

特殊鋼

2014
Vol.63 No.5

9

The Special Steel

特集／よくわかる磁性材料



特殊鋼

| 9 |

目次

2014

【編集委員】

委員長	井上幸一郎 (大同特殊鋼)
副委員長	甘利 圭右 (平井)
委員	杉本 淳 (愛知製鋼)
〃	佐藤 元晴 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	川添 健一 (新日鐵住金)
〃	松村 康志 (大同特殊鋼)
〃	内藤 靖 (日新製鋼)
〃	石川流一郎 (日本金属)
〃	宮川 利宏 (日本高周波鋼業)
〃	佐藤 昌男 (日本冶金工業)
〃	遠山 文夫 (日立金属)
〃	山岡 拓也 (三菱製鋼室蘭特殊鋼)
〃	中村 哲二 (青山特殊鋼)
〃	池田 正秋 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎 (UEX)
〃	池田 祐司 (三興鋼材)
〃	金原 茂 (竹内ハガネ商行)
〃	渡辺 豊文 (中川特殊鋼)

【特集／よくわかる磁性材料】

I. はじめに

- | | | | |
|-----------------|---------|-------|---|
| 1. 磁性材料の歴史 | 三菱製鋼(株) | 福田 方勝 | 2 |
| 2. 磁性材料を理解するために | 三菱製鋼(株) | 福田 方勝 | 7 |

II. 磁性材料各論

- | | | | |
|--------------|-----------|-------|----|
| 1. 電磁鋼板 | 新日鐵住金(株) | 田中 一郎 | 12 |
| 2. 高透磁率材料 | 山陽特殊製鋼(株) | 澤田 俊之 | 15 |
| 3. 電磁ステンレス鋼 | 東北特殊鋼(株) | 金子 浩幸 | 18 |
| 4. 軟質磁性粉末 | 大同特殊鋼(株) | 藤田雄一郎 | 21 |
| 5. 希土類磁石 | 日立金属(株) | 丸川 泰弘 | 24 |
| 6. ボンド磁石 | 愛知製鋼(株) | 野口 健児 | 28 |
| 7. 鑄造磁石・圧延磁石 | 三菱製鋼(株) | 福田 方勝 | 31 |

III. 磁性材料の応用

- | | | | |
|--|-------------|-------|----|
| 1. 産業・家電への応用 (変圧器への応用)
—配電用変圧器の市場・技術動向— | (株)日立産機システム | 稲垣 勝敏 | 34 |
| 2. エアコンにおける省エネモータへの応用 | ダイキン工業(株) | 大山 和伸 | 38 |

IV. 会員メーカーの磁性材料

- | | | | |
|--------------------------------------|------------|-------|----|
| NdFeB系異方性ボンド磁石マグファイン
Dyフリーで150℃耐熱 | 愛知製鋼(株) | 野口 健児 | 42 |
| ノイズ抑制シート用Fe-Si-Al系扁平粉末 | 山陽特殊製鋼(株) | 澤田 俊之 | 43 |
| JFE スーパーコア® JNEX | JFEスチール(株) | 高島 稔 | 44 |
| ダイドー電子の希土類磁石紹介 | (株)ダイドー電子 | 灰塚 弘 | 45 |
| 高耐食性電磁ステンレス鋼 “K-M38CS” | 東北特殊鋼(株) | 成瀬 達也 | 46 |
| 極薄電磁鋼板 (極薄珪素鋼板) | 日本金属(株) | 山崎 一正 | 47 |
| 鉄系軟質磁性材料粉末 | 三菱製鋼(株) | 久米 慶太 | 48 |

■業界の動き ……………	50
▲特殊鋼統計資料 ……………	53
★倶楽部だより（平成26年6月11日～7月31日）……………	57
☆特殊鋼倶楽部の動き ……………	58
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧 ……………	59

特集／「よくわかる磁性材料」編集小委員会構成メンバー

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	福田 方勝	三菱製鋼(株)	技術管理部部長
委員	杉本 淳	愛知製鋼(株)	品質保証部お客様品質・技術室 主査
〃	佐藤 元春	(株)神戸製鋼所	鉄鋼事業部門 線材条鋼商品技術部 次長
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	軸受営業部 軸受CS室長
〃	青山 敦司	新日鐵住金(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室
〃	松村 康志	大同特殊鋼(株)	特殊鋼製品本部 自動車材料ソリューション部 副主席部員
〃	内藤 靖	日新製鋼(株)	商品開発部 特殊鋼開発チーム主任部員
〃	宮川 利宏	日本高周波鋼業(株)	営業本部 条鋼営業部 担当次長
〃	西 徹	日本冶金工業(株)	高機能材営業推進部 次長
〃	山岡 拓也	三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)	技術部部長
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	渡辺 豊文	中川特殊鋼(株)	鉄鋼事業部 技術部長
〃	甘利 圭右	(株)平井	常務取締役

「OPEN MIND」

大同特殊鋼(株)
大阪支店長せき
関きみ ひこ
公彦

1982年2月、生まれて初めて乗った飛行機は、薄氷の張る上海の虹橋空港に着陸しました。入国審査場では白熱灯の暗い電気の下、軍服を着た人民解放軍の兵隊が入国ビザと手荷物をチェックしており、緊張して中国の地に踏み入れた事が、昨日の事のように思い出されます。

当時、私は中国史の先生に指導して戴きながら、動き始めた中国経済の動向に関心を寄せていました。そして日中平和友好条約が締結されて4年目、漸く私の様な学生でも中国へ留学が許されるようになり、上海外国語大学に短期留学する事に致しました。

中国はその頃、華国鋒から鄧小平に体制が変わる節目を迎えており、経済特区を設立するなど経済改革を推し進めようと躍起になっていました。外灘沿いにある税関や政府庁舎の建物は租界の頃からの建物のままで、浦東には牛しか住んでいませんでした。男性は人民服、女性と子供は綿入れを着ており、皆ズボンを履いていました。子供のズボンは用がし易いようにお尻の所が空いていました。通貨は、外国人旅行者が使用する外貨兌換券（外幣）と、人民元紙幣が両方流通する二重通貨制度になっていました。糧票という配給券が無いと人民元では街角でパンなど主食になるものは買えませんでした。外幣では糧票が無くても買うことが出来、また一部の輸入品については外幣でしか買う事が出来ませんでしたので、私は良く紙幣の交換を求められました。トロリーバスが市内交通の軸でした。曲がり角になるとパンタグラフが電線から外れてしまいバスが止まってしまう。その度に車掌がバスの背面に付けてある竿立てを使い、電線に引っ掛けていました。蘇州、無錫には蒸気機関車で行きました。

中国の学生は本当に良く勉強していました。私が居住していた留学生用の寮は2人部屋で快適だったのですが、中国人の学生寮は1部屋に4人が寝泊まりしており、夜10時に消灯、時間になると廊下以外は真っ暗になってしまいます。すると各々の部屋から学生が出てきて、廊下の40Wの電球一つの下で立ったまま本を読み勉強を始めました。これには圧倒されました。その頃中国では大学入るのが大変難しく、選ばれた彼等は少しでも自分達家族の生活を楽しむ事だけを考えて必死に勉強していました。中国はその後前述したとおり外資導入を中心とした開放経済政策に踏み切り、目覚ましい発展を遂げました。

さて、今日の中国の姿を誰が予想したのでしょうか。中国の発展ぶりを見て「出遅れた」と考える方もみえれば、「手を出さなくて良かった」と考えている方もみえると思います。いずれにしても未来の事など誰にも分からないものです。机上で思いを巡らすことも必要ですが、大切なことは自分の目で現場を見て、自分自身が感じる事だと思います。その上で、自分の意思と向き合いながら前へ進んで行けば、自ずと未来は開けるのではないのでしょうか。



よくわかる磁性材料

I. はじめに

1. 磁性材料の歴史

三菱製鋼(株) 技術管理部 福田 方勝

まえがき

私たちが「磁性材料」という言葉を聞いて初めに思い浮かべるのは永久磁石ではないかと思いません。私たちの身の回りには永久磁石以外にも多くの磁性材料を使用した製品があります。テレビ、ビデオなどのAV機器をはじめ、家電製品、OA機器、自動車などに磁性材料が使われています。

磁性材料の開発の歴史を知ることにより、現在の磁性材料の理解も進むことと思います。磁性材料の開発年表を表1に示します。

◇ 金属系軟質磁性材料の歴史

軟質磁性材料は高透磁率材料ともよばれます。20世紀初頭まで、純鉄や炭素含有量の低い軟鋼が用いられていました。その後、透磁率を向上させるために数々の材料が開発されました。

・パーマロイ

Fe-Ni系磁性合金はパーマロイとよばれています。1913年にElemen (米) がFe-Ni合金の透磁率が高いことを発見し、1923年にFe-80Ni合金の熱処理法を検討し、透磁率が非常に高くなることを発見しました。Permalloyと命名しました(透磁率 Permeabilityと合金 Alloyの合成語)。その後、第三元素として多くの添加元素と熱処理方法が検討され、1920年代にはMoを添加したMo-Permalloyが開発されました。1947年、Bozorth (米) がFe-

79Ni-5Moの組成で $\mu_i^* = 120,000$ 、 $\mu_m^* = 600,000$ (※は、I-2表2)という非常に高い透磁率の材料を発明し、Supermalloyと命名しました。

その後、種々の商品名の材料が開発されました。日本では、1974年に増本量先生らがオーディオの磁気ヘッドに使用する耐摩耗性の高いパーマロイ合金として、NbやTaを添加したハードパームを開発しました。

現在では、40~50NiのパーマロイBと70~80Ni+MoのパーマロイCが使用されています。

・センダスト

1932年、東北大学金研の増本量、山本達治先生は、Fe-Si-Al合金の研究を行い非常に高い透磁率を持つ材料を開発しました。Fe-9.6Si-5.6Alの組成で $\mu_i = 35,000$ 、 $\mu_m = 116,000$ という優れた特性です。150組成にも及ぶFe-Si-Al合金の磁気特性を詳細に試験した結果です。各組成に対して透磁率を等高線で表したものを図1に引用します。Si、Alの限られた組成において透磁率が高くなることを発見したものです。この図は軟質磁性材料にとって最も有名な図となっています。

この合金は非常に硬く圧延はできませんでしたが微粉末とするには都合がよく、当時の高周波用圧粉磁心材料として画期的なものでした。仙台の粉末という意味をこめて「センダスト」と命名され世界的に有名な材料となりました。センダストコアは東北金属(現、NECトーキン)が工業化しま

表 1 磁性材料の開発年表

日 本		世 界	
1917 (大正6)	本多がK5鋼発明	1900	Hadfield (英) が珪素鋼板 (1.5~2.5Si) 発明
1926 (大正15)	本多、茅が鉄の結晶磁気異方性発見	1923	Arnold, Elemen (米) がPermalloy発明
1931 (昭和6)	三島がMK鋼発明	1929	Elemen (米) がPermendur (Fe-50Co) 発明
〃	加藤、武井がCu-Znフェライト発明	1934	Goss (米) が方向性珪素鋼板発明
1932 (昭和7)	加藤、武井がOP磁石発明	1935	PtCo磁石発明 (独)
〃	増本、山本がセンダスト発明	1937	Cunife磁石発明 (独)
1933 (昭和8)	本多、増本、白川が新K5鋼発明	1938	Oliver (米) らがアルニコの磁場中冷却効果発見
		1940	Nesbitt (米) がVicalloy発明
		1942	Jonas (米) がAlnico-5発明
		1947	Bozorth (米) がSupermalloy発明
		〃	Snoek (蘭) がCu,Mg,Mn-Znフェライト発明
		1952	Went (米) らがBaフェライト磁石発明
		1957	de Vos (蘭) がAlnico-8発明
1964 (昭和39)	MnAlC磁石開発 (松下電器)	1963	Cochardt (米) らがSrフェライト磁石発明
		1966	Strnat (米) が希土類磁石提案
		1969	Buschow (蘭) が焼結SmCo ₅ 磁石開発
1971 (昭和46)	金子 (東北大学) がFeCrCo磁石発明		
1972 (昭和47)	高橋 (東北大学) がFe ₁₆ N ₂ 発見		
1974 (昭和49)	藤森、増本 (東北大学) がアモルファスの軟質磁気特性を発見		
1975 (昭和50)	増本らがFe-Si-B系アモルファス開発	1975	Allied Chemical社 (米) がFe-P-B系アモルファス開発
〃	俵 (松下電器) らがSmCoFeCu磁石開発		
1979 (昭和54)	増本らが高飽和磁化アモルファス (Fe系)、高透磁率アモルファス (Co-Fe系) 開発		
1983 (昭和58)	佐川 (住友特殊金属) がNd磁石発明	1983	Croat (米) がMQパウダー発明
1987 (昭和62)	入山 (旭化成) らがSmFeN磁石発明	1988	Coehoon (蘭) がナノコンポジット磁石発表
1988 (昭和63)	吉沢 (日立金属) らがナノ結晶軟質磁性材料開発	1990	Coe (アイルランド) がSmFeN磁石発表

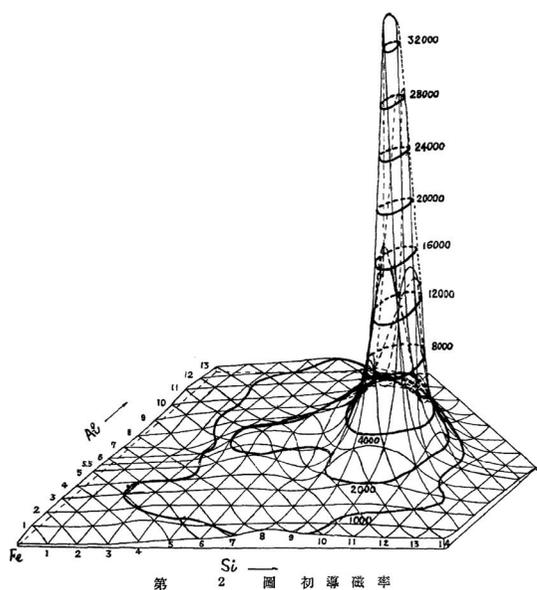


図 1 センダスト発表論文より (増本、山本: 日本金属学会誌、1、(3)、p. 131 (1937))

した。また、硬いという特徴を生かしてオーディオの磁気ヘッド材料としても多いに使用されました。

最近では、100kHz以上のより高周波の圧粉磁心用として再び脚光を浴び、インダクタのコア用の軟質磁性材料として使用されています。

・電磁鋼板

電磁鋼板とは珪素 (Si) を含む鉄心用の材料で、以前は珪素鋼板とよんでいました。1900年にHadfield (英) がFeにSiを添加して磁気特性を向上させた珪素鋼板を発明し、1903年に珪素鋼板の製造方法が確立され、ドイツや米国において工業生産が開始されました。3%Siまでの鋼板が熱間圧延法により製造されました。

その後、1934年にGoss (米) が方向性電磁鋼板の製造方法を発明しました。これは圧延方向に鉄の結晶の<100>軸を揃えるもので、それにより圧延方向の磁気特性が著しく向上しました。これには、1926年に本多光太郎、茅誠司先生が鉄の単結

晶において結晶方位によって磁化のされ方が異なる(Ⅱ-1図1)ことを発見したことがきっかけと考えられます。翌年から米国Armco社が方向性電磁鋼板の製造を開始しました。

日本では、1920年代に熱間圧延電磁鋼板(無方向性)、1950年代に方向性電磁鋼板及び無方向性冷間圧延電磁鋼板の製造が、新日本製鐵、川崎製鐵により開始されました。1968年からは高磁束密度方向性電磁鋼板の製造も開始されました。

方向性電磁鋼板は変圧器などの静止機器に多く使用され、鉄損を下げるのが最も重要です。方向性電磁鋼板では、結晶方位の制御、薄板化(0.35→0.30→0.27→0.23mm)、磁区制御の3つによって進められました。 $W_{17/50}$ (磁束密度1.7T周波数50Hzの鉄損)は、当初は4W/kgもあったものが、現在では0.75W/kg以下と1/5までに低減しています。現在の日本の電磁鋼板の技術は世界一となっています。

無方向性電磁鋼板は回転機器に使用されます。積層する工数を考慮して、0.50、0.35mmの板厚が製造されています。低鉄損は当然のことながら、モータでは数百Hz以上で使用されるため、高速回転の遠心力に耐えるための高張力材、打抜き後の歪取り焼鈍に対応したものなど、付加価値のある製品が製造されています。

鉄にSiを添加していくと透磁率が上がり、また、比抵抗も大きくなるため鉄損が減少することが想定されていました(6.5%Siの磁気特性がよい)。高Siの電磁鋼板の製造が試みられてきましたが、3%Siを超える電磁鋼板は圧延が非常にむずかしく、実験室的には製造できるものの工業化はできませんでした。1994年、NKKは3%Siの電磁鋼板にSiを含むガスを反応させるという方法で、6.5%Siの薄板(0.1mm)を開発しました。さらに、1998年、板厚方向に対してSi濃度を制御する傾斜高Si電磁鋼板を開発しました。これらは高周波での鉄損が低い数10kHz領域でのリアクトルなどの鉄心に使用されています。

・アモルファス&ナノ結晶

1960年代から液体急冷法によるアモルファス金属の研究が始められました。その中で、東北大学金研の増本健先生のグループは1974年に(Fe,Co,Ni)-Si-B系のアモルファス合金において優れた軟質磁

気特性が得られることを発見しました。1975年にFe-Si-B系のアモルファス(Amomet)を開発しました。同じ頃、米国Allide Chemical社がFe-P-B系(後にFe-Si-B系)のアモルファス(Metglass)を開発しました。

Fe系のアモルファスは低鉄損という特長を生かして変圧器の鉄心への使用が検討されました。二度にわたる日米紛争(特許係争、貿易摩擦)により、採用が大きく遅れましたが、徐々に採用が増えていきます。

その後、1988年、日立金属の吉沢克仁氏らは、NbとCuを添加したFe-Si-B系アモルファスを熱処理することにより微細結晶を析出させる(結晶化)ことに成功し、優れた軟質磁気特性が得られることを示しました。アモルファスを結晶化させると磁気特性が悪くなるという常識を打破したもので、ナノ結晶磁性材料という新しい磁性材料のパイオニアといえます。日立金属はこれをファインメットという商品名で工業化しました。

・Fe-Co合金

Fe-30~50%Co合金は純鉄よりも高い飽和磁束密度を持つ合金です。後述の $Fe_{16}N_2$ の発見までは物質の中で最も高いものでした。米国Bell研究所において研究が行われ、1929年にFe-50Coの合金Permendur(パーメンダー)が開発され、1932年には加工性を改善した2V-Permendur(Fe-49Co-2V)が開発されました。現在でも、高い磁束密度が必要とされる電磁石の磁極やドットプリンタのヘッドなどに使用されています。

◇ 硬質磁性材料の歴史

永久磁石の開発の歴史は最大エネルギー積の歴史です。図2にこれを示します。本文では、歴史的背景からエネルギー積の単位はcgs系の[MGOe]を用います。MKSA系の単位[kJ/m³]に換算するには8を掛けてください。

・金属合金磁石

19世紀末から20世紀初めにかけては、炭素鋼やクロム鋼、タングステン鋼などの工具鋼が焼入れて使用されていました。エネルギー積は高々0.4MGOe程度でした。1917年に東北大学の本多光太郎先生によりコバルト・タングステン・クロム鋼が発明されました。この磁石は、研究を支援してきた住

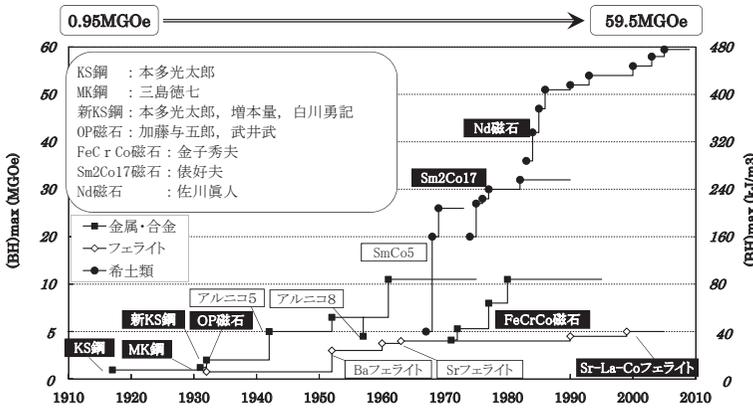


図 2 硬質磁性材料の開発の歴史（最大エネルギー積の向上）。白抜きは日本で開発されたもの。

友吉衛門のイニシャルから「KS鋼」と名づけられました。エネルギー積は0.95MGOeと従来の2倍に向上しました。これが永久磁石の研究開発の端緒となりました（図3）。これらの永久磁石は保磁力を得るために高温から焼入れる必要があったため焼入れ硬化型磁石と呼ばれました。

つぎに、非磁性母相中に強磁性微粒子相を析出させる析出硬化型磁石が開発されました。1931年に東京大学の三島徳七先生がFe-Niの非磁性鋼の研究の中で、Fe-Ni-Al系の「MK鋼」を開発しました。エネルギー積は1.2MGOeで、それまでのKS鋼を上回りました。MKは三島先生の養家の三島と実家の喜住の頭文字をとったといわれています。MK鋼はMK磁石として東京鋼材（現、三菱製鋼）が工業化しました。その後、1933年に本多光太郎、増本量、白川勇記先生がFe-Ni-Al-Co-Ti系の「新KS

鋼」を発明しました。エネルギー積は2.0MGOeで再び最強の磁石となりました。保磁力が格段に大きくなりました。新KS鋼はNKS磁石として住友金属が工業化しました。MK鋼と新KS鋼がその後のアルニコ磁石のオリジナルとなりました。

アルニコ磁石の基礎は日本で築かれてきましたが、その後の発展は欧米で行われました。ちょうどその時期に日本が戦争に突入り、またそれから立ち直る時期と重なり、研究が停滞してし

まったのではないかと推定されます。

・希土類磁石

より強力な永久磁石を求めて世界中で研究が行われ、1966年、HoferとStrnat（米）が希土類とコバルトとの化合物にその可能性があることを示しました。希土類（レアアース）というのは周期表の欄外に示されるLaからLuまでの15元素のことで。特に、SmとCoの化合物が磁石として使われました。1969年、Buschow（蘭）らは実験室ではあるものの20MGOeという驚異的な特性を達成しました。製造法の検討などから1970年代には26MGOeの特性が得られました。これらはSmとCoの原子比から1-5型とよばれる第一世代の希土類磁石です。

その後、1-5型よりも高い特性を目指してSmとCoの原子比が2:17である2-17型の研究が行われました。1975年、俵好夫氏（松下電器→信越化学）によりSm-Co-Fe-Cu合金で26.4MGOeが達成されエネルギー積向上の競争が続きました。そして、1977年、東北大学とTDKの米山哲人氏らによりZrを添加した合金で、ついに30MGOeが達成されました。第二世代の希土類磁石です。元素の頭文字からサマコバ磁石とよばれました。携帯音楽プレーヤー「ウォークマン（1978年発売）」の普及に大きく貢献しました。

エネルギー積の開発競争が一段落した頃、1983年、住友特殊金属の佐川真人氏は希土類としてNdを用いた全く新しい磁石を開発しました。NdとFeとBの新しい化合物を用いるものでネオジウム磁石（又はネオジ磁石）とよばれます。エネルギー積は36MGOe

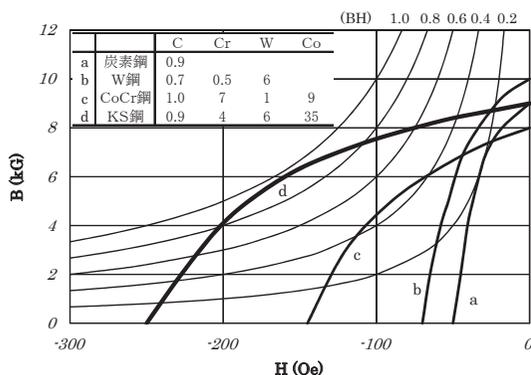


図 3 KS鋼発明当時の磁石材料の磁化曲線（著者推定）

でSmCo磁石の特性を上回るものでした。全く同じ頃、米国GM社のCroatが液体急冷法によりNd-Fe-Bの粉末を開発しました。MQパウダーとよばれボンド磁石の原料として使用されています。これらのネオジウム磁石は第三世代の希土類磁石です。

ネオジウム磁石はその後の製造法の改良により2005年に59.5MGOeのエネ르기積が達成されました。KS鋼の約60倍です。この値はネオジウム磁石のエネ르기積の理論値にほぼ近く、現在、これを上回る永久磁石となる物質を探索することが世界中で行われています。

◇ 酸化物磁性材料（フェライト）

フェライトとは金属イオンを含む亜鉄酸塩（Ferite）のことです。鉄鋼材料において α 鉄のことをフェライトとよびますが、これはラテン語のFerum（鉄）を意味し、異なります。軟質磁性材料をソフトフェライト、硬質磁性材料をハードフェライトとよびます。

フェライト磁性材料の研究は、1932年、東京工業大学の加藤与五郎、武井武先生によるOP磁石、Cu-Znフェライトの発見を発端としています。加藤、武井先生は、Coフェライトを磁場中で冷却すると強い磁石となることを見出しました。磁場中冷却という手段を世界で初めて用いたもので、その後のパーマロイやアルニコ磁石の熱処理に影響をあたえたものと考えられます。これをOP磁石と命名しました。Ookayama PermanentとOxide Powderに通じるということで名づけられました（0.75MG）。Coフェライト磁石は、1935年に三菱電機が工業化をしました。また、同時期に、CuZnフェライトが優れた軟質磁性材料であることも発見しました。1935年に東京電気化学（現、TDK）が工業化をしました。

その後、オランダのPhilips社により多くのソフト、ハードフェライトが開発されました。1947年、SnoekがCu,Mg,Mn-Znフェライト（ソフト）を、1952年、WentがBaフェライト（ハード）を開発しました（1.0MGOe \Rightarrow 3.0MGOe）。さらに1963年、米国Westinghouse社のCochardtによりSrフェライトが開発されました（4.0MGOe）。

その後、製造法の改良による磁気特性の向上はありましたが4.5MGOe程度まででした。1997年、

TDKの田口仁らによりLaCo置換型Srフェライトが開発され、5.0MGOeを超える特性が得られました。最近では、結晶粒を微細化することによりLaやCoなどのレアメタルを含まない高性能フェライト磁石も開発されています。

ソフトフェライトとしてはMnZnフェライト（高透磁率）やNiZnフェライト（低損失）などが、ハードフェライトとしてはBaフェライトとSrフェライトが製造されています。フェライトはソフト、ハードとも磁束密度は低いのですが、酸化物であり環境にやさしいという特長を生かしています。

現在、フェライトに関する研究成果を発表するために、4年毎に国際フェライト会議ICFが日本において開催されています（2013年：第11回）。

◇ 窒素含有磁性材料

1972年、東北大学の高橋實先生がFe-40%Coよりも高い飽和磁化をもつ窒化鉄 $Fe_{16}N_2$ を薄膜において発見しました。初めは軟質磁性材料として研究が進められましたが、最近では、粉末の合成に成功し、現在、永久磁石化の研究が進められています。

また、1990年にCoey（アイルランド）がNd-Fe-Bのつぎの新しい磁石材料としてSmFeN化合物を合成し注目を浴びました。しかし、この材料は1987年に旭化成の入山恭彦氏らがすでに発明していたものでした。現在、ボンド磁石として実用化されています。

むすび

昭和60年（1985年）、特許庁が工業所有権制度百周年を記念して日本の十大発明家を選定した中に、永久磁石を発明した本多光太郎先生、三島徳七先生のお二人が選ばれています。また、センダストを発明した増本先生、山本先生、フェライト磁性材料を発明した加藤先生、武井先生のお名前は世界中の磁性材料の教科書に載っています。さらに、1985年から始まった日本国際賞（Japan Prize：日本版ノーベル賞）の第28回（2012年）において、ネオジウム磁石を開発した佐川真人氏（インターメタリックス）が受賞されました。これらは、日本の磁性材料の研究開発がいかに優れているかを示しているものと思います。我々は、これらの先輩方々の業績を受け継ぎ、今後も、世界をリードする磁性材料開発を続けていかなければならないと感じています。

2. 磁性材料を理解するために

三菱製鋼(株) 技術管理部 福田 方勝

まえがき

「磁性材料は構造材料と比べてわかりにくい」という声をよく聞きます。以下の理由が考えられると思います。①そもそも、軟質磁性材料／硬質磁性材料の意味、区別が分かりにくい。②電磁気で使う物理量やその単位になじみが薄い。③磁性材料の特性を表す物性値の意味が難しい。さらに、④磁性材料の特性を表す磁化曲線がよくわからない。これらについて、厳密さは多少犠牲にして解説し、磁性材料の理解を助けることとします。

◇ 軟質磁性材料と硬質磁性材料

磁性材料とは磁場に対して何らかの反応をする材料のことで、「軟質磁性材料」と「硬質磁性材料」に大別されます。軟質磁性材料は変圧器の鉄心などに用いられる材料で磁心材料ともよばれ、硬質磁性材料とは永久磁石のことで、磁性材料が工業的に使われだした20世紀初めには、鉄心材料としてはわずかに不純物を含み高温から徐冷した（焼きなまし）軟らかい軟鉄が使用されていました。一方、永久磁石としては炭素を1%程度含有する炭素鋼やクロム鋼を高温に加熱して急冷した（焼き入れ）硬い鋼が使用されていました。当時はこの材料の硬さが磁性材料の用途の区別として使われていました。しかし、現在ではこの区別と磁性材料の硬さとは全く無関係です。

