

Title	仮想現実を用いた学習支援システムにおける データグローブ使用の効果
Author(s)	趙, 若曦
Citation	
Issue Date	2019-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/15820
Rights	
Description	Supervisor: 藤波 努, 先端科学技術研究科, 修士 (知識科学)

仮想現実を用いた学習支援システムにおける
データグローブ使用の効果

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科

ZHAO RUOXI

平成31年3月

修士論文

仮想現実を用いた学習支援システムにおける データグローブ使用の効果

1710126 ZHAO RUOXI (チョウロイ)

主指導教員 藤波 努
審査委員主査 藤波 努
審査委員 橋本 敬
金井 秀明
日高 昇平

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科[知識科学]

平成31年2月

目次

1.	はじめに.....	1
1.1.	研究背景.....	1
1.2.	研究目的.....	3
1.3.	研究意義.....	3
1.4.	論文の構成.....	3
2.	関連研究と関連事例.....	5
2.1.	VRにおける教育効果に関する研究.....	5
2.2.	VRインタラクティブに関する研究と事例.....	6
2.3.	アクティブ・ラーニングの効果に関する研究.....	7
2.4.	本研究の位置付け.....	7
3.	実験設計.....	8
3.1.	実験の環境.....	8
3.2.	プログラムの設計.....	9
3.3.	評価方法.....	12
3.4.	実験の手順.....	13
3.5.	実験の予測.....	14
4.	実験結果.....	15
4.1.	事前問題について.....	15
4.2.	化学実験に関するテストの結果.....	15
4.3.	DES 得点の結果.....	16
4.4.	WBLT 得点の結果.....	21
4.5.	個別問題について.....	23
5.	考察.....	26
6.	まとめ.....	29
6.1.	結論.....	29
6.2.	今後の課題.....	29
	参考文献.....	31

目次

図 1-1. 北京の中学校で行った VR 教育実験の様子.....	2
図 1-2. VR に対する 3 つの操作方法	3
図 2-1. VR 実験シミュレーションと普通の授業を比較する結果	5
図 2-2. LEAP MOTION を使用するときの様子	6
図 3-1. 今回の実験に使用する HTC VIVEPRO.....	8
図 3-2. 今回の実験に使用する HI5 データグローブと VIVEPRO のコントローラー ..	9
図 3-3. VIVEPRO のコントローラー（人差し指の下はトリガーである。）	10
図 3-4. VR 化学実験室における全体的な様子	11
図 3-5. VR 化学実験室における文字による提示の様子	11
図 3-6. データグローブのグループが実験をする時の様子.....	13
図 3-7. コントローラーのグループが実験をする時の様子.....	14
図 4-1. 参加者が VR 経験の有無に関する結果.....	15
図 4-2. 参加者が.....	15
図 4-3. 化学知識に関する前テストの得点.....	16
図 4-4. VR 実験室の使用による積極的な感情変化	16
図 4-5. VR 実験室の使用による消極的な感情変化.....	17
図 4-6. WBLT における学習の効果、デザインとエンゲージメントに関する平均得点	21
図 4-7. 3D 酔いの症状が出るかどうかに関する問題の結果.....	24

表目次

表 4-1. 積極的な感情変化による二元配置分散分析	18
表 4-2. 積極的な感情に関するデータグループのグループにおける前後テストの差のT 検定	19
表 4-4. 積極的な感情に関する二つのグループにおける前テストの間に差のT検定 ...	19
表 4-3. 積極的な感情に関するコントローラーのグループにおける前後テストの差のT 検定	19
表 4-5. 積極的な感情に関する二つのグループにおける後テストの間に差のT検定 ...	19
表 4-6. 消極的な感情変化による二元配置分散分析	20
表 4-7. グループ別によって学習効果の得点における一元配置分散分析	22
表 4-8. グループ別によってプログラムデザインの得点における一元配置分散分析 ...	22
表 4-9. グループ別によってエンゲージメントの得点における一元配置分散分析	23
表 4-10. グループ別によってシミュレーションの完成時間における一元配置分散分析	24
表 4-11. グループ別によって没入感を中断する程度における一元配置分散分析	25

1. はじめに

本研究では、仮想現実を用いた学習支援システムにおけるデータグローブの使用効果を検討して、より良い体験を与えることができる学習実験支援システムを構築する。本章では、研究の背景として、VRの教育領域への応用、中国における教育の現状とVRにおけるヒューマンマシンインタフェースについて紹介する。その後、本研究の目的、意義及び論文構成について述べる。

1.1. 研究背景

1.1.1. VRの発展と教育領域の応用

仮想現実 (Virtual Reality, 以下 VR と略す) とは機能として現実と同じような環境でユーザの五感を含む感覚を刺激する。コンピュータで作られた世界を現実として知覚させる技術である。近年、VR技術が成熟するにつれて、多くの用途が出てきている。特に、エンタテインメント用 VR ゲームや映像はソーシャルメディアの宣伝により多くの人に知られている。そして、VRは多くの業界で様々な使われ方をしており、多くの場合は職業訓練や、利用者に概念や体験を伝えることに関わっている。トレーニングとシミュレーションはVRにとって重要な用途である。整備士から外科医まで、あらゆる職業のトレーニングに利用できる可能性がある。VR技術は物理的な現実環境の代わりにユーザを仮想的な空間へ置くことで従来に高かった練習コストを減少する。

3Dにおける形式で学習の材料を示すことは学習材料を可視化する必要がある学科 (例えば、化学と生物学など) に対して良い効果がある。VRはこのような学習材料を3Dの形式で示すことと同時にインタラクティブ性や触覚フィードバックなども提供できる。VR教育を従来の教育形式と比べると、VRによる没入感が学生の自主性を引き出すことが特徴である。特に、VRでゲーム化した実験室シミュレーションは、普通の教科書教育より学生の学習の質と自主性が明らかに上がっている[1]。VRで提供するインタラクティブ性とフィードバックがそのような学科にとって良い影響があることからこの形式で学生のアクティブ・ラーニングを推進する。また、VRのシミュレーションで学生に自主的練習と学習のチャンスを与える。現状の課題は、学校側はこういう高価な設備が必要であり、危険性が伴う演習をいつでも利用できる状態を用意できないことである。

1.1.2. 中国における教育の現状

現在、中国の教育制度は発展段階にあるが、制度的に問題が多く、教育方法の改善も課題の一つである。このような中で、教師から一方的に伝えるという従来の授業方法では、学生の学習意欲を高めることができないため、学生が授業の内容に興味を持たないという問題がある。中国の中学校、高校では維持費用や安全面などを考慮し、理科の実験室を設置していない。もしくは、基本的に利用していない状況である。実験に関する授業は動画を見るか教師が実演するなどの形式で学習している。そのため授業の内容に興味を引き出せない。

中国の工業情報化部 (Ministry of Industry and Information Technology) は VR 産業の発展を加速させることに関して指導的意見を述べている [2]。この中で、教育領域に関することは高等教育や職業教育などの分野で、物理、化学、生物、地理などの授業で VR が利用できる教室、実験室の構築などを促進する。いくつかの会社と研究所から、VR 教育に関する実験が行なわれていた [図 1-1]。2016 年、Bluefocus と iBokan 二つの会社が北京の中学校で VR 教育の実験を行った [3]。その報告書によると、VR コンテンツを使った学生の成績が教科書教育を受ける学生より高い。そして、VR コンテンツを使った学生の授業に関する記憶が普通の学生より忘れにくいと報告されている。



図 1-1. 北京の中学校で行った VR 教育実験の様子

(出典 : <http://www.qiepa.com/2017/04/20436/>)

1.1.3. VR におけるヒューマンマシンインタフェース

VR 環境での操作方法は三つの種類がある。一つ目は、コンピュータと同じようなマウスとキーボードを使って、VR 環境内で操作することである。しかし、VR 環境内にいるユーザが外側の状況が得られないため、使いにくいことになる。も

う一つは、ゲーム用のコントローラー[図 1-2 の A]、もしくは VR 専用のコントローラー[図 1-2 の B]を使うことである。特に、VR 専用のコントローラーは VR 環境の特徴を考えた上でデザインしている。または、データグローブ[図 1-2 の C]や手の動作を識別できるモーションキャプチャー装置で手の動きから直接に操作することである。



A. PICO社が開発したVR設備とコントローラーである。



B. HTC VIVEのコントローラーである。



C. noitom社が開発したVR用のデータグローブである。

図 1-2. VR に対する 3つの操作方法

(出典 : A : <https://www.picovr.com/cn/awards.html>

B : <https://www.vive.com/jp/product/>

C : <http://www.noitom.com.cn/hi5/194.html>)

1. 2. 研究目的

本研究では、VR の頭部装着ディスプレイ (Head Mount Display, 以下 HMD と略す) とデータグローブ装置を組み合わせた理科実験支援システムが学生の学習意欲を引き出すかどうかを確認する。提案する VR 実験支援システムとコントローラーで操作する VR コンテンツを比較してデータグローブの使用効果を検証する。

1. 3. 研究意義

VR システムを学校教育で応用するのは今までの授業形式と比較するといくつかの長所がある。様々なことをシミュレーションする疑似性、インタラクティブ性、柔軟性、コストの節約、多感覚の応用、臨場感と自主性が高められるなどである。本研究では、VR の HMD とデータグローブを組み合わせ、よりインタラクティブな教育コンテンツを作成することで、VR 教育の臨場感と学生の自主性を高めることを目的とする。VR 教育コンテンツにより学生の学習意欲を引き出す。

1. 4. 論文の構成

本論文は全 6 章で構成する。第二章では、関連研究と関連事例について紹介

し、本研究の位置付けを明確する。第三章では、実験の設計についてプログラムの開発、評価方法の説明、実験の手順と予測を紹介する。第四章と第五章では、実験の結果と分析結果を示す。最後に、第六章では研究のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究と関連事例

2.1. VRにおける教育効果に関する研究

近年、ゲーム関連の原則を用いて技術で学習を強化すること（Technology Enhanced Learning, TEL）に関心が高まっている。学習オブジェクトをゲーム化することで学生の学習に積極的な影響がある[5][6]。そして、VRは普通のビデオゲームと比べると、高い没入感を提供するため使用者にもっと良い体験を与える。教育領域にVR技術を応用する研究も増えている。Allcoat & Muhlenen (2018)は、ビデオ教育、教科書教育と比べるとVRを用いた教育プログラムのほうが成績、感情とエンゲージメントが高くなると述べている[7]。このエンゲージメントとは、学生の学びへの取り組みや関与のことである。そして、VRの没入感によってシミュレーションの実験室も学習に対する積極的効果がある。Bonde et al. (2014)はVR実験室と普通の授業に比べてVRを用いた学生の方が成績が高いと述べている[1]。そして、著者らはVRのシミュレーションと普通の授業を組み合わせると成績が更に上がると述べている。図2-1のように示す。Lectureは普通の授業を受ける学生のグループであり、LabsterはVRの実験シミュレーションを用いて授業を受ける学生のグループであり、Lecture&Labsterは両方の授業を受けるグループである。

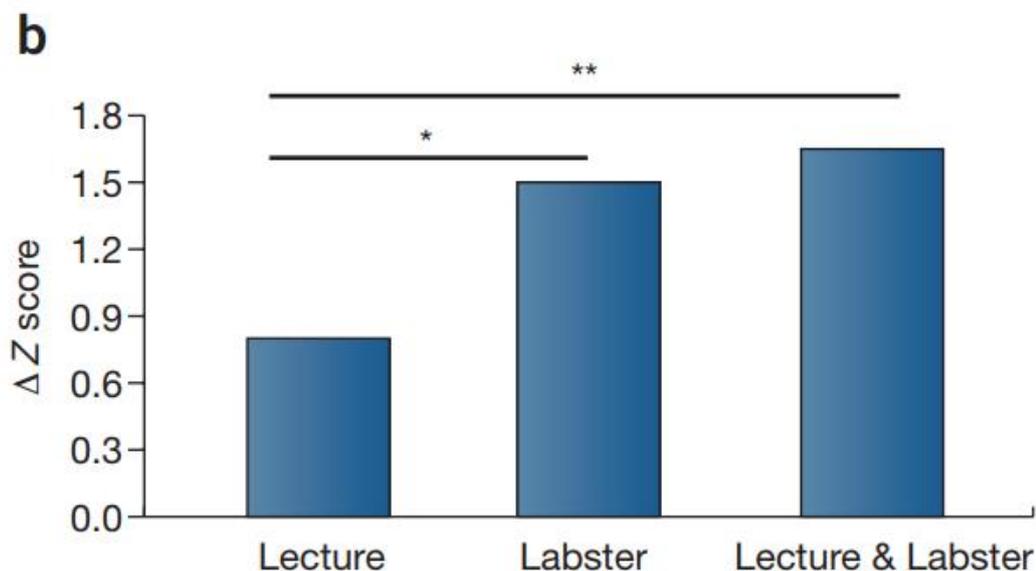


図 2-1. VR 実験シミュレーションと普通の授業を比較する結果

実験室シミュレーション(Labster)、グループ練習を含む講義(Lecture)と両方を組み合わせた講義で、学生がテストに参加した後、学習効果が増加することが観察された。(出典：参考文献[1]により)

しかし、VR を用いた教育プログラムは必ずしも学習効果を上げるわけではない。Makranskya et al. (2017) は、低没入感の VR 学習オブジェクトが学生に余計な認知的な負荷をかけることを報告している。そして、コンピュータ環境での学習オブジェクトと比べると、慣れない VR 環境の操作方法が余計な操作量も伴うことである。[8]

VR 環境には、使用者の記憶にも積極的影響もある。Krokos et al. (2018) は、VR の HMD 環境と通常のディスプレイを比べて使用者の記憶への影響を論じている。VR 環境で、使用者が普通なディスプレイ環境より思い出しやすくなる。記憶は、学習に対して重要な影響要因である[4]。

2.2. VR インタラクティブに関する研究と事例

ユーザと VR システムのインタラクティブ性は VR の HMD 専用のコントローラーを使用することにある。これらのコントローラーは大体エンタテインメント用に設計したものである。そして、各会社の間でデザインの方法は統一されていない。これは、使用者に操作方法を学習する負担をかける。それで、手の動きから直接 VR 空間内のオブジェクトを操作することを応用する研究が増えている。主に、VR 用のデータグローブとトラッキング技術に関する二つの種類がある。

トラッキング技術とは、カメラやセンサーの前で手を動かすことで、VR 空間内に表示された仮想物体を直接触るようにして操作する技術である。Leap Motion はこの技術を応用する商品であり、使用する様子を図 1 のように示す。しかし、カメラの範囲と手が重なる場合が多いため、今回の実験にはこの技術を採用しない。



図 2-2. Leap Motion を使用するときの様子

(出典 : <https://www.leapmotion.com/>)

データグローブとは、コンピュータと人間のインタフェース用装置の一つで

あり、手の位置や姿勢データが磁気センサーや慣性センサーといったモーション・トラッカーにより計測されるデータでコンピュータを操作することができる。そして、高機能なデータグローブは、触覚フィードバック機能や力覚感知などの機能を備える。今回の実験には、活動範囲と手が重ねやすいことからデータグローブを用いて実験支援システムを製作する。

2.3. アクティブ・ラーニングの効果に関する研究

アクティブ・ラーニングとは、教員による一方的な講義形式の教育とは異なり、学修者の能動的に学修に参加する学習法の総称である[9]。Freemana et al. (2017) は、アクティブラーニングの学習効果が一方的な講義より学生の学習効果が良いと述べている[10]。特に、アクティブラーニングは理解と記憶に良い効果がある。インタラクティブ性とフィードバックがVRの特徴であるため、能動的な学習を促成できる。そして、エンゲージメントと没入感も学生の能動性を高めることができる。したがって、VRによる教育プログラムはアクティブラーニングに良い効果を与えると期待される。

2.4. 本研究の位置付け

VRの特性により、アクティブ・ラーニングができる教育プログラムは学生に良い学習効果を与えることができる。そして、VRによって学習することは成績、感情変化とエンゲージメントなどの方面で積極的な影響もある。関連研究により、没入感が高まることで使用者の体験も同時に高めることができる。それに対して、慣れない操作方法は使用者に余計な負担をかける恐れがある。

そこで、本研究ではデータグローブを用いて学生の使用負担を軽減する上で、データグローブがVR実験支援システムに及ぼす効果を検討する。

3. 実験設計

データグローブを VR 実験支援システムで使用した時の効果を検証するために、二つバージョンの VR 実験室を製作し、比較する。VR 実験室で薬品の使用、実験器具の取り置きと組み合わせ、反応するときのアニメーションはすべて Unity で実現する。二つのバージョンは使用するモデルとアニメーション効果が同じようになる。操作する設備だけでコントローラーとデータグローブに分ける。参加者は全員日本に滞在している中国の留学生である。この中に、データグローブを使用する参加者は手の大きさに制約がある。そして、VR 空間内に活動範囲は 2.5 m×2.5mの中に限られる。

