

特集

人工知能と人間

～人間の「知」の不思議と成り立ちに迫る～

サイエンス・インタビュー

電気自動車や風力発電に不可欠な
ネオジム磁石を発明

NDFEB株式会社社長、大同特殊鋼株式会社顧問 **佐川 真人**

「milsil (ミルシル)」について
「milsil (ミルシル)」の「mil (ミル)」は「見てみる」「聞いてみる」「やってみる」の「ミル」。そのような「ミル」から、新たな、そして豊かな「sil (シル=知る)」が得られるでしょう。この雑誌とともに、皆様楽しい「ミルシル」体験をされることを願っています。

CONTENTS

3 サイエンス・インタビュー 科学のいま、そして未来
電気自動車や風力発電に不可欠なネオジム磁石を発明
佐川 真人 (NDFEB株式会社社長、大同特殊鋼株式会社顧問)

6 【特集】人工知能と人間 ~人間の「知」の不思議と成り立ちに迫る~
[全体監修] 松田 雄馬 (合同会社アイキューベータ代表社員)
陣内 利博 (武蔵野美術大学造形学部視覚伝達デザイン学科教授)

6 人工知能の研究から迫る人類の知
松田 雄馬 (合同会社アイキューベータ代表社員)

10 忘れることで人の知能が生まれた
—コミュニケーションの観点から知能を考える
原島 博 (東京大学名誉教授)

13 赤ちゃんの認知形成からみえてくる人間の認知
山口 真美 (中央大学文学部心理学研究室教授)

15 人類の知の歴史と複眼思考
「造形」と「コミュニケーション」
陣内 利博 (武蔵野美術大学造形学部視覚伝達デザイン学科教授)

18 人工知能が創る人類の未来
松田 雄馬 (合同会社アイキューベータ代表社員)

20 標本の世界
札幌博物館旧蔵産業史資料が語る明治の日本と博物館の役割
加藤 克 (北海道大学北方生物圏フィールド科学センター助教)

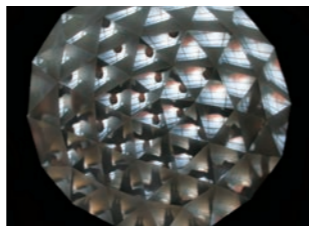
22 日本の国立公園 第5回
三陸復興国立公園 ~変わらない自然と復興の兆しを見せる町並み~
木住野 泰明 (環境省東北地方環境事務所国立公園課課長) 取材協力
桜庭 佑輔 (環境省東北地方環境事務所国立公園課自然保護官) 取材協力
高山 拓也 (陸前高田市役所企画部商工観光課観光交流係長) 取材協力
高山 重篤 (NPO法人「森は海の恋人」理事長) 取材協力

26 親子で遊ぼう! 科学冒険隊
#61 光を観察! ピンホールカメラで遊ぼう!
前田 保典 (科学トイクリエイター) 監修

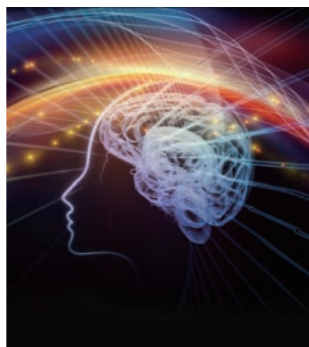
30 DNAを知る 第2回
DNA複製の精妙なしくみ①

32 NEWS&TOPICS
世界の科学ニュース & おもしろニュースを10分で

34 milsil カフェ / 編集後記 / 定期購読のお知らせ / 次号予告



©Toshihiro Jinnouchi 撮影: 松井雄一郎
「複眼体験」(2008) ひとりで見ると複眼体験



表紙写真

人間の脳を構成する神経細胞は、脳を越え、身体全体に伸びる。身体は、外部の社会との相互作用を通し、その情報を神経に、そして脳に伝える。すなわち、脳は社会と切り離すことができない。「知能」を考えると、人間の、そして生物の社会を考えると、ということもいえる。

