

原著論文

ハンドヘルド型 AR を活用した仮想定量実験による 高校化学の学習支援

玉川 裕介¹⁾, 古川 宏²⁾

¹⁾ 筑波大学情報科学類, ²⁾ 筑波大学システム情報系

Supporting High School Chemistry Learning through the Use of Handheld AR for Virtual Quantitative Experiments

Yuusuke TAMAGAWA¹⁾, Hiroshi FURUKAWA²⁾

¹⁾ College of Information Science, University of Tsukuba

²⁾ Institute of Engineering, Information and System, University of Tsukuba

Abstract: In chemistry education, conducting chemical experiments is important. However, there are challenges associated with chemical experiments, such as financial costs, the potential for accidents, and insufficient time for repeated experimentation. This study explores the use of virtual chemistry experiments, facilitated by handheld AR (Augmented Reality) devices, to address such challenges in traditional chemical education. An AR application for COD (Chemical Oxygen Demand) measurement experiments was developed, and comparisons were made between the test scores of learners who engaged in learning through AR and those who used traditional textbook-based learning. The use of AR chemistry experiments for learning has been confirmed to be effective in acquiring and solidifying learning content. Furthermore, it has been confirmed to be more effective in acquisition compared to learning with traditional textbooks.

Keywords: augmented reality chemistry experiment, quantitative chemistry experiment, learning support, two-way analysis of variance, HARUS

キーワード: AR 化学実験、定量化学実験、学習支援、二元配置分散分析、HARUS

1. はじめに

1.1 研究背景

文部科学省が主導している GIGA スクール構想[1]の推進により、小中学校での一人一台の端末利用の環境整備が急速に進んだ。しかし、ベネッセ教育研究所が実施した高等学校の学習指導に関する調査 2021[2]において、耳塚は『ただ ICT 機器等の条件整備は、目的ではなく、ほんの入り口に過ぎない。「どういう生徒の、いかなる学びについて、どのようなデジタル化が効果的・効率的であるのか」を探索する段階へと進みたい。』と述べられている。この調査では全国の高校 2000 校に対し ICT 機器の利用状況についてアンケートを行い、一人一台の端末の環境は 3 校に 1 校である事や、半分以上の授業で生徒に ICT 機器を使わせている教員は 4 人に 1 人の割合であるとの結果が得られている。このことから分かるように、

一人一台の電子端末を有効活用した教育方法については、現在も多くの学校で模索中である。この一人一台の端末は、従来の教科書・問題集・インターネット等を用いた家庭学習に組み込み、学習者の金銭的・物理的負担が少ない新たな化学学習の手段として活用されることが期待できる。

また、Meng ら[3]は、化学分野と AR(Augmented Reality)技術の融合として、原子、分子、結晶格子のような肉眼では視認不可な概念を AR 技術の活用で可視化することは人気のある研究トピックであると認める一方で、実際の化学実験の仮想化を実現している研究やケースは少ないという課題があるとも指摘する。

さらに、AR 化学実験には、化学実験のコストや時間を抑える、事故を防ぐ、扱う薬品の種類や量を変えて繰り返しの実験が行えるメリットがあり、化学実験の手軽化を実現できる。このことから、学習者自身で試行錯誤実験を行うことが容易となる。

1.2 関連研究

1.2.1 無機化学 AR 化学実験の実装

石村ら[4]は AR 型仮想実験環境を開発する際に、AR の形

2024 年 3 月 1 日受理。 (2024 年 3 月 16 日スマートライフ学会
2024 年大会にて発表)

著者照会先: 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
筑波大学システム情報系 古川 宏
furukawa.hiroshi.gu@u.tsukuba.ac.jp

