

令和 4 年 9 月 1 日現在

機関番号：14503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03080

研究課題名(和文) 高校化学における可搬型核磁気共鳴装置の利用促進とICT教材開発に関する研究

研究課題名(英文) Research on promoting the use of portable nuclear magnetic resonance equipment in high school and developing ICT teaching materials

研究代表者

山口 忠承 (Yamaguchi, Tadatsugu)

兵庫教育大学・学校教育研究科・准教授

研究者番号：60295722

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：核磁気共鳴装置は有機化合物の化学構造を決定することのできる有力な装置であり、多くの高校化学の教科書において発展事項として記載されている。本研究では、学校の現場でも測定や解析が可能な小型の核磁気共鳴装置を用いて、高校の教員や高校の探究活動などの場面で活用できる実験教材の開発を行った。本研究で開発した実験教材の有効性を検討するために、装置の使い方や測定後の解析結果の見方に関するICT教材を作製し、教育系大学の実験系の講義で実践し教材の評価を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高校化学では有機化合物について、化学構造とともに有機化合物の性質について学ぶ。有機化合物の構造を高校で知るためには、現在教科書記載の方法では、目視による物質の確認や、特徴的な化学反応性を調べる手段しか用いることが出来ず、今後発展すると考えられる有機化合物に関する課題解決型学習に制限が生じるものと考えられる。本研究では、学校現場でも測定可能な核磁気共鳴装置を用いた簡単に実験ができる教材を開発し、高校の生徒や生徒を指導する教師を対象にして、この装置でできることが理解できるような情報提示法に関する工夫を行った。

研究成果の概要(英文)：Nuclear magnetic resonance (NMR) equipment is powerful device that can determine the chemical structure of organic compounds, and are described as a development section on many chemistry textbooks for the high school students. In this research, we developed experimental teaching materials that can be used in the high school such as training of teachers and exploration activities using a small nuclear magnetic resonance device that can be measured and analyzed. In order to examine the effectiveness of the experimental teaching materials developed in this research, we created ICT teaching materials on how to use the equipment and how to analyze the data after the measurements, and evaluated the teaching materials by practicing them in experimental lectures on the educational university.

研究分野：科学教育

キーワード：核磁気共鳴装置 有機化合物 実験教材 ICT教材

## 1. 研究開始当初の背景

高校化学の教科書の有機化合物の単元においては、化合物の化学構造と性質を関連させて学習する。有機化合物の化学構造を知る方法は教科書で示されている。高校化学の教科書の発展事項として、機器分析による構造解析に関する記述があり、その中で核磁気共鳴装置による構造解析が示されている。

核磁気共鳴装置は、多くの場合大型の装置であり、大きな大学や専門の研究機関専用の装置である。最近、高校の理科室でも測定可能な小型の核磁気共鳴装置が市販され、簡単な化学構造を持つ化合物の同定や試料中の含量に関する情報が得られるようになった。しかし、高校で実施できるこの核磁気共鳴装置を用いてできる実験教材が無い。また、高校の学習現場で、高校生や学校の教員にとって必要であると感じることのできる実験教材として受け入れられるためには、日本の学習指導要領に沿った内容を含む実験であるという条件が特に重要であり、更に学校の現場の器具や試薬等の入手可能なものを踏まえて実践可能な実験教材の提案が必要である。

## 2. 研究の目的

本研究では、小型核磁気共鳴装置を用いた実験教材と、実験教材の内容を補足する ICT 教材を作製することを試みる。高校の現場で化合物の構造を見分けることの可能な小型核磁気共鳴装置を活用した実験教材をいくつかのテーマで開発する。開発した実験教材を大学の教員養成系の学生対象に実践を行い、その教育効果について確認する。開発した教材を基に学校教員向けの研修会を開催し、現職教員向けに教材の実践を行い、核磁気共鳴装置の利用促進につなげる。

## 3. 研究の方法

高校の教科書では、発展事項として核磁気共鳴装置の紹介はあるが、どのような試料を用意してどのように活用できるかについては詳しくは記載されていない。日本の学習指導要領の下で、どのように小型の核磁気共鳴装置を活用して教師や教師の指導の下で探究活動をする生徒が実施できるかを考え実験教材を作製する必要がある。また、なぜ核磁気共鳴装置を用いて測定した方が良いかについての利点に関する説明や、装置の初心者でもわかる核磁気共鳴装置の原理や測定方法、装置の解析結果を説明する ICT 教材が必要である。また、作製した教材の効果を調べるため、教員養成系の大学の学部生や大学院生の実験系の講義で実践を行う。