軟質・硬質の区別は「保磁力」の大きさと分類します。保磁力は後で出てくる磁性材料の磁化曲線から理解できます。簡単にいうと、保磁力とは磁化された磁性体が反対の向きの磁場にどれだけ抵抗できるかの目安を表します。保磁力が小さいということを「磁氣的に軟らかい」と表現し、その性質を持った磁性材料を軟質磁性材料とよびます。保磁力が大きいということを「磁氣的に硬い」と表現し、その性質を持った磁性材料を硬質磁性材料とよびます（図1）。

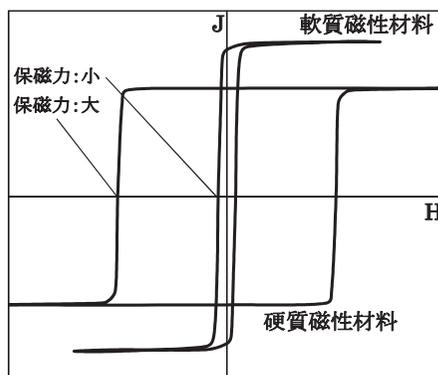


図 1 軟質磁性材料と硬質磁性材料の磁化曲線

◇ 磁性材料で使う物理量と単位

磁性材料の分野で使用される単位系はcgs系とMKSA系の二つです。現在はMKSA系で教育が行われていますが、磁性材料の分野ではいまだにcgs単位系を使用する習慣もあり（企業の年配のエンジニアの方はその傾向があります）、両者が共存している状況です。なお、以下にいくつかの記号がでてきますが、物理量を表す記号（慣習）と単位を表す記号（世界共通の規則）は全く別のものですから混同しないようにしてください。

磁性材料で使用する基本的な物理量は「磁場」「磁束密度」「磁化の強さ」の3つです。これらを表す記号、意味、単位を表1に示します。

「磁場」は H の記号で表します（後で出てくるインダクタンスの単位ヘンリーと混同しないようにしてください）。単位はA/m（アンペア毎メートル）です。コイル状に巻いた電線に電流を流すと磁場が発生しますが、その磁場の大きさはコイルの単位長さ当たりに流れる電流になります。cgs系の単位はOe（エルステッド）です。1Oe \approx 80A/mです。

「磁束密度」は B の記号で表します。MKSA系ではT（テスラ）、cgs系ではG（ガウス）です。GやTは大きな数を表す接頭語（ギガ、テラ）と同じですが混同しないようにしてください。10kG=1Tです。

表 1 磁性材料で使う物理量と単位

物理量	記号	説明	MKSA単位系	cgs単位系
磁場 (磁界)	H	磁性体に力を及ぼすような空間の性質。永久磁石のまわりや、電流を流した導線のまわりに存在する。	A/m (アンペア毎メートル)	Oe (エルステッド)
磁束密度	B	磁場があるところには磁束線(磁力線)が存在する。磁束線が一定面積のところにとどれだけ存在するかを表す。	T (テスラ)	G (ガウス)
磁化の強さ (磁気分極)	J	磁性体が磁場の中におかれると磁気を帯びる。その程度を示す。	Wb/m^2 (ウェーバ毎平方メートル)	G (ガウス)

「磁化の強さ(磁気分極)」は J の記号で表します(エネルギーの単位ジュールと混同しないようにしてください)。MKSA系では Wb/m^2 (ウェーバ毎平方メートル)、cgs系では G (ガウス)です。磁束密度と磁化の強さは同じ単位でよいのですが(cgs系ではどちらも G)、MKSA系では異なる名称を与えています。 $10kG=1Wb/m^2$ です。

磁性材料の中の磁束密度 B は空間の磁場 H と磁性材料の磁化の強さ J の合計で表されます。

$$\text{磁束密度} = \text{磁場} + \text{磁化の強さ}$$

◇ 磁化曲線と軟質磁性材料の性質

磁性材料は磁場により磁化され、磁場の強さにより磁化の状態も変わってきます。これを表したものが「磁化曲線」です。横軸には磁場 H を目盛ります。縦軸には、磁束密度 B を目盛る場合(B - H 曲線)と、磁化の強さ J を目盛る場合(J - H 曲線)の2つがあります。

1. 軟質磁性材料の磁化曲線

軟質磁性材料では加える磁場の範囲がそれほど大きくないので両者の差はほとんどなく、通常は B - H 曲線を用います(図2)。

磁性材料に全く磁場が加えられていない状態を消磁状態といい原点 O で表します。磁場を加えていくと $O \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c$ と磁束密度が増加していき飽和します。この曲線を「初磁化曲線」といいます。磁束密度が飽和した値を「飽和磁束密度」とよび B_s で表します。ここから磁場を減少させ、ついで反対方向に磁場を増加/減少させ、さらに正の方向に増加させるとループ状の曲線となります。これを「磁気履歴曲線(ヒステリシスカープ)」とよびます。

磁場が0の時、すなわち縦軸との交点 d で示される磁束密度を「残留磁束密度」とよび B_r で表します。磁束密度が0の時、すなわち横軸との交点

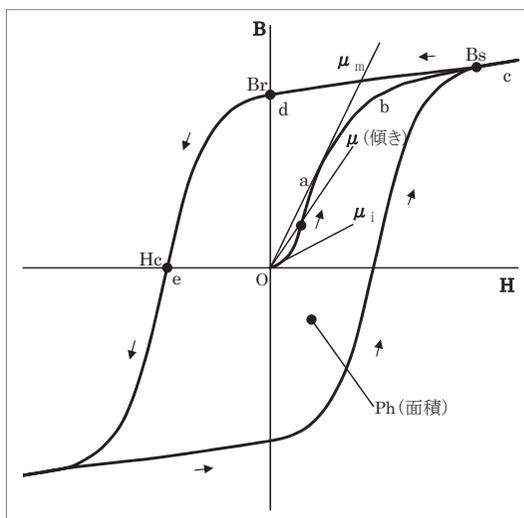


図 2 軟質磁性材料の磁化曲線

e で示される磁場を「保磁力」とよび H_c で表します。保磁力の値には負の符号はつけません。

なお、飽和していない状態での特定の磁場での磁束密度を「最大磁束密度」とよび B_m で表します(m は磁場の大きさ)。

2. 透磁率

初磁化曲線上の点と原点を結ぶ直線の傾きを「透磁率」とよび μ で表します(百万分の一を表すミクロンと混同しないようにしてください)。透磁率は、磁場が浸透するといったような意味合いで、磁性材料の磁化のしやすさの目安となるものです。以前は「導磁率」ともよびました。原点付近の磁場が小さい所での透磁率を「初透磁率」といい μ_i で表し、初磁化曲線上で最大となる透磁率を最大透磁率といい μ_m で表します。

透磁率の単位は H/m (ヘンリー毎メートル)ですが、これを用いることはほとんどなく、通常は、cgs系の単位を用います(明らかに便利なので)。

厳密な説明では、真空中の透磁率 μ_0 で割り算した「比透磁率」を用いるということですが、ほとんどの場合、単に透磁率とよんでいます。

◇ 交流で使用される軟質磁性材料

1. コアロスと鉄損

軟質磁性材料は磁気遮蔽や電磁石の継鉄以外の用途では交流磁場の下で使用されます。交流とは方向が+/-交互に変化するもので、1秒間に変化する割合を「周波数」とよび f の記号で表します。単位はHz（ヘルツ）です。交流磁場は正と負の磁場の繰り返しですから、磁気履歴曲線上を何回も周回することになり、磁性材料はそれが囲む面積に相当するエネルギーを消費します。これを「ヒステリシス損」といい P_h で表します。また、交流磁場の電磁誘導（コイルに磁場を近づけたり遠ざけたりするとコイルに電流が流れる現象）によって材料の中に渦電流が流れエネルギーを消費して損失の原因となります。これを「渦電流損」といい P_e で表します。ヒステリシス損と渦電流損の合計を「コアロス」とよび、 P_c で表します。「損（ロス）」というのはエネルギーを消費するという意味で通常は好ましくなく、ロスの小さい材料がよい材料ということになります。

コアロスの値は1秒間あたりの単位体積あたりで表し、単位は kW/m^3 （キロワット毎立法メートル）です。コアロスは使用される交流磁場の最大磁束密度と周波数により大きく異なりますから、それらを明示する必要があります。例えば、 P_c （100kHz、0.1T）というように必ず周波数と磁束密度を明示します。

一方、電磁鋼板ではコアロスの代わりに「鉄損」という用語を使用します。例えば、電力用の電磁鋼板では、最大磁束密度1.7T、周波数50Hzでの鉄損は $W_{1.7/50}$ と表します。添字の分子に磁束密度（Tの単位の10倍）、分母に周波数を表示します。慣習として、体積（ m^3 ）あたりではなく質量（kg）あたりで表し単位は W/kg （ワット毎キログラム）です。

2. インダクタンス

軟質磁性材料の主要な用途はトランスとインダクタです。インダクタは交流の電気回路においてコイルによる抵抗を与える電子部品です。コイルに磁石を近づけたり離したりすると電流が流れま

す（電磁誘導）。その度合いを「インダクタンス」といいます。インダクタンスは L の記号で表し、単位はH（ヘンリー）です。インダクタンスを大きくするためには、コイルの巻線を多くしたりコアを入れることが効果的です。コイルの形状や巻数が一定の場合コアの透磁率に比例します。そのため、インダクタのコアとして用いられる軟質磁性材料には高い透磁率が要求されます。交流の周波数が高くなると渦電流損の影響により透磁率も低下してきます。透磁率あるいはインダクタンスが周波数によりどのような値となるかを示したものを「周波数特性」といいます。できるだけ高い周波数まで高い透磁率を維持できる材料がよい軟質磁性材料といえます。

また、インダクタが用いられる交流回路では交流電流に直流電流を重ねて使用場合があります。これを「直流重畳（DCバイアス）」といいます。軟質磁性材料は磁化曲線で示されるように磁場の値が大きくなると磁束密度が飽和してきます。その結果、透磁率が低下してインダクタンスも低下します。重畳する直流電流に対するインダクタンスの低下の割合を「直流重畳特性」といいます。横軸に直流電流あるいはそれにより発生する磁場の大きさ、縦軸に直流電流が0の場合に対するインダクタンス（あるいは透磁率）の割合を示します。できるだけ大きな直流電流まで透磁率が低下しない材料が求められています。

3. 交流の透磁率（複素透磁率）

交流回路で使用される場合の透磁率を「実効透磁率」とよびます。詳しい計算は省略しますが、これは複素透磁率といわれ実数部と虚数部の2つの値を持ち、それぞれ μ' （ μ プライム） μ'' （ μ ダブルプライム）と表記します。通常 μ' は大きい方がよく、 μ'' は損失の原因となるので小さい方がよい材料といえます。 μ'' は低周波では無視できます。ただし、電磁遮蔽材などに使用する場合は、電磁波のエネルギーを熱として消費して吸収するため、遮蔽したい周波数領域においてある程度の大きさの μ'' が必要な場合もあります。

◇ 硬質磁性材料を理解するために

1. 保磁力

硬質磁性材料では保磁力が重要です。保磁力と

は磁気履歴曲線において横軸と交わる点ですが、それはどういう意味を持っているのでしょうか？

保磁力とは逆向きの磁場の中で磁化が反転するときの磁場の大きさです。以下の状況をイメージしてください（図3）。向かい風の中に磁化 J_s という矢印を持って立っている人がいます。風が弱いうち（-H1）は向かい風に対向して立っていますが、風がだんだん強くなっていく（-H2）と、ついには耐えられなくなり、後ろ向きに向きを変えてしまいます。矢印の向きも変わり、磁化が逆転します（ $-J_s$ ）。この時の向かい風の大きさが保磁力に相当します。

保磁力という言葉は磁力を保っているというような意味合いにとれますが、昔は逆磁場に抵抗するという意味で「抗磁力」と呼びました。こちらの名称の方が保磁力のイメージをよく表しているように思います。

保磁力の値はJ-H曲線とB-H曲線では異なるために H_{cJ} 、 H_{cB} の記号で区別します。軟質磁性材料ではその差はほとんどないため単に H_c で表します。 H_{cJ} は硬質磁性材料において特に重要であり「固有保磁力」とよびます。

2. 減磁曲線

硬質磁性材料では磁気履歴曲線の第2象限が重要で、その部分を「減磁曲線」といいます。B-H曲線とJ-H曲線では形が異なりますので注意が必要です。特に保磁力の値が違います（図4）。

B-H曲線の残留磁束密度から保磁力へ至る減磁

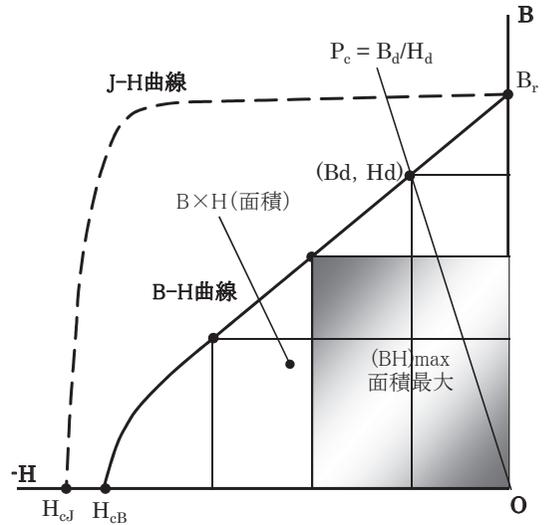


図 4 硬質磁性材料の磁化曲線（減磁曲線）

曲線上の点から、H軸、B軸へ垂線を引いてできる四角形の面積をエネルギー積とよびBHで表します。これは磁石に蓄えられるエネルギーを表します。減磁曲線上で最大となるエネルギー積を最大エネルギー積とよび、 $(BH)_{max}$ （ビー・エイチ・マキシマム）で表します。最大エネルギー積の単位は、磁束密度の単位Tと磁場の単位A/mの積から計算され、直感的には理解しにくいのですが J/m^3 となり、実用上は千倍した kJ/m^3 （キロ・ジュール毎立法メートル）を用います。cgs系では磁束密度の単位G、磁場の単位OeからGOeとなり、実用上は百万倍し

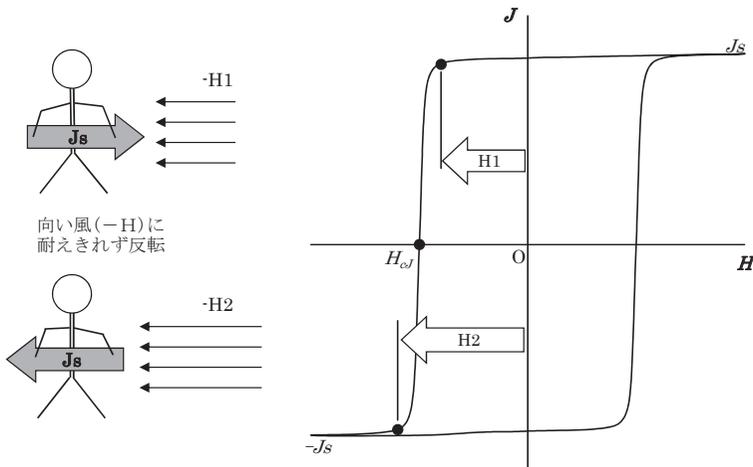


図 3 磁化曲線と保磁力のイメージ

たMGOe（メガ・ガウス・エルステッド）を用います。1MGOe \approx 8kJ/m³です。

3. パーミアンス係数

永久磁石を使用する場合の磁気特性は減磁曲線上の点で示されます。その点を動作点とよび、その点の磁束密度を B_d 、磁場を H_d （負号はつけません）で表し、それらの比（ B_d/H_d ）を「パーミアンス係数」とよび、 P_c で表します（軟質磁性材料のコアロスと同じ記号ですが混同することはないでしょう）。動作点すなわちパーミアンス係数は、永久磁石の寸法や継鉄（ヨーク）の磁気特性と寸法により変化します。永久磁石単体でみた場合には、細長い磁石の場合にはパーミアンス係数は大きくなり、扁平状の磁石の場合には小さくなります。動作点が最大エネルギー積を与える点と一致する場合、磁石の使用として最も効率が良いといえます。

4. 等方性と異方性

材料のすべての方向で同じ磁気特性を持つものを「等方性磁石」、特定の方向で優れている磁気特性を持つものを「異方性磁石」といいます。一般的に異方性の方が特性は優れていますが、用途によっては等方性の方が適している場合もあります。

5. 温度特性

永久磁石は温度に対する安定性も重要です。室温からの温度変化に対する残留磁束密度の変化率を α (B_r)、保磁力の変化率を α (H_{cj}) で表します。温度が1度上昇するときの変化の割合を示し、単位は%/K（パーセント毎ケルビン）です。

むすび

磁性材料を理解するために必要な用語を表2にまとめておきます。軟質磁性材料で重要な特性は、飽和磁束密度、透磁率、コアロス（鉄損）です。また、硬質磁性材料で重要な特性は、残留磁束密度、保磁力、最大エネルギー積です。これらがどういう意味を持っているかを理解することが重要です。漠然とした言い方をすれば、磁化曲線を磁性材料の健康診断記録とすれば、身長が高く（飽和磁束密度が高く）、姿勢がシャキッとしており（透磁率が高く）、体脂肪が少ない（コアロスが小さい）ことが、優れた軟質磁性材料といえるでしょう。一方、同じく、身長が高く（残留磁束密度が高く）、ウエストが大きい（保磁力が大きい）こと、すなわちメタボな材料が優れた硬質磁性材料といえるでしょうか（図1）。

表 2 磁性材料を理解するために必要な用語

	項目	記号	単位	説明
軟質磁性材料を理解するために	飽和磁束密度	B_s	T	磁性材料を磁化したときの磁束密度の飽和値
	最大磁束密度	B_m	T	特定の磁場での磁束密度 m : 磁場の大きさ
	透磁率	μ	—	磁束の通りやすさ。磁束密度と磁場の比
	初透磁率	μ_i	—	磁場の小さいところでの透磁率
	最大透磁率	μ_m	—	初磁化曲線上で最大となる透磁率
	ヒステリシス損	P_h	kJ/m ³	交流磁場により消費されるエネルギーロス
	渦電流損	P_e	kJ/m ³	交流磁場の電磁誘導による渦電流により消費されるエネルギーロス
	コアロス	P_c	kJ/m ³	ヒステリシス損と渦電流損の合計 ($P_c = P_h + P_e$)
	鉄損	$W_{xx/yy}$	W/kg	コアロスと同じ。電磁鋼板で用いる xx : 磁束密度 (Tの10倍) yy : 周波数 (Hz)
	保磁力	H_c	A/m	磁束密度 (B) が零となる逆磁場の大きさ
硬質磁性材料を理解するために	インダクタンス	L	H	コイルによる交流の抵抗。電磁誘導の度合い。
	実効透磁率	μ_e	—	交流磁場における透磁率。複素透磁率ともいう。 実数部 (μ') と虚数部 (μ'') からなる
	残留磁束密度	B_r	T	磁性材料を磁化して磁場を零としたときの磁束密度 (磁化曲線の縦軸との交点)
	保磁力	H_{cb} H_{cj}	A/m	H_{cb} : 磁束密度 (B) が零となる逆磁場の大きさ H_{cj} : 磁化の強さ (J) が零となる逆磁場の大きさ
	最大エネルギー積	(BH) _{max}	kJ/m ³	磁石に蓄えられるエネルギーの最大値 減磁曲線上の磁束密度と磁場の積の最大値
パーミアンス係数	P_c	—	減磁曲線上の磁束密度 (B_d) と磁場 (H_d) の比 ($P_c = B_d/H_d$)	

※ 透磁率に関する項目はすべて比透磁率で表し、単位は無名数となる。

Ⅱ．磁性材料各論

1．電磁鋼板

新日鐵住金(株) 田中一郎
電磁鋼板研究部

◇ 電磁鋼板とは

電磁鋼板は鉄の磁気特性を引き出した薄鋼板であり、構造用材料とのイメージの強い鉄鋼製品において、非常に珍しく機能材料として位置づけられています。モータや変圧器鉄心のほとんどに使用され、見えないところで我々の生活を支える重要な磁性材料です。世界中で年間1,000万トン以上生産されており（2007年）、朝起きてから、この拙文をお読みになっている今まで、電磁鋼板の恩恵にあずかっていない方はいらっしゃらないと思います。

電磁鋼板には無方向性電磁鋼板（Non-Oriented electrical steel, NO）と方向性電磁鋼板（Grain-Oriented electrical steel, GO）の二種類があり、用途に応じて使い分けられています。具体的には、モータへはNOを、変圧器へはGOを使用します。まず、これらの鉄心は薄鋼板である電磁鋼板の積層体であることをイメージしてください。モータは回転体のため、鉄心は板面内の全方向に磁化されることとなり、異方性の小さいNOが適しています。変圧器は磁化方向が一方向であるため、GOが適しています（図1）。

モータは電気エネルギーを磁気エネルギーを介して運動エネルギーに変換しますし、変圧器は電

気エネルギーを磁気エネルギーを介して、再度電気エネルギーに変換します。このとき、小さなスペースに磁気エネルギーを閉じ込める役割を電磁鋼板が担っており、理科の実験で作ったコイルと釘の電磁石における釘の役割を果たします。同じ鉄でも釘ではなく電磁鋼板を使用する理由は、冒頭に示したとおり電磁鋼板は磁気特性をとことん引き出しているためです。

電磁鋼板に要求される磁気特性には大きく分けて二つあります。一つは磁気エネルギーを閉じ込める性能である磁束密度（正確には、磁場に対する敏感さである透磁率）が高いことです。もう一つは電気エネルギーと磁気エネルギーの変換時に熱として失われる損失（鉄損）が小さいことです。電磁鋼板は、これら二つの特性を高めるための造り込みを施しています。

磁束密度を高める造り込みとは、結晶方位の制御に他なりません。鉄は原子一つ一つの持つ磁力（磁気モーメント）が強く、それぞれが平行に揃って自発的に磁化を形成する性質を持つ“強磁性体”の代表的な物質です。この磁化が結晶中でどの方向を向いているかによってエネルギーが変化するため、磁化されやすさが結晶の方向に依存する磁気異方性が発現します。鉄の結晶構造では $\langle 100 \rangle$ 軸が最も磁化されやすい方向（磁化容易軸）であり、この方向に揃えることで特定方向の磁束密度を高めることができます。GOは面内に $\langle 100 \rangle$ 軸を含む $\{110\}$ 面を、 $\langle 100 \rangle$ 軸が圧延方向から数度以内に収まるように揃えており、圧延方向の磁束密度を大幅に高めています。このような方位制御を施すことで、コイルに僅かな電流を流しただけで非常に強い電磁石が得られることになります。NOでは面内に $\langle 100 \rangle$ 軸を2方向含む $\{100\}$ 面を増やすほか、面内に $\langle 100 \rangle$ 軸を含まない $\{111\}$ 面を

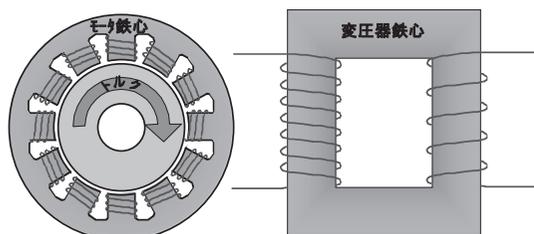


図 1 モータと変圧器の模式図

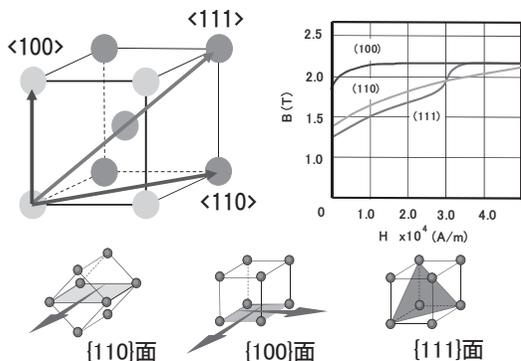


図 2 鉄の結晶構造と磁気異方性

低減することで磁束密度を高めています(図2)。

もう一方の重要な磁気特性である鉄損は、磁化変化で誘導される電流(渦電流)による発熱(渦電流損)が要因の一つです。そのため、渦電流の抑制を目的として電磁鋼板では電気抵抗を高める合金元素を積極的に添加しており、電気抵抗増加の効果が大きく、かつ安価な珪素(Si)が最もよく用いられています。鉄に珪素を加えると磁気特性が良くなることは1900年に英国人Hadfieldらによって見出され、かつて電磁鋼板は珪素鋼板(Silicon steel)とも呼ばれておりました。また、渦電流の抑制手段として板厚の薄手化も有効であり、同一の積層厚さでも板厚の薄い電磁鋼板を用いることで鉄心の損失を低減することができます。このとき、積層した鋼板間で渦電流が流れることのないよう、電磁鋼板の表面には絶縁被膜が施されています。電磁鋼板の板厚がGOで0.35, 0.30, 0.27, 0.23mm、NOで0.50, 0.35mmと、一般の鉄鋼材料と比較して薄いのはこのためです。これら渦電流を抑制する手法のほか、電磁鋼板が磁化されるのを妨げる結晶粒界、不純物、歪み等を低減し、<100>軸を鋼板面内で増加させることも鉄損低減には有効です。電磁鋼板はこれらを総合的に制御することで、鉄の磁気特性を引き出しています。以下、開発事例を紹介します。

◇ 高磁束密度低鉄損GO

変圧器は絶えず交流で磁化され、その寿命までの数十年間、エネルギー変換を続けると同時に鉄損を発生し続けることとなります。そのため、低鉄損のGOを使用することは、将来に涉りエネル

ギー消費を抑えられることを意味します。設置スペース、素材使用量、工費など、経済的な観点からは変圧器は小型化することが好ましく、電磁鋼板を高い磁束密度で使用するように設計されます。このような使用条件では一般に電磁鋼板の鉄損は大きくなるため、高磁束密度と低鉄損を兼ね備えたGOが望まれます。

高磁束密度低鉄損GOは、厳格な結晶方位制御により実現しています。前述した<100>軸の圧延方向への集積度が、従来のGOでは平均 7° であったものが、高磁束密度GOでは 3° まで高めることができました。これにより磁束密度が5%以上高くなり、高い磁束密度での鉄損を20%も下げることができました。

さて、変圧器に近づくとうーンという騒音を出していることにお気づきの方もいらっしゃるでしょう。この騒音の原因の一つはGOの“磁歪”です。磁歪とは電磁鋼板が磁化されたときに伸び縮みする現象ですから、使用する磁束密度を下げれば減少します。しかしながら、これでは高磁束密度設計の要請と背反するため、電磁鋼板自身に磁歪が小さいことが望まれます。高磁束密度GOでは磁歪が小さく、変圧器の騒音を低く抑えることができます。近年、住環境に対する意識の高まりと都市近郊に設置される変圧器が増えていることから、騒音に対する要求は強まっています。高磁束密度低鉄損GOは、今後も変圧器の高効率化と低騒音化に貢献し続けます。

◇ 磁区制御低鉄損GO

GOの鉄損をさらに低減する技術として、電磁鋼板の表面にレーザー処理や機械溝加工を施す“磁区制御技術”が開発されています。この原理を簡単にご説明しましょう。電磁鋼板の内部は均一に磁化されているわけではなく、同じ方向に磁化されている“磁区”に分かれています。小さな磁石に分かれている、と言ってもよいでしょう。図3はGOの磁区構造を示しています。白黒のコントラストは磁化の向きを表し、その境界である“磁壁”で磁化の向きが反転しています。

外部から磁場をかけた場合、磁壁が移動することで磁化されます。図3でいえば、右向きの磁場で白い磁区が増え、左向きの磁場で黒い磁区が増

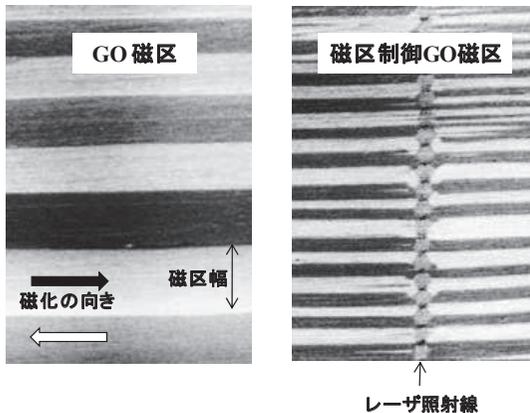


図 3 GOの磁区構造

えます。変圧器の鉄心のように交流で励磁した場合、図3の磁壁は上下の移動を繰り返し、鉄損の原因となる渦電流は磁化の向きが反転する磁壁に集中することになります。その際、磁壁の間隔（磁区幅）が小さい方が、それぞれの磁壁はゆっくりと動けばよく、誘導される渦電流は減少します。そのため鉄損も低く抑えることができます。図3-右はレーザー処理を施したGOの磁区構造であり、左と比べ細分化されているのが判ります。この磁区制御技術によって鉄損を10%近く低減したGOは、最高効率の変圧器に使用されています。

