

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350190

研究課題名(和文) エネルギー環境教育を指向した、理科教材の開発研究

研究課題名(英文) Development of science teaching materials for energy and environmental education

研究代表者

中田 隆二 (NAKATA, Ryuji)

福井大学・学術研究院 教育・人文社会系部門・教授

研究者番号：80143931

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、中学校理科におけるエネルギー・環境教育分野の教材開発の例として、エネルギー分野に関しては酸化銅を正極活性物質とした電池の作成を、環境分野に関しては放射線の特徴を理解させるために紫外線を代用した実験方法の開発について検討した。前者については、化学分野における物質変化とエネルギーで取り扱う銅の化学変化とも関連づけた、一連のプログラムとしての利用が示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, as examples of science teaching materials for energy and environmental education, the development of chemical battery with copper oxide as electroactive material has been proceeded in the field of energy, and new experimental method with ultraviolet rays instead of radiation has been studied in the environmental field. In the former study, the potentiality as a series of programs dependent on the chemical characteristics of copper was suggested.

研究分野：分析化学

キーワード：電池 電気化学 酸化銅 放射線 理科教育

## 1. 研究開始当初の背景

経済成長や人口増加による、物質そしてエネルギーの大量消費に伴って、気候変動などの地球環境問題が顕在化している今、持続可能な社会を構築していくために、“持続可能な開発のための教育 (ESD)” の重要性は、近年益々増しており、わが国の教育振興基本法等においても明記されているところである。とりわけ学校教育における ESD、すなわちエネルギー環境教育の取り組みが強く求められている。エネルギー環境問題については、本来、総合的視点から物事を考えていくべきであるが、教科において、個々の教科の特性に応じて、一つ一つの課題を個別にじっくりと考えさせることも重要な視点であり、より深い、あるいは広い学習に繋がることが期待される。エネルギー環境問題を理科教育において取り扱う場合には、個々の課題や事象に対する科学的そして定量的考え方を育むために、観察や実験を行うことが重要である。これまで、エネルギー環境問題を学習するための理科教材として、多くの提案がなされてきたが、まだまだ十分とは言えず、エネルギー環境教育を推進するためのより効果的な理科教材の開発が待たれている。

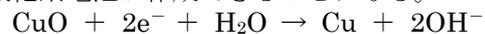
## 2. 研究の目的

本研究の目的は、持続的社會を達成するために、最重要課題となっているエネルギー環境問題を、学校教育現場において、教科教育、とりわけ理科教育の立場からわかりやすく、興味・関心を高めるように教えるために必要な教材を開発し、実践を通じてその有用性を検討することである。中学校理科の学習においては、学習指導要領にも記されているように、物質やエネルギーに関する事物・現象に関わり、その中に問題点を見だし、探究的な活動を進めるとともに、それらを調べる活動を通して、科学的な物事のとらえ方と総合的な自然観を育てることが求められている。とりわけ、科学技術の進展に伴う便利で快適な生活を支えるエネルギーに係る諸問題や多量の物質・エネルギー消費に依るグローバルな環境問題が深刻化する中、中学校理科では、現代社会を支えている科学的知識や情報を修得するとともに、実験や観察を通して、エネルギー・環境問題の特質を定量的かつ具体的な実感をもって理解することが大切になってきている。しかしながら、この分野においては、以前から様々な開発研究がなされてきたにも関わらず、学校現場で広く受け入れられるような教材はさほど多くなく、より有用な教材の開発が望まれる。中学校に限らず、小学校から高等学校、そして大学、さらには社会教育においてもエネルギー環境教育は重要であり、簡便かつ理解しやすい教材の開発は、中学校理科に留まらず、地域における社会人対象の啓発活動においても演示実験やワークショップでの実体験として導入することにより、有用と期待される。教材

の開発研究に際しては、申請者の専門的な知識を活かし、また、現職教員との意見交換を通して、実際に利用してもらえる有用な教材の開発を進める。具体的には、中学校理科の「化学変化とイオン」で扱う“電池”と「科学技術と人間」で扱う“放射線”に関して、教科書内容を教えるにあたって、教員にもわかりやすく、生徒達に興味深く取りこませるために有用な実験教材の開発を進めることとした。なお、“放射線教育”については、申請者が所属する機関が、わが国でも有数の原発立地県であることも考慮して選んだ。

