

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 4 月 28 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501186

研究課題名(和文)VR-learningシステム「化学実験体験システム」の開発

研究課題名(英文)VR-learning system - virtual chemical laboratory system

## 研究代表者

舟橋 健司 (Funahashi, Kenji)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00303694

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、近年、普及してきているe-learning環境にバーチャルリアリティ(VR)技術を適用することにより、机上の学習だけでなく「体験」を要する学習もコンピュータにより支援することを目的としている。院内学級などでは実体験が困難なことが多い。しかし教科書やビデオによる学習だけでは高い効果が期待できない。そこでVR技術により体験を容易に可能とするシステムの開発を行った。また学習塾などに協力を依頼し、本システムを実際に小学生に体験してもらい評価を行ったところ、システムの有効性を確認することができた。

研究成果の概要(英文)：Recently e-learning system becomes popular. I propose to apply virtual reality technology to e-learning system, and assist education which needs experience using computer. Children being patient in long term study at the classroom in a hospital usually only using textbook, video and so on. I have developed new VR-learning system which enables to have experiences by VR technology easily. Tablet version system has also developed. It was applied to primary school students, and good results were obtained.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：e-ラーニング バーチャルリアリティ 化学実験体験システム

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、e-learning システムが普及し、様々な場面で活用されるようになってきている。自学自習や多人数教育における支援だけでなく、長期入院や特殊な事情で学校へ通えない子供達に対する教育でも利用されている。ところで学校教育では、机上の勉強だけでなく身体そのものを動かす必要のある体育や、経験が重要な芸術、また体験が効果的な学習に欠かせない科学実験なども対象としている。しかしこのような学習を院内学級や家庭内で行うことは難しい。教科書やビデオなどを利用した自学自習には限界がある。

(2) 一方で、本格的なバーチャルリアリティ (VR) 技術を活用したシステムは、医療分野や宇宙開発の分野などでしか実現されていない。身近なところではアミューズメントパークのアトラクションが広い意味で VR システムといえるくらいである。これはバーチャルという言葉が仮想、すなわち想像上という意味の誤訳で理解されていることも一因だろう。バーチャルとは「みかけや形はそのものではないが、本質あるいは効果としてはそのものであること」であり、VR とは「みかけは現実ではないが、実質的には、現実であること」と捉えることができる。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では、VR 技術を活用した次世代型の e-learning システムを提案する。具体的には、小中学生程度を対象とした化学実験を体験できるシステムを構築し、実際に薬品や試薬がないところでも、あるいは教員や保護者が安全確保をできない場面でも、安全に化学実験を体験できることを目的とする。

(2) コンピュータによる化学実験の体験を実現するためには、様々な解決すべき問題があるが、大きな問題の 1 つは液体の挙動をリアルタイムに計算することである。液体挙動に関する研究は古くから行われており流体力学として知られているが、処理速度が飛躍的に早くなっている現在の計算機でも短い時間(映画やテレビが 1 秒間に 24 から 30 枚の静止画で構成されており、これを例にすれば 1/24 から 1/30 秒)で計算することは困難である。しかし小中学生対象の化学実験では厳密な液体挙動を知りたいわけではない。そこで「もっともらしい」挙動を表現可能な簡易計算モデルを提案する。

### 3. 研究の方法

(1) まず、人間が液体(の挙動)に対してどのような印象を持っているのか調査し、「もっともらしい」挙動を表現可能で、かつリアルタイムに計算可能な相互作用モデルを考案する。これまでに仮想液体の対話操作モデルを提案しており、このモデルは液体を、容器の中で静止している状態と、容器や蛇口な

どから落下している状態に分けることで高速な挙動計算を実現している。前者の静止状態は、完全に静止している状態だけでなく、容器の中で波打ったり、かき混ぜたときに渦などが発生したりしている状態も含めて考える。また異なる色の液体を混合したときに徐々に色が拡散していく様子も考慮する。後者の落下状態は、計算を簡略化するために、落下液体同士の干渉は対象とせず、簡単な放物運動に限定する。

(2) 作成する VR 化学実験体験システムでは、実際に小中学生の学習に適したものにするために、全国共通の教育指針となる文部科学省が定める実験の手引きを参考にする[1]。その上で実験内容や試薬の組み合わせとその反応をデータベース化する。具体的には、以下が学習の狙いのうち、1 番目に重点をおく。

- ・水溶液には、酸性、アルカリ性および中性のものがあること
- ・水溶液には、気体が溶けているものがあること
- ・水溶液には、金属を変化させるものがあること

### <参考文献>

[1] 文部科学省、“小学校理科の観察、実験の手引き 第 6 学年 A(2) 水溶液の性質”，[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afiel\\_dfile/2012/01/12/1304649\\_25\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiel_dfile/2012/01/12/1304649_25_1.pdf)

