

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 11 日現在

機関番号：56203
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2015～2016
課題番号：15K16253
研究課題名（和文）物理学学習のための3Dシリアスゲーム教材の開発

研究課題名（英文）3D Serious GAME Supporting Physics Learning

研究代表者

藤井 宏行 (FUJII, HIROYUKI)

香川高等専門学校・電子システム工学科・講師

研究者番号：70585596

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、物理学学習支援を目的として物理現象をモチーフとした3Dゲームの製作を行い、その教育効果について評価・検討した。さらに学習の進捗を管理できるサーバシステムを構築した。開発したゲームでは、テーマとなる物理学の公式のパラメータを自在に変更し、それに伴いどのような変化が現象として現れるかを観察した後、公式問題や計算問題に取り組むことができる。また製作したゲームを用いて模擬授業を行い、授業後に実施したループリクスとアンケートによりその教育効果を評価した。その結果からゲーム教材での学習はプリント教材と同程度の学習効果を持ち、モチベーション向上の面ではプリント教材より優れていることが示された。

研究成果の概要（英文）：This study aims to develop 3D serious game that to encourage the students to learn physics. The 3D serious game was designed to be used as PC software, therefore it requires only computer environment to set it up as the material. Furthermore, large-scale or microscopic physical phenomena could be replicated much easier than conventional experimental teaching material. In this research, 19 themes of the 3D serious game were developed and a trial lesson and a questionnaire survey were carried out to evaluate effectiveness for physics learning compared to conventional assignment such as hand-out. As a result, many students answered that they enjoyed learning with the games, understood some formulas intuitively. This result indicates that the games could promote the students to learn and understand physics.

研究分野：教育工学

キーワード：物理学学習 ゲームフィクション 学習効果 ゲーム教材 プリント教材

1. 研究開始当初の背景

技術者を目指す学生を育成するためには、物理学や電磁気学の知識の教授は必要不可欠であり、高専をはじめ高等学校においても低学年から物理学を学んでいる。しかし、これらの科目を苦手としている学生は多い。原因は公式が難解であり、式を見ただけでは運動を想像することが難しいことにあると考えられる。この問題を解決するため、従来から実験教材を取り入れた授業が行われているが、物理現象の再現範囲は限られていることや、多くの実験器具を揃えることが困難であることから学生一人一人が実験教材で学習することは実現が難しい。この問題を解決するため、多くの学習用デジタル教材が開発されている。

デジタル教材の利点は、何度も繰り返し学習できることをはじめ、学習者がつまずきやすい問題をデータとして蓄積することで、学習者に合わせた学習プログラムを製作しやすいことやアニメーションなどを使用することで興味や関心を引きつつ、視覚的に楽しく勉強を理解できるようになることである。今までに工学導入教育において複雑な公式をモデル化したデジタル教材が開発されており、それらが学習者の理解を助ける効果があることを確認されている。

2. 研究の目的

デジタル教材では、何度でも現象を観察でき、変数を極端に変更したり、実験を繰り返したりすることができる。したがって、物理学においても様々な公式をモデル化したデジタル教材が開発できれば、高い学習効果が期待できる。また近年、デジタル教材の一つとして世界中でゲームを学習に利用するシリアスゲームの開発が盛んにおこなわれている。従来のデジタル教材に、ゲームとして遊ぶ楽しさを加えることでより高い学習効果を上げている。そこで本研究では、物理学をテーマにした 3D ゲーム教材の作成を考える。

しかし一方で、シリアスゲームを講義に導入するために、既存のカリキュラムを新カリキュラムに置き換えることは教師にとって大きな負担になってしまうという問題点が指摘されている。そこで、本研究で開発する 3D ゲーム教材は、ゲームとして物理現象を体感した後に、すぐに公式問題や計算問題の出題に移るようにし、既存のカリキュラムに組み込むことが容易なシステムを実現する。

3. 研究の方法

本研究では、物理学の複雑な公式や計算問題の学習を支援することを目的とし、物理現象をモチーフにした 3D ゲームを制作する。本ゲームは既に学内で使用されている(他の教育機関においても通常使用されている)コンピュータ環境を必要とし、特別な環境設定の必要がないソフトウェアとして設計する。

さらにゲーム実装後はその有効性を証明するため、従来のプリント教材と 3D ゲームを用いた模擬授業を行い、アンケートとルーブリクスによる評価を実施することで、その学習効果を検討する。