態は操作の効率面でどれが適しているかを調べた。この実験ではヘッドマウントディスプレイ型、ハンドヘルド型、機器固定型の3つのARの形態を比較した。

この研究では、AR マーカーを用いた高校化学における無機化学の金属沈殿実験をそれぞれの形態で実装した。評価実験では、指示が与えられる実験を通して要した時間、指示が与えられない実験における1反応当たりのかかった時間をそれぞれ各形態で比較した。この実験では、実環境の視認性の違いにより、ハンドヘルド型が最も効率よく仮想実験が行えることが分かった。本研究では、石村らの研究の結論を基にハンドヘルド型を用いる。一方で、この研究では学習効果について論じられておらず、AR 化学実験が学習に有効か不明である。また、この研究では定量的な化学実験を扱っていない。定性的な実験では数的処理はあまり求められず、現象への知識が多く求められる。一方で高校化学の問題には、学習内容を抽象化し、現象への理解や数的処理が求められるケースが多くある。定量化学実験ではこれらが求められるため、定量化学実験のAR化を行い、高校化学で出題される問題を解くことを想定した学習効果があるか議論を行う。

1.2.2 虚構の映像を視聴させる懸念

一方、情報処理学会[5]は、虚構の映像を視聴させることのみでの教育活動により、どのような現象でも自由に直接観測や実験が可能であるという誤解を生じさせることに対して懸念を示している。そのため、虚構の映像の利用はそのデメリットを把握した教師によって促されるべきである。

1.2.3 ハンドヘルド型 AR アプリケーション評価尺度

また、Marcら[6]はハンドヘルド型 AR アプリケーションの評価に用いる尺度「HARUS (Handheld AR Usability Scale)」を作成した。Marcらは一般的にハンドヘルド型 AR アプリケーションを評価する際 SUS (System Usability Scale) や TLX (NASA Task Load Index) 等の尺度を用いていたが、それはハンドヘルド型 AR 特有の知覚的問題や人間工学的問題をカバーしていないと指摘する。これを参考にし、本研究では、実験参加者に HARUS を解答してもらい、そこから得られる HARUS スコアを AR アプリケーションの評価尺度とする。これにより、作成 AR アプリの操作性が学習に悪影響を与えた可能性を検討する。

HARUS は表1の16文で構成されている。

表1: HARUS の内容

<ol style="list-style-type: none"> 1. このアプリケーションとのやり取りには多くの筋肉を使う必要があると感じた。 2. アプリケーションの使用が私の腕と手にとって快適だと感じた。 3. アプリケーションを操作する際、デバイスを持つのが難しいと感じた。 4. アプリケーションを介して情報を入力するのが簡単だと感じた。 5. アプリケーションを使用した後、私の腕や手が疲れたと感じた。 6. アプリケーションの操作が簡単だと思う。 7. ある時点でデバイスの握りが劣化し、落としそうになったと感じた。 8. このアプリケーションの操作はシンプルで複雑さがないと思う。 9. このアプリケーションとの対話には多くの精神的努力が必要だと思う。 10. 画面に表示される情報の量は適切だと思う。 11. 画面に表示される情報が読みにくと感じた。 12. 画面に表示される情報の反応速度は十分だと感じた。 13. 画面に表示される情報が混乱していると思う。 14. 画面上の言葉とシンボルは読みやすいと思う。 15. 表示があまりにも頻繁にちらついていると感じた。 16. 画面に表示される情報は一貫していると思う。

1.3 本研究の目的

前述の石村ら[4]の研究では、定量的な化学実験のAR化は行われておらず、学習者が実験の学習内容を抽象化し理解する事が求められていない。また、学習した知識・理解が定着しているかも不明である。そのことから、本実験の目的は仮想化学実験が知識・理解の獲得・定着を支援できるかどうかを検討していくことである。

この目的を達成するために、

- AR 化学実験環境の実装
- AR 化学実験環境を含んだ学習と、そうでない学習の比較を行う。比較を学習した内容のテストの得点で行うことで、知識・理解の獲得・定着の程度や差を確認でき、仮想化学実験が知識・理解の獲得・定着を支援できるか、加えて、教科書を用いた既存の学習と比べ知識・理解の獲得・定着に良い影響を与えるかを確認する。

AR 化学実験は実際の化学実験にとって代わるコストの低い手段の確立を目的とするのではなく、ARを用いた化学実験が、誰でもどこでも行えるかつ、従来の教科書やインターネットを用いた学習からは得られない体験を加えて学習できる手段として考えている。これによって、現行の教科書やインターネットを用いた学習と、AR 化学実験を取り入れた学習を比較し、後者の効果が認められた場合学習コンテンツとして有効利用できると考えている。加えて、その仮説が正しい場合、従来の教科書やインターネットを用いた学習に AR を用いた化学実験を加えることで、児童・生徒の化学への理解に寄与できると考えている。

