

レアメタル 安定供給への道

一部でレアメタルの輸出を抑制する動きも出ており、資源に乏しい我が国への安定供給が懸念されている。深刻な事態を受けて代替材料の開発プロジェクトが立ち上がるなど、供給不安へ向けた対策が始まっている。

高まるレアメタルの供給不安

今日、レアメタルは製品の高機能化、高品質化に欠かせない素材のひとつである。レアメタルの添加により材料の耐熱性や耐食性、磁気特性などが向上し、その高機能な材料を生かした製品づくりによって、我が国は国際競争力を獲得してきた。例えば世界で市場を拡大している日本車には、マンガン、モリブデン

*BRICs諸国:経済発展が著しいブラジル、ロシア、インド、中国の総称

レアメタル31種

希土類 (17元素) は
1種類とカウント

La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu

ニオブ、チタン等が添加された高張力鋼が多用されている。その自動車の部品加工に用いられる超硬工具はタングステンが主原料である。ハイブリッド車の駆動モーターに使用されるネオジム磁石は、高い磁気特性((BH)max)から多分野において製品の小型化に貢献している。また自動車の排ガス浄化の触媒には白金が使用されており、白金は燃料電池の触媒にも不可欠となっている。自動車の他にも、パソコンや薄型テレビなどの液晶の透明電極にはインジウムが使用されている。最近の携帯電話機やデジタルカメラ、DVDレコーダーなどの情報機器に

はレアメタルが多用されており、もはやレアメタルなしには作れない製品もある。それゆえ、レアメタルは産業のビタミンともアキレス腱とも表現されている。

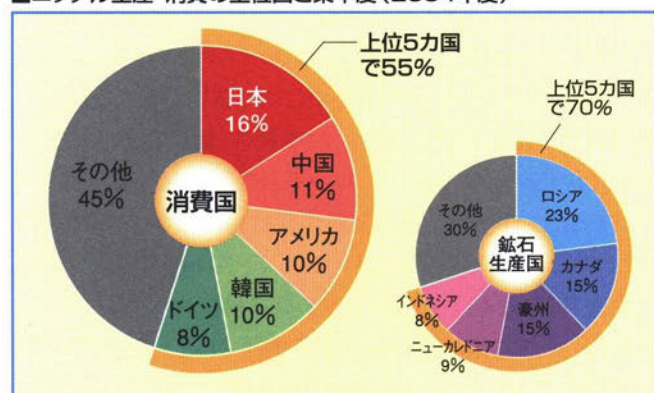
このような高機能・高性能製品を得意とする我が国は、世界最大のレアメタル消費国である。インジウムやコバルト、ニッケルは世界第1位の消費量となっており、特にインジウムは世界の60%以上を我が国が消費している。

しかし近年、中国をはじめとしたBRICs諸国の経済発展に伴い、世界的にレアメタルの需要が拡大している。特定の供給国に対する依存度が高いレアメタルは過去にも価格変動があったが、それは供給国の紛争やストライキなどの一時的なものが多かった。これに対し、今回は経済発展に伴う需要増と、これに一部投機的な売買が加わり価格が上昇している。今後もBRICs諸国等の経済発展は拡大することが見込まれており、中長期的な安定供給に対する懸念が広がっている。

■ニッケル地金の価格推移 (LME; London Metal Exchange)



■ニッケル生産・消費の上位国と集中度 (2004年度)



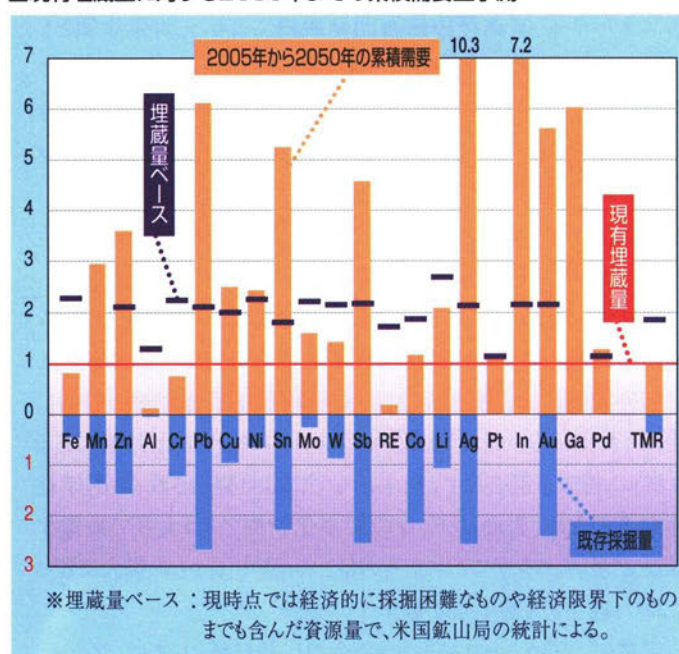
供給国から消費国に変貌する中国の影響

レアメタルの資源の多くは特定の国に偏在し、供給国の政策により生産・輸出の影響を受けやすい。特に希土類やタングステンでは中国で独占的に産出され、世界に供給されている。

近年、中国国内では、レアメタルの需要が高まっている。超硬工具、特殊鋼の生産が大きく伸び、タングステンの需要が急増している。現在、タングステンの国別需要割合で中国は世界の45%以上を占め、第1位だ。また希土類は従来、粗製原料で輸出していたが最近は中間原料にまで加工して供給するようになっており、さらに希土類磁石の製造技術も向上しつつある。そのため希土類の国別需要割合で中国は世界の35%を占め、第1位となっている。

最近、中国では自国内の資源を有効活用し、国内の産業を優先的に発展させていこうとする動きが出てきている。希土類、タングステン等を国家保護性鉱種に指定し、選鉱、製錬、加工、販売・輸出において許可制による国家管理を実施している。2002年には外国企業の希土類鉱山への投資を禁止した。また、これまで中国は鉱物資源の輸出を奨励していたため、付加価値税の一種である増値税を輸出時に還付していたが、この還付率を段階的に低減(または廃止)している。また輸出許可量も抑制しており、さらには輸出税を課す動きも出ており、統制範囲が拡大している。

■現有埋蔵量に対する2050年までの累積需要予測



供給不安対策へ動き出したプロジェクト

資源に乏しい我が国では、1983年度からニッケル、クロム、タングステン、コバルト、モリブデン、マンガン、バナジウムの備蓄を行っているが、近年の価格高騰を受けて、備蓄からの売却・放出が高い頻度で行われている。備蓄の補充は価格が低下した際に行われるが、価格が下がらないため補充は行われていない状況という。

レアメタルの供給不安が広がるなか、政府や産業界は対策に乗り出している。最近では文部科学省が「元素戦略プロジェクト」を、経済産業省が「希少金属代替材料開発プロジェクト」をそれぞれ立ち上げた。両省は共同で研究委託先を公募するなど、このような連携は画期的で、話題となった。本会でも、材料系学会などで構成する材料戦略委員会を通じて、二つのプロジェクトに積極的に対応している。

二つのプロジェクトの目的は異なり、元素戦略プロジェクト(文科省)は、長期的な取り組みで代替元素を見出すための基礎的・基盤的研究を行う。これまでレアメタルは材料の高機能化に利用されてきたが、それがレアメタルのどのような特性に起因するかという系統的な学術研究はあまり行われてこなかった。このプロジェクトでは、物質・材料の機能や特性の発現機構を明らかにすることで、レアメタルの代替や減量に臨む。

一方、希少金属代替材料開発プロジェクト(経産省)は、代替要請の高いレアメタル3種に対象を絞り、材料の最適設計技術や構造最適化技術、製造プロセス技術などを活用し、5年間で使用量の大幅低減を目標としている。プロジェクトの運営を行う(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構によると、対象金属としては、各種レアメタルの供給、価格、需要、リサイクル、潜在リスク等を評価し、さらに供給国の治安や政情等のカントリーリスクと今後の需要動向を検討し、最終的にタングステン、インジウム、ディスプレイウムが選定された。プロジェクトが終了する2011年度には、現状の使用量からタングステンを30%以上、インジウムを50%以上、ディスプレイウムを30%以上低減する目標を掲げている。

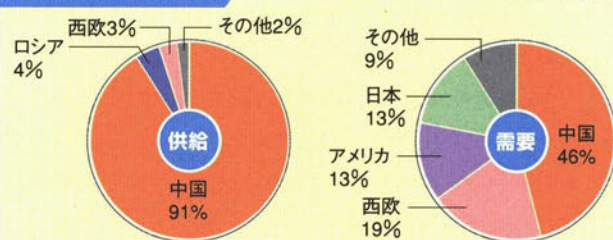
プロジェクトの対象に選定された金属のなかでもタングステンは鉄鋼材料と関わりが深く、超硬工具に不可欠な金属である。

