

レアメタルに関する調達セキュリティ確保のための鉱種別戦略

堀 琢 磨¹⁾

レアメタル(希少金属)は、鉄鋼、機械、電気・電子機器等、我が国の産業にとって必須の資源であり(第1表)、我が国製造業はレアメタルの特性を生かし、素材、加工組立製品の高付加価値化をはかってきた。日本は、レアメタルのほぼ全量を輸入に頼っており、その輸入先も少数の国に限られていることから、供給構造が極めて脆弱となっている。

近年のレアメタルをとりまく状況は、世界的に消費構造が変化するとともに、非鉄メジャーのノンコア事業の売却とトレーダーによる事業の買収、鉱区獲得競争の激化、資源国における高付加価値政策や輸出抑制策、資源ナショナリズムの再燃化懸念、環境問題による供給力低下の懸念等、供給サイドの情勢も急速に変化しつつある。世界市場にレアメタルを供給し

ていた中国は、急速に輸入を拡大させている(第1図)。レアメタルの大消費国である日本にとって、原材料確保は大きな課題であり、安定供給の確保に向け、官民一体となった取り組みが進められているところである。

鉱物資源に関する安定供給を確保する取り組みについては、ベースメタル(銅、鉛、亜鉛等)を中心に、探鉱開発、資源国における貿易投資環境の改善、リサイクル、代替材料技術の開発等、総合的な取り組みが行われてきた。

レアメタルについては、備蓄を中心に、「総合資源エネルギー調査会鉱業分科会レアメタル対策部会」において、詳細な議論が行われ、そのアウトプットは備蓄政策に生かされている。しかしながら、レアメタルを

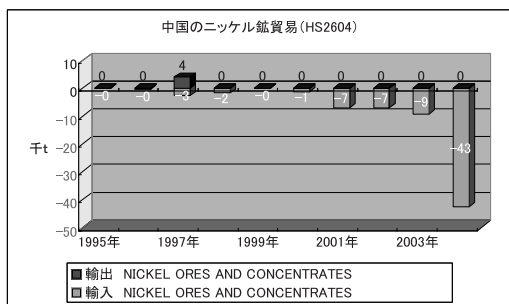
第1表 レアメタルの使用例。

電気・電子機器	液晶パネル、太陽電池	透明電極	インジウム
	一次電池	マンガン電池の電極	マンガン
	小型高出力二次電池	リチウムイオン電池	コバルト
		ニッケル水素、ニカド電池	ニッケル
	プリント基板の製造ライン	ミニチュアドリル	タングステン、モリブデン
パソコン、ハードディスクレコーダー	希土類磁石	レアアース	
建設	橋梁、高層ビルの構造材	特殊鋼添加物	マンガン
	石油精製プラント	特殊鋼添加物	クロム、モリブデン
	パイプライン、タンク	特殊鋼添加物	バナジウム
輸送機器	自動車マフラー	排ガス浄化触媒	プラチナ
	自動車シャフト	特殊鋼添加物	マンガン、バナジウム
	自動車ランプ	LED	インジウム
	自動車ギア、ボルト	特殊鋼添加物	モリブデン
	ハイブリッド自動車用モーター	希土類磁石	レアアース
	自動車及び部品製造ライン	超硬工具	タングステン、コバルト(バインダー)
	列車の軽量ボディー	ステンレス鋼板	クロム、ニッケル
	航空機の主脚	特殊鋼添加物	クロム、モリブデン
	航空機エンジン	回転体周辺	コバルト
		タービン	バナジウム
	燃料電池	触媒	プラチナ
		水素吸蔵合金	レアアース

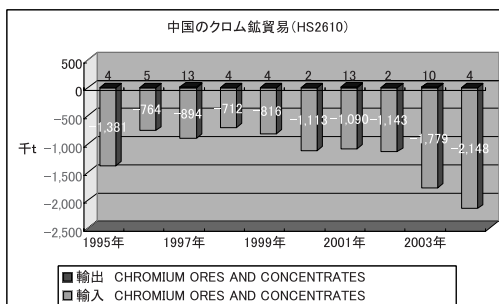
1) 経済産業省 資源エネルギー庁鉱物資源課

キーワード:レアメタル, 鉱種毎の特性, 供給障害リスク

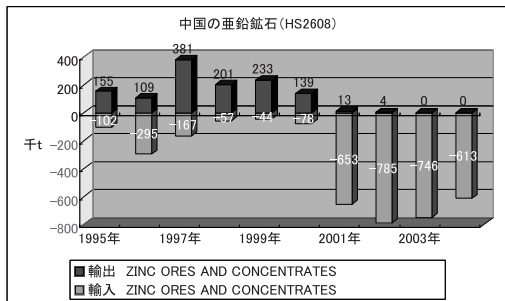
①中国に産出するが輸入が急速に拡大しているパターン



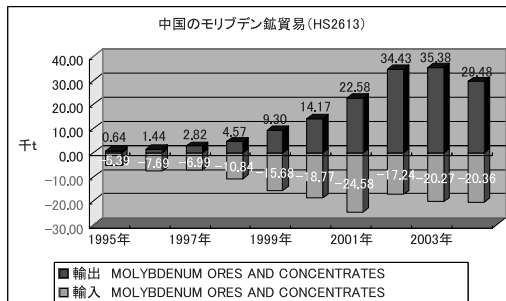
②中国で産出しない資源で、輸入が急速に拡大しているパターン



③輸出ポジションから輸入ポジションに変化したタイプ



④輸出量が多いタイプ



第1図 中国の非鉄貿易に関する輸出入パターン。

安定的に確保するためには、探鉱開発からリサイクルに至るまで、総合的な取り組みが必要であろう。そして、上流から下流までの総合的な取り組みを行うために、もっとも重要なことは、鉱種別特性を踏まえた対応を行うことである。鉱種毎の特性を分析することによってはじめて、メリハリをつけた、きめ細やかな対策を講じることが可能となろう。

レアメタルの個々の鉱種には、様々な特徴があり、取り巻く状況は日々変化している。生産の偏在性が急速に高まった鉱種としては、タングステン(中国シェア 1980年2割→2005年9割)、バナジウム(中国シェア 1980年僅少→2005年6割)がある一方、ニッケルやコバルトのように、生産技術の開発が偏在性の緩和をもたらした鉱種もある。その鉱種自体を目的に開発されるものもあれば、インジウム、モリブデン、コバルトのように他鉱種の副産品として産出される鉱種もある。東西冷戦構造で、かつては、需給が東西のブロックに分けられていた鉱種(ニッケル)もあれば、埋蔵量は多いが、生産に特殊な技術を用いるため、製品の供給が少ない鉱種(チタン)もある。世界に資源は分布するが、長らく価格低迷が続き、供給構造が脆

弱で、寡占化を招きやすい供給構造を持つ鉱種(タングステン)もある。

また、生産地において環境対策が十分に講じられていないため、供給が停止するリスクを抱える鉱種もある。企業戦略については、鉱山企業が消費先に製錬所をつくり自国の鉱石を納入するケースもあるし、消費地の製錬所が鉱石を確保するため海外投資を行うケースもある。

レアメタルの消費先を見れば、液晶パネルのように、急速に新たな需要が増え、需給が逼迫した鉱種(インジウム)もあれば、ブラウン管需要が思うように伸びず、需要が低下している鉱種(ストロンチウム)もある。電子機器の需要が拡大すると消費が伸びる鉱種(リチウム電池に使用されるコバルト)、精密機械産業で設備投資が進むと消費が伸びる鉱種(超硬工具に使われるタングステン)、環境規制が広がると需要が伸びる鉱種(環境触媒に使用されるプラチナ)、ビルや橋梁の建設が進むと需要が拡大する鉱種(マンガン)もある。

リサイクルについては、消耗品である自動車タイヤに含まれる亜鉛は回収が不可能であり、また、メッキ

のような薄膜や、電球のフィラメントのように極少量使用する金属も元素の回収が困難である。一方で、塊状の形態で使用されるもの、例えば、蓄電池の電極に使われる鉛はリサイクルしやすい。

このような鉱種別毎の特性を踏まえて、安定供給の対策を行うことが重要である。

そこで、各鉱種のマテリアルフローを俯瞰した上で、各鉱種に応じた対策が、官民の適切な役割分担の下で、有機的に展開されることが極めて重要となってくる。そのため、上流活動（マテリアルフローの中で、最初の資源探査や開発の部分。反対に、加工や利用の部分は下流）に対する支援の強化に加え、マテリアルフローの分析を行いつつ、その結果を踏まえ、国内におけるリサイクルの促進や代替材料の開発促進など総合的な対策の強化にも並行して取り組むことが必要であろう。

本稿では、各鉱種別に特徴を分析し、日本の産業

に欠かせない重要なレアメタルについて、マテリアルフロー全体を分析し、探鉱から備蓄、リサイクルまで、官民の役割分担を念頭に置き、鉱種毎の世界需給や、日本の金属産業構造（鉱石輸入、中間素材輸入、地金輸入）を踏まえ、鉱種別に対応策を提示する。なお、本稿のうち、意見にかかる部分は、個人的見解であることを、あらかじめお断りしたい。

