

環境にやさしい家電・重電用素材

Eco-Friendly Steel Products for the Use of Home Electric Appliances and Power Industrial Systems

山田 茂樹	YAMADA Shigeki	JFE スチール	電磁鋼板セクター部長
光成 元伸	MITSunARI Motonobu	JFE スチール	薄板セクター部 主任部員(部長)
田口 昇	TAGUCHI Noboru	JFE スチール	薄板セクター部 主任部員(部長)
黒澤 光正	KUROSAWA Mitsumasa	JFE スチール	電磁鋼板セクター部 主任部員(副部長)
小川 隆生	OGAWA Takao	JFE スチール	棒線セクター部 主任部員(副部長)
羽多野仁美	HATANo Hitomi	JFE スチール	化学研究部 主任研究員(部長)・工博

要旨

JFE スチールは多彩な機能を擁する素材を提案することを通して環境にやさしい社会を目指している。たとえば、鉛や六価クロムなどの有害物質を排除した鋼、または省エネルギー用の電磁鋼板などである。本報では特に、現代社会において重要な役割を担っている電気産業分野における適用例あるいは提案について紹介する。

Abstract:

JFE Steel's challenge to prevail the eco-friendly community proposes a variety of steel products with remarkable function for the purpose of environmental safety and energy saving. There are proposed, for example, steels without hazardous substances like lead or chromium (VI), and electrical steels for energy saving. Particularly, this article describes a short brief on the recent usage in the electrical industries playing an important role for our modern society.

1. 緒言

2002年12月、EUは今後の家電製品の方向性を示す重要な指令を採択した。指令2002/96/ECはWEEE(廃電気電子機器指令)であり、製造者は分解や回収に容易な設計・生産の義務、流通者は回収や再生に必要なシステムの構築義務を負う。指令2002/95/ECはRoHS(電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限に関する指令)であり、6物質が使用禁止物質に規定された。

また、オゾン層を破壊するCO₂削減を目的に、省エネルギー活動、石油代替エネルギー活動が、世界中で展開されている。米国の待機電力1W規制、日本のトップランナー方式による消費電力規制、そしてエネルギースターなどの省エネラベリング制度は37ヶ国以上にも及ぶ¹⁾。

家電・重電製品において、鉄鋼製品は多種多様な用途に使用されている。JFEグループは、それぞれの用途においてOnly 1商品、No. 1商品の提案により、地球環境に積極的に貢献していきたいと考えている。

2. 薄板

2.1 クロメートフリー化成処理鋼板

2.1.1 表面処理鋼板を取り巻く環境問題

亜鉛めっき鋼板のクロメート処理は、亜鉛の白錆を抑制する安価な防錆処理方法として広く採用されている。1980年代以降、材料の防錆性アップと多機能化のニーズが急速に高まり、塗布型クロメート処理鋼板や、クロメート皮膜と有機樹脂薄膜(1~2μmレベル以下)からなる有機複合被覆鋼板など、耐指紋性、塗装性、潤滑性、意匠性などを付与した高機能化成処理鋼板が開発され、家電製品などに幅広く使用されている²⁾。

一方、環境保護活動の高まりから環境負荷物質の使用を削減する動きが進んでいる。欧州では特定有害物質の使用制限に関連するEU指令の中で、電気電子機器に含まれる使用禁止物質(Pb, Cr(VI), Cd, Hgなど)が規定され、2006年7月に発効することが決定された。また、国内大手家電、OA機器メーカーは、環境に配慮した購入を進める

Table 1 Wide selection of chromate-free products

種類	特徴	主な用途
JN 中耐食*1	優れた導電性・耐食性	OA, AV 機器シャーシー 複写機
JS 中耐食*2	優れた耐アルカリ性	コンピュータケース 家電部品
JT 特殊塗装	優れた塗装密着性 (粉体塗装用途も良好)	冷蔵庫 ショーケース
JW 高潤滑	優れた潤滑性	石油ストーブタンク 石油ファンヒータ軸受 モータカバー
Z1 黒色	優れた吸放熱性	電子機器筐体 複写機内部部品
JD 高加工	優れた加工性 加工後耐食性	小型モータケース

*1 導電性重視タイプ, *2 耐食性重視タイプ

「グリーン調達」を推進しており、その中で環境負荷物質の利用・排出の削減に取り組んでいる。これらの動向にもない、今後クロメートフリー化は加速的に進行すると考える。

2.1.2 クロメートフリー鋼板の品揃え

このような背景の下、当社は、業界 No.1 の品質性能を有する「JN」を始めとする「エコフロンティアコート」のシリーズ化を行い、各種環境調和型表面処理鋼板の開発・工業化を積極的に進めてきた³⁻⁵⁾ (Table 1)。

2.1.3 「エコフロンティアコート JN」

(1) 商品適用例

「エコフロンティアコート JN」は、OA・AV 機器のシャーシや底板、家電製品の内板などを用途とし、塩水噴霧試験で白錆 5% 発生時間が 72 ~ 120 h 程度の耐食性、耐指紋性、導電性（アース性）、スポット溶接性、塗装性などの多機能を付与したクロメートフリー耐指紋鋼板である。









(2) 皮膜設計の考え方

一般に、有機複合皮膜の膜厚を増加させることにより耐食性は向上するが、導電性、溶接性は低下する。良好な導電性を確保するためには、1 ~ 2 μm レベル以下の薄膜であることが必要であるが、従来のクロメートを使わない化成処理技術では、耐食性を確保するためには膜厚を 3 μm 以上にする必要があり、導電性が劣っていた。

「エコフロンティアコート JN」の開発では、独自に (a) 高度なバリア性を有する有機樹脂皮膜と、(b) 有機樹脂皮膜中で自己補修性を有する無機系防錆添加剤を開発し、これらの独自技術からなる有機複合皮膜の開発によって世界で初めて薄膜で高度な耐食性を実現し、耐食性と導電性を高度に両立させることに成功して 1998 年に工業化された。

(3) 品質性能

下記に「エコフロンティアコート JN」の優れた特性を紹介する。

Corrosion test	Chromate-free	Chromate		
	Eco Frontier Coat JN	Chromate + Thin organic coating	Dry-in-place chromate coating	Reacted-in-place chromate coating
SST 72 h				
	No white rust	No white rust	No white rust	Red rust
After alkaline degreasing* ↓ SST 72 h				
	No white rust	No white rust	No white rust	Red rust

*Nippon Parkerizing Corp. CL-N364S

Photo 1 Corrosion resistance of various coated steel sheets

(a) 優れた耐食性

Photo 1 に、裸耐食性試験結果（塩水噴霧試験 72 h 後の外観）を示す。本開発品はクロメート系化成処理鋼板と同様、白錆が発生せず良好な耐食性を有している。

(b) 優れた耐アルカリ脱脂後耐食性

ユーザーで鋼板をプレス成形後、アルカリ脱脂により表面の油・汚れを除去する場合、従来クロメートを使わない化成処理技術ではアルカリ脱脂により皮膜が劣化して耐食性が著しく低下する課題があったが、本開発品ではアルカリ脱脂後においても耐食性がほとんど劣化せず、優れた特性を保持している。

(c) 優れた導電性

「エコフロンティアコート JN」は有機複合皮膜の膜厚が薄いことから、高度な導電性（アース性）が必要とされる OA・AV 機器にも適用できる優れた導電性を有している。

