

学習意欲向上のための VR 物理実験支援システムの開発研究

村上 祐治¹ 上馬庭 和也¹

概要 : VR 技術の活用が注目されている分野の中で“教育”の分野に着目し、高校物理の授業を想定したシステムの開発、提案をする。本論文では“重力による物体の運動”という単元に焦点を当てシステムを開発し、システムの体験者に対してアンケートを行い、物理実験への適用の可能性を検証した。また、VR 機器を授業に使用する際に生じる問題についても検討を行った。

キーワード : 没入型インターフェース, 教育支援, 教材開発

Research and Development of VR Physics Experiment Support System to Improve Learning Motivation

YUJI MURAKAMI¹ KAZUYA KAMMANIWA¹

Abstract: Focusing on the field of "education" in fields where the use of VR technology is attracting attention, we will develop and propose a system that assumes high school physics classes. In this paper, we developed a system that focuses on the unit of "motion of an object by gravity", conducted a questionnaire to the experience of the system, and verified its applicability to physical experiments. We also examined the problems that occur when using VR equipment in class.

Keywords: Immersive interface, Education support, Teaching material development

1. はじめに

1.1 研究背景

VR 技術はゲーム業界を中心に徐々に広まり発展しつつある。建築や不動産業界ではすでにいくつかの開発が行われており、観光、医療、ショッピング、広告などの業界も VR 技術を利用した新しいシステムが提案されている。本研究では VR 技術の活用が注目されている分野の中で“教育”の分野に着目した。

山崎敏昭ら^[1]が実施した大学の理工系の新生を対象とする高校物理実験アンケートでは、演示実験と生徒実験の実施回数が少ないという結果だった。さらに山崎らはこの現状の原因に時間の不足や備品の不足などを挙げている。

東京理科大学の五十嵐らが 2016 年に発表した論文^[2]では、生徒実験について、一年間で行われた回数が「10 回以上」が 13%、「5~9 回程度」が 21%、「1~4 回程度」が 39%、「0 回」が 27%であった。

VR を使用した教育形態の提案は 10 年以上前から提案されており、花房佑馬ら^[3]は様々な力学場面を 3DCG で再現し、体感的理解を図る VR シミュレーション教材を提案している。花房らの研究との相違点は、進歩している VR 機器による大きな没入感で学習効果を期待できる点、花房らがシステムにゲーム要素を加えているのに対し、本システムはシンプルな物理現象を表現している点である。

1.2 ARCS (アークス) モデル

ARCS モデルとは、Keller の提唱した学習意欲モデルで、注意 (Attention)、関連性 (Relevance)、自信 (Confidence)、

¹ 東海大学
Tokai University

満足感 (Satisfaction) からなる。

VR 教育では、その操作感や、別世界へ移動するような感覚から、特に“注意” の側面に効果があるだろうと考えている。

注意の側面とは、「面白そうだ、何かありそうだという学習者の興味、関心の動きがあれば、注意を獲得できる。新奇性によって近く知覚的な注意を促し、不思議さや驚きによって探求心を刺激する。また、注意の持続にはマンネリを避け、授業の要素を変化させる」というものである。



図1 ARCSモデル (4つの要因)

1.3 VR教育において注意すべき点

VR を教育分野に活用する際に注意すべき点を、医療教育を題材とした高橋優三ら^[4]は、「VRのようなシミュレーション体験は原体験と同じ情報を体験者に入力できると考える人が多いが、実際は触覚などの感覚が欠けている分、書籍などに近い情報入力となるだろう。」「体験した情報と、体験者の記憶にある情報が結びついていない状態でのVRシミュレーションの学習効果は、結びついている体験者に比べて落ちてしまうだろう。」と述べていた。

