

# 小学校理科教育における磁石の特性の背景

— 磁石の基礎にまつわる教材開発を目指して —

市村 真 優 奈良教育大学大学院在学  
梶原 篤 奈良教育大学理科教育講座 (化学)

## Scientific Background of Magnets in Grade School Education: Development of Teaching Materials on Magnets

ICHIMURA Mayu

(Graduate School of Education, Nara University of Education)

KAJIWARA Atsushi

(Department of Materials Science, Nara University of Education)

### Abstract

New teaching materials of magnet in grade school education have been tried to develop. William Gilbert (1544-1603) published "De *Magnete*" in 1600. Supplementary examinations of various magnetizations were conducted according to the book. The magnetization processes were also investigated by electron spin resonance (ESR) spectroscopy. Spectroscopic change according to the strength of magnetization was observed. On the bases of these results, some new teaching materials of magnet and magnetization in grade school education were proposed.

キーワード：高磁石, 教材開発, 小学校理科,  
電子スピン共鳴

Key Words: Magnet, Development of Teaching  
Materials, Science Studied in Primary  
School, Electron Spin Resonance (ESR)

### 1. はじめに

#### 1.1. 現行教科書での磁石に関する記述

磁石は現代社会でいたるところに使われていて、磁石のない生活は考えられないほどである。いたるところに使われている大型、小型のモーター、発電機、マイク、スピーカーなどの音声機器、コンピューター関連機器、など身の回りを見回しただけで多くの例を目にすることができる。人類が磁石を利用してきた歴史は古いが、この磁石の本質についてはまだまだ不明なことも多い。一方で強力な磁石の開発は不断につづけられていて、ネオジム磁石の開発などここ20-30年の発展の歴史は目覚ましい。それゆえ、小学校、中学校、高等学校を通じて磁石とその性質について学び、大学でも学ぶ。このように学校教育の範囲で見渡しても磁石に関する話題は非常に幅広く、本稿だけで語りつくせるものでは到底ない。本稿では、小学校の理科で学ぶ磁石に関する内容に焦点を

当て、磁石のことをより深く理解できることを目指した教材開発と、教科書の記述内容の元となった歴史的な研究の経緯をたどり、小学校で教える教員が知っておくとより興味深い授業ができると期待されるような自然科学の裏付けを得ることを目指した。

磁石について学校教育で初めて学習するのは小学校3年生の理科である。そこでは、磁石に引き付けられるものとそうでないものの区別・磁石の極が持つ性質・砂鉄による磁力線の可視化・鉄くぎを磁石でこすることによって起こる磁化等について扱っている(図1)<sup>1)</sup>。また、小学校5年生の理科では、永久磁石と対比させながら電磁石の性質・生活での活用例について扱っている<sup>2)</sup>。磁石はおもちゃに使われていたり、家庭の冷蔵庫につけてあったりするため、子どもたちにとって非常に身近に感じられるものだと考える。そのため、初めて磁石について学習する際に「磁石は特定のもの(鉄)を引き付けることができる」という概念ができていくことが多く、



図1 小学校3年理科の教科書の磁石の項の例  
(大日本図書「たのしい理科3年」から)<sup>1)</sup>

「なぜ磁石が鉄を引き付けるのか」ということについての疑問を持つ機会が少ないように感じる。このような考えから、磁石についての基礎をより深く理解すべく、歴史的に人類が気付いてきた経緯をたどるとともに、磁化が起こる様子を電子スピン共鳴法を用いて探求した。また、教科書に用いられている砂鉄と棒磁石によって磁力線を可視化した図について、より深い理解をするための改善案の作成にも試みた。

本稿は、奈良教育大学大学院、理科教育専攻の講義「物理化学演習」で取り上げた内容を再構成したものである。この講義では、受講生は自分の研究内容に関連する物理化学的な内容について自ら調べて報告するという形式で行っている。この時の受講生(市村)は修士課程の研究として電子スピン共鳴分光( Electron Spin Resonance, ESR)を使った研究を行っていた。ESRは電磁石中において試料にマイクロ波を照射することにより測定を行う。このことに関連して、磁石の性質に関する歴史的な研究を調べるとともに、小学校の理科で学び始める磁石の内容との関連についての教材の開発も視野に入れた研究を行った。

## 1.2. William Gilbertの「磁石論」について

磁石の誕生、発見については諸説あり、今から5,000年以上前にギリシャのマグネシア地方で鉄製の靴や杖に磁鉄鉱が付いたことにより発見されたという説(「マグネット」の由来となった)や、中国の慈州で発見されたという説(「慈石・磁石」の由来となった)等、様々である。その後、磁石は古いや羅針盤として使われたが、なぜ磁気を帯びているのか、鉄を引き付けるのか、方角との関連があるのかといった原因は分かっていなかった。

