

産学共創「次世代磁石」事後評価結果

1. 研究課題名：L₂₀ FeCo 及び L₁₀ FePt - bcc FeCo に着目した革新的磁石創成に関する基礎研究

2. 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）

3. 研究概要

本研究は、L₂₀ FeCo 及び L₁₀ FePt - bcc FeCo に着目して希土類フリーの革新的磁石を創成することを目的にスタートした。その後、産学共創の場での産業界からの意見並びにP0の指摘により、L₂₀ FeCo 合金に関する研究を最優先課題に設定し、第一原理計算との連携のもと、ドライプロセス及びウェットプロセスによるL₂₀ FeCo の創成に係る研究が遂行された。

第一原理計算においては、L₂₀ FeCo 合金の磁気異方性に及ぼす正方晶歪み、規則度、第3元素添加等の影響が明らかにされた。ドライプロセスにおいては、正方晶歪みの導入及び第3元素添加により、高磁気異方性を有するL₂₀ FeCo 薄膜を実現することを目指した研究が進められ、ウェットプロセスにおいては、L₂₀ FeCo 微粒子の合成を最終目標とする研究が行われた。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

本研究課題は、L₂₀ FeCo 系金属合金並びに L₁₀ FePt-FeCo 系金属合金に着目して、革新的な永久磁石材料を創成することを目的として開始されたが、産学共創の場での産業界からの意見並びにP0の指摘により、L₂₀ FeCo 合金に関する研究を最優先課題にすることとした。この点は、産学共創の場が有効に機能したと評価できる。

コヒーレントポテンシャル近似による第一原理計算では、L₂₀ FeCo 合金の磁気異方性に及ぼす正方晶歪み、規則度、第3元素添加等の影響を計算し、 $c/a \sim 1.2$ のときに高磁気異方性が発生すること、規則度(S)が磁気異方性に大きく影響すること等を明らかにしている。さらに、bcc-FeCo 格子の c 軸上に窒素あるいは炭素原子が侵入して正方晶化した場合を想定し、(N or C) 濃度や Co/Fe 組成比に対する磁気異方性の挙動を明らかにしている。これらの計算により、L₂₀ FeCo 合金の設計指針を与えると共に、そのポテンシャルを明確にした点は高く評価できる。

ドライプロセスにおいては、極薄膜に正方晶歪みを導入し、 c/a と磁気異方性の関係を明らかにすると共に、侵入型元素、置換型元素が磁気異方性に及ぼす影響を調査している。その結果、 $(\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5})_{0.9}\text{Al}_{0.1}$ 合金で $K_u \sim 2.1 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$ の磁気異方性を得ている。

ウェットプロセスにおいては、規則化あるいは正方晶歪みを導入した FeCo 微粒子合成には成功していないものの、(Fe, Co) -10%Al バルク試料を窒化することにより、 $c/a=1.04$ の正方晶歪みの導入に成功している。

4-2. 今後の研究に向けて

本研究を通じて、L₂₀ FeCo 合金の設計指針とそのポテンシャルが明確になるとともに、Al の添加が高磁気異方性を得る上で有効であることが実験的に示された。この発見については、知的財産を確保して頂きたい。

第一原理計算からは、磁気異方性の大きさが、正方晶歪みと規則度に大きく影響されることが示されたが、実験では規則度を制御するまでには至っていない。今後、規則度を制御した実験により第一原理計算結果の検証が進められるとともに、更なる高磁気異方性が達成されることに期待したい。

次世代永久磁石の創成には、バルク化が必要である。本研究を通じて、その困難さが改めて確認された。一方で、(Fe, Co)-Al や (Fe, Co)-Ti バルク材料では、窒化により正方晶歪みの導入に成功しており、今後のバルク化の研究の進展に期待したい。

4-3. 総合評価

本研究は、第一原理計算から導かれる設計指針を利用しつつ、高磁気異方性を有する希土類フリー $L2_0$ FeCo 薄膜を創成するとともに、ウェットプロセスによりバルク磁石への手がかりを得ようとする研究であり、高い目標を掲げた研究である。

理論計算により $L2_0$ FeCo で高い磁気異方性が期待されること、エピタキシャル成長された極薄膜での高い磁気異方性が発現することは、本課題の開始前から知られていた。本課題では、高精度の第一原理計算により、異方性の現実的な期待値を明確にするとともに、極薄膜でそれを実証した点は評価できる。

これらの結果は、革新的な磁石を得る観点からは、従来の枠組みを大きく超えるものでないが、有望な材料として FeCoAl を見いだした点は高く評価できる。また、FeCoTi や FeCoAl をプラズマ窒化することにより正方晶歪みの導入に成功したことは、今後、バルク磁石に開発に繋がる可能性を示したものと評価する。