つまりVRを用いた教育はあくまでも「情報」を与えるのであり、「体験」から得られるものは少ない。このことを理解してVRの開発を行うべきだということがわかった。

1.4 対象と目的

本システムは“物理”という科目を学び始める高校1、2年生を対象とし、山崎らが挙げた“準備時間の不足”“実験道具の不足”を解消、生徒実験の機会を増やす。現実に行き起きている現象をVRにより再現し、これに物理の授業で学ぶ内容を追加表示することで、1.2や1.3で挙げていた「関心を引く」「体験だけでなく“情報”を与える」による学習の効果を高める。この二点を目的としている。

2. システム概要

2.1 本システムについて

本システムでは高校物理の単元ではじめに学習する“重力による物体の運動”を題材として、実験環境を構築した。

VR内で用意された物体を投げ、その際に現れる軌跡をもとにしたリプレイ機能と罫線表示機能から、物体の重力による作用などを学習することができる。さらに、VRで生徒自身が物体を投球することで、学習内容を直感的にとらえることができる。

2.2 システム構築

以下に開発の際に使用したソフトウェア詳細とハードウェア詳細を示す。

表1 ソフトウェア詳細

構成項目	詳細
OS	Windows10 Home Ver.1803
開発環境	Unity 2018.2.9f1
3Dオブジェクト作成	SketchUp 2017

表2 ハードウェア詳細

構成項目	詳細
Oculus Quest	VRを体験する独立型のHMD(ヘッドマウントディスプレイ)
Oculus Touch	システムを操作する両手コントローラ

2.3 システム運用

本システムは、システムを使用しての体験と先生の説明により、演示実験やビデオ学習よりも大きな学習効果があると考えている。

3. システム機能説明

3.1 システム構築

ここでは本システムの全体構成を説明する。本システムを使用する際の大まかな流れは以下のとおりである。

- ① 操作パネルの上部に存在しているボールを手で掴む
 - ② ボールを物理授業に沿った以下の任意の方向へ投げ、軌跡を表示させる
 - 自然落下 □鉛直投げ上げ □鉛直投げ下げ
 - 水平投射 □上方投射
 - ③ 望むような軌跡が表示されたら、パネル操作により軌跡を「ストック」する
 - ④ スtockされた軌跡に対し、「リプレイ機能」や「罫線機能」などで重力による物体の運動について学習する
- また、本システムは「投球モード」と「観察モード」の2つのモードが存在し、モードを切り替えながら操作を行っていく。



図2 投球モードと観察モード

3.2 基本操作

本システム内では、VR コントローラがシステム内の手の役割を果たし、一部の物体に手を伸ばしトリガーボタンを押しながら動かすことで、対象をつかんで持ち上げることができる。

また、操作パネルのボタンに向かって手を向けると、手からボタンに向かってレーザーが表示される。その状態でトリガーボタンを押すと、対象となったボタンに応じた操作ができる。

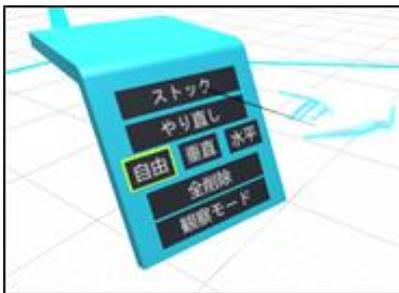


図3 手から放たれるレーザー

3.3 操作パネル

主に投球後に表示される軌跡を対象とした操作を行うことができるVR内オブジェクト。パネル上に表示されているボタンをレーザー操作で選択することができる。



図4 操作パネル

3.4 投球ボール

操作パネルが「投球モード」の時にのみ操作パネルの上部に出現するボール。このボールをつかみ、投げる動作をする際にトリガーボタンを離すことでボールが飛んでいき、投げたボールの軌跡を観察することができる。軌跡は0.1秒間隔で表示され、次の投球の前に「ストック」操作を行うと、軌跡の色が変更される。軌跡の色は「青」「シアン」「緑」「マゼンダ」「赤」「黄色」の7種類である。