対象として、鉄鋼分野に使われる鉱種（ニッケル、クロム、マンガン、バナジウム等）、需要が拡大する電子材料に使われる鉱種（インジウム、レアアース）、精密加工分野に使われる鉱種（タングステン）から、10鉱種を選択した。これらレアメタルには、太陽電池や液晶パネルに必要なインジウム、ハイブリッド車やエアコンの省電力化用の磁性材料として欠かせないレアアース、排気ガス浄化に不可欠なプラチナ等、エネルギー・環境問題への対応の観点から必要不可欠なレアメタルも含まれる（第2表及び第3表）。

第2表 主要レアメタルの供給とその特徴（その1：世界の状況）。

	鉱石生産国上位3ヵ国 (2004年)	生産量	生産企業の比率 (2004年.W,Co,Vは2003年)	中国の動向
①ニッケル	露23%、豪15% 加13% 計51%	1,254 kt	Norilsk Nickel 19% Inco Ltd. 14%	ステンレス生産の拡大を受け、輸入が急増。海外調達を積極化。
②クロム	南ア47%、インド22% カザフ15% 計84%	5,038 kt (高炭素クロム、 グロス値)	Xstrata plc. 25% State of Kazakhstan 19% BHP Billiton Group 10%	輸入量は年々拡大。
③タングステン	中国88%、露6% 豪2% 計96%	55 kt	State of China 91% North American Tungsten 8%	増値税還付率を削減し、国内需要を優先。
④コバルト	コンゴ24% ザンビア19% 豪15% 計58%	43 kt	Norilsk Nickel 11% Glencore International AG. 8% Inco Ltd. 7%	中国国内の二次電池需要が拡大し、コンゴ等からの輸入が増加。
⑤モリブデン	米28%、チリ28% 中国19% 計75%	305百万lb	Codelco 22% Phelps Dodge Corp. 17% Grupo Mexico SA. De CV. 11%	中国は輸出国の一つ。
⑥マンガン	豪30%、南ア16% ガボン12% 計58%	29,687 kt (グロス値)	BHP-Billiton 11% Cia Vale do Rio Doce 7% Anglo American plc. 7%	フェロマンガン原料の高炭素フェロマンガンの輸入が拡大。
⑦バナジウム	南ア46%、中国30% 露23% 計99%	72 kt (五酸化バラ ジウム)	Anglo American 33% Xstrata 17%	国内は大手2社で9割生産（詳細は不明）。
⑧プラチナ	南ア75%、ロシア17% 計92%	202t	Anglo American plc. 36% Impara Platinum 23% Norilsk Nickel 15%	自動車触媒用の需要が急速に伸びている。
⑨インジウム	(精錬国)中国34% 日本22%、加15% 計71%	325t (新地金のみ)	State of China	需要は増大。供給は広西省での鉱山事故で高インジウム含有の亜鉛鉱の供給障害あり。
⑩レアアース	中国93%	102 kt	State of China	中国の寡占状態。2004年には中国の輸出量(HS2846)の27%が日本、26%が米国向け。内蒙古、江西省等、産地により含有元素は異なる。

出展：Mineral Commodity Summaries, World Metal Statistics, Raw materials data

2006年7月号

第3表 主要レアメタルの供給とその特徴(その2:我が国の状況)。

	輸入先上位3ヵ国 (2004年, 金属純分量)	我が国の海外への投資動向 (2004年)	国内市場規模推計	世界消費シェア
①ニッケル	インドネシア43% ニューカレドニア12%	フィリピンRio Tuba鉱山, ニューカレドニアGoro鉱山, フィリピンCoral Bay精錬所	2,568億円 (鉱石, マット, 地金)	15%
②クロム	南ア50%, カザフ21% インド13% 計84%	南アのフェロクロム生産工場, 鉱山等に投資例あり, フェロクロムの形で日本へ運搬.	56億円 (鉱石, フェロクロム, フェロシリコクロム)	18%
③タングステン	中国87%, 米国3% 韓国3% 計93%	中国へのタングステン製品工場あり, 鉱山投資は無し.	65億円 (鉱石, 地金, フェロタングステン)	12%
④コバルト	フィンランド26% 豪州20%, カナダ14% 計60%	ニッケルと同じ, コバルト酸リチウムについては中国において合弁あり.	908億円 (鉱石, マット, 酸化物)	28%
⑤モリブデン	チリ45%, 中国18% メキシコ11% 計74%	モリブデン単独はカナダEndako鉱山, モリブデンを副産する銅鉱山は複数あり.	874億円 (鉱石, 地金, フェロモリブデン)	18%
⑥マンガン	南ア42%, 中国24% 豪州24% 計90%	フェロマンガンは南アAdvallou工場(Samancor社), シリコマンガン生産で中国進出例あり.	690億円 (鉱石, 地金, フェロマンガン, フェロシリコマンガン)	6%
⑦バナジウム	南ア66%, 中国14% 露6% 計86%	フェロバナジウム生産で南ア進出例あり.	鉱石は不明, 中間製品は103億円.	11%
⑧プラチナ	南ア73%, 露11% 米4% 計88%	南ア鉱山への進出あり.	1,851億円	20%
⑨インジウム	中国71%, 加8% 米6% 計85%	無し	亜鉛鉱の輸入あり, 詳細不明.	60%
⑩レアアース	中国88%	下流ではネオジム鉄ボロン合金, ミッシュメタル, 酸化セリウム等, 内蒙古への進出例あり.	208億円	28% (東南アジアを含む)

出展:日本貿易統計, World Metal Statistics

	海外鉱山 精鉱	製錬所 → 中間製品	→ 地金
銅, 鉛, 亜鉛	権益確保	精鉱の形態で輸入, 国内で製錬.	
ニッケル, コバルト	権益確保	主に精鉱の形態で輸入, 国内で製錬. 一部中間製品を輸入.	
モリブデン	権益確保	副産物. 海外鉱山で精鉱に分離し, 輸入. 国内で製錬.	
インジウム	権益確保	副産物. 亜鉛精鉱を輸入し, 国内で製錬. 地金による輸入も非常に多い.	
クロム, バナジウム	権益確保	海外製錬所への投資	フェロクロム, フェロバナジウムを輸入.
マンガン	フェロマンガンは南アの高品鉱を輸入し, 国内で生産.		
タングステン	(一部精鉱輸入)	主として中間製品 (APT等) で輸入.	
レアアース	分離された各製品を輸入.		
アルミニウム	権益確保	海外製錬所への投資	地金で輸入

第2図 各鉱種における我が国企業の関与.

1. 鉱種横断的なリスクの整理

本章では, 第一に, 日本は, どの鉱種をどのような形態で調達しているか, 第二に, 過去, 実際にどのような障害があったか, 第三に, 何が供給リスクを増大さ

せる要因になっているかについて述べる.

(1) 我が国金属産業の構造

日本は現時点でどのような形態の原料を調達しているだろうか. 第2図は, 各鉱種における我が国企業

の関与を、例示したものであり、精鉱の輸入、中間製品の輸入、地金の輸入等、様々な輸入形態がある。各段階への出資と長期契約による権益確保を進め、供給の安定化がはかられているところである。

銅、鉛、亜鉛は、日本の製錬所で使用する精鉱について、安定的に輸入するため、海外鉱山の権益確保が進展している。例えば、銅においては、鉱石を現地でSX-EW法(溶媒抽出電解採取法)により製錬を行い、地金を生産するプロジェクトに参画するように、1社が、鉱石から地金までの一貫生産体制を行うこともある。

ニッケルも同様な工程を持つが、純分換算(金属量)では、ニッケルマット(鉱石から取り出された純度70~80%の半製品)の輸入が鉱石より多い。ベースメタルの副産物であるモリブデンは、海外鉱山で選鉱した精鉱を輸入し、国内で製錬を行っている。

マンガンについて、例えば、フェロマンガン(マンガン70~80%と鉄の合金。鉄との合金材料となる鉱種は中間製品である合金鉄の状態取引される。以下、各鉱種とも同じ)の生産は、南アフリカの高品位鉱を輸入し、国内で製錬を行っている。フェロクロムとフェロバナジウムは、海外の権益を確保し、合弁企業等で生産された製品を輸入している。タングステンについては、特殊鋼用途については精鉱輸入もあるが、用途の7割である超硬合金用は、主に、鉱石及び中間製品(APT:パラタングステン酸アンモニウム)を調達している。レアアースは、分離・電解精錬を経た製品を中国内から調達し、日本又は中国で合金鑄造等を行っている。あくまで例示であるが、上流から下流まで資本が入り、安定供給の確保が担保できている鉱種もあれば、国の事情等から、上流の権益確保は困難で、製品を輸入している鉱種まで様々である。精鉱、中間製品等、どのような形態でも複数の原料を日本で処理できる鉱種もあれば、我が国企業が関与する工程が非常に少なく、製品を購入するしかない鉱種もある。世界の製錬能力の問題から、地金がタイトでも鉱石が余剰になるケースもあるが、製錬工程がなければ、鉱石は日本の調達原料にはなりえない。このように、鉱種による調達リスクは異なっている。

なお、レアメタルの輸入に使われる主な港は、南アフリカではリチャーズベイ港(クロム鉱、フェロクロム)、ポートエリザベス港(マンガン鉱)、ダーバン港(フェロ

マンガン、フェロバナジウム)、チリではサンアントニオ港(モリブデン鉱)、バルパライソ港(モリブデン鉱、フェロモリブデン)、ロシアではウラジオストク港(タングステン鉱)、中国では廈門港(APT)等である。また、日本への輸送日数は、チリで40~50日、南アフリカで35日かかる。ニッケルを除けば、年1~4回の受け入れであり、一時的に在庫が増える時もあり、逆に、在庫が少なくなる時もある。

(2) 供給障害

最近の供給障害は、表の通りであり、ストライキ、自然災害、政情不安、国の貿易措置等をきっかけに、需給が逼迫化している鉱種において、供給障害が発生している(第4表及び第5表)。

最近ではきっかけの性質が変化した。かつては、南アフリカ共和国によるクロムの一時的輸出停止、ソ連の高品位鉱の輸出停止、シャバ紛争による生産停止などがあったが、国の措置としては、最近では中国の輸出抑制策の例がある。ストライキは、ニッケルで頻発しており、モリブデンではカナダ・エンダコ鉱山の約1年にわたるストがあった。自然災害は、インドネシア・グラスベルグの地滑り事故がある。政情不安については、ガーナのクーデターによる船積み遅延がある。一方、構造的リスクには、旺盛な需要による資源獲得競争の激化などがある。

このような供給障害は、3つのレベルに分けられる。第3図に、供給障害のインパクトについてニッケルの例を示した。

- ①事業所単位(鉱山、製錬所)の供給障害:原因は人為的事故、鉱山ストであり、このカテゴリーの供給障害は頻発している。通常は、このレベルを想定し、その備えを行うことが不可欠である。レアメタルにおいては、世界シェア1割を超える鉱山又は鉱山群がある。例えば、バナジウム(南アフリカ鉱山)23%、モリブデン(チリ・チュキカマタ)10%、ニッケル(カナダ・サドバリー)11%、クロム(カザフスタン・ドンスコイ)17%、コバルト(カナダ・サドバリー)10%である。
- ②会社単位の供給障害:原因は会社のストライキ、会社の破綻である。
- ③国単位の供給障害:原因は貿易措置の発動、政情混乱、広域的な自然災害である。事業所単位、会社単位の供給障害と比べ、国単位の供給障害は、

第4表 過去の供給障害事例.

	生産面	物流面
自然災害	銅：2003年10月～2004年4月(約半年)インドネシア・グラスベルグ鉱山(世界5位、シェア3%)の地滑り事故で生産停止 アンチモン：2003年鉱山の集中する華南地域の洪水で生産停止	マンガン：2000年 豪サイクロンによる道路寸断(日本への入荷遅延) クロム：2000年2～3月(2か月)ジンバブエからモザンビークへの鉄道が台風で使用不能
工場等における事故	フェロニッケル：2001年7～11月(4か月)インドネシアのフェロニッケルプラント爆発事故で操業停止 モリブデン：2003年5～6月(約2か月)及び10月 遼寧省葫芦島での2回の事故で操業停止	過去に大きな影響は無し
スト, 経営問題	ニッケル：2003年6～8月(3か月)インコ社のストライキ モリブデン：カナダのファルコンブリッジ及びインコ社のストライキ	過去に大きな影響はなし
政情混乱	コバルト：1970年代後半～1996年(最長1年間)ザイール現コンゴ・シャバ紛争等内乱暴動による生産停止	コバルト：1975年 アンゴラ内戦によるロビト港輸送ルート閉鎖
国家政策	タンゲステン：2000年6月～(1年以上)中国の鉱石減産勧告等の通達発布	マンガン：1979年 ソ連による対日輸出禁止 クロム：1978年(1年間)ソ連のクロム高品位鉱輸出禁止
その他	フェロマンガン：2004年 中国の電力不足・コークス不足による生産障害	過去に大きな影響はなし

第5表 主なレアメタルの供給障害.

ニッケル

発生時期(障害発生期間)	障害内容	備考
1967.1-5(4ヶ月間)	ニューカレドニア：豪雨・洪水による採掘・出荷施設の被害	国際価格が約3倍に高騰 世界鉱石年間生産量の約7%の供給減(推計)
1969.7-11(5ヶ月間)	カナダ：Inco社及びFalconbridge社のスト	国際価格が約2倍に高騰 世界鉱石年間生産量の約15%の供給減(推計)
1978.9-1979.6(9ヶ月間)	カナダ：Inco社Copper Cliff工場のスト	'79に入り、国際価格が1.7倍に高騰
1987.7-8(6週間)	フィンランド：Outokumpu社製錬所閉鎖	国際価格が約3倍に高騰(世界的なステンレス鋼の増産と連動した価格上昇)
1987.12-1988.5(6ヶ月間)	ドミニカ：輸出関税問題による輸出遅延	
1988.12-1989.4(4ヶ月間)	インドネシア：Soroako鉱山の事故	国際価格高騰('80以降の月平均最高値：18.57\$/kgを記録)
1990.6(5週間)	ニューカレドニア：Societe Le Nickel社鉱山・製錬部門のスト	国際価格が約1.3倍に高騰
1990.12-1991.2(3ヶ月間)	ニューカレドニア：Societe Le Nickel社の電炉火災事故	国際価格が微増
1994.2-12	カナダ：Falconbridge社のLockerby鉱山の閉山発表→閉山, Inco社のスト懸念	国際価格が約2倍に高騰
1997.4(1.5ヶ月間)	豪州：Western Mining社Kambalda製錬所の爆発事故	日本への入荷一時停止
1997.6(25日間)	カナダ：Inco社Sudbury鉱山のスト	日本への入荷一時停止
1999.9-12(3ヶ月間)	カナダ：Inco社Monitoba製錬所のスト	国際価格が約2倍に高騰
2003.5-8(3ヶ月間)	カナダ：Inco社Sudbury鉱山のスト	国際価格が約2倍に高騰(世界的なステンレス鋼の増産と連動した価格上昇)

クロム

1987-1988	世界的に堅調なステンレス需要を背景に、南ア産フェロクロムの日本向け価格が上昇	国際価格が約2.5倍に高騰
1995.6-12	ステンレス向けフェロクロム需要の伸びに対し、原料のクロム鉱石の生産が追いつかない等の理由でCIS、中国からの供給が不足	国際価格が約2倍に高
1997.11-1999(1年間以上)	カザフスタン：製錬企業の内紛による出荷停止	日本への入荷遅延
1999.11-2000.1(2ヶ月間)	インド：サイクロンによる冠水等で流通停滞	日本への入荷遅延
2000.2-3(2ヶ月間)	ジンバブエ：サイクロンによるモザンビークの鉄道運行不能で流通停滞	日本への入荷遅延
2001	南ア：Samancor社, Xstrata社等の減産強化	日本への供給量減少

マンガン

1988-1990 (3年間)	鉄鋼需要の増大による供給不足	国際価格が約2倍に高騰
2000.2-4 (3ヶ月間)	豪州：サイクロンによる道路寸断で出荷停滞	日本への入荷遅延
2004	中国：中国国内の電力不足、コークス不足による生産障害 仏：Eramet社工場の減産や操業停止	国際価格が3倍以上に高騰、世界需給の逼迫

コバルト

1977.3-5 (2ヶ月間)	旧ザイール (現コンゴ民主共和国)：一次シャバ紛争	
1978.5-6 (2ヶ月間)	旧ザイール (")：二次シャバ紛争	国際価格が5倍以上に高騰 生産は1年間以上混乱
1990.6-7 (2ヶ月間)	旧ザイール (")：Gecamines社のスト	国際価格が2倍に上昇
1991.9-11 (2ヶ月間)	旧ザイール (")：暴動による生産停止	国際価格が90年のさらに3倍に上昇
1997.6 (25日間)	カナダ：Inco社Sudbury鉱山のスト	日本への入荷停止
1997.8 (23日間)	カナダ：Falconbridge社Sudbury鉱山のスト	日本への入荷停止
1999.2	英国投機筋がアフリカ2大サプライヤーの販売権を掌握したとの報道等、供給不安を煽る報道がなされ相場が大きく乱高下	国際価格が2倍に高騰
2000	コンゴ民主共和国：Gecamines社の運転資金不足、経営体制混乱による生産減 ザンビア：コバルト・プロジェクトの民営化による生産管理体制混乱、資金不足、電力不足による生産減	2カ国の生産量が前年比15%減少
2000.8-2001.2 (7ヶ月間)	カナダ：Falconbridge社Sudbury鉱山のスト	鉱山の生産量が前年比15%減少 (銅生産から推計)
2003.6-8 (3ヶ月間)	カナダ：Inco社Sudbury鉱山のスト	国際価格が50%上昇
2004.2 (20日間)	カナダ：Falconbridge社Sudbury鉱山のスト	国際価格が2倍に高騰

