

マイクロスケール実験による主体的な個別実験の  
教材開発とその有効性

2018

兵庫教育大学大学院  
連合学校教育学研究科  
佐藤美子

# マイクロスケール実験による主体的な個別実験の教材開発とその有効性

## 目次

<b>序章 問題の所在とこれまでの経過, 及び本研究の目的</b>	..... 1
本章の目的と構成	
1 理科教育における課題	..... 2
1-1 理科の学習に求められる課題について	
1) 理科教育における現代的課題	
2) 育成を目指す資質・能力と理科教育の在り方	
1-2 個別実験の必要性について	
1) 個別化授業の流れと背景	
2) 個別化授業と個別実験との関係	
1-3 考える力の育成を目指す主体的な学習について	
1) 考える力の育成と主体的な学習の位置づけ	
2) 主体的な学習のための最適な実験グループの人数	
3) 主体的な学習を促すための個別実験の役割	
1-4 学習指導要領の趣旨及び観察・実験の扱いについて	
1) これからの観察・実験にもとめられる資質・能力	
2) マイクロスケール実験の導入と役割	
2 本研究の目的	.....22
2-1 本研究の目的設定と具体的な目標	
2-2 本研究の方法と特徴	
2-3 各章の構成及び関連	
本章のまとめ	.....26
引用文献	
<b>第1章 マイクロスケール実験について</b>	.....29
本章の目的と構成	
1 マイクロスケール実験の歴史的背景と発展の経緯	.....33
2 マイクロスケール実験の教材実験への応用と実験器具の紹介	.....29
3 海外及び日本のマイクロスケール実験に関する研究の現状と 学校現場での活用例	.....34
4 本研究におけるマイクロスケール実験の位置づけ	.....36
本章のまとめ	.....38
引用文献	

<b>第2章 マイクロスケール実験による教材開発 ー実践的観点からの分類ー</b>	……41
本章の目的と構成	
1 開発した教材を分類するための観点について	……42
2 開発した教材の各観点到沿った分類と特徴	……43
2-1 操作・準備の簡略化と時間短縮のための開発・改良	
1) 実験器具の改良	
イ) 電気分解における電解槽の改良	
ー主に塩化銅(II)水溶液の電気分解を例にー	
ロ) 電源装置の改良	
①USBハブの活用 ②6Pボックス電池の活用	
③直流電源装置の分岐タップの活用 ④ボタン電池の活用	
2) 加熱方法の改良	
イ) 混合物の分離における加熱方法 (昇華と蒸留実験)	
ロ) プラスチックを用いた還元における加熱方法	
3) 実験廃液の削減と準備等の負担の軽減	
イ) 塩化銅(II)水溶液の電気分解における実験廃液の削減	
ロ) 反応容器の改良 (呈色板の活用を例に)	
2-2 個別実験の形態と学習効果	……65
1) 「気体の発生と性質」における個別実験	
2) 「金属の組合せと反応の違い」における個別実験	
2-3 汎用性のある実験器具の開発と普及 (呈色板の活用)	……76
1) 小学校理科	
イ) だ液のはたらき・デンプンしらべ	
ロ) 導通テストキットによる「電気の通りみち」	
2) 中学校理科	
イ) 導通テストキットによる「水溶液とイオン」	
ロ) 塩化銅(II)水溶液の電気分解	
3) 高等学校化学	
イ) いろいろな電解質溶液の電気分解	
ロ) 呈色板と小型ピペットを用いた「pHと指示薬の変化」	
本章のまとめと註	……90
引用文献	
<b>第3章 実践的活動による開発教材の有効性の検証</b>	……95
本章の目的と構成	
1 実践の概要	……96
2 実践的活動による教材実験の有効性の検証	
2-1 個別実験の形態と学習効果に着目した実践	……100

1) 塩化銅(II)水溶液の電気分解及び金属の組み合わせと反応の違い	
イ) 塩化銅(II)水溶液の電気分解	
ロ) 金属の組み合わせと反応の違い	
2) いろいろな気体の発生とその性質	
2-2 汎用性のある器具(呈色板)を用いた実践	……112
1) 小学校理科・中学校理科の内容	
イ) 教員志望の大学生による実験	
「水溶液の性質」と「だ液のはたらき」	
ロ) 中学生による実験「水溶液の性質」	
2) 中学校理科・高等学校化学の内容	
イ) 高等学校の生徒による実験	
「いろいろな電解質溶液の電気分解」	
ロ) 教員志望の大学生による実験	
「呈色板と小型ピペットを用いた『pHと指示薬の変化』」	
2-3 ホワイトボード・ICTを活用した実践例	……127
2-4 教員免許状更新講習における実践例	……130
2-5 理科に対する興味・関心を促すための実践例	……134
(学校外での実験教室等を含む)	
1) ひらめき☆ときめきサイエンスにおける実験教室(1)	
・水溶液の性質など	
2) ひらめき☆ときめきサイエンスにおける実験教室(2)	
・呈色板を用いた電気分解実験とICTの活用	
3) 地域における実験教室等での実践	
・導通テストキットの作製と「電気の通りみち」など	
本章のまとめ	……140
引用文献	
<b>終章 本論文のまとめ, 及び今後の課題</b>	……142
本章の目的と構成	
1 本論文のまとめ	……142
2 マイクロスケール実験の学校現場への導入に関わる問題点の検討	……144
3 理科教育の課題克服のための教育実践への示唆及び今後の課題	……146
引用文献	
付記	
<b>付録</b>	…… -1- ~ -35-
<b>開発したマイクロスケール実験による各教材実験の方法等について</b>	
謝辞	

## 序章 問題の所在とこれまでの経過, 及び本研究の目的

### 本章の目的と構成

本章では序章として, 研究論文全体の構成を示した上で, 本研究の目的を明らかにするために, 研究の背景について課題別に論ずる。本章の構成は以下のようになる。

- 1 理科教育における課題
    - 1-1 理科の学習に求められる課題について
      - 1) 理科教育における現代的課題
      - 2) 育成を目指す資質・能力と理科教育の在り方
    - 1-2 個別実験の必要性について
      - 1) 個別化授業の流れと背景
      - 2) 個別化授業と個別実験との関係
    - 1-3 考える力の育成を目指す主体的な学習について
      - 1) 考える力の育成と主体的な学習の位置づけ
      - 2) 主体的な学習のための最適な実験グループの人数
      - 3) 主体的な学習を促すための個別実験の役割
    - 1-4 学習指導要領の趣旨及び観察・実験の扱いについて
      - 1) これからの観察・実験にもとめられる資質・能力
      - 2) マイクロスケール実験の導入と役割
  - 2 本研究の目的
    - 2-1 本研究の目的設定と具体的な目標
    - 2-2 本研究の方法と特徴
    - 2-3 各章の構成及び関連
- 本章のまとめ
- 引用文献

研究の背景となる「1 理科教育における課題」については, 1-1~1-4の各項

目に分けて，資料による現状の分析及び実践的経験に基づき述べていく。ここでは，児童・生徒の学び方に大きな変化がみられる現代において，特に理科教育に焦点を絞り，理科を学習する上で重要な観察・実験を含む授業に注目し，学習指導要領の変遷を振り返りながら，理科教育に求められている課題についてまとめた。さらに，本研究の目的に関連して，「個別実験」及び考える力の育成についての先行研究の調査を踏まえ，それらに注目することの意義を述べ，また用語の定義についても明確にした。1-4においては，学習指導要領における観察・実験の位置づけ，及び本研究で導入したマイクロスケール実験について，平成20年改訂版及び平成29年改訂版の学習指導要領における記述を紹介しながら，その導入の意義と役割を述べた。

次に「2 本研究の目的」として，「1 理科教育における課題」で述べた研究の背景から，研究の目的，方法等について示す。2-1では，研究テーマの設定の経緯について，2-2では，本研究を遂行する上で特徴となるマイクロスケール実験に基づいた研究方法と特徴について，2-3では，第1章以下の章の構成と目的及び関連性についてまとめた。

なお，本論文に関連する教材開発及び授業実践は，平成20年改訂の学習指導要領に基づく教育課程の下で実施されたことを踏まえ，研究の背景等においては，研究当時の状況に触れ，さらに今後の課題を探究する上で，平成29年改訂の学習指導要領も引用しながら述べることとする。

## 1 理科教育における課題

### 1-1 理科の学習に求められる課題について

#### 1) 理科教育における現代的課題

平成18年12月の教育基本法の改正により，日本のこれからの学校教育の理念と方向性が示された。それにもとづく平成19年6月の学校教育法の一部改正<sup>1)</sup>に伴い，各教科の具体的な教育内容や改善点が具体化された。

学校教育法第30条第2項（中学校に関しては第49条）において，「生涯にわたり学習する基盤が培われるよう，基礎的な知識及び技能を習得させるとともに，これらを活用して課題を解決するために必要な思考力，判断力，

表現力その他の能力をはぐくみ，主体的に学習に取り組む態度を養うことに，特に意を用いなければならない。」と記され，以下の項目としてまとめられている。

- ① 基礎的な知識・技能
- ② 思考力，判断力，表現力
- ③ 主体的に学習に取り組む態度

さらに，これら三つの項目を関連付けて，社会の激しい変化に対処するため，基礎的・基本的な知識を習得し，かつそれらを活用していくことで，関係性を深め発展させることが謳われている。習得した知識や技能を活用するためには，思考力，判断力，表現力の育成は欠かせない。また，主体的な学習態度は，学習意欲の向上と学習習慣の確立という観点からも重要で，「生きる力」を支える資質・能力の向上につながるとしている。

平成20年1月の中央教育審議会の「学習指導要領の改善について（答申）」においても，「子どもたちの学力に関する各種の調査の結果，いずれも知識・技能の活用など思考力・判断力・表現力に課題がある」と記されている。

さらに，平成29年には小学校・中学校における学習指導要領が改訂された。これは中央教育審議会の答申に基づき，平成29年3月に学校教育法施行規則が改正されたことによる。小学校では平成32年4月から，中学校では平成33年4月から全面実施される<sup>19)</sup>。

改訂の趣旨は，小学校学習指導要領解説の第1章総説に述べられているが，要約すると，「生産年齢人口の減少，グローバル化の進展や絶え間ない技術革新等により，社会構造や雇用環境は大きく，また急速に変化しており，予測が困難な時代となっている。また，急激な少子高齢化が進む中で成熟社会を迎えた我が国にあっては，一人一人が持続可能な社会の担い手として，その多様性を原動力とし，質的な豊かさを伴った個人と社会の成長につながる新たな価値を生み出していくことが期待される。（中略）このような時代にあって，学校教育には，子供たちが様々な変化に積極的に向き合い，他者と協働して課題を解決していくことや，様々な情報を見極め知識の概念的な理解を実現し情報を再構成するなどして新たな価値につなげていくこと，複雑な状況変化の中で目的

を再構築したりすることができるようにすることが求められている。」として改訂の経緯をあげ、具体的には「各学校において教育課程を軸に学校教育の改善・充実の好循環を生み出す「カリキュラム・マネジメント」の実現を目指す」として、次の6点にまとめている。

- ①「何ができるようになるか」（育成を目指す資質・能力）
- ②「何を学ぶか」  
（教科等を学ぶ意義と、教科等間・学校段階間のつながりを踏まえた教育課程の編成）
- ③「どのように学ぶか」  
（各教科等の指導計画の作成と実施，学習・指導の改善・充実）
- ④「子供一人一人の発達をどのように支援するか」  
（子供の発達を踏まえた指導）
- ⑤「何が身に付いたか」（学習評価の充実）
- ⑥「実施するために何が必要か」  
（学習指導要領等の理念を実現するために必要な方策）

以上の趣旨を踏まえた学習指導要領の改訂においては、以下の基本方針がまとめられている。

#### ①今回の改訂の基本的な考え方

ア 教育基本法，学校教育法などを踏まえ、これまでの我が国の学校教育の実践や蓄積を生かし、子供たちが未来社会を切り拓ひらくための資質・能力を一層確実に育成することを目指す。その際、子供たちに求められる資質・能力とは何かを社会と共有し、連携する「社会に開かれた教育課程」を重視すること。

イ 知識及び技能の習得と思考力，判断力，表現力等の育成のバランスを重視する平成20年改訂の学習指導要領の枠組みや教育内容を維持した上で、知識の理解の質を更に高め、確かな学力を育成すること。

#### ②育成を目指す資質・能力の明確化

（中略）

「生きる力」をより具体化し、教育課程全体を通して育成を目指す資質・能力を、ア「何を理解しているか、何ができるか（生きて働く「知識・技能」の習得）」、イ「理解していること・できることをどう使うか（未知の状況にも対応できる「思考力・判断力・表現力等」の育成）」、ウ「どのように社会・世界と関わり、よりよい人生を送るか（学びを人生や社会に生かそうとする「学びに向かう力・人間性等」の涵養）」の三つの柱に整理するとともに、各教科等の目標や内容についても、この三つの柱に基づく再整理を図るよう提言がなされた。



以上のように，教科等の目標及び内容を「知識及び技能」，「思考力，判断力，表現力」，「学びに向かう力，人間性等」の三つの柱として再整理されたことが特徴である。

これまで学習指導要領の改訂につながる教育の在り方が議論された根拠は，OECD（経済協力開発機構）のPISA調査（Programme for International Student Assessment：生徒の国際学習到達度調査）などの各種調査<sup>2)</sup>で明らかになった，我が国の児童・生徒についての調査結果に依存していると言われている。OECDは学校教育で測定する学力を「教科の知識習得量」から「社会で活用できる力」に方針を変え，平成12年よりPISA調査を実施していることは周知のことである。さらにOECDは，学校教育で育てる能力として三つの「キー・コンピテンシー（Key Competencies）」すなわち「社会的に異質な集団で共に活動できる力」「自律的に活動できる力」「相互作用的に道具を用いる力」を挙げている。

尚，新学習指導要領解説（平成29年6月発行）では，平成20年改訂の学習指導要領の成果と課題を踏まえ，以下のように述べられている。

#### ①平成20年改訂の学習指導要領の成果と課題

（中略）TIMSS2015では，理科を学ぶことに対する関心・意欲や意義・有用性に対する認識について改善が見られる一方で，諸外国と比べると肯定的な回答の割合が低い状況にあることや，「観察・実験の結果などを整理・分析した上で，解釈・考察し，説明すること」などの資質・能力に課題が見られる。

#### ②課題を踏まえた理科の目標の在り方

（中略）理科の学習を通じて育成を目指す資質・能力の全体像を明確化するとともに，資質・能力を育むために必要な学びの過程についての考え方を示すこと等を通じて，理科教育の改善・充実を図っていくことが必要である。そのため，学校段階ごとの理科の教科目標については，育成を目指す資質・能力の「知識・技能」，「思考力・判断力・表現力等」，「学びに向かう力・人間性等」の三つの柱に沿った整理を踏まえて示すことが求められる。

#### ③理科における「見方・考え方」

（中略）「見方・考え方」は資質・能力を育成する過程で働く，物事を捉える視点や考え方として全教科等を通して整理されたことを踏まえ，中学校の理科における「見方・考え方」を，「自然の事物・現象を，質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え，比較したり，関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて考えること」と示している。

## 2) 育成を目指す資質・能力と理科教育の在り方

以上のように教育における課題が変化していく中で, 本研究においては, 特に理科教育における「思考力, 判断力, 表現力等」の育成に注目している。思考力, 判断力, 表現力の育成において, 基礎となるのが考える力である。知識などの様々な情報をもとに, 考える力が総合的に形成された形が「思考力」であり, これにもとづいて「判断力」が発揮され, 同時に「表現力」により様々な形で表出されると考える。

「表現力」については, 知識を正確に伝える力だけでなく, 自信をもって自分の考えを論理的に表現できる能力が求められる。そこで, 理科の教科においては, 習得した基礎的な知識や技能を「活用する」ためにも, 観察・実験が重要となる。さらにそれに続くレポートの作成, まとめ, 発表, 意見交換などでも自らが考えたことを表現する力が必要とされる。表現力の育成は, 言語活動の充実と密接に関わり, 他教科との連携も有効であるが, 理科においては具体的な観察・実験と関連づけた活動の中で展開されることが望ましいと考えられる。

以上より, 求められる資質・能力としての三つの柱に注目しても, 「知識・技能の習得」と, それを活用するための「思考力・判断力・表現力の育成」のバランスが求められ, その基礎的な推進力となるのが考える力であると捉えることができる。

### 1-2 個別実験の必要性について

#### 1) 個別化授業の流れと背景

本論文の中心となる課題のキーワード「個別実験」の位置づけについて述べる。個別実験が現在の理科教育に求められていることは, 本章1-2以降において述べるが, すでに過去においても「個別実験」の提唱と取り組みは報告されている。その歴史的過程の中で, 本論文で取り上げている「個別実験」の位置づけを考える必要がある。

例えば, 武田らはその著書<sup>3)</sup>において, 中学校理科の教育に焦点をあて, 「現在の教育に欠けているもの」として「個別化教育」を取り上げている。一斉授

業」と対比させて、その欠点を補う形で「個別化授業」の必要性を強調している。その当時（昭和60年頃）、一般には「一斉授業（指導）」の問題点として、「個人差への対応」が注目された。しかし、「個人差」が「能力差」と同義語にとらえられ、「能力別グループ編制」が実施されたこともあった。「能力別グループ編制」には、いくつかの問題点（知識偏重主義、知識の差による人間的差別、集団としての連帯と協力の欠如など）が指摘され、改善策として、その後「習熟度別グループ編制による指導」に移行していく経緯があった。

しかし、武田は、一般的に行われていた「個人差への対応」ではない「個別化教育」を提唱した。「個別化」の趣旨を「一人ひとりの児童生徒の学力・能力、適性や興味・関心に応じた指導」と捉え、「学習の個別化」を主テーマとしている。さらに「個に応じる教育」とは「一人ひとりの児童生徒がその興味・関心を生かし学習者としての能力構造を再生産していくことをねらった立場でとらえる」こととして「個別化教育」を位置付けている。

武田は「個別化教育」における「学習する子どもと学習を援助する教師」の立場を明確に示す例として、以下の特徴を米国、バーモンド州教育局資料から引用している。

- ・大切なことは、子ども自身の発見と探究による直接の経験による学習であり、抽象化された知識ではない。
- ・一人ひとりの思考過程の発達を大切にする。
- ・人は学習の仕方を自分自身の現実の感覚に結びつけて身につける。
- ・一人ひとりが自分自身の能力に従って作業をする。
- ・教師の役目は、子どもの学習過程のパートナーとなり、ガイドとなることである。
- ・子どもの進歩についての期待を個別化するよう努力する
- ・生徒が相互に学びあうような組織を作り出す。

以上のような「個別化教育」を提唱し、その教育の中で理科の「個別実験」が実施されるならば、実験が重要な役割を果たすことを述べている。

さらに武田は別の著書<sup>4)</sup>において、中学校1年理科における単元「加熱と変

化」を対象に、個別実験による実践を行い、さらに知識・技能の定着をプレテスト及びポストテストで評価、また実験後のアンケート調査では、生徒の興味・関心や意欲等についてグループ実験との比較で分析している。この実践の特徴として、単元中の複数の実験テーマから生徒の意思により一つを選択していること、また個別の実験は通常の器具（実験室に現有の器具）を用いて行っていることである。実践の結果、個別実験により、グループ実験と比較して、生徒の実験に対する意欲、関心、責任感が向上したこと、一方、知識の定着や理解面においては改善が見られず、むしろグループ実験より低い場合もあることが報告されている。生徒の意欲、関心、責任感が向上したことは、複数の実験テーマから生徒の意思により一つを選択して取り組んだことも含め、個別実験が有効に働いたとしている。課題として、実験前に一斉授業による実験のねらい、実験操作の具体的説明の必要性をあげ、知識の定着や理解面における改善を提案している。しかし、個別化教育においては、個別実験の実施が大きな課題であるが、武田は教科書に記載の一般的な観察・実験用の器具（4～6名を1つのグループとしたグループ学習を対象）を用いることに留まり、個別実験に適した実験器具の具体的な改善については言及していない。

以上のように、昭和60年頃に武田により提唱された理科授業における「個別化教育」は先進的な取り組みであるが、実践にあたって重要な要素である観察・実験の個別化について、当時は材料の関係で器具の開発が容易ではなかったため、「個別実験」の効果的な実現と検証には至っていなかった。しかし「個別化教育」の実現に向けた姿勢は、平成32年から施行される次期学習指導要領<sup>4)</sup>の趣旨と多くの点で符号し、貴重な提言と言える。

また、山下<sup>5)</sup>、藤本・山下ら<sup>6)</sup>は、「観察・実験の充実」を図るため、理科実験教材用の条件として「自然科学を基礎とした教科間の連携」、「日常生活への応用」、「個別観察、実験」に注目し、これらが「自然科学を総合的・複合的な立場でより理解し、探究する能力の育成と概念の構造化に役立つ」ことをあげている。具体的には、開発した簡易比濁計及び簡易反射率計を用いた日本の小学校、中学校、及び日本と中国の高等学校における「個別実験授業」の実践を例に、個別実験（実習）の有効性を指摘している。

## 2) 個別化授業と個別実験との関係

これまで述べてきたように、歴史的な流れの中で「個別化教育」の必要性が論じられてきた。本論文で取り上げる理科教育における「個別化授業」は、特に観察・実験に焦点を絞った課題として、新たに「個別実験」の再定義を行うと共に、これを取り入れた授業のあり方を検討していく。本研究における「個別実験」の形態も含めた定義については、本章の1-3 3)「主体的な学習を促すための個別実験の役割」において述べる。

「個別実験」の実現に向けての第1の課題は、実験に適した器具の開発である。器具に用いる材料がガラス製や陶磁器製に限定されていた時期には、器具をマイクロスケール化（小型化）することが非常に困難であった。しかし、現在では教材開発に適したプラスチック材料、電気材料などの入手も容易となり、それらを用いたマイクロスケール実験による教材開発を積極的に行うことができる。

第2の課題は、マイクロスケール実験によって実現する「個別実験」により、実験体験の機会を増やすだけでなく、児童・生徒の考える力を促すような主体的な学習を図る新しい授業展開を検討することにある。

以上の課題を念頭に、学校現場への受け入れ可能な新しい実験形態として、「個別実験」を実現することが重要である。

本研究における「個別実験」は、次の点において導入の意義があると考え、そのための具体的な方策を検討することとした。

### 個別実験の長所（利点）

- イ) グループ実験では、児童・生徒が直接実験操作に関わる機会は少ないが、個別実験では各自で器具を操作する機会も多く、実験技能の習得という点で優れている。
- ロ) 児童・生徒一人ひとりの積極的な活動場面を増やすことで、考える力とコミュニケーション力を引き出し、実験に対する責任感と意欲を養い、また実験に関わることの充実感や達成感などを与える。
- ハ) 個別実験をベースにすると、得られた実験データを基に、グループやクラスでの予想や結果などの共有・討論・考察の発表、などを行うことで多

様な授業展開が可能となる。

ニ) 個別実験による詳細な観察により、様々な現象について考えるきっかけが与えられ、考察の深化につながる。

ホ) 納得するまでの繰り返しの観察・実験、実験操作の習得、考えながらの実験操作等が可能になり、参加型の実験への移行による「考えさせる主体的な取り組みの授業」となる。

等があげられる。

### 1-3 考える力の育成を目指す主体的な学習について

#### 1) 考える力の育成と主体的な学習の位置づけ

先行研究においても、授業における様々な取り組みの中で、考える力の育成に関連して、児童・生徒に考える力と考える習慣を与えるための工夫に関する多くの報告（例えば市川<sup>8)</sup>）がある。ここでは、観察・実験を含む授業実践の中で、とくに考える力に関連した先行研究の調査をとおして、本論文で目標とする「考える力の育成を目指す主体的な学習」の位置づけを明らかにする。

学習指導要領の中で謳われる「思考力・判断力・表現力」との関連で、小学校理科を対象とした研究として坂元<sup>9)</sup>による報告がある。「科学的な思考力・表現力の育成を目指した理科学習指導」を課題として、「目的に合った実験結果から自分の考えを作り上げる」ことを図るため、「事象提示の説明の記述、説明の交流、まとめる型の選択、結果と結論の書き分け」の4段階にわけて授業実践（小学校第5学年「流れる水のはたらき」）を行い、その結果、「実験結果を根拠に考えを創りあげることができた」と報告している。ワークシートに記載された内容を中心に児童の変容を捉えているが、特に児童が「実験でみたことを分析し、根拠となる結果を選別している」、「解釈を、（周囲の児童との）交流を通して改善し、自分の課題を見つけている」点に注目している。このことから、小学校理科においては、自らの観察を根拠とすることが、その後の分析、解釈に大きな影響を与えていることがわかる。

また、同じく小学校理科を対象に、椎窓<sup>10)</sup>は「科学的な見方・考え方育成のため、思考の場と言語活動を工夫した理科学習指導—観察・実験の2ステップ

化や論理的なノートづくりの工夫を通して」をテーマとして、「体験の一層重視」と「言語活動の充実」に注目した実践的報告を行っている。具体的には、観察・実験の2ステップ化と論理的なノートづくりを基本に授業実践を行った結果、「科学的な見方・考え方に変化がみられ」、「自然事象への概念形成や認識を深めることができ」、「科学用語を活用し、文脈が論理的になった」と述べている。小学校第6学年の「ものの燃え方と空気」の単元を対象に、実験では「燃焼と空気の関係」及び「空気の成分」の2ステップにわけ、また、自分の仮説（予想）から追求した結果、そこから見いだす規則性の手順で整理するノートの作成を目指している。考える力のうち特に「推論」する力を身につけさせるためとしている。事前事後の概念調査、実験ノートの記述、アンケート調査、テスト結果等の分析の結果を踏まえ、「観察・実験の2ステップ化や論理的なノートづくりの工夫」が「科学的な見方・考え方の育成」に好影響を与えたと報告している。

以上の先行研究では、授業展開を中心に特徴的な改善を行い、その結果、考える力の育成を図ることができたと報告されている。しかし、観察・実験が考える力の育成に重要な位置を占めると考えられているにもかかわらず、実験の教材に関する改善、実験形態の影響については触れていない。

## 2) 主体的な学習のための最適な実験グループの人数

次に考える力の育成を目指す主体的な学習のための最適な実験形態、すなわち実験グループの人数について、先行研究を調査した。

観察・実験時における人数によって、児童・生徒の関わり方が大きく変わるが、本論文においても、第3章2-1-2で論ずるように、この実験グループの最適な人数に対する考察は重要な位置を占めている。

西川<sup>14)</sup>は、実験のような共同場面における児童・生徒の役割に注目して、実験人数と児童・生徒の学び方、さらには教師の役割についても論じている。グループ実験における子どもの役割に注目して、イ) 実験操作を中心的に行う「実験役」、ロ) 実験操作は直接行わないが、実験には積極的に関わる「モニター役」、ハ) 実験に参加しない「傍観者」に分類して、さらにこの分類を決定し

ている要因について、興味ある試行のもとに考察している。すなわち、グループ実験において「傍観者」が生じる理由を、「子どもの理科・実験に対する興味・関心」や「積極性」に起因するという解釈に対して疑問を發している。それを証明する試行として「実験役」の子どもばかりを集めてグループを構成した。その結果、ランダムに構成したグループで生じた分類と同様に、「実験役」、「モニター役」、「傍観者」が生じた。同様に「モニター役」だけ、あるいは「傍観者」だけを集めて再度グループを構成した場合も同じ割合で分類が生じた。この事から、子どもの特性により、グループ実験において役割の分類が生じるのではなく、他者との関係によって決定されることを指摘している。以上の西川の指摘は、グループ実験における児童・生徒の役割と学習意欲との関係について重要な示唆を与えているが、グループ実験の持つ本来的な特性とも言える。また西川は、グループ実験の人数を少なくすれば「傍観者」は減り、1人による「個別実験」になれば「傍観者」でいる余裕はなくなると指摘している。グループ実験を進める上で、教師の役割、声かけの重要性など、示唆に富む実践報告であるが、しかしグループ実験に替わる実験方法の提案と実践については報告されていない。

### 3) 主体的な学習を促すための個別実験の役割

清水ら<sup>9,10)</sup>は、「実験グループの人数が理科学習に与える影響」をテーマとして、実験グループの人数が、科学的な概念の獲得や生徒同士の相互作用に対してどのように影響するかを明らかにしようとしている。授業実践では、中学校2年「消化と吸収」の単元を取りあげ、1人で実験を行う「個別実験群」と2人組で行う「2人実験群」にわけ、実験にかかる時間、実験結果の解釈における他者との相互作用に注目し、授業時の音声記録やアンケート分析を基に論じている。その結果、「2人実験群」の方が「個別実験群」に比べて実験を早く終了することができ、また実験結果を科学的に解釈でき、長期に実験方法を記憶している生徒が多いという結論を得ている。以上のように、清水らによる、実験人数を変えながら実践した報告では、2人による実験が、理科学習に対して好影響を与えることが示された。しかし4～5人のグループ実験との比較、1人による個別実



験のメリットについては触れていない。また実践した実験課題が「消化と吸収」に限られており，実験内容・操作が異なる他の実験テーマについては言及していない。実験教材においても従来の実験方法を踏襲しており，特に1～2人用の実験についての器具等の改善は行っていない。

本研究における「個別実験」の意義についてはすでに述べたが，学校現場で実際に行う個別実験の形態についてまとめておく。個別実験の形態は，実験テーマ，クラス人数，実験室の机，黒板等の配置に依存するが，一般的な30～40名の児童・生徒を対象にした実験室での「実験授業」を想定した。

**実験形態：グループで1つの器具による実験(グループ実験)**

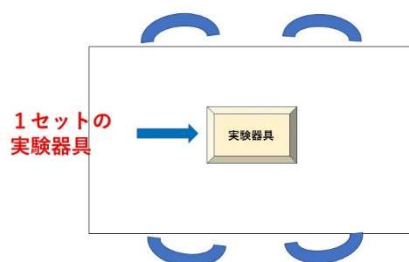
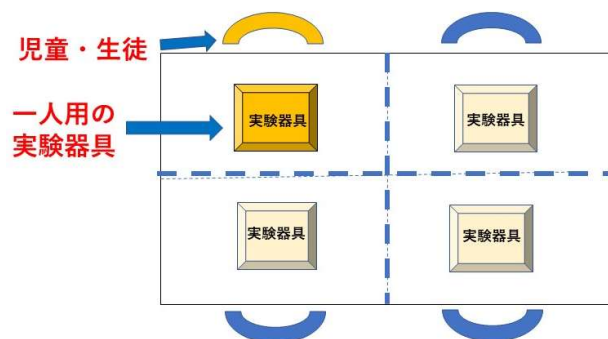


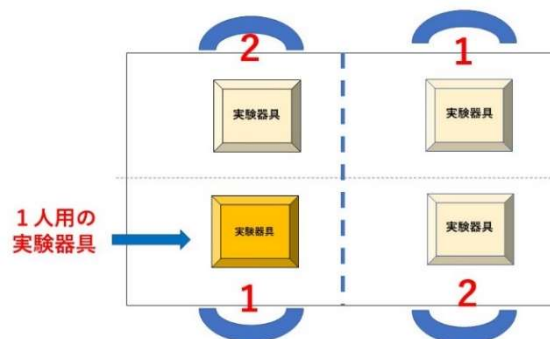
図1 実験形態：グループ実験

**実験形態：1人1つの器具による実験(個別実験：1人実験)**

(a) 1人1実験



(b) 2人2実験



実験形態:2人で1つの器具による実験(個別実験:2人実験)

(c) 2人1実験

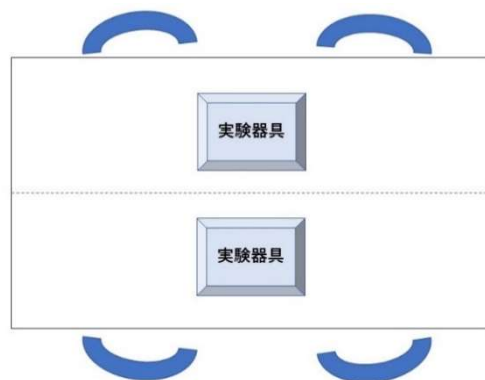


図2 実験形態:個別実験 (a) (b) (c) 3種類の個別実験の実施方法を模式的に示す  
(1人1実験, 2人2実験, 2人1実験)

図1は, 典型的なグループ実験の形態を模式的に示している。4人1組で, 1つの実験器具を用いて実施する。図1のグループ実験に対して, 図2aは本研究において「1人1実験」, 図2bは「2人2実験」, 図2cは「2人1実験」と定義する個別実験の実験形態・実験方法を示す。実験方法は, 図2aでは1人の児童・生徒が1つの実験器具を用いて各自で実験を行う。図2bは, 2人ペアで互いにサポートして実験を行う。つまり, 1の人が実験する時には2の人は, 実験の補助をしながら観察を行い, その後役割を交代して実験を行う。図2cは, 2人で1つの実験器具を使用し, 協力しながら実験を進めていく。個別実験では同じ実験机上でいくつかの実験が同時に進行するが, 1人1実験の場合においても途中で周囲の人への相談や助け合う協同作業を妨げるものではない。いずれの個別実験においても, 実験の前後ではグループでの取り組みを想定している。

実験前の予想 → 個別実験 → グループで意見交換

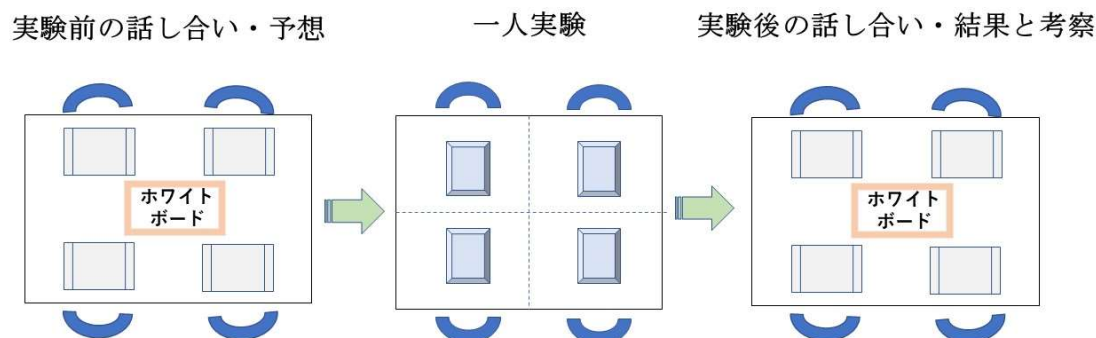


図3 実験前後における児童・生徒の関わり合いを模式的に示す

図3は、実験前後における児童・生徒の関わり合いについて模式的に示している。図3の左側では、実験前において、4人で話し合いを行い、実験結果の予想とその根拠についてホワイトボード等を用いてまとめる。図3の中央は、個別実験の様子で、図1の「1人1実験」に相当する。図3の右側は、実験後に各自の実験結果を持ち寄って4人で話し合い、その結果をホワイトボードでまとめる際の机上の配置を示す図である。

また、図4は、授業全体の流れを示す模式図である。図3左の予想の話し合いに始まり、図3右の結果についての話し合いに続いて、さらにクラス全体で発表により話し合ったことを伝え合い、実験結果と考察の共有化を図るという授業全体の一連の流れを示している。このクラス全体での発表においては、プロジェクター、書画カメラ、ホワイトボード、模造紙等を用いる他、積極的にICTも活用することを想定している。

以上においては、従来のグループ実験との違い、個別実験の形態と実験方法、実験前後の活動の様子を模式的に示しているが、特に、個別実験の進め方については、本研究のテーマの設定と直接関係するので具体的に示した。

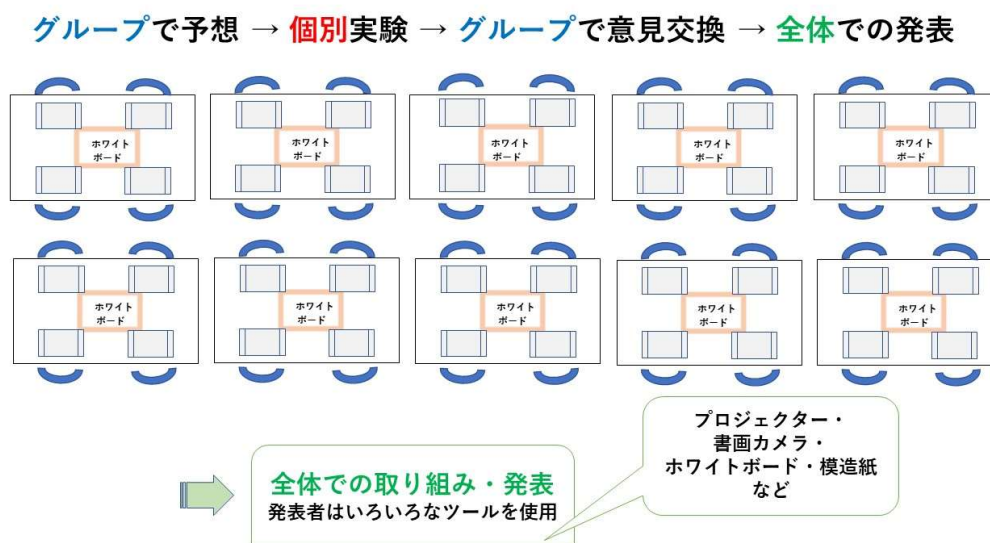


図4 個別実験後のクラス全体での話し合い，データの共有化の様子

#### 1-4 学習指導要領の趣旨及び観察・実験の扱いについて

##### 1) これからの観察・実験にもとめられる資質・能力

本研究に関わる教材開発及び授業実践は，現行の学習指導要領<sup>11,12)</sup>（平成20年告示，小学校では平成23年4月より，中学校では平成24年4月より全面实施）の下で行われた。また，新学習指導要領<sup>7)</sup>は，小学校・中学校に関しては平成28年告示，平成29年公表，高等学校は平成30年公表，さらに全面实施の計画は，平成32年小学校，平成33年中学校，平成34年高等学校という計画で進んでいる。

本研究は現行の学習指導要領（平成20年改訂）の下で実施してきたが，本論文に関連する内容としては，新学習指導要領においても趣旨等について大きく変わることはない。しかし，これからの教育のあり方に関して，いくつかの点で新しい視点が明確にされ，また具体的な指導についてもさらに強調されている。ここでは，新学習指導要領の告示内容をもとに関連事項も抜粋し，本論文の資料とする。

本章においては，現行の学習指導要領の趣旨，及び新学習指導要領（平成29年）の改訂の狙いをまとめ，特に本研究に関連して，観察・実験の理科学習における位置づけをまとめる。

本章の1-1ですでに述べたように，三つの柱として児童・生徒に求められる資質・能力に，観察・実験がどのように貢献することができるか，今までの教材開発，授業実践をとおして，実践的・経験的にその可能性について述べる。

観察・実験の理科学習における位置づけについて，現行（平成20年改訂）の学習指導要領では以下のように示されている。なお，条文では「観察・実験」と記されているが，本研究では「実験・観察」を同じ意味に用いている。下線部は，筆者によるものである<sup>14, 15)</sup>

(7) 理科については，その課題を踏まえ，小・中・高等学校を通じ，発達の段階に応じて，児童が知的好奇心や探究心をもって，自然に親しみ，目的意識をもった観察・実験を行うことにより，科学的に調べる能力や態度を育てるとともに，科学的な認識の定着を図り，科学的な見方や考え方を養うことができるよう改善を図る。

(イ) 理科の学習において基礎的・基本的な知識・技能は，実生活における活用や論理的な思考力の基盤として重要な意味をもっている。また，科学技術の進展などの中で，理数教育の国際的な通用性が一層問われている。このため，科学的な概念の理解など基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から，「エネルギー」，「粒子」，「生命」，「地球」などの科学の基本的な見方や概念を柱として，子どもたちの発達の段階を踏まえ，小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化を図る方向で改善する。

(ウ) 科学的な思考力・表現力の育成を図る観点から，学年や発達の段階，指導内容に応じて，例えば，観察・実験の結果を整理し考察する学習活動，科学的な概念を使用して考えたり説明したりする学習活動，探究的な学習活動を充実する方向で改善する。

(エ) 科学的な知識や概念の定着を図り，科学的な見方や考え方を育成するため，観察・実験や自然体験，科学的な体験を一層充実する方向で改善する。

(オ) 理科を学ぶことの意義や有用性を実感する機会をもたせ，科学への関心を高める観点から，実社会・実生活との関連を重視する内容を充実する方向で改善を図る。また，持続可能な社会の構築が求められている状況に鑑み，理科についても，環境教育の充実を図る方向で改善する。

観察・実験に関連した重要なフレーズの1点目として，「科学的な知識や概念の定着」，「科学的な見方や考え方の育成」のため，「観察・実験や自然体験，科学的な体験を一層充実する」とされている。また「目的意識をもった観察・実験を行う」ことが，「科学的な認識の定着を図り，科学的な見方や考え方を養う」のに必要であり，さらに「科学的な思考力・表現力の育成を図る」ため，「観察・実験の結果を整理し考察する」あるいは「科学的な概念を使用して考えたり説明する」ことにつながる学習活動が求められている。

注目すべき2点目は「小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化を図る」ため，また「科学的な概念の理解など基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る」ため，「エネルギー」，「粒子」，「生命」，「地球」などの科学の基本的な見方や概念を「4つの柱」として，小学校・中学校理科及び高校の基礎科目の各単元に分類したことである。従来の物理・化学・生物・地学の枠にとらわれず，分化から統合へと進む大きな流れを示していると考えられる。

次に3点目は，理科の学習において身につけた基礎的・基本的な知識・技能が，「実生活における活用や論理的な思考力」に役立つことが重要とされている。すなわち理科の学習が，社会生活を営む上で欠かせない判断力や思考力の育成に役立つことを実感させることが大切であること，言い換えれば「理科を学ぶことの意義や有用性を実感」することが重要である。理科の指導においては，できるだけ身近な現象，身近な材料をとりあげて，児童・生徒の興味・関心を喚起することが求められている。

以上の点は，次期学習指導要領（平成29年改訂）において同じ趣旨が謳われさらに強調されている。

次に，小学校理科及び中学校理科の，教科としての目標について比較する。以下は，現行の学習指導要領<sup>14, 15)</sup>（平成20年改訂）からの引用である。

#### 小学校理科

自然に親しみ，見通しをもって観察，実験などを行い，問題解決の能力と自然を愛する心情を育てるとともに，自然の事物・現象についての実感を伴った理解を図り，科学的な見方や考え方を養う。

#### 中学校理科

自然の事物・現象に進んでかかわり，目的意識をもって観察，実験などを行い，科学的に探究する能力の基礎と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め，科学的な見方や考え方を養う。

それぞれの目標を比較すると，小学校理科では，冒頭に「自然に親しみ，見

通しをもって観察，実験などを行い」と記され，中学校理科では，「目的意識をもって観察，実験などを行い，科学的に探究する能力の基礎と態度を育てる」と記述されている。小学校から中学校へと目標の深まりが示され，児童・生徒の発達段階に応じた設定の違いを読み取ることができる。

ここでは本研究に関連して，「目的意識をもって観察，実験を行う」ことに注目する。

授業中での実験は，時間的な制約もあり，教科書に記載の実験結果と概ね一致することを目標に行う「確認実験」に終始することが多々ある。「確認実験」は，短期的には実験技能の習得や知識の整理には有効であっても，観察・実験を通して，自然現象に対する興味・関心を持たせ，さらに探究心を涵養することにはならないと考えられる。学習指導要領解説編でも指摘されているように，「見通しをもつ」ことは，児童・生徒がみつけた問題に対して予想や仮説をもち，観察・実験の方法を工夫しながら，検証の意味を体得することである。それまでの学習内容や生活経験に基づく知識や判断力そして思考力を活用し，児童・生徒が考える力を発揮して，観察・実験が主体的な取り組みとなるような指導が求められる。

以上のように，学習指導要領で示されている観察・実験の意義と照らし合わせても，すでに述べた本研究の重要なキーワードである「個別実験」及び考える力の育成の実現が，理科教育の改善に資することがわかる。

また，参考に新学習指導要領（平成29年改訂）で示されている教科の目標を以下に示す。

#### 小学校理科

自然に親しみ，理科の見方・考え方を働かせ，見通しをもって観察，実験を行うことなどを通して，自然の事物・現象についての問題を科学的に解決するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

- (1) 自然の事物・現象についての理解を図り，観察，実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。
- (2) 観察，実験などを行い，問題解決の力を養う。
- (3) 自然を愛する心情や主体的に問題解決しようとする態度を養う。

## 中学校理科

自然の事物・現象に関わり，理科の見方・考え方を働かせ，見通しをもって観察，実験を行うことなどを通して，自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

- (1) 自然の事物・現象についての理解を深め，科学的に探究するために必要な観察，実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。
- (2) 観察，実験などを行い，科学的に探究する力を養う。
- (3) 自然の事物・現象に進んで関わり，科学的に探究しようとする態度を養う。