2. 本研究の方針

2.1 本研究の方針

本研究では、AR を用いた仮想化学実験が、高等学校の化

学教育において、学習の知識・理解の獲得・定着の支援に与える影響を調査する。ここで知識とは、「問題を回答するに資する情報」、理解とは、「応用的知識、数的処理能力」と定義する。

また、一人一台の電子端末が普及していると考え、家庭や普通の教室で単独で勉強を行う場面を想定している。上記の場面で勉強を行う際、教科書を用いた学習が考えられるため、AR 環境での化学実験を含む学習と教科書ベースでの学習の二つを比較しての実験を行うことにした。

AR 化学実験の実験内容には、「過マンガン酸カリウムを用いた化学的酸素要求量 (Chemical Oxygen Demand: COD) 測定実験」を採用する。COD とは、水中の有機物を酸化物で酸化した際に消費される酸素の量 (mg/L) である。湖沼、海域の有機汚濁を計る代表的な指標である。[7]

COD 測定実験を本実験で取り上げる理由は、実験中に観察する色や実験手順等の「知識」、さらに、COD 値を求めるための計算過程で必要となってくる化学反応式、物質質量、酸化還元反応に関する現象の数的処理等の「理解」、この二つが求められるため適切と判断したためである。

一方で、1.2.2 項でも述べたように、虚構の映像を視聴させることのみでの教育活動により、どのような現象でも自由に直接観測や実験が可能であるという誤解を生じさせることに対して懸念もある。実際の化学実験では誤差が必ず発生するため、その前提の元で実験を行う。しかし、今回作成した AR 化学実験では同様の動作を行う際必ず同じ結果になるため、誤差を考慮する必要は無い。そのため、正しく実験手順を踏めば必ず全く同じ結果になるという誤解を与える可能性がある。このことを前提とした利用が必要であると考えている。

2.2 本研究の目標

本研究では初めに、COD 測定実験を行える AR アプリケーションを開発する。その後、AR アプリを用いた学習者と、教科書を用いた学習者それぞれに COD 測定実験に関する問を解いてもらい、正答率を比較する。その他アンケート結果も含めて、本研究の目的である仮想化学実験が知識・理解の獲得・定着を支援できるかどうかを分析・考察する。

3. AR 化学実験システムの実装

3.1 COD 測定実験の流れ

実環境 COD 測定実験の流れは以下の表 2 の通りである。

表 2: 実環境 COD 測定実験の流れ

① 試薬を硫酸で酸性にする。 ② 試薬に過マンガン酸カリウム水溶液を任意量加える。 ③ ②の溶液を 30 分間煮沸する。 ④ ③の溶液に十分な量のシュウ酸水溶液を加えて混ぜる。 ⑤ ④の溶液に、ビュレットから過マンガン酸カリウム水溶液を滴下し、溶液がわずかに赤紫になったところを終点とする。

この実験で用いられる器具は、ビーカー、ピペット、ビュレット、バーナー、三脚、金網、試薬、硫酸、過マンガン酸カリウム、シュウ酸である。

作成した AR アプリでも同じ流れ、操作を可能とした。実際の実験と比較して AR アプリでは、

- ・煮沸時間が短縮されている
- ・実験器具の共洗いが不必要である
- ・ビーカー内の液体の色変化が急激である

等の差がある。一つ目と二つ目は時間や手間の削減により実際の実験と比べ効率的に行え、複数回実験を行えるメリットがある。一方で、なぜ 30 分という長時間煮沸しなければいけないのか、なぜ共洗いしないといけないのか、等の知識の存在に気づけない等の、実際の実験では考慮する必要のない問題は発生してしまう。この問題は今回の実験では解決していないが、加熱時に Tips として表示させたり、実際の実験と仮想環境の実験の差を学習者自身に考えさせたりすることで解決できると考えている。三つ目は、実際の実験のように薬品の加えた量によってグラデーションで変化していく色を観測できないデメリットがある。しかし、色の変化は変化する前後を問われるため、問題ないと判断した。

