

平成 22 年 6 月 11 日現在

研究種目： 基盤研究 (C)

研究期間： 2007～2009

課題番号： 19611016

研究課題名 (和文)

博物館・科学館を中心とした教育現場で利用できる触媒教育プログラムの開発と実践

研究課題名 (英文)

The Development and the Practice of the Educational Experimental Programs on Catalysis that can be utilized at Educational Facilities such as Science Museums and Science Centers.

研究代表者

若林 文高 (WAKABAYASHI FUMITAKA)

国立科学博物館・理工学研究部・研究主幹

研究者番号： 30158589

研究成果の概要 (和文)：

その社会的重要性にも関わらず学校教育で取り上げられることの少ない「触媒」について、小中高生向けの触媒実験プログラムを開発した。グリーン・サステイナブル・ケミストリーの立場から重要な固体酸を取り上げ、従来、濃硫酸を触媒としていたフルオレセインやフェノールフタレインなどの色素合成にゼオライトを適用し、博物館や科学館などの公開施設、および学校教育現場で容易かつ安全に実験できる内容とした。

研究成果の概要 (英文)：

We have developed a new experimental program on catalysis that can be used for students at first and secondary schools levels. We used zeolites, i.e., typical solid acid, as catalyst to synthesize dyes such as fluorescein and phenolphthalein. This synthesis had been done using concentrated sulfuric acid as catalyst. The utilization of solid acids in spite of sulfuric acid is very important in the point of view from the green sustainable chemistry. Thus developed experiment can be done easily and safely at various educational facilities, i.e., science museums, science centers, and first and secondary schools as a student experiment.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：化学、化学教育

科研費の分科・細目：博物館学

キーワード：博物館、環境技術、触媒・化学プロセス、科学教育

## 1. 研究開始当初の背景

博物館は、研究機能と教育機能の2つの機能を持ち、大学や研究所などの研究現場と小中高などの教育現場や社会とを結びつける

場としての機能をもつ。最近、「科学コミュニケーション」や「科学インタープリター」の重要性が指摘されているが、博物館はそれ以上の機能を果たすことができると考えら

れる。一方、「触媒」は、社会的重要性がますます増大しているのにも関わらず、教育現場で取り上げられることが少なく、また、取り扱っても表面的なものに止まっていた。そこで、博物館や科学館、さらに学校などの教育現場で使える触媒に関する実験教材の開発が求められていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、このような博物館・科学館の機能を最大限に活かし、教育現場で利用できる教材や教育プログラムの開発を系統的に推進することを中心目的とした。特に、研究代表者が専門とするゼオライト触媒に関連した内容を取り上げる。本研究では、「触媒とは何か」、「私たちの社会や生活にどのように重要であるか」を体験できる実験を中心とした教材、教育プログラムを、博物館や科学館などの比較的設備の整った場で実施できるものと、それを小中高でも実施できるような内容にアレンジしたものをセットで開発することをめざし、専門学会の触媒学会との連携を図った。

## 3. 研究の方法

実験の開発を進めながら、博物館その他の教育施設で、小中高生、および教員向けの講座で実施し、それをフィードバックしながら、実験方法の改良を行った。

触媒としては、触媒学会が会員向けに配付している「参照触媒」を利用した。この参照触媒は、本来、触媒学会員にのみ配付されるが、本実験に用いる H-ベータゼオライトは、教育目的の使用に限り、学会員外にも配付されることになった。

## 4. 研究成果

### 【取りあげる触媒反応の検討】

教育現場で実施する触媒実験の主な問題には、児童・生徒に触媒に興味を持ってもらうこと、および反応結果をいかに見せるかということにある。これには、触媒反応で身近なものをつくり、また、触媒実験でよく使う研究機器を使わなくても実験でき、かつ合成されたことが確かめられる方法が良い。

そこで、小中高校生にわかりやすい触媒作用の事例として、固体酸触媒による色素合成実験の教材化を検討した。色素合成は、生成物の検出を色の変化から示すことができ、学校での利用に適している。また、合成する色素は、蛍光色素のフルオレセインや pH 指示薬のフェノールフタレインを取り上げた。これらの色素は、日常生活や学校での実験に使

用されることもある身近なもので、自分自身で合成し、その性質を調べることは意義のあることと考えた。

フルオレセインやフェノールフタレインの合成実験は、従来から濃硫酸を触媒とした演示実験がよく知られていたが、濃硫酸を用いるために学校などでの実施には注意が必要である。また、科学館や博物館などでの公開実験などに用いるには制限が生じる。そこで濃硫酸と同程度の酸性質を持ち、かつ安全に取り扱える酸型ゼオライトを適用することを検討した。固体酸触媒を利用した化学合成は、環境に優しい化学と持続可能な社会を目指したグリーン・サステナブル・ケミストリーの考え方にもつながり、その教材としても活用できる。

