

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：25406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330402

研究課題名(和文) 中等教育向けのクラウド型化学教育コンテンツ提供システムの開発

研究課題名(英文) Development of content provision cloud system for chemistry education for secondary education

研究代表者

宇野 健 (Uno, Takeshi)

県立広島大学・経営情報学部・准教授

研究者番号：20305783

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：中等教育における化学教育の充実を目的としたFlashを用いたオンライン型の3次元分子グラフィックス・システムと、これを中心としたクラウド型化学教育コンテンツ提供システムの開発を行った。あらゆるプラットフォームで動作可能なFlashを開発言語として用い、これを中高生の所持率が非常に高いスマートフォンやタブレットPCに対応させ、さらにAR機能を開発・実装した。教員側にも分子のデータを生成できるWebインターフェースを開発し、容易に授業に必要な分子の3次元グラフィックスを生成し、利用することを可能とした。

研究成果の概要(英文)：We developed on-line three-dimensional molecular graphics system using Flash for the purpose of enhancing chemistry education at secondary level and a cloud-type chemistry educational content providing system centered on this. Flash which can execute on all platforms is used as a programming language for software development for smartphone, which the possession rate of which in junior and senior high school students is high, and developing and mounting the AR function. To develop the web interface for making molecular data, the teacher can use molecular graphics in three-dimensional easily when necessary.

研究分野：マルチメディア応用

キーワード：分子グラフィックス 化学教育 AR

### 1. 研究開始当初の背景

近年、若年層の理科離れが問題化して久しい。我が国の児童生徒の数学的および科学的リテラシーが国際的に見て高い水準にあるにもかかわらず、大人の科学的リテラシーは決して高い水準とはいえない。これは十分に理科の楽しさを伝えることや、興味や関心を引き出すことに成功していないのが主な理由とされている。

実際にサイエンスアンゴラ等のサイエンスイベントでは、科学に関する実演や体験イベントに多くの児童生徒が集まり、目を輝かせて興味をひかれている様子が見られる<sup>2)</sup>。これらは実際に児童生徒に科学を体験させることによって、興味を植え付けることができることを証明している。しかし、このような演習を、通常の授業で日常的に行うのは困難である。

これは化学に関しても例外ではなく、日本では受験対策として暗記を中心とした学習が優先され、化学の楽しさを知る機会である実験等の時間が相対的に少ない。また、分子の構造に関する教育においても、実際にCPKモデルなどを使う実習は、時間の問題以外に予算の問題等があり、困難であるのが現状である。

このような状況の中で、分子構造の教育においては3次元の分子グラフィックスを用いて教育する試みが普及してきた。しかし、学生にとっては、閲覧のためのパソコンが必要になる上に、専用のソフトウェアが必要であるため、通常の授業および自習時間中に利用することが困難であるという問題がある。また、教員にとっては、個々のITリテラシーに依存する部分も多い上に、授業で利用する際にはコンピュータ実習室の確保や移動が必要になるなどの問題がある。

そこで、これらの問題を解決すべく、現在Web上で最も普及しているマルチメディア・プラグインであるAdobe社のFlashを用いた3次元分子グラフィックス・システムを中心としたクラウド型化学教育支援システムの開発を行うこととした。

Flashを開発プラットフォームとして利用する理由は、(1) Action Scriptという、オブジェクト指向の拡張言語を有している(2) Flash CSやFlexといった、IDEを有しており、システムの開発が容易、(3) 生成したムービーは画像や動画などの単独のインタラクティブなコンテンツとしてWebページやプレゼンテーションソフトに埋め込みが可能、(4) コミュニケーションサーバとの連携により、リアルタイムでのユーザ間のデータ連携が可能、(5) 学生側のインターフェースとなるスマートフォンの主要OSの一つである、Androidアプリケーションの開発が容易、などがあげられる。

これらの特徴を生かした新たなシステムを開発し、Web上で公開することにより、学生は、自身のモバイルデバイスを用いて、よ

り身近に分子グラフィックスを利用可能になり、教員は設備やスキルに関係なく、より簡単に分子グラフィックスを用いた教育が可能となるようなシステムの開発を行う。

### 2. 研究の目的

今回の研究の目的は、中高等教育の化学教育の充実を目的としたFlashを用いたオンライン型の3次元分子グラフィックス・システムのプロトタイプを開発し、これを中心としたクラウド型化学教育コンテンツ提供システムのプロトタイプを開発を行うことである。

学習者側にはAR(仮想現実感)とスマートフォンを中心とした、利用しやすいインターフェースを開発する。また、教員側には、インタラクティブな操作が可能な分子グラフィックスを、画像やムービーと同様の独立した「コンテンツファイル」として手軽に扱えるシステムのプロトタイプを開発する。

将来的にはこれらのシステムを統合して、オンライン化学ポータルサイトの開発を行い、ユーザテストや運用実験を経て一般に公開することによって、中等教育向けの化学教育支援のWebサービスとして提供する。

### 3. 研究の方法

まず、システムの基本となるFlashによる分子グラフィックス表示システムの開発を主とする。研究代表者は過去に分子グラフィックスに関するシステムを多数開発しており、その際開発、作成したモジュールやアルゴリズム、ノウハウ等を、最大限に活用し、開発をスムーズに進めることが可能である。

