



司南(古代中国の羅針盤の原型)

方位盤の上にひしゃくの形に加工した磁石を載せると、柄の先端が南を指すので、^{しなん}司南と呼ばれました。司南は中国語で指南とも書き、指針やよりどころ、ガイド(導くこと)を意味します。日本語でも指南は指導するという意味で使われています。

暮らしを豊かにする 磁気之力

● 監修 九州工業大学大学院 工学研究院 教授 竹澤 昌晃氏

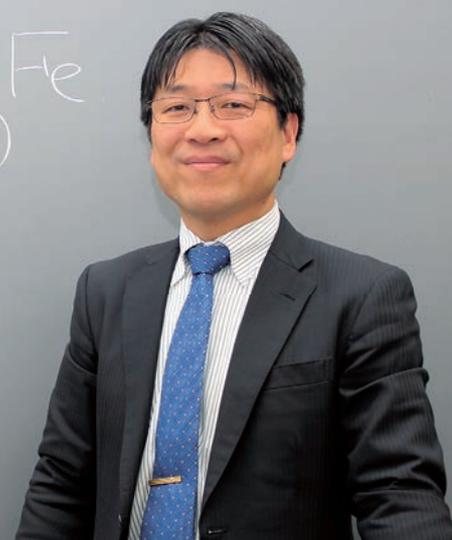
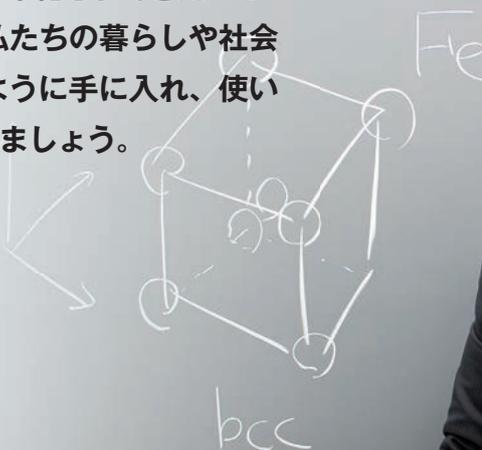
家電製品や電子機器がどんどん軽量化され、省エネ化されてきたのは、実は鉄が持つ磁気的特性のおかげなのです。私たちの暮らしや社会を快適で豊かにする磁気之力を、人類はどのように手に入れ、使いこなしてきたのでしょうか。その歩みを見てみましょう。



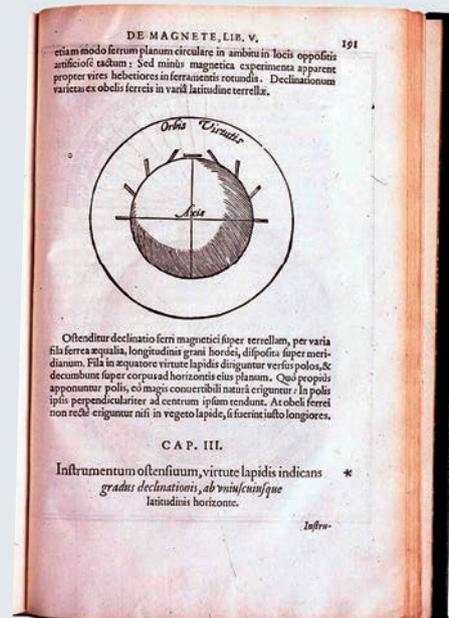
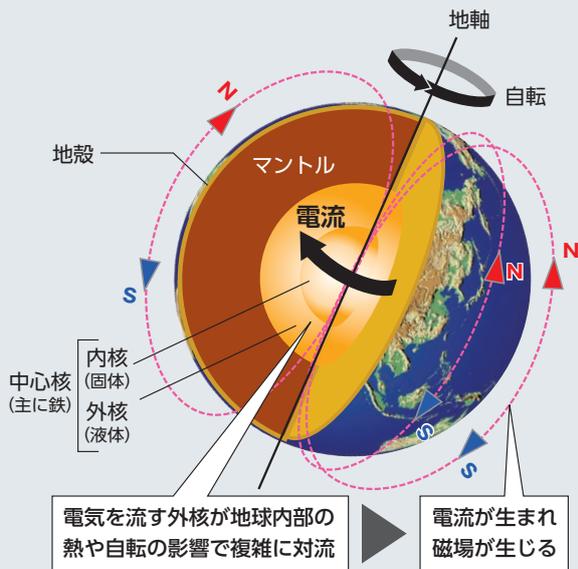
マグネタイト(磁鉄鉱)