3.2 システムの主な機能

本アプリケーションは Android OS 用に作成した。作成にはゲーム開発エンジン「Unity」を使用し、AR アプリ作成に特化した Unity 用ライブラリ「Vuforia」を用いた。実験では Android13 を搭載した Pixel7 を用いた。AR 化学実験では AR マーカーをスマートフォンで読み取りながら行っていく。AR マーカーは 4 種類の薬品、4 種類の実験器具、そして操作補助用の 1 種類の合計 9 種類がある。図 1 は作成した AR マーカーである。学習者はこの AR マーカーをスマートフォンのカメラで読み取り、マーカー同士を近づける、画面上のボタンをタップする、等の動作で化学実験を進めていく。



図 1: 作成した AR マーカー

各マーカーを読み取ると、その実験器具・薬品に応じたオ

プロジェクト、薬品名やその保有量等の情報を持つ UI が表示される。さらに、3.1 で示した動作に対応するマーカー同士を一定距離内に近づけると図 2 のように「スポイトで薬品を吸う」や、「ビュレットの中身を三角フラスコに滴下する」等の操作を行うボタンが出現する。

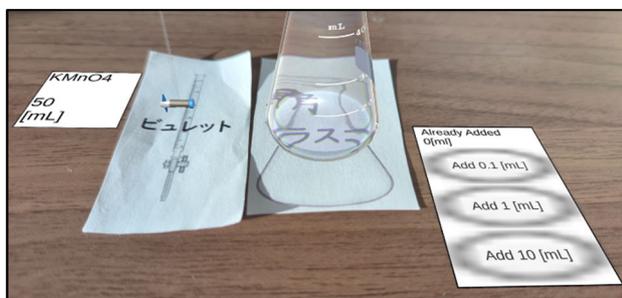


図 2: マーカー同士を近づけた時の挙動

上記のような学習者が行うことができる操作を表 3 に示す。

表 3: 学習者の行うことができる操作

- ・ピペットを用い、溶液を任意の量 (ml) 取る。
- ・ピペットの中身を全てフラスコへ移す。
- ・ビュレットを用い、溶液を 50ml 取る。
- ・ビュレットの中身をフラスコへ 0.1ml, 1ml, 10ml 移す。
- ・アプリケーションのタイトルへ戻り、実験で行った操作をリセットする。

また、本 AR アプリケーションには、COD の値がランダムで与えられ学習者には隠されているモードと、COD の値を自分で指定するモードの二種類のモードを実装した。これは、試薬の COD 値を導き出す実験と、教科書等に書かれた実験手順をトレースする実験の二種類を可能とするためである。

4. 評価実験

4.1 評価実験実施方法の詳細

本実験では、目的を表 4 のように設定する。

表 4: 本実験の目的

- ・自作 AR 化学実験アプリケーションでの学習と教科書ベースでの学習のどちらかを行ってもらった実験協力者に学習内容の確認テストを行い、各方式でのテストの点数を取得すること。
- ・自作 AR 化学実験アプリケーションがハンドヘルド型 AR アプリケーションとしてユーザーに身体的・精神的な操作上の負担が無いか評価を行うこと。
- ・実際に高校化学を学び、大学受験で用いた経験を持つ大学生から、これまでの化学授業やその中の化学実験に関する意見を確認すること。

実験対象者は、「高校で化学を学び、大学受験で化学を受験科目として用いた大学生」である。参加人数は 20 名であり、男女内訳は男性 16 名、女性 4 名である。実験協力者の年齢

の平均は 21.85、標準偏差は 1.28 である。また、本実験計画は、筑波大学システム情報系倫理審査委員会による審査を受け、承認されている(審査承認番号 2023R802)。

実験参加者は教科書ベースでの自己学習と AR アプリベースでの自己学習のどちらかに無作為に割り当てられる。この際、それぞれ 10 名ずつ男女比が等しくなるように割り当てた。実験は表 5 で示す流れで行った。

表 5: 実験の流れ

- | |
|--------------|
| ①実験説明等(20分) |
| ②事前テスト(20分) |
| ③自己学習(50分) |
| ④休憩(10分) |
| ⑤事後テスト(20分) |
| ⑥アンケート(10分) |
| ----2週間後---- |
| ⑦定着テスト(20分) |

4.2 学習者の自己学習

テキスト学習グループには、指定教科書のみを渡し COD 測定実験に関する問題を 50 分後に解いてもらうことを伝え、学習を行ってもらった。用いた教科書は啓林館が出版した「高等化学化学基礎」令和 3 年検定版である。教科書は COD に関する記述があるページだけではなく、全てのページの閲覧を可能とした。AR 学習グループには、指定教科書と第 4 章で紹介した AR 化学実験アプリケーションの機材を渡し、テキスト学習グループ同様 COD 測定実験に関する問題を 50 分後に解いてもらうことを伝え、学習を行ってもらった。また、このグループでは自己学習の始めに 3 分間で、アプリの使い方、2 つのモードの紹介を行った。教科書と AR アプリどちらをどれくらい用いるかの配分は学習者に一任している。

4.3 各種テストの実施

(1) 事前テスト

事前テストは自己学習前に解いてもらうテストである。問 1 は高校化学の基礎的な知識の有無の確認のための自作問題、問 2 は COD 測定実験に関する問題を解けてしまうかの確認のための Web サイト[8]の改変問題である。解けてしまう場合は、COD 測定実験に関する問題を解く知識や理解を既に持っているため、学習前と学習後のテストの得点を比較する本実験のデータとして適さない。そのため、COD 測定実験に関する問題を解けた実験参加者は分析対象から除外する。

(2) 事後テスト

事後テストは自己学習直後に解いてもらうテストである。COD 測定実験に関する実際の大学入試で用いられた問題(2009 年岐阜大学医学部後期日程の入試問題を本テスト用に改変した)を 20 分間で解いてもらった。

(3) 定着テスト

定着テストは事後テストの 2 週間後に解いてもらうテストであ

る。事後テストの問題の数値を変えた問題を 20 分間で解いてもらった。

4.4 アンケートの実施

(1) AR 使用感アンケート

これは HARUS スコアを測定し、作成したARアプリケーションの操作性が学習に悪影響を与えていないか確認するためのアンケートであり、内容は前述の表 1 の通りである。

(2) これまでの化学学習についてのアンケート

実験参加者のこれまでの化学授業や授業で実施した化学実験に関しての意見を確認することを目的としている。内容は表 6 の通りである。

表 6: これまでの化学学習についてのアンケートの内容

- ①これまで化学の学習において用いた手段はどのようなものがありますか。(例:教科書、予備校の授業、Youtube)
- ②これまで化学の学習において躓いた、理解に手間取った単元や分野はありますか。そしてその原因は何でしょうか。
- ③それを解決するために工夫したことはありますか。
- ④化学の学習においてこのような教材があればいいと思うものはありますか。
- ⑤高校での化学の授業で、実験を行った頻度を覚えていたらお答えください。
- ⑥通常の教室での授業と化学実験を伴う授業ではどちらの方が理解や知識の獲得につながったと思いますか。そしてその理由は何でしょうか。
- ⑦その他、何かありましたら以下にご記入ください。

5. 実験結果と考察

5.1 分析手法

本実験では、事前テスト・事後テスト・定着テストの獲得点数を満点で割った値である得点率、AR 学習グループ参加者の HARUS スコア、化学学習についての自由記述をデータとして得た。

各テストの得点率に対し、学習種×テスト種の 2×3 二元配置分散分析を行う。二元配置分散分析の中でも、対応なし要因(学習種)と対応あり要因(テスト種)の両方が含まれるため、混合計画(反復測定)で分散分析を行う。その際、交互作用が有意であれば Bonferroni の方法による多重比較を行う。HARUS スコアは前述のように平均 70 を超えていれば良いため、平均値分析を行う。さらに、HARUS スコアとテスト結果との相関分析を行う。