超硬工具には、炭化タングステン-コバルト系合金が一般的に使用されている。これは炭化タングステンに靱性向上効果のあるコバルト粉末を混合して、粉末冶金法により製造される。耐摩耗性向上のため、表面はチタンの炭窒化物やアルミナ等で被覆することが多い。タングステンは、そのほとんどを中国からの輸入に頼っており、近年、供給不安が高まっている。

炭化タングステン-コバルト系合金の代替材料としては、サーメッ

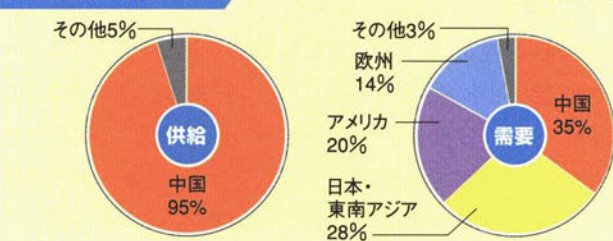
タングステン需給の現状

(H16年世界市場)



希土類需給の現状

(H15年世界市場)



(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構資料より

■レアメタル国家備蓄状況

価格高騰を受けて、いくつかのレアメタルの放出・売却が行われている。最近行われた売却の内容は、ニッケル地金が863t、フェロニッケルが6,443t、モリブデンが415t、フェロマンガンが15,000t、フェロバナジウムが160t、タングステンが117t売却されている。近年では、新たにインジウムや希土類、白金などが備蓄対象の候補に挙がり、検討が進められている。

2007年3月末現在

備蓄鋼種	備蓄総量 (t)	備蓄日数 (日)
ニッケル	9,753	21.0
フェロクロム	68,596	30.4
タングステン	293	21.2
コバルト	145	24.2
モリブデン	886	21.0
フェロマンガン	32,665	31.8
フェロバナジウム	326	21.4
平均備蓄日数		24.4



資料提供: (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構

ト(炭化チタン-ニッケル系合金等)、セラミックス、焼結ダイヤモンド、cBN(立方晶窒化ホウ素)などが挙げられるが、サーメットは炭化タングステン-コバルト系合金に次ぐ靱性を有するものの、現在のところ、高温硬度、靱性、耐摩耗性、耐酸化性等の総合性能で炭化タングステン-コバルト系合金に匹敵する特性を持つ材料はない状況だ。希少金属代替材料開発プロジェクトでは、タングステンの使用量低減を目的として、表面被覆の高性能化、皮膜密着性の向上、コーティング工具母材におけるサーメット置換技術、長寿命化技術等の課題を挙げている。また材料代替を目的として、サーメットの高機能化等の課題を挙げている。

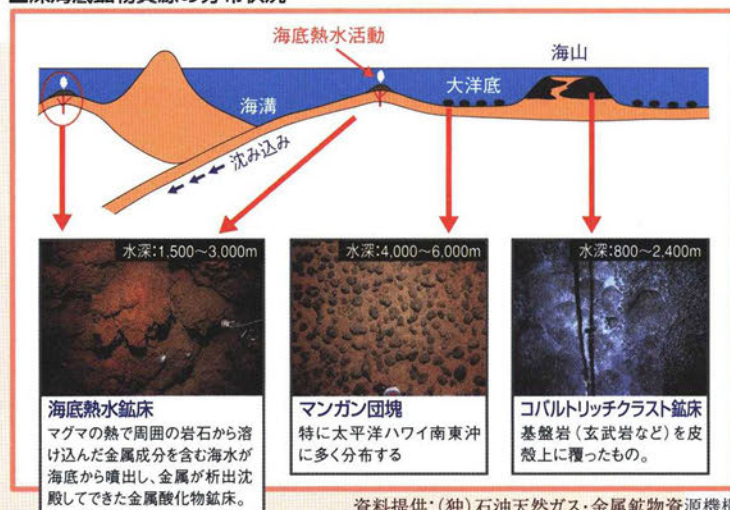
新たな供給源探査の取り組み

レアメタルの供給量減少が予測されるなか、新たな供給源を求めた探査が世界各地で行われている。我が国では(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構の支援により銅や金、ニッケル等の金属資源調査や鉱山開発が行われ、また様々な鉱物資源探査プロジェクトが実施されている。なかでも深海底鉱物資源は、地球上に残された最大の未開発鉱物資源であり、豊富な資源が得られる可能性が高いことから注目されている。

