

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：57501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2023

課題番号：17K01062

研究課題名（和文）電子レンジを用いた金属加熱融解実験の教材化

研究課題名（英文）An application to teaching materials of heating and melting experiments using microwave oven

研究代表者

二宮 純子（Ninomiya, Junko）

大分工業高等専門学校・一般科理系・准教授

研究者番号：60632726

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）：金属の加熱融解実験における電子レンジの機種、出力と加熱時間について最適条件を検討した。熱衝撃によるつぼの破損を防止するため、耐火コンクリート製の衝撃緩和装置を作製し、安全性を高めた。SEMの測定結果から、金属酸化皮膜の膜厚と干渉色の相関関係を示すスペクトラムシミュレータを作製し、観察した金属酸化皮膜の干渉色から屈折率を求めることができた。コロナ禍の影響を受け、授業実践を行うことはできなかったが、考案した教材実験は高専のクラブ活動の探究実験として実施した。また、オープンキャンパスで近隣の小中学生を対象に演示実験を行い、日常生活に関連付け、光の性質について理解を深める実験として紹介した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現代の生活で電子レンジは食品の加熱や調理に利用される身近な家電製品であり、金属の加熱融解実験は子どもに驚きと科学に興味関心を高める実験として有効であるが、学校現場への普及には至らなかった。その原因として、1000以上に昇温した実験装置を電子レンジ庫内から取り出す際の安全性の課題があった。安全面を強化するため、耐火コンクリートを用いた熱衝撃緩和装置の軽量化と実験器具の操作方法の確立に取り組んだ。金属の酸化皮膜形成による光の干渉の観察・実験は、光の性質に関する基本的な概念や法則を系統的に理解させるとともに、日常生活と関連付けて考察できる実験教材として有用であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated the optimal conditions for the model, output and heating time of a microwave oven in a metal heating and melting experiment. In order to prevent damage to experimental equipment due to thermal shock, a shock absorbing device made of fireproof concrete was created, thereby improving safety. Based on the results of metal film thickness and component ratio by SEM, we created a spectrum simulator that shows the correlation between the film thickness and interference color of the metal oxide film. The refractive index could be calculated from the interference color of the observed metal oxide film. Although we were unable to conduct the class practice due to the corona disaster, the educational material experiment we devised was conducted as an exploratory experiment in a club activity of the technical college. The experiment was introduced to children at an open campus as an experiment to deepen their understanding of the properties of light.

研究分野：理科教育

キーワード：電子レンジ 干渉色 実験教材

1. 研究開始当初の背景

金属融解は約 200～2,000℃の高温で行われ、電気炉を用いた場合、実験前に庫内温度を昇温するための準備時間とエネルギーが必要である。電子レンジでは、炭素材をマイクロ波熱吸収体にする事で、短時間で試料が昇温し、二元合金を生成できることがすでに報告されている。また、使用する炭素材の種類や断熱材によって到達温度・昇温速度が異なるという報告がある。このような背景のもと、申請者は、電子レンジを用いて Sn-Zn(85:15 mol%) 二元合金を加熱融解し、空气中で放冷する際に金属の酸化被膜の膜厚が形成されるのに伴い、光の干渉色が観察できることを明らかにした。

電子レンジを用いた金属の加熱融解に、熱源として炭素粉末を用いた場合、微粉末の炭素はマイクロ波を照射することで飛散し、電子レンジ庫内でスパークする恐れがあるため、学習者(子ども)が実験するには危険である。炭素の代替として、マイクロ波熱吸収体に酸化銅(II)粉末を用いると、金属融解に十分な温度まで昇温すること、粉末が飛散せず安全に実験を行なうことができることがわかった。図に電子レンジに設置する加熱装置を示す。この加熱装置を用いることで、電子レンジ(500W)5分間マイクロ波を照射すると1000℃以上を実現し、冷却中に空気酸化することで、Sn-Zn合金の酸化被膜の干渉色の変化を確認することができた。

