

# 中高理科教育におけるガスバーナ操作手順の VR 学習システム

## A VR-based Learning System for Gas Burner Operation in Secondary Science Education

情報工学専攻 19N8100007B 澤井 魁

### 1 序論

現在、日本の中等教育において実験器具の操作技能の習得が中学校学習指導要領理科 [1] に含まれている。中学校学習指導要領理科の項目「(2) 身の回りの物質/(ア) 物質のすがた」では、理科の教育目標として、「身の回りの物質の性質を様々な方法で調べる実験を行い、物質には密度や加熱したときの変化など固有の性質と共通の性質があることを見いだして理解するとともに、実験器具の操作、記録の仕方などの技能を身に付けること。」と定められている。

実験で使用する器具としてガスバーナや顕微鏡、試験管などがあるが、本研究では、事故が起きた際の危険度を考慮してガスバーナに注目する。ガスバーナは実験において物を加熱する際に重宝する器具だが、誤った操作は事故や負傷に直結する。しかし、学校が実験器具を保有、管理をしているため、正しい操作手順の習熟に必要な実物を用いた練習機会(時間、場所)は限定されている。

ガスバーナの従来の学習方法としては教科書や問題集などの紙媒体を使ったものや、動画などの映像を用いた方法があるが、両方とも実践的な学習を行うことができないため、学習指導要領に定められた教育目標を十分に達成できない恐れがある。

これら問題を解決するためには時間や場所の制限がなく、誤った操作に事故や負傷などの危険がなく、反復して練習できるシステムが必要である。これらの実現する技術として仮想現実感 (Virtual reality, VR) の技術がある。VR とは、コンピュータを用いて生成した立体空間に、対象者が入り込むような感覚を作る技術である [2]。

そこで、本研究では、仮想現実感技術を用いて高臨場感を保ちつつ時間や場所を選ばない学習支援システムを提案する。本研究の目的は練習機会を限定されずに安全にガスバーナの使い方を学習できるよう学習者を支援することである。そのためにガスバーナの操作

手順を学習する VR システムの構築をする。目標の達成度を評価するためにユーザ実験を行い、アンケートを取る。その中で提案システムに対して肯定的な意見を得られた場合、目標を達成とする。

### 2 提案システム

#### 2.1 提案システム概要

本研究では、仮想現実感を用いてユーザが仮想空間内で仮想のガスバーナを操作し、操作手順を学習するシステムを提案する。ユーザは仮想のガスバーナを実際に手を動かして操作することで、実器の使用に近い実践的な学習を可能とする。提案システムは、PC、HMD、ワイヤレスコントローラ及びダイヤルコントローラから構成される。提案システムはユーザの操作の正誤を判定し、学習に必要な情報をフィードバックすることで、利用者の理解度向上を促す。提案システムは、HMD として HTC VIVEPro を採用する。それは付属のワイヤレスコントローラを使うことでユーザが実際に手を動かしてシステムを操作することが可能となるためである。



図 1: システム構成

ユーザはダイヤルコントローラのダイヤルを回転させることでガス調節ねじや空気調節ねじを操作できる。右に回すと各調節ねじが開き、左に回すと閉まる。ガス調節ねじを回すと炎の大きさが変化し、空気調節ねじを回すと炎の色と音が変わる。空気調節ねじを右に回すと炎の色が赤から青に変化し、ガスバーナの音も大きくなる。また、ダイヤルコントローラ 1 つで 2 種類のねじを操作する。そのため、ダイヤルコントローラの押し込みボタンで操作するねじを変更できるよう実装している。

## 2.2 提案システムの特徴

提案システムは以下の特徴を有する。

- VR 空間内でガスバーナを操作することで実践的な学習が可能である。
- このシステムを利用することで実物のガスバーナを使用し学習する際に起こり得る危険を回避しつつ、危険な状況になることを利用者に教えることができる。
- 時間や場所の制限が少ない状態で学習できる。

