

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：34510

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2023

課題番号：17K00991

研究課題名(和文) 生徒主体型学習に有用なマイクロスケール実験教材の開発と改良

研究課題名(英文) Development and improvement of useful teaching materials on microscale experiments for student-oriented learning

研究代表者

中川 徹夫 (Nakagawa, Tetsuo)

神戸女学院大学・人間科学部・教授

研究者番号：70312866

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、生徒主体型学習に有用なマイクロスケール実験教材の開発と改良を実施した。具体的には、水溶液の酸性・中性・アルカリ性の識別、固体や水溶液の電気伝導性、水溶液と金属の反応、マレイン酸とフマル酸の共通点と相違点、弱酸の塩と強酸の反応等に目し、これらの内容に関するマイクロスケール実験教材に注目した。その際、廃プラスチックであるペットボトルのキャップから作成した手作りウエルプレート作製し、試験管の代用とした。2020年からは新型コロナウイルスの感染拡大が深刻化し、通常の実験が困難となった。今回開発・改良した実験教材は遠隔のオンライン授業でも使用可能であり、それらの有用性が認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

第一に、マイクロスケール実験の普及活動に力点を置くことにより、多忙な学校現場における実験の負担を軽減できる。児童・生徒・学生は実験を通して、自然現象を深く理解し、理科に対する興味・関心を向上させることができる。

第二に、生徒主体型学習を考慮したマイクロスケール実験教材の新規開発・改良や具体的な指導法にの検討により、児童・生徒・学生の主体的に学習する能力が期待できる。マイクロスケール実験には、個々の児童・生徒・学生の取り組みが可能であるうえ、試薬・経費の節減や実験時間の短縮などの長所がある。それゆえ、限られた実験経費や授業時間で生徒主体型学習を実践する際に、極めて有用である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed and improved useful teaching materials on microscale experiments for student-oriented learning. Specifically, we focused on the identification of acidity, neutrality, and alkalinity of aqueous solutions; electrical conductivity of solids and aqueous solutions; reactions between aqueous solutions and metals; similarities and differences between maleic acid and fumaric acids; and reactions between weak acid salts and strong acids, and focused on micro-scale experimental materials related to these topics. The spread of the new coronavirus has become more serious since 2020, making it difficult to conduct normal experiments. The experimental materials developed and improved this time can be used in remote online classes, and their usefulness was recognized.

研究分野：理科教育

キーワード：マイクロスケール実験 理科教育 化学教育 生徒主体型学習 教材開発 教材改良 ペットボトルのキャップ 手作りウエルプレート

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 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 通常実験の規模を縮小させたマイクロスケール実験 (MSE) に関して、これまでに多くの研究が行われてきた。中川は、これまでに理科教育における MSE の重要性に着目し、主として中川が研究代表者として採択された科研費により MSE に関する教材開発・改良やオープンスクール模擬授業や学校訪問授業を通じた MSE の普及・啓発活動に取り組んできた (16500539/2004-2005 年度、18500650/2006-2007 年度、20500748/2008-2011 年度、24501072/2012-2018 年度、いずれも研究課題・領域番号/研究期間を示す)。

(2) 小学校・中学校・高等学校・大学等の学校現場では、アクティブラーニングや反転学習などのいわゆる生徒主体型学習が重視され、その際、個々の児童・生徒・学生 (以下、生徒と記す) が取り組むことの可能な MSE の導入は極めて有用であると推察される。しかし MSE は、わが国の学校現場へは十分に普及しておらず、生徒主体型学習における MSE についても、ほとんど検討されていないのが現状である。

(3) MSE で使用するプラスチック製のウェルプレート (セルプレート、マルチプレート、組織培養用プレート) は、単価が 200-500 円と安価でないため、学校現場の予算のみでは購入するのが困難な場合も考えられる。そこで、MSE を普及させるには、ウェルプレートに代わる MSE 器具について検討する必要がある。

2. 研究の目的

(1) ウェルプレートに代わる MSE 器具を考案し、これを使用した MSE 教材を開発・改良する。その際、MSE の少量の試薬で実行可能という特徴に加え、制作費が安価でかつ生徒や教師にとって操作が容易であることも十分考慮する。

(2) 今回開発・改良した MSE 教材を用いた生徒主体型学習の指導法を確立し、勤務校における授業、模擬授業や訪問授業等で活用する。これらの教育実践を通して、教材としての有用性について検討する。

3. 研究の方法

(1) MSE 関係の情報検索を、Google Scholar などの検索エンジンや国内外の化学教育、理科教育関係の学術雑誌により実施し、研究に必要な資料を入手した。また、日本化学会や日本理科教育学会をはじめとする学会の年会や支部大会、さらに、Network for Inter-Asian Chemistry Educators、IUPAC International Conference on Chemistry Education や International Chemical Congress of Pacific Basin Societies などの国際会議にも積極的に参加し、MSE に関連した情報を収集して、研究の動向を把握した。

(2) 制作費が安価で、かつ生徒や教師にとって操作が容易な MSE 器具の開発を試みた。その結果、プラスチック製のペットボトルのキャップが有用であることが判明した。ただし、ペットボトルのキャップ単独では実験時の取り扱いが困難である。当初は不要となった市販のヨーグルト容器の上蓋を、ペットボトルのキャップ配置用の容器として利用した¹⁾。しかし、使用できる上蓋は特定のメーカー製のものに限定され、収容数も 6 個に限定されるため、実験内容にも制限される。

(3) 白板紙 (白色の厚紙) に印刷した展開図を組み立て実験容器とし、ペットボトルのキャップを配置して「安価な手作りウェルプレート」¹⁻²⁾を作製した。その後、実験時の便宜を図り、容器の展開図を一部改訂した²⁻³⁾。現在は、この改訂版の展開図を組み立てペットボトルのキャップを配置した「安価な手作りウェルプレート (改訂版)」を使用している。

(4) これまでに我々が開発・改良した MSE 教材のうち、ウェルプレートを実験器具として使用したものに着目し、今回提案した「安価な手作りプレート (改訂版)」を使用して実施した教材の改良を試みた。さらに、今回この手作りプレートを使用して、新規の教材⁴⁻⁶⁾も開発した。

(5) 中和反応による水溶液の体積増加に関して理論的に考察した⁷⁻⁸⁾。既存のデータブック⁹⁾を用いた考察で、生徒主体型学習を実行する際にも活用できる。

(6) 研究協力者の大西¹⁰⁾、平井・岡原¹¹⁻¹²⁾や、研究代表者の中川¹³⁾より、高等学校現場において MSE 教材を導入した生徒主体型学習型の授業実践を実施した。

4. 研究成果（主として代表的な研究成果を示す。これ以外の研究成果については、本報告書に掲載された「主な発表論文」を参照されたい）

(1) 小学校・中学校・高等学校・大学と、幅広い校種で活用できる「安価な手作りウェルプレート」¹⁻²⁾および「安価な手作りウェルプレート（改訂版）」²⁻³⁾を開発した。後者の容器の展開図の一例として、2行3列型を図1に示す。

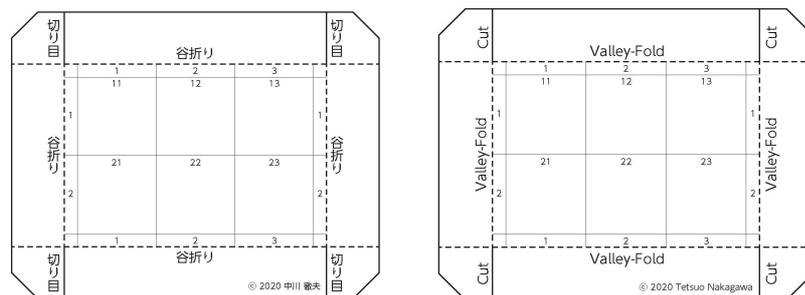


図1 安価な手作り6ウェルプレート（改訂版）実験容器の展開図（2行3列型）
（左）日本語版 （右）英語版

正方形上部に記された数字（11、22、13など）は、場所を表す。例えば、12は1行2列目を意味する。これ以外に、2ウェル（1行2列型）、3ウェル（1行3列型）、4ウェル（1行4列型、2行2列型）、8ウェル（2行4列型）、9ウェル（3行3列型）、12ウェル（3行4列型）の展開図も作成した。展開図の描かれた白板紙に切り目、折り目（谷折り）を入れ、四隅をゼムクリップで固定した。その後、正方形内にペットボトルのキャップを配置して、「安価な手作りプレート（改訂版）」²⁻³⁾を完成させた。

