

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	16
学界情報	17
海外駐在記事	25
調査研究委員会レポート	26
用語解説／論文誌目次	27
論文委員会からのお知らせ	28
編修委員会からのお礼	29
「研究・技術功労賞」 候補者推薦のお願い	30
学会カレンダー	31
図書広告	32

令和3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3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3年8月24日（火）～8月26日（木）
会場 北海道大学 札幌キャンパス 高等教育推進機構
〒060-0817 札幌市北区北17条西8丁目
https://www.hokudai.ac.jp/introduction/pdf/campusmap2020_04.pdf
COVID-19の感染状況によりオンライン開催とさせていただきます

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分程度（質疑応答を含む）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分程度（質疑応答を含む）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。

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。年齢は大会初日時点のものです。

オンライン開催の場合には、YPC各賞の代わりとして、29歳以下の方による優れた口頭発表に対して、YOC優秀発表賞とYOC奨励賞を授与する形式に変更する可能性があります。

・YOC：Young engineer Oral presentation Competition

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4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3年3月1日（月） 9時
講演申込締切日	令和3年5月11日（火） 17時
原稿提出締切日	令和3年5月11日（火） 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 北海道支部（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。

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
E-mail：pes@iee.or.jp

令和2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
馬場 吉弘

高校生みらい創造コンテストは、今年度第2回を迎えることができました。前回と同様、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。

電気・エネルギーおよび環境を対象とした実験、測定、計算、設計などを自らの発想で行った報告や高校生らしいユニークな発想の掘り起こしを求めています。

今回は、全国の高等学校、工業高等専門学校16校から30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3編、佳作賞5編を選考しました。また、今回1校で数多くの作品に応募していただきましたが、今一步のところで受賞を逃した高校を特別賞として表彰させていただいています。

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。具体的には電池や波力、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、

検証を行っ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まとめ良く述べておりました。一方で、アイデアは良いのですが、目的が不明瞭や考察不足、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2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	愛知県立半田高等学校 「身近なもので簡単に発電 ～色素増感太陽電池～」	指導	渡邊 妃麗 様、他5名 杉野 正彦 先生
優秀賞	福島県立福島高等学校 「マグネシウムとヨウ素を用いた次世代型電池開発の研究」	指導	小野寺 葵 様、他6名 高橋 昌弘 先生
優秀賞	神戸市立工業高等専門学校 「歩行による振動を模擬した低周波振動における圧電素子を用いた振動発電 ～クリーンなエネルギーはその一歩から～」	指導	中島 悠花 様 南 政孝 先生
優秀賞	山形県立山形工業高等学校 「高電圧パルス印加による菌類伸長の研究」	指導	武田 涼 様、他1名 吉田 幸宏 先生
佳作賞	山形県立山形工業高等学校 「風車のブレードと発電量の関係性についての研究」	指導	笹原 隼介 様、他2名 吉田 幸宏 先生
佳作賞	山形県立山形工業高等学校 「小型垂直軸型風力発電装置の製作 ～エネルギーの地産地消を目指して～」	指導	多田 琴 様、他1名 吉田 幸宏 先生
佳作賞	玉川学園高等部 「波力発電の高効率化」	指導	赤塚 暉洋 様 小林 慎一 先生
佳作賞	玉川学園高等部 「無人航空機自律制御の研究」	指導	西岡 英光 様 田原 剛二郎 先生
佳作賞	八戸工業大学第一高等学校 「青森の安全なエネルギー供給を考える」	指導	若本 翔太 様、他5名 樋口 寿昭 先生
特別賞	神戸市立六甲アイランド高等学校		

Final Results of IEEJ Essay Writing Contest for High School Students,
2020.
By Yoshihiro Baba.

身近なもので簡単に発電 ～色素増感太陽電池～

愛知県立半田高等学校

渡邊 妃麗, 石濱 英雄, 加藤 有起
川地 駿, 伊藤 愛里, 下田 琢人

1. はじめに

国連の持続可能な開発目標では、「エネルギーをみんなにそしてクリーンに」とある。しかし現在、世界の供給電力の約半分は化石燃料を用いた火力発電によって生み出されている。よって、この開発目標を、国連が定める期限である2030年までに達成するためには、再生可能エネルギーの活用が急務となる。色素増感太陽電池は、エネルギーを得るための有効で持続可能な手段の一つである。しかし、現在の色素増感太陽電池は電極として高価な導電性ガラスが用いられているため、電池の値段が高くなり、普及が遅れる要因となっている。

2. 研究目的

一般に色素増感太陽電池の電極には、導電性ガラスが用いられている。私たちの研究ではコストカットを検討して、アルミニウム板と液晶保護フィルムを用いたところ、色素増感太陽電池としての性能が確認できた。本研究の目的は、この自作した色素増感太陽電池の性能を向上させることで

ある。ここで本研究での「性能の向上」とは、「起電力と電流の増大、および起電力と電流の最大値と最小値の差（振れ）を小さくすること」である。ヨウ素溶液と色素液の割合を調整しながら、電流と起電力の大きさを計測し、最適な作製方法を検討する。

3. 作製方法

以下の手順で色素増感太陽電池を作製した。

- (1) ポリエチレングリコール (PEG, $n \approx 2000$) 0.40g, 酸化チタン(IV) (TiO_2) 0.80g, 酢酸 (17mol/L) 0.50mL, 蒸留水 2.0mL を乳鉢に入れ、乳棒で30分間混合する。
- (2) (1)をアルミニウム板（負極活物質）に薄く塗り、10分間自然乾燥させる。
- (3) (2)にゴム製の枠 (4.5×8.5cm 高さ0.5cm) をのせる。
- (4) 色素液（ローズヒップティー〈水40mL, 茶葉2.0g〉）とヨウ素溶液 (KI 0.012mol/L, I_2 0.0047mol/L) を寒天粉末 (0.30g) でそれぞれ固める。
- (5) 寒天ゲルの表面積が大きく、酸化チタン膜と炭素粉末に触れる面積が大きくなるため、(4)の寒天ゲルをこし器でこし、はかり取る。
- (6) (3)に色素寒天ゲル、ヨウ素寒天ゲルの順に、均一に重ねる。
- (7) 液晶保護フィルムの粘着面に炭素粉末（正極活物

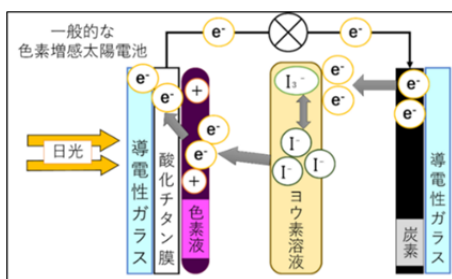


図1 一般的な色素増感太陽電池

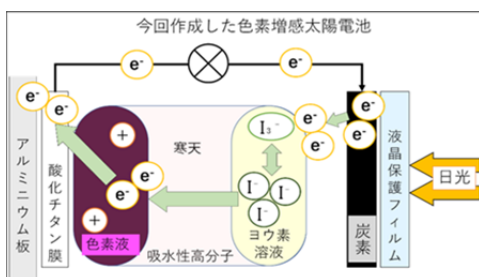


図2 本研究の色素増感太陽電池

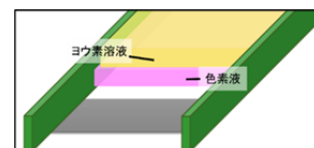


図3 作製方法 (手順6)

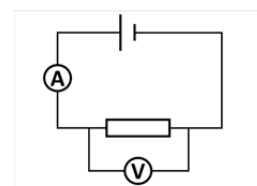


図4 作製方法 (手順8)

質)を塗り、炭素粉末を塗った面が内側になるよう(6)に重ねる。

(8) 回路を繋ぎ、(7)にLEDライト(約 $1.3 \times 10^4 \text{ lux}$)を照射し、抵抗を $0 \sim 60 \Omega$ の間で 10Ω ずつ変化させ、電圧計と電流計を用いて生じた起電力と電流を計測する。

【実験Ⅰ】

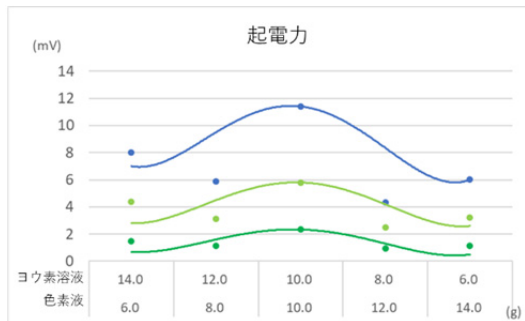
過去の研究では色素液とヨウ素溶液を吸水性高分子でゲル化していたが、本研究では、酸化チタン膜と炭素粉末に触れる面積を大きくするために、寒天を用いてゲルの粘度を下げた。手順5で2つのゲルの合計質量が 20.0 g になるよう、2つのゲルの質量比を変えて実験した。

【結果】 結果は図5、図6のようになった。電池の時間劣化が激しく、起電力と電流の値が不安定であった。

【考察】 起電力と電流の値が不安定であった原因には、次の二つのことが考えられる。一つ目は、ゲルの質量が小さくなりすぎると均一に広げられないこと。これによって、電池ごとの差異が大きくなり、計測値に誤差が生じていると考えられる。二つ目は、分極が起こっていることである。これによって、電池の時間劣化が激しくなっていると考えられる。

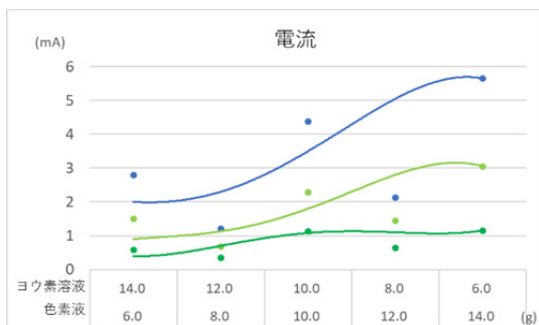
【実験Ⅱ】

実験Ⅰの「ゲルの質量が小さくなりすぎると均一に広げることができず、起電力と電流の値が不安定になる」という課題を解決するために、全体の質量を実験Ⅰの2倍の 40.0 g



・ 10Ω ・ 30Ω ・ 60Ω

図5 結果Ⅰ（起電力）



・ 10Ω ・ 30Ω ・ 60Ω

図6 結果Ⅰ（電流）

にして、実験を行った。また実験での、「分極が起こっていること」を解決するために、2つのゲルの間に減極剤として酸化マンガン(Ⅳ) 0.60 g を入れた。

【結果】 結果は図7、図8のグラフのとおりである。全体の質量を 40.0 g にしたことで、電池ごとの値のばらつきが小さくなった。起電力と電流のいずれのグラフも、右端の色素ゲルとヨウ素ゲルの質量比が3:7となっている電池で最も大きな値を示している。また、減極剤として酸化マンガン(Ⅳ)を用いたことで、電池の時間劣化を軽減することができた。しかし、起電力と電流はあまりにも小さいため、まだ実用的な電池とは考えられない。

