

筒型ダニエル電池の開発と授業実践

岡本 理沙^{*1}・宮内 卓也^{*2}・鎌田 正裕^{*3}

理科教育学分野

(2019年5月23日受理)

OKAMOTO,R. and MIYAUCHI,T. and KAMATA,M.: Development of a cylindrical Daniel battery and lesson practice. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 71: 1-8. (2019) ISSN 2434-9380

Abstract

In this study, we developed a cylindrical Daniell battery composed of two separate cells. Each cell was made of a small plastic tube whose one end was covered with cellophane film and another end was closed with a rubber plug with metal electrode fixed through it. The electrolyte solution was put inside the cylinder and students can observe/measure how electricity is produced as they couple and decouple the two separate cells through cellophane films. A paper model to help students understand the ionic reactions inside the cell was also developed.

The lesson practice revealed that combination of our cylindrical Daniell battery and model was effective, and Daniel battery was not difficult for students while there are many teachers who have negative impression on Daniel battery.

Keywords: Daniel Cell, Junior High School, Electrochemistry, Course of Study

Department of Science Education, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨: 本研究では、2つの独立したセルからなる円筒型ダニエル電池を開発した。それぞれのセルは、片端をセロハン紙で覆い、もう片方を金属製の電極を取り付けたゴム栓で封じた小さなプラスチック製の円筒からできている。筒内には電解質水溶液を入れて、生徒は、2つのセルをセロハン紙を介して接触させたり離したりしながら、電気が取り出せる様子を観察できる。また、このダニエル電池内の反応についての理解を助けるために、紙製の粒子のモデル（イオンモデル教材）も作成した。

筒型ダニエル電池とモデルを組み合わせるものの有効性は授業実践で確かめられ、ダニエル電池に対して否定的な印象を持つ教員が多い一方で、生徒にとってダニエル電池がむずかしいものではないことが分かった。

* 1 狭山市立柏原中学校 (350-1335 狭山市柏原 2520-11)

* 2 東京学芸大学 次世代教育研究センター (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

* 3 東京学芸大学 基礎自然科学講座 理科教育学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

1. はじめに

平成20年改訂の中学校学習指導要領(理科)では、電池の基本的な仕組みについて、ボルタ電池を用いて学習することを前提としている¹⁾。ボルタ電池は、電解質水溶液中に異なった二種の金属を浸漬させることによって起電力を得る装置で、中学校の実験教材として広く現場に普及している。一方、ボルタ電池では亜鉛を塩酸などに浸漬させると、回路を開放していても亜鉛板が反応してしまい、さかんに水素が発生してしまう。また、回路を閉じて銅板から発生する水素はわずかであり、生徒が実験を通して電池の仕組みを学ぶことが容易ではない。さらに、電池の内部では取り上げようとしている反応以外にも異なる反応が起きていたり、起電力を熱力学的に記述することができないなど、ボルタ電池を用いて電池の仕組みを扱うことについては、これまでに問題点が指摘されていた^{2,3)}。

電池は2種類の異なる酸化還元対を組み合わせ、片方の還元体が出した電子を導線に導き、別の場所で他方の酸化体に渡すという仕掛けをもった装置である。ダニエル電池を例にすると、平衡にある酸化還元対 Zn^{2+}/Zn と Cu^{2+}/Cu が、それぞれ固有の電位を持つため、このような酸化還元対を組み合わせることで2つの電位の差が起電力となる電池ができることを説明できる。

現在、高等学校では電池の基本的な仕組みについてはダニエル電池を取り上げることが一般的となっており、中学校と高等学校の接続という観点からも、平成29年改訂の学習指導要領ではダニエル電池を用いて電池の仕組みを理解することが求められている^{4,5)}。

2. 筒形ダニエル電池の形状

図1のように、容器は内径14 mm、長さ20 mmのプラスチック管を1組用意し、それぞれの管の片側にセロハン膜を張り、他方に金属線($\phi 0.9$ mm, 200 mm)を渦状に巻いたものを通したゴム栓を装着した。電極の形状については、隔膜付近の表面積が大きいほど、通電時により高い電圧が得られたことから、金属

