

HMD 型環境を活用した無機化学学習支援システム

Inorganic Chemistry Learning Support System Using HMD based Environment

石村司*¹
Tsukasa Ishimura

岡本勝*¹
Masaru Okamoto

松原行宏*¹
Yukihiro Matsubara

*¹ 広島市立大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

Before now, we constructed a system that user can virtual experiment for inorganic chemistry using smartphone based HMD. By wearing HMD on user's head and operating marker, user can perform virtual experiment. In this paper, in order to construct inorganic chemistry learning support system, we add some functions to the constructed system. The system give a question to a user, and the user can answer the question. By learning repeatedly using this system, we confirmed that user can acquire knowledge about inorganic chemistry reactions.

1. はじめに

高校化学の指導要領では実験を通じた学習が重要とされており、実験を通じて学習で物質の法則性や規則性を学ぶ必要がある[文部科学省 2009]。岡本らは拡張現実(AR)技術を用いて仮想的に無機化学の実験を計算機上で行えるシステムを構築した[岡本 2015]。このシステムを用いることで仮想的に化学実験を行うことができるため、学習者は授業時間外でも安全に実験を行うことができる。このシステムでは PC、USB カメラ、マーカーを用いる。学習者は実験器具や試薬に対応したマーカーをカメラ撮像範囲内で操作することで仮想実験を進めることができる。システムは学習者のマーカー操作を認識し、実験状況に対応する仮想環境を構築する。AR 技術を用いることでインタラクティブな操作が可能となり、学習者は直感的に実験を進めることができると考えられる。このシステムでは沈殿反応実験と炎色反応実験を行うことができ、学習者に目的を持って仮想実験を行わせるために設問の出題を行い学習者に回答させる。検証よりシステムを用いて繰り返し学習を行うことにより、無機化学反応に関する知識の獲得が確認された。また近年、スマートフォンの普及が進んできており、高校生の 90%以上の生徒が自身のスマートフォンを持っている[総務省 2015]。スマートフォンを用いて仮想実験が行えるシステムを構築することで、仮想実験が行える機会が増加すると考えられる。

AR 技術で用いられる視覚ディスプレイの 1 つにヘッドマウントディスプレイ(HMD)と呼ばれるディスプレイがある。HMD を用いることで没入感や臨場感のある環境を与えることが可能となる。HMD を用いた学習支援システムの研究も行われている。光原らは避難訓練システムのリアリティを向上させるために HMD と AR を組み合わせたシステムを開発した[光原 2013]。

これまでに我々の研究グループではスマートフォンを HMD の表示部として用いた AR 型無機化学仮想実験環境を提案してきた[石村 2015]。スマートフォンを用いることにより、学習者が仮想実験を行う機会が増加すると考えられる。また学習者はスマートフォンが取り付けられた HMD を頭部に装着するためスマートフォンを手で持つ必要がなくなり、また臨場感のある仮想実験を行えると考えられる。このシステムではスマートフォン、VR ビューワー、マーカーを用いる。VR ビューワーはスマートフォンと

組み合わせて簡易的に HMD を構成することができる器具である。学習者は HMD を頭部に装着し、スマートフォンのカメラの撮像範囲内でマーカー操作を行うことにより仮想実験を進めることができる。仮想環境は撮影された映像をもとに構築されスマートフォンの画面に出力される。学習者はスマートフォンの画面を通して仮想環境を確認することができる。検証よりシステムを用いて仮想実験が行えることを確認した。一方、岡本らのシステムは学習者に設問の出題を行い、学習者はその設問に対して回答を行うことができる。岡本らは被験者に設問を出題し、回答を行わせる演習を繰り返すことで知識の獲得を確認した。

そこで、本稿では上記の仮想実験が行えるシステム[石村 2015]に設問の出題および回答が行える機能を追加する。設問は仮想環境内に常に表示されるため、学習者が設問や実験状態を誤認して実験を進めることを防ぐことができると考えられる。また、HMD を装着した学習者の頭の向きはスマートフォンのセンサーから取得でき、入力インタフェースの 1 つとして用いることが可能である。HMD の利点を用いて設問の回答を行えるインタフェースを実装する。また、実験状態の誤認を防ぐために実験状態の可視化を行う。検証ではシステムを用いた学習を通じて知識の獲得について評価する。以下に著者らが構築したシステム[石村 2015]の概要を示し、本稿で提案する学習機能を有するシステムの詳細について示す。