タングステン

1989 (6ヶ月間)	中国：天安門事件によって国内混乱	日本への入荷遅延
1994	中国：新規鉱山開発遅延、既存鉱山の枯渇化による生産減、施設補修等による一時停止	国際価格が約2倍に高騰

モリブデン

1967.7-12 (6ヶ月間)	米国：産銅大手Climax社のスト	供給減少
1987	米国：Amax社及びCyprus社の減産	国際価格が高騰、世界のMo生産量の約10%減 (推計)
1994-1995	世界：ステンレス鋼生産急増による供給不足	国際価格が約5倍に高騰 入手困難
1996	北米：Climax鉱山の休止、Henderson鉱山等の減産	世界のMo生産量の約20%減
2002	世界的な銅パイプロ鉱山の減産	国際価格が約2.5倍に高騰
2003.10-	中国：遼寧省鉱山事故による生産休止	国際価格が約2.5倍に高騰

バナジウム

1988	南アフリカ：経済制裁に伴う南ア・Highvelt社からの含バナジウムスラグ供給大幅減 鉄鋼需要の増大に伴う供給不足	国際価格が約3倍に高騰
1994.11-1995.2 (4ヶ月間)	中国：南アフリカからの原料スラグ入手減による生産減 モリブデン高騰により一部切替	国際価格が約2.5倍に高騰 入手困難
1997-1998	ロシア：含バナジウムスラグ供給減	国際価格が約1.5倍に高騰
2003.12	南アフリカ：通貨ランド高騰による生産減 ロシア：Vanady Tula社の株主間紛争による生産停止	国際価格が2倍以上に高騰

世界生産に占める割合	事業所単位の供給障害 (人的事故, 自然災害, 鉱山コスト)		会社単位の供給障害 (スト, 経営破綻)	国単位の供給障害 (貿易措置の発動, 政情混乱)	
	鉱山	製錬所等		鉱石生産	日本における輸入シェア (鉱石・製品純分量)
50%以上					
40%以上					43% インドネシア
30%以上					
25%以上					
20%以上				23% ロシア	
15%以上			16% ノリルス社	15% 豪州	
10%以上		11% ノリルス製錬所	14% インコ社	13% カナダ 10% インドネシア	12% ニューカレドニア 11% 豪州
5%以上	9% カナダ インコ社サドバリー	9% モンテゴルスク	8% WMC社		9% フィリピン

第3図 供給障害が起きた場合のインパクト：ニッケルの例。

一度起きた場合、甚大なる影響がある。東西冷戦、アフリカの混乱等による政情不安は少なくなったが、最近では、国内需給調整のため、貿易措置を発動するケースが出ている。鉱石生産輸入が特定国に依存すること自体は問題ではないが、貿易措置等で国単位の供給障害が発生する可能性のある国に依存する場合は、当該国との連携と供給の多様化が必要である。

(3) 供給リスクを増大させる要因と解決策

さて、上記のような供給リスクを増大させるバググラウンドにはどのようなものがあるだろうか(第6表)。

第一は、供給面の問題である。例えば、①資源の偏在性が高い、②寡占化している(例えば、価格低迷期に多くの供給者が撤退したため、寡占状態となっている)、③供給量が減少している(全世界的に資源が枯渇しつつあるケースや、探鉱投資の問題で供給が減少する)、④特定国からの供給ができない(東西冷戦下でロシアからの供給が不安定)等があげられる。

第二は、需要面の問題である。急拡大する需要に供給が追いつかず、資源を奪い合う状況になっている状況下において、世界的に需給逼迫化し、供給障

害があった場合、他の調達先を確保しにくいというケースがあてはまる。

第三は、供給と需要を結ぶ物流・貿易面の問題である。①物流が脆弱である、②禁輸措置等で特定国からの供給ができない、③国内生産を内需向けに優先配分を行う等のケースがある。

実際は、特定の資源国に偏在するだけでは、供給リスクは高いとは限らず、資源国が国家政策で生産・輸出抑制を行ったり、少数の企業が寡占化する等の要素が加わった場合に、リスクは上昇する。

3. 鉱種毎の特性

今回検討対象とした10鉱種、それぞれの特徴、すなわち、用途・需給状況を分析するとともに、探鉱開発・貿易投資、リサイクル、代替技術の開発等の課題を見ていくこととする。

(1) ニッケル(写真1)

ステンレス鋼等の特殊鋼やニッケル水素電池を筆頭に、電子産業、エネルギー産業、航空宇宙産業に至るまで幅広い産業の原材料として使用されている。世界消費の約7割はステンレス鋼である。

銅(メジャー7社)や亜鉛(メジャー5社)に比べれ

第6表 供給障害のインパクトを増大させる要因の例。

	世界							日本										
	生産構造			供給構造				需給の変化				海外資源の依存			消費量の抑制			
国別生産シェア(鉱石産出上位3ヶ国の比率)	中国の生産シェア	鉱山別生産シェア(上位10鉱山)	生産企業別シェア(上位3社)	供給構造(サブライターの集中度等)	産出形態(主、副)	資源国の国家政策(外資比率等)	環境規制、地元コミュニティとの関係等	消費の増大(中国の貿易バランス等)	輸入上位5ヶ国集中度	対中国依存度	対ロシア依存度	対南ア依存度	海外への権益投資の有無	製錬所の有無	世界に占める日本の消費割合	リサイクル率	うち工程内リサイクル率	代替性材料の開発等
高	80%以上 パナジウム、レアース、白金、タンタル、インジウム	80%以上	80%以上 白金	メジャー2社 ニッケル	ベースメタルの副産物として供給している、タンタル、マンガン	投資規制の強化(レアメタルに関する外資比率、50%未満の規制強化を検討)	新たな規制の導入	輸入量の増大(輸出国から輸入国へ転じる等)	80%以上 ニッケル、クロム、タンタル、コバルト、モリブデン、マンガン、バネジウム	80%以上 レアース	80%以上	80%以上	自主開発 鉱山からの調達なし、タンタル	国内に製錬工程あり ①鉱石での調達が可能、②副産物ではインジウムの場合は、亜鉛の製錬工程があるため亜鉛鉱からの分離は可能	50%以上 インジウム	低い	代替材料は存在しない。	
↑	60%以上 モリブデン、鉛	60%以上	60%以上					60%以上	60%以上 ゲルマニウム	60%以上 タンタル	60%以上 タンタル	自主開発 鉱山からの調達なし、タンタル	国内に製錬工程あり 亜鉛の製錬工程があるため亜鉛鉱からの分離は可能	40%以上		工程内リサイクルは行われていない。	代替材料は存在しない。	
中	40%以上 マンガン、コバルト、銅、ニッケル、亜鉛	40%以上	40%以上 モリブデン、マンガン	メジャー5社 亜鉛	ベースメタルの副産物としても供給される。	変化無し	変化無し	変化無し	40%以上 インジウム	40%以上 パラジウム	40%以上 クロム、パラジウム	自主開発 鉱山からの調達なし、亜鉛	国内に製錬工程あり ①鉱石での調達という選択肢は、②製錬工程からの副産物生産はできない。	30%以上		工程内リサイクルは行われており、リサイクル率は30%以下。	代替材料は存在しない。	
↓	20%以上	20%以上	20%以上 銅、亜鉛、鉛、ニッケル、マンガン、インジウム		ほとんどのベースメタルの副産物による供給である。モリブデン、コバルト	投資規制の緩和(フリビシ(100%外資比率と同等の最高裁判決)	環境対策の進展(規制克服による生産拡大)	資源の輸出	20%以上 モリブデン、マンガン	20%以上 ニッケル	20%以上 マンガン	主として自主開発 鉱山からの調達、銅	国内に製錬工程あり ①鉱石での調達という選択肢は、②製錬工程からの副産物生産はできない。	20%以上 コバルト、白金		工程内リサイクルは行われており、リサイクル率は30-70%。	代替材料は存在しない。	
低	20%未満	20%未満	20%未満	メジャー7社 銅				20%未満	20%未満	20%未満	20%未満	自主開発 鉱山のみで足りる。	国内に製錬工程あり ①鉱石での調達という選択肢は、②製錬工程からの副産物生産はできない。	20%未満		工程内リサイクルは行われており、リサイクル率は70%以上。	性能・経済性の両方をクリアする材料が存在する。(供給途絶時には代替材料に切り替えることが可能である。)	



