

氏名（本籍） まつ おか まさ ただ (山口県)  
松 岡 雅 忠  
学位の種類 博士（学術）  
学位記番号 甲第9号  
学位授与の日付 2018年3月19日  
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当  
学位論文題目 固定した触媒・試薬を使う新規な化学実験教材の開発

論文審査委員 (主査) 教授 井上 正之  
教授 太田 尚孝 教授 小川 正賢  
教授 伊藤 稔 嘱託教授 渡辺 正

## 論文内容の要旨

化学教育において観察や実験などの活動は、興味・関心を高め、探究する能力を育成する上で必要不可欠である。実験には必ず危険が伴うので、安全に実験を行わせるための指導は、理科教育に欠かせないものである。また、中学校理科（化学分野）や高等学校化学の授業で行われる実験はそれぞれの単元を代表する実験を中心に構成されているが、近年の化学知識の発展を取り入れて、安全で環境負荷が少ないものに転換していく必要がある。

そのための有力な方法とされる実験のマイクロスケール化では、用いる試薬の量を少なくして資源の節約をはかるだけでなく、その処理にかかる手間や時間を節約することができる。さらに、従来は反応系に分散させていた触媒や試薬を固定化することができれば、化学反応が穏やかに進行し、実験時の安全性が向上することが期待される。

本論文は、固定した触媒や試薬を用いるマイクロスケール化学実験を通じて、化学教育の分野から持続発展教育（持続可能な開発のための教育）の視点に立つ教材開発を行った成果をまとめたものである。

まず、固体酸触媒を用いて有機化合物を合成するとともに、その化合物を別の化学反応において活用する実験教材を開発した。具体的にはトリアリールメタン型の色素の合成を検討し、これを化学発光に利用する実験教材を検討した（第2章）。続いて、過酸化水素水の分解に伴って発生する酸素の浮力を利用し、溶媒中の固体触媒の運動を観察する教材を開発した（第3章）。さらに、多孔性材料からの無機塩の浸出を利用した、児童・生徒が安全に実験できるケミカルガーデンの実験教材を開発した（第4章）。これらの実験で使用する固定した触媒・試薬は、高等学校の授業や課外活動の中で生徒が自作できる。このこと

は、安全で環境負荷が少ないマイクロスケール化学実験のメリットを生徒に実感させることができ、意義があると考えられる。なお実験教材の開発に先立ち、授業中に行われる化学実験および課題研究等で行われる化学分野の研究課題を調査し、触媒・試薬を固定化することで、より簡便・安全に行えるようになる実験を探索した（付録）。

触媒や試薬の固定化は、資源の節約、実験室環境の保全と共に、安全で行いやすい化学実験につながるとともに、化学教育の分野における持続発展教育を行う上でも重要な視点であると考えられる。また環境問題やエネルギー問題といった地球規模での課題と関連させ、人間が自然と調和しながら持続可能な社会を構築することを意識させる教材として位置付けることも可能である。

以下に、本研究の成果の概要を述べる。

#### ●酸化ホウ素系固体酸を用いたトリアリールメタン型色素の合成（第2章）

フェノールフタレインのようなトリアリールメタン型色素の合成は、酸触媒として濃硫酸を用いるため、教育現場では回避される傾向にあったが、筆者は酸化ホウ素系固体酸触媒を用いることで温和に合成する方法を見出した。フェノールフタレイン、フルオレセイン、ローダミンBについて、反応時の試薬の量的関係、反応温度、反応時間を検討し、最適な反応条件を求めた。また中等教育への応用として、合成した色素を呈色反応や発光反応で活用する実験教材化についても検討した。

#### ●酸化マンガン(IV)を固定化した陶土の調製とそれを利用した実践（第3章）

酸化マンガン(IV)を固定化したブロックを調製し、これを過酸化水素水に入れると、水上置換することなく反応容器中で酸素の性質を確認できるだけでなく、過酸化水素水中でのブロックの上下運動を観察できる。陶土と触媒の混合比、焼成温度、繰り返し使用した場合の上下運動の回数と酸素発生量を検討し、最適な調製条件を求めた。触媒の調製方法と物性のほか、これを活用した小学生対象の実践結果をもとに、教材としての有用性を見出した。

#### ●金属塩水溶液を吸収した多孔性材料を用いたケミカルガーデン（第4章）

ケミカルガーデンとは、ケイ酸ナトリウム水溶液（別名 水ガラス）中に入れた色とりどりの金属塩の結晶が成長して、庭園のような現象のことである。今回筆者は、多孔性材料に金属塩水溶液をしみこませたものを、結晶の代わりに利用することを検討した。実験の結果、容易に入手できるシリカゲル性の猫のトイレ用砂（cat litter）が素材として最適であることを見出した。材料の調製方法と物性のほか、これを活用した小学生・中学生対象の科学実験イベントでの実践結果をもとに、教材としての有用性を見出した。

## 論文審査の結果の要旨

化学教育における古典的な実験教材には、多量の重金属試薬や強酸、強塩基を用いるものが多い。しかし近年では、20世紀の終盤に提唱された「グリーンケミストリー」の概念に基づいて、省資源・省エネルギーを念頭に置いたマイクロスケール実験が活発に研究・開発されている。さらに学校現場でも扱える、安全で扱いやすい試薬や触媒の開発が望まれている。

本論文は上記のような化学教育の趨勢を背景に、実験における試薬や触媒を固体に担持・固定化することで、従来法にはない安全性や教育効果をもたせた新規な実験教材の開発について述べたものである。まずホウ素系固体酸上に担持した硫酸塩を酸触媒に用いて、トリアリアル系色素を一段階の反応で合成する方法を開発した。得られた色素をルミノール反応と組み合わせる実践を行い、高校生に対して高い教育的効果が得られることを報告している。次に簡易に焼成できる陶土に酸化マンガン(IV)を固定し、これを過酸化水素水に投入することで観察できる浮沈現象を観察する実験を開発した。小学生を対象とした実践を行った結果、学年に応じて観察する視点が異なることが見出された。さらに市販の多孔質シリカ製品に各種金属塩を担持し、これをケイ酸ナトリウム水溶液と反応させることで、簡易に行える“ケミカルガーデン”の実験を開発した。本法によって、実験の準備や片付けの手間が従来より大幅に省力化される。小学生を対象にした実践の結果、幅広い学年の児童に興味・関心を抱かせる実験であることが示された。

以上のように本論文には持続発展教育の視点から有用な内容が報告されており、本学大学院における博士(学術)の学位論文として十分に価値あるものと認められる。