

スポットライト

～第11回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

位置エネルギーを用いた発電及び蓄電装置の製作

神奈川県立厚木高等学校

新井直哉 大木修吾 勝又耕平 日高周真

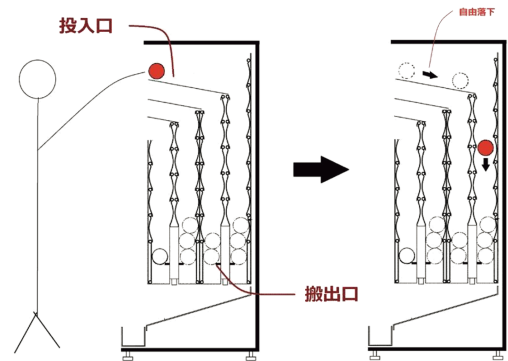


図1 自動販売機の内部構造。(オンラインカラー)

1. 背景

近年環境を汚さない発電方法として再生可能エネルギーによる発電方法が用いられるようになってきている。しかし風力発電や太陽光発電などは天候などの影響を受け、安定して発電することができないことが課題として挙げられる。そこで私達は自動販売機やゴミ箱など身近なものにおいて、物を落とすことにより発生する位置エネルギーに注目した。このような身近なもので発電が可能になれば未利用のエネルギーを活用することにつながる。位置エネルギーを用いた発電ができれば、今後のエネルギー活用に貢献できるのではないかと考えた。

2. 目的

位置エネルギーを用いた発電、蓄電方法を確立しエコな発電に貢献する。今回は自動販売機を一回動かす分の電力、360 Wを溜めることを目標とした。

3. 仮説

(1) 先行研究

a. 下記の参考文献(1)より

今回の回路に流れる電流は500巻コイルで約0.24 A流れることを目標にする。

b. 参考文献(2)より

今回の実験における最適なバネの種類は、落下物から装置へ与えられた位置エネルギーを圧縮エネルギーとして蓄え、落下物が取り除かれた後はエネルギーを開放するという機能が求められるため、圧縮コイルばねが適当である。

c. 参考文献(3)より

自動販売機内の通路には図1のように缶やペットボトルが詰まっており、バンドメカと呼ばれる装置が1回動くにつき1本のみ排出される。

d. 参考文献(4)より

2015年“超”モノづくり部品大賞にて電気・電子部品賞を受賞していたバンドメカが24 V駆動であった。今回の実験では確実にバンドメカを作動させるために24 Vより大きい25 Vを想定し、このバンドメカを動かすとして仮定して実験を行った。

(2) 仮説

位置エネルギーを利用して電磁誘導を起こすことで発電することができる。

また、発電した電気を蓄電し、自動販売機を動かせる分の電力を発生することができる。

4. 実験材料

(1) コイルの製作

塩化ビニルパイプ(長さ83 mm, 外径31 mm, 内径26 mm) 4つ

エナメル線(直径0.5 mm, 一つの500巻コイルにつき長さ48.7 m)

巻線機

塩ビパイプカッター

ドリル

(2) 装置の製作

アカマツの板(縦298 mm, 横146 mm, 厚さ15 mm)

木の棒(太)(直径20 mm, 長さ400 mm)

木の棒(細長)(直径10 mm, 長さ300 mm)

木の棒(細短)(直径10 mm, 長さ25 mm)

バネ(ばね定数0.231 N/mm, 自由長150 mm)

磁石(外径15 mm, 内径10 mm, 高さ5 mm, 吸着力40.4 N, 表面磁束密度407 mT)

のこぎり

接着剤

5. 手 順

(1) コイルの製作

- 塩ビパイプを長さ 83 mm にカットし、両端にドリルで直径 8 mm の穴を開ける(図 2)。
- 巻線機に a のコイルを固定しエナメル線を 500 回巻き付ける(図 3)。
- 巻き付けたエナメル線を a の穴で固定する。
- 同様に 4 本のコイルを作る。
- 1000 巻のコイルを作る(図 4)。

(2) 装置の製作(アカマツの板 2 枚を装置全体の土台とペットボトルが落ちる面とする。)

- 下板と木の棒(細長) 4 本と木の棒(太) 2 本を下板(それぞれ図 5 の薄いオレンジ、濃いオレンジの部分)に



図 2 穴を開けた塩ビパイプ。



図 3 500巻コイル。



図 4 1000巻コイル。



図 5 下板のイメージ図。(オンラインカラー)

