

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分  
平成29年3月10日現在

環境調和型の貴金属・レアメタルのリサイクル技術の開発

Development of Environmentally Sound Recycling Technology  
for Precious Metals and Rare Metals

課題番号：26220910

岡部 徹 (OKABE, Toru H.)

東京大学・生産技術研究所・教授



研究の概要

我が国は、金属資源のほぼ全量を輸入し、高い付加価値のハイテク製品を製造して輸出することによって、豊かな生活を維持している。このため、環境保全と資源戦略の両方の観点から、環境に調和しつつレアメタルを効率良くリサイクルする新技術の開発が極めて重要な課題となっている。本研究では、貴金属と活性金属を含む複合塩化物の合成法と物性の科学的な解明に基づき、有害な廃液を出すことなくスクラップから白金をはじめとする貴金属を高い効率で抽出する環境調和型の新しいリサイクル技術の開発を行っている。また、貴金属について開発した「有害な廃液が出ない新しいリサイクル手法」を、チタンやレニウム、希土類元素（レアアース）などの産業上重要な他のレアメタルのリサイクル技術へと応用展開し、その有効性を検証した。

研究分野：金属・資源生産工学

キーワード：レアメタル、リサイクル、製錬、貴金属、環境調和型技術

1. 研究開始当初の背景

レアメタルは、省エネ・ハイテク製品の製造に欠かすことができない。白金や金をはじめとする貴金属は、レアメタルの中でも特に希少性と経済的価値の高い金属である。また、これらは自動車の排ガス浄化触媒や電気電子機器などに使用されており、今後、需要とリサイクル量の増加が見込まれている。

貴金属のリサイクルにおいては水溶液中への溶解が必要である。しかし、貴金属が化学的に極めて安定なため、現在のところ塩素ガスや王水などの強力な酸化剤を含む酸によって長時間の処理が必要であり、有害な廃液や排ガスが多量に発生する。

近年、貴金属を含むレアメタルの資源争奪戦が世界的に激しさを増している。天然資源が乏しく、かつ環境規制の厳しい日本では、高効率かつ環境負荷が小さいレアメタルのリサイクル技術の開発が重要な課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、貴金属と活性金属を含む複合塩化物の合成法と物性の科学的な解明に基づき、有害な廃液を出すことなくスクラップから白金を始めとする貴金属を高い効率で抽出する環境調和型の新しいリサイクル技

術の開発を行う（図1）。また、貴金属に関する研究開発で得られた知見・技術を、レニウムやレアアースなどの産業上重要な他のレアメタルのリサイクル技術へと応用し、その有効性を実証する。

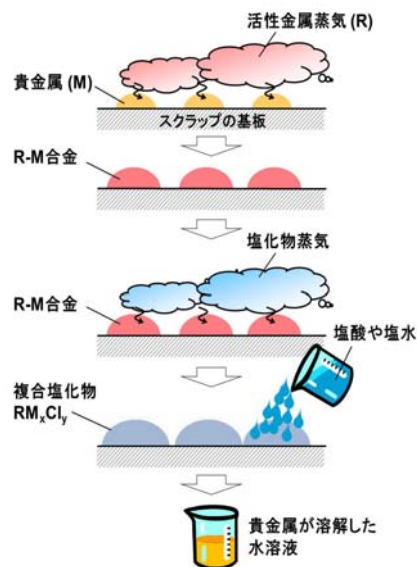


図1 新しい溶解技術によって実現される、有害廃棄物の発生量の少ない貴金属の環境調和型のリサイクルプロセス

### 3. 研究の方法

熱力学的解析と基礎的な実験により、貴金属の効率的な合金化および塩化処理プロセスを確立し、高度循環型社会に不可欠な新規リサイクル技術の開発を行った。また、得られた知見と技術をレアアースやレニウムなどの他のレアメタルへと応用展開した。

### 4. これまでの成果

白金族金属について、様々な合金化・塩化処理プロセスに関する基礎的な実験を行った。その結果、例えば、マグネシウムの蒸気との反応によって合金化した後、塩化銅の熱分解反応を利用して塩化処理を行えば、難溶解性の白金族金属を、酸化剤を含まない塩酸だけでなく、塩化ナトリウム水溶液などの塩水によっても溶解できる状態に変換できることが確かめられた。本手法をさらに発展すれば、従来の湿式リサイクルプロセスと比べて、処理速度が速く、かつ環境調和性の高いリサイクルプロセスを実現できる可能性がある。

また、展開研究として活性金属との合金化を利用したレニウムのリサイクル技術の開発も実施した結果、亜鉛を抽出剤として利用することにより、原理的にはニッケル基超合金スクラップから廃液を出すことなくニッケルとレニウムを効率良く分離回収できることが示された。

### 5. 今後の計画

貴金属系複合塩化物の原子構造や化学状態、反応過程をより明確にするとともに、提案するリサイクルプロセスが実際の貴金属含有スクラップに対して有用であることを実証する。また、レニウムなど他のレアメタルについても有害な廃液が出ない新しいリサイクル手法を開発・実証する。

### 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む) [原著論文]

- R. Yagi, T. H. Okabe: Continuous Extraction of Nickel from Superalloy Scraps Using Zinc Circulation, *Metall. Mater. Trans. B*, (2017). (Online pub.: 27 Feb. 2017) doi:10.1007/s11663-017-0941-9.
- Y. Taninouchi, T. Watanabe, T. H. Okabe: Recovery of Platinum Group Metals from Spent Catalysts Using Electroless Nickel Plating and Magnetic Separation, *Mater. Trans.*, 58(3) (2017) 410-419.
- R. Yagi, T. H. Okabe: "Recovery of Nickel from Nickel-Based Superalloy Scraps by Utilizing Molten Zinc", *Metall. Mater. Trans. B*, 48(1) (2017) 335-345.
- J. Kang, T. H. Okabe: Selective Removal of Iron from Low-Grade Ti Ore by Reacting with Calcium Chloride, *Metall. Mater. Trans. B*, 48(1) (2017) 294-301.
- T. H. Okabe: Bottlenecks in Rare Metal

Supply and the Importance of Recycling - a Japanese Perspective, *Mineral Process. Extractive Metall.*, 126(1-2) (2017) 22-32.

- T. Akahori, Y. Miyamoto, T. Saeki, M. Okamoto, T. H. Okabe: Optimum Conditions for Extracting Rare Earth Metals from Waste Magnets by Using Molten Magnesium, *J. Alloys Compd.*, 703 (2017) 337-343.
- Y. Taninouchi, Y. Hamanaka, T. H. Okabe: Electrochemical Deoxidation of Titanium and Its Alloy Using Molten Magnesium Chloride, *Metall. Mater. Trans. B*, 47(6) (2016) 3394-3404.
- Y. Taninouchi, Y. Hamanaka, T. H. Okabe: Chlorination-Volatilization Behavior of Titanium Metal Scraps during Recycling Using Reaction-Mediating Molten Salt, *Mater. Trans.*, 57(8) (2016) 1309-1318.
- T. H. Okabe, Y. Hamanaka, Y. Taninouchi: Direct Oxygen Removal Technique for Recycling Titanium Using Molten  $MgCl_2$  Salt, *Faraday Discussion*, 190 (2016) 109-126.
- J. Kang, T. H. Okabe: Removal of Iron from Titanium Ore by Selective Chlorination Using  $TiCl_4$  under High Oxygen Chemical Potential, *Int. J. Mineral Process.*, 149 (2016) 111-118.
- J. Kang, T. H. Okabe: Development of a Novel Titania Slag Upgrading Process Using Titanium Tetrachloride, *Metall. Mater. Trans. B*, 47(1) (2016) 320-329.
- Y. Taninouchi, Y. Hamanaka, T. H. Okabe: Reaction-Mediator-Based Chlorination for the Recycling of Titanium Metal Scrap Utilizing Chloride Waste, *Mater. Trans.*, 56(1) (2015) 1-9.
- C. Wiraseranee, T. Yoshikawa, T. H. Okabe, K. Morita: Dissolution Behavior of Platinum in the  $Na_2O-SiO_2$ -Based Slags, *Mater. Trans.*, 55(7) (2014) 1083-1090.

[受賞]

- 第62回日本金属学会論文賞 (受賞日: 2014年9月24日), (公社)日本金属学会, 受賞者: 姜正信、岡部 徹
- 第40回資源・素材学会論文賞 (受賞日: 2015年3月28日), (一社)資源・素材学会, 受賞者: 姜正信、岡部 徹
- 平成27年度日本希土類学会技術賞(藤森賞) (受賞日: 2015年5月21日), 受賞者: 岡部 徹, 他企業関係者5名
- 第13回本多フロンティア賞 (受賞日: 2016年5月27日), (公財)本多記念会, 受賞者: 岡部 徹
- 第86回報公賞 (受賞日: 2016年10月7日), (公財)服部報公会, 受賞者: 岡部 徹
- 平成28年度 溶融塩賞 (受賞日: 2017年1月27日), (社)電気化学会 溶融塩委員会, 受賞者: 岡部 徹

ホームページ等

<http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp>