

鉛筆電池による酸化還元反応の教材化

八島 弘典

鉛筆を電極に用いて、種々の電解質水溶液を電気分解（充電）して電池をつくり、電気分解が外部からのエネルギーの供給による酸化還元反応であることを、実験を通して学習できる教材について検討した。また、放電により電子メロディを作動させ、放電が自発的に起こる酸化還元反応であることを実感させ、鉛筆の正極に付着、吸着した電極物質（活物質）が電子をもらいやすいこと、負極の活物質が電子を失いやすいことを、実験を通して学習できる教材について検討した。

[キーワード] 中学校選択理科 高等学校化学 酸化還元反応 鉛筆電池 電気分解と放電

はじめに

酸化還元反応は、電子をボールと考えて野球に例えるならば、還元剤であるピッチャーから酸化剤であるキャッチャーへの投球によるドラマである。この投球すなわち電子の移動を利用して外部に仕事をする装置が電池（バッテリー）である。ここでは、鉛筆を用いて電池をつくり、電池の充電・放電を通して酸化還元反応について学習できる実験教材についての基礎的データを紹介するとともに、教材化についての視点を述べる。

食塩水を用いた鉛筆電池

準備

食塩水（0.1M，1M），鉛筆（5H，HB，5B），輪ゴム，ピーカー（100ml），電源装置，みのむしクリップ付き導線，デジタルマルチメーター（METEX社製RS232C）

1. 充電の時間・電圧と起電力

a. 方法

- (1) 図1のように、2本の鉛筆（5B）を輪ゴムでとめ、その鉛筆を0.1M食塩水50mlの入ったピーカーに入れ、電源装置を用いて3Vで30秒間充電する。
- (2) 充電後、電源装置と鉛筆を接続しているみのむしクリップ付き導線を素早くはずして、図1のように、鉛筆電池の起電力を測定する。

- (3) 充電時間を1分，1分30秒，2分，2分30秒，3分にして、方法(1)，(2)のように、それぞれの時間における鉛筆電池の起電力を測定する。
- (4) 加える電圧を5V，7Vに変えて、方法(1)，(2)，(3)のように、それぞれの電圧における鉛筆電池の起電力を測定する。

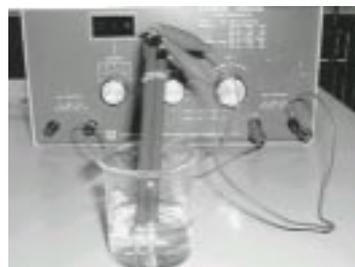


図1 鉛筆電池をつくる



図2 鉛筆電池の起電力を測定する

b. 結果と考察

- (1) 食塩水に鉛筆を入れて充電すると、陽極では塩素，陰極では水素が発生し、それぞれの鉛筆の芯に気体が吸着する。そのために、陽極の鉛筆（水素）が負極，陰極の鉛筆（塩素）が正極の鉛筆電池ができる。

(2) 実験結果は下表のとおりである。

表1 充電圧・充電時間と起電力(0.1M濃度)

充電圧 \ 時間	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
3	1.5	1.9	2.1	2.2	2.2	2.2
5	1.7	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
7	2.0	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2

・充電圧が3Vのとき、鉛筆の芯からほとんど気泡は発生しなかった。

(3) 3Vで2分間充電すると、2.2Vの起電力が得られる。

2. 食塩水の濃度と起電力

a. 方法

食塩水の濃度を1Mに変えて、「1. 充電の時間・電圧と起電力」の方法と同じように鉛筆電池の起電力を測定する。

b. 結果と考察

(1) 実験結果は下表のとおりである。

表2 充電圧・充電時間と起電力(1M濃度)

充電圧 \ 時間	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
3	1.7	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2
5	2.0	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
7	2.0	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2

(2) 2分間以上の充電すると、3V、5V、7Vの充電圧や0.1M、1Mの食塩水の濃度の違いにかかわらず2.2Vの起電力が得られる。

3. 鉛筆の硬さの違いと起電力

a. 方法

(1) 鉛筆(5B)に3Vの電圧をかけて、3分間充電して鉛筆電池の起電力を測定する。

(2) さらに同じ条件で3分間充電して鉛筆電池の起電力を測定する。

(3) 5Bの硬さの鉛筆をHB、5Hに代えて、方法(1)、(2)のように、鉛筆電池の起電力を測定する。

b. 結果と考察

(1) 実験結果は下表のとおりである。

表3 鉛筆の硬さと起電力

鉛筆の硬さ \ 充電時間	3分間	さらに3分間
5B	2.2	2.2
HB	2.1	2.2
5H	2.0	2.2

(2) 3Vで3分間の充電では、鉛筆の硬さが違っていても、鉛筆電池の起電力はほとんど影響がないことがわかる。

3. 教材化への視点

・食塩水(濃度は0.1M程度で十分)を電気分解して鉛筆電池をつくるには、3Vで3分間充電すれば、十分な起電力を得ることができ、電子メロディを接続すると1分間程度メロディを鳴らすことができる。