(1) Flashを用いた分子グラフィックスの表示システムの開発

システムのベースとなる3次元分子グラフィックス表示システムを、Flashで開発する。最低限の機能として、分子の3次元表示と、マウスのドラッグによるリアルタイム回転を実装する。もともとFlashは3次元グラフィックス向けではないため、最適なパフォーマンスが得られるような描画のアルゴリズムの開発と実装を行う。現時点で表示部分に関する基本システムの開発を終えており、今後は様々な表示形態の追加を行う。

(2) 分子グラフィックスコンテンツ生成システムの開発

本システムの特徴である、分子グラフィックスのFlashコンテンツを動的に生成するシステムを開発する。これは、Web上で分子の座標データを読み込ませることにより、サーバ上で分子グラフィックス・コンテンツファイル(SWFファイル)を生成し、ダウンロードさせるシステムである。

主にPHPとFlexを用いてシステムの開発を行う。PHPを用いたシステム開発は、VRMLについて同様のシステムを開発している。今回の開発では、既に開発済みの座標変換等、共通のモジュールを最大限活用する。Flexと

の連携部分は新たに開発する。

### (3) チャネルサービスによる分子グラフィックス・シーン共有システム

Google App Engine の標準 API の一つである、チャネルサービスを利用し、Web ブラウザ上の分子グラフィックス・シーンを複数のユーザでリアルタイム共有するシステムを開発する。分子グラフィックスの回転だけでなく、画面中を指示するための 3 次元仮想ポインタや、選択された部位（原子やアミノ酸残基など）、テキスト情報を共有する機能についても実装する。この機能については、既に VRML で同様のシステムの開発を行っており、それを移植することによって実現する予定である。

開発した Flash の 3 次元分子グラフィックス表示システムをベースとし、学生側の主としたインターフェースとするモバイル端末と、AR への対応を行う。

### (4) AR とモバイル端末への対応

利用者の分子グラフィックス利用のハードルを下げるため、AR とモバイル端末への対応を行う。まず、AR については、Flash 用の AR ライブラリである、Flartoolkit を利用する。これをベースシステムに組み込むことにより、Web カメラ上の書籍やプリント等に印刷したマーカ上に分子グラフィックスを合成して表示させることが可能とする（図 2）。これにより、ソフトウェアの操作をすることなく、容易に分子グラフィックスを利用することが可能となる。

また、これを多くの学生が所有しているスマートフォンやタブレット端末に対応させるため、ベースシステムや本機能の Android OS への移植を行う。タッチパネルという通常のパソコンと異なるインターフェースを有しているため、これについても最適化を行う。これによって、場所を選ばずに、より身近に分子グラフィックスを利用させることが期待できる。なお、Flash のモバイル版については Adobe AIR を用いて移植する予定である。

### (5) ユーザテストと運用実験の実施

アプリのプロトタイプ開発後に、大学生を対象とし、システムのユーザテストや利用アンケート調査などを行い、システムのインターフェースやコンテンツ配置等の改善を行う。また、アンケート調査では、学習効果の他に化学に対する興味の変化等を調査研究する予定である。

## 4. 研究成果

平成 26 年度は、主として今回開発するシステムの基本となる、Flash による分子グラフィックス表示システムのプロトタイプの開発を行った。研究代表者は過去に分子グラフィックスに関するシステムを多数開発しており、その際開発、作成したモジュールやアルゴリズム、ノウハウ等を、最大限に活用し、開発をスムーズに進めることができた。まず、Flash を用いた分子グラフィックスの

表示システムの開発を行った。システムのベースとなる 3 次元分子グラフィックス表示システムを、Flash で開発した。最低限の機能として、分子の 3 次元表示と、マウスのドラッグによるリアルタイム回転を実装した。もともと Flash は 3 次元グラフィックス向けではないため、最適なパフォーマンスが得られるような描画のアルゴリズムの開発と実装を行った。

次に分子グラフィックスコンテンツ生成システムの開発を行った。本システムの特徴である、分子グラフィックスの Flash コンテツを動的に生成するシステムを開発した。これは、Web 上で分子の座標データを読み込ませることにより、サーバ上で分子グラフィックス・コンテンツファイル（SWF ファイル）を生成し、ダウンロードさせるシステムである。主に PHP と Flex を用いてシステムの開発を行った。今回の開発では、既に開発済みの座標変換等、共通のモジュールを最大限活用した。

最後にチャネルサービスによる分子グラフィックス・シーン共有システムの開発を行った。Google App Engine の標準 API の一つである、チャネルサービスを利用し、Web ブラウザ上の分子グラフィックス・シーンを複数のユーザでリアルタイム共有するシステムを開発した。分子グラフィックスの回転だけでなく、画面中を指示するための 3 次元仮想ポインタや、選択された部位（原子やアミノ酸残基など）、テキスト情報を共有する機能についても実装した。この機能については、既に VRML で同様のシステムの開発を行っており、それを移植することによって実現した。

