

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：14302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03227

研究課題名（和文）児童生徒参加型の主体的学習を支援するマイクロスケール実験による授業デザインの構築

研究課題名（英文）Construction of Instructional Design for Individual Action of Children and Students Using Microscale Experiments Method

研究代表者

芝原 寛泰（Shibahara, Hiroyasu）

京都教育大学・名誉教授

研究者番号：60144408

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：2020～2022年度において、小中高等学校の理科を対象に教材開発あるいは改良を進め、同時に既存の理科実験の見直しと、個別実験をねらいとしてマイクロスケール化の検討を行った。特に学校現場への普及を念頭におき、できるだけ安価で安全な器具の開発を積極的に行った。学校現場での授業実践は、コロナ禍の影響を受け、十分に当初の目的を達成出来なかったが、「ひらめきときめきサイエンス」を2回実施し、近隣の中・高校生を対象に開発した教材実験を紹介した。研究期間において開発した教材実験は8件で、著書1件（2023年5月25日刊行）、学会発表11件（国際会議1件含む）、論文の公表3件である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マイクロスケール実験は、すでに学習指導要領解説において「廃液量の削減」に有効な実験として推奨されたが、学校現場への普及は十分でなかった。普及にいたらない問題点を洗い出し、教材開発においては、より安価で安全な材料を用いた。また学校現場や実験教室での実践活動、ワークシートや実験動画の公開、さらに詳しい実験方法等を記載した単行本の刊行に向けて取り組んだ。マイクロスケール実験とICT活用にも注目、さらにSDGcの考えも取り入れ、学校現場への普及に取り組んだ。以上より、新しい教材実験の開発、理科授業の改善、児童・生徒らの探究的活動の支援等の観点から、学術的意義及び社会的意義のある研究成果となった。

研究成果の概要（英文）：In the 2020-2022 academic year, we will develop or improve teaching materials for science in elementary, junior high, and high schools. At the same time, we will review existing science experiments and consider micro-scaling with the aim of individual experiments. In particular, keeping in mind the dissemination to school sites, we actively developed equipment that is as inexpensive and safe as possible. Due to the impact of COVID-19, we were not able to fully achieve our initial goals in class practice at schools. We introduced the experiment. During the research period, 8 educational material experiments were developed, including 1 book (published on May 25, 2023), 10 conference presentations (including 1 international conference), and 3 papers and commentary publications.

研究分野：科学教育

キーワード：マイクロスケール実験 科学教育 教材開発 探究活動 理科教育 環境教育

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現行学習指導要領解説(中学校理科 **H20**年、高校理科 **H21**年)において、既に廃液の削減を考慮して、マイクロスケール実験の活用が推奨されているが、まだ十分な周知、普及には至らず、喫緊の課題となっている。申請者は、日本の理科教育における問題点に注目し、解決の一つの手段として、マイクロスケール実験の導入は有効と考えている。すなわち、グループ実験ではなく「個別実験」による児童・生徒の「探究能力の育成」、「考える力の育成」に注目して、これから求められている児童・生徒の「主体的・対話的な深い学び」を支援する有効な実験方法として、マイクロスケール実験の研究を位置づけている(佐藤、芝原、理科教育学研究、**Vol.53, 2012**,同**Vol.57,2016**)。また新たなマイクロスケール実験を含む授業展開を含む授業デザインの提供は、教員の実験指導の経験不足を補い、新学習指導要領(小学校 **R2**年より順次実施)へ円滑に対応するためにも有効である。

日本における理科教育の課題を整理した結果、小学校から高校にいたる学校現場において、マイクロスケール実験の導入は有効と考えた。特に実験・観察における児童・生徒の主体的な学習態度の育成には、個別実験を可能にするマイクロスケール実験は有効な実験方法と考えた。また学習指導要領の改訂と準備時期を控え、その改訂趣旨に沿った実験授業のあり方や普及についても注目した。そのためには、安全で安価な器具の開発、それを使った教材実験の普及が必須の課題である。マイクロスケール実験の学校現場への普及を妨げている要因を探りながら、学校現場の協力の下、有効な教材開発と授業実践による検証が必要である。

