

レアメタル・レアアースの今

―鉱種別戦略の必要性―

金属企画部
鉱種戦略チームリーダー

馬場 洋三

1. はじめに

中国経済の成長鈍化などから、多くのレアメタル(レアアースを含む)の価格は2011年央をピークに下落し、最近では落ち着いた動きとなってきている。しかしながら、レアメタルが抱える根本的な供給リスクは何ら変わっておらず、むしろ“新たな資源ナショナリズム”(課税強化、ロイヤルティ引上げ、資源国資本参加など)や“紛争鉱物に係る規制”など、供給リスクは高まっている。日本の産業競争力の維持・発展に欠かせないレアメタルの安定確保を、“喉元過ぎれば熱さ忘れる”ではなく、中長期的視点に立って冷静に考えておく必要があると考える。そこで、資源ブーム、レアメタル・ブームであったこの10年を振り返り、顕在化した予想外の問題も含めて安定供給上の課題を整理した。長期的な視点に立って安定した調達を(調達部門に任せるのではなく、会社の経営方針として)検討される際の

参考になれば幸いである。

なお、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(以下「機構」)では、鉱種毎に「鉱山から最終製品に至るまでのサプライチェーン」全体を通して安定供給を考えることが重要であると再認識し、機構内部の鉱種勉強会を2013年4月に鉱種戦略チームとして正式に発足した。鉱種毎のサプライチェーン上の供給課題を抽出し、抽出された供給課題を解消すべく、機構が持つ探鉱、開発支援、技術開発や備蓄などの機能を総合的・効率的に実施するよう横断的な取組みを始めた。

2013年度は、タングステン、白金族、チタン及び亜鉛について重点的に調査を実施した。調査結果を「鉱種戦略シリーズ」として次号より鉱種毎に報告していくこととする。

レアアースについては、その特異性から次号で報告する。

表1. 産業分野と主に使用されるレアメタル

産業分野	構成部品	構成材料	使用される主要なレアメタル
製鋼業	普通鋼		Mn
	特殊鋼(ステンレス等)		Ni、Cr、Mn、Mo、Nb、Ti
	スーパーアロイ		Ni、Cr、Co、Mo
自動車(既存)	部品、金型、工具	普通鋼、特殊鋼、アルミ合金	Ni、Cr、Mn、W、Co、Mo、V、Mg、Nb
	排気ガス浄化触媒	触媒、助触媒	Pt、Pd、Rh、Ce、La、Zr
自動車(次世代)	モータ、ジェネレータ	ネオジウム磁石	Nd、Dy
	二次電池	正極材、負極材、電解質	Mm、Co、Ni、Mn、Li
電機・電子機器	積層セラミックコンデンサ	誘電体(BaTiO ₃ 、添加材)電極	Ti、Ni、Ho、Dy、Y、Ce、La、Er、Gd
	LED	蛍光体(YAGなど)	Y、Ce、Gd、Sm、Eu
	二次電池(LIBなど)	正極材、負極材、電解質	Mm、Co、Ni、Mn、Li
	モータ	ネオジウム磁石	Nd、Dy
	液晶パネル	透明電極(ITO)、ゲート電極	In、Cr、Ta
航空機	機体、エンジン、機構部品	チタン合金、スーパーアロイ アルミ合金など	Cr、Ni、Mn、Ti、Mo、Nb、Mg、V、Zr
宇宙	ロケット (エンジン、推進薬タンク)	スーパーアロイ、アルミ合金 チタン合金など	Cr、Ni、Mn、Ti、Mo、Nb、Mg、V、Zr
原子力	炉心容器、構造物	炭素鋼、低合金鋼 スーパーアロイ、チタン合金	Cr、Ni、Mn、Ti、Mo
	燃料被覆管	ジルコニウム合金	Zr
超電導(低温)	電送ケーブル	線材	Nb、Ti
ライフサイエンス	生体材料	各種合金、純チタン	Ti、Co、Cr
	歯科材料	パラジウム合金 各種合金	Pd、Pt、In、Co、Cr、Ni、Ti、V、Mo、Nb
ロボット	サーボモータ	ネオジウム磁石	Nd、Dy
	産業用から幅広い産業(介護、農業など)に利用が拡大		

様々な産業で利用(今後、利用が期待)される素材等

燃料電池	次世代自動車など	Sc、Y、Pt、Ta…
超電導(高温)	幅広い産業に利用が期待	Bi、Y
蓄電池	スマートグリッドなど定置用(LIB、NAS電池など)	V、Mm、Co、Ni、Mn、Li
革新型蓄電池	空気電池など活発な技術開発	Zn、Mg…?

(関本(2013.1)に加筆・修正)

2. レアメタルの脆弱な供給構造

レアメタルは、その金属特性(耐熱、耐食、磁性、蛍光等)を活用して鉄鋼分野、電子材料分野、精密加工分野、環境・エネルギー分野など、産業全般で幅広く使用されている。日本経済を支えるハイテク産業において、製品の小型化・軽量化・高機能化及び省エネルギーの諸点で大きく貢献しており、日本の国際競争力の維持・発展に欠かせない素材・製品の材料となっている。

今後も、ハイブリッド電気自動車、電気自動車や燃料電池自動車などの次世代自動車、太陽光発電、風力発電などの新エネルギー分野やスマートグリッド、様々な産業へ波及効果のある高温超電導、ロボット(製造業での利用から介護など様々な分野での利用が広がりつつある)など、低炭素化社会の実現や高齢化社会の到来に向けて、今後もレアメタルの利用は増加していくだろう。

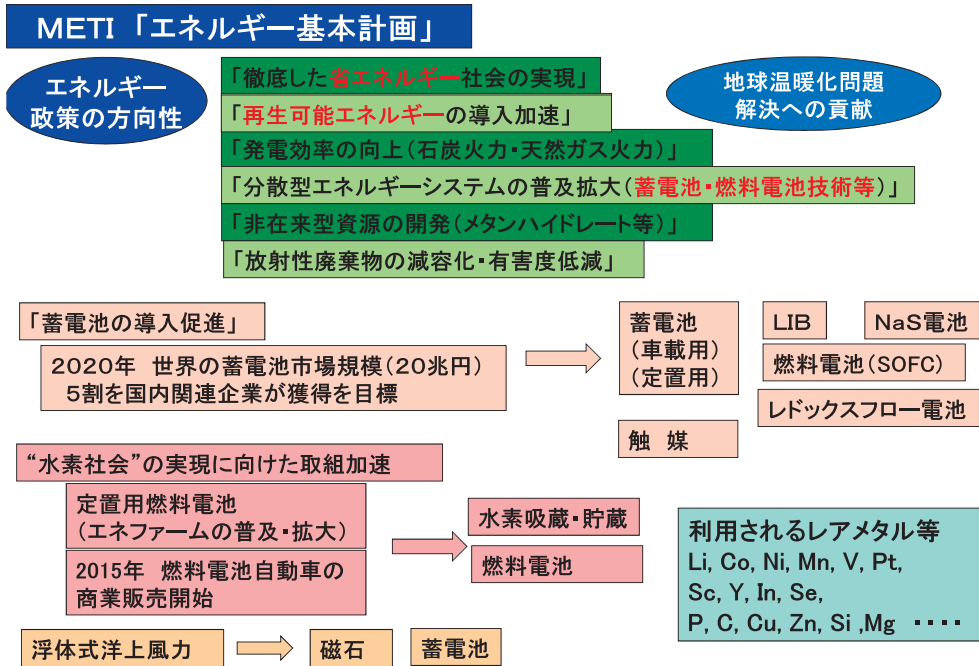


図1. エネルギー基本計画とレアメタル(将来用途の一例)