【考察】 起電力のグラフと電流のグラフのいずれも、右端の色素ゲルとヨウ素ゲルの質量比が3:7の電池で最大の値を示した。このことから、酸化チタンを十分に増感させる色素がある範囲では、電子を移動させる電解液の量が多いほど色素増感太陽電池の性能が良くなると考えられる。

また、実験Ⅰに比べて全体の質量を増やしたことで電池ごとの差異は小さくなった一方、電池の性能は低くなった。この原因には、2つのゲル自体の抵抗値が大きく、ゲルの質量を増やしたことで電池の内部抵抗が大きくなったと考えられる。

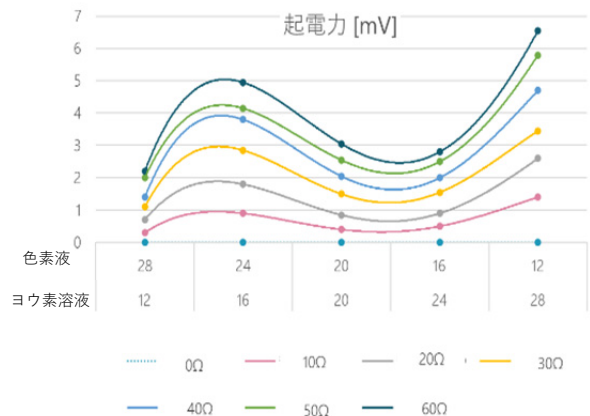


図7 結果Ⅱ（起電力）

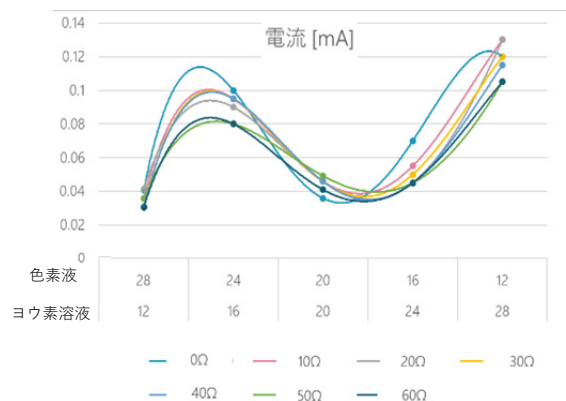


図8 結果Ⅱ（電流）

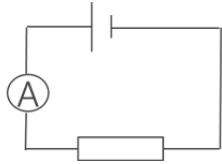


図9 実験Ⅲ 回路図

	抵抗[kΩ]
液晶保護フィルム	6.0×10^2
液晶保護フィルム (炭素粉末付き)	2.9×10^2

図10 結果Ⅲ

導電性ガラス(2枚)		液晶保護フィルム	アルミ板	合計
900	値段(円/1cm ²)	0.38	8.96	
10.2×4.7+15.0×4.5	使用面積(cm ²)	10.2×4.7	15.0×4.5	10.2×4.7+15.0×4.5
103896	費用(円/1枚)	18.22	604.8	623.02
0	カット率(%)	99.96	99	99.4

図11 コストカット

【展望】 実験Ⅱの結果を踏まえて、よりヨウ素ゲルの量を増やし、色素ゲルの量を減らした質量比での実験を行い、電池の性能が最も向上する質量比を探究する。また、実験ごとの誤差を小さくするため、酸化チタンの膜厚を一定にする方法と、より均一にゲルを広げる方法を検討する。さらに、ゲルの粘度が大きいと電子の拡散定数が小さくなり、電流が流れにくくなることから、ゲルの形状を保ちつつ粘度を下げる方法を探究する。具体的には、色素液をゲル化するのではなく、酸化チタン膜に噴霧することを検討する。

【実験Ⅲ】

実験Ⅱで、起電力と電流の値は安定したものの、それらの値が小さ過ぎるという課題は残った。その原因は液晶保護フィルムの抵抗にあると考え、その値を計測する実験を行った。図9のような回路をつなぎ、液晶保護フィルムの抵抗を測定した。

【結果】 実験の結果から抵抗値を計算すると、図10のようになった。導電性ガラス(アズワン NPV-CFT2-7)の抵抗は液晶保護フィルムと同面積で10kΩである。よって、炭素粉末付きの液晶保護フィルムでさえ、導電性ガラスの30倍の抵抗をもつことが分かった。

【考察】 やはり本研究の電池の起電力と電流が小さい原因の一つは、液晶保護フィルムの抵抗である。液晶保護フィルムの抵抗が大きいことにより、電池の内部抵抗が大きくなったことで、本研究の太陽電池の性能が低下していると考えられる。

【展望】 実験Ⅲの結果を踏まえ、電池の内部抵抗を小さくするため、導電性ガラスの新たな代替材料を探究する。具体的には、導電性フィルムの使用や、液晶保護フィルムに金属を蒸着することを考えている。

4. まとめ

図11より、本研究の太陽電池は一般的な太陽電池と比べて約99%のコストカットを実現したといえる。従来の色素増感太陽電池では、導電性ガラスに酸化チタン膜を焼き付ける工程が必要であったが、本研究では焼き付けなくても本研究で太陽電池としての性能を発揮することを明らかにした。さらに、導電性ガラスの代わりに液晶保護フィルムとアルミニウム板を使用することを考案して検討した結果、従来の色素増感太陽電池に比べ短時間で安価に作製することができ、電池としての機能を十分に発揮することが明らかになった。今後は、実用化に向けて、さらなる性能の向上を探究していきたい。