平成 27 年度は、学生側のインターフェースとなる、スマートフォン向けの分子グラフィックスアプリケーションのプロトタイプの開発を行った。昨年度開発したシステム Flash による分子グラフィックス表示システムをベースとし、単にスマートフォンへの移植をするのではなく、利用者の分子グラフィックス利用のハードルを下げるため、学生側の主としたインターフェースとするモバイル端末と、AR (Augmented Reality) への対応を行った。

まず、PC と比べてハードウェア性能が低いスマートフォンで実用的な表示速度を実現するための改善を行った。一例として、球棒模型の表示や回転の際、すべてのパーツを 3 次元 CG で描画すると、表示速度が著しく低下する。そこで、結合の棒のみを 2 次元のワイヤフレームとすることで、表示速度の向上を果たした。

次に、AR 機能の実装については、Flash 用の AR ライブラリである、Flartoolkit を利用した。これをベースシステムに組み込むことにより、書籍やプリント等に印刷したマーカを Web カメラで写すことにより、実写映像と分子グラフィックスを合成して表示させることを可能とした。これにより、ソフトウエ

アの操作をすることなく、容易に分子グラフィックスを利用することが可能となった (Figure1).

また、これを様々なスマートフォンやタブレット端末に対応させるため、Windows OSに加え、本アプリケーションの Android OS と iOS への移植を行った。これにより、機種や場所を選ばずに、より身近に分子グラフィックスを利用させることができるようになった。

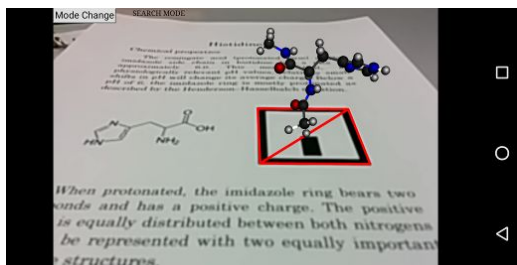


Figure1. Molecular graphics displayed over the marker.

平成 28 年度は、前年度までに開発した Flash アプリケーションを、Web アプリケーションとして移植を行った。ここ数年来、スマートフォンの OS のシェアの殆どを占める Android と iOS が、Flash の非対応化を進めてきた。そのため、当初の予定にはなかったが、学生向けの AR 分子グラフィックス表示システムを、Web アプリケーションとして開発した。

開発においては、出来るだけ多くの OS やブラウザに対応すべく、JavaScript の標準技術を用いた AR のマーカの読み取りにおいては、カメラ画像の取得のためにリアルタイムコミュニケーションを可能とする API である、WebRTC を用いた読み込んだマーカの認識には OpenCV、分子グラフィックスの 3 次元表示においては JavaScript 用の 3 次元 CG の API である WebGL を用い、開発を行った。

これにより、スマートフォンやタブレット PC の OS に依存することなく、Web ブラウザ上での分子グラフィックスの AR 表示を可能とした。

そして、開発したプロトタイプのアプリケーションを用い、大学生 10 名 (経営情報学科 3 年生, 4 年生) を対象に操作実験を実施した。この実験では、操作性と、化学に対する興味の変化を調査した。操作性については、スマートフォンではボタンが小さく、押しづらいという意見が多く見られた。また、化学に対する興味の変化については、とても興味が増した、興味が増したという選択肢が 80% となった。自由記述では、「分子構造の説明を文章や化学構造式で表現されるよりも、はるかに理解しやすい」、「スマホを移動させるだけで、好きな角度から見れるので、わかりやすい」、「角度によって、表示が急に消えてしまう」などの記述が見られた。

今後は、操作実験の結果などを盛り込みつ

つ、システム全体の Web アプリケーション化を進め、外部サーバ上に公開し、社会に広く利用の促進を行っていく予定である。そのためのセキュリティ対策、負荷分散対策、不具合の解消等も行う必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

宇野健, 佐々和洋, 林治尚, 中野英彦, スマートフォン対応の AR 分子グラフィックス表示アプリケーションの開発, The Journal of Computer Chemistry Japan, Vol.14, No.6 pp.196-198 (2015)

〔学会発表〕(計 3 件)

[1] 宇野健, 佐々和洋, 林治尚, 中野英彦, スマートフォン向けの分子グラフィックス表示アプリの開発, 日本コンピュータ化学会 2014 年秋季年会予稿集, p44 (2014)

[2] 宇野健, 佐々和洋, 林治尚, 中野英彦, スマートフォン対応の AR 分子グラフィックス表示アプリの開発, 日本コンピュータ化学会 2015 年秋季年会予稿集, p70 (2015)

[3] 宇野健, 佐々和洋, 林治尚, 中野英彦, スマートフォン対応の AR 分子グラフィックス表示アプリの開発 (2), 日本コンピュータ化学会 2016 年秋季年会予稿集, p70 (2016)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

現在、LAN 内部サーバ上にプロトタイプ版として実験的に運用しており、準備ができ次第、学外に広く公開する予定である。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宇野 健 (UNO TAKESHI)

県立広島大学・経営情報学部・経営情報学  
科・准教授

研究者番号：20305782

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )