



## 自作発電機を使用した水力発電装置の研究

長野県松本工業高等学校 電気科

3年 神山 武光, 滝野 風太, 山崎 悠希, 山中 和也, 吉田 夕貴

担当教諭 丸山 真明

### 1 研究の動機と目標

授業で学んだ発電機の理解を深めるとともに、実際に私たちの手で、発電機製作をしようと思いました。そこで昨年の先輩方の研究テーマ「同機発電機の制作Ⅱ」を引き継ぐことにし、そこで出た課題を改善することになりました。また当初の目標として自分たちで水車を作り、簡易的な水力発電をしようと考えましたが、テーマが機械科と被ることもあり、私たち電気科が発電機・機械科が水車ということで今回の研究は合同研究ということになりました。

### 2 同期発電機の製作

#### (1) 設計・加工

試作の段階ではアクリルを、本製作では金属(アルミニウム)を使用しました。設計には AutoCAD を使用し、アクリルの加工はレーザー加工機を使用し、アルミニウム加工は業者に発注しました。

電機子に相当するコイル部分は、鉄損や漂遊負荷損の防止や電機子反作用の軽減のため、導体である金属を使用せず、アクリルをそのまま使いました。コイルの発熱による耐熱性能や経年劣化による強度に不安はありますが、回転部分ではないので今回は、発電機内部のボビンやコイル枠にも使用しています。

#### ① 外枠

試作の段階では厚さ 5mm のアクリルを、本製作では厚さ 5mm のアルミニウムを使用しました。

#### ② コイル枠

コイルを両側から永久磁石(磁極)で挟む構造に変更しました。昨年の発電機は、片側からコイルをアクリルの壁に固定するだけでしたが、今回はコイルの両側を磁石が回転しているため両側から保護しなくてはなりません。(写真1)そのためコイルを囲うように枠を作りました。また、コイルをアクリルで両側から固定したことにより昨年より振動がコイルに伝わらず波形にノイズが乗りにくくなりました。コイル枠は漂遊負荷損対策のためアクリルで製作しました。



写真1 固定子

### ③ 回転磁極(ローター部)

磁極数を変えず極間の距離を長くとり設計しました。しかし改良点がこれのみだと起電力が十分に取れないため、両側に磁石を配置して起電力の向上を狙いました。磁石間の磁路の確保には、電磁鋼板の入手が困難であったことから、スチール製の鋼材をドーナツ型に加工した物を代用しています。



写真2 アルミ製ロータ

### ④ スペーサー

回転子に緩衝しないようにするため部分に対して丸くなるようにしました。(写真3(a)) また、全面を覆うようにケーシングすると、内部に熱がこもり、コイルの絶縁性能を劣化させることを防ぐため、ボルトを通して固定する部分を中心に、部分的にスペーサーを入れるようにしました。この形にすることで、材料の節約にも繋がります。さらにこのスペーサーの数を減らすために、アルミ製の円筒型スペーサー(b)を用いて製作しています。



(a)コイル部分と外枠部分に使用



(b)大スペーサ(a)間を補完するために使用

写真3 アルミ製スペーサー

## (2) コイル

### ① 巻線機

コイルに巻きムラができ、抵抗値が均一にならないように、プーリーを使い、コイルを巻くときに銅線がボビンの辺に対して垂直にし、形が崩れにくいようにしました。こうすることによりコイルの品質の向上に結び付けられました。(写真4)

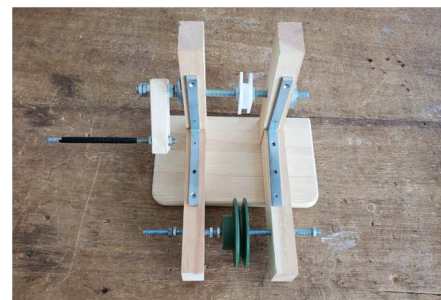


写真4 改良した巻き線機

### ② コイル

コイルの制作では、占有率を高めるため、平角銅線を使用したかったのですが入手が困難(最小発注が10kg以上、10万円を超える金額であったり、ハザイを譲り受けるにも、各メーカーとも注文製作のためハザイが出にくい状態など)により、直径1.2mmホルマール線を使用しました。このホルマール線を巻くためのボビンをレーザー加工機を使用し亚克力で製作しました。(写真5, 6)