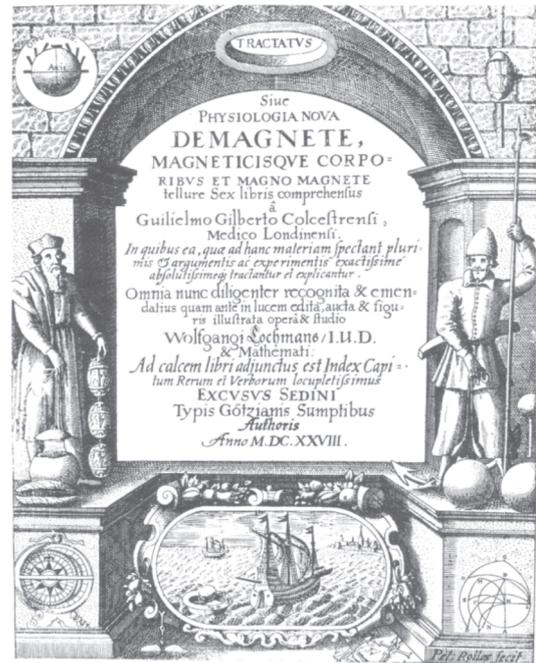


図2 De Magnete第2版の表紙

それらを研究したのがイギリスのWilliam Gilbert (1544-1603) という医師である。Gilbertは物理学者、自然哲学者としての顔も持ち、電気と磁石についての研究をおこなった。球状の磁鉄鉱と小磁石を用いて地磁気を発見したり、地磁気によって鉄を磁化する方法を生み出したりした。電気 (electricity) という言葉を作ったのも彼であるとされている。生涯を研究に打ち込み、その研究をDe Magnete (磁石論) にまとめ、1600年に出版した(図2)<sup>3-5)</sup>。この研究が近代科学における磁石研究のはじまりであると考えられる。De Magneteはもともとラテン語で書かれたが、英訳され<sup>3)</sup>、さらに日本語訳も出版されている<sup>4,5)</sup>。それぞれの本を取り寄せ、参照しながら実験を行った。

## 2. 鉄が磁化される様子の観察

縫い針や伸ばしたクリップなど、もともと磁石でないものを永久磁石で一方方向にこすっていると磁石としての性質を示すようになる。この、小学校の教科書も載っている現象は上述のGilbertの本でも取り上げられている。Gilbertの「磁石論」の記述に沿って鉄くぎが磁化される現象を追体験することからこの研究を始めた。

### 2.1. William Gilbertが発見した方法に基づいた鉄くぎの磁化

De Magnetelには、鋼を磁化する方法として次の3つが記載されている<sup>3)</sup>。

① 天然磁石の2つの異なった極に鋼の針の両端をそ

れぞれ接触させる

- ② 熱した鉄の棒を南北方向に置いて冷やす
- ③ 鉄球の南北方向に赤く熱した鉄の棒を置いてハンマーでたたく

これらの方法に基づいて、実際に市販の鉄くぎを磁化させた。いずれも磁化させた鉄くぎに砂鉄をまぶして、それが鉄くぎに引き付けられた質量によって、磁化のされやすさを考察した。

## 2.2. William Gilbertが発見した方法に基づいて鉄くぎを磁化した結果

*De Magnete*の記述に基づいて以下の方法で鉄くぎを磁化すると、図3のように極となった部分に砂鉄が付いた。

- ① 天然磁石の2つの異なった極に鋼の針の両端をそれぞれ接触させる

鉄くぎの両端にネオジム磁石の異なる極を付けて1日静置した。

- ② 熱した鉄の棒を南北方向に置いて冷やす

酸素バーナーで鉄くぎが赤くなるまで加熱して、両端を地磁気の南北方向に向けて1日静置した。

- ③ 鉄球の南北方向に赤く熱した鉄の棒を置いてハンマーでたたく

酸素バーナーで鉄くぎが赤くなるまで加熱して、金槌で100回叩き両端を地磁気の南北方向に向けて1日静置した。

それぞれの方法で鉄くぎ(約3g)を磁化してそこに付着した砂鉄の質量を測定した結果を表1に示した。①と②の方法で鉄くぎは明らかに磁化され、砂鉄を引きつけた。②の方法で磁化したものが最も多くの砂鉄を引きつけた。Gilbertの「磁石論」によると③の方法が最も強く磁化されるはずであったが、今回の実験では砂鉄はほとんどつかなかった。加熱する温度、たたき方など条件を変える余地は多いので、今後の課題としたい。

