

# 電気の研究 5 ～ケルビン発電機と静電気～

下田市立下田中学校

3 年 山田咲翔

## 1 動機

いままで4年間電気について研究してきた。5年目の今年は、電気の起源を知らなかったため調べると、最初に発見されたのは静電気だと分かった。また電池の起源も最初は静電気を発生させるものであったと知り、原点に戻って、昔の発電機を調べた。そこでケルビン発電機を知った。ケルビン発電機は静電気学の中でも静電気発生器の起源に近いものであると分かり興味がわいた。仕組みを調べたが、情報が少なく、自分が疑問に思う点も数多くあったので、ケルビン発電機について少しでも詳しい事を解き明かしたいと思い、研究をすることに決めた。

## 2 ケルビン発電機の原理

ケルビン発電機の仕組みは写真のような装置の上部に水を流すとコイルの中心を通過して下に落ちる。このときにコイルは多少の電位差があるため静電誘導をし、水も帯電するというもので、それが下の缶に蓄積されることで発電することができる。



## 3 研究目的

上記の原理から、

- (1) 原理は正しいものなのか（一般的な作成方法でないと動かないのか）
  - (2) 装置について ケルビン発電機が生み出す静電気は装置を動作させられるほどのものなのか
  - (3) 発電量について ケルビン発電機発電量はどれほどなのか
- という3つの疑問を持ったため、それを確かめていくことを目標とした。

## 4 〈研究1〉 原理について

ケルビン発電機の原理の中には疑問に思う点がいくつかあった。そこで、原理の内容が正しいのかを確かめる為に条件を変更したケルビン発電機で実験した。

### (1) 下の水受けの缶の統合

#### ア 疑問

通常の装置では、コイルの下の水受けは2つの缶に分けられていて、一の電気を持ったコイルには+の電気を持った水滴が引っ張られて下の缶に落ち+の電気が溜まる。缶に繋がっているコイルの+の電気も強くなるので、一の電気を持った水滴が引っ張られて落ちる。その動作が続くことによって、左右の缶は強い電気を持つようになる（大人の科学 第22号 P.52）。本当にコイルを通してだけで極が分かれるのかと疑問に思った。

#### イ 予想

水受けを一つにすると極が混同して、アルミ箔が動かなくなると予想した。

#### ウ 方法

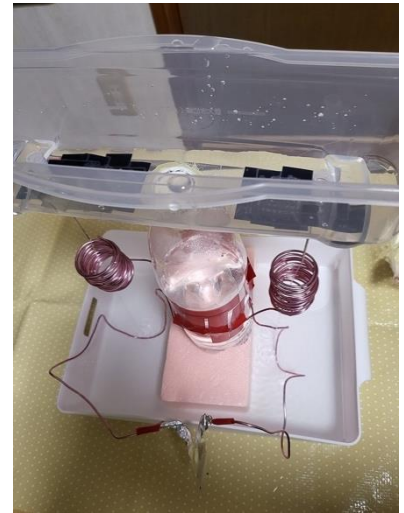
水受けを一つに統合し、コイルの中心を通った水が水受けで混ざり、極が分かれないようにした。この状態でアルミ箔の動きを観察した。

#### エ 結果

コイルの位置や注射器の向きを調節したがアルミ箔は動かなかった。

#### オ 考察

結果から水は帯電しなかったと思われる。その他の条件は同じなので水受けの缶を二つに分ける必要があると分かった。それぞれの缶は極を分ける為にあり、その役割を持っていた缶の一つに統合したことで帯電しなくなり、アルミ箔も引き寄せられず、動かなかったと思われる。これは通常のケルビン発電機の缶に極があることの証明になる。



水受けを統合した

### (2) コイルと缶の接続を平行にする

#### ア 疑問

一極に帯電したコイルの中心を水滴が通ると、静電誘導で水滴は+極に帯電する。コイルを反対側の缶に交差して接続する理由は、缶の水の極と、その缶に繋がったコイルの電気の極を合わせるためである。

(ケルビン発電機 <https://www.gifunct.ac.jp/elec/habuchi/demae/Kelvin/Kelvin.html>)