磁石になった天然の石は、落雷などの影響で着磁[※]し、磁鉄鉱(鉄鉱石)が磁化されたものです。自然に磁石となる磁鉄鉱は、自然環境や地域条件が限られた地域(アメリカのユタ州など)で見つかります。

※ 着磁: 磁気を帯びていない鉱物に、磁気をつけること。



地球そのものが大きな磁石



金沢工業大学ライブラリーセンター 所蔵

地球に磁場が生じるメカニズム

地下約2,900キロメートルにある外核は鉄が主成分となっており、巨大な圧力と高温のため溶解状態にあります。地球の磁場は、この導電性の高い鉄の流体運動によって生じる電流により発生するものと考えられています。電流が起きると磁界ができ、その磁界の影響でさらに電気が流れ、地球内部はまるで電磁石のようになり、地球全体に磁場を生んでいたのです。今も地磁気と呼ばれる磁場が地球を覆っています。磁気圏は大気圏のさらに外側を覆っているため、太陽からの有害な太陽風や宇宙線が地上に降り注がないように、地球の生物や自然を守ってくれています。

『磁石及び磁性体ならびに大磁石としての地球の生理学 (磁石論)』ウィリアム・ギルバート(1600年)

のちにイギリスの女王エリザベス1世の侍医となったウィリアム・ギルバートは、天然磁石の磁気について、20年にわたって研究を続けました。磁石と磁気に関して、すでに知られている事実と一般に言われていたすべての事柄を集め、その一つ一つを実験によって確かめ、地球自体が1つの大きな磁石であることを証明しました。

神秘的な現象を科学で説明する

鉄を引き寄せる石(磁石)は、太古から知られていました。誰が発見したのかはわかりませんが、マグネットという言葉は、磁鉄鉱(鉄鉱石)を産出した古代ギリシャのマグネシア地方に由来すると言われています。人類が初めて出会った磁性体でした。木片などを間に置いて、離れた鉄を引き寄せるのはどうしてなのか。なぜ鉄だけなのか。古代ギリシャの哲学者タレスは「磁石は鉄を動かすゆえに靈魂を持つ」と答えました。太古の人々にとって、磁気力は神秘的な現象でした。

古代中国でも磁石はすでに知られていました。鉄が石に引き寄せられる様子に、親の慈愛を感じたのでしょうか。「磁」には「慈」の字があてられています。そして3000年以上前に、磁針が南北を指すという性質が日常的に使われていたようです。中国では古くから正しい方角がとて重視されていました。紀元前3世紀ごろ、天然磁石をひしゃくの形に加工して、司南と呼ばれる羅針盤の原型がつくられました。方位盤の中央に置くと常に柄の方が南を指すというもので、風水にも利用されました。司南で正確な方向を示すことはできま

せんでしたが、方位磁針の改良によってのちに羅針盤が発明されました。

羅針盤は北宋時代(960-1127年)になると航海に使われ、13世紀ごろにはヨーロッパでも広く普及しました。15世紀に大航海時代が到来しました。大航海時代の冒険者たちによって、大西洋、インド洋、太平洋を結ぶ新たな航路が開拓され、グローバルな交易が始まりました。

