

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2006～2009
 課題番号：18300267
 研究課題名 (和文) グリーンケミストリー教育を機軸としたエネルギー・環境教育の展開研究
 研究課題名 (英文) Development of Energy-Environmental Education on the Basis of the Green Chemistry Education
 研究代表者
 古賀 信吉 (KOGA NOBUYOSHI)
 広島大学・大学院教育学研究科・教授
 研究者番号：30240873

研究成果の概要 (和文)：

中等化学教育におけるグリーンケミストリー教育およびエネルギー・環境教育のための教材開発を目的として、素材探査のための基礎的研究を行った。基礎的研究を基盤として種々の教材を開発し、高等学校および大学における試行授業を通じてその実用性を評価した。本研究で開発したグリーンケミストリー教材およびエネルギー・環境教育教材をモジュールとして構成したいくつかの学習プログラムを開発した。学校現場での教育実践的研究を通じて学習プログラムの充実を図り、学校現場での教育実践を支援するための教材資産と実践事例を構築した。

研究成果の概要 (英文)：

Aiming at developing teaching materials for green chemistry and energy-environmental educations at secondary schools, fundamental research works of seeking the possible materials were carried out. On the basis of the fundamental research, various teaching materials were developed, followed by the evaluations of these practical usefulness through trails at secondary schools and colleges. Several learning programs consist of the learning modules of presently developed teaching materials. These learning programs were polished and completed through the practical educational studies at schools, resulting in the establishments of teaching materials and practical examples of the energy-environmental education at secondary school.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
2007年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
総計	15,600,000	4,680,000	20,280,000

研究分野：化学教育

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：化学教育，グリーンケミストリー，エネルギー教育，環境教育，実験教材，教材開発，教育実践

1. 研究開始当初の背景
 地球的視野に立った「持続可能な発展」を目

指す現代の国際社会にあって、エネルギー問題を含む環境問題への能動的取り組みは人

類に課せられた最重要課題の一つとして広く認識されている。今日、持続可能な社会の実現に向けた消費型社会から循環型社会への転換が、政治、経済、文化の領域を越えて、また産官学の共同により具体的に推進されようとしている。化学の分野では、グリーンケミストリーのプログラムに沿って化学反応や化学物質による環境リスクを最小にするための研究が盛んに行われ、“環境にやさしいものづくりの化学”の実現が期待されている。

一方、人類にはエネルギーや環境についての基礎的素養を身に着け、「持続可能な発展」を目指す社会の一員として資源消費型社会から循環型社会への転換を支援する母体となるべきことが求められている。このような社会的背景のもとに、学校教育の現場ではエネルギー・環境教育への取り組みが各教科及び教科横断的学習において実践されており、さらに「総合的な学習の時間」における環境学習への展開が図られている。エネルギー・環境教育の実践において、科学教育の果たすべき役割の重要性については周知のとおりであり、基礎的研究及び実践的研究を通じた理科各教科におけるエネルギー・環境教育に関する教材内容的あるいは教育方法的観点からのさらなる支援が強く望まれている。化学教育においては、従来の基礎的な化学概念の修得を目的とした系統的な学問体系に沿った学習内容と密接に関連させて、グリーンケミストリーに象徴されるような日常生活における化学の役割や現代社会における化学の学問的意義を理解させることが重要である。このためには、従来の資源消費型社会に対応した化学教育の教材内容や教育方法を修正発展させ、循環型社会に対応したグリーンケミストリー教材の導入及び教育方法の改革が急務である。

2. 研究の目的

中学校「理科」及び高等学校「化学」における教材内容をグリーンケミストリーの観点から再検証し、グリーンケミストリーの理念と実際に学習させるためのグリーンケミストリー教材を開発する。グリーンケミストリー教材を中心にして物理・生物分野でのエネルギー・環境教育教材を含めてモジュール化することにより、種々の学習段階や学習環境に応じたエネルギー・環境教育に対応可能な教科横断的あるいは総合的学習の学習プログラムを開発する。これらの成果を活用して教育現場でのグリーンケミストリー教育あるいはエネルギー・環境教育の実践を支援する。一連の研究を通して、グリーンケミストリーの視点を取り入れた「持続可能な発展」を目指す現代社会型の化学教育を模索するとともに、社会の構成員として要求される

