

## 科学的根拠に基づいた判断力を育成する中等理科教育プログラムの開発

- ◎國仙久雄 (東京学芸大学基礎自然科学講座分子化学分野)  
小川治雄 (東京学芸大学基礎自然科学講座分子化学分野)  
前田 優 (東京学芸大学基礎自然科学講座分子化学分野)  
吉原伸敏 (東京学芸大学 理科教員高度支援センター)  
吉永祐介 (東京学芸大学基礎自然科学講座分子化学分野)  
小坂知己 (東京学芸大学基礎自然科学講座分子化学分野)  
生尾 光 (東京学芸大学基礎自然科学講座分子化学分野)  
山田道夫 (東京学芸大学基礎自然科学講座分子化学分野)  
○岩藤英司 (東京学芸大学附属高等学校教諭 (化学) )  
金子真也 (東京学芸大学附属小金井中学校教諭 (理科) )

代表者連絡先 : kokusen@u-gakugei.ac.jp

【キーワード】 化学実験, 探求, 判断力, 大学の実験設備, 連携講座

### I. プロジェクトの目的と概要

新学習指導要領では、知識基盤社会を生き抜くために、基礎的な知識・技能を習得し、それらを活用して自ら考え判断し表現することにより、様々な問題に積極的に対応し解決する力の育成を目指している。このため、小・中学校では理科の授業時間が増加し実験・観察を通じた体験的学習がこれまで以上に重視されている。高等学校では「課題研究」が設定され、探求活動重視の観点から大学や研究機関、博物館などとの連携・協力が求められている。今までこのような連携・協力はSSH実施校等の一部の高等学校で行われており、その成果が非常に評価されている。すぐにこれを広めて実施することは容易ではないが、次世代を担う中・高校生に、実験・観察より得られた情報を科学的根拠に基づいて正しく理解し判断する力を身に付けさせるために中学校と大学の連携を推進することは、我が国の将来の発展のために非常に重要なことである。しかし、現状の高等学校までの実験設備を考えると、特に化学分野では、中学校から原子・分子の概念に基づいた現象の説明が主となってくるため、実験・観察から十分な科学的根拠を得ることは学校現場では難しい。そこで、大学教員による講義と大学の実験設備を利用して化学分野の現象の科学的根拠を探求するプログラムの開発を行なった。中学校から理科嫌いが始まる一つの原因が、肉眼で捉えられない原子・分子の概念による化学現象の説明にあるとされているので、本プログラムは理科嫌いを払拭する一助になり得る。更に、本研究プロジェクトでは、高等学校までの理科の学習の理解を深化させられるような新規実験教材の開発も行い生徒の理解の定着を目指すと共に、科学技術立国を担う人材を育成するための中等理科教育の高度化も目指したプログラムの開発も行なった。本プロジェクトで開発するこのような新規実験教材と科学的根拠を探求し判断力を育成するプログラムは、中・高等学校と大学や研究機関等とが連携・協力して行う実施内容の具体例を提供することになり、中・高等学校と大学や研究機関等との連携・協力関係を広く築き上げていくきっかけとなりうる。さらに、教員を希望する本学の学生がTAとして実験指導の補助を行うことより、教員としての資質の向上を図ることができる。

本学附属中・高等学校教員と大学教員が共同で、中・高等学校理科の化学分野の学習の内から、化学現象の科学的根拠が明らかになると学習の理解の深化が期待される事項を洗い出し、大学の実験設備を利用

した実験を含むプログラムを開発した。このような中・高等学校での学習内容の科学的根拠を、大学実験設備を利用して体験的に生徒に理解させることを目指した取り組みはほとんどないため、逆に、開発テーマとなる実験が多く残されていた。プログラム開発のための附属学校教員と大学教員との打合会を開催し、主として大学教員が大学の実験設備の利用を含む実験教材の開発を行った。

## II. 鏡像異性体：リモネンの反応と性質

前田 優・山田 道夫・吉原 伸敏

### 1 はじめに

高等学校「化学」の有機化合物の内容の中に鏡像異性体に関する記述があるが、この鏡像異性体に関する観察・実験の記述は無い。鏡像異性体を理解するには、教科書の記述のみでは不足している。そこで、鏡像異性体の一種である柑橘類の表皮に多く存在しているリモネンを題材とし、以下に示す研修プログラムを作成した。

#### a. 像異性体とは。

図を参考に、不斉炭素の意味と、鏡像体の説明を行う。

#### b. 鏡像異性体の命名法

鏡像異性体の分子は不斉炭素に結合している原子や基の配列が異なるだけなので、分子名の前に接頭語として(R)-と(S)-を付けることやその付け方を説明する。

#### c. 分子模型の作成

紙の上では三次元構造である有機分子の立体構造は理解しにくいところがあるので、HGS 分子模型を使用してリモネン分子を作成し、それらの(R)-体と(S)-体の立体構造の違いを理解する。