新学習指導要領（平成29年改訂）においても，「問題解決の力を養う」，「科学的に探究する力を養う」として，観察・実験の位置づけを示していることが特徴である。

### 2) マイクロスケール実験の導入と役割

現行の学習指導要領では，同解説<sup>16,17)</sup>において，マイクロスケール実験については，「事故防止，薬品などの管理及び廃棄物の処理」に関連して，以下のよう

**使用する薬品の量をできる限り少なくしたマイクロスケールの実験を行うことも考えられる。**

（中学校学習指導要領解説 理科編<sup>16)</sup>，平成20年9月発行，p. 110より抜粋。同趣旨の記述は，高等学校学習指導要領解説 理科編理数編<sup>17)</sup>，平成21年12月発行，p. 127にもみられる。）

同様に，新学習指導要領（平成29年改訂）<sup>19)</sup>においても，ほとんど同じ表現で以下のように記されている。

**マイクロスケールの実験など，使用する薬品の量をできる限り少なくした実験を行うことも考えられる。**

（中学校学習指導要領解説 理科編<sup>19)</sup>，平成29年6月発行，p. 125より抜粋）

このように実験廃液の削減には注目しているが，児童・生徒の学習活動に対して，マイクロスケール実験の積極的な活用については触れていない。

現行の教科書<sup>18)</sup>における記載例を図5に示す。中学校3年の「水溶液の性質」で



紹介され，多種類の水溶液を少ない量でも調べることを紹介している。

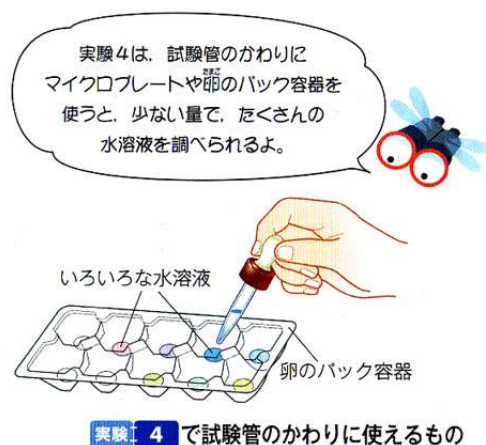


図5 中学校理科教科書における記載例<sup>18)</sup>

すでに、本章1-3で述べてきたように、児童・生徒の観察・実験に対する主体的な活動を促すには、実験における個別化，すなわち個別実験の実現は必要不可欠である。この考えの下，教材開発と実践活動を行ってきた。また，学習指導要領で謳われている，「見通しをもって観察・実験にのぞむ」，「課題を自らみつけ，解決する」ことにも関連して，マイクロスケール実験は，廃液の削減だけでなく，これからも求められる新しい学習活動を支える有力な手段として学校現場で活用できると考えられる。

現在までの研究経過及び学校現場での経験から，教材実験のうちマイクロスケール実験による個別実験に適した実験テーマを選択すること，また1単元の学習内容や授業展開を考慮して，演示実験，グループ実験，マイクロスケール実験を組み合わせることが必要であると考えられる。さらにマイクロスケール実験の特徴を生かした多様で効果的な授業展開の構築が，児童・生徒の主体的な学習を促す上で重要である。

マイクロスケール実験の特徴については，第1章で詳しく触れることにする。本研究では個別実験の実現と，児童・生徒の主体的な活動を促す授業展開を可能にする1つの手段として，マイクロスケール実験が有効であるという位置づけで捉え，それを実践的活動により検証する。また，すでに述べてきたように，予想や結果，考察についてのグループでの話し合いの時間を重視することと，

演示実験やグループ実験だけでなく、個別実験などの様々な実験形態で実施することにより授業展開に変化をもたせ、マイクロスケール実験を活用しながら効果的な授業デザインを構築していくことを目指す。

## 2 本研究の目的

### 2-1 本研究の目的の設定と具体的な目標

以上の研究の背景及び課題を踏まえ、本研究のテーマを以下のように設定した。

#### 「マイクロスケール実験による主体的な個別実験の教材開発とその有効性」

研究の目的を以下にまとめる。

科学リテラシーの獲得、児童・生徒の主体的な学びの重要性が指摘される中、学校教育における「理科教育」の在り方が問われている。理科教育の基礎となる観察・実験の重要性が指摘され、その積極的な実施が叫ばれながら、様々な課題のため、日常的な取り組みまでには定着していない。このような状況の中で、教員にとっては取り組みやすく、また児童・生徒にとっては実感を伴った理解につながるマイクロスケール実験の導入による実験方法の提案は重要である。マイクロスケール実験による個別実験を基本とした教材開発、及びそれらを使った授業実践をとおして、開発した教材の有効性について実践的に検証することは理科教育の改善にとって大きな意義がある。観察・実験の機会をできるだけ増やし、児童・生徒の主体的な取り組み、実感をともなう理解を促す理科教育の改善について、具体的な提案をすることが本研究の目的である。

次に、研究テーマを遂行するにあたり、本章「1 理科教育における課題」で述べた研究の背景を踏まえ、具体的な目標を検討した。

国際的な各種調査結果及び学習指導要領の変遷、並びに今までの授業実践の体験から、現在の理科教育の現状と課題についてはすでに述べてきた。本研究テーマを遂行するにあたり、授業実践等の際、具体的に注目すべきこと、また取り組むべき項目を以下のようにまとめた。

- ① 理科を学ぶ楽しさと必要性を生涯学習の中で位置づけること
- ② 科学リテラシーの獲得の重要性を授業に取り入れること

- ③ 児童・生徒の主体的な学びを図る具体策を検討すること
- ④ 理科教育の基礎となる観察・実験の重要性を伝えること
- ⑤ 児童・生徒にとって実感を伴う理解につながる教材実験を開発すること
- ⑥ 教員にとっては取り組みやすく, 負担の少ない教材実験を開発すること
- ⑦ 新しい発想に基づく実験を含む授業展開を提案すること
- ⑧ 個別実験により観察・実験の機会をできるだけ増やし, 児童・生徒の主体的な取り組みを図ること
- ⑨ 身につけるべき資質・能力を念頭に考える力の育成を目指す授業を実現すること
- ⑩ 観察・実験を含む授業の改善から理科教育全体の改革につなげること

以上の項目の内容を模式的に示すと図6となる。

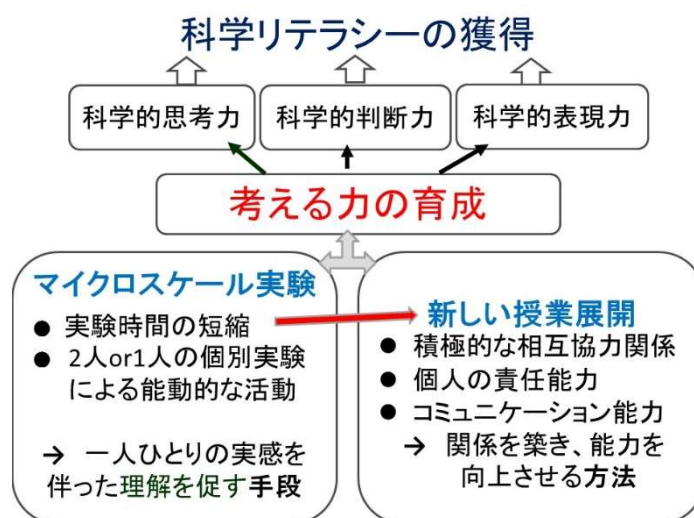


図6 研究の課題を示す模式図

図6において, 児童・生徒の能動的な実験活動に関連して, 研究の大きな目標として「科学リテラシー」の獲得を取りあげているのは, 次の背景による。

科学リテラシーとは「自然界及び人間の活動によって起こる自然界の変化について理解し, 意思決定するために, 科学的知識を使用し, 課題を明確にし, 証拠に基づく結論を導き出す能力」<sup>20)</sup>であり, 言い換えると, 「人々が自然や科

学技術に対する適切な知識や科学的な見方及び態度を持ち，自然界や人間社会の変化に対応し，合理的な判断と行動ができる総合的な資質や能力である」<sup>21)</sup>。すなわち，自然事象を科学的にとらえるための「科学的思考力」，自分の意見や考え方を説明する「科学的表現力」さらにそれらに基づく合理的な判断と行動を伴う「科学的判断力」を身に付けることが目標とされる。

本研究では，児童・生徒がこれらの力を獲得するための基礎となる考える力の育成に注目して実験活動を行い，学習指導要領で謳われる「個々の児童が主体的に問題解決活動を進めるとともに，学習の成果と日常生活との関連を図り，自然の事物・現象について実感を伴って理解できるようにすること」<sup>15)</sup>を実現するための，具体的な方策を検討する。

## 2-2 本研究の方法と特徴

本研究を遂行するにあたり，研究の方法について図7にまとめた。

本研究の特徴的な進め方は，①学校現場のニーズに応じた，マイクロスケール実験による教材開発と授業展開の提案，②授業等での実践的な有効性の検証，③教材実験の学校現場への普及 に要約されるが，特に，マイクロスケール実験による教材開発をベースにしているため，その後の実践活動においても，その利点を最大限に活かした点が特徴的となっている。

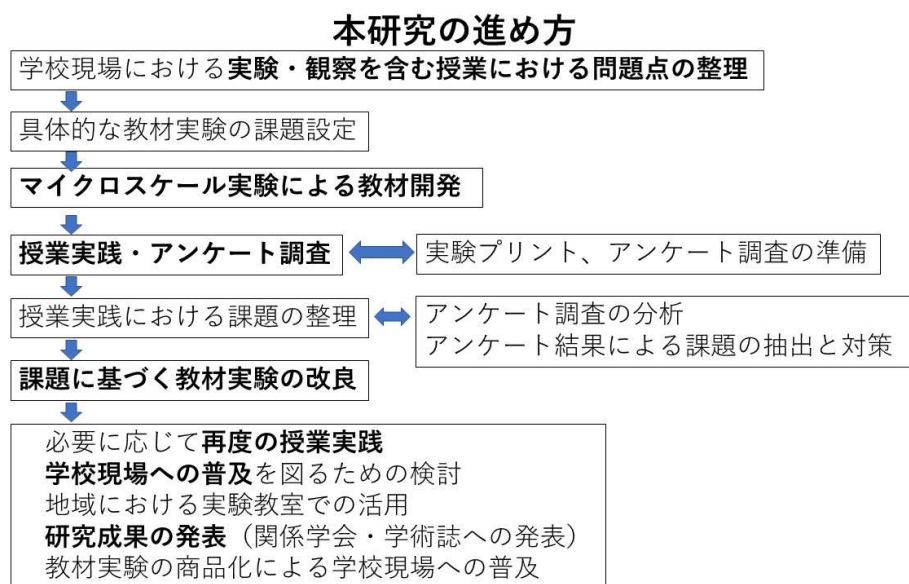


図7 本研究の進め方を示すフローチャート

本研究における特徴と進め方について以下にまとめる。

- ① 具体的な実験教材の開発を，マイクロスケール実験により新規に行い，個別実験の実現を図る。
- ② 開発した実験教材を用いて，安全性を最優先に，実験操作の改良と時間短縮，考える力の育成につながる主体的な学習を促す授業展開の提案を行う。
- ③ 将来にわたる理科教育の改善につなげるため，開発した教材について，授業や各種実験教室での実践的な活動による検証及び改善を進め，実用性の高いものにする。実践的な活動として，例えば学校現場の教員から参考意見を聴取するため，教育委員会等による研修講座あるいは免許状更新講習等の機会を積極的に活用する。
- ④ 授業等の実践的活動においては，アンケート調査と分析等による検証を踏まえる。
- ⑤ 実用性が確認できた開発教材については，学校現場への普及を図るため，実験操作を含む説明書，ワークシート等をオープンエンドの形で提供する。さらに，学術論文による公表だけでなく，教材会社との連携，一般書籍による公表などを積極的に進める。

### 2-3 各章の構成及び関連

以上の研究背景，理科教育における課題，観察・実験授業における具体的な課題を明らかにしていく。次に，学校現場のニーズに応えるため，個別実験を可能にする新しい実験方法を用いた教材実験の開発，授業実践等を経て教材の有効性を確認していく。

本論文では，以上の取り組みを論ずるため，序章と終章を含め5つの章と付録から構成される。本論文の構成を図8に示す。

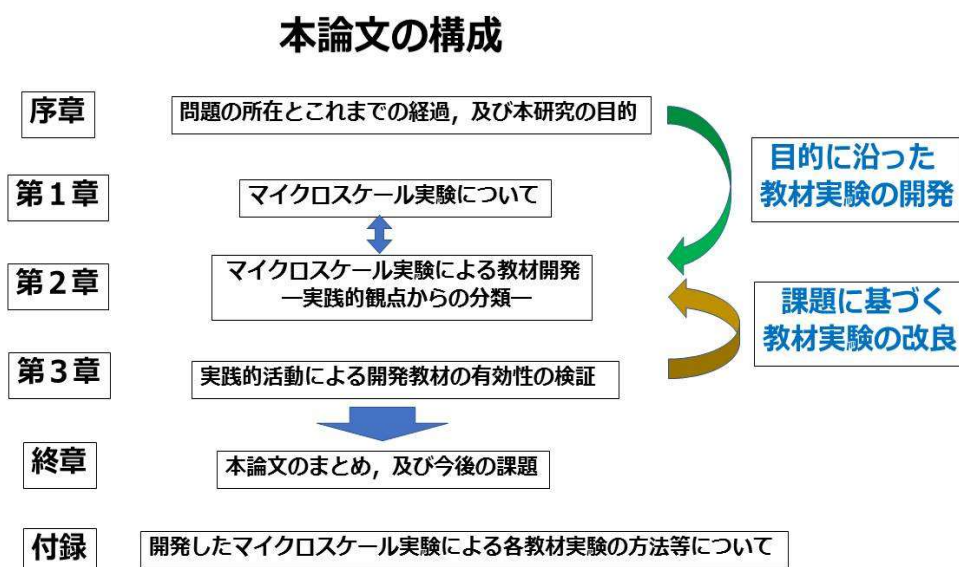


図8 本論文の構造

#### 本章のまとめ

本章においては、本研究の研究背景を述べるにあたり、理科教育における様々な課題の中でも、学校現場における観察・実験を含む授業の実施に注目した。実験形態の一つとしての「個別実験」の在り方と必要性について述べ、またその実現に向けて、現状の分析を踏まえた実験形態・実験方法を提案することと、さらに本研究の目的との関係についても述べた。特に、新学習指導要領において、教科等の目標及び内容が三つの柱として整理されているが、三つの柱と関連付けを行いながら考える力の育成と本研究における位置づけについて触れた。具体的な教材開発に用いるマイクロスケール実験について、本研究における位置づけを明確にする中で、科学リテラシーの獲得という最終目標に向けて考える力の育成を目指し、マイクロスケール実験による主体的な個別実験の導入を検討することの意義について述べた。

以上を踏まえ、本研究のテーマの設定、趣旨等についてまとめた。

## 引用文献

- 1) 文部科学省：学校教育法（昭和二十二年法律第二十六号）  
文部科学省 HP：  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/houan/kakutei/detail/1359105.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/houan/kakutei/detail/1359105.htm)  
あるいは法令データ提供システム  
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S22/S22F03501000011.html>
- 2) 文部科学省：OECD 生徒の学習到達度調査分析  
文部科学省 HP：  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/gakuryoku-chousa/sonota/detail/1344310.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku-chousa/sonota/detail/1344310.htm)
- 3) 武田一美・木谷要治編著(1956)：『中学校理科 個別化教育とその実践』，東京書籍，全 196p
- 4) 武田一美 編集(1989)：『中学校理科における個別化教育の実践』，理科セミナー，全 199p
- 5) 山下伸典・鄭 黎(2001)：「自然科学を基礎とした教科間の連携」，理科の教育，Vol. 49，pp. 8-11
- 6) 藤本勇二・渡邊重義・近藤憲助・所 庸子・山下伸典(1996)：「個別実験・観察による理科と他教科との連携」日本科学教育学会研究会研究報告
- 7) 文部科学省(2016)：「幼稚園，小学校，中学校，高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）」文部科学省中央教育審議会
- 8) 市川伸一編(2012)：『教えて考えさせる授業 中学校』，図書文化，全 142p  
市川伸一監修・鎗木良夫編集(2010)：『教えて考えさせる授業 小学校』図書文化，全 142p
- 9) 坂元康一郎(2014)：「科学的な思考力・表現力の育成を目指した理科学習指導」，日本初等理科教育研究会紀要，第 89 号，pp. 33-41
- 10) 椎窓敏広(2010)：「科学的な見方・考え方育成のため，思考の場と言語活動を工夫した理科学習指導—観察・実験の 2 ステップ化や論理的なノートづくりの工夫を通して」日本初等理科教育研究会紀要，第 85 号，pp. 51-60
- 11) 西川 純(2002)：「共同実験場面における学びの人間関係」，日本理科教育学会編『これからの理科授業実践への提案』 pp. 78-81
- 12) 清水 誠・大山 亨・中村友之(2008)：「実験グループの人数が理科学習に与える影響」，理科教育学研究，Vol. 49，No. 1，pp. 65-72
- 13) 清水 誠・石井 都・梅津恵子・島田直也(2005)：「小グループで話し合い，考えを外化することが概念形成に及ぼす効果—お湯の中から出る泡の正体の学習を事例に—」，理科教育学研究，Vol. 46，No. 1，pp. 53-59

- 14) 文部科学省(2008) : 中学校学習指導要領－理科編－
- 15) 文部科学省(2008) : 小学校学習指導要領－理科編－
- 16) 文部科学省(2008) : 中学校学習指導要領解説－理科編－, 大日本図書
- 17) 文部科学省(2009) : 高等学校学習指導要領解説－理科編理数編－
- 18) 吉川弘之ら(2015) : 『未来へひろがるサイエンス3』啓林館, 全115p
- 19) 文部科学省(2017) : 中学校学習指導要領解説－理科編－及び小学校学習指導要領解説－理科編－
- 20) 文部科学省 : 既出2) 及び国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS) の調査結果

文部科学省 HP :

[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/gakuryoku-chousa/sonota/detail/1344312.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku-chousa/sonota/detail/1344312.htm)

あるいは「PISA 調査 (科学的リテラシー) 及び TIMSS 調査 (理科) の結果  
分析と改善の方向」

文部科学省 HP :

[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/gakuryoku/siryu/1379649.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku/siryu/1379649.htm)

- 21) 国立科学博物館 科学リテラシー涵養に関する有識者会議 (2008) :  
「科学リテラシー涵養活動」を創る～世代に応じたプログラム開発のために～  
(中間報告)



## 第1章 マイクロスケール実験について

### 本章の目的と構成

本章は、次の項目より構成される。

- 1 マイクロスケール実験の歴史的背景と発展の経緯
- 2 マイクロスケール実験の教材実験への応用と実験器具の紹介
- 3 海外及び日本におけるマイクロスケール実験に関する研究の現状と学校現場での活用例
- 4 本研究におけるマイクロスケール実験の位置づけ

本章のまとめ

引用文献

本章の概要を以下に述べる。

序章において述べたように、科学リテラシーの獲得、児童・生徒の主体的な学びの重要性が指摘されており、学校教育における「理科教育」の在り方が問われている。理科教育の基礎となる観察・実験の重要性についても指摘されているが、一方で実施に向けて様々な課題があり、日常的な取り組みとしてはまだ十分に定着していない。そこで理科教育、とりわけ実験を含む授業の実践的な改革を推進するには、教員にとっては取り組みやすく、また児童・生徒にとっては実感を伴った理解につながる実験が望ましいと考え、その実験方法として、本研究ではマイクロスケール実験の積極的な活用を提案している。

本章では、マイクロスケール実験の発想や活用に関する歴史的な背景を示すと共に、日本の理科教育におけるマイクロスケール実験の取り組みについても触れ、本研究におけるマイクロスケール実験の導入の意義を明らかにする。

### 1 マイクロスケール実験の歴史的背景と発展の経緯

マイクロスケール実験が現在のように注目される過程で推進力となったのは、グリーンケミストリー (Green Chemistry) という考え方である。1994年にアメリカ環境保護庁により提案された「グリーンケミストリー」は、「物質を設計・合成し応用するときには有害物質をなるべく使わない、出さない化学」と言われ、“環境問題に配慮した化学合成”、“汚染防止につながる新しい合成法”、“環境

問題に配慮した化学”と評されている。さらに社会の持続的発展が可能な化学として「サステイナブルケミストリー」(Sustainable Chemistry)の考え方と融合し、GSC「グリーンサステイナブルケミストリー」(Green-Sustainable Chemistry)として注目されている<sup>1-3)</sup>。

このGSCの理念を、理科教育に反映させた実験方法の一つがマイクロスケール実験である。マイクロスケール実験は、一般には実験のスケールを従来よりもできる限り小さくした実験方法とみなされ、そのため試薬や廃棄物、それに係る経費の削減をはじめとした実験環境の改善が実現できる画期的な実験方法として普及してきた。

ここでは小学校、中学校、高等学校の学校現場において、教材実験の実施方法として授業に導入した場合の教育効果について注目し、その特徴を述べる。

一般に、マイクロスケール実験の特徴として、

- [1] 実験器具のスケールを通常よりも小さくする
- [2] 試薬と経費の削減と廃棄物の少量化
- [3] 試薬の少量化に伴い、事故防止に役立つ
- [4] 実験操作の簡略化による実験時間の短縮
- [5] 1～2人の個別実験が可能で、グループ実験とは異なる学習効果がある
- [6] 通常の教室でも実施が可能
- [7] 理科を専門としない教員も指導と準備が容易である

等があげられる<sup>4-6)</sup>。この中でも、注目すべきは[4]～[6]に記す特徴である。すなわち、教材実験に適用した場合、マイクロスケール実験は、グループではない小人数による「個別実験」と「実験時間の短縮」等が可能であり、あらたな授業展開と学習効果を期待することができる。

中学校理科学習指導要領解説理科編<sup>7)</sup>及び高等学校学習指導要領解説理科編理数編<sup>8)</sup>には、平成20年及び平成30年改訂版において、序章1-4で述べたように、廃棄物の処理に関する記述として「マイクロスケール実験など、使用する薬品の量をできる限り少なくした実験の機会を適宜設けることも考えられる」とあり、マイクロスケール実験が推奨されているが、これは上記の[1]～[3]の特徴を生かしていると考えられる。

以上のように、マイクロスケール実験は、環境問題を意識した取り組みとしてスタートしたが、さらに小学校、中学校、高等学校における理科実験にも適用され、その効果について検討されてきたと言える。

次に、マイクロスケール実験の歴史的な発展の経緯について触れる。

マイクロスケール実験の第一の特徴は、「実験器具のスケールを通常よりも小さくする」ことであるが、単に「実験のスケールを小さくする試み」は、すでに1950年代に先行研究として報告されている。1955年には、アメリカにおいて「セミマイクロ実験」(Semimicro Chemistry)として高等学校のテキストが出版されている<sup>9,10)</sup>。

一方、1950年代末以降、社会では化学物質の環境への影響が叫ばれ、物質の製造・使用・廃棄に関する規制が必要であるという認識が広がりを見せた。それ以降、1961年には、いわゆる「サリドマイドの悲劇」がおこり、化学物質の人体に与える影響についての関心が急速に高まった。また1962年には、レイチェル・カーソンが著書「沈黙の春」<sup>11)</sup>の中で、DDTなどの殺虫剤が食物連鎖を通じて、環境や人体に及ぼす影響を警告したことなども例としてあげられる。

さらに1970年代～80年代にかけて、化学企業による廃棄物投棄を原因とした土壌や河川の汚染が問題となった。このような環境に対する意識の高まりの中で、1990年には、“汚染未然防止法 (PPA : Pollution Prevention Act)”の法律が米国の連邦議会で成立したが、その趣旨は「いろいろな方法論と技術を使えば汚染は未然に防ぐことができ、もはやそれ以上の処置も規制もいらない」という内容に要約される。以上のような歴史的な流れが後のグリーンケミストリーの考え方へとつながる動きになったと言える。

以上の経緯を背景として、1980年代にアメリカの大学において、環境に対する問題意識が急速に芽生え、大学の研究室の環境改善に始まり、さらに実験の在り方にまで関心が及んだ。すでに述べたように、1950年代に提唱された「セミマイクロ実験」(Semimicro Chemistry)は、1980年代になって再度見直され、大学を中心に組織的に実験のダウンサイジングが試行されることになる。その一環として特に有機化学分野において実験スケールを小さくする研究が積極的

に行われた。この当時、アメリカでは、Microscale Chemistry より Small-Scale Chemistry という用語が一般に用いられていた。さらに1993年には米環境保護庁 (EPA)、アメリカ科学財団 (NSF) 等の支援により、マサチューセッツ州の Merrimack College に National Microscale Chemistry Center (NMCC あるいは NMC<sup>2</sup>) が設置され、小学校から中学校、高校の教材実験、さらに大学の教養実験に至るまで、多くの実験方法が開発された。NMCC は初等・中等教育レベルのワークショップも積極的に行い、マイクロスケール実験が国内外に普及するのに大きな役割を果たした。ワークショップには荻野ら日本からの参加者もあったが、その後の国内におけるマイクロスケール化学実験の導入については、「マイクロスケール化学実験」(日本化学会)<sup>6,12)</sup>に述べられている。

以上のような経緯からマイクロスケール実験は、小学校・中学校・高等学校・大学を問わず、世界中で理科実験—化学実験における幅広いレベルで広がりを見せた。アジア、ヨーロッパの各国でも、マイクロスケール実験への関心は高く、教科書への導入や実験キットの開発・普及が盛んに行われている。

次に、日本でのマイクロスケール実験の普及状況について述べる。1955年以降に、アメリカで出版された「セミマイクロ実験」の高等学校テキスト<sup>9,10)</sup>をいち早く日本に紹介した新海勝良(元山梨学芸大学〈現山梨大学〉)は自作改良した実験器具を「中学・高校の化学実験のセミマイクロ化」と題して、自身の論文と実験器具を1960年の「科学の実験」に詳しく連載し<sup>13,14)</sup>、実験テキストの発刊も行った<sup>15)</sup>。また高橋金三郎(元宮城教育大学)は、「セミマイクロ実験」の教育的意義を認め、磁性さじを反応容器として使い、数滴のごく少量の試薬による化学反応を提唱していた<sup>16)</sup>。図1-1は当時出版された実験テキスト及び論文の1ページ目を示す。



図1-1 セミマイクロ化学実験の  
テキストと論文<sup>13-16)</sup>

当時、分析化学の分野では、Semimicro Chemistry は「半微量化学実験」とも呼ばれていた。当時のアメリカ化学会分析部会では、分析のために採取する試料の多少により、macro 法 >100 mg, semi-micro 法 10~100 mg, micro 法 0.1

～10 mg, ultra-micro 法 <0.1 mg のように分類していた<sup>15)</sup>。すなわち、使う実験器具のサイズではなく、必要な試薬の量により分類していたと言える。一方、新海は、学校現場での化学実験の特性を優先して、「従来の化学実験に比べて試薬の量が微量ですみ、器具の大きさもずっと小型化したものを使う実験」をセミマイクロ実験としている<sup>16)</sup>。さらに、セミマイクロ化の必要性と教育効果について、経費の節約、安全性だけでなく、「時間の短縮」「理解程度の向上」「科学的態度の育成」「生徒の個性の伸長」「教師の労働量の減少」の観点でも強調している。現在では、プラスチック材料による実験器具の入手が容易であるが、当時はほとんどガラス製、磁器製の器具が使われたため小型化するには限界があったにもかかわらず、多くの工夫がみられた。しかし実験のセミマイクロ化は、その後の学校現場にはあまり普及しなかった。

1980年代になって、アメリカにおける NMCC 主催のマイクロスケール実験講習会の様子が日本でも紹介されるようになり、荻野らが行った先導的な教材開発や実践例は“マイクロスケール実験の広場”<sup>6)</sup>（日本化学会：「化学と教育」）に数多く報告されている。

## 2 マイクロスケール実験の教材実験への応用と実験器具の紹介

マイクロスケール実験の特徴については、すでに前節1の発展の経緯の中で述べてきたが、実際のマイクロスケール実験では、安価で破損も少ないプラスチック製の器具を多く用いる。特徴の[3]であげたように、実験器具の小型化、



図1-2 24及び6セルプレート、ポリスポイト、投薬ビン、点眼ビン

試薬の少量化に伴って、事故防止の効果も非常に大きい。そのため、器具の準備や管理、また危機管理についても教員の負担は軽減されると考えられる。マイクロスケール実験で用いる代表的な実験器具の例を図1-2に示す。

化学分野の実験では、試薬の調合や管理が、教員にとっては大きな負担となる場合もある。しかし、マイクロスケール実験では、使用する薬品の量が極めて少なく、数滴の試薬で反応が完結することもある。したがって、変性しやすい試薬を除けば、試薬を調合する頻度は激減し、

それに伴って廃液の処理も簡単になる。特に小学校では、試薬の調製や管理が実験を実施する上でハードルになる場合も多く、この点、特徴の [7] であげたように、マイクロスケール実験は実験に慣れていない教員にとっても、非常に取り組みやすい実験方法である。

次に特徴の [5] 個別実験の可能性について述べる。マイクロスケール実験では、用いる実験器具が小さいため、机上の占有スペースが少なく、また一般に器具が安価なため、グループ実験ではなく1~2人による個別実験が可能である。第2章において詳述するように、授業実践での児童・生徒の感想にも、個別実験による充実感、達成感が多く述べられている。教員研修でマイクロスケール実験を体験した教員からは、実験における児童・生徒の真剣な取り組みを目の当たりにして、教員にとっても児童・生徒に対する新しい発見があることも報告されている。また、個別実験は実験のやりなおし、さらには実験方法の工夫の機会を児童・生徒に与えることも可能である。さらに、操作の簡略化に伴い、生み出された実験時間の短縮により、実験結果の発表・討論に授業時間を費やすこともできる。児童・生徒にとっても個別実験の結果を発表することで実験に対する意欲が高まり、同時にクラス全体での言語活動の意識を高め、コミュニケーション力を向上させることができる<sup>17)</sup>。

以上の点から、次のように考える。マイクロスケール実験は、環境問題を意識した取り組みだけでなく、児童・生徒に求められる「自ら課題をみつけ解決する力」を養う上で、個別実験をベースにした探究的な活動を促す最適な実験方法としての可能性をもっている。

### 3 海外及び日本のマイクロスケール実験に関する研究の現状と学校現場での活用例

マイクロスケール実験は、「1 マイクロスケール実験の歴史的背景と発展の経緯」にて述べたように、Microscale Chemistry あるいは Small-Scale Chemistry、ドイツ語圏では Chemie im Mikromaßstab の名称で普及している。その取り組みには、大きくわけて2つの流れがあり、ひとつは、従来の実験からマイクロスケール実験による実験方法の変更、もう一つは、マイクロスケール実験を用いた新たな実験の開発である。

一つ目の実験方法の変更とは、一般化学でおこなわれる様々な基礎的な実験を、ガラス器具を主に用いていた従来の実験方法からマイクロスケール実験の方法への変更であり、「低コストで最も簡易な方法でありながら、最大の知識や情報を得ることのできる安全な実験」として海外の学校現場では普及している。マイクロスケール実験の導入が進んでいる海外では、系統的、連続的な実験教材、カリキュラムが開発され、各教育課程に応じたテキストが数多く出版されている。また、大学初年度の化学カリキュラムにマイクロスケール実験を導入している大学も多く、特に経費と実験廃棄物の削減に大きな成果を上げている。海外で使用されているテキストの例を参考文献 18)～30)に示す。

National Small-Scale Chemistry Center の中心的指導者でもある、コロラド州立大学の Stephen Thompson の著書である CHEMITREC<sup>20)</sup> では、化学的理論や原理について十分に理解を深めた上で実験を行い、実験レポートを正確に、厳密に書く能力を要求するという展開が重視されている。また、コロラド州立大学では、大学初年度の化学カリキュラムにマイクロスケール実験を導入し、消耗品に要する経費や実験廃棄物処理費用の大幅な削減に成功している。しかもマイクロスケール実験の導入により、厳密な内容や教授法、化学に対する学生の興味が損なわれることはなく、従来の実験方法に比べても全く遜色無く、それ以上に教育的な効果があることを証明している。

二つ目の新たな実験の開発とは、特に有機化学分野の合成実験において大きな成果が得られている。数ミリグラムの試薬を使い、実験経験の少ない学生を対象に行う合成実験の手法が開発され、詳しいテキストも多く出版されている。代表例として、文献 26) にあがる D. W. Mayo, R. M. Pike, P. K. Trumper らの報告が挙げられる。また、中国でのマイクロスケール実験の中心的な研究者である周寧懐は、大学レベルで始まったマイクロスケール化学（中国では微型机上化学）を小・中学校理科にも広げ、科学教育改革を目指している<sup>19)</sup>。タイでは、チュラロンコン大学を中心として、学校現場への導入に力をいれ、ガラス製のマイクロスケール実験キットも市販され、テキストも刊行されている<sup>29)</sup>。

海外<sup>6)</sup>では、すでに述べた例としてアメリカにおいては US National

Microscale Chemistry Center (NMCC) の活動を中心に普及し、理化学用ガラス器具メーカーから、主に有機化学学生実験用キットが多く販売されている。南アフリカでは、実験設備が十分に整わない地域においても実験を可能にするため、Radmaste 社をはじめいくつかの会社が実験キットの開発、販売、輸出を行っている。その他、中国、韓国、メキシコ、ドイツ等においても、マイクロスケール実験の学校現場への普及は進んでいる。

マイクロスケール実験の先進国とも言えるアメリカにおいては、マイクロスケール実験が通常スケールの実験と組み合わせて活用されている点が特徴である。実験の操作性、安全性だけでなく学習内容を考慮して、実験テーマを選択しながら、通常スケールの実験が併用されている。「Standard & Microscale Experiments …」と題したテキストがいくつか市販されている<sup>30)</sup>。

#### 4 本研究におけるマイクロスケール実験の位置づけ

以上、マイクロスケール実験の発展の経緯や過程、及び学校現場における活用の状況について述べてきた。マイクロスケール実験の導入の意義については、環境問題の改善だけでなく、高い教育効果を持つ点からも評価されている。しかし、日本では、理科教育の中に日常的にマイクロスケール実験が普及しているという状況には至っていない<sup>4,5)</sup>。

十分に普及していない状況の原因として、学習指導要領で観察・実験の重要性が指摘されながら、学校現場においては、実験に十分な時間が取れないこと、実験に必要な費用が不足していること、日常的な教員の負担が大きく実験の準備に時間がとれないこと、特に小学校の現場においては十分な実験の指導経験をもつ教員が少なく、児童の理科離れの原因にもなっていること、等があげられる。また、マイクロスケール実験を用いた教材実験は、この10年間に教員研修や地域の実験教室等でも多く採用されているが、まだ十分に活用されているとは言えない。

序章にて述べたように、現在、学校教育のあり方が大きく変わろうとしている。理科教育においては、観察・実験を踏まえた思考力・判断力・表現力の育成が求められ、児童・生徒の主体的な学びを支援する取り組みが必要とされてい



る。このような状況の中で、マイクロスケール実験を基礎とした「個別実験」と「時間短縮」を図り、それによる余剰時間の活用として、協働的な活動を取り入れた授業展開の実践をとおして、開発した教材の有効性を検証し、理科教育の改善を図ることは大きな意義があると考えられる。例えば、実験前後の協働的な活動、及び「個別実験」を授業時間内に実施するには、実験時間の短縮と教員側の負担の軽減が大きな課題となる。個別実験による実験時間の短縮を実現するには、学校現場へのマイクロスケール実験の導入を推進する必要がある。

一人ひとりの考える力を育むような主体的で対話的な学びを促す理科教育の具体的な実験方法として、観察・実験の機会をできるだけ増やし、児童・生徒の実感を伴う能動的な取り組みを繰り返す、マイクロスケール実験の活用を提案することが本研究の大きな課題である。図1-3に、本研究におけるマイクロスケール実験の位置づけをまとめた。

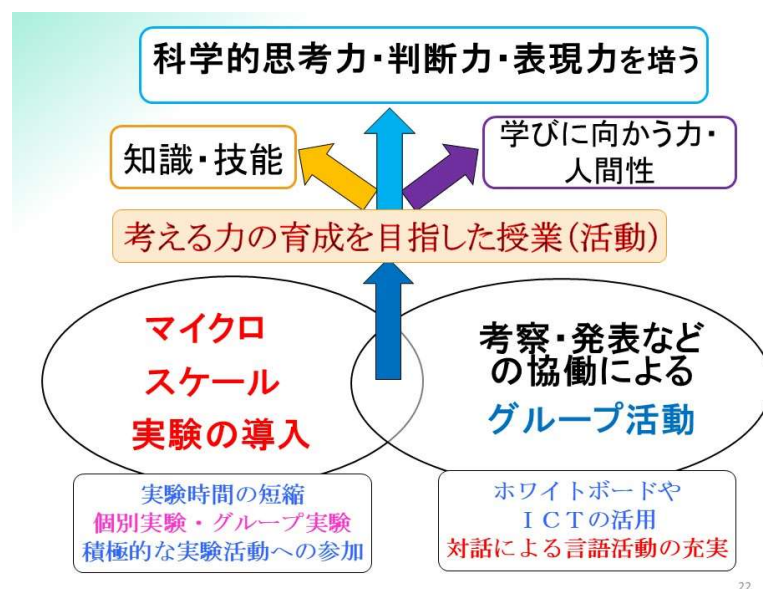


図 1-3 本研究におけるマイクロスケール実験の位置づけ

ここで、従来から行われている通常スケールによる教材実験とマイクロスケール実験との関係について述べる。すでに、二つの関係については、序章1-4 2) マイクロスケール実験の導入と役割についてのところで述べ、また本章の3 海

外及び日本におけるマイクロスケール実験に関する研究の現状と学校現場での活用例 においても紹介したように、すべての教材実験をマイクロスケール実験で実施することを目指すのではなく、それぞれの内容に適した実験方法を選択することが重要である。すなわち、通常スケール実験による演示実験、グループ実験が適している場合と、一人ひとりが実験に取り組む、あるいは二人で一つの実験を実施することで、一人ひとりが深く主体的に実験に携わり、自らの体験に基づく考えを引き出すことに適した場合を検討した上で、マイクロスケール実験を活用することが重要と考える。

### 本章のまとめ

本章では、本研究の教材開発において用いたマイクロスケール実験について、その歴史的な発展の経緯を踏まえ、その特徴と学校現場での活用の状況についてまとめた。また、海外でのマイクロスケール実験の活用状況と比較しながら、日本の学校現場に導入する際に考えられる課題についても言及してきた。その上で第2章以降にて、マイクロスケール実験の教材開発及び実践活動を述べるため、本研究におけるマイクロスケール実験の位置づけを示した。

## 引用文献

- 1) Paul T. Anastas, John C. Warner, 日本化学会, 科学技術戦略推進機構訳編, 渡辺正, 北島昌夫訳(1999): 『グリーンケミストリー』, 全 124p, 丸善
- 2) 荻野和子, 柘植秀樹, 竹内茂彌 (編) (2009): 『環境と化学—グリーンケミストリー入門』, 東京化学同人, 全 230p
- 3) 御園生誠(2007): 『化学環境学』, 裳華房, 全 250p
- 4) 芝原寛泰, 佐藤美子(2011): 『マイクロスケール実験—環境にやさしい理科実験』 オーム社, 全 131p,  
同英訳版 H. Shibahara and Y. Sato(2016): 『Microscale Experiment-Environment Conscious Science Experiment』 オーム社, 全 118p
- 5) 荻野博, 荻野和子, 猪俣慎二(2005): 「新しい教育法—マイクロスケール化学の現状と課題」, 放送大学研究年報, vol.23, pp.89-95
- 6) 日本化学会 (編) (2003): 『マイクロスケール化学実験—マイクロスケール実験の広場から—』, 全 45p
- 7) 文部科学省 (2008): 中学校学習指導要領解説—理科編—, p. 110  
(2018) 中学校学習指導要領解説—理科編—, p. 133
- 8) 文部科学省(2009): 高等学校学習指導要領解説—理科編 理数編—, p. 127
- 9) F.T. Weisbruch(1955): 『Semimicro Laboratory Exercises in High School Chemistry, 2<sup>nd</sup> Ed』 . D.C. Heath & Co.
- 10) De Bruyne Kirk・Beers (1958): 『Semimicro Chemistry, A High School Laboratory Course』 , Henry Holt & Co.
- 11) レイチェル・カーソン著, 青樹築一 訳(2004): 『沈黙の春』, 新潮社, 全 403p
- 12) 甲國信(2001): 「アメリカナショナルマイクロスケールケミストリーセンターの有機化学ワークショップ」, 化学と教育, vol.49, No.5, pp.302-303
- 13) 新海勝良(1960): 「中学・高校の化学実験のためのセミ・マイクロ化」, 科学の実験, Vol. XI, No.1, pp.55-61 & No.3, pp.220-226 & No.4, pp.311-317
- 14) 新海勝良(1962): 「高校化学実験のためのセミマイクロ法の採用」, 化学教育, 第 10 卷 第 1 号, pp.56-63
- 15) 新海勝良 (1962): 『セミマイクロ化学実験法 (理科実験法の革新〈第 2〉)』, 明治図書, 全 212p,
- 16) 高橋金三郎(1960): 「セミマイクロ実験の一方法」, 理科教室, Vol.3, 10 月号, pp.34-35
- 17) 佐藤美子, 芝原寛泰(2009): 「考える力の育成を目指す生徒による実験プランニング—マイクロスケール実験による中学校理科の授業展開—」, 京都教育大学教育実践研究年報, 第 17 号, pp.15-27
- 18) John Skinner(1997): 『Microscale Chemistry』, The Royal Society of

- Chemistry, 全 192p,
- 19) 周寧懷 (2000) : 微型天机化学実験, 科学出版社, 全 251p
  - 20) Stephen Thompson(1989) : 『CHEMITREC (small-scale experiments for general chemistry)』, PRENTICE HALL , 全 525p
  - 21) Bruce Mattson ,Michael P. Anderson, Susan Mattson(2006): 『Microscale Gas Chemistry』, Educational Innovations , 全 482p
  - 22) Jerry L.Mills ,Michael D.Hampton (1988) : 『Microscale Laboratory Manual for General Chemistry』, Random House , 全 194p
  - 23) Edward L.Waterman, Stephen Thompson (2000) : 『Small-Scale Chemistry Laboratory Manual』, PRENTICE HALL , 全 335p
  - 24) Zvi Szafran, Ronald M.Pike, Judith C. Foster (2001): 『Microscale General Chemistry Laboratory with Selected Macroscale Experiments』 , John Wiley & Sons, Inc., 全 513p
  - 25) Zvi Szafran, Ronald M.Pike, Mono M. Singh (1991): 『Microscale Inorganic Chemistry』 , John Wiley & Sons, Inc., 全 363p
  - 26) Dana W. Mayo, Ronald M. Pike, Peter K. Trumper (2000): 『MICROSCALE ORGANIC LABORATORY,』 John Wiley & Sons Inc., 全 668p
  - 27) T.S. Ma, V.Horak(1975): 『Microscale Manipulations in Chemistry』 , Wiley Interscience , 全 488p
  - 28) Carl B. Bishop, Muriel B. Bishop, Kenneth W. Whitten (2000): 『General Chemistry』 , Saunders College Publishing , 全 620p
  - 29) Pornpan Domkanijananan (2003): 『化学の世界をひらこう』 , Chulalongkorn 大学出版, 全 164p
  - 30) Carl B. Bishop, Muriel B. Bishop, Kenneth W. Whitten (2004): 『STANDARD & MICROSCALE EXPERIMENTS IN GENERAL CHEMISTRY』 5 版, THOMSON BOOKS/COLE, 全 556p

## 第2章 マイクロスケール実験による教材開発—実践的観点からの分類—

### 本章の目的と構成

本章の構成を以下に示す。

- 1 開発した教材を分類するための観点について
- 2 開発した教材の各観点到沿った分類と特徴
  - 2-1 操作・準備の簡略化と時間短縮のための開発・改良
    - 1) 実験器具の改良
      - イ) 電気分解における電解槽の改良
        - 主に塩化銅(II)水溶液の電気分解を例に—
      - ロ) 電源装置の改良
        - ① USBハブの活用
        - ② 6Pボックス電池の活用
        - ③ 直流電源装置の分岐タップの活用
        - ④ ボタン電池の活用
    - 2) 加熱方法の改良
      - イ) 混合物の分離における加熱方法（昇華と蒸留実験）
      - ロ) プラスチックを用いた還元における加熱方法
    - 3) 実験廃液の削減と準備等による負担の軽減
      - イ) 塩化銅(II)水溶液の電気分解における実験廃液の削減
      - ロ) 反応容器の改良（呈色板の活用を例に）
  - 2-2 個別実験の形態と学習効果
    - 1) 「気体の発生と性質」における個別実験
    - 2) 「金属の組合せと反応の違い」における個別実験
  - 2-3 汎用性のある実験器具の開発と普及（呈色板の活用）
    - 1) 小学校理科
      - イ) だ液のはたらき・デンプンしらべ
      - ロ) 導通テストキットによる「電気の通りみち」
    - 2) 中学校理科
      - イ) 導通テストキットによる「水溶液とイオン」