エネルギー・環境に関する基礎的素養の育成を化学分野から支援する具体的方策について実践的・実証的に検討する。

3. 研究の方法

図1に、研究方法の概略図を示す。現行の中学校及び高等学校における化学教育課程における学習内容と密接に関連した①グリーンケミストリー(GC)教材の開発に取り組む。開発したGC教材を用いて学習プログラム案を作成し、②GC教材を用いた教育実践的研究を通じてGC教材及び学習プログラムの分析評価を行い、必要に応じてGC教材の再検討を行う。①及び②と平行して、国内外での中等化学教育におけるGC教育の動向調査により①及び②の研究内容の修正を行うとともに、研究項目①及び②の成果とあわせて③GC教育を導入した新しい中等化学教育課程案の構築を行う。研究項目①～③により、中等化学教育にグリーンケミストリー教育を導入するための具体的な方策を示すとともに、それぞれの学習段階で習得させることができるグリーンケミストリーの理念の内容と程度を明らかにする。研究項目①～③による成果を基にして、化学分野でのGC教育の内容を学習モジュールとして取り入れ、さらに教科横断的あるいは総合的な学習形態により構成した④エネルギー・環境教育教材の開発を行う。⑤エネルギー・環境教育教材を用いた教育実践的研究により、開発したエネルギー・環境教育のGC教育を機軸としたエネルギー・環境教育の教育実践的特色と有効性を明らかにする。これらの成果を有効に活用して、中学校におけるグリーンケミストリー教育ならびにエネルギー・環境教育の教育実践を支援する。

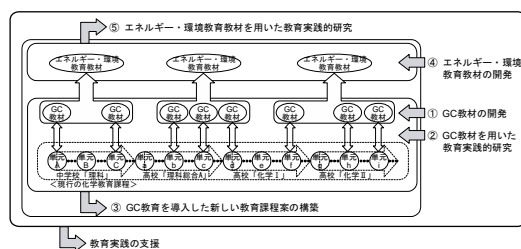


図1 研究方法の概略図

4. 研究成果

(1) グリーンケミストリー教材の開発

① 素材探査：化学変化に要するエネルギーの供給源として、熱エネルギーに加えてマイクロ波エネルギー、超音波エネルギー、および機械的エネルギーを考え、これらにより効率的あるいは特異的に反応する素材の探査を行った。

マイクロ波を利用した物質合成においては、家庭用電子レンジを用いたマイクロ波に

よる水熱合成法により結晶性の良い無機化合物が得られることを明らかにし、種々の化学教材の素材として応用する可能性について検討した(図2)。また、ポリ乳酸の重合反応やアスピリンの合成反応にマイクロ波加熱を応用し、反応素材としての有効性の検討を通じて、教材化のための基礎的情報を得た。さらに、インジゴ染色におけるインジゴのロイコインジゴへの還元過程を超音波を用いて促進することができることを明らかにし、教材化のための反応条件を精査した。

化学反応における水蒸気の触媒作用をクリーンな触媒反応の典型的な例として捉え、種々の無機固体化合物の熱分解反応における雰囲気水蒸気の影響に関する素材研究を行った。その結果、いくつかの遷移金属塩基性炭酸塩の熱分解反応において水蒸気による触媒効果がみられることを明らかにし(図3)、その反応機構と速度論的挙動について検討し教材化のための基礎的情報を得た。