### 【触媒および反応条件の検討】

まず触媒として使用するゼオライトおよび反応条件を検討した。

ゼオライトとしては、最初に、典型的な固体酸触媒として使用される H-Y ゼオライト、H-モルデナイトおよび H-ZSM-5 ゼオライトの 3 種類について検討した。しかし、いずれも、活性がほとんどないか、あったとしても十分な収量を得るためには、触媒量を多くし、反応時間を長くする必要があった。そこで他のゼオライトを検討した結果、H-ベータゼオライト(触媒学会参照触媒 JRC-Z-HB150)が本反応に高活性であり、触媒の前処理はバーナーで数分加熱だけでよく、反応時間 10 分程度で十分な量の色素を合成できることがわかった。再現性も高い。

反応条件の検討では、特に反応温度の設定が重要であることがわかった。フルオレセインは、反応温度が高いと触媒なしでも容易に合成された。そこで、触媒なしではほとんど合成されないが、触媒存在下で顕著に合成される反応温度を検討し、110°C に設定すると良いことがわかった。従来のバーナー加熱では、温度コントロールが難しく、児童生徒が行った場合、温度が低すぎて合成されなかったり、加熱しすぎて真っ黒になってしまったりしていた。そのため、反応温度を正確に 110°C に設定するため、反応槽にアルミブロック製のドライブロックバスを用いることにした。これにより、反応を容易にすることができる。一方、触媒の実験では、ブランクテストと併せてすることが重要で、生徒実験でもつねにブランクとの比較をするようにした。なお、フルオレセイン合成では、反応温度を 168°C に設定すると良いことがわかった。

### 【実際の合成方法・合成の確認操作】

フルオレセインの合成は次のとおりである。フローチャートを図1に示した。

- (1) 試験管に触媒（ゼオライト）をスパチュラで1杯（約5 mg）加えてガスバーナーで約5分あぶり活性化させる。
- (2) 触媒がさらさらになったら加熱をやめ、少し冷ましてから、葉さじの小さい方で無水フタル酸を軽く1杯（約50 mg）、レソルシノールを1杯（約75 mg）加える。
- (3) その試験管を110℃に設定したドライブロックバス（図2）に入れて10分間反応させる。試験管をときどきバスから出して反応の進行状況を観察し、素早くバスに戻す
- (4) 反応終了後、少し冷ましてからエタノール2 mLを加え、生成物を溶かす。
- (5) その上澄み液を、試験管にとった0.1 M NaOH水溶液1 mLに1滴ずつ加え変化を観察する。ブラックライト下でも観察する。触媒を加えない参照実験も行う。

フェノールフタレイン合成では、レソルシノールをフェノールに置き換え、反応温度を168℃にして同様な操作で行う。

フルオレセインを合成し、ブラックライト下で観察した例を図3に示す。触媒としてゼオライトを入れた場合（図3左）は、蛍光が観察され、フルオレセインが合成されている。ゼオライトを入れなかった場合（図3右）は、蛍光がほとんど観察されず、フルオレセイン



はほとんど合成されていないことがわかる。なお、実験によっては、ゼオライトを入れない場合でも、蛍光がわずかに観察されることがあり、フルオレセインは触媒なしでも合成できることがわかる。これは、触媒は、触媒なしでは進行しない反応を「引き起こす」のではなく、触媒なしでは反応が進みにくい反応を「促進させる」効果があることを学ぶ機会にもなる。

### 【教育現場での実施状況】

このような検討により、これらの実験を30分～1時間半程度の時間で安全かつ容易に実施し、再現性の良い実験が行えるようになり、十分な効果を上げられるようになった。この実験は研究代表者もメンバーであった触媒学会触媒教育プロジェクトとの連携で、博物館やその他の社会教育施設などの実験教室、高校教員の研究会などで多数回実施し、その効果と問題点を探った。その過程で、いくつかの改良も行ったので、後に示す。

### 【操作法の改良】

このように開発した合成法であるが、触媒の処理方法（加熱処理）の個人差のため参加者によっては色素があまり合成されないことがあった。そこで、処理の操作方法や処理完了の判定方法を工夫した。また、その説明をわかりやすくし、だれでも色素を高活性に合成できるようにした。また、色素合成を確認するための呈色・蛍光判定も、操作法や試薬の調製法を改良し、鮮やかに見られるようにした。これらの方法を、小中生向けや高校生向けの講座で実施して有効であることを確認すると共にその結果を踏まえてさらに改良した。

また、講座の説明では、グリーン・サステイナブルケミストリーの考え方などを博物館の展示と有機的に結びつけて説明する試



図2 ドライブロックバス

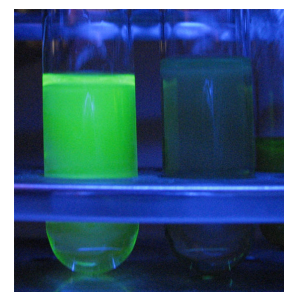


図3 フルオレセインの合成（ブラックライト下）  
左：ゼオライト在り  
右：ゼオライトなし

みをし、博物館という場を活かして一連の講義と実験を行えるプログラムとした。なお、プレゼン資料に展示内容も組み込み、展示がない環境でも利用できるようにした。

また、フェノールフタレイン系の pH 指示薬の合成として、さらにクレゾールフタレイン、メトキシフェノールフタレイン合成の検討を進めた。反応温度を変えることにより、再現性良く合成できるようになった。また、置換基の位置による反応性の違いを検討した。しかし、これらの反応試薬の学校現場での使用にあたっては薬品の刺激性など留意すべき点が多々あるので、さらに検討する必要がある。