文 献

- (1) 岩手県立釜石高等学校:「平成25年度 岩手県立釜石高等学校『数理科学研究Ⅰ』研究集録」,「色素増感型太陽電池の起電力に関する研究」, pp.17-22 (2013)
- (2) 岩手県立釜石高等学校:「平成26年度 岩手県立釜石高等学校『数理科学研究Ⅰ』『数理科学研究Ⅱ』『海外研修』研究集録」,「色素増感太陽電池の起電力に関する研究」, p.28 (2014)
- (3) 岩手県立釜石高等学校:「平成28年度 岩手県立釜石高等学校『数理科学研究Ⅰ』『数理科学研究Ⅱ』『海外研修』研究集録」,「A Study about the Dye-sensitized Solar Cells」, pp.70-75 (2016)
- (4) 長崎県立長崎南高等学校:「平成27年度 生徒課題研究論文集」,「色素増感太陽電池」, pp.90-91 (2015)
- (5) 若狭信次:「手作り太陽電池のすべて 色素増感太陽電池を作ろう」, パワー社 (2010)
- (6) 「色素増感太陽電池を作ろう!」, <http://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/121031.php>
- (7) 「抵抗キットを使った電池の内部抵抗の実験」, <http://www.aichi-c.ed.jp/contents/rika/koutou/buturi/bu8/teikoukou/naibuteikoh.htm>

歩行による振動を模擬した低周波振動における 圧電素子を用いた振動発電

— クリーンなエネルギーはその一歩から —

神戸市立工業高等専門学校

中島悠花

1. はじめに

2015年9月の国連サミットで、2030年までに持続可能でより良い世界を目指す目標として17の国際目標で構成されたSDGsが成立した⁽¹⁾。その中に「7. エネルギーをみんなにそしてクリーンに」という目標がある⁽¹⁾。私たちの身の周りには、光・熱（温度差）・振動・電波など様々な形態で環境中にエネルギーが存在する。そして、これらのエネルギーを電力に変換するエネルギーハーベスティング（別称：環境発電）という技術が近年注目されている⁽²⁾。その中で本研究では、振動によるエネルギーを電気エネルギーに変換する振動発電⁽³⁾⁽⁴⁾に注目している。

本研究では、私たち（人）が「歩く」という日常生活の中で必ず生まれる動作に着目し、その振動エネルギーを回収することができれば、全ての人が安定した持続可能なエネルギーを得ることができるのではないかと考えた。そして、そのエネルギーを応用する先として、日常生活に必要な不可欠なスマートフォンの充電を考えている。

そのため本論文では、歩く動作（歩行）を模擬した低周波振動（1Hz）を用いて、圧電素子によるエネルギー回収の評価を数値的に実施し、実機検証の準備に取り掛かっている。特に、圧電素子のエネルギー回収に必要な整流器の種類に着目し、その出力特性を数値的に評価したことを報告する。

2. 現状分析と課題

従来、発電するデバイスの観点と機械的な共振を合わせる観点から、振動発電には、高周波（数十Hzから数百Hz）の振動が用いられている。一方、歩行による振動は、低周波（1Hz前後）であるため、従来の方法ではエネルギーを得ることは非常に難しい。また、振動の種類として、歩行時の腕や足の揺れを再現する、前後回転の運動を想定しているため、単調な励振ではない。したがって、検証するための実機製作にあたり、どのような物理的な振動発生機構（構造）を用いるのかを考える必要がある。

本発表では、低周波（1Hz）の振動によって圧電素子による発生エネルギーを数値解析により検証し、振動発生機構の製作成果をまとめる。

3. 圧電素子の等価回路と整流器

〈3・1〉 圧電素子と等価回路 図1に本研究で使用する圧電素子（THRIVE社製、K7520BS3）を示す。圧電素子は圧電性セラミックを電極で挟んだ構造をしており、中心のステンレス鋼の電極の両面に圧電性セラミックがあり、それを銀の電極で挟み込んだ構造をしている。

次に圧電素子の等価回路について説明する。図2に示すように、圧電素子は機械的特性および電気的特性を等価回路モデルとして表すことができる。機械部からのエネルギー源が電荷として送られるため交流電流源 i_{ac} として表現され、圧電素子部分は内部静電容量 C_p として表される。また、内部抵抗 R_p は、交流電流源 i_{ac} と内部静電容量 C_p と並列に存在する。

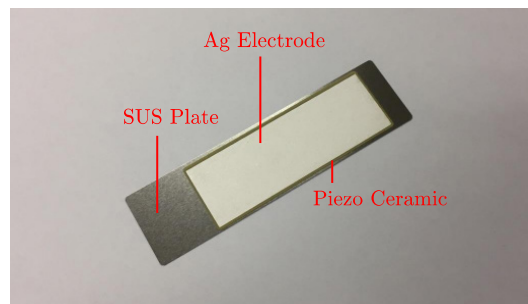


図1 使用する圧電素子 (K7520BS3)