表1 磁化した鉄くぎ2.99gに付いた砂鉄の質量

磁化の方法	①	②	③
砂鉄の質量(mg)	32.2	83.2	ほぼ0

表1-①の加熱せずに磁化したものと表1-②の加熱したあとに磁化したものは、*De Magnete*に示されている通り砂鉄を引きつけた。表1-②の方法では一度加熱することで、鉄くぎ内部のスピン運動量が大きくなったところにネオジム磁石を近づけたため、急激にスピンの向きがそろってより良く磁化されているのではないかと考える。一方で、表1-③加熱後叩いたものはほとんど砂鉄を引き付けなかった。叩くことによる磁化に対

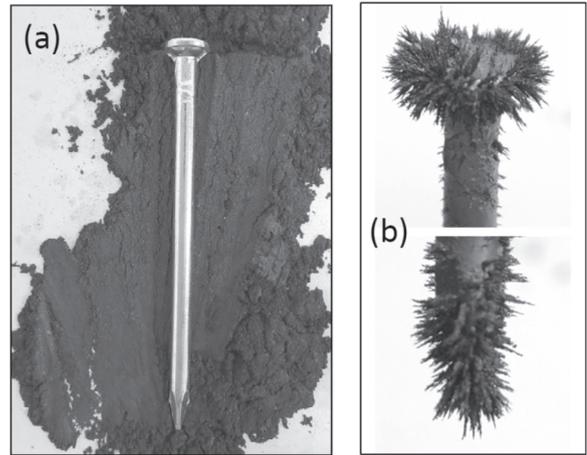


図3 磁化していない鉄釘(a)は砂鉄を引き付けませんが、加熱、磁化した鉄釘(b)は砂鉄を引き付けた

する影響は観察されなかった。日本刀のように熱うちに均等に叩いて磁化すると良かったのかもしれない。Gilbertの本の挿絵には、鉄をたたいて磁化する図として、大きな男性が鍛冶屋で使うような大きなかな床に大きなハンマーで打ち付けているような図が載っている(図4参照)。本研究ではそれほど大きな力でたたいたわけではないので、たたき力の大小による違いがあるのかもしれない。

この実験では鉄くぎを磁化する際の加熱の有無によって大きな変化が出たため、学校現場でもそのまま磁化する場合とガスバーナーで加熱してから行う場合とを比較して見せると面白く、また、加熱による鉄くぎ内部の変化にも着目するきっかけが作られると考える。

## 2.3. 学校現場でWilliam Gilbertが考えた方法を用いた鉄製品の磁化を可視化する試み

Gilbertの「磁石論」に基づく、鉄くぎの磁化の実験は小学校の理科の教科書にも取り上げられている。実験



図4 *De Magnete*「磁石論」の挿絵 加熱した鉄をたたいて磁化しているところ Project Gutenberg<sup>6)</sup>より引用

の再現性や定量性を高め、教材として使えないか検討した。その結果、教材として使える可能性を見出したので以下に記す。上記で試した「磁石論」の①から③の三つの方法のうち、②の方法が最も強く磁化されたので、この②の方法を用いて、磁化の強さの定量化を試みた。

## ② 熱した鉄の棒を南北方向に置いて冷やす

酸素バーナーで鉄くぎが赤くなるまで加熱して、両端を地磁気の南北方向に向けて1日静置した。

学校現場で鉄製品の加熱、磁化をおこない、磁化された様子確かめる方法を考えた。De Magnete「磁石論」の「熱した鉄の棒を南北方向に置いて冷やす」方法を用いて鉄製品を磁化させた。いずれも針金状の形状で、長さは2-3cm位のものを作った。その鉄製品を直径3.5cmほどの円盤状に切った発泡スチロールに置き、周りを画用紙で囲んで風が当たらないようにしたトレイに水を張ったものに浮かべた。このとき、磁化した鉄製品のN極を地磁気の西方向に向けて置いた。静かに手を離すと、鉄製品が方位磁針のようにN極が北方向を向き、それに要する時間を測定することでどの程度磁化されているか比較することができる考えた。結果を表2に示す。

鉄製品には鉄とクロムの合金であるステンレス、軟鉄、鋼鉄（市販のクリップ）を用いた。鉄製品の質量は発泡スチロールを回転させるために十分な力が必要であると考へ、少し重くなるように2-3cmの棒状に切りだした。それぞれ、ステンレス：65.1mg、軟鉄：69.1mg、鋼鉄：67.0 mgであった。加熱はアルコールランプ、ガスバーナー（ブンゼンバーナー）、酸素バーナーを用いて、いずれの場合も90秒間とした。加熱温度はアルコールランプ、ガスバーナー（ブンゼンバーナー）、酸素バーナーの順に高くなると考えられる。磁化は地磁気の南北方向に20時間静置させることによっておこなった（図5）。