3.1. 実験の環境

3.1.1. ハードウェア

ハードウェアについては、HTC VIVEPRO (図 3-1) で VR 環境を提供する。HTC VIVEPRO とは、HTC と Valve Corporation により共同開発された VR 向けヘッドマウントディスプレイ (VR HMD) である。HTC VIVEPRO は二つの MOLED ディスプレイ (片目あたりの解析度は 1440 x 1600 ピクセルであり、合計 2880 x 1600 ピクセルである。リフレッシュレートは 90 Hz である。) で 110 度の視野角を提供する。これによって、良い VR 環境を提供できる。そして、コントローラーのグループの参加者は HTC VIVEPRO 自体が提供したコントローラーを VR 環境内で使用する。



図 3-1. 今回の実験に使用する HTC VIVEPRO

データグローブについては、NOITOM 社の Hi5 VR GLOVE (図 3-2) を使用した。Hi5 VR GLOVE は VIVE のトラッカー (またはコントローラー) と連携することで VR 空間内に両手と全ての指の動きをリアルタイムにシミュレーション表示させることができる。データグローブのグループの参加者はこのデータグローブを使

用して VR 環境内で直接手の動きで操作する。そして、このデータグローブは力覚のセンサーと触覚のフィードバック機能が付いていない。データグローブは精度の要求があるため、参加者の手のサイズに制限がある。今回使用するデータグローブは S サイズである。手囲（手のひらにおける一回りの長さ）は 17.5 cm から 20 cm までに、中指の長さは 9 cm から 10 cm までである必要がある。



図 3-2. 今回の実験に使用する HI5 データグローブと VIVEPRO のコントローラー

3.1.2. ソフトウェア

実験用のプログラムは Unity で開発する。Unity とは、ユニティ・テクノロジーズから開発した、統合開発環境を内蔵し、複数の機材に対応するゲームエンジンである。本研究は、Unity3D-2018.2.17f1 (64-bit)バージョンを使用する。

3.1.3. PC 環境

HTC VIVEPRO 対応する VR コンテンツを開発するため、PC 端末の実行環境を以下に示す。

- CPU : Intel (R) Core (MT) i5-7500 cpu@3.4GHz
- GPU : NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB
- メモリ : 8GB
- OS : windows 10 64bit

3.2. プログラムの設計

Unity で HTC VIVEPRO 対応のソフトウェアを作るために Asset Store にある Steam VR プラグインを使用した。そして、シミュレーション化学実験室を作った

めに Asset Store にある教室のモデルを使用した。化学の実験器具はすべて 3ds Max 2019 で作ったことである。

シミュレーション化学実験室内に 6DoF (six degrees of freedom) の自由度を提供する。6DoF とは、3次元において剛体を取り得る動きの自由度に相当する。具体的には、3次元の直交座標系の軸に沿って動くことができ、また直交座標系の3軸おのおのの周囲を回転できることを指す。これは、VR酔いを避けるためである。基本的な操作方法は VIVEPRO のコントローラーを使用してトリガー (図 3-3) を引き、実験器具を取ることである。VR空間内に取られた実験器具がコントローラーの位置にしたがって移動する。



図 3-3. VIVEPRO のコントローラー (人差し指の下はトリガーである。)

そして、注意力を維持するために操作手順は音声ではなくて全て文字と動画で提示する。VR 化学実験室における全体的な構造を図 3-4 に示す。実験手順の提示は操作台の上に置くモニターで提示する。次のステップで使う実験器具は黄色のアウトラインで提示し、器具の置く場所を青色のアウトラインで提示する。そして、注意すべきところは実験器具の上に文字で提示する (図 3-5)。参加者を実験の流れに従わせるために前のステップを完成しないと次のステップに進めないようにする。また、実験器具が落ちたら本番の状況に近いようにするために最初のステップからもう一度やり直すように定めた。



图 3-4. VR 化学实验室における全体的な様子

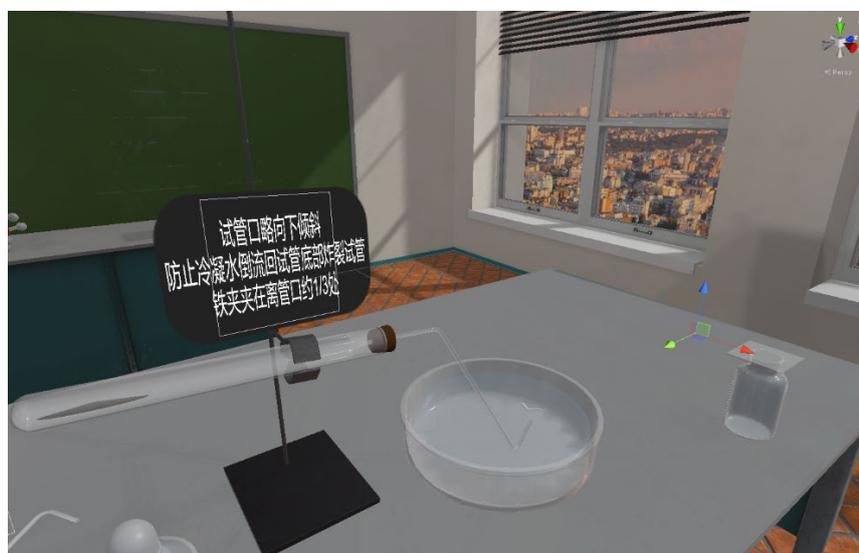


图 3-5. VR 化学实验室における文字による提示の様子

データグローブのバージョンにおける操作方法は基本的にコントローラーのバージョンと同じようになる。違うところは、実験器具の取り方は手で直接取る動きをして VR 空間内にある手のモデルが実験器具を取ることである。そして、その手のモデルは現実空間内の手の位置と同じ位置である。手を表示するモデルについては、データグローブのバージョンが使用するモデルは SDK から提供する手のモデルを使う。コントローラーのバージョンは現実の状況と近いために VIVEPRO のコントローラーのモデルを使う。これは、没入感を高めるために現実の状況と一致する。

シミュレーションの化学実験については過マンガン酸カリウムを加熱して酸素を得る実験を選択する。この化学実験は中国の中学校で最初に学習する基本的

な実験である。使用する実験器具の種類が多くし、実験室に注意すべき基本的な操作ルールもいくつがある。そして、手の操作によるステップが多い。これらの原因によって、この化学実験をテスト用のデモ (DEMO) に選択する。最初のステップから化学実験を完了するまで個人差があるものの三分前後である。

3.3. 評価方法

評価方法については、基本的に4つのアンケートから結果を得る。Differential Emotions Scale (Izard et al. 1974、以下はDESと略す) を使用して参加者の感情変化を測定する[11]。The Web-based Learning Tools Evaluation Scale (Kay 2011、以下はWBLTと略す) という評価方法で参加者によりプログラムの使用効果を測定する。[12]。そして、化学実験に関するテスト問題を使用して参加者の知識に関する状況を測定する。また、いくつ個別問題で参加者の状況を測定する。

DESには九つの感情によって、参加者がテスト前とテスト後における感情変化を測定する。使った九種類の感情は興味、楽しみ、悲しみ、怒り、恐怖、不安、軽蔑、驚きと喜び (interest, amusement, sadness, anger, fear, anxiety, contempt, surprise and elatedness) である。そして、一つの感情について二つから三つの意味が近い言葉で参加者を理解しやすい状態になる。採点について参加者は1 (全然違う、not at all) から5 (非常に賛同する、very strongly) までの範囲内に現在の感情による回答する。九種類の感情のうち、積極的な感情は四種類であり、消極的な感情は五種類である。

WBLTの評価方法は学生が教育プログラムを使用した後での自己評価から教育プログラムの使用効果を測定することである。WBLT評価尺度は参加者が13個の問題から学習プログラムによる使用効果を評価する。その採点について、1 (全然思わない、strongly disagree) から5 (非常に賛同する、strongly agree) までの範囲内に問題による評価項目を回答する。これらの問題は本実験の状況を考慮して理解しやすく翻訳する。そして、13個の問題は学習効果、プログラムのデザインとエンゲージメントで三つの因子に分けている。

化学実験に関するテスト問題はBAIDUという中国の検索エンジンで探した試験問題の中に選択する。八つの問題で組み合わせると満点は合計12点である。その中に、4つの問題は過マンガン酸カリウムを加熱して酸素を得る実験に関する注意点における問題である。他の問題は実験器具の名称に関する問題である。

