

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03063

研究課題名(和文)ARによる可視化教材を用いたアクティブラーニングによる力学概念の形成調査

研究課題名(英文) Investigation of mechanics concept formation through active learning using AR

研究代表者

青木 悠樹 (Aoki, Yuki)

群馬大学・数理データ科学教育研究センター・教授

研究者番号：60514271

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)：拡張現実(AR)を用いて現実空間の物体に働く力を可視化することで力学を体験的に理解できる教育システムを開発した。ステレオ型のToFカメラを用いて、3次元的なオブジェクトトラッキングを行い、その結果をタブレットやスマートフォンを介して可視化できる教材を開発した。また、運動する物体に働く力を可視化させることで、力学を体験的に理解できるものとした。さらに、アクティブラーニングを通して力学概念を深めることができるよう、遠隔で利用しているユーザーの学習進捗状況をJupyter notebookを活用してリアルタイムで把握できるシステムの実装を行なった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

EdTechを活用した、従来では実現できなかった新たな学習法としてARの活用が期待されている。AR技術は様々な面での活用が期待され、カーナビ、医療などにおける開発が進んでいる。教育におけるAR活用の動向として活用の可能性は示されているものの、学校教育に即した教材開発や教育効果が検証されていない。本研究では物理分野におけるAR活用例として、目に見えない「力」の可視化、また、運動学に関する空間的な認識の補助となりうることを示した。

研究成果の概要(英文)：We developed an educational system that enables hands-on understanding of mechanics by visualizing forces acting on objects in real space using Augmented Reality (AR). Using a stereo type Time of Flight (ToF) camera, we developed an educational system that performs three-dimensional (3D) object tracking and visualizes the motion of objects via tablet computers and smartphones. By visualizing the forces which works on moving objects, students can understand mechanics experientially. In addition, we implemented a system that enables remote users to monitor their learning progress in real time using Jupyter notebooks, so that they can deepen their understanding of mechanics concepts through active learning.

研究分野：教育工学

キーワード：物理教育 ICT

1. 研究開始当初の背景

学習者はニュートン力学を学習する以前から、物体がどのように運動するかを日常体験から理解している。これらの日常体験から得られる力学概念を「素朴概念」と呼び、ピアジェによる具体的操作期に形成される。素朴概念を、力学を論理的に思考する科学概念に転換するには、概念の補正が必要になる。従来の学習では、限定された力学実験結果から数学を用いて力学を理解する方法がとられてきたが、素朴概念の補正には結びつきにくいものだった。実際、力学概念の理解を評価するときに用いられる調査テストである「力学概念調査 (FCI)」の結果では、日本の大学生の正答率が諸外国と比べ低いことが報告されている。

本研究では、力学概念の習得の難しさが運動中の物体に働く力が目に見えない点にあるのではという学術的「問い」に着目した。現実世界における力学を理解するには、摩擦力・重力などの複合的な力を考慮する必要があるが、力が見えないため、実験では考慮すべき力の要因を減らし簡略化された運動に限定される。また、力学概念を数学的表現に落とし込む必要があるが、力学初学者が扱える実験が限定されていること、数学的表現の理解が乏しいことから、日常体験の運動を網羅できず、形式操作に結びつかない。現状でも力を可視化させた力学シミュレーション教材が存在するが、PC 上でのシミュレーションは現実感が乏しく素朴概念の補正には結びつきづらい。これに対し、現実感の高いシミュレーションの表現手法として、近年、拡張現実 (AR) が注目されており、目に見えない物理概念である磁場を可視化する AR 教材システムを申請者らが開発し、実際の教育現場で力学概念理解の変容効果を明らかにしている。

2. 研究の目的

本研究では、現状よりさらに現実感を伴った AR を実現するために、現実の物体の運動を三次元的に計測した結果を空間上に AR 表示する教材を開発することを第一の目的とする。本手法は、運動解析から物体に働く複合的な力を AR で表示することが可能となるため、条件が限定されない力学実験が可能となる。さらに、実験結果を授業に取り込む手法として、アクティブラーニングを採用するが、そのためのシステムの実装をすることを第二の目的とする。

