

仮想化学実験空間を構築するテーブルトップタンジブルインタフェース

西濱 大貴* 渡辺 晃一郎* 竹内 達史* 井上 智雄† 岡田 謙一*

* 慶應義塾大学理工学部情報工学科

† 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科

学習とは実体験により経験をつむことや、知識を蓄えることによって行動や思考が変化することである。学習には様々なものがあるが、本研究では学問に対しての学習に焦点を当てた。本稿では、実験学習とテキストベースの学習と連携を強めるために、実物体とARを用いて化学実験学習の補助を行うシステム”ARChemistry”について述べる。本研究では、テーブルトップインタフェースを用いて実物体とARを用いた仮想実験空間を構築し、仮想化学実験空間を実現した。この仮想化学実験空間では、実物体を用いた実験学習を行うことができ、必要となる関連情報はテーブルトップ上に表示可能となる。また、仮想物を用いることで肉眼では見えないものを可視化した。そして実験の作業を記録することで、実験のフィードバックを可能にした。実際の実験では不可能であった”どの手順で”、”誰が”、”何の操作を”間違えたのかが可能に判定できるようになり、学習内での失敗を特定できるようになった。本システムを用いて、操作性と実験内容に関する評価実験を行った。その結果、拡張現実空間とテーブルトップインタフェースが有用に働いていることを確認することができた。

ARChemistry: A System For Supporting To Learn Chemical Experiments With Tabletop Tangible Interface

Daiki Nishihama*, Koichiro Watanabe*, Tatsushi Takeuchi*, Tomoo Inoue†, and Ken-ichi Okada*

Learning means the change of the action and the idea by storing the real experience or acquiring knowledge. We focus attention on Chemistry in various learning. This paper describes a learning assist system of chemical experiment "ARChemistry" which using augmented reality and tabletop interface for combining physical papers and digital content. In this system, tabletop interface can show needed related information on tabletop interface. Augmented reality enables us to show chemical reaction by using a virtual model. And the feedback of the experiment is enabled by storing user's history. The feedback is able to realize us the mistakes which are "Which procedure", "Who", and "What operation". There were no method to catch the information of mistake in traditional experiment. Through experimental use, the results showed that the system of an augmented reality interface worked appropriately.

1 はじめに

学習とは実体験により経験をつむことや、知識を蓄えることによって行動や思考が変化することである。人間が道順を覚えること、料理方法や食材に関する特徴を知ること、またプレゼンテーションを行うこと、こ

* 慶應義塾大学理工学部情報工学科
Department of Information & Computer Science, Graduate
School of Science and Technology, Keio University
† 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科
Graduate School of Library, Information and Media Studies
University of Tsukuba

れら全て学習であるが、本研究では学問に対しての学習に焦点を当てる。その中でも実験学習を複数人の作業者が同時に、同じ場所で、共同で作業を行なうという同期対面型の協調学習であると考え、効率よく学力を高める手段の一つであるとする [5][6]。

この協調学習に関しては複数のユーザが対面しながら直感的に作業が行えるテーブルトップインタフェースを用いたシステムが多く研究されてきており、そのテーブルトップと共に実物体をも用いて作業を行う実世界指向のシステムも開発されてきている [1][3][2]。

そこで、本研究では実物体と AR を用いて化学実験学習の補助を行う "ARChemistry" の提案をする。本システムではテーブルトップインタフェースに実物体と AR を用いた仮想的な実験学習空間を構築し、その空間を化学実験に適応した。これにより実験で必要となる関連情報をテーブルトップ上に表示が可能となる。また、仮想物を用いることで、肉眼では見えないものを可視化した [3]。そして実験に必要な履歴の使用することによって、実験のフィードバックを可能にし、実際の実験では不可能であった "誰が"、"何が"、"何の操作を"間違えたのかを明確に判定できるようになり、学習内での失敗を特定できるようにした。本システムの有用性を確認するために評価実験を行った。

