

令和 6 年 6 月 29 日現在

機関番号：38001

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03137

研究課題名(和文)複合現実を用いた組み込みプログラミング教育の支援システム構築

研究課題名(英文)Construction of a Support System for Embedded Programming Education Using Mixed Reality

研究代表者

小渡 悟(ODO, Satoru)

沖縄国際大学・産業情報学部・准教授

研究者番号：90369207

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、複合現実(MR)を用いた組み込みプログラミング教育支援システムの構築を行った。電子回路演習や組み込みシステムに関する講義や演習のオンライン指導方法について検討を行った。提案手法の有効性を受講生の学習意欲の測定から行い、授業改善に向けて、LMSの学習記録データとCISのデータを分析することで受講生の学習行動パターンの特長と講義に対する興味度の関連性の検討を行った。実際の電子回路演習では、電子回路のMR技術による可視化による実習支援システムを構築した。これらを統合していくことで学生に応じた個別最適な学びの提供が可能となると思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

複合現実(MR)を活用した組み込みシステム教育支援システムの開発を行った。電子回路演習のオンライン指導方法を確立し、受講生の学習意欲をARCS動機づけモデルで測定、授業改善に役立てた。また、MR技術により電子回路の可視化を実現し、実習支援システムを構築した。今後も大学生向け講義や初心者向けプログラミング教育への応用を進めることで、さらなる学習者の理解度向上と教育の質の向上が期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a Mixed Reality (MR)-based educational support system for embedded programming. We explored online teaching methods for electronic circuit exercises and embedded systems. The effectiveness of our proposed method was evaluated by measuring students' motivation to learn. Additionally, we analyzed LMS learning records and CIS data to examine the relationship between students' learning behavior patterns and their interest levels in lectures, aiming to improve class quality. For hands-on electronic circuit exercises, we implemented a practical training support system that visualizes electronic circuits using MR technology. By integrating these data, we believe it is possible to provide students with individualized and optimal learning experiences.

研究分野：教育工学

キーワード：プログラミング教育 MR(複合現実) 学習支援システム 組み込みプログラミング アイトラッキング

1. 研究開始当初の背景

大学教育における組込みシステム設計に関する演習において、ロボットや回路の組み立て時に学習者の作業が滞る場面がみられることがあった。これらは、物理的な操作ミス、作成プログラミングのエラー、事前知識の不足などで、状況把握ができなくなることが原因であった。また、制御対象の知識不足により、誤った操作により機器を破損させることがみられた。これらは、学習者が必要な情報を必要なときに適切に学習者に示し、導くことで対応可能ではないかと思われた。

上記のことから、「実空間でのユーザ間での情報共有や協調作業」システムを用いることで組込みシステム実習時の物理的な操作、例えば、ブレッドボード上での回路作成において回路構成とその電子部品の配置を MR にて重畳して表示し、かつ、学習者同士で MR を通して議論・検討が行える。「仮想空間でのユーザ間での情報共有や協調作業」システムを用いることで電流や磁界の変化、ロボットの動作計画を可視化して検討することができる。これらを学習者・指導者で共有でき、かつ、両システムをシームレスに繋ぐことで組込みシステムの学習が効果的に行える可能性が高いとし、本研究の提案に至った。

2020 年度から本研究に取り組み始めたが、新型コロナウイルス感染拡大により大学での講義形態が大きく変化した。対面授業が困難になり、多くの大学が Zoom や Microsoft Teams などのオンラインプラットフォームを利用して講義を行うようになった。ビデオ会議システムを用いたリアルタイム講義や、事前に録画された講義動画の配信が一般的になった。しかし、電気回路実験など対面授業を前提とした実験科目では、ビデオ会議システムを用いたリアルタイム講義での指導が困難であった。そのため、オンラインでのシミュレーションや仮想実験ツールを活用する取り組みが行われる大学もみられた。そこで本研究では、新型コロナウイルス感染拡大防止対策として物理的接触を減らすため、非接触型の学習支援システムの検討から行い、複合現実を用いた組込みプログラミング教育支援システムの構築を目指すことにした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、複合現実を用いた組込みプログラミング教育支援システムの構築である。2020 年度から本研究に取り組み始めたが、新型コロナウイルス感染拡大防止対策として物理的接触を減らす必要が生じた。そのため、(1) 電子回路演習や組み込みシステムに関するオンライン指導方法の検討、(2) 受講生の学習意欲の測定と授業改善の提案、(3) 電子回路の MR 技術による可視化による実習支援の検討を行うことを目指す。