以上の定量分析は IBM SPSS Statistics を用いて行う。

最後に、化学学習について自由記述は質的データ分析を行う。

5.2 各テストの得点率の実験結果・分析

表 7、図 3 に各テストの得点率の結果を示す。

以降、図表内において、AR 学習グループ参加者を「AR」、テキスト学習グループ参加者を「TX」と表記する。

表 7: 各テスト得点率[%]の代表値

	事前テスト		事後テスト		定着テスト	
	AR	TX	AR	TX	AR	TX
最大値	33.33	50.00	100.00	75.00	75.00	56.25
最小値	0.00	0.00	12.50	0.00	18.75	0.00
中央値	0.00	0.00	46.88	28.13	34.38	25.00
平均値	6.67	10.00	57.50	30.00	41.88	25.00
分散	122.22	233.33	889.06	482.81	320.70	250.00
標準偏差	11.06	15.28	29.82	21.97	17.91	15.81

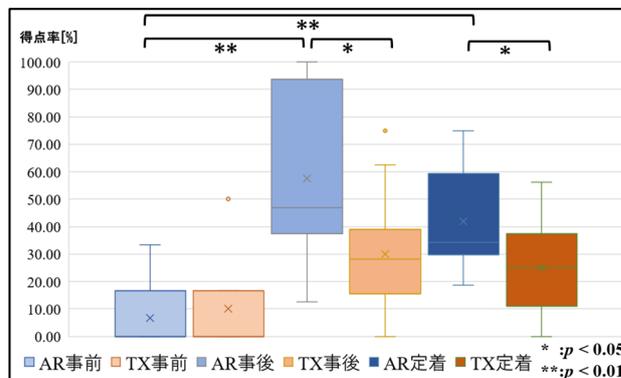


図 3: 各学習種・テスト種別の得点率[%]の箱ひげ図

以上の結果を元に学習種×テスト種の 2×3 二元配置分散分析を行った。最初に Mauchly の球面性検定を行った。その結果 $p = 0.168$ となり、球面性が成立していないことが確認できた。そのため交互作用を検定した。その結果、学習種とテスト種の交互作用が 5%で有意 ($F(2,17) = 3.98, p = 0.038$) であったため、多重比較を行った。

各学習種内におけるテスト間の比較結果を表 8 に、テスト種ごとの比較結果、各テストにおける学習種間の比較結果を表 9 に示す。

表 8: 各学習種内におけるテスト間の比較結果

学習種	テスト種①	テスト種②	平均値の差の絶対値	標準誤差	p値
AR	事前テスト	事後テスト	**50.83	8.77	<0.001
	事前テスト	定着テスト	**35.21	5.82	<0.001
	事後テスト	定着テスト	15.63	8.07	0.206
TX	事前テスト	事後テスト	20.00	8.77	0.105
	事前テスト	定着テスト	15.00	5.82	0.057
	事後テスト	定着テスト	5.00	8.07	1.000

* : $p < 0.05$
** : $p < 0.01$

表 9: 各テストにおける学習種間の比較結果

テスト種	平均値の差の絶対値	標準誤差	p値
事前テスト	3.33	6.29	0.602
事後テスト	*27.50	12.35	0.039
定着テスト	*16.88	7.96	0.048

* : $p < 0.05$
** : $p < 0.01$

テスト間の比較では、AR 学習グループにおいて、有意差が事前テストと事後テスト間 ($p < 0.001$)、事前テストと定着テスト間 ($p < 0.001$) に見られた。

また、学習種間の比較では、有意差が事後テスト ($p = 0.039$)、定着テスト間 ($p = 0.048$) に見られた。

以上の得られたデータやその分析から、考察を示す。

5.3 各テストの得点率の考察

(1) テスト間の成績比較および考察

AR 学習グループにおいて事後テストの平均得点率が事前テストの平均得点率より有意に高かった。このことから、AR 学習は学習内容の獲得には効果があると言える。さらに、事後テストの平均得点率と定着テストの平均得点率の間には有意差が見られなかった。このことから、学習内容の定着も期待できると言える。一方で、この結果は事後テストの得点率の平均が AR 学習グループで 57.50%、テキスト学習グループが 30.00% と低すぎるのが原因とも考えられる。

次に、テキスト学習グループにおいて、事前テストの平均得点率と事後テストの平均得点率間には有意差が見られなかった。これは 50 分間で教科書のみでの学習には限界があったことが原因と考えている。また、後述の化学学習についてのアンケートへの回答からもわかる通り、これまでの化学学習では理解に手間取った単元や分野の勉強法として「参考書の問題を解く。」や「演習を行う。」が挙げられていた。このことから、COD に関する問題を解くための資料や文献を渡していなかった事も大きく影響を与えた可能性がある。

(2) 学習方法間の成績比較および考察

事前テストの結果については、AR 学習グループとテキスト学習グループの間に有意差が見られなかった。このことから、自己学習前における学習グループ間の COD への知識・理解に差は無いと考えられる。次に、事後テストと定着テストの結果について、AR 学習グループの平均得点率がテキスト学習グループの平均得点率より有意に高かった。このことから、作成した AR 化学実験アプリケーションを用いての学習はテキストの学習と比べ、学習内容の獲得・定着に効果があると考えられる。

このように 2 つの学習グループの間に有意差が生まれた理由について考える。これは「COD に関する問題を解く」に似た行為が AR アプリで可能だったことが理由だと考えられる。自己学習時の学習者の様子を観察すると、AR アプリの「試料の COD を使用者自身で調整できないモード」で薬品の濃度と量を自分で設定し、実験を行い COD を当ててる行為が見られた。これが「COD に関する問題を解く」の代わりになっていると考えられる。問題を解くことが学習内容の理解に繋がるとの実験参加者の意見からも、主体的な実験計画の立案と問題を解く

行為を実際の化学実験と比べ手軽に同時に行える点が AR 化学実験の大きな優位性だと考えられる。

5.4 HARUS スコアの結果・分析

図 4 に AR 学習グループの各学習者 HARUS スコアを示す。

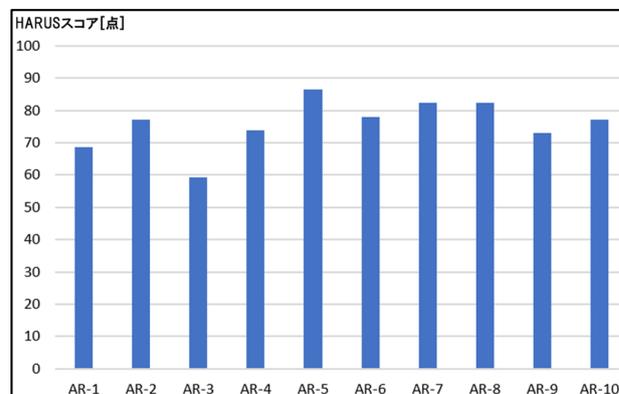


図 4 : 各学習者の HARUS スコア

HARUS スコアの平均値は 75.83 あった。

また、HARUS スコアと事後・定着テストの相関関係を調べた。HARUS スコアと事後テスト得点率の相関関係は $p = 0.507$ で相関係数は 0.266 であった。さらに、HARUS スコアと定着テスト得点率の相関関係は $p = 0.205$ で相関係数は 0.436 であった。

5.5 HARUS スコアの考察

HARUS スコアの平均値が 70 を超えているため、ハンドヘルド型 AR アプリケーションとして操作や認識に問題が無いと言える。このことから、作成 AR アプリの操作性がテストの得点に悪影響を与えた可能性は小さいと考えられる。

また、HARUS スコアと定着テスト得点率の相関係数から、両者に相関があるとは言えない。このことから、ハンドヘルド AR アプリの改善がテストの点数の向上に繋がるのには限界があると言える。したがって、HARUS スコア平均が 70 を超えているなら、学習内容の理解・定着の向上のためにとる行動として AR アプリの改善は優先度が低いと考えられる。

5.6 化学学習についてのアンケート結果

化学学習についてのアンケートの結果からは以下の三つのことがわかった。表 10 に示す。

表 10 : 化学学習についてのアンケートの結果から分かったこと

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ①問題演習をこなすことを通じて学習内容の理解を試みる人が多い。 ②化学実験には学習内容のイメージの可視化や五感で感じることを求めている。 ③実験参加者の 20 名中 4 名のみが月一回以上の実験を行っていた。 |
|--|