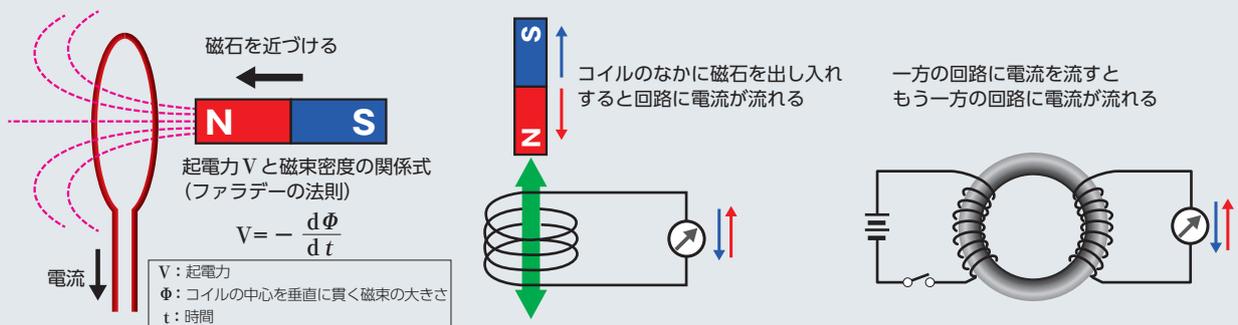
それにしても、なぜ羅針盤の磁針は北を指すのでしょうか。その不思議な性質に対して、近代的な科学の光を当てたのは、イギリスのウィリアム・ギルバートでした。ギルバートは1600年に出版した著書『磁石及び磁性体ならびに大磁石としての地球の生理学(磁石論)』で、地球そのものが巨大な磁石であるからだということを、実験を通して合理的に説明しました。また磁石と同じように物を引き寄せる現象として、静電気の研究にも取り組んでいました。琥珀だけが静電気を持つという考え方に疑問を持ち、さまざまな物を毛皮との摩擦によって帯電させ、引き合う力を持つようになることを確かめました。こうしたギルバートの実験やその結果は、のちに続くガリレオ・ガリレイやアイザック・ニュートンらの近代科学の研究に大きな影響を及ぼしました。



ファラデーのクリスマス・レクチャー (1856年ごろ)

電磁気学の父として知られるマイケル・ファラデーは、教育の普及を目的として英国王立研究所で青少年向けにクリスマス・レクチャーを始めました。第二次世界大戦中の4年間を除いて、1825年から今でもイギリスで毎年開催されており、歴史的な科学実験講座となっています。日本では1990年から前年の講演者を招き、「英国科学実験講座」として開催されています。

磁気から電気を生み出す



ファラデーの電磁誘導の法則

鉄心に2つのコイルを巻き、片方に電気を流したり切ったりすると、もう片方のコイルの電流計の針が振れます(右端図)。これは変圧器の原理です。空心の円筒形コイルに棒磁石を出し入れすると、そのたびに電流計の針が振れます(中央図)。このような実験と観察によって、外部からの力によって磁界を変化させたとき、コイルに発生する起電力(電圧)は磁束の変化率に比例することを突き止めました(左端図)。

磁気と電気が 暮らしたり社会に 深く結びつく

磁気は羅針盤を除いて実用的に役立つことはありませんでした。しかし19世紀に入ると、人々の暮らしや社会に深く結びつくようになりました。それは1820年、デンマークの物理・化学者ハンズ・クリスティアン・エルステッドが、電池のスイッチを入れたり切ったりすると、そばに置いた方位磁針の指す方向が変わることに気づき、電流が磁場を形成すること(電流の磁気作用)を発見したことがきっかけとなりました。

そしてエルステッドが発表した電流の磁気作用についての論文を読んだイギリスの物理学者マイケル・ファラデーは、電気と磁気によって動力が得られるのではないかと考えました。それを証明するため、1821年に電磁回転装置をつくりました。電流によって生じた磁場と、磁石の磁場が反発することで、針金と磁石が回るといふものです。これによって、電気エネルギーを磁気エネルギーを介して運動(機械)エネルギーに変換する電動機(モーター)の原理を考案しました。