僕は本当に静電誘導でコイルと水の極が違うのかを疑問に思った。

#### イ 予想

原理が正しければコイルと缶を平行に繋げると極が混同するので、通電しなくなると考えた。

#### ウ 方法

コイルと下の缶を交差させず平行に配置したときのアルミ箔の動きを確認した。

#### エ 結果

アルミ箔は全く動かなかった。

#### オ 考察

結果から、発電ができなかったのも、コイルと缶を平行に繋いではいけないということが分かった。原理の説明の通り静電誘導が起こっていたとすると、コイルと溜まった水の極を合わせないと静電気を発生させられないのではないかと考えた。今回の実験では静電気の極を測る機械を用意できなかったためこれ以上詳しく確認できなかった。



コイルと缶が平行

### (3) <研究1>原理についての結論

研究1では原理に踏み込んだ研究を行ったが、ここで出た研究結果はどれも文献に記載されていた説明を裏付けることができると考えた。文献に記載されていた原理の一部を証明できたため、疑問の解消につなげることができた。

## 5 〈研究2〉装置について

ケルビン発電機が生み出す静電気はアルミ箔以外のものを動かすことができるか疑問に思った。そこで、低電力で動く3つの装置（箔検電器、フランクリンモーター、スパークギャップ付ネオン管）を作成し、ケルビン発電機で動かした。自作の装置が動けば、ケルビン発電機の性能が確認できると考えた。

### （1）箔検電器の実験

#### ア 装置の説明

箔検電器はビンの中に入っているアルミ箔が開くことで電気が発生しているかを確かめられる装置である。上部の板に静電気を通るとアルミ箔が帯電し、アルミ箔に同じ極が集中し、2枚のアルミ箔が反発して開く。箔検電器が帯電していないとき、アルミ箔は閉じている。

箔検電器のアルミ箔が開くだけでは発電量を比較できないと考え、分度器のコピーを装置の中に入れ、アルミ箔が開いた角度を測り、発電量を比較できるようにした。

#### イ 予想

アルミ箔が開いて止まった所が発電機の性能になると予想した。

#### ウ 結果

アルミ箔が開き、開ききった途端にパチパチとスパークと似たような動きをし、すぐに閉まってしまった。開いて急に閉じる動きを繰り返していた。

#### エ 考察

アルミ箔が開いたことで、ケルビン発電機は静電気を発生させている事が分かった。

スパークのような動きは、限界まで電気が溜まり、そのタイミングで全ての電気を一気に放電してしまうのかもしれないと考えた。アルミ箔が開くことは予想していたが閉じてしまう事は予想外だった。



箔検電器

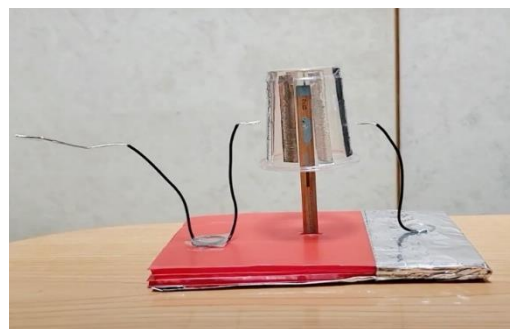
### （2）フランクリンモーターの実験

#### ア 装置の説明

フランクリンモーターは同じ極同士が反発する性質を利用してカップが回転する装置で、静電気を片方の端に近づけると、カップが高速で回転する。

#### イ 方法

プラスチックのカップに、細いアルミテープを等間隔に貼り付け、底の中央に画鋲を刺した。机の上にプラスチック段ボールを置き、中央に鉛筆を刺した。鉛筆の平たい面の先に、プラスチックカップの画鋲を乗せた。紙コップの左右に実験用の導線を配置し、片方は下に敷いたアルミ箔に接触するように、もう片方はプラスチックカップを向くようにした。プラスチック段ボールの3分の1くらいと、裏面全部にアルミ箔を貼った。



フランクリンモーター

#### ウ 結果

位置を調整すると高速で回転した。継続的に回転し、かなりふらついてはいたが倒れなかった。しかし、決められた位置にカップを置かないとモーターが回らないことが多かった。

