

乾電池の仕組みを考える授業実践 ～スライム電池を使って～

岡 智子（長崎市立戸石小学校

前長崎大学大学院教育学研究科・教職実践専攻）

星野由雅（長崎大学大学院教育学研究科）

1 はじめに

今日の私たちの豊かな生活は多くの科学技術によって支えられている。しかし、科学の入り口となる理科の学習で学んだことが自分たちの生活の中に多く活用されていることに気付く児童は少ない。平成 24 年度 全国学力・学習状況調査でも「理科の勉強は大切」「理科の授業で学習したことは将来社会に出た時に役に立つ」と回答した児童は国語や算数に比べ低かったり。平成 18 年に行われた特定の課題に関する調査（理科）の意識調査でも「理科を学習すれば、私の普段の生活や社会に出て役立つ。」という問いに小学校第 5 学年の児童は 72%しか肯定的に答えていない²⁾。児童の認識の中では理科の学習と普段の生活とのつながりが薄いといえる。

そこで、身近な科学に気付かせるには、児童が興味を持ち、普段使ってはいるが、その仕組みに関してはよくわからないものを探求することで、理科の学習内容に興味を持たせることができれば、理解も深まり理科の学習を生活に結び付けることができるのではないかと考える。

今回、小学校理科第 3 学年「豆電球に明かりをつけよう」、第 4 学年「電気のはたらき」、第 5 学年「電磁石の性質とはたらき」、第 6 学年の「電気の性質と働き」と、全ての学年の単元で使用される乾電池について扱うこととした。乾電池は、普段の生活でもよく使用され種類も豊富である。また、エネルギー問題が注目される中、電池についての技術発展は目覚ましい。つまり、身近であり古くから研究されながら、科学の先端技術まで発展的に学ぶことができる教材であると考え。しかし、その仕組みについては小学校の理科で詳しく扱うことはない。そこで、乾電池の仕組みを考えることで、電気やそれを作る電池についての理解を深めさせたいと考えた。

乾電池の中の電解質溶液として使用するのはスライムである。スライムは、透明で観察がしやすく、ゲル状なので溶液をこぼすこともなく扱いやすい。普段使用している乾電池の中の電解質溶液の状態に近い。また、スライム作りは科学イベントで子どもたちに人気のある科学工作の一つである。スライムは、子どもたちが興味を持つものであり、しかも簡単に材料が手に入り、一見電池とはかけ離れているように思える材料である。このスライムを利用することによって子どもたちの興味・関心、また疑問や意欲を持たせることができるのではないかと考えた。スライム電池によって理科学習で学んだことが、どのよう

に普段の生活に活かされ、これから電池がどのように発展しようとしているのかを知るきっかけとなり、科学により興味を持たせることができると考える。

2 実践計画と方法

時間は 30 分程度とする。

教師は乾電池を提示し、それが何なのかを子どもに問う。次に乾電池の仲間にはどんなものがあるかなど知っていることを子どもに発言させる。子どもは、乾電池についてさまざまなことを知っているが、仕組みについてはよく知らないことを自覚させ、探究する意欲を持たせる。その後、スライム電池を作る。電池の極に使う金属はいくつかの種類を準備し、それを極として試させることで電気のできやすさや仕組みを理解させる。電池が作れたことは、電子オルゴールで確認する。ここで、スライムのつくり方によってオルゴールの音色や音量に違いがあることを見出させる。また、よい音色を出すためには電池をどのようにつなげばよいかを考えさせ、直列つなぎを復習させる。果物電池や電池のはじまりにも触れ、ボルタ電堆の説明をしながら、蓄電池の仕組みについても説明する。

次に、電池の種類について資料を使って説明をする。電池の種類は、大別すると化学電池、物理電池、そしてバイオ電池に分けられることを説明し、物理電池の代表である太陽電池の中の色素増感太陽電池を演示実験で見せる。その後、先端的な電池の開発とその現状を知らせる。