・充電しているときの鉛筆の芯の様子を観察させるには、5Vで充電した方がよい。

種々の塩化物水溶液を用いた鉛筆電池

準備

0.1M塩化銅()水溶液, 0.1M塩化ニッケル水溶液, 0.1M塩化鉄()水溶液, 0.1M塩化亜鉛水溶液, 0.1M塩化マグネシウム水溶液, 0.1M硝酸カリウム水溶液, 鉛筆(5B), 輪ゴム, ビーカー(100ml), 電源装置, みのむしクリップ付き導線, デジタルマルチメーター

a. 方法

(1) 図1のように、鉛筆を輪ゴムでとめ、その鉛筆を0.1M塩化銅()水溶液50mlの入ったビーカーに入れ、電源装置を用いて3Vで3分間充電する。

(2) 充電後、電源装置と鉛筆を接続しているみのむしクリップ付き導線を素早くはずして、図2のように鉛筆電池の起電力を測定する。

(3) 塩化銅()水溶液に代えて、塩化ニッケル水溶液, 塩化鉄()水溶液, 塩化亜鉛水溶液, 塩化マグネシウム水溶液を用いて、方法(1)、(2)のように、それぞれの鉛筆電池の起電力を測定する。

(4) 方法(3)で起電力を測定した後、さらに3分間充電して起電力を測定する。

(5) 方法(4)で起電力を測定した後、銅が付着した鉛筆とニッケルが付着した鉛筆を0.1M硝酸カリウム水溶液50mlの入ったビーカーに入れ、起電力を測定する。

(6) 方法(5)のように、銅と鉄、銅と亜鉛の起

電力を測定する。

b. 結果と考察

(1) 実験結果は下表のとおりである

表4 塩化物の電解による鉛筆電池の起電力

	起電力	鉛筆の芯の状態
塩化銅 ()	1.2	陰極に銅が付着
塩化ニッケル	1.8	明確な変化なし
塩化鉄 ()	1.8	明確な変化なし
塩化亜鉛	2.2	陰極に亜鉛が付着
塩化マグネシウム	1.6	明確な変化なし

・塩化ニッケル水溶液は1.77V、塩化鉄()水溶液は1.80Vの電位差であり、ほとんど違いは見られなかった。

(2) 塩化マグネシウム水溶液の電気分解では、陰極の鉛筆の芯に水素が吸着していると考えられる。塩化亜鉛水溶液の電気分解では、陰極の鉛筆の芯には水素の吸着と亜鉛の付着が競争的に起こり、亜鉛が付着していくと考えられる。

(3) さらに3分間充電して起電力を測定したところ、塩化マグネシウム水溶液のときの起電力が増大して1.7Vとなったが、他の水溶液のときは変化が見られなかった。この起電力の増大が水素の付着によるものか、さらに実験して調べる必要がある。

(4) 実験結果は下表のとおりである。

表5 鉛筆に付着した金属間の電位差

	電位差 V
銅 - ニッケル	0.2
銅 - 鉄	0.5
銅 - 亜鉛	1.0

(5) 鉛筆に付着した金属間の電位差を測定することにより、各金属の還元力の大きさを調べることができる。

c. 教材化への視点

金属と非金属(気体)の組合せの鉛筆電池をつくることを通して、一般に金属は還元力があり非金属は酸化力があることを実感できる。

ハロゲン化物水溶液を用いた鉛筆電池

準備

0.1Mフッ化カリウム水溶液, 0.1M塩化カリウム水溶液, 0.1M臭化カリウム水溶液, 0.1Mヨウ化カリウム水溶液, 0.1M硝酸カリウム溶液, 鉛筆(5B), 輪ゴム, ビーカー(100ml), 電源装置, みのむしクリップ付き導線, デジタルマルチメーター, 電圧計

a. 方法

(1) 図1のように、鉛筆を輪ゴムでとめ、その鉛筆を0.1Mフッ化カリウム水溶液50mlの入ったビーカーに入れ、電源装置を用いて3Vで3分間充電する。

(2) 充電後、電源装置と鉛筆を接続しているみのむしクリップ付き導線を素早くはずして、図2のように鉛筆電池の起電力を測定する。

(3) フッ化カリウム水溶液の代わりに、塩化カリウム水溶液, 臭化カリウム水溶液, ヨウ化カリウム水溶液を用いて、方法(1), (2)のように、それぞれの鉛筆電池の起電力を測定する。

(4) 方法(3)で起電力を測定した後、塩素が吸着した鉛筆と臭素が吸着した鉛筆を0.1M硝酸カリウム水溶液50mlの入ったビーカーに入れ、どちらの鉛筆が+ - になるかを電圧計で調べる。

(5) 方法(4)のように、臭素とヨウ素がどちらが+ - になるかを調べる。

b. 結果と考察

(1) 実験結果は下表のとおりである。

表6 ハロゲン化物の電解による鉛筆電池の起電力

ハロゲン化物\充電時間	3分間	さらに3分間
フッ化カリウム	1.0	1.0
塩化カリウム	2.2	2.2
臭化カリウム	2.0	2.0
ヨウ化カリウム	1.5	1.5

(2) フッ化カリウム水溶液の電気分解では、陽極の鉛筆にフッ素以外の物質が吸着していると考えられる。このことについては、さらに実験して調べる必要がある。

(3) 実験結果を次表のようにまとめることができる。

表7 鉛筆に付着した気体間の電位差

	電位差 (V)
水素 - 塩素	2.2
水素 - 臭素	2.0
水素 - ヨウ素	1.5

(4) ハロゲン化物の酸化力の大小を電圧計の指針の振れで調べることによって、酸化力が 塩素 > 臭素 > ヨウ素 の関係であることを実感できる。

c. 教材化の視点

鉛筆電池を利用することで、ハロゲンの酸化力の大小を容易に比較できる。

鉛筆電池の放電時における電圧降下

準備

0.1M食塩水, 0.1M塩化銅(Ⅱ)水溶液, 0.1M塩化亜鉛水溶液, 鉛筆(5B), 輪ゴム, ビーカー(100ml), 電源装置, みのむしクリップ付き導線, 電子メロディ, 太陽電池用モーター, デジタルマルチメーター, コンピュータ

1. 電子メロディを接続したとき

a. 方法

- (1) 図1のように、鉛筆を輪ゴムでとめ、その鉛筆を0.1M食塩水50mlの入ったビーカーに入れ、電源装置を用いて3Vで3分間充電する。
- (2) 充電後、電源装置と鉛筆を接続しているみのむしクリップ付き導線を素早くはずして、電子メロディ、コンピュータと接続して、鉛筆電池の電圧降下を測定する。
- (3) 食塩水の代わりに、塩化銅(Ⅱ)水溶液、塩化亜鉛水溶液を用いて、方法(1)、(2)のように、それぞれの鉛筆電池の電圧降下を測定する。

b. 結果と考察

- (1) 実験結果は下図のとおりである。

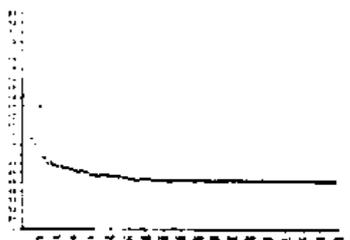


図3 食塩水のとときの電圧降下

- ・食塩水を電気分解してつくった鉛筆電池の電圧降下は、最初の10秒間が非常に大きくなっている。この電池は気体の吸着によるものであり、鉛筆の芯は表面積も小さく、気体の吸着量が少ないため、放電により急激に電圧降下が起こると考えられる。

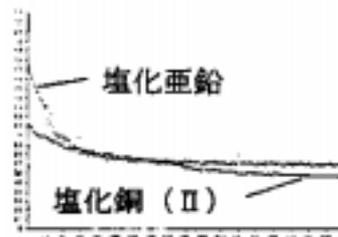


図4 塩化銅(Ⅱ)水溶液, 塩化亜鉛水溶液のときの電圧降下

- ・塩化亜鉛水溶液を電気分解してつくった鉛筆電池は、起電力が大きいため、電子メロディから流れる曲が通常よりも速くなり、ガーガーと雑音が入る。この電池は太陽電池用モーターを回すこともできる。
 - ・塩化銅(Ⅱ)水溶液を電気分解した鉛筆電池は、電圧降下も小さく、長い時間きれいなメロディが流れる。
- (2) 電子メロディがメロディと判別できるのは起電力が0.65~0.70V以上のときである。

c. 教材化への視点

電子メロディが流れることにより、生徒は電気分解(充電)により鉛筆電池ができたことを実感し、充電と放電の関係についても楽しく学習できると考える。

おわりに

鉛筆電池を用いた実験授業を实践して、酸化還元反応において鉛筆電池の利用が有効であることを検証していきたい。

参考文献

木炭を利用した簡単な電池 理科教育指導資料 第28集 北海道立理科教育センター 1996
 杉山剛英 イオン結晶に関する実験 北海道の理科 No.40 pp.29-32 1997
 (やしま ひろみち 化学研究室長)