

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 18 日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350227

研究課題名(和文) 教師教育用実験学習プログラムの開発：イメージ化による知識・技能の獲得と応用の強化

研究課題名(英文) Development of an experiment learning program for teacher education: acquisition of knowledge and skills through imaging and reinforcement of application

研究代表者

小川 治雄(Ogawa, Haruo)

東京学芸大学・教育学部・教授

研究者番号：10134769

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：高校から大学の一般教養レベルまでの化学の教科書を調査し、物理化学の視点から主要概念を抽出し、教員養成向けの化学実験で要求される知識や技能との関連を検討した。実験学習プログラムのテーマとして水素燃料電池を選出した。市販の水素燃料電池キットや高校化学の教科書に記載されている実験を調査し、その典型例について基礎データを測定し、教材としての適用を検討した。その結果、教育現場において教材として用いるには燃料電池キットを自作する必要があると判断した。電解質膜の調製条件を最適化し、膜から自作できる燃料電池教材を開発し、これを用いた教員研修用のプログラムを作成することができた。

研究成果の概要(英文)：Chemistry textbooks from the high school to general education at university levels were studied, and key concepts were extracted from the domain of physical chemistry. The linkage between the key concepts and the knowledge and skills required by students in chemistry laboratories for the teacher training course was explored. The hydrogen fuel cell (HFC) was selected as the theme of the experiment learning program. Experiments described in high school chemistry textbooks and commercially available HFC kits were investigated. The basic data on typical experiments from both sources were measured, and the feasibility of their application as teaching materials was examined. A self-made HFC kit for use in the classroom was decided to be created. The conditions for preparation of the electrolyte membrane were optimized, and a HFC kit that includes the preparation of the membrane was built. The experiment learning program for teacher training using the HFC was thus developed.

研究分野：科学教育

キーワード：教員研修 実験学習プログラム 燃料電池 電解質膜

## 1. 研究開始当初の背景

今日の学校教育は、いじめや詰め込み教育、怠惰が叫ばれる中であって、学力の低下や理科離れといった深刻な問題を抱えていることは否めない。国際調査 PISA (国立教育政策研究所編, 2007) や TIMSS (国立教育政策研究所編, 2008) では、日本の生徒の学力は、比較的高い水準を保ちながらも低下の傾向にあるという課題や成績上位の生徒が少なく、応用力が弱く、創造性に乏しいという課題が浮き彫りとなっている。これらの課題を解決すべく教師教育に関する近年の報告では、教員養成系大学・学部の立場から現状やこれからの在り方の提言 (大高, 2008; 小川, 2000) や、教員研修の実践や提言 (藤岡, 2003; 貫井, 2002) として、科学教育実践に向けての方策例 (大黒ら, 2011; 川村ら, 2011; 鈴木ら, 2010; Oyao, et al., 2009; 古屋, 2012) が紹介されている。

科学の進展は、目に見えないものや事象を発見し、そのモデル・イメージを通し、図式化、法則化を行い、さらに検証・実証を重ねることによりなされてきた経緯がある。科学教育においても、この経緯を学習者が体現し具現化することは有意義であり、事象に対するより一層の切実さ・実感・積極性(能動性)を伴った対応が期待される。目に見えないものは未知のものに通じ、それをモデル・イメージ化することは、ものや事象の具現化に繋がり、よりの興味・関心を促し、前向きな洞察・思考に繋がる意志力を培うことが期待できる。この意志力の高揚により、同一対象物に対するより深い洞察や思考が生じてくると期待される。すなわち、科学的思考へと繋がる一助となる。イメージ化は、科学的なものの見方・考え方への取り組みに対する積極的な行動への推移を促す。(Haruo Ogawa, article in the book of Abstracts of the 4th symposium of Network for Inter-Asian Chemistry Educators, pp. 4-15, 2011)