最終年度は、固体酸（ゼオライト）による色素合成のとりまとめを行い、さまざまな場所でもより広い年齢層に実施し、より簡便にかつより安全に実験できるようにした。博物館の実験講座では、高校生向け、教員向けの講座で実施し、これまでに改良を加えた方法でこの年齢層では失敗なく所定の結果が得られることを確かめた。また、当館および他の科学館で実施された公開イベントで、自ら実施し、もしくは他の研究者による実施に助言をし、小学校低学年でも、触媒の前処理を行っておけば、安全にほぼ失敗なく実験できることを確かめた。このように作成されたマニュアルを使うことによって、だれにでも安全に実験指導ができるようになり、触媒研究者に「一般向け触媒実験」としてよく知られるようになった。

また、従来の濃硫酸を触媒とした合成法では、生成物溶液に濃硫酸が残存しているので、塩基性条件下で生成物の蛍光および呈色を確認するためには比較的濃度の高い強アルカリ溶液を用いる必要があったが、ゼオライトを触媒とすると低濃度の強アルカリ溶液あるいは、弱アルカリ溶液でも蛍光と呈色が確認でき、より実験が安全になった。特にフェノールフタレインの呈色ではアルカリ濃度が高いと退色が速かったが、アルカリ濃度を低くすることにより、退色速度を格段に抑



図4 青色 LED (左) によるフルオレセインの蛍光 (右)

えることができた。

また、フルオレセインの蛍光強度は励起光の波長に依存し、青・緑・赤の3色の発光ダイオード (LED) を用いると簡便にこれを確認でき、青 LED では蛍光が強く、緑 LED では蛍光が弱く、赤 LED では蛍光が全く観察されないことがわかった。これまでのブラックライトによる観察では、部屋を暗くする必要があったが、青色 LED を使うと、部屋が明るくても蛍光が明瞭に観察できる。図4に合成したフルオレセインの蛍光を青色 LED で観察した写真、および図5にこの蛍光を自作の DVD 分光器で観察し、スペクトルチャートにしたものを載せた。青色 LED の発行は波長 470 nm 付近で最大強度になるが、フルオレセインは 494 nm 付近に吸収最大があり、青色 LED の光により励起され、図5に示したように 521 nm 付近を最大とする蛍光を出す。この蛍光観察からもフルオレセインが合成されたことが示される。このように合成したフルオレセインを使って、励起光と色素の吸収波長、蛍光との関係を考察できることを示した。

以上のように、本教材を用いて年齢層に応じて、触媒による色素の合成から、合成された色素を使った応用実験まで、総合的に使える教材とすることができた。

## 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)

[学会発表] (計4件)

- (1) 若林文高, 松橋博美, 山縣桂子, 上田 渉, 服部 英, 「固体酸を触媒とした教育用色素合成実験: 触媒学会触媒教育プロジェクトの試み」, 日本化学会第88春季年会 (2008年3月, 立教大学) .

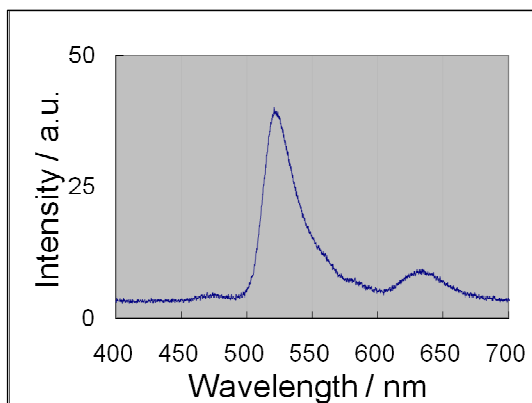


図5 フルオレセインの蛍光スペクトル。図4の蛍光を自作 DVD 分光器により観察

- (2) Fumitaka Wakabayashi, Hiromi Matsuhashi, Keiko Yamagata, Yoichi Nishimura, Wataru Ueda and Hideshi Hattori, "Dye syntheses using zeolites as a solid acid catalyst: A new introductory experiment of green and sustainable chemistry at secondary school level." 20th International Conference on Chemical Education (2008年8月, Mauritius).
- (3) 若林文高, 松橋博美, 山縣桂子, 西村陽一, 上田 渉, 服部 英, 固体酸を触媒としたフルオレセイン、フェノールフタレインの合成: 触媒学会触媒教育プロジェクトの試み, キャット・ケム実験室ミニシンポジウム (2009年3月, 埼玉大学).
- (4) Fumitaka Wakabayashi, Improvements of periscope-type DVD spectroscope and high-resolution observation of visible spectra. 239th American Chemical Society National Meeting (2010年3月, San Francisco, USA).

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
若林文高 (WAKABAYASHI FUMITAKA)  
国立科学博物館・理工学研究部・研究主幹  
研究者番号: 30158589
- (2) 研究分担者  
なし
- (3) 連携研究者  
なし