必要経費は実験容器展開図の印刷代のみで、1枚あたりの価格は市販のウェルプレートの価格の1/10以下と安価である。キャップも実験容器も次回の実験時に再利用可能であるため、経済的である。また、廃棄物の再利用の観点から、SDGs達成にも貢献できる。

(2) 「安価な手作りウェルプレート（改訂版）」を使用して、マレイン酸、フマル酸およびコハク酸の共通点と相違点を理解するためのMSE教材を開発した⁹⁾。これまで高校で実施されてきた授業形態が、今回のコロナ禍で一変した。危機管理レベルが高い場合は、生徒を登校させずにZoomなどの遠隔会議システムソフトを利用した遠隔授業が行われた。また、危機管理レベルが下がっても感染拡大防止のため、授業前後の消毒の徹底、十分に距離をあけた着席、教材・教具の共有禁止など、多くの制限が設けられた。

高校化学の授業では、生徒実験が重視される。しかし、従来のように班毎の実施は困難である。そこで、遠隔授業や制限の多い対面授業でも活用できるようなMSE教材について検討した。まず、教材・教具の共有禁止対策として、これまで班内で共用していた試薬や器具の一部を、すべて個別使用に切り替えた。試薬を小容器に小分けし、これらと薬さじやピンセット、スポイト等の器具（手作りウェルプレート以外）をチャック付きビニール袋に入れ、MSE用個別実験セットを準備した。つぎに、実験時の誤操作を避けるため、試薬ごとに専用の小薬さじを準備した。そして、試薬小容器の上蓋と薬さじの柄に、試薬ごとに決めた色でマークした（図2参照）。以上のようなマイクロスケール実験用個別実験セットの事前準備により、宅配便での送付が可能となり、授業実践校における事前の試薬調製や器具の準備なども不要となった。

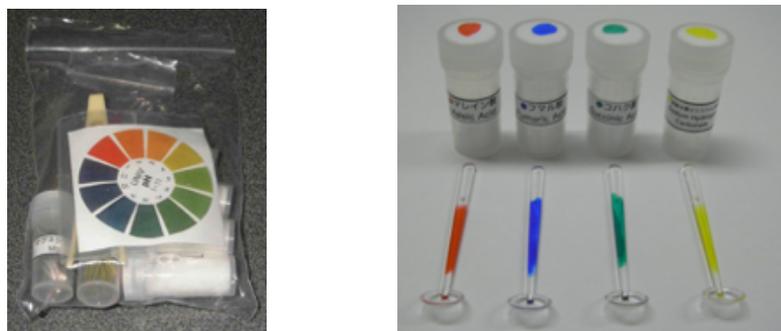


図3 マイクロスケール実験用個別実験セット（左）と小分けした試薬・薬さじ（右）

実験内容は、以下の通りであった。① マレイン酸、フマル酸、コハク酸の水に対する溶解度の相違（マレイン酸 > コハク酸 > フマル酸）とその原因について理解する。② カルボン酸と

炭酸水素ナトリウムの反応（カルボン酸のナトリウム塩、二酸化炭素と水の生成）について理解する。③ カルボン酸とマグネシウムの反応（カルボン酸のマグネシウム塩と水素の生成）について理解する。④ カルボン酸と水酸化ナトリウムの反応（カルボン酸のナトリウム塩と水の生成）について理解する。

(3) 「安価な手作りウェルプレート（改訂版）」を用いた、マレイン酸、フマル酸およびコハク酸の共通点と相違点を理解するための MSE 教材を用いた授業実践を実施した¹³⁾。

2022年2月2日に、兵庫県立神戸高等学校の1年生36名を対象としたSSH特別講義を実施した。新型コロナウイルス感染者が急増したため急遽 Zoom による遠隔形式に変更した。実験容器用白板紙（図1）は、折り目（谷折り）、切り目を入れ、すぐに使用できるようにした。そして、図2に示すマイクロスケール実験用個別実験セットとともに、事前に高校へ送付した。黒色（または群青）キャップは、ストックしておくように生徒に周知し、当日持参させた。打ち合わせはすべてEメールで実施し、実験シートなどは添付ファイルで送信した。Zoomを使用するため、3日前に接続テストを行い、当日の授業はパワーポイントの画面共有により実施した。