◇ 高効率NO

NOの主用途であるモータは、工場の機械設備や電車などの比較的大型な用途以外に、家庭でも数多く使用されています。なかでもエアコン、冷蔵庫等の長時間使用される家電製品はモータでの消

費電力量が大きく、この二つの用途のみで家庭内消費電力の約40%を占めています。省エネ法改正によるトップランナー方式導入にともない、消費電力量の多い機器については省エネ基準の達成が義務付けられることになりました。エアコン、冷蔵庫では圧縮機モータの効率改善が必須であり、鉄心での損失を低減するとともに、コイルに流れる電流による発熱（銅損）も低減する必要があります。このため、NOには低鉄損と高磁束密度（少ない電流で高い磁束密度が得られるため、銅損低減に有効）が求められます。

鉄損低減を目的として珪素などの合金元素を添加しますが、その分、強磁性体である鉄の分量が減り、磁束密度は低下します。この問題を解決するため、合金元素とプロセス条件を適正化し、同一の鉄損でも高い磁束密度を有する高効率NOシリーズが開発されました。高効率NOは、家電のみならずハイブリッド車の駆動モータなどにも使用され、我々の社会生活を支え続けています。

◇ 高張力NO

モータ性能向上を目的に、近年の高効率モータの多くは、図1の回転部分（回転子）の内部に永久磁石を埋め込んだIPMモータを採用しています。駆動条件や回転子の形状も多岐にわたり、高速回転時の遠心力による変形や、回転数変動に起因する疲労破壊など、機械特性の要求も増えてきました。この要請にこたえるため、降伏応力を高めた高張力NOが開発されています。

電磁鋼板は着々と進化しており、これからも変圧器、モータの高性能化を支えて続けていきます。

2. 高透磁率材料

山陽特殊製鋼(株) さわ だ とし ゆき
粉末事業部 澤田俊之

まえがき

磁性材料には軟質磁性材料と硬質磁性材料とがあり、軟質磁性材料とは、例えばFeに代表されるもので、自身単独では磁気を帯びていないが外部磁場により容易に磁化される材料である。一方、硬質磁性材料はいわゆる永久磁石として知られるように、それ自身が磁気を保持できる材料である。

本稿の表題にある「高透磁率材料」は軟質磁性材料であり、なかでも重要な磁気特性の1つである透磁率が高い材料である。高透磁率材料とは、外部磁場に対し敏感に磁気を帯びることができる材料のことであり、例えば周波数の高いわずかな交流磁場を与えた場合でも、高い応答性を示すとともに大きな磁化を発現できる材料といえる。

材料の透磁率は式(1)¹⁾に示されるように、一般に、結晶磁気異方性定数および磁歪定数が小さい材料ほど高くなることが知られている。結晶磁気異方性とは、磁性材料の結晶の対称性に起因するもので、結晶方位によって磁化することが容易な方位と困難な方位が存在する性質であり、結晶磁気異方性定数はこの性質の程度を示している。また磁歪とは、磁性材料が磁化される際に形状がわずかに変化する現象であり、磁歪定数はこの性質の程度を示している。つまり、結晶磁気異方性定数が大きい磁性材料は、磁化が容易な方位から困難な方位に変化する際の抵抗が大きく、磁歪定数が大きい材料は、磁化される際の形状変化にともなう抵抗が大きくなる。したがって、これら両定数が小さい磁性材料は、外部磁場により磁化される際の抵抗が小さく、結果として外部磁場に対し敏感に磁気を帯びることが可能な材料となる。

$$\mu \propto \frac{Bs^n}{|aK| + |b\sigma\lambda|} \quad (1)$$

ここで、 μ は透磁率、Bsは飽和磁束密度(磁化の最大容量)、Kは結晶磁気異方性定数、 σ は応力、 λ は磁歪定数であり、n、a、bは定数である。

このような特徴を利用し、高透磁率材料は、コイル、磁気回路の磁極片、磁気遮蔽部材、高周波減衰器をはじめ広い分野で用いられている。特に、パソコン、スマートフォン、携帯電話、LANシステム、ハイブリッド・電気自動車の電気制御系基板等に代表される電子機器に対しては、情報処理量の増大に伴う高周波数帯域化、環境負荷低減を目的とした低エネルギーロス化への要求が非常に大きくなっており、これらに必ず用いられる高透磁率材料に寄せられる期待はますます高まっているのが現状である。

本稿では、汎用の高透磁率材料として広く知られている、ソフトフェライト、珪素鋼、センダスト、パーマロイ、パーメンジュール、アモルファスについて、その特徴、用途および新たな動向を解説する。

◇ ソフトフェライト

ソフトフェライトは鉄の酸化物である Fe_2O_3 を主成分とし、Zn、Mn、Ni等の酸化物を含有した複合酸化物であり、次節以降で述べる金属系の磁性材料と比較すると、飽和磁束密度は小さい。一方、酸化物(セラミックス)であるため固有抵抗が高いという特徴を有し、高周波用途におけるエネルギーロス(発熱)が小さい。したがって、特にMHz帯域で使用されるコイル用の磁心材料として優れた特性を発揮する。また、ソフトフェライトは、原料となる酸化物粉末を粉砕法によって製造し、これを混合、成形、焼結することによって製品形状とするネットシェイプ工程で製造される。したがって、複雑な形状の製品でも大量に生産可能であり、その製造コストの利点からも、最も広く使用されている軟質磁性材料といえる。

代表的なソフトフェライトとしては、Mn-Zn系とNi-Zn系に大別される。Mn-Zn系はNi-Znと比べて、飽和磁束密度が大きいのが、固有抵抗はNi-Zn系の方が5桁以上も高いことから、前述の磁心材料

等には、その用途・環境に応じてそれぞれ使い分けられている。

◇ 珪素鋼

本合金はFeにSiを添加することにより、純Feよりも透磁率、固有抵抗等の特性を改善した磁性材料である。一方、Siを過剰に添加すると材料が硬く、脆くなり、加工性が劣化する。代表的な組成としてFe-3%SiおよびFe-6.5%Siがある。Fe-3%は良好な加工性を有し、圧延と熱処理により板状に加工することが可能であり、Fe-6.5%Siは磁歪定数がほぼゼロになる特徴を有している。また、これら珪素鋼はFeおよびSiという安価な原料のみで、比較的優れた磁気特性を示すことから、様々な電子機器の磁心材料として広く用いられている。

近年では、絶縁コーティングしたFe-Si系合金粉末を成形、焼結した圧粉磁心が開発され、ハイブリッド自動車のパワーコントロールユニットへ適用されるなど、粉末としての用途も今後拡大が期待されている。

◇ センダスト

本合金は、東北大学の増本、山本両博士によって1930年代に発明されたFe-10%Si-5%Alを基本組成とする磁性材料で、センダスト（仙台の粉）として知られている合金である。Fe-Si-Al系合金は前記の組成近傍で、結晶磁気異方性定数および磁歪定数が同時にほぼゼロになることから高い透磁率が得られる。後述するパーマロイと同等レベル

の高透磁率を有するとともに、高価なNiを含まないという点において工業的に極めて重要な磁性材料である。金属間化合物としての性格が強く（Fe₃SiとFe₃Alの混晶）、硬くて脆いため加工性に課題があるものの、粉末原料として活用することにより、オーディオ等の磁気ヘッド材料への用途が開かれたことをきっかけに、様々な用途で用いられるようになった。表1に、本合金の代表的な特性を示す。

近年では、扁平加工されたセンダスト粉末を、各種の樹脂に含有させてシート化した磁性シートが、スマートフォンをはじめとする携帯機器のノイズ対策として利用され始め、新たな用途として注目されるようになってきた。

◇ パーマロイ

パーマロイは、透磁率（permeability）が高い合金（alloy）として命名されたFe-Ni系合金である。1920年代にアメリカで発明され、多くの研究がなされた結果、Mo、Cu、Cr等を添加した多元系合金も開発され、コイル、磁気回路の磁極片、磁気遮蔽材、高周波減衰器として広く使用されている。表2に実用化されているパーマロイの主特性とその用途を示す。

PBパーマロイとして知られるFe-40~50%Niは、パーマロイ系としては最も飽和磁束密度が大きく磁気増幅器等に用いられる。

PCパーマロイはFe-70~80%Niに、少量の添加元素を含有したものであり、パーマロイの中でも

表 1 センダスト合金の主な特性

	透磁率 (μmax)	保磁力 (A/m)	固有抵抗 ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	飽和磁束密度 (T)
Fe-10%Si-5%Al	120,000	<0.1	80	1.0

表 2 パーマロイの特性と用途例

名称	成分		透磁率 (μmax)	飽和磁束密度 (T)	用途
	Ni量/%	他			
PBパーマロイ	40~50	—	50,000	1.5	磁極片 電磁鉄心
PCパーマロイ	70~80	Cr、Cu等	100,000	1.0	電磁鉄心 磁気遮蔽材
スーパーマロイ	79	5Mo	600,000	0.8	電磁鉄心 磁気遮蔽材

特に高い透磁率を示すことから、各種電磁鉄心用途として広く使用されている。

PCパーマロイの中でも、Fe-79%Ni-5%Moからなる組成はスーパーマロイと呼ばれ、最も透磁率の大きい磁性材料として知られている。

◇ パーメンジュール

Fe-Co系2元合金はFe-35%Co近傍の組成で最も高い飽和磁束密度を示すが、前記組成は透磁率が比較的低い。そこで、これよりも少しCoを増量することで、飽和磁束密度をわずかに低下させるだけで、高い透磁率が得られるFe-50%Co近傍の合金がパーメンジュールとして利用される。代表的な組成はFe-49%Co-2%Vであり、工業材料のなかで最も飽和磁束密度が高い（約2.4T）軟質磁性材料として古くから知られており、小型・高出力モーター、高磁力を要する電磁弁やアクチュエーターに使用されている。一般にFe-50%Co近傍の2元系合金は規則構造を形成し非常に脆くなるため、加工が困難であった。Vはこの規則構造の生成を抑制する目的で見出された添加元素で、これにより本合金は広く使用されることになった。

◇ アモルファス

一般的な金属は結晶構造を有しており、構成す

る原子が周期的に配列し、様々な格子を組んでいる。これに対し、アモルファス（amorphous）は構成原子がランダムに配置された材料である。したがって、結晶構造に起因する磁気異方性の影響がなく、一般に高い透磁率を示す合金が多い。

アモルファス状態は非金属ではしばしば見られるが、金属にもアモルファス状態が存在することは、1960年代にアメリカで発見されて以来、現在に至るまで数々の研究が進められおり、国内でも東北大学を中心としてアモルファス合金についての膨大な量の研究が蓄積されている。アモルファス構造の大きな特徴は、高強度、高磁気特性、高耐食性、高電気抵抗にあり、テープレコーダーのヘッドやトランスの磁心材料等に実用化されている。

また、2005年に実用化し現在の磁気記録媒体の主流となった垂直磁気記録方式における軟磁性裏打ち層にもアモルファス合金が用いられている。スパッタリング法により成膜されるこの層には、薄膜の平滑性改善や、磁壁にともなうスパイクノイズの抑制を目的とし、Fe-Co-B系やFe-Co-Ta-Zr系等のアモルファス合金が適用されている。

参考文献

- 1) 小沼稔：磁性材料、工学図書（1996）、28

3. 電磁ステンレス鋼

東北特殊鋼(株) かね こ ひろ ゆき
技 術 部 **金 子 浩 幸**

まえがき

近年、自動制御、遠隔操作装置の発達に伴い電磁弁をはじめとする各種コントロール用アクチュエータの鉄芯材料として電磁ステンレス鋼の使用が増加している。その中において、アクチュエータの小型化、制御技術の進歩により電磁ステンレス鋼には磁性材としての磁気特性に加え高い信頼性が求められている。

これらの機器に使用される磁芯材料は基本特性として、高透磁率、低保磁力で、安定した磁気特性や、耐ヘタリ性等の耐久性に加え、昨今のコストダウン競争において要求される部品加工での高速切削性、高精度仕上げ性、冷鍛性への対応等、加工技術の高度化に伴い材料に対する要求特性も多様化してきている。

ここでは図1に示す磁性材料マップのうちクロムを添加し耐食性を持たせた電磁ステンレス鋼の用途及び特長を中心として、今後の問題点などについて述べる。

◇ 電磁ステンレス鋼とは

電磁ステンレス鋼は電磁アクチュエータとして利用されており、鉄系及び鉄-ニッケル系のパーマロイ系材へのメッキ処理部品では耐食性が足り

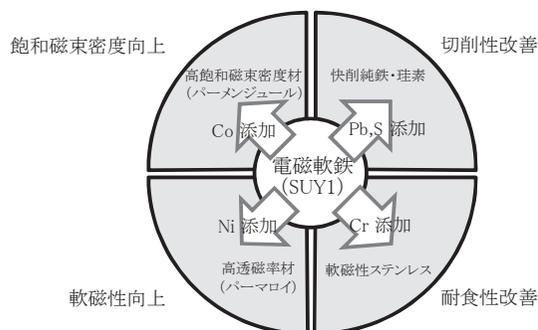


図 1 軟磁性材マップ

ない環境下で採用されている。

電磁ステンレス鋼ではクロムを10~20%含むフェライト系ステンレス鋼をベースとしてシリコンやアルミニウム等を適量添加することにより安定した磁気特性や高固有抵抗を得ている。

また、JISG4303にはステンレス鋼とSUS430を代表とするフェライト系ステンレスがあるが、JIS規格には磁気特性の規定が無い。このため、磁気的な特性要求が緩い用途に汎用のSUS430が用いられている場合もあるが、高精度な制御が必要な機器向けには、磁気特性の厳しい品質管理が求められる。

このため特殊鋼メーカー各社は特色を持たせた独自規格の製品を提供している。

◇ 電磁ステンレスの用途例

電磁ステンレスの用途は非常に広範囲であり、民生用、産業用の自動制御機器のアクチュエータ用として欠かせない素材となっている。

電磁ステンレス鋼の主な用途例を下記に示す。

1. 電磁弁 (油圧・空圧・水・ガス用)
2. 電磁ポンプ
3. 自動車用燃料噴射装置部品
4. 自動車用回転センサー及びアクチュエータ
5. 電磁開閉器及び継電器 (直流通用、交流用)
エアコン、冷蔵庫、ファンヒーター
6. その他

磁気シールド、各種センサー

上記の中でも自動車向けの用途が多く、燃料噴射装置、燃料ポンプ、ABSブレーキセンサー、カーエアコン、トランスミッション電磁弁等の機能性部品として多く使用されている。特に近年の自動車の低燃費化の動きに合わせ電磁ステンレス鋼への期待が高まっている。

代表例として可動及び固定鉄芯に使用されている燃料噴射装置を図2に示す。

国内だけでなく欧州におけるエンジンのダウンサイジングに代表されるように自動車の小型/軽

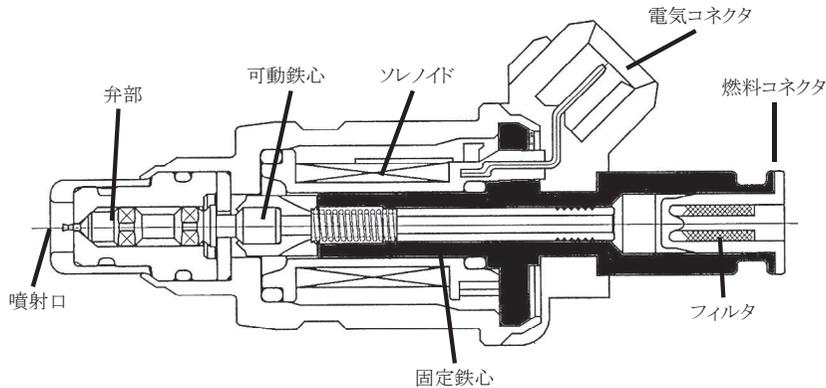


図 2 燃料噴射装置

量化が進む中、緻密なエンジン制御が必要になると並行して、小型化された部品でも従来と同等以上の高い応答性と駆動力を安定して発揮できる磁気特性を持つ電磁ステンレス鋼が求められている。

◇ 電磁ステンレス鋼に求められる機能性について

磁気特性：

軟磁性材料として使用されるため応答性が良く少ない電力で高い駆動力が得られる材料が求められる。具体的には低保磁力、高磁束密度、高透磁率が代表的な要求特性である。特に保磁力は磁場の変化に対する材料の磁化の追従性を示すもので、アクチュエータの応答性に関わる重要な特性のひとつである。

なお、磁気特性は切削加工時の加工歪の影響を受け低下するため、部品加工後に磁気特性回復を目的とした磁気焼鈍を行うことが一般的である。

耐食性：

自動車用燃料噴射装置としては国内で販売されている良質なガソリンだけではなく新興国の粗悪燃料やバイオエタノールを添加した混合燃料に対応可能な耐食性が求められる。電磁弁としては冷媒ガス、エア、油、水だけでなく海水や半導体プロセスガスとして用いられる高腐食性ガスという様々な環境下で使用されるため、電磁弁として触れる媒体の種類によって慎重に素材を選定する必要がある。

耐食性の向上のために、Mo、Ni、Cu等を添加

した電磁ステンレスも種々開発されている。

機械特性：

電磁ステンレス鋼はアクチュエータとして使用されることが多いため磁性材料でかつ構造材料としての側面を持っている。特に可動鉄芯として使われる場合はON/OFFを繰り返すため耐ヘタリ性が求められる。また、燃料噴射装置や電磁弁において固定鉄芯やスリーブとして使用される場合は燃料や作動流体の漏洩を防止する流路を兼ねているため、引張強度をはじめとする機械特性も重要視される。

切削性：

ステンレス鋼は非鉄系材料や一般構造用鋼と比較し切削性は劣ると言われている。その一方でアクチュエータとして採用される場合が多い電磁ステンレス鋼のほとんどの部品は切削加工される。そのため、生産性を確保するために切削性は大きな要素となっており、各特殊鋼メーカーは切削性の向上のために快削元素を添加している。しかし、電磁ステンレス鋼において快削元素の添加は磁気特性や耐食性とトレードオフの関係にあるため、快削元素の種類及び添加量は各社工夫を凝らしている。快削元素の種類によって生産性に差が出るだけでなく部品加工精度や磁気特性、耐食性に大きな影響を及ぼすことから要求機能を踏まえた快削元素選定が重要となる。代表的な快削元素としては、Pb、MnS、Ca等が挙げられる。

鍛造性：

電磁ステンレス鋼が燃料噴射装置に使用されるから、素材の歩留り向上及び加工工数削減による

コストダウンを目的として部品の製造法が切削加工から冷鍛&切削加工へ推移してきた。この動きに合わせ、素材形状はバーに加えコイルや帯の仕様も増えた。鍛造性は機械特性（伸び・絞り）だけでなく快削元素をはじめとする介在物量にも関係するため、冷間鍛造をする場合は介在物の視点での素材選定も重要となる。

また、鍛造後の部品は歪の影響を受け磁気特性が低下するため、部品加工後に磁気特性回復のための磁気焼鈍を行う必要がある。

◇ 使用環境と電磁ステンレス鋼について

電磁ステンレス鋼の使用される環境は油、空気、水、海水など様々であり、その環境に適合した材質を選択する必要がある。一般的にはCrの含有量が多いほど厳しい環境に対応できる耐食性を有している。

例として東北特殊鋼のK-Mシリーズの特性値を表1に示す。市場で主に流通しているものは主に13Cr系18Cr系に分けることができ、使用環境や要求特性によって使い分けされている。特にK-M31は産業機械用電磁弁、K-M35FLは自動車関連部品、K-M38は水用電磁弁や半導体装置関連で使用されている。

◇ 国内外の動向

海外の先進国からは高性能・小型化の要求が高まっているのに対し、中国や東南アジアに代表さ

れる新興国向けとして従来品質の電磁ステンレスのニーズも有る。アジア圏内では近年自動車の所有率が急速に増加していることに加え、排気ガスによる環境問題が深刻になっている。このため、今後現地メーカーの電磁材料では、要求特性への対応が困難となり、用途に応じて特性管理された電磁ステンレス鋼を使う動きが加速することが考えられる。

◇ 今後 電磁ステンレス鋼に求められる要求

エンジンの小型化・軽量化に伴い自動車燃料噴射装置も小型化され、より緻密な動作制御が必要になる。そのため、電磁ステンレス鋼には高固有抵抗化に加え従来よりも高磁場で駆動力を確保する設計思想となっていくことが考えられるため高磁束密度化も課題のひとつである。

また、部品製造のコストダウンのために部品加工後の磁気特性回復のための磁気焼鈍の省略や、耐食性向上及び耐磨耗性を目的として実施していたコーティング/メッキを省略する動きも見られる。

弊社では、お客様の要求に応じて出荷状態における磁気特性を保証する（低保磁力）ために、バー材全数の保磁力をインラインで測定する製造体制を整えており、部品メーカーでの磁気焼鈍省略を可能としている。

参考文献

- 1) 自動車技術ハンドブック2、自動車技術協会

表 1 K-M鋼諸特性一覧 注) 磁束密度・保磁力は磁気焼鈍後の値

鋼種名	主成分	磁束密度 (T)				保磁力 (A/cm)	固有抵抗 ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	硬さ HRB	孔食電位 (mV)	主な用途
		B1	B5	B10	B25					
K-M31	13Cr-2Si	0.10	0.93	1.13	1.26	1.51	92	90	-60	油、空気用電磁弁
K-M35FL	13Cr-1Si-0.3Al-Pb	0.36	1.08	1.21	1.33	0.72	72	70	-150	自動車用燃料噴射装置
K-M62F	13Cr-0.1Si-1Al-0.5Mo-Pb	0.32	1.08	1.18	1.28	0.88	76	71	20	自動車用燃料噴射装置
K-M38	18Cr-2Si-2Mo-X	0.22	0.86	1.03	1.16	0.89	85	92	360	水用電磁弁
K-M45	20Cr-2Si-2Mo-X	0.30	0.89	1.00	1.10	0.75	109	92	850	海水・高腐食性ガス環境
SUS430F	18Cr-S	0.03	0.54	0.99	1.26	2.42	76	83	200	比較用 JIS鋼

4. 軟質磁性粉末

大同特殊鋼(株) 研究開発本部 藤田雄一郎
電磁材料研究所 軟磁性材料研究室

まえがき

一般に電子機器は動作周波数を高めるほど、小型化できるため、高周波化という技術の方向性がある。しかしながら、金属系軟質磁性材料を高周波で使用する場合、ソフトフェライトのように電気抵抗が高くないため渦電流が発生し、それによりジュール損失が生じたり、透磁率が低下したりしてしまう。渦電流を低減するためには渦電流の発生する断面積を小さくすることが有効であるため、高周波用途においては粉末形状の金属系軟質磁性材料が使用される。軟質磁性粉末はインゴットを粉砕したり、溶湯流を水やガスなどの噴霧媒体により粉化するアトマイズ法によって作製される。

軟質磁性粉末の応用例としては高周波で用いられる圧粉磁心や磁性シートなどがあり、本稿ではこれらについて述べる。

◇ 圧粉磁心

1. 圧粉磁心とは

圧粉磁心とは、軟質磁性粉末の表面に絶縁処理を施したり、絶縁性の結着材を混合したものを金型に充填し、圧粉成形して作製した磁心材料である(断面模式図を図1に示す)。

圧粉磁心は粉末間の絶縁に伴う粉末間の磁气的

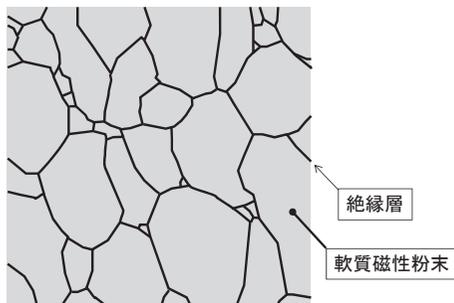


図 1 圧粉磁心 (断面模式図)

ギャップの存在により、初透磁率は20~150程度とソフトフェライトや電磁鋼板などと比較して低いが、高磁界まで磁気飽和しにくく、また高い周波数においても渦電流損失が小さいため、透磁率が低下しないといった特長がある。

圧粉磁心にはコイルが巻かれ、主にチョークコイル、リアクトルやトランスなどの電気・電子部品となり、スイッチング電源や DC/DC コンバータなど、各種の電力変換回路で使用される。磁芯の形状には、トロイダル形状や、U型形状、E型形状のものなどがあり、大きさも数g~数kgのものまで扱う電力や用途によって様々である。

近年では、携帯機器などに代表されるように、電子機器の小型化に伴いコイル部品にも低背・小型化や実装密度の向上が求められ、回路基板上に表面実装する形の小型のコイル部品が用いられる場合も多い。このような場合、絶縁処理した軟質磁性金属粉末とコイルを一体成型したメタルコンポジットインダクタと呼ばれるコイル部品も広く使われている。

2. 圧粉磁心に求められる特性

圧粉磁心に求められる特性としては、透磁率が高いこと、重畳特性が高いこと、鉄損が少ないことが挙げられる。

重畳特性が高いというのは、磁界をかけた時の透磁率の低下が小さいことを意味する。コイル部品の特性値であるインダクタンスは磁心の透磁率に比例し、磁心にかかる磁界は流れる電流に比例するため、重畳特性が高い磁心材料を用いれば、大きな直流電流が重畳されてもインダクタンスの低下が小さい大電流用途に適したコイル部品とすることができる。高い磁界でも透磁率が低下しないということは、言い換えれば磁心の磁束密度が飽和しにくいということである。金属系軟質磁性材料はソフトフェライトと比べると、磁束密度が高いことが特長であり、コイル部品の重畳特性という点では有利となる。

また、鉄損が少ないということは、コイル部品の損失を低減することになり電源回路の効率向上につながり、部品の損失による発熱自体を抑制することができる。

3. 圧粉磁心の種類・用途

圧粉磁心に用いられる軟質磁性合金としては、Fe-Ni系（パーマロイ）、Fe-Si-Al系（センダスト）、Fe-Si系、純鉄などがある。

PCパーマロイ（Fe-70～80%Niに少量の添加元素）は鉄損が極めて低く、高い透磁率が得られるが、Niを多量に含むためコストが高いことが難点である。PBパーマロイ（Fe-40～50%Ni）は損失が低く、比較的磁束密度が高いため、重畳特性が良好である。センダスト（Fe-9.5%Si-5.5%Al）は鉄損が低く、Niを含まないため安価である。これらの材料の圧粉磁心は、主に数十～数百gの重量の磁心でトロイダル形状に成形されることが多く、100kHz付近の周波数で動作する数十～数百W程度の各種電源回路などに用いられている。

これらの材料に比べると純鉄やFe-Si系合金は損失は大きい、磁束密度の大きな材料であるため重畳特性が良好であり、大電流用途に向いている。出力がkWクラスの比較的大きなコイル部品であるリアクトルには従来より電磁鋼板が用いられていたが、動作周波数が10～20kHz程度まで高周波化されるに伴い渦電流損失を抑制する必要があるため、純鉄やFe-Si系などの圧粉磁心の適用が進められている。

一方で、ノートPCや携帯端末などの電源回路においては、コイル部品に小型化の要求が強く動作周波数が数百kHz～数MHz程度と高いため、磁心材料としては従来ソフトフェライトが用いられてきたが、さらなる小型化や高機能化に伴う大電流化に対応するため、最近ではより高い磁束密度を持ち重畳特性に優れた圧粉磁心が用いられるようになってきている。高い周波数に対応して渦電流損失を低減する必要があるため、平均粒径で数～20 μm 程度の微粉末が用いられる。

また、圧粉磁心に用いられる軟質磁性粉末自体の開発も進められており、低損失と高磁束密度の両立を狙ったFe基アモルファス粉末やFe基金属ガラス粉末などの製造・適用もすすめられている^{1), 2)}。

◇ 磁性シート

1. ノイズ抑制シート

近年、携帯通信端末、デジタルカメラ、ノートPCなどの電子機器の小型化、多機能化に伴い、そこに搭載される電子デバイス的高速化・高集積化はますます進み、デバイス間で電磁波ノイズによる干渉や誤動作などが問題になってきている。しかしながら、電子機器の設計段階ですべてのノイズ対策を実施することは難しいため、対策部材としてノイズ抑制シートが広く利用されている。

ノイズ抑制シートは一般的には、大きなアスペクト比を持つ扁平状の軟質磁性金属粉末をゴムなどのポリマー中に配向、配列させた磁性シートである（断面模式図を図2に示す）。数十 μm ～1mm程度の厚さで柔軟性があり、切断加工や曲面への貼り付けが可能であり、対象部へ貼り付けるだけで簡便にGHz帯までの高周波ノイズを抑制することができる。

ノイズ抑制シートは磁性体の磁気損失を利用して電磁干渉を抑制するものであり、その効果はノイズ対策の必要な周波数帯域における複素透磁率（ $\mu = \mu' - j\mu''$ ）の損失項 μ'' の大きさとシートの厚さの積が大きいほど優れる。小型化が進む最近の携帯機器においては、できるだけ薄いシートで効果を得ることが必要となるため、シートの透磁率を高めることが求められる。磁性シートに用いる軟質磁性金属粉末として扁平状粉末を用いる理由はこの点にあり、軟質磁性粉末の厚さを薄く、高扁平化することにより反磁界を低減し、必要な周波数帯域での透磁率を確保している。

透磁率の他にも、環境対応としてハロゲンフリー化の要求や、難燃性確保の要求があり、これらの要求を満たすために、軟質磁性金属粉だけでなくポリマーなどの改良も合わせて行われている³⁾。