3. 研究の方法

運動する物体をセンサーで補足する「オブジェクトトラッキング」を行い、運動解析から物体に働く力を推定するシステムを開発する。オブジェクトトラッキングにおいて物体の回転運動の取り扱いが難しいため、球体のボールを用い回転運動は考えないものとする。扱う運動として、斜面落下、斜方投射、衝突を想定する。学習者の日常体験を網羅するには 10 m/s 程度で運動するボールの位置推定を正確に測定する必要があると考え、センサーによるボール位置の空間・時間分解能を評価する。次に、回転運動を考慮した物体追跡を行うことで、モーメントを推定した力学追跡システムを開発する。3 次元的に記録した運動に働く「力」を AR で示せるようにする。

上記で開発した教材をアクティブラーニングとして使うためのシステム実装を行う。データサイエンス教育で多用されている Jupyter notebook を活用し、学習者の学習進捗状況をリアルタイムで把握するためのシステムを実装する。

4. 研究成果

物体の運動をリアルタイムで追跡し、「力」を 3 次元的に可視化するシステムを開発した。図 1 は黄色のゴルフボールの 3 次元振り子を追跡したものであるが、(a-b)に示すよう、リアルタイムで物体の運動を追跡し、軌跡を描画する。その後、(c)に示すよう、速度と力を描画する。これらのシステムは Raspberry Pi4 と Realsense D435 を用いたものであり、4 万円程度で作成

できるため、教育で活用することが十分に可能な教材である。

上記は物体を質点として扱ったものであるが、剛体の運動を可視化するシステムも開発した。図2の左図に示すよう、2つのボールが連結した剛体の落下運動を記録する。自由落下に加え、回転も記録するため、早い測定を必要するため Jetson Nano を用い、45 fps での測定を行なった。図2の右図に示すよう、剛体の慣性モーメントを空間的に描画しあらゆる方向から観察することができるシステムを開発した。

これらの教材をアクティブラーニングとしてオンラインで活用するための教育システムとして Jupyter notebook を活用した学習者の学習進捗状況をリアルタイムで把握するためのシステム実装の準備を行なった。本研究では、国立情報学研究所が開発した CoursewareHub を実装するためのサーバーの立ち上げ、組み込みまでを完了した。

