JRCM NEWS
The Japan Research and Development Center for Metals
ISSN0913-0020
一般財団法人　金属系材料研究開発センター　■2015.12 No.350

TODAY

「素形材月間」と素形材産業の振興

一般財団法人 素形材センター
副会長専務理事
板谷 憲次

“素材”の間に“形”を入れて、“そけいざい（素形材）”と読みます。“素形材”という用語は、1970年代から使用され始めていますが、一般にはまだ定着していません。

素形材は、“素材に熱や力が加えられ、形が与えられた部品や部材”と定義されています。具体的な素材としては、金属をはじめ木材、石材、窯材、ゴム、ガラス、プラスチックなどがありますが、近年では、ファインセラミックス、複合材料も使用されています。これらの素材を素形材に変えるためには、鋳造、ダイカスト、鍛造、プレス加工、粉末焼結など、色々な材料加工法が使われます。主として金属素材の素形材への加工を行っているのが“素形材産業”です。

素形材加工は、身の回りの家庭用品や電機製品から、自動車等輸送機械、産業機械に至るまで、あらゆる工業製品に使われる機械部品の製造法として広く利用されており、素形材産業は、日本の製造業を支える重要なサポーティング・インダストリーと呼ばれています。ところが、素形材製品は、その多くが一般消費者の手にする完成品に組み込まれて、直接その性質等を実感する機会がないため、その重要性は社会一般において十分認識されていません。また、産業界においても素形材分野は、大手素材企業と大手組立企業の中間に位置する収益性の低い下請け中小企業が多数を占め、商売としての旨味に欠ける分野とされています。しかし、どんな優れた新素材も、適切な加工が行えなければ活用できません。最先端の機械システムもその性能を引き出す素形材がなければ絵に描いた餅です。素形材産業の重要性を多くの方に理解して欲しいと思います。

“素形材月間”は、“素形材産業の活性化並びに素形材及び「ものづくり」に対する一層の理解向上等を図る”ことを目的として、“毎年11月を「素形材月間」と制定し、この一ヶ月間にできる限りのイベントを集中的に行う”ものとして、通商産業省（当時）が音頭をとり、産業界及び関係機関が中心となって平成8年に創設されました。今年で21回目です。

今年の“素形材月間”事業は、素形材センターの主催する“素形材月間記念式典”を中心に全国団体12団体が、13イベント（表彰式典、セミナー、シンポジウム）を主催する他にも、地域団体によるイベントが全国各地で開催されています。経済産業省では、「ものづくり日本を支える素形材」と大書した懸垂幕を庁舎に掲げ広くアピールするとともに、METIジャーナル10･11月号のスペシャルレポートは“素形材月間”を取り上げています。

経済産業省の懸垂幕

“素形材月間記念式典”は、恒例となっている11月の第1金曜日、本年は11月6日に港区の機械振興会館・大ホールで行われました。“素形材産業技術賞”、“素形材連携経営賞”、“素形材優良従業員表彰”の各表彰と、記念特別講演会、記念祝賀パーティの構成でした。

本年度の素形材月間記念式典

“素形材産業技術賞”表彰は今回で31回目ですが、素形材技術の進歩に貢献した多くの新技術が経済産業大臣賞、中小企業庁長官賞、製造産業局長賞等を受賞してきました。今年の経済産業大臣賞は、日産自動車(株)の「ミラーボアコーティングによる鋳鉄ライナーレスアルミニウムダイカスト製シリンダブロックの開発」でした。新技術のシリンダブロックは、燃費向上や軽量化だけでなくコスト低減にもつながり、搭載した車の生産台数は4000～7000台／月となっています。また、中小企業庁長官賞は(株)関プレスの「大幅な工程短縮を実現した割裂（わりさき）プレス加工技術の開発」、製造産業局長賞は(株)野上技研の「リチウムイオン電池電極加工用超精密・長寿命打抜き金型の開発」で、いずれも大手企業に劣らぬ中小企業のキラリと光る新技術が受賞しました。これらの新技術は今後の更なる市場拡大の期待が予感されます。

“素形材連携経営賞”表彰は、まだ4回目ですが、審査委員は中小素形材企業の経営多角化がいかに大変かを実感しています。本賞は、素形材企業が他分野企業と連携し新事業分野に進出することを推進する目的で創設しましたが、応募件数も伸び悩む中で、応募案件の多くは、事業化はしているが、まだ市場への浸透が十分でないという状態なのです。そうした中で、今年の経済産業省製造産業局長賞はサンレイ工機(株)ほかの「フィルム製造用高性能カーボンロールの開発・製造」が受賞しました。需要が増加しているフィルム製造に使用されるカーボンロールの製造において異なる優れた技術を持つ3社が、企業規模を問わず対等な立場で連携し、印刷ロールの需要低迷を補って余りある、新市場の開拓に成功したのです。更なる発展が期待されます。

また、今年の記念特別講演には、アジア初の女性宇宙飛行士で、東京理科大学副学長の向井千秋さんをお招きしました。最近の記念講演は、女形の名脇役として人間国宝の認定を受けられた歌舞伎役者の六代目澤村田之助さん、地球深部探査船「ちきゅう」プロジェクト・リーダー、海洋研究開発機構理事長の平朝彦さんと、その道を極められた方々をお招きし、元気を分けていただいています。向井千秋さんからは「宇宙飛行から学んだこと」をお話しいただきました。記念パーティでも、さすがに人気のある向井さんを取り巻く歓談の輪は途絶えることなくお開きまで続いていました。講演では、夢を追い続けることの大切さを改めて感じさせていただきました。

かつて“素形材フェア”として、記念式典会場に併設していた展示会は現在行っていません。最近は、名古屋市主催の「次世代ものづくり基盤技術産業展（TECH Biz EXPO）」に企画協力メンバーとして、展示ブースを出しています。前年度の素形材産業技術賞受賞技術の紹介展示やセンター賛助会員の協力展示を行っています。本年は、３Ｄプリンターについて、ブームを堅実なものとすることを目指し、３Ｄプリンターのメーカー、プロバイダーで構成される“３Ｄプリンター振興協議会”と共同でブース出展も行いました。

３Ｄプリンターのような積層造形技術は、素材選びとコスト面でまだ素形材加工としては未熟ですが、大量生産と多品種少量生産の混在が今以上に進展している将来において、素形材加工の選択肢の一つであることは間違いありません。素形材センターは、１企業１プロセスの多い素形材業界において、素形材加工を横断的に見て、ユーザー目線での技術振興に取り組みたいと思います。

素形材産業は製造プロセスも確立された成熟した産業のように思われる方が多いようですが、新素材が市場に投入される度に、プロセス革新も必要となる発展途上の産業です。古くからの産業技術である鋳物の製造法もまだまだ改良が続けられています。最新の高張力鋼には熱間プレス加工による成形も行われるようになりました。もちろん、最新素形材技術の実現は大手企業の素形材部門からですが、中小素形材専業企業も最新の素形材加工機械を導入し、高いレベルの素形材加工を行うようになっています。

金属系素材の研究開発に携わられている本紙の読者の皆様も、ぜひ素形材産業へのご理解、ご支援をお願いいたします。

軟磁性材料国内特許調査報告

高効率モータ用磁性材料技術研究組合　主席研究員　山内 清隆

1．はじめに

JRCM では、平成 24 年度より 10 年間の予定で開始された新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務「次世代自動車向け高効率モータ用磁性材料開発」プロジェクト（以下 “MagHEM”）において、技術調査センタとして特許調査、技術調査活動を進めている。本調査活動の対象となる技術・材料は①永久磁石材料、②軟磁性材料、③高効率モータである。

ここでは、その一環として平成 24 年 9 月～27 年 3 月において実施した「特許調査に基づく軟磁性材料の技術動向調査結果」の概要を報告する。

2．調査方法の概要

特許調査は以下の手順で進めた。①特許一次検索範囲（スコープ）の設定、②検索式の設定、③検索ツールとして NRI サイバーパテントを用いて抽出した特許からスコープ外の特許をノイズとして除去、④重要度判定基準（技術、産業、国家戦略、特許から俯瞰）を策定し、S 級（深堀案件）、A 級（再調査案件）、B 級（見送り案件）に分類、⑤ S 級特許について解析軸（機能軸、制御軸、工程軸）および要約を付与、⑥組合関係者が Web 上で閲覧可能となるよう図書館システムを構築し登録。ここで、本調査対象（スコープ内）の軟磁性材料としては、①アモルファス合金（金属ガラス含む）、②ナノ結晶合金、③圧粉磁心、④新材料とし、電磁鋼板やフェライト等の既存の軟磁性材料の改良に関する特許はスコープ外とした。

3．技術動向調査結果の概要

表 1 に重要度判定結果を示す。調査対象約 11,000 件に対して、S 級が 260 件、A 級が 781 件抽出された。

図 1 に S 級および A 級特許の公開年度推移を示す。

公開年により件数に凹凸はあるが、S 級、A 級とも特記すべき出願傾向は見られず継続して出願されている（2014 年は 1 ～ 9 月の半年間の結果）。

表 1．軟磁性材料特許の重要度判定結果

判定結果	件数	比率（%）
S 級	260	2.3
A 級	781	7.2
B 級以下	9959	90.5

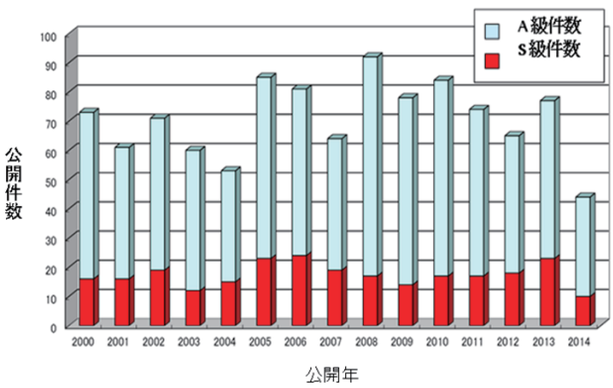

図 1．S 級、A 級特許の公開年次推移

図 2 に、S 級特許の 2015 年 3 月時点での生死状況を示す。S 級特許 260 件のうち 144 件が登録査定を受けており、審査中の 37 件を除く母数 223 件に対する登録査定率は約 65％であり、登録された特許のほとんどが権利継続中である。

図 3 に共同出願の組合わせを示すが、単独出願が 73％と多く、図示はしていないがその内訳も企業からの出願が圧倒的に多い。また、共同出願は 27％と少なく、その内訳は企業間の共同出願が多く、大学との共同出願は比較的少ない。この結果は、今回調査対象としているモータ用途などのパワーエレクトロニクス用軟磁性材料の研究開発が企業で活発に進められている反面、大学などの公的機関における研究者が少ないことを示唆している。

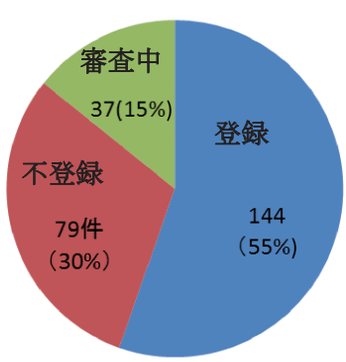

図 2．S 級特許の生死状況

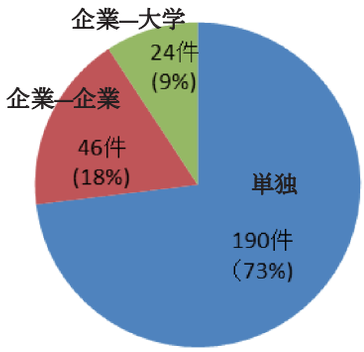

図３．S 級特許の共同出願組合せ

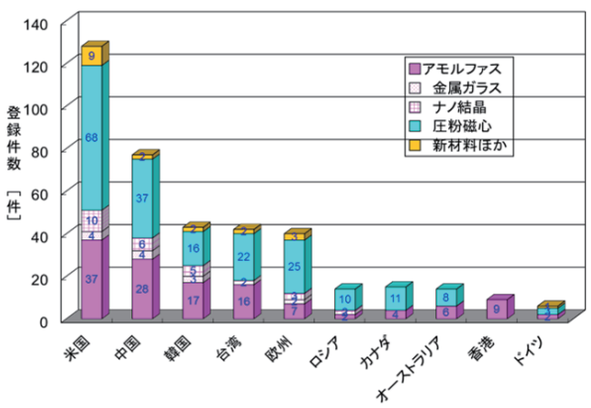

図４．S 級特許の国別登録件数

図４には、S 級特許のうちで国際出願された特許の国別登録件数を示す。図からわかるように、アモルファス系（アモルファス、金属ガラス、ナノ結晶）および圧粉磁心ともに、米国、中国の順に多く次いで韓国、台湾、欧州の件数が多い。また、図示はしていないが、国別の年次別登録件数の推移をみると中国への登録件数が近年急増しており、各出願機関とも中国市場を重視している傾向を窺い知ることができる。

また、海外出願機関から出願された S 級特許は、総件数 260 件に対して 23 件（約 9 %）であり、そのうちで最多出願機関はヘガネス社（スエーデン）の圧粉磁心に係わる 16 件である。

４．材料分野別特許出願傾向

図５に、アモルファス系（アモルファス、金属ガラス、ナノ結晶）、圧粉磁心および新材料の材料分野別 S 級特許出願比率を示す。図から明らかなように、圧粉磁心が 67 %を占め、次いでアモルファス系が 31 %であり、新材料は 2 %と少ない。この結果は、アモルファス系が 1970 年代から 80 年代にかけて研究開発のピークがあったのに対し、圧

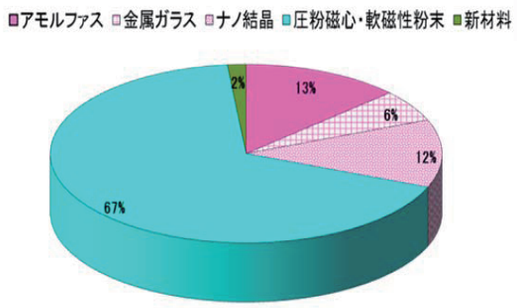

図５．材料分野別出願比率

粉磁心は 1990 年代以降に研究開発が活発化したことに理由があると考えられる。また、図６に材料分野別の年次出願傾向を示す。図において、アモルファス系は顕著な傾向は見られないが、圧粉磁心は 2005 年～ 2007 年にかけて件数のピークがあり、この頃が圧粉磁心の研究開発が最も活発化していた時期と考えられる。

以下に材料分野別の技術動向に関する特徴的な点を概説する。

4.1　アモルファス合金

アモルファス軟磁性合金は上述したように現在では研究開発のピークは過ぎており、研究開発を進めている出願機関は限定される。主要出願機関の調査対象期間内の S 級特許の出願件数は、日立金属（米国子会社 Metglass 社を含む）が 16 件と多く、次いで新日鉄住金が 9 件、その他が 8 件である。技術内容としては、材料特性の向上、コスト低減、用途開発に関するものが多く、このなかで日立金属から出願された飽和磁束密度 Bs が高いアモルファス合金（特表 2008-530371：Bs が従来の 1.56T から 1.64T に向上）、SACO 合同会社による厚肉アモルファス合金の製造方法（特開 2014-91157：従来の板厚 25 μ m に対して 50 μ m 程度の厚肉化が可能）、日立製作所によるアモルファス合金を用いた高効率モータ鉄心（特開 2013-131226）などが注目に値する。

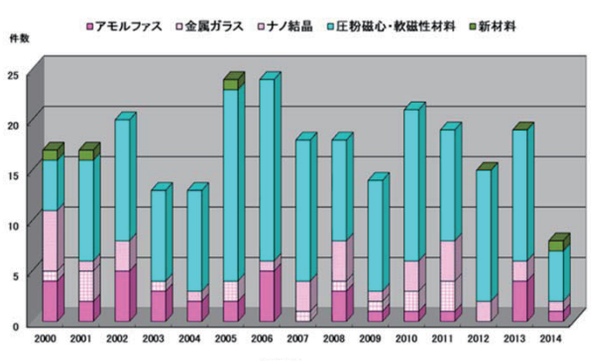

図６．材料分野別年次出願傾向

4.2　金属ガラス

金属ガラスは、広義のアモルファス合金であるが、ガラス化温度が存在し、結晶化温度とガラス化温度の差が大きいことにより厚肉や太径のアモルファス合金を得やすいことから通常のアモルファス合金とは区別して呼ばれる場合が多い。

金属ガラスに関しては、多くの研究機関で活発に研究が進められているが、その多くは構造材料を目的としたものであり軟磁性用途を目的とした研究はそれほど多くはない。本調査における S 級特許は、アルプス電気の 4 件が最も多く、その他が 11 件である。

金属ガラスは、一部電子回路用磁性部品として実用化されおり研究開発も継続して進められているが、モータ用途に関連した特許は少ない。

4.3　ナノ結晶合金

ナノ結晶軟磁性合金は、1980 年代後半に発明された比較的新しい材料であり、代表的には $Fe_{bal.}Cu_1Nb_3Si_{13.5}B_9$ の組成を有し、比較的高い飽和磁束密度と優れた軟磁気特性を併せ持つため、中周波から高周波帯における電子回路用磁性部品として多用されている。近年において、パワエレ用途を目的にナノ結晶合金のもつ軟磁気特性を大きく損なうことなく、より高 Bs 化する研究開発が活発化している。

ナノ結晶合金に係わる研究機関はそれほど多くはないが、主な出願機関による S 級特許は日立金属が 12 件、アルプス電気が 9 件、東北大学が 2 件、NEC トーキンが 4 件、その他が 1 件である。

表 2 に高 Bs ナノ結晶合金の磁気特性を、従来型ナノ結晶合金、アモルファス合金および無方向性電磁鋼板と比較して示す。高 Bs ナノ結晶合金は、比較的優れた軟磁気特性と高い飽和磁束密度（Bs）を兼ね備えていることがわかる。同合金は、代表的には表 2 に示すような組成の合金をアモルファス薄帯や粉末にしたのち、熱処理によりナノ結晶化（平均粒径 10 ～ 30nm 程度）することにより得ることができる。

ただし、同合金は未だ開発途上にあり、モータ用鉄心や回路部品として実用化するには、広幅薄帯や粉末を安定製造する技術や鉄心加工技術等の課題を克服してゆく必要がある。

表 2．ナノ結晶軟磁性合金の磁気特性

合金	Bs (T)	Hc(A/m)	μe (1kHz)	W15/50
$Fe_{86}Si_1B_8P_4Cu_1$*1	1.85	5.8	24,000	～0.35
$Fe_{73.5}Si_{13.5}B_8Nb_3Cu_1$*2	1.23	2.5	120,000	–
$Fe_{75}Si_9B_{13}$*3	1.56	2.6	10,000	～0.75
無方向性電磁鋼板*4	1.96	26	720	～2.3

*1：高Bsナノ結晶合金　*2：従来ナノ結晶合金　*3：アモルファス合金
*4：板厚0.35mm　　W15/50：1.5T、50Hzにおける鉄損（W/kg）

4.4 圧粉磁心

圧粉磁心の S 級特許に関しては、多くの出願機関から多数の S 級特許が出願されており、そのほとんどが民間企業であり、その業態も材料、自動車、電機、部品など幅広い。S 級特許件数の多い出願機関は、住友電工（21 件）、三菱マテリアル（17 件）、ヘガネス（16 件）、豊田中研（13 件）、日立化成（11 件）、アイシン精機（7 件）、TDK（7 件）太陽誘電（7 件）などであり、以下 JFE, 神戸製鋼所、日立金属、アルプス電気、NEC トーキンほか多数の企業から出願されている。

圧粉磁心の特徴は、比較的飽和磁束密度（Bs）が大きく、かつ比抵抗が大きいために図 7 に示すように周波数が高い領域で通常の電磁鋼板に比べて鉄損が低いことにある。また、磁気的に等方性であるため、3 次元の磁気回路設計が可能である。その特徴を活かして、図 8 に示すように従来の電磁鋼板やフェライトではカバーできない周波数帯において、例えばリアクトル等の電子回路部品として実用化されており、またモータ用鉄心としての用途開発が進められている。

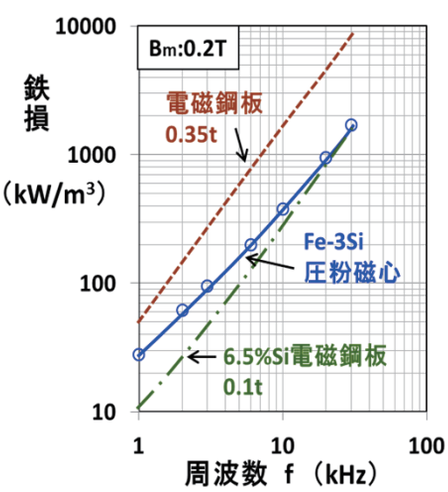

図 7．圧粉磁心の鉄損比較

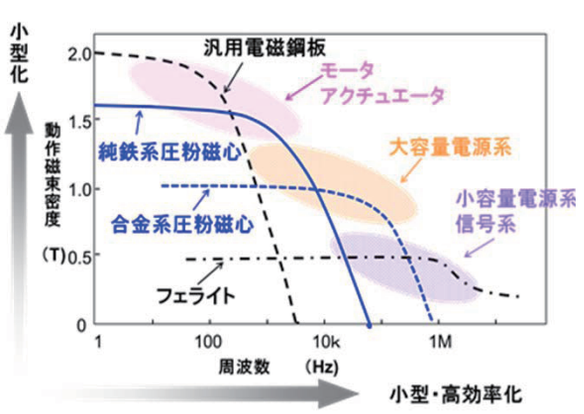

図 8．圧粉磁心の鉄損比

圧粉磁心は、アトマイズ等により金属軟磁性粉末を作製し、その表面をリン酸塩等の無機材料で絶縁被覆し、バインダを加えて金型中で所望の形状に成形したのち、熱処理により内部歪を解放するプロセスにより製造される。技術開発のポイントは、鉄損をさらに低減することと、機械強度の向上にある。圧粉磁心は、上述したように金属粒子間の絶縁を保つために各々の金属粒子は絶縁被覆されるが、成形時に金属粒子同士が擦れたり変形するために絶縁被膜が損傷しやすいことと、歪を解放するためには約 600℃以上の高温で熱処理する必要があるが、そのような高温に耐える絶縁被膜が必要となる。また、圧粉磁心の強度は、金属粒子同士の絡み合いと、バインダの結合力に依存し、金属粒子同士の拡散結合は期待できないため、用途によっては機械強度が十分でないという課題がある。このような課題を克服するために、金属粉末はもちろんのこと、絶縁被膜やバインダ、潤滑剤等の開発や、成形法や熱処理方法の改良等、様々や技術開発がなされてきており、関連する特許件数も多い。

4.5　新材料

スコープ内にあって、4.1 ～ 4.4 に入らない軟磁性材料を新材料と位置付けたが、残念ながら画期的な新材料は本調査の範囲では見出すことができなかった。ただし、モータ鉄心用として今後注目すべき新材料としては、軟磁性材料と非磁性材料を一体化した複合磁性材料（日立金属、特開 2000-104142 など）や、本調査期間においては S 級特許は抽出されなかったが、厚み方向に Si 濃度勾配をもたせた 6.5%珪素鋼板（JFE）等があり、今後注視してゆく必要がある、

5．おわりに

次世代高効率モータ用軟磁性材料という観点で、特許調査に基づく技術動向調査を行なった。4 項で概説したように、現時点でその候補としてはアモルファス合金、ナノ結晶合金、圧粉磁心があげられる。

アモルファス合金は、飽和磁束密度は電磁鋼板に劣るものの鉄損が極めて低いために早くからモータ用鉄心として期待され多くの研究開発がなされてきたが、加工性に難点があるため実用化には至っていなかった。しかし、日立製作所が 2012 年にアモルファス合金をステータに用いた

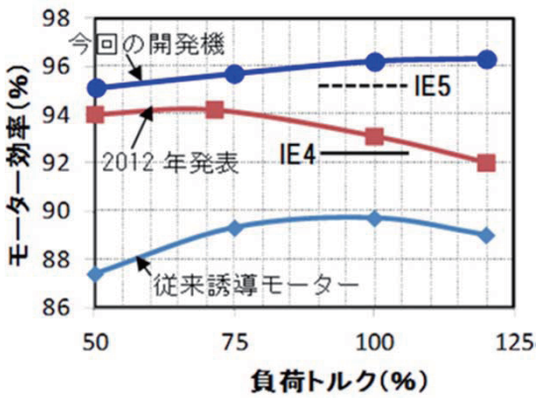

図９．アモルファスモータの評価結果
（日立製作所ニュースリリース）

産業用モータを開発し、2014 年に世界ではじめて発売を開始した（図９参照）。このモータが市場でどの程度受け入れられるかは未だ定かではないが、今後他機関においてもアモルファスを用いたモータの開発が活発化する可能性があるので、その動向を注視してゆく必要がある。

高 Bs ナノ結晶合金は、アモルファス合金に匹敵する低い鉄損と、アモルファスを凌ぐ高い飽和磁束密度を有するため、磁気特性的には次世代のモータ用軟磁性材料として極めて有望である。しかし、実用材料としては薄帯や粉末製造技術や鉄心への加工技術などいくつかの大きな課題があり、今後それらの課題を早期に克服して実用材料として大きく進展することを期待したい。

圧粉磁心は、バランスのとれた磁気特性と、３次元磁気回路設計が可能とういう特徴を活かして、新構造のモータ用鉄心として実用化が期待されているが、残念ながら未だ実用化例は極めて少ない。課題としては、さらなる低鉄損化や高強度化、低コスト化等がある。これらの課題克服に加え、圧粉磁心の特徴を活かした画期的な３次元磁気回路設計が発案され、特徴ある次世代高効率モータが出現することを期待したい。

以上概説した内容は、冒頭に述べたように国内特許調査に基づくものであり、今後は上述した技術が諸外国ではどのように進展しているか、またその結果日本の技術の立ち位置がどこにあるか等をあきらかにする必要がある。そのような観点から、今年度以降海外特許を含めた特許調査を主に、軟磁性材料の技術動向調査を進めてゆく予定である。

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS ／第 350 号
内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。
発　行　2015 年 12 月 1 日
発行人　小紫 正樹
発行所　一般財団法人 金属系材料研究開発センター
〒 105-0003 東京都港区西新橋一丁目 5 番 11 号 第 11 東洋海事ビル 6 階
ＴＥＬ　(03)3592-1282（代）／ FAX　(03)3592-1285
ホームページ URL　http://www.jrcm.or.jp/
E-mail　jrcm@oak.ocn.ne.jp