2 学習

学習とは常日頃から何かしらの行動することで、その後の動作に影響することであり、誰しもが意識無意識に関わらず行っていることである。その中でも意識的に行う学問の学習は、教科書や参考書を用いたテキストベースの学習と、実験や野外活動などの体験型の学習と 2 種類存在する [2]。本研究では学習のなかでも特に体験型の実験学習に注目する。

2.1 実験学習

実験学習は、人の作業者が同時に共同で作業を行なうという同期対面型の協調学習であるとする。この協調学習によって得られる学力は、教師中心の競争型授業に劣ることはなく、むしろ学習形態によっては高い結果となることが明らかになっている [5]。そして、学力を高める要素として重要になるのは、グループへの評価と個人の責任である。グループへの評価が学力面で最も効果を現すのは、グループのすべての学習者が目標の学習を達成することを評価に反映したときとなる。

また、グループへの評価を獲得するためにも、学習者個人の責任は学習において大きな役割を示す。これは、両要素が学習者にとって学習の直接の動機づけになっているからだといえる。これらを踏まえ、本研究では実験学習の中の化学実験学習に焦点を当てる。一般に印象深く残るのが、反応の変化が未知のもので、色鮮やかに変化する化学実験である。この化学実験学習について以下に述べる。

2.2 化学実験学習における問題点

本研究では、仮想化した化学実験をテーブルトップインタフェース上で行い、化学学習の補助を行うが、その際に実際の化学実験と同様な手順を踏めるように、化学実験の問題点を以下に整理しておく。

- (1) テキストベースの学習との連携に関する問題
- (2) 実験事故に関する問題
- (3) 実験者の操作ミスに関する問題
- (4) 実験環境の構築に関する問題

実験学習中にテキストで学んだ情報を常に頭にいれておく事は難しい。実験中はテキストで学んだ、イオンの様子や電子の動き等は肉眼では見ることが出来ないの、結局テキストを参照するか、ただ単に実験を行い、後にレポートなどを作成しフィードバックする事が多い。また実験中に生じてしまう事故やミスに関しては、どんなに注意や監督をしても防ぎきれないのが実態である。そして、実験を行うには十分な設備を必要とする事がほとんどである。

3 ARChemistry

3.1 概要

ARChemistry は、構築した仮想実験空間を応用し、テーブルトップ上で仮想的な化学実験学習の補助を行うことができるシステムである。前述した問題点を踏まえると以下の 4 点で重要な点となる。

- (1) AR による仮想化
- (2) 実験における関連情報の表示
- (3) 実験者の識別
- (4) 実験手順の記録

本システムはあらかじめ使用すると想定される実験操作や、器具などの文字情報や画像情報を読み込む。読

み込んだ情報を実物体、パネルに対応させることで、実験を行う環境を作成することが可能になる。ここで、普段は目に見えないイオンの動きやイオン同士の結合の様子を AR を用いて可視化することで、実際の実験以上に理解を助けることができる。またピーカーを操作することで、混合などの実験感を失わず操作をすることが可能となっている。学習では反復することが重要であるが、本システムでは実物の薬品やガスバーナーなどを仮想化し実際には用いないため、危険性も少なく、コストも抑えることができ、繰り返し実験学習を行うことができる。また、実験を間違えたまま終えてしまうと、学習の意味が損なわれてしまうが、実際の実験ではこの確認作業が難しい。しかしながら、それぞれのユーザの各作業履歴を記録しておくことによって警告とフィードバックが可能となった。警告とは、そのまま実験を続けると事故に繋がる、もしくは実験が正しく終了できない事を作業中に知らせることである。フィードバックとは、実際の実験では行えなかった、作業後に手順とその対応をテキスト文章にすることで“誰が”、“どの手順で”、“何の動作を”間違えたのかが確認できることである。本研究においては、これらの必要要素を実現し、効率よく仮想化学実験を学習に取り入れられるような環境の構築を目指す。