### 4. 研究成果

(1) 前述の静止状態の液体は、容器に入っている液体の体積と容器の形状および傾きから、一意に液面を決定できる。液体が完全に静止している場合には、この面を液面とすれば良い。そうでない場合には、三次元に広がる液体の挙動を直接的に求めるのではなく、この面を格子状に分割して考え、二次元波動方程式により波を表現することで実時間計算を実現する(図 1)。

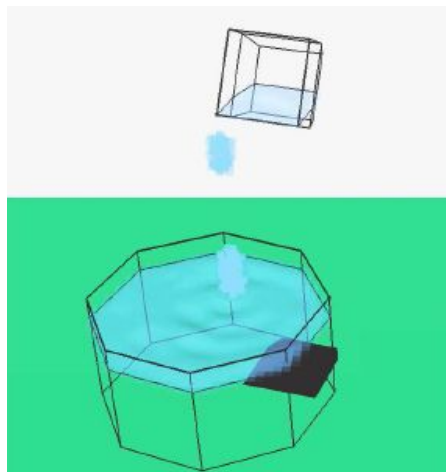


図 1 : 波の表現

(2) 同様に、かき混ぜ操作を行うときには、同心円状の格子を考える。これにより回転するような波を表現する。また、基準となる(静止している場合の)液面を、ランキン組み合わせ渦の考え方により変形させた上で、同心円状の波をマッピングして描画する(図2)。図中の小さな立方体は、予備実験時のかき混ぜ棒を表している。

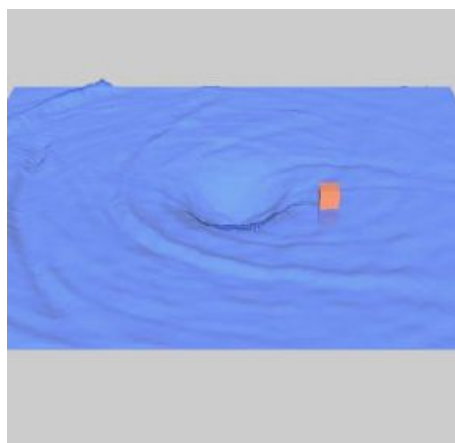


図2：渦の表現

(3) 直交格子に分割した液面に対して、色のパラメータを設定する。ある1つの格子、あるいは周辺のいくつかの格子に、まわりと異なる色を指定したとき、拡散方程式に基づいて色の拡散を計算することで、色が混ざり合い広がる様子を表現する。ただしこれも三次元に広がる液体の拡散を直接的に求めるのではなく、中央に垂直断面を想定し、縦方向の拡散を計算した上で、この垂直断面を側面にマッピングすることで実時間計算を実現する(図3)。

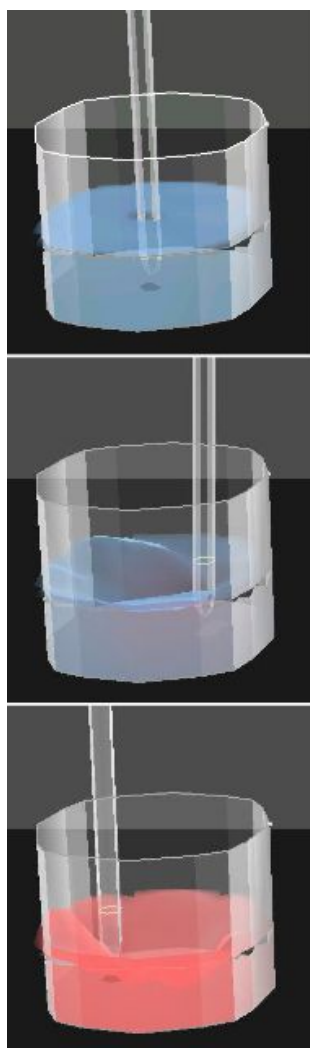


図3：色の拡散表現

(4) 文部科学省が定める実験ではリトマス試験紙を用いて酸性、アルカリ性、中性を判別するが、ここでは試薬を用いた判別を学習してもらう。リトマス紙を用いた観察、実験後の指導の手立てとして挙げられている BTB 溶液と紫キャベツを用いる。また、教科書のみで学習する試薬の実験も体験してもらうため、単元の発展として教科書などで反応の仕方のみを習うフェノールフタレイン溶液とメチルオレンジも試薬として用いる。試薬と反応させる水溶液は、「水溶液の性質」の単元において実験で用いられる食塩水、塩酸水、炭酸水、アンモニア水の4つが候補であるが、単元の発展として BTB 溶液を用いて塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和反応を学習する事がある。中和反応は酸性、アルカリ性、中性への理解を深めるためには有用な液体の混ぜ合わせの実験である。そこで食塩水を純水に変え、水酸化ナトリウム水溶液を加えた計5つを水溶液として設定する(図4、5)。