電気自動車や風力発電に不可欠な ネオジム磁石を発明

快適で便利な現代の生活は、その多くをモーターや発電機に依存しています。なかでも高効率のエアコン、ハイブリッドカーや電気自動車、風力発電装置など、脱炭素社会をめざす最新機器のモーターや発電機に使われているのが、ネオジム磁石という強力な永久磁石です。それまでの常識を疑うことで、見事にネオジム磁石の発明を成し遂げた佐川真人先生に、ご自身の足跡や研究に向き合う姿勢について伺いました。

■ 子どものころから“思いついたら必ずやってみる”

少年時代は、どんなことに興味をもたれていましたか。

1949(昭和24)年に湯川秀樹先生がノーベル物理学賞を受賞された時、父が「こんな人になりなさい」というような思いを込めて新聞を読んでもらったのを覚えています。もともと理科、特に物理学系は好きで、子どものころから科学者になりたいという気持ちをもっていました。

磁石とのかかわりで思い出すのは、モーターと発電機を作製した中学生の時のことです。ふと「モーターと発電機をつないだら、いつまでも回り続けるのではないか」と思ったのです。私は昔から、思いついたらやってみるという性分なんです。そのときも原理的に無理ということを知らぬまま、実際にやってみました。もちろん、うまくいきませんでした。高校生になると、具体的に科学者になって社会の役に立ちたいと思うようになりました。

大学、大学院ではどんな研究をされていたのですか。

経済的に浪人はできなかったので、必



NDFEB 株式会社社長、大同特殊鋼株式会社顧問 佐川 真人 さがわ まさと

1972年東北大学大学院工学研究科金属材料工学専攻博士課程修了。工学博士。富士通株式会社、住友特殊金属株式会社(現日立金属株式会社)を経て、1988年インターメタル株式会社設立、同社代表取締役社長。2012年より同社最高技術顧問。2013年NDFEB株式会社設立。同社は「ネオジム-鉄-ホウ素(Nd-Fe-B)系磁石」にその名前を由来したベンチャー企業。米国物理学賞 International Prize for New Materials、朝日賞、大河内記念賞、本多記念賞、日本国際賞など受賞多数。

ず合格できる大学を選ぼうと、先生に相談しました。そして、勧められるままに神戸大学工学部電気工学科に進みました。ところが入学してしばらく経つと、自分の学びたい学問と学科の内容がぴったり合っていないことに気がつきました。私は技術の応用に主眼を置く工学ではなく、科学の基礎研究をやりたいのです。そこで4年生の時から、金属やセラミックなどの固体表面の性質や構造を扱う材料科学の研究室に所属し、そのまま大学院の修士課程に進みました。博士課程は東北大学の金属材料研究所に移りました。しかし、研究は思うように進まず、博士課程修了までに4年かかりました。その後、富士通に就職しましたが、このときは一生のうちで一番自信がない時でした。社会に出て何の役に立っていないのではないか、と落ち込んでいました。

就職後、どのようにして磁石研究と出会われたのですか。

富士通に入って、磁石の研究テーマを与えられたのは入社5年目の1976年ごろのことです。希土類(レアアース)を主成分とした、それまで最強の永久磁石「サマリウムコバルト磁石(SmCo₅、Sm₂Co₁₇)」(図1)が登場し、大変もてはやされていました。永久磁石とは、自ら磁力を発生し続ける磁石のことです。私に課せられたのは、自社製品に使うサマリウムコバルト磁石の改良でした。実際に希土類を含む磁石の研究を始めると、「なぜサマリウムとコバルトの化合物でないといけないのか」という疑問が生じてきました。元素のうち、強い磁気をもつのは鉄とコバルトなので、磁石にするなら、このどちらかが適しているはずなんです。希土類は原子磁石(磁気モーメント)の方向を固定する役割をしています。永

