

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K02877

研究課題名(和文)SDGsに資し、COVID-19等感染症の感染リスクを低減する化学実験の研究

研究課題名(英文)Chemistry laboratory which contributes to SDGs and is useful during COVID-19 pandemic

研究代表者

荻野 和子(OGINO, Kazuko)

東北大学・理学研究科・客員研究者

研究者番号：40004353

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：1. コロナ禍下での化学実験授業にマイクロスケール実験(MC)を活用すると感染防止につながることを明らかにした。2. 肢体不自由生徒のためのMCを開発し、実践した。3. 質量測定によるマイクロスケール滴定法を考案した。4. ロタキサンは分子機械を構成する重要な部品の一つである。シクロデキストリン(CDX)に糸通ししたジアミノドデカン(don)の両末端に異なるコバルト(III)錯体をもつロタキサンを合成した。トポロジカル異性体を作り分けることに成功した。5. 分子レゴの実験教材を開発した。メチルスルファニル基を有するエチニルベンゾチオフェンのシリカゲル加熱環化法により、種々の誘導体を合成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

上記の成果は、パンデミックの事態における実験授業の実施を可能にする。肢体不自由生徒のための実験の開発はインクルーシブ教育の進展に大きな貢献をするものである。これらの実験では、マイクロスケール実験(MC)を活用しているが、MCは、省資源、省エネルギーで、環境にやさしく、持続可能社会の概念の教育に有用である。化学における最先端研究の成果を身近なものとして理解することは教育上極めて重要で本研究の一つの柱である。最先端化学研究の一例として分子機械に利用されているロタキサン、有用な化合物をレゴをくみたてるように合成する分子レゴ例を取り上げることは化学教育に有意義である。

研究成果の概要(英文)：1. We utilized microscale chemistry (MC) in reducing the risk of infection during the covid-19 pandemic. 2. We have developed a series of MC for students with physical disabilities. We have to modify the MC for ordinary students so that students can handle the apparatus with less strength. 3. We developed microscale titration without the use of burets and pipettes. Instead, electronic balances are used. 4. Rotaxanes consisting of cyclodextrin (CDX) threaded by 1,12-diaminododecane(don) bearing two different cobalt(III) complexes as stoppers were synthesized. Synthetic routes of topological isomers have been discovered. 5. A variety of 2-substituted benzo[b]thiophenes were prepared from o-(alkylsulfanyl)(ethynyl)benzenes in the presence of silica gel under thermal conditions. These reactions were used for workshop 'Molecular Lego' for high school students.

研究分野：化学教育

キーワード：感染リスク回避 SDGs 分子レゴ インクルーシブ教育 電池と電気分解 ロタキサン

1. 研究開始当初の背景

2020年3月以降、COVID-19が日本でも広がってきたことにより、学校の全国一斉休業、学校再開後のオンライン授業、短縮授業、また感染を避ける形態の授業が行われた。中でも、生徒実験は感染リスクが高いものの筆頭に挙げられる。感染リスクのない実験法の開発は喫緊の課題であった。

持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals : SDGs) は、2016年から2030年までの「国際社会共通の目標」でその理念の普及には教育・啓発が不可欠である。SDGsの学習には環境問題、エネルギー問題への理解が重要だが、この側面は化学教育の重要な守備範囲である。そのためには実験を通じた主体的学習が効果的で、マイクロスケール化学実験 (MC) が適している。私たちは、長年にわたり化学の様々な概念に関わる MC を研究し成果をあげてきた。エネルギー問題、地域環境や地球環境に関する問題につながる気体や水についての実験教材のほか一步進んだ問題を取りあげるべきと考え、SDGsのゴール3 (すべての人に健康と福祉を)、ゴール9 (産業と技術革新)、ゴール12 (つくる責任使う責任) に関するテーマを研究することとした。SDGsの理念は、「誰ひとり取り残さない」ことなので社会的包摂につながるインクルーシブ教育も重要である。しかし、肢体不自由生徒対象の実験は、これまで演示が多く、生徒自身が行う実験は限られてきた。