国連海洋法条約において、深海底に眠る資源は人類共同の財産として位置づけられている。深海底にはマンガン、ニッケル、コバルト、鉄、銅等を含む「マンガン団塊」、銅、鉛、亜鉛、金、銀等を含む「海底熱水鉱床」、コバルト、プラチナの品位が高い「コバルトリッチクラスト鉱床」などが存在することが確認されている。

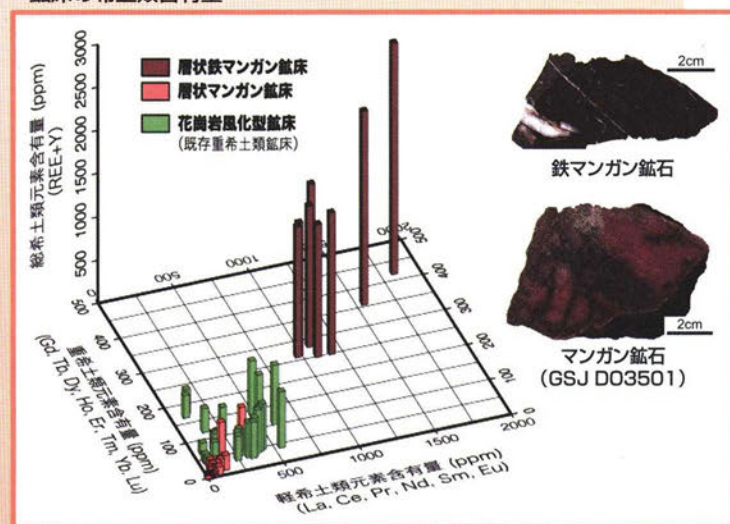
また、レアメタルのなかでもディスプロシウムやテルビウム等の重希土類元素*は、現在そのほとんどが中国の花崗岩風化型鉱床から独占的に生産されており、今後の需要増を考慮し、新たな供給源が強く求められている。先ごろ(独)産業技術総合研究所では重希土類元素に富む層状マンガン鉱床の特徴を把握した。層状マンガン鉱床は、海底での玄武岩の火山活動の際に形成され、その後の地殻変動により陸上に分布したもので、マンガンを中心とするマンガン鉱石と鉄成分に富む鉄マンガン鉱石(鉄、マンガンをそれぞれ30～40%程度含む)に分けられる。これまでの研究で層状マンガン鉱床に重希土類元素を含むものがあることが判明していたため、どの種類の鉱石が希土類に富むかを調べたところ、鉄マンガン鉱石が重希土類元素を多く含み、その含有量は中国の花崗岩風化型鉱床よりも多いことがわかった。一方、鉄成分に乏しいマンガン鉱石中の希土類元素含有量は低い値であった。層状マンガン鉱床は南アフリカ等に広く分布し

■深海底鉱物資源の分布状況



資料提供: (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構

■日本のマンガン鉱石、鉄マンガン鉱石および中国の花崗岩風化型鉱床の希土類含有量



資料提供: (独)産業技術総合研究所

ており、今後はこの地域における鉄マンガン鉱石の調査が行われる予定だ。

* 重希土類元素: 希土類元素のうち、原子番号の比較的小さいランタンからユウロビウムまでを軽希土類元素、比較的大きなガドリニウムからルテチウムまでを重希土類元素と大別する

高耐食性ニッケルフリーステンレス鋼の開発

レアメタルのなかでも、ニッケルはステンレス鋼をはじめとして鉄鋼材料に不可欠な添加元素であるが、近年のニッケルの価格高騰を受けて、特にオーステナイト系ステンレス鋼の価格が上昇し、ニッケルを含まないフェライト系ステンレス鋼に代替するケー

スが増えている。しかし汎用フェライト系(SUS430など)は、オーステナイト系(SUS304など)よりは耐食性、加工性が劣るため、適用範囲が限られていた。そこで、SUS304の代替として耐食性に優れたフェライト系ステンレス鋼の適用が進んでいる。代表的な鋼として、SUS430J1Lの中でも炭素、窒素を低減し少量の銅を添加して耐食性を高めた19Cr-0.4Cu-Nb鋼が挙げられる。同鋼は1980年代前半に開発され、これまで主として自動車の装飾な

どに使用されるモールド材として多量に使用されてきたが、近年ニッケル、モリブデンの高騰を受け、SUS304の代替のニッケル・モリブデンフリー鋼として、厨房機器、家電、建材各種用途に適用され始めている。

