

磁力温度計の開発

チーム名：超磁力戦隊マグレンジャー

メンバー：坂本康直、丸山恵李佳、米長克昌（山梨大学工学部応用化学科2年）

菅井智美、柳沢拓真、渡邊睦己（山梨大学工学部応用化学科1年）

〒400-8511 山梨県甲府市宮前町 7-32 山梨大学クリスタル科学研究センター

TEL 055-220-8625 E-MAIL t10aa022@yamanashi.ac.jp

1：実験動機

磁石は、鉄を引きつけるというわかりやすい性質を持っているためか、かなり古い時代から、人類に知られていた物質なようだ。そして、この性質は古代から現代まで、様々な形で人類に利用されてきた。有名な例を挙げるならば、磁石の指向性を利用した羅針盤がどれほど人類に貢献しただろうか。また、現代の工業製品では、例えば自動車にはとても多くの磁石が使われている。また、冷蔵庫にメモを貼り付けるといった用途は、まさしく磁石のとてもわかりやすい使い方と言えるだろう。



図 1 実際に実験で使用した磁石

そのような磁石はスピンからできていて、鉄を引き寄せる力の強さである磁力は、熱と深い関係がある。そして、磁力の強さは磁石の温度によって変化するというのが、私たちはこの性質に目を付けた。これを利用して何か面白いことができるのではないだろうかと思ったのだ。

そこで、磁石を使って温度計を作製することに決まった。

2：実験目的

磁力と温度の関係を調べ、その測定データを基にして、磁石を使った温度計を作製することにより、磁石の新しい利用方法を提案することを目指す。

3：予備実験

実験を進めるにあたり、チームを磁束密度班、パイプ班、磁性流体班の三つの班に分けた。以下がそれぞれの班の報告書である。

・磁束密度班実験レポート

磁石を使った温度計の製作のために、まずは磁石の磁力と温度の関係性を確かめる必要があった。そこで磁束密度を参考とし、磁力と温度の関係性を具体的な数値から探ることにした。

最初は、磁束密度班の実験を単独で行っていたが、時間的な制約があるため、ひとつのヒーターを使って磁束密度班とパイプ班の実験を同時に行うこととした。

写真のようにひとつのヒーターで同時に実験を行うことで時間を短縮できることが利点であるがパイプ班との磁石の融通の関係で、そう多くのデータをとることができないという欠点も生じてしまった。

実験をしていく中で、僅かではあるが熱によって磁束が変化していくのが明らかとなった。20℃刻みのポイントで測定していくと約 3mTdc ほど下がっていくのが確認された。また、前述したとおり、パイプ班の実験も同時に行っており、その様子については図 3 を参照してもらいたい。御覧のように、それぞれの磁石が近いため、干渉を起こすことが心配されたが、確かめてみたところ少なくとも磁束密度の数値に影響は生じてはいないようだったので、特に問題は無いと思われる。

*実験結果

使用した磁石

表 1 各磁石における磁束密度と温度の関係

温度/℃	40	60	80	100
ネオジム 10×6×5	39.8	35.9	29.9	28.2
フェライト 13×6.1×10	21.6	19.8	17.3	16.0

(単位：mTdc)

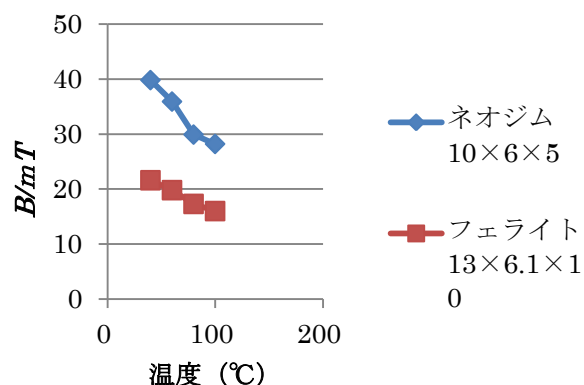


図 2 各磁石における磁束密度と温度の関係



図3 フェライト (10×6.1×10) での磁束密度測定の様子



図4 測定装置の全体図

これまでの測定結果をまとめると、磁石の種類によって、それぞれ違った結果が得られた。ネオジムでは 20～80℃の間では磁束密度が約 4～5mTdc ほど下がったことが確認されたが、高温になるにしたがってあまり変化が見られなくなり、100℃付近では 2.3mTdc ほどとなった。

