

## LED が点灯しながら回転！光る単極モータの製作 その2

祐誠高等学校 情報技術科 辻 陽仁, 西谷 永遠, 古賀 大陽

### 1. 研究背景

1821年, ファラデーが考案した「単極モータ」は姿や形を変え, 今日では種々の方式が試作されている. これはネオジム磁石を利用してアルカリ電池とネジを結合させ, アルカリ電池とネオジム磁石を導線をつなぐと, 「フレミングの左手の法則」によってネオジム磁石が回転する仕組みである. このように「単極モータ」の歴史は古く, 構造がとても簡単なことから近年, STEAM教育(S:科学, T:技術, E:工学, A:芸術, M:数学)やSDGsの教材として「単極モータ」が注目をあびている. 例えば2005年の東京大学入学試験問題として出題されたことを皮切りに, 翌年の物理チャレンジでは実験問題として出題. また東北大学の女性研究者育成支援推進室が開催している科学体験プログラムでも採用されるなど, 「単極モータ」の実践事例には枚挙にいとまがない.

ところが上記のワークショップや教室でデモンストレーションする場合, 対象物が小さすぎて「回転する様子がわかりにくい」との特筆すべき事実がある. そこで単極モータの回転子(ロータ)にLEDを装着した光る単極モータを考案, 可視化の構想から早や5年が経過した. 昨年はコロナ禍のた

めほとんど活動できていないが, 今年の4月に再開. 越智先輩や堤先輩, 富松先輩方の研究を引きつぎ, 筆者らの世代で4代目となる.

### 2. 現状分析と課題

これまで銅線や赤色や青色のLEDを装着しながら光る単極モータの実験を繰り返してきた. 成果物として査読付きの論文[1][2][3]が3本ある. これより以降は, これまで課題を時系列で紹介する.

最初の課題はLEDの電極がネオジム磁石に吸いつき回転が停止することである. そのため肝心の審査会場では回転しないことも多く, 断腸の思いをしたことがある. 2番めの課題は赤色のLEDでも点灯しながら回転するものもあれば, そうでないものがある. 3番めは部品点数の多さで, 福岡大学の平松信康教授よりご指摘いただいた. これは平成30年に開催された福岡県児童生徒発明くふう展の表彰式で「ネオジム磁石のもっと減らせるのではないか?」とご指導いただいた.

このように課題は山積みである. LEDは点灯するのになぜ回転しないのか?根本的な原因を追求する必要があると考えた.

### 3. 新たな発想内容および評価

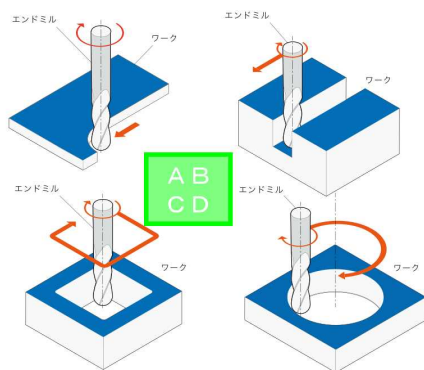
#### 3-1 銅線から銅板へ

最初の課題でも述べたように回転子には銅線やハンダ吸い取り線に LED を装着しながら、これまで実験を繰り返してきた。これらの材料は制作者（作り手）の感性に左右され、回転子（ロータ）の形状がつねに変化するため同じ形状は不二とない。よって A さんが制作すると回転するが、B さんの作品は回らないという不都合が生じる。