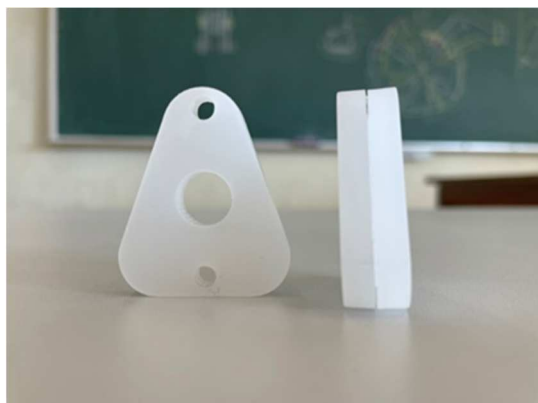


写真5 加工ポピン

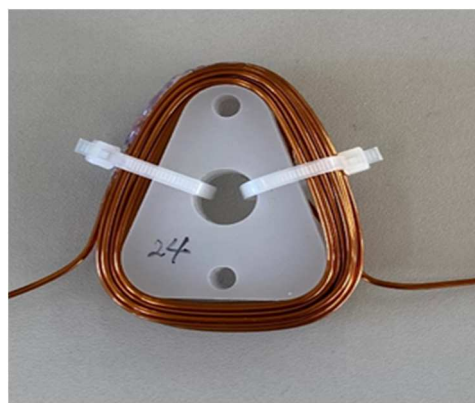
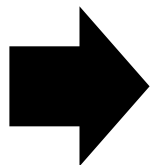


写真6 実際に巻いたコイル

コイルの製作では、コイルの巻き数が巻き線の抵抗に関係するため、直接出力される起電力の大きさに影響します。そのためコイルは、も厳しく厳選しました。

前年度は各コイルの抵抗値の誤差が5mΩ以内で製作していたのに対して、誤差範囲を 1mΩ 以内にしました。(表1)

表1 各コイルの抵抗値

①製作した巻線機で丁寧に巻いた結果もありますが、配置するコイル 12 個に対して倍以上のコイルを製作して、厳選した結果でもあります。

1. 84.1mΩ	7. 84.8mΩ
2. 84.3mΩ	8. 85.0mΩ
3. 84.9mΩ	9. 84.2mΩ
4. 85.0mΩ	10. 84.6mΩ
5. 84.9mΩ	11. 84.1mΩ
6. 84.3mΩ	12. 85.0mΩ

### (3) 回転磁極(回転子)

磁極部分には、永久磁石であるネオジウム磁石を使い 16 極にしました。(写真7)磁極部分にネオジウム磁石を用いることにより、磁極部分の励磁が不要となるので外部電源を用いずに発電することが可能となりますが、磁束Φは常に一定となるため、下記公式より誘導起電力は回転速度によってのみ調節することになります。

**誘導起電力  $E=4.44kfN\Phi$  ... (公式1)**

#### ① 磁極

今回使用したネオジウム磁石は、φ25、厚さ8mm、磁束密度330mTのものを使用しています。(ネオジウム磁石データ参照)

#### ② 電磁鋼板

電磁鋼板は、磁極間の磁束の通路として、磁束の漏れを減少させる役割があります。また、磁極に使用しているネオジウム磁石をローターに磁気の吸引力を使って固定する役割も兼ねています。今回磁極には永久磁石を使用しているため、磁束の向きが一定であり、交番磁界が発生しないため鉄損などの心配もありません。



写真7 回転子  
(磁極を配置したアルミ製ローター)

本来ならばヒステリシス現象が少なく磁束の通りやすいケイ素鋼板でできたものを使用したいのですが、入手が困難であったため、ドーナツ型のスチール製鋼板を使用しました。(写真8)

スチール製なので手で触れると錆びてしまう為、注意しながらボール盤でローターに取り付ける為の穴を開け加工を行いました。



写真8 電磁鋼板

(鉄製のドーナツ型鋼板で代用)

#### (4) 試作の組み立てと動作確認

それぞれ加工したコイル(電機子)をY結線にした固定子パーツ、磁極と電磁鋼板を組み立てた回転しパーツを外枠とスペーサを使って組み立てたものが(写真9)となります。

中央のコイルをケーシングした部分より、UVW の各相の端子と回転数を観測するため、中性線の計4本を絶縁を施して取り出しています。

この試作を使って出力波形を観測した様子が(写真10)ですが、各相に均等に起電力が発生し、もノイズも少なくきれいな波形が観測できました。対称三相交流を取り出せることがわかったので本制作に移りました。