2. 研究の目的

マイクロスケール実験による教材実験では、小学校から高校まで、多くの報告がある(荻野ら 化学と教育、マイクロスケール化学実験、日本化学会、**2003**: 中川ら、理科教室、**2006,6**号: 浅原、長南ら、理科教育学会課題研究発表、**2011**: 川本・芝原ら、化学と教育、**54**巻**10**号,**2009**、芝原ら「環境にやさしい理科実験 - マイクロスケール実験」オーム社、**2011**等)。しかし、探究的な過程を重視した授業デザインの開発と、授業実践による学習効果に関する評価については検討すべき課題である。本研究では、マイクロスケール実験により可能となった個別実験を活かして、児童・生徒の主体的な学習を支える授業デザインの構築と実践による検証を特徴とする。「探究能力の充実」、「考える力の育成」に注目し、授業実践を通してその学習効果と実現性を評価・検証する。「考える力の育成」は他教科でも試行されているが、本研究では観察・実験を含む理科の授業に限定して実験教材と授業デザインを開発し、学習効果を検証するものであり、マイクロスケール実験による実験方法の開発と探究的授業デザインの構築も並行して行う点に独創性がある。また実験テーマに関する疑問点や誤概念の調査も行い、児童・生徒の概念形成にも注目する点に、本研究の手法の特徴がある。例えば実感を伴った「理科の有用性の認識」につながる「ダニエル電池の仕組みを考える」の実験テーマでは、原理の理解を助ける電池の作製を行う。一方、呈色板やパックテスト容器等の市販品を応用して、より安価で安全な実験器具による学校現場への普及も図る。

長年の理科教員養成の経験を生かして、主宰する研究会(京都マイクロスケール実験研究会)を活用しながら、小学校から高校の教員による校種を超えた幅広い情報交換をとおして、学校現場への普及を図る点においても、本研究の実践面における特色がある。また日本の教育事情に応じた特色ある教材開発と探究的な授業デザインの構築に取り組む。

3. 研究の方法

現在までの継続的な研究を踏まえ、申請の研究期間(3年)においては、次の5項目を重点的に取り組んだ。マイクロスケール実験の学校現場への普及における問題点を明らかにし、教

材開発と実践活動をベースにして新しい探究的な授業デザインの構築を念頭に行う。

イ) 化学・物理分野の小・中・高校にわたる実験教材の開発を、マイクロスケール実験の特徴を生かしながら、「個別実験」を活用した「探究能力の育成」を念頭におき、発展的かつ継続的に行う。

ロ) 探究的な授業デザインを想定しながら、学校現場において授業ですぐに活用できる、ワークシート付きの実験テキストの作成と配布を行う。

ハ) マイクロスケール実験の教材開発を、より安価で安全な器具を用いて行う。マイクロスケール実験による個別実験を実施するためには、多数の器具の準備と初期投資が必要であるが、例えば従来のセルプレートに替わる、非常に安価で安全な呈色板（呈色反応皿）の理科実験への活用（佐藤、芝原、理科教育学研究,Vol.57,No.2,2016）をさらに推進する。

ニ) 実験上の危険性（爆発、薬品による腐食）について再認識させるため、マイクロスケール実験の実施上の安全対策（保護メガネの着用・安全な実験操作の事前説明等）を指導する。

ホ) 学会発表（日本理科教育学会、日本科学教育学会、日本化学会、化学教育関係の国際会議）を積極的に行い、前述の研究会による活動、ホームページからの紹介、また体験講座（ひらめき ときめきサイエンスなど）による、研究成果の社会への発信・還元にも力を入れる。

以上より、3年の研究期間では、過去15年間の研究の継続性を踏まえ、探究的授業デザインの構築を念頭に教材開発と授業実践等を通して、マイクロスケール実験の学校現場への普及を推進する。

4. 研究成果

2020年度～2022年度において、小中高等学校の理科を対象に教材開発あるいは改良を進め、同時に既存の理科実験の見直しと、個別実験をねらいとしてマイクロスケール化の検討を行った。研究期間においては、特に学校現場への普及を念頭におき、できるだけ安価で安全な器具の開発を積極的に行った。