4. 研究成果

(1)まず、本研究で実装された 3D ゲーム教材について説明する。

本研究における 3D ゲームの実装には、Unity を採用した。Unity はマルチプラットフォームに対応しており、開発したゲームは、Windows, Mac, Linux などのデスクトップや、iOS, Android などに対応することができる。

開発したゲーム共通の仕様について説明する。本教材はゲーム画面と問題画面の 2 つの画面から構成している。まず、ゲームが始まると物理運動をテーマとしたゲームをプレイする。この部分で学習者は公式内で使用する物理量を自由に操作し、その影響を実際に見たり体験できる。公式と運動の関係性について理解を深めた後、公式問題が出題される。公式問題においては、公式への理解をより容易にできるように各項の並び替えで解答できるようにし、公式問題を解答した後、計算問題が出題される。また、計算問題においては、ヒントを表示するよう設定している。計算問題の解答を行うと、その結果に応じて異なったアニメーションが流れる。



図1 3D ゲーム教材のシステム

次に実装したゲームのうち、代表的なものをいくつか挙げて詳細に説明する。

図2に示した波を表す式をモチーフとしたゲーム教材では、正弦波をモデル化した。このゲームでは波の変化を目で見て確認することができ、ゲーム画面では、学習者は波の振幅、波長を変更できる。また、波を表示する際のグラフの縦軸を波の変位、横軸を位置としており、時刻による波の変化も見ることもできるため、媒質の動きを確認することができる。

ゲーム画面において、学習者は画面内のボタンを押下することで好きなタイミングで問題画面へ進むことができる。公式問題は並び替えの問題を出題する。公式問題を解答した後に、計算問題を出題する。この計算問題では、問題文章は2種類の中からランダムで

選択される。計算問題を解答すると計算結果に応じたアニメーションが流れる。



図2 波を表す式

次に示す斜方投射をテーマとしたゲーム教材では、物理現象を視覚化するためにロケットの発射をテーマとした。このゲームでは初速度・発射角度の違いによって運動にどれほどの変化があるかを主に確認することができる。ゲーム画面では、ロケットの発射時の初速度、角度を学習者が指定することによって、そのロケットがどのような放物線を描きながら飛んでいくかを見られるようにしており、ロケットの着弾後にそのロケットの飛距離、最高到達点、発射から着弾までの時間が表示される。同時にもう一度ゲームを行うか、問題画面に進むかを選択するようにしている。問題画面ではまず、公式の並び替えの問題を出題する。公式問題では正しく解答できるまで次の計算問題に進むことはできない。その後、計算問題を出題している。計算問題では学習者が指定した初速度、角度を問題に反映させている。

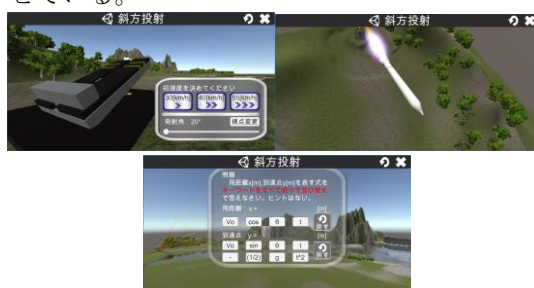


図3 斜方投射（上：ゲーム画面，下：問題画面）

図4に示す円運動では、腕の回転をモチーフとしている。このゲームでは角速度の変化によって現れる運動の変化を確認できる。ゲーム画面では、学習者は、腕の回転の角速度を指定する。そして、指定した角速度に応じた腕の回転が行われる。腕の回転が開始されると学習者は問題に移行する。問題画面では、複数の公式問題と計算問題を交互に出題する。まず出題されるのは周期についての問題である。次に速度・加速度についての問題を出題する。最後に向心力についての問題が出題される。これらの公式・計算問題は、正しく解答できるまで、次の問題へ移行することはできないようにしている。これらの問題をこき終わった後、応用問題に進む。応用問題では、回転軸からの角度を変更した問題を出題する。