このように手を動かして化学実験を進めること、視覚情報を得ることが重要だと学習者自身が感じていることが分かり、作成 AR 環境でその二つが可能な点は良い仕様だったと言える。ここに AR 環境の操作に合わせて現実の化学実験の操作も動画等で見られるオプションも付けた場合、実験器具の具体的な使い方の習得や、AR 環境では実現が難しい物質の様子や色の機微な変化への気づきにも繋がり、良い改良に繋がると考えられる。

6. まとめ

本研究では、仮想化学実験が知識・理解の獲得・定着を支援できるかどうかを検討していくことを目的とし、COD 測定実験を行える AR アプリケーションを作成し、学習者のテストの得点率を用いて評価実験を行った。

評価の結果から、AR 化学実験を用いての学習は学習内容の獲得・定着に有効であると確認できた。また、既存の教科書を用いた学習と比較して獲得に有効であると確認できた。これらの理由として、AR 化学実験では、主体的な実験計画の立案と問題を解く行為を実際の化学実験と比べ手軽に同時に行える点が考えられる。

また、化学学習に関するアンケートでは、学習者は化学実験に学習内容のイメージの可視化を求めていることが分かった。このように実験参加者の半数以上が化学実験を含んだ授業がある方が理解や知識の獲得に繋がったと述べているが、授業における化学実験の頻度は少ないことも分かった。

問題として比較分析対象となるテストの得点率の低さが挙げられる。そのため、自己学習時間の延長、扱う題材の変更、配布教材の再検討が改善案として挙げられた。

参考文献

- [1] 文部科学省: GIGA スクール構想の実現について
https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_00001.htm
(最終閲覧 2024 年 2 月 22 日)
- [2] ベネッセ教育総合研究所: 高等学校の学習指導に関する調査 2021,
https://berd.benesse.jp/up_images/research/gakusyusido2021_digest_kou.pdf
(最終閲覧 2024 年 2 月 22 日)
- [3] Meng Chun Lam, Hwei Kei Tee, Siti Soleha Muhammad Nizam, Nurhazarifah Che Hashim, Nur Asyiah Suwadi, Siok Yee Ten, Nazatul Aini Abd Majid, Haslina Arshad, Sook Yee Liew: Interactive Augmented Reality with Natural Action for
Chemistry Experiment, Learning.TEM Journal, Vol. 9, No. 1, pp.351-360 (2020).
- [4] 石村司, 岡本勝, 松原行宏: スマートフォンを用いた無機化学の AR 型仮想実験環境の開発, 教育システム情報学会誌, Vol. 34, No. 3, pp.274-279 (2017)
- [5] 情報処理学会: 「デジタル教科書」推進に際してのチェックリストの提案
https://www.ipsj.or.jp/03somu/teigen/digital_demand.html
(最終閲覧 2024 年 10 月 8 日)
- [6] Marc Ericson C. Santos, Takafumi Taketomi, Christian Sandor, Jarkko Polvi, Goshiro Yamamoto, Hirokazu Kato: A usability scale for handheld augmented reality, VRST '14: Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, pp.167-176 (2013)
- [7] 環境省: 水・土壌環境行政のあらまし,
<https://www.env.go.jp/content/900544977.pdf>
(最終閲覧 2024 年 2 月 22 日)
- [8] 受験の月: COD(化学的酸素要求量)測定,
<https://examist.jp/chemistry/reaction2/cod/>
(最終閲覧 2024 年 2 月 22 日)

著者紹介



玉川 裕介 (学生会員)

2024 年筑波大学情報学群情報科学類卒業, 学士(情報科学). 在学中は情報技術を用いた学習支援に関心を持ち、AR 技術を用いた仮想化学実験が学習に与える影響を調査する研究に従事。



古川 宏 (正会員)

1990 年東北大学工学部原子核工学科卒業. 1995 年東北大学大学院工学研究科博士課程修了, 博士(工学). 1996 年日本原子力研究所博士研究員原子炉安全工学部人的因子研究室. 1998 年筑波大学電子情報工学系講師を経て, 現在, システム情報系准教授に至る. ヒューマンマシンインタラクション, 認知的インタフェース, 空間認知とナビゲーション支援. メンタルモデルの獲得に関する研究に従事. 2003 年アメリカソニック大学認知科学研究室客員研究員. 2016~2022 特定非営利活動法人モバイル学会理事長および学会長.