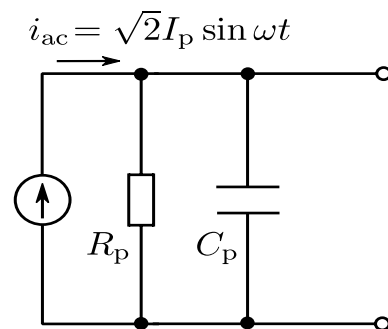


図2 圧電素子の等価回路

〈3・2〉 整流器 圧電素子を用いた振動発電の出力電力は交流であるため、振動発電で得た電力を利用するためには直流への変換する整流器が必要となる。また、本研究で対象とするエネルギーは微小であるため、ドライブに電力が必要なアクティブ素子を用いずにパッシブ素子のみで構成された整流器を対象とする。そのため、一般的に広く用いられるダイオードブリッジ整流器（略称：DB (Diode Bridge Rectifier)）⁽⁶⁾を用いる。しかしながら、ダイオードブリッジ整流器の回路構成は簡単であるが、効率が良くないため、出力電圧と出力電力がともに低いと言われている。振動発電の出力電力は小さいので、直流に変換すると出力電力がさらに小さくなるという問題がある。これに対して、ダイオードブリッジ整流器よりも出力電圧が高く得られるような整流器として倍電圧整流器（略称：VD (Voltage Doubler Rectifier)）がある。この整流器は、出力電圧は高いが、出力電力が小さいという特徴がある。本発表ではこれら2つ（ダイオードブリッジ整流器と倍電圧整流器）の整流器をそれぞれ振動発電の回路に組み込み、数値解析により、その効果を検証する。

4. 数値解析

〈4・1〉 解析条件と解析方法 数値解析に用いる回路シミュレータは、PLECS4.4.1を用いている。そして、圧電素子の電気的特性は、先行研究⁽⁶⁾を参考に、振幅を10mA、角周波数 $\omega=2\pi \times (1\text{Hz})$ 、 $R_p=3.6\text{k}\Omega$ 、 $C_p=1.06\mu\text{F}$ と設定する。図3、図4に対象とする整流器を圧電素子に接続した回路を示す。

ここで、ダイオードブリッジ整流器および倍電圧整流器に用いるダイオードは理想素子であるとする。このとき、平滑用キャパシタ C_o の容量は $10\mu\text{F}$ とし、初期電圧は0Vと

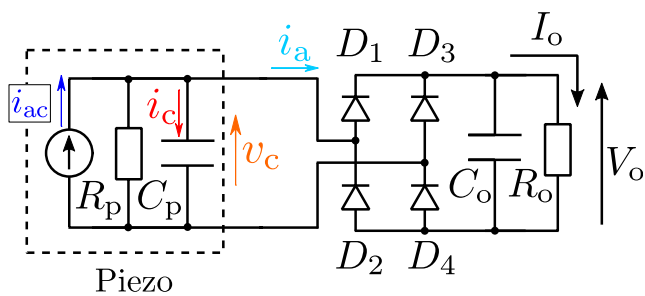


図3 ダイオードブリッジ整流器（略称：DB）

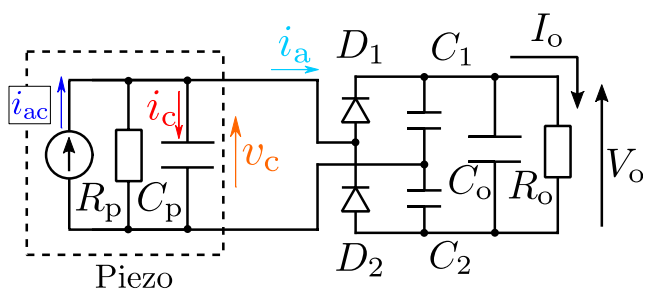


図4 倍電圧整流器（略称：VD）

する。また、図4の倍電圧整流器に使用する C_1 および C_2 については容量を $10\mu\text{F}$ 、初期電圧を10Vとする。このとき、平滑用キャパシタ C_o の容量は $10\mu\text{F}$ 、初期電圧は20Vとする。計算時間は回路が十分定常状態に収束した5秒間に設定している。

負荷抵抗 R_o をE12系列で 1.0Ω から $4.8\text{M}\Omega$ まで変化させ、収束値（出力電圧 V_o と出力電流 I_o ）を測定する。ここで出力は直流なので、出力電力は $P_o=V_o I_o$ として算出している。

〈4・2〉 解析結果 図5および図6に数値解析結果を示す。それぞれの回路を略称であるDB（ダイオードブリッジ整流器）とVD（倍電圧整流器）と表記している。図5において、横軸が電圧（単位：V）、縦軸が電流（単位：mA）を表す。図6において、横軸が電圧（単位：V）、縦軸が電力（単位：mW）を表す。図6のP-V特性について、ダイオードブリッジ整流器と倍電圧整流器を比較すると、電圧が0Vから24Vの範囲では、ダイオードブリッジ整流器の方が得られる電力が大きいことがわかる。全領域で、最大電力を比べると、ダイオードブリッジ整流器の方が倍電圧整流器の2倍の電力を出力している。このとき、ダイオードブリッジ整流器では 44.38mW 、倍電圧整流器では 19.68mW の電力を得ることができている。