学校現場での授業実践は、コロナ禍の影響を受け、十分に当初の目的を達成出来なかったが、四天王寺大学で2回実施された「ひらめき ときめきサイエンス」に特別講師として参加し、近隣の中・高校生を対象に開発した教材実験を紹介した。

開発したマイクロスケール実験による教材実験の一部を次に示す。図1は micro:bit と温度センサーを用いた中和反応における温度変化の測定、図2は小型備長炭電池の電圧変化を micro:bit により測定している様子を示す。

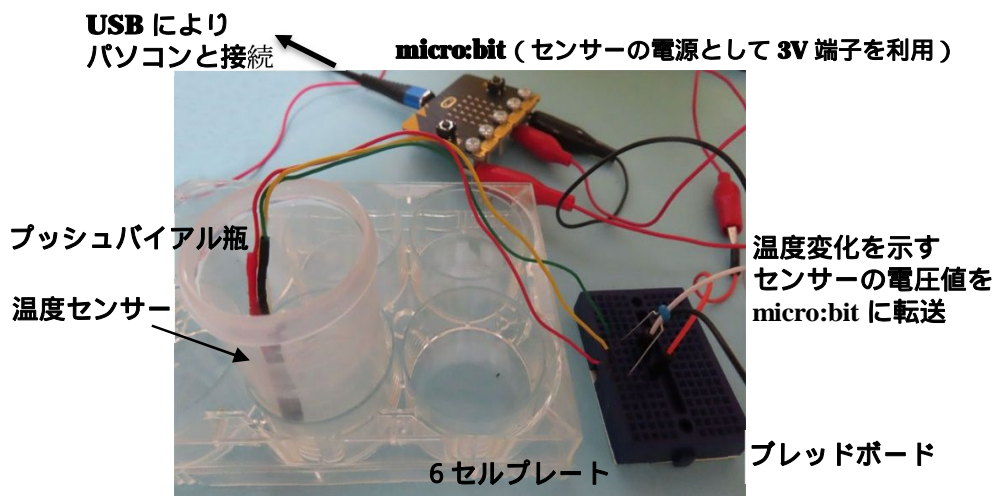


図1 中和反応における温度変化の測定

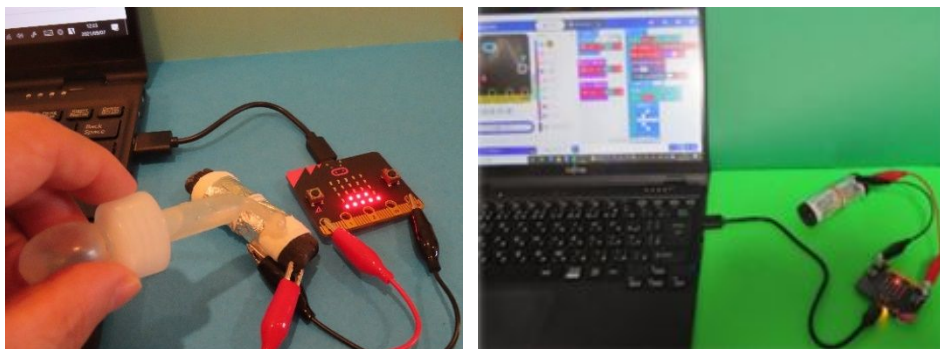


図2 小型備長炭電池の**micro:bit**による起電力の測定

(1) 2020年度は研究期間初年度として、研究目的である「児童生徒参加型の主体的学習を支援するマイクロスケール実験による授業デザインの構築」に向けて、教材開発と実践活動を中心に取り組み、学会発表、論文その他の公表も継続的に行った。2020年度は、小・中学校の次期学習指導要領の改訂の主旨を踏まえて、児童・生徒が主体的に関わることを通して、実感を伴った理解を助ける教材開発と実践的検証を行った。具体例として、「マイクロスケール実験とプログラミング教育の連携」について取り組んだ。