その他、耐指紋性、溶接性、塗装密着性においても優れた性能を兼ね備えた多機能クロメートフリー鋼板である。

本技術は、(社)表面技術協会から、平成 14 年度技術賞を受賞した⁵⁾。この受賞では、「高バリア性有機複合皮膜の開発により、薄膜で高度な耐食性を実現し、相反する耐食性と導電性・溶接性の高度な両立に成功した」ことによる技術の独自性・進歩性、および「工業化に成功し市場（OA 機器メーカーなど）から高い評価を獲得した」ことによる工業化実績が非常に高く評価された。

2.1.4 「エコフロンティアコート JD」

「エコフロンティアコート JD」は、優れた加工性と加工

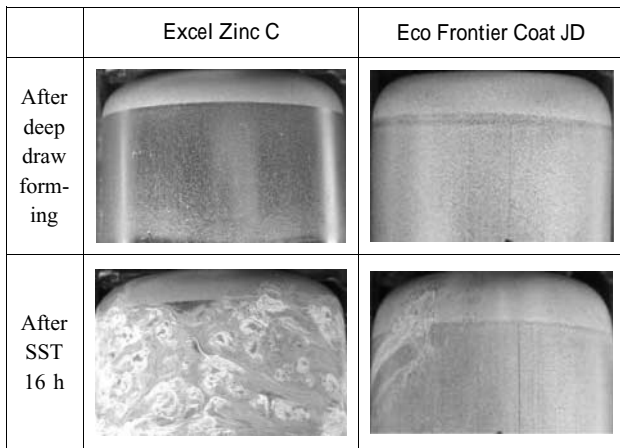


Photo 2 Appearances after deep drawing and SST for 16 h

後耐食性を有し、2003 年より工業生産を開始している。

このクロメートフリー鋼板は、特殊皮膜を用いることによって、以下のような特色を有している。

- (1) 優れた加工性：深絞り加工用途（小型モータケースなど）に適用可能で、加工時の皮膜剥離も極めて少ない。
- (2) 優れた加工後耐食性：深絞り加工部の耐食性が従来使用されていたクロメート処理鋼板（Excel Zinc C）よりも優れている。深絞り加工部の塩水噴霧試験 16 h 後の外観を Photo 2 に示す。
- (3) 優れた導電性：電波漏洩防止（ノイズ防止）が可能である。

2.1.5 「エコフロンティアコート Z1（黒色鋼板）」

黒色鋼板は、耐食性に優れた亜鉛-ニッケルめっきをベースに、導電性を持つ電気化学的黒化処理皮膜、および、耐食性、導電性に優れた耐指紋皮膜を付与したものである。クロメートフリー化への要求に対応し、クロメートをまったく含まない製品「エコフロンティアコート Z1」を開発し、2002 年より工業生産を開始している。

このクロメートフリー黒色鋼板は、以下のような特色を有している。

- (1) 美しくかつ漆黒色の色調：光学部品の高度の要求に対応、また美観を要求される用途にも最適である。
- (2) 優れた導電性：電波漏洩防止、ノイズ防止が可能である。
- (3) 優れた食性：顧客での塗装省略が可能である。
- (4) 優れた吸放熱特性：「エコフロンティアコート Z1」の放射率は 0.90（測定波長 $5.8 \mu\text{m}$ ）であり、同一の条件で測定した通常の電気亜鉛めっき鋼板の放射率 0.06 に比べて大きく高い値を示す。このため、筐体内部の温度上昇を抑制することが可能である。測定結果の事例を Fig. 1 に示す。

今後、吸放熱用途（コンピューター関連、カーステレオなど、Fig. 2）、光学用途（複写機、テレビ）、塗装省略用途へ黒色鋼板の適用が拡大することが期待される。

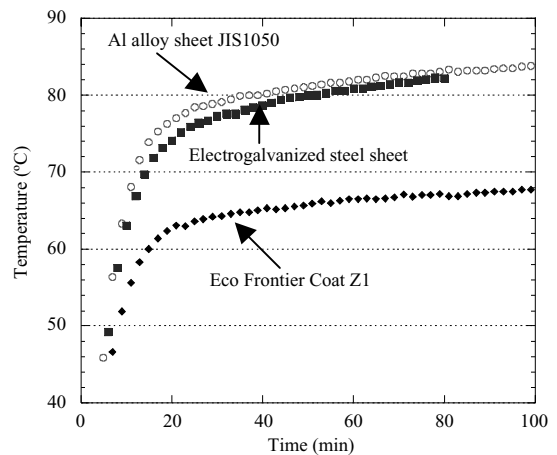


Fig. 1 Temperature increase inside a radiation tester

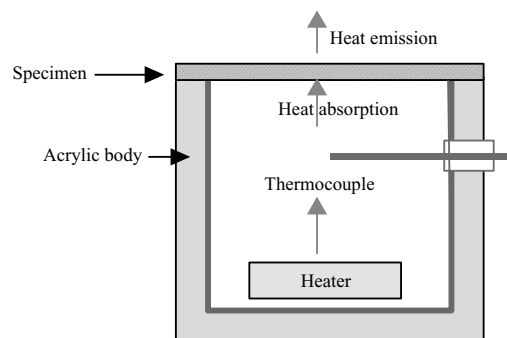


Fig. 2 Radiation performance tester

2.2 利用技術による新たな商品価値の創生

2.2.1 利用技術の重要性

グリーン調達やリサイクル・リユースなどの環境対応ニーズ、国際的競争激化にともなうコストダウンニーズが高まる中、電機分野向け薄板の利用技術のニーズは多様化している。このため、JFE スチールは、材料の供給のみならず、鉄鋼業のプロセス開発で培った多くの要素技術を基に、鉄鋼材料を最適に使用して頂くための最適化支援を行っている。この事例を紹介する。

2.2.2 材料使用に関する最適化支援

- (1) 商品の特性評価：数値シミュレーションにより、構造体の剛性特性、衝撃特性、温度特性などを評価し、最適設計の支援を行っている。
- (2) 成形性評価：CAE 技術を活用し、形状変更・金型修正シミュレーションを行い、商品開発期間の短縮や開発コストの大幅な低減を支援している。
- (3) 材料の寿命予測（腐食予測）：寿命予測解析により部品ごと最適な材料選択の支援を行なっている。
- (4) リサイクル・リユースに対する支援：近年、リサイクル・リユースに対する重要性が提唱されているが、JFE スチールも、積極的に取組みを行っている。そのひとつの事例は、プラスチックの鋼板化である。Photo 3 は、高加工性鋼板を活用することにより、筐



Photo 3 Example of drawing formability simulation

体の鋼板化を可能ならしめたものである。

これらの活動を通じて、お客様はさらなる商品開発期間の短縮や開発コスト低減が可能になった。

3. 電磁鋼板

3.1 低騒音トランス用高磁束密度方向性電磁鋼板「JGS」

方向性電磁鋼板は、鋼板を構成する結晶粒がゴス方位と呼ばれる $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位に高度に集積し、圧延方向に極めて優れた磁気特性を示すことに特徴がある3%けい素鋼からなる電磁鋼板であり、変圧器鉄心など一方向に磁化する用途に使用されることが多い。

