

貴金属の製錬・精錬・リサイクル

岡 部 徹*

1. はじめに

貴金属とは、化合物をつくりにくく希少性のある金属という条件を満たす元素の総称であり、金(Au)、銀(Ag)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、ルテニウム(Ru)、オスミウム(Os)の8元素を指す。

貴金属の中で生産量が最も大きいのは、銀であり、年間約30,000トンの一次地金が鉱石から生産されている。これに対し、鉱石からの金の年間生産量は、3,000トン程度である⁽¹⁾。銀の価格が60円/g、金の価格が4,500円/g前後であることを考えると、それぞれの一次地金の生産に関する経済規模は、1.8兆円、および14兆円となる。金融商品としての流通やリサイクルを考慮すると、貴金属関連の経済規模はさらに格段に増大する。貴金属は、金属の中では生産規模は小さいが、経済的な規模はかなり大きく社会的に重要な元素群である。

金および銀を除く貴金属の元素群は、白金族金属(Platinum Group Metals: PGM)とよばれる。白金やパラジウム、ロジウムなどは、融点が高く、耐熱性、耐蝕性に優れ、特異な触媒特性を有することから、今では自動車用排ガス触媒、窯業の坩堝、電子部品などの様々な分野で用いられている⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。しかし、白金族金属の中で抜きん出て生産量が多い白金やパラジウムでさえ、年間生産量は世界全体で年200トン程度と寡少である⁽⁵⁾⁻⁽¹⁰⁾。白金族金属は稀少な元素で生産量に制限があるだけでなく、一次供給源となる鉱山が南アフリカおよびロシアのごく限られた国の特定地域に偏っている⁽⁵⁾⁻⁽¹⁰⁾。このため、資源セキュリティ・安定供給の面からも信頼性の高い資源バッファを築き、長期的に循環利用できる供給ルートを確立することは重要な課題である。

貴金属については、既に幾つかの解説や特集があるが⁽²⁾⁽³⁾⁽¹¹⁾⁻⁽¹⁴⁾、これらの多くは物性や用途に関するものが多く、製錬やリサイクルに関するものは限られている⁽¹⁵⁾⁻⁽²²⁾。特に、白金族金属などの貴金属のリサイクル技術を考える上で不可欠である高温プロセス(乾式法)に関する文献は少なく、一般に広くは知られていない。このような背景から、ここでは、乾式法を中心に、白金族金属を含めた製

錬、各種リサイクル技術について解説する。さらに詳細な情報が必要な場合は、著者らの技術解説⁽¹⁸⁾⁻⁽²¹⁾を参照されたい。

2. 貴金属の製錬・精錬

金や銀の製錬については、すでに一般に知られているので⁽²³⁾、ここでは、白金族金属の製錬を中心として概説する。

白金族金属の製錬については、鉱石や製錬所によってプロセスが異なる⁽²²⁾⁻⁽³³⁾。図1には、鉱石から製品までの白金族金属の製錬フローの代表例を示す。詳細は文献等を参照にされたいが⁽²⁵⁾⁻⁽²⁷⁾、いずれのプロセスでも、ppm オーダーの品位の鉱石から、白金族金属を抽出、濃縮して、分離精製していることがわかる。図に示すように、白金製錬ではマットとよばれる硫化物を白金族元素の抽出媒体として利用し、分離・濃縮する製錬工程が一般的である。これは、白金族金属が、同じ貴金属である金や銀と性質が類似しているだけでなく、白金族金属は鉄(Fe)やニッケル(Ni)と同族であるため、硫化物や合金の性質が鉄族とも類似していることをうま

PGM製錬の概略とPGM品位

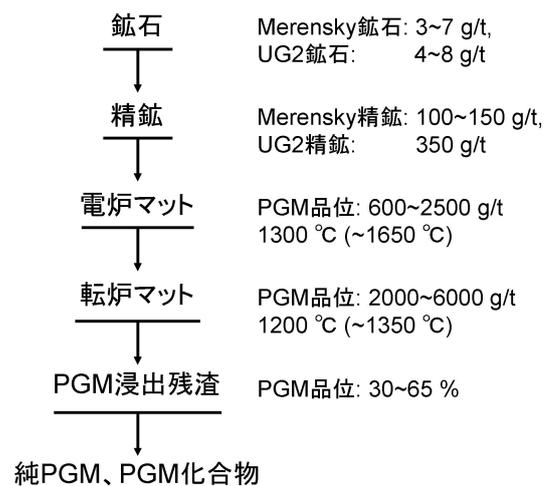


図1 白金族金属(PGM)製錬の概略.

