

### 1. 背景と目的

物理学（力学）の学習では、物体に働く力とそれによる物体の運動について考察する必要がある。しかし、力やエネルギーなどの物理量は、人の目には見えないため、学習者はどのように力が作用しているのかイメージしづらい。この問題を解決するために、本研究室では、AR（Augmented Reality）技術を利用した物理学の教材の開発を進めてきた[1][2][3]。

AR とは、コンピュータが生成した情報を、現実世界の空間や物に重畳して現実存在するかのように提示することによって、ユーザが実世界から得られる情報を増強する技術である。近年では、AR 技術を利用した学習教材の開発も行われている。

本研究では、本研究室で開発された教材を改良し、物理シミュレーションを利用することで、より学習者に理解しやすい物理実験教材の開発を行うことを目的とする。さらに、スマートフォンへの対応、システムの小型化、AR マーカーの認識精度の向上にも取り組んだ。

### 2. 先行研究

先行研究[1][2][3]では、図1のようにAR表

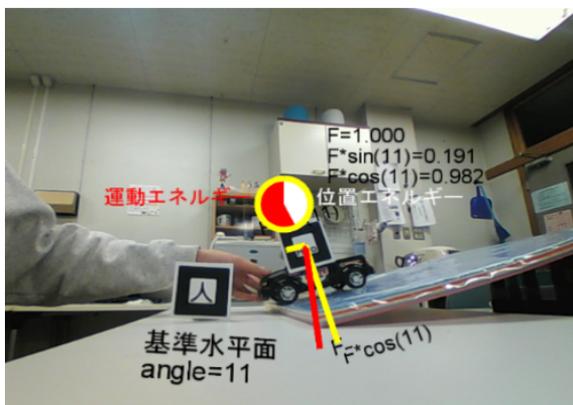


図1 先行研究の物理実験教材

示を用いて現実の物体に働く力の変化をリアルタイムに可視化することによって、学習者の直感的な理解を促すシステムが提案された。

そのために、AR マーカー、加速度センサー、Arduino マイコン、Bluetooth 機能を内蔵したセンサーボックスと、加速度センサーの計測値を Bluetooth で受信し、AR 表示の画面上に力のベクトルと力学的エネルギーを作図する PC 用のソフトウェアが開発された。

### 3. 本研究の提案

本研究では、AR 表示に加えて物理シミュレーションを用いることによって、物体の質量や斜面の傾きが力や運動に与える影響を、より視覚的に理解できるシステムを提案する。これによって、学習者は、現実の実験装置と AR で表示された物理シミュレーションを並べて表示し、それぞれの物体の運動を視覚的に比較できるようにする。

具体的には、図2のような端末の画面上で学習者が物理パラメータ設定を行うと、システムが仮想の実験装置を AR 空間内に生成して物理シミュレーションを実行する。学習者が物理パラメータを変更すると、物体に関する物理量の変化が AR 表示によって可視化される。

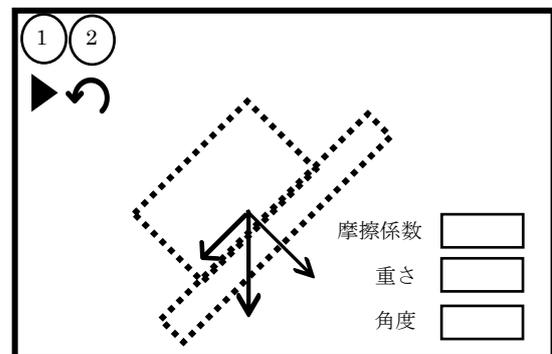


図2 本研究で提案するシステム

さらに、先行研究のシステムを改良し、スマートフォンまたはタブレット端末で動作するようにする。また、センサーボックスが手軽に扱えるようにセンサー付きマイコンを利用し、AR マーカーがある程度速く動いている場合でも検知できるように、認識精度が高いマーカー検出手法を採用する。

#### 4. システムのユーザインタフェース

本システムは、Android 端末用の AR 表示アプリケーションと、M5StickC によって小型化されたセンサーボックスで構成される。

学習者が、Android 端末の画面内に実験装置を映すと、センサーボックスから無線で送信された情報をもとに画面内の AR マーカー上に現実に物体に作用している力のベクトルが矢印によって可視化される (図 3)。

物理シミュレーションによる可視化では、ユーザはまず画面に表示された入力欄 (図 3) に物理パラメータを入力し、生成ボタンを押す。次に、机の上などの場所を端末の画面上でタッチすると、その場所に仮想的に実験装置が生成され、AR によって表示される。学習者が動作開始ボタンを押すと、生成された仮想の実験装置で物理シミュレーションが実行される。

#### 5. システムの開発

本システムは、先行研究で開発したプログラム等は用いずに、ゲームエンジンの Unity を用いて新規に開発した。Unity を用いた理由は、



図 3 力の AR 可視化とパラメータ選択

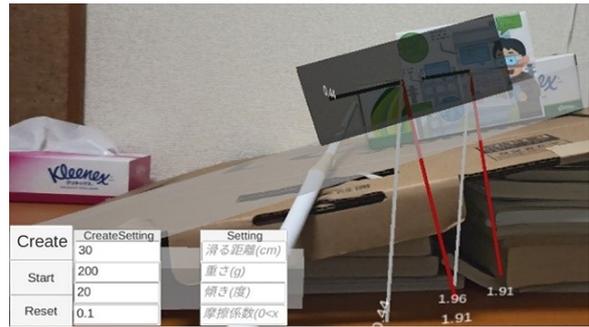


図 4 物理シミュレーションによる可視化

スマートフォンに対応し、(基本的な)物理シミュレーション機能があるからである。AR の実現には、同じく Unity の AR Foundation を使用した。それにより、先行研究で問題になっていた運動中の AR マーカーの認識精度を向上させることができた。

センサーボックスとしては、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 をそのまま使用することができたため、先行研究のようなハンダ付けや配線は不要となった。

#### 6. まとめと課題

本研究では、AR 技術と物理シミュレーションを用いた物理実験教材の開発を行った。それによって、学習者が現実の実験装置と物理シミュレーションを比較し、物理量や物理法則について視覚的に理解しやすくなったと考える。

しかし、端末を持ちながら現実と仮想の両方の実験装置を同時に扱うことは難しいという問題が生じたので、改善する必要がある。

#### 参考文献

- [1] 小松京平, AR 技術を利用した物理学教材の開発, 平成 28 年度玉川大学卒業論文, 2017.
- [2] 廣田翔平, AR 技術とセンサーを用いた物理実験教材の小型化, 平成 29 年度玉川大学卒業論文, 2018.
- [3] 山本陽介, AR とセンサーを用いた物理実験教材に関する研究, 平成 30 年度玉川大学卒業論文, 2019.