ロ) 塩化銅(II)水溶液の電気分解

3) 高等学校化学

イ) いろいろな電解質溶液の電気分解

ロ) 呈色板と小型ピペットを用いた「pHと指示薬の変化」

本章のまとめと註

引用文献

本章の概要を以下に述べる。

本論文では研究目的の達成のため、理科教育の改善を図る教材の開発が重要な位置を占めている。第1章において述べたマイクロスケール実験の手法により、その趣旨を反映した実験教材の開発を行った。本章においては、約10年に及ぶ教材開発の蓄積の中から抜粋して、開発した教材を活用すると理科教育に対してどのような改善が期待できるか、児童・生徒の学ぶ立場からいくつかの観点にわけて分類した。さらに教材実験の趣旨と概要、従来の実験方法との違い及び特徴についてもまとめた。以下、マイクロスケール実験の特徴を生かした活用として、授業の改善につながった例を中心に取りあげる。

尚、開発した実験教材を用いた授業実践及び、アンケート結果と分析についての詳細と検証は第3章にまとめた。また、本論文の付録では、本章で扱わない教材実験も含め、本研究に関連して開発した教材についてまとめている

## 1 開発した教材を分類するための観点について

本研究の目的を達成するために開発した教材を、大きく次の3つの観点により整理した。

- ① 操作・準備の簡略化と時間短縮のための開発・改良
- ② 個別実験の形態と学習効果
- ③ 汎用性のある器具の開発と普及

①では、さらに3つの項目1)～3)に分け具体的な改良点を示した。

- 1) 実験器具の改良
- 2) 加熱方法の改良
- 3) 実験廃液の削減と準備等による負担の軽減

以下、この分類に従い本研究で開発した教材について説明する。

## 2 開発教材の各観点到に沿った分類と特徴

### 2-1 操作・準備の簡略化と時間短縮のための開発・改良

考える力の育成を目指し、主体的な活動を促す個別実験を実現するためには、従来の実験方法とは異なる新しい発想に基づく教材開発が求められる。個別実験の実現に向けて、安全性を考慮した上で実験前後の準備・片付けの簡略化と時間短縮を図るという観点から、開発した教材実験の特徴と経緯について述べる。

表2-1に、「操作・準備の簡略化と時間短縮」に該当する開発した教材実験のテーマをまとめた。ここでは、さらに次の3項目に分類して整理した。

- 1) 実験器具の改良
- 2) 加熱方法の改良
- 3) 実験廃液の削減と準備等による負担の軽減

表2-1 操作・準備の簡略化と時間短縮に注目した具体的な実験テーマ

分類の観点	該当する教材実験のテーマ
1) 実験器具の改良	イ) 電気分解における電解槽の改良 ロ) 電源装置の改良 ①USBハブの活用 ②6Pボックス電池の活用 ③直流電源装置の分岐タップの活用 ④ボタン電池の活用

2) 加熱方法の改良	イ) 混合物の分離における加熱方法 ロ) プラスチックを用いた還元における加熱方法
3) 実験廃液の削減と準備等による負担の軽減	イ) 塩化銅(II)水溶液の電気分解における実験廃液の削減 ロ) 反応容器の改良 (呈色板の活用を例に)

マイクロスケール実験の導入により、実験操作・準備の簡略化と実験時間の短縮が可能になるため、授業改善の効果が期待される。実験の実施にあたって、この操作・準備の簡略化と時間短縮という観点は学校現場への普及にとって大きな課題であり、また学習効果を高める上でも重要な観点である。これらの実現により、実験の安全性だけでなく余剰時間を生み出し、実験前後の予想や討論等のための時間の確保が可能となる。そこで、本研究では単なる時間短縮ではなく、考える力の育成につながり児童・生徒の主体的な活動を支援できる新しい授業展開を目指して、教材実験の開発を積極的に行った。

また時間短縮により、再実験を要望する児童・生徒への対応も可能となった。要望に答え、再実験の機会を与えることで、児童・生徒一人ひとりが実験操作や現象についての理解を深め、学習効果が高まると報告されている<sup>9)</sup>。本研究においても、再実験の機会を与えられたことが、児童・生徒の学習意欲に大きく影響したことについては、第3章2-1及び2-2で述べる。また、実験前後における準備や後片付けの簡略化は、児童・生徒が授業時間内に処理でき、実験全体に対する達成感をもつだけでなく、指導する教員にとっても大きな負担の軽減となる。教員の負担を減らすことは、授業の中に実験を定着させ、授業の展開に工夫を行う時間のゆとりを生み出す大きな要因となる。



操作・準備の簡略化と時間短縮の趣旨に沿って開発された教材実験のうち、ここでは特にその効果が顕著な例を次に示す。

## 1) 実験器具の改良

### イ) 電気分解における電解槽の改良

—主に塩化銅(II)水溶液の電気分解を例に—

中学校理科および高等学校化学において重要な学習事項である電気分解の実験では、電解槽を小型化したことで、操作の簡略化が進み、同時に実験廃液を削減する効果も大きくなった。



図2-1 中学校理科教科書に記載の実験例  
塩化銅(II)水溶液の電気分解<sup>2)</sup>

図2-1は中学校理科教科書（啓林館）<sup>2)</sup>に記載されている塩化銅(II)水溶液の電気分解による実験の様子である。一般には100～200mLのビーカーを電解槽として、また炭素棒（直径約0.5mm、長さ約5～8cm）を用いる。図2-1の電気分解の実験を授業で実施する場合、次のような課題がある。

- ・ 実験後の廃液量が多くなる。
- ・ 器具の大きさ、占有スペース、電源の確保等の点から、4～5人の班単位の「グループ実験」となる。

- ・実験操作等を体験するメンバーが限定される等，生徒の実験に対する取り組みに差が生じる。

一方で，「電解槽が大きいので，反応の様子を全員で観察できる」「同じ実験結果をグループで共有できる」という利点もある。

上に示した3点の課題を解決する手段として，図2-2のパックテスト容器（註2）を電解槽として用いることを試みた。尚，電気分解の実験における電源装置の改良については本章の次節口）で，実験後にできる廃液の削減については，同じく2-1の3）で述べ，ここでは電解槽の検討についてのみ述べる。



図2-2 パックテスト容器



図2-3 セルプレートによる電解槽

マイクロスケール実験による塩化銅(II)水溶液の電気分解には，いくつかの先行例がある。図2-3は，セルプレートを電解槽として用い，炭素棒（直径0.5cm）を電極としている<sup>3,4)</sup>。また，プラスチック製の分光セル容器を電解槽として用いた報告もある（図2-4）<sup>5)</sup>。セルプレートを電解槽として用いた先行研究<sup>3,4)</sup>では，従来のビーカー等を用いた実験に比べ，「試薬の量が削減できる」，「有毒気体（塩素など）の発生量が少ない」などのメリットがあった。しかし，実験中の電極付近の変化の様子を観察することが難しく，さらに電極に析出した物質を確認するためには，実験中に電気分解を一旦中断しなければならないという問題点があった。

一方，側面が透明な分光セルを電解槽に用いた図2-4の先行研究では，電気分解を中断することなく，実験中の電極付近の観察が側

面から可能である<sup>5)</sup>。



図 2-4 塩化銅(II)水溶液  
の電気分解<sup>5)</sup>

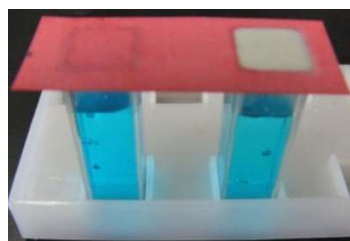


図 2-5 塩素の漂白作用の確認<sup>5)</sup>  
(左：電気分解前 右：電気分解後)

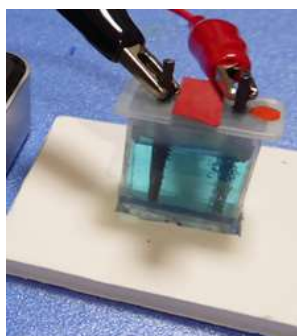


図2-6 パックテスト容器を  
専用台に載せて安定化<sup>6)</sup>



図2-7 本研究で開発したパック  
テスト容器を用いた塩化銅  
(II)水溶液の電気分解<sup>6)</sup>

本研究では、図 2-2 のパックテスト容器を電解槽、炭素棒（ホルダー芯）を電極とする電気分解の実験方法を開発した<sup>6)</sup>。

実験の様子を図 2-6, 2-7 に示す。図 2-6 では、容器を専用台（発泡スチロール（ポリスチレンフォーム）製あるいは耐水性プラスチック製）を用いて安定させている。図 2-7 は、通電 3 分後の様子で、左側電極（+）においては塩素の発生が、右側電極（-）においては銅が樹枝状になって析出する様子を明瞭に観察できるようになった。容器のふたに小穴を空け、その上に置いた赤色紙が脱色していく様子もすぐに観察できる。

この方法の利点を以下にまとめる。

- ① 電解槽が小さく、電極の取り付けも簡素化され、実験操作が簡略になる。
- ② 容器内で電極の炭素棒が接触することなく、同時に電気分解中の電極表面の変化が非常に見やすくなる。
- ③ 容器の透明性が高く平面のため、両極の電極付近の観察が容易となる。
- ④ 発生する塩素は少量で、通常の喚気で安全に実施できる。
- ⑤ 塩素が脱色作用に関わっていることを容易に確認できる。ろ紙をのせて観察するが、ふたを取り外す必要もなく、電気分解と同時に脱色反応が観察でき、実験時間の短縮にもつながる。

以上のように、器具の改良により、操作の簡略化と時間の短縮を図った。時間短縮により、複数のテーマを授業時間内に実施できること、新たな授業デザインの構築が可能になると期待している。これらの検証については、授業等における実践的な活用を踏まえ、第3章において述べる。

#### ロ) 電源装置の改良

電気分解の実験に用いる電源装置の改良について述べる。通常の電気分解では、電解質溶液の分解電圧を考慮すると約1.5 Vの電圧で可能であるが、授業で実施するには、時間的な制約から直流5 V以上が供給できる電源装置が便利である。従来から学校現場において備わっている直流電源装置は大型で高価なため、個別実験には不向きである(図2-9)。本研究では、操作の簡略化と時間短縮の観点から、さらには実験机上の省スペース化と個別実験の実現のため、電源装置について改良を重ねてきた。改良の過程について、次の項目①～④としてまとめた。

- ① USBハブの活用、② 6 p ボックス電池の活用、③ 直流電源装置の

分岐タップの活用，④ ボタン電池の活用



図2-9 一般的な直流電源装置（ヤガミ製）

以下に，①～④について検討した過程を述べる。

### ① USBハブの活用

USBハブを活用した場合，USBケーブルをとおして，直流5 Vを4ヶ所同時に共有できる<sup>4)</sup>。電気分解に必要な電流値は，条件に依存するが100 mA以下であり，USBハブのトータルの許容電流が500 mAであることから，4人が4ヶ所で同時に個別実験を行う場合にも適用可能である。特に図2-10に示すように，USBハブには個別のスイッチがあり，実験者の判断により，通電の開始，中断，再開が可能で，自分のペースで考えながら行う個別実験にとっては，重要な要素となっている。

USBハブを電源装置として用いた実験は，本研究においても初期の段階から行っており，すでに多くの報告例もある<sup>4, 5)</sup>。

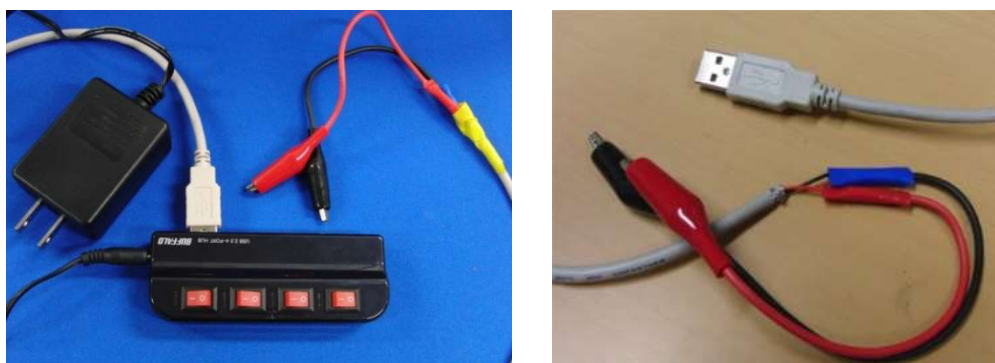


図2-10 USBハブを用いた直流電源（左）と改良したUSBケーブル（右）<sup>4)</sup>

## ② 6Pボックス電池の活用

6Pボックス電池を活用した実験例として、塩化銅(Ⅱ)水溶液の電気分解を図2-11に示す。この場合、図2-11のように電極の炭素棒の先端に直接、接触させることにより、簡単に電気分解の開始と中断が可能となる。6Pボックス電池を用いると、直流電圧9Vの供給が可能であり、電気分解の実験では、極めて短時間に結果を得ることができる利点がある。しかし、6P電池を実験者数だけ準備する必要があること、6P電池が教科書にはほとんど登場しないタイプの電池であり、極性等についての説明が実験前に必要であるという問題点がある。

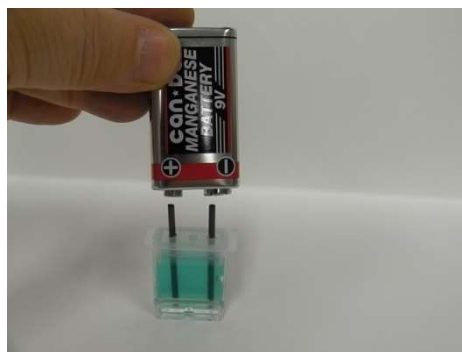


図2-11 6P電池による電気分解

## ③ 直流電源装置の分岐タップの活用

すでに述べたように、図2-9に示した直流電源装置は、1人ひとつの実験器具の提供を基本とする個別実験には不向きである。しかし、小学校から高等学校にいたる学校現場においては、すでに各実験机に1台の割合で備わっている場合が多い。この現有の直流電源装置を、個別実験に積極的に有効活用するため、電源からの出力端子を分岐する装置を作製した<sup>7)</sup>。これを「電源分岐タップ」と呼ぶ。図2-12に「電源分岐タップ」の概観を、図2-13に内部の配線構造を示している。直流電源装置からの端子を、6ヶ所に並列配線で分岐している。したがって、6ヶ所の各端子にかかる電圧は、直流電源装置本体にて制御可能であり、電流は各端子の抵抗値に依存するが、それらの合計となる。また、電源分岐タップには個別のスイ

タッチが付けてあり，USBハブを用いた場合と同様に，実験者の判断により通電のオンとオフを可能にして，個別実験に適するように工夫している。図2-14は，分岐タップを使って6ヶ所同時に塩化銅(II)水溶液の電気分解を行っているところである。電圧は約4 V，トータル電流は0.7 Aである。通電後，すぐに電極付近の反応が観察でき，発生した塩素により，水で湿らせた色紙の脱色が確認できた。図2-15は，公立中学校における授業実践の様子を示している。小規模クラスのため，分岐タップを4人で共有して，各自が個別に実験を行っている。

従来から実験室に備わっている直流電源装置を活用するため，また個別実験を実現するため，電源分岐タップの試作を行ったが，その安全性や使い勝手の良さについては授業実践により検証した。授業実践の様子は第3章2-1において述べる。

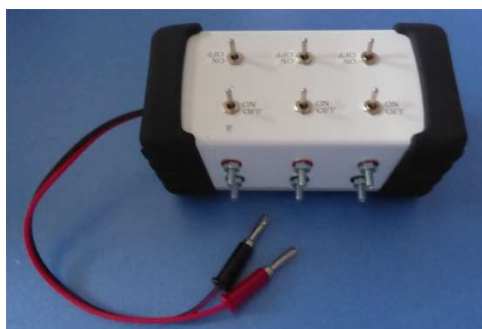


図2-12 試作した電源分岐タップ

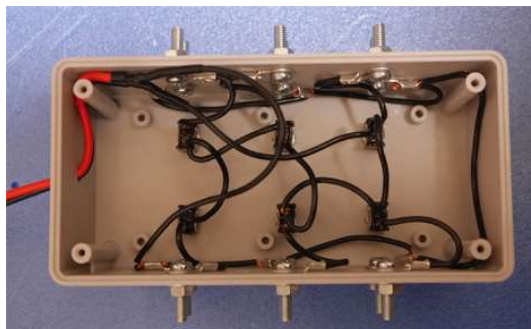


図2-13 電源分岐タップの配線図

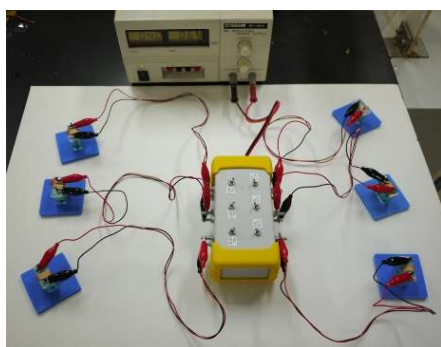


図2-14 6ヶ所での電気分解実験

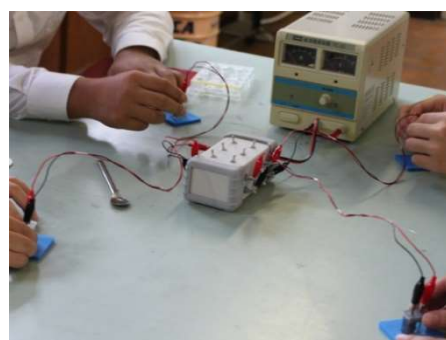


図2-15 中学校での実践の様子

#### ④ ボタン電池の活用

ボタン電池（リチウム電池）は一般に小型（CR2032の場合，直径20 mm，厚さ3.2 mm）で，1個で約3.0 Vの直流電圧が供給できる。直列配線等の工夫により，電気分解の実験にも応用が可能である<sup>8)</sup>。ボタン電池は，「導通テスト」の実験ではテストキットの電源として使用しており，これについては本章2-3の1)に記載している。

ここでは，ボタン電池（CR2032）2個を直列に接続して，約6 Vの直流電源装置の代用として用いた例を図2-16，2-17に示す。図2-17では，呈色板を用いて塩化銅(II)水溶液の電気分解を実施している。呈色板の活用については本章2-2の2)及び2-3で詳しく述べる。

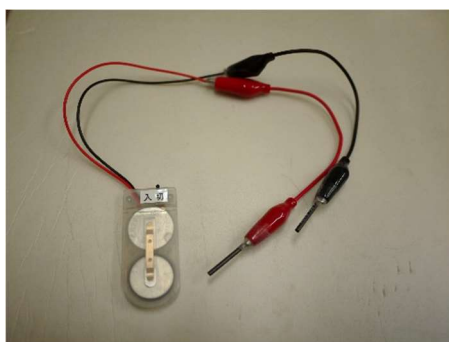


図2-16 ボタン電池2個  
による電源

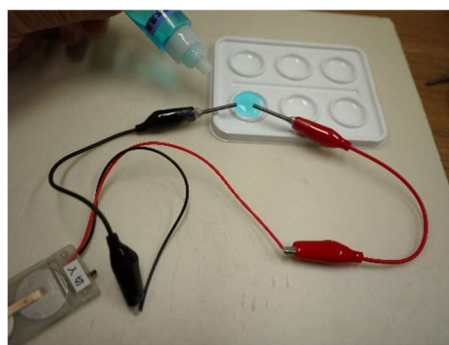


図2-17 ボタン電池を用いた  
塩化銅(II)水溶液の電気分解

以上，紹介した電源装置の改良は，電気分解の実験を個別化する上で非常に重要である。USBハブの活用，電源分岐タップの試作，ボタン電池の活用の3例を紹介したが，いずれも，操作の簡略化と実験時間の短縮に効果的であった。検証結果等については，第3章の実践的活動の中で具体的に述べる。

## 2) 加熱方法の改良

### イ) 混合物の分離における加熱方法（昇華と蒸留実験）

中学校理科および高校化学の基本的な学習事項である「物質の種



類」に続く実験テーマ「混合物の分離実験」を対象に、マイクロスケール実験を導入して、昇華実験および蒸留実験における加熱方法の改良と共に、器具の小型化、実験操作の簡略化と時間短縮を図り、実験の個別化が可能になった例を紹介する<sup>9)</sup>。

### 昇華実験

従来から高等学校教科書<sup>10)</sup>に紹介されている実験では図2-18に示すように、ビーカーに入れたヨウ素の粉末をガスバーナーで加熱し、昇華したヨウ素の気体を、水を入れたビーカーの底に付着させ、再び昇華した針状結晶を観察する。この方法を用いて学校現場で実験する場合、かなりの慎重な準備と操作が必要である。すなわち、

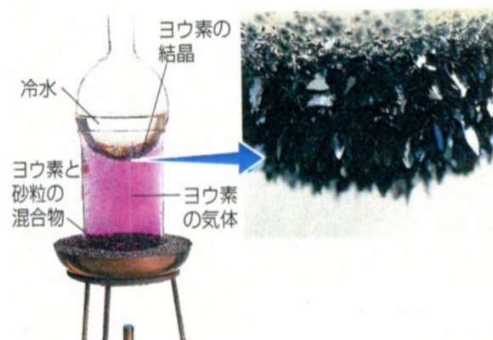


図2-18 教科書に記載のヨウ素の昇華実験<sup>10)</sup>

有毒なヨウ素の気体を吸い込まないように配慮しなければならない。また、加熱しすぎるとビーカーの底に結晶が針状につかないため、純度の高いヨウ素の結晶を観察することは難しい。さらにビーカー（200～300 mL）と丸底フラスコを用いる通常スケールでは、大量のヨウ素が必要であり、実験後の廃棄物処理も難しい。そのため、昇華の学習は、一般に教師による教卓での演示実験か、あるいは教科書に掲載された写真を参照するにとどまる場合が多い。以上のことから、今までの通常スケールの昇華実験では、生徒実験の実施は難しく、実感を伴った学習に結びつかないことが多い。そこで、マイクロスケール実験の導入により、これらの問題を解決し、かつ

安全に短時間で実施が可能な教材実験の開発を試みた。

本研究では、吉田らのマイクロスケール実験による先行研究<sup>11)</sup>の方法を参考に、加熱方法の検討、有毒な気体や臭いが漏れないような工夫と操作の簡略化を図ることを教材開発上の大きなねらいとして、改良に取り組んだ。

最大の改良点は、昇華性のある有毒なヨウ素粉末の扱いをより安全で簡便なものにすることであった。ミニ試験管（全長7.5 cm、容量6 mL）に「6」の字に曲げたアルミニウム線（ $\phi$  3 mm）をふたに挿して、そのふたで密閉することにより、実験の前後および実験中に、ヨウ素の蒸気を直接吸い込むことのないように工夫した。使用するアルミニウム線は加工が容易で熱伝導性も高く、ふたから上にでていく長い部分が空冷され、ミニ試験管中の金属部分に昇華したヨウ素が付着しやすい。またアルミニウム線の先端部分は、外から昇華の様子も観察が可能で、さらに実験後の廃棄処理も容易になった。

図2-19は、昇華性のある試料粉末とともに密閉して、ミニ試験管の外からチャッカマンを使って加熱している様子である。この時、ミニ試験管を耐熱性タイルに立て、観察しながら緩やかに加熱することが重要である。通常のカバーナーやアルコールランプによる加熱では、穏やかに加熱することが難しいが、本法のように、（持ち手の長い）チャッカマンを用いると安全かつ容易に加熱を制御することができる。

尚、昇華性の高い物質として衣類の防虫剤で知られる白色のシヨウノウ粉末を用いることも可能である。この場合には、茶色にメッキされたアルミニウム線を用いると、色の違いから観察がし易くなる。試料はミニ試験管内に密閉されているため、シヨウノウの特有の臭いもわずかであり、シヨウノウの原料がクスノキの葉であることから安全性は高い。

本法により少量（約0.02 g）の試薬を数分間加熱することで、目

の前で昇華の様子を観察できる，安全な個別実験が可能となった。

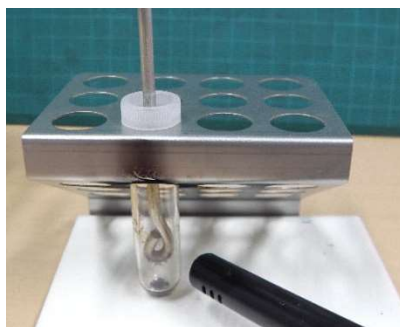


図 2-19 昇華の実験器具と加熱の様子<sup>9)</sup>



図 2-20 ヨウ素（左）とショウノウ（右）の昇華実験<sup>9)</sup>

図 2-20 は，ヨウ素（左）及びショウノウ（右）が，加熱後にアルミニウム線の先端に昇華した様子を示している。アルミニウム線の先端には，針状の結晶が付着しているのが観察できる。アルミニウム線の他方は外気に触れているので，ミニ試験管内の先端は冷やされ，物質が再び昇華しやすくなっている。通常の実験では，200～300 mL のビーカーに，2～3g のヨウ素粉末をいれ，冷やされた丸底フラスコの底に付着した昇華物質を観察することになる。マイクロスケール実験では，通常スケールの約 100 分の 1 まで試薬量を削減することができ，かつ実験だけの時間は 5 分から 10 分程度と非常に短時間で終わられる。

また，混合物の分離実験であることを特に意識させる方法として，ヨウ素粉末に少量の砂を，またショウノウには少量の食塩を混ぜて加熱すると，昇華により分離後には純物質になっていることを確か

めることもできる。

### 蒸留実験

教科書の記載では、ワインの蒸留実験が取りあげられているが、沸点が高いため短時間で加熱して蒸留することが難しい。図 2-21 は中学校理科の「ワインの蒸留」の実験器具<sup>12)</sup>を示している。いずれも実験机を大きく占有する複雑な装置の組み立てが必要で、費用、実験時間の関係で個別の生徒実験は難しい。本研究では、簡便かつ安全を第一に、特に加熱方法の簡略化を図り、個別の生徒実験が可能なマイクロスケール実験の教材開発を行った。

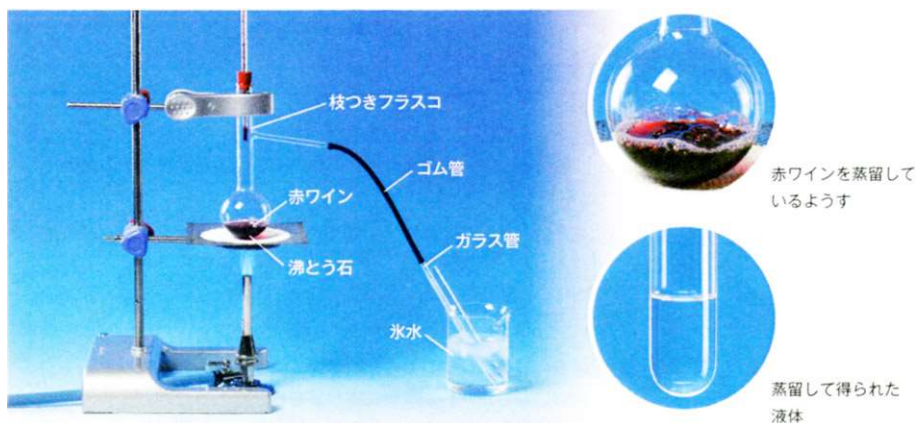


図 2-21 教科書記載の赤ワインの蒸留実験<sup>12)</sup>



図 2-22 エタノールと食用色素を含む混合溶液の蒸留

実験はミニ試験管に、沸点が比較的低い約95%のエタノール（沸点約78℃）と微量の食用色素液を入れ、セラミックヒーターにより加熱しながら熱湯中で蒸留を行った（図2-22）<sup>9)</sup>。先行研究である吉田らによる方法<sup>11)</sup>では、ガスライターを用いてミニ試験管を外から直接加熱しているが、ガスライターによる加熱では、試験管内部を高温に保つことが難しく、操作に慣れるまでに時間を要するため、即座の実験では難しいと思われた。そこで、中学生を対象にした教材実験であることを考慮して、約90℃の熱湯が安全に準備でき、十分に溶液の沸騰が可能で、観察も容易になる方法を検討した。図2-22に示すように加熱による蒸気は、ミニ試験管のキャップに取り付けられたシリコンチューブに導かれ、空冷により液体状態となって、別のミニ試験管に回収することができる。加熱を始めて約3分後には、無色透明の液体がミニ試験管に溜まってくる。色（無色透明）と臭い、さらに時計皿上での燃焼実験により、原液の混合物と比較して、より高純度のエタノールが取り出せたことが確認できる。この方法での蒸留実験により、極めて少量（約1 mL）の試薬溶液を用いて、短時間で安全に蒸留実験の原理を体験できる個別実験が可能となった。

#### ロ) プラスチックを用いた還元における加熱方法

現行の中学校学習指導要領<sup>13)</sup>では、「酸化と還元」の単元は、「化学変化と原子・分子—化学変化—」の中に位置づけられており、中学校学習指導要領解説理科編<sup>14)</sup>では、酸素の関係する酸化還元反応の例として、「金属を酸化したり、金属の酸化物を還元したりして生成する物質を調べる実験を行う」と記述されている。現行の教科書（岡村ら<sup>15)</sup>；塚田ら<sup>16)</sup>；霜田ら<sup>17)</sup>；有馬ら<sup>18)</sup>；細矢ら<sup>19)</sup>）でも、銅の酸化や酸化銅を還元した様子が図と共に紹介されている。具体的な実験例として記載されている酸化銅の還元実験では、炭素粉末を還元剤として用いている。しかし炭素は還元力が弱く、また

酸化銅と同じ黒色粉末であるため、明瞭な銅単体の金属光沢を確認しにくく、反応時間も10分程度必要である。さらに、ガスバーナーやスタンドなどの比較的大型の器具を使用するため、準備や実験操作にも時間を要する。そのため、限られた授業時間内に個別実験の形で行うことは難しい。

マイクロスケール実験を用いた酸化銅の還元実験の先行例として、ピペットに入れた酸化銅に注射器のシリンジで捕集した水素を入れ、アルコールランプで加熱する報告がある<sup>20)</sup>。また、ガラス管に入れた酸化銅に、塩酸と亜鉛の反応により発生させた水素を入れ、アルコールランプを手動で動かしながら反応物を加熱する報告もある<sup>21)</sup>。しかし、これらの実験方法では、水素を用いた還元実験に限定され、教科書に記載されている炭素を用いた還元実験とは、大きくかけ離れてしまい、生徒にとっては還元反応の現象に注目できなくなる可能性がある。

以上のような理由から、実験操作の簡略化に伴う実験時間の短縮及び実験結果の明確化を図るため、実験操作や観察が容易な個別実験によるマイクロスケール実験の教材開発に取り組んだ。また、開発した教材実験の有効性を評価するために、中学生を対象とした授業実践や、現職の中学校教員を対象とした研修講座を通して、実験器具の操作性や観察・実験のしやすさについて調査した<sup>22)</sup>。

教材開発で最も重要な加熱方法の改良について述べる。加熱方法として、図2-23に示すミニアルコールランプを用いた。柴辻らが、マイクロスケール実験による「銅の酸化」実験のために自作した加熱器具であり、この方法を採用した<sup>22)</sup>。

約25分間連続して加熱が可能で、加熱温度は約900℃を示したことから、本実験の加熱器具として十分に活用できる。

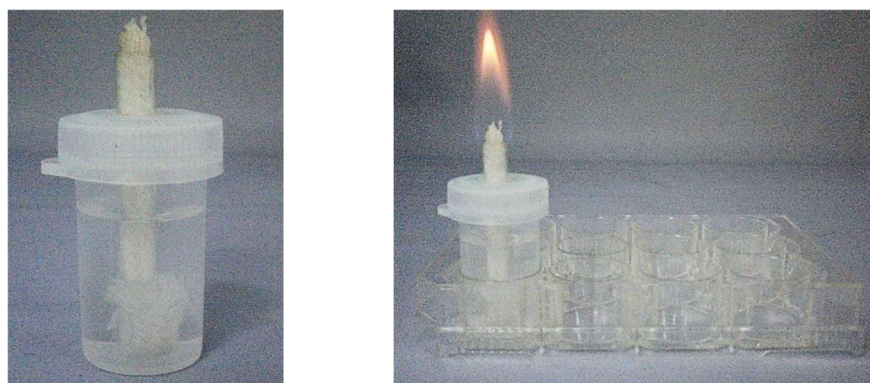


図 2-23 加熱に用いるミニアルコールランプ

還元剤として用いるプラスチックの材料にはポリ塩化ビニルのような塩素原子を含むものは適さない。また、中学校理科では、プラスチックは燃やすと二酸化炭素や水が生成されることを学習する。そのため、炭素と水素のみで構成されるプラスチックが望ましい<sup>1,3)</sup>と考え、ポリエチレンを採用した。実験ではポリエチレンとして、フィルム状のポリエチレンラップを用いた。図 2-24 に実験器具の全体の様子を示す。

ミニ試験管の中に、酸化銅の黒い粉末とフィルム状のポリエチレンラップを入れ、ミニアルコールランプで加熱する。ミニ試験管の開口部にとりつけた気体誘導管の先端は石灰水を入れたセルプレートの中に浸けている。加熱により発生した気体は管をとおり、石灰水の中に誘導される。

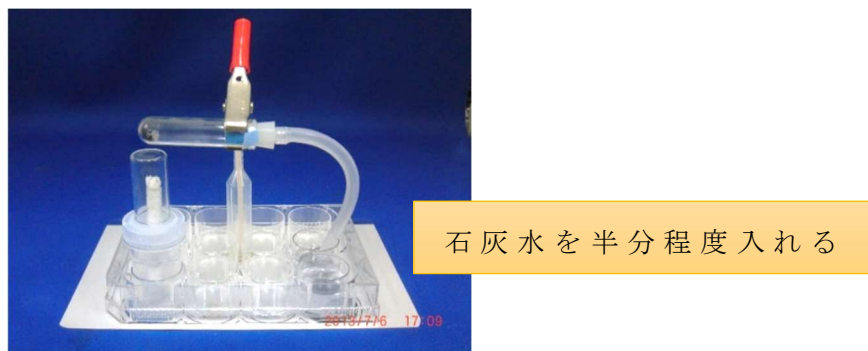


図 2-24 プラスチックの還元に使った実験器具



図2-25 加熱前の様子



図2-26 還元後の様子

(水滴と銅の析出に注目)

実験の結果，酸化銅とプラスチックの加熱により，発生した気体が二酸化炭素であることは石灰水が白濁したことから，また水の生成はミニ試験管の開口部付近に水滴が付着したことから確認できる。図2-25，26は加熱前と加熱後の様子を示す。加熱後には，還元により生成した金属銅の光沢と水滴が観察できた。

以上のように加熱方法の改良とプラスチックを還元剤として用いたことで，短時間で銅単体の金属光沢を観察することが可能になった。操作方法の簡略化と時間短縮の効果については，中学校における授業実践で検証を実施した<sup>22)</sup>。

### 3) 実験廃液の削減と準備等による負担の軽減

#### イ) 塩化銅(II)水溶液の電気分解における実験廃液の削減

すでに1) 器具の改良 の節において，操作の簡略化と時間の短縮の例として紹介した塩化銅(II)水溶液の電気分解では，実験廃液の削減の効果も大きい。実験後の廃液量について概算したところ，通常スケールにより200 mL ビーカーを使用して4人1組10班で実施した場合，1班の使用量を160 mL とすると，全総量は1600 mL となる。通常スケールによる場合を基準にして，24セルプレート，パックテスト容器及び呈色板を用いた電気分解の実験について，それぞれの試薬量を比較し，削減の度合いを検討した<sup>6, 23)</sup>。表2-2は，



40人クラスで1人ひとつの器具による個別実験を想定して行った計算の結果である。呈色板の各穴は約1 mLの容積があり、試薬を約2/3の0.6 mL入れる。また、パックテスト容器には約4 mLの容積に約3 mLを入れると仮定した。以上の結果をまとめると表2-2になる。表2-2より、呈色板を用いると、試薬量はパックテスト容器を使用した場合の約1/5、通常スケール実験（200 mL ビーカー使用）として4人1組のグループ実験を行う場合と比較すると、約1/60に削減でき、大幅な削減が可能であることがわかった。

表 2-2 試薬量の比較（40人クラスで個別実験を仮定）

電解槽の容器	24セルプレート	パックテスト容器	呈色板
1クラス40人の個別実験を想定  通常スケール(10班のグループ実験)160 mL×10 = <b>1600 mL</b>	2 mL×40人 = <b>80 mL</b>  <u>通常スケールの</u> <b>5%</b>	3 mL×40 = <b>120 mL</b>  <u>通常スケールの</u> <b>7.5%</b>	0.6 mL×40 = <b>24 mL</b>  <u>通常スケールの</u> <b>1.5%</b>
概算の根拠	1つのセルに 約 2 mL	1つの容器に 約 3 mL	1つの穴に 約 0.6 mL

参考：通常スケール実験（200 mL ビーカー使用）で4人1組のグループ実験を行うと、1班で160 mL、10班での全総量1600 mLとなる。

ここでは、電気分解の実験を例に、実験廃液の削減効果について示したが、他の実験においても同様に廃液の大幅な削減が確認できた。通常スケール実験では、一般に個別実験ではなくグループ実験を想定しているが、マイクロスケール実験では、1人ひとつの個別実験を前提に比較している。すなわち一人ひとりが実験を体験する個別実験の形態でありながら、大幅な廃液の削減が可能であることは注目すべきことである<sup>23)</sup>。

ロ) 反応容器の改良（呈色板の活用を例に）<sup>23)</sup>

マイクロスケール実験で用いる反応容器の改良は、実験全体のあり方にかかわる大きな要素ではあるが、ここでは、実験廃液の削減と、実験前後の準備や後片付けの負担軽減の観点から、今までに開発した実験教材についてまとめる。

すでにイ) では、実験廃液の削減に注目して、電気分解の実験を例に、セルプレート、パックテスト容器、呈色板を反応容器として用いた場合の例を示した。ここでは、実験前後の準備や後片付けの負担軽減に注目して、セルプレートと呈色板の違い、および従来の通常スケール実験との比較を行った。例として「水溶液の性質」の実験を取りあげる。この実験は、小学校6年の「水溶液の仲間わけ」、中学校3年の「水溶液とイオン」の単元で扱われる実験である。

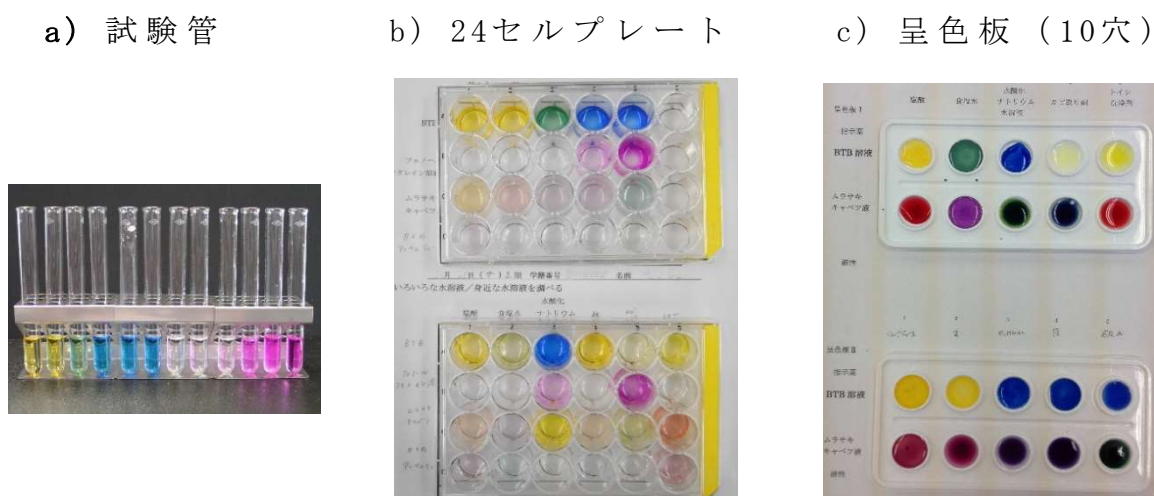


図2-27 「水溶液の実験」における反応容器の変遷

図2-27に、「水溶液の実験」における反応容器の変遷を示す。図2-27a)は、最も一般に用いられる試験管（約12 cm，径1 cm）を使った場合である。試験管は調べたい水溶液の数だけ必要となり、実験後の廃液量も多く、個別実験の実施は困難である。b)は24セルプレートを用いた場合で、マイクロスケール実験では、最も多く利

用されている容器である。図2-27b)では、2枚のセルプレートを配置して、縦方向に調べたい水溶液、横方向に指示薬を、点眼ビン等を使って滴下していく。この場合、6種類の水溶液、4種類の指示薬を利用することができる。c)は呈色板を用いた場合で、各1枚の10穴に調べたい水溶液を入れ、この場合は、2枚の呈色板を用いて、10種類の水溶液と2種類の指示薬を使用している。呈色板の1つの穴に入れる溶液の量は、0.1 mL程度で、a)あるいはb)の場合と比べて極めて少ない。使用する呈色板の枚数や並べ方でいろいろな調べ方ができる。また机上を占有するスペースは、a)の試験管を用いた場合、水溶液の種類に応じて大きくなるため、実験机に1セットを配置するのが限度である。b)とc)の反応容器の場合、個別実験の形で、一人に各2枚を使用すると仮定しても、4~5セットを配置することができる。

以上より、本研究で目指す個別実験を導入するには、b)のセルプレート及びc)の呈色板が適している。実験後の廃液処理を考慮すると、また後述する実験にかかる費用面においても、「水溶液の性質」の実験では、呈色板を用いる方がより最適と言える。

次に、「だ液のはたらき」の実験例について述べる。「だ液のはたらき」に関する教材実験の意義については、本章の2-3「汎用性のある器具の開発と普及」において詳しく述べる。「だ液のはたらき」の実験では、呈色板を用いた場合、ヨウ素液の使用量の大幅な削減が期待できる。同様の実験はセルプレートを用いてすでに報告<sup>4)</sup>しているが、呈色板を用いた実験方法は、試薬量の削減、観察のしやすさ、時間短縮、省スペース化といった点において優れている。表2-3のように、例えば1クラス32人、1人ひとつの個別実験と仮定すると、呈色板で使用するヨウ素液の量はセルプレートの場合の約1/20に削減される。尚、呈色板を用いると操作が簡略化され、対照実験との比較も容易で、再現性の高い結果が約15分で得られ、大幅

な時間短縮が実現できたことになる<sup>23)</sup>。

表 2-3 呈色板とセルプレートを用いた場合の  
ヨウ素液の使用量の比較

呈色板の場合	24セルプレートの場合
ひとつの穴に 6～8 滴 (約 0.1 mL)	ひとつのセルに約 2 mL
1 人ひとつの個別実験 $0.1 \text{ mL} \times 32 \text{ 人} = \mathbf{3.2 \text{ mL}}$	1 人ひとつの個別実験 $2 \text{ mL} \times 32 \text{ 人} = \mathbf{64 \text{ mL}}$

次に、実験器具にかかる費用について述べる。呈色板の単価は約 60円（10穴）、セルプレートの単価は600円と、費用面での比較では呈色板の利用が断然有利である。また、呈色板と電気分解の実験で用いたパックテスト容器を比較すると、単価はどちらも約60円と費用面での差はほとんどない。したがって、価格面だけではセルプレートよりも呈色板とパックテスト容器の方が低価格で実用的であるが、準備・片付けの面や実験の内容による使用目的に応じて使い分ける必要がある。使い勝手の違いについては、第3章において検討する。

以上、呈色板の活用例を示してきた。現在のところ、以下の実験については、すでに授業実践、その他実験教室にて、多くのメリットが確認されている。

- ・水溶液の性質    ・だ液のはたらき    ・デンプンしらべ
- ・電気のとおりみち（導通テスト）・水溶液とイオン（導通テスト）
- ・電気分解    ・pHと指示薬の変化    等

これらの実験についての具体的な実践活動による検証は、第3章で述べることにする。

## 2-2 個別実験の形態と学習効果

すでに2-1において述べたように、マイクロスケール実験による教材の開発では器具の改良を行った過程で、器具の小型化に伴う占有スペースの削減が可能となり、「1人ひとつの実験器具」を提供する個別実験が実現した。すなわち、通常の実験机上に、4人分の器具、試薬を配置でき、第3章で後述するように、さらに話し合いを進める上で重要な役目を果たすホワイトボードやICTの配置も可能となる。