生徒は有機化学を未履修なため、カルボン酸やシス-トランス異性体について簡単に触れた後、手順に従い、終始個別で実験に取り組ませた。実験時には安全メガネを着用させ、試薬・器具の共用を避けた。実験前後の手のアルコール消毒も徹底した。

マレイン酸が極性分子でフマル酸が無極性分子である理由やあるいはマレイン酸から無水マレイン酸が生成する際のしくみなどを理解させるため、マイクロスケール実験に分子構造模型の組立実習も併用した。授業で個人用タブレットが導入されていなかったため、化学実験室に大型のディスプレイを用意した。

授業後の生徒の感想「マレイン酸、フマル酸、コハク酸のマイクロスケール実験で、水への溶解度の違いの原因である極性分子か無極性分子かをモデルを使って説明され、わかりやすかった」、「とても楽しかったです。厚紙やペットボトルのふたを使った実験は手軽にできるなど感じたので、自分の家でも実験ができるようになるのかと楽しみにになりました」「普段の実験では、高価な実験器具ばかりを使っていましたが、今日の実験は手軽に楽しめてとてもよかったです」などからも、授業実践の成果が認められた。

(4) 「安価な手作りウェルプレート（改訂版）」を用いた、アルカリ土類金属塩の沈殿生成反応に関する MSE 教材を開発した⁶⁾。

高等学校化学の授業では、化学変化に伴うエンタルピー変化 ΔH やエントロピー変化 ΔS について指導される。これに加えてギブズエネルギー変化 ΔG を導入すれば、化学変化の自発性に関する知見が得られ有用である。本研究では、化学反応が迅速に生じるアルカリ土類金属塩（ MgCO_3 、 CaCO_3 、 SrCO_3 、 MgSO_4 、 CaSO_4 および SrSO_4 ）の沈殿生成反応に注目した。

まず、ハンドブック⁹⁾を用いて、 10^5 Pa 、 298.15 K における水溶液中での塩生成に伴う ΔH 、 ΔG および ΔS を算出した。 MgSO_4 を除き ΔG の値は全て負であった。続いて安価な手作りウェルプレート²⁻³⁾を用いてこれらの塩の沈殿生成に関するマイクロスケール実験を実施した。 MgSO_4 以外はすべて白色沈殿が生成し、負の ΔG の値との整合性が認められた。

(5) 中和反応による水溶液の体積増加に関して理論的に考察し、塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和反応に応用した⁷⁻⁸⁾。

中和反応の最も単純な例として、1価の酸水溶液と1価の塩基水溶液を混合した場合に生じる水溶液の体積増加を推算する方法を理論的に誘導した。そして、この方法により、常温、 20°C において中和反応が過不足なく起こる等モル濃度で等体積の塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の混合に適用し、体積増加 ΔV を推算した。計算に必要なデータはハンドブック⁹⁾より引用した。計算結果の一例を図4に示す。いずれの場合も、顕著な ΔV が認められた。生徒主体型学習を実行する際の活用が期待できる。

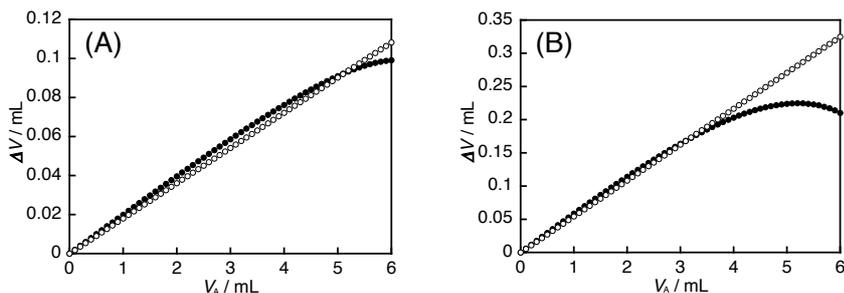


図4 モル濃度一定の塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和反応に伴う体積増加 ΔV
(A) 塩酸の濃度：1.00 mol/L (B) 塩酸の濃度：3.00 mol/L、混合前の体積の和は8.00 mL
 V_A ：塩酸の体積、●：体積増加 ΔV 、○：生成した水の物質量を体積に換算した値