個別問題については、VR設備の使用経験、3D酔い、没入感を壊す状況などに関する問題である。

3.4. 実験の手順

本実験は基本的に四つのステップに分けている。二つのグループの参加者全員における実験手順は同じである。この中に、ステップ3だけ二つのグループに分けてデータグローブと VIVEPRO のコントローラーで実験をやる。

最初のステップは、実験前の個別問題と化学実験のテスト問題を回答することである。これは、参加者の基本情報を得ることと参加者が次にやる化学実験に関する知識の把握状況を得るためである。本実験の参加者はすべて中国の留学生のため、基本的には中学時代にこの化学実験を勉強したことがある。しかし、数年前に勉強した知識であり、普段使わないのでほぼ忘れていていると考える。

二つ目のステップは、ネット上にある過マンガン酸カリウムを加熱して酸素を得る実験の実演ビデオを見ることと前の DES アンケートを回答することである。ここで実演ビデオを見る理由は二つにある。まずは、次にやる化学実験の説明と同一である。そして、最後に VR でシミュレーションすることと実演ビデオを見ることの比較問題もある。

三つ目のステップは、VR で学習するステップである。まずは、VR 設備の装着準備である。データグローブを使用することが校正（キャリブレーション）する必要があるため、準備の段階が5分前後必要である。VR のHMDを装着して、バーチャル実験室での操作方法を伝えて、操作方法に慣れる時間も提供する。合計3分前後になる。そして、1分間の休憩の後には、バーチャル実験室で化学実験をやる段階である（図3-6、3-7）。個人差があるが、3分前後で完了する。完了後は、同じく1分間の休憩時間を与える。



図 3-6. データグローブのグループが実験をする時の様子



図 3-7. コントローラーのグループが実験をする時の様子

四つ目のステップは、三つのアンケートに回答することである。前と同じ化学実験のテスト問題をもう一度回答する。これは、実験用のプログラムを使用した後で学習の効果を検証する。次に、DES アンケートをもう一度回答して、実験後の感情変化を測定する。そして、WBLT のアンケートを回答して参加者により学習プログラムの使用効果を測定する。最後に、実験後の個別問題を回答する。

3.5. 実験の予測

DES と WBLT の二つ評価項目にはデータグローブを使用するグループの得点がコントローラーのグループより高くなると予測した。そして、科学知識テストについては二つのグループが学習後に得点が増えることになる。しかし、学習する知識が参加者にとって簡単であるため大きな差が出ないかもしれない。次に、操作方法による没入感の中断に関する問題はデータグローブのほうが中断する程度が低いことになるかもしれない。

4. 実験結果

4.1. 事前問題について

今回の実験には、一つグループに9名の参加者を募集して、二つのグループで合計18人が実験に参加した。事前のアンケート問題によって、VR設備の使用経験と乗り物酔いや3D酔いの状況が基本的に同じことを確認した(図4-1、4-2)。そして、データグローブのサイズにより、データグローブのグループは女性の参加者が5人になりコントローラーのグループの2人より多いこととなった。

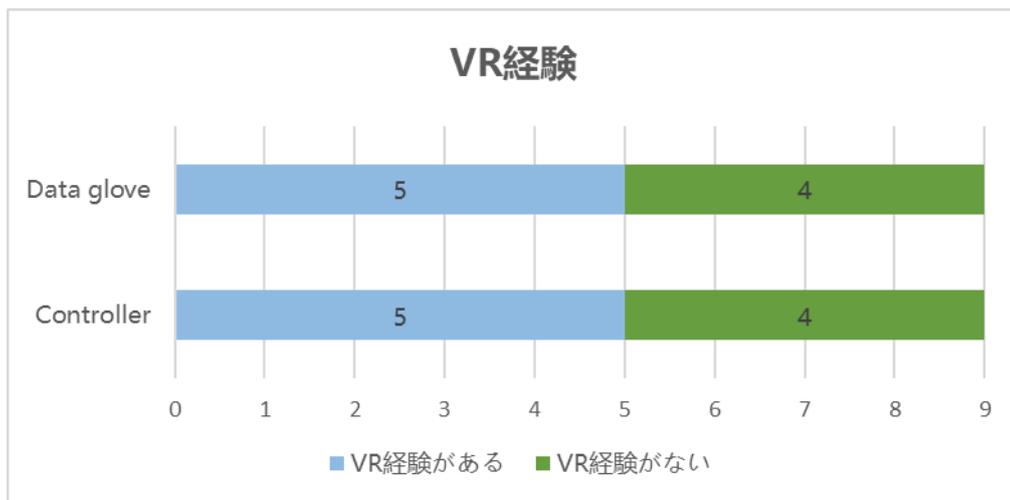


図 4-1. 参加者が VR 経験の有無に関する結果

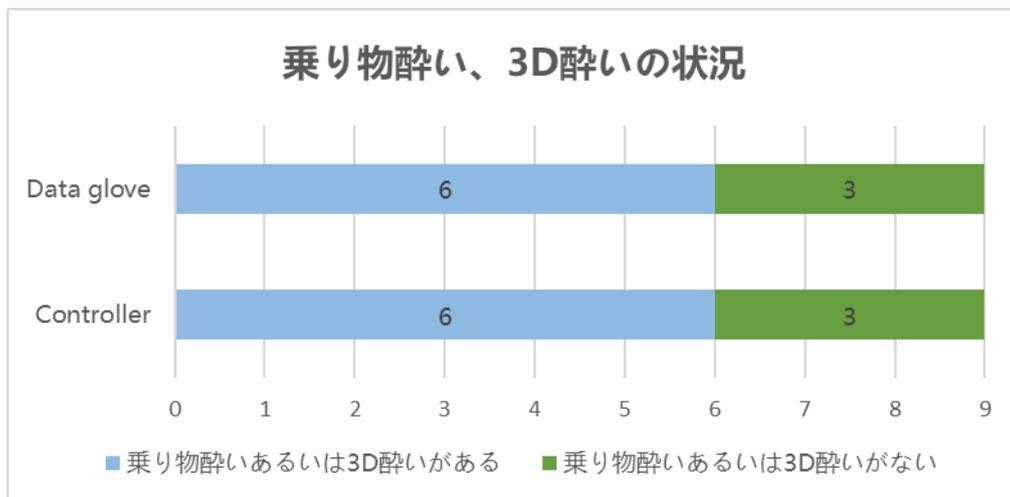


図 4-2. 参加者が

4.2. 化学実験に関するテストの結果

化学知識に関する前テストの平均得点を図4-3に示す。二つグループの間に有意差 $p=0.917$ が見られなかった。参加者は実験に参加する前に基本的に同じレベルの知識量であることを把握している。そして、二つグループの平均得点が満

点の 12 点に近づくことは中学時代の知識をある程度忘れたことに起因すると考えられる。また、問題の難易度は参加者にとって低いことである。それは、VR で学習した後で全員の得点が満点になることから証明できる。

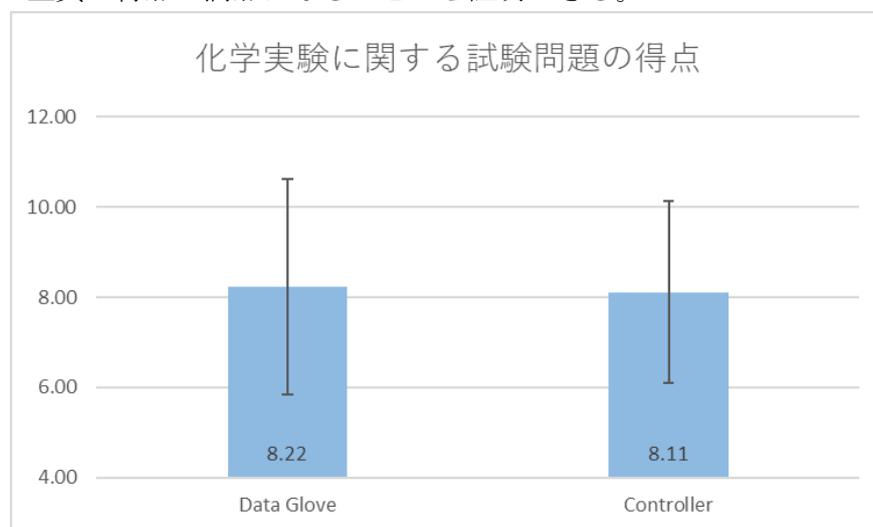


図 4-3. 化学知識に関する前テストの得点

4. 3. DES 得点の結果

DES の評価は積極的な感情と消極的な感情で二つのグループに分けている。積極的な感情は興味、楽しみ、驚きと喜びの四つであり、平均得点は図 4-4 に示す。消極的な感情は悲しみ、怒り、恐怖、不安と軽蔑の五つであり、平均得点を図 4-5 に示す。

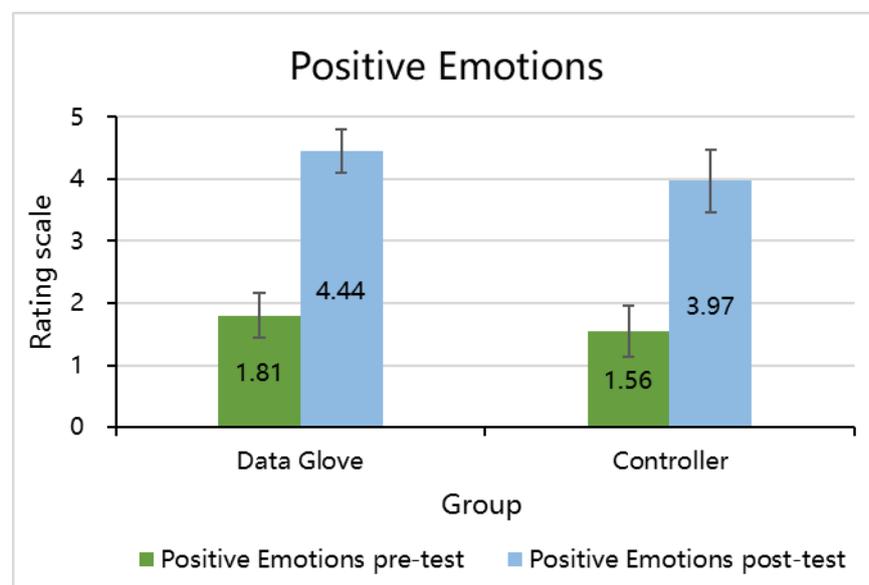


図 4-4. VR 実験室の使用による積極的な感情変化

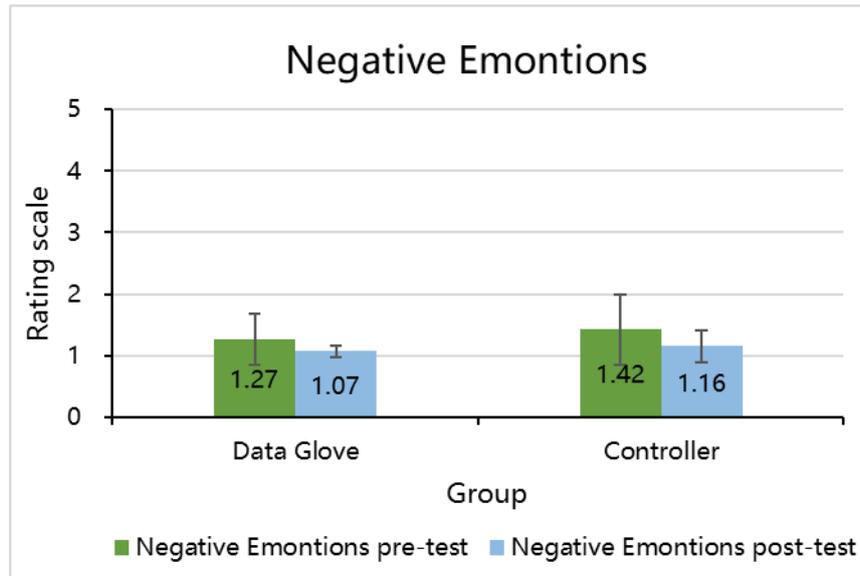


図 4-5 VR 実験室の使用による消極的な感情変化

二元配置の分散分析を行った結果（表 4-1）、グループ別の主効果 $p < 0.05$ 、積極的な感情による前後テストの主効果 $p < 0.01$ が有意であった。しかし、交互作用 $p = 0.426$ が有意ではなかった。この二つの要因の間に交互作用がないため、別々で差があるかどうか確認するため t 検定を行った。データグローブのグループにおける前後テストの差は t 検定（表 4-2）で有意差 $t(16) = -15.565$, $p < 0.01$ が見られた。コントローラーのグループにおける前後テストの差は t 検定（表 4-3）で有意差 $t(16) = -11.116$, $p < 0.01$ が見られた。これらの結果と平均得点を見ると、二つのグループは実験後に積極的な感情が上昇したと解釈できる。二つのグループにおける前テストの間に差があるかどうかについて t 検定（4-4）を行ったところで、有意差 $t(16) = 1.357$, $p = 0.194$ が見られなかった。これは、二つのグループは前テストで積極的な感情は同じような状態と考えられる。そして、二つのグループにおけるテスト後の間に差があるかどうかについて t 検定（4-5）を行ったところで、有意差 $t(16) = 2.303$, $p < 0.05$ が見られた。これは、二つのグループの間に実験後にデータグローブのグループにおける積極的な感情の上昇する程度がコントローラーのグループより高いことと考えられる。

同じように二元配置の分散分析を行った結果（表 4-6）、グループ別の主効果 $p = 0.340$ 、消極的な感情による前後テストの主効果 $p = 0.073$ が有意ではなかった。また、交互作用 $p = 0.793$ が有意ではなかった。これは、今回の実験により、参加者における消極的な感情は基本的に変化がないと考えられる。

表 4-1. 積極的な感情変化による二元配置分散分析

分散分析: 繰り返しのある二元配置

概要	Data glove	Controller	合計
pre_test			
データの個数	9	9	18
合計	16.25	14	30.25
平均	1.806	1.556	1.681
分散	0.137	0.168	0.160

post_test			
データの個数	9	9	18
合計	40	35.75	75.75
平均	4.444	3.972	4.208
分散	0.122	0.257	0.237

合計			
データの個数	18	18	
合計	56.25	49.75	
平均	3.125	2.764	
分散	1.965	1.746	

分散分析表						
変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	P-値	F 境界値
pre-post	57.507	1	57.507	336.284	0.000	4.149
group	1.174	1	1.174	6.863	0.013	4.149
交互作用	0.111	1	0.111	0.650	0.426	4.149
繰り返し誤差	5.472	32	0.171			
合計	64.264	35				

表 4-2. 積極的な感情に関するデータグローブのグループにおける前後テストの差の t 検定

t-検定: 等分散を仮定した 2 標本による検定

Data glove		
	変数 1	変数 2
平均	1.806	4.444
分散	0.137	0.122
観測数	9	9
プールされた分散	0.129	
仮説平均との差異	0	
自由度	16	
t	-15.565	
P(T<=t) 両側	0.000	
t 境界値 両側	2.120	

表 4-4. 積極的な感情に関するコントローラーのグループにおける前後テストの差の t 検定

t-検定: 等分散を仮定した 2 標本による検定

Controller		
	変数 1	変数 2
平均	1.556	3.972
分散	0.168	0.257
観測数	9	9
プールされた分散	0.213	
仮説平均との差異	0	
自由度	16	
t	-11.116	
P(T<=t) 両側	0.000	
t 境界値 両側	2.120	

表 4-3. 積極的な感情に関する二つのグループにおける前テストの間に差の t 検定

t-検定: 等分散を仮定した 2 標本による検定

pre_test	Data glove	Controller
平均	1.806	1.556
分散	0.137	0.168
観測数	9	9
プールされた分散	0.153	
仮説平均との差異	0	
自由度	16	
t	1.357	
P(T<=t) 両側	0.194	
t 境界値 両側	2.120	

表 4-5. 積極的な感情に関する二つのグループにおける後テストの間に差の t 検定

t-検定: 等分散を仮定した 2 標本による検定

post_test	Data glove	Controller
平均	4.444	3.972
分散	0.122	0.257
観測数	9	9
プールされた分散	0.189	
仮説平均との差異	0	
自由度	16	
t	2.303	
P(T<=t) 両側	0.035	
t 境界値 両側	2.120	

表 4-6 消極的な感情変化による二元配置分散分析

分散分析: 繰り返しのある二元配置

Negative_Emotions

概要	Data glove	Controller	合計
pre_test			
データの個数	9	9	18
合計	11.4	9.6	21
平均	1.267	1.067	1.167
分散	0.170	0.010	0.095

post_test			
データの個数	9	9	18
合計	12.8	10.4	23.2
平均	1.422	1.156	1.289
分散	0.324	0.068	0.203

