

プロトン磁力計センサー部の製作に関する基礎的研究

経営情報学科 佐納康治

SANO, Yasuharu

1. 研究目的

長年筆者が共同研究を行っている京都大学理学部附属地磁気世界資料解析センターにおいては、「田中式プロトン磁力計」と呼ばれる磁力計を開発し、日本国内はもとより、中国のウルムチ、タイのピマーイ、ジョージアのドゥシェティなどにも設置して地磁気観測を行っている。

この田中式プロトン磁力計のセンサー部には 0.8mmφ の銅線を 2000 回巻いたコイルを用いており、2.0A の電流を 2.0 秒間通電している。銅線の接着には松脂、またコイルを浸す試薬としては蒸留水または純度の高い灯油を用いている。

しかし、蒸留水については寒冷地の冬季に試薬が凍結するという問題点がある。また、灯油については分子量が大きすぎるために励起磁場を印加しても灯油分子中の水素原子に働く歳差力のトルクが小さくなるという問題点がある。

そこで、2つの改良案について実験を行うことを本研究の目的とした。すなわち、銅線を 2.0mmφ のものと交換し、大電流を短時間流すことにより同等の効果が得られるのかという実験、ならびに、試薬としてアルコールを用いた場合の腐食耐性はどの程度であるかを確かめる実験である。

2. 研究方法

試薬としてはメタノール(CH₃OH)、エタノール(C₂H₅OH)、プロパノール(1-プロパノール、2-プロパノールいずれも C₃H₇OH)を候補に挙げた。それぞれの融点と沸点とを表 1 に掲げる。

表1 各種試薬の融点と沸点

	融点	沸点	分子量	水素比
メタノール	-98℃	65℃	32.0	0.13
エタノール	-114℃	78℃	46.1	0.13
1-プロパノール	-126℃	97℃	60.1	0.13
2-プロパノール	-89℃	83℃	60.1	0.13
水	0℃	100℃	18.0	0.11

これらの試薬は、分子中に水素原子が多数含まれていること、灯油よりも分子量が小さく分子の歳差運動が容易であること、および水よりも融点が低く寒冷地においても凍結しにくいこと、入手性や価格などを考慮して選定した。

他方、熱帯地域においては試薬の温度が相当に上昇することが想定されるため、水の沸点に近い1-プロパノールが最も適切と思われたが、実験では燃料用のアルコール(メタノール 77%、エタノール 22%、2-プロパノール 1%の混合物)を用いた。

2.0mmφ 銅線で数回巻きのコイルを作り、その一部を接着剤で固定した。これを燃料用アルコールに浸し、そのまま接着部の変化を観察した。10月17日より耐性実験を開始した。

またこれとは別に2.0mmφ 銅線で50回巻きコイルを作り、これに電流を流してその発熱の様子を調査した。

3. 実験結果

3-1 燃料用アルコール中における接着剤の耐性実験

10月17日より燃料用アルコール中の接着剤の耐性実験を開始し、現在約2ヶ月を経過している。接着には瞬間接着剤、耐熱型エポキシ樹脂系接着剤(2液混合タイプ)、合成ゴム系接着剤を用いた。

合成ゴム系接着剤については実験開始より3日後、耐熱型エポキシ樹脂系接着剤については実験開始より6日後には白く変色をしてきた。現在約2カ月が経過しているが、変色は接着部全体にわたり、小さな穴がみられるようになってきた(写真1)。穴の数は次第に増加しており、さらに一部、接着剤が薄くなってきていると思われる箇所もある。

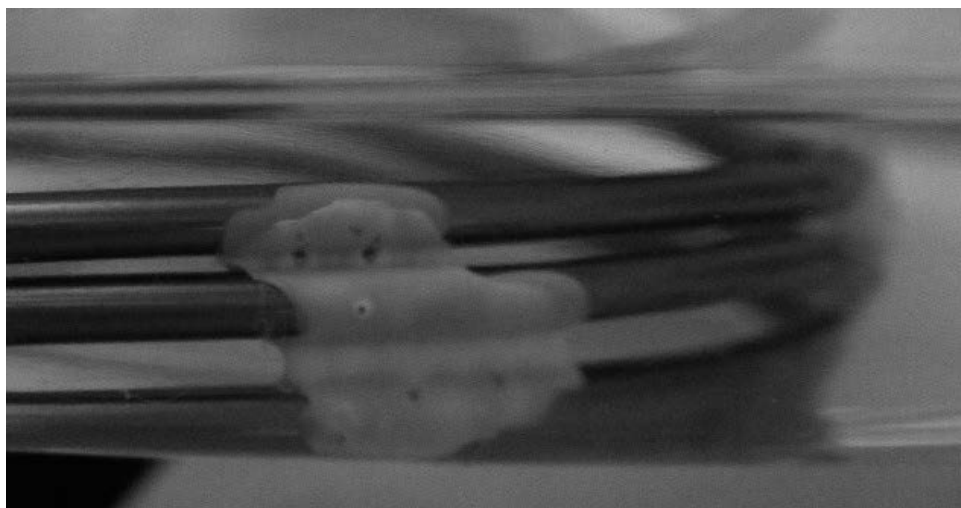


写真1 エポキシ樹脂系接着剤の燃料用アルコール中での変化

一方、瞬間接着剤により接着した部分には変色はなく、接着直後と同様の状態を良好に維持している。

3-2 コイルへの大電流の通電実験

京都大学理学部附属地磁気世界資料解析センターでは現在 2.0A であるコイルへの通電電流を、コイルに印加する電圧を 10 倍程度に昇圧することにより 20A に増大させることを計画している。しかしそのためには大掛かりな昇圧装置が必要となる。そのため、ここではコイルに太い銅線を用いることにより直流抵抗を減らし大電流を流すこととした。