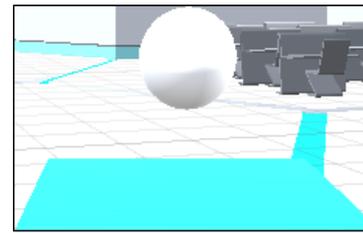


図5 投球ボール

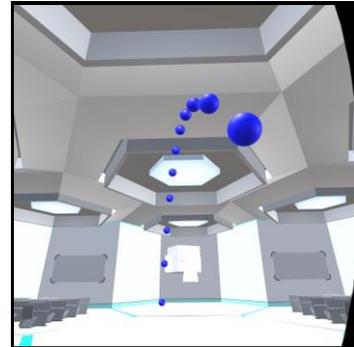


図6 投球の軌跡

3.5 投球モード

投球モードはVR空間内でボールを投げ、軌跡を表示し、観察モードで操作するための対象を集めるモードである。

以下に投球モード時の操作パネルボタン構成と、それぞれの機能の概要を示す。

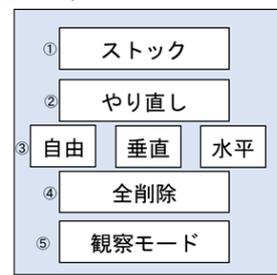


図7 投球モード時動作パネルのボタン構成

- ① ストック：直前に投げた投球ボールの軌跡を、ストックゾーンに移動させ、保存させる。保存数の制限はなく、保存された軌跡は観察モード時の操作対象となる。ストックされた軌跡は、コントローラのスティックの左右操作でまとめて縦軸回転を行うことができる。この回転操作は観察モード時でも可能。

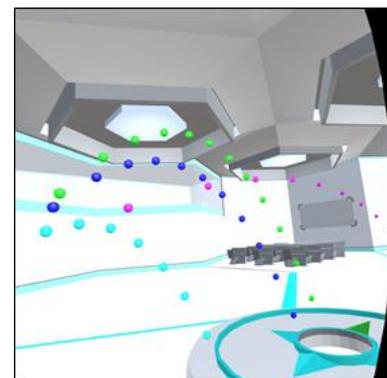


図8 ストックされた軌跡

- ② やり直し：直前に投げた投球ボールの軌跡を削除し、投球をやり直す。ストックされた軌跡は削除できない。また、操作パネル上部にある投球ボールをつかむと、自動的にやり直しが作動する。
- ③ 投球方法変更ボタン：投球する際にかかる力を制限するボタン。自由・垂直・水平の3種ある。
 - 自由…力に制限をかけない投球方法
 - 垂直…横方向の力に制限をかけて、垂直に投げる。
 - 水平…上向きの力に制限をかけて、水平に投げる。
- ④ 全削除：ストックされている軌跡をすべて削除する。
- ⑤ 観察モード：観察モードへ変更する。

3.6 観察モード

観察モードは、投球モードでストックした軌跡を操作し、重力の働きなどを理解するモードである。

観察モード時には、選択状態というストックされていた軌跡群がただ一つを除いて半透明になる状態となる。この状態の非半透明となっている軌跡が操作パネルでの操作に対象となり、コントローラのスティック上下操作を行うことで非半透明状態の軌跡を変更し、対象を選択する。

以下に観察モード時の操作パネルボタン構成と、それぞれの機能の概要を示す。

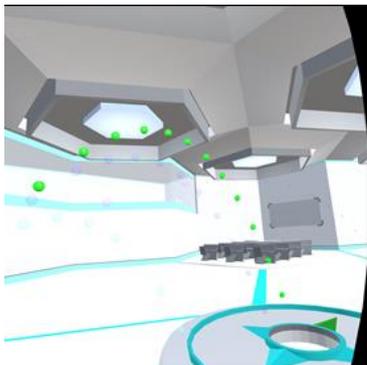


図9 観察モード時のストックされた軌跡

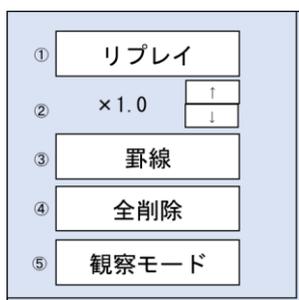


図10 観察モード時操作パネルのボタン構成

- ① リプレイ：対象とした軌跡の動きを再生する。再生の際に出現するボールが3連続で射出され、そのボールらの間隔の変動から重力による速度方向の変動を感じることができる。