一方で、高い出力電圧を用いて大電力を得るには倍電圧整流器の方が優れていることがわかる。以上のことから、出力の要求（電圧値や電力値）に合わせた設計が必要である。

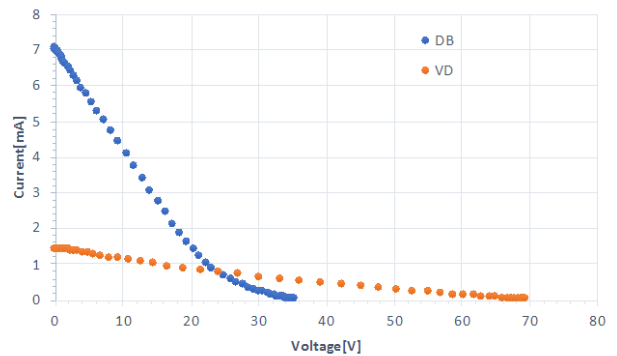


図5 出力電流と出力電圧の関係

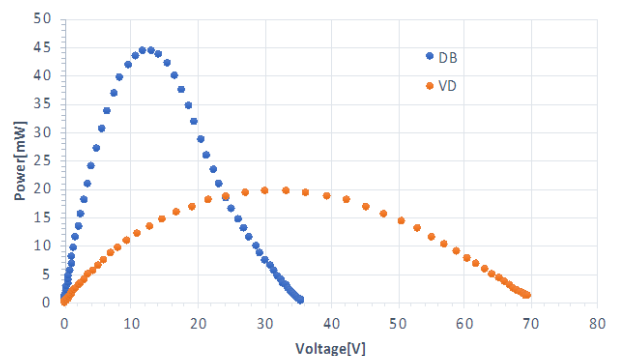


図6 出力電力と出力電圧の関係



図7 製作した振動模擬試作機

5. 振動模擬試作機を用いた低周波振動の検証

前章の数値計算で用いた圧電素子の電気的特性（特に電流の振幅値）は、先行研究⁽⁶⁾の値を参考に決定したものである。今後は本研究で対象とする歩行による低周波振動を模擬した実験により、電気的特性の妥当性を調査する必要がある。そのため、ここでは、振動模擬試作機を製作して、振動を模擬させることが可能かを検証する。

〈5・1〉 振動模擬試作機 図7に製作した振動模擬試作機を示す。回転式DCモータ（自作）を用いて加振させ、プラスチックの板の先端に取り付けた圧電素子を振動させる構造（図7中には圧電素子は未実装である）となっている。回転式DCモータの電圧を調整することで、周波数を調整する設計にしている。なお本研究では、歩行によって生じる振動エネルギーを対象としているため、1Hz程度の周波数が対象である。

〈5・2〉 検証結果 図7に示した振動模擬試作機を用いて振動させる検証をしようとしたが、電圧を印加しても微動だにせず、振動動作が確認できなかった。その原因として、試作機の推力不足が考えられる。今後は、力学的な設計を踏まえて、推力を増強させ実験を続ける予定である。

6. おわりに

本研究では「歩く」という日常生活の中で必ず生まれる動作に着目し、その振動エネルギーを回収することができれば、歩行するだけで誰でもいつでもスマートフォンが充電できるのではないかと考え、回収エネルギーの数値解析による評価と実証実験に向けた準備を報告した。今回検証した条件では、より低電圧で大きな電力を取り出すことができるという点からダイオードブリッジ整流器を用いた振

動発電の方が適していることがわかった。また、高電圧にて動作させたい場合には、倍電圧整流器が適していることがわかった。振動模擬試作器は残念ながら推力不足により動作しなかったため、今后再設計して実機検証を進めていきたい。

今後の展望として、1. デバイス、2. 整流器、3. 振動機構のそれぞれの観点で研究を進めていく予定である。現状は圧電素子を用いた振動発電を想定しているが、それ以外のデバイス（例えば、磁歪材料⁽⁷⁾）の適用を考えている。また、整流器は本論文でダイオードブリッジ整流器と倍電圧整流器の2種類を対象にしたが、パッシブ素子のみで構成されるその他の整流器^{例えば⁽⁸⁾⁽⁹⁾}を扱っていきたい。そして、本論文では動作しなかった振動模擬試作機の改良とそれによる実機検証を進めていきたい。

これら3点を進めることにより、誰でもいつでもスマートフォンを充電できるクリーンなエネルギー供給装置の開発を将来的に考えている。

謝辞

本研究は、神戸市立工業高等専門学校 電気工学科 南政孝先生の下で実施した。南先生には、研究全般に渡ってアドバイスをいただくとともに、数値解析や論文調査について事細かなご指導をいただきました。ここに感謝の意を評します。

また、実機製作に関しては、同所属 酒井昌彦先生に加工や機構のアドバイスをいただきました。感謝申し上げます。

文 献

- (1) 国際連合広報センター2030アジェンダ, https://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/
- (2) 堀越 智・竹内敬治・篠原真毅：エネルギーハーベスティング：身の周りの微小エネルギーから電気を創る“環境発電”，第1章，日刊工業新聞社（2014）
- (3) 速水浩平：振動力発電のすべて，第1, 2章，日本実業出版社（2008）
- (4) 上野敏幸：「磁歪振動発電と応用展開 電池フリー IoT から電力回生へ，現状と課題，将来展望」，クリーンテクノロジー，Vol.29, No.11, pp.58-61（2019）
- (5) 電気学会・半導体電力変換システム調査専門委員会：パワーエレクトロニクス回路，第4章，オーム社（2010）
- (6) 南 政孝・阪部智城・茂木進一・道平雅一：「パッシブ素子を用いた圧電素子による振動発電の出力電力向上に関する提案」，電学論 D, Vol.137, No.12, pp.918-923（2017）
- (7) 鈴木雄二・篠原真毅・中寺和哉・宮崎康次・竹内敬治：「環境発電ハンドブッカー電池レスワールドによる豊かな環境低負荷型社会を目指して」，磁歪材料，1章11節，エヌティーエス（2012）
- (8) 藤原憲一郎・野村 弘：「高調波ガイドライン適合型単相ダイオード整流回路」，電学論 D, Vol.119, No.1, pp.103-108（1999）
- (9) 茂木進一：「IEC 61000-3-2 (Class A) に適合するスイッチング素子を用いない欧州向け 3.5kW 単相倍電圧ダイオード整流器」，電学論 D, Vol.138, No.11, pp.841-847（2018）