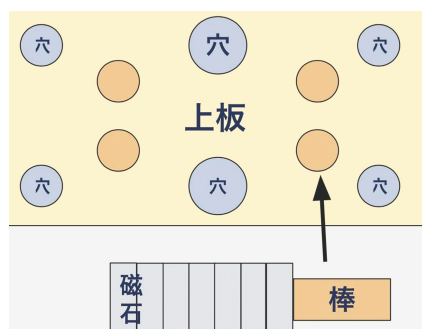


図 7 上板のイメージ図。(オンラインカラー)

接着剤で固定する。

- 各棒(細長)にバネを下板の 4 隅に通す。→棒がバネの支えになる。
- 木の棒(細短)を下板(図 5 のグレーの部分)に固定する。
- コイルを c の棒にはめる(図 6)。
- 上板の 4 箇所と 2 箇所にそれぞれ直径 24 mm, 44 mm の穴を開ける(図 7)。
- 長さ 50 mm にカットした棒(細長)に磁石を 6 つはめ込み、4 箇所取り付け(図 8)。
- 下板に接着した棒が穴を通るように上板を被せる。

(3) 装置の作動と電流測定(図 9, 10)

- 作成したコイルの電流の向きを電流計を用いて確認する。
- 並列の回路となるよう 4 つのコイルをワニ口クリップで接続する。
- 電流計とワニ口クリップを接続する(図 11)。
- 装置を作動させ値の変動を読み取る。
- コイルに挿入する棒にはめ込む磁石の個数を各 3 つから 6 つに増やし同様に繰り返す。
- コイル 4 つ中 1 つを 1000 巻コイルに変え同様に行う。(磁石の数は 6 つのままで実験を行う。)

(4) 蓄電回路の用意

図 12 の回路を用意する。

今回はこの回路が動くかどうかを確認するために、回路の電源部分に装置を繋げる前に 1.5 V の単 1 アルカリ電池を直

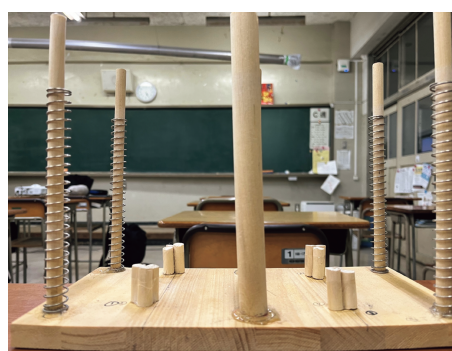


図 6 完成した下板。(オンラインカラー)

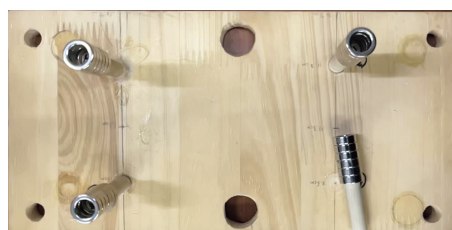


図 8 完成した上板。(オンラインカラー)

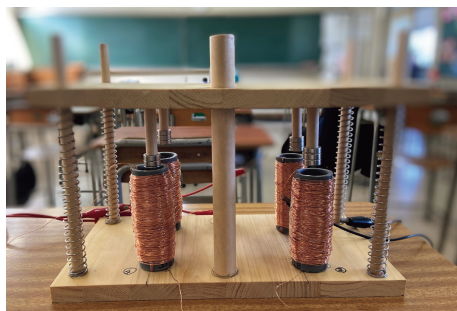


図9 完成した装置。(オンラインカラー)

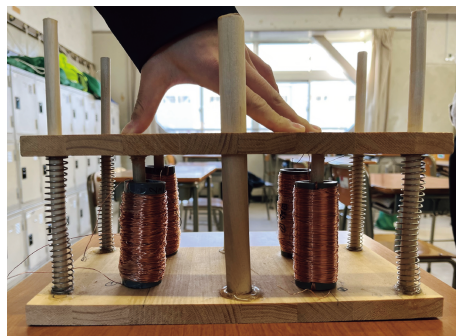


図10 装置の作動時の様子。(オンラインカラー)

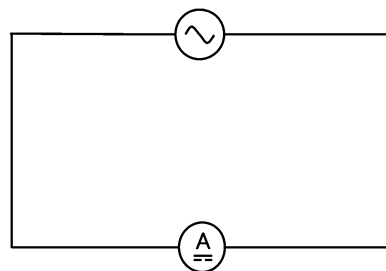


図11 (3)で使った回路.

