

## 電磁誘導を利用した風振動発電機の開発

小田金 大輝<sup>†</sup>, 根本 映<sup>†</sup>, 山口 悟<sup>†\*</sup>

<sup>†</sup>茨城県立水戸第一高等学校 化学部 〒310-0011 茨城県水戸市三の丸 3-10-1

(2019年4月24日 受付; 2019年5月22日 受理)

### Abstract

振動エネルギーは再生可能エネルギーの一つであり、身近には溢れているが、現状ではその多くが活用されていない。そこで本研究では、身近で発生する振動エネルギーの中でも特に、風によって揺れる木々から振動エネルギーを効率的に活用するための風振動発電機を開発することを目的とした。

風振動発電機を開発するために、電磁誘導を用いた風振動発電システム、発電方法、発電量の評価方法、および風振動発電機の設置場所を確立した。発電量は蓄電されたキャパシタの電気量で評価した。全波整流回路の利用により、蓄電効率が約2倍に向上した。また、コイル内の磁石を移動させる速さと磁石の往復数の増加により発電量は増加した。電荷が溜まるにともないキャパシタの電気量は増加し難くなることがわかった。コイルの内径と磁石の外形の差がなくなると、磁束の変化が大きくなるため、発電量は増加することがわかった。両端に集中させたコイル構造 (BEC構造) を利用することにより、約10倍の発電効率が得られることがわかった。風振動発電機の本における設置場所としては、色々な方向を向いている枝において、横向きに伸びた枝に設置することで、効率よく発電できることが示された。

### Introduction

再生可能エネルギーとは太陽光、風力、波力、地熱など、自然界に常に存在する地球資源の一部を利用することで生じるエネルギーである。再生可能エネルギーは、新たなエネルギー源として今後、日本を含め世界各国で導入・普及が促進すると予想される。最近では、コイルの中に反発する2つの磁石を入れ、上下の動きで発電する、羽を使わない風力発電機の開発も進められ、騒音問題や作製費用の改善など様々な面で注目を集めつつある<sup>1)</sup>。しかしながら、その装置は大きさは6mと小型ではあるが、1kWあたりの発電コストは、従来の風力発電機よりも40%低い点も改善点も多い。

振動エネルギーは風力や波力により生じる再生可能エネルギーの一つである。振動発電とは、振動面に発生する圧力を電力に変換する方法である。最近、振動エネルギーを利用した振動発電の研究開発が各方面で活発に行われている<sup>2)</sup>。振動発電の実用例として、圧電セラミックを介して歩行時に生じる振動エネルギーを利用する発電床<sup>3)</sup>や、振動した物体間の接触面で発生する摩擦帯電を活用する発電デバイス<sup>4)</sup>などがある。しかしながら、振動エネルギーは新しいエネルギー分野として、今後のエネルギー供給の一翼を担うことが期待されているにも関わらず、発電に利用可能であると考えられる振動エネルギーの大半が無駄になっているのが現状である。

現在、新たなエネルギー分野の開拓が進む一方、発電に用いる新たな蓄電デバイスの開発も活発になっている。その蓄電デバイスの中でも、特にリチウムイオンキャパシタの研究開発が有力である<sup>5)</sup>。リチウムイオンキャパシタは正極に電気二重層キャパシタの構造を、負極にリチウムイオン吸蔵可能な炭素系材料を用いている。これにより、エネルギー密度が向上し、短時間での入出力が可能になっている。そのため、発電に用いる蓄電デバイスとして、一般的な電気二重層キャパシタ以上の効率が期待される。したがって、再生可能エネルギーから生じた電気エネルギーを、新たな蓄電デバイスとしてキャパシタに蓄電することで、無駄なく効率よくエネルギーを利用することができる。そこで本研究では、身近に発生する振動エネルギーに着目し、その中でも特に風によって揺れる木々から振動エネルギーを効率的に活用するためのキャパシタを利用した風振動発電機を開発を目的とした。

### Experimental

#### 器具

ネオジム磁石、アクリル管 (内径15Φ, 20Φ)、エナメル銅線 (0.2Φ)、電気二重層キャパシタ (3.3F 2.5V)、整流器、デジタルマルチメーター (MASTECH)、電流計 (SHIMAZU)、抵抗器 (内田洋行)、ワニ口・みのむしくリップ

#### 作製方法

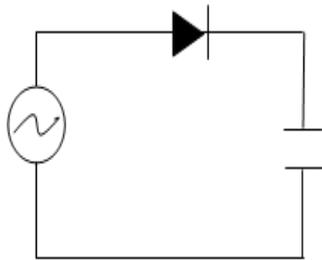
アクリル管にエナメル銅線を巻きつけたものをコイルとした。コイルと整流器、電気二重層キャパシタを