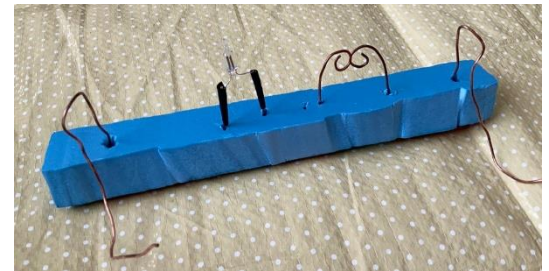
## エ 考察

フランクリンモーターを発電量の計測に使いたかったが、モーターが回転しない事も多くカップのバランスが不安定で、アースの位置を毎回同じ状態に揃えることが難しい為、発電量の比較計測には不向きだと思った。

### (3) スパークギャップ付きネオン管の実験

#### ア 方法

長さ15cm、幅1cmの棒状の発泡スチロールを用意した。3本の銅線を写真のように発泡スチロールに刺した。1箇所は導線の端を丸め、丸めた導線どうしの間隔が1mmになるように設置し、スパークするようにした。もう1箇所はネオン管を取り付けた。導線の左右の両端を水受けのアルミ缶に掛けられるように加工した。スパークギャップ付ネオン管を缶に引っ掛け、導線が水に浸かるようにした。ケルビン発電機が動作するとネオン管に静電気が伝わり発光する。



スパークギャップ付きネオン管

#### イ 結果

ケルビン発電機に水を流し、少し時間が経過したらスパークギャップに電流が流れ、ネオン管が発光した。また、スパークは起きたがネオン管の光り方が不安定だった。

#### ウ 考察

限界まで電気が溜まった時にスパークし、電気が通りネオン管に電気が繋がったため、同時に発光したのではないかと考えた。

### (4) <研究2>装置についての結論

3種類の装置を作り、どの装置も動作するとわかった。ネオン管の光り方から、ボルタ電池の電気は継続して流れ続けるものであったが、今回のものは継続して流れるのではなく、ある一定まで溜まった時に一気に放出するような電気だと考えた。そのため、ある程度の周期で光るような挙動になったと考えた。実験中は湿度など環境に左右されることが多かった。特にフランクリンモーターはバランスを取った設計をするのが難しかった。

## 6 <研究3> ケルビン発電機が発電量について

様々な資料を見たが、コイルの巻数を細かく変更して発電量を比較している資料が少ない為、自分で確認したいと思い、ケルビン発電機のコイルの巻き数と発電量の関係を調べた。

### (1) 発電量の測定 (ガルバノメーター)

#### ア 予想

ガルバノメーターは非常に電流の小さい電気を測るために使われるので、静電気も測ることができると思った。

#### イ 方法

低電力用のガルバノメーター (UCHIDA 検流計 TM 高感度型) を使い、電力を測定した。リード線をケルビン発電機の2つの缶に接続した。

#### ウ 結果

ケルビン発電機のような場所に繋ぎ接続を逆にしても針が触れず測定はできなかった。

## エ 考察

ガルバノメーターは理科の授業で同じ型の物を使った時には極小の電気を測ることができたので、ケルビン発電機の静電気も測ることができると考えたが、ケルビン発電機の電流はパルス電流といい、通常の電流とは違い一瞬の電流なのでこの検流計では計測できないことが分かった。

## (2) 発電量の測定（自作の装置）

### ア 目的

ガルバノメーターで電流が測定できなかった為、自作の装置を使って計測した。

### イ 予想

巻き数が多い方が静電誘導の範囲が広いので発電量が増えるのではないかと予想した。

### ウ 方法

#### (ア) 使用する装置

- ・スパークギャップ付きネオン管
- ・分度器付き箔検電器

#### (イ) 実験方法

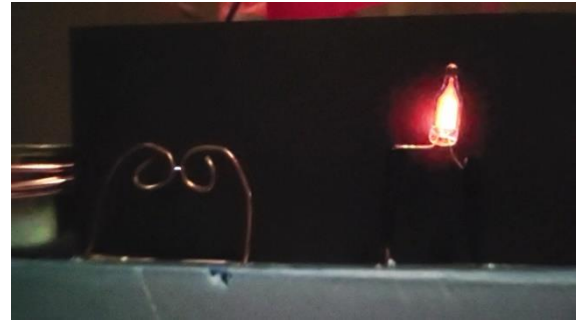
スパークギャップ付きネオン管のスパークギャップの離れている部分(幅 1 mm)に電流が流れるには 3000V の電圧が必要であることから、スパークするまでの時間を計測することで、ケルビン発電機が 3000V 発電するまでの時間を調べることができる。コイルの巻き数を 1 巻ずつ減らしながら、スパークギャップ付きネオン管の発光間隔と箔検電器のアルミ箔が開く角度を計測した。ネオン管の発光間隔は、最初に発光してから 5 回目の発光までの時間を測定し、1 秒あたりの発光間隔を割り出した。箔検電器の角度はアルミ箔が開いた時の最大の角度を計測した。

## エ 結果

| 巻き数 | 拍検電器の角度 | ネオン管の発光間隔 | 巻き数 | 拍検電器の角度 | ネオン管の発光間隔 |
|-----|---------|-----------|-----|---------|-----------|
| 1   | 3°      | なし        | 12  | 42°     | 3.9 秒     |
| 2   | 18°     | 5.4 秒     | 13  | 43°     | 3.9 秒     |
| 3   | 19°     | 4.9 秒     | 14  | 43°     | 4.4 秒     |
| 4   | 20°     | 3.9 秒     | 15  | 43°     | 5.0 秒     |
| 5   | 20°     | 3.5 秒     | 16  | 39°     | 5.4 秒     |
| 6   | 22°     | 3.7 秒     | 17  | 45°     | 4.2 秒     |
| 7   | 18°     | 4.2 秒     | 18  | 42°     | 8.3 秒     |
| 8   | 45°     | 3.3 秒     | 19  | 40°     | 4.7 秒     |
| 9   | 40°     | 4.6 秒     | 20  | 40°     | 5.9 秒     |
| 10  | 42°     | 3.8 秒     | 21  | 40°     | 9.0 秒     |
| 11  | 40°     | 3.8 秒     | 22  | 40°     | 7.5 秒     |