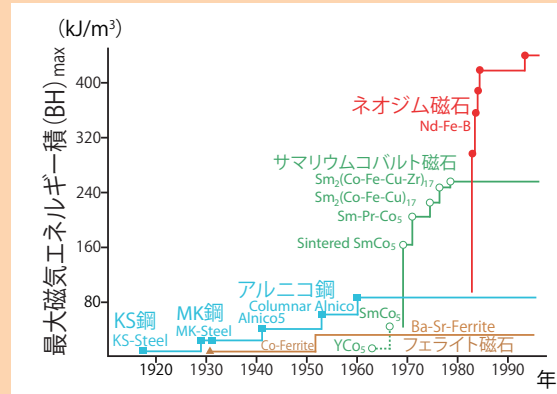


図1 主な永久磁石の開発の歴史

これまでにさまざまな永久磁石が開発されてきた。この分野では、日本人による貢献度が非常に高い。縦軸の『最大磁気エネルギー積』は磁石の性能を表す指標の一つ。一般に、これが高いほど磁石の性能が高いとみられる。

【KS鋼】世界初の人工的な永久磁石。1917年、東北大学の本多光太郎らによって発明された。鉄、コバルト、タングステン、クロムなどを含む。【MK鋼】1931年に三島徳七が開発。鉄とニッケルにアルミニウムを含み、KS鋼よりも強い。【アルニコ鋼】アルミニウム、ニッケル、コバルトなどを含む鉄合金の磁石。【フェライト磁石】主原料の酸化鉄を焼き固めてつくる。原料が鉄の酸化物であるため安価であることが特長。【サマリウムコバルト磁石】サマリウムとコバルトが主成分。1970年代に飯野夫が発明。ネオジム磁石が登場するまでは最強の永久磁石だった。【ネオジム磁石】ネオジム、鉄、ホウ素を主成分とする。

『図解 希土類磁石』（佐川眞人・浜野正昭編著・日刊工業新聞社）、『すごい！磁石』（宝野和博・本丸諒著・日本実業出版社）の図を参考に作成。

久磁石の材料としては、ほかの希土類と鉄の組み合わせも考えられるはず（図2）なのに、そんな研究をしている人はいないようでした。

あるとき、「希土類磁石の基礎から応用まで」というシンポジウムで、浜野正昭先生（磁石研究者、1942-2014年）が、希土類と鉄では強い永久磁石ができない理由について、「鉄と鉄の原子間距離が狭すぎるので、磁気モーメントが同じ方向を向かず磁石として安定しない。鉄と鉄の原子間距離が離れたらよいのではないか」と話されました。それを聞いて、私は、「小さな元素である炭素やホウ素を混ぜて合金化すれば原子間距離が広がって、磁気モーメントが安定するのではないか?」とヒントを得たのです。1978年の1月31日のことでした。

いよいよネオジム磁石を誕生させる研究が始まるのですね。

翌日から、ヒントを基に合金をつくり、磁気測定や、X線回折での結晶構造の解明などに奔走しました。何十通りもの組み合わせで実験を繰り返し、その年の終わりには希土類のネオジムと鉄とホウ素

の化合物が強い磁石（ネオジム磁石）になる素質をもっていることを突き止めました。

一方、私はサマリウムコバルト磁石の研究を続けていて、求められた課題もクリアしていました。そこで、ネオジム磁石の研究も続けたいと申し出たのですが、それは材料メーカーの守備範囲だと認めてもらえませんでした。この時点のネオジム磁石はまだ、ただの合金の塊だったので信用してもらえなかったのです。磁石にするには必要な化合物を見つけ、磁石に適した微細構造をつくらなくてはなりません。

それからの3年間は、サイドワークとしてネオジム磁石の研究を続けました。管理職になっていたので研究時間はほぼなく、主に頭の中で考えをまとめていきました。たまたま、誰もいない休日の実験室で仮説を確かめる実験を行い、ようやく微細構造をつくることにも成功しました。

