

基調講演 I 「希少金属資源：世界の現状と日本の課題」

東京大学 生産技術研究所 准教授 岡部 徹

1. はじめに

レアメタルとは、“希少金属”や“特殊金属”という意味で広く一般に受けとめられているが、資源的には必ずしも“レア”な金属であるとは限らない。レアメタルの定義は、図1(a)に示すように、鉄やアルミニウム、銅、鉛、亜鉛などのコモンメタル（汎用金属、ベースメタル）を除いた金属の総称である。貴金属やインジウム、タンタルのような資源的に希少なものから、チタンやシリコンなどのように資源的には豊富なものまで、レアメタルの種類は多岐にわたる^{1,2)}。解釈の仕方や時代とともにレアメタルの分類や定義は大きく変化するため、対象となる元素を一義的に定義できない。純度や用途によってもレアメタルとなる場合やその範疇から外れる場合もある。

レアメタルは、用途についても多様であり、その分類方法は千差万別である²⁾。図1(b)は、普段、周期表を目にすることがない一般の人々に対し、筆者が説明に利用している用途別のレアメタルの分類法の一例である。これまでレアメタルは、主に電子材料や磁性材料として利用され、製品中の部品の素材として利用されてきたため、通常の生活では直接目にすることがなく、馴染みの薄い元素であった。しかし、デジタル機器の高性能化と普及に伴ってレアメタルの用途が拡大した結果、「①電子材料用レアメタル」の中には価格が高騰し、供給不安が生じるものも多くなり、最近では、メディアに登場して一般の話題となるレアメタルも多い。

一方、タングステンやコバルトなどのように、電子材料としてではなく、工具材料や特殊鋼の基幹素材としても不可欠なレアメタルも数多くある。また、バナジウムやニオブなどのように、鉄鋼材料の添加用の合金元素としての需要が大きいものもある。鉄鋼やアルミニウム合金の生産量に比して、レアメタルの使用量は微々たるものである。しかし、鉄鋼関係に利用される「②合金用レアメタル」は、他のレアメタルと比較して桁違いに消費量が多いことも特徴のひとつである。

電子機器や自動車などの付加価値が大きい工業製品の高性能化に伴い、図1(b)に示す「①電子材料用レアメタル」や「②合金用レアメタル」の需要はこの20年間で飛躍的に増大した。今後もこれらのレアメタルの重要性はさらに増大するため、レアメタルの用途や生産量は一層拡大するであろう。

最近では、航空関連産業の発展に伴い、航空機などの構造材として使用されるチタン合金やニッケル基超合金といった「③空飛ぶレアメタル」の需要も急増している。チタンは、資源的にはほぼ無尽蔵であるため、技術革新が進めば、さらにチタンの生産量は増大するであろう。しかし、タービンブレードに利用されるレニウムや白金族金属など、資源的に希少で大幅な増産が困難なレアメタルの供給動向は筆者の気がかりの一つである。

将来、ハイブリッド自動車や燃料電池自動車が増産されるようになると、高出力モータや自動車の排ガス浄化触媒の需要が大幅に拡大する。このため、高出力モータの磁石に使用されるレアアース（希土類元素）や触媒に使用される白金族金属などの「④走るレアメタル」の需要は、前述の「③空飛ぶレアメタル」以上に増大する可能性が高い。自動車の高性能化・高機能化が進めば「④走るレアメタル」の需要が飛躍的に増大するため、自動車産業の発展のスピードによって

は、レアメタルの需給バランスが大きく変化する可能性が高い。

豊かな生活には必須である「①電子材料用レアメタル」や「②合金用レアメタル」の需要は、BRICs諸国の経済発展に伴い、今後も増大するのは確実である。同時に、「③空飛ぶレアメタル」や「④走るレアメタル」の需要も、現在の技術革新のペース、さらには先進国以外の国々の生活レベルの向上を考えると、急速に拡大する可能性がある。将来的には、「⑤原子力レアメタル」や「⑥医療・生体用レアメタル」の消費量も増大するであろう。