合計			
データの個数	18	18	
合計	24.2	20	
平均	1.344	1.111	
分散	0.239	0.039	

分散分析表

変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	P-値	F 境界値
pre-post	0.134	1	0.134	0.940	0.340	4.149
group	0.490	1	0.490	3.425	0.073	4.149
交互作用	0.010	1	0.010	0.070	0.793	4.149
繰り返し誤差	4.578	32	0.143			
合計	5.212	35				

4.4. WBLT 得点の結果

WBLT は学習効果、プログラムのデザインとエンゲージメントで三つの因子に分けて、別々で得点を計算する。平均得点を図 4-6 に示す。

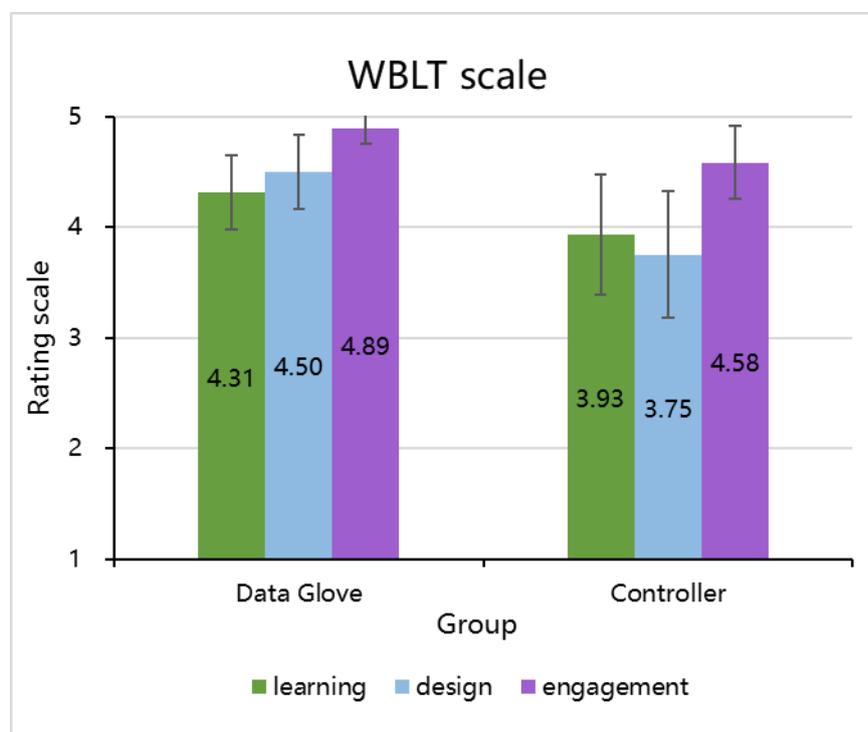


図 4-6WBLT における学習の効果、デザインとエンゲージメントに関する平均得点

グループによって学習効果の得点に差があるかどうかについて一元配置分散分析（表 4-7）を行ったところ有意差 $p=0.096$ が見られなかった。これは、学習する内容は参加者にとって難易度が低いし、何年前に勉強したなどの原因で差がないのかもしれない。そして、グループ別によってプログラムのデザインの得点に差があるかどうかについて一元配置分散分析（表 4-8）を行ったところ有意差 $p<0.01$ が見られた。これは、デザインにおける評価はデータグローブの使用によって差があることを示す。しかしながら、二つのグループが使用するプログラムはモデル、アニメーションと UI デザインがすべて同じである。唯一の差は、コントローラーとデータグローブという違った操作方法である。ここで、この操作方法の差により差が生じているかもしれない。そして、データグローブのグループにおける得点がコントローラーのグループより明らかに高い。次に、グループ別によってエンゲージメントの得点に差があるかどうかについて一元配置分散分析（表 4-9）を行ったところ有意差 $p<0.05$ が見られた。これは、データグローブのグループがコントローラーのグループより高いエンゲージメントになることと考

えられる。

表 4-7. グループ別によって学習効果の得点における一元配置分散分析

分散分析: 一元配置 learning

概要

グループ	データの個数	合計	平均	分散
Data glove	9	38.80	4.31	0.111
Controller	9	35.40	3.93	0.300

分散分析表

変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	P-値	F 境界値
グループ間	0.642	1	0.642	3.124	0.096	4.494
グループ内	3.289	16	0.206			
合計	3.931	17				

表 4-8. グループ別によってプログラムデザインの得点における一元配置分散分

析

分散分析: 一元配置 design

概要

グループ	データの個数	合計	平均	分散
Data glove	9	40.50	4.50	0.109
Controller	9	33.75	3.75	0.328

分散分析表

変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	P-値	F 境界値
グループ間	2.531	1	2.531	11.571	0.004	4.494
グループ内	3.500	16	0.219			
合計	6.031	17				

表 4-9 グループ別によってエンゲージメントの得点における一元配置分散分析

分散分析: 一元配置

engagement

概要

グループ	データの個数	合計	平均	分散
Data glove	9	44	4.889	0.017
Controller	9	41.25	4.583	0.109

分散分析表

変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	P-値	F 境界値
グループ間	0.420	1	0.420	6.630	0.020	4.494
グループ内	1.014	16	0.063			
合計	1.434	17				

4.5. 個別問題について

個別問題の中に、VR 実験室でシミュレーションを完了することに要する総時間のデータ、主に使用後の身体状況に関する問題と使用する操作方法が没入感を中断する程度に関する問題との三つの問題を分析する。

VR 実験室でシミュレーションを完了する総時間については、データグローブの平均完成時間は 201.4 秒であり、コントローラーグループの平均完了時間は 219.0 秒である。グループ別によって完成時間に差があるかどうかについて一元配置分散分析（表 4-10）を行ったところ有意差 $p=0.261$ が見られなかった。これは、二つの原因が考えられる。二つのグループが使用するプログラムは操作方法以外の部分はすべて同じである。そして、この過マンガン酸カリウムを加熱して酸素を得る実験は入門的な化学実験のため、難しい操作手順がない。この二つの原因によって、完成時間の差があまりないと考えられる。

表 4-10. グループ別によってシミュレーションの完成時間における一元配置分散分析

分散分析: 一元配置		time			
概要					
グループ	データの個数	合計	平均	分散	
Data glove	9	1813	201.444	826.778	
Controller	9	1971	219	1214.750	

分散分析表						
変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	P-値	F 境界値
グループ間	1386.889	1	1386.889	1.359	0.261	4.494
グループ内	16332.222	16	1020.764			
合計	17719.111	17				

使用後の身体状況に関する問題は 18 人の参加者の中に一人だけ、3D 酔いの症状が出ると答えた (図 4-7)。そして、前の事前問題から乗り物酔いや 3D 酔いの状況について各グループの中に 60% ぐらいの人がその経験があると答えた。また、今回の実験で VR の使用時間が平均 200 秒ぐらいであり、6DoF の自由度も提供する。これによって、今回の実験で使う VR 実験室が使用後に身体状況への影響が低いと考えられる。

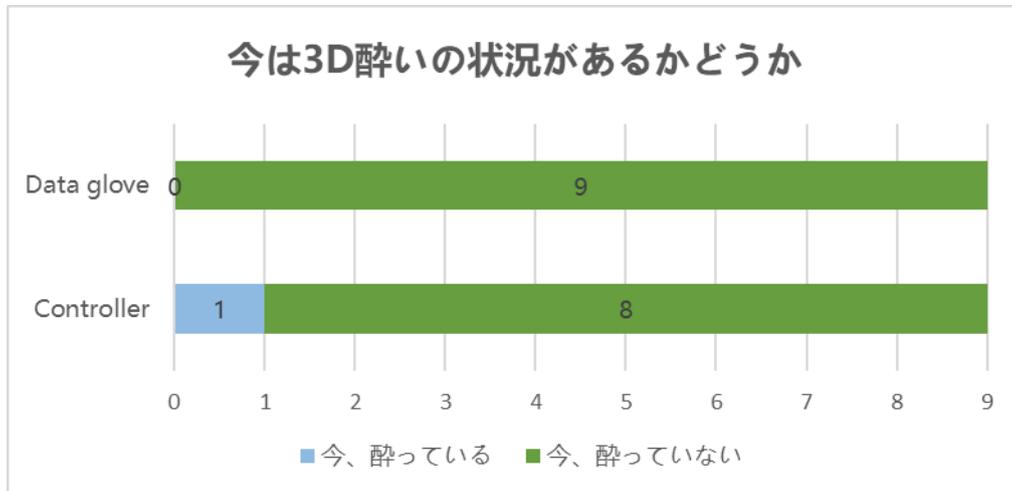


図 4-7. 3D 酔いの症状が出るかどうかに関する問題の結果

操作方法による没入感の中断に関する問題は、1 (全然思わない) から 5 (そう思う) まで五つの選択肢があり、得点が低い方が没入感を中断する程度も低い。そして、データグローブグループにおける平均得点は 2.111 であり、コントローラーグループにおける平均得点が 4.111 である。グループ別によって没入感を中断する程度に差があるかどうかについて一元配置分散分析を行ったところ有

