

ジスプロシウムを使用しないモータ用 高鉄濃度サマリウムコバルト磁石

資源リスクが低い高効率モータ を実現するキーマテリアル

東芝は、資源供給や価格高騰のリスクが問題視されているレアアースのジスプロシウムを使用しない、耐熱性に優れた高性能磁石の開発を進めています。ネオジム磁石に比べ磁力が劣るサマリウムコバルト磁石において、磁力を増大させるために鉄の配合量を従来の15 wt%から20～25 wt%に増やし、当社独自の熱処理技術を適用することで、高磁力化を実現しました。

開発した磁石を搭載したモータの特性評価を行った結果、100℃以上の高温でも、ジスプロシウムを添加した耐熱型ネオジム磁石と同等のモータ性能を持つことを確認しました。

ジスプロシウムを使用しない 高性能磁石開発の必要性

自動車・鉄道車両用駆動モータや産業用モータには、高効率で高耐熱性の磁石が必要とされます。このような用途には、一般に、レアアースのジスプロシウムを添加した耐熱型ネオジム磁石が使用されています。しかし、ジスプロシウムの鉱山は地球上の一部地域に集中しており、供給リスクを回避するため、ジスプロシウムを使用しなくても100℃以上の実使用温度域で高い磁力を持つ高性能磁石の開発が望まれています。

東芝は、このような要求に応えるため、ジスプロシウムを使用しない高磁力磁石の開発を目指して、耐熱性の高いサマリウムコバルト系 ($\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系) 磁石に着目した研究開発を進めています。

高鉄濃度 SmFeCo 磁石と その技術課題

磁石の性能は、磁力の強さを示す磁化と、その安定性(耐熱性)を示す保磁力とで表わされます。保磁力とは、磁気飽和させた永久磁石に逆向きの磁界を付与したときに永久磁石の磁化がゼロ、すなわち磁石でなくなる磁界の強さのことです。保磁力は本質的な磁化反転のしにくさを表わし、永久磁石材料にとって特に重要な指標です。

$\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系磁石の構成元素の一つに鉄がありますが、鉄の原子1個当たりの磁気モーメントはコバルトよりも大きいため、コバルトを鉄で置換することで磁化を増大させることが期待できます。そこで、市販の $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系磁石(鉄濃度15 wt%)に比べ鉄の配合量を20～25 wt%に増やした高鉄濃度

SmFeCo (サマリウム 鉄 コバルト)磁石を開発し、モータ性能の評価を行いました。

$\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系磁石において、鉄濃度を高めた際の最大の課題は保磁力向上です。高効率モータ用磁石には、少なくとも1,200 kA/m以上の保磁力の発現が求められますが、従来プロセスで作製した $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系磁石では、鉄の配合量を増やすと保磁力は急激に低下してしまいます。

$\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系磁石における保磁力の起源は熱処理によって形成されるナノレベルのセル状組織にあり、明瞭なナノセル組織が得られることで大きな保磁力を発現します。

そこで当社は、鉄濃度を高めた場合にナノセル組織の形成を阻害する要因は何なのか、どうすればナノセル組織を形成できるのか、という点に着目して、

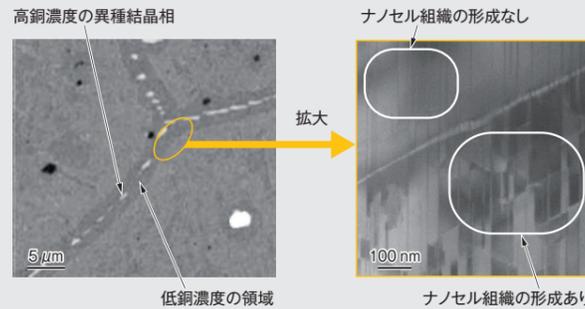


図1. 従来プロセスで作製した高鉄濃度 SmFeCo 磁石の微細組織 — 従来プロセスで作製した場合、高鉄濃度の異種結晶相や低鉄濃度の領域など、鉄濃度が不均一な組織となります。また低鉄濃度の領域では、ナノセル組織が形成されません。

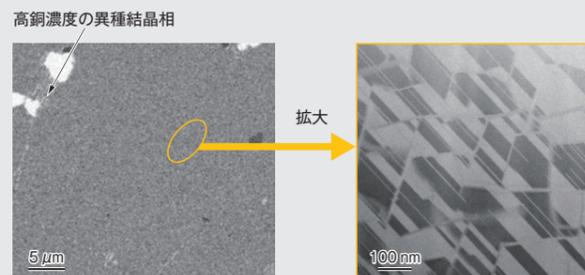


図2. 開発プロセスで作製した高鉄濃度 SmFeCo 磁石の微細組織 — 開発プロセスで作製した場合、高鉄濃度の異種結晶相などの生成が抑制され、鉄濃度が組織全体で均一となり、ナノセル組織も均一に形成されます。

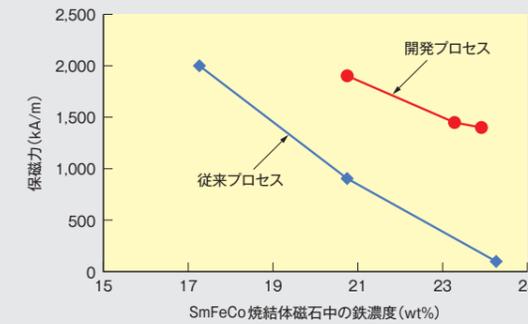


図3. 保磁力と鉄濃度の関係 — 従来プロセスでは高鉄濃度側で保磁力が低い値を示すのに対し、開発プロセスでは高い保磁力を示します。

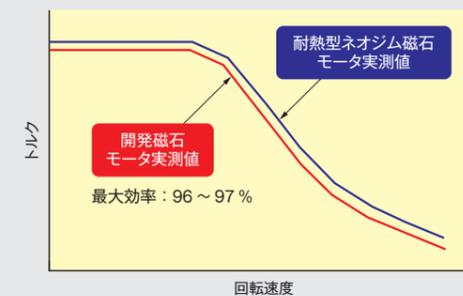


図4. 開発磁石を搭載したモータの性能 — 開発磁石を搭載したモータは、ジスプロシウムを添加した耐熱型ネオジム磁石を使用した場合と同等のトルク性能を持っています。

ナノレベルの金属組織制御技術の開発に取り組みました。

ナノセル組織の形成

従来プロセスで作製した高鉄濃度 SmFeCo 磁石の微細組織写真を図1に示します。図中に矢印で示すように、主相とは異なる相(異種結晶相)が形成されていることがわかります。この異種結晶相の元素濃度を測定したところ、 SmFeCo 磁石の構成元素の一つである銅の濃度が主相に比べ数倍高いことが確認され、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた結晶構造解析により、この高鉄濃度の異種結晶相が Sm_2Co_7 型結晶相であることが判明しました。

また、この Sm_2Co_7 型結晶相の周囲には銅濃度が主相よりも低い領域が存在することも確認されました。更に詳細に観察した結果、高鉄濃度の主相部

分(図1の拡大図の右下)ではナノセル組織が形成されているのに対して、低鉄濃度の領域(図1の拡大図の左上)では形成されていないことがわかりました。

Sm_2Co_7 型結晶相は銅と相性が良く、この相が生成されるとその周囲の主相は銅を奪われて低鉄濃度の領域になったと考えられます。すなわち、鉄濃度を高めた場合、ナノセル組織の形成を阻害する要因が Sm_2Co_7 型結晶相であることがわかりました。

そこで、熱処理温度や時間、雰囲気など様々な製造プロセス条件を検討し、 Sm_2Co_7 型結晶相が生成されない条件を探りました。その結果、図2に示すような Sm_2Co_7 型結晶相の生成量が極めて少ない金属組織を実現する熱処理プロセスを見出すことに成功しました。そしてこのプロセスを適用した試料では、全体にナノセル組織を形成されている

ことを確認しました。

以上により、従来は保磁力が急激に低下していた20～25 wt%の高鉄濃度の SmFeCo 磁石において、1,200 kA/mを超える保磁力を得ることができました(図3)。

開発磁石を搭載した モータの特性評価

開発磁石の性能を確認するために、同じサイズのモータに開発磁石とネオジム磁石を搭載し、発生トルクと効率を比較評価しました。その結果、開発磁石を搭載したモータは、ジスプロシウムを添加した耐熱型ネオジム磁石を使用した場合と同等のトルク性能と耐熱性を実現できました(図4)。

今後の展望

これまでにない高鉄濃度の SmFeCo 磁石を開発することで、ジスプロシウムを使用しない高効率なモータを実現できることがわかりました。これにより、資源リスクが低い磁石を用いたモータを提供することが可能になります。

今後、更に高鉄濃度化と高磁力化を目指すことによって、適用範囲を拡大していきたいと考えています。

この開発の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「希少金属代替・削減技術実用化開発助成事業」で実施しました。

堀内 陽介

研究開発センター
機能材料ラボラトリー 研究主務