*今後の課題

- 1：測りたい温度になるまでの待ち時間が少々もったいないところがある。実験の効率化をはかりたい。
- 2：ヒーターの上限温度は 200℃までとなっているが、磁石への熱伝導効率の問題が考えられるため、あまり高温にはできない可能性がある。加熱することだけでなく、氷などを使って低温にすることで、温度帯を幅広くとり、より多くのデータを集めたい。

・パイプ班実験レポート

＊実験目的

磁石による温度計を制作するために、温度を変えた時に磁石間の距離の変化量のデータが欲しいので、それを集めること。なお、磁石の種類によつての違いも調べた。

＊実験方法

ガラス管に互いに反発するように磁石を通し、シリコンラバーヒータの上に立て、固定する。磁石の温度が 40℃、60℃、80℃、100℃になったところで、磁石間の距離を測定する。

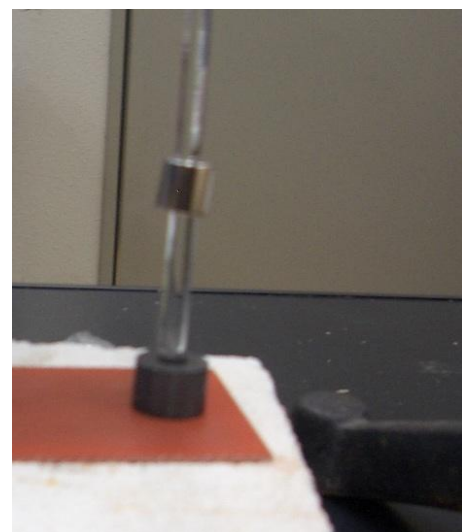
磁石の種類が多いので、今回はネオジム大×ネオジム大、ネオジム大×フェライト大、フェライト小×フェライト大の 3 パターンを測定する。

フェライト小（外径 13mm×内径 6.1mm×厚さ 10mm）

（以後サイズ表記は 13×6.1×10 のように省略する）

フェライト大（15×6.1×10）

ネオジム大（10×6×10 N35）



＊実験結果

図 5 フェライト&ネオジム磁石の磁石間距離測定

以下のような結果となった。

表 2 磁石間距離と温度の関係

磁石の組み合わせ \ 温度 (℃)	40	60	80	100
ネオジム大×フェライト大	2.9	2.8	2.7	2.6
フェライト小×フェライト大	2.2	2.2	2.1	2.05

※表中の数字の単位は cm である。

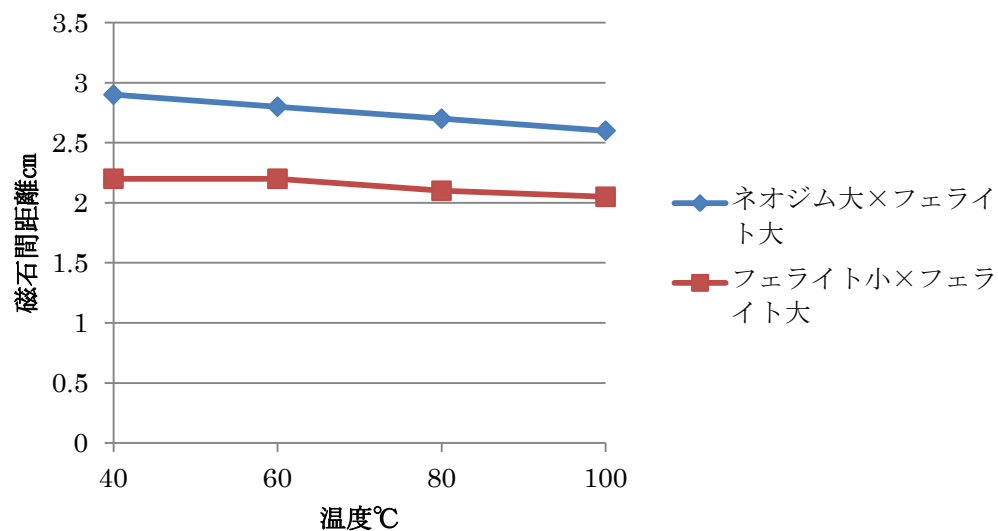


図6 磁石間距離と温度の関係

*考察

グラフから、フェライトよりネオジムを使用するほうが長さの変化が大きいということがわかった。また、ネオジムを用いた方が最初の磁石間の距離が長く、温度変化による磁石間の距離の変化も大きくみられたので、このような距離の差を利用するような機構をもつ磁力温度計を作るには適した磁石なのではないか、と考えた。今後は、ネオジム同士ではどのように変化するかを調べていきたい。

