

ネオジム磁石の温度変化

— 減磁の家庭内再現とその応用 —

鈴鹿工業高等専門学校

山口 雄 大

1. 序 論

本年度、磁性材料を学ぶ機会があった。さまざまな理論を学習したが、正直なところ、聞いただけで直感的に理解できる理論は多くなかった。

その理由として、私たちが「磁気」という現象を、日常的に磁石など限られた形でしか体感しておらず、身近に存在しながらも実際には遠い分野であることが挙げられる。

そこで本研究では、実際に実験を行い、磁石の性質を自ら再現することを試みた。しかし、キュリー温度のように数百度という極端な温度環境を家庭で再現するのは現実的ではない。そこで、以前「ネオジム磁石は比較的低温でも磁力を失う場合がある」と耳にした。この条件であれば家庭環境でも実験可能であると判断した。

本研究では家庭内環境で再現できる範囲の実験を通して、磁気現象の世界を身近に感じ取るとともに、ネオジム磁石の磁力低下特性と応用可能性を考察することを目的とした。

〈1・1〉 **ネオジム磁石について** ネオジム磁石は1982年に佐川真人氏によって発明された、いわゆる「最強磁石」である。この発明が科学技術の発展に大いに影響を与えた⁽¹⁾。

その優れた特性を有する一方で耐熱性が低いという弱点を有する⁽²⁾。例えば、一般的に冷蔵庫などに貼りつけてりして用いられるフェライト磁石の上限工作耐熱温度（磁力が低下し始める温度）が300℃なのに対し、ネオジム磁石は80℃と極めて低い（Table 1）。

Fig.1より、先行研究によると磁石の温度上昇に伴い磁力が徐々に低下することがわかった。

また、高温で加熱すると室温に戻しても磁力が戻らない不可逆的な減磁が生じる⁽⁴⁾。

Table 1. Comparison of magnetic properties of various magnets⁽²⁾.

項目	単位	ネオジム	耐熱ネオジム	サマコバ	フェライト	アルニコ
残留磁束密度	T	1.26以上	1.23以上	1.03以上	0.385	1.25以上
保持力bHC	KA/m	859以上	923以上	640以上	230以上	47.7以上
保持力fHC	KA/m	955以上	1592以上	1190以上	235以上	47.7以上
最大エネルギー積	KJ/立方m	260以上	287以上	140以上	27.9以上	38.2以上
密度	g/立方cm	7.3~7.5	7.3~7.5	8.3	4.8~5.0	7.3~7.4
上限工作耐熱温度	℃	80	150	200	300	400
キュリー温度	℃	310	340~400	710	450~460	850
ビッカース硬度	HV	500~600	500~600	600	480~580	650

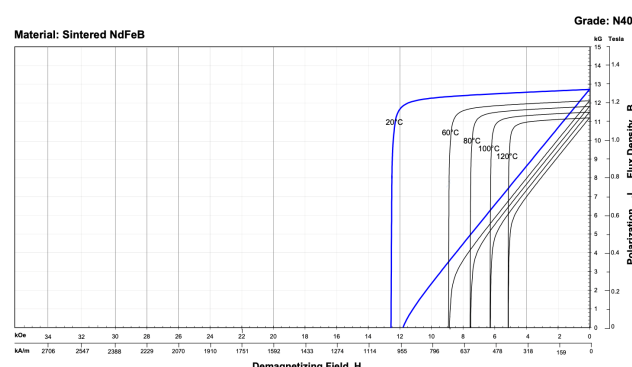


Fig. 1. Demagnetization curve of neodymium magnet⁽³⁾.