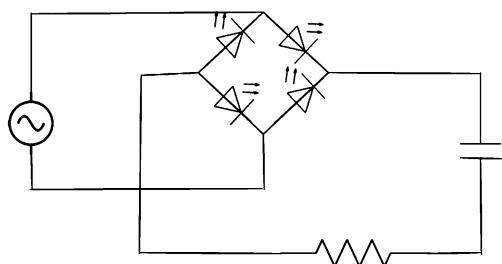


図12 蓄電回路.

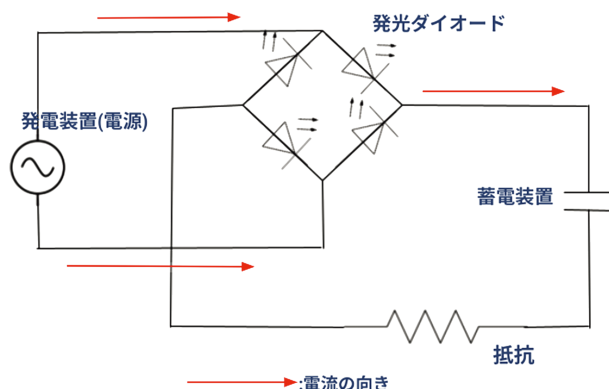


図13 回路の詳細。(オンラインカラー)

列に繋いで実験をした.

- 赤色の発光ダイオード 4 個(順方向電圧 2.1 V, 逆電圧 5.0 V, 順電流最大値 30 mA), および 330 Ω の抵抗を図12のように繋げる.
 - 1 F のコンデンサを繋げる.
 - 電池を繋ぎ 1 min 保持する.
 - コンデンサを電流計に繋げ電流値を計測する.
 - コンデンサを電流計に繋げ, 電流計の針が振れないことを確認したことでコンデンサに蓄えられた電荷がないこととした.
 - 確認したコンデンサを回路にコンデンサを繋ぐ.
 - 電池を繋ぎ 2 min 保持する.
 - コンデンサを電流計に繋げ電流値を計測する.
 - コンデンサに蓄えられた電荷がないことを確認して, 回路にコンデンサを繋ぐ.
 - 電池を繋ぎ 3 min 保持する.
 - コンデンサを電流計に繋げ電流値を計測する.
- 蓄電が確認されたら, 装置でこれと同様の実験を行う.

(5) 回路の特徴(図13)

- 発光ダイオードの電気を通す通さない向きがあるという特徴を利用してコンデンサに向かう電気を一方向に制限することができるので, 電気の浪費が少なく交流電流を無駄なく蓄電できる.
- 貯めた電気を発光ダイオードが発光する電力に変換することができる. →発電以外の要素になると考えられる.

6. 結 果

(装置)

表1 500巻コイルを使った装置を手でゆっくり10回, 約 8 s 動かしたときに流れた電流の平均値.

コイル挿入棒への磁石装着数	電流値
3 つ	4 mA
6 つ	6 mA

表2 1000巻コイル単体を用い同様の実験を行ったときに流れた電流の値.

コイル挿入棒への磁石装着数	電流値
6 つ	30 mA

表3 装置のコイルの巻数を変え同様の実験を行ったとき流れた電流の値.

コイルの巻数	電流値
4 つすべて500 巻	6 mA
4 つのうち1 つが1000巻	12 mA

(蓄電)

表4 単1電池(1.5V)2つを直列で図12の回路に繋げたときに流れた電流の値.

電池を繋いでいた時間 電流値	それぞれの時間で流れた電流		
	1 min 1 mA	2 min 2 mA	3 min 3 mA

回路に発電装置を繋げ数回動かした場合、電流計の針がメモリとして計測できない範囲で短い時間振れていたのが微量に蓄電量があると分かった.

