

# 波力発電の高効率化

玉川学園高等部 2 年

赤塚暉洋

## ・研究動機

私が本研究を行う理由は、波力発電の発電効率を高める方法を探すためである。なお、本実験では波力発電の一種である振動水柱型波力発電の浮体式に関して研究した。今後は振動型水柱波力発電の浮体式を波力発電と呼称する。波力発電とは、右の図のように、空気室と呼ばれる場所に海水が流れ込み、海面の上下運動によって空気が押し出され、その空気が風となり、タービンを回すことによって発電される仕組みである。つまり、波の運動エネルギーをタービンを用いて電気エネルギーに変換することによって発電するというものだ[1]。

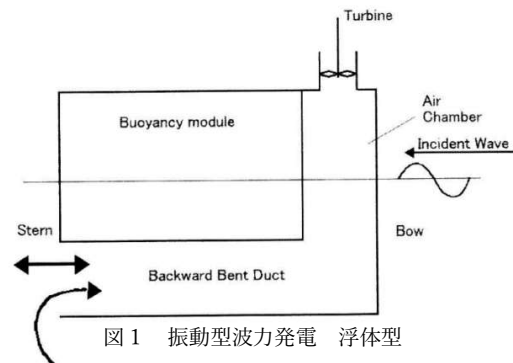


図1 振動型波力発電 浮体型

現代の日本は全体の約35%火力発電に頼っているが、地球温暖化が進行している現代に対して二酸化炭素を大量に放出する発電方法はなくすべきだと考えた[2]。二酸化炭素を排出しない発電方法は主に再生可能エネルギーと呼ばれるものである。そこで目を付けたのが波力発電である。日本は島国であるため、波はそこら中にある。これを利用することができれば、他国の資源に頼らず自国のみで発電できるだけでなく、波力は再生可能エネルギーであるため、地球温暖化の現代に合った発電方法だと考えた。

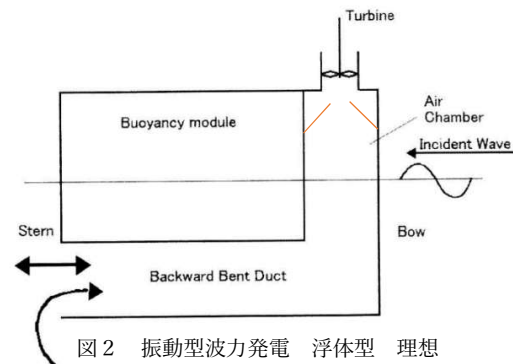


図2 振動型波力発電 浮体型 理想

これらを踏まえて、本研究では波力発電の発電効率を高めるために図1の装置を図2の赤い線のようにタービンの前に装置をつけて送り出す空気の勢いをあげる。

## ・先行研究

本研究は先輩からの引継ぎで行ったものである。先輩の研究はまず初めに、実験室規模の実験装置を作るところから始まった。最初は図1のような装置を作ろうとしていたが、実験室規模で発生させられる波だと空気中の圧力が小さく、タービンを回転させられるほどの風量を発生させることができなかった。その後試行錯誤した結果、実験装置の空気室部分を直接水面に押し込む方法で実験を進めることにした。

次に空気孔の形はペットボトルのような空気が1点に集中するような形状が良いと予想しシミュレーションを行った結果、空気孔に流れる気体の速度が大きくなっているという

結果が得られた。よって今後の実験にはペットボトルを使用しているもちろん自分の研究もペットボトルを使用している。

先行研究では、「実験室規模の実験装置の作成、シミュレーションより、発電には空気室部分の先端の形状が関係していること、発電で得られた最大電流と空気室内の圧力が比例関係にある」という結論が得られた。

## ・実験方法

本実験で使用したものは、  
ペットボトル：3種類  
30L バケツ ：3つ  
500g 重り ：4～16個  
木の板 ：1枚



写真1 タービンと開口部

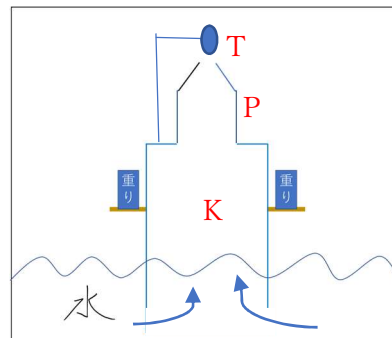


図3 実験装置

図3のTはタービンを表している。ペットボトルとタービンの間の距離を統一しなければならぬため、ペットボトルの高さに合わせてタービンの位置を上下できるようにしている。Pはペットボトルである。Kは空気室で、約20Lある。実験方法は、図3の実験装置を、重りを用いて水を張った風呂に沈ませ、中の空気を圧縮し、それをタービンにあて、回転させることによって発電させて発電量を調べた。この方法は本来の波力発電の発電方法とは違うが、それには理由がある。[4]本実験は先輩の実験の引継ぎである。つまり、本来の発電方法は先輩がすでに実験している。本来の発電方法で実験を行った場合、空気柱の圧力が小さく、タービンを回転させるほどの風量を発生させることができなかった。そこで、実験室規模での模型装置では十分な波が得られないと考え、実験装置の空気室部分を直接水面に押し込む方法で行うことにした。この方法は、波によって空気が圧縮され押し出されるのを、装置自体を沈めることにより空気室の空気を圧縮し押し出している。つまり、装置が沈むということを波1つ分に換算して実験した。

また、本実験では3種類の装置を作って実験した。その理由は、本実験の目的が空気の通り道を狭めて勢いを強くした状態でタービンにあて、発電量を高めるというものだ。しかし、図2のように三角形を作るように狭めるのが最適なのかは不明なため、様々な形状で実験を行い、最も良い形状を見つけるためだ。

ほかにも、本実験では実験装置を沈めさせるために用いた重りが4種類あるが、その理由は、実際の波は大きいものから小さいものまでであるため、装置内に入ってきた際どれほど空気を圧縮するかは異なる。つまり、4種類の重りを用いて、波の大小を表している。

抵抗値に関してもたくさんの種類を用いたが、それは装置や重りによって最大発電量を出す抵抗値が変わってきてしまうためである。

## ・得られた結果

図 4,5,6 は、実験装置 1,2,3 の先端の形を Flowsquare というシミュレーションソフトで書き、それぞれの場所での空気の勢いを調べた。図の色がついているところは空気の流れを表していて、赤に近づくほど速く、青に行くほど遅くなっている。

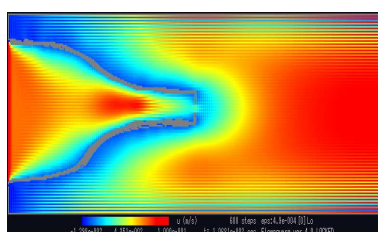


図 4

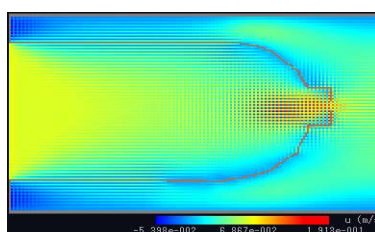


図 5

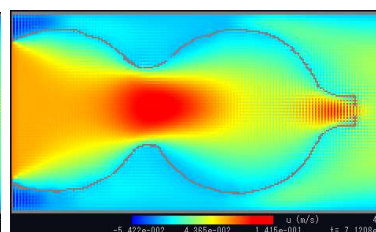
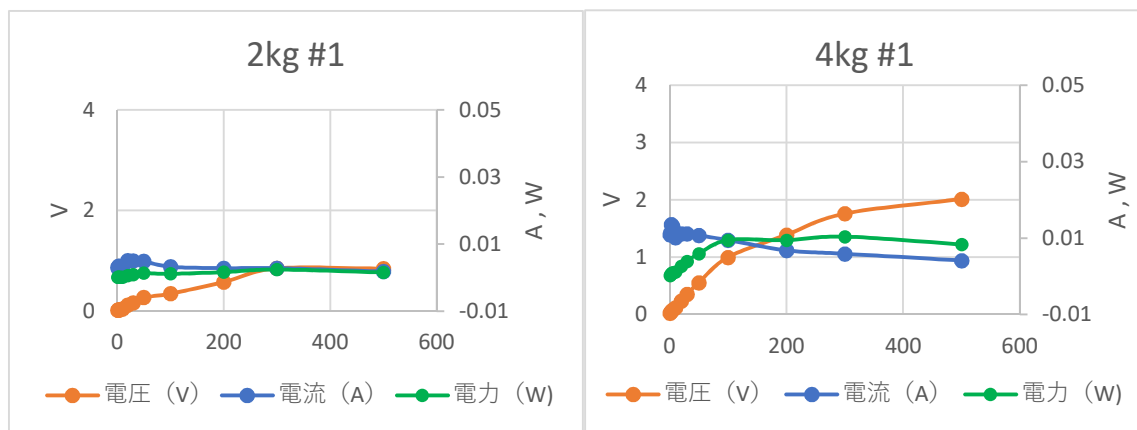


図 6

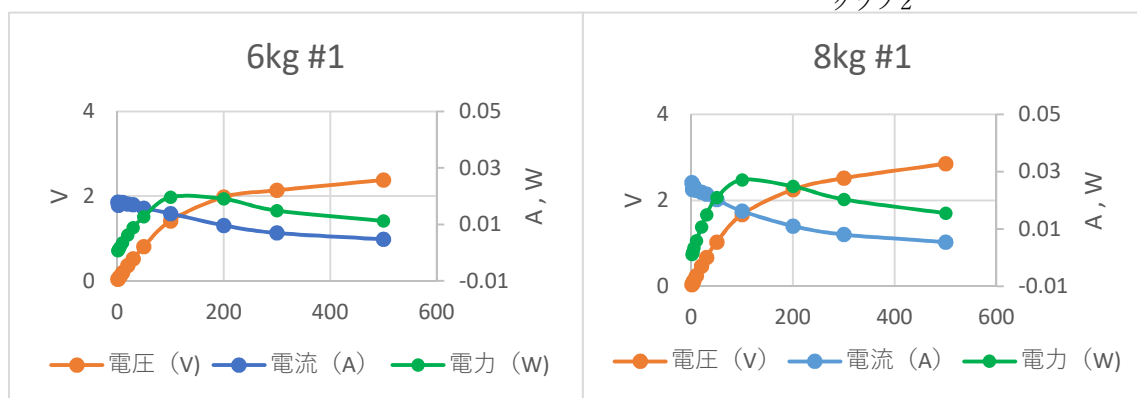
次に、電力、電圧、電流を計ったデータだが、本データは着水後から数えて計測器の 150 カウント後から重りを置く板が水面に触れる直前までのデータの平均をとった値である。

装置 1 で得られたデータはグラフ 1,2,3,4 である。



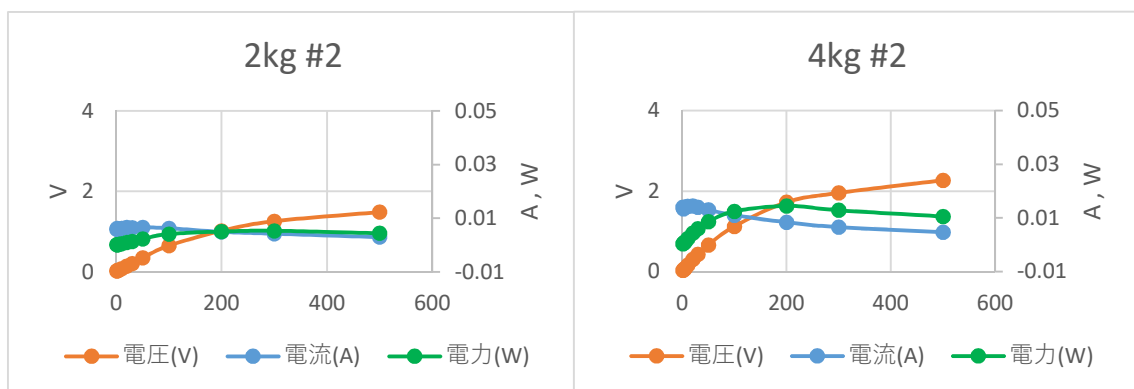
グラフ 1

グラフ 2



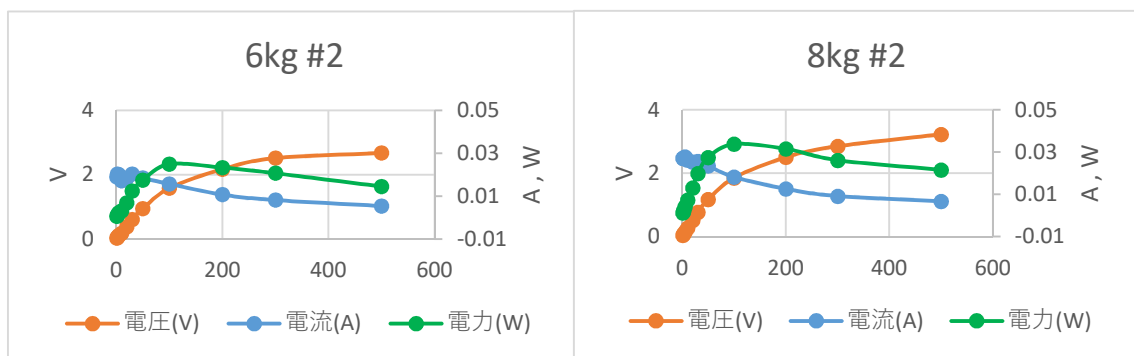
グラフ 3

グラフ 4



グラフ 5

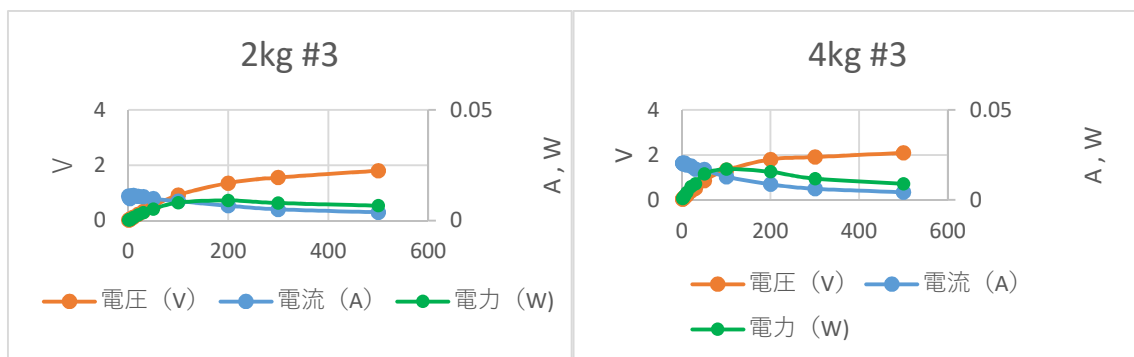
グラフ 6



グラフ 7

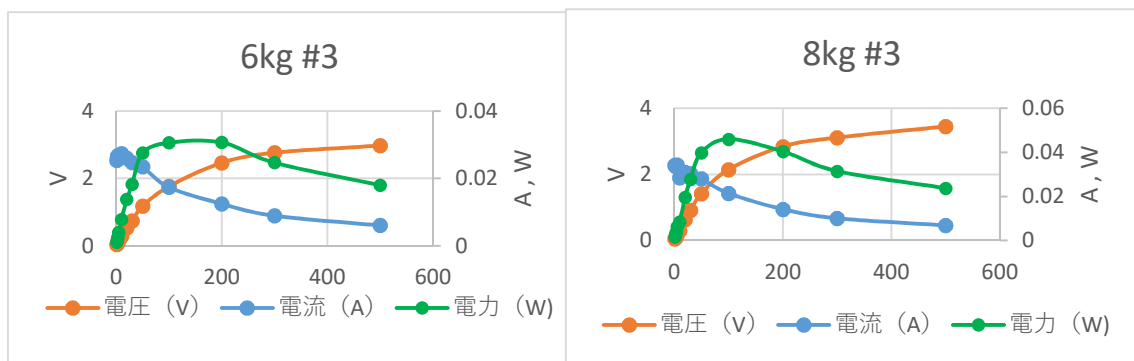
グラフ 8

装置 3 で得られたデータはグラフ 9,10,11,12 である。



グラフ 9

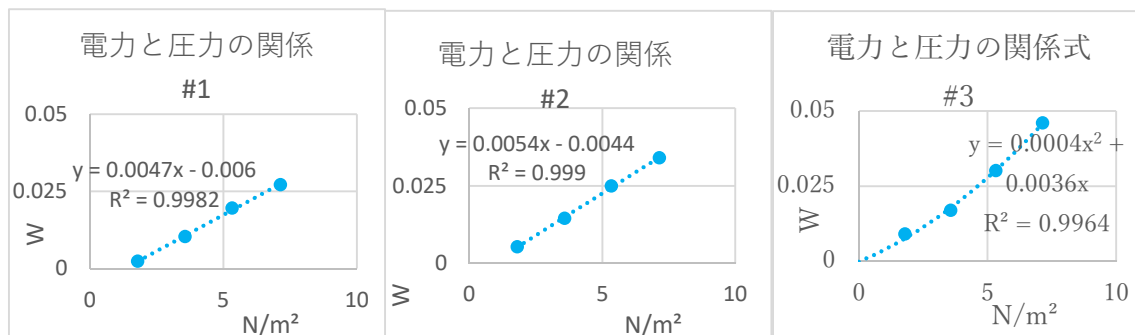
グラフ 10



グラフ 11

グラフ 12

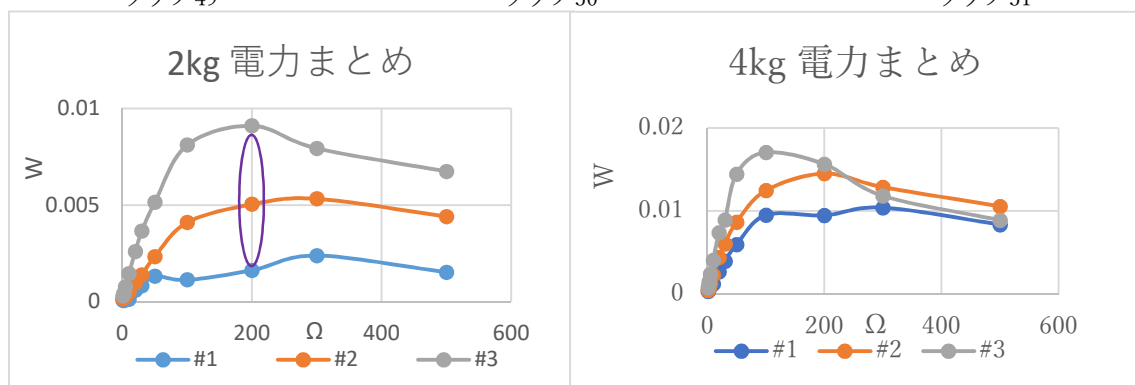
グラフ 49,50,51 は、電力と圧力の関係性について調べた。



グラフ 49

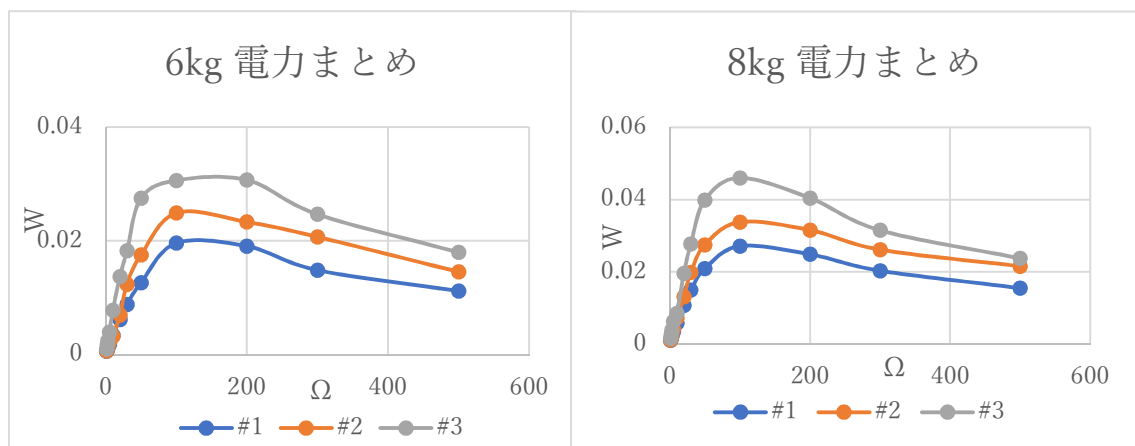
グラフ 50

グラフ 51



グラフ 52

グラフ 53



グラフ 54

グラフ 55

## ・ 考察

本実験の結果は着水後 150 カウント後から重りを置く板が水面に触れる直前までに得たデータを平均して出した。その理由は、着水してすぐに測り始めると波の干渉により装置が揺れるからだ。上記で述べた 150 カウント後から測り始める理由は、そこからだと基本的にデータが安定しているからだ。たくさんのデータの平均をとった理由は、計測器具の精度に不安があり、多くのデータから平均をとったほうが精度が上がると思ったからだ。

グラフ 1~12 の結果では、上の実験装置の最大の電力を出す抵抗値が、重りの重さを増や

していくにつれて徐々に小さくなっている。

抵抗値が小さくなる、つまり、回路全体に流れる電流が大きくなる。すると、モーターの内部に入っているコイルに大きな電流が行き、強めの電磁石になってしまう。その後周りの永久磁石と反発しあい、結果として回るのに必要な馬力が増えてしまう。逆に抵抗値が大きくなると今の逆のことが起き、モーター内部のコイルにあまり電流がいかないため、弱めの電磁石ができる。すると周りの永久磁石とあまり反発しないため、回るのに必要な馬力が少なくなる。逆に、馬力が大きいのに抵抗値も大きくすると、回路全体に流れる電流が小さく、モーターが簡単に回るのに対して馬力が大きいため過剰に回そうとする。その結果、電圧のみが大きくなる。つまり、空回りに近い状況になっているので電力が下がっている

よって、最大の電力を出す抵抗値が、重りの重さを増やしていくにつれて徐々に小さくなっている理由は、馬力が徐々に大きくなっているため、回路全体に流れる電流を抑制し、回転するのに必要な馬力を下げるよりも、回路全体に大きな電流を流し、回りにくくなったモーターを無理やり回すほうが発電効率が良いとわかる。また、精度の実験のところだが、誤差分をグラフ 1~12 にいれたところ、誤差の範囲がグラフのポイントより小さく、なにも変化しなかったため、本研究で行った実験の精度はかなり高いことがわかる。

図 4~6 をみると、装置 1 の形状だと空気の出るところよりも前で空気の速度が速くなっていて、その後減少していることからあまり良い形状とは言えないことがわかる。装置 2 をみると、ちょうど出口あたりで空気の速度が速くなっていることから本実験にあっている形状だということがわかる。装置 3 は、空気の速度が速くなっているところが 2 か所あることが読み取れる。1 つ目の場所は、左のふくらみから右のふくらみに移動する間である。

装置 3 の形状は、ヒョウタンのような形で、左の膨らみであるところの空気が、右のふくらみに移動する際に圧縮され速度が上がっていることがわかる。ここから想像するに同じようなふくらみをいくつもつなげておけば無制限に空気の速度が上がるのではないだろうか。

また、グラフ 1~12 とシミュレーションの結果を照らし合わせたところ、出口付近の空気の速度が速いほど発電量は大きくなるということがわかる。

グラフ 49~51 の中で、グラフ 51 のみが二次関数の式になっている理由は、ほかのものと違い、仕事率(W)を構成している力×速さの両方が重りの重さに比例しているからだと考えられる。

グラフ 51~55 のグラフをみると、#3 の装置はほかの実験装置と比べて、弱い波でも他の装置より波エネルギーの回収効率が非常に高いことがわかる。

## ・ 結論

本研究での最も良い実験装置は③だった。その理由は③のみ仕事率が二次関数で求められるからである。その理由は、上記で述べた力と速さが重りの重さに比例しているからだと考えられる。装置③のみ二次関数になる理由はほかと違い、ひょうたん型で、内部の空

気の流れが他と違うことが原因だと考えられる。さらに、グラフ 52 のように中の圧力が少ない、つまり波が小さい時でもほかの形状と比べて高い発電効率を望むことができる。本研究で得たこの実験結果は今後の波力発電の発電効率の安定性につながるだろう。今後は実験装置内部の圧力や装置の沈んでいく速度と距離などを計り、内部の圧力は常に一定なのか、それとも沈めたときにおこる波によって多少変わるのか。また、合計でどのくらいの空気が抜けていったのかなどを調べてゆきたい。