本研究ではこれら現象を家庭環境下で実証し、実験結果を考察する。

2. 実験 1：減磁の家庭内再現実験

〈2・1〉 **使用器具** 本実験で使用した器具を Table 2 に示す。

〈2・2〉 **実験方法** 市販のネオジム磁石を湯煎で加熱、冷凍庫で冷却し、その際の磁力変化を調べた。磁力を測定する機器が無かったため、磁石に付着するクリップの数を磁力の指標とした。

加えて、一度加熱・冷却した磁石を室温に戻した際の付着クリップ数も調べ、各条件について2回ずつ行った。

湯煎・冷却後の磁石の温度を測定すべきであるが、計測機器の故障により本実験では湯煎時の水温および冷却時の庫内温度を代用した。

また、クリップが一度磁石に触れると磁化してしまうおそれがあるため、実験後はクリップを金属製缶に入れて振り、簡易的に消磁を行った⁽⁵⁾。

Table 2. Experimental equipment.

機器名	製造会社	型番	製造番号
ネオジム磁石(200mT)	大創産業	S048	3004CF
デジタル温度計	タニタ株式会社	TT-533	不明
金属缶	不明	不明	不明
クリップ	大創産業	D137	3011CE
鍋	不明	不明	不明

〈2・3〉 実験結果 実験結果の平均値を求め、表およびグラフにまとめた。

Table 3, Fig.2 より、70℃付近から付着クリップ数が徐々に低下し、100℃では初期の約 6 割まで減少した。

Table 4, Fig.3 より 70～90℃付近で付着クリップ数に緩やかな低下が見られ、100℃で急激に低下した。

〈2・4〉 考 察 本実験の結果、ネオジム磁石を加熱すると磁力が低下し、さらに高温では常温に戻しても磁力が回復しない不可逆減磁を生じることが確認された。

ただし、本実験で使用した温度は前述したように磁石表面温度ではないため、磁力が低下し始める温度と不可逆反応が発生する温度を特定することはできなかった。しかし、加熱した際の磁石温度は水温より低いと考えられる。そのため、ネオジム磁石は 70℃付近から徐々に磁力が低下し、100℃程度から不可逆的な反応が発生すると推定した。

Table 3. Number of attached clips after heating and cooling.

温度 (℃)	-20℃ (冷凍庫)	27.1℃ (室温)	50℃	60℃	70℃	80℃	90℃	100℃
付着数① (個)	90	99	94	102	71	71	76	56
付着数② (個)	96	102	102	89	85	64	76	65
付着平均 (個)	93	100.5	98	95.5	78	67.5	76	60.5

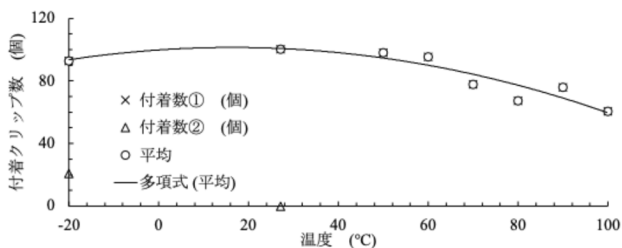


Fig. 2. Figure based on Table 3.

Table 4. Number of attached clips one hour after the experiment.

温度 (℃)	-20℃ (冷凍庫)	27.1℃ (室温)	50℃	60℃	70℃	80℃	90℃	100℃
付着数① (個)	102	99	94	96	96	95	90	51
付着数② (個)	105	102	105	104	97	78	82	62
付着平均 (個)	103.5	100.5	99.5	100	96.5	86.5	86	56.5

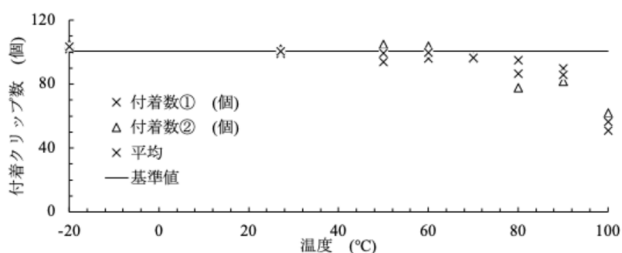


Fig. 3. Figure based on Table 4.

