

第4章 総括

本研究では、希土類磁石の製品スクラップから、有価元素である希土類元素を効率よく回収するプロセスの開発を目的として、熔融塩を利用した新しいタイプのリサイクルプロセスについて基礎的な検討を行った。熱力学的考察をもとに、塩化物(MgCl_2)およびヨウ化物(ZnI_2)を希土類元素の抽出媒体として選択し、各々について希土類元素の抽出実験を行い、さらに、得られた希土類化合物の分離・回収実験を行い、熔融塩を利用した希土類元素の選択的抽出および分離・回収法の有効性を実証した。

第1章では、希土類元素の用途、生産量、資源的な背景などについてまとめた。また、希土類元素の用途として現在注目されているネオジム磁石についてその概要を述べ、将来的な需要予測を示した。さらに、将来多量に発生する磁石製品スクラップから希土類元素を回収することの重要性を論じるとともに、現在の磁石スクラップリサイクル技術について要約し、本研究の目的および方針を示した。

第2章では、各種金属塩化物および金属ヨウ化物の熱力学データなどの文献情報をもとに、実験で用いる希土類元素の抽出媒体である熔融塩の選定と反応温度などの決定をした。また、反応温度において磁石合金中の希土類元素と抽出媒体の間で進行する反応について予測し、抽出条件の最適化を試みた。

第3章では、熔融 ZnI_2 を抽出媒体として利用し、希土類磁石合金を 740 K の熔融 ZnI_2 に 12 時間浸漬して希土類元素の抽出実験を行った。その結果、磁石の表層部分の希土類元素のみをヨウ化し、熔融 ZnI_2 中に選択的に抽出することに成功した。ただし、実験温度が低温であったため抽出反応の速度が遅く、今後抽出速度の高速化に向けた実験条件の最適化などのさ

らなる検討が必要であることもわかった。抽出実験後の希土類ヨウ化物の濃縮分離実験については、1073 K で 1 時間の真空蒸留を行ったところ、余剰の ZnI_2 、反応副生成物の Zn および生成物の $\text{NdI}_{1.95}$ を分離することが出来た。さらに、坩堝内の残渣を水に投入することにより、Nd および Dy のヨウ化物を水溶液中へ溶解して回収することにも成功した。

希土類元素の抽出媒体として熔融塩を用いた一連の基礎実験の結果、熔融塩を利用した磁石スクラップ中の希土類元素回収プロセスは、新規リサイクルプロセスとして有用であることが示された。本研究で提案されたリサイクルプロセスでは希土類元素の選択的な抽出と同時に、抽出媒体である金属ハロゲン化物と希土類化合物との蒸気圧差を利用した分離も可能である。さらに、希土類化合物の一部が気相を介して輸送されることが実証されたことから、分離・回収実験の条件を最適化することによって、熔融塩中に抽出された希土類化合物を直接気相を介して輸送し、回収することや、希土類化合物同士を蒸気圧差によって相互分離することも可能であると考えられる。このような技術が実現すれば、溶媒抽出などによる希土類の相互分離のプロセスを省略できるため、リサイクルプロセス全体を簡略化できる。将来的には、多様かつ複雑な構造物に組み込まれた磁石スクラップを多量に処理する必要があるため、反応媒体を気相で供給し、得られる希土類化合物を気相を介して効率よく分離・回収できることが望ましく、本研究により、このような環境調和型の新規リサイクルプロセスの実現可能性が実証され、プロセス構築のための指針が得られたことは、特筆すべきである。本研究が発展し、使用済み製品中の磁石スクラップから効率よく有価元素を回収できる新しいタイプのリサイクルプロセスが構築されることを望む。