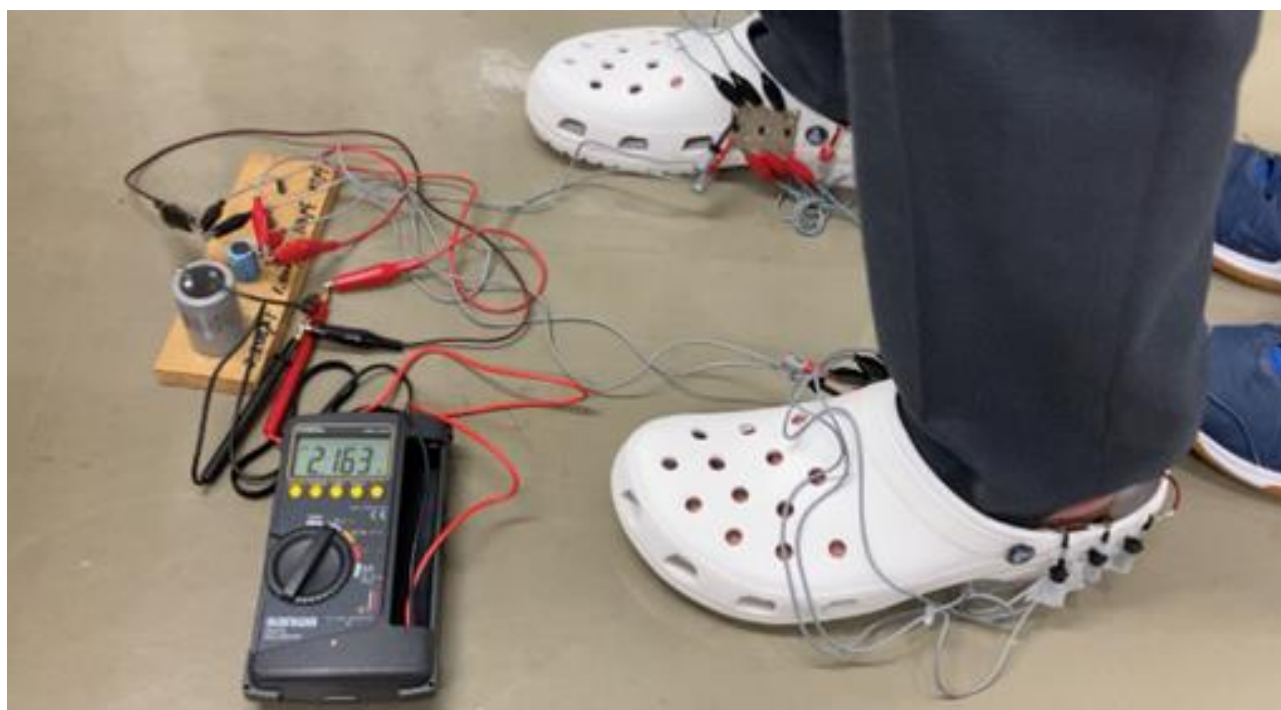


発電靴の開発

～圧電素子を用いた新しい発電方法の提案～

芝浦工大柏高等学校 2年 樋口勇祐



発電靴の開発 ～圧電素子を用いた新しい発電方法の提案～

樋口勇祐

0.概要

SDGs 目標 7【エネルギーをみんなに そしてクリーンに】を達成する方法の一つとして、再生可能エネルギーの普及が世界中で進められている。実際、我が国も 2050 年カーボンニュートラルを掲げ、再生可能エネルギーの導入に積極的である。

しかし再生可能エネルギーには多くの課題があり、特に自然条件に発電量が大きく左右することは安定供給を妨げる恐れがある。

本研究では再生可能エネルギーとは異なる新しい発電方法として発電靴を提案する。

力を電圧に変換することができる圧電素子を靴に入れ込むことで、歩くだけで発電できる発電靴を開発した。

発電靴が普及すれば低コストかつ、国地域関係なくクリーンに発電することが可能となる。

圧電素子の発電量を増加させる条件の探究と発電靴の制作の二種類の探究を通して、発電靴の開発、発電を目指す。

1.はじめに

目標 7：【エネルギーをみんなに そしてクリーンに】

すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する。

Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all.

2015 年 9 月の国連サミットで SDGs が採択されて以降、多くの国で環境に対する意識が変化したと感じる。特にクリーンエネルギーの導入、脱化石燃料の動きは急速に広がり、2021 年 11 月イギリスで開催された COP26 では石炭火力を維持するという日本に批判が相次いだ。

その日本も 2050 年カーボンニュートラルを打ち出し、2050 年までに排出炭素量を実質ゼロとする方針である。

各国の炭素削減目標を達成する方法の一つとして世界中で研究されているのが再生可能エネルギーである。太陽光発電や風力発電など温室効果ガスを排出せずに発電することができるこのエネルギーは、一見環境問題を解決する最良策のように見える。

しかし、再生可能エネルギーの普及には乗り越えなくてはならない課題も多い。例えば自然の力を活用した水力発電や地熱発電は、設置できる場所が限られる土地の問題がある。

太陽光発電や風力発電などその日の天候に発電量が左右される発電は安定性に欠けるため、国の主力電源にするには不安が残る。2020 年に資源エネルギー庁が 2030 年までに再エネ目標導入比率を 22%～24%とする目標を掲げた。しかし、2050 年カーボンニュートラルに向けて 2030 年から 2050 年までに再エネをどこまで導入するのか等具体的な指針が示されておらず、どこまでカーボンニュートラルに近づけることができるか不透明な状態である。

2020 年末に「グリーン成長戦略」と題し洋上風力発電の注目が集まったが、2021 年に東京大学が発表し

た論文は有力地における日本の年間平均風速は約 7.7m と 10m を超えることが多い欧州と比べて明らかに低いことを示している。急速な再エネ導入をすれば電気料金の値上げは避けられず、国民の負担がより一層増すことも指摘されている。

また各地で景観問題も深刻化しており、福島県川俣町では建設当初、町からは見えないと説明されていた風車が町内から丸見えだったことに波紋が広がった。2021 年 7 月に熱海で発生した土砂災害の原因としてメガソーラーがとりあげられたこともあった。後になって盛り土が原因と明らかになったものの、ソーラーパネル周辺での土砂災害は他にも事例があり土地問題も深刻さを増している。

「再生可能エネルギーは果たして理想のエネルギーと言えるのだろうか」

「言えないとするならば理想のエネルギーはどのようなものなのだろうか」

ここで SDGS が目標 7 で定めているエネルギーについての表記を確認する。

SDGS が目標 7 で定める目標から、理想のエネルギーの条件を考察すると、

- ①安価であること
- ②信頼できるものであること
- ③持続可能な近代的エネルギーであること
- ④すべての人々がアクセス可能であること

の四つの条件を挙げることができる。現状の再生可能エネルギーは年々安価になってきているとはいえ高コストであり、環境に左右されるものはすべての人々がアクセスすることはできないため、SDGS が定める理想のエネルギーには当たらない。

①、②を達成するためには、比較的安価であるのはもちろんのこと、自然に左右されず安定して電力を供給できる人間主体の発電が好ましいと考える。日や年によって電力供給にばらつきがあれば、信頼を勝ち取ることとはできない。

③を達成するためには環境にやさしく、クリーンなものである必要がある。

④を達成するためには、資金や資源のない国でも十分な発電が見込めるものである必要がある。

私は上記の四つの条件を満たす新しい発電方法の考案、開発を目標に探究を開始した。

そこで考案したのが、本研究テーマの「発電靴の開発」である。

歩くだけで発電することができれば誰もが比較的安価に、かつ土地の制約なく発電することが可能となる。発電方法が歩行なのでももちろん温室効果ガス等も排出しない。

発電靴を作成するにあたり、私は圧電素子に注目した。

圧電素子というのは加えられた圧力を電圧に変換する圧電体を利用した素子である。(図 1)