図5 加熱後のステンレス、軟鉄、鋼鉄を地磁気の南北方向に静置して磁化している様子（それぞれ左からアルコールランプ、ガスバーナー、酸素バーナーの順で並べている）

表2 各種の鉄の細い棒の加熱方法の違いによる北をさすまでの回転時間

	アルコールランプ	ガスバーナー	酸素バーナー
ステンレス	回転せず	回転せず	回転せず
軟鉄	175秒	77秒	104秒
鋼鉄（クリップ）	179秒	138秒	98秒

ステンレスはどの方法で加熱したものでも北をささなかった。一方、軟鉄線と鋼鉄線（クリップ）を載せた発泡スチロールの円盤は水面でゆっくりと回転して北を指した。アルコールランプによる加熱よりもガスバーナー、酸素バーナーによる加熱のほうがより強く磁化されていることを示した。何度繰り返してもアルコールランプよりはガスバーナーや酸素バーナーによる加熱のほうが強い磁化を示したが、ガスバーナーと酸素バーナーとの違いには明確な再現性がなかった。今回の実験では炎の温度を厳密に測定したわけではないので、ガスバーナーと酸素バーナーとの差については今後の課題としたい。

## 2.4. 小学校理科の教科書に記載されている磁力線をより理解しやすくする方法の提案

磁石が直接接触することなくほかの磁石や鉄などをひきつける現象は重力などの遠隔力と同様、不思議な力と考えられてきた。磁石が目に見えない力によって反発したり引きあったりするのは目に見えない磁力線に沿って力が働くためであるが、磁石と砂鉄を使って、目に見えない磁力線を可視化する試みは長年続けられてきて、小学校の教科書にも載っている。この磁力線は3次元空間に広がっているのであるが、現行の教科書では2次元の図として示されていることが多い。これを3次元に拡張して、空間への広がりが理解できるような教材を考えた。

現行の教科書に用いられている磁力線は図6のように平面上での広がりを見せるものが多い。しかし、本来の磁力線は空間上にN極からS極へと広がっている。子どもたちが初めて見る磁力線が平面上のみのものであると、それが固定概念となる可能性が少なからずあると

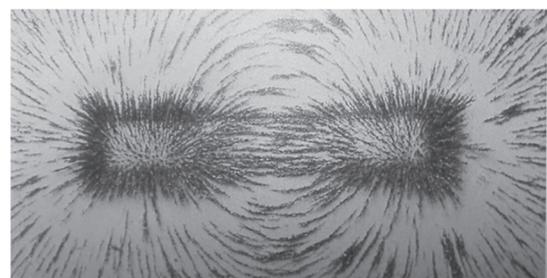


図6 一般的な教科書に示される磁力線（『たのしい理科3年』大日本図書）

考える。William Gilbertが発見した地磁気も地球の周り360度を囲むように磁気が生じているが、そのようなモデル図を見たときに混乱を招きかねない。

そこで、空間上でも磁力線を可視化でき、安価で学校現場でも取り入れやすい磁力線の見せ方を提案しようと考えた。使用したのは、ネオジム磁石12個程度（100円ショップで500円以内で購入できる）と砂鉄、厚紙、食品包装用ラップ（以下ラップと表示する）、セロハンテープ、紙コップ、タコ糸、瞬間接着剤である。手順を以下に示す。

【紙面上で観察する場合】（図7-9）

- ① ネオジム磁石を12個並べて棒状に付ける。
- ② ①をラップでくるむ（図7）。
- ③ 厚紙に棒状のネオジム磁石の長さと同じ長さの切込みを入れる。
- ④ 厚紙の切込みにラップの端を通し、セロハンテープを使って厚紙の裏に出てきたラップを固定する。
- ⑤ 平らな机の上にネオジム磁石側を上に向けて砂鉄を振りかける。そこに小さな穴をあけた紙コップに砂鉄を入れて振りかけると、よりきれいな磁力線を描くことができる（図8, 9）。