スライム電池の仕組みは、次のようになっている。スライムは、ホウ砂水溶液によって与えられたホウ酸イオンを介して直鎖状の高分子であるポリビニルアルコール (PVA) が架橋結合しているものである。水分子（あるいはその集合体）は、この架橋結合の隙間よりも大きいため通り抜けることができないことから、ゲル状になる。また、ホウ砂は四ホウ酸ナトリウム十水和物であるので、水溶液中にナトリウムイオンが存在し、電荷の移動を助けている。負極としてよく用いられるマグネシウム、アルミニウム、あるいは亜鉛は、正極として用いられる銅よりも水溶液中でイオンになりやすい。電池は、水溶液中にマグネシウムなどのイオンになりやすい金属イオンが溶け出し、負極に残った電子が導線を通して正極に移動することから電流が流れる。ここで、極の金属は使用する 2 つの金属のなかで、相対的にイオン化傾向が大きいほうが負極になり、小さいほうが正極になる。従って、もし亜鉛板とマグネシウムリボンを用いると、亜鉛板が正極に、マグネシウムリボンが負極になる。今回使用した金属のイオン化傾向の大小は、一般に $Mg > Al > Zn > Cu$ である。

発展として、金属板の代わりに折り紙を準備した。金属を塗布してある金色、銀色の折り紙を多く用いることで非常に小さいながらも電気を生じることができる。折り紙の表面を少しサンドペーパーで削るといくらか電流が大きくなる。折り紙でも電池を作れることから、物を見るときには、それを作る材料に目を向けないといけないことを考えさせることができる。

3 授業実践

授業は、対象として小学生を想定し、その模擬授業として大学院生を対象に実施した。平成 24 年 7 月 25 日（水）9：50～10：20 長崎大学教育学部化学実験室（517 室）において、長崎大学大学院教育学研究科教職実践専攻の学生 6 名を対象に行った。授業の実施は、岡が行った。

準備物：

ホウ砂飽和水溶液、PVA のり、水、導線付ワニクリップ、紙コップ、割りばし、電子オルゴール、銅板、亜鉛板、アルミニウム板（金属板は全て 10mm×50mm）、マグネシウムリボン、アルミニウム箔、色紙（金紙・銀紙）、フィルムケース、色素増感太陽電池、光源、レモン

実践方法

まず、単 1 の乾電池を見せ「これは何か」と問う。乾電池であることを認識させ、ほかに知っている乾電池はないか尋ねた。数種類の乾電池の名前が出てくるので、それら乾電池の中はどうなっているかを考えさせた。ここで、構造については知らないことを意識させた。

次に、乾電池の中を見ることができないので代わりにスライム電池を作ることを伝え、製作に移った。課題に対する意思決定が観察・実験の意欲に大きく影響するので、始める前にスライムは電池になるかどうか聞いた。電極は正極に銅板を用いた。負極は金属板の種類を変えて調節することにした。初めは、アルミニウム板、次に亜鉛板、最後にマグネシウムリボンの順に実験を行った。実験が早く進んでいる班は、極の金属に折り紙の金紙・銀紙も利用した。電子オルゴールの音色や音量が金属によって違うので、極に使う金属と電気のでき方について説明をし、乾電池の仕組みの説明を行った。説明にはレモン電池などを使った。

ここで、スライムの作り方によって電子オルゴールの音色や音量が異なるため、よく聞こえるようにするにはどうしたらよいかを考えさせた。ここでは、4 年生の電池のはたらかきの学習を利用し電池のつなぎ方に着目させた。それぞれが作ったスライム電池を直列につないで音が大きくなることを確かめさせた。この時、電池として最初につくられたボルタ電堆にも触れた。

この後、電池の種類についての説明を行い、化学電池、物理電池、そしてバイオ電池の説明を行った。物理電池として代表となる太陽電池のなかでも色素増感太陽電池の発電する様子を実際にみせた。最後に太陽電池以外の電池についての先端技術の話をして終了した。