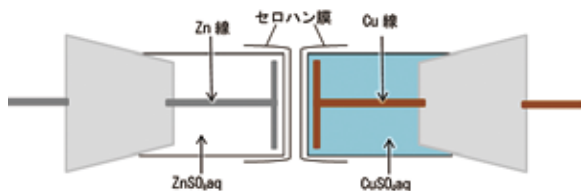


図1 筒型ダニエル電池

線等を写真1のように加工して隔膜付近に大きな面積をもつ構造とした。この構造で約20 mAで0.8 V程度の電圧を得られ、光電池用のモーターが回り、実験用教材として十分な性能が得られることがわかった。この装置は正極部と負極部に分かれており、実際の実験に際しては、写真2のように生徒自身がこれらを直接手に取り、接触させたり離したりすることができるため、隔膜の存在やイオンの動きを意識することができる。

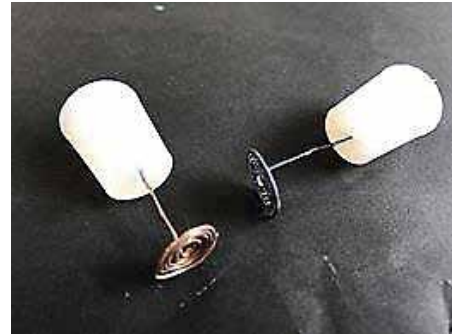


写真1 電極部の構造

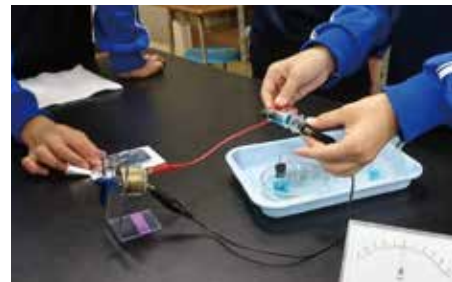


写真2 実験の様子

3. ダニエル電池の放電特性

1.0 mol/L 硫酸銅水溶液、0.5 mol/L 硫酸亜鉛水溶液からなるダニエル電池に、モーターを接続して放電させた際の端子間電圧の変化(放電特性)を図2に示す。小さな電池にもかかわらず1時間14分まではプロペラは回転し、平均19.5 mA, 0.58 Vを維持していたが、その後、電圧・電流ともに下降した。実験教材として1時間以上放電できる点は実用性があると考えられる。

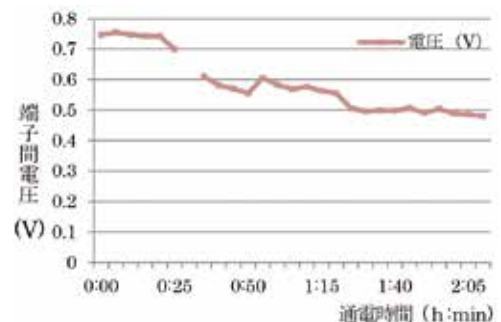


図2 放電特性

4. スズとスズイオンを含む電解質水溶液を用いた電池

イオンのなりやすさの学習から発展させた電池として、図2の構造をもつスズ電極を製作し、図3のような組み合わせで使える電池教材を開発した。

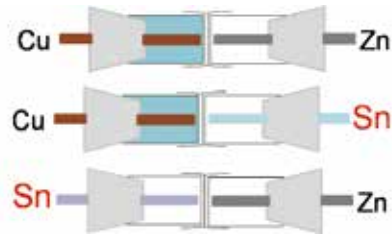


図3 発展的な学習 (3つの筒型電池)

実際に教材として製作してみたところ、図4のように、亜鉛とスズを用いた電池の端子間電圧は10mAの時、0.4Vとなり、スズと銅を用いた電池の端子間電圧も10mAの時、0.4Vとなった。亜鉛とスズを用いた電池とスズと銅を用いた電池の端子間電圧を足すと銅と亜鉛の端子間電圧になることを容易に示せる。

銅亜鉛の電池に比べると他の2つの電池の性能は低くはなるが20mAで0.3V程度が得られ、低電流で駆動するモーター (TAMIYA SOLAR MOTAR 03) であれば回ることを確認することができた。

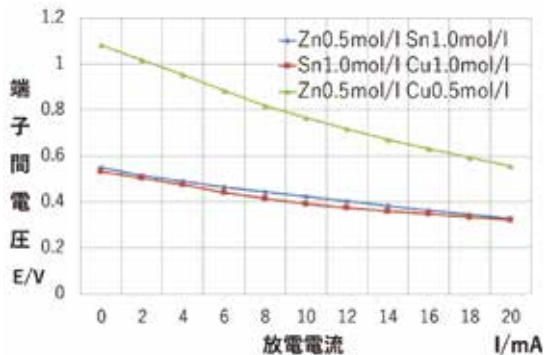


図4 発展的な教材の電池の性能

5. イオンモデル教材の開発

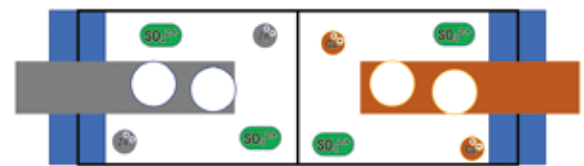
電池の基本的な仕組みを理解させるために、電極で起こる反応をイオンのモデルと関連付ける必要がある。しかし、生徒のイオンについての理解度にはばらつきがあり、教科書や教師による一方的な解説だけでは、すべての生徒にとってわかりやすい学習活動にはならない。そこで本研究では、イオンの性質についての理解が十分でない生徒も、モデルを操作して試行錯誤を繰り返すことでイオンの反応や動きについての理解が深まると考え、プリントされた電池の絵の上に、電子やイオンを貼ったり剥がすことができるモデ

ル教材を開発した。

モデルは図5の(A)に示したようなパーツから構成されている。台紙には、ダニエル電池の構造が図示されており、金属電極には白抜きの円が2つずつ描かれている。CuやZnの原子(イオン)には、再はく離可能なのりが塗布されていて、電極に描かれた円内や電極から離れた場所(電解液中)に貼ることができる。さらに、電子を表す小さな部品にも再はく離可能なのりが塗布されていて、CuやZnに記された+マークの上や、電極金属上に貼ることができる。前者は、電気的に中性な原子を表し、後者は、金属中の自由電子(回路を流れる電子)を表す。

図5の(B)は放電前の電池(負極側は亜鉛イオンに電子を貼ったものを白抜きの円内に貼り、正極は銅イオンを水溶液中に貼ったもの)を表す。生徒には、この電池が放電すると、そこにあるイオンや電子がどのように変化・移動するかを、実験で確かめた結果をもとに考えさせる。実際に使用してみたところ、イオンそのものがモデルになっているため、イオン式がわからない生徒や電子配置についてつまずきがある生徒にとっても、モデルを動かしながら試行錯誤することが可能で、大多数の生徒が積極的に取り組んでいるようすが見られ、電池の基本的な仕組みを考察する手立てとして有効と考えられる。

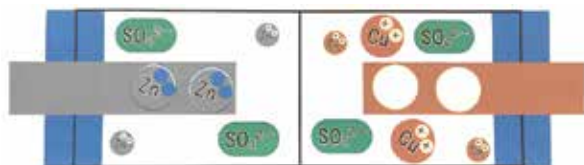
なお、後述の授業実践では、上記のモデルを簡略化したものを生徒のワークシート上にプリントし、生徒が鉛筆で図中にイオンなどを書くことで、同様の効果を期待した。



亜鉛, 銅原子 (イオン).

電子.

(A)



(B)

図5 イオンや電子の移動をモデル化した教材

6. 授業実践

6.1 ダニエル電池を用いた授業と調査

平成29年度と平成30年度において、ボルタ電池を学習した公立中学校第3学年の生徒を対象に、50分の授業を实践した。(授業の指導案については資料1参照)

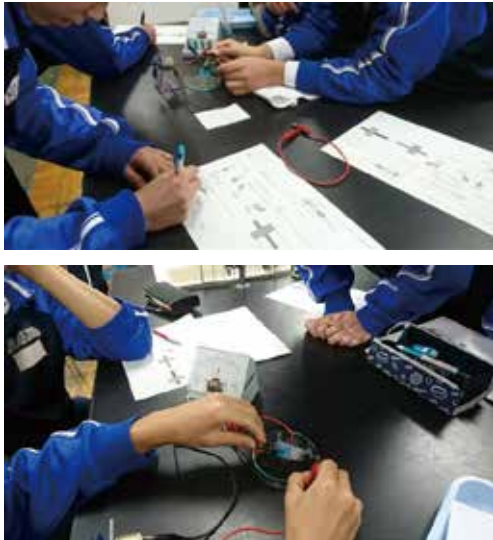


写真3 実践時のようす

さらに、平成30年度はダニエル電池とボルタ電池に関する印象や理解度について調べるため、図6のように金属とイオンの学習を行った後、4クラスを2つに分け、ダニエル電池を学習後ボルタ電池を学習するクラスとその逆の流れで学習するクラスに分け、実施後アンケートや小テストを実施し、理解度とダニエル電池の教材を使用した感想を調査した。



図6 授業と調査の関係

6.2 ワークシートの記述

多くの生徒は2年時の電流と磁界での既習内容から、電子は-極から+極へ移動すると考える生徒が多く、そこからイオンの授受が起こる可能性を模索していた。図7に示した生徒のワークシートのように、生徒A(左上)は正極と負極の反応についてモデルと言

葉で表現している。生徒B(右上)は正極と負極反応について推論し、さらに亜鉛は減り銅が析出するはずだと新たな気づきができている。生徒C(下)は正極と負極で電子の授受が行われていることを理解し、さらにセロハン膜を通してイオンが移動しているようすを表現することができているようすが読み取れる。

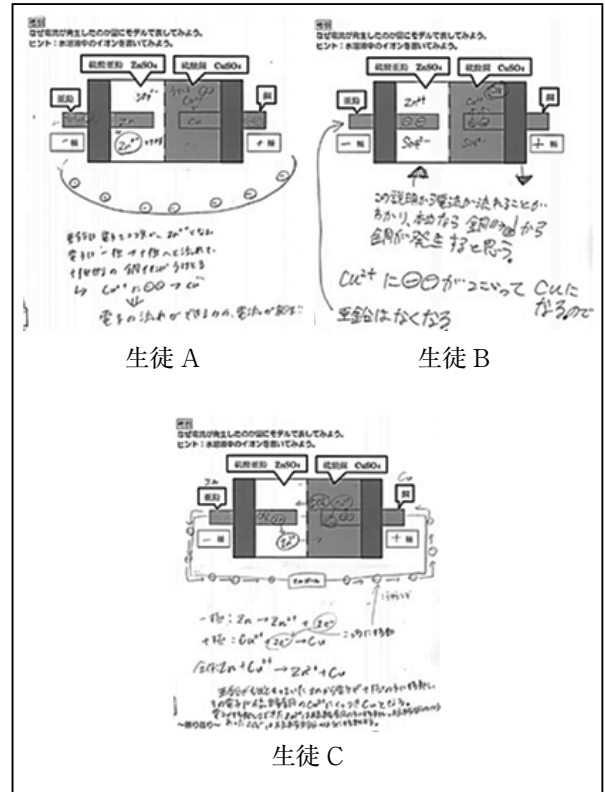


図7 生徒のワークシート

6.3 アンケート調査の結果

表1, 2は、平成29年度、実験後に行ったアンケートについて生徒の記述内容をいくつかの類型に分け、該当する内容を記述した生徒の人数を調査した結果である。自由記述で書かれた内容から、電子の授受について説明できた生徒は45名であったが、セロハン膜の役割に注目した生徒の中には電気的中性の維持に注目する生徒もいた。そのいっぽうで、実験装置に関する課題について記述した生徒が36名おり、今後の改善が必要である。

さらに平成30年度の実践においてダニエル電池実験後とボルタ電池実験後にアンケートを実施したところ、図8のように、前半でボルタ電池を実施したクラスBより、前半でダニエル電池を実施したクラスAのほうが理解度が高いことがわかった。

また、図9を見ると、後半では前半でダニエル電池を行ったクラスAの理解度は変わらないものの、前半でボルタ電池で理解度は低かったクラスBも、

表1 質問1 今日の学習で学んだこと n = 199

記述内容の類型	人数
電子の授受に注目した記述 <記述例> <ul style="list-style-type: none"> ・ 極の亜鉛は電子を失ったので亜鉛イオンになり水溶液中にとけ、+極の銅イオンは電子を受け取り銅になることが分かった。+と-のバランスを保つために移動し合うことが知れてよかった。 ・ 電池を使った実験をしました。-極にあった電子が+極に奪われ Cu^{2+} が銅になり、Zn^{2+} がイオンになるということを学びました。 	45
セロハン膜の役割に注目した記述 <記述例> <ul style="list-style-type: none"> ・ 学んだことは、イオン化傾向とお互いの極が±0になろうとしてセロハン膜を通して亜鉛イオンが銅側に移動し、逆に硫酸イオンが亜鉛側に移動したりすることなどです。 ・ セロハンの穴から硫酸イオンが移動して+と-のバランスを保つということも初めて知った。 	33

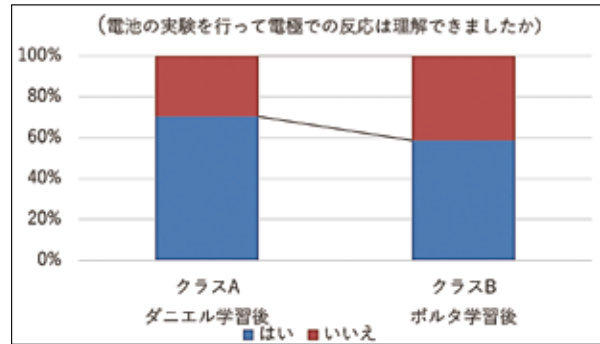


図8 授業実践後（前半）のアンケート

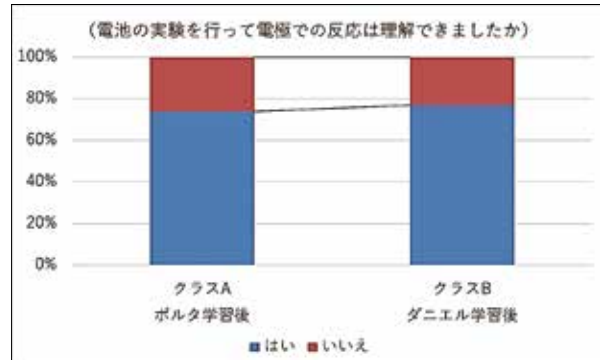


図9 授業実践後（後半）のアンケート

表2 筒型電池を使った感想 n = 199

記述内容の類型	人数
実験装置に関する肯定的な意見 <ul style="list-style-type: none"> ・ 電池の役目にほぼ似ていてすごかった。内部が見られた感じがした。 ・ くっついた時だけ電気が発生するのはすごいなと思いました。 	94
実験装置に関する課題についての記述 <ul style="list-style-type: none"> ・ 液がもれることが多かったのをそれを改善したほうが良いと思った。 ・ カプセル型だと小さいので見えにくい気がしたので大きくしてもらいたかったです。 	36

クラスAと同じく約7割まで理解度が上がっていることがわかった。身近な乾電池と形状が似ていたことや、溶液内が見え、実験が簡単に行えた点がダニエル電池での理解度を高めたと考えられる。

6.4 考察

ダニエル電池とボルタ電池とを比べたとき、ダニエル電池は隔膜があり、2種類の電解質水溶液から構成されていることが特徴である。教員の中には、ダニエル電池は難しく、隔膜の存在が電池の仕組みの理解をさらに複雑化させるのではないかと懸念もある。

しかし、正極系と負極系がわかれた電池を能動的に

くっついたり離したりする活動を通し、生徒の記述には、セロハン膜が多孔質であることや、電荷の偏りを解消しようとしていることに関心を示すものが見られる。活動を通して、イオンの移動を実体的にとらえることができたからこそ、隔膜付近で起こる事象に考えを巡らせることができたのではないかと考えられる。

また、本教材が分離型の構造をとったことで、生徒が正極系と負極系を独立して考えるようすがみられ、ワークシートにおいても正極と負極における電子の授受を描く記述が見られた。さらに、アンケートの結果から、ボルタ電池よりも、むしろダニエル電池の学習を通して電池の仕組みの理解することができたという傾向が見られる。

以上のことから、正極系と負極系の分離可能な筒型ダニエル電池教材を粒子のモデルと関連づけながら用いる学習は、正極系と負極系を独立して考察することを容易にするとともに、隔膜の存在やその役割に注目させることに有効であることが示唆された。また、生徒は従来のボルタ電池による指導よりも、ダニエル電池を用いた本教材による学習の方が、電池の仕組みの理解を促進していることが示唆された。

7. おわりに


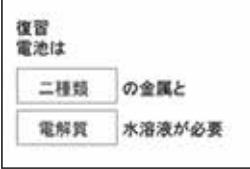
今回は平成20年度の学習指導要領の発展学習としてダニエル電池の実験を行った。今後ダニエル電池を通して電池の仕組みを理解させることに不安を持つ教員も多いと思うが、この教材を使うことで、その不安は払拭されることを期待している。