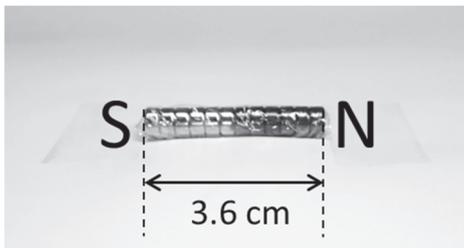


図7 ネオジム無磁石を12個くっつけてつくった棒磁石ラップに包んで厚紙に貼り付けている

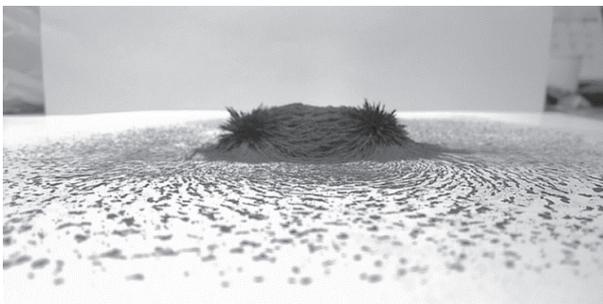


図8 鉄粉をネオジム棒磁石にふりかけて磁力線を可視化したもの（斜め上から見た様子）

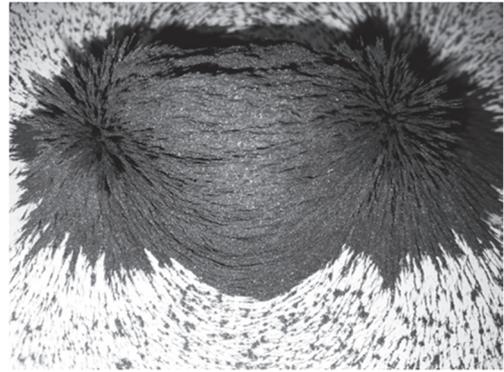


図9 鉄粉をネオジム棒磁石にふりかけて磁力線を可視化したもの（真上から見た様子）

【360度から観察する場合】（図10）

- ① ネオジム磁石1個のN極の中心に瞬間接着剤を1滴垂らし、10cm程度に切ったタコ糸の先端をつけて乾燥させる。
- ② タコ糸を持って、砂鉄が入っている瓶にネオジム磁石をつけてゆっくり引き上げる。



図10 鉄粉をネオジム磁石にふりかけて磁力線を360度から観察できるように可視化したもの（正面から見た様子）

### 3. 電子スピン共鳴分光法 (ESR) を用いた研究

#### 3.1. 電子スピン共鳴分光法 (ESR) を用いた磁化の観察

Gilbertの時代から、あるいはもっと以前から、磁石を人工的に作る方法が開発されてきて、上述の通り、小学校の理科の教科書でも取り上げられている。縫い針や軟鉄の針金が磁化される際に内部でどのような変化が起こっているのかを、電子スピンの挙動をもとに理解しようとして、電子スピン共鳴分光 (Electron Spin Resonance: ESR) 法を用いることを考えた。ESR法は不対電子を持つ常磁性の物質の検出やその物質の電子状態の研究に用いられる<sup>7-9)</sup>。電子はスピンに基づく磁性を持っている。電子スピンは磁場のないところでは決

まった方向を向いていないが、強い磁場中に置くとスピンの向きがそろう。その際の対電子のふるまいや磁性を観察することができる。図11に示したようにESRの原理は試料にマイクロ波を照射しながら磁場を掃引して測定する。電子スピンのエネルギーは磁場中でスピンの向きによって分裂する（ゼーマン分裂）。磁場を少しずつ変えていって、照射しているマイクロ波のエネルギーとエネルギー準位の分列幅が等しくなったときに共鳴吸収が起こり、スペクトルとして観測できるというものである。

磁化されているということは、その物体内部の電子スピンの向きがそろっているということである。磁化する前と後とで磁性体に含まれる電子スピンの状態は変化しているはずなので、それをESRで観測しようとした。図13,14,16はそれぞれ横軸が磁場を表しており、シグナルが出ているところが、共鳴吸収が起こった磁場である。また、縦軸はシグナル強度を表しており、電子スピンの向きがそろっているほど強度が増す。今回は様々な条件下で測定したときに観察できるシグナル強度を比較した。

