

# モータのしくみに迫る 学習プログラムの開発

静岡県立静岡東高等学校

1年 小林 ゆい

## 1 自由研究を始めるにあたって

私の研究テーマはモータのしくみに迫ることです。モータに興味を持ったきっかけは、鉄の釘、単三乾電池、ネオジム磁石を使ってモータを作る実験がとても不思議で面白く興味を持ったからです。実験前はこれら3つの材料を使ってモータを作ることができるとは信じられませんでした。指示に従って、磁石を鉄の釘の底に取り付け、釘の先端を乾電池の正極に取り付け、リード線を乾電池の負極と磁石の側面に接続すると、磁石の付いた釘が激しく回転しました。私は驚くと共に、それがどのようなしくみで動いているのかということにとても興味を持ち、詳しく調べてみたいと思いました。このようなきっかけで、私は2019年度に自由研究として、モータが発明される歴史の中でキーとなったと考えている実験の中から、ボルタの電池に関する実験の追体験を行いました。実験を行ううえで、簡易的なものですが道具や測定器を自分で作ることにチャレンジすることにより、実験環境を整えることの大切さも学ぶことができました。また、測定器を作成するうえでプログラムを組むとき、チュートリアルやサンプルプログラムで学び、参考にしながら、自分の研究や目的にあったプログラムを作っていたのですが、このアプローチの仕方が、まさに先人の研究の追体験を行いながら学び、自分の研究を発展させていくことと同じだと思いました。このように、先人が行った実験を追体験したり、参考にしながら自分が疑問に思ったり、気づいたことを試しながら試行錯誤することにより、追体験を行うことの大切さを改めて自分の体験として感じるようになりました。これからもこのような研究を積み重ねていくことで、私の研究テーマであるモータのしくみに迫っていきたいと考えています。

## 2 研究の目的

「モータのしくみに迫る」という研究テーマのもと、2019年度はその1回目としてボルタの電池のしくみについての研究を行いました。ボルタの電池の改良を行なっていく中、3回目の改良にて劇的に動作時間を伸ばすことに成功し、そのしくみについて仮説を立てました。また、動作データ測定中に室内気温の温度変化による測定値のばらつきが起こるなど、実験を行う上での課題が浮かび上がってきました。実験環境が不安定で測定値にばらつきが生じるということは、研究を行なっていくうえで大きな問題となります。このようなことから本年度の研究は、より良い実験環境を整えるために必要なことを考察し、使用する実験器具や測定器の作成、改良をおこなうとともに「ボルタの電池改良その3」にて、劇的に動作時間が伸びた原因やそのしくみについて立てた仮説について、溶液色の変化から考察を行いたいと考えています。また、本年度の研究を進めていく中で、新たに生まれた研究目的である学習プログラムの開発にも取り組んでいきます。

## 3 研究の方法

### (1) ボルタの電池改良その3における溶液色変化の考察

2019年度の研究において、ボルタの電池改良その3で溶液色が水色に変化したことのしくみを考察します。ボルタの電池改良その3で使用した過酸化水素（オキシドール）が銅を酸化したことにより、酸である希塩酸に溶けたのではないかという昨年度の研究で立てた仮説の検証を行います。希塩酸のみ、

過酸化水素のみ、希塩酸+過酸化水素の3種類の溶液に銅片を入れ、溶液色の変化を観察し、考察を行うことでそのしくみを明らかにしたいと考えています。

## (2) 実験環境の改善

2019年度研究における、実験環境にどのような問題点があったかをあげ、その解決方法を考察し、改善を行なっていきます。

### 2019年度研究における実験環境の問題点と改善方法

ア ボルタの電池の動作実験において、日中と夜間など室内温度が大きく変化することにより出力電圧の変動が起こってしまう等、測定データ値の変動がありました。このことから、正確な測定データを得るために、ペルチェシステムを利用した温度管理システムを構築します。

イ ボルタの電池の動作実験において、測定器に表示されている電圧や電流値を目視により読み取り手動にて記録していました。このことから、Raspberry Pi を利用して電流、電圧値を自動で記録するシステムを構築します。

ウ ボルタの電池改良その3の動作実験において、動作開始60分くらいから、正極の溶液が水色に変化していることに気がつきました。このように実験中の変化は電圧や電流だけではなく、溶液色が変化するなど、映像を記録していく必要があることから、Raspberry pi とカメラを使用した記録システムを構築します。

エ 実験には複数の測定器を使用する必要がありましたが、各測定器の値にばらつきがあることがわかりました。各測定器の値をそろえるため、簡単な定電圧発生器をブレッドボード上に作成しましたが、今回、ユニバーサル基板にはんだ付し、3.3[V]の分圧回路を新たに作成することで、より使いやすく改良をおこないます。

## (3) 学習プログラムの開発

静岡STEMアカデミーなど、様々な科学に関する学習プログラムの受講や自由研究をおこなっていくなか、私が体験した興味深かったことや楽しかったことを盛り込むことで、科学に興味を持ってもらえるような学習プログラム開発をおこないたいと考えました。2019年度研究にておこなった、ボルタの電池の実験内容と本年度研究での検証実験や考察から、小学校高学年から中学生向けにアレンジを行い、下記目標を達成できるような学習プログラムの開発を行います。