その後、富士通を退職するのですが、退職が認められた後の3か月間には自由に実験をする機会と時間を与えてもらい、温めていたアイデアを実験で確かめ

ました。そのなかで、小さい塊が鉄板にカチッとくっついた瞬間がありました。希土類と鉄の合金が初めて磁石になったのです。それが1982年の初めのことです。

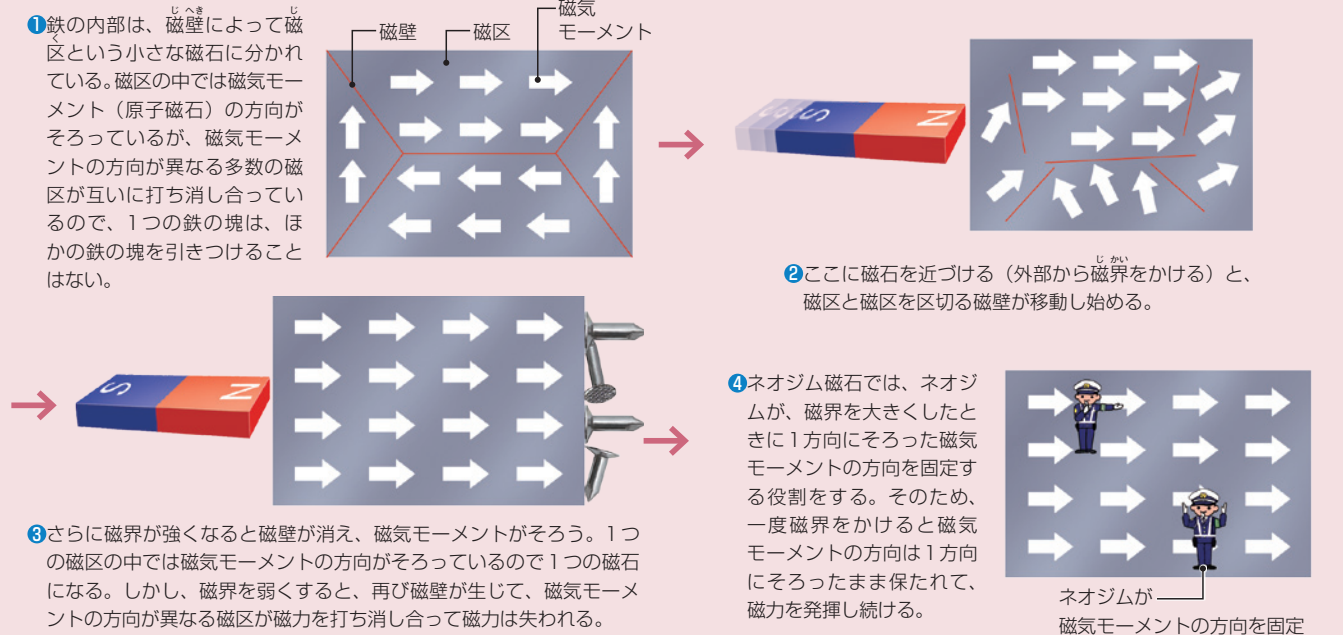
それから研究はどう進んできたのですか。

ネオジム磁石の研究は、次の就職先である住友特殊金属で花開くことになりました。会社が全面的にバックアップしてくれたおかげで、入社3か月後には世界最強の永久磁石ができました。しかし、最初にできたネオジム磁石は約50℃で磁力が失われることがわかりました。これでは工業的に使えません。そこで、希土類のジスプロシウムを合金に加えて磁石の耐熱性を上昇させ、ネオジム磁石の量産化を開始しました（図3）。

サマリウムコバルト磁石の主原料であるコバルトは、政情が不安定なコンゴ（旧ザイール）などが主要産地だったので、鉄を使うネオジム磁石の登場は産業界にとって朗報でした。磁力も、当時でサマリウムコバルト磁石に比べ1.5倍、現在では2倍ほど強くなっているため、使用を望む企業が世界中にありました。

ネオジム磁石はモーターや発電機スピーカーに使われています。永久磁石が強くなればモーターを小型化でき、少な

column ネオジムを添加した鉄が永久磁石になるわけ



い電力でもものを動かすことができるのです。ハイブリッドカー、電気自動車などもネオジム磁石なしでは成り立ちません。風力発電装置にもたくさんのネオジム磁石が使われています。スマートフォンの中にも、スピーカー、振動モーター、レンズのオートフォーカスなどにネオジム磁石が使われています。

■ アイデアが間違っても、挑戦したから成功できた！

研究が成功した一番の要因は、どんなことだったと思われませんか。

実は、後になって思いがけないことが明らかになりました。私は、鉄の原子間距離を広げようとしてホウ素を加えていましたが、実際にはホウ素と鉄の電子の相互作用で、鉄がコバルトのような性質

をもつようになり、強い磁石ができていたのです。

研究の出発点で私のアイデアは理論的に間違っていたわけです。しかし、「供給に不安のあるコバルトの代わりに、鉄で強力な磁石をつくれたら…」という社会的ニーズがあった時代に研究を続けたことで、ネオジム磁石の開発はめざす方向へと進展してきました。

新しいものを生み出すときには、論理的な計算や予測だけでは足りません。そこを切り拓くには「直感」しかないと感じています。そしてやはり、何よりも「やってみる」姿勢が重要です。

ネオジム磁石は今後どのように発展すると思われますか。

ネオジム磁石に必要なジスプロシウムは、中国の限られた地域から産出するの

で、供給に不安が残っていました。現在は研究が進みジスプロシウムの使用量が抑えられています。私の会社では、現在でも磁石の改良を進めています（冒頭の写真は、磁石の材料を混ぜ合わせ焼結したり、磁界をかけたりして新しい磁石をつくる実験装置を操作している佐川先生）。そのうち、ジスプロシウムをほとんど使わなくても十分な耐熱性をもつネオジム磁石が実用化されるでしょう。

ネオジムもレアアースといわれますが、世界全体をみれば十分な埋蔵量があります。リサイクルを徹底すれば将来にも不安はありません。今後予想される、電気自動車やロボットの世界的な普及に合わせ、そのモーターで使われるネオジム磁石も増え、ますます身近な存在になっていくことでしょう。

原子番号	元素	原子番号	元素
21	Sc (スカンジウム)	64	Gd (ガドリニウム)
39	Y (イットリウム)	65	Tb (テルビウム)
57	La (ランタン)	66	Dy (ジスプロシウム)
58	Ce (セリウム)	67	Ho (ホルミウム)
59	Pr (プラセオジム)	68	Er (エルビウム)
60	Nd (ネオジム)	69	Tm (ツリウム)
61	Pm (プロメチウム)	70	Yb (イッテルビウム)
62	Sm (サマリウム)	71	Lu (ルテチウム)
63	Eu (ユウロピウム)		

図2 希土類の種類

希土類とは、スカンジウム、イットリウム、原子番号57から71までのランタノイドの総称。化学的な性質がとてよく似ている。希土類という名称は、かつてこれらの元素がきわめて希少であると考えられていたことからきている。ネオジム磁石が出現したころから希土類の鉱床が次々と見つかり、現代では希土類元素、特にネオジムやサマリウムなど軽い方の希土類元素は決して希少ではないことがわかってきた。



図3 強力なネオジム磁石

市販されているネオジム磁石。1gのネオジム磁石で、約3kgの鉄を持ち上げることができる。

「考えること」を楽しめる人間になろう！

新しいものを生み出す研究には直感が必要だ、と言いましたが、直感は簡単に出てくるものではありません。考えて、考えて、実験して、また考えて…というサイクルの中でやっと出てくるものなのです。ですから、考えることが楽しいと思えることが、研究者になるためには必要です。何かあったらすぐにスマートフォンなどで答えを求めるようでは駄目です。もちろん、調べて知識を獲得することは大事ですが、「時間があたら考える」という習慣、あるいは楽しみをもってほしいなと思います。

また、数学が得意でないからといってサイエンスの道を諦める必要はまったくないと思います。実は私も、数学はあまり得意ではありませんでした。論理だけでなく、自由に思考して、ものづくりに挑んでください。