意差 $p < 0.01$ が見られた。これは、データグローブを使用することがコントローラーにより没入感を中断する程度が低いと考えられる。そして、コントローラーグループの参加者が VR 空間内にコントローラーの位置と現実空間内に手の位置が違うから、違和感がある理由で中断する程度が高い選択肢に選択することになると思われる。

表 4-11. グループ別によって没入感を中断する程度における一元配置分散分析

分散分析: 一元配置

Immersive

概要

グループ	データの個数	合計	平均	分散
Data glove	9	19	2.111	0.361
Controller	9	37	4.111	0.861

分散分析表

変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	P-値	F 境界値
グループ間	18	1	18	29.455	0.000	4.494
グループ内	9.778	16	0.611			
合計	27.778	17				

5. 考察

本研究は、提案する VR 実験支援システムでデータグローブの使用効果を検証することを目的とする。全体的に実験結果を見ると、データグローブを使用する参加者は積極的な感情と自己評価するエンゲージメントがコントローラーを使用する参加者より得点が高い。

VR による教育プログラムは学生の感情にポジティブな影響があり、学生が使用後に積極的な感情が増えて消極的な感情が減ることである[7]。そして、積極的な感情が増えることは学生の学習に良い影響がある[13]。今回の実験結果から見ると、データグローブを使用することで積極的な感情がコントローラーを使用することにより高くなる。積極的な感情を高める点でデータグローブを使用することはコントローラーを使用することより効果が高いと考えられる。

WBLT は学習プログラムの使用効果を評価する方法である。学生がこの学習プログラムをよくデザインされ、魅力的な学習プログラムであると考えれば、学生はこの後の学習により良い効果が得られる。WBLT の結果から見ると、デザインとエンゲージメントの二つの点はデータグローブの得点がコントローラーより高いことである。デザインについては、二つのグループが使用するプログラムのデザインが基本的に同じであり、違うところが操作方法と VR 区間内で使用する手のモデルだけである。データグローブのグループが高い得点を得ることより、参加者がこのプログラムのデザインがより良いと考えていることがわかる。これによって、参加者の没入感を更に高めることができる。没入感を高めることは使用者に良い使用効果をもたらす。そして、エンゲージメントについてデータグローブを使用する方がコントローラーより効果が高いことである。学生が学習するときのエンゲージメントが高いことは学習の効果に良い影響があるということである[14]。また、参加者がデータグローブを使用する VR 環境内の学習への自己評価は高いことから、参加者自身が VR 空間内でもっと多くの知識を学んでいると考えられる。学習に対する学生の自己評価は、学生の学習を評価する上で有効であることが示されている[15]。

そして、VR 環境内に没入感とエンゲージメントの間に関連がある[16]。Mount et al. (2009) は没入感、存在感とエンゲージメントの間の関係を論じている。彼らは、学習者が VR 環境内で没入感とエンゲージメントが何を意味するかを検討して、VR 環境内に没入感を高めることでエンゲージメントを高める方法を論じている。今回の実験から得られた結果から見ると、データグローブを使用することはコントローラーより使用者の没入感を中断する程度が低いことがわかる。これ

は、コントローラーの使用により参加者のエンゲージメントが高められると考えられる。

学習後の積極的な感情変化、エンゲージメント及び没入感に関する上昇は学生の能動的な学習に良い影響が与えてため、学生の学習意欲を引き出すことができると考えられる。

今回の実験で、二つのグループが化学実験のシミュレーションを完了する時間について二つのグループに明確な差がないことである。一方、二つの操作方法それぞれに操作しやすい部分と操作しにくい部分がある。データグローブは実験器具の組み合わせと実験器具を回転することについては、コントローラーを使用する場合により明らかに使いやすい。特に、実験器具が小さい場合に VIVEPRO の二つのコントローラーがぶつかりやすくなって操作の邪魔になる。そして、実験器具を回転する時にコントローラー全体を回転することで実現するため、その動作の幅が大きくなり、操作が難しい。しかし、コントローラーは実験器具の取り置きに関する水平方向での操作がデータグローブより操作しやすい。データグローブは現実のようにモノを取ることができる。コントローラーの方はトリガーを引くことで取る動作を実現する。これは、二つの操作方法が違う状況で操作する効率も違うことを意味する。そして、KukliĚski et al. (2014)の研究によると機械的な動作をする場合にコントローラーの方がデータグローブより効率が良くミスも少ないという[17]。したがって、今回の実験で完了時間の差がない理由が説明できる。そして、動作による適切な操作方法を選択することが重要である。

VR で良い体験を提供する上で、VR による 3D 酔いをできるだけ軽減することが重要である。今回の実験で、6DoF の自由度を提供すると使用時間を短くするなどの方法でデザインする。今回の実験の参加者のうちに 60% ぐらいが生活中に乗り物酔いや 3D 酔いの症状を体験している。実験後の結果によって、一人だけ軽い症状があった。

今回の実験には、操作手順と知識点の提示は基本的に Valve 社の The Lab を参考にして作った。オートラインにより操作に必要な実験器具を提示することで参加者が理解しやすくなる。そして、知識点の提示は実験器具の上にあるテキストボックスで実現する。しかし、参加者は VR 空間内に実験の流れを完了することに集中していたため、知識点の提示に気付かなかった。これは、テキストボックスのサイズが小さいことで見にくいことが原因かもしれない。そして、化学実験のシミュレーションをするときに薬品の蓋を付け忘れやすくなる。これは、使用者の注意力が全部実験に集中するためと考えられる。しかし、本番の化学実験はこのような小さいところが重要である。この状況に対応できるようにデザインする

ときに考えるべきである。

6. まとめ

本章では、本研究の結論をまとめて述べる。次に、本研究に関する今後の課題および展望を示す。

6.1. 結論

本研究では、VR シミュレーションにおける化学実験室でデータグローブとコントローラーの使用が学生の感情、エンゲージメントおよび没入感に対する影響からデータグローブが VR 学習オブジェクトでの使用効果を検証する。

今回で行った実験では、データグローブを使用による参加者の積極的な感情、エンゲージメントおよび没入感の評価得点がコントローラーの使用より高いことがわかった。没入感、学習後の積極的な感情とエンゲージメントが増えることは学生の学習へ積極的な影響があり、アクティブ・ラーニングに対して良い影響があることである[18]。学生が能動的に学習することは学習意欲が増えることと考えられる。したがって、今回の実験結果により、データグローブの使用にはコントローラーより使用効果が高いと考えられる。そして、今回の実験からデータグローブとコントローラーの間に使用の効率と操作の正確率は差が見られなかった。

6.2. 今後の課題

今回の実験対象については、20 から 30 代の大学院生を対象として感情変化、エンゲージメントと没入感の体験などの影響を検証する。そして、データグローブのサイズなどの制限で実験に参加する人数少ないことである。学習効果を更に検証するため、本格的に学校の教育に入り込んで中学校、高校で実験を行う必要がある。そして、今回の学習内容が少ないため、成績に関する効果がまだ明確でないことである。今後の課題について、学習内容を教科書の 1 セクションとして学習効果を検証するほうが良くなると思う。

今回の実験の目的、学生の感情、エンゲージメントと没入感に関する影響からデータグローブの学習効果を検証し、先行研究の基にデータグローブを用いた VR 教育プログラムの効果を説明することである。それに対して、この効果は使用者が初めて VR を使用するときの新鮮さによる結果であるかもしれない。今後の課題にも、使用の回数と学習の期間を長くして、長期間使用の結果を検証する必要がある。

最後に、プログラムのデザインとして注意すべきところがある。6DoF の自由

度、高解析度および使用時間の削減で VR 使用後の 3D 酔いの症状が軽減することになる。また、学習に関する注意点の提示にていてはもっと注意力を集中しやすいデザインが必要である。