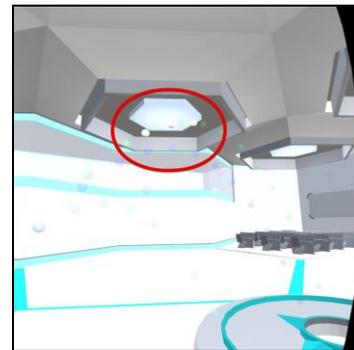


図11 リプレイ機能で再生された投球

- ② リプレイ速度変更：リプレイ時の再生速度の変更を行うことができる。倍率0.2~1.0の間で、0.2間隔で変更が可能。
- ③ 罫線：対象とした軌跡に表示されているボール一つ一つから、地面に向かった垂直線と、その軌跡中最も高い位置にあるボールへ向かった水平線を表示させる。この垂直線と水平線の間隔を見比べることによって、重力が下方向のみに加わっていることや、横方向の速度は時間にかかわらず変わらないということが目視で理解することができる。

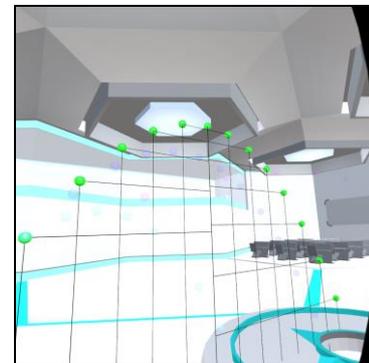


図12 罫線機能

- ④ 全削除：投球モードと同様の機能。
- ⑤ 投球モード：投球モードへ変更する。

4. システムの使用感アンケート

4.1 実験概要

4.1.1 概要

今回の実験では、本システムの対象となる高校生のほかに、大学生や高校教師らにシステムを一通り体験してもらい、使用感や不明点、VRでの教育についての考えなどを選択と記述を混合したアンケートとして回答させた。その結果を踏まえ、本システムが有用かどうかを評価する。

4.1.2 体験者

体験者には、東海大学の学生9名、真和高校の生徒5名、教師2名、熊本北高校の生徒4名、教師2名の、総数22名が協力してくれた。

4.1.3 実験手順

まず、体験者に本システムの使い方を説明するために VR 空間内を撮影した動画を見せる。その後、本システムを体験してもらい、最後にアンケートに回答してもらう。

4.2 アンケートの結果と考察

以下は、アンケートの項目を考察の観点から分類し、結果と考察を記述する。

4.2.1 VR の使用感

表3 VR の使用感についてのアンケート集計

Q2. VR 内でのリアリティを感じましたか	
とても感じた	14
感じた	8
どちらでもない	0
あまり感じなかった	0
感じなかった	0
Q3. VR を使用しての酔いはどうでしたか	
すぐ気持ち悪くなった	0
しばらくすると気持ち悪くなった	2
平気だった	20

<結果>

Q2 では全ての体験者が VR にリアリティを「感じた」と答えてもらい、本システムに現実感があることが分かった。

Q3 ではほとんどの体験者が酔いを感じなかったと答えており、本システムでは VR 酔いは起こりにくいことが分かった。

<考察>

VR を始めて体験する人が多かった中で、この結果は VR を受け入れてもらえているといってもいいだろう。

VR 酔いに関する質問では、ほぼすべての体験者が酔いを感じなかったと答えている。これは酔いの主な原因が視覚による情報と自分の体の感覚との差異によるものであり、今回のシステムでは体験者はその場を動かずに操作する仕様で、VR 内でも移動する必要がないことから、酔いが起こる要因が少なかったからだと考える。