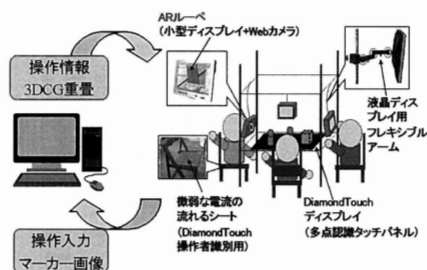


図 1: ハードウェア構成



図 2: 実物体の概観

3.2 ARChemistry の実装

本システムでは、図 1 のように大型のタッチセンサディスプレイ（DiamondTouch[4][7]）を水平にして配置し、ディスプレイ上部に設置したプロジェクタから電子情報を投影して画面に表示し、そのディスプレイ上で実物体（ピーカー）を用いて操作をすることができる。さらに小型ディスプレイに Web カメラを取り付けた AR ルーベが各ユーザに配置されており、AR マーカを読み込むことで 3DCG によるイオン同士の結合の画像、動画を見ることができる。本システムは主に以下の 3 つのパートを操作することで進行される。

- 実物体操作
- 仮想物表示
- タッチセンサディスプレイ操作

これら 3 つのパートの詳細と操作方法を順を追って説明していく。

3.2.1 実物体操作

本システムでは、実物の実験器具としてピーカーを使用することができる。タッチセンサディスプレイ上で実物体を手にとって移動させたり、システムに認識させる事が出来るので実験感を損なわない。実物体をシステムで認識するために図 2 のように伝導性の高い銅版と銅線を貼り付ける。これによって操作時に DiamondTouch[4] からの微弱な電流が身体を通り、伝導体（銅板、銅線）へ伝わり、タッチセンサディスプレイ上に反映され、実物体の認識が行われる。また DiamondTouch は多点認識が可能であり、銅板の大きさによって実物体の判別ができる。[7]

この機能を用いて、ピーカーの内容物の混合を行う。2 つの異なるピーカーを順に認識させ、後述する混合ボタンを押すことでピーカー内を仮想的に混合させ、対応した AR マーカをディスプレイ上に表示する。また、ピーカーを操作した際にはタッチセンサディスブ



図 3: DiamondTouch に表示される実装画面

レイ上に、内容物とその関連情報が表示される。これにより、ピーカー内に何の試薬が入っているかを確認することができる。

3.2.2 仮想物表示

本システムでは仮想物の表示に AR ルーベを使用する。AR ルーベとは、小型ディスプレイと Web カメラを結合し、それらをフレキシブルなアームで固定したものである。本システムでは AR ルーベが全ユーザに対して、各ユーザの左手前にくるようラックからアームで設置されている。AR ルーベは、Web カメラに取り込まれた画像に AR マーカの有無を判別する [3]。AR マーカが存在したとき、その形状を判別してマーカ上にあらかじめ読み込ませておいた 3DCG を重畳する。また、その AR マーカには実験に必要な関連情報と 3DCG をリンクさせてあるので、表示された 3DCG 以外にも文字情報を含んでおり、タッチセンサディスプレイ上に表示することができるようになっている。

図 4 のように AR ルーベはアームを用いて自由に移動させることができるので、両手を塞ぐことなくタッチセンサディスプレイ上での操作が行える。3DCG が必要なときに虫眼鏡のように AR マーカを AR ルーベ越しに覗き込むと、イオンの結合による沈殿の生成や炎色反応の様子などを見ることができる。

3.2.3 タッチセンサディスプレイ

実験は主にタッチセンサディスプレイを用いて手順を進めていく。図 3 が実際の操作画面となる。タッチで直感的に操作ができるが、さらに通常の PC に表示



図 4: AR ルーベの操作

されるメニューリストなどを取り入れることで、より容易に操作ができるようになっている。本システムの操作画面では、各ユーザの正面に詳しい関連情報が表示される個別ノートパッドパネルがあり、ひとりひとりが見たい情報を自由に参照できるようになっている。次に、画面右手前にあるメニューリストには、操作時に邪魔になったマーカを消去する消去ボタン、ピーカーを 2 つ認識している際に使用する混合ボタン、実験器具を出現させる実験操作ボタンの 3 つが表示される。このメニューリストから実験操作ボタンを表示した場合、まず図 5 のような実験操作パネルが表示される。このパネル内の各アイコンをタッチすることで、実験器具や試薬といった各操作に対応した AR マーカがタッチセンサディスプレイ上に表示される。図 6 はガスバーナーアイコンを選択し、そのマーカを AR ルーベで覗き込んだ様子である。ガスバーナーは、タッチ操作で炎色反応を行い分別したイオンの色を表示させ、特定イオンかどうかを確かめる。

ガスバーナー以外にも、ろ過、熱水を注ぐ、硫化水素を発生させるなどの操作がある。

3.3 操作の流れ

前述の機能を用いた本システムの操作の流れを例を挙げながら説明する。まず、操作画面上に実験を進める手順が表示される。その指示が混合ならば実物体を認識し、混合ボタンを押す。その他の指示ならば、試

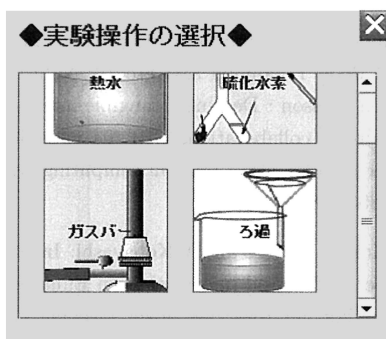


図 5: 実験操作パネルの概観

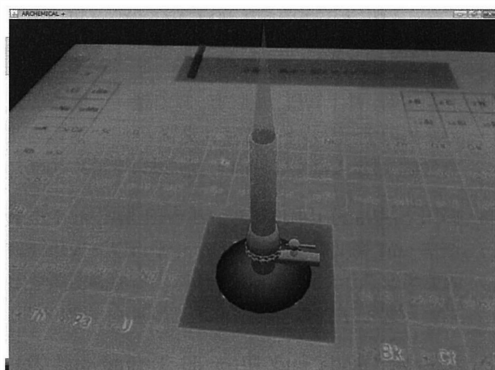


図 6: 実験操作：ガスバーナー

薬や実験器具を実験操作パネルより呼び出し、反応を進める。ここで、各手順には AR マーカが毎回表示されるので、必要に応じて AR ルーペで 3DCG を参照する。さらに詳しく関連情報を必要とする場合は、AR マーカやビーカーなどをタッチして個別ノートパッドへ情報を表示させる。以上の手順を繰り返す行うことで、実験が完了する。

3.4 履歴情報の記録

本システムでは、実験操作が行なわれた際に実験操作を記録するだけでなく、実物体と、その操作者を特定して記録している。つまり、この履歴情報を用いる

ことで、「どの手順で」、「誰が」、「何の操作を」実験で間違えたのが確認できる。これにより実際の実験では難しかった、手順のミスを特定でき、留意すべき点を見つけ出すことができる。また、そのまま実験を進めると正しい実験結果が得られない場合や、実際の実験では事故に繋ってしまう場合は警告を出すことで、失敗や事故を未然に防ぐことができるようになっている。

4 評価実験

本研究で提案するシステム、の効率性・有効性を検証するため、評価実験を行った。

4.1 実験内容と手順

本システムを用いて、複数のイオンが混入されたビーカーから特定のイオンのみを検出する実験、陽イオン系統分析実験を行った。被験者は化学を専門としない大学生及び大学院生 18 名（男性 14 名、女性 4 名）を対象とし、アンケート評価（10 段階評価と理由および自由記述欄）を行った。実験手順は、まずはじめに、本研究の研究背景やシステム概要、操作方法やシステムの機能について説明した後、本システムを簡単に操作してもらい、次に陽イオン系統分析をシステムの指示に従って行ってもらった。実験を完遂させた後アンケートに答えてもらった。

