

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：32639

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K02907

研究課題名（和文）AR技術とセンサーを用いた物理（回路・力学）実験教材の開発と評価

研究課題名（英文）Development and Evaluation of Educational Systems with Augmented Reality and Sensors for Physics (Circuits / Dynamics) Experiments

研究代表者

塩澤 秀和 (SHIOZAWA, Hidekazu)

玉川大学・工学部・教授

研究者番号：80328533

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、力学や回路などの物理の学生実験で用いる装置に小型のセンサーを取り付け、現実的に測定した力などの物理量を、AR（拡張現実感）技術によってカメラ映像にリアルタイムに重ね合わせて可視化することで、学習者の理解を助ける手法を提案した。本研究は、力学実験の支援システムの開発に重点的に取り組み、加速度センサー等による測定値から計算した力やエネルギーなどの物理量を、ベクトルを表す矢印等でAR表示する機能や、パラメータを変更したシミュレーション結果をAR表示する機能を実現した。さらに、ARとセンサーを用いるという本提案の手法を、ロボットを用いたプログラミングの教材に適用したシステムも開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、高校生の物理の履修率が低下していると言われ、大学の理工系学部でも物理に苦手意識を持つ学生への教育が課題となっている。一般的に、科学に対する能動的な学びを促すには、学習者が参加する実験が有効とされているが、物理学の実験では、力・エネルギー・電流・電圧などの物理量はそのままでは人間の目に見えないので、実験を行っても目の前で何が起きているのか興味を持たない学習者も多い。そこで、我々はAR（拡張現実感）技術に着目し、これを小型センサーと組み合わせることによって、通常では見ることができない物理量を現実の実験装置に重ね合わせて可視化することで、学習者の興味と理解を促進するシステムの開発を行なった。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we proposed a method to assist learners' understanding by attaching small sensors to apparatuses and devices used in educational physics experiments on mechanics and circuits, and visualizing physical quantities like forces measured in real time using augmented reality (AR) technology to overlay these measurements on camera images. This research focused on developing a support system for mechanics experiments, with functions to display physical quantities such as forces and energy calculated from accelerometer measurements, using arrows to represent vectors in AR, and to display simulation results in AR with varying physical parameters. Furthermore, we developed a system that applies the proposed method of using AR and sensors to educational materials for programming with small robots.

研究分野：情報学

キーワード：拡張現実感(AR) 教育支援システム 物理実験 フィジカルコンピューティング

### 1. 研究開始当初の背景

近年、高校生の物理の履修率は大きく低下しているといわれており、大学の理工系学部でも物理に苦手意識を持つ学生への教育が課題となっている。一般的に、科学に興味を持たせて能動的な学びを促すには、科学実験による教育が有効とされている。しかしながら、物理学の実験では、力・エネルギー・電流・電圧などの物理量はそのままでは人間の目に見えないので、実験を行っても目の前で何が起きているのか興味を持ってない学習者も多い。

そこで、我々はより直感的に物理量を可視化する手法として、AR (Augmented Reality, 拡張現実感) 技術に着目した。これは、リアルタイムな現実空間の映像にコンピュータグラフィックスによるデジタル情報を重ね合わせ、ユーザが知覚する「現実を拡張する」技術である。

従来から、紙の教科書、実験装置、博物館の展示物などと AR 技術を組み合わせ、学習を支援するシステムは提案されている。また、加速度センサー等を用いて測定したデータを無線通信でコンピュータに取り組みんでグラフ化する教材も開発されている。

これら既存の教育システムの大半は、コンピュータ内で生成した情報を AR で表示するものである。我々は、現実空間の教材に小型のセンサーを組み込み、センサーでリアルタイムに測定した物理量を AR 技術によって可視化する実験支援システムを提案する。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、主に学校教育における物理学等の実験において、現実空間にデジタル情報を重ね合わせる AR 技術と、マイコンで制御された小型センサーを用いることによって、通常では見ることができない力・エネルギー・電流・電圧などの物理量を、現実空間の映像に重ね合わせて可視化し、それによって学習者の興味と理解を促進するシステムを開発することである。

AR 技術の教育分野への応用としては、教科書などの紙の教材や博物館などの現実空間にデジタル情報を重畳表示するものが数多く提案されている。実験による教育への応用例としても、化学実験の安全教育や電気回路実験のシミュレーションを対象としたものがある。

本研究の独自性は、力学実験や回路実験という学校現場で行われている代表的な物理実験を対象とし、実験装置に小型のセンサーを取り付け、リアルタイムな測定データを（無線通信などによって）取り込んで、それを学習者の理解を助ける形で AR 技術を用いて可視化することである。さらに、本研究の手法の物理学の学習以外への展開例として、センサーを搭載した小型ロボットを用いたプログラミングの実験教材への適用も検討した。