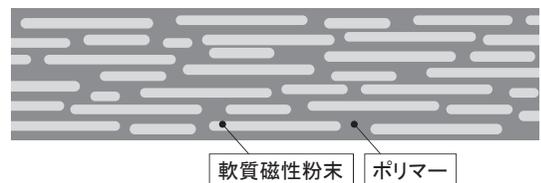


図 2 ノイズ抑制シート（断面模式図）

2. RFID (Radio Frequency IDentification) 用磁性シート

軟質磁性粉末を用いた磁性シートはノイズ対策用以外にも通信環境改善用途にも利用されている。

13.56MHz帯の近距離無線通信規格であるNFC (Near Field Communication) や非接触ICカードといった電磁誘導を利用したRFIDのシステムが広がっているが、リーダー／ライターおよびICタグのアンテナが金属表面に近接されると、金属面に生じた渦電流によって通信に必要な磁界が弱まるため十分な通信距離が得られない。その解決策として、アンテナと金属表面の間に磁性シートを挟むことで渦電流の発生を抑制して、通信距離を確保することが行われている。なお、この用途の場合は磁性シートの複素透磁率の損失項 μ'' が小さい

ことが求められ、その目的に合わせた特性に調整された磁性シートが用意されている。

むすび

今回、高周波用の軟質磁性材料として圧粉磁心と磁性シートという、軟質磁性粉末の適用例を紹介した。電子機器の小型化や高機能化の流れは今後も進むと予想されており、高周波に適した軟質磁性粉末の用途がますます拡大していくことが期待される。

参考文献

- 1) I. Otsuka, Y. Maeta, K. Ishiyama, and M. Yagi: J. Jpn. Soc. Powder and Powder Metallurgy, 56, 563 (2009)
- 2) T. Mizushima, H. Koshiba, Y. Naito and A. Inoue: J. Jpn. Soc. Powder and Powder Metallurgy, 55, 146 (2008)
- 3) 廣谷真澄：工業材料 Vol. 59, No. 2, pp. 64 (2011)



5. 希土類磁石

日立金属(株) 磁性材料カンパニー 企画部 丸川泰弘

まえがき (希土類磁石の歴史)

永久磁石は、我々の身近な材料でさまざまな分野（ヘッドホンのマイクロスピーカやハイブリッド用駆動モータ等）で利用されている機能材料であると言える。図1に永久磁石の磁石特性の一つである最大エネルギー積の推移を示す。永久

磁石は1917年に本多光太郎博士によって発明された焼入れ硬化鋼磁石（KS鋼）から発展したアルニコ磁石、1932年に加藤、武井博士に発明された酸化物磁石に始まり、1952年にフィリップス社より開発されたフェライト磁石、1966年から始まるSmCo磁石、NdFeB磁石に代表される希土類磁石に大別される。

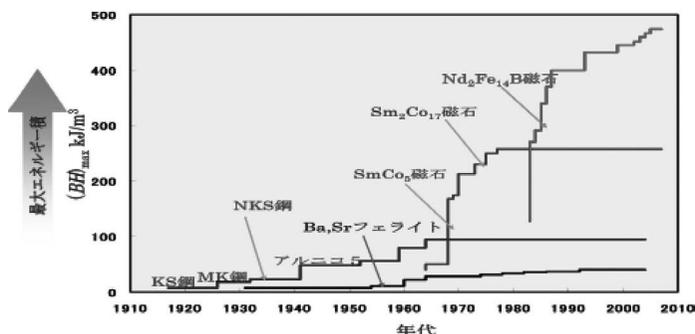


図 1 磁石特性推移

表 1 代表的な鉱床の希土類含有量

鉱物名	Bastnaesite	Ion adsorption	Bastnaesite	Monazite	Fergusonite
産地	Bayan Obo (中国)	Longnan (中国)	Mountain Pass (米国)	Mount Weld (オーストラリア)	Thor Lake (カナダ)
La ₂ O ₃	25.00	1.82	33.2	25.50	0.30
CeO ₂	50.00	0.40	49.1	46.74	4.40
Pr ₆ O ₁₁	5.10	0.70	4.3	5.32	1.70
Nd ₂ O ₃	16.70	3.00	12.0	18.50	15.60
Sm ₂ O ₃	1.20	2.80	0.8	2.27	10.40
EU ₂ O ₃	0.20	0.10	0.12	0.44	1.60
Gd ₂ O ₃	0.70	6.90	0.17	0.00	14.30
Tb ₄ O ₇	—	1.30	—	0.07	1.80
Dv ₂ O ₃	—	6.70	—	0.12	9.80
Ho ₂ O ₃	—	1.60	—	0.00	1.20
Er ₂ O ₃	—	4.90	—	0.03	4.10
Tm ₂ O ₃	—	0.70	—	0.00	0.70
Yb ₂ O ₃	—	2.50	—	0.06	4.40
Lu ₂ O ₃	—	0.40	—	0.00	0.70
Y ₂ O ₃	0.20	65.00	0.1	0.35	29.00

1960年代になると希土類と遷移金属の合金の研究が盛んになり、1966年に米国デイトン大学のStrnat博士らによってY, Ce, Smなどの軽希土類元素とコバルト (Co) から構成されるRCo₅型の金属間化合物が高性能磁石になる可能性が示唆され、その後SmCo₅系磁石で実用化された。その後の改良は日本で進められSmCo₅からSm₂Co₁₇系磁石へ発展しSm-Co系磁石はキュリー温度が高く磁束の温度安定性が優れている特徴を有しているがSm-Co系磁石は、表1²⁾からも分かるようにSmはNdに比べ資源量が少なくCoも鉄に比べ資源的に限定されていることから、この磁石には資源と価格の問題がついて回った。

この問題の解決方法として、Smを他の軽希土類元素で、Coを鉄に置き換えることが考えられたが、まずSmをLa, Ceでの置き換えは、La, Ceでは結晶磁気異方性が小さく磁石にならず、Ndではその容易磁化方向が面内にあり磁石化が困難であった。またCoをFeで置き換える問題は最も高いキュリー温度を持つSm₂Fe₁₇でも100℃以下なので実用的な磁石とするのは困難と考えられた。その後1982年に住友特殊金属（現日立金属）においてNd-FeにBを添加した3元素の化合物 (Nd₂Fe₁₄B)¹⁾により高い軸異方性と実用磁石として十分なキュリー温度が実現された。Nd-Fe-B焼結磁石は開発後、3年経った1985年10月に量産が開始され、その優れた磁石特性より大きな発展を遂げた。

図2に各種永久磁石の国内生産金額を示す。

Nd-Fe-B焼結磁石が量産開始された1985年以降希土類磁石の大部分はNd-Fe-B焼結磁石が占めている。Nd-Fe-B焼結磁石の開発当初はハードディスクドライブ (HDD) に使われるボイスコイルモータ (VCM) が主な用途であったが、97年京都議定書以降省エネルギーの要求機運の高まりによりエアコン用コンプレッサーモータ、電動パワーステアリング、ハイブリッド自動車用モータ等の新規用途も加わり、景気動向及び原料価格の影響を受けながらも市場は拡大してきている。

酸化物磁石であるフェライト磁石は安価な酸化鉄を主成分としており、永久磁石の中では、重量的にはもっとも多く使われているが、国内では磁石ユーザの海外生産シフト等により生産量は減少している。

◇ 希土類原料

2010年9月に起きた尖閣諸島沖の中国漁船拿捕事件を発端として、希土類資源が注目されるようになった。希土類元素は周期律表のランタノイド15種とSc及びYを加えた17元素の総称であり表1²⁾に示す通り、希土類鉱床は一般的に、La, Pr, Ndなどの軽希土類元素を主体とする鉱床とTb, Dyなどの重希土類元素を多く含む鉱床に大別される。重希土類元素を多く含む鉱床で現在商業生産されているのはイオン吸着鉱であり、その生産は中国に大きく依存している。1980年代初頭の希土類の供給先は主に米国であったが、その後中国の採掘

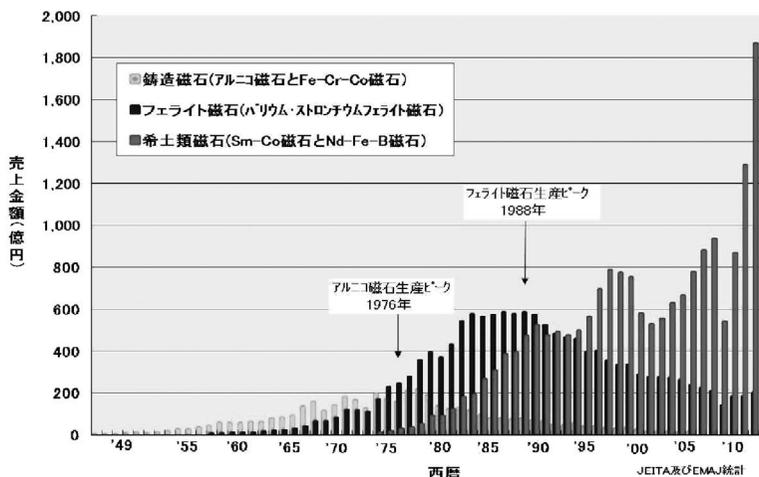


図 2 永久磁石国内生産金額推移

量が拡大し、中国から供給される原料価格が米国、オーストラリア産より大幅に安価であったために2000年初頭には米国、オーストラリアは生産を中止し、その後は中国がほぼ独占する状態となった。尖閣問題を契機として日本向希土類の輸出が滞る事態となり、投機マネー等の流入もあり希土類価格が急騰したが、直近の価格はピーク時に比べると大きく低下し安定している。

軽希土類を含む鉱石は、米国、オーストラリアなどの中国外からの鉱山からの産出が再開している。また表1²⁾に示す通り希土類鉱石には含有率の差はあるが17種類の希土類が含まれており、鉱石から各元素が分離されるためこれら全ての元素がバランス良く使われることが大変重要である。従来ガラス等の研磨に使われていたCeは価格高騰時に代替技術が進み、使われなくなり現在の希土類使用バランスは大きく崩れている。

Nd-Fe-B焼結磁石は高温で使えるようにする為に重希土類 (Tb, Dy) が使われる。この重希土類 (Tb, Dy) は、中国華南地区で算出されるイオン吸着鉱に依存している。重希土類元素を含む鉱石についても世界中で見つかってはいるが、Th,U等の放射性元素の問題及び採掘コスト等の観点からここ数年は中国に依存する状況が続くものと考えられる。したがって、Nd-Fe-B焼結磁石にとってDy使用量を減らすことは最重要課題である。また、中国は資源保全と言う名目から中国国内流通価格と輸出価格に差が生じていることから日米欧はWTO違反として提訴に踏み切り、今年3月WTOは日米欧の主張を認め、中国に輸出規制等の是正勧告したが、中国はこれを不服として上級委員会に上告中で今後の動向を注視する必要がある。

◇ Nd-Fe-B焼結磁石

Nd-Fe-B焼結磁石が開発されて以来、磁石特性の改良が続いており最大エネルギー積のチャンピオンデータは $474\text{kJ}/\text{m}^3$ (59.5MGOe)³⁾ が得られている。この値は、この磁石の主相化合物である $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 金属間化合物の室温の飽和磁化 1.6T から予想された理論値である $509\text{kJ}/\text{m}^3$ (64MGOe) の93%に達し、現在残留磁束密度は 1.5T を超える磁石が生産されるようになってきており、磁石組成だけでなく工程中に含まれる酸素の削減や配高度

など磁石製造の各工程で改良が進められている。

Nd-Fe-B焼結磁石の保磁力は温度上昇とともに減少する為、高温で使うためには室温における保磁力を高温で減磁が起こらないように十分大きくするか、保磁力の温度係数を小さくして高温での保磁力を確保する必要があるが現在迄のところ、保磁力の温度係数を小さくすることは実現出来ておらず、室温での保磁力を大きくすることにより高温での保磁力を確保する方法が用いられている。

Nd-Fe-B焼結磁石の保磁力を大きくするためには従来、ジスプロシウム (Dy) やテルビウム (Tb) といった重希土類元素でNdの一部を置換する方法が取られるが、この場合保磁力は向上するが残留磁束密度は減少する。また保磁力は主相結晶粒の粒径によっても変化することが知られており、原料粉末粒径を小さくして保磁力を増加させる手法も取られている⁴⁾。

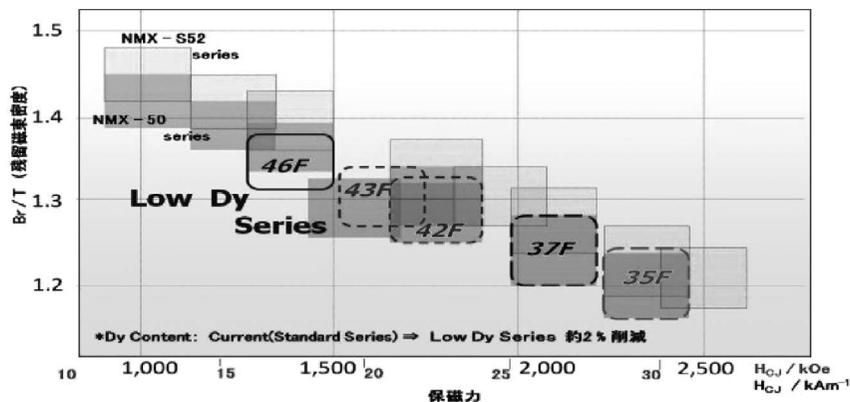
Nd-Fe-B焼結磁石の保磁力は粒界近傍で決定されることが示唆されており、重希土類 (Tb, Dy) 使用量を削減するための一つの方法として、粒界近傍でのDy量を増やし残留磁束密度の低下を起こすことなく保磁力を増加させる粒界拡散技術が提唱されている^{5), 6)}。

従来方法ではTbやDyは磁石原料作製の最初の工程である合金溶解時に他の金属と一緒に溶解され、主に主相結晶中に均一に存在することになり、保磁力を高めるために使われる粒界近傍のTbやDyは平均化される。また主相の中心に存在するDyやTbは磁石の保磁力を高めるためには有効に使われず、前述したように残留磁束密度を下げる働きをすることになる。

粒界拡散技術はTbやDyを磁石表面につけたのち、熱処理によりこれら元素を粒界から拡散させ、保磁力に必要な粒界近傍のTbやDyの濃度を高め残留磁束密度の低下を引き起こすことなく、高い磁石特性を実現することが可能で各社で量産されている。

粒界拡散技術は高残留磁束密度と高保磁力を両立させる高性能化技術であり、Dy使用量を一定量削減することができるが、この方法でDyを全て無くすることは出来ない。

自動車用を中心にNd-Fe-B焼結磁石の需要は今後も増加することが予想されるため、各社は更な



Low Dy Series			Standard Series(NMX-50 Series)		
材質名	残留磁束密度	保磁力	材質名	残留磁束密度	保磁力
	Br [T]	H _{cJ} [kA/m] [kOe]		Br [T]	H _{cJ} [kA/m] [kOe]
NMX-46F	1.31 ~ 1.38	≧ 1,273 ≧ 16.0	NMX-46CH	1.33 ~ 1.40	≧ 1,273 ≧ 16.0
NMX-43F	1.27 ~ 1.35	≧ 1,512 ≧ 19.0	NMX-44CH	1.30 ~ 1.37	≧ 1,273 ≧ 16.0
NMX-42F	1.25 ~ 1.33	≧ 1,671 ≧ 21.0	NMX-43SH	1.26 ~ 1.33	≧ 1,671 ≧ 21.0
NMX-37F	1.20 ~ 1.28	≧ 1,989 ≧ 25.0	NMX-41SH	1.24 ~ 1.31	≧ 1,671 ≧ 21.0
			NMX-39EH	1.20 ~ 1.27	≧ 1,989 ≧ 25.0

図 3 Low Dy Series 特性map

るDy使用量の削減に取り組んでいる。そのひとつが省Dy化 (Low Dy Series) で、組成およびプロセス改善により粒界相を最適化することで、図3に示すようにDyゼロで保磁力 $\geq 1,273$ kA/mを持つNMX-46F材を実現した。さらに46F材をベースに少量のDyを添加していくことでNMX-50 Series (Standard Series) の同等材でDy量を約2wt%削減した材料が量産化されている^{7)、8)}。

むすび

Nd-Fe-B焼結磁石が開発されてから30年以上経過し、磁気特性的に凌駕する磁石が期待される場所であるが資源的問題等総合的に見ると、現時点そのハードルは高いと思われる。特にNd-Fe-B磁石の保磁力に関しては、まだ未解明な部分が多

く更に解明が進むことが期待される。今後は資源リスクも考えより省Dy化技術の開発を進めることにより更なる保磁力向上が望まれている。

文 献

- 1) 特許第1431617号
- 2) 磁性材料の進歩とリラクタンストルク応用電動機の高性能化調査専門委員会 (電気学会) 「磁性材料の進歩とリラクタンストルク応用電動機の高性能化」 第1305号、6 (2014)
- 3) 播本大祐、松浦裕：日立金属技報、Vol. 23、69 (2007)
- 4) W. F. Li, T. Ohkubo, K. Hono, M. Sagawa, J. Magn. Mater., 321, 1100 (2009)
- 5) H. Nakamura, K. Hirota, M. Shimao, T. Minowa, M. Honshima, IEEE Trans.Magn.41, 3844 (2005)
- 6) 特許第4241900号
- 7) 日立金属 (株) カタログ No HG-A27-A, Dec. 2013
- 8) 日立評論 Vol. 96 No1-2、114 (2014)

6. ボンド磁石

愛知製鋼(株) 電磁品本部 の ぐち けん じ
磁石事業室 磁石技術グループ 野 口 健 児

まえがき

ボンド磁石とは、磁力を発現するための磁石粉末と、バインダーとして磁石粉末間を結合するエンジニアリングプラスチックとを混合して作製される複合材料磁石である。そのため、磁石粉末とバインダーの組合せは、磁石の用途、ならびに成形加工法に応じて種々選択することが可能であるが、現在市販されているボンド磁石は、バインダーとして熱硬化性樹脂のエポキシ樹脂、熱可塑性樹脂のナイロン12とPPS（ポリフェニレンサルファイド樹脂、リジットタイプ）、ならびにエラストマー（フレキシブルタイプ）が多用される。ボンド磁石に用いられる磁石粉末は、フェライト磁石粉末を始めとして、SmCo系、NdFeB系、SmFeN系と

いった希土類系磁石粉末に分類され、その中でも最も生産量が多いのはフェライト磁石粉末であり、その日本国内生産量はボンド磁石の生産量の9割に及ぶ（表1参照）。ボンド磁石は、家電分野から自動車分野で使用される小型モータや複写機のマグロールなどに多く展開されてきた。そのため、昨今の家電機器および自動車の高効率化の市場要望により、より高性能なボンド磁石の開発がなされてきた。特に、希土類系ボンド磁石は、フェライト磁石に比べ非常に高い磁気特性を有することから、モータの高効率化を始め、小型化・軽量化に大きく寄与し、その需要を伸ばしてきている。

◇ ボンド磁石の種類と磁石特性

ボンド磁石は、磁石粉末によらず異方性磁石と等方性磁石の2種に分類される。異方性ボンド磁石は、ある特定の方向にのみ強い磁力を示し、現在の高性能磁石はこの磁石を指す。一方、どの方向にも同等の磁力を示す磁石が、等方性ボンド磁石である。表2より、異方性、等方性ボンド磁石では、残留磁束密度に大きな差異があることがわかる。これは、異方性磁石が下記の2点に示すような特徴を有するためである（図1参照）。

表 1 各種ボンド磁石の日本国内生産量 (ton/年)¹⁾

	フェライトボンド磁石		希土類ボンド磁石
	フレキシブル	リジッド	
2010年	2,600	7,000	600
2011年	2,600	6,800	700
2012年	2,500	6,000	800
2013年	2,700	6,800	900

表 2 ボンド磁石の磁気特性と外観²⁾

		フェライト系		希土類系							
		射出		NdFeB系				SmFeN系			
				圧縮		射出		圧縮		射出	
成形方法		異方	等方	異方	等方	異方	等方	異方	等方	異方	等方
磁石タイプ		異方	等方	異方	等方	異方	等方	異方	等方	異方	等方
残留磁束密度	Br [T]	0.2	—	1.0	0.7	0.8	0.6	—	0.8	0.8	0.7
保磁力	iHc [kA/m]	200	—	1,114	796	1,114	796	—	796	756	796
最大エネルギー密度	(BH) max ρ [g/cm ³]	17	—	199	80	135	61	—	105	111	77
使用用途		マグロール、センサ		小型モータ、HDDスピンドルモータ							
形状外観											

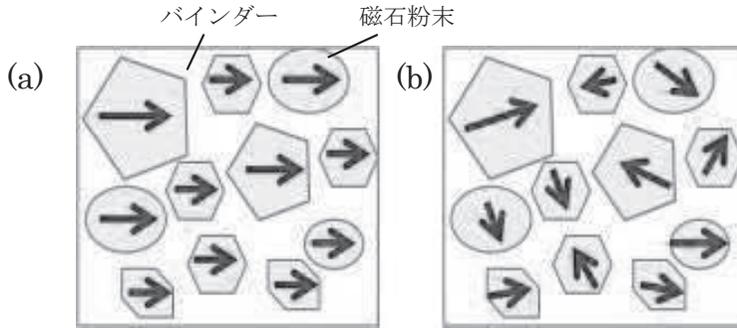


図 1 ボンド磁石中の磁石粉末の配列模式図：
(a) 異方性、(b) 等方性

- ①磁石粉末内で、磁化の発生しやすい結晶方位がミクロ的に配列
- ②成形加工中に、外部より静磁場を印加しながらバインダーで粉末間を結合することで、磁石粉末の方位がマクロ的に配列

高い磁気特性を有する希土類系磁石粉末では、NdFeB系、SmFeN系について異方性磁石と等方性磁石が製造されている。等方性NdFeB系ボンド磁石では、液体超急冷法により作製した薄片を粉碎し、結晶方位がランダムに配列した磁石粉末を原料として使用され、残留磁束密度 $Br \sim 0.7T$ を示す。一方、異方性NdFeB系ボンド磁石では、NdFeBと水素の気固反応を利用し磁石粉末内の結晶を $0.3\mu m$ 程度に微細化すると同時に、その結晶方位を一方向に配列させるHDDR法を用いた磁石粉末が使用され、磁石では $Br \sim 1.0T$ を示す。

◇ ボンド磁石の製造工法

ボンド磁石は、磁石粉末の充填量および磁気特性、必要とされる形状、ならびに使用環境に応じて圧縮成形方法、射出成形方法、または押出成形方法に大別される。本稿では、ボンド磁石に多く適用されている圧縮成形方法と射出成形方法に関して記載する。

1. 圧縮成形方法

主に希土類系ボンド磁石に適用され、バインダーとしては熱硬化性樹脂であるエポキシ樹脂が選定される。この工法は成形荷重 $\sim 9.0\text{ton}/\text{cm}^2$ と非常に高圧力を印加することが可能であるため、得られる磁石密度は $\sim 6.0\text{g}/\text{cm}^3$ と高く、比較的高い磁気特性を有するボンド磁石を得ることが可能

である。また、高密度化することから、バインダーの使用量を少なくすることが可能であり、磁粉充填量は $\sim 88\text{vol}\%$ まで達する。しかしながら、高圧力であるため金型形状に制限があり、リング磁石、瓦形状磁石、ブロック磁石のような形状に限られる。

2. 射出成形方法

多種の磁石粉末に適用され、バインダーには熱可塑性樹脂が使用される。特に、ナイロン12、PPSの2種類が多く使用されており、高温・多湿のような悪質環境にはPPSが選定される。射出成形は、シリンダー内で軟化し、液状化した樹脂と固体の複合物をシリンダーで押し出し、金型に充填することで成形するため、磁石粉末を含んだ状態での材料の流動性は重要な因子である。そのため、樹脂量を多くすることで成形が容易となる。一方、磁石特性は、充填される磁石粉末量を増加させることで向上するため、トレードオフの関係となる。現在、磁粉充填量は $\sim 60\text{vol}\%$ であり、圧縮成形方法に比べ成形された磁石の磁気特性で20%低下する。

◇ ボンド磁石の特徴

ボンド磁石は、固体フィラーの磁石粉末をバインダー樹脂で結着させる構造である。そのため、下記のような特徴を有する。

- ①成形後の後加工が不要なネットシェイプの成形加工が可能
- ②形状自由度が高く複雑形状が可能
- ③射出成形ではシャフトやロータのような部品へ一体成形が可能

- ④樹脂で磁石粉末間が絶縁されるため高電気抵抗
- ⑤非磁性材料のバインダーを含むことから焼結磁石に比べ磁力が低下

単純に、焼結磁石からボンド磁石へ変更すると磁力が大きく低下するため、磁石使用量が増加する。その反面、磁石の加工費と部品への組立て費が大きく低減できるメリットを有する。また、モータ内部での磁石形状に設計の幅が広がり、磁石形状を変えることで発生する磁束分布を変化させることが可能となるため、モータ特性を大きく改善することも同時に可能となる。さらに、ボンド磁石は、電気抵抗が高いことから希土類系焼結磁石で発生する渦電流損失が抑制され、モータの効率を向上させることが可能となる。

◇ ボンド磁石の用途

これまでボンド磁石は、高寸法精度とネットシェイプの特徴を大きく活かした部品として、HDDのスピンドルモータやモータでの磁気センサに広く使用されている。特に、希土類系等方性ボンド磁石は、HDDのスピンドルモータの高速回転化に大きく寄与し、コンピュータの高性能化に大

きく寄与することで、その生産量を拡大してきた。近年、フェライト磁石を用いた小型モータの小型・軽量化に希土類系ボンド磁石が検討され、約50%の軽量化に成功し、実用化されている³⁾。

◇ 将来への期待

家電のスマート化、自動車のEV化に代表されるように、モータの高効率化の要望がこれまでより一層強まってきている。モータのコアがアモルファス材料化する等、高効率化に向け新たな材料が採用されてきていることでも明らかである。磁石についても、高磁力に加え、形状自由度、多極化など従来の焼結磁石にはない付加価値を活用することで、これまで実用化困難であったユニークなモータ設計が可能となることから、益々用途が広がることが期待される。

参考文献

- 1) 日本ボンド磁性協会 2013年ボンド磁石協会報告
- 2) 各磁石メーカーカタログ
- 3) Y. Honkura, Proceeding of 19th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnets and Their Application, Beijing, CHINA 2006, pp. 231-239.



7. 鑄造磁石・圧延磁石

三菱製鋼(株) 技術管理部 福田 方勝

まえがき

鑄造磁石・圧延磁石という分類は永久磁石の製造法による分類で、材質による分類ではありません。しかし、一般的には、鑄造磁石はアルニコ磁石と鉄・クロム・コバルト磁石を指し、圧延磁石は鉄・クロム・コバルト磁石とその他の塑性加工法によって製造される磁石材料を指します。これらの磁石は永久磁石全体の生産量に対して重量比で1%程度と推定されますが、ネオジウム磁石やフェライト磁石にはない優れた特長をもっており、個性ある材料として使用されています。

◇ アルニコ磁石

アルニコ磁石はMK磁石 (Fe-12Al-25Ni) とNKS磁石 (Fe-30Co-20Ni-7Al-1Ti) を基にして、多くの開発成果により完成された磁石です。アルニコという名称は、構成元素のAl、Ni、Coの頭文字をとったもので、各国によりさまざまな名称でよばれました。MK、NKS：日本、Alnico：米、Alcomax：英、AlNiCo：独、NiAlCo：仏、TICONAL：蘭などです。

溶解→鑄造→粗加工→熱処理→仕上げ加工→検査、という工程により製造されるため、鑄造磁石とよばれています。溶解は大気溶解、鑄造はシェルモールド鑄造で行われます。組成、鑄造組織(粒状晶/柱状晶)、熱処理(磁場中/磁場なし)により種々の磁気特性が得られるため種類が細分化されていましたが、現在ではあまり細かく分類する必要がなくなったため、等方性アルニコ、アルニコ5、アルニコ8の3種類に分類されています。アルニコ磁石の減磁曲線を図1に示します。アルニコ磁石は硬くて脆いため、通常は研磨加工以外できません。ただし、鑄造法以外にも焼結法によっても製造が可能です。

1. 等方性アルニコ磁石

等方性アルニコ磁石は三島徳七先生の発明した

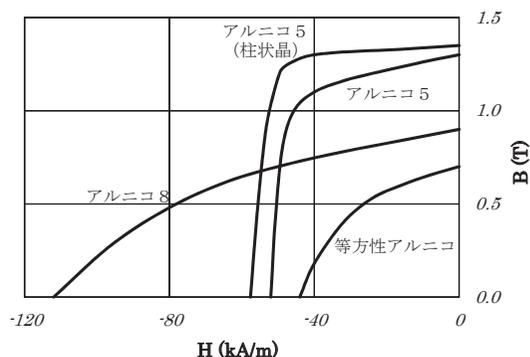


図 1 アルニコ磁石の減磁曲線

MK鋼を基本とし、Coを0~13%含むものです。Co含有量が1%以下のものは特にアルニコ磁石とよばれています。溶体化処理温度(1250℃)から空冷し、さらに時効処理をするだけで磁気特性が得られるため、Coを含まないことと合わせて非常にコストパフォーマンスのよい磁石です。二輪車用のスピードメータなどに使用されています。

2. アルニコ5磁石

アルニコ5磁石はFe-8Al-14Ni-24Co-3Cuを基本組成とするもので、1942年に米国GE社のJonasにより開発されました。1938年、OliverとShedenが等方性のAlnico-2を溶体化温度から磁場中で冷却することにより、その方向の磁気特性が磁場なしの場合に比べて20%増大することを発見したことにより、異方性(900~800℃の間を0.1~1.5℃/sで冷却する必要があります。さらに、鑄造組織を柱状晶としてその方向に磁場を印加して熱処理することにより磁気特性が格段に向上します(Alnico-5Col)。

アルニコ5磁石は、磁束密度が高いこと、温度安定性が非常によいことから、汎用のスピーカ用の磁気回路、積算電力量計の制動磁石、ABSセンサなどに広く使用されています。

3. アルニコ8磁石

アルニコ8磁石はCoとTiを含むことが特徴で、

本多光太郎先生らが発明した新KS鋼を基本としています。Fe-8Al-15Ni-34Co-4Cu-5Tiを基本組成とするもので、1957年にオランダPhilips社のde Vosにより開発されました (Ticonal X)。アルニコ5に対して保磁力を大きくする目的でTiを添加し、磁束密度を高くするためにCo含有量を高くしています。溶体化処理後に800℃付近の温度で磁場中で熱処理し (等温磁場中処理)、その後時効処理を行います。アルニコ5磁石と同様に柱状晶化により磁気特性が向上します (Alnico-9)。

アルニコ8磁石は残留磁束密度は高くはありませんが、保磁力が大きいという特徴があるためコアレスモータのロータなどに用いられていました。最近では徐々に需要が減っています。

◇ 鉄・クロム・コバルト磁石 (鑄造・圧延)

鉄・クロム・コバルト磁石は、1971年に東北大学の金子秀夫先生らによってスピノーダル分解という熱処理理論に基づいて開発された永久磁石です。アルニコ磁石と同様に、溶体化処理した後680~600℃で等温磁場中熱処理をし、さらに、500℃まで時効処理をします。Cr-richの母相中に磁場印加方向に伸びたFeCo-rich微粒子が分散することにより保磁力が得られます。保磁力が発現する機構はアルニコ磁石と同じです。

塑性加工ができる磁石 (圧延磁石) として注目を浴び、住友特殊金属、日立金属、日本楽器 (現、ヤマハ) が工業化をしました。開発当初はCoの含有量がアルニコ5と同程度の20~25%でしたが、その後、熱処理を容易にする目的から15%Coの組成での研究開発が行われました。1977年のCo価格の高騰を契機として、鑄造磁石としての製造法が確立され、三菱製鋼、東北金属 (現、NECトーキン) などが工業化しました。

その後、さらなる低Co組成の研究が行われ、工業的には10~15%Co程度の組成で製造されています。また、保磁力を高くするためにMoを添加した合金も開発されました。

この磁石は外国でも工業化されました。米国ではBell Telephone社が電話機の受話器用にカップ状に成形し、大量に使用された時代もありました (Chromindur)。

アルニコ5と同等の磁気特性が得られることか

ら、汎用スピーカの磁気回路に使用されるだけでなく、ハイブリッド型のステッピングモータのロータとして使用されます。これは、複写機やプリンタなどの駆動用のモータとして大量に使用されています。

Fe-Cr-Co磁石の減磁曲線をNd磁石、Srフェライト磁石と比較して図2に示します。異方性磁石の場合、パーミアンス係数が約30以上ではNd42 (336kJ/m³クラス) よりも高い磁束密度が得られます。等方性磁石の場合、パーミアンス係数が約20以上ではSrフェライト磁石 (40kJ/m³クラス) よりも高い磁束密度が得られます。

2011年に起こったレアアースの高騰を契機として省レアアースの研究開発が行われていますが、鉄・クロム・コバルト磁石は本来レアアースフリーでありその特長が見直されています。レアアースの価格は以前のレベルに落ち着いたものの、資源問題に対する不安から、鉄・クロム・コバルト磁石を積極的に採用していく動きがあります。

鉄・クロム・コバルト磁石は鑄造法だけではなく、塑性加工法によっても製造されます。圧延 (薄板や細棒)、引き抜き (細線)、せん断加工 (打ち抜きを含む)、曲げ加工、深絞りなどの塑性加工のほか、切削加工、研削加工などの機械加工も可能です。薄肉のリング形状も可能です。

通常の永久磁石としての使い方以外に、ヒステリシス損を積極的に利用するヒステリシス材として広く用いられています。トルクカップラなどの部品として複写機やプリンタなどの紙送りのトル

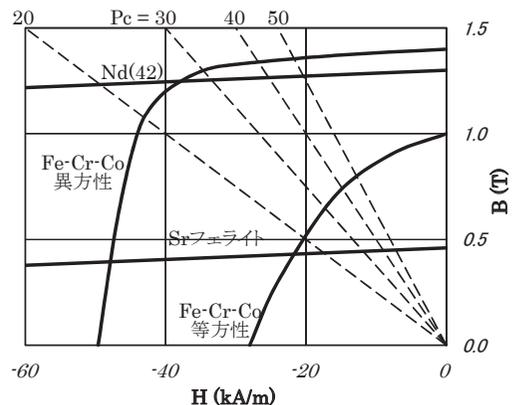


図2 Fe-Cr-Co磁石の減磁曲線とパーミアンス係数

ク制御用などに大量に使用されています。

鉄・クロム・コバルト磁石は、三菱製鋼（KMC）、日立金属（CKS）、ドイツのVacuumschmelz社（Crovac）が製造しています。

◇ その他の圧延磁石

圧延磁石は塑性加工法によって製造される磁石です。白金・コバルト（PtCo）、キュニフェ（CuNiFe）などが開発されてきましたが、現在では製造されていません。代表的な圧延磁石の磁気特性を表1に示します。

1. バイカロイ

バイカロイは、米国Bell 研究所のNesbittらにより1940年に開発された圧延磁石で、その後、Crを添加することにより磁気特性が向上することが見いだされました。バイカロイは冷間加工が可能であるというメリットを生かし、薄板、細線、カップ形状などで使用されました。等方性のVicalloy-1と冷間加工によって異方性としたVicalloy-2、Cr-Vicalloyがあります。永久磁石としてだけではなくヒテリシス材として広範囲に用いられました。Co含有量が高く原材料費が高くなるため、最近では鉄・クロム・コバルト磁石に置き換えられています。

2. マンガン・アルミ・炭素磁石

マンガン・アルミ・炭素磁石は、Fe、Co、Niなどの強磁性の元素を全く含まない永久磁石で、1964年、松下電器により開発され、1977年、押出し成形し温間で据込み加工することにより異方性磁石とする方法が確立されました。松下電子部品が鋳造法により工業化しました。

その後、1989年、山陽特殊製鋼によりガスアトマイズ法による粉末の熱間押出し法による製造方法が確立されました。700℃で塑性加工することにより異方性が付与されます。密度も鉄の約70%と軽く、機械強度が高い、最終製品でも機械加工が可能、耐候性も良好といった特長があります。

むすび

アルニコ磁石や鉄・クロム・コバルト磁石は磁気特性としてはフェライト磁石と希土類磁石の中間の磁気特性をもっています。キュリー温度が高いため温度に対して非常に安定しているという特徴をもっています。また、レアアースフリーです。開発されてから時間のたっている磁石材料ではありますが、これらの特長を生かした用途に今後も使用されていくものと考えます。

表 1 主な圧延磁石の磁気特性

種類	代表組成	区分	B_r [T]	H_{cB} [kA/m]	$(BH)_{max}$ [kJ/m ³]	特長
Fe-Cr-Co	Fe-10Co-28Cr	等方性	1.00	28	14	ヒステリシス
		異方性	1.40	48	48	形状自由度
Vicalloy-1	Fe-52Co-10V	等方性	0.90	24	8	ヒステリシス
Vicalloy-2	Fe-52Co-14V	異方性	0.98	35	22	塑性加工
Cr-Vicalloy	Fe-52Co-8V-4Cr	異方性	1.17	30	25	塑性加工
Cunife	Fe-60Cu-20Ni	異方性	0.58	47	15	最終状態で加工可
Pt-Co	77Pt-23Co	異方性	7.0	350	88	高エネルギー積
Mn-Al-C	66Mn-33Al-1C	異方性	0.54	200	46	機械強度大

Ⅲ. 磁性材料の応用

1. 産業・家電への応用（変圧器への応用）

—配電用変圧器の市場・技術動向—

(株)日立産機システム いな がき かつ とし
受配電・環境システム事業部 **稲垣勝敏**

◇ 変圧器を取巻く状況

現代社会を支える電力インフラにおいて、変圧器は発電所から工場・ビル、一般家庭への電力輸送、電圧変換を担っており、欠くことのできない設備となっている。

また、地球環境保全の観点から、変圧器に対する高効率化、低損失化の要求が高まっており、効率規制の強化が、世界各国で進んでいる。

変圧器の損失は、主に鉄心で発生する無負荷損失と巻線で発生する負荷損失がある。無負荷損失は変圧器が稼働している間、常時発生し、負荷損失は負荷電流に応じて変化する損失である。変圧器稼働時の総損失を低減するためには、特に、無負荷損失を低減することが重要である。

変圧器の無負荷損失を低減するには、低損失磁性材料を使用すること、材料特性を悪化させずに変圧器を製造するための構造、製法の改良があげられる。

変圧器が開発されて以来、変圧器の構造、製法に関しては、積鉄心の接合構造の改良や、巻鉄心構造の採用など、鉄心自体の構造改良により低損失化が進んできた。また、同時に、これらの構造において、変圧器の製造時に素材特性が悪化するのを最小にするための製造方法の改良なども行われてきた。

一方で、変圧器鉄心用磁性材料の損失を低減する技術開発も、材料メーカーにより活発に進められ、変圧器メーカーでは、開発された低損失磁性材料を積極的に採用し、変圧器の損失低減は、現在まで飛躍的に進んでいる。

行政面、制度面でも、CO₂排出量削減を目的に、

変圧器の損失低減を進めるための効率規制が各国で強化されており、これを満たすため、鉄心用磁性材料の開発、変圧器の構造、製造技術の改良が、素材メーカー、変圧器メーカーで更に加速している。以下、変圧器を取巻く市場環境、技術動向について述べる。

◇ 配電変圧器の効率規制動向

電力ネットワークを形成する変圧器は、送電用と配電用の大きく二つに分類される。

これらの変圧器は、主に高圧側電圧を基準に分類され、送電用は60kV級以上、配電用は30kV級以下の電圧区分に分類される。

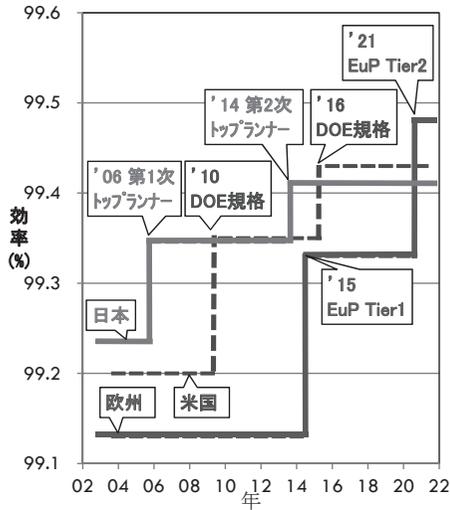
配電用変圧器については、一台当たりの変圧器容量は小さく損失も小さいが、総稼働台数が多く、日本では、300万台程度の変圧器が稼働しており、総エネルギー消費量は、約20,000百万kWh/年と見積もられている。この変圧器の損失を削減することでCO₂排出量の抑制を進めるため、2006年に油入変圧器、2007年にはモールド変圧器についてトップランナー制度が施行され、エネルギー消費効率で32.8%の高効率化が実現された。

さらに、2014年4月より、第二次判断基準に基づくトップランナー制度が施行され、旧基準に対し12.5%の高効率化が見込まれている。

また、世界各国でも様々な効率規制が制定、施行されており、大きな損失低減、CO₂削減効果が期待されている。

主要国の効率規制値の比較を図1に示す。

日本以外では、米国で2010年にDOEによる配電用変圧器の効率規制が施行された。さらに、この基準が2016年より引き上げられることが決定され



注) DOE : Department of Energy
EuP : Directive on Eco-Design of Energy-using Products

図 1 配電用変圧器の効率規制比較 (油入 3 相、1,000kVA 50Hz 負荷率50%での効率規制値)

ている。また、欧州ではEuP指令に基づき、配電用変圧器の効率規制が、2015年と2021年の二段階に分けて強化されるなど、各地で変圧器の低損失化規制が進み見通しである。

◇ 変圧器鉄心用磁性材料

変圧器稼働時の総損失を減らすために重要な無負荷損失の低減には、低損失磁性材料を鉄心に用いることが最も有効な手段のひとつである。

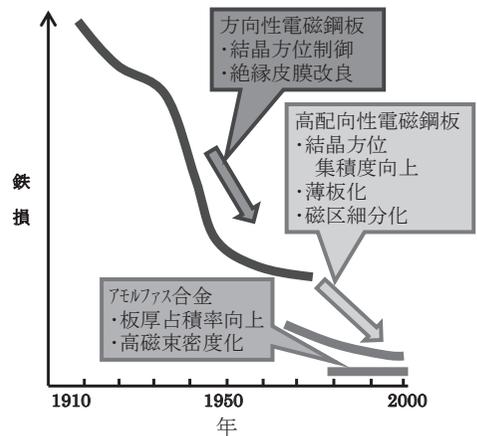
現在、変圧器鉄心に用いられる磁性材料は、電磁鋼板とアモルファス合金の、大きく分けて二種類が量産ベースで使用されており、それぞれの特徴を活かして、変圧器の鉄心に利用されている。

ここで、アモルファス合金とは、鉄、ボロン、けい素を主原料とした溶融合金を超急冷することにより、非結晶状態の薄帯とした材料である。

変圧器鉄心用磁性材料の低損失化経緯 (概要)¹⁾と、現在、用いられている代表的な材料の仕様、特徴を図2に示す。

図2に示す通り、旧来より一般的に用いられてきた電磁鋼板は、結晶方位制御や、磁区細分化技術の適用等、長年の技術開発により大幅な鉄損低減を実現し、変圧器の低損失化に大きく寄与してきた。

更に、1980年代にはアモルファス合金が変圧器



材質	電磁鋼板 23P090	アモルファス合金 Metglas® 2605HB1M
公称厚さ(μm)	230	25
密度(kg/m ³)	7.65	7.33
占積率(%)	94.5 以上	84 以上
鉄損(W/kg) 50 Hz 1.4 T	0.55 (代表値)	0.10 (代表値)
磁束密度 (T)	800A/m	1.85 以上
	80A/m	1.82 (代表値)
飽和磁歪(ppm)	0.7	27
特徴	高磁束密度 高占積率	超低損失
適正用途	小形軽量化	高効率化

図 2 変圧器鉄心用磁性材料

鉄心用に量産化され、無負荷損失の飛躍的な低減が可能となった。

現在も、電磁鋼板、アモルファス合金それぞれにおいて、様々な技術開発による高品質、高性能化への取り組みが続けられ、変圧器の損失低減に大きく貢献している。

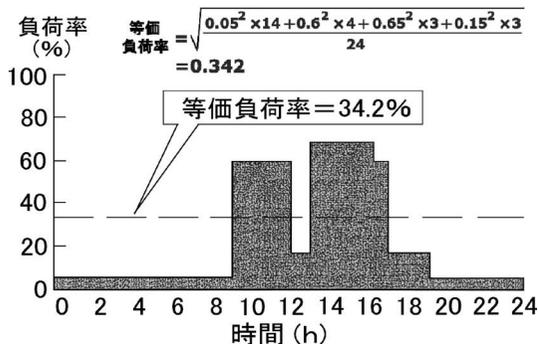
◇ 変圧器の負荷率と各種変圧器の特徴

変圧器の総損失は、負荷電流に関わらず常時発生する無負荷損失と、負荷電流の二乗に比例して発生する負荷損失の総和となる。このため、実稼働時の変圧器の発生損失を低減するためには、負荷率を考慮した変圧器の選定が重要である。

変圧器の負荷率の考え方と、負荷率実態の調査結果²⁾について図3に示す。

負荷率とは、変圧器の定格容量に対する負荷電流の比率で定義され、この時間経過による変化を二乗平均した値を等価負荷率と呼ぶ。

通常、変圧器の夜の負荷率は低く、一般的な



業種	データ数	年間平均等価負荷率(%)		
		昼間	夜間	1日
工場(電機)	55	49.8	35.8	43.4
工場(食品)	33	47.4	32.2	40.5
工場(金属)	31	41.5	31.2	36.7
工場(化学)	29	47.5	25.9	38.3
工場(機械)	15	39.7	14.5	29.9
工場(繊維)	14	56.4	57.7	57.1
工場(紙パルプ)	5	34.8	35.4	35.1
工場(輸送)	4	25.2	0.0	17.8
工場(その他)	56	49.7	27.3	40.1
公共施設(病院)	7	30.1	9.1	22.2
公共施設(図書館)	6	22.8	5.3	16.6
公共施設(鉄道)	6	20.0	14.1	17.3
公共施設(官庁)	4	40.0	10.0	29.2
ビル(オフィスビル)	15	25.0	5.7	18.1
ビル(デパート)	1	61.0	5.0	43.3
業種不明	9	36.5	34.4	35.5

図 3 負荷率と実態調査結果

変圧器の等価負荷率は20~40%となっており、この実態調査等から、トップランナー制度におけるエネルギー消費効率の判断基準は、500kVA以下の変圧器を負荷率40%での総損失、500kVA超過の変圧器を負荷率50%での総損失と定義し、これに規制を設けている。

2014年4月から施行されたトップランナー制度の第二次判断基準に対応するため、日立産機システムでは、鉄心使用材料の選定、変圧器の最適設計、構造、製法改良など、様々な技術開発を進めてきた。

油入3相1,000kVA 50Hzを例に、開発品仕様、負荷率-効率特性について図4に示し、特徴を述べる。

変圧器の損失特性に、最も影響をおよぼす鉄心用磁性材料の選定においては、電磁鋼板を用いた変圧器とアモルファス合金を用いた変圧器について、それぞれ開発を行った。

項目	電磁鋼板変圧器	アモルファス変圧器
無負荷損失(W)	1,050	310
負荷損失(W)	7,640	10,600
エネルギー消費効率(W)	2,960	2,960
質量(kg)	2,860	2,700

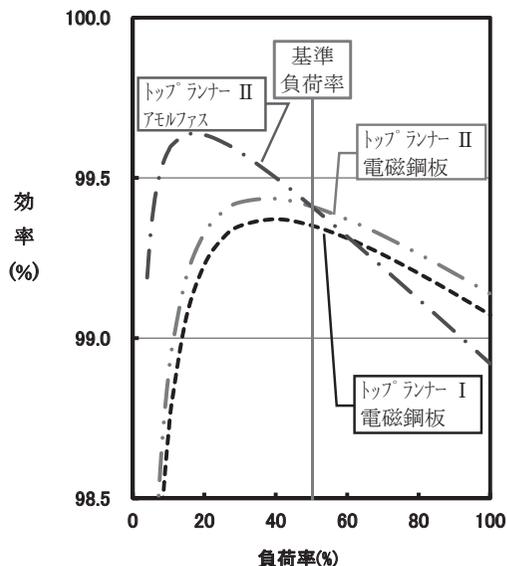


図 4 開発品の仕様比較 (油入3相1,000kVA 50Hzの例)

基準負荷率50%のエネルギー消費効率でトップランナー基準値を満足する両者の性能を比較すると、電磁鋼板を用いた変圧器は50%超の負荷率域で、アモルファス合金を用いた変圧器は50%未満の負荷率域で効率が高くなる特徴を有しており、それぞれ、変圧器が使用される負荷率により、その得失が変わり、ユーザーの負荷率に応じた変圧器の選定が重要であることが分かる。

なお、当該機種の効率規制値では、アモルファス変圧器が軽量となること、一般的な負荷率でより低損失な特性を実現できることから、当該機種では、第二次トップランナー対応の標準変圧器にアモルファス変圧器を採用している。

また、日立産機システムでは、第二次トップランナー基準に対応したSuperトップランナーIIシリーズに加え、より省エネ効果の大きいSuperアモルファスZeroシリーズを製品化、ユーザー毎の異なるニーズに応える製品ラインナップを用意している。

製品ラインナップと油入変圧器の代表機種3相500kVA 50HzのSuperトプラランナーII（電磁鋼板鉄心使用）、アモルファスZero C、アモルファスZero Sの負荷率-効率特性を図5に示す。また、参考に、30年前の変圧器の負荷率-効率特性も合わせて記載する。

30年前の変圧器に比べSuperトプラランナーIIは、基準負荷率40%の効率で約0.5%改善してお

り、これは変圧器の損失がほぼ半減していることを意味する。30年前に使用されていた電磁鋼板は、板厚0.3mmの方向性電磁鋼板で、1.7(T)50Hzの鉄損が1.2W/kg程度のものであったが、現在、SuperトプラランナーIIに用いられている電磁鋼板は、板厚0.23mm、1.7(T)50Hzの鉄損が0.9W/kg程度の高配向性電磁鋼板であり、素材の低損失化による、損失低減が大きな改善要因の一つである。

また、アモルファスZero Sは、SuperトプラランナーIIに比べ、全ての負荷率領域で高効率を実現する特性を有し、省エネ性の大きい変圧器である。

また、アモルファスZero Cは、高負荷率領域ではSuperトプラランナーIIに比べ、効率が下回るものの、負荷率50%以下の一般的な使用条件では高効率となる特性としている。

これらの製品ラインナップを用意することで変圧器ユーザーが、その使用条件を考慮した適切な変圧器の選定を行うことが可能となる。

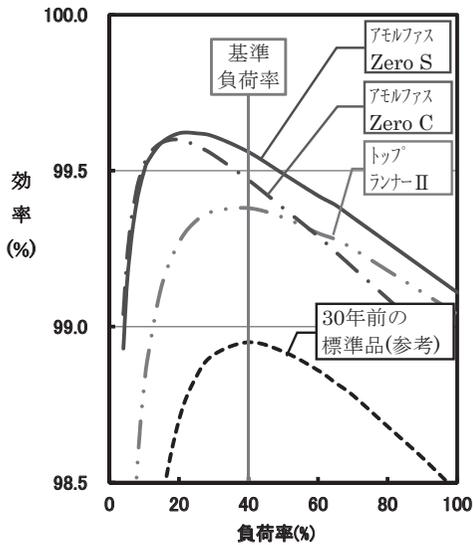
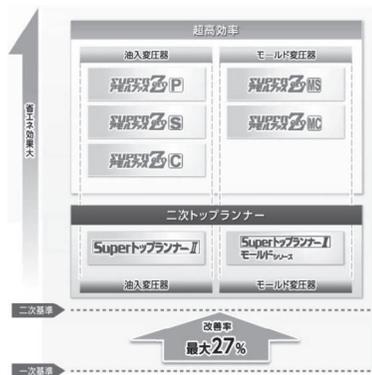


図 5 製品ラインアップと負荷率-効率特性 (油入 3相500kVA 50Hzの例)

むすび

以上、述べた通り、配電用変圧器は、変圧器鉄心用磁性材料の発展、製法、構造改良とともに、性能が飛躍的に向上し、世界各地で進む高効率化のニーズに応える様々な変圧器が開発、製品化されている。

今後も、環境負荷低減の観点から更なる低損失化の推進が必要とされる状況において、変圧器メーカーでは、変圧器の製法、構造の改良を行っているが、これと同時に、変圧器鉄心用磁性材料については、高磁束密度化、低損失化の追求を大いに期待したい。

参考文献

- 1) 第155・156回 西山記念技術講座 日本鉄鋼協会
- 2) 平成14年4月3日総合エネルギー調査会 変圧器判断基準小委員会調査結果

2. エアコンにおける省エネモータへの応用

ダイキン工業(株) 常務専任役員 おお やま かず のぶ
モーター・インバータ担当 大 山 和 伸

まえがき

快適性・利便性をユーザーに提供する目的で、1980年代に世界に先駆けて日本国内の電化製品のインバータ化が進んだ。中でも、1981年に世界初の家庭用インバータエアコンが東芝から発売され、インバータ技術の素晴らしさが広く一般に知られるようになった。さらに、1983年にはフェライト磁石のブラシレスDCモータを搭載したルームエアコンが日立から発売され、エアコン業界ではDCインバータと呼ぶようになった。

その後、1990年代の年間電気代削減競争やトップランナー方式の省エネ規制を経て、日本のインバータエアコンの高効率化が急進展した。このような中、1996年にネオジム磁石による強力な磁石トルクとリラクタンストルクを併用するIPMモータ (IPMSM: Interior Permanent Magnet Synchronous Motor) を搭載したルームエアコンがダイキン工業から発売され、IPMモータが日本の強み技術に位置付けられるようになった。

一方、図1に見るように、日本のルームエアコン市場が年間700~800万台程度で推移する中、新興国を中心に世界市場は7,000万台規模に急拡大している。グローバルにインバータエアコンが拡大

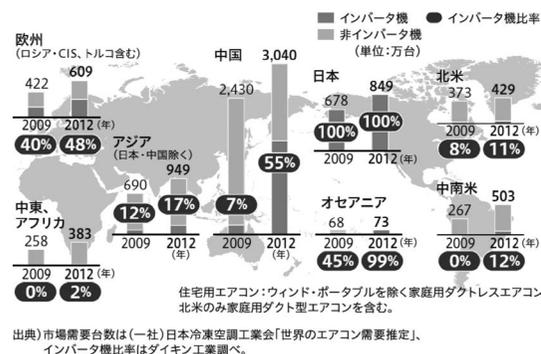


図 1 世界のエアコン需要とインバータ化率
出典: 「CSR報告書2013」、ダイキン工業、pp. 10 (2013年6月)

すると、資源高騰や希少資源枯渇、さらに、海外メーカーのインバータ開発への集中投資による日本の技術優位性低下が懸念される。限られた資源と人員でコスト競争力ある商品を開発するためには、希少資源を使わないことと試作回数の削減による開発効率化が必須である。本稿では、ネオジム磁石を用いたIPMモータ商品化の歴史を振り返り、今後の磁石材料に対する期待を述べる。

◇ モータ高効率化の重要性

1. エアコンに使われている永久磁石モータ

図2にルームエアコンの室外機を示す。

1970年代までのルームエアコンの室外機では、圧縮機とファンを駆動するモータとして、専ら単相の誘導モータが使われていた。最近の省エネエアコンでは、ここに永久磁石モータが使われる。図3に代表的なモータの外観図を示す。

圧縮機モータは、最高出力1.5~3.0 [kW] 程度のもが多い。日本国内および海外の普及機から高級機まで、ほとんど全ての機種でネオジム磁石

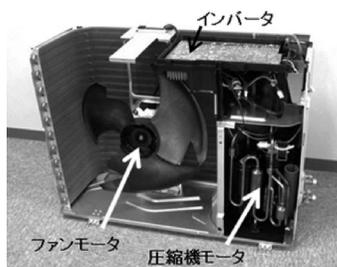


図 2 ルームエアコンの室外機

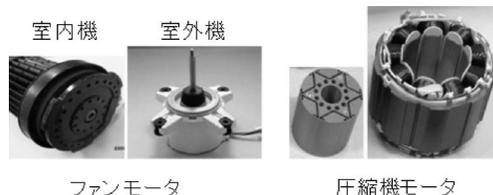


図 3 エアコン用モータの外観図

を使ったIPMモータが使われる。一方、ファンモータは最高出力30～120 [W] 程度で、フェライト磁石のSPMモータ（SPMSM：Surface Permanent Magnet Synchronous Motor）が多い。室外機のモータは、通常のインナーロータ構造であるが、室内機にはコンパクト化を目的としてアウトロータ構造にし、モータをファンと一体化することがある。

2. ヒートポンプサイクルと省エネのキー技術¹⁾

図4に暖房時のヒートポンプサイクルの概要を示す。また、次式がエアコンのエネルギー消費効率を表すCOP（Coefficient of Performance）である。

$$COP = \frac{\text{室外から吸収する熱量 [W]} + \text{圧縮仕事の熱量 [W]}}{\text{圧縮機の入力電力 [W]}} \quad (1)$$

ヒートポンプ式のエアコンは、蒸発器で室外から吸収する熱を暖房に使うため、圧縮機の入力電力を超える熱を出せる。一例として、暖房定格能力3.6kWのルームエアコンの定格消費電力は680W程度であるので、暖房定格COPは5を超え、入力電力の5倍以上の熱量を暖房に使えることになる。

(1)式に見るように、エアコンのエネルギー消費効率を向上させるには、圧縮機の入力を低減することと、熱交換器の効率を向上して室外から効率良く熱を吸収できるようにすることが重要である。

インバータエアコンは、室温が設定温度に近付くと圧縮機の回転数を低くして運転するため、使用時間のほとんどが、部分負荷状態で運転される。従来の誘導モータは、低速・軽負荷状態での効率が悪い。ここに、励磁損の無い永久磁石モータを採用すれば、部分負荷時の圧縮機入力電力を削減できる。また、部分負荷時にインバータにより圧縮機の回転数を低下させて冷媒の流量を少なくす