<引用文献>

- 1) 中川徹夫, ペットボトルのキャップと白板紙製容器を用いたマイクロスケール実験の提案, 神戸女学院大学教職センター研究紀要, **3**(2), 1-9 (2000).
- 2) T. Nakagawa, Low-cost handmade well plates for microscale experiments, *School Science Review*, **103**(382), 23-26 (2021).
- 3) 中川徹夫, ペットボトルのキャップと白板紙製容器で作製したマイクロスケール実験用改訂版ウェルプレート, 神戸女学院大学論集, **68**(2), 45-59 (2021).
- 4) 中川徹夫, 安価な手作りウェルプレートを用いたマイクロスケール実験教材の開発 (1): 重曹 (炭酸ナトリウム) やヨウ素の化学反応, 神戸女学院大学論集, **69**(2), 37-48 (2022).
- 5) 中川徹夫, 高等学校化学におけるマレイン酸とフマル酸の物性や反応性に関する指導内容の検討 (2): マイクロスケール実験の導入, 日本教科教育学会第 47 回全国大会 (大阪大会), (2021).
- 6) 中川徹夫, 安価な手作りウェルプレートを用いたアルカリ土類金属塩の沈殿生成反応に関するマイクロスケール実験, 日本化学会第 104 春季年会, (2024).
- 7) 中川徹夫, 高等学校「化学基礎」における中和反応による水溶液の体積増加に関する理論的考察 (1): 推算方法の誘導と等モル濃度・等体積の塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の混合への適用, 神戸女学院大学論集, **67**(2), 65-76 (2020).
- 8) 中川徹夫, 高等学校「化学基礎」における中和反応による水溶液の体積増加に関する理論的考察 (2): 中和反応前の体積の和が 8.00 mL の条件下での塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の混合, **70**(1), 53-63 (2023).
- 9) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 100th Edition, CRC Press, Boca Raton, 2019.
- 10) 大西伸弥, 中川徹夫, 高等学校生物におけるマイクロスケール実験の実践, 神戸女学院大学教職センター研究紀要, **4**, 35-44 (2021).
- 11) 平井俊男, 中川徹夫, 高等学校における生徒主体型学習による「化学反応の量的関係」のマイクロスケール実験の開発 I, 神戸女学院大学教職センター研究紀要, **4**, 17-25 (2021).
- 12) 平井俊男, 岡原正直, 中川徹夫 他 5 名, 高等学校における生徒主体型学習による「化学反応の量的関係」のマイクロスケール実験の開発 III, 神戸女学院大学教職センター研究紀要, **5**, 21-33 (2023).
- 13) 中川徹夫, マイクロスケール実験用手作りウェルプレートを用いたマレイン酸、フマル酸およびコハク酸の共通点と相違点に関する授業実践, 日本化学会第 103 春季年会, (2023).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 21件）