### 3. 研究の方法

本研究では、マーカー型 AR とセンサーを用いた物理実験教材を開発した。これは、実験で用いる測定装置、その他の器具、環境などの教材にセンサーと AR マーカーを取り付けておく。そして、センサーの測定データを PC にリアルタイムに送信し、グラフなどで分かりやすく可視化したものを、カメラで撮影した教材の映像（の AR マーカー上）に画面上で合成するというものである。

我々は、本研究課題の開始時にすでに回路実験（図 1）と力学実験（図 2）という 2 種類の物理実験を支援するシステムを開発していた（引用文献①、②）。これらは、映像の撮影には PC に接続する小型カメラを用い、センサーの制御には Arduino を用いていた。また、画面上での AR 表示の描画と合成には、プログラミング言語の Processing と ARToolKit 型のマーカーによる AR を実現するためのライブラリである NyAR4psg を用いていた。

本研究ではこれらのプログラムをマルチプラットフォームの開発環境で実装し直すことで統合を図るとともに、画像処理、処理速度、対応するマーカーの個数などの機能の改善を行い、最終的には学生ユーザに使ってもらうことでシステムの評価を行うことを目指した。

### 4. 研究成果

初年度の前半は、前年度からの取り組みである力学的エネルギーを可視化する機能（図 3）と、

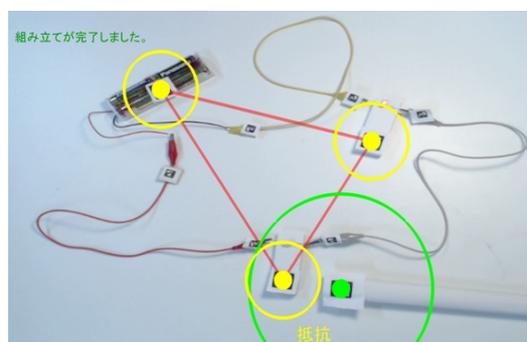


図 1 AR を利用した回路実験支援

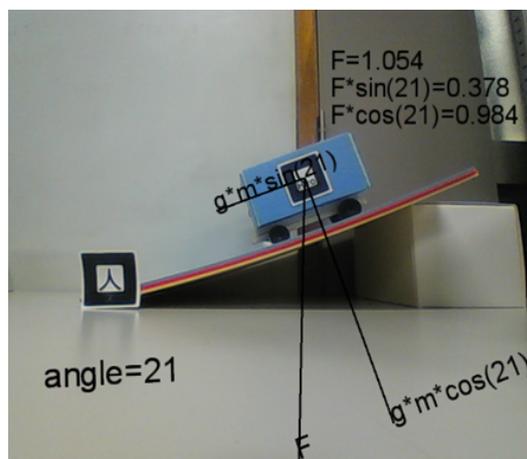


図 2 AR を利用した力学実験支援

自作のマイコン回路による装置の小型化（図4）について、完成度と安定性を高め、研究を進める上での問題点を洗い出した。この成果は引用文献②として学会で発表し、その後の研究の進め方に関してフィードバックを得た。その後、それを参考に、主に力学実験の支援システムの改良に取り組んだ。

初年度の後半からは、システムを複数のセンサー（図5）に対応させるために、加速度センサーや6軸センサーが搭載され、小型かつ低価格なArduino互換マイコンであるM5StickCを使うことでさらに装置を小型化し、無線通信の方式をWi-Fiに変更した。複数のセンサーを使用すれば条件の違いによる物理量の変化の違いが比較できるようになり、物理学に対する理解をさらに深めることができる。複数のセンサーを用いた実験の例や教材の例を考案するなどして、引用文献③および⑤として学会発表を行なった。

それと同時に、システムのマルチプラットフォーム化を行なった。これは、AR表示のプログラムをゲームエンジンのUnityを用いて新規に開発することで実現した。これによって、スマートフォンなどのAndroid端末で動作するようになり、課題となっていた運動中のARマーカースの認識精度も向上した。また、ゲームエンジンを利用することによって、基本的な物理シミュレーション機能（図6）を実現することもできた。物理シミュレーションによる可視化では、ユーザが物理パラメータを入力して仮想的な実験装置を生成することができる。学習者が動作開始ボタンを押すと、現実の映像に重ね合わせて仮想の実験装置によるシミュレーション結果が表示される。

さらに、本研究の手法の物理学の学習以外への応用例として、センサーを搭載した小型ロボットを用いたプログラミングの実験教材への適用も提案した。小型のロボットの背面にはARマーカースが付与されており、学習者が自分のプログラムで動いているロボットをPCやタブレット端末を通して見ると、図7に示すように変数などのプログラムの情報やセンサーの出力値がARによって表示される。これらの成果は引用文献⑦などによって学会発表を行なった。

本研究は、開発した物理実験教材を学生による評価実験で評価し、その結果を論文にまとめて発表する予定であった。しかし、新型コロナウイルスによる状況変化等によって、システムの完成度を十分に高めることができず、評価実験と論文発表が課題として残っている。今後、評価を行なって成果を発表していく予定である。