4 アンケートによる授業分析

授業後、参加者にアンケート調査を行った。調査は「1 あてはまる 2 どちらかといえば、あてはまる 3 どちらかといえば、あてはまらない 4 あてはまらない」の 4 件法で行った。以下にその結果を記す。

- 問1 今日の内容の伝え方はよかったですか。
- あてはまる 83%
- どちらかというにあてはまる 17%
- 問2 乾電池の仕組みに興味をわきましたか。
- あてはまる 100%
- 問3 乾電池の種類や仕組みについて理解できましたか。
- あてはまる 100%
- 問4 今日の活動を授業に用いてみようと思いましたか。
- あてはまる 83%
- どちらかというにあてはまる 17%
- 問5 4で用いてみようと考えた方は、どんなときに用いることができると思いますか。意見があれば自由に書いてください。
- 金属が電気を通すというイメージが強くあります。そんなとき、レモンやそのほか様々なものを用いることで、どういったとき、どのような電気（強弱）ができるのかを自分で見つけることができると思いました。
 - 使う金属などによってオルゴールの音の大きさが明らかに違った。小さい音を解決するために直列つなぎでやってみると音は大きくなった。児童は直列つなぎの意味をとらえることができると思った。
 - 折り紙でも電池ができることを知ることができ、驚きました。ぜひ、授業で扱いたいと思いました。（うまくいくことをつかみたいです。）
 - 理科の授業はもちろんだが、環境について考える時などに活用したいと思った。
 - 中3 イオンの単元 中2 電流
 - 小学校での電池の授業でやってみたいと思いました。勤務先のサマースクールで取り組みたいです。
- 問6 今日の内容や活動の流れに
- 授業の導入からすごくテンポがよく参考になった。質問ですが、小学校でこの電気の通り道を体験させたい場合、スライムから作ることはあるのですか。時間的にはどうなのですか。教えてください。
 - 電池について自分が意外と知らないことが分かった。
 - 色素増感型の太陽電池にも触れられ、未来のエネルギーへ目を向けることができました。
 - バイオ電池については、1か月前の情報を調べ用いられる努力が伝わってきました。
 - 「なぜ」と「やってみたい」が交互に繰り返されたので、とても楽しかったです。学校以外でもできそうなので、夏休みなどにやってみたいと思いました。
 - 金紙・銀紙は身近でよいと思いました。溶液としてスライムを用いたのは興味づけ、安全面でよいと思った。金属が溶け出しているのをどのように処理するか考えた。
 - 話し方やひきつけ方が非常にうまいと思った。進め方や教材についてとても勉強になりました。

5 まとめ

アンケート結果からもわかるように、今回の実験は学生に興味を持たせることのできる内容であった。しかし、予想していたよりもスライム作りに時間がかかってしまった。時間の配分などを検討する必要がある。発展学習として考えていたので時間に対して内容が多かったかもしれない。もう少し内容の精選が必要であった。この教材は、電池の仕組みにとどまらず回路の工夫や電池の歴史、エネルギーに関する先端技術、イオン、高分子など伝える側の意図によって多くの学びができる教材であると考え。だからこそ、教えるポイントと対象学年をはっきりさせて取り組む必要がある。電気を通すものは金属であると第3学年で学習するので、折り紙やスライムについては、なぜ電気が通るのかを丁寧に説明する必要がある。身近にある材料を使った実験ではあるが、安全面の指導を忘れずに行うことが大切である。特にホウ砂については、取扱いに注意するよう購入するときに薬剤師からの指導があった。直接児童にホウ砂を触らせることはないが、実験が終わったら、手洗いの指導を忘れずに行う。また、実験後のスライムの処理についても環境学習を考えた指導を行うと良いと考える。

文献

- 1) 平成24年度 全国学力・学習状況調査調査結果のポイント，
<http://www.nier.go.jp/12chousakekkahoukoku/index.htm>.
- 2) 国立教育政策研究所教育課程研究センター 平成18年実施「特定の課題に関する調査(理科)」， http://www.nier.go.jp/kaihatsu/tokutei_rika/.