1. 著者名 中川徹夫	4. 巻 71(1)
2. 論文標題 ブテン異性化反応の特性に関する検討：エンタルピー変化、ギブズエネルギー変化、エントロピー変化および平衡定数の推算	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 神戸女学院大学論集	6. 最初と最後の頁 41-52
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 中川徹夫	4. 巻 6
2. 論文標題 安価な手作りウェルプレートを用いたマイクロスケール実験教材の開発(2)：マグネシウムと酸の反応と水溶液の酸性、中性、塩基性の識別	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 49-60
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 平井俊男、浅井一慶、林山智信、半下石颯太、檜山陸斗、板倉正直、柏本涼太、中川徹夫	4. 巻 6
2. 論文標題 高等学校における生徒主体型学習による「化学反応の量的関係」のマイクロスケール実験の開発Ⅳ：天秤の較正	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 35-47
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 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 中川徹夫	4. 巻 70(1)
2. 論文標題 高等学校「化学基礎」における中和反応による水溶液の体積増加に関する理論的考察(2)：中和反応前の体積の和が8.00 mLの条件下での塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の混合	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 神戸女学院大学論集	6. 最初と最後の頁 53-63
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 平井俊男、青田鏡広、是澤日向、山崎海空、板倉将志、浅井一慶、岡原正直、中川徹夫	4. 巻 5
2. 論文標題 高等学校における生徒主体型学習による「化学反応の量的関係」のマイクロスケール実験の開発III	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 21-33
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 中川徹夫	4. 巻 69(2)
2. 論文標題 安価な手作りウェルプレートを用いたマイクロスケール実験教材の開発 (1): 重曹 (炭酸水素ナトリウム) やヨウ素の化学反応	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 神戸女学院大学論集	6. 最初と最後の頁 37-48
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 Tetsuo Nakagawa	4. 巻 103(382)
2. 論文標題 Low-cost handmade well plates for microscale experiments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 School Science Review	6. 最初と最後の頁 23-26
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 中川徹夫	4. 巻 68(2)
2. 論文標題 ペットボトルのキャップと白板紙製容器で作製したマイクロスケール実験用改訂版手作りウェルプレート	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 神戸女学院大学論集	6. 最初と最後の頁 45-59
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 中川徹夫	4. 巻 67(2)
2. 論文標題 高等学校「化学基礎」における中和反応による水溶液の体積増加に関する理論的考察 (1)：推算方法の誘導と等モル濃度・等体積の塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の混合への適用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 神戸女学院大学論集	6. 最初と最後の頁 65-76
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 平井俊男、中川徹夫	4. 巻 4
2. 論文標題 高等学校における生徒主体型学習による「化学反応の量的関係」のマイクロスケール実験の開発I	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 17-25
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 平井俊男、青田鏡広、豊島瑠菜、西川輝、中山頼子、中川徹夫	4. 巻 4
2. 論文標題 高等学校における生徒主体型学習による「化学反応の量的関係」のマイクロスケール実験の開発II	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 27-34
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 大西伸弥、中川徹夫	4. 巻 4
2. 論文標題 高等学校生物におけるマイクロスケール実験の実践：酵素反応への適用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 35-44
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 中川徹夫	4. 巻 66(1)
2. 論文標題 二成分系溶液の組成とそれらの相互変換式に関する再検討 (1): 濃度, コンセント, 分率, および比の相互変換	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 神戸女学院大学論集	6. 最初と最後の頁 1-13
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 中川徹夫	4. 巻 66(2)
2. 論文標題 二成分系溶液の組成とそれらの相互変換式に関する再検討 (2): 濃度-コンセントおよび濃度-分率の相互変換	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 神戸女学院大学論集	6. 最初と最後の頁 51-62
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 中川徹夫	4. 巻 3(2)
2. 論文標題 二成分系溶液とそれらの相互変換式に関する再検討 (3) 濃度-比の相互変換	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 23-31
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 中川徹夫	4. 巻 3(2)
2. 論文標題 ペットボトルのキャップと白板紙製容器を用いたマイクロスケール実験の提案	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 1-9
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 Tetsuo Nakagawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Micro-scale Experiment on Electrical Conductivities of Some Solids and Their Aqueous Solutions using Plastic Bottle Caps and Cardboard Container	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 8th International Conference on Network for Inter-Asian Chemistry Educators	6. 最初と最後の頁 88-89
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 中川徹夫	4. 巻 2(1)
2. 論文標題 種々のマイクロスケール実験の教材開発と授業実践 (1) : 科研費による14年間の継続した取り組み	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 15-24
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 中川徹夫	4. 巻 65(2)
2. 論文標題 高等学校化学基礎「酸と塩基」におけるマイクロスケール実験教材の改良と授業実践：巨峰の果皮とマロウブルーを使用して	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 神戸女学院大学論集	6. 最初と最後の頁 41-50
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 中川徹夫	4. 巻 2(2)
2. 論文標題 種々のマイクロスケール実験の教材開発と授業実践(2) : 科研費による14年間の継続した取り組みと科研費研究通信	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 45-56
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 中川徹夫	4. 巻 64-2
2. 論文標題 酢酸およびアンモニアの電離平衡の移動に関するマイクロスケール実験で使用する酸塩基指示薬の濃度に関する考察：メチルオレンジ水溶液およびフェノールフタレイン溶液の有効濃度	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 神戸女学院大学論集	6. 最初と最後の頁 47-55
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 中澤克行、中川徹夫	4. 巻 2-2
2. 論文標題 2018年度に神戸女学院大学で開催した高等学校理科教員による理科教職講演会 (1) : 教職実践演習の授業の一環として	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 1-6
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 宮田理恵、中川徹夫	4. 巻 2-2
2. 論文標題 2018年度に神戸女学院大学で開催した高等学校理科教員による理科教職講演会 (2) : 教職実践演習の授業の一環として	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 7-13
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 中川徹夫	4. 巻 1-2
2. 論文標題 小学校理科「水溶液の酸性、中性、アルカリ性の識別」に関するマイクロスケール実験教材の改良と授業実践：ブドウ果皮と6穴ウェルプレートを使用して	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 神戸女学院大学教職センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 79-88
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 中川徹夫	4. 巻 69-2
2. 論文標題 安価な手作りウェルプレートを用いたマイクロスケール実験教材の開発 (1): 重曹 (炭酸水素ナトリウム) やヨウ素の化学反応	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 神戸女学院大学論集	6. 最初と最後の頁 37-48
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 -

〔学会発表〕 計41件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 高等学校化学に反応ギブズエネルギーと平衡定数を導入する試み: アルカリ土類金属硫酸塩の溶解と析出
3. 学会等名 日本理科教育学会オンライン全国大会 (Zoom)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 安価な手作りウェルプレートを用いたアルカリ土類金属塩の沈殿生成反応に関するマイクロスケール実験
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 中川徹夫
2. 発表標題 高等学校化学における反応エンタルピーと反応ギブズエネルギーの指導内容の検討
3. 学会等名 日本教科教育学会第49回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 高等学校「化学基礎」における中和反応による水溶液の体積増加に関する理論的考察
3. 学会等名 日本理科教育学会第73回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 身近な素材を試薬としたマイクロスケール実験教材の開発・改良と小学生を対象とした教育実践
3. 学会等名 第25回近畿地区化学教育研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 分子構造模型とマイクロスケール実験用手作りウェルプレートを活用したマレイン酸、フマル酸およびコハク酸の物理化学的性質に関する教材開発・改良と授業実践
3. 学会等名 第25回近畿地区化学教育研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 手作りウェルプレートを用いたマイクロスケール実験の有用性
3. 学会等名 第24回近畿地区化学教育研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 身近な素材を試薬としたマイクロスケール実験教材の開発(1) 手作りウェルプレート内の重曹と有機酸との反応
3. 学会等名 日本理科教育学会第72回全国大会 (Zoom)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 身近な素材を試薬としたマイクロスケール実験教材の開発(2) 手作りウェルプレート内のヨウ素デンプン反応とヨウ素の還元反応
3. 学会等名 日本理科教育学会近畿支部大会(大阪大会) (Zoom)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 マイクロスケール実験用手作りウェルプレートを用いたマレイン酸、フマル酸およびコハク酸の共通点と相違点に関する授業実践
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平井俊男, 青田鏡広, 是澤日向, 山崎海空, 板倉将志, 中川徹夫
2. 発表標題 生徒主体型学習による「化学反応の量的関係」の実験のマイクロスケール化 III
3. 学会等名 第23回近畿地区化学教育研究発表会 (Zoom)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 高等学校化学におけるマレイン酸とフマル酸の物性や反応性に関する指導内容の検討 (1) 分子構造模型の活用
3. 学会等名 日本理科教育学会第71回全国大会 (群馬大会) (Zoom)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 高等学校化学におけるマレイン酸とフマル酸の物性や反応性に関する指導内容の検討 (2) マイクロスケール実験の導入
3. 学会等名 日本教科教育学会第47回全国大会 (大阪大会) (Zoom)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 弱酸の遊離に関するマイクロスケール実験教材の開発 手作りウェルプレートの活用
3. 学会等名 2021年度日本理科教育学会近畿支部大会 (Zoom)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 弱塩基の遊離に関するマイクロスケール実験教材の開発 手作りウェルプレートの活用
3. 学会等名 2021年度日本理科教育学会東海支部大会 (Zoom)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tetsuo Nakagawa
2. 発表標題 Low-cost microscale experiment methods using plastic bottle caps and Nakagawa's white cardboard containers: They are useful for elementary, middle, and high school sciences
3. 学会等名 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 安価な手作りウェルプレートを使用した固体と水溶液の電気伝導性に関するマイクロスケール実験法の改良
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会 (Zoom)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 マイクロスケール実験用の白板紙製容器の改良
3. 学会等名 日本理科教育学会第59回関東支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 ペットボトルのキャップと白板紙からできる低価格で手作りのマイクロスケール実験用ウェルプレート
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 平井俊男, 中川徹夫
2. 発表標題 生徒主体型学習による「化学反応の量的関係」の実験のマイクロスケール化
3. 学会等名 第21回近畿地区化学教育研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 ペットボトルのキャップと紙製容器を用いたマイクロスケール実験教材の開発ー小学校から中学校, 高等学校まで幅広い校種で使用できる教材ー
3. 学会等名 第21回近畿地区化学教育研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuo Nakagawa
2. 発表標題 Micro-scale Experiment on Electrical Conductivities of Some Solids and Their Aqueous Solutions using Plastic Bottle Caps and Cardboard Container