図4 円運動

運動エネルギーをテーマとしたゲームでは、銃弾の発射をモチーフとしている。このゲームでは運動エネルギーの変化や違いによって物質に与える影響を確認することができる。ゲーム画面では、学習者はゲーム内のプレイヤーキャラクターを環境内で自由に操作することができる。ゲームが始まると、プレイヤーは銃弾の発射速度が異なる3つの銃の中から1つを選択する。そして銃弾の重さを指定してターゲットとするドラム缶に当てることを目指す。ターゲットとなるドラム缶は3つ、3つが一直線となるように配置してある。すべてのターゲットの重さを統一することによって距離の変化に応じた運動エネルギーの変化を見ることができ、銃弾の発射時から着弾時までの速度運動エネルギーを表示することによって運動エネルギーの変化を理解しやすくしている。ゲームをプレイした後は他のゲームと同様に問題画面では公式・計算問題が出題される。計算問題では学習者が指定した銃の発射速度、銃弾の重さが問題に反映される。そして、計算問題の結果によって異なるアニメーションが流れる。

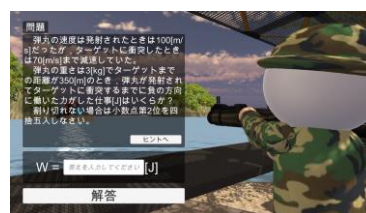


図5 運動エネルギー（上：ゲーム画面，下：問題画面）

摩擦力をテーマとしたゲームでは、物理運動としてカーリングを用いて視覚化した。このゲームでは摩擦係数の違いによって運動にどれほどの変化があるかを確認することができる。この教材ではゲーム画面を2段階に分けた。一つ目は、摩擦片が同一の場合、摩擦面によってどれほどの変化があるかをテーマとした。このゲーム部分ではカーリングのストーン（摩擦片）の物質・重さを一定として、床（摩擦面）の物質が違うものを3種類用意した。つまり、摩擦係数が異なる組み合わせが3つできる。まず、学習者はそれぞれの摩擦係数が違うことを確認する。その後、3つの

摩擦片に同じ力を同時に加えたときの運動の違いを見る。このとき学習者にとって運動の変化が理解しやすいように、摩擦片が進む距離を数値として表示している。シミュレーションを見た後に、次のゲームへ進む。

二つ目は、摩擦係数が一定のとき、摩擦片の質量や加える力によってどれほどの変化があるかを確認できる画面である。摩擦係数はルーレットによってランダムに選択される。学習者は摩擦片の重さや加える力の大きさ、向きを指定する。そして指定された物理量に応じたシミュレーションをする。これを3度繰り返した後、問題へと進む。

計算問題では、2つ目のゲーム時に学習者が選択した摩擦係数、質量を計算問題に反映させている。そして、計算問題の結果によって異なるアニメーションが流れる。



図6 摩擦力（左：床面の摩擦力の違い、右：カーリングゲーム）

図7に示す光の屈折は、ガラスの向こうにいる敵に光を当てて倒すというゲームで物理現象を視覚化した。ゲーム内のガラスは光を屈折する設定としており、ユーザーはその角度変化を予想して照射位置を決める必要がある。これにより、直感的に光の屈折をイメージできるようになると期待される。また赤色と青色の光による屈折率の違いも視覚的に確認できるためイメージしやすくなると期待される。



図7 光の屈折（左：ゲーム画面、右：問題画面）

次に示す熱量と比熱では、5つの異なる物質（鉄、銅、金、銀、アルミニウム）を熱し、それぞれの温度変化の様子を確認することができる。ゲーム開始前にそれぞれの物質の質量を自由に変更することができるようになっている。これにより質量の違い、物質の違いによる温度変化の様子を観察することができる。また、上の画面にはそれぞれの物質の比熱が表示されるため比熱の大小による温度変化の様子も確認できる。物質が融点に達すると破壊される仕様となっている。ゲーム終了後は他の教材と同様、問題画面へ進むことができる。



図8 熱量と比熱（上：ゲーム画面、下：問題画面）

(2) ゲームサーバーの実装と設置

学習の進捗状況をスコアとして管理することを目的として、TCP/IP ソケット通信を用いたゲームサーバーを実装し、学内に設置した。学生は、ログイン ID とパスワードによって校内のサーバーにログインし、学習が進むと自動的にスコアが更新される。また最終ログイン日時も記録されるシステムとなっており、教員が学生の学習状況も確認できるような仕様としている。



