

# 粒界近傍の微細組織が保磁力に及ぼす影響の解析

P23

## –CaLaCo 系 M 型フェライトの高性能化–

Analysis of the influence of the microstructure on the coercive force

小林 義徳 yoshinori.kobayashi.sp@hitachi-metals.com

日立金属株式会社 機能部材研究所

### 1. フェライト磁石の高性能化に向けた課題

エアコンのコンプレッサー用モータあるいは自動車の車載用モータは、永久磁石式のモータが広く流通している。その永久磁石はネオジム磁石に代表される希土類磁石とフェライト磁石とに大別できる。フェライト磁石の最大磁気エネルギー積は、ネオジム磁石の 10 %程度と小さいが、酸化鉄を主成分とするため低コストで化学的安定性に優れるといった特長を有している。フェライト磁石の代表的な材料組成は  $AO \cdot 6Fe_2O_3$  (A 元素が Sr, Ba など) で表現され、その結晶構造は六方晶系のマグネトプランバイト型 (M 型) 構造に分類されるため、一般的に BaM 型フェライトや SrM 型フェライト磁石とも呼ばれる。フェライト磁石の用途は、自動車向けがその大半を占めるが、自動車の燃費規制の厳格化にともなう自動車電装モータの小型・軽量化を背景として、フェライト磁石の性能を向上させる取り組みがなされてきた。そのなかでも特に、Co の高い結晶磁気異方性を活用した高保磁力化の取り組みが国内磁石メーカーを中心として進展してきた<sup>[1], [2]</sup>。その一方で、フェライト磁石の保磁力 ( $H_{cJ}$ ) は異方性磁界の 15 %~20 %と低く検討の余地が残されていた。 $H_{cJ}$  はフェライト焼結磁石の主相界面近傍組成や組織といった微細構造に強く影響を受けるため、その微細構造について解析し、高  $H_{cJ}$  材料を作製するためのプロセス設計指針を獲得することが課題であった。そこで本研究では、実用的なフェライト磁石の中では最も性能の高い CaLaCo 系フェライト磁石のさらなる高  $H_{cJ}$  化のため、その粒界近傍における微細組織を球面収差補正 TEM (Cs-TEM) で解析してきたのでその概要を紹介する。

### 2. CaLaCo 系 M 型フェライト磁石の粒界近傍の微細組織

CaLaCo 系 M 型フェライト磁石の明視野 STEM 像を図 1 に示す。フェライト磁石の焼結は液相焼結により進行すると考えられており、CaO と  $SiO_2$  (いずれも焼結助剤としてフェライト粉末に添加) を主成分とする液相が生成する。生成した液相は、焼結温度 (1200°C) から室温まで冷却する過程で凝固して、図 1 中矢印で例示した粒界相 (ここでは多粒子粒界相とする) が形成される。TEM-EDX による多粒子粒界相の組成分析の結果、その相には Si, Ca, La, Fe の存在が認められ、焼結助剤 (CaO と  $SiO_2$ ) の如何なる添加量でも、それら成分の存在比は概ね 30:60:2:5 となっていることを確認した<sup>[3]</sup>。また、図 2 の HAADF-STEM 像に示すように、二粒子粒界 (赤色破線に挟まれた暗いコントラストの領域) には多

粒子粒界と同様の Ca-Si-La-Fe 系の酸化物相が存在し、主相の c 面をファセット面とするステップテラス構造となることがわかった。そして、そのステップの高さは M 相の c 軸長の 1/2 程度の 1.15 nm であり、テラス面となるレイヤーは M 型構造中では La あるいは Ca が存在するレイヤー (S ブロック) であることも確認した。この主相界面に介在している Ca-Si-La-Fe 系の酸化物相はその組成から非磁性相と示唆され、フェライト粒子を磁氣的に孤立させ、 $H_{cJ}$  を高める役割を果たしているものと考えられる。

### 3. 今後の課題と展望

当社では、本研究の結果を材料ならびにプロセス開発にフィードバックすることで、CaLaCo 系フェライト磁石のさらなる高性能化を達成した (日立金属の材質では「NMF-15 シリーズ」、2016 年より量産開始)。その一方で、近年のリチウムイオン電池の需要増に伴い、Co 価格は一時的に大きく高騰し (2019 年 12 月現在のおよそ 3 倍)、フェライト磁石産業に悪影響を及ぼした。今後は、フェライト磁石の価格変動リスクといった新たな問題を払拭するために、高性能フェライト磁石の省 Co 化を重要な課題の一つと捉え、技術開発を推進していく必要があるが、本研究のような取り組みをより深化させることで、その技術開発に寄与できるものと考えている。

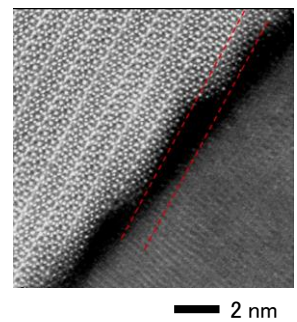
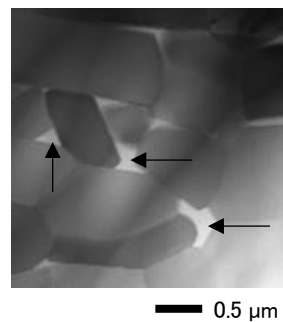


図 1 CaLaCo 系 M 型フェライト磁石の明視野 STEM 像 図 2 二粒子粒界近傍における HAADF-STEM 像

### 【共著者(所属)】

川田常宏 (日立金属 グローバル技術革新センター)

### 【参考文献】

- [1] 緒方安伸ら, 粉体および粉末冶金, 50(8), 636-641 (2003).
- [2] 小林義徳ら, 粉体および粉末冶金, 55(7), 541-546 (2008).
- [3] 小林義徳ら, 粉体および粉末冶金, 63(10), 876-881 (2016).