

熔融塩に魅せられた私

東京大学・副学長、東京大学生産技術研究所・教授
岡部 徹

私と熔融塩の出会い、京大在学中の 30 年以上も前に遡る。それ以来、チタンや希土類金属、ニオブ、タンタルなどのレアメタルを製造するプロセス開発やリサイクル技術の研究に熔融塩を利用してきた。私の研究人生は、まさに熔融塩の魅力に取りつかれ、熔融塩とともに歩んだ人生と言っても過言ではない。

有り難いことに、2017 年 1 月には、「熔融塩を利用するレアメタルの製錬・リサイクル技術の開発」に関する研究で、電気化学会第 31 回「熔融塩賞」を受賞した⁽¹⁾。熔融塩を愛する私にとっては、望外の喜びの一つとなった。

チタンや希土類金属などの活性金属は、その酸化物が熱力学的に極めて安定なため還元が困難で金属を得るのが難しい。水溶液中で金属に還元することは熱力学的に不可能であるため、金属の製造には熔融塩などの反応媒体が利用されることが多い。

これらの活性金属を製造するために利用される熔融塩は、高温で化学的に安定である必要がある。特に還元プロセスに利用する場合には、ナトリウム、マグネシウムやカルシウムなどの還元剤となる金属と共存できるものが必要となり、私は CaCl_2 や MgCl_2 などの熔融塩を多くの研究で利用してきた。

CaCl_2 の熔融塩は、高温で化学的に安定なだけでなく、酸化イオン(O^{2-})を多量に溶解できるという優れた特徴を有している。京大の大学院生のときには、この特徴を利用して「カルシウム-ハライドフラックス脱酸法」や「電気化学的脱酸法」を開発し、100 ppmO を下回る極低酸素濃度の超高純度チタンを製造する新技術を開発した。

東北大に在籍中には、レアメタルの還元反応における「導電体を介した反応 (EMR)」に関する研究を行なった⁽²⁾。この研究は、熔融塩と金属の間の電気化学的な反応を解析し、また、EMR を積極的に制御して高純度のレアメタルを製造する新しいタイプの還元プロセスの開発研究であった。

東大に移ってからは、熔融塩をフラックス(反応助剤)として利用する「プリフォーム還元法」を開発した。チタンやニオブなどのレアメタル粉末を製造する新しいプロセスの開発や⁽³⁾、希土類合金スクラップのリサイクル⁽⁴⁾、チタン鉱石からの脱鉄プロセスをはじめとする選択塩化に関する研究⁽⁵⁾にも様々な熔融塩を利用した。

さらに、貴金属の精錬やリサイクル技術にも熔融塩を応用した。一例をあげると、水溶液に貴金属を溶解する前に、熔融塩を反応媒体として利用し、貴金属をあらかじめ酸化する手法の開発⁽⁶⁾である。スクラップ中の貴金属を予め酸化しておく、強力な酸化剤を含む酸を使わなくとも、塩水や水で貴金属を容易に水溶液中に溶解することができる。

このプロセスは、一部の熔融塩が室温で凝固後に水によく溶けることを利用している。一連の環境調和型精錬プロセスの開発を通じて、多くの賞をいただいた。

最近、 MgCl_2 と YCl_3 の混合熔融塩を利用し、 YOCl などのオキシハライドの生成反応を利用するチタンの精錬やリサイクルを行う研究に取り組んでいる⁽⁷⁾⁽⁸⁾。熔融塩と反応生成物の熱力学的な性質をうまく利用して、新しいタイプの高温反応を導入したプロセス設計が、いまや私のライフワークの一つとなっている。

このように、レアメタルの製・精錬、リサイクル技術には、多種多様な熔融塩が利用されている。熔融塩がなければ、私の研究の多くは成り立たない。私は各所を転々としながらアカデミアでのキャリアを形成したが、研究成果を挙げる上で熔融塩が果たした役割には極めて大きなものがあった。

これからもレアメタルの製錬やリサイクル技術の研究を続けるため、素晴らしい特徴と魅力に満ちた熔融塩との付き合いは、まだまだつきそうである。

熔融塩に感謝！

関連文献：

- (1) 岡部 徹: '熔融塩を利用するレアメタルの製錬・リサイクル技術の開発', 熔融塩および高温化学, vol.60, no.1 (2017) pp.3-7.
- (2) 岡部 徹, 朴 日, 早稲田 嘉夫: 'レアメタルの金属熱還元反応～電子の移動経路と反応メカニズム～', 熔融塩および高温化学, vol.41, no.2 (1998) pp.213-225.
- (3) 岡部 徹: 'レアメタル製錬の最近の話題', 熔融塩および高温化学, vol. 46, no. 3 (2003) pp.196-210.
- (4) 白山 栄, 岡部 徹: '希土類合金磁石の現状と乾式リサイクル技術', 熔融塩および高温化学, vol.52, no.2 (2009) pp.71-82.
- (5) 岡部 徹, 姜 正信: '高温における酸化物の塩化反応に関する熱力学的考察', 熔融塩および高温化学, vol.56, no.1 (2013) pp.15-26.
- (6) C. Horike, K. Morita, and T. H. Okabe: 'Effective Dissolution of Platinum by Using Chloride Salts in Recovery Process', Metall. Mater. Trans. B, vol.43B, no.6, (2012), pp.1300-1307.
- (7) T. H. Okabe, Chenyi Zheng, and Yu-ki Taninouchi: 'Thermodynamic Considerations of Direct Oxygen Removal from Titanium by Utilizing the Deoxidation Capability of Rare-Earth Metals', Metall. Mater. Trans. B, vol. 49, no. 3, (2018), pp.1056-1066.
- (8) T. H. Okabe, Yu-ki Taninouchi, and Chenyi Zheng: 'Thermodynamic Analysis of Deoxidation of Titanium Through the Formation of Rare-Earth Oxyfluorides', Metall. Mater. Trans. B, vol. 49, no. 6, (2018), pp. 3107-3117.

(本会委員・副委員長)