そこで銅板を CNC 旋盤にて加工【図 1】【図 2】【図 3】することで回転子の形状を規格化したところ、老若男女関係なく誰がやっても回転できるようになった。

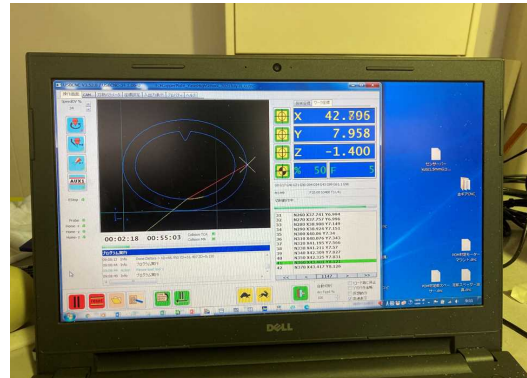


【図 1】 CNC 旋盤による銅板の加工



【図 2】 エンドミルによる銅板の加工

A : 平面加工, B : 溝加工, C : ポケット加工, D : ヘリカル加工



【図 3】 CNC 旋盤の専用アプリ

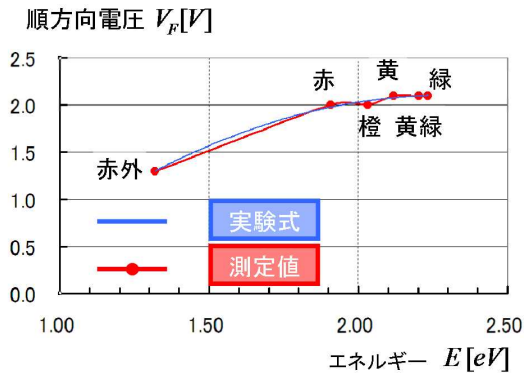
#### 3-2 LED の波長と順方向電圧の関係

ここではローム社の LED について調べたサイト[4]に注目した。このサイトには同社のカタログを元に直径 3mm 砲弾型 LED の発光色と順方向電圧  $V_F$  が記載されている。サイトの表を元に定性的にまとめてみた【図 4】。

800 700 600 500 400 可視光線の波長 [nm]			
項目	赤色 LED	青色 LED	記号
波長	長	短	$\lambda$
バンドギャップ	小	大	$E_g$
順方向電圧	小	大	$V_F$

【図 4】 LED の発光色と順方向電圧  $V_F$

赤色 LED の波長  $\lambda$  は青色に比べると長くなるが、逆にバンドギャップ  $E_g$  は赤色の方が小さくなることが理解できる。



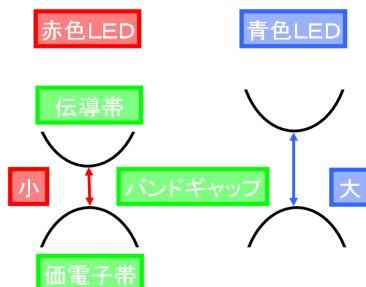
【図5】 エネルギー  $E$  と順方向電圧  $V_F$

つぎに波長  $\lambda$  をエネルギー  $E$  に換算し、順方向電圧  $V_F$  との知見を得るために定量的なプロットを試みた【図5】。

ここで赤色の実線は測定値で、青色は2次曲線に当てはめた実験式である。両者には

$$V_F = -0.84E^2 + 3.85E - 2.32 [V]$$

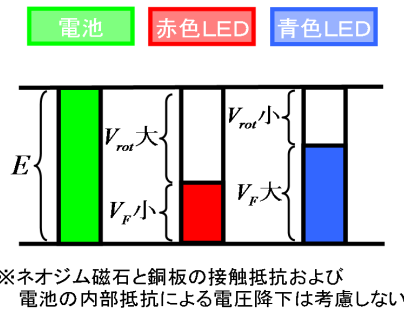
の関係がある。また残差 2 乗和が  $R^2 = 0.994$  なので、定量的な整合性はきわめて高いと考えられる。ただし青緑と青 LED のデータは実験式から大きくはずれたので、今回は除外した。



【図6】 LED の発光色と吸収端  $E_g$

さらに【図6】のように LED の発光色とバンドギャップ  $E_g$  との間には大きな相関があることから、この  $E_g$  が LED の  $V_F$  を決定づけると筆者らは定性的に結論づけた。

これにより単極モータに青色 LED を装着すると点灯はするものの回転しない理由【図7】が明らかになった。それは順方向電圧  $V_F$  が大きいと回転に必要な電圧  $V_{rot}$  が小さくなり、回転できないためである。



【図7】 発光色と回転力の関係

また赤色 LED の場合は回転に必要な電圧  $V_{rot}$  が大きいため回転力に寄与すると考えられる。

ただし、このモデルは完全ではなく二つの欠点を含んでいる。それは①Li イオン電池の内部抵抗による電圧降下、②ネオジム磁石と銅板の接触抵抗によって生じる電圧降下を無視していることである。

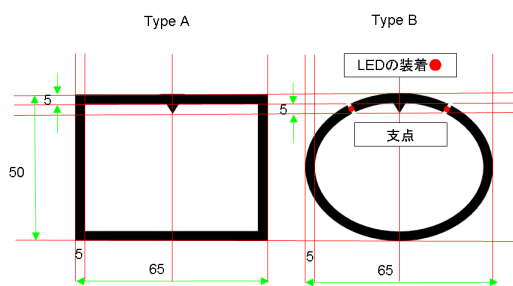
過去の実験によると Li イオン電池はメーカーによって差異があり、光りながら回転するもの、しないものがあったことは特筆すべき事実である。あくまでも憶測ではあ