#### d. 鏡像異性体の性質について

鏡像異性体の性質として、同じ性質、異なる性質について解説する。

#### e. (R)-リモネンおよび(S)-リモネンの旋光度の測定

測定には、高等学校で利用できる偏光板を使用する実験と、本学で所有している旋光計を用いる2つの実験を実施する。

#### f. リモネンの臭素化による旋光度の変化の測定

リモネンには2つの炭素 - 炭素二重結合が存在するため、臭素化を行い物質の変化に対する旋光度の変化を測定する。

#### g. 臭素化によるリモネンの変化を薄層クロマトグラフィー (TLC) で確かめよう

薄層クロマトグラフィー (TLC) に毛細管でリモネンと臭素化した化合物をスポットし、溶媒を展開することにより物質が変化したことを理解させる。

#### h. 臭素化によるリモネンの変化を赤外吸収 (IR) スペクトルで確かめよう

リモネンと臭素化した化合物の赤外吸収 (IR) スペクトルを測定することより、物質が変化したことを理解させる。

この時どの吸収が変化したかを h. の赤外線吸収スペクトル法 (IR) の説明でおこなう。

### 2 開発した教材

教材はパワーポイントを用いて作成した。また、配布プリントも作成した。

### 3 研修の実施

東京学芸大学附属高等学校の生徒対象に研修を平成 27 年 3 月 30 日に実施した。参加者は1年生1名、2年生3名の計4名であった。説明の後、配布したプリントを参考に、上記の実験を行った。皆、熱心に実験を行っていた。研修後のアンケートでは、少し難しかったと回答した生徒が1名、難しかったと回答し

た生徒が3名であった。自由記述の感想では以下の回答を得られた。

- ・分子模型を作るのが面白かった
- ・鏡像異性体で旋光度が逆になることに興味を持った
- ・臭素分子の色が消えることで、化学変化が解った
- ・スペクトルで分子の構造が解ることに興味を持った
- ・空間的な分子の配置によって電子の動きがどう変化するか興味を持った

#### 4 まとめ

今回作成した研修プログラムは、有機化学を受講していない高等学校の生徒1,2年生には多少難しいところがあったようである。3年生で有機化学を受講している生徒に実施すれば、もっと容易に理解できたのではないと思われる。

教材として、分子模型や偏光板を用いた旋光度の測定は高等学校でも十分に活用できる実験であると考えられる。

### III. 原子力発電の概要と核分裂生成物の分離

小坂 知己・國仙 久雄

中学校向け実験プログラムとして、平成28年3月5日午前9時から本学自然科学研究棟1号館2階化学第二実験室(M208)にて、「原子力発電の概要と核分裂生成物の分離」と題して本学附属小金井中学の生徒8名に対して実験プログラムを実施した。内容は、電磁誘導の法則など発電の仕組み、直流と交流、送電と変圧、水力・火力・原子力発電の仕組み、原子力エネルギーと核分裂について、核燃料サイクル、地層処分、東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故について、汚染水の処理方法、ゼオライトについて、原子吸光分析法についてなどの講義を50分程度行った後に、実験の概要を説明し実際に実験操作を行った。実験は2名1組で行ってもらった。当初は安全ピペット、ホールピペット、メスフラスコなど実験器具の取扱いに不慣れであったが、飲み込みも早く効率的に操作を行うことが出来た。実験終了後のアンケートによると、原子吸光や振とう機など普段見ることのない装置を間近にして貴重な体験が出来たなど好意的な意見があった。また、ゼオライトという物質に興味を持った生徒も数名おり、イオン交換の仕組みなどについて質問があった。この点については、実験前の講義内容に反映させるなど今後の改善点である。

以下にプログラム実施後のアンケート結果を紹介する。

「今回の実験で興味を持ったところを書いて下さい。」について

- ・中学校の授業では使用しない色々な器具を用いた本格的な実験を行うことが出来た。
- ・興味ある分野の実験はとても楽しかった。
- ・ゼオライトという物質とそれによるセシウムのイオン交換に興味を持った。
- ・原子吸光法の仕組みと装置に興味を持った。
- ・核燃料リサイクルや核分裂反応についてよく分かった。

