

一般社団法人電気学会 電力・エネルギー部門 ニュースレター

目次

B 部門大会の開催案内	1
高校生みらい創造コンテスト	2
研究グループ紹介	11
学界情報	12
海外駐在記事	13
調査研究委員会レポート	14
用語解説／論文誌目次	15
論文委員会からのお知らせ	16
編修委員会からのお礼	17
「研究・技術功労賞」	
候補者推薦のお願い	18
学会カレンダー	19
図書広告	20

令和 2 年電気学会 電力・エネルギー部門大会の開催案内と論文募集(第 2 報)

電力・エネルギー部門（B 部門）は、会員および大会参加者の交流を深め活発な活動を図るため、下記の通り、令和 2 年 B 部門大会を開催し、講演論文を募集します。会員はもとより非会員の方の発表も歓迎します。

- 会 期** 令和 2 年 9 月 9 日（水）～ 9 月 11 日（金）
会 場 東北大学 川内北キャンパス
〒980-8576 仙台市青葉区川内 41
<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/profile/campus/01/kawauchi/>
- 論 文** 以下の 2 種類があります。
論文Ⅰ：内容のまとまった密度の濃い発表ができる和文または英文の論文。論文は原則 4 ページ以上とし、6 ページを超過する場合、著者には超過分の費用（5,000 円／ページ）を負担いただきます。ページ数の上限は 14 ページです。発表形式は「口頭発表」のみです。なお、29 歳以下の方で、論文Ⅰをポスター発表することも希望する場合は、申込時にその旨を申告して下さい。ただし、ポスター発表件数によっては、希望に沿えない場合があります。
論文Ⅱ：研究速報、新製品、トピックスなど速報性を重視し、迅速に発表や紹介をしたい和文または英文の 2 ページの論文。発表形式は、「口頭発表」と「ポスター発表」があります。申し込み時にどちらか一方を選択して下さい。ただし、希望に沿えない場合があります。
論文Ⅰ、Ⅱで対象とする主な技術分野は以下です。
(A) 電力系統の計画・運用・解析・制御
(B) 電力自由化
(C) 分散型電源・新電力供給システム
(D) 電力用機器
(E) 高電圧・絶縁
(F) エネルギー変換・環境

発表方法

- 論文Ⅰ：30 分（発表 21 分＋質疑 8 分＋交代 1 分）の口頭発表。討議が十分できる時間を取っています。
論文Ⅱ：20 分（発表 14 分＋質疑 5 分＋交代 1 分）の口頭発表。ポスター発表は A0 用紙 1 枚（縦）相当のポスターを指定した場所に掲示し、対応して頂きます。

問合せ先 〒102-0076 東京都千代田区五番町 6-2 HOMAT HORIZON ビル 8F
電気学会 事業サービス課 電力・エネルギー部門大会担当
電話：03-3221-7313 FAX：03-3221-3704 E-mail：pes@iee.or.jp

表彰について

35 歳以下の方が発表した論文Ⅰおよび論文Ⅱ（ポスター発表を含む）から、優秀論文発表賞を選定します。また、YPC（Young engineer Poster Competition）として、29 歳以下の方による優れたポスター発表に対し、YPC 優秀発表賞と YPC 奨励賞を授与します。年齢は発表当日時点のものです。

申込方法

論文Ⅰ、Ⅱともに講演の申込をインターネットで行います。申込完了後に、論文原稿を提出して頂きます。

注意事項

申し込み頂いた論文は全て発表可能ですが、発表は 1 人 1 論文に限ります。ただし、上述の通り、論文Ⅰ申込者のうち、29 歳以下の方で YPC での発表を希望する方のみ、論文Ⅰ（口頭発表）とポスター発表の 2 回の発表を認めます。また、論文Ⅰを B 部門大会特集号（令和 3 年 2 月号予定）として論文誌に掲載希望される場合は、B 部門大会への投稿と同時に、別途、各自で電子投稿・査読システムより B 部門大会特集号へ投稿して頂く必要があります。B 部門大会では、特別講演、シンポジウム、懇親会および各講演会場において写真撮影し、ホームページ上などで公開することがあります。

講演申込／原稿提出期間（厳守）

	論文Ⅰ、論文Ⅱ
受付開始日	令和 2 年 3 月 2 日（月） 9 時
講演申込締切日	令和 2 年 5 月 11 日（月） 17 時
原稿提出締切日	令和 2 年 5 月 18 日（月） 17 時

主 催 電気学会 電力・エネルギー部門（B 部門）
共 催 電気学会 東北支部（予定）
そ の 他 大会参加の申込方法、プログラムなどの詳細につきましては、本会誌、B 部門ニュースレターおよび B 部門大会のホームページに今後掲載します。

令和元年度電気学会高校生みらい創造コンテストの実施報告

電力・エネルギー部門編修委員会委員長
石 亀 篤 司

高校生みらい創造コンテストは、今年度第1回を迎えることができました。前回の高校生懸賞論文コンテストは、高校生が電気エネルギー技術を身近なものと感じ、我が国の基盤を支える重要な技術であること、未来を拓く有望な技術であることを理解し、電気工学を学ぶ契機となることを期待して始めました。高校生みらい創造コンテストでは、応募資格や提出書類の形式を緩和した反面、投稿内容については記載内容の指示、事前チェックの要求等を厳格化することで更なる高校生らしいユニークな発想の掘り起こしを期待し、新タイトルで始めました。

今回は、全国の高等学校、工業高等専門学校12校から28編の応募作品があり、厳正な審査の結果、論旨の展開、独創性、発展性、客観性、分析力、発想力など幅広い観点から評価し、最優秀賞1編、優秀賞1編、佳作賞3編を選考しました。また、高校生らしい着眼点で未来につながる技術をまとめた作品を「みらい創造賞」として1編を選考しました。

募集形式を論文、ポスター、プレゼン形式にし、連名も可能にしたことで、興味深い、楽しい、ユニークな内容の作品が多く見受けられました。具体的には波力風力や風力発電等に関する高度な実験・シミュレーション・考察を行

なった作品がある一方で、身の回りの課題に焦点を当て、その解決策を検討したユニークな作品もありました。

評価の高い作品は、高校生らしい視点や考え方で課題を捉え、試行を経て積極的に自分の意見を述べておりました。一方で、アイデアは良いのですが考察や主張が少ない作品の評価は高くありませんでした。

今回の審査を通して、現代の高校生が電気エネルギーに関する技術や課題に対しどのように考えているのかを読み取るとともに、現代社会の誰もが関わる電気エネルギーについて、我々電気学会の会員が分かりやすく伝えていくことの重要性を再認識しました。また、コンテストに参加した高校生の中から、近い将来に、電力・エネルギー分野で活躍する研究者、技術者が現れることへの期待を強くしました。

今年6月には、次回コンテストへの参加募集を開始いたしますので、引き続き多くの高校生に参加願えるよう指導員の先生方および関係者のご協力をお願いいたします。

最後になりましたが、本コンテストの企画・推進にあたり、共催のパワーアカデミーより多大なご支援、ご協力をいただきましたことに対し厚く御礼申し上げます。

令和元年電気学会高校生みらい創造コンテスト 審査結果

最優秀賞	玉川学園高等部	坂下 万優架 様
	「振動水中型波力発電の高効率化に向けた研究」	指導 矢崎 貴紀 先生
優秀賞	兵庫県立龍野高等学校	上田 日花里 様
	「日本の環境に適した新型風車の開発～小規模風力発電機 ジャイロニウス風車～」	指導 水田 佳希 先生
佳作賞	玉川学園高等部	中山 敬太 様
	「交通信号機の通信システム開発」	指導 田原 剛二郎 先生
佳作賞	玉川学園高等部	赤塚 暉洋 様
	「環境にやさしい水力発電」	指導 小林 慎一 先生
佳作賞	秋田県立秋田中央高等学校	小笠原 充宏 様 他2名
	「音や物体の振動と発電量に関する研究」	指導 一ノ関 拓郎 先生
みらい創造賞	石川工業高等専門学校	村井 颯馬 様
	「マンガン電池の利点と効率的な使用方法」	指導 河合 康典 先生

Final Results of IEEE Essay Writing Contest for High School Students, 2019.
By Atsushi Ishigame.

振動水中型波力発電の高効率化に向けた研究

玉川学園高等部

坂 下 万優架

1. 研究背景

2011年3月11日に東日本大震災の津波による福島第一原発の原発事故をきっかけに、原子力発電のリスクと再生可能エネルギーの存在を知った。しかし、現状では再生可能エネルギーだけで日本のエネルギーを安定して供給することは難しい。これを機に再生可能エネルギーの発電効率の向上に貢献したいと考えようになった。再生可能エネルギーには、太陽光発電、風力発電、地熱発電などいくつかの種類があるが、その中で私は面積効率がが高く、実験室で装置のモデル作成が可能であると考えられる波力発電に焦点を置き研究を始めた。

2. 現状分析と課題

波力発電におけるメリットは大きく分けて3つある。まず1つ目は、エネルギー源である波は枯渇の心配がないことである。2つ目に、波力はエネルギーの密度が太陽光などに比べて高く、効率がよいことがあげられる。1平方メートルの地表に入射する太陽光エネルギーが1kWなのに対し、1m幅の波の持つエネルギーは、沿岸部と沖で差はあるが、7kW～20kWほどだといわれている⁽¹⁾。電気エネルギーへの変換効率も太陽光発電が10～20%なのに対し、波力発電は30%と高くなっている⁽²⁾。3つ目に、波力発電は風力発電や太陽光発電のように天候や時間帯に作用されにくいいため、比較的安定して電気を発電することが可能である。これらのメリットは、他の再生可能エネルギーにおいて課題とされていることであり、波力発電は他にはない魅力を持っているといえる。

一方で、懸念点の1つにコスト面が挙げられる。波力発電の装置は海上への設置となるため、陸上に設置する装置よりも時間や費用がかかり、送電するにも大幅なコストがかかる。また、海水による腐食、貝やフジツボの付着などのための定期的なメンテナンスや点検など、維持コストもかかるため、淡水の水力発電所と比較しても波力発電の維持コストは高くなる。2つ目の懸念点として、沖に発電装置を設置する場合の安全性が挙げられる。台風による大波や、津波などの災害の際でも安全面の確保が難しい可能性がある。3つ目の懸念点は漁業との兼ね合いである。波力発電所は、海流の流れがある程度活発な場所につくる方が良いが、それは魚が多くいる場所に建設するという事となる。そのため、波力発電所の建設には漁業関係者の理解や協力が必

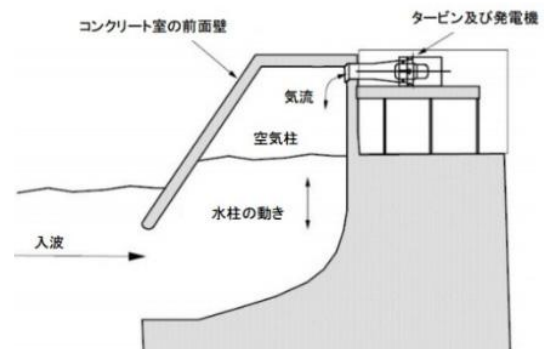


図1 水柱振動型波力発電⁽³⁾

要となる。

波力発電とは波の運動エネルギーを利用した発電方法であり、振動水柱型、可動物体型、超波型、ジャイロ式波力発電などが挙げられる⁽³⁾。この中で、振動水柱型波力発電に着目した。この発電方式は、中にある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（図1）。この発電方法に焦点を置いた理由は、タービンに直接波が当たらず、シンプルな構造であるため、故障や腐食に強く、また、空気による発電であることにより、台風などによる波浪に対しても比較的安全であるという特徴を持っているからである。このことから振動水中型波力発電の原理を参考にし、発電効率の上昇、装置の小型化、簡略化、維持コストダウンなどを目的とした研究を進めていくことに決めた。

3. 新たな発想内容

はじめに、振動水中型波力発電が、実験室レベルの発電装置として再現可能か検証することを目的とした。振動水柱型波力発電を、水槽、ペットボトル、漏斗、スタンド、まな板、タービン、大型容器などを用いて再現した模型を作った（図2）。しかし、水槽内で波を発生させる方法では、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。また、波が立つと同時に固定していた容器も上下に動いてしまい、波の力を存分に活かしていない。

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実験を進めることにした。このような手法でも水面

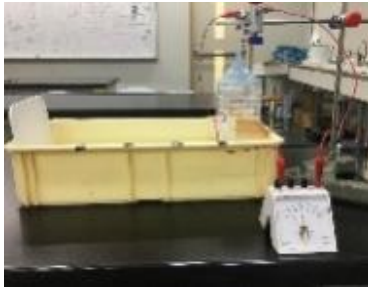
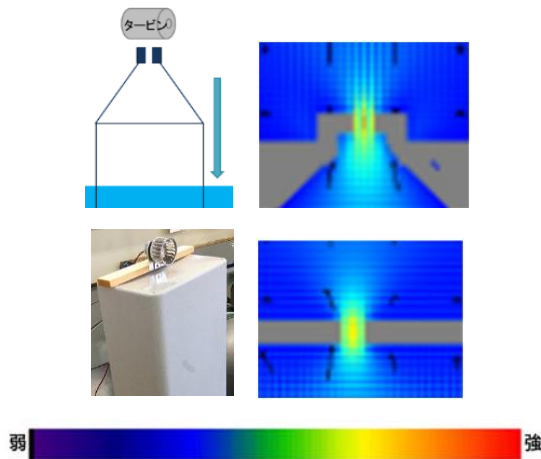


図2 作製した様々な波力発電モデル（どのタイプも発電に至らなかった）



ペットボトル型（上）箱型（下）
図3 空気柱の形状の違いによる
流体のシミュレーション

を動かすか実験装置を動かすかの違いであり、相対的に行っていることは変わらないと考え、実質波力を使えているとみなす。

まず、2L ペットボトル一つを用いて実験を行った。ペットボトルの底を切り取り、キャップに直径4 mmの空気孔となる穴をあけ、その上にタービンを近づけ、水面にペットボトルを押し込んだ。結果、タービンは回転し、発電できることが確認された（図3上）。

しかし、ペットボトルでは空気柱の体積が小さいため、より体積の大きい灰色の容器（空のごみ箱）に替え、4 mmの空気孔を作った灰色の容器自体を押し込む方法で実験を行い、タービンの回転数の向上を期待した。しかし、空気柱の体積は増えたにもかかわらずタービンを回すほどの風速を生み出すことができなかった。発電するためにはペットボトルのように空気が1点に集中するような形状が適している可能性が考えられる。

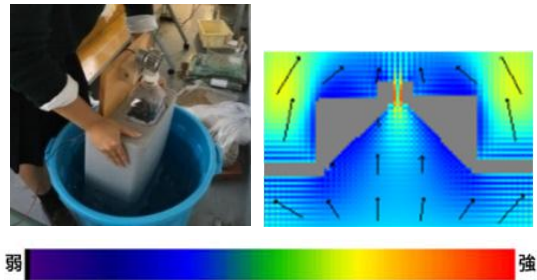


図4 ペットボトル型と箱型を組み合わせたときの
実験と流体シミュレーション

そこで、流体シミュレーションソフト「flow square」を用いて考察を行った。図3のように赤いほど気体の速度が大きい。空気孔部分の気体の速度を比較すると、灰色の容器のような箱型に対し、ペットボトル型の空気孔部分は気体の速度が大きくなっていることが分かる（図3）。すなわち、空気室の先端がペットボトル型のような空気孔に向かって徐々に細くなっていく形状になることで、空気孔に流れる気体の速度が大きくなると考えられる。

この結果から、容量が大きい灰色の容器にペットボトルを取り付けることで、双方のメリットを活かした実験を行う。灰色の容器にペットボトルの先端部分を取り付け、これまでと同じく水面に灰色の容器自体を押し込む方法で実験を行った（図4）。

4. 新たな発想内容の評価結果

実験の結果、全体の発電時間は7秒間で約0.98 mJの電力量を発電することができた。発電が可能となったのは、ペットボトルの先端の形状が空気の強い流れを作り出したことによるものであると考えられる。また、シミュレーションの結果から気体の速度が増すにつれ、空気孔側面で強い空気の流れがあることがわかる（図5）。これはペットボトル形状により中心の空気よりも側面の空気が圧縮されたことによるものだと考えられる。

ここまでの実験で「振動水中型波力発電が、実験室レベルの発電装置で再現が可能であるかの検証」が達成された。そこで、この装置を用いて研究を進めるにあたり、発電過程の状況の分析を行うことで、発電効率の改善、装置の小型化やコストダウンを目指すための方向性を定めるために、以下のような装置の評価実験を行った。

これまでは実験装置を人の手で押し込んでいたため、押し込む力が一定となるよう装置におもりを乗せ、自重で水に沈むよう改良した。2 kg、4 kg、6 kg、8 kg、10 kgのおもりを乗せたときの発電過程における電流、圧力、加速度をそれぞれ計測した。空気柱内に入れた圧力センサー、装置に取り付けた加速度センサー、タービンにつないだ電流計で、それぞれの時系列の値を測定し、また、装置の動きも実験時にスマートフォンで撮影した。これらをまとめた結果、発電が可能となった101300 Pa以上の圧力においては、発電時の最大電流と空気室内の最大圧力が比例関係にある

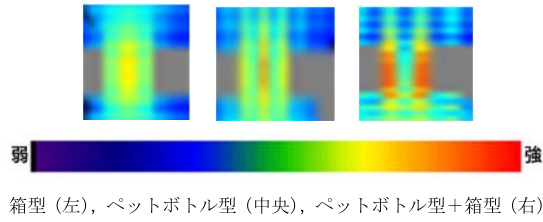


図5 空気孔付近のシミュレーション（勢いが増すにつれて側面の空気の流れが速い）



図6 評価実験の様子（おもりによって自重で水中に押し込まれる）

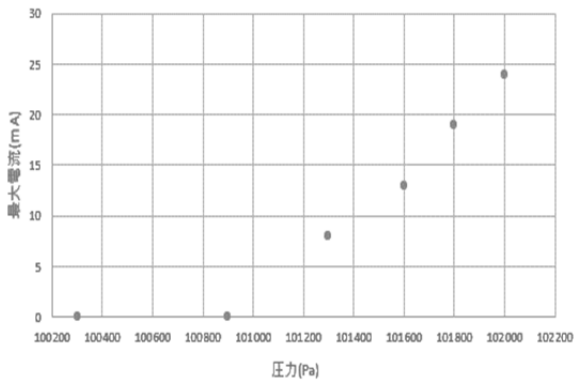


図7 空気室内の圧力と発電時の最大電流の関係（比例関係と予想される）

ことが示唆される（図7）。

なぜ比例関係を示したのか検証するため、モデルを立て物理法則から導いた。

F : タービンにかかる力（発電中は時間によらず一定とする）、 M : タービンの質量、 R : タービンの半径、 θ : タービンの回った角度、 I : 慣性モーメント、 N : 力のモーメント、 $d^2\theta/dt^2$: 角加速度、 ω : 角速度、 i : 電流、 A : 力 F が及ぼしている面積とし、

回転の運動方程式

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = N$$

において、

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt}$$

より、

$$I \frac{d\omega}{dt} = N \quad \dots\dots\dots (1)$$

タービンを円盤と考えると円盤の慣性モーメントは

$$I = \frac{MR^2}{2}$$

より、(1)式を代入して

$$\frac{MR^2}{2} \frac{d\omega}{dt} = FR$$

すなわち、

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{2}{MR} F$$

であり、この両辺を t で積分すると、

$$\int \frac{d\omega}{dt} dt = \int \frac{2}{MR} F dt$$

$$\omega = \frac{2}{MR} Ft + c \quad (c: \text{積分定数}).$$

初期条件が $t=0$, $\omega=0$ であれば $c=0$ となる。よって、 $\omega \propto F$ である。また、オームの法則 $i = V/R$ および、 V_0 は交流となるため $V_0 \propto \omega$ より、 $i = V_0/R$ において $i \propto \omega/R$ である。ここで、 R は定数であるから $i \propto \omega$ となり、 $\omega \propto F$ より、 $i \propto F$ となる。

一方で空気孔の圧力はパスカルの原理から、 $P = F/A$ より、 $i \propto P$ といえる。すなわち、回転の運動方程式と円盤の慣性モーメントから角速度とタービンにかかる力が比例関係にあるとわかり、オームの法則と電磁誘導による発電の原理から電流と角速度も比例関係になっていることが分かる。この二つの関係から、電流とタービンにかかる力が比例関係にあるとわかる。すなわち、圧力は力に比例していることから、電流と圧力はたしかに比例関係であることが確かめられた。

また、これらの計算過程からタービンの質量が小さいほど、力のかかる面積が大きいほど最大電流値は大きくなることもわかった。

5. まとめ

振動水中型波力発電が、実験室レベルの発電装置で再現が可能であるかの検証を目的に実験を行い、改良を重ね約 0.98 mJ の発電に成功した。また、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がわかった。

評価実験において、発電過程における電流、圧力、加速度をそれぞれ計測した。これらの値の関係性を調べたところ最大電流と、そのときの空気室内の圧力が比例関係にあることが予想され、モデル化したところ確かに比例関係になっていることが示唆された。

今後も実験、解析を通して高効率化を達成できるか調べていく。そのために、電流と圧力だけでなく、計測した他の物理量の関係性も模索していきたいと考えている。また、流体シミュレーションを用いた考察も、さらに様々な形状を試すなどして、より効率的な空気室の先端部分の形状を模索し、タービンを回す風力を大きくしていきたい。

文 献

- (1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構〔編〕：「再生可能エネルギー普及拡大にむけて克服すべき課題と処方箋」，NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第2版，森北出版（2014）
 - (2) 波力発電ドットコム：<http://www.haryokuhatsuden.com/>（2019 年 9 月閲覧）
 - (3) J. Khan and G. S. Bhuyan : “OCEAN ENERGY: GLOBAL TECHNOLOGY DEVELOPMENT STATUS”, IEA-OES Document, No.T0104 (2009)
-