謝辞

本研究を遂行するにあたって、お世話になった方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます

特に、長い期間にわたり、終始あたたかいご指導と激励を賜りました主指導教員である藤波 努教授に心より感謝いたします。研究の推進のみならず文章の書き方に至るまで時間を割いていただき、貴重なご意見をいただきました。様々なご指導ご鞭撻を賜り、再度、心より感謝いたします。

副指導教員である金井 秀明先生、副テーマ指導教員である小林 重人先生、そして日高 昇平先生、水本 正晴先生の皆様から中間発表においていただいた指摘・助言は本研究を進める際に大変参考になりました。多くの先生からのご支援に感謝いたします。

最後に、本研究を協力していただいた被験者の方や、藤波研究室のメンバーに深く感謝をいたします。

参考文献

- [1] Mads T Bonde, Guido Makransky, Jakob Wandall, Mette V Larsen, Mikkel Morsing, Hanne Jarmer & Morten O A Sommer (2014), Improving biotech education through gamified laboratory simulations, 32, pp.694-697, nature biotechnology
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部 (2018), 工业和信息化部关于加快推进虚拟现实产业发展的指导意见, [online]<http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c6559806/content.html>, アクセス 2019 年 1 月 15 日
- [3] Beijing Bluefocus E-Commerce Co., Ltd. & Beijing iBokan Wisdom Mobile Internet Technology Training Institutions (2016), A Case Study - The Impact of VR on Academic Performance, [online] https://cdn.uploadvr.com/wp-content/uploads/2016/11/A-Case-Study-The-Impact-of-VR-on-Academic-Performance_20161125.pdf, アクセス 2018 年 1 月 20 日
- [4] Eric Krokos· Catherine Plaisant· Amitabh Varshney (2018), Virtual memory palaces: immersion aids recall, [online] <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10055-018-0346-3>, アクセス 2018 年 12 月 14 日
- [5] Şeyma Çağlar&Selay Arkün Kocadere (2016) , Possibility of motivating different type of players in gamified learning environments, [online] https://www.researchgate.net/publication/305115092_Possibility_of_motivating_different_type_of_players_in_gamified_learning_environments, アクセス 2019 年 1 月 22 日
- [6] Gabriel Barata, Sandra Gama, Joaquim Jorge, Daniel Gonçalves (2013) , Improving Participation and Learning with Gamification, [online] https://www.researchgate.net/publication/259821680_Improving_Participation_and_Learning_with_Gamification, アクセス 2019 年 1 月 22 日
- [7] Allcoat, D., & von Mühlénen, A. (2018) Learning in virtual reality: Effects on performance, emotion and engagement, [online]

- <https://doi.org/10.25304/rlt.v26.2140>, アクセス 2018 年 12 月 18 日
- [8] Guido Makranskya, Thomas S. Terkildsen, Richard E. Mayerb
(2017), Adding immersive virtual reality to a science lab
simulation causes more presence but less learning, [online]
<https://www.journals.elsevier.com/learning-and-instruction>, アク
セス 2018 年 8 月 27 日
- [9] 中央教育審議会 (2012), 新たな未来を築くための大学教育の質的転換
に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～ (答
申), 用語集, [online]
[http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles
/afieldfile/2012/10/04/1325048_3.pdf](http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2012/10/04/1325048_3.pdf), アクセス 2019 年 1 月 10 日
- [10] Scott Freeman, Sarah L. Eddy, Miles McDonough, Michelle K.
Smith, Nnadozie Okoroafor, Hannah Jordt, and Mary Pat Wenderoth
(2014), Active learning increases student performance in
science, engineering, and mathematics, [online]
<https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>, アクセス 2019 年 1 月 16
日
- [11] Izard, C.E., Dougherty, F.E., Bloxom, B.M. & Kotsch, N.E.
(1974), The Differential Emotions Scale: A Method of Measuring
the Meaning of Subjective Experience of Discrete
Emotions, Vanderbilt University, Department of Psychology
- [12] Robin Holding Kay (2011), Evaluating Learning, Design, and
Engagement in Web-Based Learning Tools (WBLTs): The WBLT
Evaluation Scale, [online]
[https://www.researchgate.net/publication/220496169_Evaluating_Le
arning_Design_and_Engagement_in_Web-
Based_Learning_Tools_WBLTs_The_WBLT_Evaluation_Scale](https://www.researchgate.net/publication/220496169_Evaluating_Learning_Design_and_Engagement_in_Web-Based_Learning_Tools_WBLTs_The_WBLT_Evaluation_Scale), アクセス
2018 年 12 月 18 日
- [13] Carlos Valiente, Jodi Swanson, and Nancy Eisenberg (2012),
Linking Students' Emotions and Academic Achievement: When and
Why Emotions Matter, [online]
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3482624/>, アクセス
2019 年 1 月 21 日
- [14] Strydom, J.F.; Mentz, M. & Kuh, G.D. (2010), Enhancing success

in higher education by measuring student engagement in South Africa, [online]

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.563.3532&rep=rep1&type=pdf>, アクセス 2019 年 1 月 21 日

[15] Stephen L. Benton , Dennis Duchon & William H. Pallett(2011), Validity of student self-reported ratings of learning, [online] https://www.researchgate.net/publication/241683219_Validity_of_student_self-reported_ratings_of_learning, アクセス 2019 年 1 月 21 日

[16] (ImmersionPresenceinVideoGames.pdf) Alison McMahan(2003), Immersion, engagement, and presence: A method for analyzing 3-D video games, [online] https://www.researchgate.net/publication/284055280_Immersion_engagement_and_presence_A_method_for_analyzing_3-D_video_games, アクセス 2019 年 1 月 21 日

[17] Kamil Kukliński, Kerstin Fischer, Ilka Marhenke, Franziska Kirstein and Maria V. aus der Wieschen(2014), Teleoperation for learning by demonstration: Data glove versus object manipulation for intuitive robot control, [online] 10.1109/ICUMT.2014.7002126, アクセス 2018 年 12 月 26 日

[18] Paul R. Pintrich(2003), A Motivational Science Perspective on the Role of Student Motivation in Learning and Teaching Contexts, [online] https://ueeval.ucr.edu/teaching_practices_inventory/Pintrich_2003.pdf, アクセス 2019 年 1 月 23 日

付録

WBLT に関するアンケート問題

元の問題

Learning

1. Working with the learning object helped me learn
2. The feedback from the learning object helped me learn
3. The graphics and animations from the learning object helped me learn
4. The learning object helped teach me a new concept
5. Overall, the learning object helped me learn

Design

6. The help features in the learning object were useful
7. The instructions in the learning object were easy to follow
8. The learning object was easy to use
9. The learning object was well organized

Engagement

10. I liked the overall theme of the learning object
11. I found the learning object engaging
12. The learning object made learning fun
13. I would like to use the learning object again

理解しやすくために、中国語の通訳バージョン

Learning

1. 使用虚拟实验室能够对我的学习起到帮助作用。
2. 虚拟实验室使用过程中提示的反馈信息能够对我的学习起到帮助作用。
3. 虚拟实验室中的图像和动画等内容能够对我的学习起到帮助作用。
4. 虚拟实验室可以教会我新的概念。
5. 总体来说，虚拟实验室对我的学习起到帮助作用。

Design

6. 虚拟实验室中的帮助设计对于学习效果是非常有用的。
7. 非常容易理解和完成虚拟实验室使用过程中的提示指令。
8. 虚拟实验室的设计非常容易操作。
9. 虚拟实验室中的各个物体的整体布局非常合理。

Engagement

10. 总体来说，我喜欢虚拟实验室的主题。
11. 我认为虚拟实验室能很好的吸引我的学习注意力。
12. 虚拟实验室能提升学习兴趣。
13. 我非常愿意再次使用虚拟实验室。

日本語の訳文

学習の効果

1. VR 実験室を使用することは私の勉強に役に立ちます。
2. VR 実験室を使用する際に、提示するフィードバック情報は私の勉強に役に立ちます。
3. VR 実験室の中にある画像とアニメーションなどのことは私の勉強に役に立ちます。
4. VR 実験室は私に新しい概念を教えます。
5. 全体的に、VR 実験室は私の勉強に役に立ちます。

デザイン

6. VR 実験室にあるヘルプ機能は勉強にとって役に立ちます。
7. VR 実験室の指示が理解しやすいし、従うことが簡単です。
8. VR 実験室は使いやすいです。
9. VR 実験室の構造はうまく構成します。

参加度

10. 全体的に言えば、私はこの VR 実験室が好きです。
11. この VR 実験室は私の勉強の注意力を引き付けます。
12. この VR 実験室は勉強を楽しくします。
13. 私は再びこの VR 実験室を使いたいです。