

TODAY

鉄鋼材料のイノベーションを目指して



JFEスチール株式会社
専務執行役員 スチール研究所長
曾谷 保博

日本の鉄鋼製造技術の変遷を振り返ってみますと、1950年代に欧米から優れた技術を導入し高度成長を支えました。1980年代には導入した技術に独自の改善を加えて、品質と生産性の両面で世界をリードするようになりました。1990年代に入って設備投資も一段落し、粗鋼生産量に合せ技術開発も成熟期を迎えたように見えます。内需が伸び悩む中で、将来にわたり世界鉄鋼需要の確実な伸びが予測されています。わが国の鉄鋼業は新たな市場を海外に求め、し烈な国際競争にさらされています。

一方、新興国は日本や欧州で完成された技術を導入し、爆発的に生産を伸ばしています。次の数十年、かつての日本がそうであったように、新興国でも導入技術と新鋭設備に改善、改良を重ねて、品質と生産性の両面で日本の水準に追随することは疑う余地がありません。

材料開発から製造プロセス開発も含め鉄鋼技術の実用化には10年単位の時間を要します。し烈な国際競争の中で日本の鉄鋼技術開発が目指す方向は、次の数十年という長期的な視野に立ち、独創的な材料開発を持続し、製造プロセス革新への挑戦を続けることだと信じます。

ここ数年、海外インターンの受入れなどで新興国の学生に接する機会が増えました。インドのようにレベルの高い数学教育を受け、巨大な人口の中から選ばれた頭脳は脅威です。また若者の上昇志向や他国文化を吸収する姿勢も驚くほど貪欲です。将来、彼らが自国の技術開発やマネジメントの中核となるのです。新興国の成長を受入れながら、日本は長期的視野で独創的な技術を創出し、世界をリードし

続けなければなりません。

先進鉄鋼材料の代表格に、自動車の燃費向上と衝突安全性向上の実現を支える超ハイテンがあります。超高強度でありながら優れた加工性や接合性を有する、引張強さ1.5GPa級の超ハイテンの実用化が待望されており、現在、企業、大学、国研で高度な複相組織制御やナノ析出強化などを駆使した材料開発が盛んに行われています。新しい強化機構・原理に基づく、圧倒的な特性を有する材料の出現に大いに期待したいものです。省資源とコストダウンの観点から、希少合金元素を極力使うことなく材料設計するという要請は今後ますます強くなります。そのため、材料開発におけるTMCP（加工熱処理）技術の役割は極めて大きいと言えます。材料研究の初期段階からプロセス革新を視野に入れた発想をしないと、鉄鋼材料のイノベーションは難しいでしょう。また、開発した超ハイテンを実際に自動車に適用するには利用評価技術が不可欠です。車体のパフォーマンスを評価・解析する技術、部材に加工する技術や接合技術を自動車メーカ、部品メーカと共同で開発する必要があります。さらに、材料開発はラボや少量の実機試作で成功しても、実用化までに越えなければならない死の谷が多々あります。精錬、 casting、圧延、表面処理などのすべての工程でばらつきを考慮しながら、連続プロセスで大量に、低コストで安定した品質の商品を生産できるかという課題です。

鉄鋼のような成熟産業でのイノベーションの難しさは、すでにある程度の合理性で汎用製品の生産が行われている既存プロセスにおいて、大きな変革を求める原動力がはたらかないという点にあります。特に基幹プロセスの変革を伴う場合は、開発の様々な局面で困難に直面します。優れた先進性があり、原理・原則が明確であり、広く社会に受け入れられる技術でないといノベーションは成功しません。お客様の要望に合った高品質の商品をタイムリーに届けるのは当然ですが、地球環境に優しく作業環境にも配慮した技術であるべきです。世界を変える鉄鋼材料のイノベーションを目指したいものです。

永久磁石材料国内特許調査報告

高効率モーター用磁性材料技術研究組合

主席研究員 谷川 茂穂

1. はじめに

「高効率モーター用磁性材料技術研究組合」(MagHeM) 技術調査センターにおいて、平成 24 年 9 月～27 年 3 月の 2 年 6 か月間永久磁石材料、軟磁性材料及び高効率モーター技術の 3 分野に関する国内特許調査を実施し、各分野における技術動向の詳細な分析を行い調査報告書として纏めた。本レポートでは、そのひとつである永久磁石材料の技術動向分析結果の概要を紹介する。

2. 調査の目的と調査方法の概要

技術動向調査全体の目的は以下である。

- ①国内外の技術発展状況、特許出願成立状況を調査分析すること。
- ②技術、産業競争力、国家戦略の観点、及び特許技術の 4 つの観点から重要度を調査分析すること。
- ③上記 2 項の内容を、閲覧可能な状況に構築し組合関係者に提供すること。

磁石特許の検索ツールとして NRI サイバーパテントを用いて 2000 年 1 月～2013 年 12 月の間に公開された国内特許を検索し、重要度判定を実施しクラス分けを行い、S 級(最重要)、A 級(重要)特許を抽出した。S 級特許については、明細書に記載されている技術内容の詳細を分析し、解析軸(機能軸、制御軸、工程軸)を付与し、永久磁石材料の機能が、どの様な手段と方法で改良されているかを明らかにした。S 級及び A 級特許に関する調査分析内容は、組合関係者が Web 上で閲覧可能な図書館システムを構築し分析情報の登録を行った。

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 11,400 件に対して、S 級特許が 279 件、A 級特許が 1,920 件となった。S 級及び A 級の合計数

に対する、S 級特許の比率は、約 13%である。

図 1 に、S 級及び A 級特許の公開年度推移を示す。2002 年や 2006 年など S 級特許件数の多い年度は、特定の機関からの重要特許が集中して出願されている傾向にある。

図 2 に S 級特許の、2015 年 3 月時点での生死状況を示す。S 級特許の 71%が登録査定を受けており、その大部分の権利が維持継続されている。

図 3 に S 級の機関毎の件数(上位 20 機関)を示す。Nd-Fe-B 焼結磁石の主要製造メーカーからの出願が多い。また近年は、トヨタ自動車、住友電工、日東電工等、日立製作所などの、既存の磁石製造メーカー以外からの出願が増加している。

海外機関からの出願は、S 級特許(279 件)の内の 5.4%に相当する 15 件であった。中国からの、出願は予想に反して少なく数件にとどまっている。複数以上の機関による共同出願は、27 件で全体の約 10%である。図 4 に、共同出願の組み合わせを示す。企業と大学との共同出願が、全体の約 60%となっている。

図 5 に S 級の技術分野別の出願傾向を示す。Nd-Fe-B 系焼結磁石の出願件数が最も多く全体の 41%(111 件)を占める。次の

表 1 磁石材料特許の重要度判定結果

等級	件数	比率 (%)
S 級	279	2.4
A 級	1,920	16.8
B 級以下	9,232	80.8

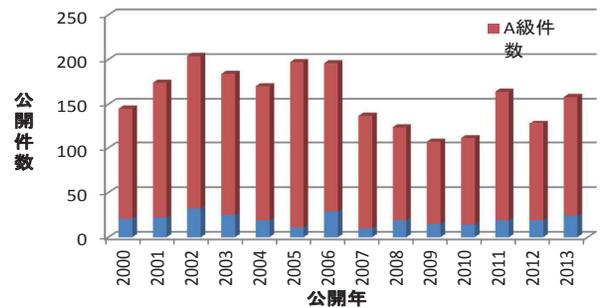


図 1. S 級及び A 級特許の公開年度推移

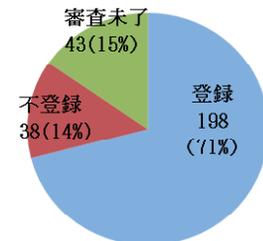


図 2. S 級特許の生死状況

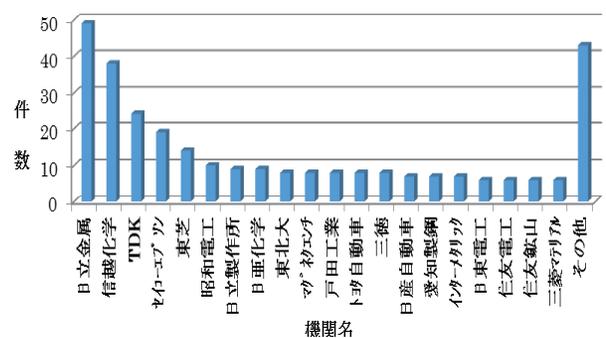


図 3. S 級特許の機関毎件数

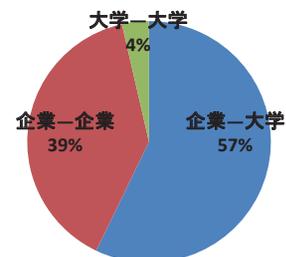


図 4. 共同出願の組み合わせ

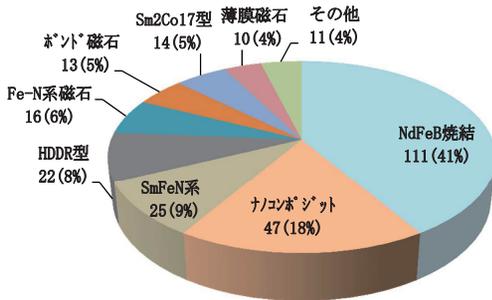


図5. S級特許の分野別出願傾向

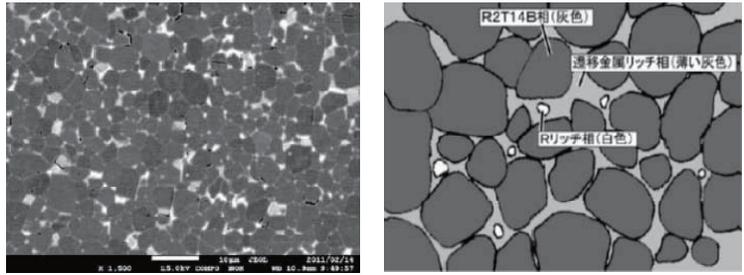


図8 省 Dy 型磁石のマイクロ組織とモデル図 (特開 2013-216965)

でナノコンポジット磁石が18% (47件)、窒化物系 (Sm-Fe-N) 磁石が9% (25件)、HDDR型Nd-Fe-B系磁石8% (22件) となっている。

4. 分野別技術動向の分析結果の概要

4.1 Nd-Fe-B系焼結磁石

図6にNd-Fe-B系焼結磁石の機能向上に関わる特許技術の分類結果を示す。2010年以降は、2合金法や粒界拡散技術等の粒界構造制御により、本来機能のひとつである保磁力を向上させる技術の出願が多い。

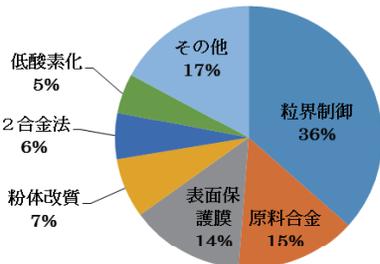


図6. Nd-Fe-B系磁石のS級特許技術分野の分類

図7に特許公報から俯瞰した粒界拡散技術による、磁石機能向上の効果を示す。

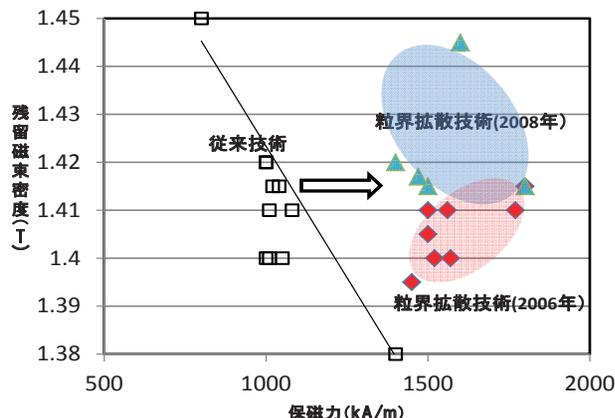


図7. 粒界拡散技術による磁石特性の改善推移

粒界拡散技術は省Dy化と高性能化を両立する技術として実用化されており、これによるNd-Fe-B系焼結磁石が電導自動車 (HEV等) の駆動モーターに採用されている。

Nd-Fe-B系焼結磁石の、省Dy化として注目される技術として、従来材料より低Bの組成域を利用した材料特許が出願されている。B量を総希土類量に対し、適正な範囲に制御することにより、省Dyが実現されると記載されている。本発明による磁石のマイクロ組織及びそのイメージを図8に示す。粒界相として、従来のNdリッチ粒界相より遷移金属リッチな粒界相を活用し保磁力を発現させたことが特徴である。磁気特性および高密度化を実現させるためにM元素 (Ga, Al, Cu) が重要な役割を担っている。

4.2 ナノコンポジット磁石

ナノコンポジット磁石は、1990年代後半から、ポストNd-Fe-B焼結磁石として期待され、薄膜プロセスも含め様々なアプローチで研究開発がなされてきたが、実現されている磁石性能はマイクロマグネテックスシミュレーション等から予測

されている水準とはかなりギャップがあるのが現状である。現在一部実用化されているナノコンポジット磁石は、省希土類型の等方性希土類ボンド磁石という位置づけにある。

4.3 窒化物磁石 (Sm-Fe-N系)

Sm-Fe-N系化合物は、Nd₂Fe₁₄B化合物に近い飽和磁化と、より高い結晶磁気異方性を有することから、ナノコンポジット磁石と同様ポストNd-Fe-B系焼結磁石として注目されたが、高温でNd窒化物とFeに分解し焼結磁石とすることが出来ないことや、化合物に付随する大きな結晶磁気異方性に見合う保磁力が発現出来ていないという課題がある。近年特許出願件数は減少しているものの、高密度化プロセス技術等も含め継続的な材料開発が継続されている。

4.4 HDDR型異方性Nd-Fe-B系磁石

HDDR型異方性Nd-Fe-B磁石特許は、過去14年間に12機関から22件のS級特許が出願されている。HDDRプロセスにおける反応速度、特に再結合過程での反応速度を適正に制御して、均質微細で、かつ結晶配向性を高める技術の出願が主体となっている。d-HDDRプロセスと呼ばれる、上記改良型のHDDR法を適用したボンド磁石が製品化されており、一部の自動車用補機モーター等に应用されている。本材料は、磁性を担う化合物がNd-Fe-B系焼結磁石と同一であるためボンド磁石の形態で焼結磁石の性能を越えることは難しいと考えられるが、ナノ構造組織を活かした材料として、今後の応用展開が注目される。

4.5 新磁石材料

L1₀型化合物やFe窒化物等の希土類フリーの新磁石材料に関する有力な特許は今回の調査では、ほとんど見当たらなかった。L1₀型化合物については、PtやPd等の貴金属を含む磁石材料には重要度判定より除外したことも有力特許が見出せな

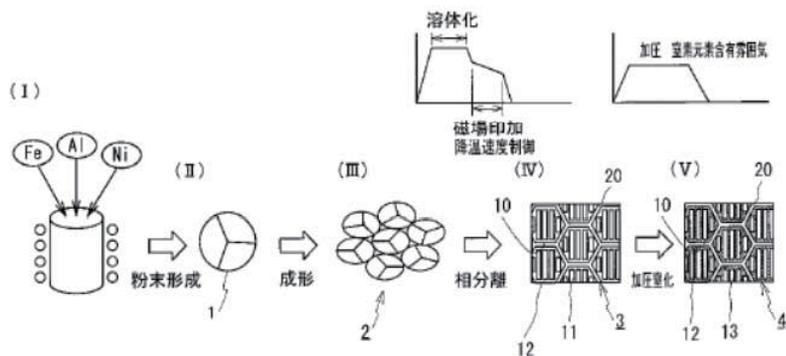


図9 ナノ結晶組織を有するFe-N粉末を作製するプロセス
(特開 2012-190892 号)

かった要因となっている。

Fe-N 化合物の S 級特許は、16 件公開されているが 2009 年以前に公開されている特許は、ほとんどが磁気記録媒体を対象分野とするものである。2011 年以降公開の 10 件の公開特許が磁石への応用を目的として技術開発がなされている。しかし、バルク磁石体（最終製品）としての磁気特性まで記載した特許出願はこれまでなされていない。

ナノサイズの硬磁性微粉末を得る従来技術に替り、比較的大きな粒子の中にナノ構造の Fe-N 化合物を形成するプロセス技術が特開 2012-190892 号等に開示されている。図 9 に公報に記載されている、ナノ構造形成プロセスのイメージ図の一例を示す。

省希土類化合物のひとつである ThMn_{12} 型化合物については、今回の調査範囲では、特定の出願人から数件の S 級特許の出願がなされている。しかしこれについても Fe-N 化合物と同様、粉末磁気特性の記載に留まっている。

5. おわりに

5.1 Nd-Fe-B 焼結磁石の将来展開

Nd-Fe-B 系焼結磁石の高機能化は、本来機能、従属機能のいずれについても、ほぼやり尽くされた感があるが、過去 10 年間の材料特許の中では、粒界拡散技術が新規な高性

能化技術として確立、実用化されている。しかし MagHEM が掲げる高い目標性能（2018 年（BH） $m38\text{MGOe} @ 180^\circ\text{C}$ ）を実現するためには、粒界拡散技術に加え、更なるブレークスルー技術の創出が必要である。結晶粒微細化や、前記低 B 材料の実用化、温度特性の更なる改善（特に保磁力）等による高性能化が最先端の解析技術等の支援により実現されることが期待される。

5.2 スcope内新材料の実用化

新たな遷移金属化合物や希土類 - 遷移金属化合物による新磁石に関しては、現在公開されている特許技術を俯瞰した限りにおいては、極めてハードルが高いといえる。Fe-N 系磁石は、磁石粉末としての性能を更に高めること、バルク磁石とするためのプロセス技術の創出が求められる。

ThMn_{12} 型化合物は窒化物薄膜で高いポテンシャルを持つ磁石材料であることが明らかにされている。また薄膜とは異なるアプローチにより、従来より少ない添加元素（Ti 等）により ThMn_{12} 構造が安定化出来るという報告も

なされており、今後の研究開発の進展が注目される。

Fe-Ni や Fe-Co 等の遷移金属化合物については、第一原理計算を中心とする磁気異方性に関するシミュレーションが先行しているが、薄膜プロセス等による基礎的な材料研究も行われている。前記新材料へのチャレンジが、将来実用磁石の創生に繋がることを期待したい。

5.3 磁石材料の技術及び産業競争力

図 10 に磁石材料特許の海外登録件数（国別）を示す。

日本の Nd-Fe-B 焼結磁石材料のグローバル競争力は、図 10 の海外での登録状況等より判断して、現時点では高い水準にあるといえる。しかし、Nd-Fe-B 磁石の基本材料特許は既に失効している現在、Nd-Fe-B 系磁石高性能化のキー技術となっている粒界拡散技術に関する主要な特許は、一応海外でカバーされていると推定されるが、排他的な独占権が必ずしも確保されているわけではない。MagHEM 技術調査センターの今後の活動のひとつとして、磁石材料については中国を中心とする国外特許調査を実施し、日本の磁石材料の技術及び産業競争力に対する、より正確な分析把握を行う計画である。

本レポートに記載の技術に対する意見はあくまで執筆者の個人的見解に基づくものであることを付記致します。

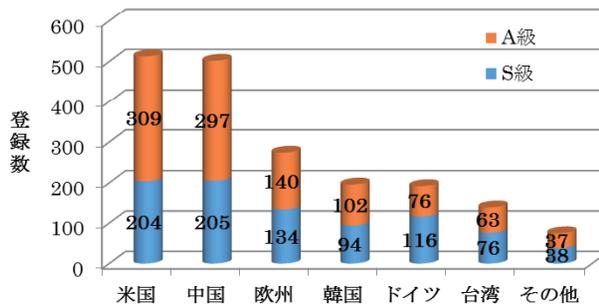


図 10. 国別特許ファミリー登録数

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第 348 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製・複製・転載することを禁じます。

発行 2015 年 10 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