最終的に付着クリップ数は各条件ともに低下したが磁力の測定方法が付着クリップ数に依存していること、クリップの消磁が完全であるか不確かな点より磁力低下はあくまで目安に過ぎないと推察した。

3. 実験 2：ホール素子を用いた減磁再現実験

〈3・1〉 使用器具 本実験で使用した器具を Table 5 に示す。

〈3・2〉 実験方法 実験 1 では磁力の測定に付着クリップ数を用いたため、測定の再現性に限界があった。そこで本実験では、ホール素子を用い出力電圧をテストで測定することで磁束密度を求めた。

実験 1 と同様に市販のネオジム磁石を湯煎で加熱、冷凍庫で冷却し、ホール素子に 6 V の電圧を加え出力される電圧をテストで測定した。測定した電圧を本実験で使用したホール素子のデータシート (Fig.4) より導出した (1) 式との積を求め、磁束密度を求めた。

$$\frac{150 \text{ mT}}{200 \text{ mV}} = \frac{3}{4} T/V \dots\dots\dots (1)$$

加えて、実験 1 と同様に一度加熱や冷却した磁石を室温に戻した際の実験も行った。各条件について 2 回ずつ実験を行った。また、本実験でも同様に湯煎や冷却後の磁石温度を測定するべきだが計測機器の特性上ネオジム磁石のように小さな物体の表面温度を測定することが難しかったため、湯煎時の水温、冷却時の温度を用いた。

〈3・3〉 実験結果 実験結果と (1) 式の積を求めた。また、室温での磁束密度 466 mT との差を算出し変化量とした。各条件の平均値を算出し表とグラフにまとめた。

Table 5. Experimental equipment.

機器名	製造会社	型番	製造番号
N 40 ネオジム磁石 (10×10×10)	二六製作所	NK012	不明
デジタル温度計	タニタ株式会社	TT-533	不明
ホール素子	旭化成	HG-302C	不明
テスト	不明	DT830B	不明
鍋	不明	不明	不明

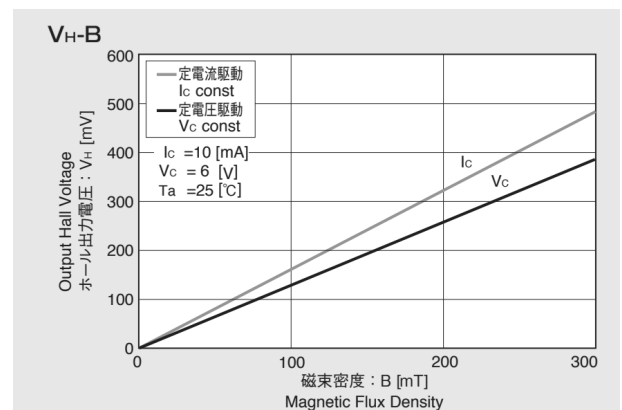


Fig. 4. V_H -B characteristics of the HG-302C hall element⁽⁶⁾.

Table 6, Fig.5 より, 60℃付近から磁力が低下し 90℃付近で急激に低下した。また, -20℃では磁力が一時的に増加した。

Table 7, Fig.6 より, 90℃付近から磁力が低下した。

〈3・4〉 考 察 本実験より, ネオジム磁石の磁力が温度に大きく依存することが改めて確認された。また, 冷却することにより磁力が一時的に向上することが新たに確認された。

本実験で使用した温度は前述したように磁石の温度ではないため, 実験 1 と同様に磁力が低下し始める正確な温度と不可逆的な減磁が発生し始める正確な温度を特定することはできなかった。しかし, 加熱した際の磁石の温度は水温以下であると考えられる。そのため, 本実験においてネ

Table 6. Variation in magnetic flux density after heating and cooling.

温度 (℃)	-20℃ (冷凍庫)	28.6℃ (室温)	50℃	60℃	70℃	80℃	90℃	100℃
変化量① (mT)	15	0	0	-31	-30	-42	-85	-80
変化量② (mT)	21	0	-4	-29	-37	-35	-71	-73
変化量平均 (mT)	18	0	-2	-30	-33.5	-38.5	-78	-76.5

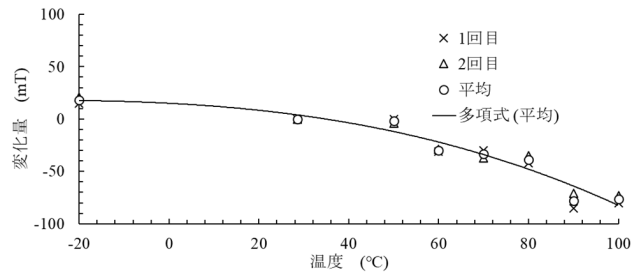


Fig. 5. Figure based on Table 6.