写真1 ニッケルプレス。

ば、ニッケルはメジャー3社で少なく、寡占化が顕著である。過去の供給障害事例としては、圧倒的シェアを握るメジャーのストが多数確認される。ニッケルの主産地であるカナダでは、1997年以降、5回、ストライキがおき、約1か月～7か月間の供給障害が発生し、価格高騰を招いた。ニッケルはメジャー（カナダ・インコ社、ロシア・ノリルスク社）の生産シェアが拡大しており、大規模な生産拠点におけるストライキの発生が世界市場に影響を与える。最近では、2003年5～8月、カナダ・インコ社サドバリー鉱山のストは、世界的な鋼材需要の増大もあり、その後のニッケル価格高騰の誘因となった。

a. 探鉱開発、貿易投資上の問題

世界の鉱石生産はロシア、豪州、カナダ、インドネシア、ニューカレドニアで7割を占める（第2表、第4図）。日本企業は、インドネシア、ニューカレドニア、フィリピン等の鉱山及び製錬所（中間製品）に投資している。硫化鉱及び高品位ラテライト鉱に加え、低品位ラテライト鉱に対する新技術（高圧酸浸出法）の適用で、アフリカからの供給可能性が拡大した。日本企業がアフリカで一貫生産（鉱山開発、湿式製錬による中間製品生産）を行うプロジェクトに参画している事例もある。アフリカでは、生産回復基調のカッパーベルトに加え、タンザニア、ボツワナに資源が分布している。

日本の輸入はインドネシア（4割）が多く、ニューカレドニア、豪州、フィリピン（各1割）が続く（第3表、第5図）。海外の尾鉱（廃棄された難処理鉱）からのニッケル分の回収も行われている。海外投資先からの原料輸入割合（鉱石及び中間製品）は、銅や亜鉛に並

ぶまでに上昇しており、長期契約と出資による権益確保で安定供給をはかっている。更なる自主開発、輸入多角化が課題である。また、インドネシアでは投資規制拡大の懸念があり、投資環境を維持するための対応が必要である。ニッケル鉱山を持つカナダ・インコ社は、アジア各国の製錬に参画し、自社で生産した鉱石を輸出している。

b. リサイクル

ニッケル水素電池及びニッカド電池の7割、ステンレス鋼の4割がリサイクル。ステンレススクラップを韓国等から輸入している。ステンレス鋼の回収ルートを含むリサイクル体制の整備が課題である。

c. 代替性

ステンレス鋼についてはニッケルの高騰を受け、クロム含有率を増やす等、用途に応じて代替が進展。二次電池については、機能と価格の問題があるが、製品レベルでの代替（コバルト、マンガン電池）が可能である。

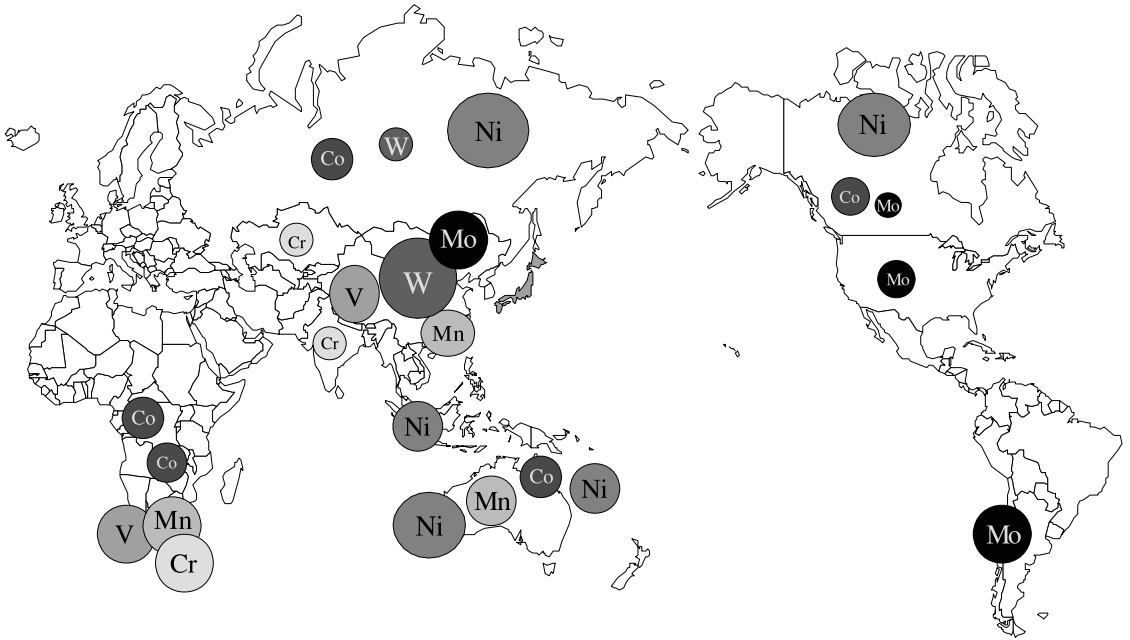
(2) クロム

電車の車体等に使われるステンレス鋼の製造に不可欠な金属であり、ステンレス鋼のクロム含有率は1～2割程度である。鋼の耐食性、強度、耐熱性の向上に有効である。鉄に、酸におかされにくいクロムを入れることにより、自己修復性を持つ表層皮膜が形成され、鉄をさび（Stain）から守る。特殊鋼の添加物だけでなく、メッキにも使用される。クロム鉱石からフェロクロム（製鋼用の中間製品）を生産するには、電気炉等で電気を大量に消費することが特徴であり、50年前には、水力発電の盛んな北陸や東北に合金メーカーが多数立地していた。

鉱石の世界生産は南アフリカ（5割）、カザフ（2割）、インド（2割）であり、偏在が著しい。また、南アフリカを中心に、企業の寡占化も進行している。

中国はクロム鉱石の輸入国であり、輸入量は年々拡大している。2001年までは輸入鉱石を原料として、フェロクロムを生産・輸出してきた。2001年以降、クロム国際価格が低迷する中で、電力使用量が大きい、フェロクロム生産については、中国国内向けに限定している。

最近の供給障害例として、ステンレスの生産増によ



第4図 レアメタルの生産.



第5図 我が国のレアメタル輸入先.

る需給逼迫、自然災害による物流寸断が確認される。また、南アフリカに偏在するゆえ、ランド高(通貨)による輸出価格が上昇した例がある。

a. 探鉱開発, 貿易投資上の問題

日本企業は、南アフリカにおいて、出資により鉱石の販売権を確保している。電力多消費型産業であるフェロクロムについても、電気代が日本の約7分の1であり、かつ、クロム鉱の生産国である南アフリカで生産を行い、日本に輸出している。

1990年前半より複数の合弁企業が設立され、現地で生産された中間製品の輸入を拡大させた結果、日本は、主にフェロクロムで調達を行うようになっていく。

貿易投資上の問題としては、ジンバブエがクロム鉱石の輸出を禁ずる等、資源国において鉱石輸出からフェロクロム輸出へという高付加価値化の動きがある。また、カザフスタンは、クロム資源保護のため、CIS諸国以外の輸出を原則禁止している。インドにおいては、高品位塊鉱の輸出については、許可が必要となっている。

b. リサイクル

ステンレス鋼のリサイクル率は3割程度である。ステンレス鋼の回収ルートを含めたりサイクル体制の整備が課題である。

c. 代替性

ステンレス鋼に関しては、価格によりクロム系とニッケル系で代替関係あり。

(3) マンガン(写真2)

耐摩耗性を要求される運送機械・レールや、橋梁、高層ビルの骨組みに使用される高マンガン鋼に使用される。鋼材中の脱酸、脱硫を行う。また、二酸化マンガンとして一次電池や磁性体に使用される。一次電池については、生産者の中国シフトの動きがある。

フェロマンガンの生産にあたっては、電力とコークスを消費すること、その原料であるマンガン鉱は世界に分布するが、産地によって性質に大きな違いがあることが特徴である。付着水分が多く焼結コストがかかる(ブラジル産)、リン分が高い(ガボン産、豪州産)、品位が低くスラグが多く出る(中国産)等の特徴があ



写真2 フェロマンガン搬出。

り、南アフリカ産は品位が高い。電力消費については、フェロアロイの中では最も電力消費は少ない(フェロクロムの3分の1)が、低品位鉱から中間製品をつくるには大量に電力を使用する。

過去の供給障害例は、2000年豪州サイクロンによる道路寸断(日本への入荷遅延)、2004年中国の電力不足・コークス不足による生産障害等である。

2004年には、中国における電力不足・コークス不足による生産障害等から、フェロマンガン価格は短期的に高騰したが、その後は中国国内問題が解消したため、過去の価格水準に戻った。

2005年8月に、中国の電解金属マンガン主要産地(湖南省花垣、貴州省松桃、重慶市秀山)において環境監査が実施され、廃水処理及びスラグ廃棄等の公害対策が不十分な生産者は操業停止に追い込まれ、価格は再び高騰した。

a. 探鉱開発, 貿易投資上の問題

生産については、鉱石品位により、生産される中間製品が異なることが特徴である。高品位鉱を原料とするフェロマンガンは、南アフリカからの輸入鉱を日本で製錬している。南アフリカ産の高品位鉱を確保することが課題であり、長期契約により安定供給の確保がはかられている。