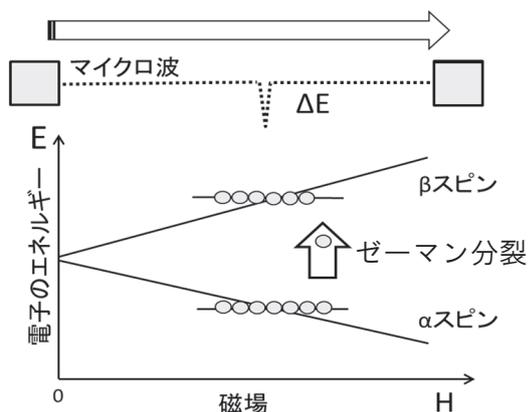


図11 ESR測定中に起こるゼーマン分裂とマイクロ波吸収のモデル

### 3.2. ESRを用いた軟鉄の加熱・磁化前後の観察

William Gilbertの*De Magnete*「磁石論」に記載されている鋼を磁化させる方法を参考にして、様々な軟鉄に対して加熱と磁化をおこない、ESRで前後の様子を観察した。加熱にはアルコールランプ、ガスバーナー、酸素バーナーを用い、磁化させる際は軟鉄の両端をネオジウム磁石の異なる極で挟むようにした。軟鉄の質量は5.1 (±0.1) mgになるように切りそろえた。加熱時間はいずれの加熱器具の場合も90秒間、磁化させる時間は10分、90時間とした。加熱、磁化の様子を図12に示す。

### 3.3. 本実験で磁化した鉄の性質について

鉄は磁化されると強磁性を示すが、鉄の製造中に炭素含有量が少なくなるように加熱後にゆっくり冷やすこと

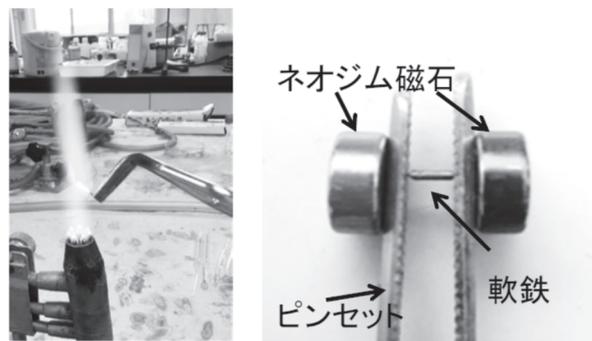


図12 軟鉄を加熱しているところ(左)とネオジウム磁石で挟んで磁化しているところ(右)

で製造される鉄（軟鉄）は磁場中では磁化されるが、磁場から出すと消磁される性質を持っている。本実験で強磁性体になりやすい鉄を用いると、ESR法で強い磁場中に置くことで永久磁石になってしまい、測定結果に差が生じないことが起こると予想された。そこで、軟鉄芯を用いたコイルを磁場中で着磁・消磁させることでわずかな差が観察できるのではないかと考えた。

### 3.3.1. ESRを用いた軟鉄の加熱・磁化前後の観察の結果

*De Magnete*「磁石論」に記載されている鉄を磁化する方法を参考にして軟鉄を磁化した。まず、加熱だけでもESRのスペクトルに変化が見られた（図13）。

これは、加熱による熱エネルギーによって軟鉄内部のエネルギー順位が高い方へ変化したためであると考えられる。使用した加熱器具の温度は一般的にアルコールランプが600–1000℃、ガスバーナーが1500–1800℃、酸素バーナーがおよそ2000℃と言われている。一般的に磁化の様子は図12と比較するようにした。

ネオジウム磁石で磁化させるとESRスペクトルに変化が見られた。最も変化が大きかったのは、酸素バーナーで

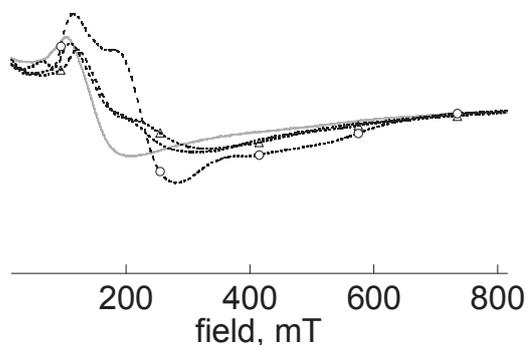


図13 軟鉄の加熱のみによるスペクトルの変化（軟鉄のみ（灰色実線）アルコールランプ（破線）、ガスバーナー（破線△マーカー）、酸素バーナー（破線○マーカー））

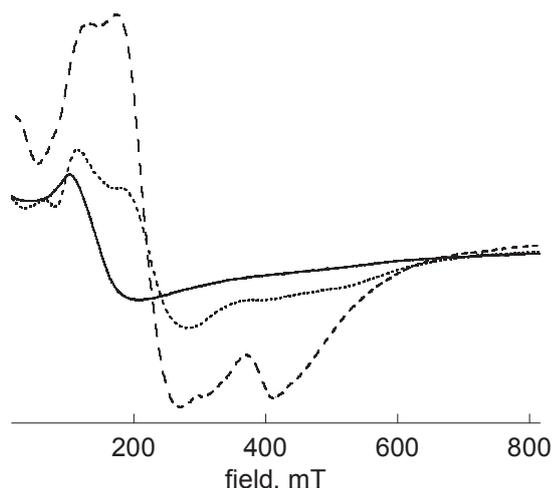


図14 加熱と磁化によるスペクトルの変化（酸素バーナーで加熱したもの）加熱前の軟鉄のみ（実線），酸素バーナーで加熱（45秒）のみ（点線），酸素バーナーで45秒加熱後，ネオジム磁石に挟んで10分静置（破線）