・磁性流体班実験レポート

＊実験目的

磁性流体をつくる。

＊実験内容

シリコーンオイルとイソパラフィンに、フェライト粉末をそれぞれ混ぜる。さらに界面活性剤（家庭用洗剤）を加えたものと、加えないものの二つを用意し、それぞれ加熱する。

＊実験 1

条件

量を比較する際、単位には質量を使う。

加熱には、温度を 100℃まであげ、その状態を 3 分程度保つといった方法をとる。

結果

実験の結果を以下のような表にまとめた。

表 3 磁性流体を作るための各成分の割合 1

シリコーンオイル(g)/フェライト粉末(g)	界面活性剤なし	界面活性剤入り	シリコーンオイル/フェライト粉末:界面活性剤
1	×	×	1:2
2	×	×	
3	×	×	
			1:1

※表中の×印は、失敗を表している

シリコーンオイル(g)/フェライト粉末(g)の3は、柔らかく、ベタツとなってしまい失敗。次に、硬くしようと1と2をつくったがこれも失敗。3の方が近かった。また、これら三つは全て一週間後、分離していた。そこで界面活性剤を入れた。界面活性剤として家庭用洗剤を使用。

液体に洗剤を入れ加熱した。3の液体が磁性流体になったかと思ったが、加熱をやめてから数分後、冷めてしまうことで固まって固体になってしまった。

表 4 磁性流体を作るための各成分の割合 2

ベビーオイル(g)/フェライト粉末(g)	界面活性剤なし	界面活性剤入り	ベビーオイル/フェライト粉末:界面活性剤
2	○		
3	×		
			×

※表中の○印は成功、×印は失敗を表している。

母液をシリコーンオイルからベビーオイルにしてみる。ベビーオイルにはイソパラフィンが使われている。

まず3を作ったが失敗。洗剤を入れて加熱したら、シリコーンオイルと同様に固まってしまった。3を加熱用の容器に移してしまった後に、残った液体が磁性流体のようなものになっていたが、固い。この残った液体には洗剤は入っておらず、2に近いものとなった。



図 7 3 を別の容器に移したあとに残った液体

表 5 磁性流体を作るための各成分の割合 3

	ベビーオイル(g)	フェライト粉末(g)	界面活性剤(g)	ベビーオイル: フェライト粉末: 界面活性剤
A	0.3	0.3		1: 1
B	0.3	0.9		1: 3
C	0.8	0.2		4: 1
D	0.5	0.5	0.3	5: 5: 3
E	0.5	1.1	0.5	5: 5: 11

A は粉末が多かったのか液体にならなかった。B では粉末とオイルが分離してしまった。C は前回と同じく磁性流体に近いものができたがこれも混ぜた状態では液体が多かったため上澄み液を流してできたものなのではっきりした比率はわからない。

次に界面活性剤を加えて作ってみたのが D と E である。粉末→活性剤→オイルの順で混ぜてみた。結果はあまり変わらず、水のようなものが出た。E の場合でも目立った変化は見られなかった。

表 6 磁性流体を作るための各成分の割合 4

	シリコンオイル(g)	フェライト粉末(g)	界面活性剤(g)	シリコンオイル: フェライト粉末: 界面活性剤
F	0.5	0.5	0.5	1: 1: 1
G	1.0	0.5	0.5	2: 1: 1

シリコンオイルでも結局は固まってしまった。ちなみに G の結果にさらにエタノールを加えてみたが、分離した。

表 7 磁性流体を作るための各成分の割合 5

	グリセリン(g)	フェライト粉末(g)	グリセリン: フェライト粉末
H	0.2	0.2	1: 1
I	1.0	0.2	5: 1

H、I は F、G のシリコンオイルの部分グリセリンに置き換えただけである。

まとめ

どのオイルや界面活性剤の有無しでも出来上がったものに磁石を近づけてみても、磁石に引き付けられることはするが、市販の磁性流体のようにスパイク現象は生じなかった。

次に、質量ではなく体積をもとにした比率で実験を行った。

* 実験 2

条件

体積は計量スプーンで量り、その比率は、粉末：界面活性剤：オイル＝1：2：17である。

* 実験結果

(1) 洗剤中の界面活性剤の割合を考慮した場合

粉末 1.25ml、界面活性剤 14ml、オイル 21.5ml で混ぜる。すると灰褐色の液体ができた。また、これは時間をおいても分離しなかった。そこで、先の実験結果から、この状態から上澄み液を捨てるとうまくいくことがわかっていたので、磁石で粉末を集め、上澄み液を流した。



図 8 上澄み液を流した残り

一般的に知られている、磁性流体のスパイク現象のようなものを確認することができたが、流体ではなく固形物であった。そこで、流体にするためにオイルを加えた。しかし 20ml 加えてもゲル状で、液体になりそうな兆候はみられなかった。これをゲル A とする。次に、ゲル A を 1.25ml とり、これにオイル 10ml を加えたがうまく混ざらなかった。さらにゲル A を 1.25ml ずつ加えていってみると、7.25ml 加えた段階でうまく混ざった。しかし、磁性流体にはならなかった。

(2) 洗剤中の界面活性剤の割合を考慮しない場合

粉末 1.25ml、界面活性剤 2.5ml、オイル 21.25ml で混ぜる。



図 9 混ぜた直後

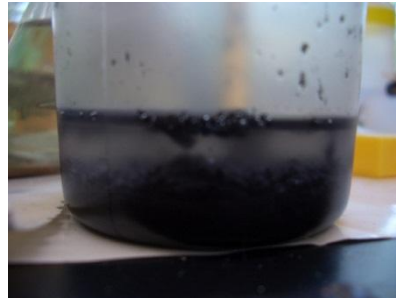


図 10 しばらく放置した状態

混ぜた後しばらく放置すると分離したので上澄み液を流す。磁石を近づけてもスパイク現象は確認できない。オイル計 20ml をさらに加えてみた。うまく混ざらなかったなので、5ml 抽出し、これにオイル 10ml を加える。しかしこちらも磁性流体にならなかった。

まとめ

磁性流体を作るということは、難しいと実感した。これから、磁性流体を作りつつ、市販のものを使い他の班と同様に、温度による磁力の変化を調べる。

4：本実験

本実験では、磁束密度班とパイプ班を統合した班と、磁性流体班の二班体制で実験を進めた。以下がその報告書である。

・磁束密度&パイプ班の実験

*実験に使ったもの

ネオジム（ $10\times6\times5$ ）を2個、ネオジム（ $25\times6\times10$ ）を1個。

まず、下にネオジム磁石（ $25\times6\times10$ ）を置き、それに反発するように、ネオジム磁石（ $10\times6\times5$ ）をガラス棒に通した。そして、反発力をさらに強くして磁石間距離の計測値をわかりやすくするために、もう1つネオジム $10\times6\times5$ 磁石を二番目の磁石と反発する向きにしてガラス棒に通した（図12 参照）。

ヒーターを使って下の磁石を熱していく。温度が上がり、磁力が変化することで、磁石同士の距離が移り変わるのを測定しようと考えた。



図 11 磁石間距離測定装置の全体図

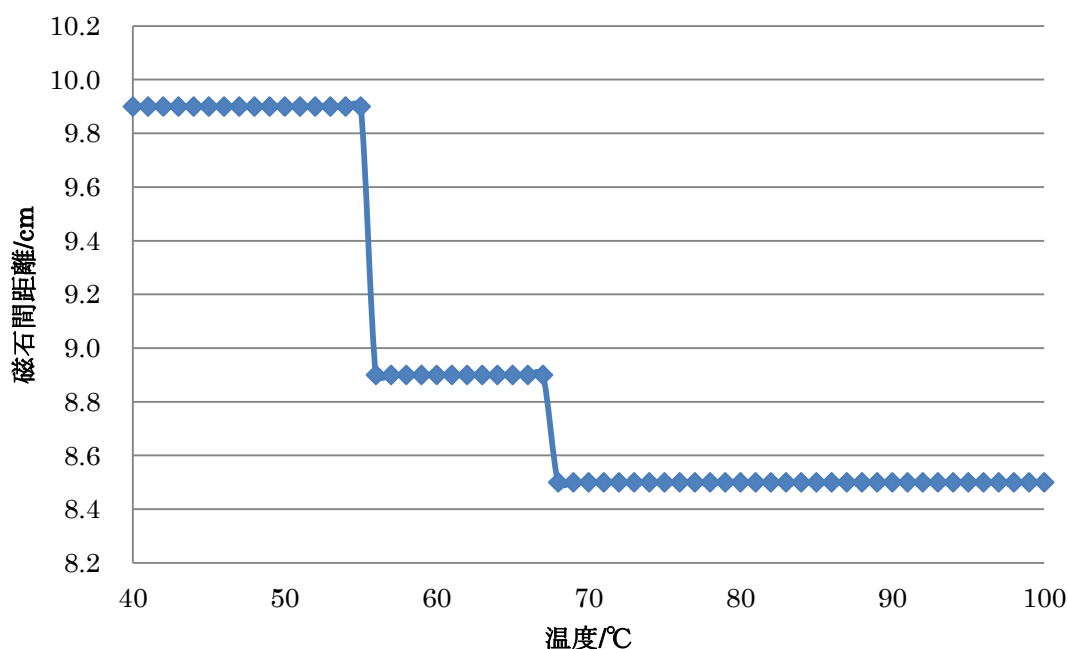


図 12 温度による磁石間距離の変化

なお、100°Cまでの加熱と、その後室温で自然冷却をする様子は動画を別に用意したので、そちらも参照していただきたい。

次に、この磁石を室温で自然冷却し、加熱する前の温度にすれば、元の磁束に戻るかどうかを試してみたところ、実験で加熱したネオジム（25×6×10）が元の磁束に戻ることはなかった。同じサイズの磁石で同じ実験をしてみたが、やはり磁束は元には戻らなかった。

以下に実験の結果をまとめた。

表 8 加熱実験前後の磁束密度の比較

使用した磁石	サイズ (mm)	高さ (mm)	磁束密度 (mTdc)
ネオジムリング 新品	25×6×10	10	+76.9
ネオジムリング 実験後②	25×6×10	10	+28.0
ネオジム 丸型	30×10	10	+29.8
ネオジムリング 実験後①	25×6×10	10	+10.0



図 13 磁束密度測定の全体配置



図 14 磁束密度の測定

・磁性流体班の実験

＊磁性流体製作について

磁性流体の製作をいろいろな方法で試してみたが、なかなか思い通りにいかなかった。
磁性流体の製作は大変難しいことがわかった。

これ以降の実験では、市販の磁性流体を使用することとした。



図 15 使用した市販の磁性流体

＊磁力と磁性流体の形の関係

加熱の前に、磁力変化による磁性流体の形の様子を見た。磁石をシャーレとの距離が 0 mm になるように押し当てた。すると、磁力が強すぎて、多くのスパイクが生じてしまった。

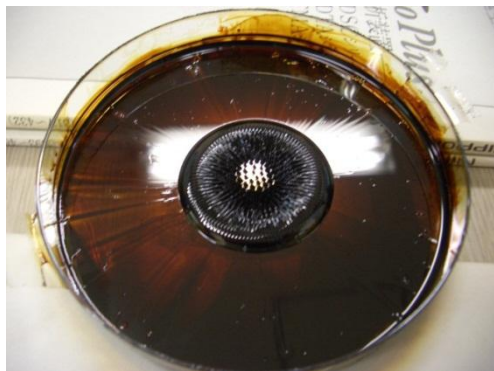


図 16 磁石とシャーレの距離が 0mm のときの様子



図 17 磁石とシャーレの距離が 30.25mm のときの様子

このように、30.25mmのときにスパイクを数えられるようになった。さらに実験を進めていくと、スパイクを確認しやすい距離は、30mmであることがわかった。

*実験装置について

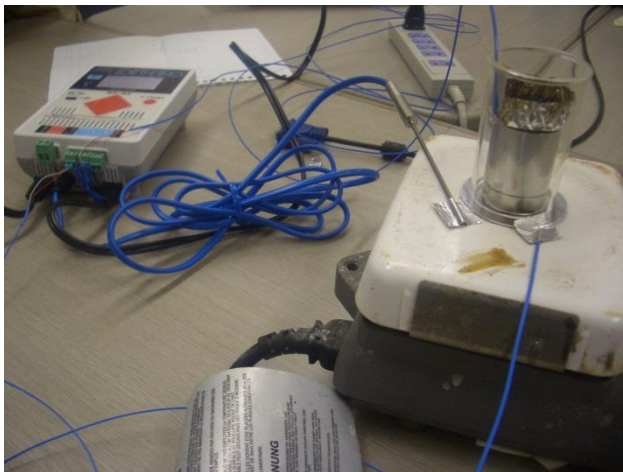


図 18 磁性流体のスパイク数測定の実験配置

このような装置で実験した。右上の筒は、下端をアルミ板で塞ぎ、磁石、アルミ柱、アルミホイルが順に入っている。アルミホイルは皿の形にしてあり、中には磁性流体が入っている。



図 19 上からみた図

上からの写真。アルミ柱の高さは、30mmである。

#アルミ柱を使用した理由

スパイクを確認しやすいように、磁石とシャーレの距離を調節するため。また、その際なるべく熱伝導率が良いものを使う必要があったので。

#上と下に温度計を付けた理由

ヒーターと磁石、両方の温度を計測するため。なお、アルミ板とヒーターの間の温度計を TC1、磁性流体とアルミ柱の間の温度計を TC2 とする。

*結果

温度差の関係

ログサーモで測定した結果のグラフ。

A) アルミホイルのない場合

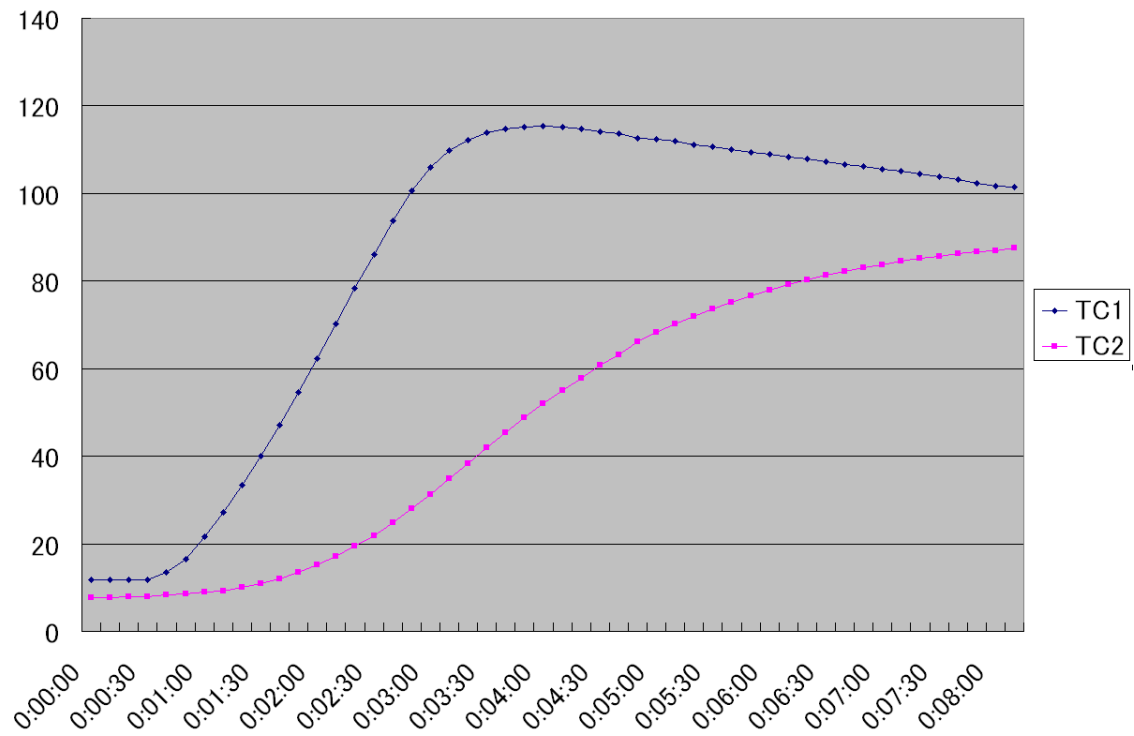


図 20 時間と温度 A

この実験にも動画を用意したので、そちらも参考にしてもらいたい。

B) アルミホイルのある場合

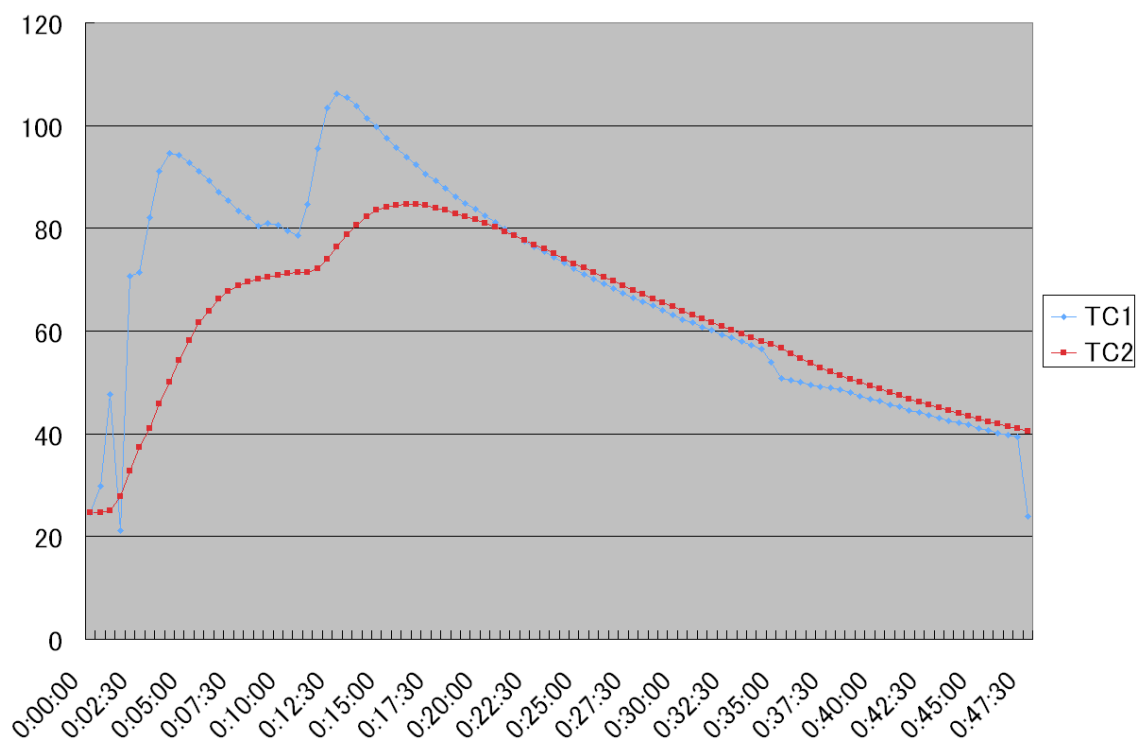


図 21 時間と温度 B

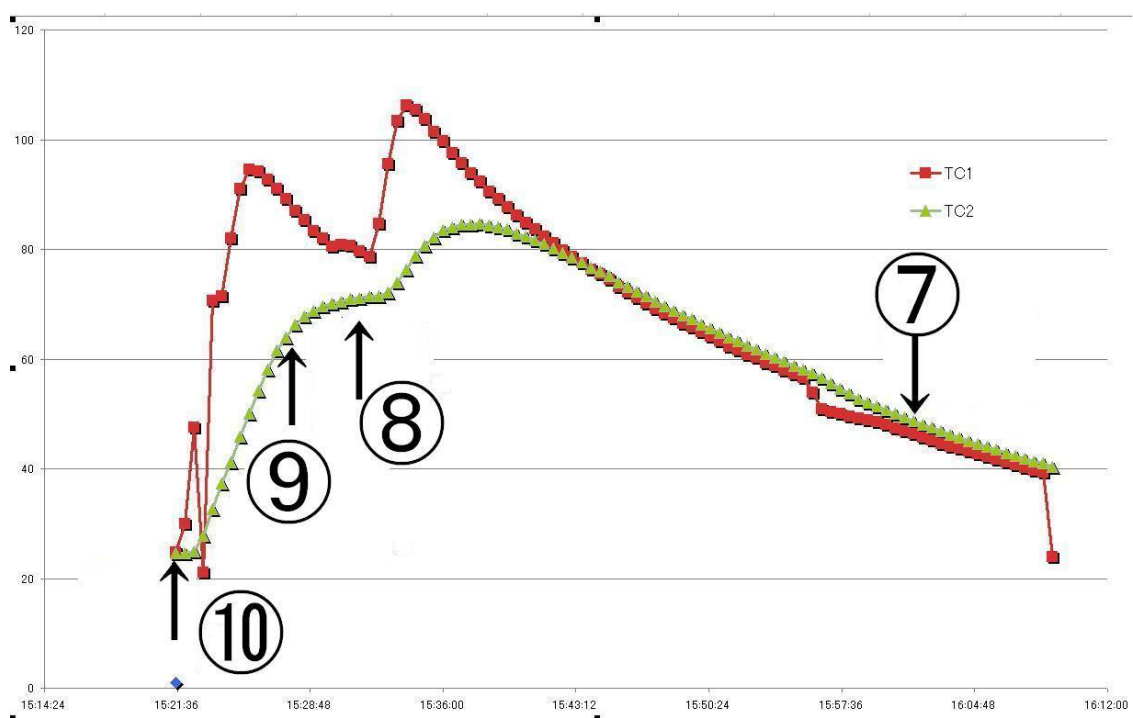


図 22 時間と温度とスパイクの数

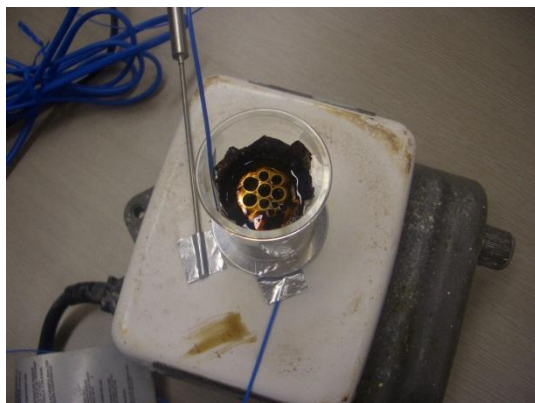


図 23 スパイク 10 個



図 24 スパイク 9 個



図 25 スパイク 8 個



図 26 スパイク 8 個