令和3年度より新しい学習指導要領が全面実施となると、金属のイオンへのなりやすさが導入されたカリキュラムとなるので、金属のイオンへのなりやすさで学んだことを活用しながら電池のしくみについて生徒に考察させることができる。また、様々な金属を用いた筒型ダニエル電池(図6)を用いて起電力の異なる電池について考察するなど、発展的な学習としての活用の幅が広がることも期待される。

参考文献

- 1) 文部科学省「中学校学習指導要領解説 理科編」大日本図書(東京)2008
- 2) 坪村 宏「ボルタ電池はもうやめよう—問題の多い電気化学の記述」化学と教育 46(10), 632-635, 1998
- 3) 渡辺 正, 金村聖志, 益田秀樹, 渡辺正義「電気化学」p.47, 丸善(東京)2001
- 4) 文部科学省「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数偏」実教出版(東京)2009
- 5) 文部科学省「中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編」学校図書(東京)2018

(資料) 本時の学習計画

過程	学習活動	教師の働きかけと予想される生徒の反応	評価及び指導上の留意点 (○) 【評価方法】 (■)										
導入	1 電池も金属と電解質水溶液でできていることを知る。 2 本時の課題を把握する。	○乾電池の中身を見せる。  ○電池を作るには何が必要か。  ○ワークシートに記入させる <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">電池の中の金属や水溶液中でどのようなやりとりが行われているのだろうか？</div>	パワーポイントで提示 ○ワークシートに記入させる										
	展開(1/2)	3 実験方法を知る。 4 実験を行う。 5 実験の片付けを行う。	○簡易電池の形状とセロハン膜の役割について生徒に説明をする。 ○セロハン膜には小さな穴がたくさんあり、液体は急には混ざらないが、イオンなどの粒子は通ることができる。後でその確認も行うことを伝える。 ○簡易電池の作り方の説明をする。 [結果] <table border="1" data-bbox="564 1115 1378 1238"> <thead> <tr> <th>正極の金属</th> <th>負極の金属</th> <th>LED</th> <th>モーター</th> <th>電流計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>銅</td> <td>亜鉛</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○○mA</td> </tr> </tbody> </table> セロハン膜の確認 銅板をはさむ→✕ アルミ箔をはさむ→✕ 紙をはさむ→✕ セロハン膜をはさむ→○ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <知識・技能> ■電池に関する実験の基本操作を習得し、LEDや電流計の針の振れから電気の流れる向きを考え、正しく使うことができる。 【教師による観察・レポート】 </div>	正極の金属	負極の金属	LED	モーター	電流計	銅	亜鉛	○	○	○○mA
正極の金属		負極の金属	LED	モーター	電流計								
銅	亜鉛	○	○	○○mA									

展開 (2/2)	6 結果の確認をする。 7 簡易電池内のやり取りをモデル図で表す。 8 発表する。 9 まとめる。	○LED のついた方向と電流計の針の振れ方から考えて、正極，負極の金属は何になりますか。 ・銅→正極 亜鉛→負極 ○簡易電池の中でどんなやりとりがあったのか，ホワイトボードにモデル図で表してみよう。 [手立て] 電子の方向は書けている →亜鉛と銅のイオンのなりやすさを考えさせる。 片方の電極の電子の授受は書けている →電子の方向を考えさせる。 どちらも書けていない。 →電子の流れに注目する。 ○全班のホワイトボードを黒板に貼りだす。 ○いくつかの班に説明してもらいます。 [意図的に指名する班を決めておく。 ○まとめをワークシートに記入させる。	○あらかじめ放電前の状態で存在するイオンや金属のモデルを提示しておく。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <思考力・判断力・表現力> ■電池について，金属のイオンへのなりやすさが異なることと電子の移動する向きを関連させながら，電池の電極における変化についてイオンのモデルを用いて表現している。 自分が予想したモデルに振り返り，筋道を立てて説明している。 【教師による観察・レポート】 </div> ○パワーポイントで説明 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <知識・技能> ■電極における電子の授受によって外部に電流を取り出していること等，基本的な概念を身につけている。 【教師による観察・レポート】 </div>
まとめ	10 探究の過程を振り返る。1	○当初の予想と結論から，自らの探究の過程を振り返る。 ○自分の予想のモデルをみて，矛盾がないか筋道を立てて説明し，実験の課題など気づきをまとめさせる。	