* 東京大学生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター センター長(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1) Smelting, Refining, and Recycling of Precious Metals; Toru H. OKABE(Integrated Research Center for Sustainable Energy and Materials, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Tokyo)
Keywords: *precious metals, smelting, refining, recycling*
2019年6月3日受理[doi:10.2320/materia.58.557]

表1 白金の採掘・製錬の各プロセスにおけるコスト、品位、収率、処理日数(概数)。

| | 全コストに占める割合(%) | PGMグレード | PGM収率(%) | 富化率(倍) | 処理時間(日) |
|-----------|---------------|--------------|----------|---------|---------|
| 採鉱 | 65~75 | 5~6 g/t | N/A | N/A | N/A |
| 粉碎 & 浮遊選鉱 | 9~12 | 100~600 g/t | 80~90 | 30~80 | 2 |
| 製錬 & 転化 | 6 | 600~6000 g/t | 95~98 | 20 | 7 |
| ベースメタル精製 | 7 | 30~65% | >99 | 75 | 14 |
| 貴金属精製 | 4~5 | >99.8% | 98~99 | 2 | 30~150 |
| トータル | 100 | N/A | 75~85 | 200,000 | ~170 |

N/A: 評価不能

貴金属の生産の特徴: ①採鉱のコストが最も高い, ②多量の廃棄物が発生する, ③PGMの収率は75~80%と高い, ④製錬には非常に時間がかかる。

次田泰裕著:「白金族金属」p. 136より転載

く利用している⁽²⁵⁾⁻⁽²⁷⁾。

ロシアなどでは、白金族金属はニッケル製錬の副産物として生産されているが、生産シェアの大半を占める南アフリカでは、白金族金属は主産物として生産され、銅(Cu)やニッケル、コバルト(Co)などが副産物として回収されている。

表1に、一例として、白金族金属の採掘から製錬の主要工程における、コスト、品位、収率(歩留)、富化率(濃縮率)、処理日数の概数をまとめて示す⁽¹⁸⁾⁽²⁵⁾。表の値は概数であり、あくまで参考値であるが、白金族金属の製造においては、製錬コストよりも採掘コストのほうが圧倒的に大きい。また、鉱石中の白金族金属の濃度は低く、一般に品位が数ppmレベルであるため、製錬にも莫大なエネルギーと数ヶ月もの長い時間を要する。なお、ここでは、白金族金属が主産物である場合の概略を述べたが、ニッケルや鉛製錬などの副産物として分離・回収されることもある⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²²⁾。この場合も、最終製品が生まれるまでに、長い処理時間とコストを要する。

図1や表1に示す富化率からもわかるように、白金の生産量がたとえ1トンでも、その背後では何百万トンもの資材が動き、製錬には莫大なエネルギーが使われる。採掘された鉱石や脈石のほとんどは廃棄されるため、地球環境に大きな負荷を与えている。こうした状況を考えると、使用済み製品から白金族金属を高い効率で回収することの重要性は論を俟たない。

3. 貴金属の精錬・リサイクル

貴金属のリサイクル手法も様々な手法が存在するが、ここでは、典型的な手法について説明する。詳細については文献を参照されたい⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾。スクラップ中の貴金属をリサイクルする場合、鉱石を出発原料とする製錬プロセスに貴金属を含むスクラップを投入すれば、高い歩留で抽出し、回収