4.2.2 システムの使用感

表4 システムの使用感についてのアンケート集計

Q5. 「リプレイ」機能の学習効果を感じましたか	
とても感じた	11
感じた	9
どちらでもない	2
あまり感じなかった	0
感じなかった	0
Q6. 「罫線」機能の学習効果を感じましたか	
とても感じた	10
感じた	9
どちらでもない	3
あまり感じなかった	0
感じなかった	0

Q7. 「Q5」「Q6」の理由	自分が投げた投球をゆっくりともう一度見られたことでボールの動きをしっかりと観察できたから
	罫線のおかげで、重力による力の働きがわかりやすく見て取れたから

<結果>

Q5, Q6, Q7 から、体験者のほとんどの人がリプレイ機能、罫線機能ともに学習してほしいと想定していた点を感じてくれていたことが分かった。

<考察>

表5 は、リプレイ機能と罫線機能、どちらか一方を高く評価した人を集計し、まとめたものである。予想では、罫線機能のほうが学習点はわかりやすいと考えていたが、表を見てみると双方大きな違いは現れず、1人の差ではあるがリプレイ機能のほうが高く評価されていた。

表5 体験者別のリプレイと罫線機能の比較

	リプレイ>罫線	リプレイ<罫線	リプレイ=罫線
大学生	3	2	4
高校生	2	1	6
高校教師	0	1	3
合計	5	4	13

4.2.3 システムの改善すべき点

表6 システムの改善についてのアンケート集計

Q4. システムの不明点はありましたか	観察と投球モードの切り替えシステムがわかりづらかった
	リプレイを押したときにどこで再生されているか最初わからなかった
Q8. システムの改善点は何かと思いますか	VR 上での操作ガイド
	力や速度ベクトルの表示
	スロー再生でのボールの射出数の変更機能 (2名)
	重力加速度を変更する機能
	現実では観察できない角度からの観察 (2名)

<結果>

Q4, Q8 から、システムの操作性を向上させる必要があることが分かった。

Q8 ではさらに、学習点を理解するための機能を追加、変更する必要があることが分かった。

<考察>

Q4 や、実際に使用してもらっている場面を見て、投球モードと観察モードというシステムは見直さなければならないと感じた。単元の導入として使用してもらうことを想定している以上、このシステムに触れてもらう機会が少ない中で、なるべく説明を省くためにはモードを分けることなくより分かりやすい構成にしなければならないと考えた。

Q8 から、VR 内での操作の説明不足が感じられた。対策としては、ボタンにレーザーを当てた時に一時的に説明がポップアップされるなどといった工夫が考えられる。また、現実ではできない動き、観察を求める意見もあったのは、まだ VR というツールを最大限に生かし切れていなかったことだと考える。

4.2.4 VR 学習に対する考え

表7 VR 学習に対するアンケート集計

Q9. VR 学習をどう思われますか	ほぼ実際の行動からなる学習なのでビデオ学習と比べると効果的だと思う (10名)
	手軽に、場所を選ばず実験が行えるという魅力を感じた (2名)
	現実ではできない観察、行動を行える利点があると思う (4名)

Q10. 今回の投球実験以外で、VR でやってみてみたい物理実験はありますか	摩擦 (2名)
	滑車
	物体の衝突
	遠心力 (2名)
	電気
光、波の干渉、回折 (3名)	

Q11. 物理実験の現状をどう思いますか	実験は大切なものであり、数を増やしてほしいと思う (14名)
	実験が少ない現状は残念だが、様々な要因から仕方ないことだとも思う (5名)
	実験は楽しいが、なくても理解はできるので、絶対必要とは思わない (2名)

Q12. VR で問題解決できると思えますか	
とても思う	10
思う	8
どちらでもない	3
あまり思わない	0
思わない	1

Q13. VR で実験授業が行われたとして、考えられる新しい問題は何だと思えますか	導入コストの問題 (13名)
	VR 酔い (4名)
	VR 使用者以外の人間がやることがない
	VR 使用者の行動をすべて把握できない
	一人頭の操作時間が長いので、授業時間内に収まりにくい (8名)