2. 研究の目的

上述の背景をもとに、まずパンデミックの際に実施可能な感染リスクの少ない実験法の研究を行う。マイクロスケール実験は、極めて有用な選択肢である。

SDGsの理解につながる教材の研究として、(1)エネルギーについて：いろいろな形 (化学エネルギー、電気エネルギー等) の転換、再生可能エネルギーの理解につながる実験教材、(2)私たちのまわりの環境や地球環境に関する事象：気体や水についての実験教材、(3)最先端研究の成果を身近なものとして理解することは教育上極めて重要で本研究の一つの柱である。最先端化学研究の一例として分子機械に利用されているロタキサンを取り上げた。分子をレゴに見立てレゴブロックを組み立てるようにカップリング反応で新たな有用な化合物を合成する。これらは SDGs のゴール9 (産業と技術革新)、ゴール12 (つくる責任使う責任) につながる。(4)SDGsの理念「誰ひとり取り残さない」に関し、社会的包摂につながるインクルーシブ教育として、肢体不自由生徒、視覚に障害のある生徒の学習に資する実験の開発を行う。

3. 研究の方法

- (1) 開発した実験は、現場で導入できるようカリキュラムと関連付けたマニュアルを作成する。
- (2) 実験を現場に導入しやすいよう中高校教員と連携をはかる。
- (3) 現場での試行結果をフィードバックして教材、マニュアルを改良する。
- (4) 合成実験は、できるだけ環境にやさしい方法をとる。

4. 研究成果

- (1) 感染リスクを低減するマイクロスケール実験：2020年からの COVID-19 コロナ感染症の蔓延に際し、感染防止の観点から多くの学校で、化学実験は実施できなくなった。このような事態でも MC によって感染の危険なしで実験することを目的に研究を行い、MC が有効であることを示した。(荻野 和子 ほか)
- (2) マイクロスケール実験によるエネルギーを体感する実験：私たちは「電池と電気分解」の実験を通じて化学、電気、運動等のエネルギーとそれらの相互変換を理解する実験を開発してきたが、さらに新しいトピックスを取り込んだマニュアルを作成した。このような MC は、少量の試薬を用い、廃液も少なく、危険もなく短時間で行えるのが特徴であり、SDGsのゴール6 (安全な水)、7 (エネルギーをクリーンに)、13 (気候変動に具体的対策を)、14 (海の豊かさ)、15 (陸の豊かさ) 等に関係づけた。
- (3) インクルーシブ教育の研究：従来、肢体不自由生徒が所属する特別支援学校における理科の実験は、教師による演示実験や観察を中心とした内容が多かった。稀に生徒実験を行う際には、見えにくさや扱いにくさを解消すべく、大きめの実験器具を使用することが多かった。しかし、肢体不自由生徒にこそ MC が適しているのではないかと考え支援学校における MC 生徒実験の研究を開始し、成果をあげることができた。現在までに中学校理科、高校化学基礎の範囲で「化学変化と熱」、「pH と指示薬」、「化学反応式と量的関係」等いくつかの MC を開発した。通常 MC と異なるのは以下の3点を配慮したことである。①操作の変更：通常の実験操作を必要に応じ変更する。②器具の材質：スポイトなどの実験器具の材