\* Corresponding author. e-mail address: ymgstr@\*\*\*.\*\*\*

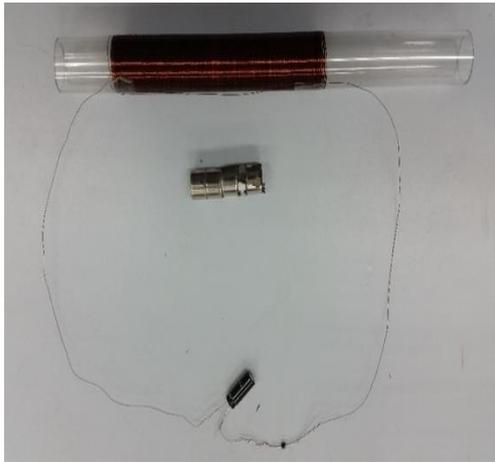
\*\*\* = gmail.com

Present address : 茨城県立日立第一高等学校

〒317-0063 茨城県日立市若葉町 3-15-1



(a)半波整流回路図



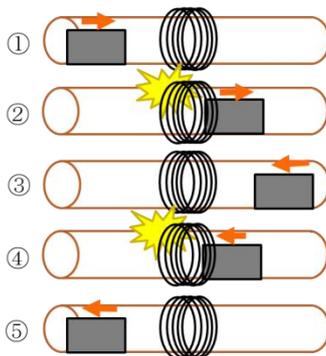
(b)半波整流回路を用いた電磁誘導装置

**Fig.1** (a)半波整流回路図と(b)半波整流回路を用いた電磁誘導装置

用い、最も単純な半波整流回路を用いた電磁誘導装置を作製した。Fig.1 にその装置を示した。

### 2-1 発電方法

Fig.1 の半波整流回路を用いた電磁誘導装置を用い、作製したコイルにネオジム磁石（直径 13 mm, 長さ 1 cm）を 4 つ繋げたものを用い、コイルを水平方向に振



**Fig.2** 発電時の磁石の動き

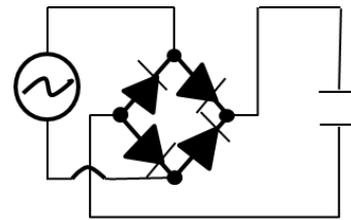
った。磁石を移動させる速さを 60 [cm/s]とした。Fig.2 に、コイル内における磁石の動き方を示した。Fig.2 の①～⑤の磁石の動きを 1 往復とした。振動を想定したコイル内での磁石の移動により、電磁誘導を発生させ、キャパシタに蓄電可能であるか評価した。磁石の往復

数を 20 往復, 40 往復, 60 往復, 80 往復と変化させ、評価した。

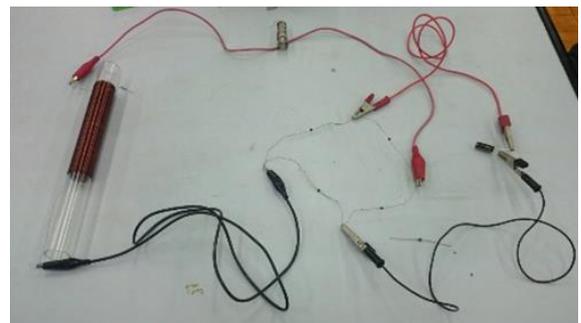
### 2-2 全波整流回路の利用

キャパシタへの蓄電効率を向上させるために、半波整流回路と全波整流回路を作製し、そのキャパシタの蓄電量を評価した。

Fig.1 は半波整流回路を表しており、Fig.3 に全波整流回路を示した。2つの回路のコイル内で、磁石を 60 [cm/s] の速さで 60 往復させ発電した。キャパシタの蓄電量を、蓄電されたキャパシタの放電時における初期電圧値として取り扱い測定した。



(a)全波整流回路図



(b)作製した全波整流回路の装置

**Fig.3** (a) 全波整流回路図と(b) 作製した全波整流回路の装置

### 2-3 電気量の算出方法

全波整流回路を用いた電磁誘導装置により蓄えられたキャパシタの蓄電量の算出方法を評価した。キャパシタの放電時における初期電圧値から算出した電気量と、キャパシタの放電時における電流値を時間で積分し算出した電気量を比較検討した。Fig.4 に(a)電気量測定時の回路図と(b)作製した電気量測定時の回路を示した。

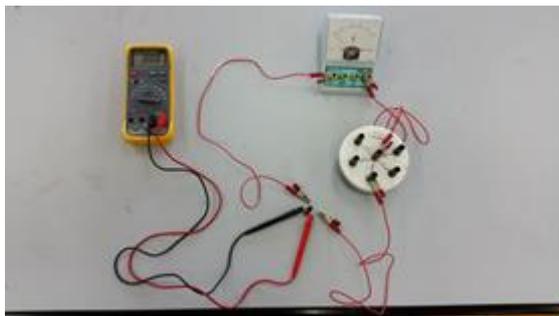
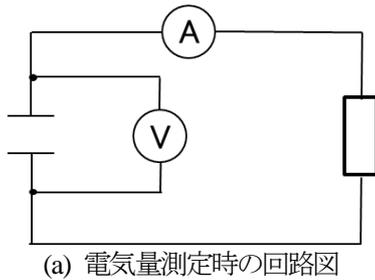


Fig.4 (a) 電気量測定時の回路図と(b) 作製した電気量測定時の回路

#### 2-4 磁石を移動させる速さと電気量の関係

Fig.3 の全波整流回路を用い, 磁石の往復数を 60 往復とし, 磁石を移動させる速さを変化させたときに蓄電されたキャパシタの電気量を評価した。磁石の移動する速さは 30 [cm/s], 60 [cm/s], 90 [cm/s], 120 [cm/s] とした。

#### 2-5 磁石の往復数と電気量の関係

Fig.3 の全波整流回路を用い, 磁石を移動させる速さを 60 [cm/s] とし, 磁石の往復数を変化させたときに蓄電されたキャパシタの電気量を評価した。磁石の往復数は 120 往復, 240 往復, 360 往復とした。