3. 学会等名 8th International Conference on Network for Inter-Asian Chemistry Educators (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 ペットボトルのキャップを用いた酢酸およびアンモニアの電離平衡の移動に関するマイクロスケール実験
3. 学会等名 日本理科教育学会第69回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 理科教育に有用なマイクロスケール実験 ペットボトルのキャップを使用した酢酸とアンモニアの電離平衡の移動
3. 学会等名 日本教科教育学会第45回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 電離平衡の移動に関するマイクロスケール実験の授業実践 ペットボトルのキャップを使用した酢酸とアンモニアの電離平衡の移動
3. 学会等名 日本理科教育学会近畿支部大会（和歌山大会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 中学校理科や高等学校化学教科書にみられる塩化ナトリウムの水に対する溶解度の値は正確だろうか？
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 中川徹夫
2. 発表標題 マイクロスケール鉛蓄電池の教材開発
3. 学会等名 第20回近畿地区化学教育研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuo Nakagawa
2. 発表標題 Microscale Experiment using Mallow Blue's Petals and Plastic Bottle Caps Classifying Aqueous Solutions into Acidic, Neutral, and Basic Ones
3. 学会等名 The 25th IUPAC International Conference on Chemistry Education (ICCE) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 マイクロスケール鉛蓄電池の起電力の硫酸濃度依存性
3. 学会等名 日本理科教育学会第68回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 ペットボトルのキャップとマロウブルーを用いた水溶液の酸性，中性，アルカリ性の識別に関するマイクロスケール実験教材の開発
3. 学会等名 日本教材学会第30回研究発表大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 ペットボトルのキャップを使用した水溶液の電気伝導性に関するマイクロスケール実験教材の開発
3. 学会等名 日本理科教育学会第67回中国支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 ペットボトルのキャップを使用した水溶液と金属の反応に関するマイクロスケール実験教材の開発
3. 学会等名 日本理科教育学会近畿支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 ペットボトルのキャップを使用した固体と水溶液の電気伝導性に関するマイクロスケール実験
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中澤克行, 中川徹夫
2. 発表標題 マイクロスケール実験特別講義で生徒の科学的思考力, 判断力を養う
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 身近な素材を用いたマイクロスケール実験教材の開発と改良
3. 学会等名 日本教材学会東海・近畿・北陸支部研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuo Nakagawa
2. 発表標題 Microscale Experiment using Plastic Bottle Caps Classifying Aqueous Solutions into Acidic, Neutral, and Basic Ones
3. 学会等名 2017 NICE (Network for Inter-Asian Chemistry Educators), 7th International Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 ペットボトルのキャップとブドウの果皮を用いて水溶液の液性を調べるマイクロスケール実験
3. 学会等名 第9回国際マイクロスケール実験シンポジウム・マイクロスケールケミストリー第4回シンポジウム グリーン化学実験
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 鉱物の物理的性質に関するマイクロスケール実験
3. 学会等名 平成29年度全国地学教育研究大会 日本地学教育学会第71回全国大会 兵庫大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 ペットボトルのキャップを用いた水溶液の性質に関するマイクロスケール実験教材の開発
3. 学会等名 日本教材学会第29回研究発表大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 二成分系溶液の希釈後のモル濃度に関する考察 硫酸水溶液の場合
3. 学会等名 平成29年度日本理科教育学会近畿支部大会（滋賀大会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中川徹夫
2. 発表標題 硫酸の希釈後のモル濃度（物質濃度）
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018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
研究協力者	平井 俊男 (Hirai Toshio)	大阪府立長尾高等学校	
研究協力者	宮田 理恵 (Miyata Rie)	北海道立総合研究機構 (80122)	
研究協力者	中澤 克行 (Nakazawa Katsuyuki)	兵庫県立神戸高等学校	

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
研究協力者	大西 伸弥 (Ohnishi Shinya)	兵庫県立御影高等学校	
研究協力者	岡原 正直 (Okahara Masanao)	大阪府立佐野工科高等学校	
研究協力者	内田 祐貴 (Uchida Yuki)	神戸松蔭女子学院大学 (34513)	

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