図4：PC版化学実験体験システム



図5：PC版化学実験体験システム(画面)

(5) 構築した VR 科学実験システムを実際に小学生に体験してもらい、評価を行った。PC版システムでは3次元位置センサや HMD (ヘッドマウントディスプレイ) を利用していることも含めて可搬性に問題があった。そこでタッチパネルを有するタブレット型端末(Android OS)でのシステム構築と、タッチパネルに適したインターフェースの開発も行った。



た。実際の実験の様子を図6に示す。学習の理解度を6年生の子供達12名に5段階で評価してもらったところ、図7のような結果が得られた。概ね良好な結果が得られていることが分かる。またシステムが学習意欲を高められているか判断するために、4、5年生も含めた17名に「楽しさ」について5段階で評価してもらったところ、15名が最高評価、2名が2番目の評価であり、自由記述欄では「楽しく勉強できた」「教科書の文章や写真でしか習っていない実験ができて楽しかった」などの積極的な評価も得られた。実験時には、実験機が少なかったこともあり、ある実験対象者がシステムを利用している所に他の子供と一緒に触ろうと近付いてくる場面もあり、本システムは十分に興味を持って触ってもらえることが伺える(図6)。

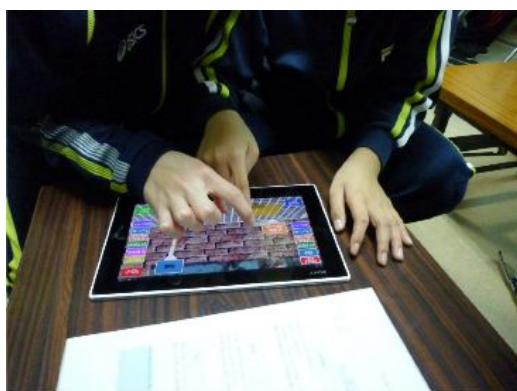


図6：タブレット版システムによる実験の様子

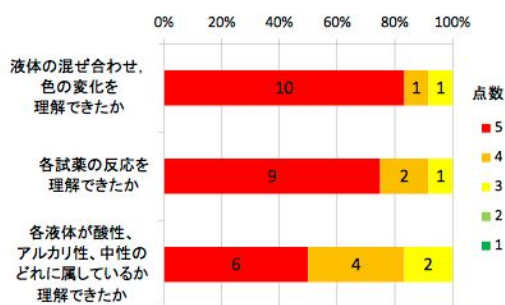


図7：学習理解度の評価結果

(6) 以上の通り、本研究では十分な成果が得られた。しかし、構築したシステムは未だ実験段階のものであり、実際の現場での運用には不十分である。今後はこれらの問題点を解決していくとともに、必要な評価を行うことで、日本だけでなく海外も含めた学習環境に恵まれない子供達の未来につなげたい。

## 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)

[学会発表](計22件)