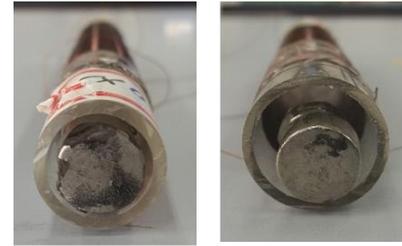
#### 2-6 コイルの巻層数と電気量の関係

Fig.3 の全波整流回路を用い, 磁石を移動させる速さを 50 [cm/s], 磁石の往復数を 60 往復とし, コイルの巻いた層数を変化させたときに蓄電されたキャパシタの電気量を評価した。

コイルの巻層数は, 250 回巻きを 1 層として, 2 層 (250 回巻き×2), 3 層 (250 回巻き×3) とした。

#### 2-7 コイルの内径の大きさと電気量の関係

Fig.3 の全波整流回路を用い, 磁石を移動させる速さを 50 [cm/s], 磁石の往復数を 60 往復とし, コイルの内径を変化させたときに蓄電されたキャパシタの電気量を評価した。コイルの内径は 15 [mm] と 20 [mm] とし, Fig.5 に示した。



15mm 20mm

Fig.5 コイルの内径の比較

#### 2-8 コイルの設置場所と発電量の関係

Fig.6 に, (a)塩化ビニル管に連続して銅線を巻いたコイル構造“LTC”(Long-Tube-Coil)構造と, 磁石の速さが最も大きくなる(b)両端に集中させて巻いたコイル



(a)連続巻きのコイル構造 (LTC 構造)



(b)両端に集中させたコイル構造 (BEC 構造)

Fig.6 (a) 連続巻きのコイル構造 (LTC 構造) と (b) 両端に集中させたコイル構造 (BEC 構造) の装置図

ル構造“BEC (Both-Ends-Coil) 構造”を示した。コイルの巻層数は, 250 回巻きを基準とし, LTC 構造は 250 回巻き 1 層とし, BEC 構造では 62 回巻き 2 層を両端の 2 カ所とした。これら 2 つのコイル構造において, 全波整流回路を用い, 磁石を移動させる速さを 60 [cm/s], 磁石の往復数を 75 往 (30 秒) として, キャパシタに蓄電された電力量を評価した。

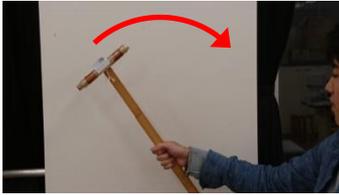
#### 2-9 風振動発電機の開発

これまでの結果から, 全波整流回路の利用, BEC 構造コイルでコイル径 15 mm, 巻数 62 巻き×2, 巻層数 10 層という条件の下, 現段階における風振動発電機を作製し発電した。

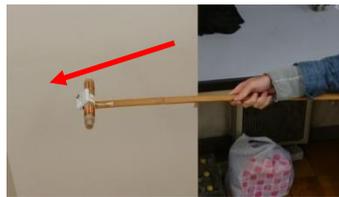
#### 2-10 風振動発電機を取り付ける枝の向きと電気量の関係

全波整流回路と両端に集中させて巻いたコイル構造“BEC (Both-Ends-Coil) 構造”を利用した風振動発電

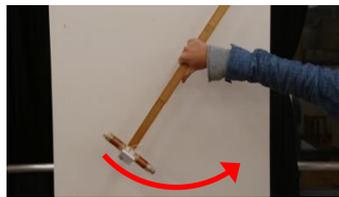
機を用い、実際の枝による振動を想定して発電を行った。Fig.7 に実験の様子を示した。BEC 構造の風振動発電機を 30 cm の木製棒に取り付け、木の枝が(a)上向き、(b)横向き、(c)下向きに生えていると仮定し、その枝を想定した棒を振りキャパシタに蓄電された電気量を評価した。ここで、磁石を移動させる速さは 60 [cm/s]、磁石の往復数を 75 往復 (30 秒) とした。



(a)上向き枝の振動の様子



(b)横向き枝の枝振動の様子



(c)下向き枝の振動の様子

Fig.7 風振動発電機を(a)上向き、(b)横向き、(c)下向きの枝に取り付け、振動をさせたときの実験の様子

## 2-11 設置位置と発電量の関係

全波整流回路と両端に集中させて巻いたコイル構造“BEC (Both-Ends-Coil) 構造”を利用した風振動発電機を用い、振動する枝において、どの長さの枝に取り付ければ効率よく発電できるのかを評価した。木製の棒を用い、BEC 型風振動発電機から 30 cm, 40 cm, 50 cm を力の支点とし、横向きを想定した棒の振動により、キャパシタに蓄電された電気量を評価した。ここで、磁石を移動させる速さは 60 [cm/s]、振り幅は約 30 度、磁石の往復数を 75 往復 (30 秒) とした。

## Results and Discussion

### 3-1 発電方法

Fig.8 に 2-1 の発電によるキャパシタへの蓄電結果を示した。Fig.8 の横軸はコイル内で磁石を移動させる

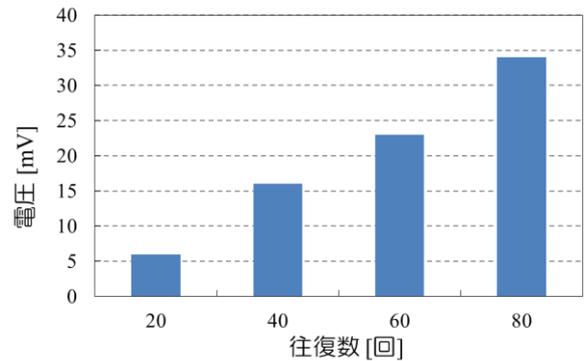


Fig.8 発電によるキャパシタへの蓄電結果

往復数、縦軸は蓄電されたキャパシタの初期電圧値 [mV]を示している。Fig.8 より、往復数が 20 回するとき電圧が 6 [mV]であったが、往復数が 80 回になると 34 [mV]と、往復数が増加するごとにキャパシタの初期電圧値も増加することがわかった。したがって、電磁誘導装置の発電によりキャパシタへの蓄電が可能であることがわかった。

### 3-2 全波整流回路の利用

Fig.9 に、全波整流回路と半波整流回路を用いたとき、蓄電されたキャパシタの初期電圧値を示した。Fig.9 の横軸は利用した回路、縦軸は蓄電されたキャパシタの初期電圧値 [mV]を示している。Fig.9 から、全波整流回路を利用することで、半波整流回路の約 2 倍の初期電圧値を得られることがわかった。

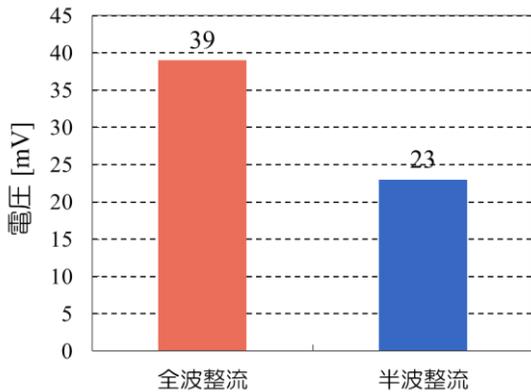


Fig.9 全波整流回路と半波整流回路の比較

全波整流回路を利用することによって、交流電流の正負どちらも蓄電できるので、キャパシタはちょうど2倍の蓄電量を持つと考えられる。しかしながら、半波整流回路の初期電圧値は23 [mV]で全波整流回路のその値39 [mV]と、ちょうど2倍にはならなかった。

整流器は一方向に電流が流れ、逆方向に対しての抵抗が大きく電流を流さない性質を持つ。しかしながら、逆方向の電圧が加わったとき、微弱な電流が流れてしまうため、蓄電中のキャパシタに正負の異なる電流が流れてしまう。その結果として、キャパシタに蓄えられていた電荷は、わずかであるが、失われてしまうと考えられる。全波整流回路と半波整流回路に利用した整流器の個数はそれぞれ、4つと1つである。したがって、全波整流回路は用いた整流器の数が多いために、半波整流回路よりも蓄電中のキャパシタに正負の異なる電流が多く流れてしまい、全波整流回路の初期電圧値は半波整流回路のちょうど2倍にはならなかったと考えた。

### 3.3 電気量の算出法

キャパシタの蓄電量を評価するため、Fig.4(b)の回路を用いて、蓄電されたキャパシタの初期電圧値と電流値を測定した。その際、電源装置を用い、キャパシタに加えた電圧の大きさと時間を変化させた。

キャパシタに溜められた電気量  $Q[C]$  はキャパシタの放電時における初期電圧値  $V[V]$  とキャパシタの電気容量  $C[F]$  を用いて、 $Q=CV$  の式から算出できる。また、キャパシタに溜められた電気量  $Q[C]$  は、Fig.10に示したキャパシタの電流値を経過時間で積分した値としても算出できる。そこで、キャパシタに加えた電圧の大きさと時間を変化させた5回の測定で得られた初期電圧値と電流値から、それぞれ電気量を算出した。キャパシタは電気容量が3.3 [F]のものを使用した。

初期電圧値から得られた電気量と、電流値の積分から得られた電気量との間には、5回の測定の平均で

13.8%の差が生じた。初期電圧値を測定した場合、初期電圧値は瞬間的に測定するものなので、特にエラー

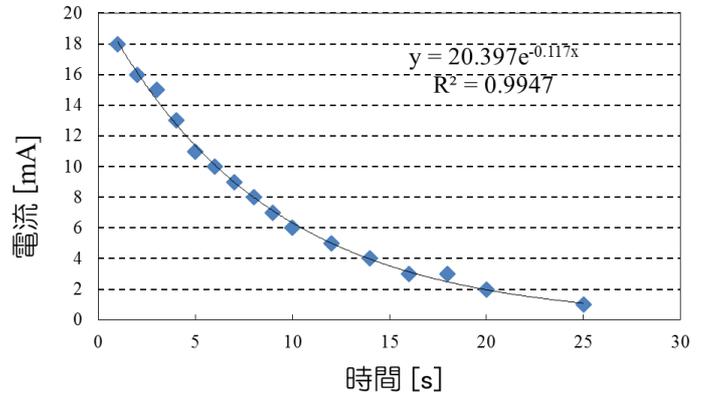


Fig.10 キャパシタの電流値と経過時間

を含みやすい。また、全ての実験に共通して、電源装置や測定器具によるエラー、キャパシタの電気容量の細かい個体差などがある。初期電圧値を用いた電気量の値は、それらのエラーを積み重ねたとき、大きなエラーとなってしまふ。したがって、キャパシタの電流値を時間で積分し算出した電気量のほうが、初期電圧値を用いて算出した電気量よりも、エラーが少なく算出することができる。そこで、以降の実験では、電流値を時間で積分することで電気量を算出する方法を用いて、キャパシタの蓄電量を評価した。

### 3.4 磁石を移動させる速さと電気量の関係

Fig.11 にコイル内で磁石を移動させる速さと蓄電されたキャパシタの電気量の関係を示した。Fig.11の横軸はコイル内で磁石を移動させる速さ[cm/s]、縦軸は蓄電されたキャパシタの電気量[C]を示している。

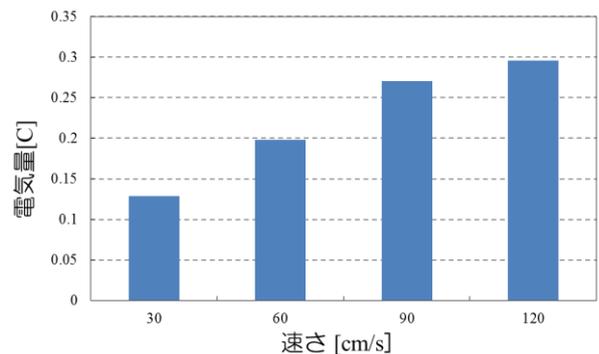


Fig.11 移動させる速さと電気量の関係

Fig.11 から、磁石を移動させる速さが30 [cm/s]のとき0.13 [C]であったものが、その速さを60 [cm/s]とすると0.20 [C]になった。したがって、速さの増加により、キャパシタの電気量が増加していることがわかった。また、Fig.11 から、磁石を移動させる速さが120 [cm/s]のときには電気量が0.29 [C]と、棒グラフの高さの比

較から、速さの増加にともない電気量は増加し難くなることがわかった。

### 3-5 磁石の往復数と電気量の関係

Fig.12 に、コイル内での磁石の往復数と蓄電されたキャパシタの電気量の関係を示した。Fig.12 の横軸は

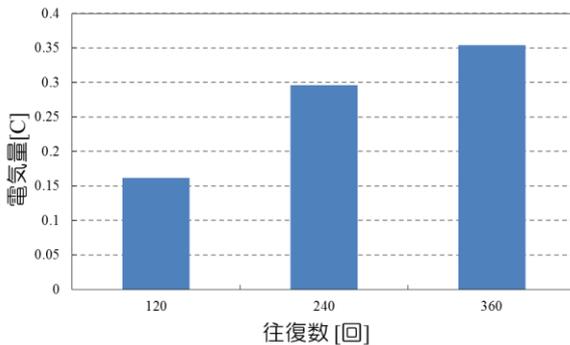


Fig.12 往復数と電気量の関係

磁石の往復数、縦軸は蓄電されたキャパシタの電気量 [C] を示している。Fig.12 の棒グラフの電気量の値から、磁石の往復数の増加にともないキャパシタの電気量が増加することがわかった。また、3-4 の磁石を移動させる速さと電気量の関係のように、Fig. 12 から磁石の往復数が増加するにつれ、電気量は増加し難くなることがわかった。

Fig.13 に、実験でキャパシタに電荷が溜められるイメージを示した。キャパシタに電荷が溜められる過程

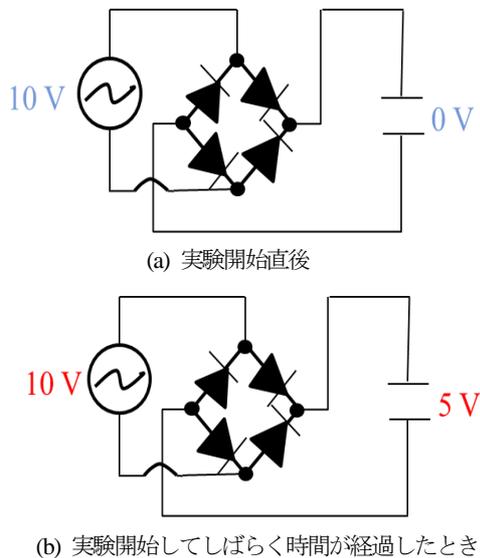


Fig.13 実験でキャパシタに電荷が溜められるイメージ (a) 実験開始直後, (b) 実験開始してしばらく時間が経過したとき。

において、それぞれ(a)実験開始直後と(b)実験開始してしばらく時間が経過したときのキャパシタのイメージ

を表している。ここで、回路図に示した交流電源はコイルを示しており、交流電源の電圧値は 10 [V] とする。

実験開始前のキャパシタには電荷が溜められていないため、実験開始直後のキャパシタに蓄電された電気量は 0 [C] である。 $Q=CV$  より、キャパシタの電圧値は 0 [V] となる。このとき、電源の電圧値 10 [V] に対して、キャパシタの電圧値は 0 [V] であるため、その二つの間の電圧差は 10 [V] となっている。そのため、10 [V] がキャパシタに電荷を溜める力として加わっていると考えられる。実験を進めるにしたがい、キャパシタに電荷が溜まり電気量が大きくなる。実験開始後しばらくして、キャパシタの電圧値が 5 [V] になったとすると、このとき電源の電圧値は 10 [V] であるため、二つの間の電圧差は 5 [V] になり、5 [V] がキャパシタに電荷を溜める力として加わっていると考えられる。実験開始直後と実験開始からしばらく時間が経過したときのキャパシタを比べると、電荷が溜まっている後の方が、キャパシタの電圧が大きいため、新たな電荷は溜まり難くなる。したがって、3-4 及び 3-5 に示したような磁石の速さや往復数が増加するにともないキャパシタの電気量が増加し難くなるのは、キャパシタに電荷が溜まるにつれキャパシタの電圧が大きくなるので、キャパシタへ電荷をためる力が小さくなるためであると考えた。また、電気容量の大きなキャパシタを用いることで電圧が上がり難くなるため、電荷が溜まりやすくなると考えられる。

### 3-6 コイルの巻層数と電気量の関係

Fig.14 に、コイルの巻層数と蓄電されたキャパシタの電気量の関係を示した。Fig.14 の横軸はコイルの巻

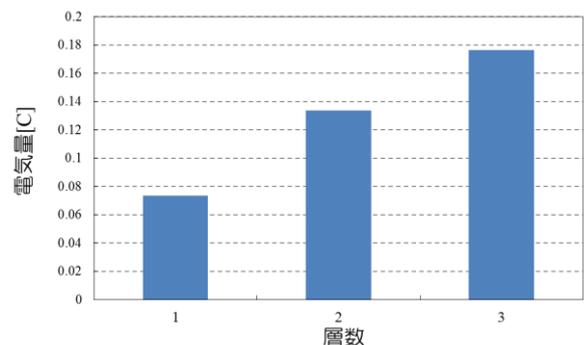


Fig.14 コイルの巻層数と電気量の関係

層数、縦軸は蓄電されたキャパシタの電気量 [C] を示している。Fig.14 から、コイルの巻層数の増加にともない、キャパシタの電気量が増加していることがわかった。

### 3-7 コイルの内径と電気量の関係

Fig.15にコイルの内径の大きさと蓄電されたキャパシタの電気量の関係を示した。Fig. 15の横軸は、コイルの内径 [mm]、縦軸は蓄電されたキャパシタの電気量[C]を示している。Fig.15から、コイルの内径が15 [mm]と20 [mm]ではそれぞれ0.074 [C]と0.048 [C]と、

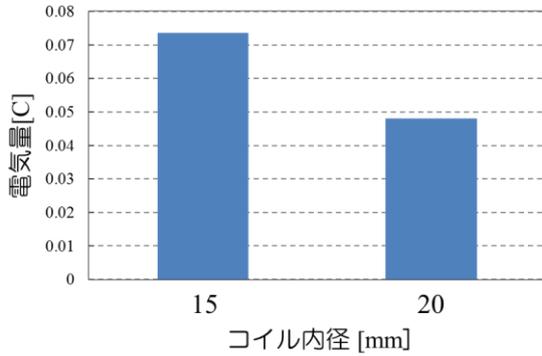


Fig.15 コイルの内径と電気量の関係

コイルの内径の小さい方が、キャパシタの電気量が大きくなることがわかった。

発生する起電力  $V$  は「ファラデーの電磁誘導の法則」 $V = -N \cdot \Delta\phi / \Delta t$  に従い、巻き数  $N$  と単位時間  $\Delta t$  当たりの磁束の変化  $\Delta\phi$  に比例する。ここで、3-7のコイルの内径の大きさと電気量の関係に関しては、コイルの巻き数は等しいがキャパシタの蓄電量は異なっていた。

Fig.16 に3-7の実験におけるコイルに寄与する磁力線のイメージを示した。コイルの内径が小さい場合(上

段)と大きい場合(下段)を比較し、コイルの単位面積を通過する磁力線の本数に着目した。ここで、磁石の左端が接触するコイルの断面全体を面Aとした。

Fig.16(a)磁石と面Aが近くにあるとき、上段に示したコイルの内径が小さい場合でも下段に示したコイルの内径が大きい場合でも面Aを通過する磁力線の本数は6本である。一方、磁石が移動して、Fig.2(b)に示したように磁石と面Aが遠くにあると、面Aを通過する磁力線の本数は、上段の小さなコイルの場合は2本、下段の大きなコイルの場合では4本となる。したがって、コイルの内径が小さいときにはその減少量が4本であるが、コイルの内径が大きくなるとその減少量は2本となり、磁力線の減少量はコイルの内径に反比例している。

面Aを通過する磁力線の本数の差は、磁束の変化  $\Delta\phi$  で表すことができる。コイルの内径が小さいとき、コイルの内径が大きいときよりも、 $\Delta\phi$  が大きい。ファラデーの電磁誘導の法則により、起電力  $V$  は  $\Delta\phi$  の値に比例するため、コイルの内径が小さい方が高い発電効率を示す。したがって、コイルの内径が小さい方が  $\Delta\phi$  の値が大きくなり、キャパシタに溜められる電気量が大きくなると考えられる。また、3-6から、コイルの巻層数が増加するにともない電気量も増加した。一方、巻層数の増加にともない電気量は増加し難くなっている。それは3-5のキャパシタの性質と巻層数の増加により外側のコイルの内径が大きくなるため、キャパシタに溜められる電気量が増加し難くなっているためと考えられる。

### 3-8 コイルの設置位置と電気量の関係

Fig.17に、アクリル管に連続して銅線を巻いたコイル構造「LTC (Long-Tube-Coil) 構造」と両端に集中させて巻いたコイル構造「BEC (Both-Ends-Coil) 構造」におけるキャパシタに蓄電された電気量を示した。Fig.17の縦軸は電気量[C]を示している。Fig.17から、BEC構造にすることで、これまでのLTC構造と比べ発電効率が約4倍に向上することがわかった。

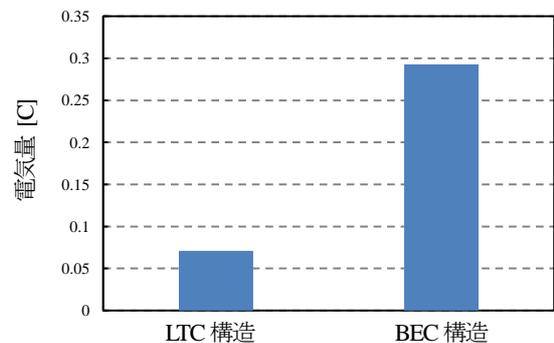


Fig.17 コイルの設置場所と発電量の関係

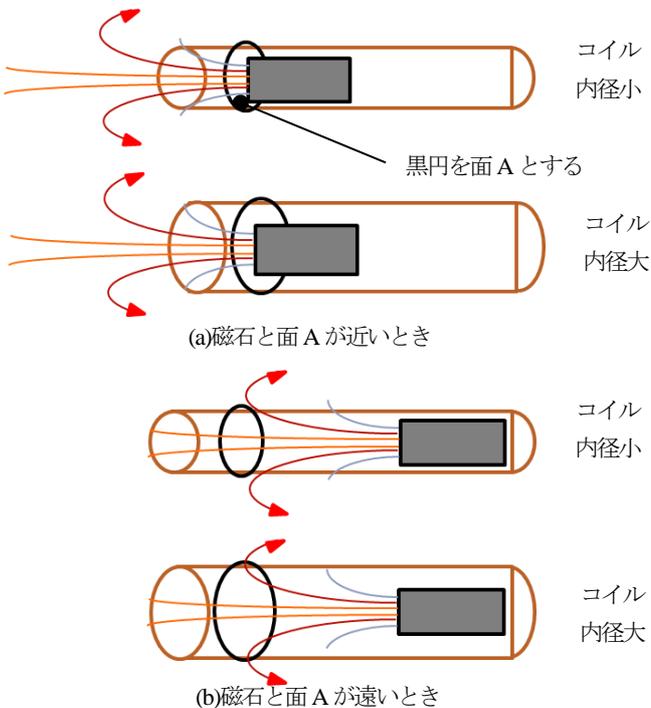


Fig.16 3-7の実験におけるコイルに寄与する磁力線のイメージ。(a)磁石と面Aが近いとき、(b)磁石と面Aが遠いとき。

3-7の考察から、磁束の変化が起電力  $V$  に大きく依存している。磁石が通過するコイルの単位面を比較した場合、BEC 構造の両端における単位面は、LTC 構造の中央部分の単位面と比べ、磁石の通過による磁束の変化は大きくなっている。BEC 構造の場合、この磁束の変化が大きい2つの部分にコイルを集中して設置したことにより、装置全体におけるコイルに寄与する磁束の変化が増加し、電気量が増加したと考えられる。また、風振動発電機による発電方法の特徴として、装置の両端における磁石の速度が最も大きくなる。そのため、コイルに寄与する磁束の変化の増加に加え、単位時間あたりに通過したコイルの巻数も増加したと考えられる。

さらに、BEC 型コイルの結果と 2-6 にある LTC 型コイルの巻層数を2層にしたものは、どちらも同じ巻数で250巻きである。この2つのコイルの結果を比較すると、BEC 型コイルは0.293 [C]で2層のLTC 型コイルは0.134 [C]と、巻数が同じであるにもかかわらず BEC 型コイルの方が2倍以上に電気量は大きくなっている。これは、総巻数の差から生じるコイル自身の抵抗が関与していると考えられる。キャパシタの電気量  $C$  の大きさは、キャパシタに流れ込む電流  $A$  の大きさに起因するため、起電力  $V$  に加え装置の抵抗  $R$  に依存する。BEC 型コイルと2層のLTC 型コイルとでは、コイルに寄与する磁束の変化において大きな差がないにもかかわらず、後者の抵抗の大きさは前者の2倍であるために、両者の間に2倍の電気量の差が生じたと考えられる。

### 3-9 風振動発電機の開発

Fig.18 に、全波整流回路の利用、250巻き1層でコイル径15mmの初期型コイルと現段階で完成された風振動発電機を用いて発電した際に蓄電されたキャパシタの電気量を示した。Fig.18 から、全波整流回路の利用、BEC 構造コイルでコイル径15mm、巻数62巻き、巻層数10層にすることで1.856 [C]、キャパシタ

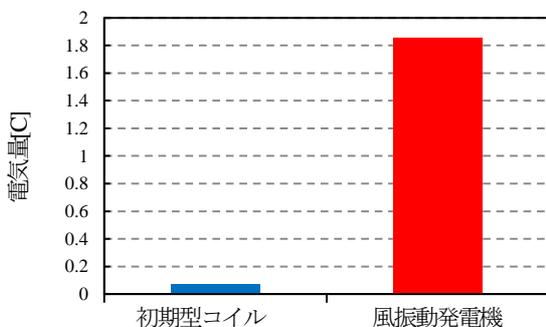


Fig.18 初期型コイルと風振動発電機のキャパシタに蓄電された電気量

に蓄電された電気量は、初期型コイル0.071 [C]に比べ、約25倍に増加することがわかった。

### 3-10 風振動発電機を取り付ける枝の向きと電気量の関係

風振動発電機を木の枝に取り付ける際に、どのような方向の枝に取り付ければ良いのかを評価した。Fig.19 に、100 cm の木製棒の30 cm の位置に BEC 構造の風振動発電機を垂直に取り付け、木の枝が(a)上向き、(b)横向き、(c)下向きに生えていると仮定し、その枝を想定した棒を振りキャパシタに蓄電された電気量を評

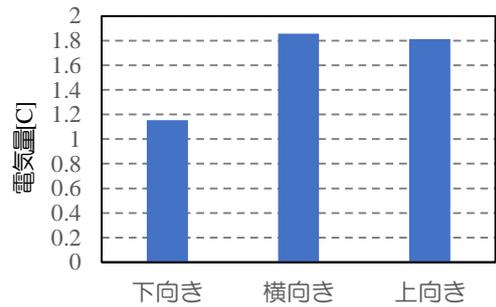


Fig.19 振動の向きとキャパシタに溜まった電気量の関係

価した結果を示した。Fig.19 から、風振動発電機を横向きの枝に垂直に取り付けるのが、1.912 [C]と、下向き (1.155[C]) 及び上向き (1.813[C]) より効率が良い設置方法であることがわかった。