また、新たに耐食性を更に向上させたフェライト系ステンレス鋼(21Cr-0.4Cu-Ti鋼)が開発され、製品化が進んでいる。フェライト系ステンレス鋼の耐食性、加工性向上には、不純物である炭素や窒素を低減する必要があるが、製錬技術等によりそれぞれを大幅に低減させ、さらにチタン等を添加し安定化を図り、SUS304、SUS436と同等の耐食性を実現している。

一方、オーステナイト系ステンレスにおいても省ニッケル化の試みがいくなされてきている。近年、中国やインドにおいて生産が伸びているのが、省ニッケル・高マンガンステンレス鋼である。しかし省ニッケル・高マンガンステンレス鋼と通常のクロムニッケル添加ステンレス鋼はいずれも非磁性であるため、スクラップの分別が難しく、混在するとリサイクル時の製鋼工程で成分調整しにくくなる可能性があり、世界的な問題となっている。

一方、積極的な研究が行われているのが高窒素ステンレス鋼である。窒素はありふれた元素であるが、鋼中に固溶することにより高強度で高耐食性の鉄鋼材料が得られることが明らかになっている。さらに窒素はオーステナイト安定化元素であり、窒素の添加によりニッケルを低減したり、さらにはニッケルを全く含まないオーステナイト系ステンレス鋼が可能となるため、実用化が期待されている。

求められる多角的な取り組み

レアメタルの安定確保には、使用済み製品からのレアメタル回収も有効な手段として検討する必要がある。世界最大のレアメタル消費国である我が国には、使用済み製品に豊富な資源が眠っているのだ。

市場に広く出回った製品を回収、選別し、複数の元素が微量添加された材料の成分を分析し、レアメタルを抽出するのは難易度が高く、また大きなコストがかかる。リサイクルの実現には採算性が重要となるため、高価な白金等を除きこれまでリサイクルは難しいとされてきた。例えば現在、抽出が困難な希土類はほとんどリサイクルされていない。レアメタルのリサイクルの本格化はこれからという状況だ。

最近の取り組みでは、液晶の透明電極に使用されるインジウムのリサイクル技術の開発が、一部メーカーにより進められている。これは廃棄液晶パネルを粉碎した後、酸溶解し、インジウムを選択的に回収するもので、今後は検証実験が進められる予定だ。

リサイクルが進んでいるのが触媒などに用いられる白金等やオー

低品位ニッケル鉱の回収技術の開発

フィリピンパラワン島のリオツバ鉱山に隣接して建設されたプラントでは、高圧酸浸出法を採用し低品位のニッケル鉱を処理している。高圧酸浸出法は、低品位鉱を250℃、40気圧の耐圧性容器に入れ、硫酸を加え溶かし、ニッケル溶液から亜鉛を取り除いた後、硫化水素を加える過脱水して、ニッケル・コバルト混合硫化物を生産する。これを日本のニッケル工場で製錬し、純度99.99%のニッケルを生産している。従来、リオツバ鉱山で採掘したニッケル鉱のうち低品位鉱は約20年間にわたり現地に放置されていた。そのため処理の対象となる低品位鉱は約1,600万トンが蓄積されており、約20年分の鉱量がすでに確保されていることになる。現在は、世界の各企業で同回収技術を用いたニッケルプロジェクトが計画されている。



資料提供:住友金属鉱山(株)

ステナイト系ステンレス鋼に使用されるニッケルである。ニッケルは、原料となるフェロニッケルの製錬に大きなエネルギーを要するため、リサイクルのメリットが大きい。また超硬工具に使用されるタングステン等の回収も進められている。タングステンの回収メーカーでは、近年、資源の確保を目指してリサイクル能力の増強を行っている。

リサイクルをはじめとして、限りある資源を今後どう生かしていくかは、多角的な取り組みが重要となる。

鉱山では、価格の高騰を受けて、低品位鉱からの回収技術の開発が進められている。例えば、これまでニッケル品位2%以下の低品位鉱(リモナイト鉱)は放置されていたが、新しい回収技術の確立により低品位鉱からのニッケル生産が可能となっている。この回収技術によって資源調達の手続きが広がるのが期待されている。

レアメタルに限らず様々な金属の消費が拡大し、今後も需要は伸び続けると予測されている。資源に乏しい我が国が大きな課題に直面するなか、今後は一時的な対策ではなく、長期的な視野に立った多角的な取り組みが重要となる。代替材料の開発や回収技術の確立など、今こそ我が国の材料技術による解決が求められているのである。

●取材協力 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、(独)物質・材料研究機構、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構、(独)産業技術総合研究所、住友金属鉱山(株)

●文 杉山香里