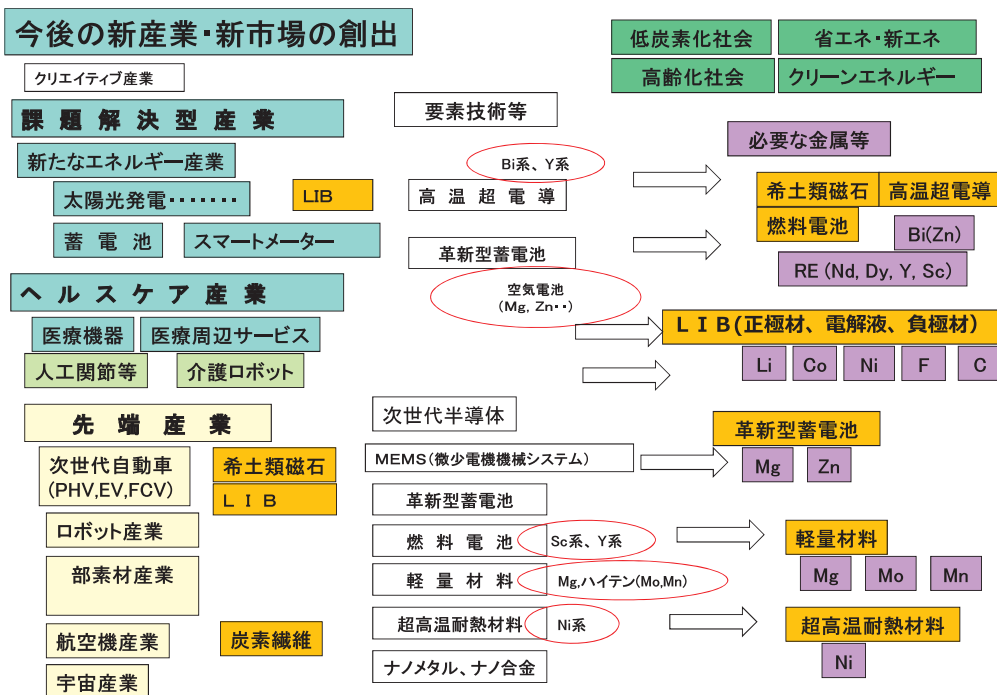


図2. 新産業・新市場の創出に向けて

金属鉱物資源は特異性を有している。一般的に、1) 鉱床賦存の地理的偏在性、2) 特定少数国への生産の集中、3) 資源開発での多大のリスクと長期のリードタイム、4) 減耗資源、5) 国際商品であり投機の対象などが挙げられる。

レアメタル資源では、さらに、6) 極端に一部の資源国に偏在し、生産されている、7) 資源国の国家政策が強く反映される、8) 極めて少数の企業による生産、9) 銅・鉛・亜鉛等の副産物、10) 市場は小規模などの特異性が加えられ、供給構造は脆弱となっている。レアアース、ニオブ、タングステンなど、世界生産の7～9割以上を1か国で生産されるという鉱種も多く、生産国における鉱業政策などが変更されると、これらレアメタルの需給・価格に大きな影響を与えることとなる。さらに、レアメタルの生産規模は、鉄鉱石や銅、亜鉛などのベースメタルと比較すると極めて小規模で、鉄鉱石が約15億t、銅・亜鉛が約1～2千万t(金属量)の年間生産量であるのに対し、レアアースが約12万t、タングステンが約9万t、コバルトが約8万t、インジウムやガリウムなどは数百t程度しかない。このように小規模な生産量しかないレアメタルでは、もともと安価に生産できる(最も経済性ある)少数の企業が生産し、限られた素材メーカーに供給され、素材や部材に加工され産業全般に供給される構造になっており、特有の供給リスクになっている。

3. 顕在化した様々な供給課題

中国を中心としたBRICs諸国の経済発展に伴い、鉄を始めとしてベースメタル、レアメタルの需要は大きく増加した。一般的に、新たな鉱山開発には長期のリードタイムが必要であり、急増する需要に対して即座に供給を増加することは出来ない。また、1～数か国でほぼ生産されているレアメタルは、国家政策の変更による影響を強く受けることになった。特に、レアアース、タングステン、アンチモン、モリブデン、インジウムなど中国が主要な生産国である鉱種は、輸出抑制政策(増値税還付率の引き下げ・撤廃、輸出枠を減少、輸出関税率をアップなど)により大きく影響を受けた。