## ・参考文献

[1]永田 修一：波力発電の研究開発の現状：J-STAGE：2012 年 47 巻 4 号 p. 585-590

[2]電気事業連合会：発電設備と発電電力：

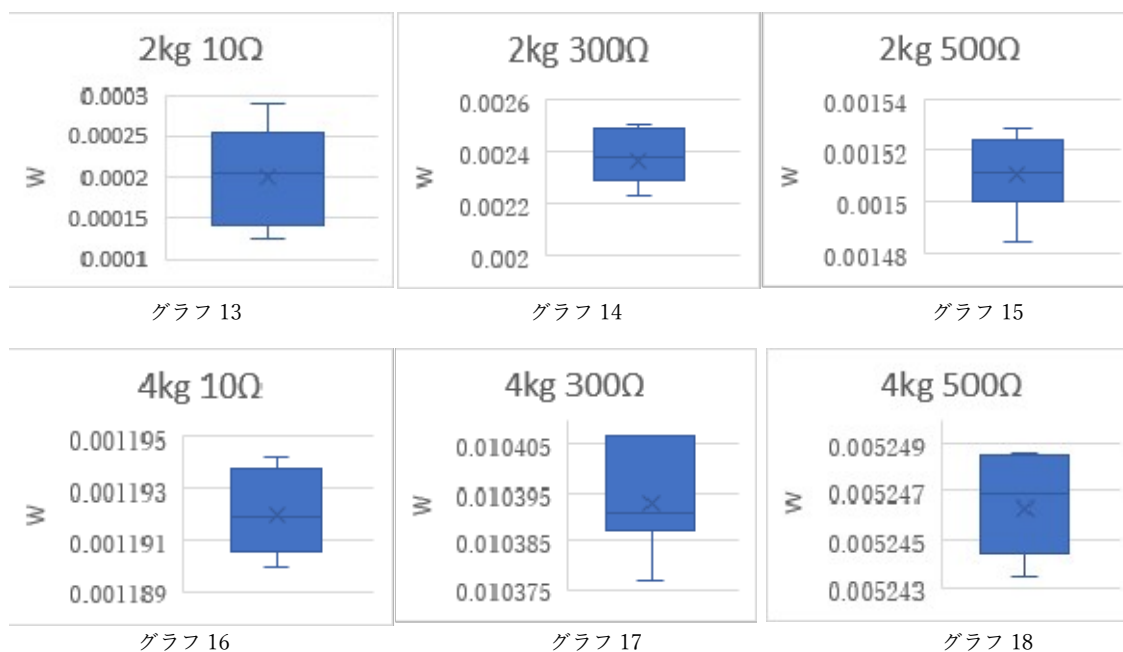
<https://www.fepc.or.jp/smp/nuclear/state/setsubi/index.html>

[3] 村上 天元, 今井 康貴, 永田 修一, 高尾 学, 瀬戸口 俊明：固定式振動水柱型波力発電装置の 1 次および 2 次変換効率に関する実験的研究：J-STAGE：2016 年 44 巻 6 号 p. 364-371

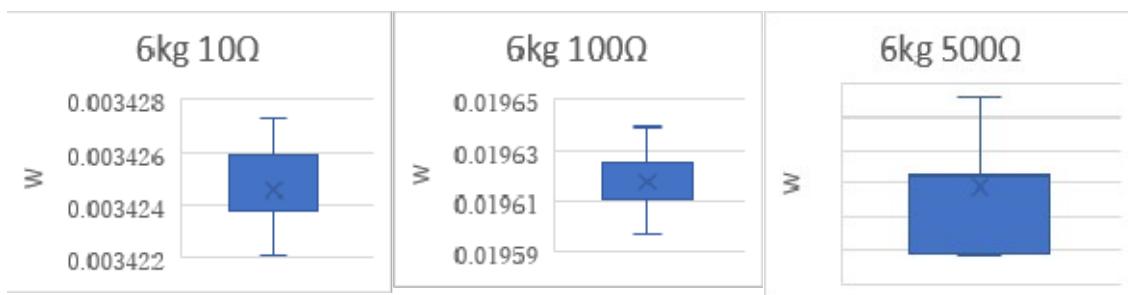
[4]坂下 万優花；振動水柱型波力発電の高効率化に向けた研究：電気学会未来創造コンテスト 2019

## ・精度の実験

実験装置 1 で行った実験はグラフ 13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24 である。



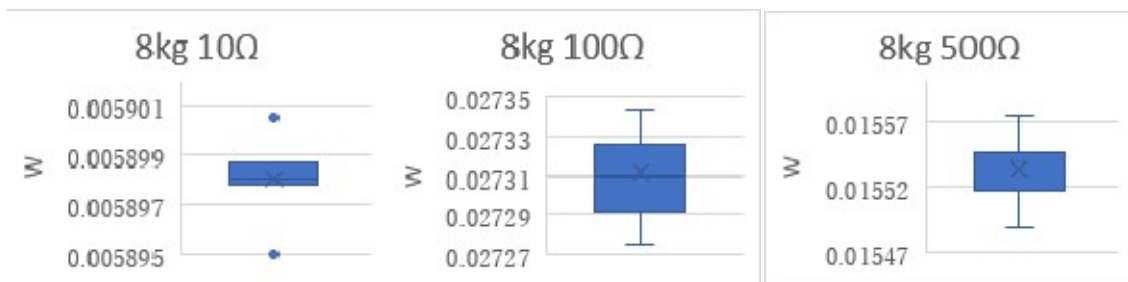




グラフ 19

グラフ 20

グラフ 21

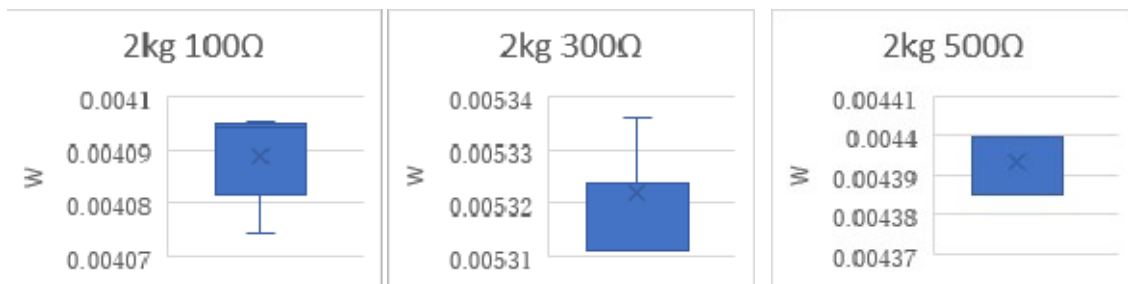


グラフ 22

グラフ 23

グラフ 24

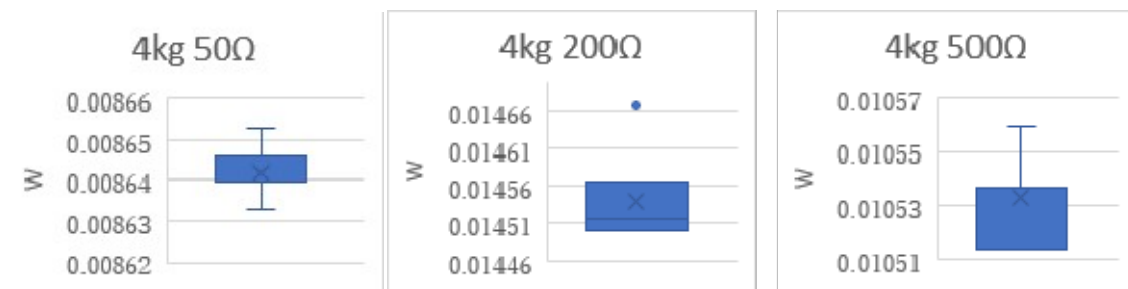
装置 2 で行った実験はグラフ 25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36 である。



グラフ 25

グラフ 26

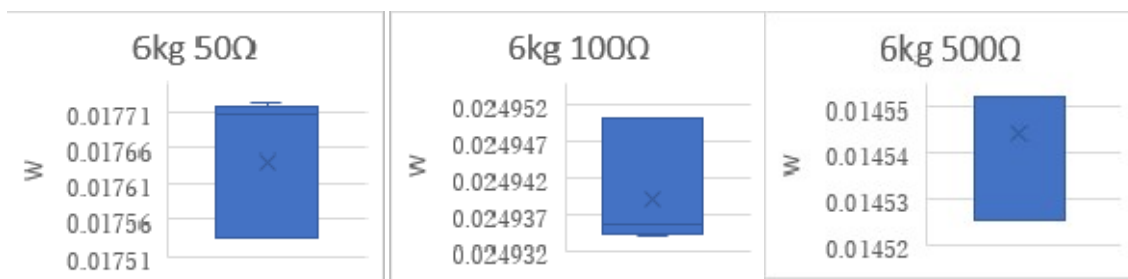
グラフ 27



グラフ 28

グラフ 29

グラフ 30



グラフ 31

グラフ 32

グラフ 33



装置 3 で行った実験はグラフ 37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48 である。