マグネシウムとヨウ素を用いた次世代型電池開発の研究

福島県立福島高等学校

齋藤優之介, 小野寺 葵, 中村 心音

飯塚 遙生, 岡部 大和, 松田 汐良, 松本 大和

1. 研究の背景・目的

現在、携帯電話や、スマートフォンなどの、充電可能なデバイスに広く使われている電池として、リチウムイオン電池がまず挙げられる。このリチウムイオン電池にはリチウム (Li) が使われており、Li を使用したことにより高電圧、高容量を実現している。しかし、この Li は反応性が高いため、電池による携帯電話や電子タバコの爆発事故も発生している。また、Li は希少性も問題視されており、埋蔵量が 1100 万トンとほかの元素に比べて少なく、生産国がチリなどの一部の国に独占されている。

それを受け、私達はマグネシウム (Mg) という金属に着目した。Mg を電池材料として使用するメリットとして代表的なものは、以下の通りである。

- Mg は海水中に存在し、海洋国である日本にとって半永久的に産出可能な資源である。
- Mg は Li に比べて水との反応性が低く、常温で水と反応しないことから、安全性に優れており、扱いやすい。
- Mg^{2+} が 2 価のカチオンであるため、高容量な電池を作成することが可能である。

また、私達は正極側で反応させる物質として、ヨウ素 (I_2) を考案した。 I_2 は日本での生産量が世界第二位と日本国内で数多く生産されており、海水中の海藻に多く含まれていることから、 I_2 に関しても、海洋国である日本で容易に生産が可能であると考えられる。

以上のことから、この Mg と I_2 の二種類の物質を電極として使用した電池は、日本で自給可能な電池であると考えられる。また、これは日本が海洋国であるからであるため、国外においても、日本同様に海洋国である国に関しても、電池の生産が可能になると考えられる。よって、国際的に見ても、再生可能エネルギー需要が増加し、リチウムイオン電池の需要も増加している現在において、この二次電池が実現されれば、経済的にも大きな影響力を持つことが可能である。

このような背景から、私達は、Mg と I_2 を用いた二次電池の作成を最終目標として、実用化可能な電圧をもった一次電池の開発から研究を始めることとした。

2. 研究方法

- (1) 作成する電池の構想 作成する電池に使用する

物質として背景で述べた理由から正極に I_2 、負極に Mg を用いた。溶媒に関しては、最終的に充電可能な電池を作成したいと考えているため、電位窓の大きい有機溶媒を使用することとした。

(2) 昨年までの研究 有機溶媒である炭酸プロピレン (PC) に I_2 と塩化カリウム (KCl) を溶解させて作成した溶媒に、炭素棒とマグネシウムリボン (6cm, 6本) を入れ電池を作成した。観測された電圧は 0.040V であった。Mg と I_2 を PC 中で反応させる電池の起電力の理論値が 2.66V であることを考えると、著しく低い値であると考えられる。これは、褐色の物質の負極側への拡散と、マグネシウムリボンの変色から、Mg と I_2 が直接反応する短絡現象が起きたと考えられる。短絡現象を抑制するために、文献の通りにゲル化剤を作成した。このゲル化剤とヨウ化カリウム (KI) を PC に溶解させ、湯煎してから冷やすことで塩橋を作成し、これを用いて正極溶媒と負極溶媒を分けて電池を作成した (図 1)。負極側の溶媒の変色が確認されず、マグネシウムリボンの変色が見られなかったことから、 I_2 の拡散は完全に抑制され、短絡現象も完全に抑制できたと考えられる。

(3) 実験①溶媒の検討 昨年までの研究において、PC 溶媒は理論電圧と端子電圧に大きな差がみられた。そこで、起電力を算出する際に溶媒の比誘電率を考えていることから、溶媒を変化させた電池を作成し、実験することとした。溶媒として、PC のみのもの、PC と炭酸ジエチル (DEC) を体積比 1:1 で混合させたもの、DEC と炭酸エチレン (EC) を混合させ、EC が結晶として析出しないように 0°C まで一度冷やし、その後室温にしたものの 3 種類を用意し、その後

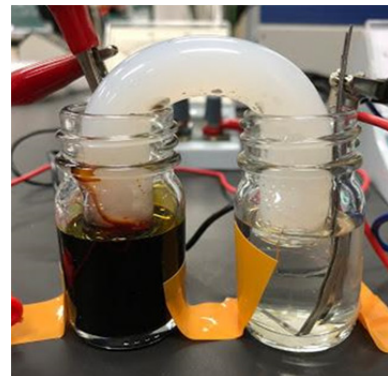


図 1 塩橋を用いた電池

表 1 溶媒による起電力・電圧

	起電力	電圧 1000Ω
PC	1.67V	0.99V
PC+DEC	2.11V	1.54V
DEC+EC	1.66V	0.87V



図 2 Ar バブリングの様子

表 2 Ar の効果

	起電力	端子電圧
Ar あり	1.67V	1.23V
Ar なし	1.67V	0.67V

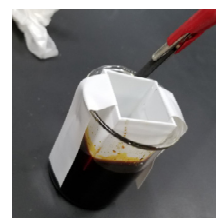


図 3 塩橋 (側面)

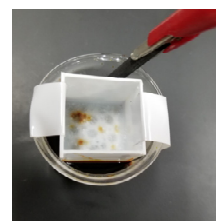


図 4 塩橋 (上)

それぞれで放電を行い、起電力と端子電圧 (1000Ω) を測定した。この際の結果を表 1 に示す。

〈考察①〉 PC と DEC と EC は、いずれも電位窓からすると充電を行った際でも分解が発生しないものを使用した。PC のみのものに比べ、DEC と PC の混合液の電圧は低かった。これは、DEC の比誘電率が PC の比誘電率 64.4 と EC の比誘電率 89.7 に比べると 2.8 であり著しく低いことから、Mg がイオン化しにくくなり、電圧が低下してしまったと考えられる。DEC と EC の混合液の電圧が高いのは、比誘電率が最も低い DEC があることで I₂ の状態でもある程度存在できたため、電子が流れやすくなったと考えられる。

(4) 実験②アルゴンの使用 実験①より起電力と端子電圧に差があったことから内部抵抗の原因は、溶媒の比誘電率のみではないことが分かる。実験の際、空気中で薬品の調合・放電等をしていたため、このときに含まれる酸素が内部抵抗の原因と考えた。この酸素を除去するためアルゴン (Ar) 雰囲気下での実験及び Ar バブリングによる酸素除去を試みた。この際溶媒には実験①で最も性能の良かった DEC+EC を用いた。Ar ガスボンベからガス調整器、チューブと他端に接続した注射器を経由し、正極溶媒と負極溶媒、湯煎前の塩橋溶媒の 3 つに対して Ar ガスによるバブリングを各 20 分間施して電池を作成し、起電力と電圧を測定した。Ar バブリングの様子を図 2 に示す。この実験はグローブボックス内に Ar ガスを満たした Ar 雰囲気下で行った。Ar バブリングと Ar 雰囲気を適用したものと空気中で実験を行ったものの比較を下に記す。

〈考察②〉 酸素を除去することで内部抵抗の減少を試みたところ、端子電圧に向上がみられた。これは Ar バブリングにより電極表面の酸素被膜が剥離したためだと考えられる。一方起電力と端子電圧に差がみられたのは Ar バブリング時間が足りなかったため、また溶媒中の酸素が取り除けなかったためだと考えられる。

(5) 実験③塩橋表面積の拡大 電圧降下の原因をイオンの移動度だと考え塩橋の表面積拡大を行なった。

これまでの研究では試験管を切断したものを使用してい

表 3 起電力・電圧の違い

塩橋の容器	起電力	端子電圧
試験管	1.67V	1.23V
ボックス	2.18V	1.38V

た。ここで、正極と負極の接触面積をなるべく大きくするため、プラスチック板を用いて塩橋を作製した (側面: 図 3, 上: 図 4)。計測した電圧を下の表 3 に示す。この時の実験は、空気中で行なった。

〈考察③〉 空気中での実験であったが、Ar バブリング及びアルゴン雰囲気下で試験管を用いた実験よりも高い起電力と端子電圧を記録した。これは塩橋の表面積が拡大したことでイオン化した Mg の移動度が向上したためだと考えられる。

3. 結 論

本研究では、Mg と I₂ を用いた二次電池の実用化を目標として、実験を行った。昨年までの研究では、始めに、Mg と I₂ を PC に反応させることによって実験を行なったが、電圧は 0.040v、100Ω の抵抗につないだ際は 0.02mV と低かった。そこで、Mg の変色から、Mg と I₂ が直接反応する短絡現象が起こっていると考え、塩橋を用いた電池の作成を行った。起電力は 1.530V、10Ω が 30.5mV に向上し、I₂ の拡散を完

全に抑制することに成功した。

実験①では、イオン伝導に着目して、PCのみ、DECとPCの混合液、DECとECの混合液に関して実験を行い、溶媒を変化させたところ、DEC+ECを使用した際に起電力の大きな向上が見られ、乾電池として実用的な電圧を得ることができたため、これ以降の実験において溶媒にこのDEC+ECを使用することとした。

次に、実験②では端子電圧と起電力の間に大きな差が残っていたため、この原因を溶媒内に含まれる酸素が反応を阻害していると考え、各溶媒に20分ずつArバブリングを施しAr雰囲気下で実験したところ、Arなしの場合と比較して端子電圧が大きく向上した。よって、Arバブリング及びAr雰囲気下での実験は有用であるといえる。また、塩橋の表面積を拡大したところ、大幅な電圧の向上が見られた。

4. 今後の展望

現在、塩橋中に含ませている物質が、KIであるが、イオンの伝導を考えると、KClなどの物質に関しても実験を行ない、電圧などとの関連を見る必要があると考えられる。

さらに、今回の研究では、内部抵抗の原因として溶媒のイオン伝導度や比誘電率を上げ、実験を行なったが、その反応が電池のどこで起きる反応であるかを特定したい。

また、今回行った実験③は空気中で行ったものであり、今後この実験をAr雰囲気下においた上で行ないたい。

また、現在は電位窓を考慮して有機溶媒を使用しているが、新たな溶媒の案として高濃度水系電解水溶液を使用した電池作成を検討している。

今回の研究では、二次電池化に向けた充電性能に関して言及しなかったが、充電の際に分解しないと考えられる電位窓の大きい溶媒で十分な電圧を得ることが出来たため、充電性能の付与・向上に関しても、実験を行ない、さらに二次電池として実用化を目指していきたい。

文 献

- (1) K. Hanabusa, K. Hiratsuka, M. Kimura, and H. Shirai : "Easy Preparation and Useful Character of Organogel Electrolytes Based on Low Molecular Weight Gelator" (1998)