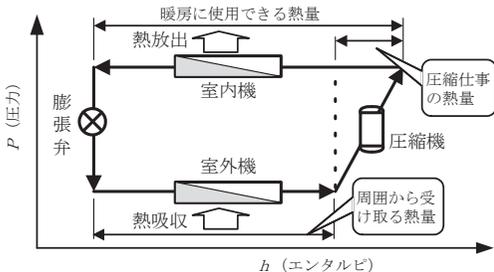


図4 暖房時のヒートポンプサイクル

ると、熱交換器の効率が大きく向上し、室外から効率良く熱を吸収することができる。このように、永久磁石モータが(1)式の分子を小さく、また、インバータの効果で分母を大きくできるため、インバータエアコンの効率は大きく向上する。

図5に、当社の冷房能力2.8kWのルームエアコンの年間消費電力量とCOPの推移を示す。1996年に初めて搭載したIPMモータが画期的な省エネルギー効果を発揮し、その後も様々な改善で省エネルギー特性が向上し続けている。この消費電力削減を達成した圧縮機駆動用モータ構造と磁石材料特性の変化について詳しく述べる。

◇ エアコンにおける重希土類使用量の変遷

1. モータ構造と重希土類使用量の変遷^{2), 3)}

図6に、ダイキン工業の圧縮機駆動用IPMモータ構造の変遷を示す。また、図7には、冷房定格能力4.0kWのルームエアコンの圧縮機駆動用IPMモータの重希土類使用量の変遷を示す。

1990年代後半に改正省エネ法でトップランナー基準が設けられ、省エネ性を高めるためにIPMモータ搭載商品の拡大が急務となった。搭載商品を拡大するには、希土類磁石の重量を減らし、低コスト化しなければならない。一方、省エネ性を高めるためには、主磁束量を減らすことはできない。当時、重希土類原料価格が下落傾向にあった。このため、磁石体積を減らすためにDy等の添加量を増やして保磁力を上げ、磁石厚を薄くする方向に開発が進んだ。この結果、図7の1997→2001年に見るように重希土類の使用重量が増加した。

2000年代半ばには、トップランナー方式の基準が冷暖定格COPから、通年エネルギー消費効率

消費電力量[kWh]:棒グラフ

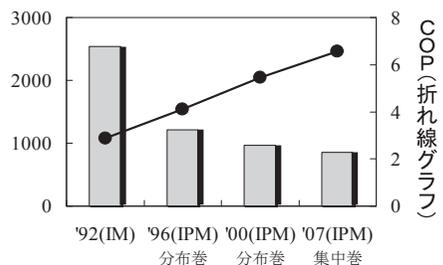


図5 年間消費電力量とCOPの推移

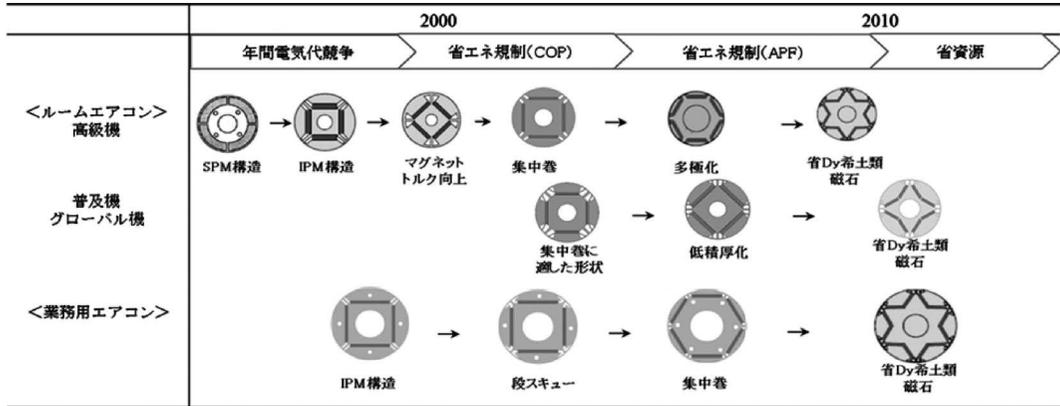


図 6 ダイキン工業における圧縮機駆動用モータ構造の変遷
出典：電気学会回転機研究会資料、RM-14-037（2014年7月）

	1997年	2001年	2008年	2009年	2013年
ロータ構造					
磁石重量	1：基準	0.9	1.1	1.3	1.3
重希土類[wt%]	5%	7%	6%	2.5%	2%
重希土類重量	1：基準	1.2	1.5	0.7	0.5

重希土類の増加に歯止めを掛けた。

図 7 ダイキン工業における重希土類使用量の推移
冷房定格能力4.0kWルームエアコンの圧縮機駆動用IPMモータ

APF (Annual Performance Factor) に変更されることになった。APFはエアコン使用時に発生頻度の高い中間性能を重視するため、モータの部分負荷効率を上げることが有効である。このため、集中巻の採用や磁石表面積を増やして銅損を減らす方向に開発が向かった。同時に、低コスト化のために積厚を下げたが、低積厚化に起因する減磁耐力向上の必要性から、磁石重量の増加とともに重希土類の使用量も増えた。

2009年には、さらなる高効率化を目的として、重希土類使用量を6割削減したネオジム磁石を世界で初めてIPMモータに採用した。粒界拡散法により残留磁束密度が11%向上し、保磁力の分布を克服する構造の採用で、APFの1.5%向上に成功した。これにより、IPMモータの初期段階から続いてきた重希土類の使用量増加に歯止めをかけ、他用途に先駆けて高効率化と省Dyを両立した。

その後、周知のように、2011年には希土類元素

の市場価格が高騰し、図6に見るように、省Dy磁石をほぼ全ての商品に搭載するようになった。

2. 将来への期待

(1) MagHEMの取り組み⁴⁾

2012年9月に、経済産業省による未来開拓研究最初のプロジェクトとして、高効率モータ用磁性材料技術研究組合 (MagHEM) が発足した。この未来開拓研究プロジェクトは、リスクの高い中長期的なテーマに関して、産学官のドリームチームを構築し、基礎研究から実用化までの研究開発を推進することを目的に設立されたものである。

図8にMagHEMの研究目標を示す。2017年に最大エネルギー積1.5倍 (180℃) のジスプロシウムを使わないネオジム磁石、2022年には最大エネルギー積2倍 (180℃) のレアースを使わない新磁石の開発を目標としている。当社は三菱電機とともに、これらの新しい磁性材料の特徴を活かしてモータ損失を25%削減する高効率モータの開発

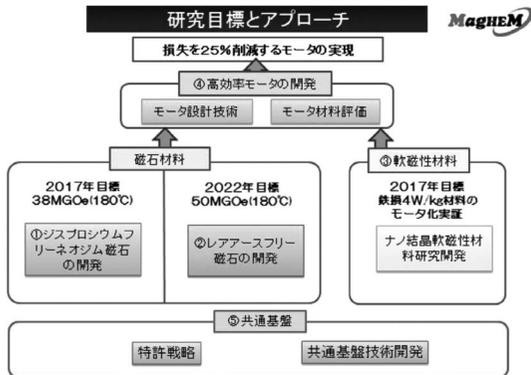


図 8 高効率モーター用磁性材料技術研究組合 (MagHEM) の研究目標とアプローチ
 出典：http://maghem.jp/project.html

を担当している。

モーターの高効率化には、電磁界解析を用いた設計が不可欠である。解析と試作結果が一致すれば、試作回数を削減でき、新たなアイデアの検証や開発効率化に有効である。このため、現状解析精度が不十分な、鉄損の高精度測定技術や、モーター実運転後の局所的な減磁特性（三次元減磁分布）測定技術²⁾などを開発し、大阪府立大学・名古屋工業大学とともに高効率モーターの設計を行っている。

(2) モーター技術者から見た磁石材料への期待

IPMモーターは、ロータ内部の磁石位置や形状を様々な工夫できる。ロータ内の磁石配置自由度を増やし、新たなモーター形状を発想する上で、電機子鎖交磁束 Λ_a が同じ条件の下、磁石体積は小さいほど都合が良い。磁石表面積を小さくするには、実使用温度での残留磁束密度を大きくすることが有効である。一方、磁石厚を薄くするには、過酷

温度域の保磁力を大きくしなければならない。

これらモーター設計と磁石特性の関係、および、MagHEMの磁石材料開発目標から、モーター効率を2013年と同等とした場合の希土類使用量を見通すと図9のようになる。モーター技術者として、早期に重希土類使用量を0にしなければならない。今、研究開発の現状を見ると、ここ数年で実現できるものと予測する。さらに、ネオジムの使用量半減も夢ではない。これには、磁石の多層化などモーター形状の大きな変化が必須であると考えている。

むすび

本稿では、ネオジム磁石を用いたIPMモーター商品化の歴史を振り返り、重希土類使用量の変遷と今後の磁石材料に対する期待を述べてきた。限られた資源と人員でコスト競争力ある商品を開発するために、本文が読者の研究開発の一助となることを期待する。

参考文献

- 1) K. Ohyama, T. Kondo: "Energy-Saving Technologies for Inverter Air Conditioners", IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering, Volume 3, Issue 2, pp. 183-189, (March 2008)
- 2) 浅野能成、荒木辰太郎、山際昭雄、大山和伸：「エアコン用モーターにおける重希土類使用量の変遷と将来に向けた取り組み」、電気学会回転機研究会資料、RM-14-037、(2014年7月)
- 3) 磁性材料の進歩とリラクタンストルク応用電動機の高性能化調査専門委員会：「磁性材料の進歩とリラクタンストルク応用電動機の高性能化」、電気学会、技術報告 第1305号、pp.21、(2014年4月)
- 4) 高効率モーター用磁性材料技術研究組合ホームページ、http://maghem.jp/about.html

	1997年	2008年	2013年	2017年	2022年
ロータ構造					
磁石重量	1 : 基準	1.1	1.3	1	0.5
重希土類[wt%]	5%	6%	2%	0%	0%
重希土類重量	1 : 基準	1.5	0.5	0	0

図 9 希土類使用量の展望

IV. 会員メーカーの磁性材料

愛知製鋼株

NdFeB系異方性ボンド磁石マグ ファイン Dyフリーで150°C耐熱

マグファインは、NdFeB系異方性ボンド磁石であり、世界最高の磁力と高い耐熱性を有する。NdFeB系は耐熱性を向上させるために、希少金属であるDyを添加する必要があるが、当社が製造・販売するマグファイン磁石粉末はd-HDDR処理と粒界拡散処理を施すことで、Dyを添加することなく高い耐熱性を付与することが可能である。また、マグファイン磁石粉末は、バインダーであるエンジニアプラスチックと混合し、圧縮成形や射出成形といった成形加工方法を施すことで、リング形状を始めとする複雑形状の異方性ボンド磁石を製造することが可能である(図1)。当社は、80ton/月の磁石粉末生産能力を有し、家電や自動車用途の異方性ボンド磁石を成形加工するメーカーへ供給している。

◇ 当社の独自技術

d-HDDR法：水素ガスとNdFeB合金との気固反

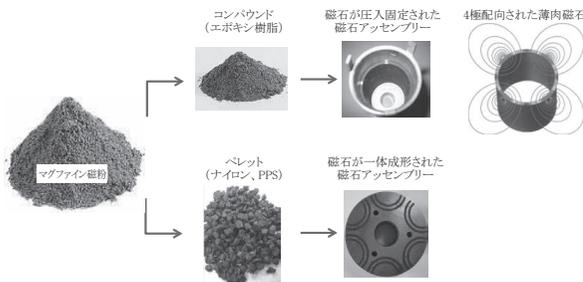


図 1 マグファインの工程フロー

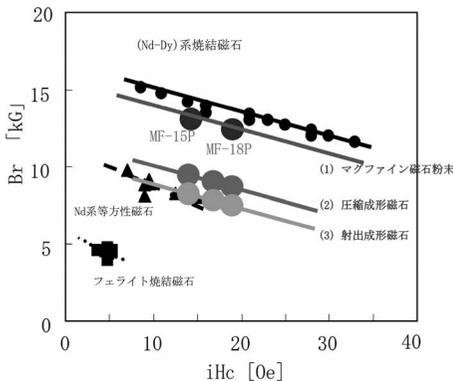


図 2 マグファインの磁気特性毎の製品群

応であり、結晶組織を微細化すると同時に、結晶をある特定の方位に配列させることで、高い磁力を付与する技術

粒界拡散法：d-HDDR法で形成された微細な結晶組織の粒界にNdCuAl合金を拡散し、均一な非磁性粒界相を形成させることで、結晶間の磁氣的相互作用を分断し、耐熱性を付与する技術

◇ 製品群 (図2)

1. 磁石粉末：Nd焼結磁石と同等の磁気特性
 - ・MF15P：スタンダードタイプ、保磁力15kOe
 - ・MF18P：高保磁力タイプ、保磁力18kOe
2. 圧縮成形タイプ：エポキシ樹脂がバインダー
 - ・MF14C：スタンダードタイプ、保磁力 14kOe、耐熱温度 120°C
 - ・MF16C：中保磁力タイプ、保磁力 16kOe、耐熱温度 130°C
 - ・MF18C：高保磁力タイプ、保磁力 18kOe、耐熱温度 150°C
3. 射出成形タイプ：一体成形が可能
 - ・PA12グレード：耐熱温度 120°C
 - ・PPSグレード：耐熱温度 150°C、耐環境性良好

◇ 効果 (図3)

- ・フェライト焼結磁石を使用したDCモータの70%軽量化
- ・NdFeB系焼結磁石を使用したDCBLモータの省資源化(省Dy化)
- ・磁石の圧入固定や一体成形固定によるモータ組立工程の省略化

◇ 将来性

エネルギーのスマート化が進む中、全消費電力の約55%を使用するモータの高効率化は重点事項である。マグファインは、高い磁気特性と形状自由度の両方を得ることが出来るため、新たな設計による高効率モータが期待される。

〔愛知製鋼株 電磁品本部 のぐち けんじ 磁石事業室 磁石技術グループ 野口 健児〕

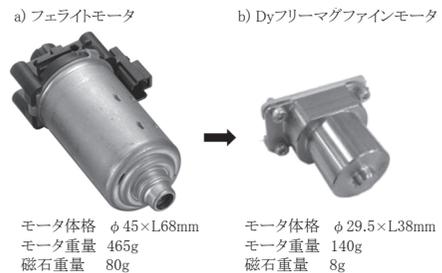


図 3 Dyフリーマグファイン磁石を用いたDCモータの小型・軽量化

ノイズ抑制シート用 Fe-Si-Al系扁平粉末

まえがき

各種の電子機器の小型化や通信の高速化にともない、高周波ノイズによる近接基板間の相互干渉や誤作動が大きな問題となっている。この高周波ノイズを抑制する目的で、数十～数百 μm の厚さの磁性シートが広く利用されている。

ノイズ抑制シートには高い透磁率と高い電気抵抗が要求されるため、樹脂バインダー中に軟磁性フィラーを分散しシート化されたものが用いられる。一般に、ノイズ抑制効果はシートの透磁率と厚さの積で表され、より高い透磁率を実現することでシートを薄くすることが可能である。ノイズ抑制シートの高透磁率には、Ollendorfの式などで表されるように、軟磁性フィラーの高アスペクト比と高透磁率、軟磁性フィラーのシート中における高充填率などが有効である。したがって、軟磁性フィラーとしては、高透磁率を有するFe-Si-Al系合金を扁平状に加工した粉末が多く用いられている。

近年では、余分なスペースが限りなく少ないスマートフォンやタブレット型PCへも適用され、厚さ50 μm 程度のノイズ抑制シートが使用されているが、数十 μm まで薄くなるとシート表面粗さやシート化時の破れが新たな課題となってくる。前述のように高い透磁率を得るためには高いアスペクト比を有する軟磁性フィラーが必要であり、一般には、顕微鏡による断面観察で厚さが薄く、平均粒径（ここで言う粒径はレーザー回折法によるD50）が大きい扁平粉末が有利と考えられている。しかしながら、平均粒径の大きい扁平粉末はシート化

表 1 開発したFe-Si-Al系扁平粉末の代表特性

	平均粒径/ μm	透磁率 (μ')
汎用グレード	40	140～160
高透磁率グレード	45	180～200

条件によっては成形性に課題があり、シートの表面平滑性・破れにくさと、高透磁率が相反するケースが多くなってきている。

このような背景から当社では、シート成形性と高透磁率を両立させることを目的に、平均粒径を過度に大きくすることなく、高い透磁率を実現できるFe-Si-Al系扁平粉末を開発したので紹介する。

◇ 開発したFe-Si-Al系扁平粉末の特徴

開発のポイントとして、平均粒径を大きくしアスペクト比を増加させる方法ではなく、扁平粉末の内質を改善することで高透磁率を達成することに着目した。表1に開発したFe-Si-Al系扁平粉末の平均粒径とシート化した場合の透磁率 (μ') の代表値を示す。なお、透磁率を測定したシートは45～50%程度の充填率である。本扁平粉末は、原材料を真空・不活性ガス中で溶解し、不活性ガスでアトマイズする方法で原料粉末を作製し、これを扁平状に処理し、さらに内質改善の処理を施している。「真空・不活性ガス中溶解+不活性ガスアトマイズ」により作製された原料粉末が成分安定性や内質均一性に優れるとともに、各工程の処理条件を最適化することにより、平均粒径に頼ることなく高い透磁率を実現している。本扁平粉末は既に多くのノイズ抑制シートに軟磁性フィラーとして実用化しており、さらなるシート薄肉化に対応できると期待される。

〔山陽特殊製鋼株式会社 粉末事業部 澤田 俊之〕

まえがき

地球環境問題への社会的関心が高まる中、省エネルギーの観点から、電力消費削減技術への関心が高まっている。特に、半導体パワーデバイスのスイッチング動作により、電力の変換と制御を高効率で行う「インバータ・コンバータ技術」の進歩は著しく、電力消費削減のキーテクノロジーとなっている。高周波リアクトルは、半導体素子と共に、インバータ・コンバータ技術の実現に欠くことができない電子部品である。本稿では、高周波リアクトルの鉄心材料として好適な電磁鋼板、JFE スーパーコア[®] JNEXの基本特性について述べる。

◇ 6.5%Si電磁鋼板 JFE スーパーコア[®] JNEX

電磁鋼板には、鉄損（鉄心材料に発生するエネルギー損失）を低減するためにSiが添加されている。とくに、高周波鉄損の改善には、Si添加が極めて有効である。また、Si添加により騒音の原因となる磁歪（磁化による材料の伸縮）が変化し、6.5%Siで磁歪ゼロとなることが知られている。このように、Si添加量を6.5%とすることにより、低鉄損かつ低騒音の高周波用途電磁鋼板となるが、Si添加量が3.5%を超えると、脆化によって冷間圧延が困難となる。そのため、3.5%Si以上の高Si電磁鋼板の工業レベルでの製造は困難であった。

JFEスチールは、世界に先駆けて化学気相蒸着法（CVD法）を用いた6.5%Si鋼板の連続製造技術を確立した。具体的には、冷間圧延後の鋼板を高温に加熱し、鋼板表面にSiCl₄（気相）を供給、Si原子を鋼板中へ浸透、鋼板内部へ拡散させて、均一な6.5%Siの鋼板を得る方法である。本材料は

「スーパーコア[®] JNEX」として販売されている^{1), 2)}。

◇ スーパーコア[®] JNEXの素材特性

表1に6.5%Si電磁鋼板10JNEX900の代表的特性を示す。代表的な高周波用鉄心材料である極薄方向性電磁鋼板（Thin Grain oriented Si Steel）、鉄系アモルファス（Fe base amorphous）の特性例も併せて示す。

極薄方向性電磁鋼板は、鉄損（Core loss）が高く、効率の点で劣る。また、鉄系アモルファスは、板厚が極めて薄いことから低い鉄損を示すものの、飽和磁束密度（Saturation magnetization）が低く、磁歪（Magnetostricticton）が大きいことから、小型化や騒音での難点が指摘されている。

これらの材料と比較し、6.5%Si電磁鋼板、スーパーコア[®] JNEXは、優れた磁歪特性と鉄損特性を両立する材料であり、高周波リアクトルに好適な材料である。

むすび

6.5%Si電磁鋼板、スーパーコア[®] JNEXは、高周波鉄損特性、磁歪特性に優れるため、太陽光発電のパワコンやUPS、電車電源などの高周波リアクトル、および医療用電源や溶接機などの高周波トランスに広く使用されている。半導体パワーデバイスを中心とした「インバータ・コンバータ技術」の発展と共に、今後、更に活躍の場が広がると考えられる。

参考文献

- 1) 第155・156回 西山記念技術講座「軟磁性材料の最近の進歩」p. 199～219
- 2) 浪川操、二宮弘憲、山路常弘：JFE技報 No.8、2005年6月、p. 11～16

JFEスチール(株) たかしま みのる
電磁鋼板セクター部 高島 稔

表 1 磁気特性例

材 料	板厚 (mm)	飽和磁束密度 (T)	鉄損 (W/kg)				磁歪 400Hz, 1.0T ($\times 10^{-6}$)
			50Hz 1.0T	400Hz 1.0T	5kHz 0.2T	20kHz 0.05T	
6.5%Si 電磁鋼板 (10JNEX900)	0.1	1.8	0.5	5.7	11.3	6.9	0.1
極薄方向性電磁鋼板	0.1	2.0	0.7	6.4	20.0	14.0	-0.8
鉄基アモルファス	0.025	1.5	0.1	1.5	8.1	3.3	27.0

株ダイドー電子

ダイドー電子の希土類磁石紹介

(株)ダイドー電子は、Ndボンド磁石《NEOQUENCH-P》とSmボンド磁石《NITROQUENCH-P》とNdメタル磁石《NEOQUENCH-D》を3製品を中心に生産販売しており、特に省Dy型の《NEOQUENCH-D》は数年前から注目を浴び、自動車モータ用に増産中です。図1の(BH)maxと保磁力の図に製品を示します。

◇ Ndボンド磁石 NEOQUENCH-P

超急冷法によりつくられたNd・Fe・B系粉末を樹脂で結合させた等方性ボンド磁石です。GM社が1982年に発表されたMQ磁石を基とし、1987年日本で最初に当社は上市しました。従来から、HDD等の小型スピンドルモータや携帯電話の超小型振動モータを中心に供給し、最近では自動車用小型モータ用や磁気センサ用に、シャフトやヨーク等の他部品と磁石に一体成形品や、最近では軟磁性ボンドと磁石の2材成形品といった商品も市場に提供しています。

◇ Smボンド磁石 NITROQUENCH-P

超急冷法によってつくられたSm・Fe系粉末を窒化処理し、樹脂で結合させた等方性ボンド磁石で、大同特殊鋼とダイドー電子が共同開発によりNEOQUENCH-Pよりも高磁気特性・高耐食性・長期耐熱性などの特長を有します。最近では自動車アイドリングストップに使用される電動オイルポンプモータに採用され、今後の拡販に期待をしています。

◇ Ndメタル磁石 NEOQUENCH-D

上述の超急冷粉末をホットプレスしてバルク化した後、熱間押し出し加工により成形したネオジウム磁石です。リング形状でラジアル方向に異方化された磁石では世界最高級の磁力を持ち、長尺においても磁力を損ないません。又、磁力のバラツキも少なく、スキューや台形波などの着磁が可能のため、モータ特性におけるトルクリプルやコギングの低減が図れることより制御性が求められるACサーボモータに多く採用されており、自動車分野においては耐熱性の良さからも電動パワーステアリングモータへも採用されています。

この磁石は200~500nm程度の微細なナノ結晶からなっており、一般的な焼結磁石と比較して結晶粒径が1オーダー程度微細です。この組織の差が、最大の特長であり、これは①原料合金の製法が異なること、②工程内の最高温度が異なることの主に2点の製法上の違いに起因しています。一般に磁石材料の結晶粒が細くなるほど高い保磁力を得ることができ、耐熱性が向上することが知られています。故に結晶粒径が非常に微細なNEOQUENCH-D磁石は、高耐熱性を得るのに有利であり、その分、耐熱性の確保のために添加される高価なDy等の重希土類元素の使用量を一般のNd系磁石に比べ、低減できています(図2)。当社は、更に磁石組成の最適化と新たな熱間加工方法の開発によるナノレベルでの組織制御を行い、図2に示すようにDyのフリー領域を拡大する材質を開発中です。

〔株)ダイドー電子 営業部 営業企画室 灰塚 弘〕

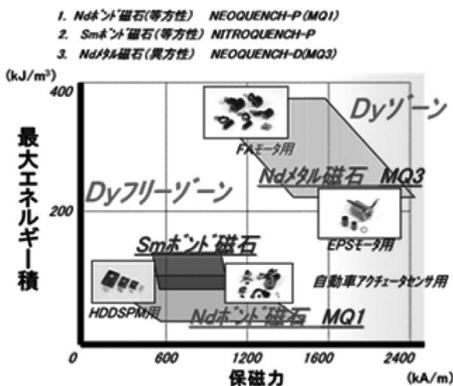


図 1 ダイドー電子磁石のラインアップ

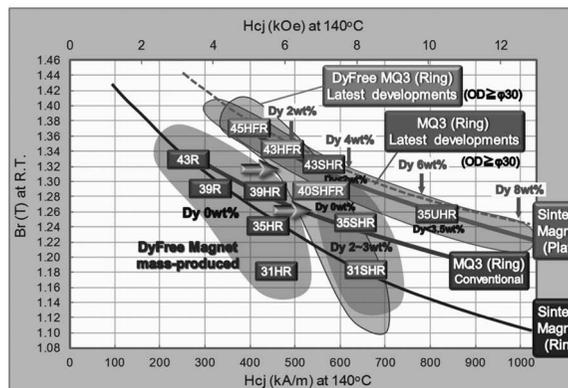


図 2 Ndメタル磁石の磁気特性

高耐食性電磁ステンレス鋼

“K-M38CS”

まえがき

近年のエネルギー分野では、固体高分子形燃料電池 (PEFC) の普及が進んでいます。PEFC内では電解質膜の加湿や都市ガスの改質、電極の冷却などに純水が使用されており、純水を制御する部品の腐食や材料成分の溶け出しによる水質の劣化は、発電性能の低下を早めてしまいます。

当社で製造している電磁ステンレス鋼 (K-M鋼) は優れた磁気特性 (電磁石の鉄芯としての性能) を有しており、様々な使用環境に対応できるラインナップを持っています。その中でもK-M38 (18Cr-2Si-1Mo) は優れた耐食性を有しており、PEFCシステム内における電磁弁/電磁ポンプなどに広く使われています。しかし、高い耐食性を持つ反面、切削加工に困難な点があり、多くのお客様からは被削性の改善を求められておりました。

材料の被削性向上にはSやPbを添加することが一般的ですが、これら添加元素は耐食性を低下させることが知られています。一方、K-M鋼のラインナップには、TICS快削鋼があり、このシリーズは鋼中にTiCS (チタンの炭硫化物) を微細に分散させることで被削性の向上を図った材料です。今回はK-M38をベースに快削化を図った『K-M38CS』を紹介致します。

◇ 特徴

表1にK-M38CSとK-M38 (ベース鋼)、比較鋼

表 1 電磁ステンレス鋼の特性比較

鋼種名	概略成分 [wt%]	磁気特性 (保磁力)	孔食電位 3.5%NaCl、30℃	切削抵抗 ^{*1}	溶出量 ^{*2}	
					Fe, Cu	Mn
K-M38CS	18Cr-2Si-1Mo-TiCS	100 [A/m]	340mV	150	<5ppb	<5ppb
K-M38	18Cr-2Si-1Mo	80 [A/m]	360mV	210	<5ppb	<5ppb
SUS430F	18Cr-1Si-Mn,S	200 [A/m]	200mV	100	<5ppb	>180ppb

※1：φ5mmのドリル切削で材料が受けた反力を測定

※2：φ10×1.6の試料を80℃の超純水に40日間浸漬

としてSUS430F (18Cr、MnS快削鋼) の特性を示します。K-M38CSはベース鋼と同等の磁気特性、耐食性を有し、ベース鋼以上の被削性を確認しております。また、表中の溶出量についてはPEFCを模擬した水環境 (80℃、超純水) を設定し、成分元素の溶出挙動を評価した結果です¹⁾。特に注目して頂きたいところはSUS430Fにおいて生じている『Mnの溶出』が、K-M38CSでは認められない点です。『S』を含む快削鋼は被削性に優れておりますが、鋼中に存在するMnSは水環境下で水溶性を示すため、それに伴うMnの溶出が生じます。

一方、K-M38CSも成分に『S』を含んでおりますが、Sは鋼中でチタン炭硫化物 (Ti₄C₂S₂) として存在します。このチタン炭粒化物は熱力学的に安定しているため酸/アルカリに強く、表面に安定な不動態 (TiO₂) を形成し、過酷な環境においても成分の溶出を防ぐことができます。

むすび

弊社のTICS快削鋼は電磁ステンレス鋼のみならず、電磁純鉄、FeNi合金 (パーマロイ、インバー等) にも展開しております。今後、環境問題の点から、Pbなど快削元素に対して使用規制が適用された際、その対応策の一環としてTICS鋼を御検討して頂けると幸いです。

参考文献

- 1) 菅原優、成瀬達也、江幡貴司、武藤泉、原信義：第60回材料と環境討論会講演集 (2013)、131-132

〔東北特殊鋼(株) なるせ たつや
技術部 成瀬 達也〕

日本金属(株)

極薄電磁鋼板（極薄珪素鋼板）

まえがき

日本金属グループでは、日本金属にて板厚0.040mm～0.100mmまでの電磁鋼板（珪素鋼板）の圧延を行い、子会社である日金電磁工業にて焼鈍、皮膜形成、応用機器の製造を行って極電磁鋼板およびその応用製品の製造・販売を行っています。板厚0.100mm以下の極薄電磁鋼板を製造販売している企業は世界に3社しかなく、“薄さ”を活かした特長ある製品を送り出しています。

◇ 電磁鋼帯（珪素鋼帯）とは

鉄鋼材料を電磁機器に使用すると、使用時に鋼板内に渦電流が流れてエネルギー損失が発生します。エネルギー損失を少なくするためには、鋼板の電気抵抗を高める必要があり、電気抵抗を高める元素として一般的にはSiを3%程度含有させます。これが電磁鋼板と呼ばれる鋼板で、Siを含有するために珪素鋼板と呼ばれることもあります。電磁鋼板には、方向性電磁鋼板と無方向性電磁鋼板とがあり、後述するような特徴があります。

◇ 極薄電磁鋼板の特長

渦電流によるエネルギー損失は、板厚を半分にするると4分の1になり、板厚が薄ければ薄いほどエネルギー損失が小さいこととなります。特にこの効果は、使用する際の周波数が高くなるほど顕

著になります。日本金属の極薄電磁鋼板は、世界トップクラスの薄さを誇り、エネルギー損失が小さく、機器の小型化が可能という特長を活かして、省エネ機器などに適用されています。

◇ 方向性極薄珪素鋼帯

鋼の結晶の中には磁化しやすい方位があります。この磁化しやすい方位が、鋼板の圧延方向にそろっているのが方向性電磁鋼板です。圧延方向が容易に磁化されるので、磁化させる方向が決まっているトランスなどに適用されます。

写真1は大容量UPS（無停電電源装置）に使用されている例で、高周波、大容量で使用されるものです。変換効率の良さ、発熱の抑制、小型化などのために極薄電磁鋼板が適用されている例です。このほか、高電圧直流送電システムの交流・直流変換部分などに使用されています。

◇ 無方向性極薄珪素鋼帯

磁化しやすい方位を鋼板の板面内に均一に分布させた電磁鋼板です。モーターなどのように磁化される方向が特定されない機器に適用されます。この分野でも板厚の薄い極薄電磁鋼板はエネルギー損失の少なさ、すなわち長時間使用していても発熱が少ない、小型化が可能などの特長を活かして、小型機器の省エネ化に役立っています。

今後の電磁機器の高周波化、省エネニーズに応える材料として極薄電磁鋼板の役割は益々高くなって行くものと確信しています。

〔日本金属(株) やまごき かずまさ
専務取締役 技術部門長 山崎 一正〕

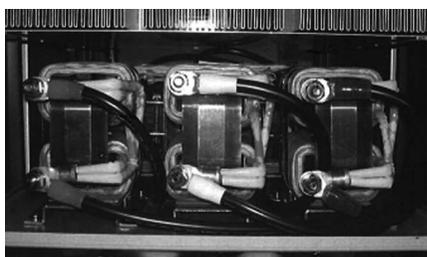


写真 1 大容量UPSの内部と使用されているコア

鉄系軟質磁性材料粉末

ま え が き

当社は水アトマイズ法という製法を用いて鉄系合金粉末を製造しています。水アトマイズ法とは、ルツボから溶銅を垂らし、そこに高圧の水ジェットをぶつけて溶銅を滴下させ、スラリー（水+粉末）を乾燥させて粉末を得る製法です。当社の製品の一つに、鉄系の軟質磁性材料粉末があります。軟質磁性材料とは、磁場を与えると磁化し磁場を取り除くと磁化がなくなる材料のことで、透磁率が高く保磁力が小さいことが要求されます。主な組成としては、Fe-Si (-Cr) 系、Fe-Si-Al系、Fe-Co系、Fe-Ni系、Feアモルファスや金属ガラス等があり、必要とされる磁気特性やコストによって使い分けされています。

粉末から実際の製品を製造する方法は種々あります。代表的な例として、プレス成形や射出成形後に焼結させる焼結磁心があり、主にモータやトランスの鉄心、ドットプリンタのヨークに用いられます。また、絶縁処理された粉末をプレス成形し歪み取りの熱処理（絶縁被膜が破壊されない温度）を行う圧粉磁心があり、リアクトルやチョークコイルに用いられます。近年、絶縁処理された粉末とコイルを一体成形する製法があり、パワーインダクタに用いられています。以下、圧粉磁心やパワーインダクタに使用される粉末について紹介します。

◇ 粉末形状

圧粉磁心やパワーインダクタに用いられる粉末への要求特性は、組成によって決まる磁束密度や保磁力がありますが、軟質磁性材料“粉末”では、

組成に加えて、粉末形状としては球形状が求められています。これは、球形状であると絶縁被膜が粉末表面に均一に付くことやプレス成形の際に絶縁被膜を破壊しないためです。球状粉末を製造するためには、滴下した溶銅をゆっくりと冷却しなければならず、水アトマイズ法では難題とされてきました。当社では、同じ様に球形状粉末が求められるMIM用微粉末製造のノウハウを応用し、軟質磁性材料粉末でも球形状に近い粉末を製造しています。写真1に平均粒径10 μ mと70 μ mの6.5% Si-Fe粉末のSEM写真を示します。

◇ 粉末粒度

圧粉磁心に用いられる粉末の粒度は実製品の使用される周波数によって変わります。リアクトルのような10kHzで使用される場合は平均粒径60~80 μ m、チョークコイルのような100kHzで使用される場合は10~20 μ m、パワーインダクタのような数100kHzから1MHzで使用される場合は10 μ mもしくはそれ以下となります。これは、粉末の大きさが透磁率やコアロスに寄与するためで、粉末の粒径が大きくなると透磁率は高くなりますがコアロスも高くなってしまおうという二律背反の関係にあるためです。当社ではアトマイズ条件の適正化により平均粒径5 μ mから100 μ mまで対応することが出来ます。

む す び

今後は電源回路の高電流化に伴い、従来のフェライトではなく鉄系の軟質磁性材料粉末の需要が拡大しており、ますます発展していくものと期待されている材料です。

〔三菱製鋼株 久米 慶太〕
〔広田製作所 粉末グループ〕

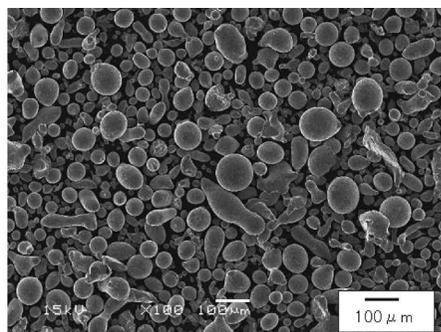
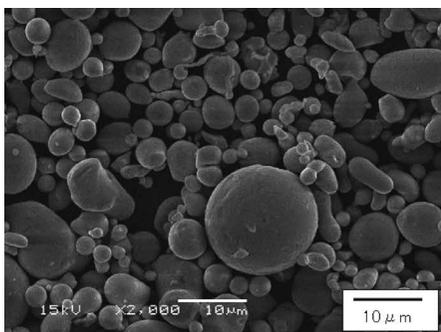


写真1 6.5%Si-FeのSEM写真（左：平均粒径10 μ m 右：平均粒径70 μ m）

“特集” 編集後記

本誌では、2002年6月号、2009年11月号において磁性材料を特集しました。前回の特集からすでに5年近くが経過し、新しい読者も増えているものと思います。前二回の特集では、「磁性材料はわかりにくい」という声を受けて、「やさしい磁性材料」と題して特集を組みました。今回もこの方針を踏襲しましたが、少しでも理解を容易にするために、「よくわかる磁性材料」と題して、本誌の読者の大部分を占める流通の方々に、磁性材料を理解していただけるよう心がけました。

初めに、磁性材料全体を俯瞰する目的で、磁性材料の歴史について述べています。材料開発の歴史を知ることで、現在の磁性材料の概要を理解してもらえるようにしました。磁性材料の研究開発において、いかに日本が世界をリードしていることがわかっていただけるものと思います。つぎに、磁性材料をわかりやすく理解するための基礎知識について、数式を用いずにできる限り平易に記載しています。新しい読者の方々のために、あえて前二回の特集と重複する部分も載せてあります。

さらに、各種の磁性材料についてわかりやすく解説をしています。最近の動向についても記載しています。軟質磁性材料では、変圧器やモータ用

として最も生産量の多い電磁鋼板、各種の高透磁率材料、構造材料の要素もある電磁ステンレス、また、高周波での用途が増えている軟質磁性粉末を取り上げました。硬質磁性材料では、ネオジム磁石をはじめとする希土類磁石、複合磁性材料としてのボンド磁石、個性的な用途をもっている鑄造・圧延磁石を取り上げました。本誌の性格上、セラミックスであるフェライト（ソフト、ハード）については、敢えて取り上げませんでした（磁性材料の歴史において触れています）。これらにより、代表的な磁性材料について理解いただけるものと思います。

環境問題に対応するために磁性材料の果たす役割はますます大きくなっています。今回は、磁性材料の産業・家電への応用として、省エネルギーにおいて非常に重要な、変圧器、エアコンのモータを取り上げ、ユーザーの立場から解説していただきました。

限られた紙面の中ではありますが、磁性材料への理解を少しでも深めていただけることを編集委員一同期待しております。

〔三菱製鋼(株) 技術管理部 福田 まさかつ 方勝〕

業界のうごき

浅井産業、インドネシア子会社 特殊鋼切断加工に進出

浅井産業は、インドネシアで特殊鋼棒鋼や鋼管の切断・面取加工に進出した。顧客の切断業務のアウトソーシングに対応し、切断加工を含めた物流サービスを強化する。インドネシア合弁のパートナーである現地系鍛造メーカーから切断機を移設し、14年末までに約10台体制を整え、その後に細径鋼管用を含めて20台体制に拡充する計画だ。

同社は12年5月、現地系鍛造メーカーのプロダクト・テンパジャ(以下PTJ)と合弁で商社・倉庫業のアサイ・インドネシアを設立。13年12月から商社業務。14年1月から倉庫業務を開始した。

14年3月には同地に金属加工業のASPインドネシアをPTJと合弁で設立。この新会社で切断業務を開始した。

インドネシアでは自動車部品生産が拡大傾向にあり、加工・部品メーカーが鋼材保管や切断業務を外出する動きが出始めている。

(6月30日、鉄鋼新聞)

UEX、子会社を拡張・移転 ステンレス造管ライン増設

UEXの中国造管子会社、上海UEX(董事長・勝賀瀬崇UEX顧問)は、このほど工場を拡張・移転し、ステンレス造管ラインを1基増設した。自動車排気ガス系部材、魔法瓶内筒管を中心に生産が安定化し、2011年12月期以降は増収増益基調が続いている。

08~10年度は厳しい収益状況が続いたが、14年12月期で累損を解消する計画で、今後は日本車向け以外の中国内需の開拓や排気系以外の自動車部材の用途開拓も図る方針だ。

6月に上海市内の星火開発区内で拡張・移転した。新工場は1,296平方メートルの建屋2棟で、従来より5

割広い。造管ラインは5基体制に拡充し、月産能力(8時間稼働)は60~70トンから80~90トンに拡大した。

社員教育を含めた経営基盤の強化が進み、7月11日には星火開発区工会連合から12~13年度表彰も受けた。

(7月24日、鉄鋼新聞)

ウメトク、インドネシアで 熱処理加工を開始

ウメトクは、インドネシアで熱処理加工事業を開始する。本年3月に事業会社のウメトク・インドネシア・エンジニアリングを設立。ジャカルタ近郊の工業団地に工場を建設し、年内をめどに稼働を予定しており、日系自動車及び自動車関連産業向けの需要獲得を目指す。

新工場は西ジャワ州ブカシ県チビトンの「MM2100」工業団地に位置し、約8,000平方メートルの敷地に、約1,500平方メートルの工場と事務所建屋の建設を計画。

設備は真空焼入炉1基、大気焼戻炉3基、真空窒化炉1基などの導入を予定しており、需要動向を見極めながら、順次拡充する。

建屋完成後には、現在ジャカルタ市内にある事務所を移転し、営業倉庫に在庫している特殊鋼鋼材を移し、材料販売も行う。当面は月間約20トンの熱処理加工を見込む。

(5月22日、産業新聞)

カムス、富山に新倉庫建設へ 工具鋼の在庫・加工体制強化

カムスは、工具鋼の拡販強化に向けて在庫・加工体制を拡充する方針だ。工具鋼(ダイス鋼)の月間販売量を15年度下期までに200トン増やすことを目指す。1年後をめどに北陸テクノセンター(富山県射水市)の隣接地に鋼材倉庫を増設し、同センターの工具鋼在庫を現状1,200トンから約2,200トンに拡充することを検

討している。

同社北関東テクノセンターは自動車用金型材の加工により注力する方針で、内製化率を高めることで即納強化を図る。この一環で日本高周波鋼業富山製造所関連の外注加工を北陸テクノセンターに移管するため、14年度上期中に一部設備を北陸に移設する。

北陸テクノセンターは大阪、広島方面への在庫拠点機能も担っており、新倉庫を建設して在庫を拡充する。13~15年度の設備投資計画は約4億6千万円で、うち北陸の新倉庫に約2億円を投じる計画。(5月28日、鉄鋼新聞)

佐久間特殊鋼、部品事業増強へ建屋増設 東海支店、検査も集中

佐久間特殊鋼は、部品事業の増強に乗り出す。この事業の中核拠点である東海支店(愛知県東海市名和町)は、夏場の完成を目指して建屋の増設工事を実施、収容可能な要員を現在の30人強から55人規模にまで拡大するとともに、検査室も新設し品質保証体制を強化する。これにより全社売上高に占める部品事業のウエートを今の32%から40%にまで引き上げる考えだ。

同社は、国内では本社の他東海、浜松、三重、関東の4支店を持ち、現在は西尾支店の開設に向け工事を進めている。このうち東海支店は同社における部品事業の中核となっており、他の支店で行っている部品関係の事業をサポートするほか、品質保証業務も担当している。

こうしたなかで同社は比較的収益率の高い部品事業を強化する方針を打ち出しており、約4,000万円を投じ増強を図ることにしたものだ。

(5月26日、産業新聞)

サハシ特殊鋼、ロボット導入 肉盛溶接を自動化

サハシ特殊鋼は、肉盛溶接を自動

業界のうごき

化する。補助金を活用して溶接ロボットを導入、増加する需要への対応力を高めるほか品質安定化や従業員の作業負担軽減も狙う。

同社は、タングステンパウダーを使用した鍛造部品への肉盛溶接を行っており、最近ではニーズの高まりを受けて旺盛な引き合いが寄せられている。

しかし、溶接業務の際には長時間同じ姿勢を維持する必要があるなど、従業員への負担が増加していた。そこで作業環境の改善、生産性の効率を狙って肉盛溶接の自動化を決断した。

溶接ロボットの導入で自動化を図り、機械購入時には「平成25年度補正中小企業・小規模事業者ものづくり・商業・サービス革新事業」の補助金を活用する。8月中旬の発注、11月頃本稼働スタートをめざす。ロボットの設置によって作業可能時間が大きく増加、能力は従来と比べて50%程度アップする。

(7月8日、鉄鋼新聞)

大同DMS、工具鋼プレート事業強化 子会社の設備集約、金型の二次加工

大同DMソリューションは、工具鋼プレート事業の強化を図るため、設備の集約による効率化やコスト低減を図るほか金型の二次加工に注力していく。設備集約では同子会社の越智製作所(本社・大阪府門真市)の深田工場の設備をDDMS生駒工場(奈良県生駒市)に移転し6面加工を集約。二次加工では名古屋工場の設備を強化し、倍増の1億円の売上高を目指していく。

生駒工場では、6面加工の集約に伴い約9千万円かけ建屋を増築し、年末年始に設備を移転させる。生駒工場では越智製作所が6面加工を一貫管理し効率化を図る。

名古屋工場では、以前からマシン

にはガンドリルを導入し穴明け加工を内製化。また3次元のCAD/CAMも稼働させ、複雑な形状のダイキャスト金型やプレス用の金型ブロックの2次加工への対応力を強化している。

(7月18日、鉄鋼新聞)

野村鋼機、切断機、機械加工設備を増強 今期投資3億円弱、効率化推進

野村鋼機は、今期(15年3月期)の設備投資計画として、茨城支店・関東スチールセンターの全自動切断機の増設や関東テクノセンター(群馬県前橋市)、広島支店(福山市)の機械加工設備の増設など、総額3億円以内の投資を予定している。

今期大型投資は予定していないが、シフト体制を含めて切断・機械加工部門の増強、効率化を進めて、顧客サービスの充実を図る。

関東スチールセンターは構造用鋼棒鋼、ステンレス棒鋼・形鋼の主力在庫・切断拠点。切断機はすでに新鋭化しているが、150ミリ径以下の棒鋼の切断効率を高めるため、システム丸鋸盤を導入する。茨城、前橋支店、浦安特殊鋼センターの切断加工部門や(機械加工工場の)関東テクノセンターで、臨機応変な増量対応策として今夏から変則2直体制に移行できる態勢も整える。

(6月11日、鉄鋼新聞)

神鋼、加古川で線材増産 連铸改造、能力拡大

神戸製鋼所は、加古川製鉄所(兵庫県加古川市)で線材の生産能力を拡大する。線材を増産する上で母材を製造する連続铸造機(CC)がボトルネックになっていたことから、第一弾の対策として連铸機1基(月産能力約14万トン)を改造、線材を月数千トン増やせるようにした。今後、2017年の鉄鋼事業構造改革の中で増設する新しい連铸機は、神戸製鉄所

の既存設備(2基合計で月約12万トン)よりも生産能力を増やし、さらに月1万トン程度を上乗せする。神鋼にとって得意品種である線材の増産・拡販を狙う。

加古川で改造したのはブルーム製造用の連铸機。铸型を大型化する工事を2月に終えた。自動車などに使うばね用や軸受用、冷間圧造(CH)用といった線材増産に生かす。なお、加古川の線材圧延ミルは工場内に4ラインあり量産型。一方、神戸製鉄所の線材ミルは2ライン。

(6月10日、鉄鋼新聞)

大同、インド特殊鋼大手に資本参加 100%現地供給、協業を強化

大同特殊鋼は、インドの大手特殊鋼専門メーカーのサンフラッグ・アイアン&スチール社(サンフラッグ社、本社・ナグプール市、ラビ・パドワージ社長)に資本参加することを決めたと、発表した。サンフラッグ社の第三者割当増資を引き受け株式の10%(増資後発行済株式)を保有する。出資総額は約10億円。同社はこれまで、サンフラッグ社に対し技術支援し関係を強化してきたが、資本参加により協業関係をより強固なものとし、現地及びアセアン地域を中心に拡大する特殊鋼ニーズに対応する。

大同とサンフラッグ社は、2010年11月に技術支援契約を締結。これまで設備投資に関するコンサルティングや日系ユーザーの素材現地調達化ニーズに対応した高品質、高効率の特殊鋼製品を生産支援してきた。今回その関係をさらに前へ進め、資本参加することを決めたもの。

(7月11日、鉄鋼新聞)

高周波、富山製造所 製鋼クレーン更新

日本高周波鋼業は、富山製造所の

業界のうごき

製鋼用クレーンを更新する。これまでの荷重最大83トンから91トンに引き上げることで生産性が向上する。全体の生産状況は、ほぼフルで操業。多品種小ロットの製品群が特長の製造所だけに、わずかでも1チャージ当たりの製鋼量を増やすことでコスト削減につながると期待されている。

富山製造所は、製鋼炉の容量よりクレーン能力に制限があったため、製鋼能力を最大限発揮できていなかった。更新により「全体の生産性が約15%アップする」（久留島靖章 常務）という。現在鍛造品をはじめとして製造所全体ではフル操業下にある。製鋼クレーンを更新することで、さらなる操業面でのコスト削減を見込む。

河瀬昌博社長は今期について「得意分野の需要を最大限とらえるとともに、コスト改善が最大の課題」と語っており、今回のクレーン更新もその一環。（7月3日、産業新聞）

日本金属、上海拠点で現地法人化 ステンレス帯鋼拡販へ

日本金属は上海事務所を現地法人化する。ステンレスを中心とする帯鋼製品の販売機能強化を狙ったもので、7月9日に開所式を行い、新会社としてのスタートを切る。

社名は「ニッポンキンゾク・シャンハイ」で資本金は約2千万円。高柳克典総経理、王晓幸副総経理など5人体制だが、日本金属の営業開発スタッフも現地に駐在し、中国・韓国での技術サポート業務にあたる。

新会社ではステンレス帯鋼の既存ユーザーへの販売・技術サービス、特殊鋼帯鋼を含めたデリバリー業務の他、グループ内流通に対する販売支援も行う。月2億円弱の売上げ高からスタートし、来年度中には月2億6千万円まで拡大する計画だ。

これにより上海（販売）、タイ（コイルセンター、加工品の製造・販売）、マレーシア（コイルセンター）、シンガポール（販売）の4現地法人で、成長する東アジア需要を捕捉する体制が整う。（6月12日、鉄鋼新聞）

日本精線、水素ステーション事業に参入 電熱ワイヤ採用、水素発生装置を開発

日本精線はこのほど、通電加熱方式によるアルミノノリス触媒を用いた水素発生器をアルミ表面技術研究所（本社・茨城県取手市）と共同開発したと発表した。日本精線は水素発生器を軸に、08年開発のパラジウム合金圧延箔を用いた「水素分離膜モジュール」も含め、水素ステーション事業に参入する。

今回、日本精線の固有技術を応用しアルミと伝熱線によるクラッドワイヤを採用。アルマイト処理及び触媒担持したワイヤに直接通電することで、ワイヤ自体が発熱可能な触媒単体を形成する。触媒担体は熱源となり反応場内の温度の一定制御（340度℃）を可能にし、エネルギーロスを最小限に抑えた。

水素発生装置の開発は5年前から。クラッドワイヤを利用したことで良好な温度応答性、正確な温度制御、大幅な省スペース化という大きな3つのメリットを得た。（7月28日、鉄鋼新聞）

三菱製鋼、ターボ部品事業拡充 タービンホイールに進出

三菱製鋼は、精密铸造事業の柱であるターボチャージャー部品分野を拡充する。メイン商品のノズルベーン（可変翼）に加え、新たにタービンホイールの生産も本格的に開始することを決め、タイの子会社「MSM タイランド」（チョンブリ県ラムチャパン工業団地）での専用工場建設に着手した。新工場の生産能力は年間

100万個で来年初めに完成する。

タービンホイールについては、数年前から試験設備を導入し試作を重ねてきたが、耐久試験にも合格し、試験設備での量産に入っていた。将来の需要増も視野に入れて専用工場を建設することにしたもので、タイにターボチャージャーの専用工場を持つ三菱重工の現地調達ニーズにも応えることになる。

工場内の建屋を改造し、真空溶解炉、専用の造型ライン、射出成型機2基を導入する。（5月29日、鉄鋼新聞）

日立金属MMCスーパーアロイ 7月1日スタート

日立金属51%、三菱マテリアル49%出資の特殊合金合弁、日立金属MMCスーパーアロイ（社長・岡勉氏）が今日1日付でスタートする。三菱マテリアルの完全子会社だったMMCスーパーアロイの株式譲り受けと第三者割当増資の引き受けにより、日立金属が51%を取得して子会社化。両親会社のブランド力を生かしながら、航空機・エネルギー部材事業を強化する。

10月には同事業に関わる日立金属の営業部門と設計技術部門を日立金属MMCスーパーアロイに集約し、営業窓口を一本化する。日立金属が神戸製鋼所などと共同出資する日本エアロフォージとの連携も生かし、グループの総合力を発揮して成長戦略を推進する。

なお、経済産業省は先月27日、両親会社が提出した産業競争力強化法に基づく「特定事業再編計画」を認定した。（7月1日、鉄鋼新聞）

おことわり：この欄の記事は、最近月における業界のおよその動向を読者に知らせる目的をもって、事務局において鉄鋼新聞ほか主な業界紙の記事を抜粋して収録したものです。

特殊鋼統計資料

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼						合計	
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張鋼	その他		
'12 暦年	226,595	4,583,118	3,934,190	8,517,308	425,252	976,986	2,822,820	701,970	5,607,620	617,671	11,152,319	19,896,222
'13 暦年	246,149	4,572,676	3,871,149	8,443,825	430,297	936,673	2,857,369	692,010	5,705,091	648,243	11,269,683	19,959,657
'12 年度	227,588	4,388,544	3,747,493	8,136,037	417,525	883,781	2,807,953	691,323	5,636,639	597,540	11,034,761	19,398,386
'13 年度	253,463	4,732,925	3,985,769	8,718,694	435,711	995,693	2,922,735	691,101	5,702,462	692,726	11,440,428	20,412,585
'13. 7-9月	63,802	1,186,043	997,471	2,183,514	108,808	243,088	723,930	164,198	1,462,651	173,962	2,876,637	5,123,953
10-12月	65,290	1,199,237	981,694	2,180,991	108,348	255,293	732,679	174,882	1,390,934	170,622	2,832,758	5,079,039
'14. 1-3月	64,477	1,202,227	1,005,334	2,207,561	109,566	249,787	754,003	176,332	1,412,434	183,307	2,885,429	5,157,467
4-6月	69,923	1,194,168	976,948	2,171,116	107,233	261,911	757,776	181,351	1,479,933	174,472	2,962,676	5,203,715
'13年 5月	21,135	389,736	334,899	724,635	33,338	84,561	231,995	61,951	498,804	63,067	973,716	1,719,486
6月	21,912	381,304	331,889	713,193	39,397	83,889	249,786	57,979	487,869	53,802	972,722	1,707,827
7月	22,455	404,139	328,704	732,843	40,520	85,406	239,450	55,251	500,100	59,458	980,185	1,735,483
8月	19,333	371,614	330,500	702,114	31,220	73,450	232,161	49,336	488,078	53,652	927,897	1,649,344
9月	22,014	410,290	338,267	748,557	37,068	84,232	252,319	59,611	474,473	60,852	968,555	1,739,126
10月	24,346	398,524	332,049	730,573	37,348	89,189	249,753	58,895	449,757	63,257	948,199	1,703,118
11月	20,032	399,367	329,440	728,807	35,506	87,086	230,097	59,836	503,607	52,261	968,393	1,717,232
12月	20,912	401,406	320,205	721,611	35,494	79,018	252,829	56,151	437,570	55,104	916,166	1,658,689
'14年 1月	21,885	408,332	335,530	743,862	37,612	77,780	254,372	54,972	484,915	55,282	964,933	1,730,680
2月	19,960	374,301	315,210	689,511	35,642	83,376	231,552	55,609	439,496	52,600	898,275	1,607,746
3月	22,632	419,594	354,594	774,188	36,312	88,631	268,079	65,751	488,023	75,425	1,022,221	1,819,041
4月	23,678	399,403	329,085	728,488	37,896	87,167	262,335	58,079	470,308	58,803	974,588	1,726,754
5月	22,563	396,599	338,432	735,031	38,490	85,086	240,370	65,509	524,192	58,369	1,012,016	1,769,610
6月	23,682	398,166	309,431	707,597	30,847	89,658	255,071	57,763	485,433	57,300	976,072	1,707,351
前月比	105.0	100.4	91.4	96.3	80.1	105.4	106.1	88.2	92.6	98.2	96.4	96.5
前年同月比	108.1	104.4	93.2	99.2	78.3	106.9	102.1	99.6	99.5	106.5	100.3	100.0

出所：2013年12月まで『経済産業省生産動態統計』、2014年1月より経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

(注) 2014年1月より上記のとおり統計調査が変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

また、鋼種別合計と形状別合計は、出所が異なることから一致しない。

形状別

(単位：t)

年月	形鋼	棒鋼	管材	線材	鋼板	鋼帯	合計
'12 暦年	429,279	5,940,690	1,454,172	4,013,992	1,893,111	6,164,978	19,896,222
'13 暦年	420,716	5,782,384	1,413,921	4,143,965	2,122,894	6,075,777	19,959,657
'12 年度	430,247	5,607,651	1,378,459	3,913,109	1,928,292	6,140,628	19,398,386
'13 年度	386,674	5,959,248	1,469,820	4,289,571	2,106,686	6,203,452	20,415,451
'13. 7-9月	88,792	1,474,357	366,584	1,081,776	558,232	1,554,212	5,123,953
10-12月	71,615	1,491,006	370,493	1,078,673	532,599	1,534,653	5,079,039
'14. 1-3月	78,667	1,499,072	374,571	1,093,054	499,997	1,614,972	5,160,333
4-6月	73,505	1,537,017	348,788	1,073,277	593,462	1,580,993	5,207,042
'13年 5月	54,225	510,481	112,257	359,647	169,679	513,197	1,719,486
6月	47,843	514,537	113,273	334,453	179,935	517,786	1,707,827
7月	40,466	501,650	120,895	373,514	188,383	510,575	1,735,483
8月	24,918	455,735	135,429	334,425	181,719	517,118	1,649,344
9月	23,408	516,972	110,260	373,837	188,130	526,519	1,739,126
10月	21,175	505,082	132,313	369,363	169,753	505,432	1,703,118
11月	24,844	498,522	123,997	349,328	190,672	529,869	1,717,232
12月	25,596	487,402	114,183	359,982	172,174	499,352	1,658,689
'14年 1月	19,728	481,603	133,351	360,361	180,168	556,535	1,731,746
2月	32,626	487,382	119,051	328,043	154,840	486,745	1,608,687
3月	26,313	530,087	122,169	404,650	164,989	571,692	1,819,900
4月	28,267	502,741	126,649	366,939	192,927	510,270	1,727,793
5月	21,394	512,985	121,668	362,459	214,207	537,986	1,770,699
6月	23,844	521,291	100,471	343,879	186,328	532,737	1,708,550
前月比	111.5	101.6	82.6	94.9	87.0	99.0	96.5
前年同月比	49.8	101.3	88.7	102.8	103.6	102.9	100.0

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

(注) 2014年1月以降の形状別合計と鋼種別合計は、出所が異なることから一致しない。

特殊鋼鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)の推移 (同業者+消費者向け)

(単位：t)

年 月	工具鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼							計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 金 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン レ ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 鋼	そ の 他			
'12 暦年	360,170	3,947,624	4,068,239	8,015,863	247,191	543,614	2,976,768	176,204	91,149	25,210	4,060,136	12,436,169	
'13 暦年	321,646	3,825,120	4,018,791	7,843,911	249,017	500,921	2,984,291	195,198	109,019	39,134	4,077,579	12,243,136	
'12 年度	323,248	3,808,430	3,982,157	7,790,587	229,346	510,796	2,970,787	175,402	95,939	25,102	4,007,372	12,121,207	
'13 年度	324,404	3,879,315	4,061,105	7,940,420	267,951	513,723	3,002,125	199,622	111,431	51,971	4,146,823	12,411,647	
'13年 10月	29,587	331,718	341,740	673,458	22,964	46,172	248,409	16,384	9,518	8,614	352,061	1,055,106	
11月	26,619	326,237	338,868	665,105	22,838	41,495	245,600	18,622	8,749	2,297	339,601	1,031,325	
12月	25,003	316,561	334,002	650,563	20,489	40,605	246,675	17,033	10,058	2,292	337,152	1,012,718	
'14年 1月	25,778	317,319	334,421	651,740	24,005	41,700	249,491	15,668	9,620	8,617	349,101	1,026,619	
2月	26,093	321,348	339,084	660,432	21,239	42,839	253,386	17,244	9,145	6,137	349,990	1,036,515	
3月	27,831	330,263	348,915	679,178	27,321	44,373	263,832	17,970	9,851	5,192	368,539	1,075,548	
4月	26,122	318,908	341,416	660,324	24,679	38,251	247,023	15,969	10,078	2,268	338,268	1,024,714	
5月	25,440	312,939	337,386	650,325	25,416	36,943	247,491	16,732	9,339	2,594	338,515	1,014,280	
6月	27,323	313,303	338,463	651,766	20,651	38,460	258,491	17,096	9,899	2,333	346,930	1,026,019	
前 月 比	107.4	100.1	100.3	100.2	81.3	104.1	104.4	102.2	106.0	89.9	102.5	101.2	
前年同月比	103.8	98.9	102.1	100.5	93.0	87.2	107.2	98.8	120.9	91.0	103.4	101.6	

出所：経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

(単位：t)

年 月	工具鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼							計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 金 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン レ ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 鋼	そ の 他			
'12 暦年	7,673	182,574	131,328	313,902	23,953	43,245	130,709	27,139	134,929	34,091	394,066	715,641	
'13 暦年	7,642	219,565	133,431	352,996	28,659	47,340	119,544	30,274	178,768	34,745	439,330	799,968	
'12 年度	7,695	180,446	124,271	304,717	23,748	37,634	112,706	26,790	150,073	30,459	381,410	693,822	
'13 年度	7,603	207,387	127,934	335,321	24,576	43,066	121,920	30,864	163,913	40,196	424,535	767,459	
'13年 10月	8,929	224,541	141,877	366,418	26,537	42,933	130,973	34,676	182,943	41,060	459,122	834,469	
11月	7,556	216,035	132,475	348,510	22,217	45,945	113,602	36,383	198,497	29,068	445,712	801,778	
12月	7,642	219,565	133,431	352,996	28,659	47,340	119,544	30,274	178,768	34,745	439,330	799,968	
'14年 1月	8,790	224,041	130,104	354,145	27,009	43,417	124,845	32,268	170,839	30,547	428,925	791,860	
2月	7,404	210,980	129,525	340,505	27,480	43,982	124,390	32,390	161,546	33,924	423,712	771,621	
3月	7,603	207,387	127,934	335,321	24,576	43,066	121,920	30,864	163,913	40,196	424,535	767,459	
4月	10,299	212,734	123,533	336,267	23,700	43,019	135,945	28,878	161,546	35,140	428,228	774,794	
5月	8,427	208,554	130,658	339,212	25,262	43,096	117,506	30,439	179,235	30,745	426,283	773,922	
6月	9,370	203,805	132,342	336,147	18,280	43,716	125,142	27,556	180,752	30,777	426,223	771,740	
前 月 比	111.2	97.7	101.3	99.1	72.4	101.4	106.5	90.5	100.8	100.1	100.0	99.7	
前年同月比	110.8	102.7	98.6	101.1	73.8	88.9	101.0	87.9	93.1	108.7	94.4	97.4	

出所：2013年12月まで『経済産業省生産動態統計』、2014年1月より経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

(注) 2014年1月より上記のとおり統計調査が変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)

(単位：t)

年 月	工具鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼							計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 金 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス テ ン レ ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 鋼	そ の 他			
'12 暦年	60,030	269,229	185,407	454,636	24,462	74,066	149,302	18,236	8,556	2,435	277,057	791,723	
'13 暦年	51,532	192,784	137,555	330,339	14,228	50,702	128,745	14,252	9,314	1,464	218,705	600,576	
'12 年度	58,473	255,755	170,930	426,685	22,021	64,747	146,230	21,457	8,269	2,393	265,117	750,275	
'13 年度	49,581	204,598	144,165	348,763	10,367	52,471	132,506	15,762	9,305	1,588	221,999	620,343	
'13年 10月	48,010	187,477	136,187	323,664	15,039	50,914	125,709	15,612	8,760	1,644	217,678	589,352	
11月	48,376	187,481	134,882	322,363	13,356	48,586	123,065	14,808	9,079	1,721	210,615	581,354	
12月	51,532	192,784	137,555	330,339	14,228	50,702	128,745	14,252	9,314	1,464	218,705	600,576	
'14年 1月	52,987	187,985	138,697	326,682	9,209	51,416	128,378	15,080	9,175	1,292	214,550	594,219	
2月	51,619	191,494	139,168	330,662	13,535	52,080	131,570	14,509	9,344	1,457	222,495	604,776	
3月	49,581	204,598	144,165	348,763	10,367	52,471	132,506	15,762	9,305	1,588	221,999	620,343	
4月	48,979	200,698	139,286	339,984	11,393	51,170	134,780	16,788	8,642	1,373	224,146	613,109	
5月	49,477	205,015	142,398	347,413	11,333	50,883	139,424	17,965	9,410	1,461	230,476	627,366	
6月	47,405	201,720	144,773	346,493	10,936	49,215	137,025	17,002	9,067	1,555	224,800	618,698	
前 月 比	95.8	98.4	101.7	99.7	96.5	96.7	98.3	94.6	96.4	106.4	97.5	98.6	
前年同月比	83.4	84.1	87.4	85.4	47.8	82.8	97.1	99.1	104.7	79.4	89.5	86.7	

出所：経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

特殊鋼鋼材の輸出入推移

輸出

(単位: t)

年 月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼				その他の鋼			特殊鋼 鋼材合計
		機械構造 用炭素鋼	構造用 合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	ピアノ 線 材	計	高炭素鋼	その他 合金鋼	計	
'12 暦年	32,468	464,300	511,422	975,722	182,974	1,176,513	117,801	1,477,289	13,140	5,353,390	5,366,529	7,852,008
'13 暦年	46,815	467,652	559,899	1,027,551	187,205	1,118,549	120,628	1,426,381	13,176	5,145,102	5,158,277	7,659,025
'12 年度	33,787	463,315	528,913	992,228	181,940	1,135,905	117,144	1,434,990	13,212	5,324,302	5,337,515	7,798,519
'13 年度	49,234	474,018	580,043	1,054,061	191,652	1,130,329	135,718	1,457,698	13,215	5,402,773	5,415,988	7,976,982
'13年 9月	10,496	36,103	47,969	84,072	12,527	97,252	12,720	122,499	954	428,547	429,501	646,569
10月	3,766	36,591	39,205	75,797	15,637	97,273	7,134	120,044	998	457,748	458,746	658,353
11月	3,443	39,748	42,298	82,045	16,006	95,722	11,120	122,848	1,693	448,133	449,826	658,162
12月	6,432	42,742	46,092	88,834	13,980	102,180	5,604	121,764	1,218	476,641	477,859	694,888
'14年 1月	3,046	36,436	48,163	84,599	18,467	82,915	12,859	114,241	899	426,006	426,906	628,792
2月	3,256	42,062	49,166	91,227	14,145	94,050	9,115	117,310	905	525,908	526,813	738,605
3月	3,526	36,833	54,311	91,144	18,679	104,957	16,683	140,319	1,489	565,681	567,170	802,159
4月	3,604	43,650	53,521	97,171	19,180	95,205	16,142	130,527	1,229	464,267	465,496	696,798
5月	3,411	43,953	50,205	94,158	17,886	98,271	17,187	133,344	1,072	478,192	479,265	710,177
6月	9,644	48,255	53,242	101,497	17,683	94,488	13,771	125,942	1,552	517,442	518,964	756,077
前 月 比	282.8	109.8	106.0	107.8	98.9	96.1	80.1	94.4	144.8	108.2	108.3	106.5
前年同月比	333.8	122.4	108.5	114.7	119.9	102.6	140.5	108.0	150.1	126.3	126.3	122.2

出所: 財務省関税局『貿易統計』から作成。

輸入

(単位: t)

年 月	工具鋼	ばね鋼	ステンレス鋼					計	快削鋼	その他の鋼			特殊鋼 鋼材合計
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管			高炭素鋼	合金鋼	計	
'12 暦年	6,876	972	988	15,546	9,898	135,655	11,368	173,454	274	26,242	333,226	359,467	541,043
'13 暦年	5,376	1,497	493	12,079	12,970	170,751	13,387	209,681	310	19,977	396,068	416,044	632,909
'12 年度	5,679	1,077	781	14,359	11,151	139,237	11,910	177,438	452	26,907	342,039	368,946	553,591
'13 年度	5,725	2,913	504	12,330	13,654	180,931	13,839	221,258	118	21,920	582,545	604,465	834,478
'13年 9月	365	17	43	1,237	956	10,503	898	13,637	1	2,366	30,018	32,383	46,403
10月	450	57	45	761	994	14,734	1,518	18,052	38	947	48,830	49,778	68,374
11月	429	373	43	817	903	12,546	1,237	15,545	-	1,800	31,303	33,103	49,451
12月	588	516	44	818	822	17,866	1,026	20,576	8	2,210	56,989	59,198	80,886
'14年 1月	499	365	49	1,314	1,836	14,804	1,302	19,304	17	3,050	101,575	104,624	124,811
2月	453	1,158	39	931	1,017	16,951	1,014	19,951	2	231	65,542	65,773	87,338
3月	496	126	32	1,109	1,633	18,829	1,190	22,793	-	3,058	87,813	90,871	114,285
4月	707	69	86	1,130	992	17,950	1,556	21,715	-	1,599	52,161	53,760	76,251
5月	515	215	25	1,051	1,221	15,037	1,193	18,527	19	419	55,544	55,963	75,239
p6月	362	122	102	1,027	1,362	12,734	1,466	16,691	1	2,683	64,132	66,814	83,991
前 月 比	70.4	56.8	413.5	97.7	111.5	84.7	122.9	90.1	4.7	640.0	115.5	119.4	111.6
前年同月比	87.8	194.2	229.6	126.5	207.9	97.9	128.8	106.6	-	308.0	156.5	159.7	144.9

出所: 財務省関税局『貿易統計』から作成。

(注) p: 速報値

関連産業指標推移

(単位: 台)

(単位: 億円)

年 月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新車登録・ 軽自動車販売		建設機械生産		産業車輦生産		機 械 受注額	産業機械 受注額	工作機械 受注額
	うち トラック		うち トラック		うち トラック		ブル ドーザ	パワー ショベル	フォーク リフト	ショベル トラック			
'12 暦年	9,943,077	1,266,354	4,803,591	476,919	5,369,720	785,450	6,877	147,987	114,051	12,044	88,134	52,392	12,124
'13 暦年	9,630,181	1,308,177	4,674,633	472,179	5,375,513	801,975	6,236	148,161	107,777	13,538	93,232	47,742	11,170
'12 年度	9,550,883	1,237,262	4,658,649	475,364	5,210,290	759,973	6,215	140,130	111,426	11,937	87,026	45,932	11,398
'13 年度	9,912,403	1,333,945	4,632,178	468,925	5,692,162	843,644	6,648	158,109	110,214	14,181	97,030	47,753	12,049
'13年 9月	873,744	117,055	424,194	45,048	522,758	75,635	490	14,147	10,142	1,305	8,075	5,849	1,007
10月	871,570	115,743	407,709	37,102	421,669	66,355	561	14,888	9,999	1,517	8,144	3,027	1,022
11月	846,270	116,484	415,997	39,107	457,369	78,006	519	14,099	9,585	1,302	8,674	3,116	1,018
12月	786,720	108,684	379,276	42,115	423,210	63,190	584	13,258	8,856	1,063	7,624	3,964	1,077
'14年 1月	860,854	110,326	326,696	30,000	496,105	61,908	559	13,346	9,101	1,152	8,244	3,450	1,005
2月	863,452	110,052	326,696	30,000	496,105	61,908	559	13,346	9,101	1,152	8,244	3,450	1,005
3月	939,823	123,161	385,948	43,680	783,384	114,933	538	14,885	10,337	1,091	9,367	8,105	1,283
4月	770,591	107,670	375,824	41,594	345,225	51,757	615	13,377	9,007	1,070	8,513	2,919	1,219
5月	774,141	108,845	321,711	35,413	363,369	58,486	577	12,683	9,377	963	6,853	4,464	1,205
6月	857,317	117,512	390,915	40,689	452,555	72,516	535	14,166	10,198	1,152	7,458	5,133	1,276
前 月 比	110.7	108.0	121.5	114.9	124.5	124.0	92.7	111.7	108.8	119.6	108.8	115.0	105.9
前年同月比	106.6	104.1	96.0	95.2	100.4	101.6	85.6	115.6	112.9	95.3	96.4	128.7	134.1

出所: 四輪自動車生産、四輪完成車輸出は(一社)日本自動車工業会『自動車統計月報』、
 新車登録は(一社)日本自動車販売協会連合会『新車・月別販売台数(登録車)』、
 軽自動車販売は(一社)全国軽自動車協会連合会『軽四輪車新車販売確報』、
 建設機械生産、産業車輦生産は『経済産業省生産動態統計』、
 機械受注額は内閣府『機械受注統計調査』、産業機械受注額は(一社)日本産業機械工業会『産業機械受注状況』、
 工作機械受注額は(一社)日本工作機械工業会『受注実績調査』

特殊鋼需給統計総括表

2 0 1 4 年 6 月 分

鋼種別	項目	月 別					
		実数 (t)	前月比 (%)	前年同 月比(%)	1995年基準 指数(%)		
工 具 鋼	熱間圧延鋼材生産	23,682	105.0	108.1	106.5		
	鋼材輸入実績	362	70.4	87.8	246.5		
	販売業者	受入計	25,251	97.4	108.4	122.8	
		販売計	27,323	107.4	103.8	134.1	
		うち消費者向	21,337	111.8	106.6	227.3	
		在庫計	47,405	95.8	83.4	131.5	
	鋼材輸出船積実績	9,644	282.8	333.8	269.3		
	生産者工場在庫	9,370	111.2	110.8	83.6		
	総在庫	56,775	98.1	86.9	120.4		
	熱間圧延鋼材生産	707,597	96.3	99.2	130.3		
鋼材輸入実績	36,660	118.7	125.3	2405.7			
構 造 用 鋼	販売業者	受入計	650,846	98.9	101.2	197.0	
		販売計	651,766	100.2	100.5	198.8	
		うち消費者向	439,062	100.8	104.4	205.5	
		在庫計	346,493	99.7	85.4	144.2	
	鋼材輸出船積実績	101,497	107.8	114.7	599.6		
	生産者工場在庫	336,147	99.1	101.1	112.3		
	総在庫	682,640	99.4	92.5	126.5		
	熱間圧延鋼材生産	30,847	80.1	78.3	72.5		
	鋼材輸入実績	122	56.8	194.2	-		
	ば ね 鋼	販売業者	受入計	20,254	79.9	92.3	135.7
販売計			20,651	81.3	93.0	138.6	
うち消費者向			5,896	99.9	113.9	47.5	
在庫計			10,936	96.5	47.8	344.1	
鋼材輸出船積実績		17,683	98.9	119.9	139.7		
生産者工場在庫		18,280	72.4	73.8	56.9		
総在庫		29,216	79.8	61.3	82.7		
熱間圧延鋼材生産		255,071	106.1	102.1	94.4		
鋼材輸入実績		16,691	90.1	106.6	428.2		
ス テ ン レ ス 鋼		販売業者	受入計	256,092	101.6	107.1	170.5
	販売計		258,491	104.4	107.2	173.1	
	うち消費者向		57,978	108.2	104.2	101.7	
	在庫計		137,025	98.3	97.1	123.9	
	鋼材輸出船積実績	94,488	96.1	102.6	92.9		
	生産者工場在庫	125,142	106.5	101.0	85.0		
	総在庫	262,167	102.0	98.9	101.7		
	熱間圧延鋼材生産	57,763	88.2	99.6	65.2		
	快 削 鋼	販売業者	受入計	16,133	90.1	111.4	95.9
			販売計	17,096	102.2	98.8	103.3
うち消費者向			16,532	101.2	97.5	116.2	
在庫計			17,002	94.6	99.1	74.3	
生産者工場在庫		27,556	90.5	87.9	122.6		
総在庫		44,558	92.1	91.8	98.2		
熱間圧延鋼材生産		485,433	92.6	99.5	207.3		
高 抗 張 力 鋼		販売業者	受入計	9,556	94.5	118.3	77.2
			販売計	9,899	106.0	120.9	80.2
			うち消費者向	6,436	103.4	108.4	119.6
	在庫計		9,067	96.4	104.7	68.4	
	生産者工場在庫	180,752	100.8	93.1	107.9		
	総在庫	189,819	100.6	93.6	105.0		
	熱間圧延鋼材生産	146,958	102.4	106.7	62.8		
	そ の 他	販売業者	受入計	39,219	99.7	85.0	316.6
			販売計	40,793	103.2	87.4	330.4
			うち消費者向	37,534	104.7	105.5	697.3
在庫計			50,770	97.0	82.7	383.2	
生産者工場在庫		74,493	100.9	96.2	44.5		
総在庫		125,263	99.3	90.2	69.3		
熱間圧延鋼材生産合計		1,707,351	96.5	100.0	126.7		
特 殊 鋼 鋼 材 合 計		鋼材輸入実績計	83,991	111.6	144.9	1062.0	
		販売業者	受入計	1,017,351	98.9	102.1	178.0
			販売計	1,026,019	101.2	101.6	180.4
	うち消費者向		584,775	102.2	104.5	173.7	
	在庫計		618,698	98.6	86.7	139.9	
	鋼材輸出船積実績計	756,077	106.5	122.2	225.3		
	生産者工場在庫	771,740	99.7	97.4	101.2		
	総在庫	1,390,438	99.2	92.3	115.4		

出所：鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、
 それ以外は経済産業省『経済産業省生産動態統計』、『鉄鋼生産内訳月報』、但し総在庫は特殊鋼倶楽部で計算
 (注) 1. 熱間圧延鋼材生産、生産者工場在庫及び総在庫は、2014年1月より『経済産業省生産動態統計』から『鉄鋼生産内訳月報』
 に変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。
 2. 鋼材輸入実績は速報値を掲載。構造用鋼の鋼材輸入実績とは高炭素鋼の棒鋼及び合金鋼の棒鋼、線材を加算したもの。
 3. 総在庫とは販売業者在庫に生産者工場在庫を加算したもの。生産者工場在庫は熱間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び
 鋼管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれを含まない。

倶楽部だより

(平成26年6月11日～7月31日)

臨時理事会 (6月12日)

「新任副会長の選出」

海外委員会

- ・「安全保障貿易管理」説明会 (7月1日、日本鉄鋼連盟、ステンレス協会と共催)

講師：経済産業省 貿易経済協力局 貿易管理部

安全保障貿易審査課 小口真智子氏

安全保障貿易検査官室 識名 朝恵氏

参加者：94名

- ・「ロシア・東欧の特殊鋼需給動向」調査報告書説明会 (7月9日)

講師：神鋼リサーチ(株)産業戦略情報本部 調査一部

上席主任研究員 野尻 英一氏

参加者：40名

編集委員会

- ・小委員会 (6月25日)

11月号特集「工具鋼」(仮題)の編集内容の検討

- ・本委員会 (7月7日)

11月号特集「工具鋼」(仮題)の編集方針、内容の確認

流通委員会

- ・説明会 (7月2日)

「平成26年度第2・四半期の特殊鋼需要見通し」

講師：経済産業省製造産業局鉄鋼課

課長補佐 成瀬 輝男氏

参加者：50名

- ・工具鋼分科会 (7月17日)

定例講演会 (6月17日)

演題：「平成26年度の自動車工業の見通し」

講師：(一社)日本自動車工業会 総務統括部

企画・調査担当 副統括部長

持田 弘喜氏

参加者：66名

工場見学会 (6月26日)

見学先：①日本精工(株)埼玉工場

②ボッシュ(株)東松山工場

参加者：50名

[名古屋支部]

部会

・構造用鋼部会 (7月23日)

・工具鋼部会 (7月24日)

・ステンレス鋼部会 (7月29日)

三団体共催 講演会 (6月25日)

テーマ：「平成26年度の自動車工業の見通し」

講師：一般社団法人 日本自動車工業会

総務統括部 企画・調査担当

副統括部長 持田 弘喜氏

参加者：108名

[大阪支部]

講演会 (6月24日)

テーマ：「平成26年度の自動車工業の見通し」

講師：一般社団法人 日本自動車工業会

総務総括部 企画・調査担当

副統括部長 持田 弘喜氏

参加人数：50名

特殊鋼倶楽部の動き

「ロシア・東欧の特殊鋼需給動向」調査報告書の説明会開催

去る7月9日（水）、午後1時30分より東京都中央区日本橋茅場町・鉄鋼会館704号室において「ロシア・東欧の特殊鋼需給動向」調査報告書の説明会を開催しました。

本説明会は、当倶楽部・海外委員会の2013年度事業として実施した調査報告書を解説したものです。当日は、講師として調査を担当された神鋼リサーチ(株) 産業戦略情報本部 調査一部 上席主任研究員 野尻 英一氏にご説明頂き参加者は40名でした。

説明の内容は、1. ロシア、東欧の経済、産業の概要、2. ロシアの特殊鋼需要動向、3. 東欧諸国の特殊鋼需要動向、4. 特殊鋼の輸出入状況、5. 特殊鋼生産動向他、最新ウクライナ紛争による影響及びロシア関係者へのヒアリング等でした。

約1時間30分の説明会でしたが、野尻講師の詳細かつ分かり易い説明で盛会の内に終了いたしました。以下に説明会会場写真を掲載します。



一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覽

(社名は50音順)

[会 員 数] (正 会 員) 製造業者 24社 販売業者 101社 合 計 125社	【販売業者会員】		
【製造業者会員】 愛 知 製 鋼 (株) 秋 山 精 鋼 (株) (株)川 口 金 属 加 工 (株)神 戸 製 鋼 所 合 同 製 鐵 (株) 山 陽 特 殊 製 鋼 (株) J F E ス チ ー ル (株) J X 日 鋳 日 石 金 属 (株) 下 村 特 殊 精 工 (株) 新 日 鐵 住 金 (株) ス テ ン レ ス パ イ プ 工 業 (株) 大 同 特 殊 鋼 (株) 高 砂 鐵 工 (株) 東 北 特 殊 鋼 (株) 日 新 製 鋼 (株) 日 本 金 属 (株) 日 本 高 周 波 鋼 業 (株) 日 本 精 線 (株) 日 本 冶 金 工 業 (株) 日 立 金 属 (株) (株)不 二 越 三 菱 製 鋼 (株) ヤ マ シ ン ス チ ー ル (株) 理 研 製 鋼 (株)	愛 鋼 (株) 青 山 特 殊 鋼 (株) 浅 井 産 業 (株) 東 金 属 (株) 新 井 ハ ガ ネ (株) 粟 井 鋼 商 事 (株) 伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株) 伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株) 井 上 特 殊 鋼 (株) (株)U E X 確 井 鋼 材 (株) ウ メ ト ク (株) 扇 鋼 材 (株) 岡 谷 鋼 機 (株) カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株) 兼 松 (株) 兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株) (株)カ ム ス (株)カ ワ イ ス チ ー ル 川 本 鋼 材 (株) 北 島 鋼 材 (株) ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株) ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (株) 小 山 鋼 材 (株) 佐 久 間 特 殊 鋼 (株) 櫻 井 鋼 鐵 (株) 佐 藤 商 事 (株) サ ハ シ 特 殊 鋼 (株) (株)三 悦 三 協 鋼 鐵 (株) 三 京 物 産 (株) 三 興 鋼 材 (株) 三 和 特 殊 鋼 (株) J F E 商 事 (株) 芝 本 産 業 (株) 清 水 金 属 (株) 清 水 鋼 鐵 (株) 神 鋼 商 事 (株) 住 友 商 事 (株)	大 同 興 業 (株) 大 同 D M ソ リ ュ ー シ ョ ン (株) 大 洋 商 事 (株) 大 和 興 業 (株) 大 和 特 殊 鋼 (株) (株)竹 内 ハ ガ ネ 商 行 孟 鋼 鉄 (株) 田 島 ス チ ー ル (株) 辰 巳 屋 興 業 (株) 中 部 ス テ ン レ ス (株) 千 曲 鋼 材 (株) (株)テ ク ノ タ ジ マ (株)鐵 鋼 社 デ ル タ ス テ ー ル (株) 東 京 貿 易 金 属 (株) (株)東 信 鋼 鉄 特 殊 鋼 機 (株) 豊 田 通 商 (株) 中 川 特 殊 鋼 (株) 中 野 ハ ガ ネ (株) 永 田 鋼 材 (株) 名 古 屋 特 殊 鋼 (株) ナ ス 物 産 (株) 南 海 鋼 材 (株) 日 輪 鋼 業 (株) 日 金 ス チ ー ル (株) 日 鉄 住 金 物 産 (株) 日 鉄 住 金 物 産 特 殊 鋼 西 日 本 (株) 日 本 金 型 材 (株) ノ ボ ル 鋼 鉄 (株) 野 村 鋼 機 (株) 白 鷺 特 殊 鋼 (株) 橋 本 鋼 (株) (株)長 谷 川 ハ ガ ネ 店 (株)ハ ヤ カ ワ カ ン パ ニ ー 林 田 特 殊 鋼 材 (株) 阪 神 特 殊 鋼 (株) 阪 和 興 業 (株) 日 立 金 属 ア ド メ ッ ト (株)	日 立 金 属 工 具 鋼 (株) (株)日 立 ハ イ テ ク ノ ロ ジ ー ズ (株)平 井 (株)フ ク オ カ 藤 田 商 事 (株) 古 池 鋼 業 (株) (株)プ ル ー タ ス (株)堀 田 ハ ガ ネ (株)マ ク シ ス コ ー ポ レ ー シ ョ ン 三 沢 興 産 (株) 三 井 物 産 (株) 三 井 物 産 ス チ ー ル (株) (株)メ タ ル ワ ン (株)メ タ ル ワ ン チ ュ ー ブ ラ ー (株)メ タ ル ワ ン 特 殊 鋼 森 寅 鋼 業 (株) (株)山 一 ハ ガ ネ 山 進 産 業 (株) ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株) 山 野 鋼 材 (株) 陽 鋼 物 産 (株) 菱 光 特 殊 鋼 (株) 渡 辺 ハ ガ ネ (株)

特 集 / 工具鋼の基礎知識

- I. 総論
- II. 工具鋼の用途別基礎知識
- III. 工具鋼の周辺技術
- IV. 会員会社の工具鋼 or 工具鋼関連技術
- V. 工具鋼のブランド対照表

1月号特集予定…高強度化と特殊鋼

特 殊 鋼

第 63 卷 第 5 号
© 2 0 1 4 年 9 月
平成26年8月25日 印刷
平成26年9月1日 発行

定 価 1,230円 送 料 100円
1年 国内7,300円 (送料共)

発 行 所
一般社団法人 特殊鋼倶楽部
Special Steel Association of Japan

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3丁目2番10号 鉄鋼会館
電 話 03(3669)2081・2082
ホームページURL <http://www.tokushuko.or.jp>
振替口座 00110-1-22086

編集発行人 小 島 彰
印刷人 増 田 達 朗
印刷所 レタープレス株式会社

本誌に掲載されたすべての内容は、一般社団法人 特殊鋼倶楽部の許可なく転載・複写することはできません。