(a) レアメタルの定義：鉄やアルミニウム、銅、鉛、亜鉛などの コモンメタル(汎用金属、ベースメタル)を除いた金属の総称

- ① 資源的に希少な金属（賦存量が少ない元素）
→白金族金属（PGM: Pt, Rh, Pd）、インジウム（In）、
ガリウム（Ga）、タンタル（Ta）、ジスプロシウム（Dy）、…
- ② 資源的に豊富でも、メタルを得るのが困難な金属
→チタン（Ti）、シリコン（Si）、マグネシウム（Mg）、…
- ③ 資源的に豊富でも、鉱石の品位が低い金属
→バナジウム（V）、スカンジウム（Sc）、…

(b) レアメタルの用途別の分類

- ① 電子材料用レアメタル（デジタル素材用レアメタル）
→半導体（Si, Ge, Ga, As, …）
→磁性材料（Nd, Dy, Sm, Co, …）
→各種電子材料（In, Ta, Li, Ba, Sr, …）
- ② 合金用レアメタル
→工具用特殊合金（W, Co, Ta, …）
→鉄鋼添加用（V, Cr, Mo, Nb, …）
- ③ 航空・宇宙材料用レアメタル（空飛ぶレアメタル）
→航空機材料（Ti, Ni基超合金, Re, PGMs, Al-Sc合金, …）
- ④ 自動車用レアメタル（走るレアメタル）
→合金添加元素（Mo, V, Nb, Ti, …）
→磁石材料（Nd, Dy, Sm, Co, Pr, Tb, …）
→触媒（Pt, Pd, Rh, …）
- ⑤ 原子力レアメタル
→原子炉用材料（Zr, Hf, 特殊合金, …）
→放射性廃棄物（PGMs, …）
- ⑥ 医療・生体用レアメタル、その他
→生体材料（Ti, Nb, Ta, Pd, …）
→医薬品・健康食品

図1 レアメタルの定義と用途. これまでは、「電子材料用」、「合金用」のレアメタルに加え、航空機材料用の「空飛ぶレアメタル」が主な需要であった。今後は、「走るレアメタル」の需要が大幅に増大する。

2. レアメタルの新規プロセス技術やリサイクル技術の開発の重要性について

上述の状況を考えると、レアメタルの用途および需要は、今後も拡大の一途を辿ることが予想される。このため、レアメタルに関連する産業は大きな発展が期待されるが、その一方で不安要素も多い。その主な要因は、レアメタルの多くは鉱石の産出国が特定の国や地域に偏っており、生産国と消費国が異なることである。経済性の高いレアメタル資源の偏在性が極めて大きいという現実、資源ナショナリズムが台頭する主たる要因ともなり、政治的、経済的な思惑により供給メカニズムや価格が変動する。また、鉱山事故やストライキ、環境汚染などが引き金となって一部のレアメタルについては供給障害が生じる可能性も高い。

レアメタルの生産には多大なエネルギーを消費し、採掘や製錬によって地球環境を破壊するものも多いため、経済的な合理性のみを追求し、需要に応じて増産し続けられれば良いとも限らない。このような背景から、レアメタルをリサイクルして有効に循環利用することの重要性は論をまたない。本講演では、レアメタルの世界の現状と日本の課題、とくにレアメタルのリサイクル全般に関わる問題について、幾つかのレアメタルを例にとって、その特徴や問題点などについて概説する。

日本はレアメタルの生産大国であると同時に消費大国でもある。今や国内には製品やスクラップという形で、膨大な量のレアメタルが蓄積されている。レアメタルを含む廃棄物は、見方を変えると貴重な資源である^{3,4)}。廃棄物に含まれるレアメタルを効率良く回収する技術は、“現代の錬金術”ともいわれている。ハイテク機器や新素材が開発されるたびに、レアメタル素材の新規用途が生まれるため、新たなプロセス技術やリサイクル技術の開発が必要となる。

図1に示したレアメタルは、それぞれ用途によって濃度や量、共存する元素、使用形態が大きく異なるため、リサイクルについてまとめて論じることができない。本講演では、液晶パネルなどの透明電極の素材として不可欠なインジウム（I n）、高出力モータの基幹素材として需要が増大しているネオジム（N d）およびジスプロシウム（D y）、自動車用の触媒や各種電子機器の電極材料として不可欠な白金族金属（P G M s）などのレアメタルを例に、リサイクルの現状やプロセスの特徴について、最近の話題とともに概説する。レアメタルのリサイクルの基本的な考え方については、中村による最近の解説を参照されたい⁴⁾。