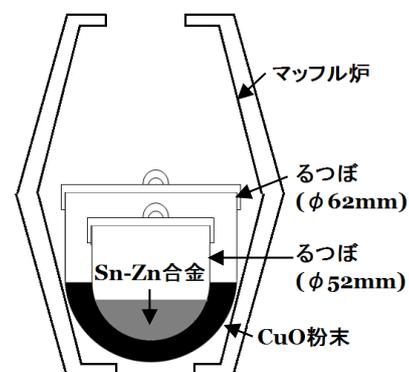


図 電子レンジに設置する加熱装置の断面図

「電子レンジに金属を入れてはいけない」という一般的な常識からすると、本研究が提案する実験は子どもだけでなく教師や大人にとっても興味関心と驚きをもつものである。また、家電の電子レンジを用いると、従来の高価な電気炉を要さず、迅速かつ安全に金属融解できる。このような利点があるにも関わらず、学校の教育現場では、電子レンジを使った科学実験の教材が普及していない現状がある。その原因の一つとして、該当学年における学習内容と実験内容との関連づけが難しいことが挙げられる。そこで、本研究では小・中等教育課程における学習項目「身の回りの物質」「物質の状態変化」「金属の性質」「光の干渉」に該当する実験内容について調査し、電子レンジを使用した教材の応用へ向けた基盤研究を行う。

2. 研究の目的

家庭用電子レンジを使用して金属を融解する実験は報告されているが、初等・中等教育課程においてその教材化は進んでいない。電子レンジは生徒にとって身近な加熱装置であり、従来の高価な電気炉と異なり、金属の加熱融解を簡易簡便に操作することができる。電子レンジを用いた金属の加熱融解実験は、金属の性質(金属の融点、金属の酸化還元反応など)や金属の酸化被膜による光の干渉といった現象に触れる科学実験が可能となる。本研究の成果は、新しい教材としてだけでなく、公開講座などで地域の子どもたちに「ものづくり」を通して、科学に興味関心を高める教材キットとして展開できると考えている。

3. 研究の方法

本研究では電子レンジを用いた金属融解実験の基礎的研究を完成させ、教材の実用化に向け、研究期間内には以下のことを明らかにする。

(1) 電子レンジを用いた金属の加熱融解実験の確立

電子レンジの出力の違いによって金属加熱融解を行うための照射時間は異なる。一般家電に使用される 500W～1000W の電子レンジを用いて、マイクロ波照射時間を系統的に変化させて、昇温速度を調べる必要がある。また、ターンテーブル型・フラット型などの機種の違いに応じた家庭用電子レンジの加熱ムラを調べ、それらの違いを考慮し、金属の加熱融解実験方法を確立する。

(2) 金属酸化被膜の膜厚と干渉色の相関関係を示す「スペクトラムシミュレータ」を作製

色の認識は個人差が大きく、科学的な指標とするには適していない。そこで、分光器を用いて発色している金属酸化被膜のスペクトルを測定する。金属酸化被膜の膜厚については本校に設置している走査電子顕微鏡 SEM を用いて測定を行う。これらの測定結果から、Microsoft Excel を使って、金属膜の膜厚と屈折率を入力すると、観察される干渉色とそのスペクトル分布がグラフ表示される「スペクトラムシミュレータ」を作製する。

(3) 公開講座実施による教材の実用化

電子レンジを用いた金属膜の干渉色の教材は、「スペクトラムシミュレータ」を取り入れることで、中学校の学習内容「光の性質」の到達目標を満たした新しい教材として展開できると考えている。電子レンジを用いた金属融解実験で使用する試薬や器具を明確にすることで、安心して取り扱える教材へと展開していく。

4. 研究成果

(1) 電子レンジを用いた金属の加熱融解実験の設定条件

酸化銅(II)を媒体として用いることで、電子レンジにて合金を加熱させることができる。また、電子レンジの使用により密閉空間で合金を加熱できるため、噴霧の吸引や火傷の危険性を少なくすることが可能である。酸化銅(II)の量やるつぼの種類を変えて合金温度の変化を調査した。図1に酸化銅(II)の量を変化させたときの合金温度の変化を示す。酸化銅(II)の量が多いほど、合金温度の飽和温度も高くなる傾向にある。また、酸化銅(II)の量が8.5g以上では、飽和温度に大きな違いが見られない。この結果から、酸化皮膜形成に必要な酸化銅(II)の量は、8.5g以上とすることが適当であることが示唆された。