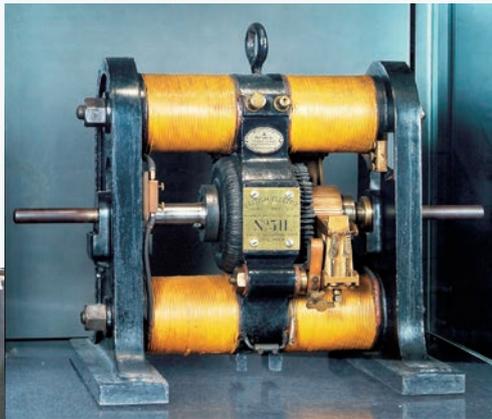
さらにファラデーは、電気を流すことで磁気を発生させられるのなら、磁

電気科学の始まり



電気の史料館 提供 / 原資料ドイツ博物館 所蔵

テスラの二相交流モーター(複製)



電気の史料館 提供 / ヘンリー・フォード博物館 所蔵

グラムの発電機

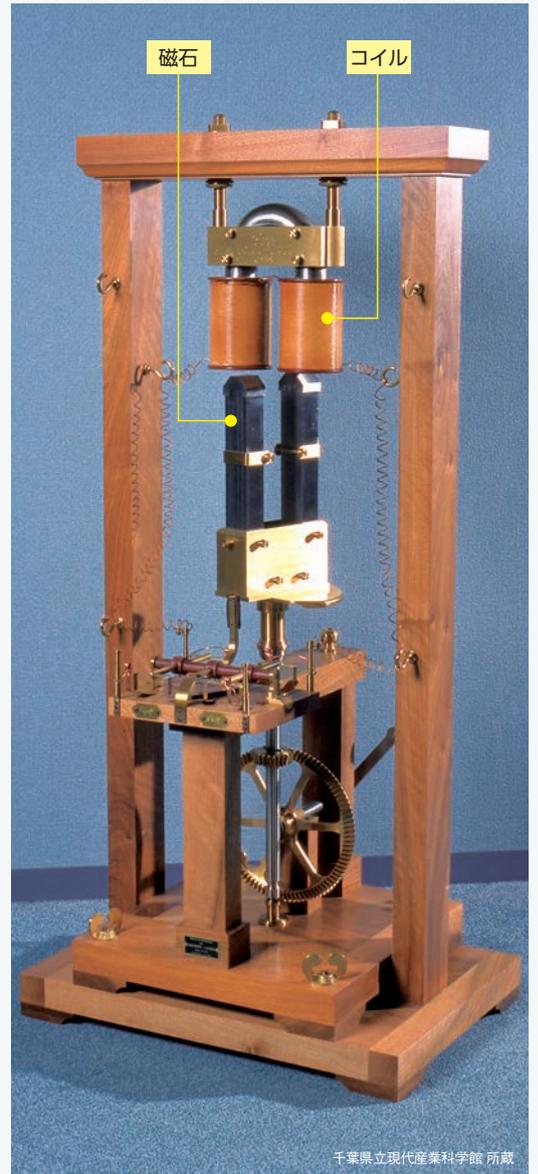
グラムの発電機はモーターの機能を併せ持つ直流電流の装置です。モーター回転時に火花を発生しているのを目にしたクロアチア(旧オーストリア帝国)出身の発明家ニコラ・テスラは、エネルギーの損失が起こっていることを見抜き、1887年に最初の実用的な二相交流モーターを完成。これをもとに交流電流による発電・送電のアイデアを発展させていきました。



電気の史料館 提供 / 原資料ドイツ博物館 所蔵

ガンツ社の変圧器(複製)