## 4. 研究成果

教材のテーマとして(1)柑橘系果物から得られるリモネンの分析、(2)サリチル酸を原料にしたサリチル酸メチル、アセチルサリチル酸の合成と分析(3)発泡ポリスチレンからスチレンを得て分析する教材をそれぞれ開発し授業実践し成果として公表した。それぞれの研究の特徴と研究の概要に関して説明する。

(1)柑橘系果物から得られるリモネンの分析は、スーパーで身近に入手できるオレンジやレモンの果皮から水蒸気蒸留で抽出できるリモネンを用いて、小型核磁気共鳴装置を用いて行う研

究である(図1)。抽出したリモネンは、小型核磁気共鳴装置を用いて分析とデータ解析を行い、市販試薬のリモネンと同じ解析結果が得られることから構造の同定が可能である(図2)。オレンジとレモンの間で、抽出したリモネンの純度を調べることが可能である。また、偏光板を2枚用いることによって、得られたリモネンの旋光性を調べることができる。この教材の実践は、令和元年度(4名)と令和2年度(4名)に、大学院生向けの探究活動系の実験でおこなうことによって実施した。90分の講義時間を4回実施した。理解度も5段階中4.2と良好であった。有機化合物の分析法で重要である認識があったが水蒸気蒸留を用いた抽出に時間がかかること、分析結果で得られたデータでシグナルが重なりすぎていてデータの読み方に難がある欠点があることが判明した。



図1. 水蒸気蒸留

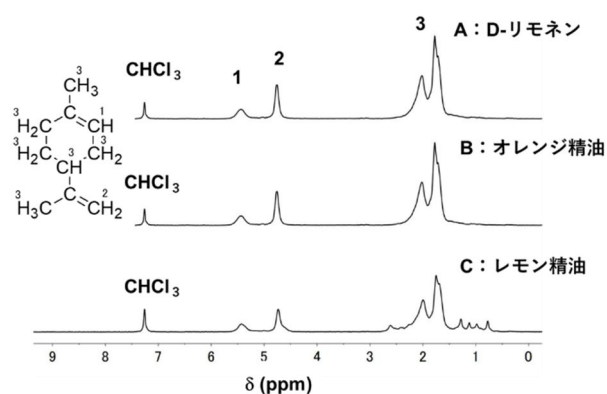


図2. 各試料のNMRの測定結果

(2) サリチル酸を原料にしたサリチル酸メチル、アセチルサリチル酸の合成と分析は、高校の教科書には具体的な実験方法とともに記載されており、高校の現場でのガラス器具の入手や試薬の入手の点で利点がある。また、合成により得られたサリチル酸メチルやアセチルサリチル酸の純度が高く、小型核磁気共鳴装置の測定後の解析の結果は特徴のある芳香環や置換基の存在を示すデータが得られる(図3)。この教材の令和元年度(8名)、令和2年度(10名)と令和3年度(11名)に、大学生向けの有機実験として実施した。

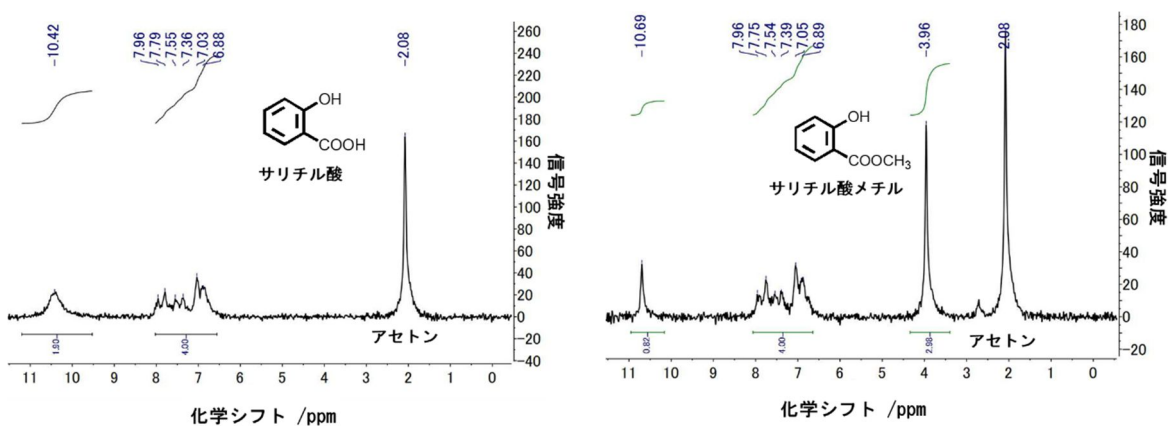


図3. NMRの測定結果 (左) サリチル酸、(右) サリチル酸メチル

90 分の講義時間 2 回分で実施することができた。理解度は 4 段階中 3.0 でやや良という状況であった。利点としては合成により比較的純度の高いものが容易に得られ、化合物間の比較が容易であるが挙げられる。欠点としては、実験時間内に 2 つの化合物を合成して分析を行うので、時間が足りないという欠点があった。この実践に関しては令和 3 年度の 8 月に現職の教員(4 名)を招いて大学内で研修会という形で実験を実施することができた。