Table 7. Magnetic flux density one hour after the experiment.

温度 (℃)	-20℃ (冷凍庫)	28.6℃ (室温)	50℃	60℃	70℃	80℃	90℃	100℃
変化量① (mT)	2	0	-8	-9	2	7	-14	-20
変化量② (mT)	-3	0	-4	-5	11	4	-8	-20
変化量平均 (mT)	-0.5	0	-6	-7	6.5	5.5	-11	-20

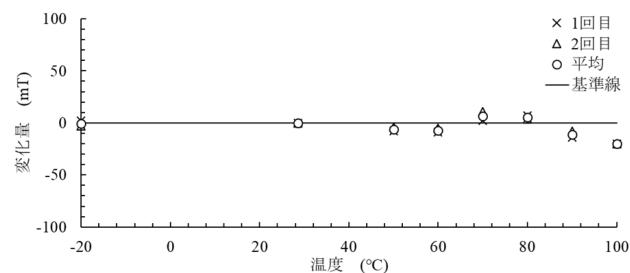


Fig. 6. Figure based on Table 7.

オジム磁石の磁力は-20℃付近で上昇後, 常温時の状態で減少し 50℃付近までその状態を維持し 60℃付近で減少すると推察される。また, 90℃付近で不可逆的な磁力の低下が発生すると推定した。

本実験で確認された磁力の低下は, 温度が変化することにより一時的に磁区に乱れが生じたためであると考えた。また, 不可逆減磁は温度が低下することで保磁力が低下し, 表面付近の反磁界から磁化が失われていくことが原因であると考えた。

Fig.1 より本実験で使用したネオジム磁石の保磁力は以下の通りである。

$$60^{\circ}\text{C} \quad 9.0 \text{ kOe} \approx 716 \text{ kA/m} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$80^{\circ}\text{C} \quad 7.5 \text{ kOe} \approx 597 \text{ kA/m} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$100^{\circ}\text{C} \quad 6.3 \text{ kOe} \approx 501 \text{ kA/m} \quad \dots\dots\dots (4)$$

以下に磁気分極法を用いた磁界分布の解析を行った ((5)式)。

$$B_z + B'_z = \left(-\frac{J_r}{\pi} \right) \left[\tan^{-1} \left[\frac{ab}{(c-z_0) \{a^2 + b^2 + (c-z_0)^2\}^{1/2}} \right] + \tan^{-1} \left[\frac{ab}{(c+z_0) \{a^2 + b^2 + (c+z_0)^2\}^{1/2}} \right] \right] \quad \dots\dots\dots (5)^{(7)}$$

ネオジム磁石の残留磁気分極 J_r を 1.285 T。本実験で使用したネオジム磁石 (10mm×10mm×10mm) より a, b, c それぞれに 0.005 m 代入し z_0 を -0.01~0.01 まで変化させた ((6)式)。

$$B_z + B'_z = \left(-\frac{1.285}{\pi} \right) \left[\tan^{-1} \left[\frac{0.005^2}{(0.005-z_0) \{2 \times 0.005^2 + (0.005-z_0)^2\}^{1/2}} \right] + \tan^{-1} \left[\frac{0.005^2}{(0.005+z_0) \{2 \times 0.005^2 + (0.005+z_0)^2\}^{1/2}} \right] \right] \quad \dots\dots\dots (6)$$

縦軸を kA/m に変換しグラフを作成した (Fig.7)。

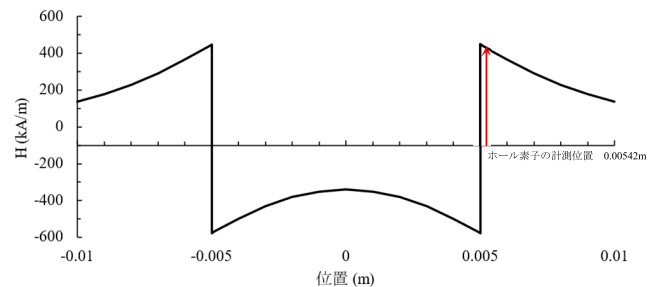


Fig. 7. Magnetic field distribution by magnetic polarization.