交流電力の送電や配電に不可欠な変圧器の基本形を確立したガンツ社は、1885年ブダペストで開催されたハンガリー博覧会で実用変圧器が世界初採用され、注目を集めました。また特許出願し、そのなかで初めてtransform(変圧する)という用語を使用しました。



千葉県立現代産業科学館 所蔵

ピクシーの発電機(複製)

回転するU字型磁石の磁極と向かい合わせに、コイルを巻いた鉄心が配置されています。コイルに向かって磁石を出し入れすると、コイルに起電力が発生して誘導電流が流れます。このとき出し入れするスピードが速くなるほど高い起電力が得られます。

気を発生させることで電気を生むことができるのではないかと考えました。当時の電気は電池だけでした。磁気によって機械動力で必要なだけ電気を起こすことは、画期的な発想でした。この考え方が正しいことを実験で明らかにし、電磁誘導の法則を1831年に発見しました。

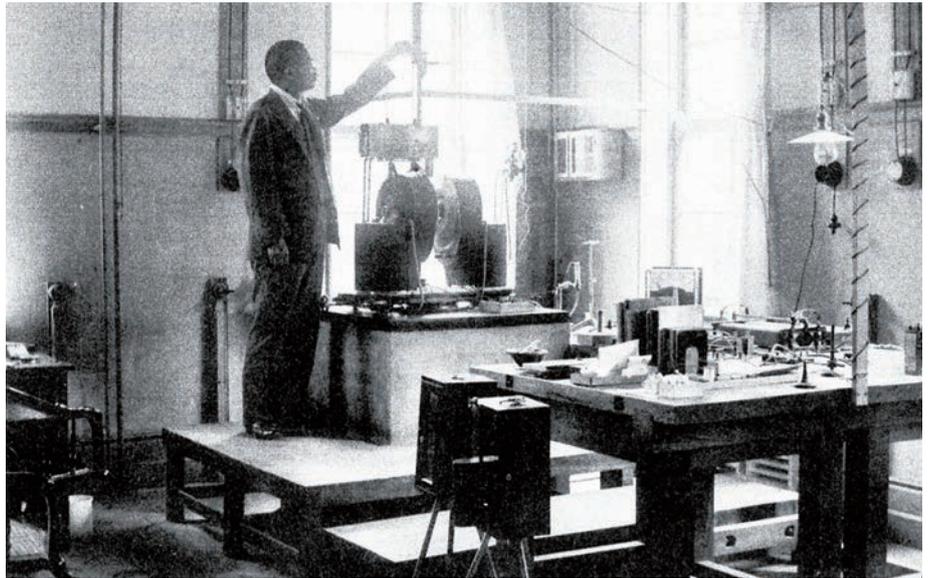
このファラデーの電磁誘導の法則を用いて、フランスの技術者ヒポライト・ピクシーは、1832年に手回し式発電機(ダイナモ)を発明しました。その後、ドイツの工学者・実業家ヴェルナー・フォン・ジーメンス、ベルギーの技術者ゼノブ・テオフィル・グラムが商業的な発電機を続々と製作しました。そして、オーストリアのウィーン万国博覧会で事件が起こりました。出品されていたグラムの発電機数台の配線を誤り、発電中の発電機から休止中の発電機に接続したところ、突然逆に回転し始めました。それまで電力をつくるために使っていた発電機が、実はモーターとして使えることが偶然わかったのです。

磁気と電気の深い関係がわかるようになると、発電機やモーターをはじめ、さまざまな機械・装置に磁気エネルギーが利用されるようになりました。蒸気から電気への動力の変革が第二次産業革命をもたらしました。