加熱した後にネオジム磁石で磁化させた場合である。その結果を図14に示す。加熱のみの結果と加熱も磁化もおこなったものの結果を比較すると、後者の方のスペクトル強度が増した。これは、磁化によって軟鉄内部のスピンのそろったことで外部磁場の方向を向いたスピンの相対的に多くなったためと考えられる。アルコールランプ、ガスバーナーで加熱した後に磁化させたものも同様に磁化させるとスペクトル強度が増した。

### 3.3.2. ESRを用いた軟鉄芯コイルの測定

先述したように、クリップやホッチキスの芯等の鋼鉄は強い磁場中に置かれると永久磁石のように変化する。ESRは非常に強い電磁石を用いた測定であるため、ここでも測定前後で明らかな変化を確認できるように、軟鉄芯を用いて作ったコイルをサンプルとして測定した。

コイルは市販のなまし軟鉄線を8mm(16.8mg)に切ったものを直径0.9mmのエナメル線150cmを用いて巻いて作った。作成したものをすべてを30回巻きとした。コイルは割りばしにテープで固定し、外径10mm、内径8mmのESR試験管に入れた。なお、エナメル線、割りばし、テープはESRでスペクトルを示さないことを確認した。スペクトルとして検知できるのは、軟鉄芯由来のものである。電池は1.5Vで新品のアルカリ電池を用いた。簡易スイッチも作り、測定中にコイルに流す電流のON/OFFの切り替えを自在にできるようにした。実際に測定したコイルを図15に示す。

測定に用いたESRは日本電子製のJES-TE200 ESR SPECTROMETERである。測定条件はマイクロ波

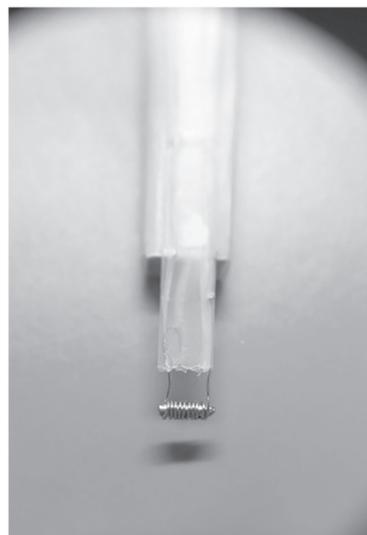


図15 測定に用いたコイル

のパワー：1mW，磁場範囲：±400 mT，中心磁場：415mT磁場の掃引時：4分，磁場変調幅：1mT(100kHz)，タイムコンスタント：0.03秒とした。一般的に有機ラジカルは磁場範囲：±7.5mT，中磁場：330mT程度の範囲内で検出されるが、金属は今回のように広い磁場範囲で測定することが必要である。また、強磁性体は強い磁場中に置くと、強磁性共鳴が起こり0mT付近でスペクトルが検出されると考えたため、15mTから415mTの範囲で測定した。コイルはESRの電磁石の極と水平方向を向くようにセットした。

### 3.4. ESRを用いた軟鉄芯コイルの測定の結果

コイルはESRの電磁石の極に対して平行になるようにセットした。ESRの電磁石は正面から見て右側がS極、左側がN極になっており、それらの極と引き付けあう向き、反発しあう向きの2通りの測定をおこなった。

測定した結果を図16に示す。50mT付近のスペクトルを見ると、通電せず鉄が磁化されていない場合とコイルの極がESRの電磁石の極と引き付けあう向きに着磁した場合を比較すると、着磁後におよそ10mT高磁場側にずれていた。これに対してコイルの極がESRの電磁石の極と反発しあう向きに着磁した場合は、通電なしの場合と比較しておよそ10mT低磁場側にずれていた。この違いは、ESRの電磁石に対してコイルが反発するか否かによって生じており、コイルが反発すると、その力の分スペクトルが検出されるのが高磁場側になり、引き付けあうと、低磁場側になっていると考える。強磁性体のスペクトルは解釈が難しく、現段階で正確な解釈をできているか分からない点もあるが、同じサンプルで条件を変え測定して変化が見られたため、コイルが磁化した瞬間は捉えられていると考えている。