- (1) Yutaro Mori, Kenji Funahashi, A Data Adjustment Method of Low-priced Data-glove Corresponding with each User Hand, Proc. SCIS & ISIS 2014, pp.463-468, 2014.12, Kitakyushu International Conference Center
- (2) Kenji Funahashi, Yusuke Nakae, Getting Yourself Super imposed on a Presentation Screen, Proc. ACM SUI 2014, pp.138, 2014.10, Waikiki Beach Marriott Resort and Spa, Honolulu, Hawaii, USA
- (3) 森裕太郎, 舟橋健司, 各ユーザ手形状の相違に対応した少数センサデータグループのデータ補正手法, 日本バーチャルリアリティ学会第19回大会講演論文集, pp.413-416, 2014.9, 名古屋大学
- (4) 佐東康平, 栗本雄多, 舟橋健司, VR調理学習システムのための近接ハイトフィールド間における固体群挙動, 日本バーチャルリアリティ学会第19回大会講演論文集, pp.268-271, 2014.9, 名古屋大学
- (5) 内山享佑, 中江裕介, 舟橋健司, 発表者を重畳表示するプレゼンテーション支援ソフトウェア, 日本バーチャルリアリティ学会第19回大会講演論文集, pp.262-263, 2014.9, 名古屋大学
- (6) Kohei Sato, Kenji Funahashi, VR-Learning System: Virtual Cooking Training System, Proc. e-CASE & e-Tech 2014, pp.967-993, 2014.4, Nagoya University
- (7) Hiromasa Takahashi, Kenji Funahashi, A Data Adjustment Method of Low-priced Data-glove based on Representative Hand Motion Using Medical Knowledge, Proc. ICAT 2013, 2013.12, The National Museum of Emerging Science and Innovation (Miraikan)
- (8) Kyosuke Uchiyama, Kenji Funahashi, Tablet VR-Learning System: Chemical Laboratory Experience System, Proc. SITIS2013 (Workshop on CIS), pp.416-423, 2013.12, Kyoto Terrsa Conference Center
- (9) 内山享佑, 舟橋健司, VR化学実験体験システムのためのタッチパネル3Dインタフェース, 日本バーチャルリアリティ学会第18回大会講演論文集, pp.578-581, 2013.9, 大阪ナレッジキャピタル
- (10) 高橋寛昌, 舟橋健司, 医学的知見を利用した代表手動作に基づく少数センサデータグループのデータ補正法, 日本バーチャルリアリティ学会第18回大会講演論文集, pp.574-577, 2013.9, 大阪ナレッジキャピタル

- (11) 佐東康平, 舟橋健司, VR 調理学習システムにおける調理器具による押さえつけ動作とすくい上げ動作の考察, 日本バーチャルリアリティ学会第 18 回大会講演論文集, pp.252-255, 2013.9, 大阪ナレッジキャピタル
- (12) 栗本雄多, 舟橋健司, VR 調理学習システムのための近接ハイトフィールド間における固体群の崩れ表現, 日本バーチャルリアリティ学会第 18 回大会講演論文集, pp.248-251, 2013.9, 大阪ナレッジキャピタル
- (13) 石原逸貴, 舟橋健司, VR 調理学習システムにおける部分球形状調理容器による固体群あおり操作の表現, 日本バーチャルリアリティ学会第 18 回大会講演論文集, pp.244-247, 2013.9, 大阪ナレッジキャピタル
- (14) 高橋寛昌, 舟橋健司, センサ値分布を考慮したセンサ数の少ないデータグループのデータ補正法, 2013 年電子情報通信学会総合大会(境界・基礎)講演論文集 p.216, 2013.3, 岐阜大学
- (15) Toshiki Ishihara, Kenji Funahashi, Partial Sphere Container as Chinese Pan with Convex Bottom for Virtual Cooking System, Proc. IWAIT 2013, pp.957-962, 2013.1, Nagoya University
- (16) Yuta Kurimoto, Kenji Funahashi, The Collapse of Group of Individual Bodies Using Transformation Surface for Virtual Cooking System, Proc. IWAIT 2013, pp.118-123, 2013.1, Nagoya University
- (17) Shunsuke Miyashita, Kenji Funahashi, Falling Water with Key Particle and Envelope Surface for Virtual Liquid Manipulation Model, Proc. ACM VRST 2012, p.197, 2012.12, Chestnut Conference Center, Toronto, Canada
- (18) 高柳亮太, 山本大介, 舟橋健司, 動画編集システムのための動画撮影時における印象メタデータの付与手法, 平成 24 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集 D1-1, 2012.09, 豊橋技術科学大学
- (19) 石原逸貴, 舟橋健司, VR 調理学習システムにおける調理容器の部分球形状への拡張, 日本バーチャルリアリティ学会第 17 回大会講演論文集, pp.259-262, 2012.9, 應義塾大学日吉キャンパス
- (20) 栗本雄多, 舟橋健司, VR 調理学習システムのための変形曲面による固体群の崩れ表現, 日本バーチャルリアリティ学会第 17 回大会講演論文集, pp.255-258, 2012.9, 應義塾大学日吉キャンパス
- (21) 宮下隼輔, 舟橋健司, 仮想液体操作モデルにおける落下液体の鍵粒子と包絡面による表現, 日本バーチャルリアリティ学会第 17 回大会講演論文集, pp.245-248, 2012.9, 應義塾大学日吉キャンパス

- (22) Sanshiro Yamamoto, Kenji Funahashi, Yuji Iwahori, A Study for Vision Based Data Glove Considering Hidden Fingertip with Self-Occlusion, Proc. SNPD2012, pp.315-320, 2012.8, Campus Plaza Kyoto

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.center.nitech.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

舟橋 健司 (FUNAHASHI, Kenji)  
名古屋工業大学・情報工学専攻・准教授  
研究者番号: 00303694