

ものづくり教室における フェライト粉末とエポキシ樹脂を用いた永久磁石の製作と改善

清水 秀己* 清水 政樹**

*技術教育講座

**清須市立西枇杷島中学校

Production and Improvement of Permanent Magnet by Using Ferrite Powder and Epoxy Resin for Making Things Workshop

Hideki SHIMIZU* and Masaki SHIMIZU**

*Department of Technology Education, Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

**Kiyosu City Nishibiwajima Junior High School, Kiyosusi 452-0063, Japan

1. はじめに

近年、学習指導要領の改訂が行われ、小学校では2020年4月、中学校では2021年4月より全面施行される。その改定の中で重要視されているのが“①資質・能力の育成を目指す「主体的・対話的で深い学び」”，“②カリキュラム・マネジメントの充実”，“③生徒の発達の支援、家庭や地域との連携・協働”である。これらを実践的に行っていく方法の一つとしてもものづくりが挙げられる。ものづくりでは、子どもたちが主体となって活動するのはもちろんだが、ほかの子どもたちとも協力し合いながら作業を進めていく。その中で、ものづくりへの興味・関心、他社への思いやり、そしてなにより「主体的・対話的」な活動によって「深い学び」の習得へとつながる。それとともに、ものづくりという活動を通して、子どもたちは自分の作品ができたときに満足感や充実感を味わい、それが自己肯定感につながっていく。また、小学生の段階からものづくり活動にふれることによって、ものづくりに対する興味・関心をより早い段階から得ることができる。

我が国は科学技術立国であり、資源のない我が国にとって将来においても科学技術立国として活路を見いだすしかない。そのためには、学生を中心とした草の根的活動によって、「ものづくり」を子供たちに根付かせ、「ものづくり」の裾を広げていく必要がある。そこで、2002年度から技術教育講座教員が支援して、技術専攻4年生が中心として活動してきたフレンドシップ事業・大学等地域開放事業「たのしいものづくり教室」を核として、技術科専攻学生全体の参加となるように

取組を拡充することにより、学生の「ものづくり教育」の学習意欲を向上させ、将来の「ものづくり」大好き教員育成強化を図ることを目的として、愛知教育大学「特色ある大学教育支援プログラム (GP)」採択事業(2005年度～2008年度)^{1,2)}、愛知教育大学「科学・ものづくり教育推進に関する拠点づくりの取り組み」事業(2009年度～2012年度)、2013年度からは、「大学間連携による教員養成の高度化支援システムの構築 (HATO プロジェクト) (国立大学改革強化推進事業)」が開始され、この中で、先導的実践プログラムとして、「理科離れ克服の科学・ものづくり教育の推進プロジェクト」としての一活動として「ものづくり教室」を実施している。

ものづくり教室における電気分野のテーマとして、平成2005年度から行っている「自分だけの永久磁石をつくろう」(フェライト粉末をエポキシ樹脂と硬化剤の硬化反応を用いて固め、それを磁化させるフェライト磁石)が「大学版ものづくり教室」、出前版「ものづくり教室」で現在まで実施され続けている³⁾。また、2010年からは愛知製鋼株式会社が創業70周年を記念して地域貢献プログラムにおける「鉄の教室」の中で、“磁石作り”を実施し、現在も続けられている⁴⁾。

フェライト磁石の製作は粉末であるフェライトが固まることに驚きがある上に、着磁することで永久磁石になるということにも驚きがあり、ものづくりの教材としては素晴らしい教材である。前述した通り、フェライト磁石はフェライトの粉末をエポキシ樹脂と硬化剤の硬化反応によって固める。しかし、今まで学生間の口伝でノウハウが伝承され、細かいマニュアルが

存在しておらず、正確な方法や分量などが定まっていなかったため、ものづくり教室本番でも何度か失敗することがあった。そこで、正しい分量や手順、そして準備の段階から何をどのようにすべきなのか検討しようと考えこの研究に着手した。

また、その研究に伴って、完成したフェライト磁石の磁力がエポキシ樹脂の配合割合、加熱時間、加熱温度のそれぞれの観点においてどのような関連性があるのかを示す。そして、最終的に①作業時間、②作業難易度、③磁力の3観点で比較し、どの方法が最もものづくり教室において効率の良い方法であるのかということを検討する。

2. ものづくり教室の実態

2-1 ものづくり教室の現状

現在ものづくり教室は、大学内で行われるものが年2回、学外で行われるものが年3回ほど実施されている。その中で、子どもたちが作業のどの部分でつまずき、また、ものづくりを通してしっかり学ぶことができているかを確認できる指標が今まで存在していなかった。そのため、代々受け継がれるものづくり教室は進化をすることがなく、むしろ手抜き感が増していたように感じていた。そこで、ものづくり教室の中で実態調査をおこなうことで、子どもたちがどこでつまずき、また、どれほど理解が得られているのかということ把握できると考え実施に至った。

2-2 実態調査方法

今回は2017年度の11月11日に学内で行われた「科学ものづくりフェスタ2017@愛教大」において実態調査をおこなった。子どもたちのつまずきを把握するための実態調査の方法は、各作業において作業終了とともに、“できた”か“難しかった”のどちらかに挙手をしてもらう。“難しかった”に挙手をした子どもたちに対しては、どこが難しかったのかを問うことでさらに作業の改善策を探った。また、学年も事前に聞き、学年ごとの作業に対する難易度も確認した。また、調査の都合上、椅子に座った場所で子どもたちをアルファベットで割り振った。今回は一回の定員が6人で、それを計4回おこなった。なお、3回目、4回目においては、定員を超えてしまったが、材料や道具に余裕があったため定員を超過した人数で実施した。

2-3 実態調査結果

作業のつまずきを把握する調査結果は製作手順ごと（製作手順①～⑨）に表1にまとめた。また、作業到達度を全体と学年それぞれにまとめたものが表2である。全体の到達割合を円グラフに表すと図1のようになる（青：できた、橙：難しかった）。

2-4 考察

作業のつまずきを把握する調査では、全体的に⑤材

料全体を混ぜる作業において、約4割もの子どもたちが作業につまずきを感じていることが分かった。実際にフェライトがうまく一つにまとまらない子どもが当日にも何人かいた。その要因として、混ぜ方が適切でないことによって、エポキシ樹脂や硬化剤が全体に行き届いていないことや、エポキシ樹脂を滴下する際に、表1 作業ごとの実態調査結果(○：できた×：難しかったー：不参加)

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
1-A(4年)	○	○	○	○	×	×	○	○	○
1-B(4年)	○	○	○	○	×	○	○	×	○
1-C(4年)	○	○	○	○	×	×	○	○	○
1-D(4年)	○	○	○	○	×	○	○	○	○
1-E	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1-F(4年)	○	○	○	○	×	×	○	○	○
2-A(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2-B(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2-C(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2-D(4年)	○	○	○	○	×	○	○	○	○
2-E(4年)	○	○	○	○	×	○	○	○	○
2-F(4年)	○	○	○	○	×	○	○	○	○
3-A(4年)	○	○	○	○	×	○	○	○	○
3-B(4年)	○	○	○	○	×	○	○	○	○
3-C(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3-D(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3-E(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3-F(4年)	○	○	○	○	×	○	○	○	○
3-G(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3-H(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3-I(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3-J(4年)	○	○	○	○	○	○	○	×	○
4-A(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4-B(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4-C(4年)	○	○	○	○	○	○	○	×	○
4-D(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4-E(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4-F(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4-G(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4-H(4年)	○	○	○	○	○	○	○	×	○
4-I(4年)	○	○	○	○	×	○	○	○	○
4-J(4年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4-K(4年)	○	○	○	○	×	○	○	○	○
4-L(4年)	○	○	○	○	○	×	○	○	○

表2 全体の到達割合と学年ごとの到達度 (%)

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
全体割合(○)	100	100	100	100	61	91	100	91	100
全体割合(×)	0	0	0	0	39	9	0	9	0
到達度(1年)	100	100	100	100	75	100	100	100	100
到達度(2年)	100	100	100	100	25	100	100	100	100
到達度(3年)	100	100	100	100	62	92	100	100	100
到達度(4年)	100	100	100	100	57	71	100	71	100
到達度(5年)	100	100	100	100	75	100	100	75	100
到達度(6年)	100	100	100	100	0	100	100	100	100

十分量落としかれていないことによって、エポキシ樹脂が不足してしまうという問題が発生してしまっていることが考えられる。それを解消するために、混ぜ方についてはグルグル混ぜるのではなく、ダマをつぶすような感覚で混ぜた方が均等に混ぜるということを子どもたちに伝えることで、作業の効率化を図ることが必要である。また、エポキシ樹脂の不足に対する改善策としては、エポキシ樹脂の滴下に関する角度と時間との相関を用いて(3-2)で詳述する。

また、⑥丸棒で薄く延ばす、⑧抜き型を選択し型抜きをする作業においては、どちらも約1割の子どもたちがつまずきを感じている。この二つの作業はどちらも力が必要となる作業である。難しいと感じている子どもたちの大半は女の子であったため、力を入れて作業するのが困難であったと考えられる。これを改善するためには、指導者である私たちが常に子どもたちの言動を見て、困っている素振りをしている子に対して、即時に対応することが大切である。また、⑧抜き型を選択し型抜きをする作業に関しては、手で押し込むとかなりの痛みがあるので、丸棒を使って押し込むと痛

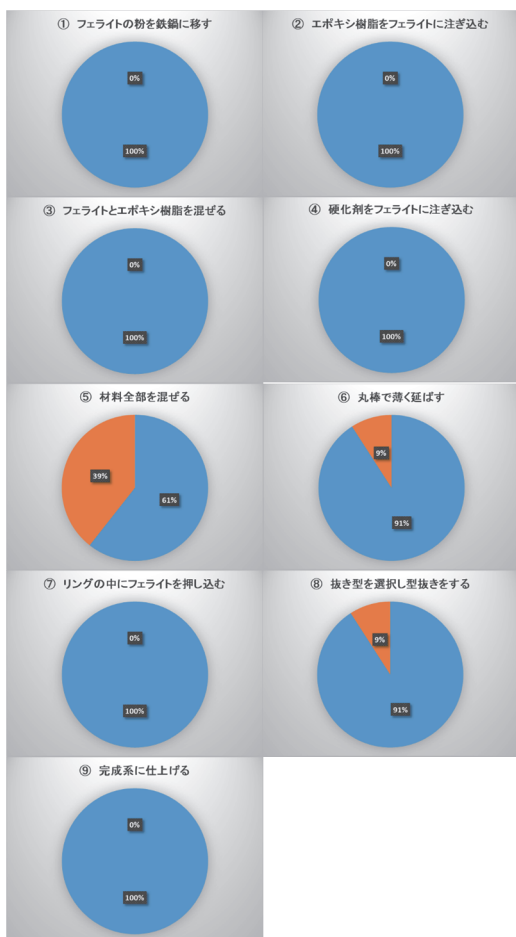


図1 全体の到達割合

みもなく作業をすることができるということを子どもたちに伝えることで、作業の効率化を図ることが必要である。

3. 実験および考察

3-1 エポキシ樹脂の配合割合についての実験

3-1-1 実験に至った経緯

ものづくり教室におけるフェライト磁石を作る過程において特に多い失敗例が、フェライト粉末に対してエポキシ樹脂の量が十分でなく、一つの塊にまとまらないことである。子どもたちに提供するエポキシ樹脂の量が適量用意できていなかったことが考えられる。そこで、フェライト粉末に対するエポキシ樹脂の配合を定かにしようと考えこの実験に至った。

3-1-2 実験方法

フェライト50gに対して、エポキシ樹脂の質量を変えて混合する。そして固まったら質量を測定し、理想値からの差を計算し比較する。このときの理想値とは、フェライトの質量、エポキシ樹脂の質量、硬化剤の質量すべての和のことを示す。そして、この理想値との差のことをロスと呼ぶことにする。その他の基本的な手順はものづくり教室のときと同様に行った。比較方法としては、ロスの質量の大小によって各割合の優位性を確かめる。なお、エポキ

シ樹脂:硬化剤の比は5:1と定まっているのでこの比を用いた。

今回実験で行ったフェライトに対するエポキシ樹脂の割合は表3のとおりである。

表3 各実験に用いたエポキシ樹脂の質量とフェライト50gに対する割合

質量(g)	6.5	6.8	7	7.3	7.85	8	8.5	8.7	9.05
割合(%)	13	13.6	14	14.6	15.72	16	17	17.4	18.1

試料の作成は、厚さ5mmのプラスチック版に図2に示すように直径20mmの穴を数個開け、そこにまだ固まっていない状態のフェライトを押し込み成形する。それを抜き取り、24時間放置して硬化反応が完了するのを待つ。



図2 試料作成において使用するプラスチック版

3-1-3 実験結果

実験結果の表し方を以下のようにし、エポキシ樹脂割合13%の例を表4に示す。

フェライト: (カップの中に入れた質量) - (カップに残った質量) = (実際の質量)

エポキシ樹脂: (ビンに入れた質量) - (ビンに残った質量) = (実際の質量)

硬化剤: (ビンに入れた質量) - (ビンに残った質量) = (実際の質量)

ロス: (理想値) - (硬化後のフェライトの質量) = (ロス)

表4 エポキシ樹脂割合13%のロスの例

フェライト	50.01-0.01=50.00
エポキシ樹脂	7.08-0.58=6.50
硬化剤	1.58-0.28=1.30
ロス	(50.00+6.50+1.30)-54.62=3.28

上記の結果からエポキシ樹脂とロスの関係は図3のようになる。

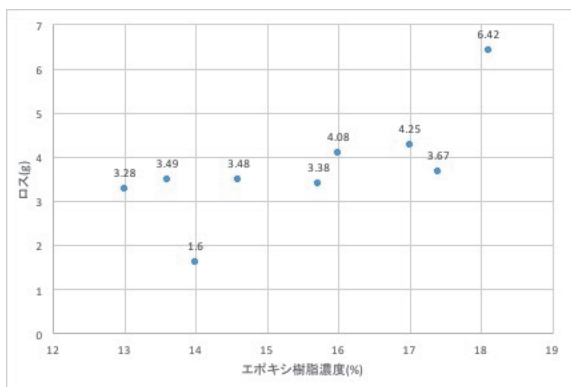


図3 エポキシ樹脂割合とロスとの相関

3-1-4 考察

図3より、14%のときに最もロスが少ないことがわかる。つまり14%での配合が最も無駄なく固められることがわかった。また、14%のとき以外については、18.1%のときを除くとほぼ同程度のロスの量である。18.1%のときにおいてロスが多く出てしまったのは、エポキシ樹脂が多いために粘度が強くなり、鉄鍋や混ぜる際に用いる棒に付着してしまっただと考える。また、13%未満の配合で固めようとしても、ダメになってしまい、一つにまとめることは困難だった。逆に19%以上の配合で固めようとしても、固まることはできるが、粘度が強すぎるためべたべたで、とても成型できる状態ではなかった。この結果から、固まる限度は $13\% \leq X \leq 17\%$ (X:フェライトに対するエポキシ樹脂の割合) と考える。

ここまでまとめると、14%での配合が最も有効であるように感じる。しかし、14%の配合では、エポキシ樹脂が15、16%のときに比べると少ないので、粘度が不足し、とても硬い質感になる。これを子どもたちの力で混ぜようとしたら、身体を大きく使う必要がある。15%、16%の方があまり力を入れずとも比較的容易に固めることができる。つまり、作業の難易度の観点から考えると、15%、16%はロスが14%に比べて大いに差があるわけでもなく、14%より固めやすいので、15%、16%で作業をおこなった方が確実性が増すと考える。

3-2 エポキシ樹脂の滴下に関する角度と時間との関係についての実験

3-2-1 実験に至った経緯

先にも記したように、ものづくり教室の中で多く発生する失敗例として“フェライトが一つの塊にまとまらない”というものがある。原因としてはエポキシ樹脂が十分量ビンから落ちきっていないということが考えられる。前述のエポキシ樹脂の配合割合についての実験(3-1)の中でも、エポキシ樹脂のビンの残量を見比べてみると、ばらつきが生じていることがわかる。ここで、このばらつきが生じている原因を考えると、エポキシ樹脂をビンから落とす際の角度が影響していると考えられる。実際に子どもたちがエポキシ樹脂のビン

を傾けているときの角度は一人一人違っている。エポキシ樹脂を落とすときの時間は2分と制限して行っているため、最終的に落ちるエポキシ樹脂の量は必然的に変わってくる。そこで、エポキシ樹脂の滴下がどれほどの角度で、また、どれほどの時間傾け続けるのが最も適切な方法なのか調べることで、作業の確実性が図れると考えこの実験に至った。

3-2-2 実験方法

- ①図4のようにはかりの上にビーカーを乗せ0.00gに合わせる。
- ②クランプにエポキシ樹脂のビンを固定する。
- ③角度を把握するために、背面に三角定規を設置する。
- ④エポキシ樹脂を図のように背面の三角定規に合わせて傾け、エポキシ樹脂をビーカーに落とす。
- ⑤5秒ごとにはかりの目盛り(落ちたエポキシ樹脂の質量)を記録する。

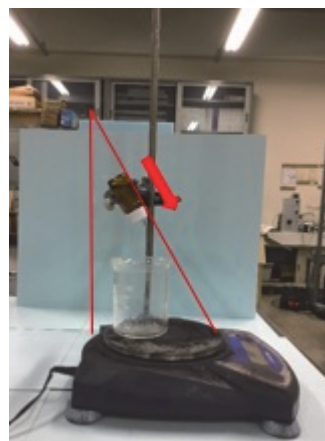


図4 エポキシ樹脂を傾けた際の様子

表5 実験で取り扱うエポキシ樹脂の質量と角度

質量(g)	角度(°)			
7	30	45	60	90
7.5	30	45	60	90
8	30	45	60	90
8.5	30	45	60	90

実験でおこなうエポキシ樹脂の質量と角度を表5に示す。なお角度の定義は、ビンを地面と水平の状態から、最終的な傾きまでの差のことをいう(図4の傾きは60°)。質量をこの数値で設定したのは、フェライト50gに対するエポキシ樹脂の割合が前述のエポキシ樹脂の配合割合についての実験(3-1)において、14~17% (7~8.5g) に優位性が見られたため、この質量を使って実験をおこなうことにした。また角度に関しては、子どもたちにもわかりやすい数値で示すために、かつ、ある程度角度の間隔に差が生じるこの4つを取り上げ、優位性を調べることにした。なお、今回の実

験において、室温は14℃に固定し、室温によるエポキシ樹脂の状態を統一して実験をおこなった。

3-2-3 実験結果

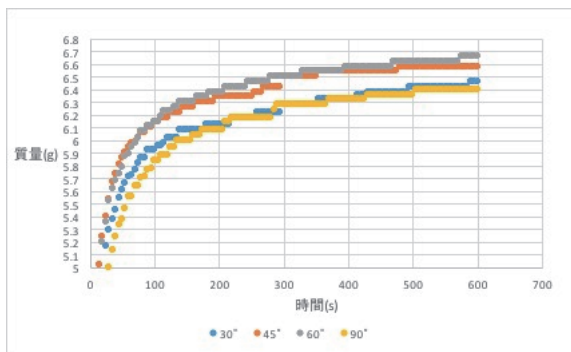


図5 エポキシ樹脂 7.0g における角度ごとの滴下量

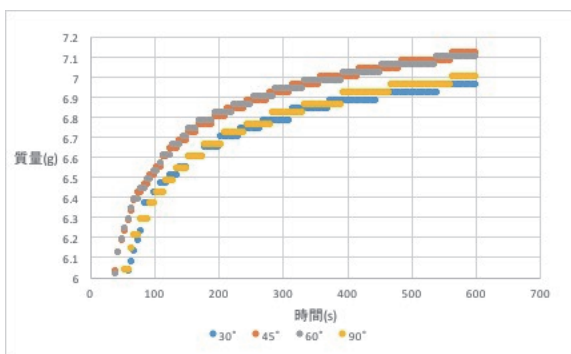


図6 エポキシ樹脂 7.5g における角度ごとの滴下量

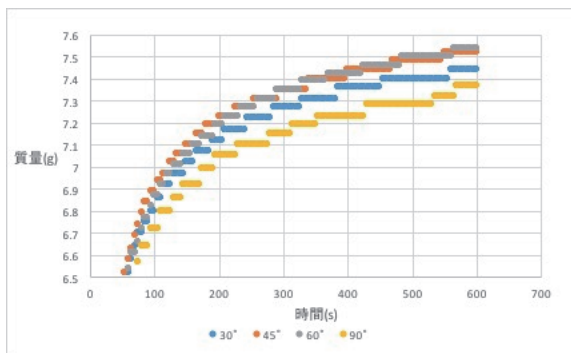


図7 エポキシ樹脂 8.0g における角度ごとの滴下量

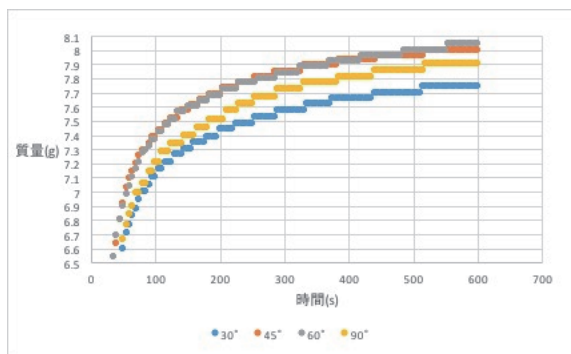


図8 エポキシ樹脂 8.5g における角度ごとの滴下量

図5～8より、45°、60°の実験におけるエポキシ樹脂の落ちる質量は、30°、90°の実験におけるエポキシ樹脂の落ちる質量に比べて、多く落ちていることがわかる。また、どの場合においても120秒を過ぎたあたりから0.2gほど差が生じている。エポキシ樹脂0.2gがフェライト50gに占める割合は0.4%である。エポキシ樹脂の割合が0.4%変わってしまうと完成の質感が変わってしまい、作業の確実性にも影響を及ぼしてしまう。このことから、45°、60°に優位性があることがわかった。

また、エポキシ樹脂8.0gと8.5gにおける実験(図7、図8)で優位性が顕著に現れなかった原因として、エポキシ樹脂がピンの口で詰まってしまったことが考えられる。

次に時間的変化に着目する。作業において最低限必要なエポキシ樹脂の質量は前述のエポキシ樹脂の配合割合についての実験(3-1)においても示したように、7.0g～8.5g(14～17%)である。それを考えると、7.0g、7.5gにおける実験において、その数値まで達するまでには、7.5gのときにおいて約6分、7.0gのときにおいては達していないということが図から読み取れる(角度45°、60°において)。つまり、7.0g、7.5gで子どもたちに提供することは時間がかかってしまうとともに、作業の確実性が確保できない。そこで、8.0gの図7を見ると、約2分で7.0gに達している。8.5gの図8を見ると、約1分で7.0gに達している。時間的な面で見るとこちらの二つの数値で提供した方が早く必要量に達することができるため、子どもたちの作業の負担も軽減する。しかし、前述のエポキシ樹脂の配合割合についての実験(3-1)においても示したように、子どもたちの作業の難易度を考えると、7.5g、8.0gで作業を行った方が適している。8.0gの図7を見ると、約8分間傾け続けてようやく7.5gに達する。しかし、8.5g(図8)においては、約2分間傾け続けることで7.5gに達している。このことより、8.5gでの提供が最も適していると考えられる。そして、作業時間に関しては、子どもたちの負担も考えて、2分間傾け続けるのが最適であると考えられる。

3-3 エポキシ樹脂配合量の違いに伴う磁力分布の変化に関する実験

3-3-1 実験に至った経緯

ここまでフェライトを一つに固めるために適切なエポキシ樹脂の質量を実験において検証してきた。しかし、磁石の優位性をはかるためには十分な磁力を保有しているかを確認する必要がある。そのため、エポキシ樹脂の配合量とフェライト磁石の磁力との間にどのような関係性があるのか調べることで、適切なエポキシ樹脂の配合量を磁力の面から比較しようと考え実験に至った。

3-3-2 実験方法

今回比較するエポキシ樹脂の割合は 13%~17%でおこなった。実験は以下のような手順で行った。

- ①エポキシ樹脂 13%~17%で配合し、24 時間放置して硬化反応を待つ。
- ②硬化後、フェライトの表面を紙やすりで研磨する。
- ③図 9 のように磁力を計測する点を定める。外周の頂点を①~⑧までの数字で示し、その数字の対角までに存在する点を I~V までのローマ数字で定める。
- ④透ける方眼紙に各点を記入する(図 10)。
- ⑤フェライトの外周と方眼紙に記入した円の外周を合わせる(図 10)。
- ⑥プロットした各点に磁気測定器(テスラメータ)の先端を合わせ、磁力を測定する(図 10)。

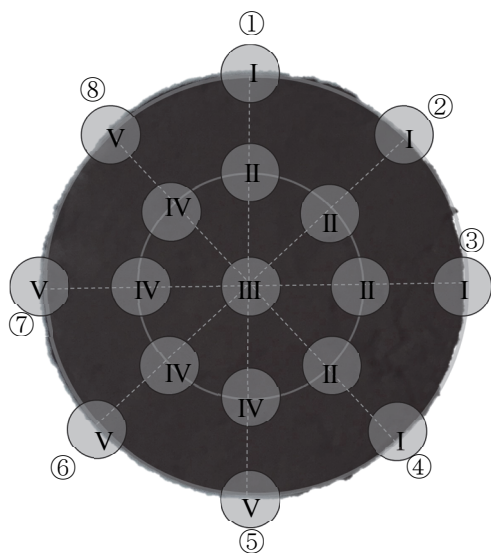


図 9 フェライトの各頂点をプロットした図

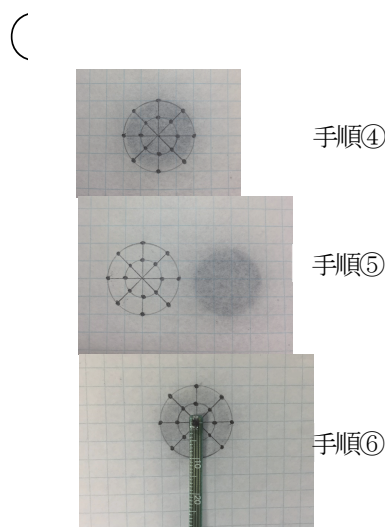


図 10 磁束密度測定手順

3-3-3 実験結果

代表的な磁力分布として樹脂濃度 13%の磁束密度分布の結果を表 6 に示し、そのグラフを図 11 に示す。その他の 14%, 15%, 16%, 17%における磁束密度分布の結果を図 12, 図 13, 図 14, 図 15 にそれぞれ示す。各樹脂濃度における磁束密度分布の平均値をグラフにしたものを図 16 に示す。最後に、各樹脂濃度における磁束密度分布の総平均値をグラフにしたものを図 17 に示す。

表 6 13%における磁束密度分布

	I	II	III	IV	V
①-⑤	33.2	27.7	24.9	27.9	32.2
②-⑥	35	27.9	24.9	28.2	34.2
③-⑦	32.6	25.6	24.9	27.9	32
④-⑧	32.7	29.7	24.9	27.8	30.4

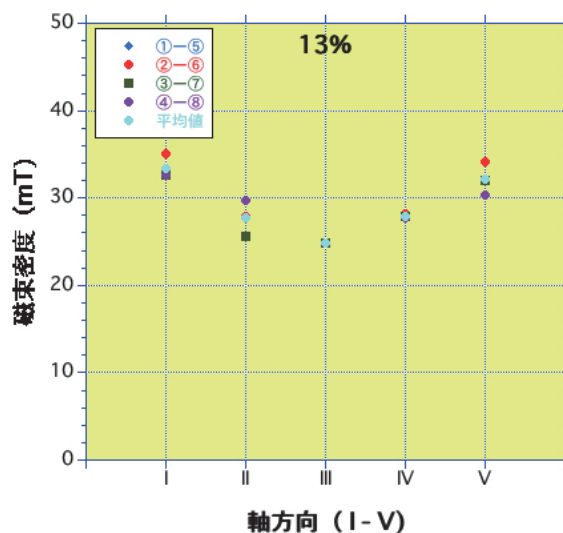


図 11 13%における磁束密度分布

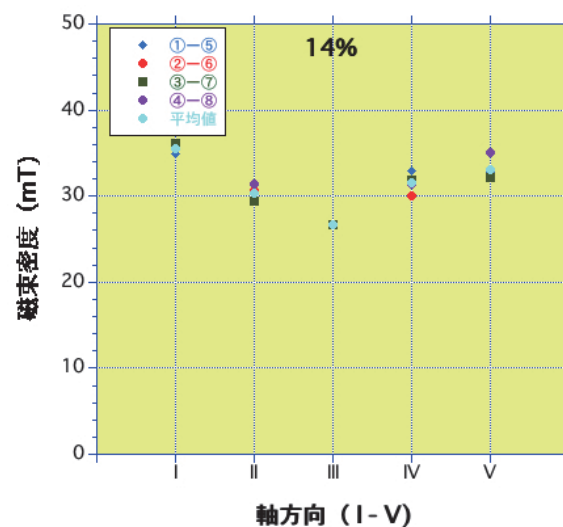


図 12 14%における磁束密度分布

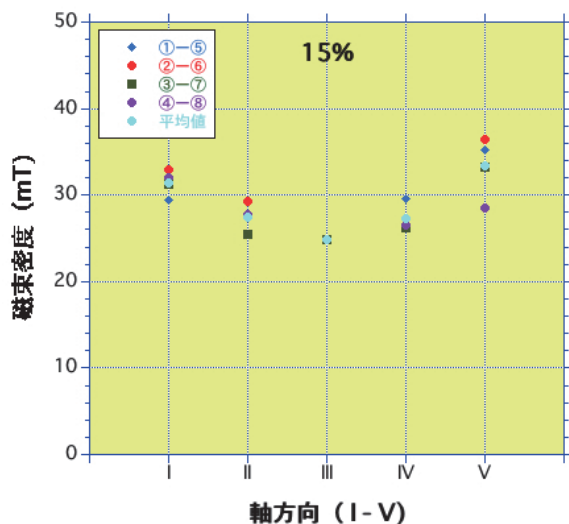


図 13 15%における磁束密度分布

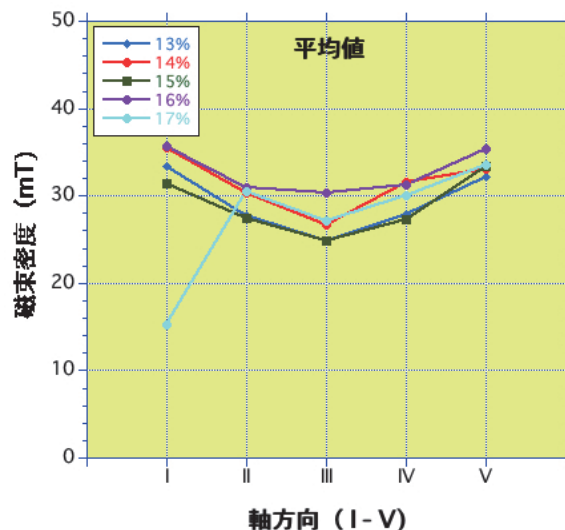


図 16 各樹脂濃度の磁束密度分布の平均値

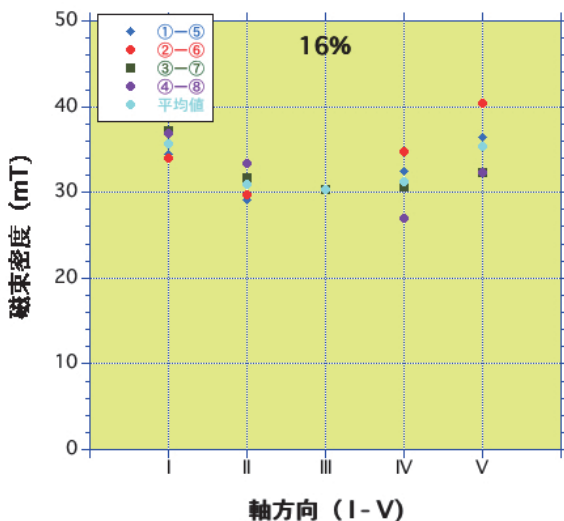


図 14 16%における磁束密度分布

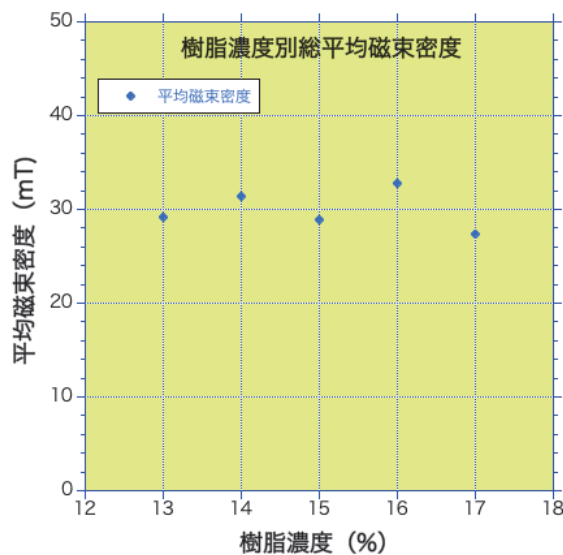


図 17 各樹脂濃度の磁束密度分布の総平均値

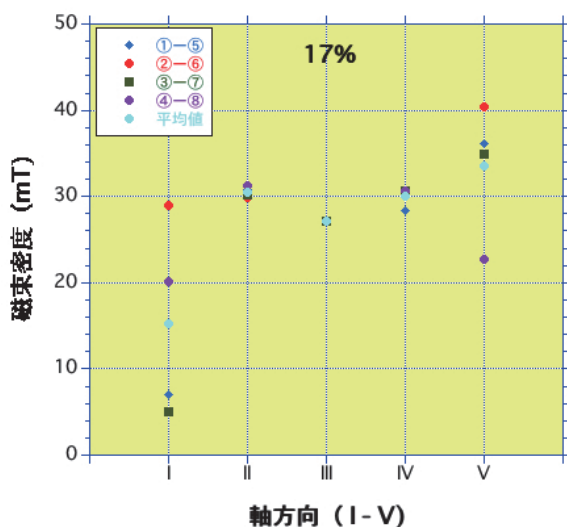


図 15 17%における磁束密度分布

3-3-4 考察

樹脂濃度別の磁束密度分布を見てみると(図11~15), 17%の樹脂濃度の結果を除いて, 総じて磁石のエッジ(端)で磁束密度が高く, 中心部で低くなっている。これは通常の円筒形磁石における磁束密度分布と同様な分布を示している。

樹脂濃度別の磁束密度分布を詳細に見てみると, 13%から樹脂濃度が高くなるにしたがって, 分布のばらつきが大きくなっている。樹脂濃度 17%においては 13~16%の磁束濃度分布とは大きく異なった磁束密度分布を示した。しかしながら磁力を比較するのは全体平均が最も有効であると考えられる。総平均を比較すると, 全体的に 30mT前後でそれほど大きく差が生じているわけではない。このことから, エポキシ樹脂の配合割合は磁力と相関性が薄いということが推測できる。

エポキシ樹脂の配合割合と磁力の相関性が薄いのであれば, 作業の確実性が増す 15, 16%において製作を

おこなった方がものづくり教室においては適しているということが指摘できる。

3-4 熱処理温度による磁力分布の変化に関する実験

3-4-1 実験に至った経緯

前述のエポキシ樹脂配合量の違いに伴う磁力分布の変化に関する実験では(3-3), 24 時間放置して硬化反応を待った。しかし, 実際のものづくり教室では, 熱処理をおこなうことでエポキシ樹脂と硬化剤の硬化反応を促進している。今までのものづくり教室では, 子どもたちがフェライトを最終成型した後, 120℃のホットプレートで約 15 分間加熱していた。しかし, 15 分間加熱すると, ものづくり教室の規定の時間内に終わることができず, 子どもたちを待たせたり, 数分後にまた取りに来てもらうというあまり効率的とは言えない方法で子どもたちに提供していた。そこで, もし, この熱処理が高温でおこなうことで, より短い時間で硬化させることができるのであれば, 時間の短縮になり規定の時間内に終わることができると考え, この実験に至った。

3-4-2 実験方法

今回比較する熱処理の温度は 120℃~240℃までの温度を 20℃間隔で区切った温度で検証する。これはホットプレートの表示が最低 120℃, 最高 240℃で 20℃おきに変更可能であったため, この温度を適用した。また時間的な変化は, 9 分間までを 1 分ごとに区切って各温度で計 9 回実験をおこなった。つまり, 温度が 7 通り, 時間が 9 通りの計 63 通り実験をおこなった。

なお, 今回適用するエポキシ樹脂の割合は 14%で, 硬化させるまでの過程はものづくり教室と同様におこなうものとする。

3-4-3 実験結果

熱処理温度と硬化時間に関する大まかな結果は表7のようになった。

各温度における処理時間に対する磁束密度総平均値の変化を図 18 に示す。なお, 示し方はエポキシ樹脂配合量の違いに伴う磁力分布の変化に関する実験(3-3-3)と同様である。

熱処理温度 160℃と 180℃における処理時間に対する磁束密度のエッジ (edge) 部分の平均値と内部 (core) の平均値の変化を図 19 に示す。

表 7 熱処理温度と硬化時間(○:硬化成功 ×:硬化失敗)

温度(℃) \ 時間(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
120	×	×	×	○	○	○	○	○	○
140	×	×	×	○	○	○	○	○	○
160	×	×	○	○	○	○	○	○	○
180	×	×	○	○	○	○	○	○	○
200	×	○	○	○	○	○	○	○	○
220	×	○	○	○	○	○	○	○	○
240	×	○	○	○	○	○	○	○	○

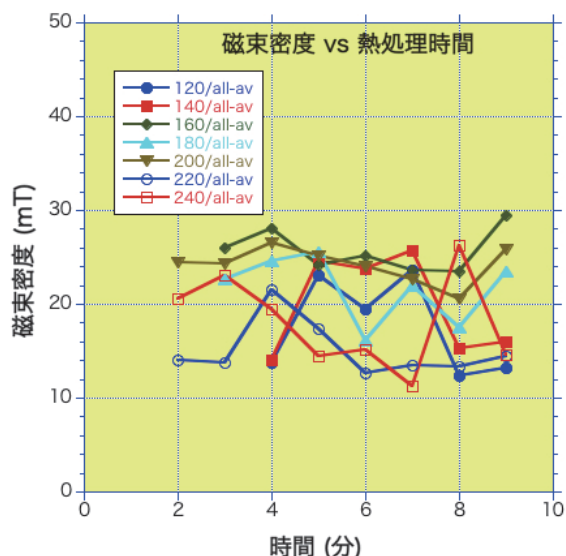


図 18 各熱処理温度における処理時間に対する磁束密度総平均値の変化

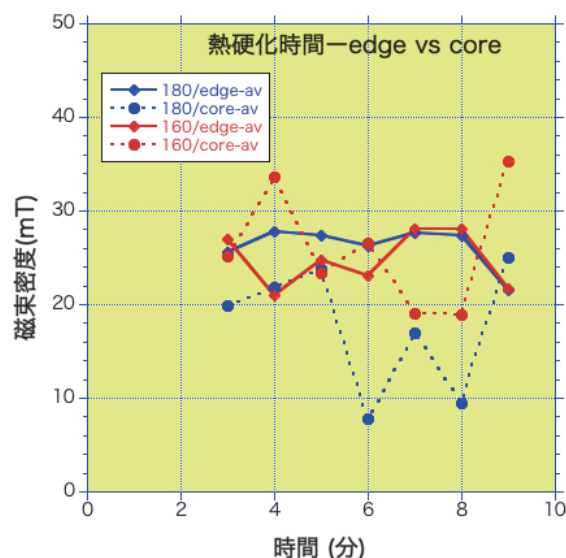


図 19 熱処理温度 160℃と 180℃における処理時間に対する磁束密度のエッジ部分の平均値と内部の平均値の変化

3-4-4 考察

まず, 注目する点は各温度における各時間の全体平均である。エポキシ樹脂配合量の違いに伴う磁力分布の変化に関する実験(3-3) で既述したように, 磁力の差を比較するために最も有効であると考えられるのは全体平均である。それを踏まえると, 160, 180, 200℃においては, 時間的な変化が比較的小さく, ばらつきが少ない(図 18)。つまり, 安定して固めることができていることが考えられる。このことより, 設定温度は 160℃~200℃で設定するのが磁力の面においては有効的であると考えられる。

ここで一つ注意しなければならないことがある。それは加熱後, ホットプレートのふたを開けたときに発生する

蒸気の問題である。200℃における実験以降、ふたを開ける度に、蒸気の発生が目立った。さらに、その蒸気からは若干の刺激臭を感じた。これは、エポキシ樹脂もしくは硬化剤が十分な反応を起こす前に、蒸気と化しフェライト表面へ出てきたものではないかと推測できる。その証拠として、200℃以上の実験において、固まらなかった1分のときのフェライト表面には、液状の物質が付着していることを確認した。エポキシ樹脂にしても硬化剤にしても、化学物質であり、人体への影響が多少なりともある。ものづくり教室には多くの子どもたちが参加するため、健康的な被害を考えると、蒸気が発生しづらい200℃未満における温度設定にする必要がある。

次の比較対象は磁力分布のバランスである。エポキシ樹脂配合量の違いに伴う磁力分布の変化に関する実験(3-3)でも既述したように、今回扱っている磁石の形状では、内部よりもエッジ部分の磁力が大きくなることが理想である。そこで、160℃と180℃の各時間のエッジ平均と内部平均を比較する。160℃においては、エッジ平均よりも内部平均が勝っている時間がいくつか存在している。一方、180℃においては、ほとんどの時間においてエッジ平均が内部平均を上回っているという結果が得られた。つまり、理想的な磁力の分布に近いのは180℃のときであることがわかる(図19)。

ここまでで、設定温度は180℃が適切であるということが分かった。次は、最適な加熱時間を検証する必要がある。これを検証するために180℃における各時間の磁力分布を比較した。すると、6分における磁力の分布が非常に理想に近い形を示していることが分かった。このことから、加熱時間は6分が最適であるということがわかった。

まとめると、加熱温度は180℃で6分間がものづくり教室においては磁力の面でも、時間的な面でも最適であるという結果が得られた。

4 まとめ

実験①において、ロスが最も少なかったのは配合割合14%のときである。しかし、14%のときはフェライトの質感が非常に硬く、小中学生の力では混ぜづらい。それを考慮すると15%、16%において作業を行った方が確実性が増すと考える。実験②においては、エポキシ樹脂を滴下する際の角度はどの質量においても45°、60°に優位性が確認できた。実験③においては、各割合の全体平均磁力にあまり差が生じていないことから、今回扱った配合割合の場合においては磁力との相関は薄いということが確認できた。実験④においては、熱処理の温度は180℃、時間は6分間で加熱すると磁力、時間ともに最も有効的な方法であることが確認できた。

以上の実験結果から得られた考察をふまえてものづくり教室における条件を表8のように確定した。

表8 ものづくり教室ための最適条件

フェライト	50g
エポキシ樹脂提供量	17%(8.5g)
滴下時間	2分間
滴下角度	45°
加熱温度	180℃
加熱時間	6分間

エポキシ樹脂提供量は17%(8.5g)であるが、実際に落ちる量は15%(7.5g)になることを想定している。なお、硬化剤に関しては、エポキシ樹脂に対して20%の量を提供するものとする。

以上の条件でもものづくり教室において作業をおこなうと、より効率的で、かつ、高精度な作品を仕上げることができる可能性が高いことがわかった。

最後に、今回の研究を参考にされ、多くの子どもが磁石づくりを経験してくれることを望む次第である。

謝辞

この「マイマグネットづくり」の着想に至った経緯において、2004年度に静岡大学教育学部教授 畑俊明氏(現名誉教授)に多くの示唆を頂いたことに感謝致します。また、2005年から現在に至るまで愛知教育大学技術専攻の多くの学生諸氏がこの「ものづくり教室」に関わってくれたことに感謝します。

参考文献

- 1) 清水秀己, 他, "平成17年度文部科学省「特色ある大学教育支援プログラム」採択事業 愛知教育大学「ものづくり教室」の実施と成果", 日本産業技術教育学会, 第49回全国大会(高知大学) I4, 2006年8月
- 2) Hideki Shimizu and Hidetoshi Miyakawa, "Implementation and Achievements of "Making Things Education" GP Project Supported by Ministry of Education, Culture, Sport, Science and Technology Japan", Proceedings of ICTE 2009 in Taiwan, pp. 491-500, 2009
- 3) 北村一浩, 他, "平成29年度愛知教育大学「理科離れ克服科学・ものづくり教育の推進プロジェクト」事業—「ものづくり教室」の実施と成果—, 日本産業技術教育学会第61回全国大会(信州大学), 2P26, 2018年8月
- 4) 愛知製鋼レポート2012, pp.32, 2012年9月

(2018年9月25日受理)