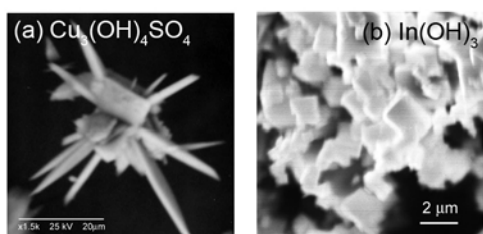


図2 家庭用電子レンジを用いた水熱合成により得られた無機結晶化合物

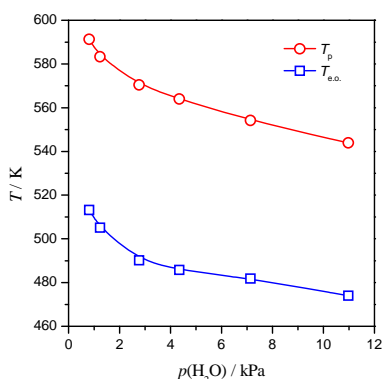


図3 炭酸亜鉛の熱分解反応温度に及ぼす雰囲気水蒸気の影響

② 教材化：現行の中等化学教育において教材として取り上げられている化学反応を反応素材としてグリーンケミストリー教材の開発を行った。

インジゴ染色実験に用いられるイオウ系還元剤を還元糖により代替するグリーンケミストリー実験の開発に取り組み、超音波を利用することにより還元糖を用いたインジ

ゴ染色実験が可能であることを明らかにし、生徒実験のための手法を確立した(図4)。

環境負荷を削減した材料として注目されているポリ乳酸を素材として、マイクロ波を用いた合成過程における重合度および生分解過程における分解率を定量する方法を検討した。

廃電子部品からの金属銅の回収についての近年の研究成果を元にして、テトラアンミン銅(II)イオン水溶液による金属銅の浸出過程とそれにより生成したジアンミン銅(II)イオン水溶液の電気分解による金属銅の回収過程のモデル実験を開発し、グリーンケミストリー教材として用いることを検討した。

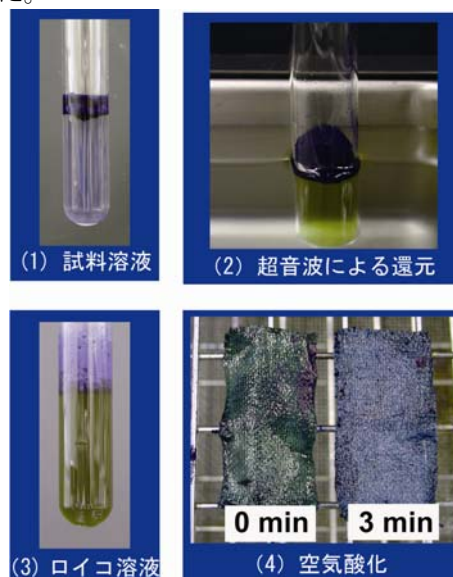


図4 還元糖と超音波洗浄機を用いたインジゴ染色実験

(2) GC教材を用いた教育実践的研究

本研究で開発したGC教材を、随時、高等学校「化学II」の課題研究や大学基礎化学における実験教材として教育実践的研究に供し、その教材としての実用性をアンケートと実験レポートにより評価した。既習事項との関連性、GCに関する理解度、学習に対する興味関心などの観点からこれらの評価結果を検証し、適切な学習段階を設定するとともに、学習資料の充実を図った。

(3) GC教育を導入した中等化学教育案の構築

文献調査、国内外における化学教育及びグリーンケミストリーの専門家との情報交換を通して、国内外における中等化学教育におけるグリーンケミストリー教育の動向について調査を行った。また、大学におけるグリーンケミストリー教育についてのアメリカ化学会における事例を調査し、教材内容の再検討により中等化学教育の教材として利用可能な素材の検索を行った。さらに、現行の

中等化学教育課程の発展的学習としてグリーンケミストリー教育を導入するためにグリーンケミストリーをコンテキストとした教材構成の可能性について検討した。これらの調査・検討の結果を基にして、教材開発および教育実践的研究の指針を決定した。

これらの指針に従い、光合成、バイオミネラル化、鍾乳洞の形成過程などによる二酸化炭素の固定化と化石燃料の利用による二酸化炭素の放出などを素材として網羅し、地球環境中における二酸化炭素の循環をコンテキストとした環境学習モジュールの開発を行った。

(4) エネルギー・環境教育の教材開発

熱およびエネルギーの基礎概念を理解させるための教材開発を目的として、二酸化窒素-四酸化二窒素系、塩化コバルト-塩酸系およびヨウ素-デンプン系の化学平衡、弱酸と強塩基の中和反応(図5)などを素材として、化学変化に伴う熱の出入りに関する実験教材を開発した。また、これらの応用実験として、アミノ酸の中和反応、炭酸イオンの中和反応、過マンガン酸カリウムと過酸化水素の酸化還元反応を素材として、化学変化に伴う熱の出入りに関する実験教材を開発した。さらに、過酸化水素の分解反応を素材として、反応熱の測定と反応速度解析を融合させた化学実験の開発に取り組み、効率的に熱エネルギーを取り出すための化学的方法を探究的に学習するための教材を開発した。

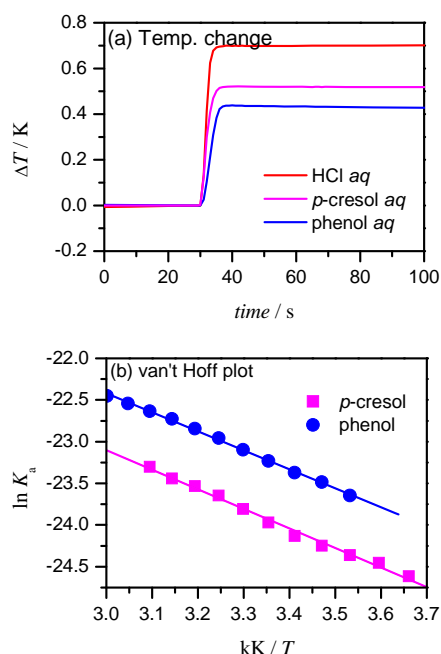


図5 フェノール類と水酸化ナトリウム水溶液の中和エンタルピー測定(a)とフェノール類の酸解離エンタルピーの決定(b)

電磁波の性質とエネルギーに関する実験教材として、太陽電池を用いた太陽光の分光実験を提案した。また、アルミニウム導波管を用いた定常波観測法や電磁波の回折現象を利用した結晶構造解析に関連した実験を開発し、電磁環境教育のための教材として用いる可能性を検討した。光合成に関連して汎用デジタル機器により撮影したデジタル画像をもとにして葉緑素の可視吸収スペクトルと蛍光スペクトルをシミュレーションする実験教材を開発した。

地球環境教育や環境調査活動のための教材の充実にも取り組んだ。大気汚染および酸性雨に関する演習実験として二酸化窒素の噴水実験を開発し、授業実践に向けて実験方法の詳細を検討するとともに、学習資料の作成を行った。環境調査活動のための教具として、廃材を用いた簡易顕微鏡の制作を試みた。また、空気亜鉛電池をセンサーとして用いた簡易酸素濃度計を開発した(図6)。石灰水と二酸化炭素の反応を応用して、反応後の石灰水の電気伝導度測定により簡便に気体中の二酸化炭素濃度を決定する方法を開発した。さらに、検液のデジタル画像のスペクトル変換解析を応用した水質分析の教材的手法を開発した(図7)。これを用いて、化学的酸素要求量(COD)および亜硝酸態窒素の簡易分析法を提案した。これらを教具として活用して、環境調査を通じた環境学習のための素材研究と教育実践的研究を行った。