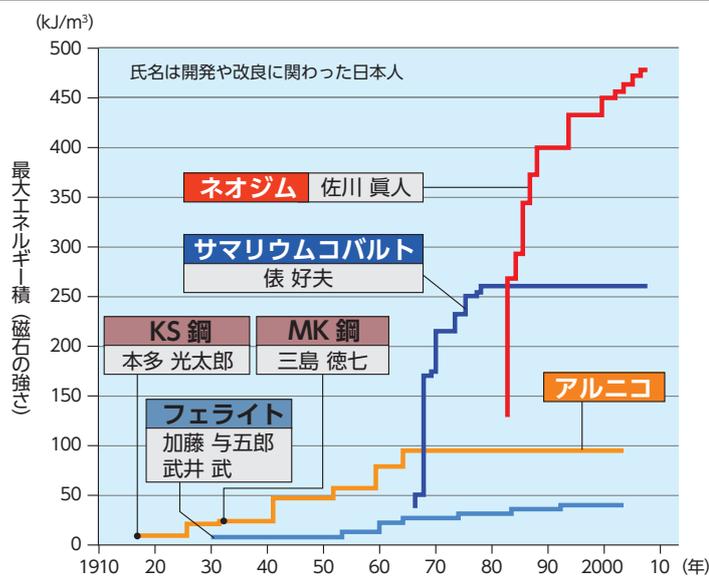
イノベーションを加速させる

東北帝国大学・本多光太郎教授研究室 (1913(大正2)年ごろ)

本多光太郎は日本の材料科学の先駆者で、磁気物理、金属物理、磁性材料、鉄鋼材料など、基礎から応用にわたる広範囲な分野で大きな足跡を残しました。日本の十大発明家の1人で、当時世界最強の磁石となったKS鋼を1917(大正6)年に発明しました。



東北大学史料館 所蔵



永久磁石開発の歴史

大正時代につくられたKS鋼から、現在世界最強の磁力を持つネオジウム磁石に至るまで、日本の研究が世界をリードしています。



官営八幡製鉄所の熱延珪素鋼板工場

1900年にイギリスの冶金学者ロバート・ハドフィールドによって、鉄心用薄鋼板にケイ素(シリコン)を加えることで、鉄損(エネルギーロス)が非常に小さくなることが発見されました。熱延珪素鋼板(現在の電磁鋼板)は、1903年にアメリカとドイツで生産が始まり、日本では1924(大正13)年に官営八幡製鉄所でドイツ人技師ワルター・ルウォウスキーの指導のもと国産化されました。

世界を変える磁性材料

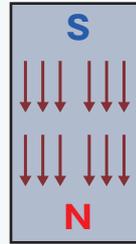
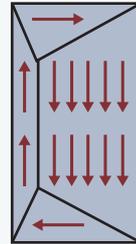
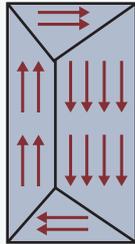
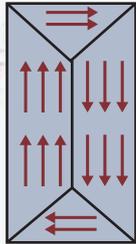
磁性の歴史は古くて新しいといえます。なぜ鉄が磁石になったり、ならなかったりするのかわからない。現代では物質中の多数の電子のスピンの向きを揃えておくと、磁石(強磁性体)であることが知られていますが、電子のスピンがそろう理由は簡単に説明できませんでした。その磁性の起源を説明できるようになったのは、20世紀に入ってからのことでした。1920年代に新しい物理学である量子力学が確立されると、ドイツの理論物理学者ヴェルナー・カール・ハイゼンベルクが1928年に強磁性の本質を明らかにしました。強磁性の起源が電子間の相互作用にあることがわかったと、それ以降、量子力学の立場から諸問題が次々と解決されていきました。なおハイゼンベルクは、量子力学の確立に大きく寄与した功績によって、1932年に31歳の若さでノーベル物理学賞を受賞しました。

同じ時代、日本の磁性研究が一躍世界をリードする存在となりました。東北帝国大学の**本多光太郎**によって、1917(大正6)年に世界初の人工磁石KS鋼がつくられました。従来の磁石の3倍の磁力を持つ画期的な発明でした。その本多に師事した**茅誠司**が、1926(昭和元)年に東北帝国大学金属材料研究所で行った強磁性単結晶の研究で、鉄の結晶方位には一番磁化されやすい方向(磁化容易方