圧電素子の発電量を増加させる条件の探究と発電靴の制作の二種類の探究を通して、発電靴の開発、発電を行った。

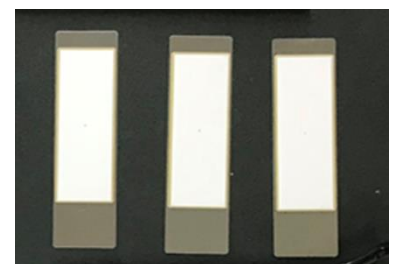


図 1 圧電素子

2.研究目的

本研究は条件探求と発電靴制作の2つの実験に分かれている。

発電靴制作は条件探求で明らかになった条件をもとに行った。発電靴の制作については7を参照していただきたい。

条件探求は圧電素子から最大限の電圧を引き出すため、圧電素子の発電に適した条件を探求した。行った実験は以下の通りである。

実験1 敷く材質の適正硬度

実験2 圧電素子を曲げた場合

実験3 圧力の大小

実験4 接続の比較

実験5 圧電素子を重ねた場合

実験6 整流の必要性

実験7 素子の両面を使用する

実験1では敷く材質の適正硬度を探求した。これは靴に素子を埋め込む際に、素子の下に敷く材質の硬度が発電量にどのような影響を及ぼすのか検証するためである。

実験2では素子の曲げ伸ばしが発電量にどう影響するかを検証するため、実験1で得られた曲げない場合と比較して実験をおこなった。

実験3では素子に加える圧力の大小が、発電量にどう影響するか検証するために行った。

実験4では2枚の素子の準備し、直列接続と並列接続をした場合で比較することで、どちらの接続が発電に適切か検証した。

実験5では靴内の内部構造を検討するため、2枚の素子を準備し、2枚を重ねた場合と個別に力を加える場合の発電量を比較した。

実験6では複数の素子を使用する際に、それぞれを整流する必要があるかを明らかにするために行った。

実験7では、使用していた素子が持つ二重構造を活用して、素子を両面接続させた。

両面から発電することが可能となれば、理論上二倍の発電量が期待できる。

3.研究方法

本研究のすべての実験において同じ圧電素子とコンデンサー(1000 μ F)、整流子、デジタルマルチデータを使用した。

また、複数圧電素子を使用する実験は全く同じ素子を使用した。

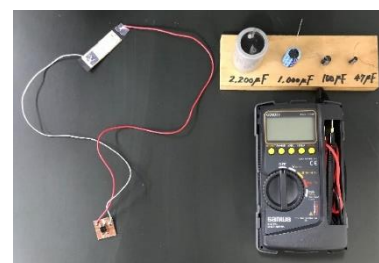


図2 実験材料

実験条件として、

- ①人為的に指で 30 秒間押す。(1 秒 2 回のペース)
- ②5 回測定し、その平均値を実験結果とする。
- ③測定ごとに放電を行う。

ことをすべての実験で行った。

写真のように、圧電素子にアルミテープを貼り、回路を作成した。

アルミテープははんだごてに比べ取れやすいという欠点はあるものの、はんだごてが圧電素子につかなかったため、使用した。

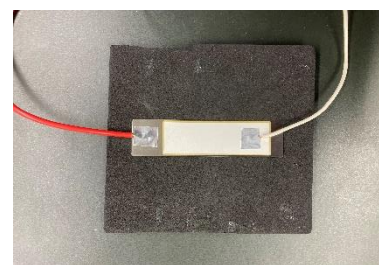
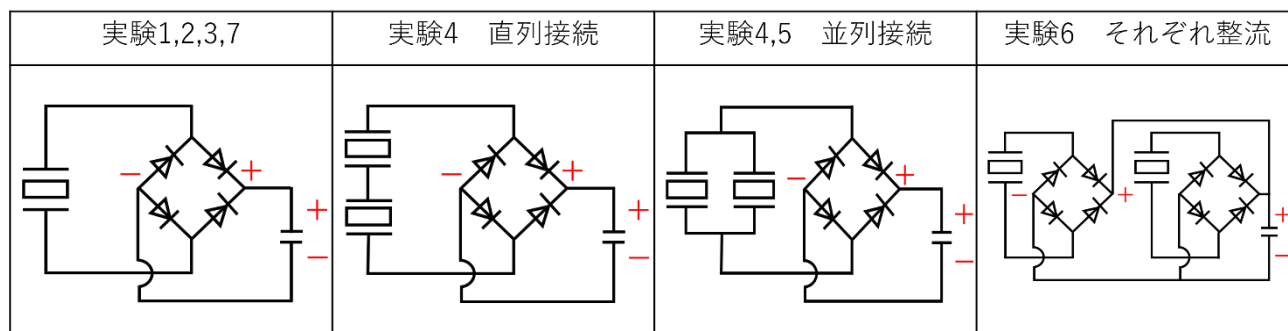