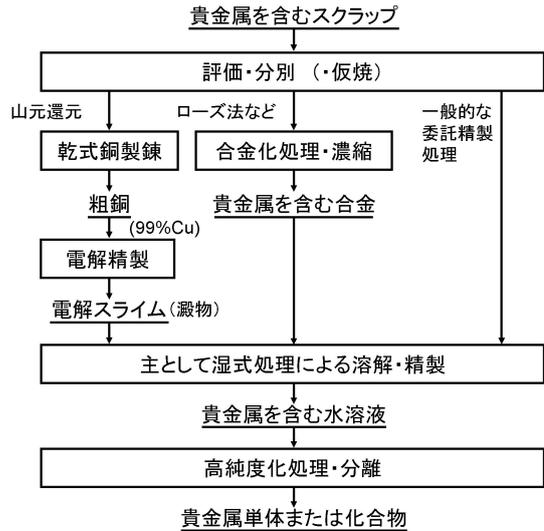


図2 貴金属を含むスクラップの主なリサイクルプロセス。

することができる。しかし、上述のプロセスの多くは立地に制約があり、鉱山の近くで操業されている場合が多い。また、リサイクルの主たる対象となる工業製品の中の貴金属は、その存在形態、濃度が製品によって大きく異なり、共存する元素も多様である。そのため、それぞれの廃棄物に見合ったプロセスを経て世界各地でリサイクルされている⁽²⁴⁾⁻⁽³²⁾。ここでは、日本や欧米で利用可能なリサイクル技術を中心に紹介する。

図2は、日本で行われている貴金属のリサイクルのプロセスフローの概略である。少量のスクラップから貴金属を回収する場合は、個別に仮焼(あるいは合金化処理)して、主として湿式処理により回収することが多い。また、品位が一定のまとまった量のスクラップが継続的に回収できる場合は、乾式法が利用されることが多い。乾式法を利用する場合、銅やニッケル、鉛などの融体をコレクター(吸収金属)として利用し、貴金属を金属相中に抽出して分離する。このように、乾式法では、スクラップ中の貴金属の回収は、まず高温反応により液体合金などを用いて濃縮処理して貴金属の品位を高め、続いて湿式法による分離・抽出を行う方法が主流となっている。

図3は、主として金などの貴金属の製錬に一般的に利用される山元還元とよばれる貴金属の回収プロセスのフロー図である。貴金属と銅が化学的に強い親和力を有することを利用して、金属銅や銅の硫化物を貴金属のコレクターとして用いる代表的な製錬法である。日本には、乾式銅製錬所が複数存在するため図3に示す山元還元が利用でき、貴金属を含むスクラップは金鉱石などとともに銅製錬プロセスに投入され、処理されている。山元還元で得られる粗銅の中には貴金属が含まれるため、これを水溶液中で電解精製し、貴金属を含まない高純度の電気銅(製品)を製造すると同時に、アノード(陽極)から貴金属を多量に含む電解スライム(陽極澱物)を得る。電解スライム中に濃縮する貴金属は、湿式法を中心とす

る通常の貴金属製錬法により抽出分離され製品となる。山元還元は、既存の非鉄金属製錬プロセスを利用するため、処理コストが低く、また一般に収率も高い。しかし、貴金属をスクラップから分離・回収するまでのリードタイムが長いことが欠点の一つである。

図4は、鉛製錬を利用する貴金属の回収プロセスの一例である。このプロセスでは鉛を貴金属のコレクターとして利用し、貴金属を抽出・濃縮する。続いて、貴金属を含む鉛合金を酸化することによって得られる粗銀をコレクターとして利