また、資源国では、資源価格上昇に伴い自国の地下資源から得られる利益を最大限自国に還元させる政策(鉱業関連税やロイヤルティのアップ、高付加価値化など)、また、自国内に産業を興していく政策(殖産、雇用創出など)をとるようになった。

1960～1970年代に鉱山の国有化などに見られた“資源ナショナリズム”とは違った形の“第二次資源ナショナリズム”(資源ポピュリズムと言う人も)が興っている。

この10年を振り返ってみれば、需給関係からの時期のずれはあるもののほとんどのレアメタルの価格は上昇し、レアメタル特有の問題も顕在化したと言える。

以下に、供給問題が顕在化した事例をいくつか示す。

モリブデンは、チリ等の斑岩銅鉱床の副産物として多く生産される。モリブデン精鉱(硫化鉱)を焙焼して三酸化モリブデン(MoO_3)にするが、焙焼設備の不足から酸化モリブデン価格は20\$/kg台から2005年5月には80\$/kg以上まで高騰した。その後、チリ・モリメット社が大幅に焙焼設備を増強したことからやや落ち着いたものの、中国が同年下期から輸出規制を開始したことから、リーマンショックが起こるまで70\$/kg台で推移した。(2014年4月平均価格 約26\$/kg)

ニッケルでは、旺盛なステンレス需要により価格が高騰、2007年5月16日に最高値54,200\$/tをつけLMEによる取引規制が強化され沈静化した。また、2009年7月からValeの労働協約改定に伴い51週間にわたる長期ストライキが起こり、Valeが8割のシェアを有しているニッケル粉(電池、メッキに利用)の調達が大問題となった。最近では、インドネシア鉱業法の改正による鉱石輸出禁止、ウクライナ問題、ニューカレドニアのVale製錬所での廃液流出事故などから、約20,000\$/tを挟んだ値動きになっている。

このように、金属資源一般やレアメタル全般の供給リスクに加え、鉱種毎に種々の供給リスクが内在していることが浮かび上がった。今後の安定した供給を考慮するには、鉱種毎に検討することが必要である。

4. 産業構造変化に伴う日本固有の課題

我が国では、経済発展に伴い産業構造が大きく変化、また、種々の公害問題を引き起こしたことにより、以下のような我が国固有の課題もある。

資源の安定供給を考慮する際には重要な事項である。

<厳しい環境規制>

我が国では高度経済成長期に種々の公害問題を引き起こし、国民生活の向上を目指して諸外国に比較しても厳しい環境規制になっている。

一般的に、地下資源は有用な金属元素のみならず有害な金属元素(ヒ素、水銀、カドミウムなど)を伴うことも多い。レアアース、チタンなどの鉱床には少量ではあるが必ず放射性元素のトリウムやウランが付随してくる。また、精鉱や中間生成物を輸入して、製錬を行うと有用金属以外の不純物が大量のスラグとして発生する。このスラグが骨材等として販売できなければ操業などにも大きな影響を与えることになる。

このため、我が国企業は、極力不純物が少なく品位の高い原料を求めることになり、原料ソースを限られるとともに“ジャパン・プレミアム”として上積みされた価格で購入しなければならないという、諸外国に比較すると厳しい課題もある。

鉱業は、地下から資源を掘り、有用金属を選鉱・製錬している。環境を悪化させないよう資源国の法令を順守し十分な防止対策を講じているが、少なからず大

気、水、土壌を汚染する宿命を背負っている。また、資源国に残渣を残し、有用な金属のみを消費国が利用していることも十分理解しておくべきであろう。
“Not in my back yard”

＜高機能製品―安価で高品質な原料―＞

レアメタルは、その金属特性を活用して高機能製品の材料となっており、機能を阻害する不純物が少ない原料が求められている。金属資源は46億年の地球の歴史の中で生成された。その成因は種々あるが、多くの金属資源はマグマなどで形成された“熱水”により生成された。地殻中にある金属元素が“熱水”に溶解・運搬され、地表近くまで上昇して“ある条件であるところ”に沈殿・濃集される。地殻の平均存在度の数百～数千倍に濃集され、初めて経済的に採掘可能な“鉱床”と呼ばれるものになる。例えば、金の地殻存在度は0.002g/tで、金鉱床の採掘可能品位を5g/tとすれば、2,500倍に濃集されている。正に“地球の恵み”と言える。経済性を有する資源は有限であり、これからも“安く不純物の少ない”資源を簡単に調達できると考えるべきではない。