#### <引用文献>

- ① 塩澤秀和, 小松京平: マーカー型ARとセンサーを用いた物理(回路・力学)実験教材の開発, 日本バーチャルリアリティ学会 第61回CS研究会, pp.27-32, Jun. 2017.
- ② 廣田翔平, 塩澤秀和: AR技術と加速度センサーを利用したカード型の力学実験教材, 日本バーチャルリアリティ学会 第63回CS研究会, pp.35-38, Feb. 2018.
- ③ 塩澤秀和: AR技術とセンサーを用いた物理実験教材の開発, 第43回教育システム情報学会全国大会, D6-3, pp.435-436, Sep. 2018.
- ④ 塩澤秀和: AR技術とセンサーを用いた物理実験教材のコンテンツ開発, 第44回教育システム情報学会全国大会, pp.115-116, Sep. 2019.
- ⑤ 塩澤秀和: ARによる可視化を利用したロボット型プログラミング教材, 第45回教育システム情報学会全国大会, pp.85-86, Sep. 2020.

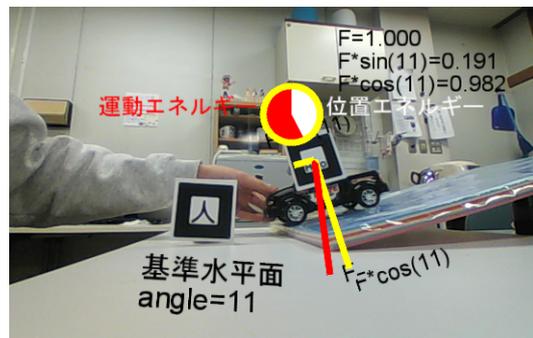


図3 力とエネルギーのAR可視化



図4 玩具に装着

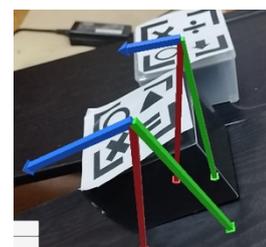


図5 複数センサー

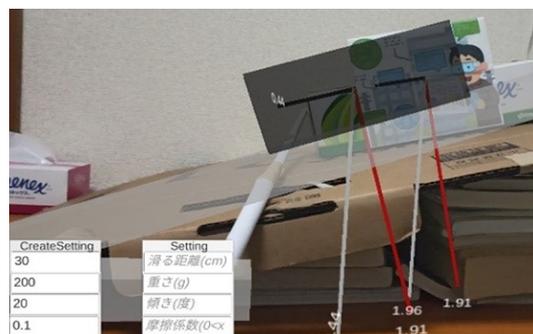


図6 物理シミュレーションのAR可視化

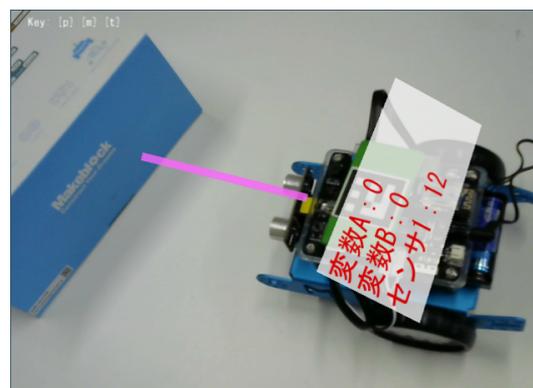


図7 ロボットのセンサー出力のAR可視化

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 0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 塩澤秀和	4. 巻 43
2. 論文標題 AR技術とセンサーを用いた物理実験教材の開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第43回教育システム情報学会全国大会論文集	6. 最初と最後の頁 435-436
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 無
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 塩澤秀和	4. 巻 45
2. 論文標題 ARによる可視化を利用したロボット型プログラミング教材	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第45回教育システム情報学会全国大会論文集	6. 最初と最後の頁 85-86
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 無
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 塩澤秀和, 松本祐衣	4. 巻 2019
2. 論文標題 ARを用いたロボットプログラミング学習支援の提案	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム論文集 (DICOMO 2019)	6. 最初と最後の頁 1125-1130
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 無
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 塩澤秀和	4. 巻 44
2. 論文標題 AR技術とセンサーを用いた物理実験教材のコンテンツ開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第44回教育システム情報学会全国大会論文集	6. 最初と最後の頁 115-116
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 無
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 塩澤秀和, 鎌本萌, 松本祐衣	4. 巻 24, CSV C-3
2. 論文標題 小型ロボットへのAR表示を用いたプログラミング教材の提案	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会 第68回サイバースペースと仮想都市研究会論文集	6. 最初と最後の頁 83-88
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 無
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 塩澤秀和, 鎌本萌, 松本祐衣	4. 巻 24, CSV C-4
2. 論文標題 小型ロボットへの AR 表示を用いたプログラミング教材の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会 第22回サイバースペースと仮想都市シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 1-2
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 無
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0件

〔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
---------	---------