用し、貴金属を含む銀合金としてさらに濃縮分離する。鉛製錬の特徴をうまく利用するこの手法は、古くから貴金属製錬の基本として利用されてきた。

図5に示すように、上述の銅製錬と鉛製錬の特徴をうまく活かして、これらの手法を組み合わせたプロセスが欧州で実

山元還元による貴金属の回収

銅の乾式製錬を利用して、貴金属を一旦、銅に吸収させ貴金属を含む粗銅から貴金属を回収することができる

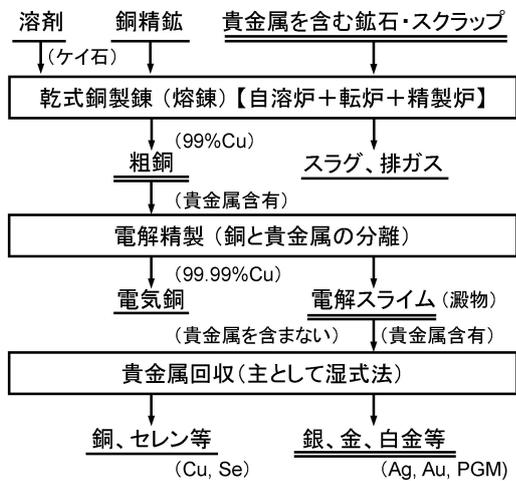


図3 乾式銅製錬(熔錬)工程を利用して貴金属を回収するプロセス(山元還元)。

鉛製錬を利用する貴金属の回収

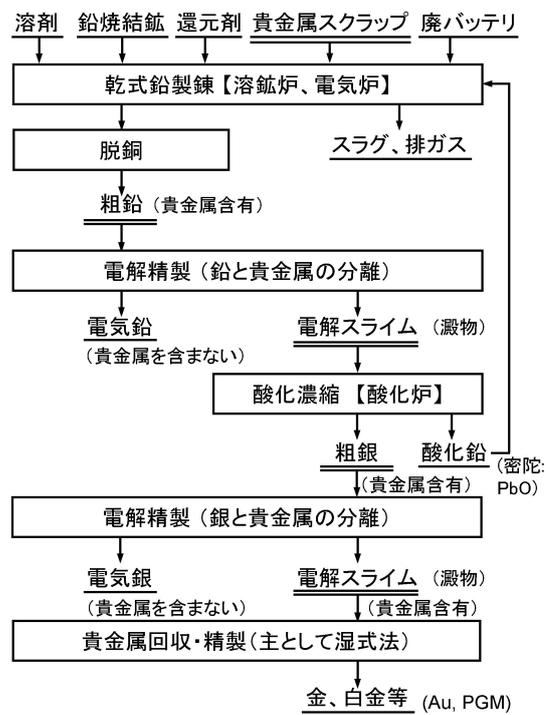
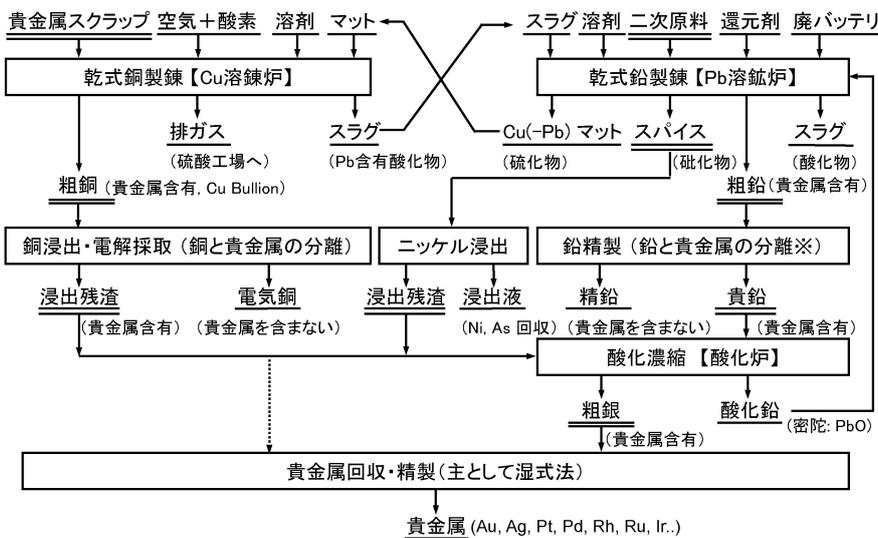


図4 乾式鉛製錬工程を利用して貴金属を回収するプロセスの一例。

銅製錬と鉛製錬を組み合わせる貴金属の回収



※ 鉛精製では、Harris法、Parkes法、Kroll-Betterton法などの複数の乾式製錬法により貴金属を含まない精鉛を製造する (おもな鉛の乾式精製法: ①ドロス処理: 脱鉄、② Harris法: 苛性ソーダにより錫、ヒ素、アンチモン等の除去、③ Parkes法: 亜鉛による銅、貴金属の除去、④ Kroll-Betterton法: カルシウム・マグネシウムによるビスマスの除去)