## 3. 研究の方法

(1) 酸化銅を正極活性物質とする電池の作成： 中学校理科で取り扱われる電池、すなわち、異なる二種類の金属板を電解液に浸して作成される電池は“ボルタの電池”とも呼ばれるが、二枚の電極を電解液に浸すだけで起電力が観察されるので、化学的エネルギーから電気的エネルギーへの変換を説明する、電池の導入に際して、果物電池としての応用など、広く使われてきた。しかしながら、現在、高校化学では、実際の電池反応（酸化還元反応）が複雑であるため、ボルタの電池としては取り扱われていない。具体的には、電池反応が、原理的には、負極の亜鉛板からの酸化溶出と正極の銅板表面での水素発生で説明されるべきであるにも関わらず、実際には、亜鉛板から水素が発生したり、銅板から水素が発生しなくても電流が流れたり、一見不可解な現象が見られるからである。前者の、亜鉛板から水素が発生する現象については、局部電池で説明できるが、水素発生を抑えることは難しい。以前は、亜鉛板に水銀を塗り、水素過電圧を高めることによって水素発生を抑えることもあったが、現在は他の手段を講じるべきであろう。次に後者の、銅板で水素発生が起きない時の還元反応であるが、これは表面に生成した酸化銅(II)の還元によるものと考えられている。したがって、中性領域で次式にしたがって還元反応が進むのであれば、酸化銅(II)と黒鉛粉末を混合し、棒状の黒鉛を集電棒とした乾電池、銅/酸化銅電池が作成できることになる。



この銅/酸化銅電池は、一般に使われているマンガン乾電池の場合と電極反応は異なるが、金属酸化物を復極材とした電池である点では同様であり、理解もしやすいと予想される。とりわけ、酸化銅(II)は、銅の加熱によって生成し、中学校理科の他の単元でも取り扱っているため、生徒にはなじみのある化合物でもあり、その生成や還元挙動については、電気化学的に興味深い点も有している。そこで、本研究では、酸化銅という、中高の理科でもなじみのある物質を利用した電池の開発について、①酸化銅(I,II)の電気化学的還元挙動の解析、②金属銅の加熱による酸化銅(I,II)の生成挙動とその定量的解析、③酸化

銅(I,II)の電極材料としての利用の検討、といった手順で検討を進めることとした。なお、電気化学的分析による検討は、定電位電解装置や電位走査装置と、作用電極としての炭素電極、対極としての白金、参照電極としての銀/塩化銀電極を接続して三電極方式ボルタンメトリー測定で行った。

(2) 紫外線の吸収挙動とそれに伴って生じる化学変化から放射線の特性の説明につながる教材の開発：放射線は直接目で見るできないことから、実感として認識することが難しい。放射線に関する実験としては、放射線モニターを使った、肥料や岩石からの放射線の検出や、遮蔽板による放射線強度の減衰挙動の観測、そして放射線の存在を肉眼で観察するための霧箱の製作がよく知られている。霧箱による観察も、最近では簡単に自作できる装置の開発に伴って学校現場での利用も増えてはいる。しかし、実際には、霧箱で放射線の飛跡が雲となって見えるものの、強いエネルギーを持つ放射線そのものの性質を認識することは難しく、教える際に苦労するものと予測される。これまでも放射線教育についてはさまざまな検討がなされ、多くの実践報告がなされているが(例えば、田村 圭介, 平成 27 年科研費基盤研究(C)研究成果報告書, 研究課題名“放射線と放射性物質についての教育方法の研究”), 本研究では、視点を変え、放射線よりはエネルギーが低いものの、人体にも有害で、日焼けなど、より身近に感じられる紫外線を使って、その性質を説明し、放射線の説明につなげるための教材開発に取り組むことにした。紫外線については、以前の報告で(高橋・中田, “化学反応で紫外線の強さを調べる”, 化学と教育, **47**, 278 (1999)), いわゆる“青写真”を使って紫外線強度を半定量的にとらえようとしたが、最近では、紫外線の強さを身近に観察するための題材として、紫外線があたった部分がより早く黒変することが知られている、バナナが使われることも多い。しかしながら、バナナであれ、手作りの青写真用印画紙であれ、再現性には不安が残る。そこで本研究では、教材としての利用も考えて、市販の青焼き感光紙(ブルネオジアン感光紙: コピアート)を使い、その上に色フィルターの代わりにいろいろな色のセロファン紙を載せたり、セロファン紙の数を変えたり、さらには、セロファン紙の上に市販の紫外線防止クリームを塗布して、紫外線透過度の変化を調べることによって、紫外線の性質を調べることとした。コピアートは、熱を加えることによって、紫外線による変化を固定化することができる点が便利であるが、青変の度合いをどのように定量化するかが課題となる。紫外線による日焼けやバナナの黒変、そして感光紙の青変も、いずれも紫外線のエネルギーによるもので、放射線の場合にはさらに影響が大きいという点も推測してほしい

ところである。そこで、視覚化と定量性という観点から、放射線測定でも知られている、化学線量計の利用についても検討する。なお、測定用装置に関して本研究では、放射線測定については、堀場製作所の環境放射線モニター Radi を、また、紫外線測定については、市販のハンディーUV ランプ SLUV-8 (365nm と 254nm の波長切替タイプ) を光源とし、検出器として紫外線強度計 YK-35UV (測定波長域 290~390nm) を主に用いた。

#### 4. 研究成果

(1) 酸化銅の電気化学的挙動については、既報 (S.Nakayama et al., *Analytical Sciences*, **28**, 323 (2012)) の強アルカリ性水溶液中における還元挙動も参考にし、酸化銅の分別定量に応用した。銅板や銅線を試料として、電気炉やガスバーナーを用いた加熱酸化によって表面に生成した少量の酸化銅については、ボルタンメトリー法により直接的な定量も可能であったが、酸化銅膜が厚くなると困難であった。また、電極材料としては粒状ないしは粉末状の酸化銅の使用が想定されることから、酸化銅粉末をカーボンペーストと混合して炭素ディスク電極上に薄層状に固定しての測定も試みたが、定量性を確保することは困難であった。そこで、試料の塩酸による分別溶解と、カラム電極を用いたフロー電気分解による絶対定量についても検討したところ、有為な結果を得ることができた。ただし、I 価と II 価との分別定量結果に対して、測定溶液中の溶存酸素の影響が無視できないため、実験操作はかなり煩雑になり、注意も要することから、より簡便かつ正確な分別法の開発が必要である。ところで、酸化銅(II)試料については、銅の加熱酸化で容易に生成し、また、市販の試薬も利用も可能であるが、酸化銅(I)については、加熱酸化によって定量的に生成させることも困難であり、また、市販の試薬も大気中の酸素や水分によって容易に酸化されることがわかった。そこで、中学校理科(生物)で還元糖の検出に利用するベネディクト反応による酸化銅(I)の生成についても検討したが、やはり調製に際して、酸素の影響が無視できる条件設定は困難なことがわかった。しかしながら、理科教育全体の流れからみれば、銅の加熱酸化によって酸化銅(II)が生成し、銅(II)イオンのアルカリ性水溶液内還元によって酸化銅(I)が生成すること、そしてこれらの生成物が電池材料となってエネルギーを取り出すことができることを学ぶことが可能となり、一連のプログラムとして有益と思われる。なお、酸化銅を電極材料とした電池の作成も試みたが、粉末状の酸化銅の充填の仕方に課題が残り、有意な結果を得ることは困難であった。なお、表面に酸化銅を生成させた銅板と亜鉛板とを電極材料とした電池については、一定時間にわたり電流を取り出すことが可能であった。この種の電池については、環境

中に放置した銅板表面に生成した酸化銅などの銅化合物量を、ソーラーモーターの回転を利用して定量化する方法が報告されており（尾関 徹，平成 26 年科研費基盤研究(C)研究成果報告書，研究課題名“大気中に暴露した銅板の腐食過程から学ぶ大気汚染に関連した実験教材作成”）、学校現場では、そのような電池の利用を提示するのも効果的手法と思われる。

(2) 放射線の検出や減衰・遮蔽に関しては、いくつかの測定実験が提案されている。申請者も編集委員として協力しているエネルギー理科資料編集委員会（福井）では、毎年、“「なぜ？」からはじめる理科自由研究ハンドブック”を作成し、福井県内の中学生に配布している。そこでは、花崗岩などの放射線を出す試料を線源とし、簡易放射線測定器を検出器として、放射線の強さが線源からの距離によって減衰することや、プラスチック・水などを線源との間に挿入することで放射線が遮蔽され弱まる実験を説明している。本研究では、これらの実験の追試と改良の検討に加えて、放射線源の代わりに光源としての紫外線ランプを使った追試実験も行った。放射線も紫外線もいずれも電磁波の一種であり、可視光同様、その強度の減衰は、次式の Lambert-Beer 則に従うことがわかっている。