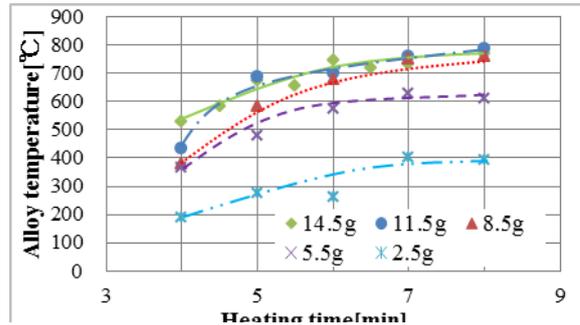


図1 酸化銅(II)の量による加熱時間と温度変化

電子レンジのターンテーブル型・フラット型などの機種の違いに応じた家庭用電子レンジの加熱ムラを調べた結果、フラット型は設置場所により加熱ムラが大きく、実験結果にばらつきが生じる原因になることを確認した。さらに、固定された加熱装置が局部的に高温となり電子レンジが故障する原因になった。フラット型は、高温になった加熱装置を庫内から取り出すときに安定しており安全性は高いが、金属の加熱融解実験は1000°C以上の高温になるため不向きであることを確認した。

(2) 金属酸化被膜の膜厚と干渉色の相関関係を示す「スペクトラムシミュレータ」

マルチチャンネル分光器(Ocean Optics社, FLAME-S)を用いて、作製した9種類のSn-Zn合金の酸化被膜(黄土, 橙, 青紫, 青, 水, 青緑, 黄, 紫, 黒)の波長を測定した。Excel 2010(Microsoft社製)を利用し、加熱時間 T を入力することで、膜厚 d の計算を行い、波長ごとの反射強度 R を求め、膜厚の出力と波長1nmごとにプロットを行うことで擬似的に酸化皮膜の分光特性グラフを作製できるシミュレータ開発を試みた。シミュレータの外観図を図2に示す。図中の実線がシミュレーション値、破線が実測値である。実際の酸化皮膜の波長はシミュレータで作製した疑似的な酸化皮膜の波長よりも反射強度が高くなっているが、実測値の波形とシミュレーション値の波形が類似するという結果が得られた。この結果から作製したシミュレータは干渉光と膜厚の関係を理解する実験のシミュレータとして有用であると考えられる。

(3) 公開講座実施による教材の実用化

高専のクラブ活動において考案した実験教材を用いた探究実験を実施した。金属の酸化皮膜形成過程と干渉色の観察ならびに実験結果を通して、規則性を見出させ、日常生活と関連付けて理解を深める事例であるが、実験器具の取り扱い等の安全性に課題がある。本研究で考案した実験教材が、光の性質について概念形成に有効であることが示唆された。