図9 ゲーム教材のログイン画面

(3) 模擬授業の実施

従来のプリント教材と今回製作したゲーム教材を用いて、本校2学年34名を対象に模擬授業を実施した。模擬授業の方法としては従来のプリント教材で学習する18名をグループA、そのグループAのうちプリント教材で学習後さらにゲーム教材で学習してもらった17名をグループCとした。また、ゲーム教材のみで学習した16名をグループBとした。授業の評価方法にはループリクスとアンケートの2種類を行った。ループリクスは物理公式の理解度を測るために行った。下の表1はループリクスの一例である。模擬授業を受けた学生は、上の記入欄に公式を記入し（分からない場合は空欄）、自分の当てはまる項目に印をつける。左の項目に丸がつくほど理解度が高くなるようになっており、これを12点満点で評価し結果を分析した。

表1 ループリクスの一例

| 運動方程式 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|--------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|
| 物理公式 | 物理公式が書け、公式内の単一文字すべてが説明することができる | 物理公式が書け、公式内のまじった文字のいくつかを説明することができる | 物理公式が書ける | 物理公式が書けない |
| 公式的性質 | この公式がどのように運動に関わるかを的確に説明できる | この公式がどのように運動に関わるかを大まかに説明できる | この公式がどのように運動に関わるか説明できる | この公式がどのように運動に関わるかわからない |
| 物理量の変化 | 物理量の変化がどのように運動に影響しているかを詳しく説明できる | 物理量の変化が運動に影響している理由を大まかに説明できる | 物理量の変化が運動に影響していることが分かる | 物理量がかわからない |

模擬授業を受講する学生はまず、学習前の理解度を測るために、受講前にループリクスの回答を行う。それと同時に学習の説明も行

う。その後プリント教材，ゲーム教材，あるいは両方で学習を行い，学習後に再度ループリクスに回答した。学習の制限時間は無制限で問題を全て解き終えた時点（もしくは学生が途中で退出すると申告した時点）で終了とした。

(3) アンケートおよびループリクスの結果
グループによって模擬授業に参加した学生数がことなるため，分析は各グループ 16 名ずつを無作為に抽出して行った。また，グループ A とグループ C には同一人物を抽出した。そして各グループの平均値，中央値を算出した。その結果を表 2 に示す。

表 2 ループリクスの結果

| グループ | A | | B | | C | |
|------|----------|-------|---------|------|----------|-------|
| | プリント前 | プリント後 | ゲーム前 | ゲーム後 | プリント前 | ゲーム後 |
| 平均値 | 4.546875 | 5.875 | 4.90625 | 6.25 | 4.546875 | 6.75 |
| 中央値 | 4.25 | 5.5 | 4.75 | 5.75 | 4.25 | 6.375 |

従来のプリント教材で学習したグループ A は，学習後に平均値は 1.33 点上がり，中央値は 1.25 点上がった。製作したゲーム教材で学習したグループ B は，平均値は 1.34 点上がり，中央値は 1.0 点上がった。そしてプリント教材で学習後にゲーム教材で学習したグループ C の平均値は 2.2 点上がり，中央値は 2.13 点上がった。このことからプリント教材とゲーム教材の両方で学習したグループ C が最も良い結果が得られた。

次にアンケートの各設問の結果について詳細に説明する。「この教材は楽しかったですか？」という質問に対して，ゲーム教材は 75% が楽しかった・少し楽しかったと回答したが，プリント教材は 22.2% にとどまった。また，プリント教材は 38.9% の人が楽しくなかった・あまり楽しくなかったと回答しており，楽しかったと回答した割合を上回っている。このことから，ゲーム教材の物理学習に楽しさを提供できている点が確認できると共に，従来のプリント教材に学生が悪い印象を持っていることが分かる。

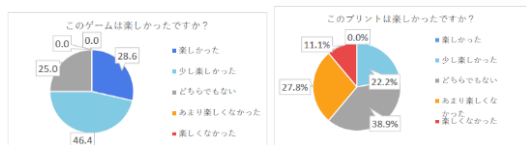


図 10 質問 1(左：ゲーム教材，右：プリント教材)

次に，「物理学に対するやる気は出ましたか？」という質問に対しては，ゲーム教材は 53.5% がやる気になった・少しやる気になったと回答したが，プリント教材では 33.3% が少しやる気になったと回答した。このことからゲーム教材の方が学習に対するやる気を大きく引き出せていることが分かる。学習に対するやる気の面においても，プリント教材はネガティブな影響を与えていることが明

らかとなった。

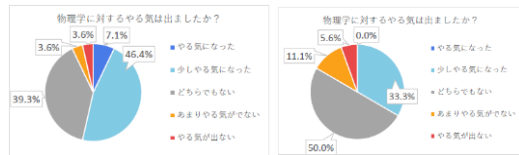


図 11 質問 2(左：ゲーム教材，右：プリント教材)