図5 乾式銅製錬と鉛製錬工程を組み合わせる貴金属を回収するプロセスの一例。

用化されている⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾。図に示すように、貴金属を含むスクラップは、銅や鉛のスクラップ(二次原料)とともに乾式法により効率良く処理されリサイクルされている。このプロセスでは、貴金属は主として鉛を抽出剤(コレクター)として回収される。貴金属を含む粗鉛は、Harris法、Parkes法、Kroll-Betterton法などの複数の乾式製錬法により、貴金属を含まない精鉛と貴金属を含む亜鉛残渣に分離され、灰吹き法により得られた貴鉛から貴金属を回収している⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾。図5に示すリサイクルプロセスは、多くの種類の非鉄金属元素をまとめて処理できる特徴がある。

コレクターとして、銅や鉛以外にも鉄やニッケル、亜鉛、銀あるいはこれらの合金や化合物(主として硫化物)を利用する方法も多数検討されており、一部は実用化されている⁽²²⁾⁽²⁵⁾。一般に、乾式法による非鉄金属製錬は、規模が大きい場合は、経済性を追求すると一ないし二つのプロセスに収斂するが、貴金属製錬の場合は、規模が小さく、さらに、製品の価格に比してプロセスコストが低いため、現在も多様な手法が工業的に利用されている。

日本でも、自動車用排ガス触媒から白金族金属を回収する専用のプロセスが実用化されている。自動車用の排ガス浄化触媒は、ハニカム構造のセラミックスやフォイル状の鉄合金で構成された担体に、ウォッシュコートとよばれる酸化セリウム(CeO_2)などを含むセラミック表面層を塗布し、この酸化物表面層にナノメートルオーダーの微細な白金族金属やその化合物を分散して付着させたものが利用されている。触媒によって大きく異なるが、自動車用の排ガス触媒中の白金族金属の含有量は1~5 gPGM/個(代表値: Pt: 1.4 g/車, Pd: 2.4 g/車)程度であり、高融点でかつ化学的にも安定な金属や化合物の粒子が表面に微量分散している。

図6に示す方法は、自動車用排ガス触媒から白金族金属を回収するために、(株)日本PGMが実施しているローズ法(Rose)法とよばれる方法である⁽³²⁾⁽³³⁾。名前の由来はロジウム(Rh)の語源のバラ(Rose)から命名されたという。触媒のセラミック基体として使用されているコーディエライト(Cordierite, $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$)など、比較的融点の高い(1300°C ~)酸化物構造体表面のコート層中に分散している白金族金属を効率良く回収できるリサイクル法である。前述の山元還元と同様、液体の銅合金をコレクターとして利用する点では類似しているが、酸化銅(Cu_2O)もコレクターとして利用し、スラグの融点を下げる工夫がなされている点、硫化物を積極的に利用せずコレクター合金を直接酸化して貴金属を濃化する点などにおいて、既存の銅製錬を利用する方法とは異なる。先に説明した山元還元では、天然の鉱石に由来する多様な貴金属が得られるのに対し、廃触媒を処理対象とするローズ法では、得られる貴金属が投入するスクラップ由来の元素に限られるという特徴がある。

乾式法の特殊な例として、気相揮発法(塩化揮発法)も過去にいくつか検討された⁽³⁴⁾。気相反応を利用する方法は、 Pt_3Cl_3 などの白金塩化物のガスを生成させて分離する方法や、蒸気圧の高いカルボニルを生成させる方法などが提案さ

ローズ法(Rose Process)による白金族金属の回収

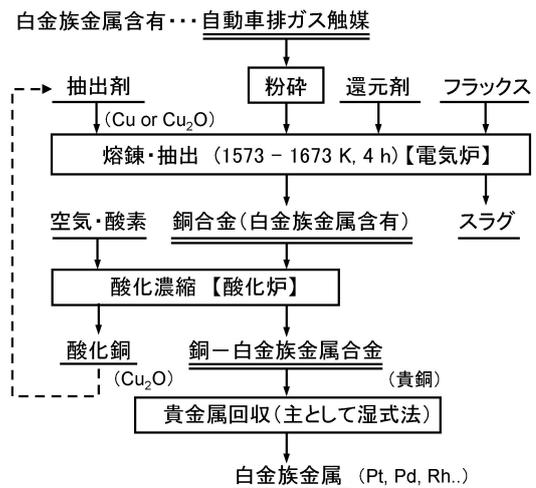


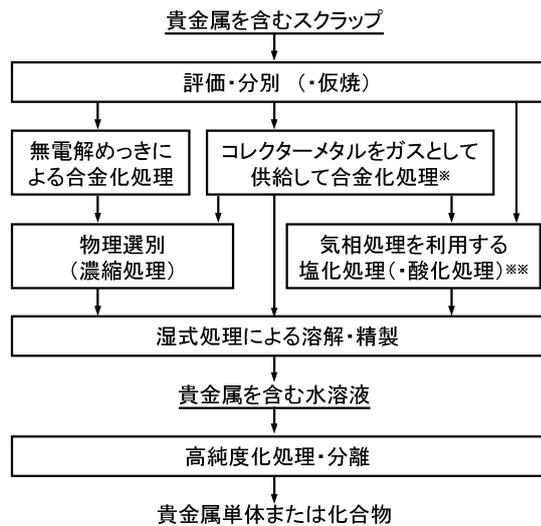
図6 ローズ法を利用して自動車廃触媒から白金族金属を回収するプロセスの一例。コレクターメタル(吸収媒体)として銅が利用されている。

れている。塩化カルボニル法は、廃触媒をCOと Cl_2 の混合ガス、あるいは、ホスゲン(COCl_2)ガスとともに加熱処理し、白金族金属を選択的に塩化して $\text{Pt}(\text{CO})_2\text{Cl}_2$ などとして分離回収する方法であるが、毒性を有する反応ガスの取り扱いが困難である。

前述の銅や鉛をコレクターとして利用する乾式法によるリサイクルプロセスは、処理速度が大きく、回収効率も高いため工業的に利用されているが、大規模な設備を必要とし、設備の立地にも制約がある。このため、比較的小規模の設備で行える湿式法によるリサイクルプロセスが過去には数多く研究されてきた。具体的には、廃棄物を直接、酸またはアルカリで溶解処理し、水溶液中の貴金属を溶媒抽出法などにより分離する方法が過去に多数検討された。

湿式法の大きな問題は、貴金属の溶解効率と処理速度が低く、対象物によっては回収率が低い点である。スクラップ中の貴金属を委託処理により個別に分離回収する場合は、小ロット処理に適している湿式法が採用されることが多いが、現時点ではその利用は限定的である。化学的に極めて安定な貴金属を酸などに溶解するためには、強力な酸化剤を用いた長時間の処理が必要である。乾式法に比べ、設備コストが小さいという利点はあるものの、処理困難な沈殿物や廃液が多量に発生するため、大型プロセスとしては実用化が進んでいない。

こうした現状を踏まえ、最近著者らは、図7に示すように廃棄物に含まれる貴金属に予め処理を施し、貴金属の回収率を向上させる新しい方法の開発を行っている⁽³⁵⁾⁻⁽³⁹⁾。その概略については、原著論文や解説を参照されたい。最近では、金属蒸気による合金化処理に加え、塩化物などの蒸気を供給し、複雑な形状をした廃棄物中の白金族金属と効率良く反応させることにより、酸に易溶性の化合物を生成させた



※ 易物理選別化、選択溶解・易溶解化処理
 ※※ 易溶解化処理、酸および酸化剤の消費量の低減

図7 現在、著者らが取り組んでいる無電解めっきや気相処理法を利用して、複雑な形態を有するスクラップから貴金属を効率良く分離・回収する新しいプロセスの一例。

り、あるいは、気相を介して分離・精製する新しい手法の開発を行った。最近では、 $FeCl_x$ ガスなどを利用して気相を介して鉄をスクラップ中の貴金属に供給し、鉄合金化した貴金属を磁石により効率良く分離・濃縮する新技術の開発を行っている。

