

未来社会創造事業 探索加速型  
「持続可能な社会の実現」領域  
終了報告書(探索研究)

令和元年度  
終了報告書

平成30年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名：岡部 徹]

[東京大学 生産技術研究所 教授]

[研究開発課題名：貴金属・レアメタルの革新的リサイクル技術の開発]

実施期間：平成30年11月15日～令和2年3月31日

## § 1. 研究実施体制

### (1) 研究代表者グループ(東京大学)

① 研究開発代表者:岡部 徹 (東京大学 生産技術研究所、教授)

#### ② 研究項目

- ・研究統括
- ・反応設計
- ・プロセス実証

### (2) 共同研究グループ A(東京大学)

① 主たる共同研究者:森田 一樹 (東京大学 工学系研究科、教授)

#### ② 研究項目

- ・熱力学データの評価・解析
- ・反応設計・プロセス設計

### (3) 共同研究グループ B(東北大学)

① 主たる共同研究者:竹田 修 (東北大学 工学研究科、准教授)

#### ② 研究項目

- ・希土類金属リサイクルの反応設計
- ・希土類金属リサイクルのプロセス実証

## § 2. 研究実施の概要

新しい発想に基づく新規リサイクル技術を開発・社会実装することにより、従来の技術では解決が困難であった貴金属・レアメタルのリサイクルを促進し、持続可能な社会の実現に貢献する。スクラップ中の貴金属やレアメタルを分離回収する場合、スクラップ中に含まれる複数の金属の相互作用が化学処理に与える影響が大きい。そのため、現状では、コストを下げようとする多段階の湿式プロセスが用いられ、有害な廃液が多量に発生するが多い。また、スクラップ中の貴金属やレアメタルの含有量は低い場合が多く、長距離輸送には適していない。そこで、本研究では、スクラップに含まれる複数の金属の相互作用を巧みに制御し、有害な廃棄物や廃液・排ガス等を発生させずに効率良く貴金属・レアメタルを抽出・分離する環境調和型の化学処理プロセスを開発した。さらにその新しい化学処理法と効率的な物理選別法と組み合わせることで、スクラップ中の貴金属やレアメタルを超高速で効率良く濃縮分離する新しい技術を開発した。具体的には下記の二つの課題に取り組んだ。

課題①：貴金属の超高速リサイクル技術の開発

塩化鉄 ( $\text{FeCl}_2$ ) と鉄 ( $\text{Fe}$ ) を高温で貴金属を含有するスクラップと共存させることにより、貴金属を  $\text{Fe}$  と合金化し、その後、磁力により濃縮分離するプロセス ( $\text{FeCl}_2$  蒸気処理) を開発した。本研究に先駆けて、自動車排ガス触媒に含まれる白金族金属 (PGM) の回収に本プロセスが有効利用可能であることを、模擬試料を用いて示した。その成果をまとめた原著論文「Effective Alloying Treatment for Platinum Using Iron Chloride Vapor」は、2019年3月28日に(一社)資源・素材学会 第44回 資源・素材学会論文賞を受賞、同じく「Recovery of Platinum Group Metals from Spent Catalysts Using Iron Chloride Vapor Treatment」は、2020年2月26日に米国 TMS (資源材料学会) 製錬プロセス部門の最優秀論文賞を受賞した。本研究では、実際の自動車排ガス触媒スクラップに本プロセスを適用し最適化を図った。また、 $\text{FeCl}_2$  蒸気処理の E-scrap 中の Au の濃縮分離への有効性を評価した。その結果、Au は  $\text{Fe}$  と合金化し磁石の引力に応答することが確認された。一般的に E-scrap 中には多量の銅 (Cu) 16~30%が含有されている。他にも、Pd、Ag、Sn、Ni、Zn、Pb、Al、Fe などの金属元素が共存する。このような複雑な系の反応を熱力学および実験的に評価した。その結果、 $\text{FeCl}_2$  蒸気処理を用いる場合 Au と Cu の同時回収がボトルネックとなる可能性を見出した。プロセス温度及び時間を最適化することで、Cu と Au の同時回収が可能となることを実証した。さらに実スクラップを用いた実験の結果、回収率 70%以上、濃縮率 3 倍以上で Au を濃縮分離可能であることを実証した。以上の研究をもとに、スクラップ中の貴金属を超高速で濃縮分離する新技術を実用化することで、世界中から貴金属濃縮物が日本に空輸され、高速精錬、循環利用される産業基盤と社会システムの構築が期待される。

課題②：廃液や有害物が発生しない環境調和型リサイクル技術の開発

有害な廃棄物や廃液・排ガス等を発生させずに効率良く希土類金属を抽出・分離する環境調和型の新規リサイクル技術の開発に取り組んだ。希土類磁石のリサイクルについて、熔融塩化物を電解浴とした電解精製法を適用することによって、700 °C程度の比較的低い温度で、Nd-Fe 合金を回収する手法を開発した。Nd や Dy の一次製錬でも熔融塩電解法 (熔融フッ化物中での酸化物電解) が用いられているが、電解温度は 1000 °C以上必要であり、300 °C以上のプロセス温度の低減を実現できる。

本研究で開発した革新的リサイクル技術が実用化された場合、従来の技術では解決が困難であった貴金属・レアメタルのリサイクルを促進し、新しいビジネスモデルを構築することができる。新しいビジネスモデル構築により、国内に資源を確保することができるようになり、ハイテク機器製造の国際的なイニシアティブ確保を可能とし、ひいては、昨今海外への流出の激しい製造拠点の回帰に繋がる可能性があると感じている。

**【業績】**

1. '貴金属の製錬・精錬・リサイクル', 岡部 徹: まてりあ(日本金属学会会報), vol.58, no.10 (2019) pp.557-562.
2. '希土類磁石からのレアアースのリサイクルプロセスの開発', 竹田 修, 岡部 徹: 化学工業, vol.70, no.7 (2019) pp.490-494.
3. 'Recycling of Critical Metals', T. H. Okabe and T. Ouchi: Proceedings of the TMS 2019 148th Annual Meeting & Exhibition (TMS2019), [San Antonio, USA, Mar 10–Mar 14, 2019] pp. 237-243.