2. 提案システム

2.1 システム概要[石村 2015]

図 1 にシステム[石村 2015]の外観を示す。このシステムはスマートフォン、VR ビューワー、マーカーから構成される。VR ビューワーはスマートフォンと組み合わせて簡易的に HMD を構成することができる器具である。図 1 のように学習者は HMD を頭部に装着した状態で仮想実験を行うため、スマートフォンを手で持つ必要がなくなる。図 2 にマーカー操作を行っている学習者を示す。図のように学習者はカメラの撮像範囲内でマーカー操作を行うことにより仮想実験を進めることができる。システムはカメラで撮影した映像をもとにマーカーの種類や位置情報を認識し、マーカー操作に応じて実験状況を更新させる。システムは実験状況に対応する仮想環境を構築し、スマートフォンの画面に表示する。図 2 では学習者が配置された 4 枚のマーカーを見ている。このときのスマートフォンの画面を図 3 に示す。図のようにディスプレイの左右に同じ仮想環境が表示される。学習者は VR ビュー



図1 システムの外観

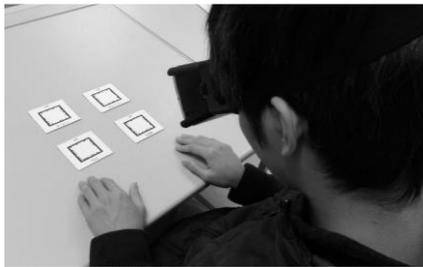


図2 マーカー操作を行っている学習者

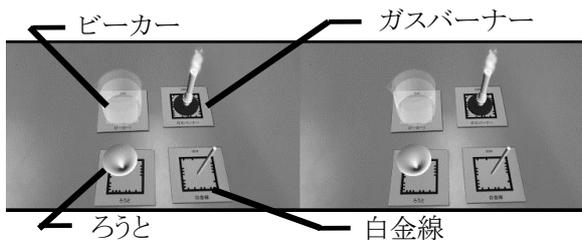


図3 仮想環境の例[石村 2015]

ーワの 2 つのレンズを通してディスプレイを見ることで仮想環境を確認することができる。図 3 では図 2 のマーカーの種類と位置に対応したビーカーや試薬の CG が表示されており、学習者はマーカーの上に CG が重畳表示された仮想環境を確認することができる。学習者はビーカーマーカーにイオンや試薬に対応するマーカーを近づけることにより、イオンや試薬の投入を行うことができ、仮想実験を進めることができる。

2.2 頭の向きを検出を用いた学習支援機能

本稿で提案する学習機能を有するシステムについて以下で述べる。学習者が目的をもって学習を行えるように、設問の提示を行う。図 4 にシステムが構築した仮想環境の例を示す。図のように仮想環境の上部に提示された設問を学習者は確認することができる。設問は常に表示されているため、学習者が設問を誤認して実験を進めてしまう可能性を減少させることができると考えられる。

学習者は提示された設問に対して回答を行うことができ、正誤を確認することができる。HMD にはスマートフォンが取り付けられているため、スマートフォンのセンサーから学習者の頭の向きを取得できる。学習機能を有するシステムでは学習者は頭の向きを変えることで回答を行うことができる。図 5(a)に回答を行っているときの学習者を示し、そのときの仮想環境を図 5(b)に示す。図 5(a)のように学習者が顔を上に向けたとき、図 5(b)のように選択肢から回答を行う画面が表示される。回答を行いたい選択肢が仮想環境の中心に表示されるように頭の向きを動かすこ

とで選択肢を選択状態にできる。仮想環境の中心を分かりやすくするため図 5(b)のように十字の目印を表示している。学習者は 1.5 秒間連続で選択状態を維持することで回答することができる。解答を行うために選択状態を維持する必要があるため、意図しない回答を防ぐことができると考えられる。学習者が回答を行うとシステムは回答の正誤判定を行い、学習者に正誤の結果を文字情報としてフィードバックする。正誤の確認が行えるため学習者の誤った知識の獲得を防ぐことができると考えられる。学習者が設問に正解していた場合、システムは次の設問を出題する。頭の向きを入力インタフェースとして用いることで、学習者は頭の向きを変える動作のみで回答や選択肢の確認を行える。

学習者が実験状態を誤認して学習を進める可能性があるため、ビーカー内の液性、イオン、試薬、沈殿物の情報を可視化させる。システムがビーカーマーカーを認識したとき、マーカーの上にビーカー内の情報がアイコンを用いて表示される。表 1 にイオン Pb^{2+} が入ったビーカーに H_2S (試薬) を投入する前と後のアイコンの変化を示す。表の試薬投入前は液性が中性でビーカー内に Pb^{2+} があることがアイコンから分かる。表の試薬投入後の図より直前に加えた試薬が H_2S であり、沈殿物として PbS がビーカー内にあることが分かる。アイコンを表示することで、学習者はビーカー内の状態を誤認して実験を進めることを防ぐことができると考えられる。また、表の投入前と投入後ではビーカー

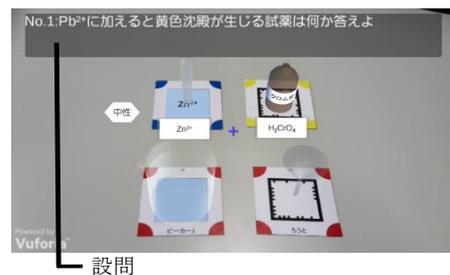


図4 学習機能を有するシステムの仮想環境の例



図5(a) 回答を行うために頭を上げている被験者

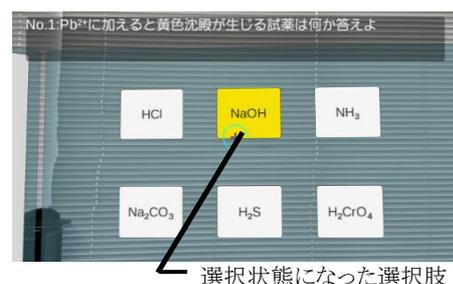


図5(b) 学習者が回答を行っているときの仮想環境

表1 アイコンによるビーカー情報の可視化

試薬投入前	試薬投入後

表2 マーカを認識したときに拡張表示されるCGの例

種類	マーカ	拡張表示例
実験器具 マーカ		
イオンマーカ		
試薬マーカ		
実験補助 マーカ		

を見ている方向が異なるが、アイコンは学習者に見えるように表示される。そのため、学習者はビーカーマーカの方に関係なくビーカー内の状態を確認できる。

表2に学習環境を有するシステムで用いるマーカの種類、例、認識時の拡張表示例を示す。システムで用いるマーカは大きく分けて実験器具マーカ、イオンマーカ、試薬マーカ、実験補助マーカの4種類がある。表中のマーカ例のようにマーカの四隅には色が付けられており、学習者はマーカの種類を一目で確認できると考えられる。マーカの中央は黒枠とその内側にバーコード上の凹凸が付いたデザインとなっている。システムは黒枠の内側にあるバーコード状の部分の違いを識別することでマーカの種類を識別する。実験器具マーカには沈殿反応実験、炎色反応実験を行うために必要なビーカー、白金線、ガスバーナー、漏斗に対応するマーカがある。イオンマーカ、試薬マーカはビーカーマーカに近づけることでイオンまたは試薬を加えることができる。表中の拡張表示例のように実験器具マーカ、イオンマーカ、試薬マーカを認識したときのCGは実際の実験で使うときと同じようなデザインにした。これにより学習者はマーカの使い方をイメージしやすくなると考えられる。イオンマーカ、試薬マーカは種類が多いため、イオンマーカと試薬マーカは認識された

とき側面に名称が書かれたCGが表示される。名称が書かれたCGは上記で記述したビーカーマーカのアイコンと同様に、視点を変えても常に学習者に見えるように表示される。そのため机の上にマーカが散乱していても、容易にどのマーカか確認できると考えられる。実験補助マーカには初期化マーカ、確認マーカ、戻すマーカがある。実験補助マーカも様々な視点から見えるように、表中のようなCGで表示する。初期化マーカはビーカー内のイオンと沈殿物を取り除くことができ、液性を中性にする。確認マーカはビーカー内のイオン、沈殿物、液性を画面に表示することができる。戻すマーカはビーカー内の沈殿物を沈殿する前のイオンの状態に戻すことができる。

2.3 演習例

学習者が仮想環境内に提示された設問に回答を行うときの演習例を表3に示す。まず、学習者は表3(a)のように仮想環境の上部に表示された設問を確認する。表3(a)では“Pb²⁺に加えると黄色沈殿が生じる試薬は何か答えよ”という設問が提示されている。設問は常に表示されているため、学習者はいつでも設問を確認することができ、学習者が設問内容を誤認したまま実験を進める可能性を減らすことができると考えられる。設問を確認した学習者はビーカーにPb²⁺を投入するために表3(b)のようにビーカーマーカにPb²⁺マーカを近づける。投入されたイオンはビーカー上部にアイコンとして表示されるため、学習者はビーカー内の状態をすぐに確認することができる。次に学習者は正しい解答を見つけ出すために、表3(c)のようにビーカーマーカに試薬マーカを近づけて試薬の投入する。設問の通りの反応が起きる試薬を見つけた学習者は表3(d)のように頭を上に向け、回答画面で回答を行う。正しい答えを選択したときは表3(d)のように“正解”と表示される。間違えた答えを選択したときは“間

表3 設問提示から回答を行うまでの演習例

手順	仮想環境	説明
(a)		学習者は出題された設問の確認を行う
(b)		学習者はビーカーにイオンを加える
(c)		ビーカーに試薬を加え、設問通りの反応が生じる試薬を見つける
(d)		学習者は回答画面で試薬を選択し回答を行う

違いです”と表示される。正誤判定を行うことで誤った知識の獲得を防ぐことができると考えられる。以上のようにして学習者は仮装実験を行うことができる。

3. 繰り返し演習による知識獲得についての検証

3.1 実験条件

繰り返し仮装実験を行うことによる知識獲得の傾向について検証する。被験者には沈殿反応に関する 18 問の設問し、1 問目から順に設問番号 1 から 18 と対応する。被験者は以下の実験手順に従ってテストと演習を繰り返す。ただし、N は毎回の演習で出題する設問数である。

- (1) 各被験者は、沈殿反応に関する設問番号 1 から N について演習を行う。
- (2) 前演習の翌日から 4 日後までに、これまでに演習した沈殿反応に関する全設問を紙上テストとして実施する。なお、演習回数を e とし、 e 回目に行ったテストの設問数を $S(e)$ とする。また、実施したテストの不正解数を $F(e)$ とする。
- (3) テスト直後、 $F(e)$ が N より小さい場合は、テストで不正解だった設問と設問番号 $S(e)+N$ から $S(e)+N-F(e)$ の設問について演習する。また、 $F(e)$ が N と等しい場合は、不正解の設問 N 問について演習する。さらに、 $F(e)$ が N より大きい場合は、不正解の設問から、設問番号が小さい順から数えた N 問について演習する。

被験者はまず(1)を行い、その後(2)と(3)を繰り返すことで学習課題の 18 問について学習を進めた。被験者が正解した設問内容を忘れる可能性があるため、毎回の紙上テストにおいて今までに実施した演習の全ての設問を出題する。なお、各テスト後に被験者に対して正答の提示は行っていない。

N を決めるために被験者 2 名(被験者 A, B)に 12 問の演習を行わせた直後にその演習の答えについてどの程度覚えられているか調査した。その結果、被験者 A は 8 問正解し、被験者 B は 6 問正解した。被験者 A, B の正解数の平均が 7 問となったため N を 7 とし本検証を行う。

本検証の被験者は大学院生 1 名(被験者 C)とし、被験者には事前に操作方法について説明し練習を行わせた。

3.2 検証結果

図 6 に被験者 C のテスト出題設問数と正解数の推移を示す。図から、テスト出題設問数と設問正解数がテスト回数とともに増加していることが分かる。従って、仮装実験を通じた演習を繰り返すことにより、18 問の学習課題に対して学習を進められることを確認した。図 7 に被験者 C が各設問に初めて正解するまでの演習回数と各設問の演習回数を示す。ただし、設問番号 18 については 2 回の演習を行ったが一度も正解できなかった。