新学習指導要領の実施に伴い、プログラミング学習が必修化されるが、その学習成果を理科教育に応用することにより、プログラミング学習の定着化、および学習の有用性を実感する教材が必要と判断した。マイクロスケール実験は小型の器具を用いること、また個別実験で実施できることに特徴があるが、一方、プログラミング学習も個別による実施が基本であり、この点、両者の連携も円滑に進められると判断した。具体的には、小学校4年理科の単元「電気の通り道」および中学校3年理科「イオンの性質」を対象に、プログラミング教材の一つで汎用性の高い「**micro:bit**」を用いた教材開発を行った。マイクロスケール実験で行っていた今までの教材実験に、**micro:bit**を活用して、実験結果を視覚的に記録することができる。プログラミング学習を理科実験に応用することにより、両者の学習の知識を定着させることも狙いである。研究結果は主に理科教育学会において、課題研究発表会等の発表を行った。研究期間において開発した教材実験は3件である。令和2年度は、学会のリモート開催あるいは誌上発表にとどまった。また開発した教材の実践的検証をほとんど進めることができなかった。

(2) 2021年度は研究期間3年の中間年度として教材開発と実践活動を中心に取り組み、学会発表、論文その他の公表も継続的に行った。2021年度は、小・中学校の新学習指導要領の改訂に伴う新教科書の内容と実施状況を踏まえ、マイクロスケール実験の普及に向けて教材実験テーマの設定を行い、教材開発に取り組んだ。特に、小中学校におけるプログラミング教育の本格的実施を踏まえ「マイクロスケール実験とプログラミング教育の連携」を中心に取り組んだ。このテーマは前年度にも取り組んだが、さらにテーマを拡張して、小学校理科にとどまらず、中学校理科さらに高校化学への発展的に活用できる実験テーマを選んだ。具体的には、「ダニエル電池の起電力変化の**micro:bit**による測定」「小型温度センサーの開発と溶解熱および中和熱による温度変化の測定」等が主な実験テーマである。いずれもマイクロスケール実験の特徴である個別実験と探究的活動を生かすための様々な工夫を行った。マイクロスケール実験の以前からの課題である「定量的測定」に対する解決の目処がたち、大きな前進となった。

研究結果は主に理科教育学会において課題研究発表会等の発表を行った。また英国で開催された「**Microscale and Small Scale Innovation Practical Chemistry in Education**」において、ポスター発表(リモート参加)も行った。また前年度からの研究テーマの継続として「気

体実験のマイクロスケール実験による教材化」については、その成果を発表した。研究期間において開発した教材実験は3件である。2021年度は、開発した教材の実践的検証を十分に進めることができなかったが、「ひらめき ときめきサイエンス」にて特別講師として参加し、開発教材の実践的活用を一部、行うことができた。

(3) 2022年度は研究期間3年の最終年度として、研究目的である「児童生徒参加型の主体的学習を支援するマイクロスケール実験による授業デザインの構築」に向けて、教材開発と実践活動に取り組みながら、研究成果の集大成として、単行本の形で出版すべく準備を進めた。また学会発表、論文その他の公表も継続的に行った。2022度の小・中学校の新学習指導要領の改訂に伴う新教科書の内容と実施状況を踏まえ、マイクロスケール実験の普及に向けて教材実験テーマの設定を行い、教材開発に取り組んだ。さらに、2023年4月には新学習指導要領の改訂に伴う「高校化学」による授業も開始されることも踏まえ、高校化学におけるマイクロスケール実験による教材開発にも着手した。

具体的には、小中学校におけるプログラミング教育の本格的実施を踏まえ「マイクロスケール実験とプログラミング教育の連携」を念頭に取り組んだ。前年度にも取り組んだテーマであるが、さらにテーマを拡張して、小学校理科・中学校理科にとどまらず、高校化学へ発展的に活用できる実験テーマを選び開発した。例えば、「備長炭電池の性能をmicro:bitで測定する」「空気Mg電池を応用した酸素センサーの開発とmicro:bitによる性能測定」等が主な実験テーマである。いずれもマイクロスケール実験の特徴である個別実験と探究的活動を生かすための様々な工夫を行った。プログラミング教育との連携だけでなく、マイクロスケール実験の課題である「定量的測定」に対する解決の目処がたち、大きな前進となった。研究結果は理科教育学会で課題研究発表会等の発表(3件)を行った。研究期間において開発した教材実験は4件である。2022度は、コロナ禍の下、開発した教材の実践的検証を十分に進めることができなかったが、「ひらめき ときめきサイエンス」にて特別講師として参加し、開発教材の実践的活用と検証を行うことができた。