将来的には、環境対策として強力な酸化剤を含まない酸を用いて、スクラップ中の貴金属を選択的に効率良く溶解し、分離・回収できるような新規なプロセスの実現が望まれる。著者らは、究極的には、塩水などの溶液で簡単に貴金属が溶解でき、有害な廃液を発生しない環境調和型のリサイクルプロセスの開発を目指している。また、処理速度の速い気相処理により簡単に貴金属を分離できるような画期的なプロセスが開発されることが望ましい。

4. おわりに

貴金属は資産としての価値を有するため、今後も人類は採掘と製錬、リサイクルを続けるであろう。また、一部の白金族金属は、耐熱性、耐蝕性に優れ、特異な触媒特性を有することから、電子部品、自動車用排ガス触媒をはじめとする様々な分野で用いられている。

資源や環境の保全には、代替材料の開発や使用量の低減にむけた技術開発だけでなく、リサイクル技術の研究も重要となる。現在、金や白金族金属は、高品位の鉱石でもその品位が ppm オーダーと低く、かつ貴金属を含む最終製品が高価であることから、使用済みの製品からの回収が精力的に行われている。

今後、貴金属の新たな用途や需要が増えれば、スクラップ

の特性に応じた多様な新しいリサイクル技術を開発する必要がある。日本には工業製品という形で多量の貴金属が蓄積されているため、資源の有効利用・安定供給の面からも、スクラップを効率良く循環利用するルートの確立は重要な課題の一つであろう。

本稿をまとめるにあたり、本所 リサーチフェロー 日野順三氏(㈲ファイブコンサルタント 理事)、Umicore 社の Dr. Jeroen Heulens に貴重なコメントや情報の提供をいただいた。記して感謝する。

文 献

- (1) GFMS GOLD SURVEY 2018, Rhona O'Connell *et al.*, ed., Thomson Reuters, (2018), https://gold.tanaka.co.jp/market_data/gold_2018_digest.pdf
- (2) 鈴木 平, 日黒謙次郎 監修: 貴金属の科学 基礎編, 田中貴金属工業株式会社, 東京(1985).
- (3) 本郷成人 監修: 貴金属の科学 応用編 改訂版, 田中貴金属工業株式会社, 東京(2001).
- (4) D. McDonald, L. B. Hunt: The History of Platinum and its Allied Metals: Johnson Matthey, UK (1982). (日本語訳: 田中貴金属工業株式会社, 訳, (1983))
- (5) GFMS PLATINUM GROUP METALS SURVEY 2018: Rhona O'Connell *et al.*, ed., Thomson Reuters, (2018). https://gold.tanaka.co.jp/market_data/plpd_2018_digest.pdf (トムソン・ロイター-GFMS社「Platinum Group Metals Survey 2018」の日本語ダイジェスト版「Platinum Group Metals Survey 2018」ISSN: 2397-5784 (Print) ISSN: 2397-5792 (Online))
- (6) A. Cowley: The Pgm Market Report, Johnson Matthey, (2019). http://www.platinum.matthey.com/documents/new-item/pgm_market_reports/pgm_market_report_february_2019.pdf.
- (7) 岡部 徹: 金属, **76**(2006), 980-984.
- (8) 北良 行: 金属資源レポート, 2005.3 (2005), 27-41.
- (9) 次田泰弘: ふえらむ, **10**(2005), 472-478.
- (10) 近藤 敏, 武山 真, 大藏隆彦: 資源と素材, **122**(2006), 386-395.
- (11) 御手洗容子 他: 白金族金属の可能性, Boundary, コンパス社, **16**(2000), 2-35.
- (12) 御手洗容子 他: 白金族金属・合金の現状と将来—新規産業の創出を目指して—, まてりあ, **40**(2001), 205-251.
- (13) 御手洗容子, Bao Zebin, 村上秀之, 阿部英樹, 松本 達: 日本金属学会誌, **75**(2011), 10-20.
- (14) 冨塚 功 他: 旧材料科学(2004), 279-313.
- (15) 芝田隼次, 奥田晃彦: 資源と素材, **118**(2002), 1-8.
- (16) 平山勝義: 資源と素材, **113**(1997), 978-981.
- (17) 岡部 徹 他: 金属, **76**(2006), 979-1039.
- (18) 岡部 徹: まてりあ, **46**(2007), 522-529.
- (19) 岡部 徹(分担執筆): 貴金属・レアメタルのリサイクル技術集—材料別技術事例・安定供給に向けた取り組み・代替材料開発—, エヌ・ティー・エス, 東京, (2007).
- (20) 原田幸明, 中村 崇 監修: レアメタルの代替材料とリサイクル, シーエムシー出版, 東京, (2008).
- (21) 岡部 徹: 貴金属・化学工学, **74**(2010), 102-108.
- (22) 燃料電池用白金族金属需給動向調査, 平成16年度調査報告書(経済産業省・資源エネルギー庁, 資源・燃料部, 鉱物資源課, 受託調査), 日本金属経済研究所, 新日鉱テクノロジー株式会社, 住鉱コンサルタント株式会社, (2005).
- (23) 非鉄金属製錬: 日本金属学会編集, 丸善株式会社(1970).
- (24) 大藏隆彦: 金属, **76**(2006), 1030-1033.
- (25) 次田泰弘: 金属, **76**(2006), 991-997.
- (26) R. T. Jones: JOM World Nonferrous Smelter Survey, Part II:

Platinum Group Metals, JOM (J. Metals), December (2004), 59–63.

(27) J. Nell: Melting of Platinum Group Metal Concentrates in South Africa, The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, August (2004), 1–6.

(28) Homepage of Umicores Precious Metals Refining, A comprehensive and unique set-up based on lead/copper/nickel metallurgy, <http://www.preciousmetals.umicores.com/process/>

(29) C. Hagelüken: Recycling of Electronic Scrap at Umicores Integrated Metals Smelter and Refinery, World of Metallurgy - ERZMETALL, **59**(2006), 152–161.

(30) 横浜金属㈱：資源と素材, **113**(1997), 1155–1157.

(31) 川代敦志, 濱田篤詩：資源と素材, **118**(2002), 285–289.

(32) 日本ピージーエム：資源と素材, **113**(1997), 1146–1147.

(33) 江澤信泰, 井上 洋, 高田正栄, 榎田 均：公開特許広報, 特開平4-317423 [公開日：1992年11月9日] (1992).

(34) C-H. Kim, S. I. Woo and S. H. Jeon: Ind. Eng. Chem. Res., **39** (2000), 1185–1192.

(35) T. H. Okabe, S. Yamamoto, Y. Kayanuma and M. Maeda: J. Mater. Res., **18**(2003), 1960–1967.

(36) 大川ちひろ, 岡部 徹：金属, **76**(2006), 1034–1039.

(37) Y. Taninouchi and T. H. Okabe: Metall. Mater. Trans. B, **48**

(2017), 2866–2872.

(38) Y. Taninouchi and T. H. Okabe: Metall. Mater. Trans. B, **49** (2018), 1781–1793.

(39) Y. Taninouchi and T. H. Okabe: Mater. Trans., **59**(2018), 88–97.



岡部 徹

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

1993年 京都大学大学院博士課程修了
1993～1995年 マサチューセッツ工科大学(MIT)博士研究員

東北大学素材工学研究所助手を経て, 2001年より東京大学生産技術研究所助教授. 09年から教授. 15年度より, 同研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター センター長. 19年度より東京大学 副学長.

◎30年以上, 一貫してレアメタルの研究に取り組んでいる. “プロセス技術がレアメタルをコモンメタルに変える”ことを夢見て, チタンなどの新製錬技術の開発を行っている. 最近は, 白金族金属, レアース, レニウムなどのレアメタルの製造プロセスや新規リサイクル技術, 環境技術の研究も行っている.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★