＜鉱業関連技術の衰退等＞

経済成長・発展に伴い我が国の産業構造も大きく変化し、それに起因する供給上の課題も顕在化している。1985年のプラザ合意以降の円高、諸外国に比べて厳しい環境規制、さらに、電力費が高いことなどから、国内から鉱山がなくなり、レアメタル関連の多くの選鉱・製錬所もなくなり、中間製品を輸入する構造に変化している。当然の結果、鉱業関係(採鉱、選鉱、製錬など)の技術や技術者も少なくなっており、資源産業全般での人材育成も重要となっている。レアメタルの安定的な確保を考える際に、供給源を多様化することが重要であるが、新たに鉱山開発が可能となっても、鉱石・

精鉱は海外の既存の選鉱・製錬所で処理せざるを得ず、また、国内に製錬所が存在しなければ、使用済み製品からのリサイクルを推進する場合に支障をきたすことになる。

＜最終ユーザーの意識＞

レアメタルを利用した最終製品(磁石、自動車触媒、蛍光体、光学ガラス等)は、自動車や電機などの大手企業が使用する。当然のことながら、より安価な部品・部材を調達し製造コストを常に下げる努力をして国際競争力を維持しようとしている。また、自動車会社は、カンバン方式(ジャストインタイム方式)での部品・部材の供給を傘下企業や協力企業に求めており、自らが在庫を持つことはほとんどなく、傘下企業や協力企業に在庫を持たせる構造になっている。

自動車会社は、中越地震でのリケン(株)のピストンリングの問題や東日本大震災による生産中止などを経験し、調達先の分散化などを図っている。この一環で素材・部材の供給企業にBCP(事業継続性)を求めており、素材・部材企業は必要以上の在庫積み増しをせざるを得ないことにも繋がっている。

一方、素材企業や部材企業は、これまで長期にわたり中国などから安価な中間原料を輸入することが出来たことから、ほぼ全面的に中国などに中間原料を依存し部材・部品を製造する構造に変化してしまった。素材企業や部材企業の多くは、売上高が数億円～数百億円程度の中小企業が多く、中国などにほぼ全量を依存するリスクを十分に理解している。しかし、調達先を多様化(価格が高くて)する、通常の適正在庫より多めに持つなど、調達リスクや在庫リスクを全て取る体力がない。

素材、部材、最終製品企業、商社、国が連携しながら、安定的な供給を考え、それぞれが応分のリスク負担をすべきではないだろうか。

売上高 数億～数百億円

売上高 数兆～20兆円

原料 ⇒ 素材産業・部材産業 ⇐ ⇐ 最終ユーザー

値上げ圧力

調達リスク負担
在庫リスク負担

値下げ圧力
在庫積み増し圧力

カンバン方式
(在庫持たず)

BCP

図3. 産業構造(力関係)からくる根本的な問題

5. 鉱種毎の検討が重要(サプライチェーン上の考慮事項)

鉄鉱石、石炭、ベースメタル、レアメタルの価格高騰の理由として、中国を中心とした新興国での需要の急増が大きな要因である。需要が急増しても、資源開

発には長期のリードタイムが必要ですぐには供給を増やすことは難しい。さらに、レアメタルでは極めて少数の企業が生産していることから、鉱山、輸送経路(鉄道、港湾など)での事故やストライキ、天候(大雨、大雪)、鉱石から処理する過程での障害(焙焼能力不足な

ど)など、それぞれの鉱種での特殊要因から価格が急騰することもあった。

レアメタルの安定供給確保に向けては、レアメタル一括りではなく鉱種毎にサプライチェーン(鉱山、選鉱、製錬、加工から、素材・部材などの中間製品、最終製品、さらにはリサイクル)を詳細に把握して供給上の課題を抽出し、供給源の多角化などの対策を有効に実施していく必要がある。また、レアメタルが多く使用されるハイテク製品の技術開発動向、代替技術開発動向にも十分注意して需要動向を検討しておくことが必要である。

考慮事項(図4参照)を整理すると、

- 1)埋蔵量データ：副産物金属についてはデータの信頼性に特に注意が必要。
インジウムではUSGS Mineral Commodity Summaryの埋蔵量データから可採年数が数年とされ、国内企業が混乱したことあり。
- 2)生産偏在(鉱山、製錬)：生産が過度に集中している場合、鉱山、輸送経路(鉄道、港湾等)における事故や労働ストライキ等、また、輸送能力などに注意が必要。また、レアアースやタングステンに見られた中国の輸出抑制策(増値税還付率の引き下げ・撤廃、E/L枠、輸出関税)など生産国での政策が変更され

ると大きな影響を受ける。生産国の高付加価値化政策にも注意が必要。

- 3)生産物の形態(地金、合金、化合物など)：鉱石から地金などが、“どこで”生産されているか、どの企業が“どの程度”生産して供給しているか注意が必要。ニッケルでは、Valeの長期ストライキにより、ニッケル粉の供給に問題があった。
- 4)主産物or 副産物：副産物として生産される金属の場合には、主産物の生産動向に支配される。
- 5)生産企業の動向等：生産企業にとって対象となる金属生産事業がコア事業かどうか、注意が必要。Valeはマンガン生産より鉄鉱石生産を優先したことあり。
- 6)需要動向(新規需要、省資源化など)：製品動向など新規の需要動向を注視。
ストロンチウムでは、ブラウン管型テレビから液晶パネル型テレビになり、需要は激減。セリウムでは、供給不安及び価格高騰により研磨材のリサイクルや代替物使用により需要が激減。
- 7)リサイクルの動向:価格高騰により急激にリサイクルが進展し、供給サイドへの影響もあり。インジウムでは、使用済みITOターゲット材からのリサイクルが急速に進展した。
- 8)代替技術開発の動向：代替材料により需要が急減する可能性あり。