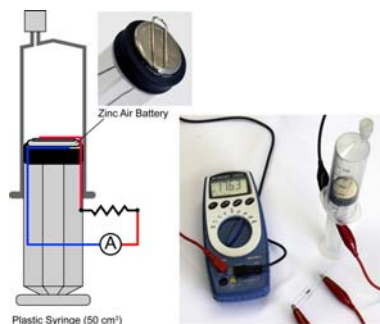


図6 簡易酸素濃度計の概略図

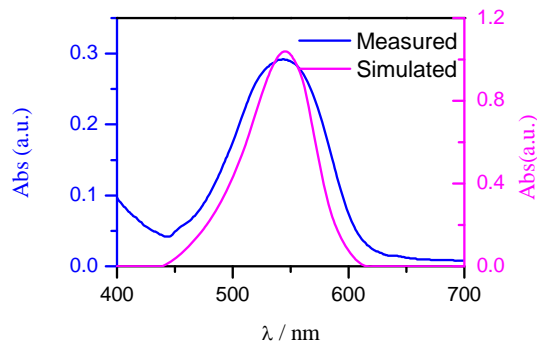


図7 亜硝酸態窒素検液の可視吸収スペクトルとデジタル画像から得た変換スペクトルの比較

(5) エネルギー・環境教育教材を用いた教育実践的研究

高等学校における「化学変化と熱エネルギー」および「エネルギー変換」をテーマとしたエネルギー・環境教育のための学習プログラムの開発に取り組んだ。また、この学習プログラムにおいてグリーンケミストリー教育を導入するための素材とカリキュラム構成について検討した。高等学校における講義、演習および生徒実験の試行授業を通じて、学習プログラムの確立に向けての評価改良のためのデータ収集を行った。

高等学校において講義、演習および生徒実験の試行授業を実施した。受講生および教員を対象としたアンケートと受講生による実験レポートの分析評価を通じて、当該学習プログラムの改良のために熱およびエネルギー基礎概念の理解を促進する学習モジュールの開発の必要性を見だし、教材開発研究にフィードバックした。

本研究で開発したグリーンケミストリーやエネルギー・環境に関連した実験教材を網羅したエネルギー環境教育の学習プログラムを、教育実践的研究の結果を基にして再構築し、複数の高等学校での講義、演習、および実験を取り入れた試行授業に供し、その有用性を実証的に検証した。

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 27 件)

- ① N. Koga, T. Kimizu, M. Sakamoto, and Y. Furukawa, “Temperature Effect on Cobalt(II)-Chloride Complex Equilibrium in Aqueous Solution”, *The Chemical Educator*, 査読有, 14(5), 2009, 225-228.
- ② S. Mishima, T. Tatsuoka, N. Koga, and Y. Furukawa, “Thermochemical Approaches to Neutralization Reaction between Weak Acid and Strong Base”, *Chemical Education Journal*, 査読有, 13(1), No.13-1, 2009, 1-9.
- ③ Y. Tanaka and N. Koga, “A Convenient Measurement of Oxygen Concentration using Zinc-air Battery”, *Chemical Education Journal*, 査読有, 13(1), No. 13-10, 2009, 1-8.
- ④ K. Amimoto and N. Koga, “Phenolphthalein as Organic Teaching Materials: Small-scale Preparation and Modeling for Some Functional Dyes”, 査読有, *Chemical Education Journal*, 13(1), No.13-11, 2009, 1-8.
- ⑤ O.L. Omondi, T. Tsutaoka, T. Kasagi, and K. Hatakeyama, “Development of Standing Wave Observation Apparatus for Microwaves Using a Thin Aluminum Waveguide”, *科学教育研究*, 査読有, 33, 2009, 98-104.
- ⑥ N. Koga, T. Tatsuoka, Y. Tanaka, and S. Yamada, “Catalytic Action of Atmospheric Water Vapor on the Thermal Decomposition of Synthetic Hydrozincite”, *Transactions of Material Research Society of Japan*, 査読有, 34, 2009, 343-346.
- ⑦ N. Koga, T. Tatsuoka, and Y. Tanaka, “Effect of Atmospheric Water Vapor on the Kinetics of Thermal Decomposition of Copper(II) Carbonate Hydroxide”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 査読有, 95(2), 2009, 483-487.
- ⑧ N. Koga, A.H.A. Oliveira, and K. Sakamoto, “Green Chemical Experiment: Indigo Dyeing”, *The Chemical Educator*, 査読有, 13(6), 2008, 344-347.
- ⑨ N. Koga and T. Kimizu, “Thermal Decomposition of Indium(III) Hydroxide Prepared by the Microwave-Assisted Hydrothermal Method”, *Journal of American Ceramic Society*, 査読有, 91(12), 2008, 4052-4058.
- ⑩ 木水貴章, 山根裕子, 二井琢磨, 古賀信吉, 「二酸化窒素の噴水実験」, *化学と教育*, 査読有, 56(8), 2008, 408-409.
- ⑪ N. Koga and Y. Yamane, “Effect of Mechanical Grinding on the Reaction Pathway and Kinetics of the Thermal Decomposition of Hydromagnesite”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 査読有, 93(3), 2008, 936-971.
- ⑫ N. Koga, A. Mako, T. Kimizu, and Y. Tanaka, “Thermal Decomposition of Synthetic Antlerite Prepared by Microwave-assisted Hydrothermal Method”, *Thermochimica Acta*, 査読有, 467, 2008, 11-19.
- ⑬ 坂本一磨, 石原勢太郎, 古賀信吉, 「デジタル画像のスペクトル変換解析を用いた吸光度法による過酸化水素の分解反応の追跡」, *化学と教育*, 査読有, 55(10), 2007, 528-531.
- ⑭ M. Tesaki, N. Koga, Y. Kawasaki, and Y. Furukawa, “The Chemical Equilibrium between Nitrogen Dioxide and Dinitrogen Tetroxide. An Introductory Experiment in Chemical Thermodynamics”, *The Chemical*