研究代表者は、イメージを重視することが創造性を生み出すことに繋がるとする視点で、理科(科学)教育を捉える「想像から創造へ」{Special Emphasis on Imagination leading to Creation (SEIC)} を提唱している。そこでは、科学的思考の統合的なイメージが創造へと導くことが期待され、想像しようとする意志力が培われ、結果的に十分な知識やスキル(技術)が身に付くことに繋がるとするものであり、その成果を報告してきた(Ogawa, H., Fujii, H., Sumida, M., The Chemical Education Journal (CEJ), 13 (1) (Serial No. 24), 6 pages, 2009)。創造性の獲得は重要な課題であることは言うまでもなく(Jarvis, 2009; Höhn, Harsh, 2009; Longshaw, 2009; 大島鎮治, 1920) 理科(科学)教育においてもそれを見据えた学習プログラムの開発が望まれる。

## 2. 研究の目的

本研究は教師教育を目的とした研修プログラムとしての実験学習プログラムを作成するものである。プログラムは、基本的な化学概念を基に、科学概念を形成する3つの思考レベル{実験・観察レベル(マクロレベル)

記号レベル(記号&式レベル) 分子レベル(ミクロレベル)}を統合して一体化した設計となる。これにより教師が科学的思考の統合的なイメージを持って積極的に実験に取り組めるようになる。結果として、化学概念・知識・技能のより一層の定着がなされ、それらの結びつきを明瞭にして指導が行えるようになる。統合的な科学的イメージを持つての積極的な姿勢・取り組みは学習者に反映され、科学の方法論に基づく姿勢で学習が行われ、より一層の概念・知識・技能の積極的な取り込み定着がなされる。教師が科学的思考の統合的なイメージを持って授業計画を着実に立てることができるようになる。

## 3. 研究の方法

- (1) 高校や大学教養レベルまでの化学教科書をもとに、物理化学の視点から主要概念の整理と実験テーマの精選・抽出を行う。
- (2) 抽出されたデータから知識・技能を整理して実験テーマを選出する。
- (3) 選出したテーマの実験条件を最適化する。
- (4) 実験と知識・技能との結合のためのモデル・イメージ化(記号化や図式化)を行う。
- (5) 実験との統合による実験学習プログラムを作成する。
- (6) 教員研修や大学での実験学習プログラムの試行を行い、評価・改善を行う。
- (7) 改善した実験学習プログラムを普及できるように公表する。

## 4. 研究成果

高校から大学の一般教養レベルまでの化学の教科書を調査し、物理化学の視点から主要概念を抽出し、教員養成向けの化学実験で要求される知識や技能との関連を検討した。実験学習プログラムのテーマとして水素燃料電池を選出した。市販の水素燃料電池キットや高校化学の教科書に記載されている実験を調査し、その典型例について基礎データを測定し、教材としての適用を検討した。その結果、教育現場において教材として用いるには燃料電池キットを自作する必要があると判断した。電解質膜の調製条件を最適化し、膜から自作できる燃料電池教材を開発し、これを用いた教員研修用のプログラムを作成することができた。

## 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18件)

- (1) OGAWA Haruo, KOIKE Naoki,

NAKAJIMA Toshinori, and OHASHI Yukako, Coloring of Titanium Plate as Teaching Material for Introduction of Electrochemistry, Chem. Educ. J. (CEJ), 査読有, 印刷中, 10 pages

(2) IKUO Akira, FUJII Yousuke, and OGAWA Haruo, Development of Experimental Program for Acquisition of Mole Concept, Chem. Educ. J. (CEJ), 査読有, 印刷中, 15 pages

(3) Akira Ikuo, Yuki Toyama, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, Development of Electronic Lab-book for College Chemistry-Experiment - SN1 & SN2 Reactions -, Proc. 9th. Intern. Conf. on Computer Supported Education, 1, pp. 556-561, 査読有, 2017

(4) Hiroki Fujii and Haruo Ogawa, Innovative Lesson Plans in Chemistry Education for Broadening Sustainable Society. In Mei-Hung Chiu (eds.), Science education research and practice in Asia: Challenges and opportunities, Springer, pp. 385-407, 2016

(5) Haruo OGAWA, Hiroki FUJII, Effect of Modeling on the Understanding of Chemical Reactions via Development and Application of a Lesson Model Related to the Rusting of Iron, 科学教育研究, 40 (2), pp. 1-11, 査読有, 2016