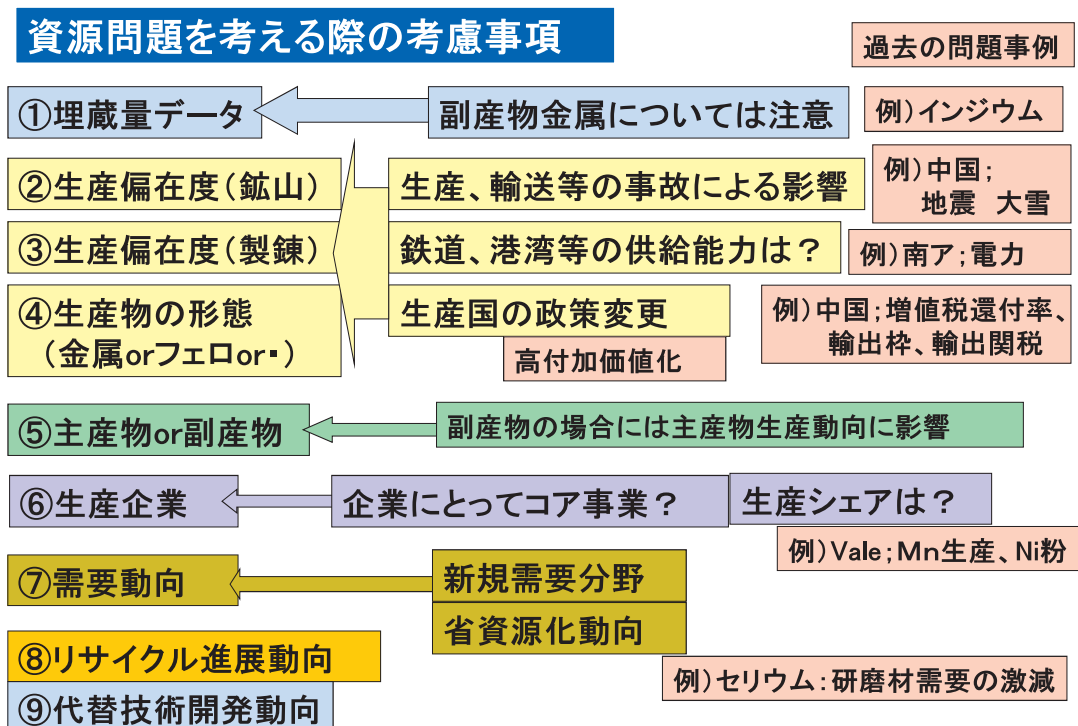


図4. 安定供給を考える際の考慮事項

6. 非鉄金属製錬所の重要性

レアメタルの多くが、銅、鉛、亜鉛、ニッケル等のベースメタルの副産物として生産されている。銅の副産物としては、金、銀、モリブデン、コバルト、セレン、テルル、白金族金属(プラチナ、パラジウムなど)、レニウムなどが、鉛・亜鉛の副産物としては、金、銀、インジウム、ゲルマニウム、カドミウム、ビスマス、アンチモンなどが、ニッケルの副産物としてはコバルト、白金族金属が生産される。但し、選鉱段階で分離・回収される鉱種、製錬段階で分離・回収される鉱種がある。

我が国の非鉄金属製錬所(銅、鉛、亜鉛など)は、円

高、厳しい環境規制、高い電力費などの厳しい経営環境下の中、真摯に省エネルギー、環境規制、コスト削減、生産性向上などに取り組んできた。非鉄金属製錬所は、銅精鉱、鉛精鉱、亜鉛精鉱などに含まれる副産物金属(金・銀を始め、インジウム、コバルト、ビスマス、テルル、セレンなどのレアメタル)を回収、また、廃電子基板、廃自動車浄化触媒、鉄鋼ダストなど多くの使用済み製品や廃棄物を処理し、30元素以上のレアメタルなどの有用金属を回収するリサイクルの重要な拠点となっている。