### プログラムの内容

ア プリント基板をつかったアクセサリを作ろう

イ 電池をつくってモータを回そう

## 開発目標

- ア 楽しみながら科学に興味を持ってもらえるプログラム
- イ 化学電池やモータのしくみに興味を持ってもらえるプログラム
- ウ 廃液処理など、SDGs 的な学びにつながるプログラム
- エ 安全に実験を行えるよう配慮したプログラム
- オ 家庭でも気軽に実験内容を再現できるプログラム

## 留意点

安価で手に入れやすく、興味を持ってもらえ、安全に実験を行える材料と器材を選定します。化学実験を行うことによる危険性を検証し、実験を安全に行うことができるか確認を行います。廃液、廃材などの処理にあたっては環境に十分配慮し、国や自治体の基準値を調べ適切な処理方法を決めます。実験をおこなっていくにあたって、各手順を行っている時に、この作業はどのような目的でおこなっているのかということの説明し、考えてもらいながら実験を進めていけるようにします。

## 4 結果

### (1) ボルタの電池改良その3における溶液色変化の考察

2019年度の考察では、銅は希塩酸には溶けないので、強力な酸化剤である過酸化水素が銅を酸化することにより酸化銅になることで、希塩酸に溶け、溶液が青くなったと考えました。この仮説を検証するために、過酸化水素（オキシドール）を使用して、希塩酸のみ、過酸化水素のみ、希塩酸と過酸化水素の3種類の溶液に銅片を入れ、溶液の色の変化を観察します。（希塩酸の濃度はボルタの電池改良その3で使用したものと同一、希塩酸原液の5倍希釈のものを使用しました）仮説が正しいとすれば、希塩酸のみの溶液は色が変わらず、過酸化水素のみの溶液色は変わらないが銅片は酸化されることにより表面の色が黒っぽく変色、希塩酸と過酸化水素の混合液の溶液色は青く変化するが銅片の表面は酸化した銅が希塩酸に溶けるため綺麗な状態になると考えました。

この考察をもとに実験をおこない観察したところ、仮説の通り銅片の入った希塩酸と過酸化水素の混合液のみ、溶液色が青く変化するの確認ができましたが、しばらくして希塩酸のみの溶液色も青く変化していることに気が付きました。実験結果としては、銅片を入れた希塩酸と希塩酸 + 過酸化水素溶液では、それぞれ溶液色が青色と青緑色に変化しましたが、銅片を入れた過酸化水素溶液での色の変化は観察できませんでした。銅片を入れた希塩酸と銅片を入れた希塩酸 + 過酸化水素溶液では、ともに白色の沈殿物が確認できました。この沈殿物は、塩化銅(I)ではないかと考えました。また、溶液の青色は銅片が溶け、銅イオンとなり水分子と結合した時の色で、緑色は銅イオンが塩化物イオンと結合した時の色だと考えました。このことから、希塩酸のみの溶液の色が変化したことに、塩化物イオンが関わっているのではないかと考えました。金属が溶液中に溶けるには、金属が酸化されることと、その溶液が金属酸化物を溶かすという2つのステップが必要です。また、過酸化水素のみの溶液では、銅片が酸化され表面色の変化が起こると予想していましたが、銅片表面からの気体発生は確認できましたが、色の変化は確認できませんでした。この気体は銅表面の触媒効果で、過酸化水素が分解されて酸素が発生していると考えられます。今後の研究で考察を続けていきたいと考えています。

## (2) 実験環境の改善

### ア 温度管理システムの構築

BME280 環境センサーにて測定したデータを Raspberry Pi を利用して処理し、測定温度によりペルチェ素子の動作制御を行うことで、簡易的な温度管理システムを構築しました。20L の収納ケース内を BME280 環境センサーの気温値を入力した Raspberry Pi にてペルチェ素子の制御をおこなうことで一定の温度に保つことができるようにします。ペルチェ素子は入力電圧の極性を変えることで、吸熱と排熱面を変更できますが、今回はケース内を保温する目的で設計をおこないました。なお、収納ケースは、実験時、内部が観察できるように半透明のものを使用しました。ペルチェ素子の動作電圧は、制御回路との兼ね合いから 5[V]での動作としました。

### イ 電流電圧値、自動記録システムの構築

INA226PRC 電流・電圧・電力計モジュールにて測定したデータを Raspberry Pi を利用して処理し、CSV 形式にて自動記録するシステムを構築しました。Raspberry Pi に smbus2、INA226 ライブラリーなどのインストールをおこない、Raspberry Pi 単体でのデータ保存をおこなえるようにしました。

### ウ 映像記録システムの構築

小型カメラモジュールと Raspberry Pi を使用した、自動画像記録システムを構築しました。Raspberry Pi カメラモジュールを専用端子へ接続し、ライブラリーをインストールすることで、Raspberry Pi 単独でタイムラプス撮影をおこない記録できるようにしました。