資料

1 電池の種類

化学電池	一次電池 使い切り	マンガン電池	1.5V，一番電流小 塩化亜鉛
		アルカリ電池	水酸化カリウム
		リチウム電池	3.7V
		水銀電池	1.35V
	二次電池 充電して何度でも 繰り返して使える	ニッカド電池	1.5V
		ニッケル水素電池	1.2V
		リチウムイオン電池	3.6V
		鉛蓄電池	2.05V
	燃料電池		メタノール、天然ガス、 水素などの燃料から触 媒を用いて

物理電池	太陽電池	半導体
	熱起電力電池	熱源から発生する電磁波から電気エネルギーを取り出す
	原子力電池	放射性物質が崩壊する際の熱エネルギー 宇宙探査機
バイオ電池		微生物の力を利用

2 電池の仕組み

(1) 化学電池

電極で起こる化学変化は、酸化還元反応

一極（負極）で起こる反応 … 酸化（物質側からみると）

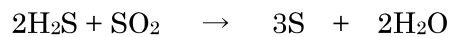
+極（正極）で起こる反応 … 還元（物質側から見ると）

元来 酸化 … 燃焼により酸素と化合する反応

還元 … 燃焼により酸素が離れる反応

拡張した考え 水素が介在する反応にも適用

酸化 … 酸素と化合 あるいは 水素を失う反応



（硫黄の酸化及び還元反応、炭素の酸化反応）

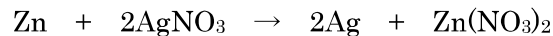
還元 … 酸素を失う あるいは 水素と化合



最も新しい考え 電子の授受 酸素や水素との化合を伴わなくても

酸化 … 物質が電子を失うこと

還元 … 物質が電子を取り入れること



水溶液中 $\text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{NO}_3^-$ イオンに解離



全体 $\text{Zn} + 2\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{Ag}$ 対で同時に起こる

電子の授受が行われる全反応を 酸化還元反応

酸化剤	… 相手の物質を酸化する物質 他の物質から電子を奪いやすい
還元剤	… 相手の物質を還元する物質 他の物質に電子を与えやすい

酸化還元は相対的なもの
同じ物質でも反応する相手によりどちらにもなる

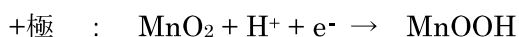
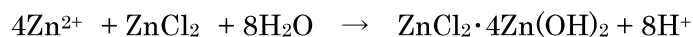
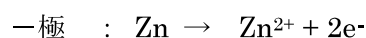
K > Ca > Na > Mg > Zn > Fe > Sn > Pb > (H₂) > Cu > Hg > Ag

イオンになり
やすい順

① 一次電池…一度使いきるとその製品の寿命が終わる

一次電池の例

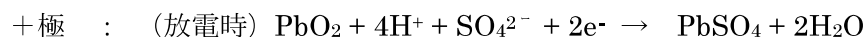
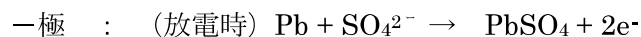
マンガン電池



② 二次電池…充電することで繰り返し使える

二次電池の例

鉛蓄電池



(2) 燃料電池

燃料電池…外から「燃料」を供給することで、いつまでも電気を作り続ける

世界のエネルギー消費の 80%以上が化石燃料に依存している。それによって発生する多量の二酸化炭素が地球温暖化をもたらしたとされ、同時に発生する硫黄や窒素の酸化物は、大気汚染や酸性雨の原因にもなる。そのため、有限でもある化石燃料に代わるエネルギー源として注目されているものの一つ。

① 仕組み

「燃料」である水素を酸化することによってエネルギーを取り出す。

水の電気分解の逆の化学反応。電気分解が電気エネルギーを与えて物質を分解するのに対し、水素と酸素とを反応させて電気エネルギーを取り出すのが基本原理。その時発生する熱も利用できる。直接電気を得られるので、火力発電などの発電法に比べて、発電効率が非常に優れている。発電する場所と利用場所の距離が近いために、送電のロスもないし、その為の大規模な施設も必要ない。