(6) Akira IKUO, Yosuke KOJIMA, Yusuke YOSHINAGA and Haruo OGAWA, Calculation of Potential Energy Concerning "H + Cl<sub>2</sub> → HCl + Cl" and Production of CG movie for Learner to Acquire Its Image with Structures of Reactants and Reaction Profile, J. of Comput. Chem., Jpn., 15(1), pp. 1-6, 査読有, 2016

(7) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, Use of Tablet in College Chemistry Experiment - An approach to developing electronic textbook -, in Stephen White, Herwig Mannaert, Jaime Lloret Mauri Eds., IARIA eLmL 2016 The Eighth International Conference on Mobile, Hybrid, and On-line Learning, pp. 26-27, 査読有, 2016

(8) Akira Ikuo, Hayato Nieda, Nozomi Nishitani, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, An Approach to Developing Electronic Textbook for Chemical Experiment - Taking Walden's Inversion as

an Example -, Proc. 8th. Intern. Conf. on Computer Supported Education, 2, pp. 416-420, 査読有, 2016

(9) Haruo Ogawa, Hiroshi Nagashima, and Akira Ikuo, Visualization of Chemical Reaction Based on Quantum Calculation for Teaching Material - Addition of Halogens to Cyclopentene, in Ponnadurai Ramasami, Minu Gupta Bhowon, Sabina Jhaumeer Laulloo, Henri Li Kam Wah Eds., Crystallising Ideas - The Role of Chemistry, Chapter 16, pp. 239-252, Springer, DOI 10.1007/978-3-319-31759-5, 査読有, 2016

(10) A. Ikuo, Y. Yoshinaga, and H. Ogawa, An Approach to Developing Electronic Laboratory Textbook - Experimental Program of Esterification of Acetic Acid and Ethanol, in Ponnadurai Ramasami, Minu Gupta Bhowon, Sabina Jhaumeer Laulloo, Henri Li Kam Wah Eds., Crystallising Ideas - The Role of Chemistry, Chapter 19, pp. 289-296, Springer, DOI 10.1007/978-3-319-31759-5, 査読有, 2016

(11) Haruo Ogawa, Hiroki Fujii, and Akira Ikuo, A trial and evaluation of experimental kit of handy body-warmer through a model lesson on the rusting of iron, J. Sci. Educ. 17(1), pp. 28-32, www.accefyn.org.co/rec, 査読有, 2016

(12) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, Making Electronic Textbook for College Chemistry-experiment, Proc. 23rd. Intern. Conf. on Computers in Education, pp. 16-18, 査読有, 2015

(13) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, Development of Electronic Textbook for Chemical Experiment; Taking Esterification as an Example, Proc. 7th. Intern. Conf. on Computer Supported Education, 2, pp. 553-557, 査読有, 2015

(14) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, An Approach to Electronic Textbook Linking Chemical Experiment - Esterification of Acetic Acid and Ethanol -, Proc. 22nd. Intern. Conf. on Computers in Education. pp. 489-493, 査読有, 2014.

(15) 生尾 光, 前田 明希, 小川 治雄, 新旧教科書「化学 I」と「化学基礎」にみる太字による内容比較, 東京学芸大学紀要 自然科学系, 66, pp. 39-44, 2014

(16) 小川 治雄, 生尾 光, 藤井 浩樹, 化学現象のモデル化を取り入れた教員研修ブ

プログラムの開発 –溶解現象についての理解をめぐりて-, 日本教科教育学会誌, 37(1), pp. 75-83, 査読有, 2014

(17) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, CG Teaching Material for the Electronic Laboratory Textbook - Esterification of Acetic acid and Ethanol -, Proc. 6th. Intern. Conf. on Computer Supported Educ. (CSEDU 2014), 3, pp. 226-231, 査読有, 2014.

(18) Akira Ikuo and Haruo Ogawa, Visualization of reaction mechanism by CG based on quantum chemical calculation - An approach to electronic laboratory textbook, African J. Chem. Educ., 4(3), Special Issue (Part II), pp. 22-33, 査読有, 2014.