本節で取りあげる個別実験を実現するには、机上的における実験器具や試薬の占有スペースを小さくすることが前提となるが、前述した、「パックテスト容器を用いた塩化銅(II)水溶液の電気分解の実験」(図2-6及び2-7参照)でも、器具と試薬を含めた占有面積は、約30×30 cmであり、実験机上に4～5人分を配置することが可能である。

中学校学習指導要領解説理科編<sup>14)</sup>では、学習のねらいとして、「身の回りの物質はいろいろな性質をもっており、それらの性質に着目して物質を分類できることを観察、実験をとおして見いださせるとともに、加熱の仕方や実験器具の操作、実験結果の記録の仕方などの技能を習得させる。」と記されている。しかし、従来のグループ実験は、コミュニケーション能力の育成には効果があったが、グループに1セットの実験器具しかなく、児童・生徒だれもが実験操作に関わる機会は少なかった。この点からも各自が器具を操作できる個別実験の意義は大きく、それを可能にする器具の開発が重要である。

ここでは、個別実験に注目して開発した教材実験のうち、特に学習上の効果の高い例について紹介する。

序章1-2及び1-3において述べたように、本研究では「1人で行う実験(1人1実験)」, 「2人で行う実験(2人2実験あるいは2人1実験)」を総称して個別実験と定義している。個別実験の形態につい

て、グループ実験との差異，1人で行う実験あるいは2人で行う実験のどちらが有効かについて，授業実践をとおして検証した例を示す（検証結果の詳細は第3章で述べる）。

本節では

1) 「気体の発生と性質」における個別実験<sup>24)</sup>

2) 「金属の組合せと反応の違い」における個別実験<sup>6)</sup>

の2つの教材実験を取りあげる。授業実践の際に実施したアンケート調査の結果にもとづく個別実験の有効性については，第3章で述べる。また，中学校2年「塩化銅水溶液の電気分解」においても，実験形態についてのアンケート調査を行い，適切な実験人数と学習意欲の喚起の観点から分析した。個別実験の有効性については第3章で述べる。

### 1) 「気体の発生と性質」における個別実験

平成24年度から完全実施された中学校学習指導要領<sup>13)</sup>において，「気体の発生と性質」は，中学校理科1年の「身の回りの物質」の単元に含まれ，小単元「物質のすがた」の中で学習する内容である。また，学習のねらいとして，前掲の中学校学習指導要領解説 理科編<sup>14)</sup>に，いろいろな性質の物質が身の回りであることを観察・実験をとおして知ることや実験の方法や操作の仕方，結果の記録の仕方などを習得することが挙げられている。

本実験テーマは，通常スケールで行う場合，実験机上で「気体発生装置」を組立て，4人グループで行うか，あるいはアンモニアなどの刺激臭のある気体では，教師による教卓での演示実験にとどまる場合が多い。中学校理科教科書の記載の通常スケールによる二酸化炭素及びアンモニアの発生と性質の実験の例を図2-28<sup>25)</sup>に示す。

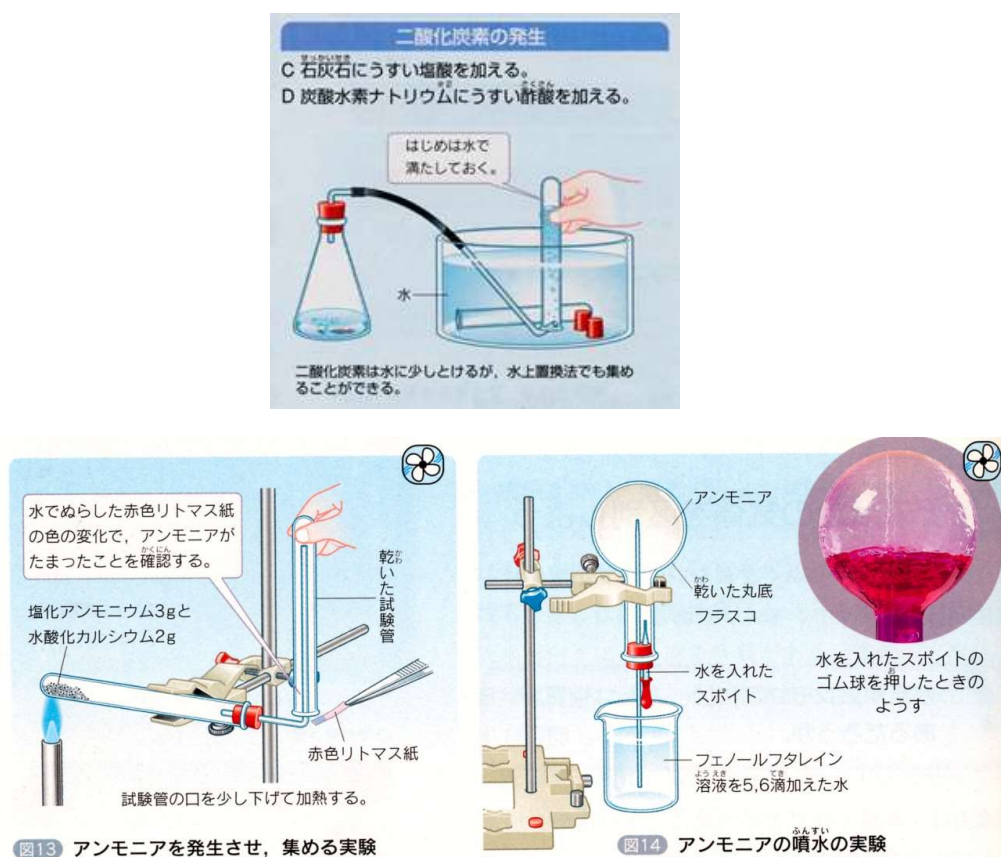


図 2-28 二酸化炭素及びアンモニアの発生と性質の実験 25)

図2-28に示す通常スケールの実験器具はガラス製がほとんどで、占有スペースが大きい。操作手順も複雑で、実験机に1台準備して、グループで協同作業することが前提となっている。また、教科書記載の方法では、大きな三角フラスコ、水槽、集気ビン等を用いるため、器具の組み立てや集気に時間を要する。以上のことから、従来の実験器具を個別実験に転用することは不可能である。従来のグループ実験は、コミュニケーション能力の育成には効果があったが、グループ実験のため、生徒が直接に実験操作に関わる機会が少ない。この点からも各自が器具を操作できる個別実験の意義は大きく、それを可能にする器具の開発が重要と考えた。

中学校理科で扱われる気体には、水素、酸素、二酸化炭素、アンモニア、窒素、塩素がある。扱いが難しい有毒気体も含むので、本

研究ではマイクロスケール実験により、使用する試薬や気体の発生量をできるだけ少なくした安全な実験方法を検討し、最も基本的で身近な気体として、酸素、二酸化炭素、アンモニアの3種類をとりあげた。

気体発生と性質を確認するためのマイクロスケール実験による開発についてはいくつかの報告がある。例えば、周らの方法、荻野らの方法等をはじめとしていくつかの報告<sup>26,27)</sup>が挙げられるが、いずれもフタあるいはツバ付きの特別な容器を必要とする。本研究のマイクロスケール実験による教材開発では、学校現場への普及を念頭に、入手が容易なシリンジ、セルプレート等の市販の器具類を部品として流用し、酸素・二酸化炭素の発生容器にはプッシュバイアル瓶（以下、バイアル瓶）を用いた<sup>24)</sup>。アンモニア噴水実験では、従来の器具を小型化、さらにシリンジの導入による操作の簡略化を図った。いずれも、安全性の向上・操作の簡略化・実験時間の短縮を前提として個別実験の実現を目標とした。

酸素・二酸化炭素の発生用の器具として、小型のバイアル瓶を使用した気体発生器具を、複数回の授業実践で確認した後、操作上の課題を解決するため、器具の改良を行った。特に、注入する液量の確認、試薬の少量化について検討した<sup>24)</sup>。

図2-29および2-30にそれぞれ酸素および二酸化炭素の発生器具を示す。器具の構成は基本的に同じで、気体発生に必要な固体物質（酸化マンガン(IV)あるいは大理石片）をバイアル瓶に入れ、また必要な液体物質（6% 過酸化水素水および3 mol/L 塩酸）を約3 mL、プラスチック製シリンジに入れる。バイアル瓶のフタにあけた2つの穴には、マイクロピペット用のチップを差し込み、片方はシリコンチューブを介してシリンジを差し込み、他方は約5 cmのシリコンチューブをつなぎ、反応により発生した気体を排出する。酸素気体の捕集は、図2-29のように、水上置換法により約3 mL容量のミニ試験管を用いるが、約30秒で完了する。





図 2-29 酸素の発生実験



図 2-30 二酸化炭素の発生実験器具

図2-29の酸素気体の発生実験では、シリコンチューブの先を、水を入れたプラスチックカップ（口径12 cm）に付け、ミニ試験管（長さ7 cm）を用いて水上置換法で気体を捕集する。実験室における酸素の発生方法では酸化マンガン(IV)を触媒として過酸化水素水を分解し酸素を発生させるが、発生の様子を見ながら過酸化水素水を数滴ずつ加えると、無駄なく安全に気体を捕集できる。また酸化マンガン(IV)の代わりに安全性を優先して、すりつぶしたニンジンあるいは牛レバーを用いて、それらに含まれる成分を触媒に利用することも可能である。水上置換法で捕集した気体が酸素であることは、ミニ試験管に火のついた線香を入れて確認することができる。

図2-30の二酸化炭素の気体発生実験では、シリコンチューブから出る二酸化炭素の気体を、セルに入れたBTB溶液および石灰水に通じることによって、それぞれの反応を確認している。また別のセルにはシリコンチューブの先を洗浄するために純水を入れておく。

図2-31は二酸化炭素の検出に用いたセルプレート中の石灰水が白濁していく様子を示す。



図 2-31 石灰水の反応

次に、個別実験による「アンモニアの噴水実験」について述べる。水に対する可溶性と弱塩基性を示し、空気より軽いというアンモニアの特性を生かした「アンモニアの噴水実験」は、中学校理科の定番実験となっている。生徒にとっても、現象が視覚的に理解しやすく、アンモニアの化学的・物理的性質を端的に表す教材実験としてすぐれている。しかし、通常スケールでのアンモニアの噴水実験では、器具が大型、刺激臭が強い、操作が複雑等の理由で、教卓での演示実験で済ませる場合も多い。

本研究では、すでに開発済でその後市販もされたマイクロスケール実験の教材<sup>28)</sup>にさらに改良を加えた。これによりアンモニアの臭いがもれることなく、また個別実験で操作可能になるように実験方法の簡略化を図った。図 2-32 に、必要な実験器具を示す。長さ約 15 cm 試験管（図 2-32 右上）には約 2 mL の濃アンモニア水を入れ、プラスチック管付きのゴム栓で封じている。発生したアンモニアを、プラスチック管を通じて丸底フラスコ内に導入することにより、外部への漏れをほとんど無くしている。一方、ステンレス製の注射針（先は平坦）を差し込んだゴム栓には、プラスチック製 50 mL シリンジを付けているが、その中にはフェノールフタレイン溶液、BTB 溶液など、指示薬となる溶液を含む水を入れている（図 2-32 手前）。尚、シリンジを用いた気体発生実験の例が報告<sup>29)</sup>されているが、反応容器の試験管を手で支える等、演示実験を前提にした実験方法である。本研究では、生徒による個別実験を前提に、安全性を重視して各生徒の実験機で実施できる簡略化した操作方法を目

指して改良した。



図 2-32 アンモニア噴水実験の器具



図 2-33 アンモニアの捕集

図 2-33 のセラミックヒーターにより準備した熱湯で、試験管内のアンモニアを気化させ、丸底フラスコに気体を捕集する（電気ポット等で準備した 80℃以上の熱湯で加熱してもよい）。フラスコ内壁に液滴が付着し、またわずかでもアンモニア臭がしたら、十分にアンモニアが捕集されたと判断し、すばやくシリンジのついたゴム栓に差し替える。シリンジを少し押し水を出すと、フラスコ内が減圧され、シリンジ内の水は吸い上げられてピストンも上昇し、注射針の先では噴水となる。このとき、使用する指示薬によってどのような噴水の色になるか予想を立て興味をもって観察することができる。シリンジ内にフェノールフタレイン溶液を入れておくと赤色、BTB 溶液では青色、ムラサキキャベツのしぼり汁では緑色、と実験により溶液の色が変化することを確認できる。今回は 50 mL 丸底フラスコと 35 mL シリンジを用いて実験器具の小型化を図った。支持台は不要で、指示薬による色の変化も短時間に観察できる。酸素・二酸化炭素の気体発生の場合と同様に、いずれも、器具の組立でも含め約 5～10 分で完了でき、廃液も通常実験の約 1/10 に削減できる。限られた授業時間内で複数実験を個別に行えるマイクロスケール実験のメリットを示している。



図 2-34 アンモニアの捕集



図 2-35 アンモニアの噴水

図2-34及び2-35に、生徒によるアンモニアの捕集と噴水実験の様子を示す。いずれも1人あるいは2人で操作が可能である。

## 2) 「金属の組合せと反応の違い」における個別実験<sup>6)</sup>

個別実験を取り入れた授業展開を行うには、すでに述べた「操作・準備の簡略化と時間短縮」(本章 2-1 参照)が前提となる。マイクロスケール実験の特徴を最大限に活用して実現した実験形態や授業展開により、児童・生徒の考える力を育むことも目標としている。すなわち、生徒1人ひとりが主体的に実験に取り組み、実験の前後にはグループでの予想や考察の時間を共有し、積極的に参加できる授業展開が必要となる<sup>6)</sup>。以上の方針の下、教材開発とそれを活用した授業実践を行い、教材実験と授業展開の有効性について検証を行ってきた。

### イ) 金属の組合せと反応の違い

中学校理科の「金属の組合せと反応の違い・電気分解」の実験を対象に教材開発と授業実践を行った例を紹介する。

すでに本章2-1の1)で詳述した、側面が透明なパックテスト容器を電解槽として、電極付近の化学現象の詳細な観察を可能にする教

材実験を活用した。中学校3年生を対象にした授業においては、個別実験をベースに、実験計画、実験記録、話し合いによる考察、結果の発表等に取り組み、考える力の育成を目指す実験活動を展開した。

パックテスト容器を用いたマイクロスケール実験の教材が、考える力を促す実験として有効であることを、授業実践時の生徒の活動、ワークシートの分析およびアンケート結果より考察したことは、第3章の中でも述べる。尚、本教材実験は、器具の改良という点においても、大きな特徴をもっているが、その経緯については、本章2-1の1)ですでに詳述した。

ここでは考える力の育成に注目した中学校理科の学習として、①金属の組合せと反応の違い、及び②塩化銅(II)水溶液の電気分解の実験を紹介したが、②の塩化銅(II)水溶液の電気分解の実験については、2-1ですでに述べたので、①の金属の組合せと反応の違いについて紹介する。

「金属の組合せと反応の違い」は、(実験1)金属の希塩酸中での反応、(実験2)金属の組み合わせと反応の違い、の2種類の実験から構成されている。

具体的な授業展開については、第3章において述べる。

#### ① 金属の組み合わせと反応の違い

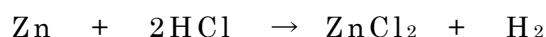
電解質溶液に2種類の異なる金属を入れると化学変化が起こり、電気エネルギーをとりだすことができる。2種類の金属の組み合わせによって、反応の様子が異なることを実験により確かめる。



図 2-36 容器のふたに斜めに  
入れた切り込み

**(実験 1) 金属の希塩酸中での反応**

電極表面の状態を比較しながら観察しやすくするため、パックテスト容器のふたに、カッターナイフで金属板が通るように斜めに切り込みを入れる(図 2-36)。図 2-37 のように、3 種類の代表的な金属板(銅, 亜鉛, マグネシウム)を、パックテスト容器のふたの切り込みに差し、容器中の希塩酸に浸け、気体発生の様子を観察して、金属の性質の違いを調べる。尚、亜鉛やマグネシウムではイオン化傾向が大きく、たとえば亜鉛では、以下の反応により、希塩酸中で水素の発生が確認できる。



実験手順として、まずパックテスト容器に 2/3 ほど 4%塩酸をいれ、次に、金属板を差し込んだパックテスト容器のふたをする(図 2-37)。



図 2-37 左から希塩酸中に入れた銅, 亜鉛, マグネシウムの金属板

**(実験 2) 金属の組み合わせと反応の違い**

電解質水溶液に電極として 2 種類の金属を入れると、電気エネルギーを取り出すことができる。2 種類の金属の反応性(酸化のされやすさ)が異なると、組み合わせによって、生じる電圧に差ができる。組み合わせをかえ、起電力の違いを電子メロディーの音量で確かめる。化学エネルギーが電気エネルギーに変換されることを知り、電池の学習に発展させる。

実験手順として、まずパックテスト容器に 2/3 ほど 4%塩酸を入れる。次に、図 2-38 のように 3 通りの金属の組み合わせ(銅-銅, 亜鉛-銅, マグネシウム-銅)により電極板を用意する。金属板を

希塩酸の入ったパックテスト容器にいれ、電子メロディーにつなぎ音量の違いを調べる。

実験結果より、銅—銅の組み合わせでは反応は見られず、マグネシウム—銅の組み合わせで最も電子メロディーの音量が大きくなることを確認した。この結果について、実験1の結果も参考に、反応性の大きさが「マグネシウム>亜鉛>銅」の順であることに気づき、考察を進めていく。また、亜鉛と銅の両電極の組合せは、発展的にレモン電池等の学習につながることも示唆する。



図 2-38 電子メロディーの音量の違いを調べる

塩化銅(II)水溶液の電気分解と、ここで述べた実験を合わせて3種類の教材実験で授業実践を行った。授業の様子やその後の考察と言語活動の実践から、マイクロスケール実験による3種類の教材実験が、考える力の育成に効果があるかどうかを検証した結果については、第3章で述べる。

ここでは、本教材の特徴について、教材開発の過程、及び授業実践において確認することができた事項をまとめる。

- i) 電気分解や電池の原理を考える上で基本になるのは、金属と酸・アルカリの溶液との反応であるが、それを単独あるいは異なる金属を用いて観察、比較しながら考察できる。
- ii) 異なる金属を2種類、電解質溶液に浸し、生じる電気エネルギーを電子オルゴールの音量の差として確認することができ、実感をもって比較できる。
- iii) 側面が透明で平面性のあるパックテスト容器を活用すること

により、個別実験における観察が容易となり、観察結果にもとづく考察が可能となった。

上記の特徴は用いた電解槽の容器の特性を積極的に活用したことによるが、実感したことが観察や考察を促している点において、その効果は非常に大きいと考える。例えば、亜鉛と塩酸による気体発生では、マグネシウムに替えると、より激しく反応がおこり、また銅に替えると気体の発生がみられないという事実を観察することは、電池の原理を考察する上で非常に重要である。金属の持つ特性を、教科書による知識の獲得だけではなく、実験結果として確認することが、金属のイオン化傾向を考える上で大きな示唆を与える。また、金属の組み合わせの違いによって生じる電気エネルギーの差を確認することは、電池の原理を考える基本となるが、高校化学であつかう電子の流れによる、電池や電気分解の原理を考えることにつながる点においても重要となる。

以上より、本教材実験は、電解槽としてパックテスト容器を採用したことにより、個別実験における観察が容易となり、その後の考察を促した点において、考える力の育成に寄与することを示唆している。

### 2-3 汎用性のある実験器具の開発と普及（呈色板の活用）

理科の学習において、児童・生徒の観察・実験に対する興味・関心を高めることの重要性についてはすでに述べた。マイクロスケール実験の普及を図るためには、汎用性があり、安価でかつ操作が簡単、安全性の高い器具の開発が必須である。これらの点に注目して呈色板を用いた教材を開発した。特に顕著にその効果が表われた例として、実験内容を主として対象とする学校種に分け、次の6つのテーマを取りあげて詳しく述べる。



- 1) 小学校理科
  - イ) デンプンしらべ・だ液のはたらき
  - ロ) 導通テストキットによる「電気の通りみち」
- 2) 中学校理科
  - イ) 導通テストキットによる「水溶液とイオン」
  - ロ) 塩化銅 (II) 水溶液の電気分解
- 3) 高等学校化学
  - イ) いろいろな溶液の電気分解
  - ロ) 小型ピペットを用いた「pHと指示薬の変化」

尚、小学校6年「水溶液の仲間わけ」及び中学校3年「水溶液の性質」を対象とした、酸性・中性・アルカリ性の水溶液を指示薬の変化により確認する実験も呈色板を活用した非常に良い例であるが、この実験については、「実験廃液の削減と準備等の負担の軽減」の観点から、本章2-1の3)ロ) 反応容器の改良 で取り上げた。

### 校種別教材実験の例

#### 1) 小学校理科

##### イ) だ液のはたらき・デンプンしらべ<sup>23)</sup>

「だ液のはたらき」と「デンプンしらべ」の教材実験を取りあげる。いずれも小学校から中学校理科において学習内容に連続性があり、実験を通じた学習を実生活と結びつける必要のある課題である。身近な現象や物質を対象にしている点において、児童・生徒の観察・実験に対する興味や関心を育む上で、重要な実験である。

「だ液のはたらき」のマイクロスケール実験による個別実験では、児童・生徒が自分のだ液を使って実験を行うため、実験に対するモチベーションは非常に高くなる。また、だ液を含まない場合も対照実験として行うため、科学的な探究、データの整理、論理的な思考

を促す点においても、大切な実験と言える。

「だ液のはたらき」の実験は、小学校6年の単元「体のつくりとはたらき」の中で扱われ、デンプンがだ液に含まれる消化酵素によって変化することを学習する。中学校2年では単元「動物の体のつくりとはたらき」において、さらに「ベネジクト反応」を用いてデンプンがデキストリンを経て糖に変化したことを確認する。

小学生を対象とした実験では、まずデンプンを含む食べ物が身近にあることに気付かせるため、多くの身近な食品を用いて、ヨウ素デンプン反応による「デンプンしらべ」を行った。図2-47は、ごはん、パン、うどん、ジャガイモ、バナナ、枝豆、キュウリ、餅、クッキー、コーンスターチ、片栗粉、イカ、バナナ等の食品20種類を対象に、呈色板を2枚用いて、ヨウ素デンプン反応を調べた結果である。呈色板上で実験結果を同時に比較検討した上で、データを整理して論理的に考えることができることは、第3章2-2の1)で述べる「水溶液の実験」の場合と同様である。ヨウ素デンプン反応は、すぐに結果がわかるため、また身近な食品のデンプンの有無を調べるため、個別実験による学習効果と興味・関心の高まりは特に大きくなる。詳しくは第3章で述べる。

尚、図2-39のように固形物をのせることができるのも呈色板のメリットである。また、ヨウ素液の代わりにうがい薬を用いても同様の実験ができ、理科を身近に感じさせる興味ある取り組みとなる。また一部のデンプンを使って顕微鏡観察もできる。

次に、だ液のもつ消化酵素の働きを調べる「だ液のはたらき」の実験について述べる。本実験は、当初は12セルプレートを経典的な器具として教材開発を行い、授業でも実践を行ってきた<sup>4)</sup>。セルプレートから、安価で取り扱いやすく、また観察が容易な呈色板を活用した実験方法に改善した。

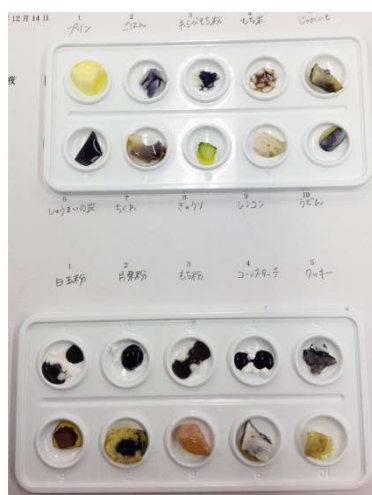


図2-39 呈色板2枚を用いた  
「デンプンしらべ」の様子

図2-40, 2-41及び2-42は、だ液のもつ消化酵素の働きを調べる実験を、呈色板により実施した例である。図2-40では、綿棒の両端のうち、片方にはだ液とデンプン水溶液を、他方は対象実験として、デンプン水溶液だけを含ませ、さらに、中央で折曲げて両端をアルミニウム箔で包み、40～50℃の湯中で3～4分間、加熱している様子である（図2-41）。温水はセラミックヒーターを用いて準備しておくことと便利である<sup>4)</sup>。その後、呈色板（6穴）の2ヶ所の穴にいったヨウ素液に綿棒を折り曲げたまま同時に浸ける（図2-42）。図2-42の綿棒の先を比較すると、だ液を含まない左側は青紫色に変色し、だ液を含む右側では変色が見られず、ヨウ素デンプン反応が生じていないと容易に判断できる。同じ条件下での対照実験を同時に確認できることが大きなメリットである。ここでは6穴呈色板を使用することにより、より省スペース化につながっている。

マイクロスケール実験による個別実験では、本実験のように児童が自分のだ液を用いて調べるため、すでに述べたように受講生の実験に対するモチベーションも高くなる。



図 2-40 片方の綿棒にだ液を  
含ませる

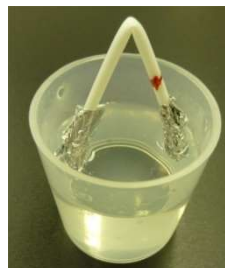


図 2-41 綿棒を温水で  
加熱



図 2-42 6穴呈色板中のヨウ  
素液に同時に綿棒を  
浸けたところ

第3章の実践活動による検証では、公立中学校および教員志望の大学生の授業、理科教員の研修講座（小学校教員を含む）等において実施した具体的な活用例について報告する。

#### ロ) 導通テストキットによる「電気の通りみち」

小学校3年の単元「電気の通りみち」の単元では、身近な材料を使って固体物の電気伝導性を調べる学習を行う。ここでは、開発した導通テストキット（「ひかるくん」あるいは「ほたるくん」と呼ぶ）の作り方とそれを使った実験、及び公立小学校での実践をもとに実験の教材について述べる。

本実験では、まず固体の電気伝導性を確認するための、「導通テストキット」の作製を行った。その後、「導通テストキット」を用いて、金属と非金属の導通の違いを、呈色板を用いて調べていく。

小学校だけでなく学校外の実験教室で安全に実施でき、授業時間や講習時間に応じて「導通テストキット」の作製も取り入れた。

本教材実験の第一の特徴は、身近にあるクギ、コイン、色紙、プラスチック、木材などを調べる対象にしたことである。また実験前に導通の可否について予想をさせた後、実験により確かめることで、児童の興味・関心を喚起するように図った。学校外の実験教室での活動では、導通テストキットの作製も児童・生徒が行うことで、よりいっそう実験に対する関心が高まるように工夫した。

また、導通の可否について結果の予想を立て、実験で確かめる展開により、児童・生徒の興味・関心を喚起するだけでなく、結果の予想の根拠についても文章化させるなどの試みも行い、考える力の育成につながるよう取り組んだ。

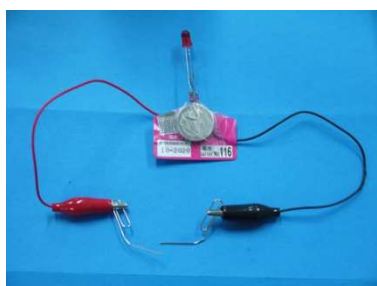


図2-43 導通テストキット「ひかるくん」の概観



図2-44 改良を重ねた「ほたるくん」の概観

図2-43, 2-44は、実験に用いた導通テストキットを示す。開発段階では、図2-43のキットを用いていたが、実験教室において、児童・生徒が自作できるように改良を重ね、図2-44に示す導通テストキットとして「ほたるくん」の呼び名で普及を図った。材料は、3Vボタン電池、赤色LED、電気抵抗、ミノムシクリップを用いて、簡単なハンダ付けの作業で作製できるように工夫している。尚、先端のステンレス製の端子はクリップにより挟み固定している。

図2-45では固体材料の電気伝導性を調べるため、呈色板のくぼみに10種類の材料（1円硬貨、空き缶、折り紙、プラスチック、

アラザン，ゴム，木，鉄クギ等）を接着剤で固定している。自分で選んだ材料を調べることも可能で，対象物は，適宜，変更することもある（図 2-45 では，シャープペンシルの芯を選んで調べている）。例えば，1円硬貨の代りに他の硬貨について調べる。空き缶では，アルミニウム缶とステンレス缶について，さらには表面の塗装をはがす前と後の違い，また鉛筆だけでなく，赤鉛筆の芯を調べるなど，授業時間や児童の関心により，調べたいものを調べるように実施した。

1円硬貨 空き缶 金紙 銀紙 プラスチック



アラザン ゴム 木 くぎ シャープペンの芯

図 2-45 呈色板上の固体試料

図2-46は，固体試料について調べている様子である。



図 2-46 固体試料の導通を調べている様子

児童・生徒の観察・実験に対する興味・関心を喚起するため，実験を行う前に，実験で用いる身の回りの物質を対象に，導通の可否について予想を立て，その後，実験に臨んだ。

図 2-47 は、実験前に予想させるのに使用したワークシートの例である。導通の予想の際、その根拠についても文章で記載を求めた。

以上のアンケート調査は、児童・生徒のもつ誤概念の調査、日常知の獲得等についての調査も兼ねて行った<sup>32, 33)</sup>。

しらべるもの	よそう (○か X)	結 果 (○か X)
1 円 玉		
5 円 玉		
銀 紙		
金 紙		
プラスチック		
アラザン		
ゴ ム		
木		
鉄くぎ		
鉛筆の芯		

図 2-47 実験前に導通の可否について予想させるためのワークシート

## 2) 中学校理科

### イ) 導通テストキットによる「水溶液とイオン」

中学校 3 年理科の単元「水溶液とイオン」では、イオンの存在さらに水溶液中でののはたらきについて学習する。その際、イオンが電荷をもった粒子であることを、実験をとおして実感を伴って理解す

ることが重要である。すなわち、固体から水溶液に変わったときに、電解質溶液となるか非電解質溶液となるか、その判断の根拠となるのが、水溶液の電気伝導性である。小学校では、固体物を対象に、電気伝導性の違いから、金属と非金属の区別を行ったが、中学校理科では、さらに水溶液における電気伝導性の違いを考察することになる。

教材開発では、小学校6年理科の実験として開発した「導通テストキット」（図2-43及び図2-44参照）を活用することにより、学習の連続性を考慮した。中学生対象の授業においても、部分的に固体の導通テストを併用して、学習の振り返りが可能となる。

図2-48及び図2-49は、水溶液を対象に導通を調べている様子である。図2-49に示すように、食塩では、まず固体状態で導通を調べ、その後、少量の水を加え、食塩水として導通をチェックしている。固体と水溶液の違い、及びイオンの存在とはたらきに注目するため、そのことを実験で確認できるようにしている。尚、先端の端子は、測定の際、毎回必ず蒸留水で洗浄する。



図 2-48 溶液の導通を調べている様子

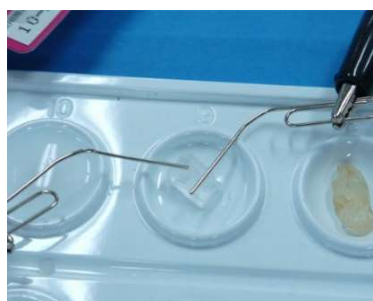


図 2-49 拡大図で食塩の固体と水溶液を調べている

#### ロ) 塩化銅(II)水溶液の電気分解<sup>30)</sup>

電気分解実験における電解槽の改良に関しては、本章2-1の1)イ)で述べた「パックテスト容器」の活用により、操作の簡略化、時間の短縮が実現した。しかし、学校現場への普及を考えると、さらに次の点で検討が必要となった。すなわち、マイクロスケール実験器



具を購入する新たな費用の負担を少なくすること，また教員が実験授業を導入しやすくするために，準備と片付けを容易にすることが求められている。

以上の点から，さらに扱いやすい利便性のある実験器具として，電解槽に呈色板を利用した電気分解実験の開発を行った<sup>30)</sup>。図2-50に実験の様子を示す。呈色板では，パックテスト容器に比べて，さらに必要な電解質溶液の量は少なく，実験後の廃液の削減の効果も大きい。約0.2 mLで十分に結果を確認することができる。また，通電直後から電極付近の反応の様子だけでなく，塩素等の気体の臭気も容易に確認できる。図2-50にも示すように，炭素棒をミノムシクリップに浸けるなどの操作上の留意事項はあるが，操作の簡略化と時間短縮の効果は大きい。



図2-50 電極を両手で支えている様子（塩化銅(II)水溶液の電気分解）



図2-51 銅の析出と脱色の確認（塩化銅(II)水溶液の電気分解）

図2-50は，炭素棒をはさんだクリップを両手で支えながら，塩化銅(II)水溶液の電気分解を行っているところである。この方法で実施すると，炭素棒の先を2～3 mm浸けるだけで，1～2分後には，色紙の脱色と銅の析出（図2-51）が確認できることもわかった。図2-51は，通電約3分後に，陽極側の炭素電極を引き上げると，表面に銅が付着していることを示している。これをさらにろ紙の上にこそぎ落として金属光沢を確認することを行った。

図2-50及び図2-51に示した，電極を両手で支える方法のメリット

は、電気分解の開始と終了を簡単に制御できることである。陰極側で析出した銅は、多くなるとはがれ落ち、さらに陽極側の炭素棒に接触することもあるので、通電の時間を制御すると結果の再現性が高まることもわかった。両手で支える方法では、炭素棒の直接の接触によるショート回路の形成も懸念されたが、実験前に注意を促すという指導により問題がないこともわかった。同様の方法で、その他の電解質溶液の電気分解も可能である。

以上の実験は、約3分以内の観察で明瞭な結果が得られ、通常スケールの実験と比べて大幅な時間短縮となった。

呈色板を用いた電気分解実験は、時間短縮の効果が大きい。高校化学においては、1種類の電解質溶液だけでなく、複数の電解質溶液を対象に、連続して実験を行うと、生徒の実験に対する興味・関心が高まり学習効果が大きい。

### 3) 高等学校化学

#### イ) いろいろな電解質溶液の電気分解

高等学校では「化学基礎」において酸化・還元の基本事項を学習した後、さらに応用として電気分解実験を扱う。酸化・還元の定義が拡張され、特に電子の流れ及び役割について注目することになる。電気分解の実験では、呈色板を用いることにより、複数の電解質溶液の実験結果を観察しながら比較できる点は考察を深めることにつながり、学習上の効果は大きい。電極付近の様子を間近に観察できるメリットを生かすと、溶液中に存在するイオンの種類、及び外からの電気エネルギーによる酸化・還元反応について、実感を伴った理解が得られ、考察もさらに深まると考えられる。

図2-52及び図2-53では、塩化銅(II)水溶液の他に、食塩水、硝酸銀水溶液、ヨウ化カリウム水溶液から3種類の電気分解を、1枚の呈色板上で行っている。図2-53では溶液の混合を防ぐため、中央にS字のろ紙を立てている。炭素棒の先を十分に洗浄すれば、約15分で

連続してすべてを行うこともでき、授業時間内（50分）に複数の電解質溶液の電気分解が可能で、大幅な時間短縮につながった。

以上のように、高等学校化学においては、複数の電解質溶液を対象に、授業時間内に電気分解実験を実施でき、それらの結果を同時に比較できる。生徒の観察・実験に対する興味・関心の高まり、また考察の深まりへの可能性については、第3章2-2の2)で述べる。



図2-52 呈色板による3種類の電解質溶液の電気分解 ( $\text{AgNO}_3$ 溶液の例)

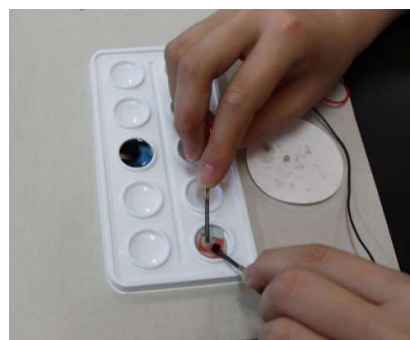


図2-53 3種類の電解質溶液の電気分解 (KI溶液の例)

#### ロ) 呈色板と小型ピペットを用いた「pHと指示薬の変化」<sup>31)</sup>

本実験の内容は、主に高等学校化学基礎の単元「物質の変化」—物質と化学反応式で扱うが、実験操作の習得と濃度による溶液の色変化に限定して扱えば、中学校理科でも実施可能である。

ここでは、呈色板を小型のガラス製ピペットを用いて、溶液の希釈方法を習得すること、pHの意味を実験から理解することに焦点を絞った。本実験は、個別実験により、特に実験の基本的操作に関する技能の習得をとおして、実験操作の持つ合理性や意味を実感できる。さらに今後の実験に臨む態度の育成という点でも貴重な体験を与える。ピペットの持ち方、滴下方法だけでなく、pHの異なる溶液の調製をとおして、濃度の意味を体得することができるが、これはマイクロスケール実験のもつ課題の一つについて、解決策となる。すなわち、マイクロスケール実験では、操作の簡略化と費用の削減を図るため、従来の実験器具を避けて、プラスチック製の器

具を活用する機会が多く，そのため器具の基本的な操作方法の習得や操作の意味について考える機会が少なくなることが指摘されている。このような課題に対して，本実験のように，ガラス製ピペットを用いて，従来の滴下方法を踏襲する形で，個別実験を行うことは，正しい実験操作を習得する上で意義が大きい。また，高等学校化学では，水素イオン濃度と pH の学習の際，対数による定義ができず，実験による実感を伴った理解が重要となる。すなわち，水素イオン濃度が 10 倍変化すると，pH が 1 変化することを，実験をとおして実感を伴った理解ができることをねらいとしている。

以下に実験方法等の概略を示す。授業実践をとおして，受講生から得られたアンケート結果や感想等については，第3章で述べる。



図 2-54 実験に用いる器具の一式



図 2-55 ピペットを使った滴下の様子 図 2-56 指示薬の滴下

図 2-54 に，本実験で用いる器具の一式を示す。ガラス製のピペットは，試薬により色の異なるゴム球をつけ，操作ミスを抑えてい

る。図 2-55 はピペットを使った滴下，図 2-56 は指示薬の滴下の様子を示している。実験手順の概略を以下に述べる。

横に並べた 2 枚の 10 穴の呈色板の 1 段目と 2 段目を使い，pH=1 から pH=13 までの溶液を調製する。0.1 mol/L HCl を pH=1 として，10 倍に薄める操作を pH=6 まで行い，一方 0.1 mol/L NaOH を pH=13 として，10 倍に薄める操作を pH=8 まで行う（図 2-57 参照）。pH=7 は蒸留水あるいは緩衝液を用いた。また，指示薬には BTB 溶液を使用し，呈色板を揺することで攪拌した。BTB 指示薬を入れた結果を図 2-58 に示す。尚，ここでは電解質溶液は完全に解離しているものとする。

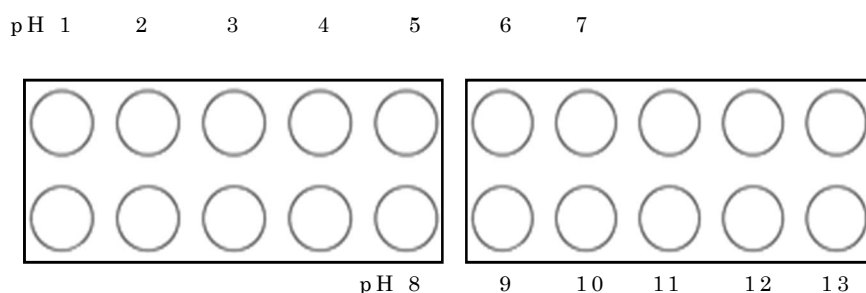


図 2-57 呈色板 2 枚による pH の異なる液の配置



図 2-58 指示薬の変化（実験結果の例）

本教材実験では，各溶液を希釈する際，ガラス製ピペット（1 mL）を用いて 1 滴の量が制御できるように，事前にピペットの使い方に関する指導を兼ねて練習をしている。

以上より，本教材実験は，実験の基本的な操作の習得だけでなく，

実験から学ぶことの大切さを実感させる，このこともねらいとしているが，これについては第3章で述べる。

### 本章のまとめと註

本章においては，開発した教材の趣旨等を明確にするために，次の3つの観点を基準として分類した。

- ① 操作・準備の簡略化と時間短縮のための開発・改良
- ② 個別実験の形態と学習効果
- ③ 汎用性のある器具の開発と普及

特に本論文で重要なテーマである「個別実験」の実現を図るために開発した教材のうち，操作・準備の簡略化と時間短縮の効果が大きい実験を取りあげた。

①は児童・生徒にとっての安全性の確保，教師にとっては多様な授業展開を可能にするために行った開発の例をとりあげた。②は①とも密接に関連するが，ここでは，具体的に個別実験の形態，すなわち構成人数や，学習効果の検証に用いた教材実験の例を示した。③は，開発したマイクロスケール実験による教材実験のすべてに共通する観点であるが，特にマイクロスケール実験の学校現場への普及を図るために開発した教材に注目した観点としてまとめた。

本章で述べた趣旨の下に開発した教材の実践例は第3章に示す。

(註1)：遷移元素を含む化合物の名称は，遷移元素の価数を示すことが一般的であるが，ここでは中学校理科教科書の記述に従い，例えば「塩化銅(II)水溶液」の表記は「塩化銅水溶液」と略記する場合がある。尚，高等学校に関する記述では，高等学校化学の教科書の表記に従う。

(註2)：「パックテスト容器」は共立理化学研究所の登録商標環境分析キット「パックテスト」の補助器具として市販されている。1×2×2.5cm，ポリスチレン製，容量約4mL

## 引用文献

- 1) 市川伸一編(2012):『教えて考えさせる授業 中学校』, 図書文化, 全 142p
- 2) 吉川弘之ら(2015):『未来へひろがるサイエンス 3』, 啓林館, p. 77
- 3) 荻野和子, 東海林恵子(1998):「高校化学におけるスモールスケール生徒実験—簡単にできる電気分解の実験」, 化学と教育, vol. 46, No. 11, pp. 742-743
- 4) 芝原寛泰, 佐藤美子(2011):『マイクロスケール実験—環境にやさしい理科実験』, オーム社, 全 131p  
同英訳版 H. Shibahara and Y. Sato(2016):『Microscale Experiment-Environment Conscious Science Experiment』, オーム社, 全 118p
- 5) 奥野晃久, 芝原寛泰(2009):「分光セルを用いた電池・電気分解のマイクロスケール実験」, 理科教育学研究, vol. 51 No. 1 pp. 23-29
- 6) 佐藤美子, 芝原寛泰(2012):「パックテスト容器を用いたマイクロスケール実験による電池・電気分解の教材開発と授業実践—考える力の育成を図る実験活動を目指して—」, 理科教育学研究, Vol. 53, No. 1, pp. 61-67
- 7) 芝原寛泰, 佐藤美子, 近藤恵子(2016):「マイクロスケール実験による電気分解で用いる直流電源の改良—個別実験を安全・安価に実現するために—」, 日本理科教育学会近畿支部大会 発表論文集, p. 52
- 8) 芝原寛泰, 佐藤美子 (2019):「ボタン電池と呈色板を用いた電気分解マイクロスケール実験—操作の簡略化と安全・安価な器具の開発と普及に向けて—」, 日本理科教育学会全国大会 発表論文集, p. 109

- 9) 佐藤美子 (2016): 「理科教育におけるマイクロスケール実験の教材開発と実践—混合物の分離実験を中心に—」, 四天王寺大学紀要, 第62号, pp. 369-381
- 10) 齋藤 烈ら (2011): 「化学基礎」啓林館 p. 25
- 11) 吉田拓郎, 芝原寛泰, 川本公二 (2011): 「高等学校化学のマイクロスケール実験による混合物の分離・精製実験の教材開発と授業実践—物質の持つ化学的性質に着目して—」, 理科教育学研究, Vol. 51, No. 3, pp. 159-167
- 12) 吉川弘之ら (2015): 「未来へひろがるサイエンス1」, 啓林館 p. 170
- 13) 文部科学省 (2008): 『中学校学習指導要領』 p. 47
- 14) 文部科学省 (2008): 『中学校学習指導要領解説—理科編—』
- 15) 岡村定矩ら (2011): 『新しい科学2年』東京書籍, pp. 41-43.
- 16) 塚田捷ら (2011): 『未来へひろがるサイエンス2』啓林館, pp. 145-146
- 17) 霜田光一ら (2011): 『中学校科学2』学校図書, p. 39
- 18) 有馬朗人ら (2011): 『理科の世界2年』大日本図書, p. 47.
- 19) 細矢治夫ら (2011): 『自然の探究中学校理科2』教育出版, p. 35 及び p. 37
- 20) Bob Worley (2011): 『Some more microscale gas experiments. SSR』, 92 (340), 全 62p
- 21) Radmaste Centre. (2006): 『ADVANCED TEACHING & LEARNING PACKAGES MICROCHEMISTRY EXPERIENCES』 . Retrieved November 29, 2014, from <http://www.unesdoc.unesco.org/images/0014/001491/149133E.pdf>.
- 22) 柴辻優駿, 佐藤美子, 芝原寛泰 (2015): 「マイクロスケール実験による中学校理科における銅の酸化・酸化銅の還元実験の教材開発と授業実践」, 理科教育学研究, Vol. 56, No3 pp. 347-354
- 23) 佐藤美子, 芝原寛泰 (2016): 「呈色板を用いたマイクロスケール