温度の上昇が急激だったことと、写真撮影にかかった時間を考えると、図 20 のグラフには多少のずれがあると考えられる。実際にはスパイクの数が 9 個に変化したときの温度は 40℃付近であり、同様に 8 個に変わった時間も 60℃付近であると考えられる。また、20℃～60℃の帯域では 20℃おきに 1 個ずつ減ることがわかった。

*アルミホイルの有無による違い

#アルミホイルがない場合

メリット：スパイクの数を確認しやすい。

デメリット：直に磁性流体がアルミ柱と接触するのでより多く乾燥してしまい、その分の磁性流体を補充するので、必要な量が多くなる。また、スパイクの大きさがバラバラになってしまう。

#アルミホイルがある場合

メリット：スパイクの大きさがほぼ均一になる。

デメリット：アルミホイルが下のアルミ柱とうまく密着しない。

5：まとめ

本研究では、磁石の磁力の温度依存性を調べ、その結果をもとにして磁石の反発力を利用した「磁気浮上温度計」と磁性流体を利用した「磁性流体温度計」を試作した。

温度計、若しくは何らかのセンサーとして磁石を活用させようと思った場合、磁石が引き起こす現象の変化を私達が簡単に知覚できるように工夫する必要があるのだが、私達が何の観測装置も持たず、身一つで認識できる現象内での、熱による磁力の変化というものは非常に微々たるものであるということが予備実験の段階でわかった。具体的にいうと、前述した磁石の反発力を利用する案は研究初期からある構想だったのだが、いざ実験を始めると、予備実験の章で報告した内容のとおり、非常に小さな変化であった。また磁性流体の方も、自分達で一から作るのは、少なくとも与えられた時間の中では困難であるという見通しが立ってしまった。そもそも $1,2^{\circ}\text{C}$ の変化は勿論、 $10,20^{\circ}\text{C}$ 程度の温度変化で、磁石の強さがそう極端に変化してしまっは大変なことである。夏と冬どころか、昼夜の温度差程度で性能が大きく変わってしまうような、そんな不安定な物質を、安定かつ精密な動作の求められる工業製品に使われる訳がない（とはいえ、もしも本当に多少の温度変化で磁力ががらりと変わってしまうとすれば、それはそれで別の使い道ができるかもしれないが）。

それでも私達は何とかそれらしいものが作製出来ないものかと試行錯誤をしてみた。それが本実験の内容である。使用する磁石を増やし、働く力も増やしてしまおうという単純な方法や、温度による磁力の微小でしかない変化が容易くわかるように、別の現象に変換し、増幅させるというような方法もとってみたが、結果は芳しいものとはならなかった。磁性流体の方も、市販のものを使って実験を進めてみたが、実際に装置として働くようなギミックとして応用する段階までは至らなかった。単に on と off を判定するくらい簡素な装置を作成する方向に方針転換しようという案も出たが、残念ながら何らかの形を成すことはなかった。

しかし、磁石と熱の関係については多くのデータを得ることができた。これらのデータが今後、何らかの役に立つことを願う。