

学生実験用電子天秤を用いた磁石のみかけの残留磁化測定装置の改良作製

吉川 英見

東京工業大学 技術部 共通教育支援センター

1. はじめに

発表者は本学材料系3学科の学部2年生の学生実験に携わっている。実験の1つに「磁石を作製して評価する」という内容の実験がある。この実験で作製した磁石の評価として磁力(残留磁化)を測定している。自作磁石の残留磁化はあらかじめ残留磁化のわかっている磁石との反発力を電子天秤で測定することによりを求めている。今回電子天秤の更新に伴い、改善点を盛り込み測定ジグを作製したので報告する。学生実験分野の方だけではなく、物理系分野、加工・製作分野など様々な方々からコメントがいただければ幸いである。

2. 実験の概要

「磁石を作製して評価する」という内容で8日間行っている。8日間のうち前半4日間は基礎実験と称したテキスト通りの実験を行い、後半の4日間は創造実験と称した創造性育成教育を行っている。創造実験では基礎実験に関連した内容で学生がグループごとに主体的に実験を計画し、実施している。実験で一度に相手にする人数は約30名である。

作製する磁石は日常よく目にする黒色の硬いフェライト磁石である。メモをボードに貼り付けたりするのに使用する磁石である。同じく貼り付けなどに使用する磁石で軟らかいものもあるが、これはフェライト磁石の粉末をゴムなどに練り込んだものである。フェライト磁石の用途は他にモータやスピーカ、磁気記録など多岐にわたっている。比較的磁力が強く安価であるため広く用いられている。フェライト磁石は酸化鉄と酸化バリウムや酸化ストロンチウムが化合した物質でできている。学生実験では酸化鉄と酸化バリウムからなるバリウムフェライト($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$)を作製している。フェライト磁石は本学に加藤与五郎先生と武井武先生によって見出された物質であり、本学学生にとっては身近にあるばかりでなく、ゆかりのある材料でもある。

実験操作について簡単に説明する。まず市販の試薬からバリウムフェライトを合成する。塩化鉄と塩化バリウムの水溶液に水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムの水溶液を合わせることで、鉄とバリウムが均一に混合した沈殿を生成させる(共沈法)。その沈殿を熱処理(仮焼: 925°C 2時間)することで酸化されてバリウムフェライトができる。次に合成したバリウムフェライトを用いて磁石を作製する。まず錠剤型に加圧成形し、熱処理(焼結: 1100°C 2時間)を施して粉末を結合させ、最後に磁場を掛けることによって着磁され磁石となる。直径約9mm、厚さ約4mmの磁石ができる。そして作製した磁石の評価として、磁力に当たる見かけの残留磁化を求める。

3. 見かけの残留磁化測定装置の作製

磁石の評価としては強度や耐熱性など一般的な材料の評価項目以外に磁気特性がある。磁気特性もいろいろな項目があるが一般的に磁石の性能は磁力(残留磁束密度 B_r)、磁力の安定性(保持力 H_c 、最大エネルギー積 BH_{\max})で表される。これらは磁場 H の大きさを変化させながら磁束密度 B を測定することで求めることができる。学生実験では磁力(残留磁化 I)を測定している。ここで磁束密度 B と磁化 I の違いは磁場の大きさが足されているかどうかであり($B = \mu_0 H + I \cdot \mu_0$ は真空の透磁率)、磁場 H が0の点での値である残留磁束密度 B_r と残留磁化 I_r は等しくなる。

学生実験では2つの磁石の反発を利用して残留磁化 I_r を測定している。図1a)のように電子天秤にジグを設置し、天秤の0点をとる。次に自作磁石を載せて試料自体の質量を測定する。最後に磁力のわかっている磁石(基準磁石)を自作磁石と反発する向きにセットして天秤の値を読む。測定した2度の天秤の値の差=反発力を式(1)の M に代入して計算すると見かけの残留磁化 I_d を求めることができる。ここで“見かけの”と付いているのは基準磁石による磁場が存在し、0

ではないためである。

$$I_d = C \cdot M \cdot L^4 / V \quad (1)$$

I_d : 見かけの残留磁化 [Wb·m⁻²]

C: 定数 [Wb·kg⁻¹·m³]

M: 基準磁石を載せた時と載せない時の天秤の読みの差 [kg]

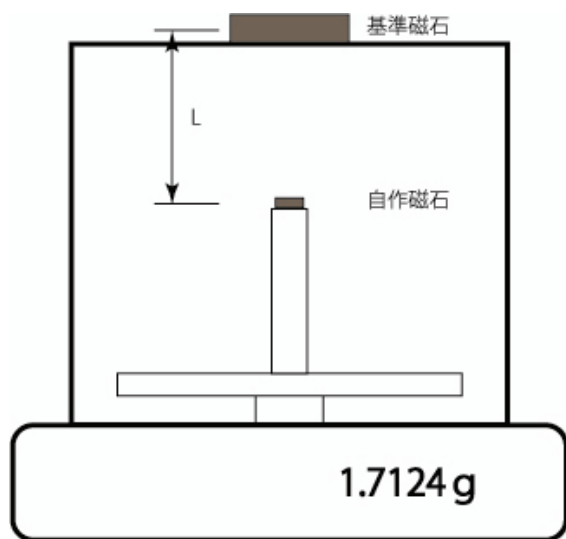
L: 両磁石の中心間距離 [m]

V: 自作磁石の体積 [m³]

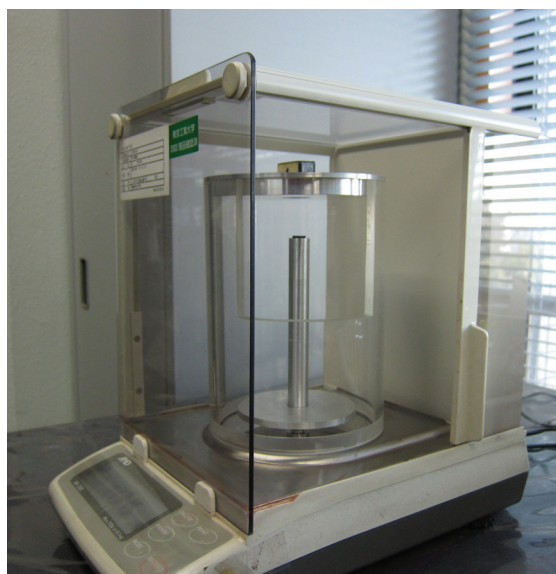
今回見かけの残留磁化測定に用いている天秤が1台老朽化のため使用不能となった。新しい天秤を購入したが、機種が異なるため、これまで使用していたジグは適合しなかった。そこで新しく作製することとなった。またこの期に以前より気になっていた点も改良することにした。

改良したい点は磁石の位置を高くしたいことと、磁石同士の距離を離したいことである。前者は磁石の位置が低いと磁石の磁場で天秤に影響でしてしまうためである。(本来磁場を近づけた使用はいけないのであるが。) 後者について説明する。(1)式はクーロンの法則から導いているが煩雑なため近似を用いている。その近似は自作磁石と基準磁石間の距離 L がそれぞれの磁石の厚さ h, h_{ref} よりもとても大きいというものである(詳しくは $L^2 \gg (h/2)^2, (h_{ref}/2)^2$)。よってできるだけ基準磁石と試料磁石を離したい。一方磁石間の距離 L を大きく取りすぎると反発力が弱まるため天秤での2度の測定の変化が小さくなり、有効数字が少なくなってしまう。今回有効数字を落とさない範囲でなるべく L が長くなるように設計した。

ジグの材質は磁場に余り影響を与えない(透磁率が空気に近い)と思われるアクリル樹脂とアルミニウム合金を使用した。



a) 模式図



b) 今回作製したジグを電子天秤に設置

図1 見かけの残留磁化測定装置

4. おわりに

まずは測定できる状態にまで至ったので一安心である。作製を急いだため自作磁石と基準磁石の距離 L の設定について、まだ検討が足りていないと思っているので再検討する予定である。今回の設計では周りをアクリルで囲ってしまったので試料を落としてしまったときに拾うのがたいへんと感じている。今後しっかりとしたデータを取得できるのはもちろんのこと使いやすさも考えていきたい。

参考文献：谷腰欣司，磁石とその使い方，日刊工業新聞社（フェライト磁石の用途で参考にした）