<結果>

Q9 から、大多数の体験者が VR 学習はビデオ学習などと比べると効果的だと感じたことが分かった。

また、Q11, 12 から物理実験が少ないとされる現状を、増やすべき、VR 学習は問題解決に効果的だという回答が多い反面、絶対に必要とは思っていない。VR 学習では解決できないという意見も見られた。

Q13 では、VR 学習の導入にかかるコストの面を懸念していることが分かった。

<考察>

Q9, 10 から、VR 学習に求めるのは現実ではできないこと、再現できないことだということがかがえる。特に Q10 の回答で、現実では目に見えない「力のベクトル」「電気の流れ」「波」が特に VR で表現してほしい物理単位だということが分かった。

Q11, 12, 13 の問いでは物理実験、特に生徒実験の少なさや、その原因である準備、片付けの時間不足などの原因が VR 学習で解決できるかを聞いている。結果としては肯定的な意見が多かったが、中には「物理実験が絶対に必要とは思わない」や指摘している原因が VR で解消されるとは思わないなどといった意見も見られた。後者は Q13 の回答でもあるように「一人頭の操作時間が長い」という意見が関係していると思われる。確かに、1 回の実験で 7, 8 人を対象とし、約 1 時間の時間を要した。生徒の人数や VR 機材の理解度、台数にもよるが、操作の説明をしつつ授業を行わなければならないこととなると、とてもではないが授業時間が押してしまうことが予想される。

この問題の解決策としては、「説明不要なほどわかりやす

いインターフェースを用意する」または、今回は授業の説明を前提としたシステムであったが、「VR を使用する“特別な授業”として、複数の授業数で単元の授業を行う」という案が挙げられている。特別な授業の例としては、成績が振るわない生徒を集めて、補講として VR を利用し、学習意欲を向上させるといったものである。

5. おわりに

VR で重力による物体の運動実験を開発、提案し、その効果を図るために体験アンケートを取る実験を行った。

アンケートの結果から、VR での学習は生徒、教師ともに大きな関心を寄せ、学習意欲の向上やより深い理解を促す新しい学習法になりうる可能性があることが分かった。しかしその反面、酔いや操作性から見た現段階での VR の限界、授業時間や金銭などの大きな問題も多く、すぐにでも VR 学習を採用というわけにはいかない現実が存在していることも分かった。

しかし近年、ICT 教育の一環として、生徒 1 人 1 台の iPad を使った学習を実践している高校が現れている。iPad 本体そのものは店頭で売っているものと同じものが使われているが、iPad に施されている「設定」や「アプリケーション」が学校向けにカスタマイズされている。今回のアンケートで挙げられていた意見、問題と同様のものを抱えているのにもかかわらずこのような試みを実施しているのは、これからの時代の変化に対応した人材を育成するために、より質の高い教育環境が必要だからだ。

VR 学習もまた、新しい角度からの教育効果を発揮し、教育の質の向上を支援するものになると私は考える。

謝辞 本研究の遂行にあたり、アンケートにお答えいただいた東海大学の学生、真和高校の方々、熊本北高校の方々に感謝いたします。

参考文献

- [1]山崎俊敏,井上賢,谷口和成,内村浩「高校物理の実態 II-2009 年大学新入生調査の分析」物理教育 第 59 巻第 2 号 101-107(2011)
- [2]五十嵐靖則,古屋東一郎,宇田川茂雄,川村康文,相原沙弥「高校物理における実験の実施状況(4)-実施状況の経年変化と新カリキュラム生-」日本物理学会講演概要集 71.2(0), 3154-3154, 2016 一般社団法人 日本物理学会
- [3]花房佑馬,富永浩之,林敏浩,山崎敏範「VR シミュレーションによる力学実験のためのエデュテイメント教材 Interlude の提案」電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学 (2005)
- [4]高橋優三,木島竜吾「人間の能力とは?学び成長するとは何か?: VR を教育に役立たせるための提案」日本バーチャルリアリティー学会論文誌 16(4),615-622(2011) 特定非営利活動法人 日本バーチャルリアリティー学会