[学会発表](計 30 件)

(1) Akira Ikuo, Yuki Toyama, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, Development of Electronic Lab-book for College Chemistry-Experiment -  $S_N1$  &  $S_N2$  Reactions -, 9th. Intern. Conf. on Computer Supported Education, 2017 年 4 月 21 日, Porto, Portugal

(2) Yoshiya Hayashi, Akira Ikuo, Yuya Masuda, Haruo Ogawa, Making easy and low cost experimental kit of polymer electrolyte fuel cell, 日本化学会第 97 春季年会, 2017 年 3 月 17 日, 慶應義塾大学(神奈川県・横浜市)

(3) Akira Ikuo, Yuki Toyama, Yusuke Yoshinaga, Haruo Ogawa, Development of Electronic Lab-book for College Chemistry-experiment -  $SN1$  &  $SN2$  -, 日本化学会第 97 春季年会, 2017 年 3 月 16 日, 慶應義塾大学(神奈川県・横浜市)

(4) Akira Ikuo, Yoshiya Hayashi, Wataru Osada, and Haruo Ogawa, Making Experimental Kit of Fuel Cell towards Teaching Material, EASE 2016 Tokyo The fifth International Conference of East-Asian Association for Science Education, 2016 年 8 月 28 日, 東京理科大学(東京都・新宿区)

(5) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, An Approach to Developing Electronic Lab-book for Chemistry Experiment, EASE 2016 Tokyo The fifth International Conference of East-Asian Association for Science Education, 2016 年 8 月 26 日, 東京理科大学(東京都・新宿区)

(6) 生尾 光, 鷲田 隼人, 吉永 裕介, 小川 治雄, 化学実験用電子実験書の開発 - Walden 反転 -, 日本科学教育学会年会, 2016 年 8 月 20 日, ホルトホール大分(大分県・大分市)

(7) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, Use of Tablet in College Chemistry Experiment: Developing Experimental Program providing image of the Walden 's inversion, 24th IUPAC International Conference on Chemistry Education ICCE 2016, 2016 年 8 月 17 日, Kuching, Malaysia

(8) 生尾 光, 鷲田 隼人, 吉永 裕介, 小川 治雄, 化学実験におけるタブレットの使用 電子実験書の開発, 日本理科教育学会第 66 回全国大会, 2016 年 8 月 7 日, 信州大学(長野県・長野市)

(9) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, Use of Tablet in College Chemistry Experiment - An approach to developing electronic textbook -, IARIA eLmL 2016 The Eighth International Conference on Mobile, Hybrid, and On-line Learning, 2016 年 4 月 26 日, Venice, Italy

(10) Akira Ikuo, Hayato Nieda, Nozomi Nishitani, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, An Approach to Developing Electronic Textbook for Chemical Experiment - Taking Walden 's Inversion as an Example -, CSEDU 2016 8th. Intern. Conf. on Computer Supported Education, 2016 年 4 月 23 日, Rome, Italy

(11) Akira Ikuo, Hayato Nieda, Nozomi Nishitani, Yusuke Yoshinaga, Haruo Ogawa, Development of Electronic Textbook for College Chemistry-experiment - Walden 's inversion -, 日本化学会第 96 春季年会, 2016 年 3 月 24 日, 同志社大学(京都府・京田辺市)

(12) A. Ikuo, Y. Yoshinaga, H. Ogawa, Development of electronic textbook linked with computer graphics for college chemistry-experiment, 2015 Intern. Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2015 年 12 月 18 日, Honolulu, USA

(13) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, Making Electronic Textbook for College Chemistry-experiment, 23rd. Intern. Conf. on Computers in Education, 2015 年 12 月 2 日, Hangzhou, China

(14) 生尾 光, 吉永 裕介, 小川 治雄, 化学実験用電子テキストの開発, 日本科学教育学会年会, 2015年8月22日, 山形大学(山形県・山形市)

(15) 生尾 光, 吉永 裕介, 小川 治雄, 化学の実験学習プログラム用電子実験書の開発, 日本理科教育学会第65回全国大会, 2015年8月2日, 京都教育大学(京都府・京都市)

(16) Akira Ikuo and Haruo Ogawa, Making Electronic Textbook Linked with Computer Graphics for College Chemistry-experiment, Sixth NICE Conference Network for Inter-Asian Chemistry Educators, 2015年7月30日, 日本未来科学館(東京都・江東区)

