の教育研究者等と連携して、他大学での利用検証に繋がっている。

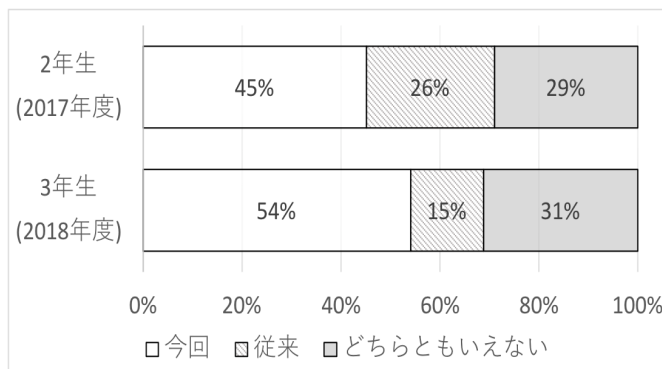


図5 学習者の学習姿勢の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 上野 春毅, 光永 悠彦, 山川 広人, 小松川 浩	4. 巻 -
2. 論文標題 段階的な学習目標を持つ反転学習モデルのための適応型学習システムの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 教育システム情報学会誌	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 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 今井順一・大河内佳浩・小松川浩
2. 発表標題 CBTを活用した数学でのリメディアル教育の取組
3. 学会等名 日本リメディアル教育学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山川広人, 加藤巽, 上野春毅, 小松川浩
2. 発表標題 CBTを活用した反転型授業のJavaプログラミング授業での実践
3. 学会等名 教育システム情報学会 2018年度第2回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山川広人, 小松川浩
2. 発表標題 CBTによるレベル判定を中心とした反転型のプログラミング授業
3. 学会等名 リメディアル教育学会第14回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山川 広人, 上野 春毅, 小松川 浩
2. 発表標題 Computer Based Test and Trainingを活用した反転授業における授業進度調整方法の実践と評価
3. 学会等名 教育システム情報学会 2018年度特集論文研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野 春毅, 加藤 巽, 深町 賢一, 立野 仁, 山川 広人, 小松川 浩
2. 発表標題 CBT を活用した反転授業モデルの提案とプログラミング系科目での評価
3. 学会等名 第43回教育システム情報学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ueno, H., Kato, T., Fukamachi, K., Tateno, H., Yamakawa, H. & Komatsugawa, H
2. 発表標題 The Case Study of a Flipped Classroom Using an Adaptive Learning System
3. 学会等名 26th International Conference on Computers in Education (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Haruki UENO, Tatsumi KATO, Fumiya YOSHIDA, Naoyuki TSUKADA, Hitoshi TATENO, Kenichi FUKAMACHI, Hiroto YAMAKAWA & Hiroshi KOMATSUGAWA
2. 発表標題 A Model of Flipped Classroom Using an Adaptive Learning System
3. 学会等名 The 18th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Haruki UENO, Tatsumi KATO, Fumiya YOSHIDA, Naoyuki TSUKADA, Hitoshi TATENO, Kenichi FUKAMACHI, Hiroto YAMAKAWA & Hiroshi KOMATSUGAWA
2. 発表標題 A Model of Flipped Classroom Using an Adaptive Learning System
3. 学会等名 The 25th International Conference on Computers in Education (ICCE2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroshi Komatsugawa
2. 発表標題 A Model of Flipped Classroom Using an Adaptive Learning System
3. 学会等名 International Workshop Mathematical Education (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今井順一 大河内佳浩 小松川浩
2. 発表標題 数学におけるリメディアル教育でのC B Tを活用した学習デザイン
3. 学会等名 日本リメディアル教育学会 全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加藤巽, 上野春毅, 吉田史也, 塚田尚幸, 立野仁, 山川広人, 深町賢一, 小松川浩
2. 発表標題 適応型学習支援システムの反転授業への導入と評価
3. 学会等名 教育システム情報学会 2017年度 第2回研究会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 吉田史也, 上野春毅, 光永悠彦, 山川広人, 小松川浩
2. 発表標題 CBTを有する適応型学習支援システムの開発と評価
3. 学会等名 第42回 教育システム情報学会 全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 塚田尚幸, 辻慶子, 上野春毅, 山川広人, 小松川浩
2. 発表標題 学習者相互の知識活用を促す知識マップ利用型学習支援システムの開発
3. 学会等名 第42回 教育システム情報学会 全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻慶子, 塚田尚幸, 上野春毅, 山川広人, 小松川浩
2. 発表標題 看護基礎教育での知識マップを用いた作問学習の実証評価
3. 学会等名 第42回 教育システム情報学会 全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小松川浩
2. 発表標題 アルゴリズム授業でのCBTを活用した反転学修の実践
3. 学会等名 情報科教育学会 全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小松川浩
2. 発表標題 CBTを用いたリメディアル指向の反転型授業デザインの提案
3. 学会等名 日本リメディアル教育学会 全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加藤巽, 上野春毅, 吉田史也, 塚田尚幸, 立野仁, 小松川浩
2. 発表標題 適応型学習支援システムの反転型アルゴリズム授業への適用
3. 学会等名 教育システム情報学会 JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部晃大, 工藤敦也, 米田司, 小松川浩
2. 発表標題 CBTを用いたモバイル学習支援システムの開発と評価
3. 学会等名 教育システム情報学会 JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部 晃大, 光永 悠彦, 山川 広人, 小松川 浩
2. 発表標題 適応型学習システムにおける実用的な問題分類手法の提案と評価
3. 学会等名 第44回 教育システム情報学会 全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大河内 佳浩, 小松川 浩, 今井 順一
2. 発表標題 CBT導入による入学前教育の効果測定
3. 学会等名 日本リメディアル教育学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川 広人, 上野春毅, 小松川浩
2. 発表標題 反転型のプログラミング授業におけるモブプログラミング導入の試み
3. 学会等名 教育システム情報学会 2019年 第6回研究会
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
研究 分担者	今井 順一  (Imai Jun-ichi)  (60458148)	公立千歳科学技術大学・理工学部・教授   (20106)	
研究 分担者	山川 広人  (Yamakawa Hiroto)  (90724732)	公立千歳科学技術大学・理工学部・講師   (20106)	