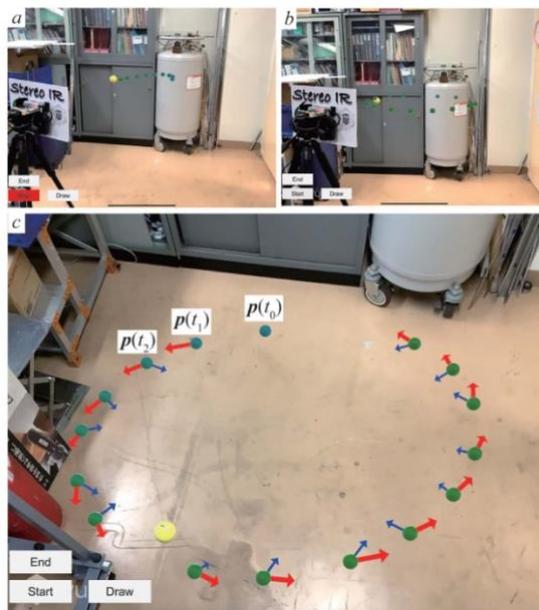


図1: 物体の運動をリアルタイムで追跡し、軌跡を描画(a)。運動解析から物体の速度と力を表示(b)。

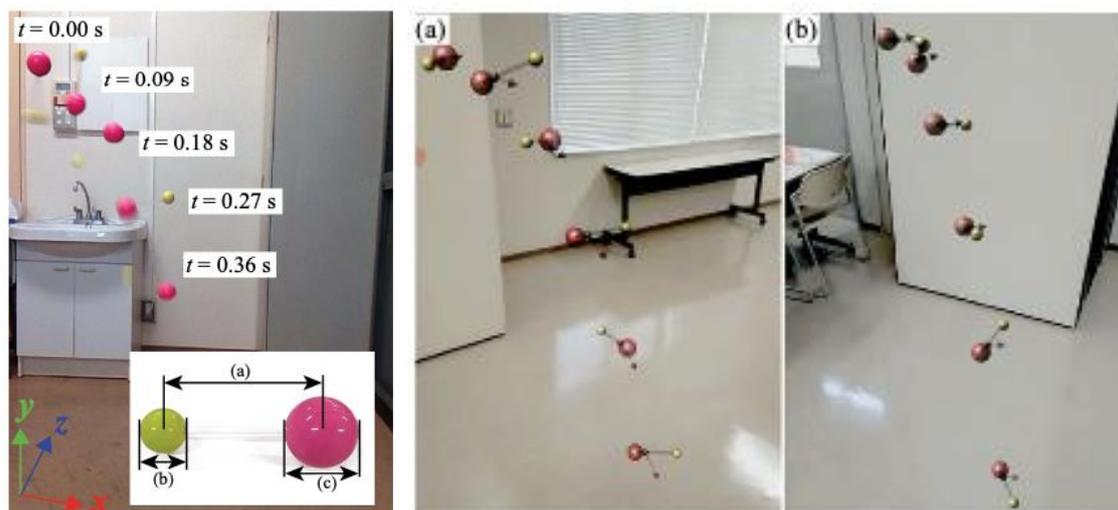


図2: 2つのボールを連結させた剛体の自由落下を3次元的に記録(左)。記録結果をARで空間的に描画(右)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4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 2件）

1. 著者名 Yuki Aoki and Kazushi Yawata	4. 巻 60
2. 論文標題 Dynamics Experiments on the Touch Panel of a Tablet Computer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Physics Teacher	6. 最初と最後の頁 134 ~ 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1119/10.0009422	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 Yuki Aoki, Shingo Ujihara, Takanori Saito and Yasushi Yuminaka	4. 巻 56
2. 論文標題 Development of online observable dynamics experiments using augmented reality	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics Education	6. 最初と最後の頁 055032 ~ 055032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6552/ac12aa	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 Yuki Aoki, Shingo Ujihara, Takanori Saito and Yasushi Yuminaka	4. 巻 55
2. 論文標題 Development of augmented reality systems displaying three-dimensional dynamic motion in real time	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Educ.	6. 最初と最後の頁 04520-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6552/ab9213	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 青木悠樹, 八幡和志	4. 巻 69-1
2. 論文標題 タブレットのタッチパネルを用いた摩擦測定教材の開発と授業実践	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 物理教育	6. 最初と最後の頁 8-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20653/pesj.69.1_8	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yuki Aoki
2. 発表標題 3D tracking by Single-board computer and future applications
3. 学会等名 ICTSS2021（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Chansovanvoleak, K. Tagai, Y. Yuminaka and Y. Aoki
2. 発表標題 Augmented Reality Translator Utilizing Inter-Device Communications
3. 学会等名 International Conference on Technology and Social Science 2020（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Aoki
2. 発表標題 Selection of system environment suitable for IoT / BD / AI education for high school students and above
3. 学会等名 International Conference on Technology and Social Science 2020（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木悠樹
2. 発表標題 深度カメラを用いたAR実験教材の開発
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木悠樹, 八幡和志
2. 発表標題 タブレットを用いた摩擦測定教材の開発と実践
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
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	弓仲 康史 (Yuminaka Yasushi) (30272272)	群馬大学・大学院理工学府・教授 (12301)	

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1件

国際研究集会 ICTSS2021	開催年 2021年～2021年
---------------------	--------------------

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
---------	---------