4.2 実験結果と考察

実験結果を表 1 に示す。結果を見ると本システムを作成するにあたり重要視していた「操作は簡単だった」、「3D 画像や説明文が実験や学習の補助になった」、「イオンや反応の様子がわかりやすかった」の項目に対して高評価を得られている。これらに関しては、タッチ操作なので簡単だった、反応前と反応後の様子がよくわかった、実験の詳細や画像のおかげでわかりやすかった、といったコメントも得られていたので、本システムに有用性があると言える。さらに「楽しく操作できた」「予習や復習に利用できそう」の項目も高評価であり、これらには、話しながら作業するのが楽しかった、飽きずに操作できたというコメントが得られた。実験学習で理解を深め、なおかつ楽しく操作できることがこのコメントから分かる。楽しみながら学習することは効率上がるので、これらの評価は本システムの有用性を後押しするものと考えられる。

表 1: 評価実験のアンケート結果

質問	平均
操作は簡単だった	8.0
操作は直感的だった	7.2
小型ディスプレイをうまく活用できた	7.4
実際の化学実験をイメージできた	7.5
3D 画像や説明文が実験や学習の補助になった	8.1
楽しく操作できた	8.7
化学に興味がわいた	6.5
イオンや反応の様子がわかりやすかった	8.1
予習や復習に利用できそう	7.7

5 まとめ

学習とは実体験により経験をつむことや、知識を蓄えることによって行動や思考が変化することである。学習には様々なものがあるが、本研究では学問に対しての学習に焦点を当てた。そこで本稿では、実験学習とテキストベースの学習と連携を強めるために、テーブルトップインターフェースに実物体と AR を用いて化学実験学習の補助を行うシステム”ARChemistry”の提案をした。この仮想的な化学実験空間では、ピーカーを用いて実験学習を行うことができ、必要となる関連情報はテーブルトップ上に表示可能となる。また、仮想物を用いることで肉眼では見えないものを可視化した。そして実験中の作業を記録することによって、実験のフィードバックを可能にした。実際の実験では不可能であった”どの手順で”、”誰が”、”何の操作を”間違えたのかを明確に判定できるようになり、学習内での失敗を特定することができた。本システムを用いて、操作性と実験内容に関する評価実験を行った。その結果、拡張現実空間とテーブルトップインターフェースが有用に働いていることを確認することができた。今後の課題としてはハードウェアの操作性をさらに向上させること、実験アルゴリズムを改善し、より複雑な実験も可能にすることが挙げられる。

謝辞

DiamondTouch ディスプレイは、Mitsubishi Electric Research Laboratories の提供による。また、本研究の一部はグローバル COE プログラム「アクセス空間支援基盤技術の高度国際連携」により行われた。

参考文献

- [1] Diana Africano and Sara Berg, Kent Lindbergh and Peter Lundholm and Fredrik Nilbrink and Anna Persson : Designing tangible interfaces for children's collaboration, CHI '04 extended abstracts on Human factors in computing systems, pp.853-868 ,2004.
- [2] H.Koike , Y.Sato and Y.Kobayashi: Integrating paper and digital information on EnhancedDesk: a method for real-time finger tracking on augmented desk system, ACM Trans. on Computer-Human Interaction, vol.8, No.4,2001,pp.307-322.
- [3] Kikuo Asai and Tomotsugu Kondo1 : Molecular Structure Visualization System Using Augmented Reality Journal of Multimedia Aided Education Research 2008, Vol. 4, No. 2, 37 - 43
- [4] 北原圭吾, 井上智雄, 重野寛, 岡田謙一: 協調学習のためのテーブルトップインタフェース, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.11, pp.3054-3062, 2006.
- [5] 岡田 昌也 and 山田 暁通 and 吉田 瑞紀 and 垂水 浩幸 and 粥川 隆信 and 守屋 和幸:現実・仮想経験拡張型システム DigitalEE II による協調型環境学習情報処理学会論文誌,vol45-1,2004,pp 229-243.
- [6] Masaya Okada and Hiroyuki Tarumi and Tet-suhiko Yoshimura and Kazuyuki Moriya and Tet-suro Sakai:DigitalEE: A Support System for Collaborative Environmental Education Using Distributed Virtual Space, Systems and Computers in Japan, vol.33, No.8,pp 51-63,year = 2002.
- [7] Dietz, P., Leigh, D., "DiamondTouch: A Multi-User Touch Technology", ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST), pp.219-226, 2001.