

研究代表者	石尾 俊二（秋田大学 大学院工学資源学研究科 教授）
研究開発担当者	長谷川 崇（秋田大学 大学院工学資源学研究科 助教）
課題名	L20FeCo及びL10FePt-bccFeCoに着目した革新的磁石創成に関する基礎研究
研究概要	高結晶磁気異方性と高飽和磁化を有するL20FeCo系金属合金並びにL10FePt-FeCo系金属合金に着目して、希土類元素フリーで高エネルギー積を有する革新的な永久磁石材料を、産学共創の場を活用して開発します。第1原理計算による物性予測と薄膜合成／微細加工を用いた実験研究によりL20FeCo系金属合金の永久磁石特性を明らかにし、また薄膜合成／微細加工およびウェットプロセスによりL10FePt-bccFeCo系金属合金ナノコンポジット磁石を開発します。

研究目標・成果

1. L10FePt-bccFeCoに着目した革新的磁石創成に関する研究

エピタキシャルFePt/FeCo薄膜の一軸磁気異方性

FePt/FeCo薄膜のパターン化と永久磁石特性の評価

L10FePt-bccFeCoに着目した革新的磁石創成の可能性を検討するために、MgO単結晶基板上に[001]配向させたL10FePt薄膜を作製し、その上にFeCo薄膜をスパッタ成膜した試料の磁気特性を調べた。FeCo膜厚依存性を調べたところ、下（左図）に示すように、L10FePtの一軸磁気異方性の大きさは、FeCoの膜厚によらず $6\sim 9 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$ 程度であり、一方FeCoは2 nm以下で正方晶歪に起因する一軸磁気異方性が発現することがわかった。

次に保磁力等の永久磁石特性を評価するために、微細加工でL10FePt/FeCo薄膜のパターン化を行った。直径300 nmのドットパターンを電子顕微鏡写真を下（右図）に示す。FeCo膜厚が0~3 nmの試料において、保磁力は10 kOe程度の大きな値を示した。ドット群が100 %の充填率をもつと仮定した場合のBH曲線から見積もられる最大エネルギー積は、飽和磁化の大きいL10FePt/FeCo(3 nm)で最大値が得られ、その値は約400 kJ/m³であった。この結果は、L10FePtとFeCoの積層比の最適化によって、ネオジム磁石を超える可能性を示している。 参考論文: B. Wang et al., *J. Appl. Phys.* **117**, 17C709 (2015).

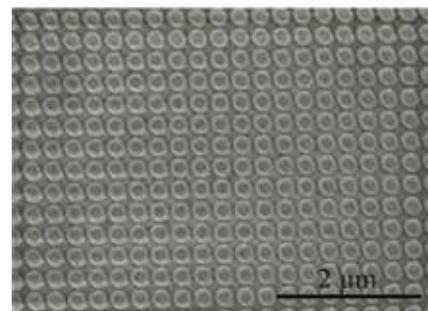
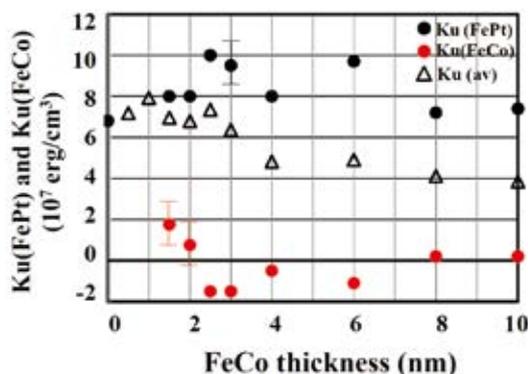


図. L10FePt/FeCo中のL10FePtとFeCoに誘起された一軸磁気異方性Kuの膜厚依存性(左図)と微細加工で作製したL10FePt/FeCo(3 nm)のドットパターンの電子顕微鏡SEM写真(右図).

2. L20FeCoに着目した革新的磁石創成に関する研究

エピタキシャルRh/FeCo薄膜の一軸磁気異方性

L20FeCoに着目した革新的磁石創成の可能性を検討するために、コヒーレントポテンシャル近似による第一原理計算による物性予測と薄膜合成/微細加工を用いた実験研究を行った。第一原理計算では、L20FeCoの磁気特性を計算し、軸比 $c/a = 1.2$ 付近の正方晶歪を有するときに高い磁気異方性が発生すること、規則度が磁気異方性に大きく影響すること等を明らかにした。これらの計算により、L20FeCoの設計指針が与えられ、そのポテンシャルが明らかになった。

実験研究では、MgO単結晶基板の上に[001]配向させたRh薄膜を作製し、その上にFeCo薄膜をスパッタ成膜した試料の磁気特性を調べた。FeCo膜厚依存性を調べたところ、下(左図)に示すように、膜厚が2 nm程度のときに軸比 $c/a = 1.2$ 付近が得られた。また軸比 c/a と磁気異方性 K_{u1} との相関を調べたところ、下(右図)に示すように、定性的に第一原理計算の予測と一致する結果が得られた。この結果は、L20FeCoの設計指針とそのポテンシャルを示すものであり、希土類元素を使用しない革新的磁石材料の実現の可能性を示している。

参考論文: H. Oomiya et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.* **48**, 475003 (2015).

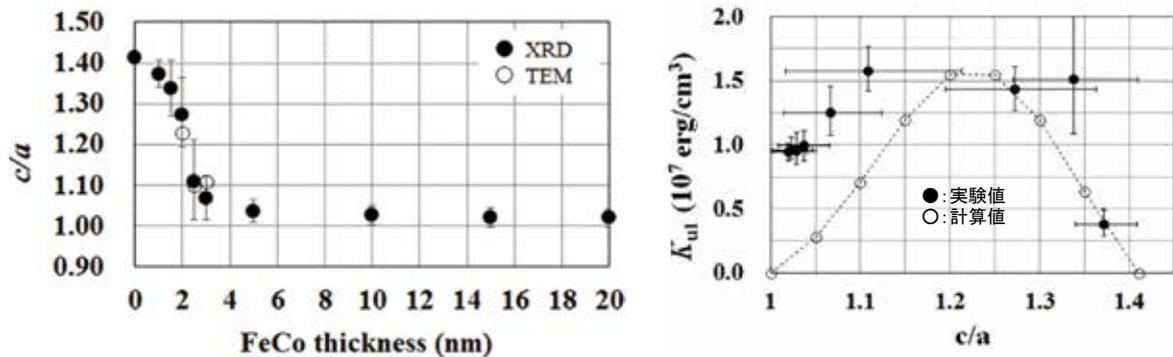


図. Rh/FeCo中のFeCoに誘起された正方晶歪に起因する軸比 c/a の膜厚依存性(左図)と一軸磁気異方性 K_{u1} の軸比 c/a との相関(右図).

研究課題の終了後の展開

L20FeCoに着目した革新的磁石創成に関しては、研究開発担当者の長谷川崇(現 秋田大学 大学院理工学研究科 講師)が発展的に継続している。

参考論文: T. Hasegawa et al., *Scientific Reports* **9**, 5248 (2019).

想定する分野・用途

- 希土類フリーの高性能永久磁石

最終目標

- 理論計算と実験研究による添加元素・組成・組織の最適化と、バルク磁石の実現

産業界への要望

- バルク磁石の実現後、モーター等への搭載を目指した共同研究による積極的な支援

お問い合わせ 秋田県秋田市手形学園町1番1号 秋田大学 E-mail : takashi@gipc.akita-u.ac.jp