原理的には、水しか排出しない。騒音や振動もない。

発電のための酸素は空気中から供給できるとして、問題となるのは水素ガスの供給で、現在は天然ガスやメタノール、石油などを原料としている。

② 歴史と課題

燃料電池の概念は 20 世紀初頭には原型の装置が出現している。実用化を加速した

のは、第二次世界大戦後の宇宙開発で電池内の材料の研究・開発が進められた。今世紀になって実用化への動きは加速した。しかし、燃料電池ハイブリット車は水素ステーションの整備という課題がある。燃料電池は家庭で利用されている（エネファーム：家庭用燃料電池コージェネレーションシステム）。エネファームは、ガスから取り出した水素と空気中の酸素を化学反応させて発電し、このとき発生する熱でお湯もつくる。化石燃料を燃やす従来のエネルギーシステムに比べ、87%と高い総合エネルギー効率で発電・給湯し、高い省エネ性能が特徴である。

③ 種類

	固体高分子型	リン酸型	アルカリ型	固体酸化物型	熔融炭酸塩型
電解質	高分子膜	リン酸	水酸化カリウム	安定化ジルコニア	炭酸リチウム
作動温度	常温～90℃	150～200℃	50～150℃	700～1000℃	650～700℃
発電効率	40～50%	40～45%	60%	50～60%	45～60%
用途	家庭・自動車・ モバイル機器等	バス	宇宙・深海等特 殊な環境	家庭用	大規模発電

(3) 物理電池

① 太陽電池

地球に照射されている太陽エネルギーは約 174PW(ペタワット、ペタは 10^{15} = 千兆)。そのうち人間が利用できるのは 1 PW ほど。それでも現在の世界中のエネルギー消費量の約 50 倍。

当初は高価で人工衛星や灯台など特殊な場所に利用されていた。

太陽電池は、光の持つエネルギーを直接電力に変換する。太陽電池内部に入射した光のエネルギーは、電子によって直接的に吸収され、あらかじめ設けられた電界に導かれ、電力として太陽電池の外部へ出力される。

新しい太陽電池として注目されているのが、色素増感太陽電池である。従来のシリコン系太陽電池と比べると、発電効率はやや劣るが、低コスト、低エネルギーで生産でき、さらにプラスチックシートの表面層に電池層を形成することで、柔軟性のある発電シートが実現する。

i) 仕組み

半導体中の原子に太陽光が当たると「+」「-」に分かれる性質がある。それを利用し、太陽電池の中の半導体は、始めから「+」が集まる「p半導体」と「-」が集まる「n半導体」の2種類が接合されている。太陽光によって「+」は「p半導体」「-」は「n半導体」に集まり、この間に電位差が生じ、電気を取り出すことができる。

半導体に使用する材料の違いによって太陽電池はシリコン系と化合物系の2種類に大別される。現在はシリコン系が主流。結晶系は発電効率がよく(20～25%)、シリコンアモルファス系は、大量生産に適し低価格が期待されている。

ii) 種類

太陽電池の種類	用途
多結晶 Si 系太陽電池	地上用太陽電池の主流
単結晶 Si 系太陽電池	以前は主流であったが現在は減少しつつある。
アモルファス Si 系太陽電池	薄膜太陽電池で民生用に実用化されている。
GaAs 系太陽電池	効率及び耐放射線特性に優れているため、宇宙用に 応用されているが、民生用や地上用としてはほとん ど使用されていない。
CuInGaSe 系太陽電池	薄膜太陽電池で、地上用として実用化され始め、将 来有望視されている。
色素増感太陽電池	薄膜太陽電池で実用化初期の段階である。

1 Si 系太陽電池

…シリコンを用いる太陽電池。大きく結晶系（単結晶、多結晶）とアモルファス系に分かれる。単結晶系が古くから研究されている。最近では、組み合わせを行ったハイブリッド型が出てきている。（パナソニック 単結晶をアモルファスで挟んだ太陽電池で 24.7%の交換効率を達成 EE Times Japan 2013.2.13）