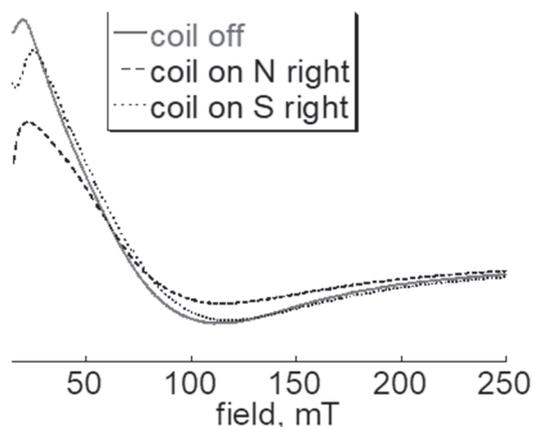


図16 コイルのESRによる測定結果

#### 4. おわりに

William Gilbertの*De Magnete*「磁石論」を参考に、小学校理科の磁石の単元で実際に授業で使えるような教材の開発を目指して、磁化の過程を実験で確かめた。これは、小学校学習指導要領理科編<sup>10)</sup>の第3章第1節の「第3学年の目標及び内容 A物質・エネルギー(4)磁石の性質」にとって有用な教材であると考え。特に、項目(ア)の「磁石に近づけると磁石になるものがあること」を教えるために、従来のように鉄くぎを磁石で一方方向にこすって磁化することに加えて、2.1.で示したように加熱することによって熱とエネルギーの関係を結びつけることができるのではないかと考える。このようにして内部の様子をイメージしつつ外部磁場の影響を考えると、磁化された理由に興味を持ってくれるのではないだろうかと期待する。また、同じく(ア)「磁石が物を引き付ける力は、磁石と物の距離によって変わることを教えるために2.4.で示したような三次元の磁力線を使うことで、二次元ではなく本来あるべき磁力線から磁力が及ぼす範囲や向きを観察することができる。今回はネオジム磁石を用いたが、フェライト磁石の三次元の磁力線と比較することで磁力が及ぼす距離も観察できるだろうと考える。これらの活動は、子どもたちが差異点や共通点を様々な観察から見つけ、それをもとに新たな課題を見出す機会を多くとれる教材だと思う。

ESRの測定によって、磁化過程における電子スピンの状態を調べたりした。小学校の理科の授業でESRを教えるわけではないが、教員はこのような科学による裏付けがあることを知っておくことは意味があることと考えている。私は電子スピンというミクロの世界から磁石を観察したことによって、当たり前だと感じていた鉄くぎの外部磁場による磁化が起こることと、その時の電子スピンとの関連を実際に観察できたため、磁石への見方がより深くなった。電子は全ての物質に含まれており、その物質の特性を決める役割を持つものであるため、少し踏み込んで、内部の様子をイメージできると子どもたちへの授業により深みのある話をするができるのではないかと考える。

#### 謝辞

磁性体のESRスペクトルの解釈については電子スピン共鳴(ESR)がご専門の山内淳京都大学名誉教授にいろいろと相談にのっていただきました。電磁石として小さなコイルを用いて測定する実験は日本電子株式会社の岡野和史氏にご助言いただきました。記して感謝いたします。

#### 参考文献と註

- 1) 『たのしい理科3年』(大日本図書)平成26年検定済教科書, pp.122-133
- 2) 『たのしい理科5年』(大日本図書)平成26年検定済教科書, pp.112-129
- 3) William Gilbert, "On the Magnet", translated by S. P. Thompson, Basic Books, New York, N. Y., 1958.
- 4) W.ギルバート『磁石(および電気)論』板倉聖宣 訳・解説 仮説社 2005年
- 5) ギルバートWilliam Gilbert 磁石論 三田博雄訳 科学の名著7 朝日出版社 1981年
- 6) Project Gutenbergより引用  
<<http://www.gutenberg.org/>>(最終閲覧日:2019年5月6日)
- 7) 山内淳 磁気共鳴-ESR 電子スピンの分光学 サイエンス社 2006年
- 8) 仲島浩紀, 梶原 篤 身近な食品に含まれる常磁性種の観測—高大連携「化学実験」体験講座の教育的意義と成果—奈良教育大学紀要 2019年 印刷中
- 9) A.Kajiwara, Characterizations of Radicals Formed in Radical Polymerizations and Transfer Reactions by Electron Spin Resonance Spectroscopy, *Pure & Appl. Chem.*, 2018, 90 (8) 1237-1254
- 10) 文部科学省 小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編 平成29年7月