- 質を軟らかく、指などの力が弱くても使いやすいものにする。③情報の整理：情報を整理し、わかりやすくする。また、ワークシートをつくり実験結果を記録しやすくする。(山田一幸、荻野 和子 ほか)
- (4) 日本では色覚特性者は1学級におおよそ1人の割合で在籍しており、インクルーシブ教育の観点から配慮が求められる。代表的な色覚特性者の炎色の見え方を予測し、どのような授業の工夫が妥当か検討した。金属7種類の硝酸塩(硝酸リチウム、硝酸ナトリウム、硝酸カリウム、硝酸カルシウム、硝酸銅、硝酸バリウム、硝酸ストロンチウム)を用い、炎色反応実験の観測を4Kカメラで背景を変えて撮影し記録した。撮影した映像から炎色のRGB値をカラーピックツールで採取し、炎色のRGB値を刺激値XYZに変換し、XY色度図と混同色線を作成し分析を行った。一般色覚者にとってもLiとSr、CaとSrの炎色は見分けにくいことが確かめられた。色覚特性ごとに見分けにくい炎色の組み合わせは存在するが、そのうち背景色を変化させることで見分けやすくなる組み合わせが存在することが判明した。見分けにくい炎色の組み合わせは背景色を変化させることで色覚特性者でも炎色を見分けることが可能になることを示した(渡辺尚 ほか)。これらは、SDGsの重要な理念「社会的包摂」につながるものである。
 - (5) ビュレット、ピペットを使わないマイクロスケールの滴定：電子天秤を利用して溶液の密度を考慮して体積を求める方法を滴定に用いた。ビュレット、ピペットを用いず、溶液濃度を求める方法を考案した。操作が容易で、通常の生徒ばかりではなく、肢体不自由生徒も操作がしやすい。モル法による塩化物イオンの滴定、ヨードメトリーについてこの方法は特に適しており生徒実験でも、ビュレットを使用した場合より、よい結果が得られた。(山田、荻野 和子ほか)
 - (6) 演示実験は、通常大きなスケールで行われることが多い。V. Obendraufは、注射器を活用したマイクロスケール法で、迫力ある演示を行えることを示した。しかし、Obendrauf法はあまり知られていない。香川大学で、水素、酸素、塩素等身近な気体の演示実験を行い、マイクロスケールでも迫力ある演示を行うことができることを示した。
 - (7) 最先端化学の成果を理解しSDGsのゴールの理解につながる教材の一つとして分子レゴの安全な実験教材の開発を行った。有機合成上のビルディングブロックとして、これまでに例のない擬似的な3次元直交型構造を有する(ブロモ)(クロロ)(ヨード)ビベンゾ[b]チオフェン誘導体を合成した。さらにクロスカップリング反応等により、異なる置換基をそれぞれ目的の位置に選択的に導入できることを確認した。また、類縁化合物のX線結晶構造解析により立体構造に関する知見を得た。本研究は、準T字型のベンゾ[b]チオフェンユニットを設計通りの順序で連結していくことができることを示したものであり、「分子レゴ」の概念に合致する。クロスカップリング反応で小さな分子を縦横方向に繋げて、設計通りの大きな分子を組み立てるもので、メチルスルファニル基を有するエチニルベンゾ[b]チオフェンのシリカゲル加熱環化法を検討し、種々の官能基を有する誘導体に対して有効であることを確認した。また、他のアルキルスルファニル基を有する原料との構造活性相関について検討した。さらに本方法で得たジヨードベンゾ[b]チオフェンを小中高生の体験型学習の教材として日本化学会東北支部主催第316回化学への招待「小さな小さな分子レゴ」と題するワークショップを東北大学理学部で開催した。(豊田耕三 ほか)
 - (8) ロタキサンは分子機械を構成する重要な部品の一つである。シクロデキストリン(CDX)に糸通した1,12-ジアミノドデカン(DDC)の両末端に異なるコバルト(III)錯体をもつロタキサンを合成した。合成経路を工夫することによりCDXが正方向および逆方向を向いたトポロジカル異性体を作り分けることに成功した。(荻野博 ほか)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 山田一幸、荻野 和子 | 4. 巻 45,46 |
| 2. 論文標題 肢体不自由のある生徒が安全に操作できるマイクロスケール実験の教材開発と教育実践に関する研究 | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 筑波大学学校教育論集第45巻・第46巻合併号 | 6. 最初と最後の頁 11-21 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 伊藤真人、荻野博、有賀哲也、歌川晶子、下井守、渡部智博 | 4. 巻 71 |
| 2. 論文標題 元素記号を手書きでどう描くか | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 化学と教育 | 6. 最初と最後の頁 552-553 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Kozo Toyota, Hiroki Tanaka, Taisei Hanagasaki | 4. 巻 4 |
| 2. 論文標題 Silica gel-assisted synthesis of benzo[b]thiophenes from o-(alkylsulfanyl)(ethynyl)benzenes | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Results in Chemistry | 6. 最初と最後の頁 1-12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rechem.2022.100487 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 渡辺 尚, 須藤 大貴 | 4. 巻 57 |