レアメタルの中でも重量のあるマンガンの供給は輸送手段の確保が大きな課題であるが、南アフリカにおいては鉄道輸送等の物流がネックとなっている。一方、低品位鉱を原料とするシリコマンガンは、低品位鉱の産地である中国(内モンゴル自治区、遼寧省)に生産拠点が移行しており、日本企業の投資先を含む中国

からの輸入が増えている。

海底資源としては、昭和50年度より、水深4,000～6,000メートルの大洋底にあるマンガン団塊の調査が行われてきたが、開発には至っていない。

b. リサイクル

特殊鋼、普通鋼についてはリサイクルされているもののリサイクル率は低く、リサイクル率の向上が課題である。

c. 代替性

マンガンは脱酸・脱硫作用を発揮するために、製鋼プロセスで必須の金属。粗鋼生産において、マンガンのように鋼材の性能を低下させずに脱酸・脱硫作用を発揮する物質は無い。

(4) コバルト(写真3)

日本では、以前は、航空機関連等、特殊鋼向けが多かったが、携帯電話やノート型パソコンに使用される小型高出力のリチウムイオン電池等の二次電池の需要が伸び、電池向けの需要が7割近くに達している。

1970年代後半にザイール(現コンゴ)で、シャバ紛争が勃発し、当時世界シェアの半分を占めていたザイールからのコバルト出荷が2ヶ月間停止され、価格が6倍に高騰したことがある。当時、レアメタルの中では、コバルトのみが不安定な値動きをしていた。現在は、主産物であるニッケル鉱山におけるストライキ(ファルコンブリッジ社、インコ社)の影響を受ける。



写真3 コバルト地金。

今後については、2006年以降に生産開始するニッケルの大型開発プロジェクトや、ザンビアの銅生産拡大に注目する必要がある。

a. 探鉱開発, 貿易投資上の問題

1970年頃は、アフリカの銅ベルト(銅の硫化鉱を多産する地帯)が、世界生産の半分以上を供給していた。その後、ニッケル湿式製錬技術の発達により、ニッケルラテライト鉱床からの産出が急拡大した。技術革新により生産の偏在性が緩和され、生産が拡大している。ニッケルと同様自主開発比率は高い。ニッケル、銅の両方の副産物として生産されるため、生産途絶の可能性は少ないが、供給量は主産物の生産量に支配される。それゆえ、需給のタイムラグが発生することもある。中国の輸入量が増加で、世界の需給タイト化を経験。高値安定していることから、コンゴ民主共和国やザンビアでは、廃棄された尾鉱からのコバルト回収が採算性を持つようになっている。

b. リサイクル

電池及び触媒についてはリサイクルされているもののリサイクル率は低く、リサイクル率の向上が課題である。

c. 代替性

1970年代後半のシャバ紛争で、日本ではICリードフレームや磁性材料分野でニッケル合金等への代替が進んだ。現在の需要先は、二次電池及び特殊鋼(航空機用等)に変化している。スーパーアロイについては、耐熱性に優れ、粉末冶金のバインダーとして、コバルトに勝るものはない。リチウム電池向けは技術革新が進み、マンガン、ニッケルに代替が進展している。

(5) タングステン

融点が高く、ダイヤモンドに次ぐ硬度を持つことから、過酷な条件に堪えられる高速度鋼等の特殊鋼や超合金等に使用される。また、土木工事や鉱山で使われる掘削ビットや、電子機器のプリント基板に極小の穴を空けるPCB(Printed circuit board)ドリルにも使用される。国連に材料委員会(UNCTAD タングステン委員会)があるレアメタル唯一の鉱種である。

1980年代半ばにおける日本の輸入(タングステン鉱)は、ポルトガル(4割)、韓国(2割)から輸入する

等、中国以外からの輸入が多かった。価格低迷期に、中国以外の鉬石・中間製品生産企業が淘汰され、現在、中国の世界シェアは9割を占め、日本の輸入も中国に依存している。中国内では鉬床は江西省から湖南省に分布する。中国では、中間製品生産施設の過剰な設備能力と、国の高付加価値政策が合致し、現在、中間製品での輸出を行っている。

中国は、1991年に国家鉬物資源保護法を制定し、タングステン、レアアース等のレアメタルを国家保護鉬種とした。有色金属工業第10次五か年計画(2001～2005年)では「資源保護と合理的な開発を強化し、鉬山能力、製錬能力と生産量を厳格に管理し、資源の優越を確実に産業の優越に転化する」としている。

世界市場に影響を与えた供給障害は、中国輸出許可証の発給枠制限(2001年)、鉬石新規契約締結中止(1991年)等、中国で発生。タングステンは、中国に偏在する金属であるが、中国は、輸出関税率の引き上げ、輸出増徴税の還付率の引き下げなど、国産金属の輸出抑制を促す措置を講じてきている。中国国内のタングステン消費が拡大する中で、2004年以降、タングステン国際価格は急激に上昇している。

a. 探鉱開発、貿易投資上の問題

日本企業は中間製品(中国)及び鉬石(ロシア)の形態で原料を調達している。価格低迷が長らく続き、処理コストがかかることもあり、日本は、中国から中間製品を調達するケースが増えた。国内では1社のみが鉬石を原料としている。

一方、中国においても、買収等で、企業数は激減した。中国は国家保護鉬種に指定しており、中国以外の地域における事業への関与が課題である。タングステンは全大陸に産出し、日本周辺では、ロシア沿海州、ベトナム、アラスカ等で供給可能性があり、探鉱開発への取り組みが不可欠である。我が国は、鉬石、中間製品の両方を原料にできるが、国内の鉬石処理能力は小さいことに留意する必要がある。

b. リサイクル

超硬工具の国内リサイクル設備は小規模で、スクラップの多くは欧州メーカーに売却されており、国内リサイクル体制整備が課題である。超硬工具スクラップのリサイクルを行っている主要企業は、世界に3社程度である。鉬山機械のように再生品が利用可能な

途がある一方、自動車及び部品製造に使用する切削工具のように原料品質の問題から再生品利用が困難な用途も存在する。欧州は海外からスクラップを集めているが、規模の利益の他、タングステンカーバイトに高関税をかけており、結果として、原料に対する高関税がリサイクルを促進しているという背景もある。

c. 代替性

タングステンの機能を代替できる元素・物質は発見されず、高付加価値の超硬工具の調達が困難化した場合、加工製品の性能に悪影響のおそれがある。代替材料開発では、機能発現の理論研究、界面制御等の材料開発関連技術研究、プロセス関連技術研究の推進が課題である。プリント基板の穴あけドリルではホルダーをステンレス製にする等、省使用化が進んでいる。

(6) モリブデン(写真4)

銅の強度、耐食性等の特性を高めるために利用される。我が国のモリブデン消費の9割程度は、鋼材、スーパーアロイ向けである。世界のモリブデン生産の8割以上が銅の副産物によるものである。

過去の供給障害は、ストライキ(カナダ・エンダコのモリブデン鉬山、チリ・チュキカマタ銅鉬山)、鉬山事故(中国遼寧省胡芦島の操業事故、カナダ・エンダコ鉬山の地滑り事故)が確認される。中国のモリブデン鉬については、遼寧省を中心に生産され、以前は輸出を行っていたが、現在は、中国内の需要拡大と、環境問題等による生産減で、輸入ポジションに変化しつつある。

a. 探鉱開発、貿易投資上の問題

世界生産量の2割がプライマリーで、8割が銅の副産物である。銅精鉬の有価な随伴微量成分の1つであり、銅精鉬より浮選分離を行う。供給量は銅の生産量に支配される。2002年以降、需給がタイト化し、国際価格の高騰を経験した。主に、日本企業が進出する中南米の銅鉬山で生産される。中国では、モリブデンに関する輸出増徴税の還付は、既に撤廃され、輸出インセンティブは縮小した。チリで導入が進む銅の溶媒抽出法(SX-EW法)では、モリブデンの回収が困難であるという欠点もある。



写真4 モリブデン粉。



写真5 フェロバナジウム。

b. リサイクル

金属スクラップ及び使用済廃触媒についてはリサイクルされているもののリサイクル率は低く、リサイクル率の向上が課題である。

c. 代替性

耐酸、耐熱性を必要とする特殊鋼に不可欠な金属であり、需要の9割は特殊鋼である。モリブデンの調達が困難化した場合、スーパーアロイ生産に影響が出るおそれがある。

(7) バナジウム (写真5)

製鋼の際、添加することで、鋼材の引っ張り強度、靱性、耐摩耗性が高められる。日本の消費量の9割は製鋼用(特殊鋼添加剤、合金用)であり、自動車部材向けの高張力鋼等に使用する。バナジウムを添加することにより、自動車のボディーラインを美しく加工できる。また、阪神大震災以降、耐震向上のため高強度鉄筋棒鋼が注目され、超高層マンションブームで使用量が増加している。

世界のバナジウム(五酸化バナジウム)生産は、南アフリカ(4割)、中国(2割)、ロシア(2割)に集中している。企業別には南アフリカの1社が世界の1/4シェアを占めており、特定な国の限られた企業が高いシェアを握る。また、中国内では四川省(鉄鉱石の副産物等)に偏在する。

過去の供給障害例は、米国・シールドアロイ社のスト、南アフリカ・ハイベルト社の減産、ロシア産バナジウムスラグの供給減等である。顕著な供給障害は見られないが、自動車触媒向けをはじめ、需要は拡大

しており、価格は市場動向の影響を受けやすい。2003～2004年にかけて、価格低迷を背景に南アフリカ、豪州の工場が閉鎖したが、その後、パイプライン等の需要が拡大し、価格が上昇した。

a. 探鉱開発、貿易投資上の問題

日本は、フェロバナジウムと、その原料である五酸化バナジウムの形で調達している。フェロバナジウムの大半は南アフリカからの輸入で、一部は日本との合弁企業が生産する。重質高硫黄原油やオイルサンド等、多様な供給源を目指すことも課題である。

b. リサイクル

特殊鋼についてはリサイクルされているもののリサイクル率は低く、リサイクル率の向上が課題である。

c. 代替性

日本の消費量の9割は製鋼用。高張力鋼に添加されるバナジウムの特性全てを満足する元素は無い。母材の靱性向上にはマンガン、モリブデン、結晶の細粒化向上にはニオブ等、一部の特性を補う元素は存在する。

(8) プラチナ

南アフリカとロシアで生産の9割を占め、偏在性が著しい鉱種である。生産の8割がアフリカ。世界消費の動向は大きく変化した。1975年の主な用途は宝飾品で自動車触媒は僅か14%であったが、世界的な排ガス規制の強化により、2005年には自動車触媒が45%を占め、最大の用途となっている。

顕著な供給障害は見られないが、自動車触媒向けをはじめ、需要は拡大しており、価格は市場動向の影響を受けやすい。

a. 探鉱開発, 貿易投資上の問題

輸入量の7割を南アフリカが占める。南アフリカの巨大な層状複合岩体(ブッシュフェルト岩体)で数多くの鉱山が操業する。自動車排ガス触媒用プラチナの需要増で需要が拡大しており、南アフリカ等における探査開発の促進が課題である。尾鉱を含め、未利用プラチナ資源からの回収技術開発が課題である。南アフリカ等における我が国の鉱山・製錬の投資交流の促進も、有効なアプローチとなる。

海底資源としては、コバルト・リッチ・クラストとされている基盤岩に張り付くクラストは、プラチナ・リッチであることがわかっているが、開発を行う場合は、開発・製錬コストの低減化が必要である。

b. リサイクル

主な工業用途である触媒については、リサイクルが進んでいる。

c. 代替性

プラチナより効率の良い触媒材料の開発は難しい。省使用化については、燃料電池のプラチナ原単位低減技術開発等が課題である。

(9) インジウム

亜鉛鉱からの副産物としても産出される。従来は主としてメッキに使用されていたが、現在は、日本の需要の9割が液晶テレビ、携帯電話の液晶パネル、太陽電池等の透明電極製造用ITO (Indium Tin Oxide) に使用される。太陽電池等に用いられることから、省エネ社会の実現にも欠かせない金属である。世界のフラットディスプレイの9割がアジアで生産され、その材料であるITOに使われるインジウムはアジアが大消費地である。

中国において、2001年7月 広西省南丹県での鉱山浸水事故により高インジウム含有の亜鉛鉱の生産が停止した。また、2005年 広東省のインジウム製錬所が河川汚染問題により閉鎖した。中国は、内需の増加に対応するため、増値税の還付率を下げる等、実質的に輸出を抑制している。中国内においても透

明電極用ITOの需要は増加した。一方で、安定的価格で供給していた欧州のリーディングカンパニーが倒産した。また、2006年3月 高インジウムの亜鉛鉱を生産する豊羽鉱山(札幌市)が採掘可能な資源の枯渇等の理由で生産を中止している。

a. 探鉱開発, 貿易投資上の問題

日本に亜鉛製錬所があるため、国内においてインジウムの副産が可能であることが強みである。但し、全ての亜鉛製錬所で生産が可能ではなく、生産方法によっては生産できないこともある。

輸入量の7割は中国から調達している。中国では、熱水作用を受けたチタン鉄鉱系列花崗岩が分布する華南地域において、インジウムを産する。なお、インジウム合金では中国に進出例がある。供給源の多角化のため、亜鉛鉱山の探鉱開発や鉱さいなどからの回収が課題であり、具体的には、ロシアやカナダの塊状硫化物鉱床や、ボリビア、ペルー、アルゼンチンの多金属鉱床の亜鉛鉱石中のインジウム回収等が課題である。亜鉛は長らく価格が低迷し、生産への投資が進まなかったが、消費が上向きになった現在、供給が追いつかない状況が続いていた。

b. リサイクル

インジウムを利用したITO材の7割は再利用される。スパッタリングの際、設備に付着したインジウムを含め、製造工程内でリサイクルが進む一方、使用済み製品からのリサイクルは、回収技術開発や回収ルート確立等が課題である。

c. 代替性

液晶パネルは、表面の薄い透明な電極に電圧をかけることで、画面の光を調整するが、透明で電気を通す金属はインジウム以外になく、他の金属は、電導度、エッチング、成膜の生産性、透過率の面で問題が残る。透明電極用ITOについては亜鉛が代替品の候補ではあるものの技術的に制約が大きい。抜本的代替材料開発等の可能性について、機能発現の理論研究、界面制御等の材料開発関連技術研究、プロセス関連技術研究の推進が課題である。

(10) レアアース

レアアースは17元素の呼称であり、相互の分離精

製が困難な上に、多種類の岩石中に微量に含まれ、純粋な単一元素を入手することが困難である。ハイブリッドカー用小型モーターやハードディスクドライブに使われる高温で磁力を保つ希土類磁石（軽希土類に含まれるネオジウム、重希土類に含まれるディスプロシウム等）、光学ガラス（ランタン等）に使用される。必ずしも、全てのレアアースはレアではない。溶媒抽出は元素が順番に抽出されることから、必要な元素だけを抽出することはできず、抽出コストをかけて不要な元素を処理する。結果として需給逼迫する元素もあれば、市場では余っている元素もある。

a. 探鉱開発、貿易投資上の問題

レアアース埋蔵量の95%が軽希土類であり、中国、米国、豪州など、世界に分布するが、精製の採算面等から、中国以外の生産は低迷している。重希土類の埋蔵量は5%程度であり、中国南部（江西省から広東省）に偏在することが特徴である。

中国北部には軽希土類の大鉱床（バヤンオボ鉱床）が発達し、包頭には希土に特化した高技術産業開発区（サイエンスパーク）がある。重希土類を含むイオン吸着型鉱床は世界でも中国南部にしか分布しない。これは花崗岩の上部（10～30メートル）が風化してできた粘土に希土類元素が付着したものであり、表層鉱床であり採掘コストがかからない一方、風化した表層部しか分布せず、かつ、小規模で鉱量が少ない。同タイプの鉱床は中国南部以外で確認されていないが、重希土類元素に富むアルカリ岩又はチタン鉄鉱系列花崗岩があり、かつ、厚い風化殻が発達するという条件が整うのは熱帯湿潤地域と考えられており、調査が課題である。

中国は、1991年に国家鉱物資源保護法を制定し、タングステン、レアアース等のレアメタルを国家保護鉱種とした。

2002年に、外国企業のレアアース鉱山への投資を禁止した。一方、中間製品等への製錬加工業への投資は合弁を条件に認めている。また、数百のレアアース鉱山企業を南北の2大レアアース企業集団へ再編指導し、環境保全という観点とあわせて資源採掘の管理を厳格化した。

中国に生産が偏在する鉱種であるが、中国は、輸出関税率の引き上げ、輸出増徴税の還付率の引き下げなど、国産金属の輸出抑制を促す措置を講じてき

ている。

レアアースの輸出には輸出許可証が必要であるが、2002年にはその発給が大幅に遅れたため、日本国内で供給不安が発生した経緯がある。2005年5月には酸化物等の増徴税還付制度が廃止された。その結果、川下の磁石製造等、中国国内の加工産業に有利な税体系となっている。また、2005年12月には国家発展改革委等が、希土類製品の輸出数量を適度に削減する必要があるとの方針を打ち出している。そのため、中国との一層の連携強化とともに、東アジア等、中国以外の資源産出国における探鉱開発が課題である。なお、保管に関しては、酸化し易いという問題（ネオジウム）、放射線の問題（モナザイト鉱）がある。

b. リサイクル

消耗品や添加剤として使用され、使用量が極めて少なく、回収が困難である。製造工程内のスクラップは回収されるが、使用済み製品（電池や磁石）からの回収は進んでいない。工程屑からのリサイクルは、採算面から海外で行っている。ネオジウムでは、製造工程で発生した屑は95%以上が回収されるが、コスト面から処理は中国で実施しており、国内リサイクル体制整備が課題である。

c. 代替性

小型高出力モーター用耐熱磁石等、レアアース以外では性能が発揮できない製品が非常に多い。代替材料開発の可能性について、機能発現の理論研究、界面制御等の材料開発関連技術研究、プロセス関連技術研究の推進が課題である。当面は、省使用化を進めることが現実的である。