図3 つなぎ方

表1 回路図



実験1 敷く材質の適正硬度

<材料>

図4 左から、

タオル、ゴム板、スポンジ

<手順>

- ①回路を組む
- ②圧電素子の下に材質を敷く
- ③力を加えて発電し、発電量を計測する。

三つの材質の厚さは 0.5cm にそろえた。

以下の実験では、スポンジを下に敷いて実験を行った。



図4 敷く材質

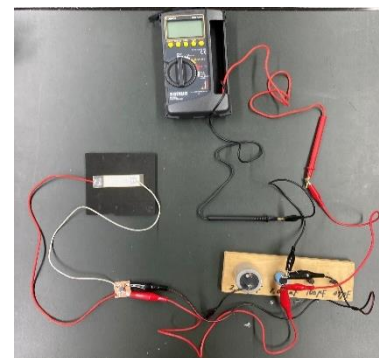


図5 実験1回路

実験2 圧電素子を曲げた場合

<材料>

スポンジ

高さ 0.4cm のプラスチック棒

<手順>

- ①実験1と同一の回路を組む。
- ②プラスチック棒を圧電素子の下に置く。
- ③発電する。
- ④実験1でスポンジを使用した条件と比較する。

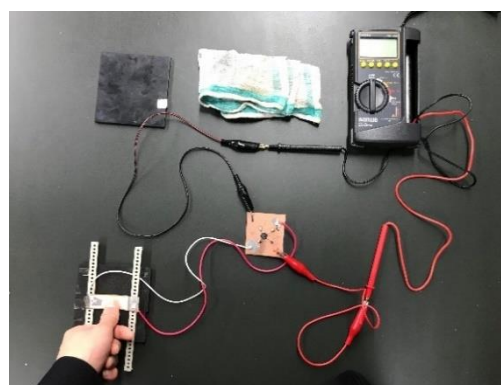


図6 実験2回路

以下の実験では、スポンジに加え、プラスチック棒も使用した。

実験3 圧力の大小

<材料>

フリクションペン

<手順>

①実験1, 2と同一の回路を準備

②フリクションペン等細いもので圧電素子に力を加える。

③実験2の条件と比較する。

・圧力の大小が発電量にどう作用するのかを明らかにするための実験であるため、ペンの太さは任意のもので問題ない。

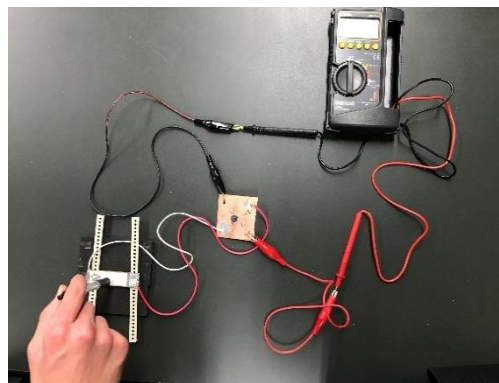


図7 実験3 回路

実験4 接続の比較

<材料>

圧電素子2枚

<手順>

①2枚の圧電素子を直列接続、並列接続に接続する。

②2枚に同時に圧力を加え、発電量を計測する。

・写真のように、2枚の圧電素子を直列接続、並列接続につなげる。この時、整流子は1つしか使用しない。(実験6で整流子を増やして実験を行った。)

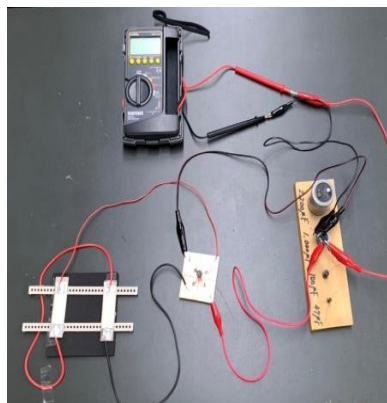


図8 実験4 直列接続

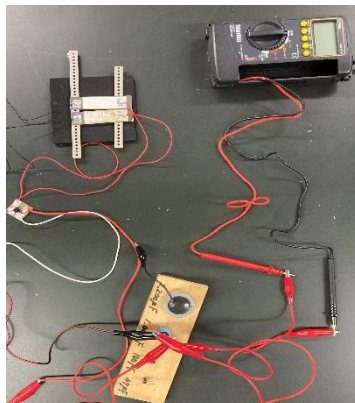


図9 実験4 並列接続

実験5 圧電素子を重ねた場合

<材料>

圧電素子2枚

<手順>

①実験4と同じ回路を直列、並列接続とも組む。

②2つの素子を重ね、力を加える。

素子の破損等を防ぐため、絶縁体である紙を素子の間に挟んで実験を行った。

実験 6 整流の必要性

<材料>

圧電素子 2 枚

整流子 2 つ

<手順>

実験 4 の回路から、整流子を増やし、写真のように圧電素子と整流子が一対一対応となるように回路を組み、力を加える。

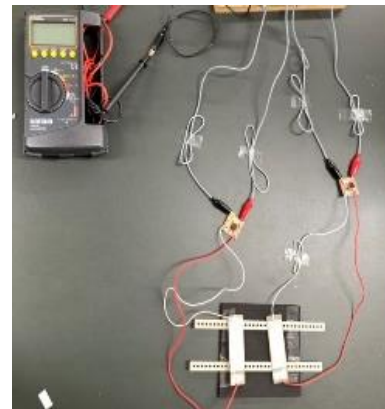


図 10 実験 6 回路

実験 7 素子の両面を使用する

<材料>

実験 1 同様

<手順>

圧電素子の両面から発電できるように、両側から導線をつないで実験を行った。

・我々が使用していた圧電素子が両面から発電することが可能な二重構造を持っていたことが明らかになり、両面からの発電を試みた。

4.実験結果

実験 1 から実験 7 までの発電量を以下の表にまとめた。

ただし、表の発電量は 5 回計測した平均値[V]である。

表 1 実験結果

実験	条件	発電量[V]	実験4	直列接続	0.642
実験1	ゴム板	0.005	実験4	並列接続	0.976
	スポンジ	0.673			
	タオル	0.295	実験5	直列 重ねる	0.349
実験2	水平	0.673		並列 重ねる	1.144
	曲げた場合	0.798	実験6	整流1つ	0.976
実験3	指	0.798		整流それぞれ	1.156
	ペン先	0.782	実験7	一面のみ	0.798
				二面使用	2.14

実験 1 敷く材質の適正硬度

実験 1 では、スポンジを使用した条件で、最も大きい発電量を得られた。

実験 2 圧電素子を曲げた場合

実験 2 では、曲げた場合の方がそうでない場合に比べてより大きい発電量を得られた。

実験 3 圧力の大小

実験 3 では、指の方が発電することができたが、明らかな違いは見られなかった。

実験4 接続の比較

実験4では、並列接続の方が直列接続に比べてより大きい発電量を得られた。

実験5 圧電素子を重ねた場合

実験5では、直列接続と並列接続で増減の仕方が異なった。

実験6 整流の必要性

実験6では、複数の回路がある場合、それぞれを整流した方が一つの整流子につなぐ条件に比べより大きい発電量が得られることが明らかになった。

実験7 素子の両面を使用する

実験7より圧電素子の二重構造を用いると、より大きい発電量を得られた。

5.実験考察

実験1 敷く材質の適正硬度

結果のように、スポンジを下に敷いた場合が最も発電することができた。

スポンジを下に敷いた場合が最も発電することができた理由は説明することができなかった。

実験2 圧電素子を曲げた場合

圧電素子を曲げた方が、より発電することが明らかになった。

これは圧電素子の発電のメカニズムと関係があると考ええる。

圧電素子は力を加えることによって内部構造で電子の移動が起こる為、発電する。

圧電素子を曲げることにより、さらに電子の移動が激しくなった結果、このような結果になったと考察した。

実験3 圧力の大小

ペンで押すよりも指で押す方がやや発電できるが、両者に明確な差はないことが明らかになった。これより、発電量は圧力によってではなく曲がることによって効果が大きいことが明らかになった。

素子にかかる圧力による破損のリスクを考慮し、靴に埋め込む際は素子との接触面積をできるだけ大きくすることにした。

実験4 接続の比較

直列接続よりも並列接続の方がより発電することが明らかになった。これは直列接続の方が回路全体での抵抗が大きく、並列接続の方がより2つ分の電気量を有効に蓄電できるためと考えた。