- ル実験の教材開発と授業実践—理科教育実験への普及を目指した汎用性のある器具の活用—」, 理科教育学研究, Vol.57, No. 2, pp. 123-131
- 24) 佐藤美子, 芝原寛泰(2014): 「マイクロスケール実験による実感を高める「気体の発生と性質」の教材実験—個別実験と時間短縮を目指して—」, 科学教育学研究, Vol.38, No. 3, pp. 168-175
- 25) 竹内敬人ら(2006): 『未来へひろがるサイエンス第1分野上』啓林館 p. 81 及び p. 54
- 26) 周寧懷(2000): 『微型天机化学実験』, 科学出版社 p. 28
- 27) 荻野博, 荻野和子, 猪俣慎二(2005): 「新しい教育法—マイクロスケール化学の現状と課題」, 放送大学研究年報, vol. 23, pp. 89-95
- 荻野博, 荻野和子(2006): 「新しい化学教育法—マイクロスケールケミストリー—」 放送大学特別講義
- 28) NaRiKa(2011): マイクロスケール実験シリーズ, カタログ No. 52, pp. 618-619 (考案者: 佐藤美子・芝原寛泰)
- 29) Obendrauf, V (2006): Proceedings of the 19th International Conference on Chemical Education, pp. 10-21
- 30) 佐藤美子, 山口幸雄, 芝原寛泰(2017): 「呈色板を用いたマイクロスケール実験による電気分解の教材開発と授業実践」科学教育研究 Vol. 41 No. 2, pp. 213-220
- 31) 佐藤美子, 芝原寛泰(2016): 「呈色板を用いたマイクロスケール実験の教材開発 (IV) — pHによる指示薬の色変化を実感するために —」, 日本理科教育学会近畿支部大会発表論文集 p. 53
- 32) 深瀬友昭ら, 佐藤美子(2016): 「導通テストキット」の教材化と実践および素朴概念の調査—呈色板を用いたマイクロスケール実験の教材開発 (V) —」, 日本理科教育学会近畿支部大会発表論文集 p. 98

- 33) 佐藤美子(2018):「呈色板によるマイクロスケール実験の教材を用いた概念調査—小学校3年理科「電気を通す物」の実践を例に—」日本初等理科教育研究会『研究紀要』93号 pp.28-35

### 第3章 実践的活動による開発教材の有効性の検証

#### 本章の目的と構成

本章の構成を以下に示す。

#### 1 実践の概要

#### 2 実践的活動による教材実験の有効性の検証

##### 2-1 個別実験の形態と学習効果に着目した実践

##### 1) 塩化銅(II)水溶液の電気分解

及び金属の組み合わせと反応の違い

イ) 塩化銅(II)水溶液の電気分解

ロ) 金属の組み合わせと反応の違い

##### 2) いろいろな気体の発生とその性質

##### 2-2 汎用性のある器具(呈色板)を用いた実践

##### 1) 小学校理科・中学校理科の内容

イ) 教員志望の大学生による実験

「水溶液の性質」と「だ液のはたらき」

ロ) 中学生による実験「水溶液の性質」

##### 2) 中学校理科・高等学校化学の内容

イ) 高等学校の生徒による実験

「いろいろな電解質溶液の電気分解」

ロ) 教員志望の大学生による実験

「呈色板と小型ピペットを用いた『pHと指示薬の変化』」

##### 2-3 ホワイトボード・ICTを活用した実践例

##### 2-4 教員免許状更新講習における実践例

##### 2-5 理科に対する興味・関心を促すための実践例

(学校外での実験教室等を含む)

1) ひらめき☆ときめきサイエンスにおける実験教室(1)

・水溶液の性質など

2) ひらめき☆ときめきサイエンスにおける実験教室(2)

・呈色板を用いた電気分解実験とICTの活用

## 3) 地域における実験教室等での実践

- ・ 導通テストキットの作製と「電気の通りみち」など

## 本章のまとめ

## 引用文献

前章（第2章）においては、開発した教材実験を、研究目的に沿って実践的観点により分類し、教材実験の趣旨、位置づけや期待される学習効果等について述べた。

本章においては、観点別に分類した教材実験による実践的な活動を通して、開発した教材実験の有効性について、アンケート調査や受講生の感想等をもとに検証を進めた。実践的活動は小学校、中学校、高等学校における授業だけでなく、教員志望の学生を対象とした大学における授業、また地域の児童・生徒を対象とした実験教室、あるいは現職教員を対象とした研修講座や、免許状更新講習等を含む。

本章では、本論文の結論を導く上で重要となった主な実践的活動を表に示し、実践活動の趣旨及び内容、日時、対象者、報告論文、学会発表等についても明らかにしている。

## 1 実践の概要

本研究に関連する今まで行った主な実践的活動を、次の①～⑤に分類した。特に①～③は、第2章における分類と対応している。表3-1では、①～⑤に分類して、実践で特に検証した内容について示した。①～③の分類の趣旨については、第2章「本章のまとめと註」において述べた。④については、マイクロスケール実験の普及のために実施した実践活動の一環であり、⑤はマイクロスケール実験の学習効果を上げるために様々なツールを併用した例である。

- ① 操作・準備の簡略化と時間短縮のための開発・改良
- ② 個別実験の形態と学習効果
- ③ 汎用性のある器具の開発と普及
- ④ 学校外での実験教室等における実践
- ⑤ ホワイトボード・ICTの活用

実践においては、複数の観点をもって実施しているので、①～⑤の複数の観点を記載している。⑤ホワイトボード・ICTの活用では、実践での授業展開において、特にホワイトボード・ICTを用いた学習効果及び意欲・関心の向上が見られた例を紹介している。

表 3-1 実践活動の記録（2016年度までの記録）

学校での授業，講習会として実施した活動と学外での研修・実験教室に分類						
	実践内容	実践の観点	開催場所・日時	対象受講生	掲載論文・学会発表等	備考
1	パックテスト容器を用いた電池・電気分解（塩化銅(II)水溶液の電気分解・金属の組み合わせと反応の違い）	①	A 中学校 2010年9月～11月	中学校3年生の3クラス 124名	理科教育学研究(2012) Vol.53 No.1 pp.61-67	授業
2	いろいろな気体とその性質（酸素・二酸化炭素の発生と性質及び・アンモニアの噴水実験）	①②	A 中学校 2012年2月～3月	中学校1年生の3クラス計 121名	科学教育研究(2014) Vol.38, No.3, pp.168-175	授業
3	混合物の分離（昇華と蒸留実験）	①①	B 中等教育学校 2012年5月	中等教育学校 4年生	四天王寺大学紀要(2016), 第62号, pp.369-381	授業
4	プラスチック（ポリエチレンフィルム）による酸化銅の還元	①②	A 中学校 2013年10月	中学校2年生	理科教育学研究(2015) Vol.56, No.3 pp.347-354	授業
5	呈色板を利用した「水溶液の性質」及び「だ液のはたらき」	①③	C 大学 2015年10月	教員志望の大学生 2クラス計86名	理科教育学研究(2016) Vol.57, No.2, pp.123-131	授業
6	JSPS主催 ひらめき☆ときめきサイエンスでの実験教室(1) 「水溶液の性質を調べよう」その他	①②③④	C 大学 2015年10月	中学生 12名	理科教育学研究(2016) Vol.57, No.2, pp.123-131	講習会
7	呈色板を用いた「水溶液の性質」	①③	D 中学校 2015年11月	中学生3年, 1クラス 35名,	理科教育学研究(2016) Vol.57, No.2, pp.123-131	授業
8	呈色板を用いた pH による指示薬の変化と ICT の活用（理科教育法Ⅱ・教職実践演習にて）	①②	C 大学 ① 2016年10月 ② 同12月	教員志望の大学生 ① 76名 ② 41名	理科教育学会近畿支部大会発表(2016)	授業
9	JSPS主催 ひらめき☆ときめきサイエンスにおける実験教室(2) 「呈色板を用いた電気分解実験」	①②③④	C 大学 2016年8月	中学生18名	科学教育研究(2017) Vol.41 No.2 pp.213-220	講習会
10	呈色板を用いた, 塩化銅(II)水溶液の電気分解（理科教育法Ⅱでの授業）	①②	C 大学 2016年10月 G 高等学校 2016年6月	教員志望の大学生 計90名	科学教育研究(2017) Vol.41 No.2 pp.213-220	授業

第3章 実践的活動による開発教材の有効性の検証

11	JSPS 主催「ひらめき☆ときめきサイエンス」	① ② ④	E 大学 2012 年 8 月 及び 2013 年 11 月	主に中学 生及び高 等学校約 20 名		講習 会
12	「身近なデジタルカメラの 活用例」 （「中学校・高校の理科教員 研修講座」	④ ⑤	鳥取県教育セ ンター 2013 年 8 月	中学校・高 等学校の 理科教員		学校 外
13	「青少年のための科学の祭 典 2014 大阪大会」に出展 「色のひみつ,水性ペンのペ ーパークロマトグラフィー」	②	大阪 ハービ スエンとホー ル 2014 年 8 月	主に小学 生及び中 学生 100 名		学校 外
14	学童保育所における科学実 験教室 「備長炭電池をつくろう」	① ④	F 小学校 2014 年 11 月	2 グルー プ小学生 計 80 名		学校 外
15	「大学生と楽しむ色と光の 実験教室」色のひみつペー パ2 ークロマトグラフィ ー・水溶液しらべなど	① ②	キッズプラザ 大阪 平成 2015 年 9 月	主に小学 生 100 名		学校 外
16	「青少年のための科学の祭 典 2016 大阪大会」に出展 「導通キットほたるくんの 作製と導通しらべ」	④	大阪 ハービ スエンとホー ル 2016 年 8 月	主に小学 生及び中 学生 100 名	日本理科教 育学会近畿 支部大会 (2016)発表 論文集 p.98	学校 外
17	化学の子ども化学実験シ ョー 「導通テストキットほたる くんを作って固体の電気伝 導しらべ」	④	夢・化学 21 委 員会 2016 年 10 月 2 日間	主に小学 生 200 名	日本理科教 育学会近畿 支部大会 (2016)発表 論文集 p.98	学校 外
18	教育普及講座 親子サイエ ンス 「不思議な色のひみつ, 備 長炭電池をつくろう! ほた るくんを作って遊ぼう!」	④	神戸市立青少 年科学館 2015 年 7 月, 11 月 2016 年 10 月	小学生を 含む親子 各 15 組	日本理科教 育学会近畿 支部大会 (2016)発表 論文集 p.98	学校 外
19	小学校教員免許状更新講習 「理科」 シュリーレン現象・水溶液 の実験・だ液のはたらき・ 導通調べなど	① ② ③ ④	C 大学 2015 年 8 月, 2016 年 8 月	小学校教 員 24 名		研修
20	セミナー「リケジョ応援! サイエンスって不思議! 女 の子のおもしろ実験教室」 導通しらべ	③ ④	大阪市男女共 同参画のまち 創生協会 2016 年 8 月	小学生 24 名		学校 外
21	加古川市科学教育推進研究 会 ①呈色板を用いた水溶 液の性質・だ液の実験 ②塩 化銅(II)水溶液の電気分解	① ② ③ ④	加古川ファ ラデーラボ ① 2016 年 6 月 ② 2016 年 8 月	中学校理 科教員 22 名		学校 外
22	高大連携活動 懐風館セミナー 「考え・わかる喜び 一子どもたちの笑顔を引き 出すためにー」 科学の話題・導通調べの実 験から学ぶこと	① ④	H 高等学校	高等学校 2 年生 24 名		授業

【註：実践の観点は，該当する次の①～⑤に分類した。

①操作・準備の簡略化と時間短縮による開発・改良，②個別実験の形態と学習効果，③汎用性のある器具の開発と普及，④学校外での実験教室等における実践，⑤ホワイトボード・ICTの活用】

## 2 実践的活動による教材実験の有効性の検証

表3-1に示した実践的活動のうち，本論文の結論を導く上で重要となった実践活動について，以下に示す。

### 2-1 個別実験の形態と学習効果に着目した実践

#### 1) 塩化銅(II)水溶液の電気分解

及び金属の組み合わせと反応の違い<sup>1,2)</sup>

i) 日時：2010年9月～11月

ii) 実施場所：A中学校

iii) 対象者：中学校3年生の3クラス124名

iv) 実験内容：単元「化学変化とその利用」

塩化銅(II)水溶液の電気分解，金属の希塩酸中での反応，金属の組み合わせと反応の違いの3種類を含む一連の実験である。実験の詳細は，第2章2-1の3)及び2-2の2)に記載している。

v) 実践の具体的内容について

授業では実験計画，実験記録，話し合いによる考察，結果の発表等により主体的な学習を促し，考える力や表現力の育成を図る実験活動を展開した。マイクロスケール実験による教材実験の有効性については，授業時の生徒の活動，ワークシートの分析及びアンケート結果より確認することを目的とした。尚，本実践では電解槽として第2章図2-6及び図2-7に示したパックテスト容器を用いている。

授業の様子やその後の考察と言語活動の実践から，下記のイ)及



びロ)の2種類のマイクロスケール実験について教材の有効性を検証した。また生徒が考える最適な実験人数についても調査した。尚、生徒実験は2人1組の実験形態を基本として実施し、希望した少数の生徒は1人で実験を行った。

以下に示すイ)塩化銅(II)水溶液の電気分解は生徒実験による50分授業、またロ)金属の組み合わせと反応の違いは、部分的な演示実験と生徒実験、及びクラス討論とまとめを50分授業で行った。

### イ) 塩化銅(II)水溶液の電気分解<sup>1)</sup>

図3-1は第2章図2-6及び2-7の器具を用い、USB電源の代わりに手回し発電機を使ってエネルギー変換を体験しているところである。この実験を導入として、復習を兼ねて2人1組で実施した。どの生徒も精一杯発電機を回し、自分で電気分解をしているという実感をもって、活気づく実験となった。

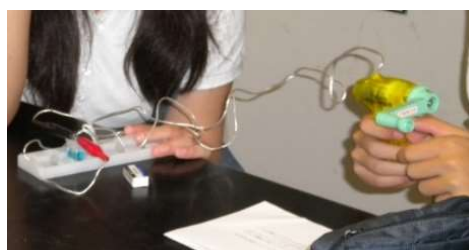


図 3-1 手回し発電機による塩化銅(II)水溶液の電気分解

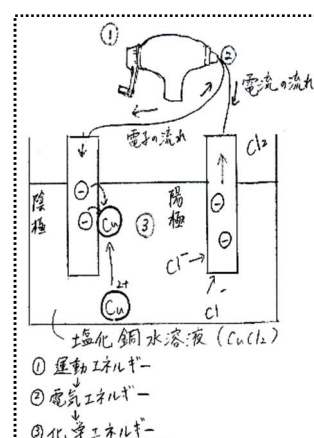


図 3-2 生徒の実験結果の記述

図3-2は実験後の生徒の記述である。手回し発電機の運動エネルギーが電気エネルギーに、さらに化学エネルギーへと変換され電気分解が行われたこと、またプラス極とマイナス極での反応から、電子の授受による物質の生成をモデルで示している(⊖は教科書に従い電子を表す)。イオンの存在に気付き、自ら獲得した概念を図示することで整理し明確にしている。塩化銅(II)水溶液の電気分解で

は、パックテスト容器を用いた結果、分光セルを容器に用いた場合に比べ、両電極付近の様子が詳細に同時に観察できることが、図 3-2 のような考察につながったと考えられる。

### ロ) 金属の組み合わせと反応の違い

図 2-37 (第 2 章) の器具を用いた演示実験により、3 種類の金属の性質を確認後、2 人 1 組の実験で図 2-38 (同) のように、電子メロディーが最も大きく鳴る金属の組み合わせを予想しながら違いを調べた。授業展開を次に示す。

- ① 実験結果の予想と話し合い - 2 人 1 組での活動 -
- ② 金属板を代えて音量を調べる - 2 人 1 組での活動 -
- ③ 実験結果を記録する - 個別で作業 -
- ④ 話し合い、考察を行う - 小集団 (4 人グループ) <sup>註</sup> の活動 -
- ⑤ 考察結果の掲示と発表 - クラス全体の活動 -

(註：本実践では 4 人グループを「小集団」として行った。)

図 3-3 (左) は、個別に実験結果を記録しているところ、図 3-3 (右) は、小集団による活動の様子を示す。また、図 3-4 は、考察結果を提示して、クラス全体で発表・討論を行っている様子である。

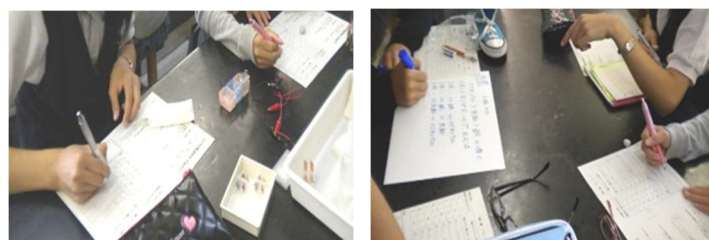


図 3-3 個別に実験結果を記録する様子 (左) と小集団での活動 (右)

<考察>

実験結果から、2種類の異なる金属の場合に音が鳴るか、電極にも関係があった。

特に、金属の溶けやすさによって、電流の強さが変わった

1位	Cu	Mg
2位	Cu	Zn



図 3-4 考察結果 (枠内) とクラス発表

図 3-5 は、ある生徒が授業終了後に作成した「化学新聞」の一部である。「化学新聞」は各生徒が実験だけでなく、さらに自ら調べた発展的な内容も含めて、他者にわかりやすく伝達することを意識し、工夫してまとめクラス内で発行したものである。すでに学習した金属板による電池の仕組みから身近なレモン電池の仕組みを推

察していることが伺える。

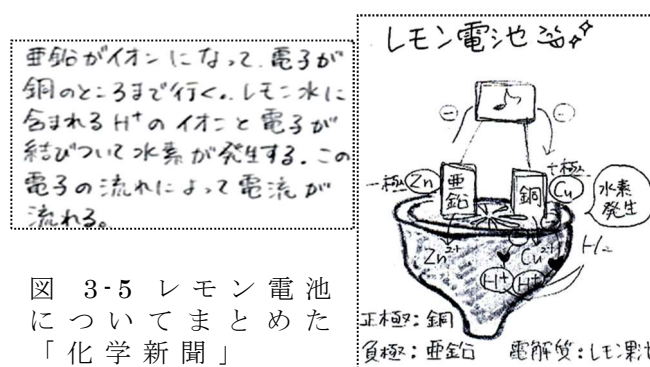


図 3-5 レモン電池  
についてまとめた  
「化学新聞」

授業後にアンケート調査を行った。アンケートの質問として主に

- ① パックテスト容器の使いやすさ  
(すでに体験済みの分光セル容器の場合と比較)
- ② やりやすい実験形態について  
(4人, 2人1組, 1人で実施する場合の比較)
- ③ 感想 (実験内容の理解度, 実験に対する意識の変化, 実験上の問題点など)

の3項目を提示した。調査項目①は、器具の使い勝手が学習効果にも影響すると判断して設定した。尚、受講生らは2年次に分光セル容器による塩化銅(II)水溶液の実験(第2章, 図2-4及び図2-5参照)を、別の単元において体験済みである。調査項目①と②の回答について受講生119名の分布を示している。調査項目②の実験形態についての考察は、本章2-2でも述べる。

アンケート調査の結果を図3-6に示す。調査項目①に関して、パックテスト容器の使いやすさについては8割以上の支持があった。従来の分光セルに比べて優れている点として次のような点が挙げられた。

- ・ 器具の準備が楽である
- ・ 炭素棒に銅が付着する様子が観察しやすい
- ・ 塩素気体の発生や脱色の様子を短時間に観察できる

しかし、改善点として、さらに安定性のある容器スタンドが必要との意見もあった(図3-6)。

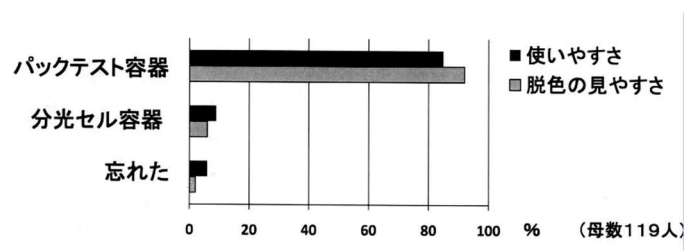


図 3-6 容器の使いやすさ，やりやすい実験形態に関するアンケート結果

調査項目②については，2人1組の実験形態を支持する生徒は7割以上と多く，その理由として

- ・ 2人で協力してから集団で協力する方が深く理解できると思う
- ・ 4人だとあまり実験に関われないし，1人だとちょっと心細い
- ・ 小集団で複数のデータを比較することは重要
- ・ 4人は多すぎるし，1人は迷ったときに困る，2人なら失敗してもどっちかが気づく，ペアで協力するのが一番効率がよい

という記述があった。また生徒の実験後の感想にも，「図を書くだけで理解しにくかった電池の仕組みを，実験して見ることで理解できてよかった」とあり，パックテスト容器を用いた2人1組の実験では，一人ひとりが必然的に実験器具に触れ，操作し，取り組むため，電池の仕組みを知るという目的意識も明確となり，主体的な学習にもとづく理解と満足感につながったことが伺える。

以上をまとめると，授業実践で取りあげた実験では，電極表面における気体発生，析出物の詳細な観察が重要となる。すなわち電気分解等の実験において，その原理を科学的に考えるためには，電極表面や溶液の色の変化などの詳細な観察が基礎となる。一方，通常スケールの実験では，実験スペースの制約からグループ実験の形をとるため，個別実験のような詳細な観察は難しい場合が多い。

本実践の結果，マイクロスケール実験の導入により，実験時間の短縮が可能となり，多様な実験形態による授業展開の工夫と考察時間の確保が実現した。具体的には，4人の小集団（グループ）

で 2 つの実験データを持ち寄り，グループで話し合った結果をまとめることや，わかりやすく結果を伝え，グループ発表を行うなど，主体的な学習につながる言語活動を重視した授業展開が実現できた。50 分授業の中に，実験活動とクラス討論，まとめが収まることは大きな意義があると考えられる。すなわち，主体的な学習を目指す実験授業として，マイクロスケール実験の手法は有効であり，パックテスト容器はそれを具体的に実現するのに適した電解槽の容器であると考えられる。

また，各生徒が授業後にまとめとして作成した「化学新聞」は，他者に伝達することを意識して，わかりやすく自らの言葉で整理し表現している。新聞づくりに対する生徒の感想には「自分がしっかりと理解しないといけないので，難しかったけれど，楽しく作れたので良かった。これからも理解を深め，頑張っていきたいです。」と記されている。新聞づくりは，コミュニケーション力や表現力の育成にも関連するが，マイクロスケール実験による主体的な取り組みを促すという点において，非常に重要な貢献をしていると言える。

教材開発と実践の結果を踏まえて，本実践の成果と根拠を以下にまとめる。

- ・ 生徒自身による学習のまとめ（図 3-4,3-5 等）やアンケートの結果(図 3-6)から，観察が容易なパックテスト容器を用いたマイクロスケール実験による実験活動を取り入れたことで，結果の見やすさと時間短縮による授業展開の充実などにより実感を伴った深い考察と，主体的な学びを促す授業展開が可能であることがわかった。
- ・ 個別実験における実験人数については，2 人による実験を支持する意見が多かったことも，次に述べる「気体発生の実験」でも同様で，一つの特徴と言える。

2) いろいろな気体の発生とその性質<sup>2,3)</sup>

i) 日時：2012年2月～3月

ii) 実施場所：A中学校

iii) 対象者：中学校1年生の3クラス 計121名

iv) 実験内容：単元「物質のすがた－気体の発生と性質」

酸素・二酸化炭素の発生と性質,アンモニアの噴水実験の3種類の実験を個別実験で実施。

詳細は、第2章2-2の1)に記載した。

v) 実践の具体的内容について

開発した教材実験を用いた授業実践では、従来の実験器具を用いたグループによる生徒実験と、マイクロスケール実験を用いた個別実験（1～2人の実験）との違いを、生徒の目線で確かめるため、実験形態、器具の使いやすさ・観察の容易さ・実験中の集中度等に注目して、事後にアンケート調査を行い分析した。アンケート調査以外にも、授業中の生徒の動向やワークシートの記述内容にも注目して検討し、分析した。

個別実験は、実験内容等によって最適な形態を検討することが重要である。本研究における個別実験の定義づけ、趣旨等については、序章1-2及び第2章2-2においてすでに述べた。ここでは、マイクロスケール実験と通常スケール実験との比較を踏まえて、主に「いろいろな気体の発生とその性質」の教材実験を対象に、最適な個別実験の形態について実践的な考察を行った。

A中学校1年生の3クラス計121名（アンケート有効数116名）を対象に、「いろいろな気体とその性質」を学習テーマとして、開発した3種類のマイクロスケール実験を含む一連の授業を行った。実施したクラスでは、すでに教科書に記載の通常スケールの器具により、グループ実験を行っている。授業後のアンケートでは、通常スケール実験との比較（観察や器具の扱い等）、最もやりやすい実験形態（1人、2人、4人による実験）等について意識調査を行った。

また、実験をとおして学習の深まり、さらには主体的な学習に効果があるかどうかについて、授業中の様子やその後の生徒による考察と自由記述からまとめた。尚、通常スケールの実験では、4人1組のグループ実験で、マイクロスケール実験は、2人1組の個別実験を基本として実施した。受講生は通常スケールのグループ実験により、3種類（酸素、二酸化炭素、アンモニア）の気体に関する実験を3回の50分授業で学習済みである。今回は、2回の50分授業で同じ3種類の気体についてマイクロスケール実験による個別実験を行った。また使用した実験器具は、生徒らが教師側の説明とワークシートを参考に自分たちで組み立てて用意した。50分授業では、おおよそ15分の実験方法の説明、20分の生徒実験、15分のまとめと後片付けの時間配分とした。操作説明は、プリント、パワーポイントを使い、また安全上の注意事項は板書した。

図3-7は、ミニ試験管に集気した酸素による燃焼を確かめている様子、また図3-8は、「二酸化炭素の発生と性質」のマイクロスケール実験を2人1組の協同作業で行っている様子である。第2章図2-34及び図2-35において、生徒実験によるアンモニアの噴水実験の様子をすでに示した。シリンジの下部を少し押して、水をフラスコに入れる操作を、2人で行っているが、操作は1人でも可能である。図3-9は、教員志望の大学生によるアンモニアの噴水実験の結果を示し、指示薬の種類を替えることにより、フラスコ内にたまる液の色を変えている。



図 3-7 酸素の燃焼



図 3-8 二酸化炭素の発生



図 3-9 三色のアンモニアの噴水

授業は、イ) 酸素・二酸化炭素の発生と性質,ロ) アンモニアの噴水実験 を実施した。以下, アンケート調査の結果について示す。

授業後のアンケート調査では次の質問項目を設けた。

- ① マイクロスケール実験の器具は使いやすいですか。
- ② 実験結果はわかりやすいですか。
- ③ 通常スケールの実験と比較して, 使いやすさはどうでしたか。
- ④ やりやすい実験形態(1人, 2人, グループ)はどれですか。
- ⑤ マイクロスケール実験についての感想

①～③の質問項目では, 「とても使いやすい」, 「使いやすい」, 「普通」, 「使いにくい」と4段階から選択させた。「普通」とは, すでに体験済みの通常スケールによる実験との比較において「同じぐらい」であることを伝えている。また④は一連のマイクロスケール実験をとおして, 最適な実験形態について質問し, 3クラス分(有効アンケート母数 N=116)を集計した。

質問項目①及び②の集計結果を表3-2及び3-3に示す。生徒のうち6割が, マイクロスケール実験について「器具は使いやすい」, また7割が「結果はわかりやすい」と答えた。「使いにくい」「わかりにくい」と答えた割合は1割以下で, 操作及び観察には, 実験器具が小型化したことによる支障のないことがわかった。

表 3-2 マイクロスケール実験の器具について(N=116)

とても使いやすい	使いやすい	普通	使いにくい
22%	35%	33%	10%



表 3-3 マイクロスケール実験の結果について(N=116)

とてもわかりやすい	わかりやすい	普通	わかりにくい
35%	35%	25%	5%

③の設問では，特に通常スケール実験の経験と比較しながら，使いやすさについて質問したが，その結果を図 3-10 に示す。「使いにくい」と答えた割合は約 11%であった。

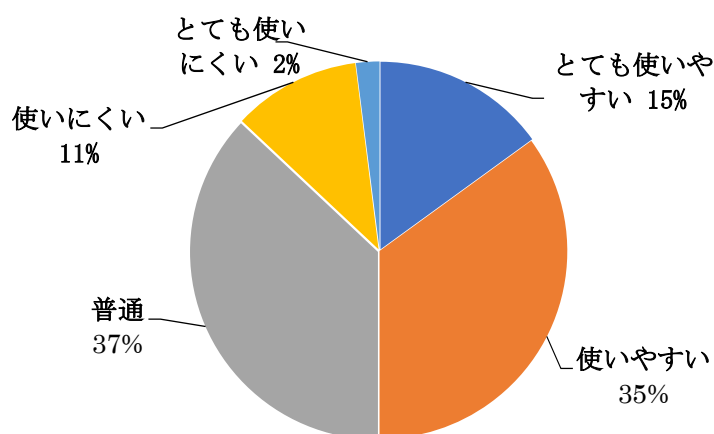


図 3-10 通常スケール実験との比較 (N=116)

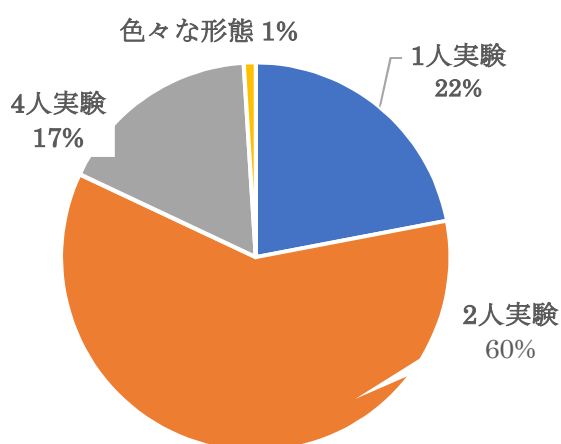


図 3-11 やりやすい実験の形態 (N=116)

④の回答では，やりやすい実験形態について，2人実験を60%，

1人実験を22%の生徒が支持した(図3-11)。すなわち個別実験(1人あるいは2人による実験)を8割以上が支持し、グループ実験を大きく上回った。尚、1人実験の体験はごく一部の生徒に限定されるので、ほとんどの生徒は2人及びグループによる実験体験をもとに回答している。特に、個別実験の中でも2人で行う形態を支持する割合が6割に達した。やりやすい実験形態として2人実験をあげた理由については、「4人でやるとどうしても(他者を)頼るから」、「自分でできることが多く楽しい」、「1人では不安で、2人なら達成感もある」、「4人では自分のやることが決まってしまう。1人では楽しくない。」、「2人でやると自分の間違いに気がつくから」、「1人だとわからない時に困るから」、「2人で大変だったけれど方法も覚えられた」などの記述があった。いずれもグループ実験との比較をとおして、2人1組で行う形態のメリットと問題点を体験的に感じ、6割を超える支持に達したと考えられる。例示以外に得られた感想として「4人で実験するよりも、しっかりと役割をきめることができ、スムーズに進めた。また、一方が実験をし、一方が記録するという一人ではできないこともできる。」等は、マイクロスケール実験によって実現した参加意識の向上を肯定的にとらえている。また、感想の例として「手順を頭にいれないとできないので、実験に入り込むことができた」とあり、実験に積極的にかかわる「生徒参加型」の授業が展開されていたことや、活動をする中で生徒の興味・関心や責任感も高まり、実験操作の意味や、観察結果から気体の性質等を考えるきっかけを与えたことは注目すべきである。また「初めのほうはシリンジの動きがゆっくりだったが、だんだんと速くなっていった。」という記述からも、生徒が実験の様子を詳細に捉えていることがわかる。生徒らは通常スケールによるグループ実験を体験済みであるため、学習内容を踏まえた確認の実験であり、実験時間の短縮にもつながったが、マイクロスケール実験の導入により、短時間に集中して実験にとりくみ、振り返りを含めさらに考えさせる授業の展開が可能になったことを示唆している。

また⑤のマイクロスケール実験に対する感想では、肯定的な意見として、「いつもの実験より色々な面を考えていいと思いました」、「今までより実験に近づいた」などがあり、また否定的な意見としては、「簡単でよいが、観察しにくい」、「小さいので不器用な人には向いていない」、「先生が目がとどきにくい」、「少人数でやると、使う量はかえって増えると思う」などの記述があった。マイクロスケール実験の導入には、実験内容を検討し、学習効果に注目して採否を決める必要があること、また、かえって操作が煩雑になる場合があるため、通常スケールの実験との比較検討が必要であることを示唆している。

以上、マイクロスケール実験による3種類（酸素・二酸化炭素・アンモニア）の「気体の発生と性質」の教材実験と授業実践をとりあげた。マイクロスケール実験の導入により、操作の簡略化に伴う時間短縮が可能になり、2回の50分授業で3種類の生徒実験が実現した。また2人1組の実験も可能になり、生徒にとっても充実した実験形態となることがわかった。特にアンモニアの噴水では、操作を誤った一部の生徒たちには、やり直しをすることで笑顔と達成感を与えることができ、マイクロスケール実験の利点として強調したい。また、すでに挙げた生徒の感想にも「初めのほうはシリンジの動きがゆっくりだったが、だんだんと速くなっていった。」とあり、詳細な観察をしながら実験を行っていることがわかる。通常スケールの実験を履修後の生徒に対するアンケート結果からも、実験後の達成感だけでなく、2人による協同作業、落ち着いて納得するまでの観察、実験操作の習得、考えながらの実験操作等が可能になること、また本研究の課題である主体的な学習への移行による考えさせる授業を目指した展開の一助になることがわかった。また、教師による演示実験、及び小集団（グループ）あるいは個別による実験等の複数の実験形態の組み合わせ、また討論による授業のまとめを含めた授業デザインが可能であることを示すものである。尚、2013年に実施した小学生対象の実験教室や教員研修においても、マイクロスケール実験に

よるアンモニアの捕集実験を実施したが、個別実験による学習効果について多くの賛同を得ることができた。

教材開発と実践の結果を踏まえて、本実践の成果と根拠を以下にまとめる。

- ・開発した教材実験による個別実験により、実験操作の習得及び実感を伴う観察により、主体的な学習の育成につながるということがわかった。
- ・実験形態における、最適な実験人数については、実験に対する集中度及び周囲との協同作業を両立する上で、二人による個別実験を支持する意見が多いことがわかった。

## 2-2 汎用性のある器具(呈色板)を用いた実践

呈色板を用いた実験教材については、2章にて小学校・中学校・高等学校化学での活用例として示した。ここでは取りあげた実験の内容により1)小学校理科・中学校理科，2)中学校理科・高等学校化学に分類し、特に呈色板の操作性や使い勝手などについて、受講生の様子や感想、アンケート調査をもとに呈色板の教材としての有効性について確認を行った。アンケートの協力者は比較検討のし易い教員志望の大学生，授業後の感想が得られた中学生，高等学校生を取り上げた。アンケート調査は、ひらめき☆ときめきサイエンスや教員研修などのいろいろなところで実施しているが、それらについては2-4，2-5で紹介する。

### 1) 小学校理科・中学校理科の内容

#### イ)教員志望の大学生による実験

「水溶液の性質」と「だ液のはたらき」<sup>4)</sup>

i) 日時：2015年10月

ii) 実施場所：C大学

iii) 対象者：教員志望の大学生2クラス 計58名

iv) 実験内容：「だ液のはたらき」

呈色板を用いた実験の趣旨，方法等については，第2章 2-3の1)イ)においてすでに示した。

v) 実践の具体的内容について

小学校教員を志望する教育学部の学生を対象に「水溶液の性質」と「だ液のはたらき」の実験授業を一人ひとつの実験器具による個別実験で行った。実験内容は，第2章 2-3とほぼ同じであるが，本実践では，受講生がすでにマイクロスケール実験については経験済みであるため，呈色板の操作性について注目したこと，タブレット等のICTを用いて実験のまとめ等を行ったこと，また授業後のアンケートでは，教える立場での評価を求めたことが特徴である。

図3-12は，呈色板を用いて「だ液のはたらき」の実験を行っている学生の様子である。図3-13では，タブレットにより撮影した実験結果をスクリーンに投影し，根拠となるところを指し示しながら発表している。タブレットや電子黒板は，画像によりわかったことをクラス全体で共有する際に，非常に役立っている。画像として，呈色板は白地のため，従来のセルプレートよりも鮮明に撮影が可能である。実験結果の予想，結果の考察や発表などの探究的な活動場面で，より鮮明な画像を示し，説明することは，理解を促すためにも重要であり，効果的であることを示すものでもある。グループ内及びクラス全体におけるデータの共有化を図る過程において，コミュニケーション力・表現力の育成にもつながる。



図 3-12 大学生による「だ液のはたらき」の実験



図 3-13 タブレットを使って結果を発表

表 3-4 アンケート調査の質問項目

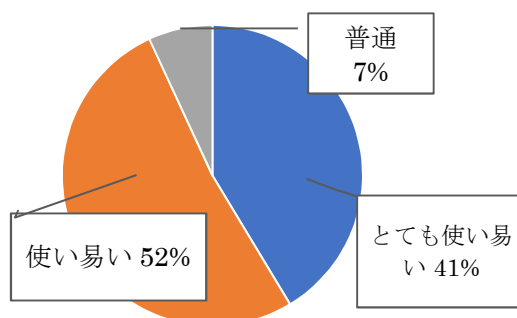
(セルプレートと比較することを口頭で伝達)	
①	呈色板の使いやすさについて (5段階評価)
②	教師になった時に、呈色板を使いたく思うか (2段階評価)
③	実験後の片づけや洗浄について (3段階評価)

実験器具の操作性及び観察結果の明瞭性に注目して行ったアンケート調査の質問項目を表 3-4 に示す。尚、質問への回答はいずれも選択式として、その理由を含む意見も求めた。本授業の受講生は、すでに従来のセルプレートを用いたマイクロスケール実験を複数回にわたり経験済みであり、呈色板の操作性等については、セルプレートとの比較で意見を求めることを口頭で伝えてアンケートを実施した。有効回答数は 58 件で、質問項目①～③の集計結果を図 3-14 に示す。

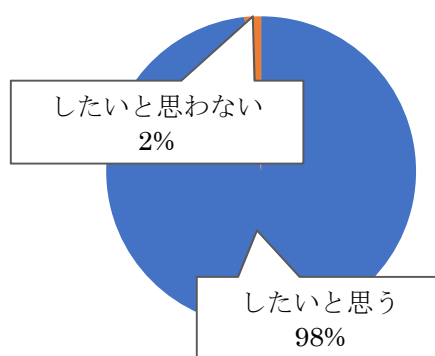
集計結果より、セルプレートと比較して、90%以上が呈色板の方が使い易い、また 98%が教師になった時に、呈色板を使ってみたいと回答している。また 60%近くが、実験後の洗浄についても呈色板の方が優れていると回答している。

自由記述においては、呈色板を用いるメリットとして、操作性や使い勝手を支持する記述は多く、例えば「重ねてもかさばらず、洗浄もしやすい」「水を拭き取りやすい」「下地が白くて色の変化がみやすい」「気楽に使えてよい」「班の中で回してみせることが簡単」「浅いので入れた量がわかりやすく、観察しやすい」等の意見を 58 人中 20 人が記述していた。一方、デメリットを指摘する意見として「入れる所が浅いので、横とまざり、こぼしやすい」「薄いので持ち上げにくい」「浅いのであふれる可能性がある」等の意見も 4 人があげていた。

質問項目① 呈色板の使いやすさについて



質問項目② 教師になった時に呈色板を使いたく思うか



質問項目③ 実験後の片づけや洗浄について

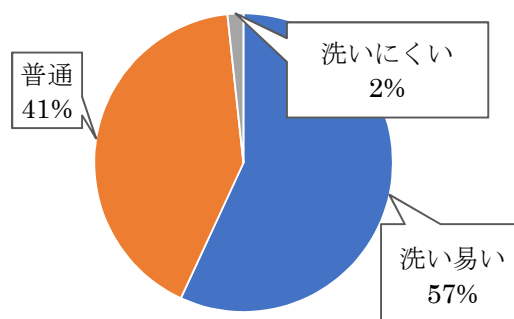


図 3-14 表 3 の質問項目①～③の分析結果

(N=58)

教員志望の大学生による「デンプンしらべ」のアンケート結果では、体験後の感想に、将来の教師としての立場から呈色板の積極的な活用を考える記述が多かった。例えば、「バナナのように時間

がたつにつれて色が変わるのもあり，班どうしで結果を比べて違いを発見する活動に取り入れたい」，「実際に実験をしてみて，デンプンを含む食物について新しい知識を得る度に，小学生に教えてあげようと思いながら調べた」，「デンプンの種類・構造によってヨウ素デンプン反応の色が違うことがわかって楽しかった」などの記述があった。呈色板により色の変化が見やすく，瞬時の比較が容易になったこと，さらに個別実験の導入が容易になったことが，教材実験への活用や学習意欲の向上に影響したことがわかる。

以上より，教員志望の大学生を対象にした実践においては，呈色板の使用は，セルプレートの場合と比較して概ねより支持されていることがわかった。しかし，呈色板の使用に関わる実験操作時の説明がさらに必要なこと，また操作方法に改良すべき課題のあることも指摘された。

教材開発と実践の結果を踏まえて，本実践の成果と根拠を以下にまとめる。

- ・呈色板の使用により，身近な材料を対象に，簡単な操作により短時間で予想と結果を比較して確認することができた。
- ・呈色板の活用にあたっては，いくつかの課題はあるものの，個別実験の実現，主体的な活動を促す点において有効であることが示唆された。
- ・ホワイトボード，ICTにより小さな器具や実験結果を全員に示しながら，説明や意見交換をする場面では，コミュニケーション力・表現力の育成にもつながることが示唆された。

#### ロ) 中学生による実験「水溶液の性質」<sup>4)</sup>

- i) 日時：2015年11月
- ii) 実施場所：D中学校
- iii) 対象者：中学生3年，1クラス35名
- iv) 実験内容：「水溶液の性質」

呈色板を用いた実験の趣旨，方法等については，第2章2-1の3)においてすでに示した。



## v) 実践の具体的内容について

図 3-15 は，公立 D 中学校で，「水溶液の実験」をテーマに実施した授業の様子で，呈色板を用いた実験結果をもとに考察している。個別実験の形で，1 クラス 35 名，50 分授業で実施した。



図 3-15 D 中学校における実践例

授業後に表 3-5 に示した 3 項目の質問でアンケート調査を行った。4 段階評価で理由もふくめた自由記述の欄を設けた。受講生にとっては初めてのマイクロスケール実験の経験であり，質問項目は，実験に用いた器具として「呈色板」の使い勝手等について設定している。

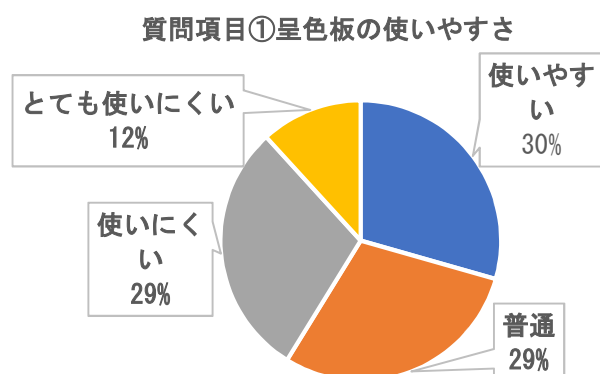
表 3-5 アンケート調査の内容

質問項目（いずれも 4 段階評価）
① 呈色板の使いやすさについて
② 実験結果はわかりやすいですか
③ 実験に集中できましたか

有効回答数は 34 件で，図 3-16 に，表 3 の質問項目①～③に対する回答の分析結果を示す。質問項目①の呈色板の使いやすさに関しては，約 30%が肯定的であったが，約 40%は使いにくさを指摘している。マイクロスケール実験が未経験であったことを考慮しても，操作時の説明の周知も含め今後の課題である。質問項目②の実験結果のわかりやすさについても，約 30%が呈色板を支持しているが，わかりにくいという指摘も約 10%あった。実験に集中できましたか