7. 考 察

結果より、4つすべて500巻コイルを使用して装置を作動させたとき、流れた電流の大きさは6mAだった表1. また表2表3より、装置のコイルのひとつを1000巻にしたときに発電量は6mA増加したので、4つのコイルをすべて1000巻の二重巻にした場合、 $6 \times 4 = 24$ となり、全体では24mA増えると考えられる. これらのことを考慮すると、装置全体では $24 + 6 = 30$ すなわち合計で30mA発電できると考えられる. 手順(4)にある通り、動作確認の作業の結果が表4である. また、1000巻(500巻を二重に巻いた)コイル、合計の発電量30mA、このコイルの半径15.5mm、空気の透磁率 $1.26 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$ より磁場H、磁束密度B、磁束 Φ 、の理論値は以下の通りとなる.

$$H = 500 \times 2 \times 0.030 / (2 \times 15.5 \times 10^{-3}) = 967 \text{ A/m}$$

$$B = 1.26 \times 10^{-6} \times H = 1.22 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$\Phi = B \times 15.5^2 \times \pi = 9.20 \times 10^{-7} \text{ Wb}$$

よって、電圧の理論値Vは $V = |-1000 \times (\Phi - 0) / (1 - 0)| = 9.20 \times 10^{-4} \text{ V}$

つまり、この装置の電力Pは $P = 0.030 \times V = 2.76 \times 10^{-5} \text{ W}$ となる.

ベンドメカを1s動かすには合計で25A必要なのでベンドメカの電力は $25 \times 25 = 625 \text{ W}$ となる.

これらのことより、今回の実験での理論値の電力とベンドメカの必要な電力の差は $625 - V \approx 625 \text{ W}$ とまだ差がかなり大きいと考えられる.

8. 今後の展望

現在、コイルの製作は巻線機を用いて手動で行っているため効率が悪く正確性にも欠けている. またワニ口クリップの錆つきなど備品の劣化も発電量が少なかった原因として考えられる. 今回は参考文献(1)よりドーナツ状のネオジウム磁石の使用といった工夫をしたが、さらに今後コイル製作の工業

化、自動化することによってコイルの巻数の増加、正確性の向上、参考文献(1)で示されていた交互巻きの導入や段ごとの巻数を変化させることなどにより発電効率は上がっていくと考えられる.

また、今回使ったコンデンサで自作の装置を用いた蓄電は電圧計の針がメモリの範囲まで振れず、時間などを測定できなかった. これは今回の実験で容量の大き過ぎるコンデンサを用いてしまったためと考えられる. 発生する電圧を計測しやすくするために容量の小さいコンデンサを用いる必要がある. また、オシロスコープを導入することで、時間計測も含めてより精密に今後実験していきたい.

加えて、現状のままだとペットボトルの落下場所を制限できずペットボトルを落としたとき発電装置がうまく動作しないため、今後ペットボトルの落下場所の誘導装置を作ることによって実際に想定したフォルムへと更に改良していきたい. また、改良という視点で見ればゴミ箱など、位置エネルギーを利用できそうな他のモノも日常にはありふれている. 今回自分たちが注目したのは自動販売機だったが今後また機会があるならそういったものにも取り組んでいきたい.

本論文作成にあたり、多くの方々にご指導ご鞭撻を賜りました.

昨年度まで本校に在籍されていました神奈川県立有馬高等学校教諭杉原孝治先生、本校教諭池田優太郎先生には終始適切なご指導を賜りました. ここに深謝の意を表します.

名城大学附属高等学校の伊藤憲人先生には下記参考文献(1)の詳細解説と本研究に対するご助言を賜りました. 厚く御礼申し上げます.

本校教諭伊勢遼先生には回路製作に当たり多大なるご協力を賜りました. 心より感謝申し上げます.

最後に本研究の遂行にあたり協力頂いた全ての方に重ねて御礼申し上げます.

文 献

- (1) 野田慎一郎: 電気学会論文誌 B, **134**(20214), p. NL3_6-NL3_8(閲覧日: 2024年11月10日)
- (2) 「圧縮コイルばねの特徴と種類」(購入サイト及び企業のためURL省略)(閲覧日: 2024年11月10日)
- (3) UMs 合同会社「自動販売機的全機種・全種類を仕組み、用途、メーカー別に徹底解説」
<https://ums01.co.jp/%e8%87%aa%e8%b2%a9%e6%a9%9f-%e7%a8%ae%e9%a1%9e/>(閲覧日: 2024年11月10日)
- (4) “超”モノづくり部品大賞「2015年受賞作品」
<https://cho-monodzukuri.jp/award/archive/2015/electric&electron.html>(閲覧日: 2024年11月10日)

(2024年7月9日受理)[doi:10.2320/materia.64.200]
(連絡先: 〒243-0031 神奈川県厚木市戸室2-24-1)