

## 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

Contents Development for the Physics Experiment Teaching System  
Using Augmented Reality and Sensors

塩澤 秀和

Hidekazu SHIOZAWA

玉川大学工学部

Department of Software Science, Tamagawa University

Email: shiozawa@eng.tamagawa.ac.jp

あらまし：物理学の学習では、力やエネルギーなどの物理量は直接人間の目には見えないので、実験による教育を行っても、物理が苦手な者にとっては現象が理解しづらいという問題がある。我々はこれを解決するために、実際に小型センサーで計測した物理量を、AR（拡張現実感）技術を用いて実験中の映像に重ねて表示する物理実験教材の開発を進めてきた。本論文では、力学実験教材のためのコンテンツの開発とその使用例について報告する。

キーワード：マーカー型 AR、加速度センサー、物理実験、実験教材、物理量の可視化

## 1. はじめに

理工系の教育においては、現実の現象を体験し、実践的な理解を深める狙いで実験が重視されている。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、目の前で起きていることに興味を持たず、学習意欲が低下する者も多い。

そこで、我々は AR (Augmented Reality ; 拡張現実感) 技術とセンサーを利用した教材<sup>(1) (2) (3)</sup>の開発を進めている。このプロジェクトは、学習者が図 1 のように画面を通して実験装置等を見ると、状態や位置がセンサーや AR マーカーによって認識され、現実の物理量がリアルタイムに実験装置上に分かりやすく可視化されるというものである。

これによって、学習者の物理現象に対する興味と理解を促進する実験教材の実現を目指している。

## 2. 関連研究

AR を用いた化学実験の安全技能学習システムとして ost4cc<sup>(4)</sup>がある。これは、AR マーカーを貼付した実験器具を用い、ユーザの模擬実験の様子を真

上からカメラで撮影して認識し、プロジェクタを通してテーブル上に化学実験で起こり得る危険に注意を喚起するメッセージを投影する。

電子回路と AR を組み合わせた知育教材としては、LightUp<sup>(5)</sup>等が開発されている。これは、回路素子が組み込まれたパーツを組み立ててスマートフォンで撮影すると、回路の接続が認識され、電気を流す前にシミュレーション等を表示することができる。

センサーを利用した力学教材の例としては、Wii リモコンのセンサーを用いた実験教材<sup>(6)</sup>も提案されている。これは、斜面を下る台車の位置、速さ、加速度をリアルタイムに表示することができる。

## 3. 本研究のシステム

我々は、AR を物理学の実験に適用するシステムの開発を行っており、力学実験への適用では加速度センサーおよびジャイロセンサーを搭載した装置に AR マーカーを付与したセンサーボックスを提案している。システムは、センサーの測定値から力のベクトルや力学的エネルギーをリアルタイムに計算し、カメラ映像に合成して表示する (図 2)。

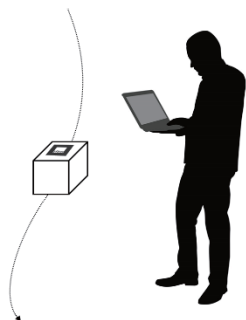


図 1 本プロジェクトのコンセプト

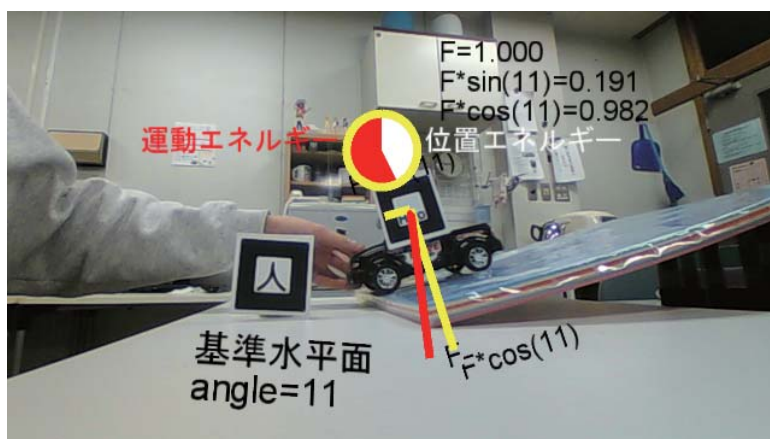


図 2 力の分解と力学的エネルギーの可視化

最初のシステム<sup>(1)</sup>は Arduino に加速度センサーと Bluetooth モジュールを接続して開発されたが、その後、最低限の機能を持つ Arduino 互換の回路を自作して名刺ケースの大きさに小型化したシステム<sup>(2)</sup>、さらに Arduino 互換の ESP32 マイコンによって小型化した本論文のシステムへと改良を続けている。