の質問項目③では、約35%が集中できた、約30%が集中できなかつたと回答している。集中できなかつた生徒が3分の1に達したのは、実験形態や実験方法に対する不慣れが原因とも推測されるが、今後の実践の繰り返しにより検証と改善が必要である。

自由記述欄における意見には、呈色板の操作性や使用感について、「実験しやすく変化のようすがきめ細かく観察することができた。安全性も良いので安心して利用できる」、「自分の目の前にプラスチック板を置くことができ、よく観察することができました」、「何も不便なことなく普通に実験できた」等があった。また個別実験に対しては、「1人でも簡単にできるから。自分のペースでできる」、「1人で実験をした方が記憶に残りやすいと思った」、「1人にひとつできるので、授業に参加しない人が減ると思うのでとても良いと思う」、「1人でやると間違えそうで不安だったけど、よく聞いてできた」、「1人で行ったので手順を覚えることができた」等があった。その他には「実験の時間を短縮できて、まとめの時間が多くとれるのが良い」、「理科はあんまり得意じゃないけど、この実験は楽しかった」等があった。一方、操作性に関するデメリットを指摘する意見として「受け皿が浅くて液がこぼれたから。こぼれそうだった」、「液体が入れにくかった」、「穴の深さが少し浅い」、個別実験に対しては「一人ひとりの実験なので、全体的に進むのが遅くなると思った」、「目的を考えればいいと思うけど、難しい実験はできないと思った」等があった。



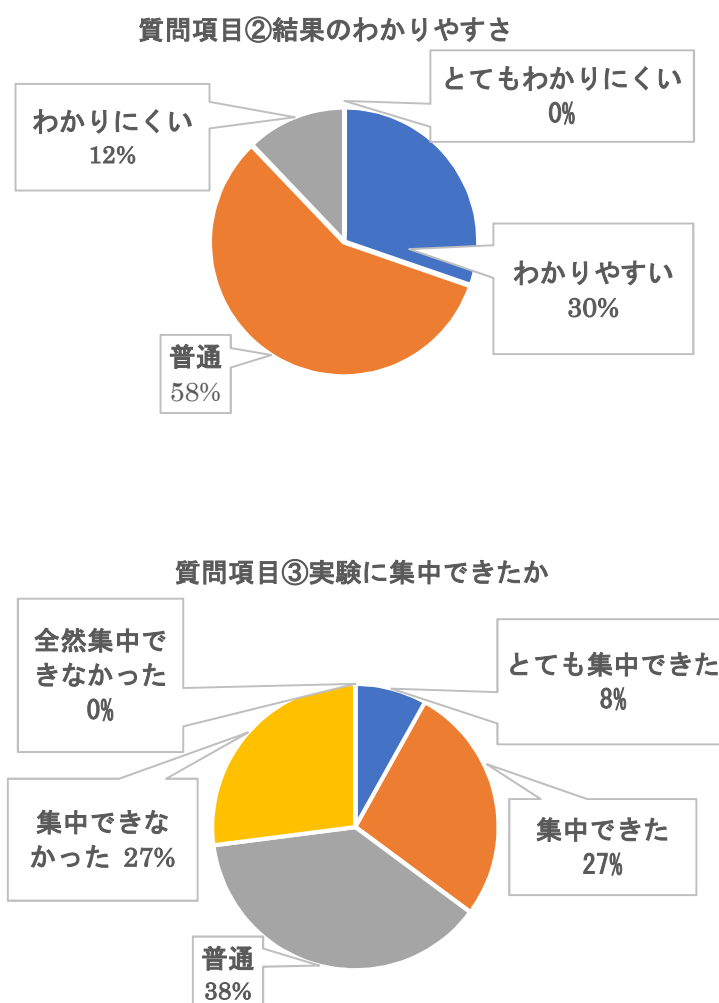


図 3-16 表 3 の質問項目①～③の分析結果 (N=34)

以上の実践で受講生は、マイクロスケール実験は未経験であり、またマイクロスケール実験の授業への導入も試行段階であった。しかし、アンケート結果から、時間内に個別実験の形態で全員が実験に関わることができ、大半の受講生が目的を達したことが伺える。実験時における集中度についても、従来のセルプレート等を用いたマイクロスケール実験の場合と同様の効果があることがわかった。同時に、呈色板による操作に慣れていない場合、操作上の説明がさらに必要なことなどの課題を見つけることもできた。

教材開発と実践の結果を踏まえて、本実践の成果を以下にまとめる。

- ・呈色板は使用経験のない器具であるため，中学生にとっては不慣れなため，実験操作については事前の指導が必要な場合があることがわかった。
- ・実験に対する集中度，器具の操作性については，呈色板に対する不慣れの原因を解決すれば，さらに改善されると期待される。これは今後の課題である。

## 2) 中学校理科・高等学校化学の内容

### イ) 高等学校の生徒による実験

#### 「いろいろな電解質溶液の電気分解」<sup>5)</sup>

- i) 日時：2016年6月
- ii) 実施場所：G高等学校
- iii) 対象者：2年生理系1クラス計32名
- iv) 実験内容：単元「化学反応とエネルギーー電池と電気分解」  
呈色板を用いた，食塩水，硝酸銀水溶液，ヨウ化カリウム水溶液等の電解質溶液の電気分解を行った。実験の趣旨，方法等については第2章2-3の3)ですでに述べた。
- v) 実践の具体的内容について

公立高等学校2年生を対象に，「電極を両手で支えた操作で，複数の電解質溶液を対象にした操作性と授業展開の可否」を検討すること，及び個別実験による学習効果についても調査した。

本実践では，3種類（食塩水，硝酸銀水溶液，ヨウ化カリウム水溶液）の電解質溶液を連続的に変えながら，電気分解の実験を50分の授業時間内で実施した。尚，受講生は通常スケール実験による電気分解実験を履修済みである。図3-17が授業の様子である。3種類の電解質溶液の電気分解の様子については，第2章図2-52, 2-53に示した。各班4人が一人ひとつの器具による個別実験で行い，5V直流電源として1台のUSBハブを用いた。4ヶ所に同時に給電しても電流値の合計は400 mA以下で，USBハブの許容最大電流値（約500 mA）を超えるこ

とはなかった。0.1 mol/L硝酸銀水溶液，0.1 mol/Lヨウ化カリウム水溶液，0.5 mol/L塩化銅（Ⅱ）水溶液の各電解質溶液は，第2章図2-52のように溶液が混ざらないように，10穴呈色板を用いてより間隔を空けて各穴に入れた。また，電極の炭素棒についての析出物が次の実験中に混入しないように，1つの実験後，次の実験に入る前に必ずサンドペーパーで拭き取ることにした。そのため，銅の付着が顕著な塩化銅（Ⅱ）水溶液を最後に行っている。



図3-17 高等学校生による個別実験の様子

ワークシートでは，電極付近の様子についての詳しい観察結果と，考察では活物質に注目して，電極における反応を化学式で表現することを求めた。さらに授業後に，表3-6のような項目でアンケート調査を行った。各項目につき，「5・大変そう思う 4・そう思う 3・どちらでもない 2・そう思わない 1・全くそう思わない」の5段階の評価で理由を付して行い，点数化をした

表 3-6 アンケートの評価項目と集計結果

5段階評価	5	4	1～3	平均値
1) 実験結果が観察しやすい	18件	12件	1件	4.5点
2) 操作はしやすい	9	16	6	4.0
3) 安全に行うことができた	20	10	1	4.6
4) 実験に興味を持って取り組むことができた	20	10	1	4.6

(集計結果は、5・大変そう思う 4・そう思う 3・どちらでもない 2・そう思わない 1・全くそう思わない の 5段階評価の平均値を示す)

表 3-6 では、評価段階の人数と平均点を示した。表 3-6 に示した集計結果から、評価項目 1)～4)のいずれにおいても、5段階評価の 4 以上 (標準偏差は 0.4～0.7) を示し、肯定的に支持する割合が高かった。2)の操作性に関する設問では、相対的に低い値を示している。これは、マイクロスケール実験が初めての体験であり、自分ですべてを操作することに少し不安と戸惑いがあったものと判断した<sup>3)</sup>。自由記述による本実験に対する感想を表 3-7 にまとめた。観察や操作のしやすさについては、概ね支持されていることがわかった。また、個別実験を導入したことに対する感想より、マイクロスケール実験により実現した個別実験の形が、実験に対する満足感、達成感を与え、呈色板の活用による操作性の向上と共に、興味・関心の喚起につながったことがわかった。

表 3-7 高等学校生対象の実践における感想文 (括弧内は筆者の補足)

<p><u>観察や操作のしやすさについて</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小さい呈色板だったが、気体の発生や色が変わるのは見やすかった</li> <li>・小さくても、しっかり結果がわかりました。電気分解で、あんなに小さいのにしっかり反応して、色が変わったり、気体が発生したり、すごかったです</li> <li>・呈色板は、少しの量でいろいろな実験ができるので、すごいと思った。</li> <li>・水溶液の電気分解は簡単な方法でいいと思います</li> </ul>
<p><u>個別実験を導入したことについて</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・全て1人でする実験ははじめてで楽しかった</li> <li>・一人一人がすることで、自分のやり方でゆっくり考えて行うことができました (主体的な学習・考えるきっかけ)</li> <li>・全て1人でする実験ははじめてで楽しかった</li> <li>・マイクロスケール実験は各個人で実験ができ、実験の達成感もあり、とても良かったです (主体的な学習)</li> </ul>

・いつもは班の人がやっているのを見るだけの時が多かったので、自分でやってどんな変化が起こったか、じっくり見ることができました (主体的な学習・考えるきっかけ)

・教科書で見るだけでの電気分解よりも、実際に自分でやった方が具体的でわかりやすかった。今後も、マイクロスケール実験で良い結果がだせたらいいです

以上の結果から、

この実験は、高等学校化学における「酸化・還元反応」の応用実験として、また化学反応を電子の流れに基づいて理解する上で、重要な学習事項である。以下に教材開発と実践の結果を踏まえて、本実践の成果と根拠をまとめる。

- ・高等学校等における授業実践の結果、呈色板を用いたマイクロスケール実験の電気分解は、限られた授業時間内で、安全に再現性高く実施できる教材実験であることが確認できた。
- ・教材開発及び実践における準備・片付けの状況を踏まえ、準備にかかる費用の面でも従来の器具よりも低価格であること、後片付けの負担も少なくなることがわかった。
- ・マイクロスケール実験の大きな特徴である個別実験により、呈色板を用いて実施した場合の授業後の感想文等からも、実験に関わることの充実感や達成感などが得られたものと推測できる。

いずれも呈色板を用いたマイクロスケール実験の活用を推進する理由ともなっている。以上より、学ぶ側の主体的な取り組みや考える力の育成が求められる理科授業においては、呈色板を用いたマイクロスケール実験の利活用が期待される。

#### ロ) 教員志望の大学生による実験

「呈色板と小型ピペットを用いた『pHと指示薬の変化』」<sup>6)</sup>

i) 日時：2016年11月

- ii) 実施場所：C 大学
- iii) 対象者：教員志望の大学生 2 クラス 62 名
- iv) 実験内容：呈色板を用いた水溶液の性質と ICT の活用
- v) 実践の具体的内容について

本実践の実験内容は、高等学校化学基礎の単元「物質の変化」の「物質量と化学反応式」で扱うが、ここでは、主に呈色板を小型のガラス製ピペットを用いて、溶液の希釈方法を習得すること、pHの意味を実験から理解することに注目し、さらにICTの活用を図ることもねらいとした（本章2-2の2）参照）。実験方法等については、第2章2-3の3)に詳しく述べた。

図3-18は、教員志望の大学生による実験の様子で、ピペットの持ち方、滴下の仕方の指導も行っている。

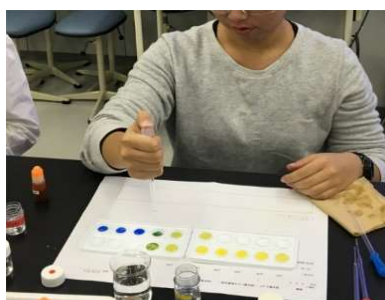


図3-18 大学生による滴下の様子

授業後に、教員志望の学生2クラス62名を対象にアンケート調査を行った。主に、実験操作及び実験から学んだことを確認する目的で調査を行った。質問項目を表3-8にまとめた。

アンケートでは、5・・・大変そう思う、4・・・そう思う、3・・・どちらでもない2・・・そう思わない、1・・・全くそう思わない の5段階評価で行い、さらに評価の根拠についても、感想と共に自由記述の形で求めた。

表 3-8 質問項目

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>① 酸性・アルカリ性と pH の関係について概ね理解できた</li> <li>② ピペットの操作は習得できた</li> <li>③ 実験をとおして自ら確認することの大切さを実感できた</li> </ul> |
|---|



①～③の質問項目に対する集計結果を図3-19a, b, cに示す。

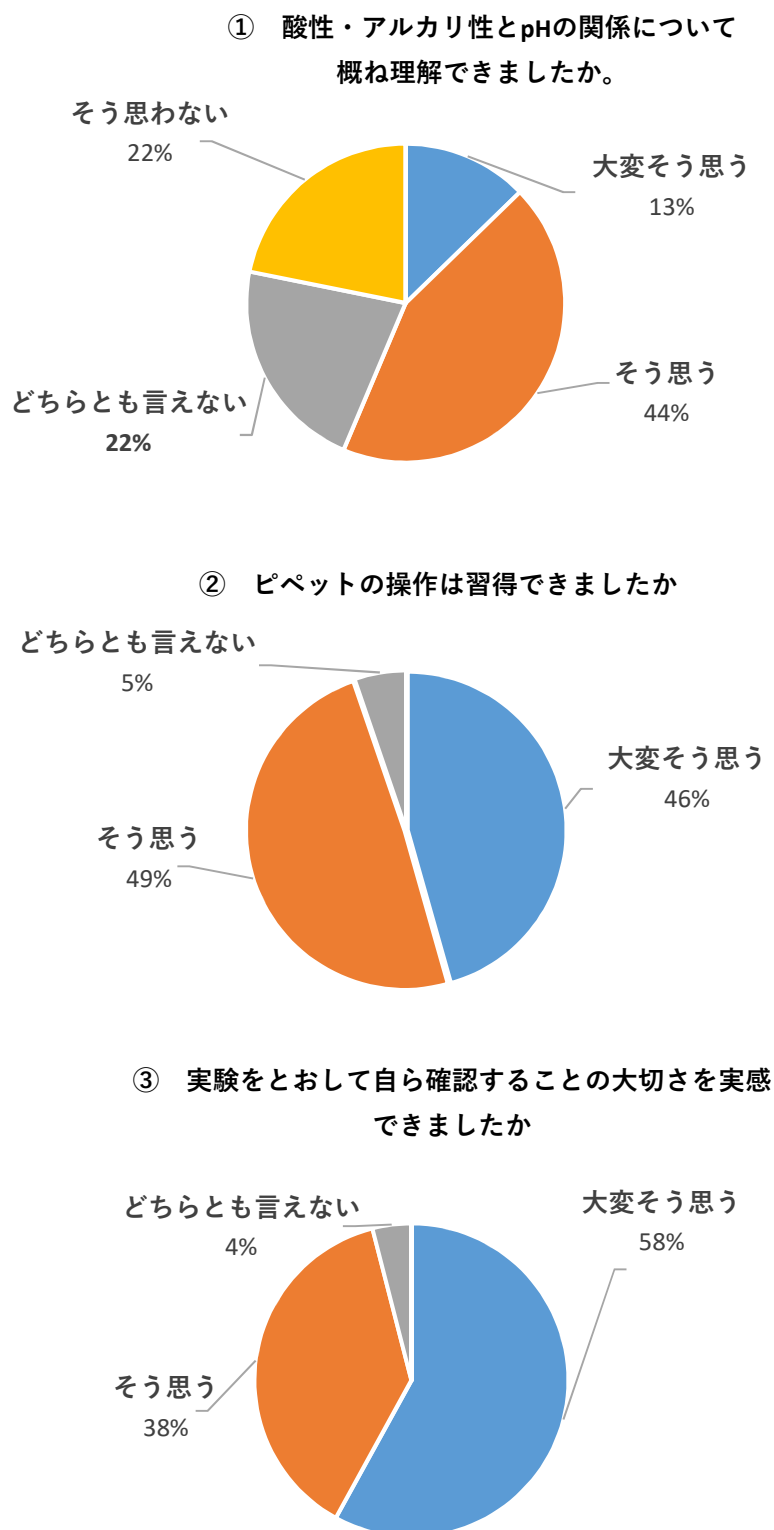


図3-19 表3-3の各質問項目のアンケート集計結果

本実践では、教員志望の大学生を対象としたので、特に、「実験に対して自信をもって指導していくために、これから取り組んでいくこと」について、実験体験を踏まえた上で、自由記述の形で記述を求めた。以下に、記述例を示す。

- ・安全に実験ができるように、正しい使用方法を知る。
- ・準備に力をいれて、自分自身でも何回か実験に取り組んで授業をする。
- ・多くの実験に意欲的に取り組み、その結果をしっかりと確認する。
- ・児童に教えることができるように、まず自分が実験器具を使いこなす。

以上の自由記述の内容から、基本的な実験操作の大切さを習得する上で、本教材実験は有効であったことがわかる。マイクロスケール実験では、器具の小型化に伴い、従来の実験器具に接する機会が少なくなるという指摘が、教員研修等で寄せられることがある。しかし、本教材実験は、小型のガラス製ピペットを使うことにより、滴下の操作の基本を習得することができ、かつ廃液も少なくすることができた点において優れている。

教材開発と実践の結果を踏まえて、本実践の成果を以下にまとめる。

- ・呈色板の使用により、観察がしやすく安価で安全に実施できる教材実験であることを確認した。
- ・水溶液の濃度調整、pHの表記、ピペットの使い方など、基本的な学習内容、実験操作を習得する教材として適している。
- ・マイクロスケール実験の課題であった「正しい実験操作の習得」が実現した。
- ・個別実験の実施により主体的な取り組みによる学習内容の理解と定着を支援することができる。

### 2-3 ホワイトボード・ICTを活用した実践例

本節では、コミュニケーション力や表現力を高めることに効果的であると考えられるホワイトボードやICTを、マイクロスケール実験と共に活用することにより、主体的な学びを支援するだけでなく、考える力を引き出し、思考力を培うことを目指した実践例を示す。

児童・生徒の主体的な活動をサポートする授業展開の重要性については、第1章1-2ですでに述べた。マイクロスケール実験においては、主体的な学習をサポートする上で、ホワイトボードやICT等の活用も、次の点から重要と考えられる<sup>7)</sup>。すなわち、個別実験を基本とする授業展開では、実験前後のグループ活動が大きな役割を果たすが、その際、ホワイトボードやICT等を活用したデータの共有化、グループ討論の活性化が有効となる。一方で、指導者側の立場に立てば、マイクロスケール実験は、小型化された器具を用いるため、授業中での操作方法の説明・伝達においても、以下に述べるように、ICTの活用が有効となる場合がある。

マイクロスケール実験では、一般に実験に用いる器具が小さいため、これまでも拡大して説明するため、実験方法や実験結果の提示には教材提示装置等を用いるなどの工夫を行ってきた。しかし、学校現場の環境整備により、タブレット型のコンピューターや、さらには無線によるデータの転送や提示が容易になり、従来の機器の利用にとどまらず、より積極的にICTを活用することが可能となった。

ここでは、マイクロスケール実験を用いた授業展開の中で、ホワイトボードやICT等を活用した例を以下に示す。



図3-20 教員志望の大学生によるタブレットの活用

図3-20は、教員志望の大学生が、「pHと指示薬の変化」の実験中に、タブレットを使って実験結果を記録している授業の様子である。この実験においては、呈色板を反応容器として用いているため、タブレット等による撮影が容易なこと、また指示薬の色の変化が多様であり、写真撮影による記録が効果的であることから、タブレットの活用のメリットは大きい。また、図3-21は、タブレットで記録した実験結果をまとめて、クラス全体での発表に活用している例である。



図3-21 大学生によるタブレットを使った発表



図3-22 タブレットによる撮影と発表原稿の作成の様子



図3-23 タブレットと電子黒板を使った操作方法の説明

図3-22は、中学生を対象に行った実験教室（ひらめき☆ときめきサイエンス 2016年実施）で、塩化銅(II)水溶液の電気分解の様子を、タブレットを使って記録している様子である。記録した実験結果を元に、keynote（タブレット用発表ソフト）を使ってまとめ、全体に向けて発表している<sup>6)</sup>。

また図3-23<sup>4)</sup>は、実験の操作を説明する際、実験の様子をタブレットで撮影しながら、同時にプロジェクターを使って受講生に示し

ているところである。前述のように，マイクロスケール実験では器具が小さいため，指導者側にとっても，操作方法の注意点等を周知する際，タブレット等の活用は有効である。

次に，ホワイトボードを活用した例を示す。

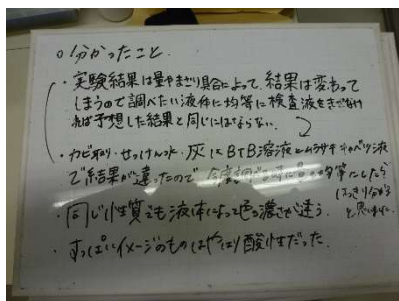
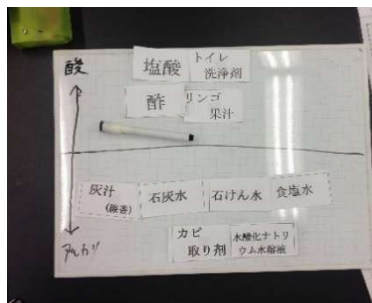
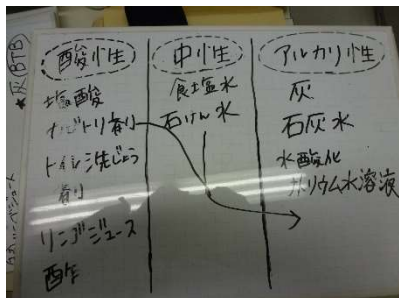


図 3-24 水溶液の仲間わけの実験における実験前後の予想と結果をホワイトボードによりまとめている(教員研修における例)



図 3-25 ホワイトボードによるまとめと発表

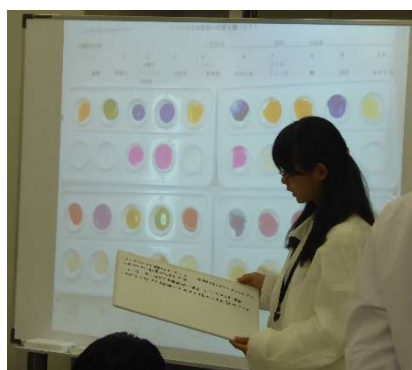


図 3-26 中学生によるホワイトボードを使ったまとめと発表

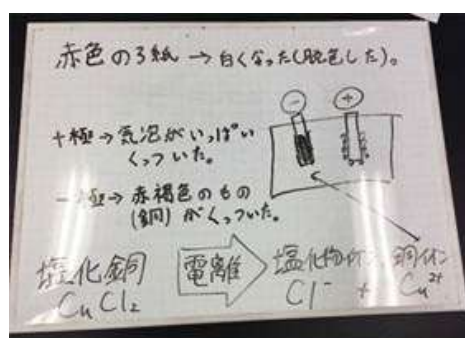


図 3-27 タブレットによる撮影・記録とホワイトボードによる発表

図3-24は、「水溶液の仲間わけ」の実験を、教員対象の免許状更新講習（2015年実施）において実施の際、実験前に水溶液の仲間わけの予想（酸性・アルカリ性・中性）と実験後の結果との比較を、ホワイトボードを使いながらまとめているところである。実験は、個別実験の形で行うが、その前後においては、話し合いの場を設け、コミュニケーション力・表現力の育成を図る観点からの試みである。

図3-25及び3-26<sup>4)</sup>は、同様にホワイトボードの活用例を示す。図3-25は、教員志望の大学生による授業内の様子で、ホワイトボードの内容を直接、プロジェクターに投影している。図3-26は実験教室において中学生が、タブレットで撮影した実験結果をプロジェクターで投影して、同時にホワイトボードにまとめた結果を示しながら発表しているところである。

また図3-27は、教員志望の大学生による電気分解実験の様子で、タブレットによる撮影と、ホワイトボードによるグループ内でまとめと併用しながら、実験を振り返り、さらにクラス全体の発表に活用しているところである。

以上のように、タブレット等のICT及びホワイトボードの活用をとおして、受講生のコミュニケーション力・表現力の育成を図る観点で授業展開を試みた。本研究では、マイクロスケール実験を用いた実験授業を取りあげているが、その際、序章でも述べたように、個別実験を含む授業では、授業時間内にデータの共有化を図るため、実験結果の記録、まとめ、発表において、タブレット等のICT及びホワイトボードを活用することより、新しい授業展開が可能になった点が重要である。

#### 2-4 教員免許状更新講習における実践例

i) 日時：①2015年8月及び②2016年8月

ii) 実施場所：C大学

iii) 対象者：教員免許状更新講習に参加の小中学校現職教員

①15名 ②28名

- iv) 実験内容：下記の①～⑥
- v) 実践の具体的内容について

教員免許状更新講習においては、現職教員を対象に新しい理科実験の体験を狙いとして、次の6種類のマイクロスケール実験から年度ごとに4～5種類を選択して実施している。

- ① シュリーレン現象の観察
- ② 水溶液の仲間わけ
- ③ だ液の性質及びデンプンしらべ
- ④ 導通テスト
- ⑤ 備長炭電池の作製
- ⑥ 気体の性質

いずれも参考文献2)に記載の内容であるが、②③④の実験では、実験容器としては主に呈色板を使用した。対象者が小学校教員であるため、実験テーマについては、小学校の実験テーマを中心に発展的に中学の内容も取り入れて設定した。図3-28に「導通テスト」実験の様子(a)及びタブレットを用いた実験結果の記録の様子(b)を示す。



(a)



(b)

図3-28 (a) 「導通テスト」実験の様子

(b) タブレットを用いた結果の記録の様子

講習会の終了後に、学校現場の指導者としての意見を求めるため、開発した教材実験の有効性について、いくつかの観点に注目してア

ンケート調査を行った。

表3-9にアンケート調査の項目を示す。①の2015年度実施の研修では質問Aについて、②の2016年度の研修では質問Bについて、調査を行った。

表3-9 アンケート質問項目(質問A 2015年8月,質問B 2016年8月実施)

質問A 水溶液の実験・導通テストなどで使用した呈色板について 該当するものに○をつけてください。

1. 呈色板は使いやすかったですか。

5 大変使いやすい 4 使いやすい 3 普通 2 使いにくい 1 非常に使いにくい

2. 実験後の呈色板の洗いやすさについて

5 非常に洗いやすい 4 洗いやすい 3 ふつう 2 洗いにくい 1 非常に洗いにくい

3. 1人(あるいは2人)で行う実験で、実験に集中して取り組みましたか

5 とても集中できた 4 集中できた 3 普通 2 集中できなかった 1 ぜんぜん集中できなかった)

質問B 実験内容について

1. あなたは教師として、水溶液の実験を今回の方法でしてみたいと思いますか。

5 大変そう思う 4 そう思う 3 どちらでもない 2 そう思わない 1 全くそう思わない

2. 「導通テストキット」は使いやすかったですか。

5 大変そう思う 4 そう思う 3 どちらでもない 2 そう思わない 1 全くそう思わない

3. 導通しらべの実験1は、小学校3年生の学習内容に適した実験になっていると思いますか。

5 大変そう思う 4 そう思う 3 どちらでもない 2 そう思わない 1 全くそう思わない

4. 小学校3年生がこの実験を行う取り組み方について

1. 一人で実施 2. 二人一組で実施 3. どちらかを選択させる。

5. 導通テストで調べた結果について、おどろきはありましたか。

5 大変そう思う 4 そう思う 3 どちらでもない 2 そう思わない 1 全くそう思わない

6. 今回の取り組みについて、思ったこと、感じたことなど、自由に記述ください。

集計の結果をまとめると、質問Aの1, 2では、5段階評価で平均4.6及び4.9を示し、呈色板の使い易さ、観察のし易さについて評価が高



かった。また3.の質問では、有効回答の全てが個別実験において集中できたと回答した。自由記述の項目では、呈色板について「今まで試験管を使っていたことが、これでできるのはとてもよいと思いました。もう少し深さや間隔があるとよい。」「場所もとらないし軽くて一度にたくさん結果がみられる。」「軽いしスペースをとらないので、子どもでも扱いやすいし保管がしやすい。安価なのもいい。」「自分一人で実験するには、とても使いやすい。また友達と比べる時にも使いやすい。」のような記述があった。また個別実験については「1人ひとりが確実に意識をもって取り組める。」「自分が行っていた授業をあらためて見直すことができ、工夫や教え方で、子どもたちが生き生きと実験や学習に参加できる手立てを学ぶことができました。」「1番の学びは、自分ですることだと思いました。自分がするとなると、よく聞いて分らないといけないし、集中してよく考えられると思います。ぜひ行っていきます。」のような意見があった。以上の感想からも、本研究において狙いとしていた、個別実験の実現による集中力や興味・関心の高揚等の学習効果についても、評価が得られていることがわかる。

質問Bの、「導通テスト」の教材実験に関する項目②③⑤では、それぞれ5段階評価で、平均4.6、4.5、4.7を示し、開発した器具の使い安さ、学ぶ側のわかりやすさや興味・関心についても高い評価が得られた。また項目④の最適な実験人数に関しては、約7割が、「二人一組で実施」を支持した。この傾向は、中学生を対象の「気体の発生と性質」の実践におけるアンケート結果と同じ傾向を示している（第3章2-1-2参照）。また自由記述欄においては、「必ず1人に1組実験セットがあり、友だちと交代することなく、全部自分でやってみることがこれほどいいことだとは思いませんでした。」「今日、体験させてもらって「班の誰か」ではなく「自分でやった」という思いを強くもちました。子どもたちにも、ぜひ一度、マイクロスケール実験を実践してみたく思いました。」等の感想があった。

質問Aの分析と同様、個別実験による充実感、達成感を支持する意

見が多いことがわかった。

## 2-5 理科に対する興味・関心を促すための実践例

### (学校外での実験教室等を含む)

本章の2-1及び2-2では、主に学校内での理科授業を中心に、実践をとおして、開発した教材の有効性についての検証結果を述べた。児童・生徒の理科に対する興味・関心を促すためには、学校内だけでなく、日常的な自然現象に対する関心を高め、科学的な考え方を育成する観点から、教室内の理科授業だけではなく学校外での活動にも大きな役割がある。ここでは、学校外での実験教室等における実践活動の例を示し、マイクロスケール実験の導入による個別実験の有効性について述べる。

#### 1) ひらめき☆ときめきサイエンスにおける実験教室(1)<sup>4)</sup>

i) 日時：2015年10月

ii) 実施場所：C大学

iii) 対象者：「ひらめき☆ときめきサイエンス」に参加の中学生  
12名

iv) 実験内容：「水溶液の性質を調べよう」

v) 実践の具体的内容について

図3-26は、中学生1～3年生を対象に実施した「ひらめき☆ときめきサイエンス」(JSPS主催)において「水溶液の性質を調べよう」のテーマで行った実験の様子である。本実践では、マイクロスケール実験の器具としての呈色板の操作性、観察・記録の利便性等の検証に注目して行った。

参加した中学生は、いずれもマイクロスケール実験については未経験であったが、初心者にとっても呈色板は扱いやすい有効な器具であることを確認する機会となった。また、ICTを活用した実験結果の記録、まとめ、発表も試みた。



図 3-29 中学生による呈色板を用いた水溶液の実験で  
タブレットにより結果を記録

図 3-29 は，呈色板を使った実験結果をタブレットのカメラ機能を用いて記録している様子を示す。この後，各自の記録した結果をスクリーンに投影して，ホワイトボードにまとめた文章による記録も併用して発表する場を設けた。

実験後に行ったアンケート調査の項目については表 3-10 に示す。

表 3-10 アンケートの内容（①～②は 5 段階評価，③は自由記述）

- |   |
|---|
| <p>① 今回のような，小さなサイズの実験器具（呈色板：うすいプラスチック板）は使いやすいですか</p> <p>（5 とても使いやすい ・ 4 使いやすい ・ 3 普通<br/>・ 2 使いにくい ・ 1 とても使いにくい）</p> <p>② 一人あるいは 2 人一組の実験で，実験に集中して取り組みましたか</p> <p>（5 とても集中できた ・ 4 集中できた ・ 3 普通<br/>・ 2 集中できなかった ・ 1 ぜんぜん集中できなかった）</p> <p>③ 今回の体験実験の感想を何でも自由に書いてください</p> |
|---|

受講人数が少なく，統計的な把握は困難であるが，実験後のアンケート調査では，有効回答数 10 件のほぼ全件が，操作性，結果のわかりやすさ，実験中の集中度について，呈色板による個別実験を支持する結果となった（5 段階評価で 4.5）。

実験後の感想には，呈色板について「1 人ひとつの実験器具があ

ったので、とても集中できて、よく観察できた。実験時間を短くすることで、たくさんの実験ができて良かったです」、「(呈色板の穴の)丸は小さかったが、水溶液を落とすことはやりやすかったです」「とても実験の仕方や結果がわかりやすかった」、「呈色板を使うと分かりやすく比較できる」のような記述があった。マイクロスケール実験を初めて体験する中学生にとっても、呈色板のような取り扱いの簡単な器具の使用は、操作が容易であるだけでなく、実験に対して積極的に取り組むきっかけを与えていることがわかった。

以上の実践とアンケート結果より、本実践の結果を以下にまとめる。

結果は、セルプレートを用いて同実験を行った場合とほぼ同じであった。しかし、より安価で必要な試薬量が少ない呈色板は、初心者を対象としたマイクロスケール実験の導入という点でも扱いやすく効果的であることがわかった。

## 2) ひらめき☆ときめきサイエンスにおける実験教室(2)<sup>4)</sup>

i) 日時：2016年8月

ii) 実施場所：C大学

iii) 対象者：ひらめき☆ときめきサイエンスの実験教室に参加の中学生18名

iv) 実験内容：呈色板を用いた電気分解実験とICTの活用

v) 実践の具体的内容について

主に中学生を対象にした「ひらめき☆ときめきサイエンス」(JSPS主催)の参加者、18名による実験教室において、呈色板を用いた塩化銅(II)水溶液の電気分解実験を行った。その際、呈色板を用いた電気分解実験の操作性に注目して、中学生でも操作が可能かどうか、また、実験方法の説明、実験結果の記録、実験後のまとめなどに、タブレット等のICTを用いた場合の学習効果について検証した。図3-30は、塩化銅(II)水溶液の電気分解実験を行っている様子である。

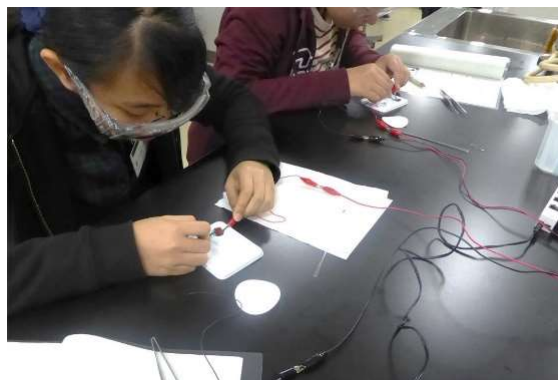


図3-30 中学生による実験の様子

指導の際には実験器具の操作手順の説明を周知しておくことが重要である。そこで、すでに示した図3-23のように教卓で使用しているマイクロスケール実験の小さな器具の配置，手順の演示など，教卓での説明の様子をタブレットで撮影し，さらに電子黒板に表示すると非常に明確に理解が出来る。これはマイクロスケール実験とICTの活用を組み合わせることで，マイクロスケール実験は小さくて演示には向いていないという欠点を補う非常に有効な方法となる。

またすでに取り上げた図3-22は，実験後の発表に向けて，タブレットにより撮影した実験結果を基に発表用原稿を作成しているところである。呈色板を用いたマイクロスケール実験では，実験時間の短縮が促され，実験後のまとめや発表に時間を費やす余裕も生まれ，データ処理能力や表現力の育成にも時間をとることが可能になった。すでに示した表3-10と同様の質問項目とその理由，及び感想を含む自由記述によるアンケート調査（有効件数11）を行った。4項目の質問事項に対して，5段階評価の4.4～4.5であったが，操作性，及びICTを含む実験に対する興味，の2項目に対しては，より評価が高かった。自由記述では「皆のプレゼンの仕方が凝っていて，自分でもやりたいと思った」など，さらなる興味関心を示す内容もみられた。今回のように通常の授業と異なる実験教室にて，マイクロスケール実験の未経験者を対象に実施した場合でも，呈色板の使いやすさが支持されていることがわかった。

以上をまとめると、マイクロスケール実験を用いた個別実験により、中学生を対象とした実験教室においても、呈色板を用いた場合の感想文等から、実験に関わることの充実感や達成感などが得られることがわかった。器具の扱いやすさという点でも、呈色板は電解槽として観察のしやすい器具であり、同時にタブレット等による写真撮影も容易であった。

iPad、書画カメラ、電子黒板などのICTの活用やホワイトボードなどを使用することで視覚的な働きにより、理解を早く深めることができると考えられる<sup>7)</sup>。マイクロスケール実験とICTなどの機器を併用することで教師による実験操作の説明、受講者自身の観察データの記録、実験後の班におけるデータの共有など、得られた様々な情報の中から取捨選択しながら自身の考えを深化させていくという主体的な学習を促すことができると推測する。これまでの実践から、様々な手段をどのように併用し、効果的な学習を進めていくかということも課題の1つであると考えられる。

### 3) 地域における実験教室等での実践

- i) 日時： 2016年8月20日
- ii) 実施場所：サイエンスフェスタ大阪2016,
- iii) 対象者：主に小学生及び中学生
- iv) 実験内容：導通テストキットの作製と「電気の通りみち」など
- v) 実践の具体的内容について

第2章の2-3, 1)のロ)で示した「導通テストキット」を用いて、固体及び液体の材料を対象に電気伝導性を確かめる実験を行った。通常の授業では、小学校3年の「電気のとおりみち」、中学校3年の「イオンと水溶液」の単元での学習内容に相当するが、ここでは主に小学生を対象にした学校外での実験教室であることを考慮して、導通テストキットの作製と、身近な固体物を用いて、実験前の予想と実験後の確認に重点をおいた。



図3-31 「導通テストキット」の作製の様子



図3-32 実験前に結果を予想してワークシートに記入

実験教室での小学生を対象にした実践について述べる。最初に大学生のサポートにより導通テストキットの作製を行った。次に第2章の図2-47に示したワークシートを使って、電気伝導性について、電気を通すものを○，通さないものを×としてそれぞれの予想を記入させた。その後、導通テストキットを使いながら実験結果と予想を比べた。図3-31は、導通テストキットの作製，図3-32は、予想と実験の結果を比較している様子を示している。

実験の際にも参加者の興味・関心は高まり，実験後のアンケートでも，「導通テストキットの作製」を含む実験の全体について，「とても楽しかった」という感想が9割以上を示していたが，次に示す，予想と実験結果との比較においても，同様の傾向が見られた。

実験前の予想に注目して，正答，誤答，及びその理由について調査した。「1円硬貨」を対象にした場合について，表3-11に示す。

表3-11 「1円硬貨」の場合の導通の予想

	正答（通す）		誤答（通さない）	
	理由不明	正しい理由		総数
件数	21	8	19	48
%	44%	17%	39%	100.0%

アンケートの参加者は小学校1～3年生が主で、有効回答は48件であった。正答の割合は約6割であったが、その正しい理由も含めての正答は17%であった。正しい理由としては、「金属だから」、「アルミだから」等があり、誤ったあるいは根拠があいまいな理由としては「光るから」、「折れないから」、「鉄でできているから」などがあつた。

本実践においては、作製した「導通テストキット」の有効性についての検討が主であったため、「電気をとおすもの」に関する児童の持つ概念調査等については今後の継続課題であるが、結果の一部について報告を行った<sup>8)</sup>。

一人ひとつの実験器具として、「導通テストキット」を自分で作製したことにより、実験に対する興味・関心が喚起され、その器具を用いて身近な材料を「電気をとおすもの」と「電気をとおさないもの」に区別するという実験への積極的な取り組みが行われ、児童の興味・関心を高める実験器具として、その有効性が認められた。

## 本章のまとめ

本章では、第2章で取りあげた教材が、本研究の目的とする教材開発の趣旨に沿っているかについて、授業実践、教員研修並びに地域での実験教室における教材の活用をとおして検証した結果をまとめた。マイクロスケール実験による個別実験が、研究の目的とする実験方法の改善に寄与したかどうか、各実践におけるアンケート調査、実施中の状況等をとおして検証した結果を中心にまとめた。その結果、開発した教材のもつ安全性、操作性並びに準備・片付けの負担の軽減、操作の簡略化による時間短縮、さらには時間短縮により可能になった新たな授業展開等を確認することができた。また、本研究の課題である、個別実験により児童・生徒の主体的な学習を支援できることが実践により確認することができた。



## 引用文献

- 1) 佐藤美子, 芝原寛泰(2012):「パックテスト容器を用いたマイクロスケール実験による電池・電気分解の教材開発と授業実践—考える力の育成を図る実験活動を目指して—」理科教育学研究, Vol.53, No.1, pp.61-67
- 2) 芝原寛泰, 佐藤美子(2011):『マイクロスケール実験—環境にやさしい理科実験』オーム社, 全131p  
同英訳版 H. Shibahara and Y. Sato(2016): 『Microscale Experiment-Environment Conscious Science Experiment』オーム社, 全118p
- 3) 佐藤美子, 芝原寛泰(2014):「マイクロスケール実験による実感を高める「気体の発生と性質」の教材実験—個別実験と時間短縮を目指して—」科学教育研究, Vol.38, No.3, pp.168-175
- 4) 佐藤美子, 芝原寛泰(2016):「呈色板を用いたマイクロスケール実験の教材開発と授業実践—理科教育実験への普及を目指した汎用性のある器具の活用—」理科教育学研究, Vol.57, No.2, pp.123-131
- 5) 佐藤美子, 山口幸雄, 芝原寛泰(2017):「呈色板を用いたマイクロスケール実験による電気分解の教材開発と授業実践」科学教育研究 2017, Vol.41 No.2, pp.213-220
- 6) 佐藤美子, 芝原寛泰(2016):「呈色板を用いたマイクロスケール実験の教材開発(IV)—pHによる指示薬の色変化を実感するために—」, 日本理科教育学会近畿支部大会 発表論文集 p.53
- 7) 佐藤美子(2012):「身近なデジタルコンテンツを用いた中学校理科での活用例—考えさせる授業を目指して—」理科の教育 (日本理科教育学会発行) Vol.61, No.725 pp.21-24
- 8) 佐藤美子(2018):「呈色板によるマイクロスケール実験の教材を用いた概念調査—小学校3年理科「電気を通す物」の実践を例に—」日本初等理科教育研究会『研究紀要』93号 pp.28-35

## 終章 本論文のまとめ、及び今後の課題

本章の構成を以下に示す。

- 1 本論文のまとめ
- 2 マイクロスケール実験の学校現場への導入に関わる問題点の検討
- 3 理科教育の課題克服のための教育実践への示唆及び今後の課題

引用文献

付記

本章では、各章で示した研究成果に基づき、本論文のまとめを行う。さらに得られた研究成果より、マイクロスケール実験を導入する上での問題点について、また理科教育の課題を克服するための教育実践への示唆及び今後の課題を述べる。

### 1 本論文のまとめ

本論文の目的をまとめると、

「児童・生徒が科学的な思考力・判断力・表現力を身に付けていくためには、日々の活動の中で観察・実験が不可欠である。個別実験による主体的な活動、及び実感の伴った理解を促す実験方法としてマイクロスケール実験を提案する。

これからの理科教育のあり方として観察・実験の機会をできるだけ増やし、児童・生徒が観察・実験から得られた自身の考えを述べ、相互に伝え合い、理解を深め合う授業展開を追求することが必要と考える。このような授業展開においてこそ、マイクロスケール実験による児童・生徒の主体的な実験活動の学習効果はより顕著となり、さらには考えるきっかけを与えるからである。そこで、マイクロスケール実験による個別実験を基本とした教材開発、及びそれらを活用した授業デザインにより、開発した教材の有効性について授業実践を通して検証し、さらに理科教育の改善に向けて具体的な提案を行う。」

ことである。

ここでは、この研究目的を達成するためにとったプロセスを、各章で得られた知見に沿ってまとめる。

## 序章 問題の所在とこれまでの経過、及び本研究の目的

序章では、「理科教育における課題」を探るため、理科の学習に求められているのは何かという現代的課題、及び教科の目標と内容が三つの柱に再整理されたことと理科教育の在り方に分けて述べた。次に、本論文の重要なキーワードである「個別実験」の位置付けと必要性について、さらに「個別実験」と主体的な学習による考える力の育成との関係、連携の必要性について述べた。また、学習指導要領における、観察・実験の扱いについても触れ、本研究の基礎となる教材開発と実践活動の意義についても述べた。