新発見や新発明、技術革新による新たな需要の発現により、20年前にはほとんど需要が無かったレアメタル元素やその化合物の需要が急増し、短期間の間に巨大な市場を形成することが起こるのもレアメタルの特徴の一つである。別の見方をすれば、20年後には、技術革新や代替材料の開発により現在の用途が無くなるレアメタルも幾つかあるであろう。また、今後多量に消費されるであろう「空飛ぶレアメタル」や「走るレアメタル」については、10年以上の年月を経過してから、再びスクラップとして回収される可能性が高いことも重要なポイントである。

日本はこれまで、高品質のレアメタルを、より低いコストで製造する技術開発力で世界をリードしてきた。今後はこれらの先端技術に加え、採掘や製錬による地球の環境負荷をより低減させる環境技術、使用量の低減や代替材料の開発、さらには新たなリサイクル技術の開発などが必要である。スクラップから有価なレアメタルを効率良く回収する技術の開発は特に重要であるが、用途や供給量がダイナミックに変化するため、一義的な解決策は存在しない。レアメタルのリサイクル技術は、今後は環境保全という視点からだけでなく、資源セキュリティという視点からも重要な戦略技術として開発するべきである。

3. 資源セキュリティに関する日本の課題

現在、日本では幾つかのレアメタルの備蓄が行われている。政策備蓄のレアメタルはニッケル、クロム、タングステン、コバルト、モリブデン、マンガン、バナジウムの合計7品目である。これらのレアメタルは、図1(b)に示す「②合金用レアメタル」として、ステンレス鋼などの添加元素として不可欠な元素であり、戦争などの有事を考えると備蓄の意味がある。しかし、現在のステンレス鋼の産業とその関連産業の規模を考えると、備蓄量が少ない。また、図1からも明らかであるように、日本のレアメタル備蓄は、現在の産業構造や需要を考慮するとアンバランスである。国策として実効性の高い備蓄を行う場合は、備蓄の品目や量についても、現産業の情勢や将来おこりうる供給障害を考慮して再検討するべきである。

筆者の考えでは、現在の政策備蓄のレアメタルよりも、資源が偏在しているレアメタル、特定の国や企業によって鉱山が支配されているレアメタル、さらには生産量の急激な増大が不可能なレアメタルを重点に備蓄するべきである。具体的にはニオブ、タンタル、インジウム、ガリウム、希土類金属（ネオジム、ジスプロシウム、サマリウムなど）、白金、ロジウム、イリジウム、ルテニウムなどのレアメタルを確保するのが有効である。また、備蓄を行う場合、市場に影響力を及ぼせるような、十分な量の備蓄を行うべきである。チタンやマグネシウムは資源的な問題が少ないが、将来においても必ず多量に使用されるレアメタルである。在庫が膨れ上がって、市場価格が下がったときを見計らい、多様な手法で備蓄しておくことは国益からも有効な政策だろう。

いま現在は素材ブームのあおりを受け、ほとんどのレアメタルの価格が高騰しているので、備蓄を行うタイミングではない。しかし、ブームに目をつけた鉱山開発や製錬所の拡充が進めば、価格が下がる可能性が大きい。10年、20年という長いスパンで我が国がおかれる状況を多角的に考え、レアメタルを国家戦略の一環として備蓄するのは、国益からも意味がある。

日本のレアメタル資源の確保に対する現在の取り組みは、欧米に比べて大きく出遅れている。長期的な立場で、官民が連携して、地球上に偏在する優良な鉱山への投資をより推し進めるべきである。レアメタル資源の開発については、資源保有国の政治不安などのカントリーリスクも考慮する必要があるが、このリスクが低いと思われる国の優良鉱山に対しては、鉱山開発への経営に積極的に関与するべきである。優良な鉱山の権益確保は、備蓄と同等以上の意義がある。

レアメタルの資源政策については、国境や単年度の国家予算の制約などに縛られていては、欧米諸国と互して資源獲得競争を戦うことはできない。“島国日本”的な視点にとらわれることなく、20年以上先を見据えたグローバルな視点から、国益と世界に対する貢献を念頭に戦略的に進めるべきである。