近年変圧器騒音の低減が社会的要請として高まり、鉄心材料の方向性電磁鋼板に対しても低騒音化への対応が求められている。変圧器の騒音の原因は、鉄心材料内部に発生する磁歪振動と、鉄心接合部に発生する電磁振動が主たるものであると考えられている⁶⁾。このうち材料起因とされる磁歪振動は、鋼板を構成する結晶粒の理想方位からのずれに応じて交流励磁時に発生し、その高調波成分が騒音として感知されるため、結晶粒組織を高度にゴス方位に集積すること、すなわち材料磁束密度 B_8 (800 A/m における磁束密度) の向上が騒音低減の上で重要である⁷⁾。

上述のような変圧器における低騒音化を目的として開発された方向性電磁鋼板が JGS であり、その特徴は従来にない高磁束密度を実現したことであり、板厚 0.23 mm から 0.35 mm の製品において 1.92 ~ 1.93 T の B_8 が得られている⁸⁾。

30JGS105 (B_8 : 1.93 T) と 30JGH110 (B_8 : 1.90 T) を使用した積変圧器モデル鉄心の騒音を Fig. 3 に示す。JGS を使用した場合の騒音レベルは、従来の高磁束密度材 JGH と比較して 1.7 T では約 2 dB (交互積), 3 dB (ステップラップ) 減少し、騒音低減の効果がわかる。Fig. 4 には積変圧器モデル鉄心の騒音と B_8 との関係を示す。 B_8 の向上により騒音低減が可能となることが明らかである。

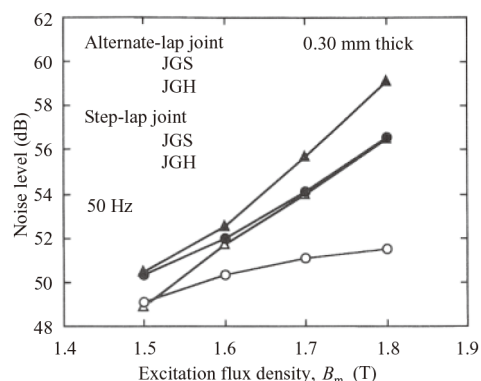
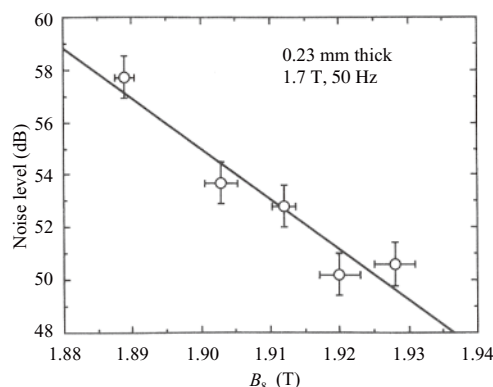


Fig. 3 Noise levels of model transformer cores made of 0.23 mm thick JGS and JGH sheets

Fig. 4 Relation between noise level of step-lap model transformer core and B_8 value of core material

3.2 低鉄損トランス用磁区細分化方向性電磁鋼板「JGSD」

方向性電磁鋼板の低鉄損化は永遠の課題であるが、近年省エネルギーの見地から一段と要求が高まってきている。

方向性電磁鋼板の低鉄損化は、鋼板の $\{110\} \langle 001 \rangle$ 方位集積の高度化 (高磁束密度化) による履歴損の低減や、高 Si、薄厚化による渦電流損の低減などを中心に進められてきたが、人工的に 180° 磁区幅を細分化することにより渦電流損を低減する磁区細分化の技術が工業化され、大幅な鉄損低減が可能となった⁹⁾。

JFE スチールでは、積鉄心変圧器にも、また歪取焼鈍を必要とする巻鉄心変圧器にも使用可能な耐熱型の磁区細分化技術を開発し、板厚 0.23 mm および 0.27 mm の JGSD として製品化した¹⁰⁾。この技術は、最終冷間圧延鋼板に局所的な電解エッチング処理を施して線状の溝を形成し、その溝形状により発生する自由磁極の静磁エネルギーにより磁区を細分化させるという方法である。この方法によれば鋼板に歪を導入することなく磁区細分化が可能となるので、大きな磁歪の劣化なく鉄損低減が可能となるという利点がある。

Photo 4 に示すように、磁区幅は線状溝形成により著しく細分化されることがわかる。このような溝を形成した

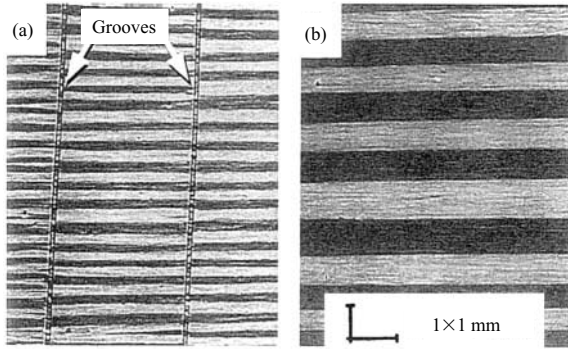


Photo 4 Magnetic domain structures of (a) grooved and (b) plain materials observed by type-II Lorentz SEM method

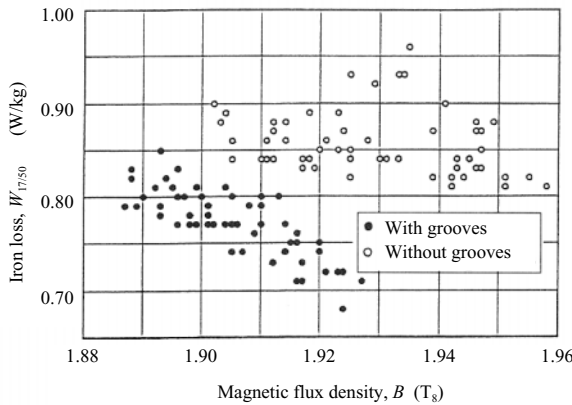


Fig. 5 Change in iron loss of grain-oriented electrical steel (sheet thickness : 0.23 mm)

Table 2 Magnetic properties of wound-core transformer

Grade	Sheet properties		Transformer properties		
	B_8 (T)	$W_{17/50}$ (W/kg)	$W_{17/50}$ (W/kg)	BF for $W_{17/50}$	Noise level (dBA)
23JGSD085	1.90	0.78	0.79	1.01	43
23JGS090	1.93	0.89	0.91	1.02	42

BF: (Building factor) = (Transformer iron loss) / (Sheet iron loss)

場合、Fig. 5 に示すように鉄損値 $W_{17/50}$ (1.7 T, 50 Hz) における鉄損) が顕著に減少することが明らかである。図に示すように、高 B_8 素材ほど磁区細分化効果が大きいので、鋼板素材としては主として前項記載の JGS を使用している。

耐熱型磁区細分化材 23JGSD085 と比較材 23JGS090 を使用した巻変圧器の磁気特性を Table 2 に示す。鉄心のビルディングファクタ (BF) は両者ともほぼ 1.0 で同等であり、素材特性が鉄心特性によく反映されていることがわかる。騒音値もほぼ同等の結果が得られている。

3.3 磁気シールド性に優れる方向性電磁鋼板「JGMS」

電磁鋼板の特徴は、鉄の磁化容易軸を圧延面内に平行に揃える集合組織制御により製造されることにある。無方向性電磁鋼板のみならず 2 次再結晶により圧延方向に {110}

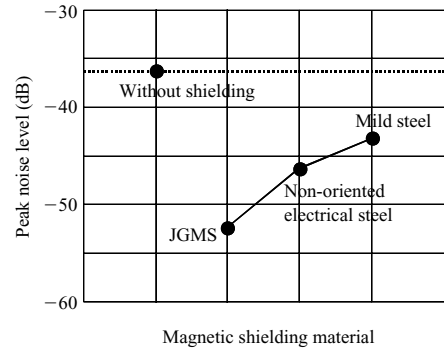


Fig. 6 Variation of peak noise level from a motor before and after shielding with different materials

001 方位、いわゆる Goss 方位を高度に集積させた方向性電磁鋼板できわめて効果的に達成されている。磁気シールド性に求められる特性値として (1) 高磁束密度、(2) 高透磁率、(3) 低保磁力が挙げられる。これらの性質は少ない材料へ効果的に磁束を導き閉じ込めるための基本的な特性であり、電磁鋼板の代表的用途である変圧器やモータの鉄心材料に共通した要請項目でもある。

ここでは簡単な実験例を引合いに、方向性電磁鋼板を素材とした磁気シールド材 JGMS を紹介する。市販のカセットテープレコーダ用の小型モータから発生する磁界によるモータノイズを検体とし、カセットテープレコーダそのもので、磁気ヘッドをプローブとして利用、増幅装置を通してヘッドホンジャックから信号を採り出しスペクトルアナライザで周波数解析を行った。素材の違いによるシールド効果を比較するため、モータの胴長に 0.23 mm 厚の JGMS を 2 回巻きにした条件、0.20 mm の無方向性電磁鋼板、0.20 mm の普通鋼をそれぞれ 2 回巻きしたときのノイズスペクトルを測定した。いずれもモータより 10 mm 離れた位置で測定し、120 Hz で最高ピーク強度を示した。Fig. 6 にこれらピークノイズの計測電圧をデシベル表記した強度を示す。シールド材なしの場合に較べて、普通鋼で 7 dB、無方向性電磁鋼板で 10 dB、JGMS では 16 dB の改善となり、JGMS の磁気シールド効果が顕著に認められた。

磁気記憶装置や微弱信号を扱う機器が増す昨今、EMC の重要性とともに磁気シールドの必要性は一段と高まってきた。今では広く普及した医療機器 MRI は専用の磁気シールドルームを必要とし、材料の性質を活かした施工法も広く研究されつつある。シールド材としてどのレベルの磁界をどの程度シールドするかにより材料の選択が決まるものの、JGMS が特性の安定性・経済性の面からも有望なシールド材料であることがあげられる。

3.4 モータの高効率化を実現する加工性に優れる無方向性電磁鋼板「JNE」

家電トップランナー制度の導入に象徴されるモータの

高効率化は、モータ鉄心として用いられる無方向性電磁鋼板の高品質化を世界的に進展させた。とくにパワーエレクトロニクスを利用したインバータ化が高効率モータの大きな流れとなりつつある。この場合、モータの最高効率を示す使用回転域が比較的高周波域に対応するため、従来の商用周波数での鉄損評価よりも高周波域での鉄損がモータ効率のより良い指標となることが分かってきた。ここでは高周波域の鉄損と硬さ（加工性）を同時に改善した無方向性電磁鋼板 JNE について紹介する。

無方向性電磁鋼板の磁気特性は Si, Al, Mn などの高電気抵抗を付与する元素（比抵抗元素）を添加して渦電流損を低減することにより改善される。一方、モータ鉄心は打抜加工により量産されるため、磁気特性のみならず加工時の金型磨耗の程度も極めて重視される。素材のヴィッカーズ硬度（Hv1）が 220 ポイントを超えると、金型の損耗が著しくなるということが経験的に知られている。従来とは要求される素材特性が変わってきているため、比抵抗元素の添加にのみ頼る磁性改善方法は限界にきていた。

JNE は従来の無方向性電磁鋼板 JN シリーズをベースに、比抵抗元素の添加配分を最適化すること、加えて S, O, N など素材の不純物元素を低減、中間製造工程で磁気特性に有害な（111）集合組織を抑制して（100）、（110）集合組織を増加させる制御を施すことにより低鉄損でかつ低硬度を実現した。Fig. 7 に板厚 0.35 mm の JNE と従来の無方向性電磁鋼板 JN について、1.0 T-400 Hz の高周波域での鉄損 $W_{10/400}$ と磁束密度 B_{50} 、硬さ Hv1 の関係を示す。JNE シリーズは同一鉄損の比較で、JN シリーズよりも磁束密度 B_{50} で 0.02-0.03 T 高いことが磁気特性の特徴としてあげられる。モータの小型化により設計磁束密度が高くなる場合は有利と考えられる。また JNE シリーズは硬度が

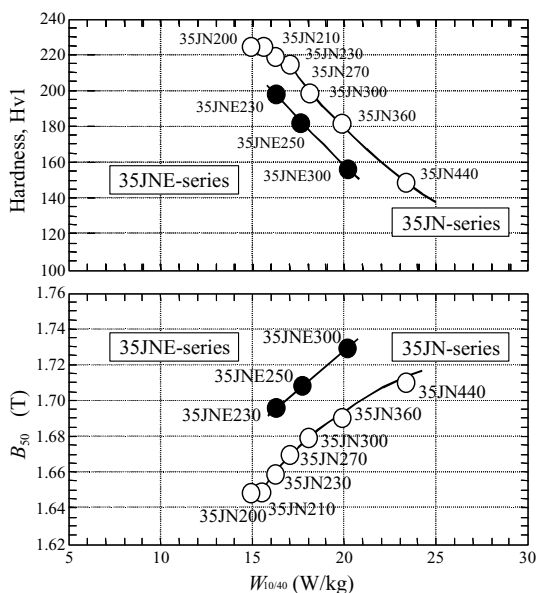


Fig. 7 Magnetic and mechanical properties of JNE and JN series

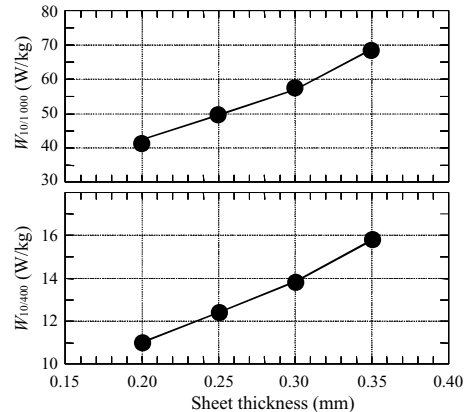


Fig. 8 Influence of sheet thickness on iron loss at high frequency

低いという機械的性質の特徴があるため、金型の同一損耗程度の比較で、JN シリーズより低鉄損材が使用でき、さらなるモータの高効率化を期待できる。

今後、モータの小型化・高出力化がさらに進展すると、モータの駆動はますます高周波化の傾向が予想される。無方向性電磁鋼板の渦電流損は板厚と励磁周波数の 2 乗に比例するため、素材の薄厚化も有効な手段として検討すべき段階と考えられる。Fig. 8 に JNE 素材を用いてラボ処理で板厚を変更したときの 1.0 T-400 Hz および 1 000 Hz の鉄損 $W_{10/400}$, $W_{10/1000}$ を示す。鉄損は板厚とともにほぼ単調に減少し、0.35 mm に対して 0.20 mm を比較すると、 $W_{10/400}$ で約 30%, $W_{10/1000}$ で約 40% の改善が予想できる。すなわち励磁周波数が高くなるほど全鉄損に占める渦電流損の比率が高まるため、薄厚化による鉄損改善効果が大きくなる。薄厚化は製造者側のコスト増以外にもモータコア製造の積み枚数増加による生産性の低下という課題も残るが、将来を見越すと普及していく技術と考えられる。

JFE スチールでは無方向性電磁鋼板 JNE シリーズのさらなる低鉄損化技術の開発を、薄厚化の技術を含め、タイムリーに進めていく体制を整えている。

3.5 無方向性電磁鋼板用接着型コーティング「B コート」

無方向性電磁鋼板は、所定の形状に打抜き、積層した後、各種方法で固定してモータや小型変圧器用の鉄心に利用される。鉄心固定方法としては、溶接、かしめ、ボルト締めなどがあるが、その部分で磁束が乱れるため、モータ特性が劣化する。これに対し、「B コート」材は鋼板表面にあらかじめ加熱融着型の有機系接着剤をコートした無方向性電磁鋼板であるため、打抜き、加圧、加熱により鋼板全体を接着固定することが可能である。

(1) B コートの推奨接着条件

接着温度および時間：200 ~ 250 になってから 10 s 以上保持、加圧力：1 N/mm² 以上、常温接着強度（シングルラップ剪断力）：10 N/mm² 以上

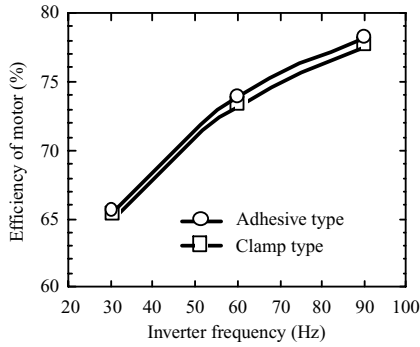


Fig. 9 Effect of core assembly method on efficiency of model motor using 50JN700*B as core material

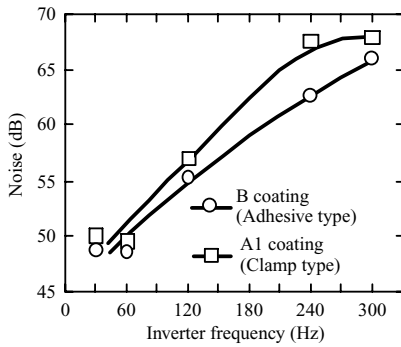


Fig. 10 Comparison of B and Al coatings in noise emitted from model motor

(2) B コート材の特長

(a) モータ特性

一例として、50JN700*B を用いて作製した交流誘導モータの効率測定結果を Fig. 9 に示す。30 ~ 90 Hz のインバータ周波数範囲で従来のボルト締め方式に比較して、接着方式はモータ効率が 0.23 ~ 0.58% 高く良好な結果が得られている。

(b) 騒音特性

同様にモータの騒音特性を Fig. 10 に示す。励磁による騒音を比較するため、機械音の大きなロータは固定して、無回転で騒音測定を行った。B コートによる接着方式では、ボルト締め方式の Al コート（汎用コート）のモータよりも騒音が 2 ~ 5 dB 小さくなっている。接着方式は、ボルト締め方式に比べて、鉄心に加わる不均一応力が小さく、鉄心の剛性も高まるため、モータ損失、騒音などの性能が向上したと考えられる。

(c) 打抜性

有機コートなので、打ち抜き特性が極めて優れている。

4. 電源用低損失 MnZn フェライト

ソフトフェライトは金属系の軟磁性材料に比較して比抵抗が格段に高く、数 kHz から数百 MHz の間で優れた軟磁性特性を示すため、高周波トランス、チョークコイル、

ノイズフィルターなどのコアに広く使用されている。ソフトフェライトコアへの需要は、世界的に見れば、パソコン、携帯電話など民生電子機器の普及に呼応して、なお拡大の傾向にある。この分野において、フェライトコアに対しては、従来材に比較して、高周波化、低損失化、高透磁率化、高磁束密度化といった、より高性能でかつ小型、薄型形状のものが要求されている。また、その価格については、相次ぐ中国メーカーの進出により、非常に厳しい競争にさらされている。

当社は、新規事業展開の一環として、1990 年 10 月に、旧川鉄マグネックス（現 JFE フェライト）を設立し、MnZn 系のソフトフェライト事業へ進出した。この間、酸化鉄からフェライトコアまで一貫生産する国内唯一のメカとしての強みを活かし、損失、透磁率などの特性に優れた材料の開発、および高特性と高生産性を両立することが可能な精密焼結雰囲気制御が可能なローラーハース炉の開発を、JFE フェライトと共同で進めてきた。

これまで開発した材料を Fig. 11 に、その特徴を以下に示す。電源用低損失材である MB4 は、鉄損 = 280 kW/m³ で（Fig. 12）、汎用電源材 MB3 に比較すると約 20% の鉄損改善が図られており、省エネルギーという社会的ニーズに応えることができる材料である。また、MBT2 は、通常の電源材の欠点である、鉄損の温度依存性を改善したもので、常温から 100 付近まで低い損失値を示す（Fig. 12）。自動車を始めとして、使用される温度環境が大きく変化する用途への展開が期待されている。MB1H は、飽和磁束密度 = 460 mT（100 ），鉄損 = 400 kW/m³（100 kHz, 200 mT, 100 ）で、磁束密度と鉄損のバランスにおいて優れており、50 W 以下の少容量汎用小型電源の用途に使用されている。MC2 は、鉄損 = 65 kW/m³（500 kHz, 50 mT, 100 ）で、業界 No. 1 の特性を有しており、小型薄型化が要求される特殊電源の用途に使用されている。また、MBF4 は、広い周波数域において、すなわち（100 kHz, 200 mT）ならびに（300 kHz, 100 mT）の条件でともに鉄損 ≤ 300 kW/m³ という、他に類のない特性を有しており、高周波化が進む自動車用途への展開が期待されている。

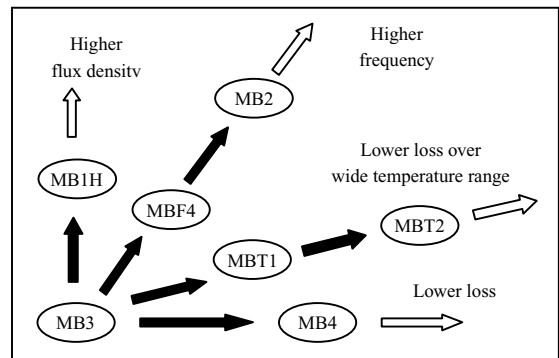


Fig. 11 Schematic diagram of development of the materials for switching power supplies

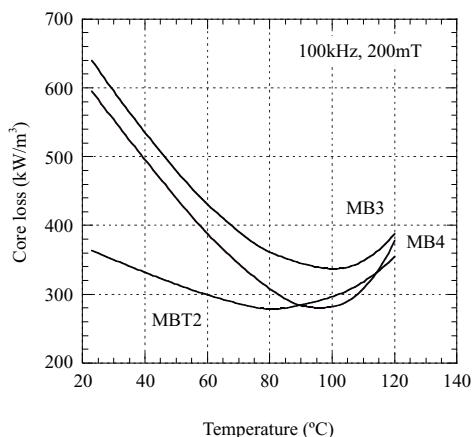


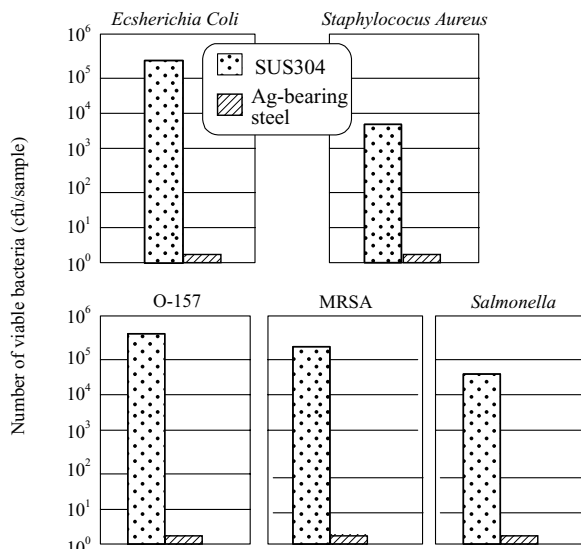
Fig. 12 Temperature dependence of core loss at 100 kHz and 200 mT of low loss materials, MB3, MB4 and MBT2

当社がソフトフェライト事業に参入から 12 年あまりが経過し、その間の電源用低損失材に関する開発状況を紹介します。今後さらに低損失、高透磁率、高周波化といった要求に応え得る材料開発を行い、製造・販売部門の JFE フェライトおよび JFE フェライトタイランドを通じて提供していく予定である。

5. 抗菌性に優れた銀 (Ag) 微細分散型ステンレス鋼

1996 年に発生した病原性大腸菌 O-157 による集団感染以来、消費者の間で食品に対する安全衛生への意識が急速に高まった。こうした社会的情勢を受け、衛生陶器、プラスチック、衣料品などさまざまな分野で抗菌製品が開発されている。抗菌ステンレス鋼としては Cu 添加型ステンレス鋼が開発されていたが、耐食性が劣化するという大きな欠点を持っていた。JFE スチールでは、Ag の高い抗菌力に着目し、抗菌性能を付与した上で、ステンレス本来の諸特性（特に耐食性）を低下させないステンレス鋼を研究した結果、鋼板中に均一かつ微細に Ag を分散させることによって、安定した抗菌性と従来鋼と同等の耐食性を両立させることに成功した。Ag 添加抗菌ステンレス鋼として、オーステナイト系の JFE-304AB (18%Cr-8%Ni-0.04%Ag)、フェライト系の JFE-430LNAB (17%Cr-0.4%Nb-0.04%Ag) と JFE-430AB (16%Cr-0.04%Ag) の 3 鋼種を開発している。

開発鋼は、Fig. 13 に示すように大腸菌 (*Escherichia Coli*)、黄色ブドウ球菌 (*Staphylococcus Aureus*) をはじめ病原性大腸菌 O-157 や院内感染の原因菌の一つである MRSA、さらにサルモネラ菌 (*Salmonella*) に対しても抗菌効果を発現する。また、耐食性は Ag 無添加鋼と同等の特性を示す。現在、開発鋼は洗濯槽、厨房用品、洋食器および病院内装材として積極的に利用されており、今後も衛生管理を必要とする分野での普及が進むものと期待される。



*Testing facility : Japan Food Hygiene Association
Date of test certificate : Dec. 2, 1999, May 9, 2000
Numbers of test certificates : No. 91-5155, No. 01-2172

Fig. 13 Results of antibacterial test* of 0.042 mass% Ag-bearing steel

6. 環境にやさしいプリンターシャフト用低炭素鉛フリー快削棒線商品

鉛を含有する快削鋼は優れた被削性を有するため、プリンターなどの電気製品のシャフト類に多用されている。しかし、環境への悪影響が懸念され、鉛を含有しない鋼の実用化が望まれている。当社では、超硬工具、特に軽切削条件に好適な組織制御型鋼と、超硬、ハイス工具に適用可能な硫化物形態制御型の 2 タイプの鉛フリー快削鋼を開発した。

6.1 組織制御型鉛フリー快削鋼「NFK1」

6.1.1 特徴

快削鋼への S の添加は鋼中へ MnS などの硫化物系介在物を生成させることで、応力集中効果などにより被削性を向上させることを目指したものである。本鋼（商品名：NFK1）の特徴は、硫化物系介在物は従来硫黄快削鋼と同様であるが、従来にない画期的な手法として鋼の母材組織を制御することにより被削性を向上させたことである。母材組織としては成分微調整および製造プロセス制御により従来のフェライト・パーライト組織をベイナイト主体組織にしている。

6.1.2 化学組成例と機械的性質

Table 3 に化学組成例を示す。また、Table 4 に機械的性質を示す。機械的性質は AISI 12L14 とほぼ同等である。

6.1.3 被削性

本鋼は特に超硬切削工具使用時の被削性（工具寿命、表面粗度、切りくず処理性）に優れており、超硬工具切削用途向けに適している。Fig. 14 に超硬工具での旋削加工時

Table 3 Chemical compositions

Steel	C	Si	Mn	P	S	Nb	Pb
NFK1	0.03	Trace	1.10	0.070	0.34	Added	Trace
12L14	0.07	Trace	1.05	0.070	0.34	Trace	0.24

Table 4 Mechanical properties

Steel	YS (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	RA (%)
NFK1	303	396	33	69
12L14	289	409	30	43

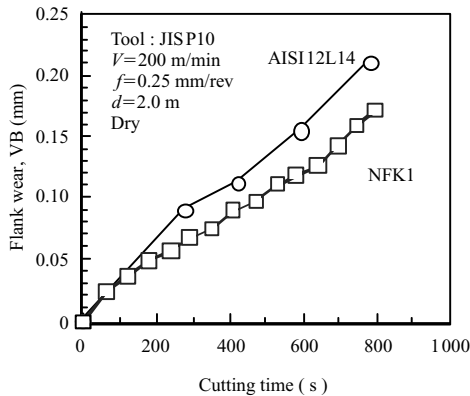


Fig. 14 Comparison of flank wear between NFK1 and AISI 12L14

Table 5 Chemical compositions

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Pb
CCC12C14	0.05	Trace	0.58	0.076	0.385	1.00	Trace
AISI 12L14	0.07	Trace	1.05	0.070	0.340	0.08	0.24

Table 6 Mechanical properties

Steel	YS(MPa)	TS(MPa)	EI(%)	RA(%)
CCC12C14	298	401	36	57
AISI 12L14	289	409	30	43

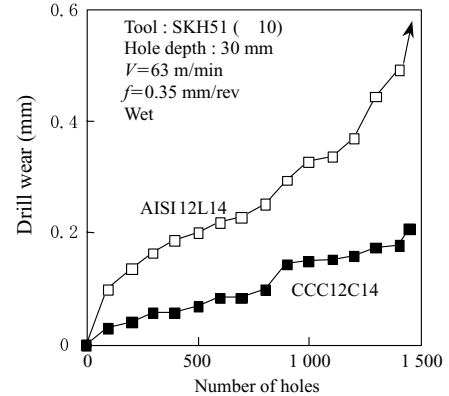


Fig. 15 Comparison of drill machinability between CCC12C14 and 12L14

の工具寿命の一例を示す。AISI 12L14 に比較して、本鋼は工具摩耗の進行が緩やかで、良好な工具寿命となっている。

6.2 硫化物形態制御型鉛フリー快削鋼「CCC12C14」

6.2.1 特徴

従来より硫黄快削鋼について、硫化物系介在物が大きいほど、または、紡錘状に近いほど被削性が向上すると言われている。本鋼の特徴は、硫化物系介在物を大型化したことにより被削性を向上させたことであり、S を増量し、さらには Cr を添加することによって初めて、大型化が可能になった。なお、本鋼は東北大学 石田清仁教授、産業技術総合研究所 東北センター 及川勝成主任研究員と共同で開発したものであり、CCC12C14 (クリーン・カット・クロム) と命名している。超硬工具、ハイス工具を用いた切削において、ともに被削性が良好であり、現在、AISI 12L14 が適用されている部品全般に適用が可能である。浸炭特性も AISI 12L14 と同等であり、浸炭部品への適用も可能である。

6.2.2 化学組成例と機械的性質

Table 5 に化学組成例を示す。また、Table 6 に機械的性質を示す。機械的性質は AISI 12L14 とほぼ同等である。

6.2.3 被削性

被削性は以下に示すような条件下で、AISI 12L14 と同等

以上である。

- (1) 超硬、コーティング超硬、サーメット工具での旋削加工性 (工具寿命)
- (2) ハイス工具での旋削加工性 (工具寿命)
- (3) ハイス工具での穴あけ加工性 (工具寿命)
- (4) 切屑処理性

なお、Fig. 15 にハイス工具を用いた穴あけ加工時の工具寿命の一例を示す。AISI 12L14 に比較して、本鋼の工具摩耗の進行は緩やかで、良好な工具寿命となっている。

7. 熱処理工程が省略可能な合金鋼粉「KIP 21SX」

従来、高強度・高硬度の焼結部品を製造するためには、焼結後に浸炭焼入れ・焼き戻しなどの熱処理が必要であり、コストアップの原因の一つとなっていた。そこで、焼結後の熱処理工程を省略しても高強度・高硬度の焼結部品が得られる合金鋼粉「KIP[®] 21SX」を開発した。

「KIP 21SX」は、2 mass% Ni-1 mass% Mo 組成の予合金鋼粉 (以下、ベース鋼粉) に、Ni 粉、Cu 粉、黒鉛粉をバインダで付着させ、適度な圧縮性を保持しながら焼入れ性を向上させたハイブリッドタイプの合金鋼粉である。要求特性に応じて、付着分量を変え、焼結体特性を変化させられる特徴がある。

ベース鋼粉に、2 mass% の Ni 粉、1.5 mass% の Cu 粉、

0.6 mass%の黒鉛粉を付着させた「KIP 21SX」の標準的組成の焼結体の特性を以下に紹介する。

焼結部品に広範に使用されている KIP シグマロイ 415S (4Ni-1.5Cu-0.5Mo 部分合金化鋼粉) を比較材として、KIP 21SX の焼結密度と引張強さの関係を Fig. 16 に示す。ペー

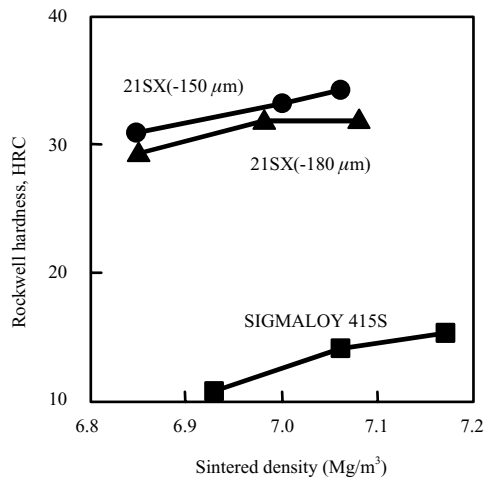


Fig. 16 Relations between sintered density and tensile strength of sintered compacts made of KIP 21SX and SIGMALOY 415S

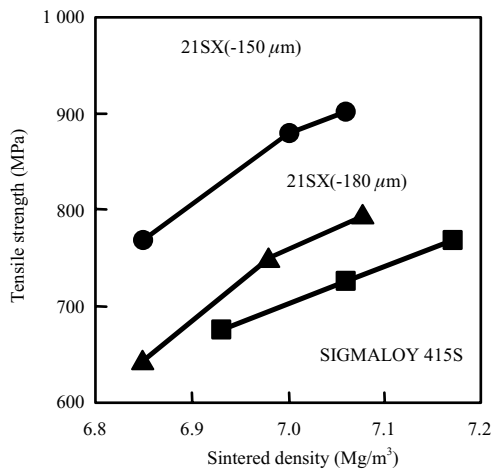


Fig. 17 Relation between sintered density and hardness of sintered compacts made of KIP 21SX and SIGMALOY 415S

ス鋼粉を 180 μm 以下に分級した 21SX (-180 μm) は、同一の密度でシグマロイ 415S より高い引張強さを示す。さらに、ペース鋼粉を 150 μm 以下に分級した 21SX(-150 μm) では、より高い引張強さが得られる。

焼結密度と硬さの関係を Fig. 17 に示す。21SX はペース鋼粉の粒度にかかわらず、シグマロイ 415S より高く、30 - 35 HRC の熱処理材レベルの硬さが得られる。

焼結体組織を Photo 5 に示す。21SX の焼結体組織は、薄灰色のマルテンサイト、白色のオーステナイト、濃灰色のベイナイトからなる。シグマロイ 415S の焼結体組織と比較すると、マルテンサイトの比率が高い。21SX(-150 μm) では、21SX (-180 μm) に比べ、マルテンサイトの比率が高くなる。これらの高いマルテンサイト比率が、高強度、高硬度が得られた主な要因と考えられる。

今後、「KIP 21SX」は、低コストでかつ高強度・高硬度の特性が要求される家電部品、電動工具部品、自動車部品などの製造への利用が期待される。

8. リチウムイオン二次電池負極材用球晶黒鉛

球晶(メソカーボンマイクロピーズ)は、コールタールピッチの高付加価値化の一環として開発された材料である。コールタールピッチを熱処理すると、液相にて重縮合反応が生じ、生成した大きな多環芳香族が積層して Photo 6 に示すような光学的異方性小球体(メソフェーズ小球体)が発生する。この小球体を芳香族系溶媒を用いて分離したものが球晶である。その直径は数ミクロンから数十ミクロンであり、高温処理を行うことによって黒鉛質に転換する。

当社では基礎研究から工業化研究まで行い、世界で初めて独自技術により球晶(KMFC: Kawasaki mesocarbon fine carbon)の工業生産に成功した。その主な用途はリチウムイオン二次電池用負極材と高密度・高強度黒鉛材料であり、その需要に対応するため、JFE ケミカル東日本製造所に 840 t/y、同 西日本製造所に 1 200 t/y の設備を所有している。

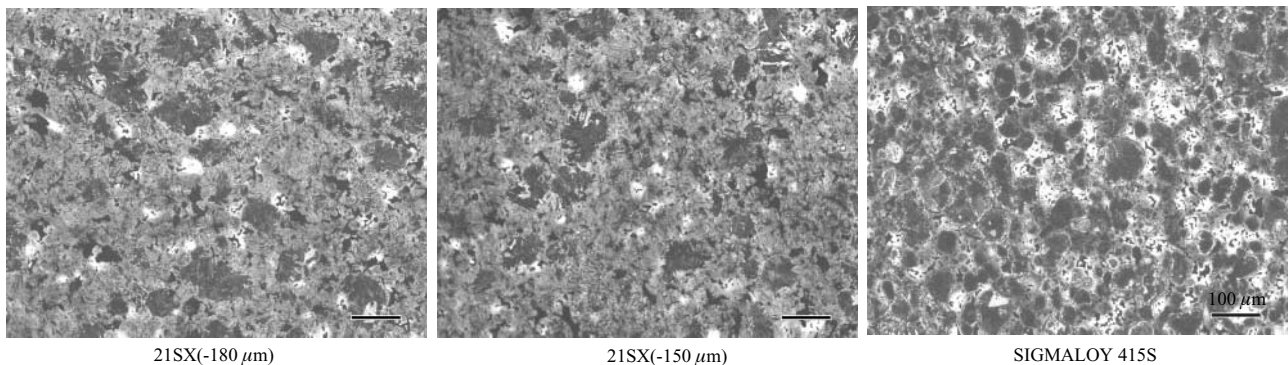


Photo 5 Microstructures of sintered compacts made of KIP 21SX and SIGMALOY 415S

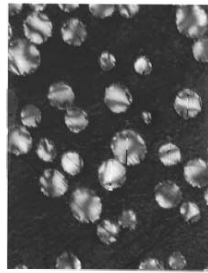


Photo 6 Polarized micrograph of mesophase spheres formed in coal-tar pitch

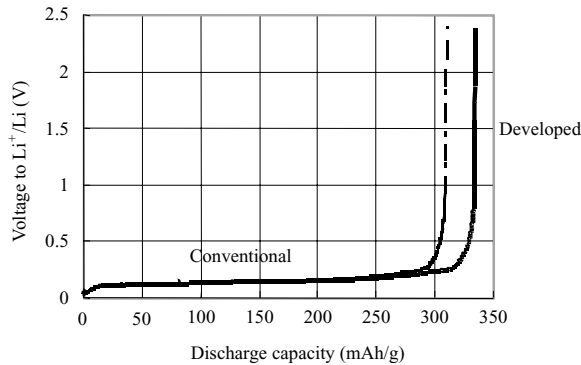


Fig. 18 Discharge capacity of developed and conventional KMFC graphite powders

リチウムイオン二次電池は、携帯電話やパソコンなどのモバイル機器に必須のエネルギーデバイスとなっている。この電池は正極と負極の間をリチウムイオンが往来することを原理とした電池であって、通常、黒鉛材料が負極材として用いられている。球晶も高温処理（黒鉛化処理）をすると黒鉛構造が発達するため、負極材として用いることができる。Fig. 18 に示した放電曲線（リチウム金属対極）のように、球晶黒鉛は黒鉛材料特有の平坦な電位を示す。当社では高容量化の研究開発を進め、従来タイプに比べ約 20 mAh/g 高い 340 mAh/g の球晶黒鉛の開発を終了している。

高容量化のためには材料の結晶性の向上が必要となるが、一般に黒鉛材料の場合には結晶性を増すにつれて形状が偏平になる傾向がある。材料が偏平であるとプレス時に電極上で配向するために電解液中のリチウムイオンの移動が阻害され、速い充放電に対応できないとされている。Fig. 19 には偏平な形状を持つ天然黒鉛との高速放電特性の比較を示す。球晶は球状であるため、高速での放電でも容量の維持率が高い材料となっている。

このように球晶は総合的に優れた負極特性を示す材料

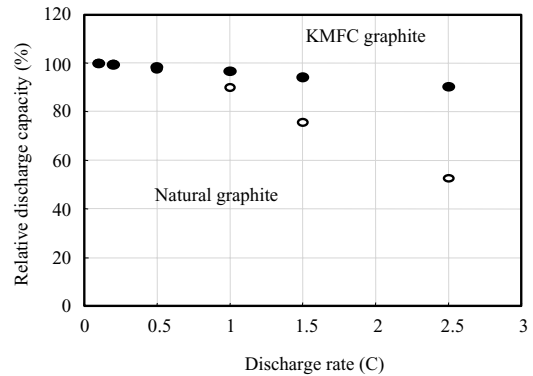


Fig. 19 Comparison in relative discharge capacity of developed KMFC graphite powder and natural graphite powder

である。当社ではお客様にさらに優れた負極材を提供できるよう、高容量化などの研究開発を進めている。

9. 結言

鉄鋼製品が、家電・重電機器の中で幅広く使用されているのに改めて驚かされる。今回紹介した鉄鋼製品は、冷蔵庫、洗濯機などの家電製品や複写機、パソコン、携帯電話などの情報機器では、外板、内板（たとえばドラム）、ロールシャフト、モータケース、モータの鉄心、トランスの鉄心、各種ギア、電池の電極などに幅広く利用されている。

再生産が容易である鉄の長所を活かした利用技術の研究により、鉄鋼製品のさらなる用途拡大と社会貢献が図れるものと確信している。

参考文献

- 1) たとえば、(財)省エネルギーセンター配布パンフレット「トップランナー方式」. <http://www.eccj.or.jp/index.html>
- 2) 山下正明ほか. 第 167・168 回西山記念技術講座 伸びゆく薄鋼板/表面処理鋼板. 東京, (社)日本鉄鋼協会. 1998. 158p.
- 3) N. Yoshimi et al. Newly developed chromium-free thin organic composite coated steel sheets with excellent corrosion resistance. GALVATECH'2001. p.655-662.
- 4) 吉見直人ほか. クロムフリー化成処理鋼板「ジオフロンティアコート」. NKK 技報. no.170, 2000, p.29-33.
- 5) 西山直樹, 樋貝和彦, 尾形浩行, 海野茂, 加藤千昭. Cr (VI) フリー黒色鋼板の開発. 鉄と鋼. vol.89, no.1, 2003, p.92-96.
- 6) 電気学会技術報告(I)部第 101 号. 1971, 1.
- 7) 石田昌義, 岡部誠司, 佐藤圭司. 川崎製鉄技報, vol.29, 1997, p.164.
- 8) 黒澤光正, 名村夏樹, 山田茂樹. 川崎製鉄技報, vol.29, 1997, p.174.
- 9) K. Sato, A. Honda, K. Nakano, M. Ishida, B. Fukuda, and T. Kan: J. Appl. Phys. vol.73, 1993, p.6609.
- 10) 佐藤圭司, 石田昌義, 日名英司. 川崎製鉄技報, vol.29, 1997, p.153.



山田 茂樹



光成 元伸



田口 昇



黒澤 光正



小川 隆生



羽多野仁美