

産学共創基礎基盤研究プログラム 令和2年度事後評価結果

1. 研究課題名：ネオジム磁石の超微結晶化による高温磁石特性の飛躍的改善

2. 研究代表者：宝野 和博（物質・材料研究機構 理事／フェロー）

3. 研究概要

重希土類フリーあるいは省重希土類組成のNd-Fe-B系磁石で優れた特性を実現するために、熱間加工超微結晶磁石に共晶合金拡散法を施す粒界エンジニアリングを用いて、高残留磁気分極を維持しつつ高保磁力を達成する。さらに、共晶合金に微量のDy及びTbを加え熱間加工磁石のみならず焼結磁石の磁石特性の飛躍的な改善を試みる。これらの試作試料の微細組織を、SEM、収差補正STEM、3次元アトムプローブを相補的に用いたマルチスケール解析で詳細に解析すると共に、観察結果に基づいたモデルのマクロマグネティクスシミュレーションとKerr効果顕微鏡による磁区観察を併用して、高保磁力発現及びその温度依存性改善のメカニズムを解明し、重希土類元素使用量を削減しつつ、高温での磁石特性を改善するための指導原理を確立する。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果

重希土類フリーあるいは省重希土類組成で優れた特性を有するNd-Fe-B系熱間加工磁石の開発については、微細構造解析と粒界エンジニアリングにより、Nd-Fe-Ga-Cu共晶合金拡散熱間加工磁石では、室温保磁力2.2 Tと残留磁気分極1.3 Tを達成した。Nd-Tb-Cu共晶合金拡散熱間加工磁石では、室温での保磁力2.5 Tと残留磁気分極1.38 T、160℃での保磁力1.3 Tを達成した。

さらに、SEM、収差補正STEM、3次元アトムプローブを相補的に活用した、ミクロナノ原子レベルのマルチスケール解析とマクロマグネティクスシミュレーション、Kerr効果顕微鏡による磁区観察を併用し、Dy及びTb拡散Nd-Fe-B焼結磁石並びにNd-Fe-B系熱間加工磁石の保磁力発現機構に迫っている。この結果、重希土類を拡散した焼結磁石については、コアシェル構造の形成メカニズムを明らかにすると共に、最適加熱処理により形成される2次シェル中の重希土類元素濃度増加が高保磁力発現に繋がることを示した。また、微細結晶粒で高保磁力の得られるNdリッチGa添加熱間加工磁石の微細組織解析からさらなる高保磁力化の指針を得て、これを焼結磁石に適用することにより、Ga添加量を0.1at.%まで低下させたNdリッチGa添加焼結磁石において、熱処理後に2.0 Tを超える保磁力を達成した。

保磁力発現のメカニズム解明のための重要なツールとしてマクロマグネティクスシミュレーションを利用し、解析された微細組織がどのように磁気特性に反映されるかを効

果的に示している。粒界相の磁性変化が交換結合の強弱を介して保磁力に与える影響、粒界相の磁性の温度依存性が保磁力の温度依存性に与える影響等の解明はその例である。

4-2. 今後の研究に向けての期待

本研究では、マイクロナノ原子レベルのマルチスケール解析とマイクロマグネティクスシミュレーション、Kerr 効果顕微鏡による磁区観察の併用により、重希土類拡散焼結磁石、粒界エンジニアリング熱間加工磁石の保磁力発現機構を明確に示し、学術論文として公表されている。これらの結果が国内の磁石メーカ等に利用され、商用磁石のさらなる特性改善や我が国の産業競争力の強化に繋がることを期待する。

粒界エンジニアリングによる省重希土類組成のNd-Fe-B 系熱間加工磁石において、室温での保磁力 2.5 T と残留磁気分極1.38 T、160°Cでの保磁力 1.3 T を得られたことは評価されるが、現段階では少量の重希土類を含んでいる。重希土類フリー磁石は、今後、益々その重要性を増すと考えられ、今後も重希土類フリーを目指した研究に期待する。

4-3. 総合評価

総合評価 S

本研究では、微細組織の観察と粒界エンジニアリングを併用して、重希土類フリーあるいは省重希土類組成のNd-Fe-B 系熱間加工磁石の特性を改善し、Nd-Fe-Ga-Cu 共晶合金拡散熱間加工磁石においては、室温での保磁力2.2 T と残留磁気分極1.3 T を達成し、Nd-Tb-Cu 共晶合金拡散熱間加工磁石では、室温での保磁力 2.5 T と残留磁気分極1.38 T、160°Cでの保磁力 1.3 T を達成したことを評価する。

さらに、マイクロナノ原子レベルのマルチスケール解析とマイクロマグネティクスシミュレーション、Kerr 効果顕微鏡による磁区観察を併用し、重希土類拡散焼結磁石、粒界エンジニアリング熱間加工磁石の保磁力発現機構を解明した。今後、商用のNd-Fe-B 系磁石の特性改善、さらには我が国の産業競争力強化に繋がる成果であり、高く評価する。マイクロマグネティクスシミュレーションを微細組織の解析と有機的に結合し、保磁力の発現機構解明の研究の手法として確立したことも評価する。

以上を総合して、総合評価Sと評価する。

以上