(1) 電子回路演習や組み込みシステムに関するオンライン指導方法の検討

新型コロナウイルス感染拡大防止対策として物理的接触を減らす必要が生じた。そのため、非接触型学習支援システムの検討から行った。2021 年度もオンライン講義・演習の継続が必要となったことから、電子回路演習や組み込みシステムに関するオンライン指導方法の実施について目指す。オンライン会議システムを活用した実習環境の共有、オンラインストレージを経由した実習データの共有が行えないか検討を行う。

(2) 受講生の学習意欲の測定と授業改善の提案

提案システムと関連講義における学習者の反応を ARCS 動機づけモデルに基づいて測定し、ならびに、講義担当者のセルフチェックとしての CIS の結果から効果的な授業改善を行えないか検討を行う。

(3) 電子回路の MR 技術による可視化による実習支援の検討

組込みシステムにおける電子回路の実習時の学生の注視項目と手先軌道を計測し、実習を効果的に行う学習者とそうでない学習者の違いを明らかにする。組込みシステムにおける電子回路の実習にて、学習者が必要な情報(回路図、現時点での回路構築状況)を MR 技術により可視化するシステムの構築を目指す。

3. 研究の方法

(1) 電子回路演習や組み込みシステムに関するオンライン指導方法の検討

オンライン学習支援システムの検討から行った。物理分野の実習を MR 技術により実験機材を用いずに再現する。図 1 に示すように現実空間に電流による磁界、物体の放物運動などの実験を CG により重畳して提示することで、学生たちは視覚的に理解しやすくなり、理論と実際の現象の関連性を直感的に把握することが期待できる。プログラミングスキルについてはオンラインジャッジを用いたプログラミング授業支援システムにて行う。図 2 に示すように



図 1

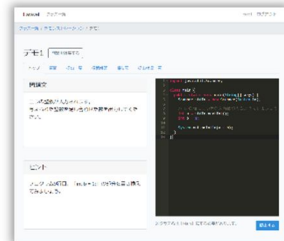


図 2

Web 上で問題文とヒント，エディタが利用できる．講義で利用するプログラミング環境に合わせてオンラインジャッジをカスタマイズすることで，学生は実際の環境でコードを実行しながら学習でき，より実践的なスキルを身につくことが期待できる．オンデマンド型の映像教材も含め，基礎知識を身につけた後に電子回路演習を行う．学習者は自宅にて受講しているため（2020年度～2021年度），オンライン会議システム（MS Teams/Zoom 等）を活用した実習環境（映像）の共有，オンラインストレージ経由で実習データ（センサの計測値）の共有などを行う．

（2）受講生の学習意欲の測定と授業改善の提案

提案システムと関連講義における学習者の反応を ARCS 動機づけモデルに基づいて測定し，効果的な授業改善方法の検討を行う．ARCS 動機づけモデルに基づいた「科目の興味度調査（Course Interest Survey; CIS）」はインストラクター主導の授業や研修に対する学習者の反応を「注意」「関連性」「自信」「満足度」の4つの観点から測ることができる．各カテゴリーにおよそ均等な項目数を含む34項目で構成されている．

本研究では CIS を受講生と担当教員に対して行う．15回講義の中盤で調査を行うことで，講義後半に向けての ARCS 動機づけモデルに基づく「注意」「関連性」「自信」「満足度」の4つの観点から授業改善のための方向性を示すことができる．15回の講義が終了後，再度，同調査を行うことで授業改善の状況を確認することができる．

（3）電子回路の MR 技術による可視化による実習支援の検討

組込みシステムにおける電子回路の実習時の学生の注視項目と手先軌道を計測し，実習を効率的に行う学習者とそうでない学習者の違いを明らかにする．組込みシステムにおける電子回路の実習にて，学習者が必要な情報（回路図，現時点での回路構築状況）を MR 技術により可視化するシステムの構築を目指す．

