

電気ペンの装置の改良

ー電池の向きや金属の種類により色が変わる不思議な電気ペンー

富田 一茂

電気分解を利用して字や絵を書く電気ペンは、興味関心を高め、思考力を育成するのに最適な教材である。今回、より不思議な化学マジックとなるよう装置を改良したのでそれを報告する。また、電気ペンを利用した思考力を高める授業展開、探究活動についても検討した。

〔キーワード〕 高等学校化学 電気分解 電気ペン 化学マジック 探究活動

はじめに

電気分解を利用して字や絵を書く電気ペンは様々な実験書やHPで紹介されている。一般的な形は、電池の両極にクギや炭素棒（鉛筆）を接続し、溶液をしみこませたろ紙にこの2本の電極を同時に触れさせると、それぞれの電極で異なる色の線が書けるといものである。^{※1)}

また、金属板（アルミ箔やアルミ皿でもよい）の上に溶液をしみこませたろ紙をおき、クギや炭素棒（鉛筆）で字や絵を書くものもある。この装置では金属板とクギや炭素棒をそれぞれ電池の両極に接続する。^{※2) ※3)}

この2つの方法はどちらも優れたものであるが、前者は2本（2色）同時に線を書かなければならず、後者は単色のものしかできない。そこで、今回改良を加え、電池の接続の向きやペンとして用いる金属線の種類によって色が変わる不思議な化学マジックとし、より生徒の興味関心を高める教材とした。

1 電池の向きや金属の種類により色が変わる不思議な電気ペン

(1) 青紫と赤の電気ペン

〈試薬〉 5%ヨウ化カリウム KI 水溶液、5%デンプン水溶液、フェノールフタレイン溶液

〈器具〉 ろ紙、目玉クリップ（大）、プラスチ

ック板（塩ビ板（白色）をカットして用いた）、銅線（Fケーブルを分解して用いた）、みのむしリード線、9V電池

〈手順〉

- ① 5%ヨウ化カリウム水溶液 50mL に5%デンプン水溶液を約 3mL、フェノールフタレイン溶液を約 10滴加える。
- ② この溶液を浸したろ紙をプラスチック板の上に置き、目玉クリップではさむ。目玉クリップと銅線を9V電池に接続し、銅線で字や絵を書く。銅線を陽極にすると青紫色（実際は黒色に近い）の線になるが、電池の向きを逆にして銅線を陰極にすると赤色の線になる。



図1
青紫と赤の電気ペン

〈注意点〉

- ・ペンに鉄クギを用いると陽極の青紫色の線は書けない。(陰極の赤色の線は鉄クギでも銅線でも書ける。)
- ・デンプンの量が少ないと褐色の線になる。
- ・①の混合溶液は長期間保存はできない。冷蔵庫に入れ、デンプンの腐敗を防いでも1週間程度である。これ以上時間が経つと、溶液が紫色になってくる。

(2) 鮮やかな青と赤の電気ペン

〈試薬〉 5%塩化ナトリウム NaCl 水溶液、フェノールフタレイン溶液、5%ヘキサシアノ鉄(Ⅲ)酸カリウム $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 水溶液、

〈器具〉 銅線ではなく、鉄クギを用いる他は、(1)と同じ。

〈手順〉

- ① 5%塩化ナトリウム水溶液 50mL に5%ヘキサシアノ鉄(Ⅲ)酸カリウム水溶液を約6滴、フェノールフタレイン水溶液を約10滴加える。(ヘキサシアノ鉄(Ⅲ)酸カリウム水溶液の量が多いと青色が鮮やかになるが、溶液も黄色くなる。私は、この溶液を浸したろ紙が、少し黄色くなる程度に調整している。)
- ② (1)と同様に、接続する。鉄クギを陽極にすると鮮やかな青色、鉄クギを陰極にすると赤色の線になる。

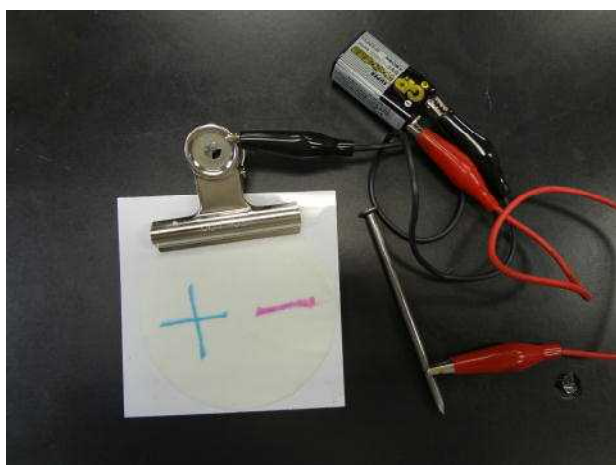


図2 鮮やかな青と赤の電気ペン

(3) 電極の金属を変えると色が変わる電気ペン
〈手順〉

- ① (1)の液にさらに5%ヘキサシアノ鉄(Ⅲ)酸カリウム水溶液を約6滴加え、同様の実験を行う。(1)の液と(2)の液を等量混合してもよい。)
- ② (A)陽極に銅線を用いると青紫色
(B)陽極に鉄くぎを用いると鮮やかな青色、
(C)陰極は銅線、鉄くぎどちらの場合も赤色の線になる。

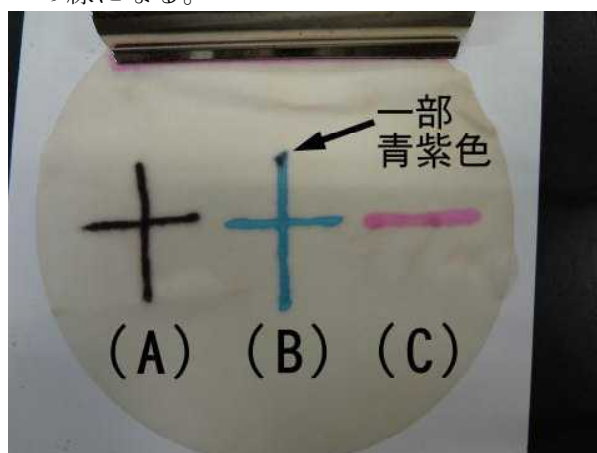


図3 電気ペンの色の比較

〈注意点〉

この溶液は、保存が利かない。溶液の色がしだいに濃くなってくる。

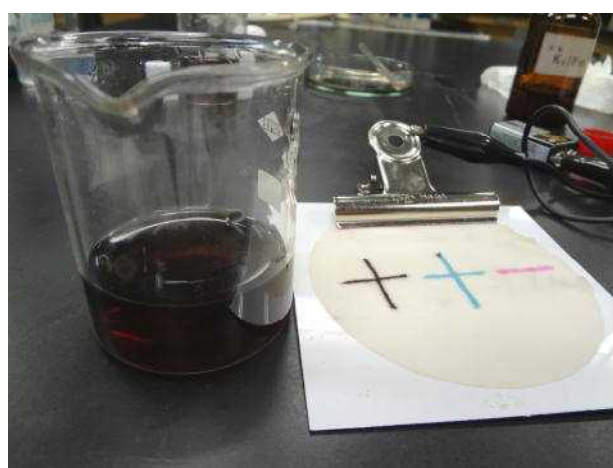


図4 電極の金属を変えても色が変わる電気ペンの溶液

(4) お絵描き用電気ペン

次のような装置も作成した。この装置では、ペンにより 2 色を使い分けることができる。

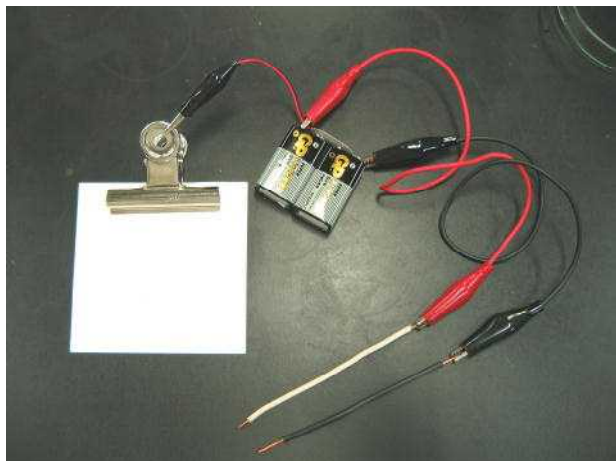


図5 お絵描き用電気ペンの装置

電池の接続方法は次の通りである。



図6 お絵描き用電気ペンの電池のつなぎ方

2 原理

(1) 青紫と赤の電気ペン

陽極では $2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$ の反応によりヨウ素が生じるので、ヨウ素デンプン反応により青紫色になる。デンプンを入れない（またはデンプンの量が少ない）と、ヨウ素の褐色となる。陰極では $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ の反応により OH^- が生じるので塩基性になり、フェノールフタレインが赤色になる。

(2) 鮮やかな青と赤の電気ペン

陽極の鉄が $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ の反応によりイオンになる。溶液にヘキサシアノ鉄(Ⅲ)酸カリウム水溶液を加えてあるので濃青色沈殿が生じて、鮮やかな青色に発色する。

陰極での反応は(1)と同じである。

(3) 電極の金属を変えると色が変わる電気ペン

(1)と(2)の実験を合わせたものである。陽極を銅から鉄に変えると、鉄はイオン化傾向が大きいので、 $2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$ よりも、 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ の反応の方が起こりやすくなり、線の色が鮮やかな青色に変わる。ただし、 $2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$ の反応が起こるかどうかは、陽極と陰極の距離などでも変わる。実際、鉄クギで線を書いてみると、目玉クリップに近い位置では、ヨウ素デンプン反応の青紫色が混じってくる。(図3) また、金属板(アルミ箔など)の上にヨウ化カリウムとデンプンの混合水溶液をつけたる紙をおき、金属板を陰極、ペンを陽極にして字を書く方法では、陽極と陰極の極板間距離が 1mm 程度と非常に短いので、鉄クギを使っても $2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$ の反応が起こり、青紫色の線が書ける。

(4) お絵描き用電気ペン

目玉クリップが、ペンによって陽極になったり、陰極になったりするように改良した。生徒は、このように 2 本の電池の正極と負極を同一の場所に接続する回路は不思議に感じるようであり、回路の理解に繋げることができる教材である。

ヨウ化カリウム+デンプン+フェノールフタレインの溶液を用い、陽極で青紫色の線を書くと陰極となる目玉クリップの部分が赤色になる。ただし、2本の銅線を同時にろ紙に触れさせ2色の線を同時に書くと、目玉クリップではさんだ部分は無色のままである。9V電池2本直列での電気分解になり、目玉クリップは陽極にも、陰極にもならないのがわかる。

3 授業展開

(1) 「青紫と赤の電気ペン」の授業展開

授業展開の一例を紹介する。班ごとの実験ではなく、個人実験にすると面白い。ヨウ化カリウム水溶液にデンプン水溶液とフェノールフタレイン溶液を加えたものを、あらかじめ班ごとに準備しておく。混合溶液にはA液などとラベルをつけて、成分は知らせないでおく。全員が実験すると、同じ班で同じ溶液を用いているのに色が違う生徒が出て、「あれ？どうして？」という疑問の声が上がる。電池の向きが異なっていることに気がつく生徒も出てくる。そこで、溶液の成分を知らせて、なぜこのような結果になるか考察させるとよい。

(2) 考察を深めるための授業展開

実験について考察を深めるためには、考察の前提となる知識とその理解がなければならない。電気ペンの理解には、電気分解の反応式が正しく書けることが必要不可欠である。反応式がわからないと「実験は大変わかりやすかった。反応式が作れるよう頑張りたい。」「なぜ字が書けるのか、理解できるように頑張ります。」という感想が多くなる。このような感想を読むと、「実験はただ楽しいだけ？」「実験結果を考察させるのは無理なのか…。」「残念だが、座学と実験は別物になっている。」と感じる。

そこで、私はこの実験の前には必ず小テストで反応式の定着を計り、その後すぐに実験を行う。以下は、今年度の生徒の感想である。（今年度はオリジナルの方法ではなく、アルミ箔上のろ紙に単色の字を書く方法で実施した。赤ペンは塩化ナトリウム水溶液＋フェノールフタレイン溶液、青紫ペンはヨウ化カリウム水溶液＋デンプン水溶液を用いた。）

- ・電気ペンは不思議でしたが、自分で反応式を書いて、面白さがさらに増しました。反応式が書けると実験が楽しくなりますね。
- ・今まで化学式などで考え、教えられたこと

が実際にできてとても気持ちよかったです。実験する楽しさがわかった気がします

- ・電気ペンの字が書ける理由を考えるのが楽しかったです。

科学的な思考に面白さを感じた感想が多かった。思考力を高めるには、実験も含めた単元全体の授業展開の検討が大切である。

4 探究活動

電気ペンは様々な探究活動に発展させることができる。

- ・別の色の電気ペンを開発する。
- ・銅線を陽極にしたときに $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ の反応が起きているのか調べる。
- ・陽極に他の金属を用いたときに、陽極の溶出と $2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$ のどちらの反応が起きるか、また両方が同時に起きているのか調べる。
- ・字や絵を書いたものを放置すると赤色だけが消えていく。この理由を考察する。

現在化学部の生徒にこれらの探究活動に取り組ませている。電気ペンは、探究心を高め、科学的思考力を育成することのできる優れた教材であると考えられる。

写真の色についてはモノクロ印刷物では判別できないため、北海道立教育研究所附属理科教育センター HP でご確認ください。

参考文献

- 1) 化学教育研究会編 授業に役立つ化学実験のくふう pp.137
大日本図書 1992
- 2) 北海道立教育研究所附属理科研究センター HP
http://www.ricen.hokkaido-c.ed.jp/221kagaku_t/2207ka-dennkipen/dennkipen.html
- 3) 鬼塚公志 いますぐできるわくわく化学実験 pp.78
自費出版 1998

（とみた かずしげ 北海道旭川東高等学校）