実験5 圧電素子を重ねた場合

2枚ずつよりも2枚重ねたほうが、電圧が高いことが明らかになった。しかし左右で加える力が異なっていた可能性や、素子を重ねることで回路がより複雑になってしまうことから、靴に埋め込む際は一枚ずつ圧力をかけて発電することにした。

実験6 整流の必要性

圧電素子をそれぞれ整流させた方がより発電することが明らかになった。この結果から、複数の圧電素子から発生した電圧を1つの整流子に通すと、多少の損失が発生することも明らかになった。

6.結論

実験1～7より、以下の条件で圧電素子を用いるとより発電することが明らかになった。

- ・素子の下にスポンジのような硬度のものを敷く
- ・曲げながら力を加える
- ・並列接続につなぐ
- ・それぞれを整流する

7.発電靴の制作

発電靴を以下の手順で作成した。

- ①3Dプリンターで内部構造をデザイン
- ②内部構造に圧電素子を固定し、回路を作成
- ③クロックスの底を切り抜き、内部構造を埋め込む
- ④整流子を小型化し、クロックスに固定
- ⑤回路をつなげて発電



図 11 3D プリンター

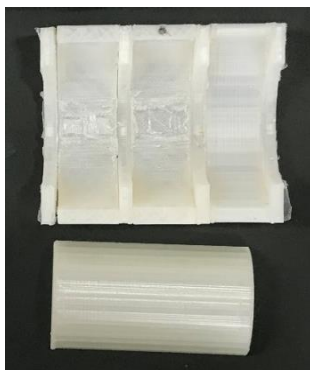


図 12 印刷物

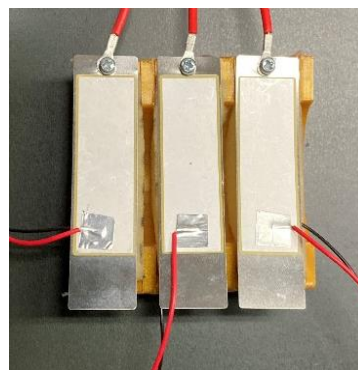


図 13 内部構造

使用する靴は、加工がしやすい点とサイズが大きいという点でクロックスを選んだ。

プラスチックで作成した内部構造を足で直接踏むのは抵抗があったので、スリッパを敷きその底で素子に力を加えるようにした。

素子をそらせておくことで、力を上から加えても変形がしにくいよう、スポンジを多く敷いた。

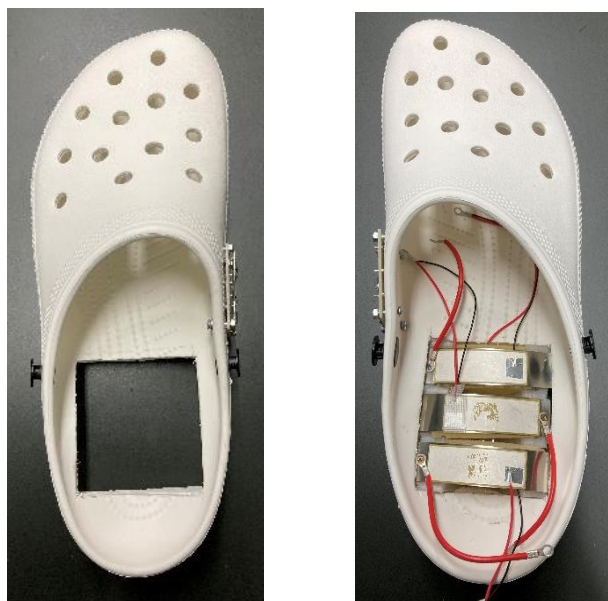


図 14 発電靴



図 15 整流子



図 16 インソール

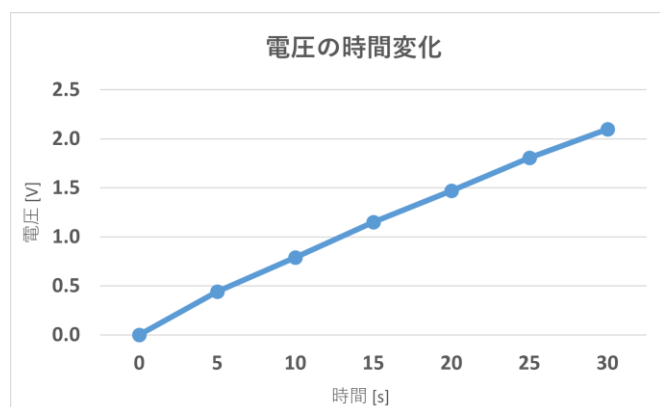


図 17 電圧の時間変化

8. 発電靴を用いて発電

左のグラフは、電圧の時間変化を 5 秒ごとに測定したものである。

両足で発電したところ、30 秒で 2.1V の電圧を得ることができた。

また、グラフから時間に比例して電圧が増加していくのが確認できた。

得られた電気で、デジタル時計を動かした。

このデジタル時計は単三電池で動くものである。

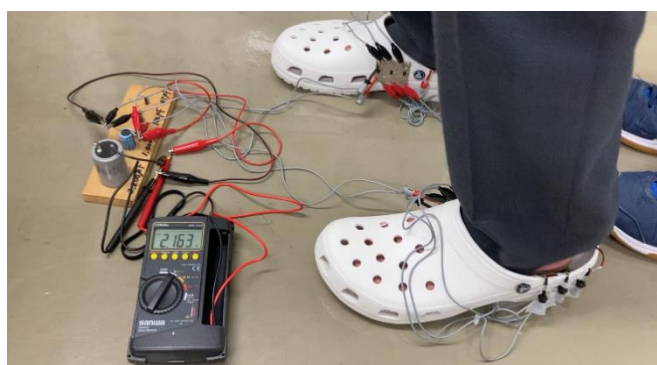


図 18 発電の様子



図 19 デジタル時計

9.今後の展望

圧電素子の特徴もあり、発電量としてはあまり多くなかった。

今後の展望として、以下のことが挙げられる。

- ・安全性を高める
- ・ワイヤレス送電
- ・圧電素子の性能の向上

靴の中に破損しやすい圧電素子をいれるためには、安全性の向上は急務である。