### エ 基準電圧発生器の改良

基準電圧発生器のブレッドボードから基板への半田付けと 5[V]基準電圧から 3.3[V]を発生させる分圧回路の作成をおこないました。

3.3[V]分圧回路の作成は、同じ値の抵抗、R1, R2, R3 を直列に繋ぎ、抵抗値の比が 1:2 になる R1, R2 の接続場所から 3.3[V]を取り出します。また、R1, R2 を並列に繋ぎ、R1, R2 の合成抵抗と R3 を直列につなぐ回路でも、抵抗値の比が 1:2 となる R1, R2 の合成抵抗と R3 の接続場所から 3.3[V]を取り出すことができます。

## (3) 学習プログラムの開発

学習プログラムの開発において、SDGs 的な学びを取り入れることに留意しました。国連は、持続可能な社会を作るため 17 の目標をつくりました。SDGs が目指す持続可能な社会を作るためには、社会や世界は一つの地球という環境の中で循環していることを認識し、世界中の人々が自分自身の問題として行動していくことが大切です。このプログラムでおこなうプリント基板のエッチング処理の廃液中には銅が溶けているため、このままでは水を汚してしまい環境に負荷をかけてしまいます。私たち日本人は水に恵まれているため、普段の生活で当たり前のように大量の水を使用しています。この学習プログラムの中に SDGs 的な学びを取り入れることで、この実験に関係する、目標 6、ターゲット 6.3 について紹介し、水を大切に使用することの大切さを伝えたいと考えました。このことにより、プログラム参加者に、

持続可能な社会をつくるためには、私たち一人一人の行動が大切であり、世界中の人々すべての問題として協力して解決していく必要があることを認識してもらうことができると考えました。

#### ア プリント基板をつかったアクセサリを作ろう

ボルタ電池と同じ酸化還元反応を利用してプリント基板の銅を溶かすことで、好きな絵を描いたアクセサリを作るプログラムを作成しました。プリント基板の銅箔上に油性マジックで好きな絵を書いてもらい、塩、クエン酸、オキシドールなどの身近な材料を使用したエッチング液を用いて銅を溶かします。油性マジックで絵を書いた部分は保護されることで銅が溶けず、重曹を用いて中和した後マジックをふき取ると、きらきら光った銅の絵が浮かび上がります。エッチング処理中、溶液が綺麗な青色に変化するので、とても楽しく実験をおこなうことができます。廃液処理では、銅を取り除くためにアルミ箔を使用した処理をおこない、排出基準を満たすことでSDGs的な学びにつなげました。

#### イ 電池をつくってモータを回そう

プリント基板をつかったアクセサリの作成で使ったエッチング液を使い、亜鉛版と銅板を使用したボルタ電池を作成してモータを動作させるプログラムを作成しました。身近な材料を使用した電池でモータが回ることや、ボルタ電池がすぐに電流が流れなくなってしまう欠点があること、オキシドールを入れると再びモータが回ることなどを体験してもらうことで、電池やモータのしくみに興味をもってもらえることを期待しています。時間的余裕があれば、micro:bitなどを用いてプログラムすることで電圧計を作り電池の電圧測定をおこなうと、プログラミングの体験にもなり、より魅力的なプログラムになると考えます。

### 5 終わりに

この研究の目的は、2019年度の実験で課題になった、より良い実験環境の構築を目標に、使用する実験器具や測定器の作成、改良、「ボルタの電池改良その3」にて、劇的に動作時間が伸びた原因やそのしくみの考察、小中学生向けの科学に関する学習プログラムの開発に取り組むことでした。研究の成果として、実験環境の問題点としての課題は、簡易的ながら、温度管理システム、電流電圧記録システム、映像記録システムを作成することができ、期待通りの動作を確認することができました。ボルタの電池改良その3の仮説検証も行うことができましたが、新たな疑問が生まれるなど、今後の考察が必要となりました。今回、新たに小中学生向けの学習プログラムの開発に取り組みましたが、今まで受講させていただいた講座や2019年度の研究から得たことなどを盛り込み、私が体験した楽しさを追体験できるようなプログラムを作成しました。小中学生に向けた科学学習プログラムの開発において大切なことは、講義の中での仮想的な実験ではなく、実際に実験を行い体験するということだと考えています。プログラムを魅力的なものとするためには、「なるほどなるんだらう不思議だな」という面白さだけではなく、実験をしていく中で「これ知ってる!」という、何か嬉しい気持ちになるようなことが重要だと感じました。今回開発したプログラムでいえば、家庭で手に入れることが難しい材料や道具を使う実験ではなく、普段買い物に行くお店で手に入れることができる身近な材料や道具を使用したプログラムを考えました。2019年度の研究を行った中で、私が面白いと感じることができたり、学校で習ったことが実験によって身近に感じたりしたことを盛り込んだプログラムを心がけました。今回自分なりに素敵なプログラムができたと感じています。今後、実際に対象となる小中学生にこのプログラムを体験してもらい、フィードバックを行いながらより良いプログラムにブラッシュアップしていけたらと考えています。私が実験や研究をおこなっていくなか感じた楽しさを、このプログラムを通して追体験してもらうことで、科学って楽しいなと感じていただけたらとても嬉しく思います。