| 2. 論文標題 代表的な色覚特性を考慮した炎色反応実験の提唱 ~理科・化学実験のユニバーサルデザイン化~ | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 宮城教育大学紀要 | 6. 最初と最後の頁 173-179 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 荻野和子, 片岡久美子, 猪俣慎二, 生田博将, 高瀬つぎ子, 高木由美子, 高橋智香 | 4. 巻 70 |
| 2. 論文標題 Covid-19蔓延下におけるマイクロスケール実験の有用性 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 化学と教育 | 6. 最初と最後の頁 44-47 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Shinichi Mikami, Akihiro Matsuo, Eunsang Kwon, and Kozo Toyota | 4. 巻 32 |
| 2. 論文標題 Synthesis of 4,7'-Bibenzo[b]thiophenes Bearing Several Different Substituents at 2-,2'-,4'-, and 7-Positions; Structurally Featured Molecular Scaffolds for Selective Substitution | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Synlett | 6. 最初と最後の頁 1826-1832 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0040-1719839 | 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 K. Toyota, S. Mikami | 4. 巻 102 |
| 2. 論文標題 Iodine-containing 4,7-Dihalobenzo[b]thiophene Building Blocks and Related Iodobenzo[b]thiophenes: Promising Molecular Scaffolds for Bio-inspired Molecular Architecture | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Heterocycles | 6. 最初と最後の頁 2063-2098 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3987/REV-20-950 | 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 赤坂颯樹, 門田和雄, 窪田篤人, 池田和正, 渡辺尚 | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 3D プリンタを用いた新しい金属原子模型の教材開発 充填率を実験で求めることが可能になる教材 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 日本理科教育学会第60回東北支部大会論文集 | 6. 最初と最後の頁 49-49 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| 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 小嶋柚香, 勅使瓦洋人, 渡辺尚 | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 授業実践を志向した透明骨格標本における体長と軟骨比率の関係 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 日本理科教育学会第60回東北支部大会論文集 | 6. 最初と最後の頁 34-34 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| 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18件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kazuyuki Yamada, Kumiko Kataoka, Kazuko Ogino |
| 2. 発表標題 New aspects of microscale chemistry: Microscale chemistry for inclusive education |
| 3. 学会等名 27th International Conference on Chemistry Education (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山田一幸, 片岡久美子, 荻野 和子 |
| 2. 発表標題 マイクロスケール実験に基づく簡易ヨードメトリー法の開発: 普通校と特別支援学校の 遠隔合同授業で行った実践事例~ |
| 3. 学会等名 日本化学会第104 春季年会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 川田 茉里奈, 森脇 ゆな, 小野 玲奈, 高橋 智香, 高木 由美子, 荻野 和子 |
| 2. 発表標題 マイクロスケール実験の新しい展開: コロナ後のサイエンス展 |
| 3. 学会等名 日本化学会第104 春季年会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 日本化学会第104 春季年会 |
| 2. 発表標題 マイクロスケール実験の新しい展開: コロナ後の実習授業 |
| 3. 学会等名 日本化学会第104 春季年会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 岸大貴, 稲場達也, 仲山圭太, 豊田耕三 |
| 2. 発表標題 2-(トリイソプロピルシリル)ベンゾ[b]チオフェンの直接ホウ素化反応の検討 |