写真9 完成した発電機

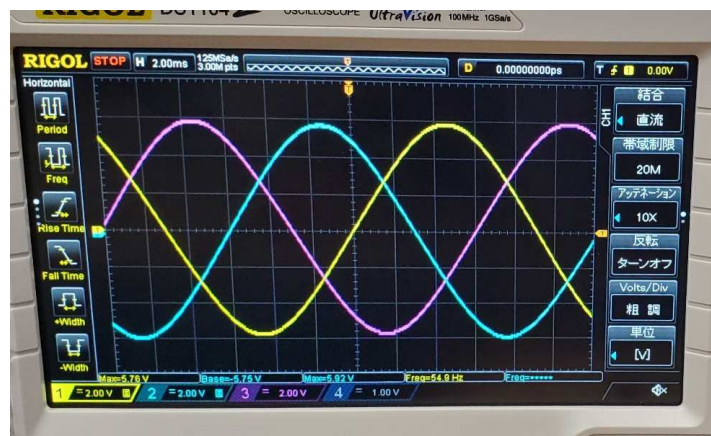


写真10 動作確認による 観測波形

### 3 同期発電機の特性試験

#### (1) 無負荷試験

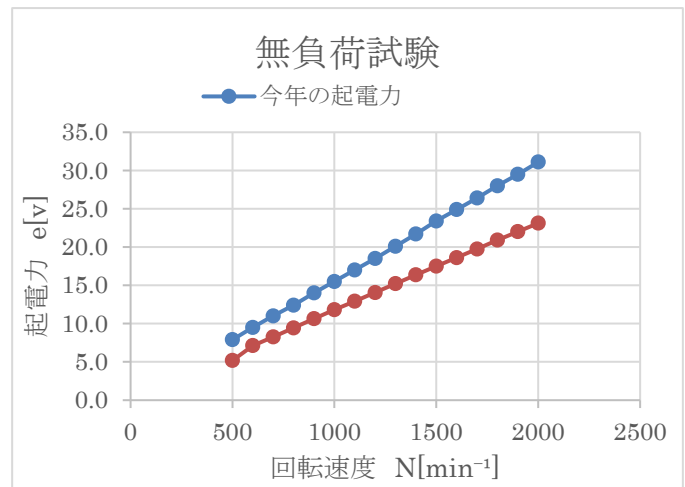
三相同期発電機の出力に負荷を付けず、無負荷試験を行いました。回転速度は 600[ $\text{min}^{-1}$ ]から 100[ $\text{min}^{-1}$ ]ずつ 2000[ $\text{min}^{-1}$ ]まで増加した時の起電力を測定しました。

表 2 およびグラフは、前年度の同期発電機Ⅱの無負荷試験の結果と比較したものです。起電力の比較はおおむね 1.5 倍になりました。

表2 無負荷試験

回転速度 N	今年の 起電力	昨年の 起電力	周波数 f
[min <sup>-1</sup> ]	[v]	[v]	[Hz]
600	9.5	7.12	93
800	12.4	9.43	110
1000	15.5	11.81	126
1200	18.5	14.05	164
1400	21.7	16.37	190
1600	24.9	18.61	220
1800	28.0	20.90	238
2000	31.1	23.13	263

グラフ1



<考察>

- (1) 回転速度と起電力が比例していることが分かった。
- (2) 回転数が 2000 回転で電圧が 30[V]を超えた。
- (3) 昨年の無負荷試験時の起電力を今年度と比べてみると約8[V]ほど出力が増加していた。

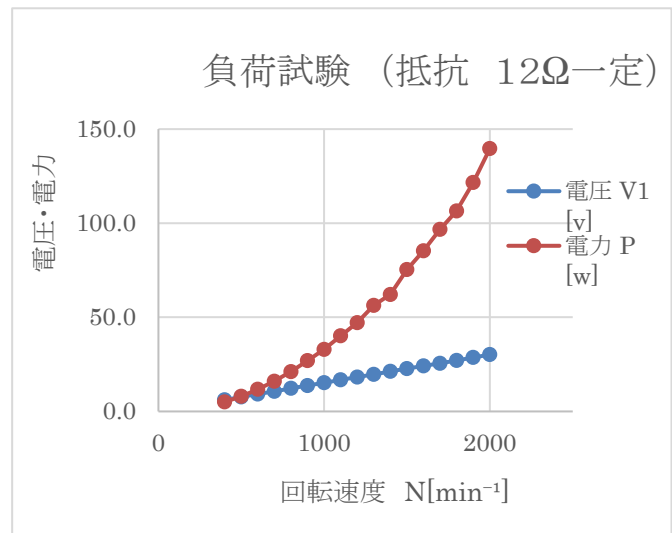
(2) 負荷試験

三相同期発電機の出力に三相負荷を接続して、回転速度を 400[ $\text{min}^{-1}$ ]から 100[ $\text{min}^{-1}$ ]ずつ 2000[ $\text{min}^{-1}$ ]まで上昇させたときの。端子電圧 V1、負荷電流 I1、三相電力 P を値を読み取る負荷試験を行いました。負荷には三相負荷抵抗を取り付け抵抗値 12[ $\Omega$ ]一定で結線方法は Y 結線としました。