Fig.7より磁石の内部表面付近が -569 kA/m となっており100℃時点で保磁力（(4)式）を反磁界が上回っていることから不可逆減磁の妥当性が示された。

$$|-569|\text{ kA/m} > 501\text{ kA/m} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$501 = 68\text{ kA/m} = 0.628\text{ T} \quad \dots\dots\dots (8)$$

加えて、ホール素子の測定位置である0.00542 m地点では411 kA/m (516 mT)とホール素子の測定値466 mTと近いことから、磁気分極法の妥当性が示された。

4. 結 論

ネオジム磁石は加熱により磁力が低下し、さらに高温では不可逆的な減磁が生じる。また、冷却により一時的な磁力上昇が確認された。これらの結果は、磁区の乱れと保磁力の温度変化による低下によるものと考えられる。

5. ネオジム磁石の磁力低下の応用

磁石はエネルギーを消費せず磁力を発生させる「クリーンエネルギー」の一種であると言える。本研究で確認されたようにネオジム磁石は比較的低温で減磁する。この特性を利用し、例えば山火事等を検出できるようなセンサを作成できるのではないかと考えた。今年初めに東北地方で発生したように今後も山火事等が発生する可能性は大いにあり得る。山火事は初期段階での発見が重要でありこのセンサの活躍が期待できる。また、従来のヘリコプターやドローンによる赤外線による探知と比較してより安価に熱源の調査等ができると期待される。

現段階では構想程度の案ではあるが本研究を経て実現に向けた基礎的知見を得ることができた。

6. 今後の展望

本研究では、ネオジム磁石は高温時に減磁し、さらに高温条件下では不可逆減磁が乗じることを確認した。製造過程で他元素を添加することで耐熱性を向上させた耐熱ネオジム磁石も存在するが、一般的なネオジム磁石と比較して磁力が低下することで知られている⁽²⁾。したがって、本研究で明らかになったネオジム磁石の不可逆減磁の原因である「磁石表面付近の強い反磁界が保磁力を上回ってしまう現象」を閉磁路等を用いることで抑制することができるのではないかと考え、今後の展望としたい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、終始ご指導を賜りました鈴鹿工業高等専門学校電気電子工学科の西村一寛教授に深く感謝申し上げます。

文 献

- (1) 発明協会：イノベーション100選 ネオジム磁石（引用日2025年10月16日）https://koueki.jiii.or.jp/innovation100/innovation_detail.php?eid=00072
- (2) マグファイン：永久磁石規格品、マグファイン（引用日2025年8月15日）https://www.magfine.co.jp/jpn/c_magnet/comparison.html
- (3) HORIZON MAGNETIC TECHNOLOGIE（引用日2025年10月15日）<https://www.horizonmagnets.com/uploads/N40.pdf>
- (4) ネオマグ：磁石の温度変化のお話（その1）（引用日2025年8月15日）<https://www.neomag.jp/mailmagazines/topics/letter200612.html>
- (5) CONNECTABLUE：消磁とは？工具の着磁を除去する原理と方法を徹底解説（引用日2025年8月16日）<https://open-insight.net/blog/industrial-machinery/demagnetization-mgmt/>
- (6) 旭化成：製品情報 HG302C（引用日2025年8月27日）<https://www.akm.com/content/dam/documents/products/magnetic-sensor/hall-element/ga-as-low-drift/hg302c/hg302c-ja-datasheet.pdf>
- (7) 川西健次，他：磁気工学ハンドブック，pp.704-705，朝倉書店（1998）