(17) Akira Ikuo, Wataru Osada, Yoshiya Hayashi, Haruo Ogawa, Simple Model to Provide Feeling of Bonding, Sixth NICE Conference Network for Inter-Asian Chemistry Educators, 2015年7月29日, 日本未来科学館(東京都・江東区)

(18) Akira Ikuo, Yusuke Fujii, and Haruo Ogawa, Development of Experimental Program for Acquisition of Mole Concept, Sixth NICE Conference Network for Inter-Asian Chemistry Educators, 2015年7月29日, 日本未来科学館(東京都・江東区)

(19) Haruo Ogawa, Naoki Koike, Toshinori Nakajima, and Yukako Ohashi, Coloring of Titanium Plate as Teaching Material for Introduction of Electrochemistry, Sixth NICE Conference Network for Inter-Asian Chemistry Educators, 2015年7月29日, 日本未来科学館(東京都・江東区)

(20) Haruo Ogawa, Hiroki Fujii, and Akira Ikuo, Trial and Evaluation of Experimental Kit of Handy Body-Warmer through the Lesson of Rust of Iron, Sixth NICE Conference Network for Inter-Asian Chemistry Educators, 2015年7月29日, 日本未来科学館(東京都・江東区)

(21) Akira Ikuo, Wataru Osada, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, Approach to Making Experimental Kit of Fuel Cell towards Teaching Material, Sixth NICE Conference Network for Inter-Asian Chemistry Educators, 2015年7月29日, 日本未来科学館(東京都・江東区)

(22) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, Development of Electronic Textbook for Chemical Experiment; Taking Esterification as an Example, 7th. Intern.

Conf. on Computer Supported Education, 2015年5月23日, Lisbon, Portugal

(23) 生尾 光, 吉永裕介, 小川治雄, 電子実験書の開発に向けて - 酢酸とエタノールのエステル化 -, 日化第95春季年会, 2015年3月26日, 日本大学(千葉県・船橋市)

(24) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, An Approach to Electronic Textbook Linking Chemical Experiment - Esterification of Acetic Acid and Ethanol -, 22nd. Intern. Conf. on Computers in Education, 2014年12月4日, 奈良県新公会堂(奈良県・奈良市)

(25) 生尾 光, 中谷 公祐, 小川 治雄, 高等学校での化学領域における実験スキルの分析と定量の重要性を示した実験教材の作成, 日本科学教育学会第38回年会, 2014年9月13日, 埼玉大学(埼玉県・さいたま市)

(26) 生尾 光, 小林 悠汰, 小川 治雄, 教科書「化学」「化学基礎」における太字および図式の調査, 日本理科教育学会第64回全国大会, 2014年8月24日, 愛媛大学(愛媛県・松山市)

(27) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, An Approach to Electronic Laboratory Textbook - Esterification of Acetic Acid and Ethanol -, 23rd. IUPAC Intern. Conf. on Chemistry Educ., 2014年7月18日, Toronto, Canada

(28) Haruo Ogawa, Hiroshi Nagashima, Akira Ikuo, Visualization of Chemical Reaction Based on Quantum Calculation - Addition of Halogens to Cyclopentene -, ICPAC 2014 (Intern. Conf. on Pure and Applied Chemistry), 2014年6月26日, Wolmar, Mauritius

(29) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, An Approach to Electronic Laboratory Textbook - Experimental Program of Esterification of Acetic Acid and Ethanol -, ICPAC 2014 (Intern. Conf. on Pure and Applied Chemistry), 2014年6月26日, Wolmar, Mauritius

(30) Akira Ikuo, Yusuke Yoshinaga, and Haruo Ogawa, CG Teaching Material for the Electronic Laboratory Textbook - Esterification of Acetic acid and Ethanol -, 6th. Intern. Conf. on Computer Supported Educ., 2014年4月2日, Barcelona, Spain

(1)研究代表者

小川 治雄 (OGAWA, Haruo)

東京学芸大学・教育学部・教授

研究者番号：10134769

(2)連携研究者

生尾 光 (IKUO, Akira)

東京学芸大学・教育学部・准教授

研究者番号：50159589

(3) 連携研究者

吉永 裕介 (YOSHINAGA, Yusuke)

東京学芸大学・教育学部・准教授

研究者番号：60322848