以上の研究の背景を踏まえて、本論文の研究目的を設定した

## 第1章 マイクロスケール実験について

第1章では、本研究における主要な課題である「教材実験の開発」に用いたマイクロスケール実験について、歴史的な発展の経緯とその特徴をまとめた。特に学校現場におけるマイクロスケール実験の普及状況、あるいは海外での活用例との比較、日本の学習指導要領における取り扱い等を紹介しながら、本研究におけるマイクロスケール実験の位置づけを明確にした。また、従来から行われている通常スケールによる教材実験とマイクロスケール実験との関係について述べ、すべての教材実験をマイクロスケール実験で実施することを目指すのではなく、それぞれの内容に適した実験方法を選択することが重要であることを指摘した。以上の経緯を踏まえ、本研究を進めて行く上での実践的な特徴についても述べた。

## 第2章 マイクロスケール実験による教材開発 —実践的観点からの分類—

第2章では、本研究の目的に沿って以下の三つの実践的観点により、開発した教材実験を分類し、その根拠も示しながら提示した。

- ① 操作・準備の簡略化と時間短縮のための開発・改良
- ② 個別実験の形態と学習効果
- ③ 汎用性のある実験器具の開発と普及（呈色板の活用）

①では、マイクロスケール実験の特徴である個別実験の実現には、実験操作と実験前後の準備・片付けの簡略化が前提となる。さらに安全性を考慮しながら

実験操作の簡略化に伴う実験時間の短縮を図るという観点から、開発した教材実験の具体例と特徴及び開発の経緯等について述べた。

②では、マイクロスケール実験の導入により、器具の小型化に伴う占有スペースの削減が可能となり、「1人ひとつの実験器具」を提供する個別実験が実現したことを踏まえ、実験形態として適切な実験人数と学習意欲の喚起という観点に注目して、開発した実験教材の具体例と特徴について述べた。

③では、マイクロスケール実験の普及を図るため、汎用性のある実験器具の開発に注目した。特に顕著にその効果が表われた呈色板を用いた教材の開発を例に、主に対象とする学校種に分けて述べた。

### 第3章 実践的活動による開発教材の有効性の検証

第3章では、第2章で取り上げた開発した教材について、学校現場や教員研修等での実践的な活用例をまとめた。個別実験の実現や児童・生徒の主体的な活動に注目して、開発した教材実験の教育的効果を検証し、普及に向けての課題を探るために実施した実践時におけるアンケート調査の結果を示した。また、実践的活動として、学校現場以外の地域で開催した実験教室での活用例も紹介した。日常的な生活の中に、本研究で開発した教材が有効に活用できれば、子ども達のサイエンスリテラシーの向上を期待することができる。それは、安全で安価な実験器具の開発を目指すマイクロスケール実験の趣旨に沿うものと判断して、地域における教育的実践活動についても取り上げた。また、マイクロスケール実験を活かした授業デザインの一つとして、ICTやホワイトボードを活用することは児童・生徒の観察・実験に対する興味・関心を高め、個別実験による体験がグループ討論、クラス全体での発表やデータの共有を促し、表現力の向上にも貢献することを確認した。

## 2 マイクロスケール実験の学校現場への導入に関わる問題点の検討

マイクロスケール実験の学校現場への導入及び普及に関連して、以下の問題点を認識することができた。

イ) 基本的な実験操作方法を教えることができない。

- ロ) 導入にあたり、30~40人分の器具を準備することが難しい
- ハ) 児童・生徒により進歩に差ができ、個々の指導が必要となる
- ニ) 少人数授業あるいは、複数の教員の配置 (TT) があれば普及する
- ホ) 教科書の実験との対応が難しい
- ヘ) 高等学校化学の実験では、定量性が求められるが、測定値に不安がある

以上の問題点は、授業実践あるいは教員研修等において、教員から指摘された内容が大半である。

指摘の内容に関して、イ) については、従来の実験方法との併用が大切と考える。実験操作には、物質の性質や安全性、正確さに配慮した適切な方法が求められる。この点、基本的には従来の実験方法との併用が大切と考えるが、一方で安全性が確保されることを前提として、マイクロスケール実験の導入は、操作方法の簡略化、費用負担及び時間短縮の観点からも必要と考える。具体例として、第2章2-3で述べた「pHと指示薬の変化」(高等学校対象)があげられる。この実験においては、ピペットの正しい使い方を習得するため、ガラス製の小型ピペットを使い、ピペットの持ち方等の指導を含めた教材となっている。

ロ) に関しては、マイクロスケール実験の導入時における負担は大きいと思われるが、試薬の使用量の削減、プラスチック器具の多用による安全性の確保と維持費の削減など、導入後のメリットは非常に大きいと考える。この点の周知が、今後の普及活動では課題である。

ハ) 及びニ) に関しては、マイクロスケール実験の経験者と非経験者において、実験操作の円滑さに差が見られるが、初期段階における器具の操作方法等の説明を実施すれば、かなり解決できると判断される。授業時における操作方法の説明等については、今後も実践をとおして検討すべき課題である。

ホ) の指摘は、授業時における説明あるいは中学校入試、高等学校入試等にも関連した内容である。実験操作方法の妥当性は、正確さや安全性等の観点に基づいて判断されるべきであるが、たとえ器具のスケールが小さくなくても、本質的な実験操作の意味や注意点には変らない場合が多い。例えば、マイクロスケール実験による電気分解実験(第2章2-3の3)などでは、電解槽として通

常のビーカー等ではなく、小型のパックテスト容器を用いている。一般の教科書の実験方法とは異なるが、電解槽の中で起っている化学反応は十分に観察でき、また試薬量の大幅な削減から個別実験も可能にしている。マイクロスケール実験の教科書における掲載は、まだごく一部に限られるが、教科書を通して普及への理解を求めることも重要な課題である。

へ) は、特に高等学校化学における実験での指摘である。本論文においては、正確な定量性をもとめるマイクロスケール実験の教材実験は扱っていないが、すでに定量実験に対する改良等は、先行研究において報告されている。中和滴定実験あるいは酸化還元滴定、ヘスの法則の検証実験<sup>1)</sup>、電気分解実験(中学校理科)<sup>2)</sup>などがその例である。本論文では言及していないが、マイクロスケール実験の導入においては、実験の求める正確さ、精度等を考慮して、通常スケール実験による実施あるいは併用も重要と考えている。

### 3 理科教育の課題克服のための教育実践への示唆及び今後の課題

小学校及び中学校の次期学習指導要領が2017年3月に告示され、2020年以降の学校現場における教育の方向性が明らかになった。次期学習指導要領の主な改正点は、序章においても触れたように、全ての教科等の目標及び内容を、「知識・技能」の習得と、活用するための「思考力・判断力・表現力」、さらに「学びに向かう力・人間性」の育成という三つの項目で示したことにある。また観察・実験の重要性も指摘され、児童・生徒の主体的な学びに視点が大きく移っている。特に、観察・実験の実施においては、従来の教科書に記載の実験結果を確認するだけの「確認実験」に終わることなく、児童・生徒の主体的な活動を組み入れた授業展開が求められている。

本研究では、児童・生徒の主体的で深い学びを図るため、マイクロスケール実験を用いた個別実験を含む新しい授業デザインの可能性を提案している。マイクロスケール実験による実験活動は今後、求められる児童・生徒の主体的な学習を支援する重要な改善策の一つとして有効であることが、オリジナルの実験教材の開発と、アンケート調査等の評価を踏まえた授業実践等の研究成果より明らかとなった。

以上述べた本研究の成果が、これからの理科教育の改善にさらに資するためには、次のような課題が挙げられる。

- ① 開発した教材の学校現場における実践的活用をさらに増やし、普及のためのさらなる課題を見つける。
- ② 本研究で主に活用したマイクロスケール実験及び開発した教材実験の学習効果について、さらに検証を行う。特に、観察・実験の機会を増やすことの意義、個別実験とグループ活動の有効な連携の在り方など、今後、学校現場との協同研究の下、調査、検証が必要である。児童・生徒の主体的な学びをサポートする上で、マイクロスケール実験導入の意義や役割についても検討が必要である。
- ③ 授業展開を円滑に進めるためには、指導側の教員の経験が求められる。そのため、教員研修等を通じたマイクロスケール実験の普及活動が重要である。
- ④ 観察・実験を日常的な活動にまで高めるには、より安価で安全、教員側の負担の少ない実験方法、教材の開発が重要となる。そのため、学校現場のニーズを捉えながら有効な教材開発を進めることが必要である。

## 引用文献

- 1) 中神岳司, 芝原寛泰, 田内 浩, 向山昌二(2016): 「マイクロスケール実験による反応熱に関する教材実験の開発と授業実践-高等学校化学におけるエネルギー概念に着目して-」 京都教育大学教育実践研究紀要 第16号, pp. 41-48
- 2) 坂東 舞, 川本公二, 芝原寛泰(2006): 「マイクロスケール実験による水の電気分解実験の定量化」 京都教育大学教育実践研究紀要 第6号, pp. 25-34

## 付記

本論文の序章～第3章の内容は、主に以下の査読付きの原著論文を再構成したものである。また掲載された内容に関連するその他の論文、著書、解説も以下に示す。

### 【査読付き原著論文】

佐藤美子，芝原寛泰 (2012)：「パックテスト容器を用いたマイクロスケール実験による電池，電気分解の教材開発と授業実践—考える力の育成を図る実験活動を目指して—」理科教育学研究，Vol. 53, No. 1, pp. 61-67

佐藤美子，芝原寛泰 (2014)：「マイクロスケール実験による実感を高める「気体の発生と性質」の教材実験—個別実験と時間短縮を目指して—」科学教育研究，Vol. 38, No. 3, pp. 168-175

佐藤美子，芝原寛泰 (2016)：「呈色板を用いたマイクロスケール実験の教材開発と授業実践—理科教育実験への普及を目指した汎用性のある器具の活用—」理科教育学研究，Vol. 57, No. 2, pp. 123-131

佐藤美子，山口幸雄，芝原寛泰 (2017)：「呈色板を用いたマイクロスケール実験による電気分解の教材開発と授業実践」科学教育研究 2017, Vol. 41 No. 2, pp. 213-220

柴辻優駿，佐藤美子，芝原寛泰 (2015)：「マイクロスケール実験による中学校理科における銅の酸化，酸化銅の還元実験の教材開発と授業実践」理科教育学研究，Vol. 56, No. 3 pp. 347-354

佐藤美子 (2018)：「呈色板によるマイクロスケール実験の教材を用いた概念調査—小学校3年理科「電気を通す物」の実践を例に—」日本初等理科教育研究会『研究紀要』93号，pp. 28-35

### 【その他の論文】

佐藤美子，芝原寛泰 (2009)：「環境にやさしい理科教育実験—中学校理科におけるマイクロスケール実験の実践例—」京都教育大学環境教育研究年報，第17号，pp. 15-27



佐藤美子, 芝原寛泰 (2010) : 「考える力の育成を目指す生徒による実験プランニング—マイクロスケール実験による中学校理科の授業展開—」 京都教育大学教育実践研究センター紀要, 第 10 号, pp. 71-80

佐藤美子, 芝原寛泰 (2012) : 「考える力の育成を目指す実験活動—中学校理科における個別実験を含む授業展開—」 京都教育大学教育実践研究紀要, 第 12 号, pp. 79-85

佐藤美子, 芝原寛泰 (2012) : 「中学理科におけるマイクロスケール実験—「イオンの学習」に向けた電気分解, 電池の実験—」 中学理科通信 (教育出版) 第 12 号, pp. 79-85

佐藤美子 (2012) : 「身近なデジタルコンテンツを用いた中学校理科での活用例—考えさせる授, 業を目指して—」 理科の教育 (日本理科教育学会発行) Vol. 61, No. 725 pp. 21-24

佐藤美子 (2015) : 「理科教育法の改善を図るマイクロスケール実験の導入—新たな授業展開と「考える力の育成」を目指して—」 四天王寺大学紀要, 第 59 号, pp. 263-274

佐藤美子 (2016) : 「「考える力の育成」を目指した実践的教育活動」 四天王寺大学実践論集 創刊号 pp. 191-197

佐藤美子 (2016) : 「理科教育におけるマイクロスケール実験の教材開発と実践—混合物の分離実験を中心に—」 四天王寺大学紀要, 第 62 号, pp. 369-381

佐藤美子 (2017) : 「マイクロスケール実験によるヨウ素デンプン反応の教材化—呈色板を用いた「でんぷんしらべ」の実践—」 フォーラム理科教育, 第 18 号, pp. 35-40

#### 【解説等】

佐藤美子 (2014) : 「マイクロスケール実験のすすめ—考える力の育成をめざして—」 季刊 理科の探究 RikaTan, 4回連載 (計 8 頁)  
掲載タイトル : 2014 春号「第 1 回 水溶液の性質」 pp. 45-46, 2014 夏号「第 2 回 電気分解の実験」 pp. 44-45, 2014 秋号「第 3 回 気体の発生と性質」 pp. 36-37, 2014 秋号「第 4 回 だ液のはたらき」 pp. 36-37

佐藤美子, 芝原寛泰 (2015): 「マイクロスケール実験をはじめよう！」少年写真新聞社, 第2回～第5回担当(計10頁)

掲載タイトル: 第2回「水溶液の性質への活用」, 第3回「もののとけ方と再結晶」, 第4回「だ液のはたらき」, 第5回「気体の発生と性質」, 第6回「電池と電気分解のしくみ」

### 【著書等】

芝原寛泰, 佐藤美子 (2011): 『マイクロスケール実験－環境にやさしい理科実験』 オーム社, 全131p,

同英訳版 H. Shibahara and Y. Sato (2016): 『Microscale Experiment-Environment Conscious Science Experiment』 オーム社, 全118 p

芝原寛泰, 佐藤美子, 内山裕行 (編著) (2013): 『すぐに役立つ 研究授業のための学習指導案の作り方－中学校理科編』 オーム社, 全253p

芝原寛泰, 佐藤美子, 竹花裕子 (編著) (2015): 『すぐに役立つ 研究授業のための学習指導案の作り方－新学習指導要領にもとづく 小学校理科編－』 オーム社, 全250p

芝原寛泰, 市田克利, 佐藤美子 (編著) (2015): 『高校化学実験集－授業で役立つ基礎から応用まで－』 電気書院, 全227p

芝原寛泰 (編著), 石井俊行, 沖花彰, 梶原裕二, 佐藤美子, 田中里志, 種村雅子, 森本弘一, 門正博 (著) (2017): 『理科教員の実践的指導のための理科実験集』 電気書院, 全257p

## 付録

開発したマイクロスケール実験による各教材実験の方法等について

..... -1- ~ -35-

## 付録 開発したマイクロスケール実験による各教材実験の方法等について

本論文に関連して開発した教材実験の方法等を資料として示す。本資料に記載した教材実験については、普及のための出版物等も含め末尾の参考文献に記載している。授業や講習会等で活用する際には、指導者が授業の目標、授業時間、児童・生徒の状況に応じた進め方を考慮して、基本となる実験方法をもとに、実情に即した実験手順の工夫を行い、ワークシート等をアレンジし、受講者に合わせて使用する必要がある。

以下の実験プリント・ワークシート等は順不同で並べている。

### 実験 1. 物の溶け方・シュリーレン現象の観察

2. 水溶液の性質・水溶液の仲間分けをしよう
  - 2-1) セルプレート容器使用
  - 2-2) 呈色板使用
3. いろいろなデンプンしらべ
4. だ液のはたらき
5. 混合物の分離実験（ペーパークロマトグラフィー）
6. 電気の通り道（導通テストキットの作製方法を含む）
7. アンモニアの発生と性質（アンモニアの噴水実験）
8. 酸素の発生と性質
9. 二酸化炭素の発生と性質
10. 塩化銅(II)水溶液の電気分解
  - 10-1) パックテスト容器使用
  - 10-2) 呈色板使用
11. だ液のはたらき（ベネジクト反応）
12. 電流が流れる溶液と流れない溶液
  - －「導通テストキット」を使ってたしかめよう－
13. 酸化銅のプラスチックによる還元
14. 指示薬と pH-指示薬による指標作成－（呈色板使用）
15. 昇華の様子を観察しよう！
16. 色々な電解質溶液の電気分解
  - 16-1) 呈色板を用いた食塩水の電気分解
  - 16-2) 呈色板を用いた硝酸銀水溶液の電気分解

### 参考文献

芝原寛泰，佐藤美子(2011)：

『マイクロスケール実験－環境にやさしい理科実験』 オーム社，全 131p

## 実験1. 物が水に溶ける様子を調べよう！ 小・中学校

実施 年 月 日 ( ) 名前

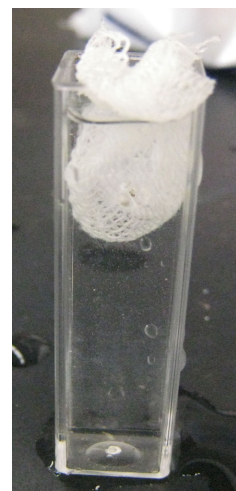
水のように透明な溶媒に何かが混ざって溶けていくとき、それぞれの屈折率が異なるため、光線の進行方向が変化して模様のような状態が見えます。このような現象をシュリーレン現象といいます。

砂糖の結晶が水に溶ける瞬間の様子を肉眼で観察し、現象について考えてみましょう。

- 準備物**  ブラウンシュガーあるいは塩化ナトリウム（食塩）  
 分光用プラスチックセル  セル用台

### 実験の手順

- (1) ブラウンシュガー（あるいは食塩）の結晶の1片（少量）をガーゼにつつまむ。（小さい場合は2個）
- (2) 分光用プラスチックセルに、容器の8割ほど水を入れる。
- (3) 分光用プラスチックセルをセル用の台に立てる。
- (4) 結晶をいれたガーゼを分光用プラスチックセルにいれ下に落ちないように、ガーゼの縁を拡げる。
- (5) 結晶が溶ける様子を、詳細に観察する。照明の仕方により観察結果が変わるので、観察方法を工夫すること。



### 観察の結果

1. 観察の結果をスケッチしましょう。

#### 【気づいたこと】

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. 溶けていく様子から、なぜそのように見えるのか考えてみよう。

.....

.....

## [解説]

**シュリーレン現象**とは、一般に透明な溶媒の中で、場所によって屈折率が少しでも異なると、光線の進行方向が変化し、しま模様や、モヤの様な状態に見える現象をいいます。わずかな屈折率の変化による現象を肉眼で観察する方法をシュリーレン法とよびます。

実験では、砂糖あるいは食塩の結晶が水にとけると、溶媒の水と屈折率が少し異なるため、細い滝のように下に落ちていくのが観察できます。溶質の結晶が溶媒の水に溶ける瞬間の様子を肉眼で見ることができる実験です。

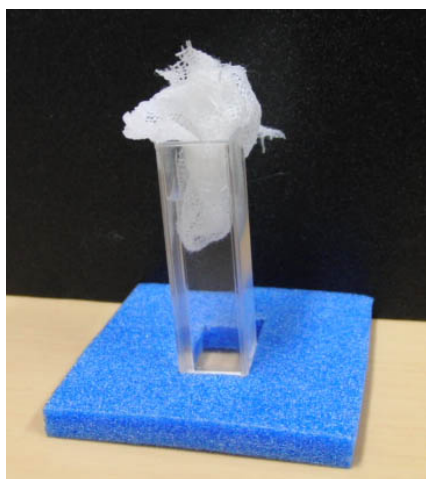
小学校 5 年生の単元「物の溶け方」では、粒子の保存性－質量保存の概念の学習が最も大切です。ものが溶けると「なくなる」という誤概念を修正するためにも、このシュリーレン現象の観察は重要となります。小学校 5 年生では、物が水に溶けても、全体の重さは変わらないことを学習します。物質が水に溶ける様子の実験・観察をとおして、粒子のモデルを使い、水溶液中では溶質が均一に分散していることを理解させることがねらいとなります。

「とける」という言葉で済ませるのではなく、密度が砂糖のほうが大きいので、滝のように下におちていき、拡散によりどこも均一になる現象を観察することが大切です。

観察時に、黒い紙を背景にすると見やすくなります。あるいは背景を縞模様にするともアレパターンがみられ、溶けるときの様子をよりわかりやすく観察できます。

溶質に用いる試料は、ガーゼの網よりも大きい粒状が最適です。ブラウンシュガーのように色がついていると観察がしやすくなります。食塩は、岩塩の大きな塊から、劈開により 1～3mm 大きさの結晶を簡単に準備することができます。岩塩は自然食品の店頭にあります。

マイクロスケール実験では、ひとり 1 つの器具で、いろいろな角度から観察できることとなります。分光セルを固定する台も工夫が可能です。



穴をあけたスポンジで固定

## 実験 2-1 水溶液の仲間分け (セルプレート使用) 小・中学校

実施 ..... 年 月 日 ( ) ..... 名前 .....

水溶液は、その性質から **酸性、中性、アルカリ性** になかまわげができます。

水溶液をなかまわけするためには、**指示薬 (しじやく)** が必要です。

酸性、中性、アルカリ性のわかっている水溶液 (これを緩衝液〈かんしょうえき〉といいます) を使い、指示薬の色の変化を確かめながら、自分たちで色の変化の表 (ひょう) をつくります。

この表を使い、いろいろな水溶液を、

**強い酸、弱い酸、中性、弱いアルカリ性、強いアルカリ性**  
にわけることができます。

使う試薬は塩酸、塩化ナトリウム水溶液 (食塩水)、水酸化ナトリウム水溶液です。

また身近にある水溶液 (セッケン水、トイレ洗浄剤、レモン水、灰汁など) のなかまわげをします。

指示薬として、BTB (ビーティービー) 溶液、ムラサキキャベツ液を用います。

さらに自分たちで用意した「**マイ指示薬**」を使うこともできます。

セルプレートを用いて試薬の入る場所を考えながら、色の変化と指標を比べて、水溶液のなかまわげをします。

### 準備

指示薬として使う**ムラサキキャベツ**のしぼり汁をつくります。

つくったしぼり汁は投薬ビンにいれる。

指標をつくるのに次の5つの水溶液 (かんしょう液) を用います。

強い酸性	pH1
弱い酸性	pH4
中性	pH7
弱いアルカリ性	pH9
強いアルカリ性	pH10

## 実験

### 指示薬の色の変化を調べ、表をつくる

- (1) 24セルプレートのA1～D1、A2～D2、A3～D3に、  
かんしょう液 pH1, pH4, pH7, pH9, pH10 を3～4滴いれる。
- (2) A1～A5にBTB溶液を1滴いれる。  
B1～B5にムラサキキャベツ液を色の変化がわかるまで加える(だいたい2から4滴)。  
C1～C5 と D1～D5にはマイ指示薬をいれる。
- (3) 強い酸から、弱い酸、中性、弱いアルカリ性、強いアルカリ性までの指示薬の色の変化を観察する。

### 指示薬の表を使い、身近な水溶液を調べる

- (4) 24セルプレートを用意する。
- (5) A1、B1、C1に塩酸を2～3滴いれる。
- (6) A2、B2、C2に水酸化ナトリウム水溶液を2～3滴いれる。
- (7) A3、B3、C3に食塩水を2～3滴いれる。
- (7) A1、A2、A3にBTB溶液を1滴いれる。  
B1、B2、B3にフェノールフタレイン溶液を1滴いれる。  
C1、C2、C3にムラサキキャベツ液を色の変化がはっきりするまで加える。
- (8) 各セルの色の変化を観察し、おおよその酸性・アルカリ性の強さを考える。

### 身近な水溶液の液性を調べる

- (9) セルプレートの中であいているセルを使い、身近な水溶液の液性を調べる。  
使う指示薬の種類と入れるセルの場所を考えながら実験を行う。

ワークシート(次ページ)に実験結果を記入する。

実験中は必ず安全めがねをかけよう！！



## 実験 2-1 水溶液の仲間分けをしよう! (セルプレート使用)

ワークシート 実施 年 月 日 ( ) 名前

### 1. 指示薬の色変化の表をつくる

	pH 1	pH 4	pH 7	pH 9	pH 10	pH 12
BTB	1	2	3	4	5	6
ムラサキ キャベツ	B					
マイ指示薬	C					
マイ指示薬	D					

### 2. いろいろな水溶液 / 身近な水溶液を調べる

	塩酸	食塩水	水酸化 ナトリウム水溶液	(身近な水溶液)		
適当な指示薬	1	2	3	4	5	6
	A					
	B					
	C					
	D					

## 実験 2-2 水溶液の仲間分けをしよう！ 中学校・教員研修用

(呈色板 4 枚使用) 実施 年 月 日 ( ) 名前

水溶液は、その性質から **酸性、中性、アルカリ性** に仲間分けができます。水溶液を仲間分けするために指示薬を用いて、その色の変化を確かめながら、いろいろな水溶液の性質を調べてみましょう。

指示薬として、小学校では、リトマス紙、BTB溶液、紫キャベツのしぼり汁液  
中学校では、さらにフェノールフタレイン溶液を用います。

指示薬の色の変化

指示薬	酸性	中性	アルカリ性
①ムラサキキャベツのしぼり汁			
②BTB溶液			
③リトマス紙			
④フェノールフタレイン溶液			

水溶液には、うすい塩酸、食塩水、うすい水酸化ナトリウム水溶液、また身近にある水溶液として、石けん水、トイレ洗浄剤、カビとり剤、食酢、などを使用します。

- 1. 予想** 水溶液の性質をグループで予想しよう！  
強酸・弱酸・中性・アルカリ性・強アルカリ性に分類！
- 2. 実験** 呈色板を用いて、調べる水溶液に指示薬を加え、指示薬の色の変化から、水溶液の性質を判断し、酸性・中性・アルカリ性に仲間分けしよう。

### 準備物

指示薬はBTB溶液、紫キャベツ液、  
フェノールフタレイン溶液 の3種類を使用  
ムラサキキャベツは、搾り汁をビーカーに入れ、用意する。

**安全メガネを  
必ず  
着けましょう!!**

### 実験方法

呈色板 4 枚を使用し、種類の指示薬で液性を調べる。

- ① 呈色板を台紙の上に並べ、呈色板にそれぞれ入れる水溶液・指示薬を確認する。
- ② 呈色板の縦の列それぞれに水溶液を 4 滴ずつ入れる。
- ③ 指示薬を横の列それぞれに 1~2 滴加える。(入れる量は統一する)
- ④ 横 4 列目には指示薬になりそうなものを見つけて入れてみよう。

- 3. 結果** 指示薬による色の変化を色見本と比較し、液性を判定する。  
ワークシートに実験結果(色の変化)を記入する。

- 1) 結果の写真撮影
- 2) 結果の判定
- 3) 記入シートの写真撮影

別紙あり  
呈色板 4 枚使用実験台紙  
B4 に拡大して使用

- 4. 考察** グループで結果について、気づいたこと、わかったことを話し合う。
- 5. 発表** 結果と考察を発表しよう！  
ホワイトボード・書画カメラ・iPadなどを使用

**実験 2-2**

**水溶液の仲間分けをしよう！**

実験日

年 月 日

1

2

3

4

5

- 8

名前

塩酸

食塩水

水酸化  
ナトリウム  
水溶液

石灰水

石けん水

6

7

8

9

10

呈色板 I

酢

灰汁

リンゴ  
ジュース

トイレ  
洗浄剤

カビとり  
剤

指示薬

BTB 溶液

呈色板 I

呈色板 II

フェノール  
フタレイン溶液

呈色板 III

呈色板 IV

ムラサキ  
キャベツ液  
のしぼり汁

液性

酸・中・アル  
(略して記す)

### 実験3 デンプン調べの実験・観察 小学校・中学校

実施 年 月 日 ( ) 名前

私たちは毎日いろいろな食品を摂取しています。どのような食品にでんぷんが含まれているのかヨウ素液を用いて調べてみよう。さらにデンプンを顕微鏡で観察してみよう。

#### 準備物

実験1：使用する食品（ごはん パン うどん ジャガイモ バナナ 枝豆  
キュウリ 餅 クッキー、コーンスターチ、片栗粉、イカ、バナナ、リンゴ、  
キャラメルコーン、ちくわ、わらび餅粉、レンコン、）

実験2：顕微鏡・スライドガラス

#### 実験方法

実験1．呈色板にいろいろな食品を並べてヨウ素デンプン反応を調べ、比較観察しよう。

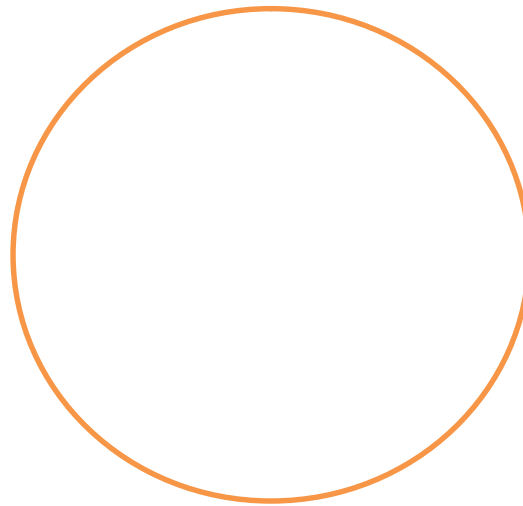
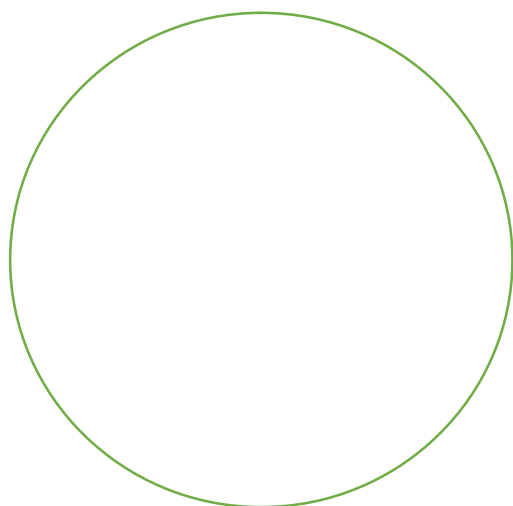
色々な食品・ヨウ素液・呈色板を用いて実施

実験2．食品の一部を取り、顕微鏡でデンプンの粒子を観察し、スケッチしよう。

#### スケッチ

倍率

倍率



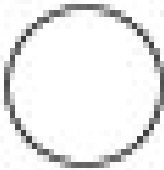
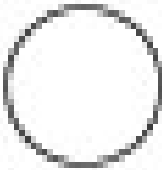
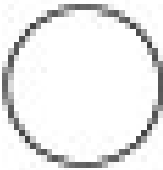
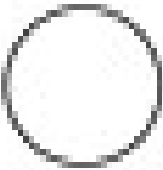
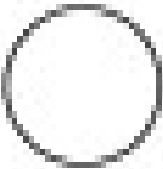
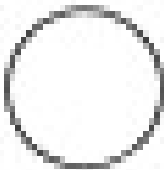
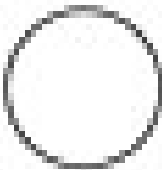
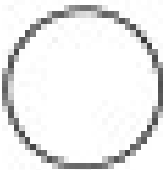
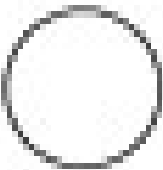
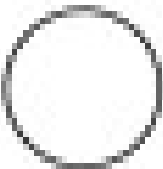
気づいたこと

実験3 いろいろなデンプン調べ

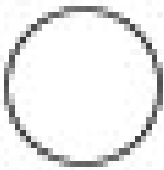
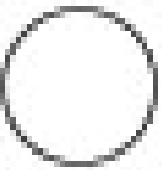
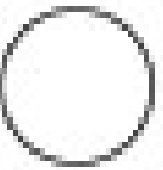
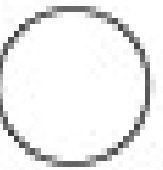
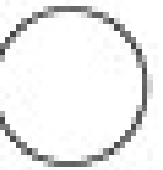
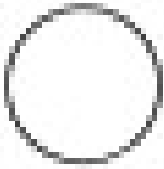
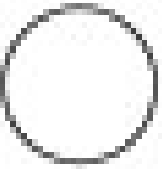
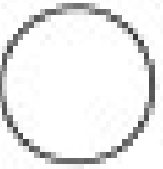
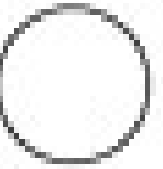
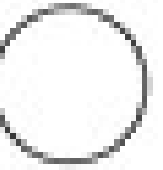
小学校・中学校

ワークシート 実施 年 月 日 ( ) 名前

食費の名前を記入

	1	2	3	4	5
調べたい物					
ヨウ素液 による変化					
	6	7	8	9	10

食費の名前を記入

	1	2	3	4	5
調べたい物					
ヨウ素液 による変化					
	6	7	8	9	10

実験教室

# ようそえきでデンプンしらべ

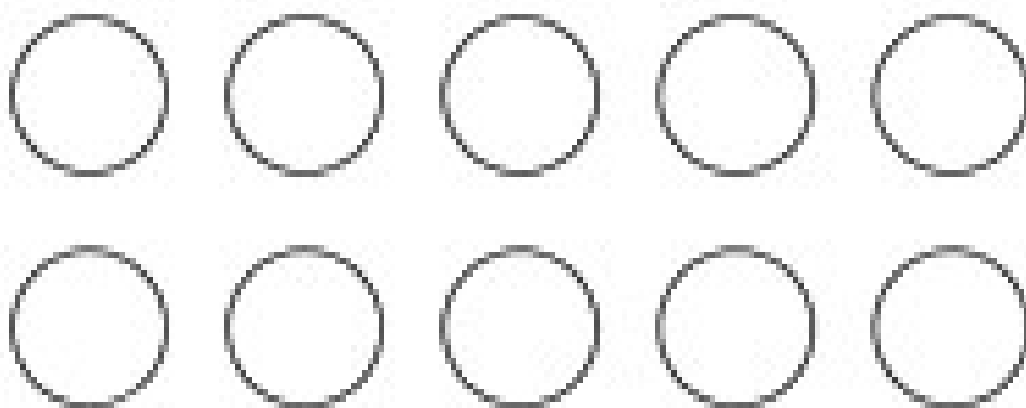
幼児用

なまえ

ていしょく板1

1 2 3 4 5

ようそえき

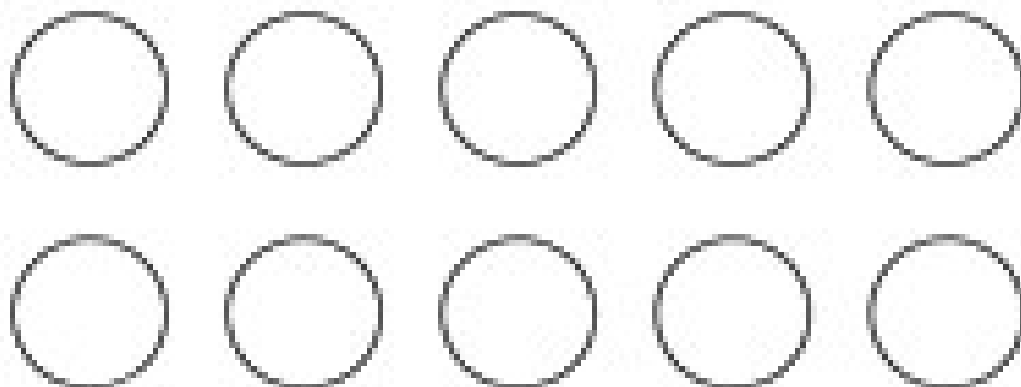


6 7 8 9 10

ていしょく板2

1 2 3 4 5

ようそえき



6 7 8 9 10

## 実験 4 だ液のはたらきを調べよう(1) 小学校用

実施 年 月 日 ( ) 名前

ヒトや動物は、食べ物をとって養分や水分を体内に取り入れている。食べ物が体内でどのように変化するか、また消化液である「だ液」により食べ物がどのように変化するかを実験で確かめたい。自分のだ液を使い、デンプンが変化の様子を個別実験で調べよう。

### 準備物

- 呈色板 (6 穴)       綿棒 (片方に赤い印) 1 本       プラスチックカップ
- ポリスポイト (PP2N)       アルミ箔 2 枚       温度計 1 本
- ストップウォッチ       200mL ビーカー 1 個       セラミックヒーター
- デンプンのり水溶液       ヨウ素液       水と約 40～50℃の湯

### 実験の手順

- (1) ビーカーに約 2/3 ほど水をいれる。
- (2) かく 拌棒を使って、呈色板の A1 と B1 の穴に **デンプンのり** を少し加え、さらにポリスポイトでビーカーの水を加え **デンプンのり水溶液** をつくる。また、B2 には水を入れておく。(図 1)。
- (3) 赤い印をつけた綿棒 (図 2) を中央で 2 つに折り曲げる。
- (4) 綿棒の先 (赤い印のない方) を、約 1 分間、口にくわえて だ液 を含ませる。赤い方には水を含ませる。次に、両先を A1, B1 の **デンプンのり水溶液** につけて **アルミ箔** でしっかりと包む (図 3)。セラミックヒーターで加熱し、約 40～50℃の湯をプラスチックカップに 3/4 程いれる。このとき温度計により 水温を確認すること。次に④の綿棒の両端を折り曲げた状態でプラスチックカップにいれる (図 4)。
- (5) 約 3～5 分間つけます。この間に **点眼ビン** を使って、A3 と B3 に **ヨウ素液** を半分ほど加える。
- (6) 綿棒の **アルミ箔** を外し、綿棒の両先を **ヨウ素液** が入った A3 と B3 に 1～2 秒間 つける。**綿棒** の両先の変化を観察する (図 5)。

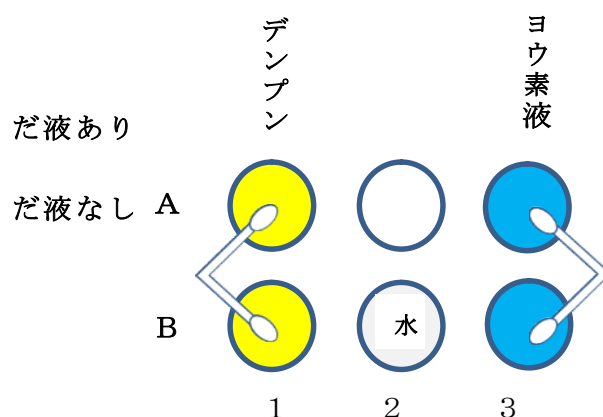


図 1 呈色板の穴に入れる

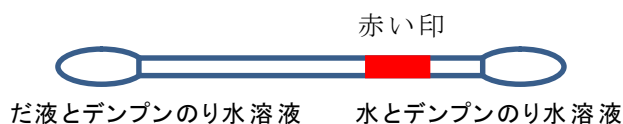


図 2 綿棒の使い方



図 3 綿棒の両端をアルミ箔で包む



図 4 綿棒を湯につける

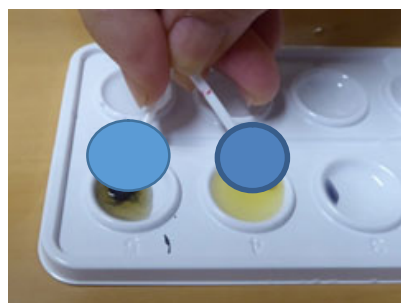


図 5 呈色板の穴に入れたヨウ素液につける

実験4 だ液のはたらきを調べよう(1)

小学校

ワークシート 実施 年 月 日 ( ) 名前

## だ液のはたらき (ワークシート)

番号 \_\_\_\_\_ 名前 \_\_\_\_\_  
月 日 ( )

1. 実験結果から、綿棒の先の色はどのように変化しましたか。

	デンプンのり+水	デンプンのり+だ液
ヨウ素液		

2. 綿棒の先に「デンプンのり+水」を含ませた実験を同時に  
行ったのはなぜですか？

3. 湯の温度を約 40℃にしたのはなぜですか。

4. 実験結果から、だ液のはたらきについてわかったことを書きなさい。

本日の授業の感想を書いてください



実験5 混合物の分離実験 ペーパークロマトグラフィー 小・中・高

実施 年 月 日 ( ) 名前

ペーパークロマトグラフィーは水溶液などに含まれる混合物を、展開液とクロマトグラフィー用ろ紙との親和性の差を利用して、各成分に分離する方法である。身近な水性ペンの不思議さに気づき、身の回りの物質について考えてみましょう。

準備物

- シャーレ  円形ろ紙 (直径 5 cm)  六角ナット  はさみ  鉛筆
- ポリスポイト (PP2N)  ストップウォッチ  水性サインペン 6色各 1本ずつ
- 80 %エタノール

予想 水性インクがどのように展開するか考えてみよう。

実験の手順

- ① 円形ろ紙の中央に六角ナットをおき、六角ナットの周囲を鉛筆で型をとる (図1左)。
- ② 六角形の対角線を3本ひき (図8右)、線に沿って、はさみで切れ目をいれる (図1右)。
- ③ 切った部分を折り曲げて、三角形の頂点 (6ヶ所) で立つようにする。
- ④ エタノールを小さいポリプロピレン容器にいれ、シャーレの中央に置く (図2)。
- ⑤ 折り曲げた円形ろ紙の中心部に、水性インク (6色) をスポット状 (直径 1mm 程度) につけ (図3)、すばやくシャーレにうつす (図4)。
- ⑥ フタをして、水性インクの展開の様子を観察する。

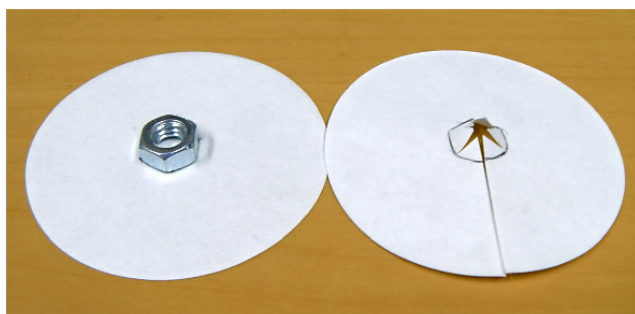


図1 ペーパークロマトグラフィーに用いる円形ろ紙と穴のあけ方

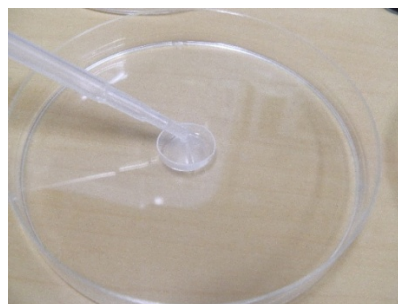


図2 小さい容器にエタノールを入れる

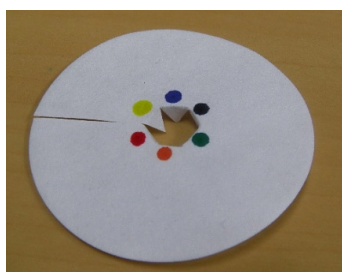


図3 水性インクをつける

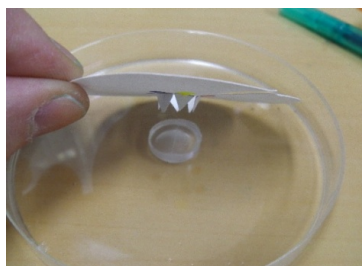


図4 ろ紙を展開液につける

観察の結果 水性インクの展開の仕方から気づいたことをまとめてみよう。

## 実験6 電気の通り道―「ひかる君」を使ってたしかめよう―

実施 年 月 日 名前

身近なものには、電気をとおすものと、とおさないものがある。  
とおすものととおさないものを予想し、「ひかる君」(導通テストキット)のLEDのひかり方により、たしかめる。また、金属については、磁石にくっつく、くっつかない もたしかめる。

単元 電気のとおりみち

### 準備物

- 6種類のもの：
  - 1円玉、(銀紙)銀色の折り紙、(金紙)金色の折り紙、アラザン、ゴム、木
- スチール缶 と アルミ缶 の板を各1枚  サウンドペーパー
- 「ひかる君」(導通テストキット)  消しゴム台
- うずまきの形のはりがね (アルミ線あるいは銅線)

### 実験の手順

#### 実験I (図1)

##### 1. 実験の前に予想する。

セルプレートに並べた6種類について、「電気をとおすもの」には○、「電気をとおさないもの」には×を、ワークシートにかく。

6種類のもの：1円玉、(銀紙)銀色の折り紙、(金紙)金色の折り紙、アラザン、ゴム、木

##### 2. 「ひかる君」を使って、6種類のものについてたしかめる。「電気をとおすもの」には○、「電気をとおさないもの」には×を、ワークシートにかく。

#### 「ひかる君」の使い方

- ・ミノムシクリップの先と細いはりがねの先 を接触させ、LEDがひかることをたしかめる。
- ・ミノムシクリップの先を、しらべるものにあてる。
- ・もう一方の、細いはりがねの先も、しらべたいものにあてる。
- ・このとき、先どうしがさわらないように注意する。