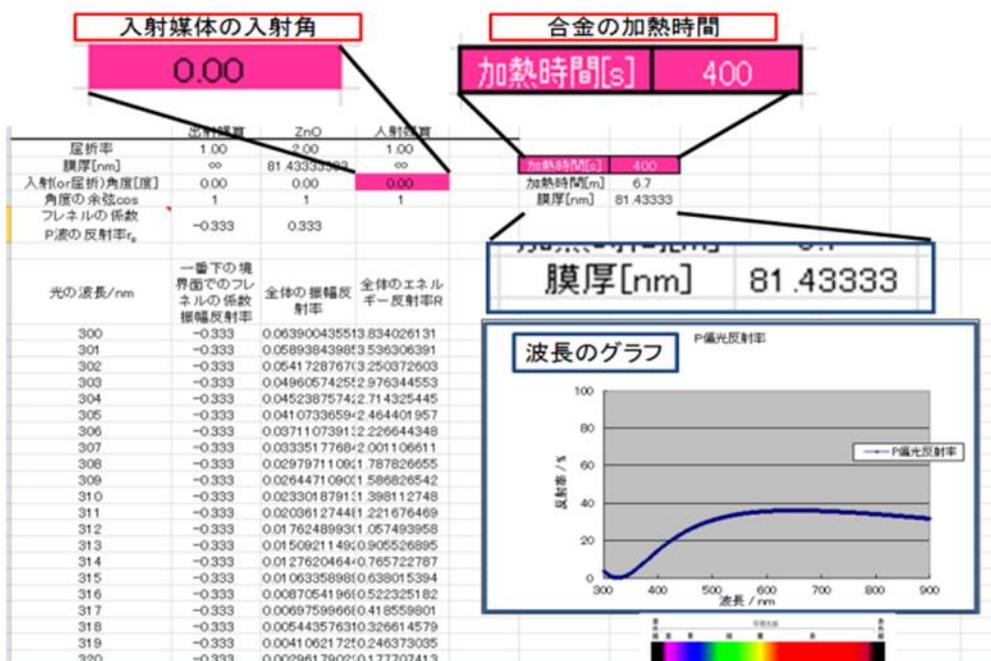


図2 シミュレータ外観図

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 1件）

1. 著者名 Ryota Tomiyoshi and Kaname Hinago and Takahisa Ueno and Junko Ninomiya	4. 巻 6
2. 論文標題 A Study on Teaching Materials for Light Interference Experiments Using Metal Oxide Films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 6th STI-gigaku	6. 最初と最後の頁 -
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 -

1. 著者名 Takahisa Ueno, Kyohei Asami, Junko Ninomiya, Takashi Furukawa, Takashi Sakugawa, Sunao Katsuki	4. 巻 7巻1号
2. 論文標題 Inactivation of <i>Vibrio fischeri</i> by the Application of a Pulsed Electric Field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions on GIGAKU	6. 最初と最後の頁 07002-1、07002-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34468/gigaku.7.1_07002-1	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 上野 崇寿、二宮 純子、高橋 徹、佐藤 秀則	4. 巻 137
2. 論文標題 Sn-Zn合金上に形成される酸化皮膜を用いた光の干渉の教材化	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会論文誌A（基礎・材料・共通部門誌）	6. 最初と最後の頁 410～415
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejfms.137.410	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 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 二宮純子、山本佳奈、米津裕人、福島卓哉、上野崇寿
2. 発表標題 電子レンジを用いた金属の加熱融解装置
3. 学会等名 日本理科教育学会第70回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上野崇寿、二宮純子、古川隼士
2. 発表標題 パルス高電圧発生装置の教材化-入手容易な部品で構成されたマルクス発生器の製作-
3. 学会等名 日本理科教育学会第70回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤加代、山本佳奈、上野崇寿、二宮純子
2. 発表標題 発光細菌の光量測定センサー回路の製作について
3. 学会等名 日本理科教育学会第70回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤加代、山本佳奈、上野崇寿、二宮純子
2. 発表標題 光量測定センサーの教材化について
3. 学会等名 日本理科教育学会九州支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上野大輝
2. 発表標題 電子レンジを用いた金属融解における加熱容器の作製
3. 学会等名 電気学会U-21学生研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩上 怜仁、上野大輝、上野崇寿、二宮純子
2. 発表標題 電子レンジで「光の干渉」
3. 学会等名 福岡県環境教育学会第21回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野 崇寿, 二宮 純子, 高橋 徹
2. 発表標題 酸化皮膜を用いた光の干渉の教材化と電磁波学習の取り組み
3. 学会等名 九州地区高専パルスパワー放電研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平井祥紹 二宮純子 上野崇寿
2. 発表標題 Sn-Zn合金の酸化皮膜における光の干渉の教材開発
3. 学会等名 平成29年度電気学会九州支部高専研究講演会
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 分担 者	上野 崇寿	大分工業高等専門学校・電気電子工学科・准教授	
	(Ueno Takahisa)		
	(30508867)	(57501)	

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
---------	---------