4. おわりに

日本はこれまで、高品質のレアメタルを、より低いコストで製造する技術開発力で、世界をリードしてきた。今後はこれらの先端技術に加え、採掘や製錬による地球の環境負荷をより低減させる環境技術、使用量の低減や代替材料の開発、さらにはリサイクル技術開発などが必要である。

スクラップから有価なレアメタルを効率良く回収する技術の開発は特に重要である。これらは環境保全のみならず、資源セキュリティからも重要な技術となる。これらのレアメタルプロセスの技術を高めれば、地球環境の保全という観点からも世界へのさらなる貢献になるであろう。(図2参照)。

資源を持たない日本は、質の高い“人的資源”を活用して、レアメタルのプロセス技術を高め、富を生産すると同時に、世界へ貢献する必要がある。このためには、これらの産業を担う良質な

人材の育成は重要な課題である。産業界、行政、大学などが連携して優秀な人材の育成を行い、レアメタルに関する高度な技術開発を続ける必要がある。今後も、日本は世界に冠たるレアメタルの生産大国、リサイクル技術の“超”大国として世界をリードし続けることを願って止まない。

■ハイテク機器のスクラップには、レアメタルが蓄積されている
→廃棄物は貴重なレアメタル資源

■レアメタルのリサイクル技術は、現代の錬金術
→地球環境の保全、“資源セキュリティ”上も重要

日本の課題

■高品質のレアメタルを、より低いコストで製造する
新技術の開発に加え、今後は、

- ・地球環境への負荷を低減する環境技術、
- ・使用量の低減や代替材料の開発、
- ・効率の良いリサイクル技術の開発
が重要となる



レアメタルの環境調和型
リサイクル技術の開発は重要

■優良鉱山への投資・権益確保と
レアメタル備蓄の新しい仕組み作りが必要である

■質の高い“人的資源の育成”は特に重要な課題である

図2 レアメタルについての日本の課題。

参考文献

- 1) '世界 鉱物資源データブック 第2版' (ISBN:4-274-20240-2): 資源・素材学会 資源経済部門委員会, 東京大学生産技術研究所 共編, オーム社 (2007) 全 852 頁.
- 2) 'レアメタル辞典', 堂山 昌男 監修, フジ・テクノシステム/日本工業技術振興協会編集, 東京, (1991).
- 3) 'リサイクルの百科事典' (ISBN:4-621-04956-9), 安井 至ほか 編集, 丸善株式会社, 東京, (2002).
- 4) '貴金属・レアメタルのリサイクル技術集成 ～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～' (ISBN:978-4-86043-147-1), 株式会社エヌ・ティー・エス, 東京, (2007) 全 600 頁.

著者の最近の解説論文(参考)

1. 岡部 徹: 'チタンの新製錬法', 軽金属, vol.56, no.11 (2005) pp.537-543.
2. 岡部 徹: 'レアメタルの製造プロセス', OHM [オーム社], vol.93, no.4 (2006) pp.37-41.
3. 岡部 徹: '白金族金属の歴史や用途、現状と将来について', 金属, vol.76, no.9 (2006) pp.980-984.
4. 岡部 徹: '電気と技術の塊: 金属チタンの製造法', 電気学会誌, vol.126, no.12 (2006) pp.801-805.
5. 岡部 徹: '希土類金属の製造技術とリサイクル', 金属, vol.77, no.6 (2007) pp.598-604.
6. 岡部 徹: '白金族金属の現状とリサイクル技術', まてりあ (日本金属学会会報), vol.46, no.8 (2007) pp.522-529.
7. 岡部 徹: 'レアメタルの実情と日本の課題', 工業材料, vol.55, no.8 (2007) pp.18-25.
8. 岡部 徹, 大井 泰史: 'チタン製錬技術の新展開', 金属, vol.77, no.11 (2007) pp.57-61.