そもそも鉄はなぜ磁石になるのか



外部磁界がないときの鉄の磁区構造

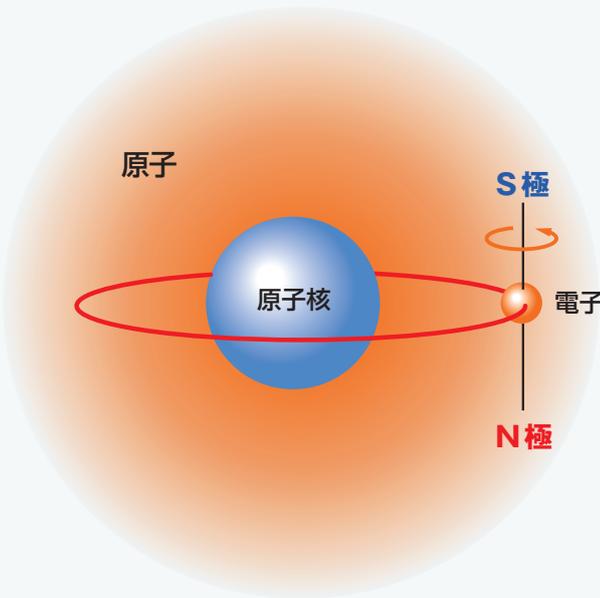


磁化された鉄が磁石となって吸着しあう

外部磁界が加わると、磁界の方向に応じて、磁壁移動が起こり、ある磁区の領域が優勢となる

鉄が磁化するメカニズム

鉄などの強磁性体は、一つ一つが小さな磁石(原子磁石)の集まりであるといえます。ふだん原子磁石は、ばらばらの方向を向いているため、磁石の性質を持ちません。しかし外部から強い力(磁界)を受けると、原子磁石が同じ方向にそろおうため、鉄は磁石の性質を持つようになります。



磁力発生メカニズム

鉄などの強磁性体の原子を見ると、他の物質の原子に比べ、電子は原子核の周辺を回るだけでなく、自転(スピン)しているため、磁力が発生します。すべての物質に原子磁石はあるのですが、特に鉄などの強磁性体は、地球の自転に相当する電子のスピンからの磁力の割合が大きいという特徴を持っているため、鉄の原子磁石が同じ方向にそろおうと、大きな磁力が働き、磁石の性質を持つのです。



(向)があることを論じました。これを受け、1934年にはアメリカのノーマン・ゴスが冷間圧延と焼鈍(熱処理)の組み合わせにより鋼板の圧延方向に優れた磁気特性が出ることを発見し、変圧器に適した無方向性電磁鋼板と、モーターに適した無方向性電磁鋼板がつくり分けられるようになりました。

技術革新を支える磁性研究は日本でも進みました。1930(昭和5)年にフェライト磁石、1931(昭和6)年にMK鋼(アルニコ磁石)が相次いで発明され、KS鋼よりも大きな磁力を持つ永久磁石が開発されました。1960年代からは希土類元素(レアアース)を加えることで、磁力を向上させる試みが行われます。1967(昭和42)年にサマリウムコバルト磁石を開発した俵万智夫は、今では歌人の俵万智さんの父親として知られています。そして現在世界最強の座に君臨するネオジム磁石が、1983(昭和58)年に開発されました。このような時代の流れを俵万智さんはひところは「世界で一番強かった」父の磁石が「うすぐまる棚」と詠みました。

磁性材料はハードディスクやパソコン、携帯電話、家電製品などの小型化に大きく貢献し、ハイブリッド車をはじめとする日本の誇るハイテク製品に欠かせない存在となっています。これからも持続可能な社会の実現に向け、磁気特性に優れた鉄の可能性をさらに引き出す研究開発は続いています。