$I = I_0 \cdot 10^{-Ad}$ （ここで、 $I$  は、減衰後の線量率、 $I_0$  は入射光の線量率、 $A$  は吸光度、 $d$  は光路長である）この関係を用いて光を含む電磁波の減衰率を算定することができる。放射線の代わりに、光源として安価な LED を利用して可視光線を使うのは便利であるが、自然光による影響を除くために、遮蔽空間すなわち暗室で行う必要があり、実験の様子を直接観察することはできない。一方、紫外線ランプを使うと、そのような準備は不要であるが、紫外線の有害性に配慮して、紫外線が散乱して観察者の目に届かないよう、メガネを着用するなどの注意が必要となる。紫外線ランプからの距離が増えるにつれて、強度が指数関数的に減少することや、ランプと検出器との間に遮蔽物としての透明プラスチック板（クリアファイルなど）を入れると、枚数によって強度が減少するといった、放射線の遮蔽実験で観察される現象はほぼ同様に確認できる。可視光線に比べて、紫外線を用いることのメリットとしては、その有害性、すなわち、エネルギーの強さを化学反応の進行結果として視覚的に確認できることがあげられる。その事例としては、青写真のような化学反応、さらには化学線量計として利用されている反応を利用することは興味深い。

（注：なお、市販の青焼き感光紙の青変の度合いを利用した紫外線強度の見積もりに関する実験については、定量的な結果が得られず、今後も検討が必要であることからここでは触れない）化学線量計については、放射線検出用として、鉄線量計（開発者の名前をと

って Fricke 線量計ともいう)が有名である。これは、放射線照射による希硫酸中の鉄イオンの酸化を利用したもので、反応生成物の量と吸収エネルギーとの関係（放射線化学収量）が判明しているため、吸収線量を求めることができる。他に、セリウム(IV)イオンが放射線によってセリウム(III)イオンに還元される反応を利用したセリウム線量計も知られている。紫外線についても同様にいくつかの線量計が知られており、なかでもヨウ化カリウム法(KI/KIO<sub>3</sub>)による化学線量計は広く利用されており、反応液の調製も容易である。この検出法における紫外線計測の反応式は次式で示される。

$8I^- + IO_3^- + h\nu \rightarrow 3I_3^- + 6OH^-$   
生成した三ヨウ化物イオン量は、正確には分光光度計で求められるが、低濃度では薄い黄色に、高濃度では茶色に見えるので、肉眼でも検出できる。また、デンプンを加えることで、より検出しやすい青色になるため（いわゆるヨウ素デンプン反応）、生徒にとってもなじみのある呈色反応であり、紫外線の影響をより理解しやすくなると期待できる。ところで、紫外線に関しては、化学線量計以外に生物線量計と呼ばれる計測法も利用されている。生物線量計とは測定に微生物を用いる手法であり、簡単に言えば紫外線照射による微生物濃度の減少度から強度を求めるものである。近年、水道施設における殺菌消毒法の一つとして、原水中に混入した耐塩素性病原生物を除去するために紫外線処理が利用されているという事実を紹介することにより、日常生活との関連性を実感させる上で、興味ある題材と思われる。以上のように、「放射線」を「紫外線」で代用して各種実験を行うことは、放射線同様に見ることはできないけれども、同じ電磁波として光学的法則が成り立つことを実験的に確認でき、また、化学反応を利用することで、直観的にエネルギーの大きさ、すなわち有害性も認識できるという点で、教材としては有効であると考えられる。紫外線の有害性に留意しつつ、より有用な教材としての検討を進めたい。

## 5. 主な発表論文等 (研究代表者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

岩佐 章弘, 笠川 裕史, 青山 絹代, 中田 隆二, “電気化学的手法を用いて金属銅の酸化状態を探る”, 平成 26 年度日本理科教育学会北陸支部大会, 2014 年 11 月, 仁愛大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中田 隆二 (NAKATA, Ryuji)  
福井大学 学術研究院 教育・人文社会系  
部門 教授  
研究者番号：80143931