「今後もこの教材で勉強したいと思いましたが？」という質問に対してゲーム教材は 60.8% が思った・少し思ったと回答した。一方，プリント教材では 22.2% の人が少し思ったと回答しており，両者の差は非常に大きいことが分かる。このことから学生は新しく，かつ楽しく学ぶことのできる教材を望んでいると考える。一方で，あまり思わなかった・思わなかったと回答した学生が，ゲーム教材で 14.3%，プリント教材では 22.3% いることから，どちらの教材にも満足できていない学生もいることが分かった。

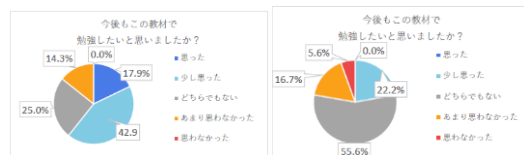


図 12 質問 3(左：ゲーム教材，右：プリント教材)

「この教材を通して物理学に興味を持ちましたか？」という質問に対してゲーム教材は 64.3% が興味を持った・少し興味を持ったと回答したのに対して，プリント教材では 44.4% が少し興味を持ったと回答しており，ゲーム教材が学習に対する興味喚起により効果を上げていることが分かる。一方で，興味喚起の面ではプリント教材も一定の効果を上げていることが分かる。

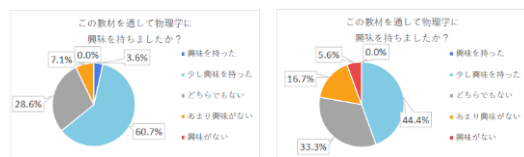


図 13 質問 4(左：ゲーム教材，右：プリント教材)

「この教材は物理学の直感的な理解を助けますか？」という質問に対してゲーム教材は 75% が思った・少し思ったと回答したのに対し，プリント教材は 44.5% が思った・少し思ったと回答した。この結果から，ゲーム教材が直感的理解に大きく効果を上げていることが分かるが，半数ほどの学生はプリント教材を用いても直感的に理解できていることが分かる。

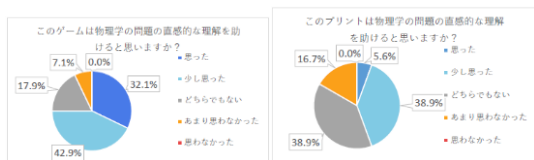


図 14 質問 5(左: ゲーム教材, 右: プリント教材)

(4) 模擬授業の結果に関する分析とまとめ

ルーブリクスによる学習効果の評価では、プリント教材と 3D 教材に関しては、学習前後の理解度の平均値や中央値の伸びがほぼ同じであった。これは、両教材の学習効果は同程度であることを示している。一方で、プリント教材で学習した後に 3D ゲームで学習したグループは学習効果が他のグループに比べて明らかに高い結果となった。今回の実験では、模擬授業の時間を特に設定していないため、プリント教材と 3D ゲーム両方で学習したグループが、他のグループの 2 倍の時間学習したとは限らない（他の学習グループでも学生同士で相談しながら、長時間学習したグループも見られた）ため、新旧両方の教材を上手く組み合わせながら学習することが、学習に大きな効果をもたらすことを示唆する結果が得られた。

アンケート結果からは、モチベーション向上や直感的理解を助ける教材としてゲーム教材が大きな効果を上げていることが確認された。さらに、学習に対する楽しさの面を考えると、プリント教材にネガティブな印象を持っている学生もいることが示唆される結果となった。

これらのことから、ゲーム教材での学習は従来までのプリント教材での学習に全て置き換わるのではなく、学生の学習に対するモチベーションをコントロールできる授業においては、積極的に従来の教材やゲーム教材を併用することで学習効果を上げ、モチベーションのコントロールができない家庭学習や、反転授業や授業の予習のための課題として、ゲーム教材を積極的に活用することでより高い教育効果が期待できると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

Hiroyuki Fujii, 3D Serious Game Supporting Physics Learning, ISATE2016 (The 10th International Symposium on Advances in Technology Education), pp. 320-324, 13-16 September 2016

6. 研究組織

(1) 研究代表者 藤井 宏行 (Hiroyuki Fujii)

香川高等専門学校・電子システム工学科・