## 3 実装

提案システムの画面構成を以下に示す。



図 2: システム画面 1 図 3: システム画面 2

ガスバーナを点火すると見える映像を以下に示す。ガスの量や空気の量に応じて炎の大きさや色が変わっている。提案システムの使用風景を以



図 4: ガスバーナが点火されている様子

下に示す。現実の机の高さと仮想空間内の机の高さはキャリブレーションによって一致させている。



図 5: 使用風景

## 4 実験・評価

### 4.1 アンケート結果

目標の達成度を確認するため、ユーザ実験を実施する。以下にアンケートの結果を示す。アンケートは4段階評価とし、評価値が小さいほど肯定的、大きいほど否定的を表す。

表 1: 事後アンケート 1

質問	1	2	3	4
1.1 VR 酔いを感じたか	7	1	0	0
1.2 目の疲れを感じたか	6	2	0	0

表 2: 事後アンケート 2

2. 以下が原因で操作が阻害されたか	1	2	3	4
2.1 HMD の視野角の狭さ	5	3	0	0
2.2 HMD の解像度の低さ	5	3	0	0
2.3 HMD の重さ	3	4	0	1
2.4 HMD の大きさ	3	3	2	0
2.5 HMD のトラッキング精度の低さ	3	3	2	0
2.6 コントローラの重さ	6	1	1	0
2.7 コントローラの大きさ	6	2	0	0
2.8 コントローラのトラッキング精度の低さ	5	1	2	0

表 3: 事後アンケート 3

3. 以下の操作において、スムーズに操作できたか	1	2	3	4
3.1 オブジェクトの移動	6	1	1	0
3.2 元栓の開け閉め	7	1	0	0
3.3 コックの開け締め	4	3	1	0
3.4 各調節ねじの調節	5	2	1	0
3.5 調節ねじの切り替え	4	4	0	0
3.6 ガスバーナの点火	6	1	1	0
3.7 スライドの操作	4	3	1	0

表 4: 事後アンケート 4

4. 以下の操作において、本システムの操作方法と実際の操作方法との違いをどの程度感じたか	1	2	3	4
4.1 オブジェクトの移動	3	2	3	0
4.2 元栓の開け閉め	4	1	3	0
4.3 コックの開け締め	3	2	3	0
4.4 各調節ねじの調節	3	3	1	1
4.5 ガスバーナの点火	4	2	2	0

表 5: 事後アンケート 5

質問	1	2	3	4
5.1 仮想の調節ねじの回転はダイヤルコントローラの回転と比べて違和感のないものだったか	3	3	2	0
5.2 各調節ねじの操作においてダイヤルコントローラは有効であると思うか	3	5	0	0
5.3 炎の大きさの変化の仕方は自然なものであったか	3	5	0	0
5.4 炎の色の変化の仕方は自然なものであったか	3	5	0	0
5.5 警告の表示は操作しながら確認する上で視認性が高いと思うか	2	5	1	0
5.6 その時点でダイヤルコントローラで操作できる調節ねじの表示をする UI は有効であると思うか	1	7	0	0
5.7 警告の表現により、誤操作をなくそうという意識が高まったか	4	4	0	0
5.8 操作説明は操作しながら確認するうえで視認性が高いと思うか	3	4	1	0
5.9 操作説明の情報は操作を理解するのに十分であったか	4	3	1	0
5.10 提案システムは紙・電子媒体を使用した学習よりも手間がかからないと思うか	1	4	3	0
5.11 提案システムは実器を使用した学習よりも手間がかからないと思うか	5	3	0	0
5.12 提案システムによる学習を通して、正しい手順で操作を行えるようになったと思うか	4	4	0	0
5.13 紙・電子媒体と比べてより積極的に学ぶことができたか	4	4	0	0