設置した様子



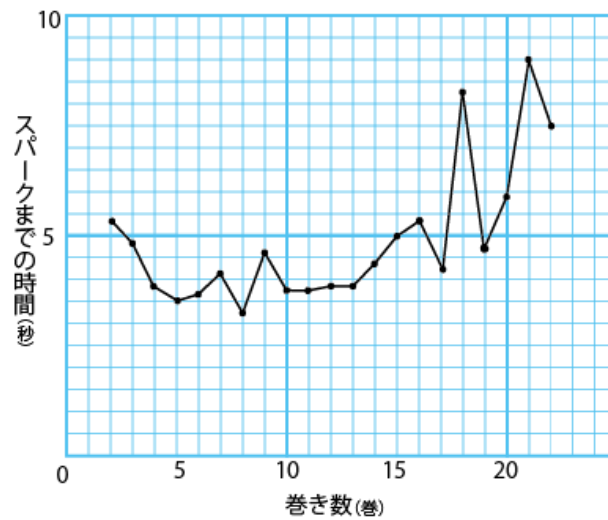
発光した瞬間

#### (ア) ネオン管の発光間隔と巻数の関係

ネオン管の発光間隔で見れば8回巻きの発光間隔が一番短かった。

全体的に時間の間隔が6秒から3秒の間に分布しているが、18回巻き、21回巻き、22回巻きはその範囲から外れている。

ネオン管の発光間隔と巻数の関係

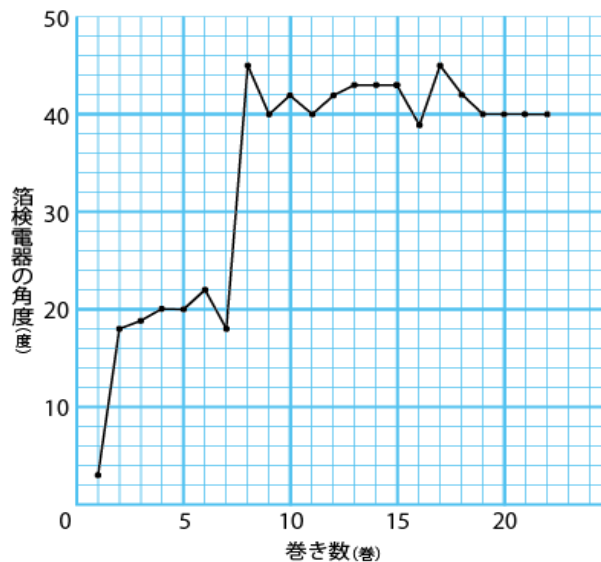


#### (イ) 箔検電器の角度と巻数の関係

箔検電器は8回巻き以上で  $40^\circ$  以上アルミ箔が開いた。

このグラフでも先程のネオン管の結果と同じく8回巻きの角度が一番大きかった。

箔検電器の角度と巻数の関係



## オ 考察

結果から、一番良い巻き数は8回巻きだと考えた。巻き数が多い時と少ない時は発電量が少なかったことから、コイルはただ増やせば良いというわけではなく適正な巻き数があると考察できる。8回巻きが良い理由はコイルのバランスだと考えた。巻き数を多くすると水が接触しやすくなって発電量が下がってしまう。逆に少なくすると静電誘導の起こる範囲が短くなり発電量が下がってしまう。その間のちょうど良い巻き数が8回巻きではないかと考えた。

## 7 結論・課題

今回の研究では、原理・装置・発電量について、3つの大きな疑問点を解消する事ができた。1つ目の疑問であったケルビン発電機の極の存在と静電誘導が原理の説明の通り存在すると確かめられた。2つ目の疑問の静電気に関連する装置の特性と通常の電流との違い（パルス電流）、ケルビン発電機発電量を確かめることができた。3つ目の疑問では8回巻きというケルビン発電機のほぼ適正なコイルの巻き数を特定することができた。どれも文献を読むだけでなく実際に実験したからこそ分かる情報もあり、実際に作成する価値は大いにあると考えた。実験中は結果がかなり環境に左右された。例えば、湿度が5%上がっただけで今まで発電できていたものがうまく発電できなくなったり、1cmほどコイルの高さを変えただけで発電量に差ができたので、今後は、湿度やコイルの高さと発電量の関係を詳しく調べていきたい。また、今回の研究では、ケルビン発電機発電量を自作の装置を使って測定したが、より正確な測定方法を模索していきたい。

この実験で発電機の最初期の技術について触れられたのは、とても貴重なことだと思った。実際にこの実験で使ったような機械を150年前、電気を研究していたケルヴィン卿も実験していたのだ。僕は少しでも電気の歴史を知ることができて、より電気に興味を持つことができたと思う。世界中で消費電力は増加しているが現在の発電方法は問題が多い。近い内に電気が使えなくなるだろう。150年前の発電機を学んだ僕は、受け継いだ技術を150年後も残す為、ケルビン発電機についての海外の論文も読み、より専門的な知識を身につけ新時代の発電を研究していきたいと思った。

## 8 参考文献

岐阜工業高等専門学校 ケルビン発電機

<https://www.gifu-nct.ac.jp/elec/habuchi/demae/Kelvin/Kelvin.html>

ワオチャンネル 静電気で回る『フランクリンモーター』を作ろう！

<https://www.youtube.com/watch?v=Ko-lvFnAUqc>

科学工房Ume 静電気モーターの作り方改訂版

<https://www.youtube.com/watch?v=NCjl1mmxyuI&t=33s>

工作と実験 ケルビン発電機

<http://monotest.blog119.fc2.com/blog-entry-61.html>

Web版化学体験まつり 静電誘導で「静電気モーター」をビュンビュン回そう！

<https://www.kagakutaiken.com/実験ブース/静電気モーター/>

ふたばのブログ 静電気の不思議！ケルビン発電機を考える

<https://futabagumi.com/archives/816.html>

大人の科学 第22号 平賀源内のエレキテル（冊子）

## 9 謝辞

本研究に行き詰まった際、沼津工業高等専門学校の体験入学に行く機会があり、沼津工業高等専門学校 電気電子工学科 大津孝佳教授には熱心なご助言をいただきました。心から感謝いたします。また、ご指導いただいた下田中学校の真野菜美先生と若林美歩先生に感謝申し上げます。