本実験ではスリッパを間に挟むことにより直接の接触を防いだが、汗や内部構造の破損、回路の断線など安全性が十分に担保されたとはいえないのが現状である。

また、導線を用いないワイヤレス送電も検討したが、十分な発電量でないため、現状ワイヤレス送電は不可能であった。圧電素子の性能が向上すれば、ワイヤレスでの送電も可能となるのではないだろうか。

10.謝辞

実験を進めるにあたって以下の方に数多くの有用な助言をいただきました。心から感謝いたします。

重原仁先生 芝浦工業大学附属柏高等学校

11.参考文献

・池上彰，世界がぐっと近くなる SDGs と僕らをつなぐ本，学研，2021 年

・蟹江憲史，SDGs（持続可能な開発目標），中公新書，2020 年

・外務省，“SDGs”とは，JAPAN SDGs Action Platform，2021 年

<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html>（参照 2021-11-9）

・金沢大学振動発電研究室，“発電靴”，研究員・学生募集，2015

https://vibpower.w3.kanazawa-u.ac.jp/power_shoes.html（参照 2020-06-25）

・ISUTA，“15 歳の少年が発明した iPhone を充電する靴が話題”，FASHIONSNAPE.COM，2014

<https://www.fashionsnap.com/article/2014-06-10/15years-iphone/>（参照 2020-09-03）

・資源エネルギー庁，“国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案”，資料 1，2020

https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/061_01_00.pdf（参照 2021-09-01）

・東京大学公共政策大学院，“風況の違いによる日本と欧州の洋上風力発電経済性の比較-洋上風力発電拡大に伴う国民負担の低減を如何に進めるか-”，ワーキング・ペーパーシリーズ，2021

[http://www.pp.u-tokyo.ac.jp/wp-](http://www.pp.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2016/09/5b1373f98100f6b52cfb560cb645ba54.pdf)

[content/uploads/2016/09/5b1373f98100f6b52cfb560cb645ba54.pdf](http://www.pp.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2016/09/5b1373f98100f6b52cfb560cb645ba54.pdf)（参照 2021-09-08）