表 6: 事後アンケート 6

6. 以下の操作において、提案システムは紙・電子媒体よりも理解しやすいと思うか	1	2	3	4
6.1 元栓の開け閉め	4	4	0	0
6.2 コックの開け締め	4	4	0	0
6.3 各調節ねじの調節	4	3	1	0
6.4 ガスバーナの点火	7	1	0	0
6.5 操作の順番	6	1	1	0

表 7: 事後アンケート 7

7. 提案システムで実際に手を動かして操作できることが以下において有効であると思うか	1	2	3	4
7.1 理解度の向上	5	3	0	0
7.2 学習意欲の向上	4	4	0	0
7.3 記憶の定着	4	4	0	0

表 8: 事後アンケート 8

8. 提案システムで実際に操作を失敗できることが以下において有効であると思うか	1	2	3	4
8.1 理解度の向上	3	5	0	0
8.2 学習意欲の向上	4	3	1	0
8.3 記憶の定着	4	4	0	0

表 9: 事後アンケート 9

質問	1	2	3	4
9.1 自身が中学生または高校生のときに本システムが自宅にあった場合、使用したいと思うか	2	5	0	1
9.2 自身が中学生または高校生のときに本システムが学校にあった場合、使用したいと思うか	3	5	0	0
9.3 提案システムは実器を使用した学習よりも有効であると思うか	2	5	1	0
9.4 提案システムは実器を使用した学習の代替として有効であると思うか	0	8	0	0

## 4.2 評価・考察

アンケートの結果から提案システムを評価する。

### 4.2.1 提案システムのユーザへの負担

表 1 の質問 1.1, 1.2 において全員から高評価を得られたことと、最高評価の 1 と回答した被験者の割合も多いことから、提案システムがユーザに与える負担は少ないということがわかる。

また、表 2 の質問 2.1 から 2.8 において提案システムで使用したデバイスについて過半数の被験者から肯定的な回答を得られたため、概ね使用するデバイスは適切であったと言える。

### 4.2.2 提案システムの操作性

表 3 では、提案システムの操作性についてほとんどの被験者から肯定的な回答を得られた。このことから、

被験者は全体を通して提案システムをスムーズに操作できたと言える。質問 3.1 において低評価が 1 つあることについては、コントローラのトラッキング精度の低さが原因となっていると考えられる。

提案システムの操作方法と実際の操作方法の違いについて表 4 の質問 4.1 から 4.5 でアンケートをとったところ、全ての項目で過半数の被験者から高評価を得られた。このことからコックの開け締め、各調節ねじの調節、ガスバーナの点火については実際の操作と近い体験を提案システムで再現できたと言える。質問 4.1 から 4.3 では比較的多くの低評価の回答が得られ、質問 4.1 で低評価の理由については「触っている感覚がなかったから」という回答があった。

表 5 の質問 5.1, 5.2 ではほとんどの被験者から高評価を得られたことから、ダイヤルコントローラを使用することによって、提案システムは実際に調節ねじを回しているのと近い体験をユーザに与えられるとわかった。また、質問 5.3, 5.4 でシステムで使用した炎のオブジェクトについてアンケートをとったところ、全員の被験者から高評価を得られた。このことから、システムで使用した炎オブジェクトの大きさの変化や色の変化の仕方は適切であったと言える。

### 4.2.3 提案システムの機能

表 5 の質問 5.5 から 5.7 では間違った操作をしたときに表示される警告やダイヤルコントローラ用の UI についてほとんどの被験者から高評価を得られた。よって提案システム内での警告や UI の表示方法や表示内容は適切であったと言える。

また、質問 5.8, 5.9 で高評価がほとんどであることから、操作説明の表示方法、表示内容についても適切なものであったと言える。

### 4.2.4 テストの結果について

テストの結果を図 8 にまとめた。操作手順についての問題で得られた点数の推移に関して、まずグループ A においてテスト 1 よりテスト 2 の方が点数が増えていることが言える。このことから、提案システムによる学習が従来の紙・電子媒体による学習にマイナスの効果を与えないことがわかる。