レアメタルの安定供給を考慮する際、非鉄金属製錬所の役割を十分認識すべきである。

レアメタル資源問題への対処法

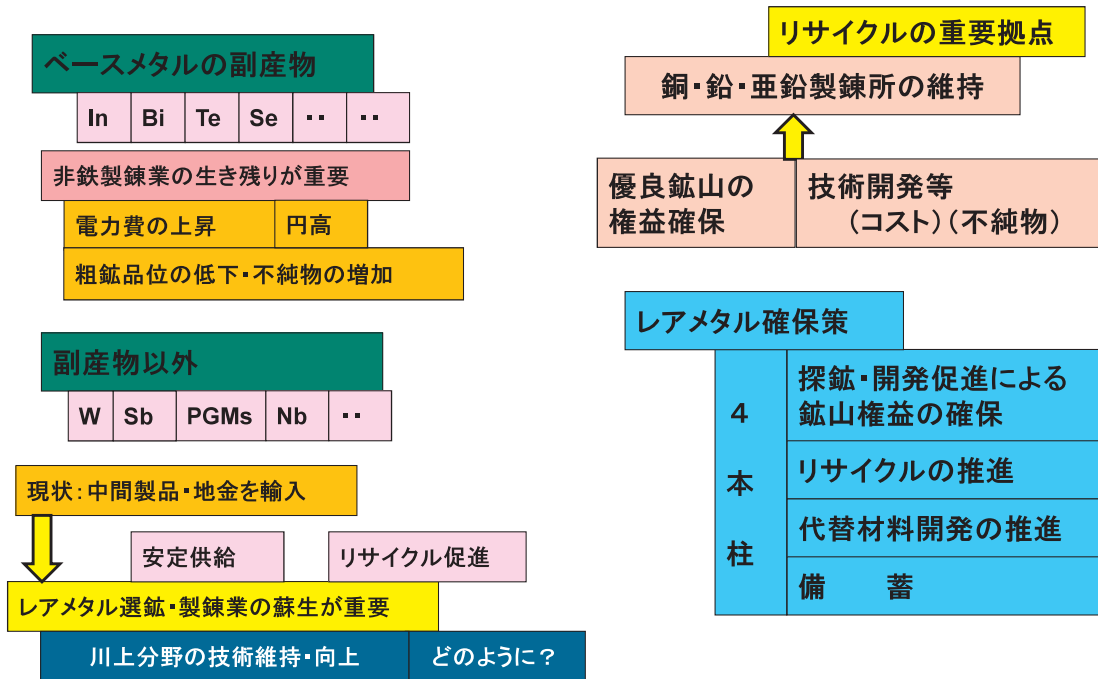


図5. 非鉄金属製錬所の重要性

7. 最後に

一般的に、金属鉱物資源は、鉱床賦存の地理的偏在性、特定少数国への生産の集中、資源開発での多大のリスクと長期のリードタイムが必要などの特異性がある。さらに、2003年頃からの資源価格の高騰により、多くの資源国は地下資源の“高付加価値化”などによる産業育成・雇用創出や、鉱業関連税やロイヤルティのアップによる“国家収入増”の政策をとるようになったこと、また、地域社会の資源・環境への意識も高まったことから、資源国・地域社会との良好な関係構築も重要事項となってきている。

金属鉱物資源が抱える根本的な供給リスクは、“資源ブーム、レアメタル・ブーム”以前と何ら変わっておらず、むしろ、供給リスクは高まっている。

レアメタルは低炭素化社会実現に向けて新たな用途なども期待されます。重要となってくるが、企業は、国際競争に打ち勝つため出来るだけ“安くて高品質な原料”を求めている。しかしながら、多くの供給リスクを抱えるレアメタルを、高品質で、かつ、安く、安定的に確保していくことは容易なことではないことを、金属鉱物資源の特異性などを踏まえて十分理解しておく必要がある。

「国際競争力の源泉は何か」、「それを支える技術・素材は何か」を引き続き検討され、素材(原料)の調達を調達部門のみに任せるのではなく、会社の経営企画部門が、長期的な視野に立って安定的な供給について考慮すべきではないだろうか。

その際には、個々の素材毎にサプライチェーン上のどこに重大な危険性を内在しているかどうかを検証することが重要であり、間違った認識による不必要な代替に走ることもなくなるであろう。

機構では、鉱種毎の検討を深めるため、2013年4月に鉱種戦略チームを発足させ、組織横断的な検討を進めている。鉱種毎のサプライチェーンを詳細に検討して供給課題を抽出し、抽出された供給課題を解消すべく、探鉱、金融支援、技術開発や備蓄など機構が持つ機能を総合的・効率的・最大限に活用、さらに、経済産業省、(株)国際協力銀行、(独)日本貿易保険、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構などの他の機関とも連携を図り、レアメタルの安定供給に貢献していきたいと考えている。

最後になりましたが、企業、協会など多くの方々から、各鉱種の使用実態や課題などをお教えいただき、鉱種毎の検討を進めている。この機会をお借りし御礼申し上げますとともに、引き続きのご指導、ご鞭撻をよろしくお願い致します。

(2014.6.9)

(参考文献)

- 馬場 洋三：「21世紀の日本経済を支えるハイテク産業への素材(レアメタル)の安定供給は？」
金属資源レポート2005年7月号
- 馬場 洋三：「エンジンと自動車を支えるレアメタル」
エンジンテクノロジーレビュー 2010年8月号
- 馬場 洋三：「レアアースの最新技術動向と資源戦略」
シーエムシー出版 2011年12月
- 廣川 満哉：「最近の資源ナショナリズムの動向」
金属資源レポート 2012年11月号
- 関本 真紀：「インジウムの需給動向」
月刊ディスプレイ 2013年1月号
- 森田 健太郎：「中央・東アフリカ鉱業投資サミット
参加報告」
カレント・トピックス 14-10号
- JOGMEC NEWS Vol.36, 2014.3
特集「いま改めて問う レアメタル」
- Journal of MMIJ Vol.123(2007)No.12 リサイクル特集号
経済産業省 産業構造審議会 新産業構造部会 報告書：2012年6月
- エネルギー基本計画：2014年4月11日