「今回の実験に対する要望や改善点があれば書いて下さい。」について

- ・原子吸光装置が動いているところを見たかった。
- ・イオン交換した汚染水には有害物質は含まれないのか、処理後のゼオライトの廃棄方法について知りたい。

今回は3時間の実験プログラムのため時間の制約から原子吸光装置が動作している様子を演示することが出来なかった。事後アンケートでも動作中の装置を見たかったという意見があったことを考慮すると、本プロジェクトが目指した大学の研究設備を有効利用した発展的内容を含む実験プログラムの開発と試行は、理科に対する好奇心を刺激する方策として大変効果的な内容であったと考えられる。我々の身の回り

の生活は、理科という学問によって構築された数多くの物質やエネルギーによって支えられている。しかし、取扱を間違えると先の福島第一原子力発電所の事故のように甚大な被害が及ぶこと、増え続ける汚染水から有害な核分裂生成物を安全に除去する課題があることを認識させることは、未来を担う世代に対する教材として意義深い内容であったと考える。

#### IV. 燃料電池の作成

生尾 光・吉永裕介・小川治雄

燃料電池はエネルギー変換の担い手として、近年重要視されている。本研究では、教材用モード燃料電池（モデルセル）で表現されるべき水素-酸素燃料電池の原理として、①水素と酸素の化学反応により電気が生じること、②水素-酸素燃料電池が高いエネルギー変換効率を持つことの2点を設定し、これらの要素を満たすようなモデルセルを簡易に作成できる実験学習プログラムを作成し、高校生に対して実践した。

##### 1. 実験学習プログラムの構成と内容

実験学習プログラムは、一つのモジュールによりテーマ内容が完結するパッキング・モジュール形式（2～3時間完結型）をとる。パッキング・モジュールは、実験学習で使用する「テキスト」、「解説用パワーポイント・ファイル」より構成される。実験に使用するテキストでは実験操作が視覚的にわかり易いように図や写真が多用され、得られた結果が直ちに記録できるように記入欄を設けている。学習者が実験に入りやすく、かつ、実験に専念でき、得られた結果を整理し易くなるよう配慮される。それは学習者自らが実験に集中できる時間を増やすことに繋がる。

###### a. 実験の内容

直接型アルコール燃料電池の例としてメタノール燃料電池キットとエタノール燃料電池キットの電位をデジタルマルチメータで測定する。次に水素燃料電池に使用する触媒を自作し、組み立てた電池に水素と酸素を供給し微電流モーターが駆動することを確認する。その際、触媒の有無が電池の性能を決定することを理解する。最後に熱力学的取扱により理論起電力を計算し作成した電池の発電効率を見積もる。

##### 2. 実験学習プログラムの実践

###### a. パッキング・モジュール教材の実践

実験学習プログラムは本学附属高等学校の生徒4名（1年生3名、2年生1名）に対して実践され、その運営は大学教員1名の他にティーチング・アシスタント（TA）2名によりなされた。教員による10分間の「パワーポイント・ファイル」を使用した解説と、生徒2名1組による約2時間半の個別実験から構成された。時間内に実験学習プログラムを終了することができた。生徒は熱心に解説を聞き、テキストを基にTAの指導の下に実験が行われた。

###### b. 実践からの分析

本教材により受講者の燃料電池に関連する用語のイメージがどのように変化したかアンケートを行った。負極や正極のように一般的な用語はほとんどの生徒が知っていたが、水素やアルコール燃料電池の反応、電池の構造、電解質膜のように燃料電池に関連する用語は実践後に分かったと回答しており、テキストや実験を通して構造のイメージを獲得していることがうかがえた。参加した生徒はいずれも「化学」を履修していないため熱化学を学習していないが本調査より熱力学的用語について学習できたことがうかがえた。感想には、触媒に関するものが多く、その重要性を理解したことがうかがえた。一方、熱力学的取扱は難しかったとの感想も有り、今後の検討を要する。

##### 3. おわりに

教材用モード燃料電池（モデルセル）で表現されるべき水素-酸素燃料電池の原理として、①水素と酸素の化学反応により電気が生じること、②水素-酸素燃料電池が高いエネルギー変換効率を持つことの2点を設

定し、これらの要素を満たすようなモデルセルを簡易に作成できる実験学習プログラムを作成し、高校生に対して実践した。サンプル数は少ないものの、本教材は燃料電池の構造についてイメージを提供していることがうかがえた。

## V. 総括

中大連携・高大連携の3つの化学に関する実験教材を開発し、附属学校の生徒に対して研修を実施した。いずれの教材も大学の現有設備を利用して、中学校や高等学校では実施しにくい内容も含んでいるが、これらの実験を通じて、化学分野の現象の科学的根拠を探求するという点においては、当初の目的を達成できたと思われる。このプロジェクトをきっかけとして、中・高等学校と大学や研究機関等とが連携・協力して行う実施内容の具体例を提供することになり、中・高等学校と大学や研究機関等との連携・協力関係を広く築き上げていくことができれば幸いである。