4．研究成果

（1）電子回路演習や組み込みシステムに関するオンライン指導方法の検討

（2）受講生の学習意欲の測定と授業改善の提案

提案システム，ならびに，関連講義における学習者の反応を ARCS 動機づけモデルに基づいて測定を行った．講義期間中期・期間最終日において科目の興味度調査（CIS），教材の学習意欲調査（IMMS）を学習者と講義担当者に対して行った．

同調査は関連する複数の講義，演習にて行った．ここでは2年次を対象とした専門科目で CIS に関する調査を実施した（受講生126名中98名から回答を得られた）例を示す．同講義では，講義担当者1名に対し，同じ質問項目を教員の視点から回答をしてもらった．これらは15回講義の中盤で調査が行われた．受講生を対象として実施したところ，内部一貫性の信頼性評価としてマクドナルドの「自信」の尺度において低い値を示したものの，全体的には一定の信頼性を有することが確認できた．受講生と教員において評価が大きく異なる質問項目が複数みられた．

「注意」においては質問項目「29：この講義の内容について尋ねた質問や与えられた問題によって，私の好奇心がよく刺激されている」において受講生評価が教員評価よりも高い．教員が想定している以上に受講生は講義に対して興味を持っていると想定できる．「関連性」においては全項目において受講生評価が教員評価を下回っており，関連性全体での平均値でも受講生と教員で大きく異なる．「20：この講義の内容は私の期待や目的と関連している」「28：この講義による個人的な利益は自分にとって明らかだと思ふ」の評価が特に低いことから受講生のニーズや目的が満たされていないといえる．そのためにも，担当教員は前提知識やいままで受講生が学んできたこととの繋がりを説明する，学んでいることの有用性や意義を強調するなどを行う必要がある．「自信」においては「6：この講義で良い成績を取るには幸運が必要である」「17：教員が私の課題にどのような成績をつけるのかを予測するのは困難である」と成績評価に関することなので，ルーブリック等を使用するなど成績評価の基準を明確に伝える，段階的な難易度の課題を準備することで成功の機会を複数回準備するなどを行う必要がある．「満足感」については「14：私の成績やその他の評価は，他の受講生と比べて公平だと思う」「18：私が思っていた自分の課題のでき具合に比べて，教員の評価には満足している」については成績評価の公正さを客観的に示すためにルーブリック等を使用するなど成績評価の基準を明確に伝える必要がある．

本研究では関連する講義，演習において ARCS 動機づけモデルに基づいた調査を受講生と担当教員に対して行った．15回講義の中盤で調査を行ったことで，講義後半に向けての ARCS 動機づけモデルに基づく「注意」「関連性」「自信」「満足度」の4つの観点から授業改善のための方向性を示すことができた．具体的な教材や活動の改善策を導入し，受講生の学習動機と成果が顕著に向上することが期待できる．

さらに本研究では講義における LMS の学習記録データと CIS のデータを分析することで受講生の学習行動パターンの特長と講義に対する興味度の関連性の検討を行った．受講生の分類には LMS の学習記録データをもとにクラスタリング分析を用いることで行った．その結果，3つのクラスターに分類することができ，クラスター1の学生は一貫して学習に取り組んでいることが示唆される一方で，クラスター2とクラスター3の学生は学習への取り組みにばらつきがあ

ることが示唆された。講義に対する興味度調査では、多くの受講生が講義の難易度が高く、講義に費やす負担が大きいと感じているということが確認できた。

クラスタリングの受講生グループと興味度調査のデータを組み合わせることで、学習行動と講義に対する興味度との関連性を検討したが、統計的な有意差はみられなかった。しかし、講義に対する学習意欲や参加意欲(興味)が低い受講生はアンケート(「科目の興味度調査(CIS)」)の回答を行わない可能性も高いこともあり、クラスター2、クラスター3における学生グループのデータが十分に代表的なものになっていない可能性がある。そのため、今後は他の学習ログも含めた検討を行っていく。

(3) 電子回路のMR技術による可視化による実習支援の検討

アイトラッキング機材を用いて電子回路実習時における初心者と経験者の視線動向の違いを解析した。Raspberry Piを用いた電子回路実習においてモータ制御用モジュールを用いてDCモータの制御を行う実習を対象とした。その結果、経験者は回路を組み立てる際にも注視点の移動が少なかったのに対し、初心者は注視点の移動が多く、実習手順書を何度も確認する様子もみられた。これに基づき、本研究ではRaspberry Piを使用した電子回路実習での操作手順書や電子回路図をMRで提示し、電子回路実習時の支援を行うシステムを構築した。初期の頃は、Raspberry Piを使用した電子回路実習での操作手順書や電子回路図の提示方法を専用アプリによるMRであったが、これをWebARに変更、ならびにハンドトラッキングを導入することでシステムの利用をより簡便にした。WebARを採用することで、対応Webブラウザのみで実行でき、専用アプリのインストールが不要となった。これでスマートフォンなどのカメラでARマニュアルサイトにアクセス後、マニュアルを提示したい場所をスマートフォンの画面上でタップすることでARマニュアルを提示する。引き続きタップすることでARマニュアルのページを進めることが可能となった。図3に実際に実行した結果の例を示す。

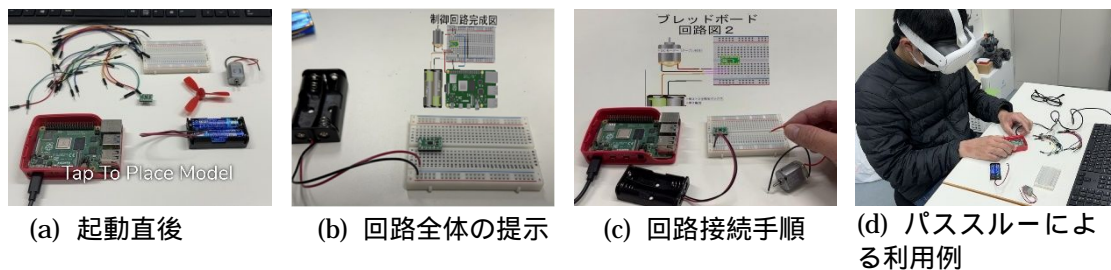


図3

本研究では、複合現実を用いた組込みプログラミング教育支援システムの構築を行った。電子回路演習や組み込みシステムに関する講義や演習のオンライン指導方法について検討を行った。提案手法の有効性を受講生の学習意欲の測定から行い、授業改善に向けて、LMSの学習記録データとCISのデータを分析することで受講生の学習行動パターンの特異性と講義に対する興味度の関連性の検討を行った。実際の電子回路演習では、電子回路のMR技術による可視化による実習支援システムを構築した。これらを統合していくことで学生に応じた個別最適な学びの提供が可能となると思われる。今後はさらに大学生向けの講義や初心者向けプログラミング教育への実践と評価を行っていきたい。