| 3. 学会等名 第59回有機典型元素化学討論会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 荻野博, 猪俣慎二, 笠井香代子 |
| 2. 発表標題 -シクロデキストリン (CDX) に糸通しした1,12-ジアミノドデカン(don)の両末端に異なるコバルト(III)錯体をもつロタキサンの合成 |
| 3. 学会等名 日本化学会第104 春季年会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Keita Nakayama, Hiroki Kishi, Shinichi Mikami, Hiroki Tanaka, Kazuma Iwai, Hirotaka Mutoh, Kozo Toyota |
| 2. 発表標題 Preparation and Reactions of 4,7- or 2,4,7-Multihalobenzo[b]thiophenes |
| 3. 学会等名 International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山田一幸、荻野 和子 |
| 2. 発表標題 肢体不自由生徒を対象としたマイクロスケール実験; 中学校理科の化学分野で扱う質量測定が関わる実験を行う際の工夫 |
| 3. 学会等名 令和5年度化学系学協会東北大会及び日本化学会東北支部80周年記念国際会議 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 片岡久美子、山田一幸、荻野 和子 |
| 2. 発表標題 マイクロスケール実験による モール法の提案 |
| 3. 学会等名 令和5年度化学系学協会東北大会及び日本化学会東北支部80周年記念国際会議 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kumiko Kataoka, Kazuyuki Yamada, Kazuko Ogino |
| 2. 発表標題 Microscale Experiment for the Mohr method |
| 3. 学会等名 9th Network of Inter-Asian Chemistry Educators Conference 2023 (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 渡辺 尚、荻野 和子、小杉 紘史、北條 大輔、増山 裕子、荻野 博 |
| 2. 発表標題 Chemistry in Context (アメリカ化学会) 第9版に見られる SDGs ~東北化学教育研究会の活動から~ |
| 3. 学会等名 日本化学会 第103回春季年会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山田一幸、荻野 和子 |
| 2. 発表標題 肢体不自由生徒のためのマイクロスケール実験～「化学反応の量的関係」を実験する上での工夫 |
| 3. 学会等名 日本化学会 第103回春季年会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 高木 由美子、森脇 ゆな、高橋 智香、宮花 秀平、清川 真、荻野 和子 |
| 2. 発表標題 マイクロスケール実験の新しい展開：サイエンス展におけるマイクロスケール化 |
| 3. 学会等名 日本化学会 第103回春季年会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 長谷川愛音, 渡辺 尚 |
| 2. 発表標題 プログラミング教材を使った蒸散実験の改良 ~授業における新しい実験の試み~ |
| 3. 学会等名 日本理科教育学会 第61回 東北支部大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 伊藤 陽司, 渡辺尚 |
| 2. 発表標題 銅の酸化率を高めるための中学校理科授業実践 |
| 3. 学会等名 日本理科教育学会 第61回 東北支部大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 庄司 愛美, 渡辺 尚 |
| 2. 発表標題 ペーパークラフトを用いた理科教材開発 その有用性と役割について |
| 3. 学会等名 日本理科教育学会 第61回 東北支部大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山田一幸、荻野 和子 |
| 2. 発表標題 肢体不自由生徒のためのマイクロスケール実験－実験操作と安全性における工夫 |
| 3. 学会等名 令和4年度化学系学協会東北大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山田一幸、荻野 和子 |
| 2. 発表標題 肢体不自由生徒のためのマイクロスケール実験の開発と実践 |
| 3. 学会等名 日本化学会第102春季年会 |
| 4. 発表年 2022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 |
|-------|---|--|----|
| 研究分担者 | 荻野 博 (Ogino Hiroshi) (00004292) | 東北大学・理学研究科・名誉教授 (11301) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|---|--|----|
| 研究分担者 | 渡辺 尚 (Watanabe Naoshi) (20756522) | 宮城教育大学・大学院教育学研究科高度教職実践専攻・教授 (11302) | |
| 研究分担者 | 豊田 耕三 (Toyota Kozo) (50217569) | 東北大学・理学研究科・教授 (11301) | |

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 |
|---------|---------|
| | |