

磁気物性値が高い省レアアース新規磁石化合物の合成に成功

配布日時：2024年5月27日 14時

NIMS（国立研究開発法人物質・材料研究機構）

概要

1. NIMS*は、ネオジム磁石を構成するネオジム鉄化合物磁気物性値を上回る特性を持つ SmFe 系新規磁石化合物 $\text{SmFe}_{8.8}\text{Ni}_{1.1}$ の合成に成功しました。

2. 持続可能な社会の実現のために二酸化炭素排出量の低減が求められています。そのため多くの機器の電動化が進んでおり、駆動モータの高特性能化が求められています。ネオジム磁石は $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ というレアアース・鉄・ホウ素の化合物で作られています。それが強い磁力を発生するために電動自動車の駆動モータとして多く使われています。しかし、ネオジム磁石は、電動自動車の動作温度である高温での特性が悪く、ジスプロシウムなどの重希土類元素を添加することで熱減磁を補っていました。ネオジムやジスプロシウムはサプライチェーンリスクが大きいので、これらの元素を使わない磁石化合物の探索が望まれています。

3. TbCu_7 型の結晶構造を持つ Sm-Fe(1-7 系)化合物は、Fe 濃度を Sm:Fe=1:10 まで増加させることが可能なため高い磁化が期待されます。しかし、安定相であり異方性磁界が非常に大きい $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ (2-17 系)化合物が 1-7 系化合物組成の近くに存在するために、1-7 系は注目されてきませんでした。今回の研究では、Sm-Fe(1-7 系)化合物をベースに Fe 濃度を増加させた $\text{SmFe}_{8.8}\text{Ni}_{1.1}$ 化合物の単結晶薄膜の合成に成功し、その磁気物性値を測定したところ、世界最強の磁石材料とされる $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ を凌ぐ磁気特性、室温で非常に高い異方性磁界(約 22 テスラ)、より高い飽和磁化(1.64 テスラ)、高いキュリー点(770 ケルビン)を持つことを発見しました。

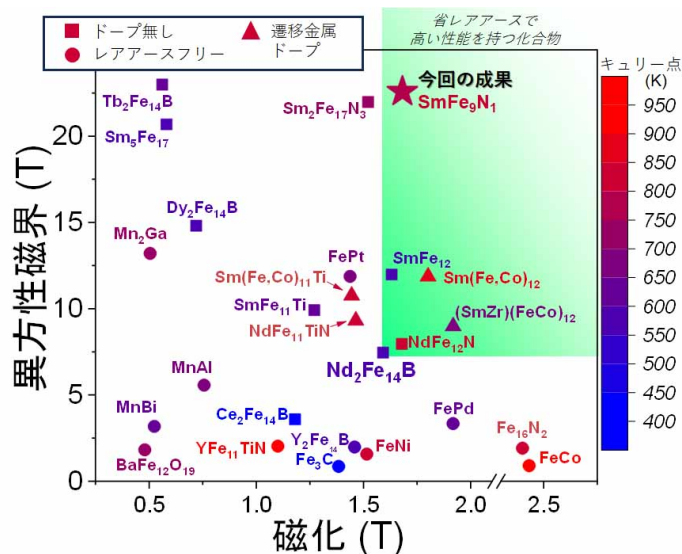


図 世界最強の磁石材料とされる $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ を凌ぐ磁気特性、室温で非常に高い異方性磁界、より高い飽和磁化、高いキュリー点を持つことを発見

* 物質・材料研究機構は、その略称を NIMS（National Institute for Materials Science）に統一しております。

4. 過去の SmFe_7 系合金粉の報告例では、信頼性の高い磁気測定ができませんでしたが、今回単結晶膜を作製することにより、その磁気特性が従来の化合物よりも極めて高いことが実証されました。この化合物の磁気特性は高温で $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ を凌ぐことから、この化合物で磁石をつくることができれば、サプライチェーンの懸念のあるネオジムやジスプロシウムを使わなくても優れた磁石特性が得られると期待されます。また本化合物はレアアースの精製過程で生じる副産物であるサマリウムを用いていることから、レアアースのバランスの取れた利用の促進につながります。さらに高価なホウ素を必要としないために、資源的・価格的に有利な化合物と言えます。実用的な磁石の実現に向け、 $\text{SmFe}_{8.8}\text{Ni}_1$ を粉で大量に作る方法や、その粉を磁石の形に固めていくプロセスを開発していきます。

5. 本研究は、NIMS 磁性・スピントロニクス材料研究センターの A.R. Dilipan NIMS ジュニア研究員、高橋有紀子グループリーダーらによって行われました。本研究は、文部科学省データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト事業 JPMXP1122715503 の助成を受けたものです。

6. 本研究成果は、2024 年 5 月 10 日に「Acta Materialia 誌」にオンライン掲載されました。

研究の背景

持続可能な社会の実現のために二酸化炭素排出量の低減が求められています。そのため多くの機器の電動化が進んでおり、駆動モータの高特性化が求められています。ネオジム磁石は強い磁力を発生するために電動自動車の駆動モータとして多く使われています。しかし、ネオジム磁石は、動作温度である高温での特性が悪く、ジスプロシウムなどの重希土類元素を添加することで熱減磁を補っていました。ネオジムやジスプロシウムはサプライリスクが大きいいため、これらの元素を使わない永久磁石材料の開発が望まれていました。

このような背景をもとに、NIMS ではレアアースの質量比が低い ThMn_{12} 系材料において、2014 年に NdFe_{12}N 化合物、2017 年に $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}$ 化合物の合成に成功し、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ よりも高い磁気物性値を示すことを発見しました。しかし、磁石にするためには Ti や V などの非磁性の構造安定化元素が必要であり、これらが磁化を大幅に低下させることが問題でした。

このような社会的背景より、サプライリスクの低い Sm 系で構造が安定で高い磁気物性値を持つ新規化合物の開発が望まれていました。

研究内容と成果

そこで NIMS の研究グループは、 TbCu_7 型構造を持つ SmFe_7 化合物に注目しました。本化合物は図 1 に示すように SmFe_5 化合物の Sm サイトを Fe のダンベルで不規則に置換した構造を持ちますが(図 1)、最高で SmFe_{10} まで置換することができ、高い磁化が期待されます。しかし、既存の $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ (2-17 系) 化合物が存在するために、1-7 系は注目されてきませんでした。また、単相での合成が困難であったことからこれまで本化合物の磁気物性値は調べられていませんでした。

本研究グループでは単相合成に有利なスパッタ法を用いることで、 TbCu_7 系 $\text{SmFe}_{8.8}\text{Ni}_{1.1}$ 化合物単相の合成に成功しました。その磁気物性値を測定したところ、世界最強の磁石材料とされる $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ を凌ぐ磁気特性、室温で非常に高い異方性磁界⁽¹⁾(約 22 テスラ)、より高い飽和磁化⁽²⁾(1.64 テスラ)、高いキュリー点⁽³⁾(770 ケルビン)を持つことを発見しました。

今後の展開

この化合物の磁気特性は高温で $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ を凌ぐことから、この化合物で磁石をつくることができれば、電動自動車のモータ駆動用磁石として大量に使われているジスプロシウムを使わなくても優れた磁石特性が得られると期待されます。また本化合物は希土類元素の精製過程で生じる副産物であるサマリウムを用いていることから、レアアースのバランスの取れた利用の促進につながります。さらに高価なホウ素を必要としないために、資源的・価格的に有利な化合物と言えます。今後、実用的な磁石の実現に向け、保磁力を得るための微細組織エンジニアリング、 $\text{SmFe}_{8.8}\text{Ni}_{1.1}$ を粉で大量に作る方法や、その粉を磁石の形に固めていくプロセスを開発していきます。

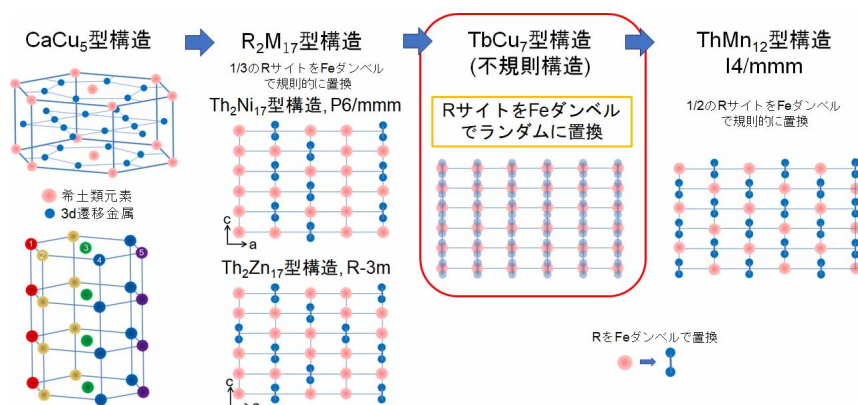


図 1 結晶構造の模式図、 R_2M_{17} 型構造、 TbCu_7 型構造、 ThMn_{12} 型構造はすべて CaCu_5 型構造の親戚です。 CaCu_5 型構造の希土類サイトを Fe のダンベルで置き換えていくことによりそれぞれの構造が形成されます。

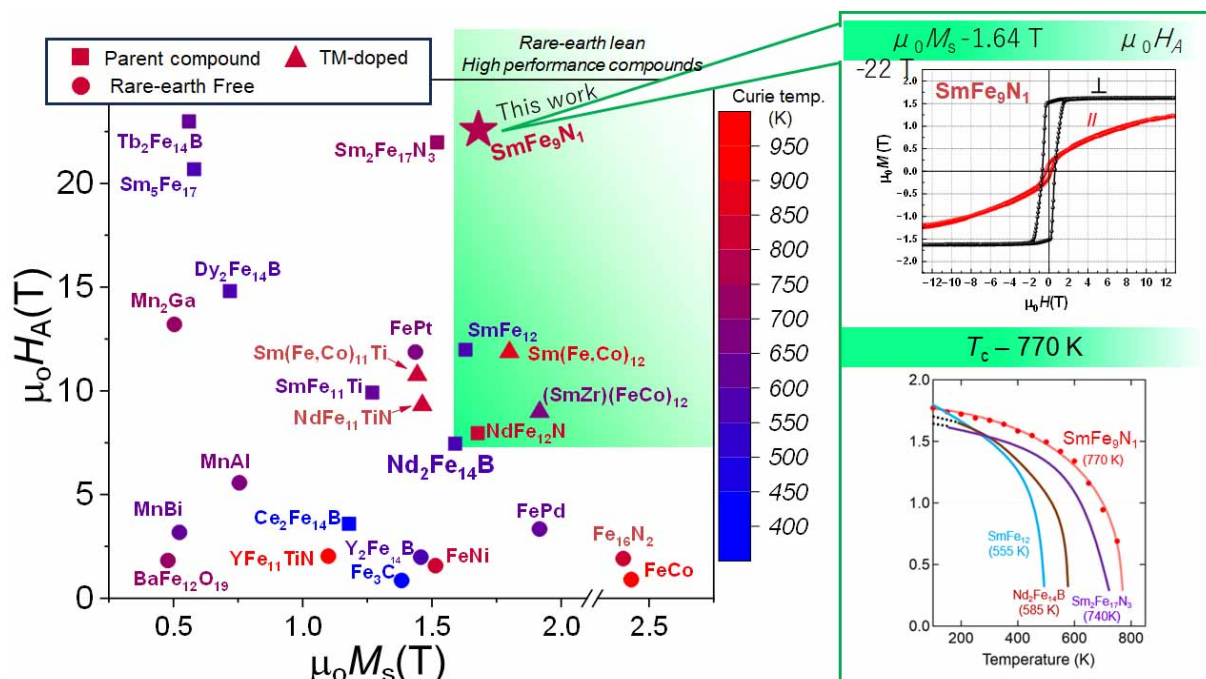


図2 既知の磁石化合物の室温での磁化と異方性磁界を示したグラフ。色はキュリー点を示す。私たちが目指すゴールはNd₂Fe₁₄B化合物よりも磁化と異方性磁界が大きい右上(緑色)の部分になります。

掲載論文

題目：Excellent intrinsic hard magnetic properties in the TbCu₇-type Sm-Fe-N compound

著者：A.R. Dilipan, D. Ogawa, H. Sepehri-Amin, P. Tozman, T. Hiroto, K. Hono, Y.K. Takahashi

雑誌：Acta Materialia (DOI: 10.1016/j.actamat.2024.119996)

掲載日時：2024年5月10日

用語解説

- (1) 異方性磁界：一軸異方性を示す材料において、磁化を困難軸から容易軸に向けるのに必要な外部磁界
- (2) 飽和磁化：強磁性体の磁化の飽和値
- (3) キュリー点：原子磁気モーメントがそろった強磁性体が、原子磁気モーメントがばらばらの常磁性体に変化する温度。

本件に関するお問い合わせ先

(研究内容に関すること)

NIMS 磁性スピントロニクス材料研究センター 磁気記録材料グループ

グループリーダー 高橋有紀子(たかはしゆきこ)

E-mail: takahashi.yukiko@nims.go.jp

TEL: 029-859-2719

URL: <https://www.nims.go.jp/mmu/>

(報道・広報に関すること)

NIMS 国際・広報部門 広報室

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

TEL: 029-859-2026, FAX: 029-859-2017

E-mail: pressrelease@ml.nims.go.jp