#### 4. コンテンツ開発

本手法が教育的に有効かどうか評価するためには、実際にユーザに使ってもらうための実験例（コンテンツ）が必要である。そこで、以下のような具体的な力学実験のコンテンツの開発も進めている。

##### 4.1 複数の物体にかかる力の比較

まず、複数の物体の力やエネルギーを可視化し、学習者が直感的に比較できるようにする実験例を開発した。ESP32 マイコンの利用によって複数のセンサーボックスを作成することが容易になったので、図3のように、それらを異なる傾きの斜面に置くなどして、条件の異なる複数の物体にかかる力を比較することができるようになった。

##### 4.2 風などの外力による運動

従来の実験例は、物体に重力や一定出力のモーターによってかかる力を可視化するものだったため、表示の変化が乏しく、センサーのリアルタイムな測定値を受信して表示している効果が薄かった。そこで、帆掛け舟や帆掛け車（図4）を使用し、学習者がうちわで扇ぐなどして、より能動的に力を加えられるような実験コンテンツを開発している。船の例では、水の流れによる力も可視化できれば面白い。

##### 4.3 円運動と向心力の可視化

円運動（等速円運動）をする物体にかかる力の向きは、物理学が苦手な者には、直感的に理解しづらいものである。そこで、図5のように、電車のおもちゃにセンサーボックスを載せて円形のレールの上を走らせることで、円運動における向心力について理解する実験コンテンツを開発している。

##### 4.4 物体同士の衝突とその軌跡

また、物体（マーカー位置）の軌跡を AR 表示する機能も開発を進めている（図6）。これを用いれば、複数の物体が衝突する前後の軌跡とともに、速度や力学的エネルギーの可視化を組み合わせることで、物体の衝突についてより理解を深められるようなものになると考えている。

#### 5. おわりに

本論文では、AR 技術とセンサーを用いて物理実験を支援するプロジェクトにおいて、実際にユーザによる使用評価を行うために開発を進めている実験教材（コンテンツ）について述べた。

本プロジェクトでは、物理量の可視化方法の改善、マーカーの認識精度の向上などの技術的課題にも引き続き取り組んでいる。今後、電子回路実験のためのコンテンツ開発も進めていきたい。

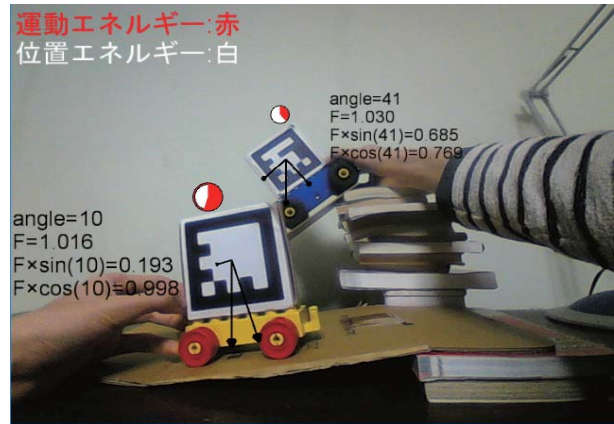


図3 複数の物体にかかる力の比較



図4 市販の実験用帆掛け車

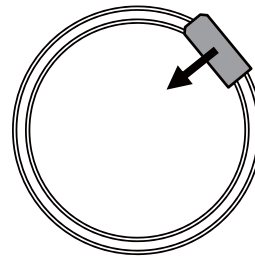


図5 円運動と向心力

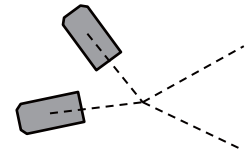


図6 衝突の軌跡表示

#### 謝辞

本プロジェクトは、小松京平氏<sup>(1)</sup>、廣田翔平氏<sup>(2)</sup>、山本陽介氏の貢献が大きい。また、本研究は、科研費 JP18K02907 の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- (1) 塩澤, 小松: “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 VR 学会 CS 研究会, VR 学研報, Vol.22, No.CS-2, pp.27-32 (2017)
- (2) 廣田, 塩澤: “AR 技術と加速度センサを利用したカード型の力学実験教材”, 日本 VR 学会 CS 研究会, VR 学研報, Vol.23, No.CS-1, pp.35-38 (2018)
- (3) 塩澤: “AR 技術とセンサを用いた物理実験教材の開発”, 教育システム情報学会 第 43 回全国大会, D6-3, pp.435-436 (2018)
- (4) 伊藤, 田口, 藤波: “化学実験安全教育システムにおけるメッセージ内容及び提示方法の検討”, 情報処理学会 第 75 回全国大会 (2013)
- (5) LightUp: LightUp, <http://www.lightup.io> (2013)
- (6) 堂本 他: “Wii リモコンを用いた力学実験教材の開発”, 第 27 回理科教育学会支部講演予稿集 (2010)