風振動発電機を上向きや下向きの棒に取り付けた際、磁石が重力に従い一方の端に寄ってしまうことが多く、磁石が移動し難い。一方、横向きの棒に取り付けた場合、横の揺れでは重力の影響が少ないため、振動をより効率的に活用できると考えられる。

### 3-11 取り付け位置とキャパシタに溜まった電気量の関係

Fig.20 に、風振動発電機の実取り付け位置とキャパシタに蓄電された電気量の関係を示した。Fig.20 は、風

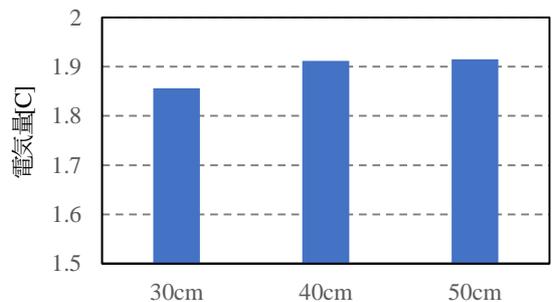


Fig.20 木の棒の先端からの距離とキャパシタに溜まった電気量との関係

振動発電機から力を加える支点までの距離を 30cm, 40cm, 50cm にした際に, キャパシタに溜まった電気量の変化を表している。Fig.20 より, 40 cm と 50cm の長さの木の棒に取り付けた時に 1.912[C]と 1.915[C]とほとんど同じ値であった。一方, 30 cm では 1.856 [C]とわずかではあるが, その値が減少した。今回の測定では振動の速さを揃えるため, 木の棒を振る角度を約 30度とし, 同じ質量の風振動発電機を長さ 30, 40, 50cm の位置に取り付け同じ速さで振動させた。かかった力の大きさは 50cm を基準とすれば 30cm は 0.6 倍, 40cm は 0.8 倍であり, 40 cm の取り付け位置の方が適当であると考えられる。また, これ以上の長さになると, 木の性質にもよるが装置の重さと枝の長さの関係上, 枝が折れる危険性が高まると考えられる。したがって, 実際に風振動発電機を取り付ける場合は, 40 cm 程度の長さの枝が適していると考えた。

## Conclusions

考案した電磁誘導装置を用いた発電により, キャパシタへの蓄電が可能であることがわかった。蓄電する際に, 全波整流回路を利用することで, 半波整流回路の約 2 倍の蓄電効率を得られた。キャパシタの蓄電量として電気量を用いたが, 電気量の算出法はキャパシタの初期電圧値を用いた方法と電流値を時間で積分する方法があり, 後者の方がより少ないエラーで算出できることがわかった。磁石を移動させる速さの増加により, キャパシタに溜まる電気量は増加し, 磁石を移動させる往復数の増加により, キャパシタに溜まる電気量は増加することがわかった。また, キャパシタの性質として, 電荷が溜まるにともない電気量は増加し難くなることがわかった。

コイルの評価より, コイルの巻層数を増加することで, キャパシタに溜まる電気量は増加し, コイルの内径の大きさが小さい方が, キャパシタに溜まる電気量は増加することがわかった。コイルを両端に集中させて巻いたコイル構造“BEC”(Both-Ends-Coil)構造にすることにより, アクリル管に連続して銅線を巻いたコイル構造“LTC (Long-Tube-Coil) 構造”の約 4 倍の発電効率を持つことがわかった。

以上より, 考案した風振動発電機の構造において, 全波整流回路の利用, BEC 構造コイルでコイル径 15 mm, 巻数 62 巻き, 巻層数 10 層にすることで初期型コイルの約 25 倍の電気量を得られることがわかった。

この風振動発電機の最も理想的な設置状態は, 横向きの枝に取り付けた形であることがわかった。この装置の理想的な取り付け位置は, 長さ 40 cm の枝の先に取り付けることであることがわかった。本研究から, 風振動発電機に使用する回路, キャパシタ及びコイル部分の構造, 理想的な設置状態が明らかとなった。

## References

- (1) スマートジャパンニュース  
URL: [www.itmedia.co.jp/smartjapan/spv/1505/22/news027.html](http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/spv/1505/22/news027.html) (2017 年 3 月現在)
- (2) 振動力発電 捨てるエネルギーの有効活用  
URL: [www.nippon.com/ja/views/b01502/](http://www.nippon.com/ja/views/b01502/) (2017 年 3 月現在)
- (3) エネルギーハーベスティング(環境発電) 発電床  
URL: [www.soundpower.co.jp/work/vibration.html](http://www.soundpower.co.jp/work/vibration.html) (2017 年 3 月現在)
- (4) 叩いたり, こすったりすることで発電できるデバイス ジョージア工科大の研究チームが開発  
URL: [science.newsln.jp/articles/2014031715150005.html](http://science.newsln.jp/articles/2014031715150005.html) (2017 年 3 月現在)
- (5) JM エナジー株式会社 各種蓄電デバイスとの比較  
URL: [www.jmenergy.co.jp/product\\_compare.html](http://www.jmenergy.co.jp/product_compare.html) (2017 年 3 月現在)

## Acknowledgement

本研究を行うにあたり, 財団法人 げんでん ふれあい茨城財団【平成 29 年度】第 20 回げんでん科学技術振興事業よりご支援を頂きました。心より感謝申し上げます。