(3) 発泡ポリスチレンからスチレンを得て分析する教材に関しては、身近な高分子材料である発泡ポリスチレンを熱分解反応によりスチレンを得て、蒸留して純粋なスチレンを得ることを利用している(図 4)。発泡ポリスチレンが、何の素材からできているかを考察できる点と、高分子から単量体の原料としてのスチレンを得るケミカルリサイクルを知る上で有用な教材である。



**図 4 . ポリスチレンの熱分解 (左)原料のポリスチレン (中)有機溶剤(アセトン)により減容化しさらに細かくちぎったもの (右)熱分解反応により得た試料(蒸留前)**

令和 3 年度(11 名)を対象に大学院生向けの探究活動系の実験の講義で実施した。受講者の感想として、高分子と低分子という物質の特徴を捉えることが出来る点や、蒸留(精製)の操作の重要性が核磁気共鳴装置の解析結果から理解できる点が挙げられた。理解度は 4 段階中 3.1 でありサリチル酸の実験より良かった。欠点としては、高分子特有のにおいがあり、実験中はドラフト排気が必要である点があった。

以上、小型核磁気共鳴装置を活用する 3 つの教材を作製した。大学の HP にも核磁気共鳴装置のテーマの講習会を周知できるようになった。興味あるテーマで核磁気共鳴装置の活用を目指した。大学の学生による教材実践の結果、特に物質の見分け方の各自の学習の程度や考え方が、この小型核磁気共鳴装置の活用の理解度につながっていることが示唆された。令和 3 年度に学校の教師(4 名)を対象に教材の実践を行うことができたが、全般としては新型コロナの影響があり受講者として学校の現場の教師を対象にした教材の実践が数多くできなかった。今回開発した実験教材を用いて学校の教員や生徒を対象に実践を行い、さらなる小型核磁気共鳴装置の高校での活用につなげたい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tadatsugu Yamaguchi, Shizuka Takami	4. 巻 51
2. 論文標題 Synthesis and Photochromic Reaction of 6,6'-Bis(diarylethenyl)-1,1'-binaphthyl-2,2'-diether	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 610-613
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1246/cl/220083	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tadatsugu Yamaguchi, Masahiro Irie	4. 巻 61
2. 論文標題 Ultrahigh-sensitive fluorescence dosimeters that use turn-on mode fluorescent diarylethenes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 152232
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.tetlet.2020.152232	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shizuka Takami, Minoru Nishiyama, Masaki Mizuno, Tadatsugu Yamaguchi, Yuichiro Hashimoto, Tsuyoshi Kawai	4. 巻 92
2. 論文標題 Photochromic Performance of 5-Heteroaryl-4-vinyl-2-phenylthiazole Derivatives	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 1773-1778
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1246/bcsj.20190093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山口忠承、高見静香
2. 発表標題 小型核磁気共鳴装置の有機実験への活用と課題
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口忠承、若泉真由、高見静香
2. 発表標題 ポリスチレンの熱分解反応の教材化
3. 学会等名 日本科学教育学会第44年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口忠承、若泉真由、高見静香
2. 発表標題 ポリスチレンの熱分解反応の教材化
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高見静香、不二千尋、石橋千英、松本慎太郎、朝日剛、山口忠承、河合壯
2. 発表標題 アリアルビニルフェニルチアゾール誘導体の 蛍光特性
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口忠承、石原美希、角田莉奈、高見静香
2. 発表標題 サリチル酸誘導体の化学構造の解析の過程の教材化
3. 学会等名 日本科学教育学会第43年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口忠承、中島周平、高見静香
2. 発表標題 光学活性なリモネンを用いた実験教材の開発
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高見静香、平岡珠希、渡邊花音、石橋千英、朝日剛、山口忠承、河合壯
2. 発表標題 5-ヘテロアリール-4-ピニル-2-フェニルチアゾール誘導体の蛍光挙動
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------