また、下図からはグループ A とグループ B の間にはテスト 1 の点数に差があると言える。

以上のことから、従来の紙・電子媒体による学習よりも提案システムを用いた学習の方が学習効果が高い可能性があると言える。

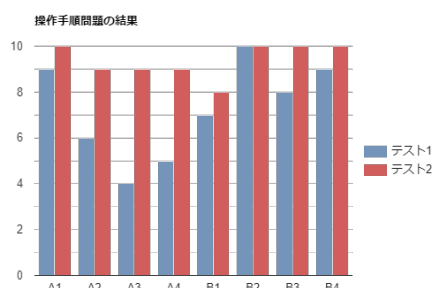


図 6: テストの結果

#### 4.2.5 提案システムの有効性について

提案システムの使用にかかる手間について、表 5 の質問 5.10 では半数以上の被験者から、質問 5.11 では被験者全員から肯定的な回答を得られた。よって提案システムは、紙・電子媒体を使用した学習及び実器を使用した学習よりも手間がかからないと言える。

提案システムを用いた学習効果について、表 5 の質問 5.12 及び表 6 の質問 6.1 から 6.5 では、ほとんどの被験者から肯定的な回答を得られた。よって提案システムはユーザに対して操作手順を理解するために必要な情報を十分に提示できたと言える。また、6.2.4 節から全ての被験者が提案システムを利用することでテストの点数が上がっている。さらに、表 7 の質問 7.1, 7.3 及び表 8 の質問 8.1, 8.3 では全ての被験者から肯定的な回答を得られた。

学習意欲について、表 5 の質問 5.13 及び表 7 の質問 7.2 及び表 8 の質問 8.2 では、ほぼ全員の被験者から肯定的な回答を得られた。よって提案システムを用いて実践的な学習を行うことでユーザの学習意欲向上に繋がると言える。また、表 9 の質問 9.1, 9.2 で、ほとんどの被験者から肯定的な回答を得られたことから、提案システムは自宅や学校での学習でも意欲を向上させるのに十分なシステムであると言える。

提案システムを実器の代替として使用することについて、表 9 の質問 9.4 では最高評価の 1 と回答した被

験者はいなかったものの、全員の被験者から半数以上の操作において代替できるという回答を得られた。このことから、提案システムが実器を使用する学習を完全に代替することは難しいが、半数以上の操作において代替し、実器を用いた学習を助ける役割としての有効性があると言える。また、表 9 の結果と表 5 の結果から、提案システムは中高生向け学習支援システムとして、警告表示の機能とダイアルコントローラを用いてねじを操作できる機能が特に効果的との結果を得た。

以上より、提案システムは本研究の目標を達成したと言える。

## 5 結論

本研究では、時間や場所などの制約がなく、練習機会を限定されずに安全にガスバーナの使い方を学習できるよう学習者を支援することを目的とし、ガスバーナ操作手順の VR による学習システムを提案した。

ユーザ実験の結果から、提案システムがユーザに与える負担は少なく、ユーザはシステムをスムーズに操作でき、システム内の UI の表示方法や表示内容は適切で、提案システムは学習に効果を与えたと言える。また、テストの結果から提案システムを用いた学習は従来の学習方法よりも効果が高い可能性があると言える。さらに、アンケートの結果から準備や片付けに手間がかからず、学習意欲を向上させることがわかった。以上のことから、本研究の目的を達成したと言える。

## 参考文献

- [1] 文部科学省: 学習指導要領,  
[https://www.mext.go.jp/content/1413522\\_002.pdf](https://www.mext.go.jp/content/1413522_002.pdf)  
(最終アクセス 2020 年 10 月 12 日)
- [2] 山下 大輔, 松井 健人, 岡田 基 (2015) 「VR・AR」,  
同志社大学.
- [3] ”無料で使える中学学習プリント”,  
<https://chugaku.manabihiroba.net/rika/gusbunner.html>  
(最終アクセス 2021 年 2 月 3 日)