2 GaAs 系太陽電池

…ガリウム砒素の化合物半導体（ガリウムヒ素はレーザーなどの光半導体デバイスの材料）半導体 Si に比べ結晶速度が非常に大きい

3 アモルファス太陽電池

…1976 年頃から日本中心に。変換効率は 15%程度
類似微結晶 Si 太陽電池がある。

よい点

- ・エネルギー源が自然エネルギーであるため無尽蔵
- ・発電時に汚染物質や騒音を発生せず、環境負荷が小さい。

悪い点

- ・発電効率が悪い
- ・発電量が天候に左右される
- ・コストが高い
- ・大電力が必要な場合、広い設置場所が必要になる。

4 CuInGaSe 系太陽電池

…Si の 100 倍程度光吸収係数が大きい。→薄膜化に適する。

5 色素増感太陽電池

…有機物の一種である色素を使用。

② 熱源発電

地熱などを利用し、水蒸気をつくりタービンを回して電気を作ること。原料が地熱というだけで後は火力発電と同じ仕組み。

③ 熱起電力発電（熱電発電）

鉄鋼関連炉やごみ焼却などの排熱を回収、利用し電気エネルギーに変換する。

熱電変換材料には p 型半導体と n 型半導体の 2 種類がある。n 型半導体に熱が加わると温度が高い部分の伝導電子の持つエネルギーが高くなり、温度が低い方に伝導電子が動いて熱起電力が発生する。一方、正電荷を帯びた正孔を持つ p 型半導体は、熱が加わると n 型半導体と同じように正孔が動いて熱起電力が発生する。n 型と p 型半導体では逆の電位差となるため 2 つを組み合わせると電流が流れる。ゼーベック効果（ペルチェ素子）を利用した発電。

(4) バイオ電池

① バイオ燃料電池

食物からエネルギーを取り出す生態システムを応用した燃料電池である。酵素の働きにより糖분을分解し、電気エネルギーを取り出す。環境変化に対しても安定して働く強力な酵素が不可欠であり、研究開発では、酵素の寿命を延ばすことが課題になっている。血液中の糖分を利用する体内埋め込み型ペースメーカーや、ノートパソコンや携帯機器の電源などへの応用が期待されている。

② 太陽光バイオ燃料電池

光合成を行う植物の生態システムを応用。葉緑素のエネルギー変換を人工的に再現し電気を取り出す。マサチューセッツ工科大学などで研究が行われている。

参考書

- 1) 科学の不思議がわかる本, 満田深雪 監修, 成美堂出版 (2006 年)
- 2) 感動する化学 未来を開く化学の世界, 日本化学会編, 東京書籍 (2010 年)
- 3) 現代化学入門, 田辺敏夫・海老原充・中田吉郎・手塚洋 共著, 学芸図書出版社 (1999 年)
- 4) 新エネルギー技術, 菅原和士著, 日本理工出版会 (2009 年)
- 5) 化学物語 25 講 生きるために大切な化学の知識, 芝 哲夫著, 化学同人 (1997 年)
- 6) 絵ときで分かる基礎科学, 岸川卓史 他著, オーム社 (2007 年)
- 7) 電気化学概論, 松田好晴・岩倉千秋 共著, 丸善 (1994 年)

参照ホームページ HP

- 1) パナソニック : <http://panasonic.jp/battery/drycell/>
- 2) エナジー社 : <http://panasonic.co.jp/ec/>
- 3) ソニー : http://www.sony.jp/battery/lineup/category/alkali_green.html
- 4) コマツ : <http://www.komatsu.co.jp/CompanyInfo/press/2012041911494708151.html>
- 5) 一般社団法人電池工業会 : <http://www.baj.or.jp/knowledge/feature.html>
- 6) 経済産業省 : <http://www.meti.go.jp/>
- 7) マサチューセッツ工科大学 : <http://web.mit.edu/newsoffice/2012/biosolar-0203.html>