- Educator, 査読有, 12(4), 2007, 248-252.
- ⑮ N. Koga and T. Tsutaoka, "Preparation of substituted barium ferrite $\text{BaFe}_{12-x}(\text{Ti}_{0.5}\text{Co}_{0.5})_x\text{O}_{19}$ by citrate precursor method and compositional dependence of their magnetic properties", Journal of Magnetism and Magnetic Materials", 査読有, 313, 2007, 168-175.

[学会発表] (計 54 件)

- ① N. Koga, "For Controlling Kinetic Behavior of Thermal Decomposition of Inorganic Solids (Invited Lecture)", 19th Academic Symposium of MRS-J 2009 (International Session), 2009.12.9, Yokohama.
- ② N. Koga, "Effect of Mechanical Grinding on the Thermal Decomposition of Indium(III) Hydroxide", 19th Academic Symposium of MRS-J 2009 (International Session), 2009.12.9, Yokohama.
- ③ 徳永智仁, 「太陽電池を用いた光の吸収スペクトル測定」, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 2009.9.26, 熊本市.
- ④ N. Koga, "Controlled Rate EGA-TG and Humidity Controlled TG as Applied to Thermal Decomposition of Inorganic Solids (Invited Lecture)", The 37th North American Thermal Analysis Society Conference, 2009.9.21, Lubbock, TX(USA).
- ⑤ N. Koga, "Development of Introductory Experiments in Chemical Thermodynamics", The 13th Asian Chemical Congress (Invited Lecture)", 2009.9.14, Shanghai.China
- ⑥ 古賀信吉, 「反応熱測定を応用した化学実験教材」, 日本化学会第 89 春季年会, 2009.3.28, 船橋市.
- ⑦ 古賀信吉, 「平衡定数の温度依存性に関する簡単な実験教材」, 日本化学会第 88 春季年会, 2008.3.29, 東京.
- ⑧ 葛岡孝則, 「中等・高等物理教育におけるエネルギー変換教材の検討と実践事例」, 日本エネルギー環境教育学会 第 2 回全国大会, 2007.8.8, 高知市.
- ⑨ N. Koga, "Simulation of Visible Spectra from Digital Color Image and its Application to Chemical Experiments at High School", 2nd NICE Symposium, 2007.7.30, Taipei.Taiwan
- ⑩ N. Koga, "Teaching Materials for Green Chemistry Education using Domestic Microwave Oven", 19th ICCE, 2006. 8.13, Seoul.Korea

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古賀 信吉 (KOGA NOBUYOSHI)
広島大学・大学院教育学研究科・教授
研究者番号: 30240873

(2) 研究分担者

田中 春彦 (TANAKA HARUHIKO)
広島大学・名誉教授
研究者番号: 90033638

(H18 年度)

古川 義宏 (FURUKAWA YOSHIHIRO)
広島大学・大学院教育学研究科・教授
研究者番号: 40033930

(H18~H20 年度)

葛岡 孝則 (TSUTAOKA TAKANORI)
広島大学・大学院教育学研究科・教授
研究者番号: 10231432

竹下 俊治 (TAKESHITA SHUNJI)
広島大学・大学院教育学研究科・准教授
研究者番号: 90236456

網本 貴一 (AMIMOTO KIICHI)
広島大学・大学院教育学研究科・講師
研究者番号: 60294873
(H19~H21 年度)