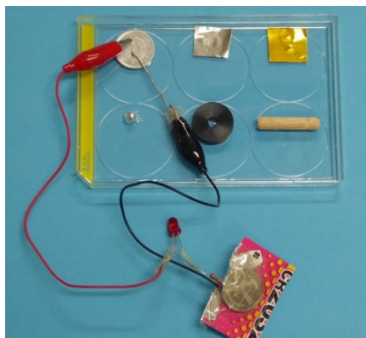


図1

## 実験 II (図2と図3)

1. スチール缶 と アルミ缶 の板を2枚、ならべる。
2. ひかる君 の先を板の上にあて、LED がひかるかどうか、たしかめる。
3. 同じように、じしゃく を近づける。
4. スチール缶 と アルミ缶 の板の一部を、サウンドペーパーでみかく。
5. みがいた部分に ひかる君の先をあて、LED がひかるかどうか、たしかめる。
6. 同じように、じしゃく を近づける。
7. 結果をワークシートにかく

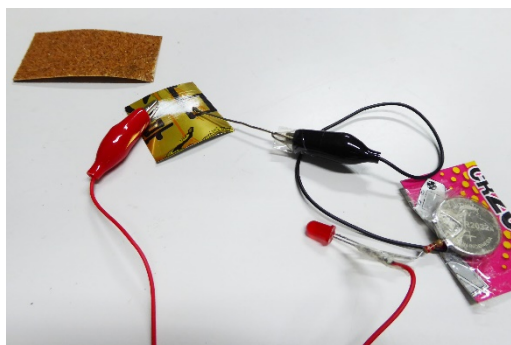


図2



図3

## 実験 III (図4)

1. うずまきの形をしたはりがねを消しゴムの台にたてる。
2. はりがねの下の部分を、ミノムシクリップではさむ。この時、消しゴムの台が倒れないように注意する。
3. ひかる君 のはりがねの先を、うずまきのはりがね にあて、LED がひかることをたしかめる。
4. ひかる君のはりがねの先を、うずまきにさわらないようにして中心まで移動する。
5. このとき、うずまきにさわると、LED がひかるので、ひからないように注意して移動する。

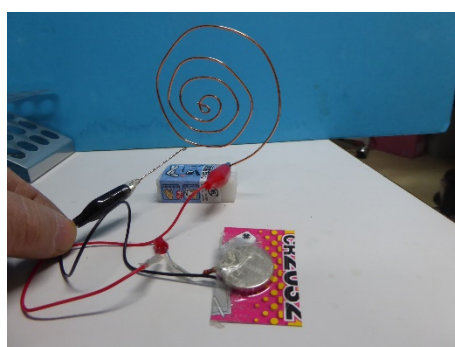


図4

## 実験6 電気が通るか、よそうしてたしかめよう

小学校用

ワークシート 実施 年 月 日 ( ) 名前

- 手順
1. 予想を立てて、実験をしよう。
  2. 結果を記入して予想と比べてみよう。

- 準備物
- 導通テストキット
  - しらべるプレート
  - はさみ
  - 空き缶
  - 紙やすり

\*空いているところには、調べてみたいものを書いて調べましょう。

\*一人ひとり行う 電気がとおる○ とおらない×

しらべるもの	よそう (○か X)	けっか (○か X)
1 えんだま 1 円 玉		
ぎんがみ 銀 紙		
きんがみ 金 紙		
プラスチック		
アラザン		
ゴム		
き 木		
てつ 鉄くぎ		
シャーペンのしん		

\*グループで行う よそう (○X) けっか (○X)

はさみ (先)		
はさみ(もつところ)		
空きかん (色がぬってある部分)		
空きかん (色をはがした部分)		

**実験6 電気が通るもの、通らないものを見つけよう (大学生、教員研修用)**

実施 年 月 日 ( ) 名前

予想を立て、実験後、結果と予想を比較して気づいたことをディスカッションしよう。

準備物 一人1つ  導通テストキット  しらべるプレート

各テーブルで共通  はさみ  空き缶  紙やすり

\*表の空欄のところは、持っているものなど、記入して調べましょう。

**\* 予想 1 :**                      **電気が通る○**                      **通らない×**

調べる物	予想 (○かX)	結果 (○かX)
1円玉		
銀紙		
金紙		
プラスチック		
アラザン		
ゴム		
木		
鉄くぎ		

**\* 予想 2**                      **予想 (○×)**                      **結果 (○×)**

はさみ (先)		
はさみ (もつところ)		
空きかん (色がぬってある部分)		
空きかん (色をはがした部分)		

## 導通テストキットー「ひかるくん」の作り方

電気の導通をしらべる導通テストキット「ひかるくん」の作り方をしめしています。ボタン電池と LED を使った簡単なキットで、だれでも作ることができます。

### 準備物

- ボタン電池 (3V CR2032 あるいは CR2035)    LED 3V 用    抵抗素子 (200Ω)
- ミノムシ付きリード線 赤と黒    セロテープ    はんだこて と はんだ
- 耐熱板    ゼムクリップ

### 実験の手順

1. LED の足 (電極) の短い方 (マイナス) に、200 オームの抵抗をはんだ付けする。  
(抵抗の方向は問わない) (図 1)
2. ボタン電池のケースを半分に切る。
3. ボタン電池を、ケースから取り出す。このときケースは完成後に使用するので保管しておく。
4. LED の足 (電極) の長い方 (プラス) の先を少し折り曲げ、ボタン電池のプラス側にセロテープではりつける (図 2)。
5. 赤と黒のミノムシクリップ付きリード線を半分に切り、表面のビニールを 1 cm ほどはぎとる (図 3)。
6. 赤のリード線の裸線側と、1. でつけた抵抗をはんだ付けする。
7. 黒のリード線の裸線側を、ボタン電池のマイナス側にセロテープではりつける (図 4)。
8. 赤あるいは黒のミノムシクリップの先に、ゼムクリップを固定する (図 5)。  
(この時、ゼムクリップの先をのばしておく、導通テストにつかやすい)

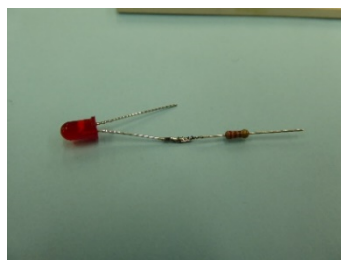


図 1

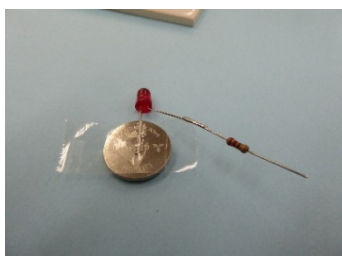


図 2



図 3



図 4

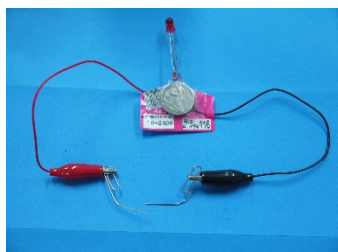


図 5



図 6

(図 6 は、「ほたるくん」の完成キットで、「ひかるくん」の改良版を示す)

**実験 7. 気体の性質 アンモニアの噴水実験**

中学校用

実施 年 月 日 ( ) 名前

アンモニアの発生方法、捕集方法を習得する。またアンモニアの性質を知るために、「アンモニアの噴水実験」をマイクロスケール実験で行う。

**準備物**

- |                                   |                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> ビーカー     | <input type="checkbox"/> 試験管    |
| <input type="checkbox"/> ゴム栓      | <input type="checkbox"/> 注射器    |
| <input type="checkbox"/> シリコンチューブ | <input type="checkbox"/> 丸底フラスコ |
| ■ 濃アンモニア                          | ■ BTB 溶液                        |
| ■ フェノールフタレイン                      | ■ ムラサキキャベツ汁                     |

**実験の手順****A. アンモニアの捕集 (図 左)**

- 1) 100 mL のビーカーに水をいれ、フェノールフタレインを 4~5 滴いれる。
- 2) ビーカーの水を、注射器を使って約 30 mL 吸い上げる。
- 3) 注射器をゴム栓 (青色) に差し込んだ 注射針に差し込む。
- 4) 試験管に濃アンモニア水を約 2 mL 入れる。
- 5) 管付きのゴム栓 (黄色) を、アンモニア水を入れた試験管に差し込む。
- 6) セラミックヒーターで 200 mL ビーカーに 80-90℃ の熱湯を準備する。
- 7) 試験管を垂直にして、差し込んである管の先を、50 mL 丸底フラスコに差し込む。
- 8) アンモニア水の入った試験管を熱湯にいれ、アンモニアを沸騰させる。
- 9) 突沸に注意して、時々試験管を熱湯の外に出す。
- 10) 約 3 分間で、丸底フラスコ内にはアンモニア気体が充満する。  
このとき、少しアンモニア臭がある。

**B. アンモニアの噴水 (図 右)**

- 1) アンモニア水の入った試験管をはずし、試験管立てに立てておく。
- 2) すばやく、丸底フラスコの口を下に向けたまま、注射器のついたゴム栓 (青色) をしっかりと差し込む。
- 3) 器具を垂直にたもったまま、注射器の手元部分を机につけて、少しだけ押し、中の水をだす。フラスコ内と注射器の様子をよく観察する。

**注意** アンモニアの刺激臭は有毒だから、吸いすぎない事

## 実験 8.

## 酸素の発生と性質

中学校用

実施 ..... 年 月 日 ( ) ..... 名前 .....

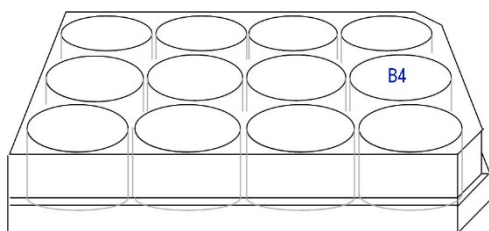
最も身近な気体として酸素をとりあげます。実験室における酸素の発生方法としてはいくつかの方法があります。本実験では、酸化マンガン(IV)を触媒として過酸化水素水を分解し、酸素を発生させます。発生した気体水上置換法で採取します。気体の発生、採取、化学的性質の確認の一連の操作を簡単な実験器具を用いて行います。

## 準備物

- |                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> セルプレート    | <input type="checkbox"/> ガラス製ミニ試験     |
| <input type="checkbox"/> プッシュバイアル瓶 | <input type="checkbox"/> 注射器 (青色シリンジ) |
| <input type="checkbox"/> ガラスカップ    | <input type="checkbox"/> プラスチックカップ    |
| <input type="checkbox"/> ストロー      | <input type="checkbox"/> 線香, マッチ      |
- 6%過酸化水素水 (注: 30%過酸化水素水と水を体積比 1:4 で調整)
- 粒状酸化マンガン (IV)

## 実験の手順

- ① 6%過酸化水素水を約 10m L、調製します。
- ② ミニ試験管に水を入れ、ミニ試験管に空気が入らないように、ミニ試験管の口を指でふさぎながら、水を入れたプラスチックカップに沈め、ストローの先端を入れます。
- ③ 加工したポリスポイトに半分程、過酸化水素水を入れます。
- ④ プッシュバイアル瓶に 2~3 粒の酸化マンガン (IV) をいれます。
  - ① セルプレートの B4 にプッシュバイアル瓶を立て、図のように器具を組み立てます。
- ⑥ 過酸化水素水を少しずつ滴下します。
- ⑦ ミニ試験管 3 本に酸素を集める。





## 実験 9. 二酸化炭素の発生と性質

中学校用

実施 年 月 日 ( ) 名前

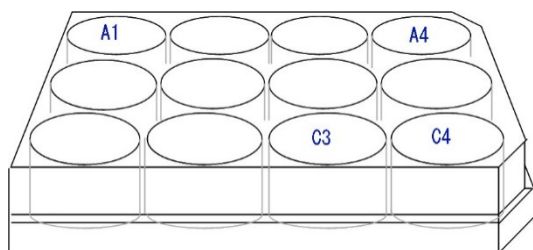
身近な気体の例として二酸化炭素をとりあげます。実験室における二酸化炭素の発生方法として教科書でもよくとりあげられる方法で、炭酸カルシウムに希塩酸を加え、分解反応により二酸化炭素を発生させます。発生した気体は下方置換法で採取します。プッシュバイアル瓶を使い、気体の発生から確認までを短時間で行います。

### 準備物

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> セルプレート                        | <input type="checkbox"/> プッシュバイアル瓶          |
| <input type="checkbox"/> ガラス製ミニ試験                      | <input type="checkbox"/> 注射器 (シリンジ)         |
| <input type="checkbox"/> 線香, マッチ, クリップ                 | <input type="checkbox"/> ゴム管 (径 7mm)        |
| <input type="checkbox"/> マイクロピペット用チップ                  | <input checked="" type="checkbox"/> 大理石のかけら |
| <input checked="" type="checkbox"/> 3mol/L 塩酸          | <input checked="" type="checkbox"/> BTB 溶液  |
| <input checked="" type="checkbox"/> 石灰水 (水酸化カルシウムを溶かす) |   |

### 実験の手順

- ①プッシュバイアル瓶に大理石のかけらを 2~3 粒入れ、セルプレートの A1 の位置にたてかけます。注射器には 3mol/L 塩酸を半分ほど入れます。
- ②セルプレートの C3 の位置には水、A4 には BTB 溶液、A4 には石灰水を、セルの 1/3 の深さまで入れます。またセルの隙間にはミニ試験管を立てます。
- ③BTB 溶液の入ったセルの壁にクリップを使い、ゴム管の先のチップを固定します。
- ④塩酸を入れ過ぎないように少しずつ滴下します。容器の中で大理石の反応がなくなったら、さらに塩酸を滴下します。
- ⑤BTB 溶液の色の変化を観察します。その後、チューブをはずし、水を使ってチューブの先を洗浄します。次に D のセルにチューブの先端をクリップで固定し、石灰水の色の変化を観察します。
- ⑥下方置換法により二酸化炭素を集めたミニ試験管に、火のついた線香を入れ、線香の燃え方を観察します。



## 実験 10. 塩化銅(II)水溶液の電気分解(パックテスト容器使用) 中学校用

実施 年 月 日 ( )

名前

電気分解とは電解質溶液に外部から電気エネルギーを与え、両電極でおこった酸化還元反応により、元の化学成分に分解することです。塩化銅水溶液を電気分解し、両極に析出・発生する物質を確認します。パックテスト容器を使うと電極付近の変化が観察しやすくなります。また、電源として「手回し発電機」を用いると、力学的エネルギーが化学エネルギーに変換されることがわかります。

### 準備物

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> パックテスト容器  | <input type="checkbox"/> ろ紙  |
| <input type="checkbox"/> ストップウォッチ  | <input type="checkbox"/> 炭素電極 (ホルダー芯、長さ 30mm)  |
| <input type="checkbox"/> ミノムシクリップ  | <input type="checkbox"/> USB 電源あるいは手回し発電機  |
| <input type="checkbox"/> プロペラ付きモータ | <input type="checkbox"/> 赤色色素に浸けたろ紙 <input type="checkbox"/> スパチュラ                     |
| <input type="checkbox"/> ピンセット     | <input type="checkbox"/> スポンジ台 <input checked="" type="checkbox"/> 0.5mol/L 塩化銅(II)水溶液 |

### 実験の手順

①パックテスト容器をスポンジ台に置き、**0.5mol/L 塩化銅(II)水溶液**をパックテスト容器の約 2/3 ほど入れます。入れすぎないように注意します。

②容器のふたに**炭素電極**を取り付けます。**炭素電極**にミノムシクリップをつけ、**USB 電源**あるいは**手回し発電機**につなぎます。つないだ赤いミノムシクリップ側がプラス極になります (図 1)。

③**USB 電源**の電源をいれます。

あるいは、**手回し発電機**を回転させ電気分解をします。**手回し発電機**は時計方向にまわすこと。

④パックテスト容器の中の炭素電極の表面では、どのような変化がみられるか、よく観察します (図 2)。発生する気体の臭いにも注意します。容器のふたに色素溶液で染めたろ紙をおき、脱色の様子をみます (図 3)。

⑤電極表面に析出した物質を、**ろ紙**の上に集め**スパチュラ**でこすって変化をみます。

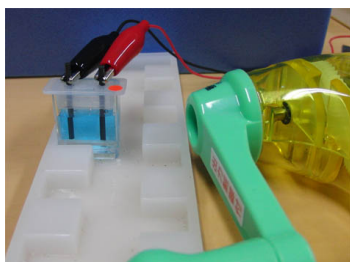


図 1 手回し発電機につなぐ

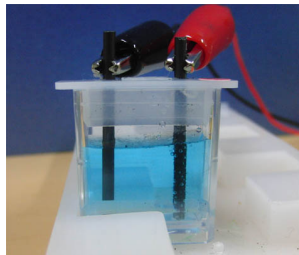


図 2 電気分解の様子

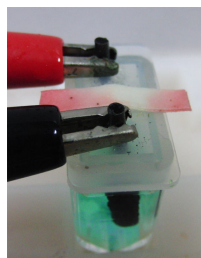


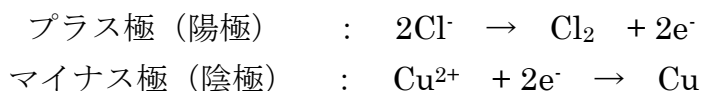
図 3 脱色の様子

## 解説 (高校生向けの説明)

電解質溶液中で、電極（炭素棒）付近でおこっている反応を考えます。

塩化銅水溶液中に存在するイオンは、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{H}^+$ （正確にはヒドロニウムイオン  $\text{H}_3\text{O}^+$ ）と考えられます。外部から供給されたエネルギーにより、プラス極およびマイナス極では、次の反応がおこります。

半反応式を使って表すと、



電源から供給された電子  $\text{e}^-$  により、マイナス極の付近において、電解質溶液に存する  $\text{Cu}^{2+}$  が還元されます。多く存在する水素イオン  $\text{H}^+$  よりも、 $\text{Cu}^{2+}$  の方が電子をもらって還元されやすいためである。マイナス極の炭素棒の表面には、金属の銅が付着します。ろ紙の上でこすりつけると、特徴的な「赤銅色」を観察できます。また、プラス極で発生した気体は、臭い、脱色作用から判断して塩素です。プラス極付近では、電解質溶液に存在する塩化物イオン  $\text{Cl}^-$  が優先的に酸化され、塩素 ( $\text{Cl}_2$ ) の気体が発生し、すぐに溶液に溶けますが、溶けきれない塩素のため臭いがします。塩化物イオン  $\text{Cl}^-$  のようなハロゲンイオンが存在すると、水酸化物イオン  $\text{OH}^-$  よりも優先的に酸化されます。

電源として「手回し発電機」を用いると、レバーを回転させる力学的エネルギーが、電磁誘導の原理により、電気エネルギーに変換されます。さらに、電気エネルギーにより、電気分解をおこし、化学エネルギーに変換されたこととなります。最終的には、化学反応により、塩素ガスの発生、銅の析出、熱の発生がおこったこととなります。

手回し発電機は、通常、回転により 10～20V の電圧まで達しますが、電気分解では、5V の電圧で十分です。少しずつ回転を加え、電極表面の変化の様子を観察することが重要です。

# 実験 11. だ液のはたらき (ベネジクト反応)

中学校用

実施 年 月 日 ( )

名前

消化液である「だ液」により食べ物がどのように変化するかを実験で確かめます。個別に実験を行うため、自分のだ液を使い、デンプンが変化の様子を調べます。

## 準備物

- 呈色板 (6 穴)
- 綿棒 (片方に赤い印) 1 本
- ポリスポイト (PP2N)
- プラスチック製かく拌棒
- サンプルチューブ 2 個
- 温度計 1 本
- ストップウォッチ
- 100~200 mL ビーカー 1 個
- セラミックヒーター
- デンプン 水溶液
- ベネジクト液

## 実験の手順

- ① ビーカーに約 2/3 ほど水をいれ、セラミックヒーターをセットする。
- ② 呈色板の左端の 2 穴にデンプン水溶液を少し入れる。さらに中央の下段の穴にはポリスポイトにより、ビーカーの水を加える。(図 1、2)。

- ③ 赤い印をつけた綿棒の先を、約 1 分間、口にくわえて、だ液を含ませる (図 1)。他方の先は水の入った穴に少しつける。

- ④ 両方の綿棒の先をデンプン水溶液の入った左端の穴につけ、表面にデンプンを均等につけます (図 2)。

- ⑤ セラミックヒーターで加熱して、約 70~80℃の湯をつくります。このとき温度計により水温を確認すること。次に、2つのサンプルチューブにベネジクト液を 5~7 滴いれ、③の綿棒をサンプルチューブにいれる (図 3)。だ液を付けた綿棒は、赤い印のサンプルチューブにいれる。

- ⑥ 約 3~5 分間、ビーカーつける。

- ⑦ サンプルチューブを取り出し、色の変化を観察する。

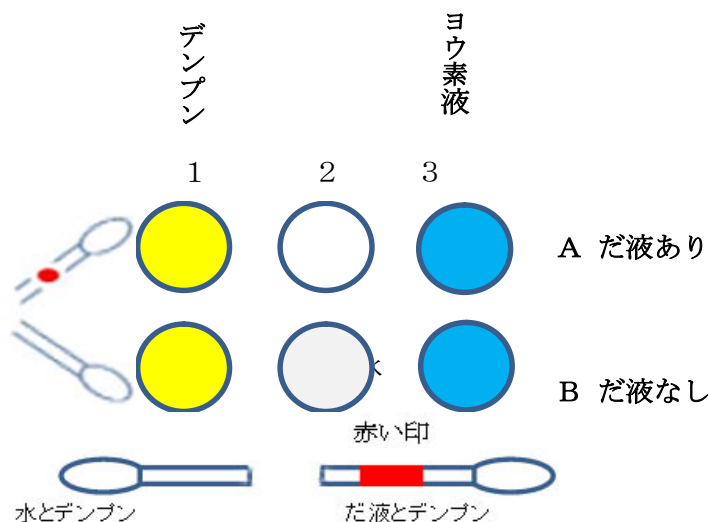


図 1 呈色板と綿棒の使い方



図 2 呈色板の穴に入れる

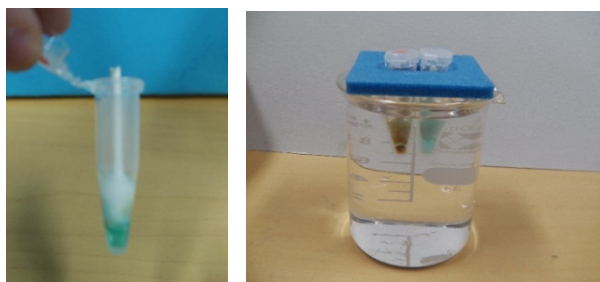


図 3 左のサンプルチューブを右写真のように湯煎

実験 11. だ液のはたらき (ベネジクト反応) 中学校用

ワークシート 実施 年 月 日 ( ) 名前

1. 実験結果から、綿棒の先の色はどのように変化しましたか。

	1)デンプン+水	2)デンプン+だ液
ベネジクト液		

2. 実験結果より、わかったことを書きなさい。

3. 2) デンプン+だ液にベネジクト液をいれて加熱したときの反応を説明しなさい。

4. 実験結果から、だ液のはたらきについてわかったことを書きなさい。

本日の授業の感想および要望を書いてください

## 実験 12.

## 電流が流れる溶液と流れない溶液

中学校用

—「導通テストキット」を使ってたしかめよう—

実施 年 月 日 ( ) 名前

身近な溶液には、電流が流れるものと、流れないものがある。

流れる溶液と流れない溶液を予想して、導通テストキットにより、調べてみよう。

食塩と砂糖では、固体の場合、水溶液の場合について、どのような違いがあるか、調べてみよう。

単元 中学校3年 「化学変化とイオン」

準備物 □ 導通テストキット

- 10種類：食塩（固体と水溶液）、砂糖（固体と水溶液）、蒸留水、うすい塩酸、うすい水酸化ナトリウム水溶液、エタノールと水の混合物、塩化銅水溶液、ポカリスエット、レモン水、調べたい水溶液

実験の手順 ①予想 ②実験で確認 ③結果の記入 ④気づいたことのまとめ

## 1. 実験結果の予想

呈色板に並べた10種類について、「電流を流すもの」には○、「電流を流さないもの」には×を、ワークシートに記入する。食塩と砂糖では、固体の時と、水で水溶液にした時の両方について予想しよう。

## 2. 導通テストキットを使って、確かめる。(実験)

注意：溶液につけたゼムクリップの先は、必ず毎回水でよく洗って使うこと

3. 「電流を流すもの」には○、「電流を流さないもの」には×を、ワークシートに記入

4. 結果についてグループで話し合い、気づいたことをまとめよう。

## 【導通テストキットの使い方】

・ミノムシクリップの先にゼムクリップをつけ、先端を延ばして細くする。ゼムクリップの先端を接触させ、豆電球がひかることをたしかめる(図1)。

- ・ゼムクリップの先を、調べる溶液につける(図2)。
- ・このとき、ゼムクリップの先がさわらないように注意する。
- ・調べた後、ゼムクリップの先を水でよく洗う(図3)。
- ・食塩と砂糖については、最初、固体の状態で行う。

その後、少しの水を入れ、周囲の水に端子を付けて確かめる(図4)。 図1 導通テストキット

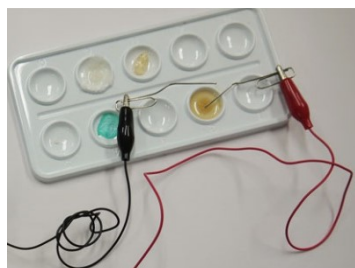
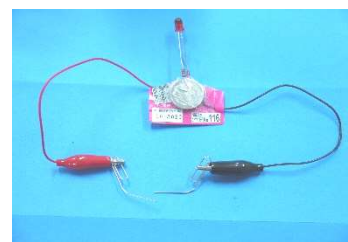


図2 端子をつける

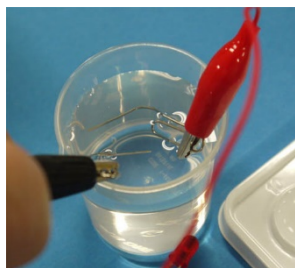


図3 洗浄する

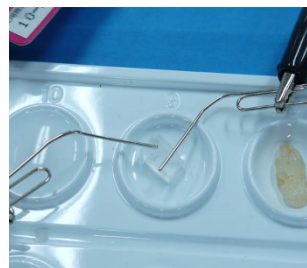
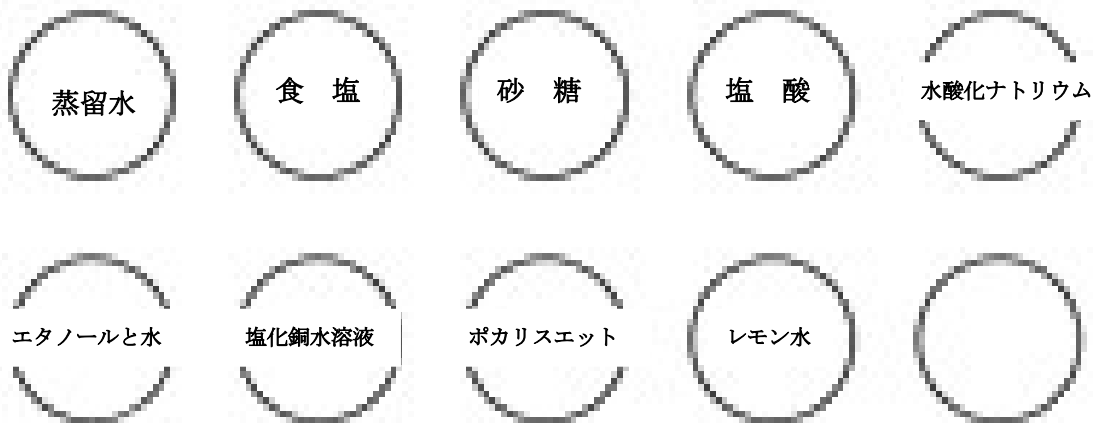


図4 固体と溶液の場合

実験 12. **電流が流れる溶液と流れない溶液** 中学校用

— 「導通テストキット」を使ってたしかめよう —

ワークシート 実施 年 月 日 ( ) 名前



電流が流れる ○ 流れない ×

調べるもの	予想 (○か×)	結果 (○か×)
蒸留水		
食塩 (固体・水溶液)	(     •     )	(     •     )
砂糖 (固体・水溶液)	(     •     )	(     •     )
うすい塩酸		
うすい水酸化ナトリウム水溶液		
エタノールと水の混合物		
塩化銅水溶液		
ポカリスエット		
レモン水		

## 実験 13. 酸化銅のプラスチックによる還元 (ワークシート含む) 中学校用

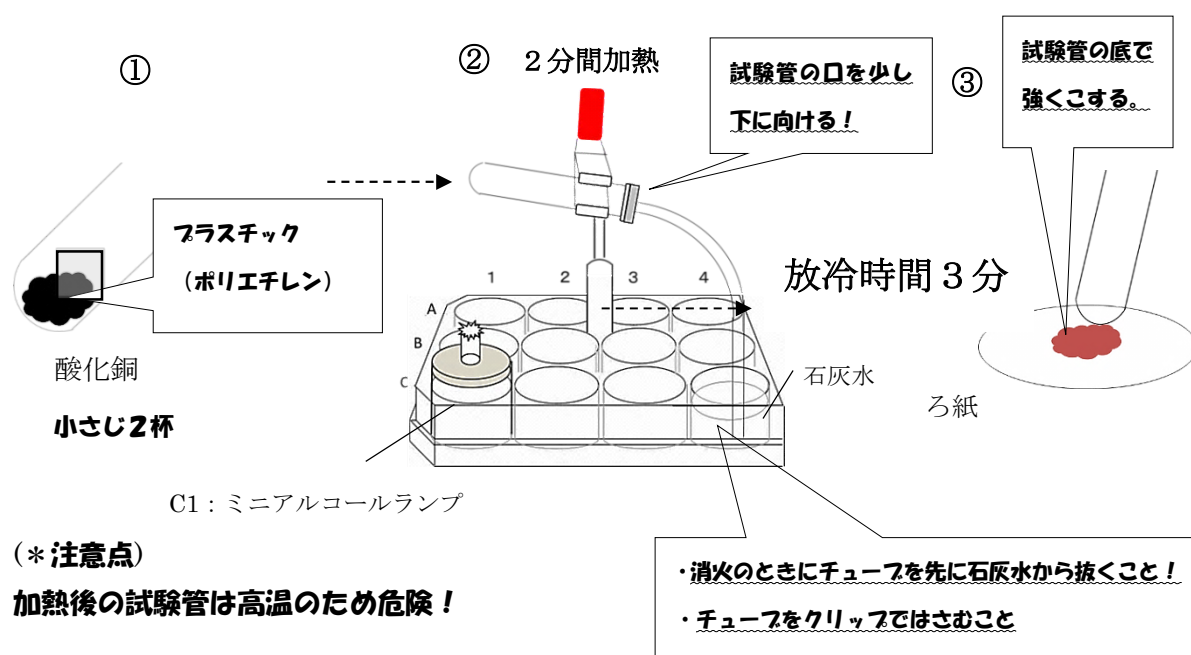
実施 年 月 日 ( ) 名前

**準備物** 12セルプレート, 固定器具, ミニアルコールランプ, クリップ, ガラスカップ, ろ紙×2枚, ぬれ雑巾, 試験管 (マイクロチューブ) ×2本, 気体誘導管, 薬さじ, マッチ, 燃え殻入れ

**試薬** 酸化銅粉末(サンプリングチューブ), 石灰水, ポリエチレンラップ (1cm×1cm)

### <プラスチックを用いた酸化銅の還元実験>

#### 実験の手順 (図参照)



#### 結果

この実験で、観察できたことについて書きなさい。

#### 考察

次の表の (1) ~ (4) について考えよう。

	試験管内の変化について	石灰水の変化について
発生した物質名	(1)	(2)
プラスチックに含まれる成分 (原子)	(3)	(4)

#### まとめ



## 実験 14. 指示薬と pH-指示薬による指標作成ー (呈色板使用) 高校用

実施 年 月 日 ( ) 名前

水溶液の pH の大小に指示薬の変化を調べます。また pH の求め方を学びます。塩酸及び水酸化ナトリウム水溶液を用いて、pH の異なる水溶液を調製します。指示薬として、BTB 溶液あるいは身近なムラサキキャベツやムラサキイモの色素を用います。

### 準備物

- 呈色板 (10 穴と 6 穴)     点眼ピン     パスツールピペット     蒸留水
- 0.1mol/L 塩酸                       0.1mol/L 水酸化ナトリウム水溶液
- BTB 溶液あるいはムラサキキャベツの絞り汁あるいはムラサキイモパウダー

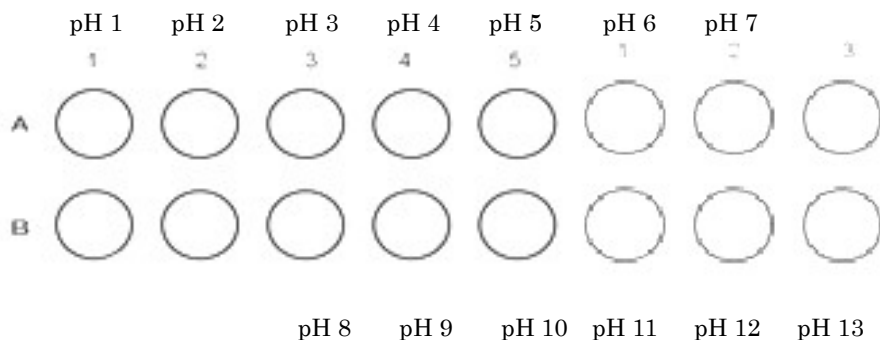
**実験の手順** (練習実験 ピペットの使い方を練習します。ピペットに蒸留水をいれ、ピペットを垂直に持ち、10 滴、呈色板の穴にいれる。 1 滴の量ができるだけ同じになるように練習する。)

### 実験 A pH=1~7 の水溶液を調製して指標を作成します

- ① 2 つの呈色板 (10 穴と 6 穴) を横方向に並べます。呈色板の下段の左側から液をいれます。
- ② 1 番のセルに 0.1mol/L 塩酸を、ピペットで 10 滴 入れます。これが pH=1 の溶液となります。
- ③ 1 番のセルからピペットで 1 滴 とり、2 番のセルに入れます。2 番のセルに蒸留水を 9 滴 加えてピペットでよく混ぜます。これが 0.01mol/L 塩酸、pH=2 の溶液となります。
- ④ 同様に 2 番のセルから 3 番のセルを、3 番のセルから 4 番のセルを・・・の順に 6 番のセルまで、10 倍に薄めた溶液をつくります。それぞれ pH=3,4,5,6 の溶液となります。
- ⑤ 7 番のセルに蒸留水をピペットで 9 滴 入れます。これが pH=7 の溶液となります。
- ⑥ 1 番から 7 番の各セルに、点眼ビンにいれた指示薬 (BTB あるいは紫イモ液) を 1 滴 加えます。

### 実験 B pH=13~8 の水溶液を調製して指標を作成します

- ① 呈色板の下段の右側から液をいれます。
- ② 13 番のセルに 0.1mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を、ピペットで 10 滴 入れます (pH=13)。
- ③ 13 番のセルからピペットで 1 滴 とり、12 番のセルに入れます。12 番のセルに蒸留水を 9 滴 加えてピペットでよく混ぜます。これが 0.01mol/L 水酸化ナトリウム水溶液で、pH=12 の溶液となります。
- ④ 同様に 12 番のセルから 11 番のセルを、11 番のセルから 10 番のセルを・・・の順に 8 番のセルまで、10 倍に薄めた溶液をつくります。それぞれ pH=11,10,9,8 の溶液となります。
- ⑤ 1 番から 13 番の各セルに、点眼ビンにいれた指示薬 (BTB) を 1 滴 加え、色の変化を観察します。



実験 15. **昇華の様子を観察しよう!** 高校用

実施 年 月 日 ( ) 名前

混合物の分離は物質の性質を利用して、混合物から目的の物質を取りだすが、ここでは昇華性を利用して、純度の高い物質だけを取り出す、昇華について学ぶ。

**準備物**

- ミニ試験管(小)2本  アルミワイヤー白・茶各1本  ガスライター1個,
- ミクロスパチュラ(小さじ)赤・白1本  Z型試験管立て1個  タイル1枚
- ヨウ素 ■ ショウノウ

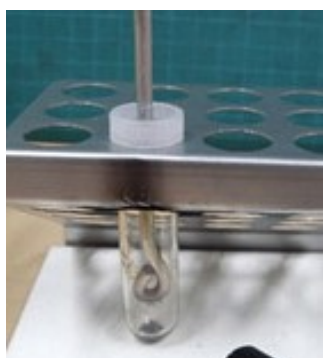
予め、試薬を入れたミニ試験管にアルミワイヤーをセットして、ヨウ素入りとショウノウ入りを各1本ずつ、試験管立てにセットしている。

**実験の手順** (ヨウ素は小・中学生には適していない。高校では使用する。)

- ① 試験管立てをタイルの上に置く。(下が焦げないように)
- ② ガスライターで緩やかに約 10~20 秒間加熱し、ミニ試験管内のヨウ素あるいはショウノウの様子を観察する。

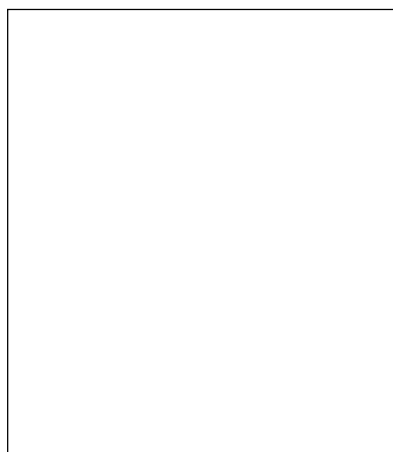
※加熱中の試験管内の変化、状態変化を観察しましょう。

ヨウ素は有毒であり、蒸気を吸わないように注意!!



スケッチ

使用した試薬  
( )



**結果** 加熱によって試験管内のヨウ素あるいはショウノウがどのように変化したか  
(色や状態に注目して観察).

ヨウ素の場合

{ }  
シ

ョウノウの場合

{ }  
考

**考察**

⑨より、常温で ( ) 体であったヨウ素 (ショウノウ) が ( ) 体となり、温度の低いアルミワイヤーで冷却され、再び ( ) 体となったことが分かる

昇華は、( ) 性物質を不揮発性の不純物から分離・精製する方法である。

## 実験 16-1. 呈色板を用いた食塩水の電気分解 高校用

実施 ..... 年 月 日 ( ) ..... 名前 .....

塩化ナトリウム水溶液(食塩水)を炭素電極で電気分解して、両極での変化を観察し、酸化還元反応に基づいて電気分解の原理を理解する。呈色板を使うことにより電極付近の変化が観察しやすくなる。

単元 電池と電気分解

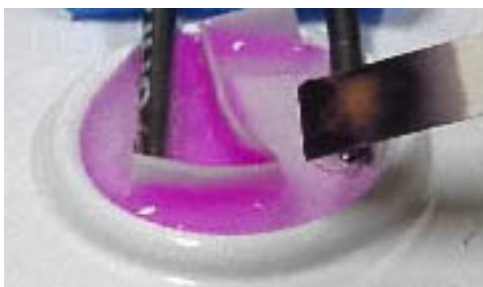
実験時間 20分

### 準備物

- 6穴 呈色板
- USB 電源 (5V)
- ミノムシクリップ
- ろ紙
- フェノールフタレイン溶液
- ヨウ化カリウムデンプン紙
- 電極 (直径 2mm、長さ 25mm)
- 20% 塩化ナトリウム水溶液 (食塩水)

### 実験の手順

1. 塩化ナトリウム水溶液を呈色板の穴に、あふれない程度まで入れる (図1)。  
ろ紙も全体に食塩水につかるようになる (入れすぎないように注意する)。  
呈色板の穴の中央に、Z形に折ったろ紙を立てる。
2. 陰極側 (黒いクリップにつなぐ) の溶液に、フェノールフタレイン溶液を 1滴だけ 入れる。
3. 陽極側 (赤いクリップにつなぐ) の溶液に、ヨウ化カリウムデンプン紙の 先をつける。
4. ケーブルの先のミノムシクリップに炭素電極をつなぐ。この時、赤いミノムシクリップがプラス極(陽極)、黒いミノムシクリップがマイナス極 (陰極) となる。
5. USB 電源のスイッチをいれる。
6. 約 5~10 秒 の間に、炭素電極の表面、食塩水がどのような変化するか観察する。  
(陽極側のヨウ化カリウムデンプン紙、陰極側の溶液の色の变化に注目して観察する。)



実験 16-1. 呈色板を用いた食塩水の電気分解

ワークシート 実施 年 月 日 ( ) 名前

実験結果

両極の変化

1. 陽極：炭素電極の表面およびヨウ化カリウムデンプン紙の色の変化について

.....

.....

2. 陰極：フェノールフタレイン溶液を入れた食塩水の色の変化について

.....

.....

考察

1. 結果の1. でヨウ化カリウムデンプン紙の色が変化した理由を説明せよ。

2. 結果の2. でみられた変化の理由について説明せよ。

3. 両極における変化を  $e^-$  を含むイオン反応式で表せ。

陽極：

陰極：

## 実験 16-2. 呈色板を用いた硝酸銀水溶液の電気分解 高校用

実施 ..... 年 月 日 ( ) ..... 名前 .....

硝酸銀( $\text{AgNO}_3$ )水溶液、ヨウ化カリウム( $\text{KI}$ )水溶液および食塩水を炭素電極で電気分解して、両極での変化を観察し、酸化還元反応に基づいて反応を理解する。呈色板を使うと析出物の確認がしやすくなる。

### 準備物

- 6穴呈色板     USB電源     ミノムシクリップ
- 炭素電極（直径2mm、長さ15mm）
- 0.1mol/L 硝酸銀( $\text{AgNO}_3$ )水溶液,

### 実験の手順

1. 呈色板の穴に、0.1mol/L 硝酸銀水溶液をこぼれない程度に入れる。  
(入れすぎないように注意する)
2. USB電源につないだケーブルを、炭素電極の付いたミノムシクリップにつなぐ。炭素電極の付いたミノムシクリップを呈色板の穴に置く。この時、炭素電極付近に赤印がついている方を陽極として、赤いミノムシクリップにつなぐ。
3. USB電源のスイッチをいれ（I側）電気分解をする。
4. 呈色板の穴に置いた炭素電極の表面では、どのような変化がみられるか、よく観察する。
5. どちらかの極に析出した物質を、かくはん棒を使ってろ紙の上を集める。  
集めた後、小型スパチュラでこすって変化を見る。  
(注) リード線の赤は陽極、黒は陰極を表しているので、注意してつなぐこと。
6. 上記と同じ実験手順で、硝酸銀水溶液を食塩水およびヨウ化カリウム水溶液に替えて行う。



溶液が混ざらないように注意する

註 : 塩化銅(II)水溶液の電気分解も 16-1,16-2 と同様の実験方法で可能

実験 16-2. 呈色板を用いた硝酸銀水溶液の電気分解

ワークシート 実施

年 月 日 ( )

名前

観察結果

1. 両極の変化

陽極：

陰極：

2. 陰極の炭素棒に付着した物質をろ紙にこすりつけた様子

考察

1. 陽極では、どのような変化が起こったか。イオン反応式で示し、  
その理由も説明せよ。

2. 陰極では、どのような変化が起こったか。イオン反応式で示し、  
その理由も説明せよ。

3. 電気分解により起こった全体の反応を化学反応式で示せ。

感想

## 謝 辞

本論文は、兵庫県内の中学校・高等学校、四天王寺大学教育学部などで行った研究、学外での科学実験活動、ひらめき☆ときめきサイエンスでの取り組みなどをまとめたものである。

本研究を遂行するにあたり、懇切丁寧な御指導ならびに御教示を賜りました兵庫教育大学大学院 松本伸示教授に深く感謝致します。

本研究を継続して進めていく上で、多くの方々の支援や励ましを頂きました。特に、京都教育大学 芝原寛泰名誉教授にはマイクロスケール実験に関わる教材開発について多大なご指導、ご助言を頂きましたこと、深くお礼申し上げます。

また、論文博士資格審査会や学位論文審査公聴会において、的確なご指導、ご助言を頂きました上越教育大学大学院 小林辰至教授、岡山大学大学院 喜多雅一教授、兵庫教育大学大学院 庭瀬敬右教授、兵庫教育大学大学院 永田智子教授に心よりお礼申し上げます。

最後に、論文執筆のために要した長期間にわたり、私の健康を気遣ってくれた家族にも感謝の言葉を添えて謝辞と致します。

2018年3月24日

佐藤美子