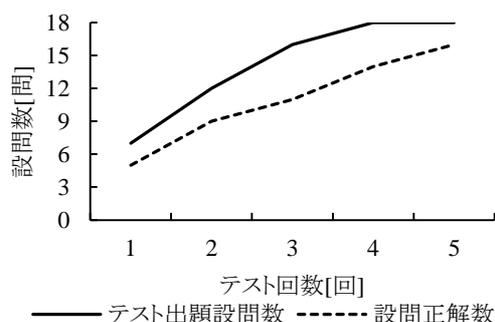


図 6 被験者 C のテスト出題設問数と正解数の推移

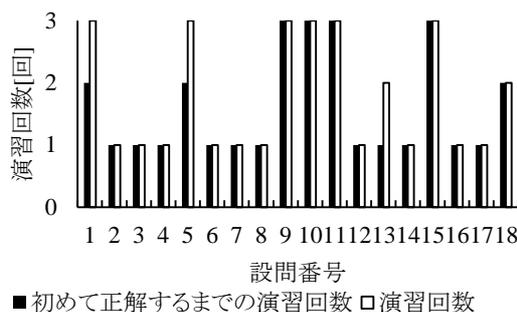


図 7 初めて正解するまでの演習回数および演習回数

図の初めて正解するまでの演習回数に着目すると 1 回の演習で正解できた設問もあるが 2, 3 回と繰り返し演習を行わなければ正解できなかった設問もある。1 回のみの仮装実験で全ての反応を覚えることは困難であるため、間違えた問題に対しては繰り返し学習を行う必要があると考えられる。また、図の設問 1, 5, 13 のように“演習回数”が“初めて正解するまでの演習回数”より多い設問は、一度正解した後に間違えた設問である。一度正解した設問でも後に間違える可能性があるため、忘れてしまった問題に対しても繰り返し学習を行う必要があると考えられる。このことから、学習機能を有するシステムを用いて無機化学の知識を獲得する方法として、繰り返し学習を行うことは岡本らの検証結果[岡本 2015]と同様にできた。

以上より、学習機能を有するシステムを用いた繰り返し学習により無機化学の沈殿反応に関する知識の獲得が行える可能性を確認できた。

4. おわりに

これまでに、スマートフォンを HMD の表示部として用いた AR 型無機化学仮装実験環境を構築してきた[石村 2015]。本稿ではこの仮装実験が行えるシステムに学習を行うための機能の追加を行った。学習機能を有するシステムを用いて繰り返し学習を行うことにより無機化学に関する知識の獲得が行える可能性を確認した。今回は設問の回答や実験状況の可視化を行うために、頭の向きによる入力やアイコンを用いた。今後、これらの新たに追加したインターフェースの検証を行う予定である。

なお、本研究の一部は科研費 No.15K01084, No.26750082 による。

参考文献

- [文部科学省 2009] 文部科学省: 高等学校学習指導要領 理科編, 実教出版株式会社, pp. 49-71, 2009.
- [岡本 2015] 岡本勝, 隅田竜矢, 松原行宏: 拡張現実型マークを用いた無機化学学習支援システム, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J98-D, No. 1, pp. 83-93, 2015.
- [総務省 2015] 総務省: 平成 27 年度青少年のインターネット・リテラシー指標等, http://www.soumu.go.jp/main_content/000385926.pdf, 2016/3/15 参照.
- [光原 2013] 光原弘幸, 岩間智視, 角川隆英, 田中一基: “AR と HMD を用いた実世界 Edutainment システム(学習支援システムの新展開/一般)”, 電子情報通信学会技術研究報告, ET2013-29, pp.7-12, 2013.
- [石村 2015] 石村司, 岡本勝, 松原行宏: ケーブルレス HMD を用いた AR 型無機化学学習支援環境, 人工知能学会研究会試料, SIG-ALST-B403-07, pp. 36-39, 2015.