試作コイルとして 2.0mmφ 銅線で 50 回巻きのコイルを作り、まずその抵抗値を測定した。直流抵抗が極めて小さいためテスターによる測定は不可能で、定電圧電源から抵抗器を介して定電流を流し、コイルの両端に発生する電圧降下を測定する方法を用いた。その結果、123mA の電流を流した場合にコイルの両端には 23mV の電圧降下が発生し、コイルの直流抵抗値は約 0.19Ω と求められた。これより、もしもコイルに 5V を印加すると約 27A の電流が流れると予想された。パソコン用の ATX 電源が 5V で 32A を出力できるので、これを電源装置として使用することとした。

実際の実験の様子を写真 2 に示す。このような大電流はテスターでは測定不可能で、クランプメーターを用いる必要がある。その結果、電圧 5V でほぼ予想通りの 28A の電流が流れていることが確認された。



写真 2 コイルへの大電流通電実験

赤外線放射温度計(非接触型)を用いて計測したコイルの温度は通電開始時で 19.5℃、1 秒後に 31.6℃、2 秒後に 40.3℃、3 秒後に 48.9℃となった。これより通電開始 t [s]後のコイルの表面温度 T [℃]はおおよそ

$$T[℃]=20+55(1-e^{-0.25t})$$

で与えられることになり、連続通電を行った場合の最終温度は 75℃にも達するであろうと見積もられることが判明した。この温度は燃料用アルコールの主成分であるメタノールの沸点 65℃を超えており、万一ハードウェアの故障等により連続通電となった場合の安全基準を満たさないことが判明した。

また、熱帯地域などでは気温が 40℃を超えることは普通であり、その場合にはコイルの温度は 95℃まで上昇すると見積もられ、試薬として仮に水や 1-プロパノールを用いたとしてもその沸点に近い温度まで上昇する可能性があることを示唆する結果となった。

3-3 ペルチェ素子による発電性能の測定

コイルの発熱をペルチェ素子で電力に変換してバッテリーに充電し、エネルギー効率を改善することを考えている。無人状態で連続観測する場合には、このようなエネルギーの再利用は大変に重要となってくる。

購入したペルチェ素子は元來電流を流すことにより冷却用素子として動作させるためのものであったが、これを逆に発熱体に接触させて発電用素子として動作させることを試みた。ペルチェ素子のデータシートには冷却素子として動作させたときのデータしか提供されていないので、発電素子として動作させたときのデータを取得する必要があるがあった。そのために実際にペルチェ素子を加熱し、両面と温度差と短絡電流との関係を測定する実験を行った。測定結果は図 1 の通りである。

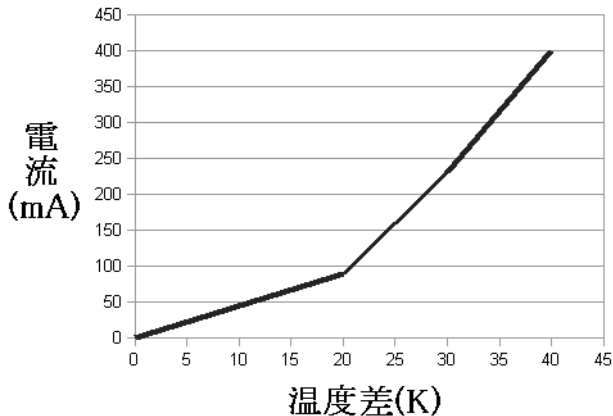


図1 購入したペルチェ素子の温度差と短絡電流との関係

温度差 20K のところでグラフが折れ曲がっているように見えるのは測定誤差であろうと思われるが、全体の傾向として直線ではなく、指数関数的なグラフになっているように思われる。すなわち、このペルチェ素子は数 10K 以上の温度差がなければ充分な発電を行うことができない。10K 程度の温度差では、50mA 程度の出力電流しか取れないことが判った。ペルチェ素子の磁性の影響を避けるためペルチェ素子はセンサーコイルからある程度離さなければならず、そこまで熱伝導をさせて発電するのは実用的ではないかも知れない。

4. 今後の課題

接着剤のアルコール中での耐性実験については実験開始が遅くなってしまい、現在のところまだ2ヶ月しか継続できていないので、これを最低でも1年間継続する必要があるだろう。遠隔地の観測点には人が常駐しておらず、1年に1回程度しか人が訪れない場合があるためである。

接着剤の種類については、当初期待した耐熱型エポキシ樹脂系接着剤はアルコールへの溶解性を示すことがわかった。また、あまり期待していなかった瞬間接着剤はほとんど溶解性を示さないこともわかった。しかしながら、瞬間接着剤は温度が 50℃を上回ると接着性能が低下する。耐熱型の瞬間接着剤も市販されているので、今後の実験では耐熱型瞬間接着剤の溶解耐性に焦点を当てて実験してみる必要があると思われる。

今回の実験ではコイルは 50 回巻であったが、これを数 100 回巻とすることで発熱を抑えられると思われる。また、試薬としてアルコールと水との混合溶液を用いることにより、発火の危険性を回避できるであろうと考えている。またアルコールとしては融点が低く、沸点の高い 1-プロパノールを用いることが望ましいであろう。