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 0件）

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 渡邊ゆきこ, 小渡悟, 大前智美 | 4. 巻 53 |
| 2. 論文標題 メタバース空間における臨場感・没入感をともなう語学学習-Mozilla Hubsを活用した大学の初級中国語授業における実践- | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 コンピュータ&エデュケーション | 6. 最初と最後の頁 31-36 |
| 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 Watanabe, Yukiko, Omae, Tomomi, Odo, Satoru | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Teaching Online Chinese Pronunciation with Pronunciation Training Software: An Empirical Study | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Online Chinese Teaching and Learning in 2020 | 6. 最初と最後の頁 234-246 |
| 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17件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 小渡悟 |
| 2. 発表標題 学習支援システムの学習ログ分析 |
| 3. 学会等名 令和5年度電気学会九州支部沖縄支所講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 小渡悟 |
| 2. 発表標題 STEM/STEAM教育による教育実践と評価 |
| 3. 学会等名 令和6年電気学会全国大会（招待講演） |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小渡悟, 渡邊ゆきこ, 楊錦昌 |
| 2. 発表標題 VRを活用した語学学習の学習意欲測定と授業改善の検討 沖縄・台湾交流授業における実践報告 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会 サイバーワールド研究会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 山本玲央, 小渡悟 |
| 2. 発表標題 拡張現実 (AR) 技術を活用した電子工作初心者支援 |
| 3. 学会等名 2024年電子情報通信学会総合大会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 當銘壘, 小渡悟 |
| 2. 発表標題 FPSゲーム習熟度別視線追跡分析 - 上級者の視線パターンを通じた上達戦略 - |
| 3. 学会等名 映像情報メディア学会 ヒューマンインフォメーション研究会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 伊禮諒, 小渡悟 |
| 2. 発表標題 バスケットボールにおけるシュート動作時の視線分析 |
| 3. 学会等名 教育システム情報学会 2023年度学生研究発表会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 安村妃良梨, 小渡悟 |
| 2. 発表標題 飲食店の待ち時間における視線分析を用いた集客方法の提案 |
| 3. 学会等名 教育システム情報学会 2023年度学生研究発表会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松本慎平, 安部恵介, 秋吉政徳, 有吉勇介, 井上和重, 大場みち子, 岡田真, 岡田由紀, 小渡悟, 小野雄一, 近藤伸彦, 高松邦彦, 田中哲雄, 鮫島正樹, 蓮池隆, 本田直也, 山口琢, エビデンスに基づく教育学習支援のための情報システム技術調査専門委員会 |
| 2. 発表標題 エビデンスに基づく教育・学習支援のための情報システム技術調査専門委員会の活動報告 |
| 3. 学会等名 令和6年電気学会全国大会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 宮城大樹, 小渡悟 |
| 2. 発表標題 e-sports観戦における実況解説の有無による影響 |
| 3. 学会等名 教育システム情報学会 2022年度学生研究発表会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 當間文雅, 小渡悟 |
| 2. 発表標題 拡張現実 (AR) 技術を用いたバリアフリーサポートシステム |
| 3. 学会等名 教育システム情報学会 2022年度学生研究発表会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 知念航太, 小渡悟 |
| 2. 発表標題 画像認識を用いた駐車場管理システムの提案 - 物体検出モデルの構築 - |
| 3. 学会等名 教育システム情報学会 2022年度学生研究発表会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 小渡悟 |
| 2. 発表標題 ARCS動機づけモデルに基づく学習意欲測定と授業改善の検討 |
| 3. 学会等名 令和4年電気学会九州支部沖縄支所講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 渡邊ゆきこ, 小渡悟, 大前智美 |
| 2. 発表標題 VR 空間内での活動を経験的記憶につなげる外国語教育 |
| 3. 学会等名 2022 PC Conference |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 米田圭, 小渡悟 |
| 2. 発表標題 IoTを活用した家庭用水耕栽培装置の開発 |
| 3. 学会等名 教育システム情報学会 2021年度学生研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 石倉凧, 小渡悟 |
| 2. 発表標題 Spotify API/SDKを用いたプレイリスト最適化システムの検討 |
| 3. 学会等名 教育システム情報学会 2021年度学生研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 仲宗根英人, 小渡悟 |
| 2. 発表標題 熟語に注目した漢字学習支援システムの提案 |
| 3. 学会等名 教育システム情報学会 2020年度学生研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 小渡悟 |
| 2. 発表標題 複合現実を活用した中国語単語学習教材の開発 |
| 3. 学会等名 2020 PC Conference |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| <p>小渡 悟 - 沖縄国際大学 https://www.okiu.ac.jp/gakubu/sangyojoho/teacher/odo 研究業績 https://www2.okiu.ac.jp/sodo/achievement.html 教員紹介 https://www2.okiu.ac.jp/sanjyo/faculty_info/faculty_odo.html</p> <p>第19回(2022年度)日本e-Learning大賞・VR活用教育特別部門賞 沖縄大学・沖縄国際大学・大阪大学, "e-Learning研究チームVR空間を活用した新しい語学教育法の開発", 2022年11月1日</p> |
|--|

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 |
|---------|---------|