以上より研究期間において開発した教材実験は高校理科 5 件、中学校理科 1 件、小学校理科 1 件で、また著書 1 件(2023年5月25日刊行)、学会発表 11 件、論文の公表 3 件である。また、四天王寺大学(大阪府)で実施された「ひらめき ときめきサイエンス」では、外部講師として参加し開発した教材を用いた体験授業を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 芝原 寛泰, 佐藤 美子	4. 巻 23
2. 論文標題 小型温度センサーと micro:bit による温度測定の教材実験 - マイクロスケール実験とプログラミング教育の連携を目指して -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 フォーラム理科教育	6. 最初と最後の頁 11-16
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 芝原寛泰	4. 巻 22
2. 論文標題 「ひらめき ときめきサイエンス」の実施を通じた研究成果の社会的還元事業の活用について	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 フォーラム理科教育	6. 最初と最後の頁 66-71
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 芝原寛泰, 佐藤美子	4. 巻 2
2. 論文標題 マイクロスケール実験によるダニエル電池の教材開発と探究的授業デザインの構築 新学習指導要領による中学校理科への導入に向けて	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 京都教育大学 教職キャリア高度化センター教育実践研究紀要	6. 最初と最後の頁 95-104
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11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Y. Satoh and H. Shibahara
2. 発表標題 Construction of Exploratory Lesson Design and Teaching Materials Development of Daniell cell by Microscale Experiment
3. 学会等名 The Royal Society of Chemistry Secondary and Further Interest Group (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芝原寛泰
2. 発表標題 マイクロスケール実験の普及に向けての様々な取組み—新しい教材開発から実践活動まで—(課題研究発表会 趣旨説明)
3. 学会等名 日本理科教育学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芝原寛泰, 佐藤美子
2. 発表標題 マイクロスケール実験とプログラミング教育への応用() micro:bitによる温度と電気伝導性の連続測定
3. 学会等名 日本理科教育学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤美子, 芝原寛泰
2. 発表標題 身近な材料とミニ試験管を活用したマイクロスケール実験による気体発生実験
3. 学会等名 日本理科教育学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芝原寛泰
2. 発表標題 マイクロスケール実験の他分野・他教科への実践的応用 - 個別実験と探究活動の特徴を生かして - (趣旨説明)
3. 学会等名 日本理科教育学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤美子、芝原寛泰
2. 発表標題 マイクロスケール実験のプログラミング教育への応用 - micro:bitとmicrocodeを用いた導通テスト実験の教材化 -
3. 学会等名 日本理科教育学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 芝原寛泰, 佐藤美子
2. 発表標題 ミニ試験管によるマイクロスケール実験の気体の発生と性質 - 個別実験による探究活動を目指して -
3. 学会等名 日本理科教育学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤美子、芝原寛泰
2. 発表標題 マイクロスケール実験のプログラミング教育への応用(II) micro:bitによる電解質水溶液の電気伝導度の記録
3. 学会等名 日本理科教育学会近畿支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 芝原寛泰, 佐藤美子
2. 発表標題 マイクロスケール実験のプログラミング教育への応用 (V) - 空気Mg 電池による酸素の変化量の測定 -
3. 学会等名 日本理科教育学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 芝原寛泰
2. 発表標題 マイクロスケール実験の普及に向けての実践的活用例 - 新しい教材開発から実践活動まで - (課題研究発表会 趣旨説明)
3. 学会等名 日本理科教育学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤美子、芝原寛泰
2. 発表標題 マグネシウム金属を活用した金属のイオンのなりやすさを実感するマイクロスケール実験
3. 学会等名 日本理科教育学会近畿支部大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 芝原寛泰 (編著), 佐藤美子, 柴辻優俊, 齋藤弘一郎, 谷崎雄一, 坂東 舞, 田中雄貴, 中神岳司, 中野源大, 沼口和彦 (著)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 電気書院	5. 総ページ数 199
3. 書名 授業で使えるマイクロスケール実験	

〔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
---------	---------