るが、電流容量の差異が内部抵抗の大小を決める重要なファクタになっているのではないか？と思われる。

あいにく電圧降下の是非については紙面の関係で今回はとくに議論せず、別の機会に譲ることにする。

### 3-3 回転子の形状を長方形から楕円へ

順方向電圧  $V_F$  をパラメータにしながら、またデザイン思考を実践しながらロータの形状について模索したところ【図8】のA案；長方形とB案；楕円形に絞られ、最終的にB案に落ち着いた。



【図8】デザイン思考による形状の模索

また種々のLEDをメーカー別に実験したところ、秋月電子通商の超高輝度赤色LED；OSR5CA5B61Pがもっともベストであった。

### 3-4 部品点数の削減

初期の光る単極モータ[1][2]はボタン電池6個、ネオジム磁石8個を使用していたので、ボタン電池の消耗が激しく長時間の

デモンストレーションには不向きであった。



【図9】部品点数の大幅な削減に成功

今回はLiイオン電池（3.7V, 1000mAh）1個、ネオジム磁石2個と部品点数【図9】もきわめて少なくなり、平松教授のご指導を具現化することができた。これによりコストパフォーマンスもかなり安価になった。

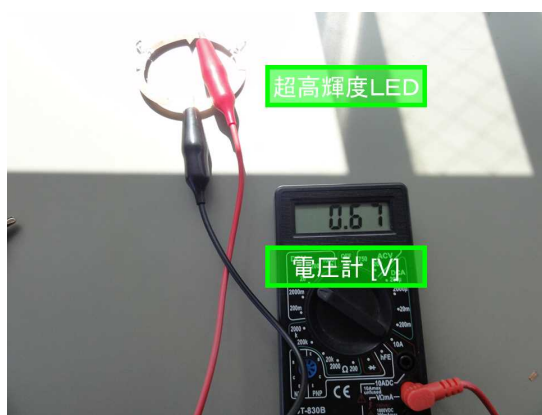
## 4. まとめ

従来の「光る単極モータ」はLEDの電極がネオジム磁石に吸いつき、回転が停止することが多かった。筆者らは0.3mmの銅板をCNCフライス盤で加工することで問題を払拭。その結果「老若男女」に関係なく、誰でも簡単に回せるようになった。

また赤色LEDでも点灯しながら回転するものもあれば、そうでないものがあった。筆者らはモデルを構築しながらトラブルシューティングを実践した。

さらに部品点数の多さを指摘されたことを契機にきわめて簡素化することにも成功した。

今回は触れなかったが超高輝度赤色 LED は太陽電池と同様、周囲の明るさに応じて起電力を生じる【図 10】。撮影時の天候は快晴で、測定電圧は  $0.67V$  であった。この起電力は回転力を阻止するブレーキとして作用するため、周囲の明るさに応じて回転速度が変化する。



【図 10】太陽光による起電力

周囲の明るさに反応しながら LED が幻想的に輝くので QOL (生活の質) を高めるガジェットとして、STEAM 教育や SDGs の教材としての利用が大いに期待できる。

ただいま東京大学のベンチャー企業；エレファンテック株式会社（旧名 AgIC 株式会社）とコラボしながら商品化（教材化）をすすめている。

## 5. 謝辞

久留米工業大学交通機械工学科の堤斗来先輩から、ものづくりセンターの青木秀幸先生をご紹介いただいた。先生からは

3D-CAD の講習を受けることで、光る単極モータをデザインすることができた。途中、コロナのため福岡県に緊急事態宣言が発令され、筆者らは構内に入ることができなくなった。ありがたいことに先生は CNC 旋盤の加工を快く引き受けてくださった。この誌面を借りて先生のご尽力に厚く御礼申しあげる。

またコロナ禍のなか、終始ご指導くださった非常勤講師の増崎武次先生にも御礼申しあげる。

## 6. 参考文献

[1] 富松利球:LED が点灯しながら回転！光る単極モータの制作, 平成30年度電気学会高校生懸賞論文コンテスト受賞論文集,pp.11-14.(2019.03)

[2] 富松利球,井上諒,七樂樹,Lim Leo,増崎武次:LED が点灯しながら回転！光る単極モータ, 芸術科学会誌 DiVA,No.46,p.28.(2019.06)

[3] 辻陽仁,西谷永遠,堤達哉,増崎武次: LED が点灯しながら回転！光る単極モータ その 2, 芸術科学会誌 DiVA,No.48,p.28.(2020.06)

[4] 発光ダイオード (LED) の発光色と順方向電圧  $V_f$  の関係

<https://fujisannoblog.com/post-8172/>

最終確認 2021 年 10 月 25 日