



シリーズ「金属素描」

# No. 33 サマリウム (Samarium)

東北大学 竹田 修, 松浦 昌志



元素名: Samarium, 原子番号: 62, 原子量: 150.36, 電子配置:  $[Xe]4f^66s^2$ , 密度:  $7.536 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (293 K), 結晶構造: Sm 型菱面体 ( $\sim 1007 \text{ K}$ ), 六方最密 ( $1007\sim 1195 \text{ K}$ ), 体心立方 ( $1195\sim 1345 \text{ K}$ ), 融点:  $1345 \text{ K}$ , 沸点:  $2025 \text{ K}$ <sup>(1)</sup>, 地殻存在量:  $3.9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ <sup>(2)</sup> 【写真】 (a) 純サマリウム塊 (株式会社 三徳 写真提供), (b) Sm-Co 系焼結磁石 (株式会社 東芝 写真提供), (c) Sm-Co 系焼結磁石の微細組織<sup>(3)</sup>

まてりあ60巻刊行記念において、原子番号60のネオジウム (Nd) を取り上げた<sup>(4)</sup>。今回は、同じ希土類金属 (Rare earth metal) の一つであるサマリウム (Samarium) を取り上げる。

サマリウムは、1879年、サマルスキー石の中から Paul Emile Lecoq de Boisbaudran によって発見された。ただし、Boisbaudran が単離したサマリウムには、ユウロピウム (Europium) が相当量含まれていた。純粋なサマリウムが得られたのは、1901年、Eugène-Anatole Demarçay によってである。

サマリウムの室温での結晶構造は特殊で、ABABCBCAC と9層を繰り返す充填構造 (菱面体) をとっている。昇温すると  $1007 \text{ K}$  で六方最密構造に相変態し、さらに昇温すると  $1195 \text{ K}$  に体心立方構造に相変態する。このような複雑な挙動をとるのは希土類金属の中でもサマリウムだけである。

希土類金属は、お互いに化学的性質が似ており、スカンジウムを除き地殻中に共存して賦存し、鉱石として同時に産出される。希土類金属の鉱石は、炭酸塩あるいはフッ化炭酸塩であり、鉱石を選鉱した後、酸あるいはアルカリで溶解し、溶媒抽出等の分離操作を経たあと、中間原料の酸化物にされる。酸化物を溶融フッ化物に溶解させ、溶融塩電解で金属を製造するのが一般的である。しかし、サマリウムは、蒸気圧の高さを利用して、還元蒸留法で製造される<sup>(5)</sup>。具体的には、真空下で酸化サマリウムを金属ランタン、あるいはミッシュメタルで還元し、生成したサマリウム蒸気を低温部で凝縮させて回収している。希土類金属の中では、ユウロピウム、ツリウム (Thulium)、イッテルビウム (Ytterbium) も同法で製造される。同法で工業的に製造された上記金属の純度は、希土類金属の中で最も高い。

サマリウムは触媒や医薬品 (痛み緩和剤) などにも利用されるが、最大の用途は永久磁石である。「サマコバ磁石」として知られる Sm-Co 系磁石は1960年代後半に  $\text{SmCo}_5$  化合物を主相とする焼結磁石が開発され、それまで主力であったアルニコ磁石の2倍近い最大エネルギー積を有する高性能磁石として量産化された。その後、磁化を高める目的で Co 濃

度の増加が図られ、1970年代には  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  化合物を主相とする 2-17系 Sm-Co 系磁石が開発され、さらに Co の一部を磁化の大きな Fe で置換した  $\text{Sm}_2(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{M})_{17}$  ( $\text{M} = \text{Zr}, \text{Ti}, \text{Hf}$  など) 磁石に発展し、現在でもネオジウム磁石に次ぐ強力な磁石として用いられている。2-17系 Sm-Co 系磁石は図 (c) に示すようなセル状組織を有しており、耐熱性や耐食性など耐環境性に優れることから、センサーや医療機器といった安定動作が求められるデバイスをはじめ、「はやぶさ2」にも使用されるなど、宇宙・航空分野への利用拡大も期待されている。2023年1月には経済産業省から Sm-Co 系磁石の国内生産体制維持に向けた投資支援が打ち出されるなど、その重要性が再認識されている材料である。

またサマリウムは、Sm-Co 系磁石以外に  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  磁石にも用いられている。 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  は1987年に発見され<sup>(6)</sup>、1990年に発表された<sup>(7)(8)</sup> 化合物であり、鉄を主な元素としていることから磁化が高く、さらに異方性磁界も大きい。この  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  粉末を樹脂と混合したボンド磁石は、高い形状自由度や高電気抵抗といった利点を生かして、車載用モータなどに利用されている。また近年では、準安定相ながら高磁化を有する  $\text{ThMn}_{12}$  型または  $\text{TbCu}_7$  型 Sm-Fe 系化合物を用いた高性能磁石開発の研究も精力的に行われている<sup>(9)</sup>。

## 文 献

- (1) 金属データブック改訂4版: 日本金属学会, 丸善, (2004).
- (2) R. L. Rundnick and S. Gao: "The Crust", Elsevier Ltd. (2004), 1-64.
- (3) Y. Horiuchi, *et al.*: Mater. Trans., **55** (2014), 482-488.
- (4) 竹田 修: まてりあ, **60** (2021), 145.
- (5) 竹田 修: 乾式プロセス, 佐藤修彰, 柴田浩幸, 柴田悦郎編, 内田老鶴園 (2021), 166-180.
- (6) 入山恭彦: 日本応用磁気学会第85回研究会資料, **85-3** (1994), 17.
- (7) 今井秀秋, 入山恭彦: 特許番号2703281.
- (8) J. M. D. Coey and H. Sun: J. Magn. Magn. Mater., **87** (1990), L251-L254.
- (9) N. Kurokawa, *et al.*: J. Magn. Magn. Mater., **556** (2022), 169414.

次号! 金属なんでもランキング! 硫化物の標準生成ギブス自由エネルギー