講演要旨集

我が国材料技術の新展開 ～不足資源問題解決に向けて～ 元素戦略／希少金属代替材料開発 <第2回シンポジウム>

日時：
平成 20 年 1 月 23 日（水）

会場：
東京大学 武田先端知ビル 武田ホール

主催：
元素戦略／希少金属代替材料開発
合同戦略会議

我が国材料技術の新展開 ～不足資源問題解決に向けて～

元素戦略／希少金属代替材料開発 <第2回シンポジウム>

環境と経済を両立する持続可能な社会を実現するうえで、資源問題は我が国が直面する大きな課題である。なかでも近年レアメタルの重要性が注目を集めているが、この代替及び使用量低減技術の開発は最も期待されている解決策のひとつであり、我が国としての国家的な取り組みが急務とされている。

合同戦略会議は、内閣府、文部科学省、経済産業省が、府省連携して取り組む研究開発に対し、国全体の戦略を議論し方向性を定める場であり、本シンポジウムはその一環として開催するものである。第2回目の今回は、「希少資源問題の現状」および「元素戦略プロジェクト／希少金属代替材料開発プロジェクトの進捗状況」等について広く一般に周知することにより、日本の先端技術・産業を支える学協会や産業界の叡智を結集したさらなる取り組みを加速することを目的とする。

元素戦略／希少金属代替材料開発 合同戦略会議

議長	岸 輝雄	(独) 物質・材料研究機構 理事長
委員	石垣 尚幸	日立金属 (株) NEOMAX カンパニー 技師長
委員	井上 明久	東北大学 総長
委員	太田 賢司	シャープ (株) 代表取締役専務
委員	北澤 宏一	(独) 科学技術振興機構 理事長
委員	逆瀬川敏夫	(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 理事
委員	前田 正史	東京大学 生産技術研究所 所長

日 時 平成 20 年 1 月 23 日 (水) 13 : 00～17 : 30

会 場 東京大学 武田先端知ビル 武田ホール

主 催 元素戦略／希少金属代替材料開発 合同戦略会議

共 催 内閣府、文部科学省、経済産業省

(独) 科学技術振興機構、(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構

後 援 (独) 物質・材料研究機構、(独) 理化学研究所、(独) 産業技術総合研究所、

(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構、

(社) 応用物理学会、(社) 日本化学会、(社) 日本金属学会、

(社) 日本鉄鋼協会、(社) 日本セラミックス協会

プログラム

(13:00)

開会の挨拶

内閣府総合科学技術会議 議員 奥村 直樹

(13:05)

趣旨説明 1

(独)物質・材料研究機構 理事長

合同戦略会議 議長 岸 輝雄

○セッション 1

(13:10)

基調講演 I 「希少金属資源：世界の現状と日本の課題」 2

東京大学 生産技術研究所 准教授 岡部 徹

(13:45)

経済産業省における希少金属代替材料開発プロジェクトの検討経緯 3

経済産業省 製造産業局非鉄金属課 課長／ファインセラミックス室 室長／

ナノテクノロジー・材料戦略室 室長 岩野 宏

文部科学省における元素戦略プロジェクトの検討経緯 4

文部科学省 研究振興局基礎基盤研究課

ナノテクノロジー・材料開発推進室 室長 高橋 雅之

(14:00)

代表的な研究開発の概要紹介 5

1) 元素戦略プロジェクト

2) 希少金属代替材料開発プロジェクト

○ポスターセッション (14:40～15:20)

○セッション 2

(15:20)

基調講演Ⅱ「希少金属をめぐる産業界の現状と期待」…………… 8

日経B P 社 編集委員 丸山 正明

(16:00)

パネルディスカッション

「資源問題解決の決定打となる革新的材料開発への期待と展望」…………… 9

○コーディネータ

東京大学 生産技術研究所 所長

前田 正史

○メンバー

東京大学 准教授

岡部 徹

日経B P 社 編集委員

丸山 正明

東北大学 教授

杉本 諭

神奈川科学技術アカデミー/東京大学 教授

長谷川 哲也

山梨大学 准教授

和田 智志

住友電気工業株式会社 技師長

池ヶ谷 明彦

シャープ株式会社 ディスプレイ技術企画室 室長

金森 謙

トヨタ自動車株式会社 常務役員

鈴木 茂樹

(17:25)

閉会の挨拶

(独)物質・材料研究機構 理事長

合同戦略会議 議長

岸 輝雄