表3 負荷試験

回転速度 N	電圧 V1	電流 I1	電力 P
[min <sup>-1</sup> ]	[v]	[A]	[w]
400	6.1	0.497	4.97
600	9.2	0.776	11.7
800	12.2	1.02	21.1
1000	15.2	1.27	32.9
1200	18.2	1.53	47.1
1400	21.2	1.78	62.1
1600	24.1	2.05	85.3
1800	27.0	2.31	106.5
2000	30.2	2.58	139.6

グラフ2



<考察>

- (1) 起電力が回転速度のみに比例して発生している。無負荷時とほぼ変わらない。
- (2) 負荷が抵抗のみなので、力率=1であるから、電力  $P = \sqrt{3}VI$  [W] の関係である。  
例) 1000[ $\text{min}^{-1}$ ]のとき  $V = 15.2$  [V]、 $I = 1.27$  [A]  $P = \sqrt{3} \times 15.2 \times 1.27 = 33.4$  [W]  $\Rightarrow 32.9$  [W]
- (3) 2000 回転を超えると電力は140[W]ほど出力された。この値は普通教室を十分に照らせる。

#### (4) 水車との接続

機械科の課題研究で制作された水車と接続して、校内の水路(格技室前)で実際に発電できるかを確かめました。

当日は、寒波の影響で寒く、水路の水量もいつもより少ない状態でした。そのためか、水車が予想以上に回転せず、発電機の回転速度が足りないためか、LEDを光らせることができませんでした。

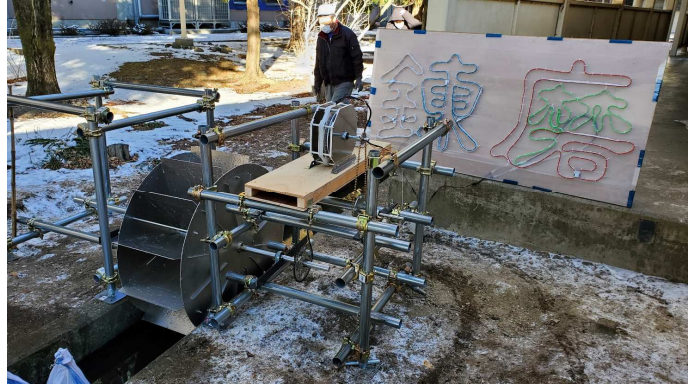


写真11 水路での発電実験の様子

### 4 研究の成果と課題

#### (1) 研究の成果

##### ① コイルの精密化

巻線機から作り直し、昨年度と比べコイルをより精密にまき、きれいな対称三相交流を取り出すことができました。また各相の起電力の値もほぼ同一となりました。

##### ② 実用化できる電力を出力

磁極をコイルの両側に配置して、N⇒S極でのサンドイッチ構造として、コイルを貫く磁束 $\phi$ が増えたため、回転速度が $2000[\text{min}^{-1}]$ で昨年を大幅に上回る $140[\text{W}]$ の電力を取り出しました。また、 $1000[\text{min}^{-1}]$ でも、 $15[\text{V}]$ 、 $33[\text{w}]$ と $12[\text{v}]$ バッテリーを充電するには十分な出力となりました。

##### ③ 耐久性の向上

機体をアクリルからアルミに変え強度を向上させることができました。

##### ④ 水車との接続を行い、水力発電の形になった。

#### (2) 研究課題

##### ① エアギャップの縮小化

コイルのケーシング部分のねじ先が長く出すぎてしまい、ロータの磁極とコイルとの間隔に限界があり、エアギャップを最小まで狭めきれなかった。もう少し縮めることができれば、発電能力の向上が期待できると思われます。

##### ② コイルのケーシング精度の問題

コイルを収める外枠の余白ががざりざりで、コイルが干渉して浮きが出てしまいにきっちり納めきれなかった。また、アクリル材のためたわみが発生し、ところどころロータと接触する部分があり、極限までエアギャップを縮小できない原因となってしまいました。

##### ③ コイルの巻き数やコイルの並列化などの研究

精密なコイルを製作することに時間をかけすぎってしまったため、コイルの巻き数の適正化やコイルを並列化して容量を増やすなどの工夫には手を付けることができなかった。