4. まとめ

各鉱種の特性を踏まえた対応策及び官民の役割分担を、第7表及び第8表まとめ、対策につき、プライオリティーを示すこととする。

(1) 探鉱開発優先型

有効なケース：世界に資源が分布し、日本企業の探鉱活動が可能。しかし、探鉱リスクが増大しており探鉱開発の支援が必要。

探鉱開発による対策が有効な金属例：タングステン、

プラチナ、インジウム及び亜鉛

〈官の役割〉

- ・ 海外地質構造調査等のスキームによる探鉱開発支援
- ・ 円借款、資源金融融資、貿易保険等による企業の探鉱開発リスクの低減支援
- ・ 資源国-消費国の対話を含め、信頼関係の醸成・関係構築
- ・ 技術開発の支援

〈民の役割〉

- ・ 資源国との良好な関係維持・強化
- ・ 複数国からの調達
- ・ 長期契約の締結や自主開発・融資買鉱による鉱石確保の推進
- ・ グラスルーツからのハイリスクな探鉱事業への取組み強化
- ・ 開発資金の調達
- ・ 環境に配慮した持続的鉱山開発
- ・ 自動車メーカー等、ユーザー企業におけるリスクシェア拡大(部品や素材企業だけではなく、最終製品

を製造する加工組立企業も原料のセキュリティ意識を持つ)

(2) 貿易投資に関する諸問題の解決優先型

有効なケース: 山元への投資が困難な国、あるいは、近年資源ナショナリズムの再燃化で生産国の投資環境が悪化している国に対して有効。

貿易投資諸問題の解決を急ぐべき金属例: レアアース、タングステン、バナジウム等、特定の地域に偏在する鉱種

〈官の役割〉

- ・ 制度上の問題に関する相手国政府、州政府等との協議・情報交換

〈民の役割〉

- ・ 資源確保を目的とする海外投資(資源企業、加工・組立企業)
- ・ 相手国政府、合弁相手等との対話

(3) リサイクル優先型

有効なケース: 電池等、塊状に使われるものは、比較

第7表 リスクを低減するための官民の取り組み。

	主な課題	対応策	
		民	官
鉱山開発段階	鉱石生産の偏在	偏在範囲内で供給源分散を目指した鉱山開発の拡大(自主開発・融資買鉱による鉱石確保の促進、開発資金の調達、低品位かつ深部・奥地の鉱床開発等、環境に配慮した持続的鉱山開発)	探鉱開発、技術開発等の支援
	特定国への輸入依存	輸入の多角化、鉱山開発等を通じた調達先の拡大	探鉱開発等の支援
	相手国政府の資源政策(投資規制、貿易措置の発動等)	相手国との対話	資源外交の強化(政府ベースでの交渉)
	脆弱な物流機能	港湾等の整備	政府金融等による相手国経由インフラ整備支援
	事業所単位、会社単位、国単位で起こりうる供給障害への備え	在庫の確保、民間備蓄	国家備蓄
精錬段階	処理能力の制約、効率化	設備投資、技術開発(低品位鉱のリーチング技術等)	技術開発の支援
	国内の製錬工程の維持(鉱石・中間製品等、多様な形態による原材料悪口プロセスの確保、精錬からの副産物生産等)	設備投資、技術開発(低品位鉱のリーチング技術等)	鉱石の確保を目的とした探鉱開発支援
製品段階	特定材料への依存	代替化、省使用化	代替材料の開発支援等
リサイクル段階	リサイクルルート	リサイクルルートの整備	リサイクルルートの検討・支援
	分離技術	リサイクル技術の開発	リサイクル技術の開発支援

第8表 レアメタルに関する鉱種別制作課題。

	探鉱開発	貿易投資の諸問題	備蓄	リサイクル	代替材料開発・省使用化
タングステン (特殊鋼、超硬工具)	【中国偏在】日本企業は中間製品(中国)及び鉱石(ロシア)形態で原料を調達。価格低迷期に、中国以外の鉱石・中間製品生産企業が淘汰され、現在、中国の世界シェアは9割。中国は国家保護鉱種に指定。中国以外の地域における事業への関与が課題。ロシア(花崗岩の表層風化帯)に分布は、中国江西省等に偏在。東南アジア等、中国以外の資源産出国における探鉱開発が課題。	【中国】中国はタングステン、レアアース等を国家保護鉱種に指定。外資によるレアアース鉱山企業の設立を禁止(2002年)する等、外資規制あり。輸出許可証の発給の遅れ、増値税還付廃止等で輸出抑制。	国家備蓄を行っている7鉱種の1つ。現在、供給地域が偏在しているため、備蓄による対応は有効。形態について、鉱石での需要は少なくなっており、中間製品のニーズが多いことに留意。	超硬工具の国内リサイクル設備は小規模で、スクラップの多くは欧州メーカーに売却。技術開発を含む、国内体制整備が課題。再生品が利用可能な用途(鉱山機械)がある一方、原料品質の問題から再生品利用が困難な用途(精密加工用切削工具)も存在。	タングステンの機能で代替できる元素・物質は発見されず、高付加価値の超硬工具の調達が困難化した場合、加工製品の性能に悪影響のおそれ。代替材料開発では、機能発現の理論研究、界面制御等の材料開発関連技術研究、プロセス関連技術研究の推進が課題。
レアアース (高性能磁石等)	【中国偏在】複合元素の集合。軽希土類は世界に分布する一方、重希土類に富むイオン吸着型鉱床(花崗岩の表層風化帯)に分布は、中国江西省等に偏在。東南アジア等、中国以外の資源産出国における探鉱開発が課題。		国家備蓄は行っていない。要注視鉱種の1つである。酸化しやすいという問題(ネオジウム等)や放射線の問題(モナザイト鉱)があり、備蓄による対策は難しい。元素の集合であるが、全ての元素がレアではなく、市場で余っている元素もある。	製造工程内のスクラップは回収されるが、使用済み製品(電池や磁石)からの回収は進んでいない。ネオジウムでは、製造工程で発生した屑は95%以上が回収されるが、コスト面から処理は中国で実施、技術開発を含む、国内の処理体制整備が課題。	小型モーター用耐熱磁石等、レアアース以外では性能が発揮できない製品が非常に多い。代替材料開発の可能性について、機能発現の理論研究、界面制御等の材料開発関連技術研究、プロセス関連技術研究の推進が課題。
バナジウム (自動車鋼板等の特殊鋼)	【中国偏在】鉱石の世界生産は中国、南ア、ロシアに集中。南アの1社が世界の1/4シェアを占める。中国(鉄鉱石の副産物等)の生産が伸びる。日本は中間製品(フェロバナジウムとその原料である五酸化バナジウム)で輸入。フェロバナジウムの大半は南アからの輸入で、一部は日本との合弁企業が生産。重質高硫黄原油やオイルサンド等、多様な供給を目指すことも課題。		国家備蓄を行っている7鉱種の1つ。供給地域が偏在しているため、備蓄による対応は有効。	特殊鋼についてはリサイクルされているもののリサイクル率は低く、リサイクル率の向上が課題。	日本の消費量の9割は製鋼用。高張力鋼に添加されるバナジウムの特性全てを満足する元素は無い。母材の靱性向上にはマンガン、モリブデン、結晶の細粒化向上にはニオブ等、一部の特性を補う元素は存在。
マンガン (橋梁、高層ビル等の構造物)	【南ア偏在】鉱石品位により、生産される中間製品が異なる。高品位鉱によるフェロマンガンは、南アからの輸入鉱を製錬。南ア産の高品位鉱の確保が課題。南アは鉄道輸送等、物流がネック。一方、低品位鉱を原料とするシリコマンガンは、低品位鉱の産地である中国(内蒙古自治区、遼寧省)に生産拠点が移行。日本企業の投資先を含む中国等からの輸入が進展。電力不足や環境問題等から中国のマンガン工場休止例あり。	【南ア】投資のハードルは高い。	国家備蓄を行っている7鉱種の1つ。	特殊鋼、普通鋼についてはリサイクルされているもののリサイクル率は低く、リサイクル率の向上が課題。	マンガンは脱酸・脱硫作用を発揮するために、製鋼プロセスで必須の金属。粗鋼生産において、マンガンのように鋼材の性能を低下させずに脱酸・脱硫作用を発揮する物質は無い。
クロム (ステンレス)	【南ア偏在】鉱石の世界生産は南ア(5割)、カザフ(2割)。企業の寡占化も進行。フェロクロム生産(中間製品)は電力多消費であるため、電力が安価かつクロム産出国である南アに移転。日本は、南アで現地生産(我が国企業を含む)したフェロクロムの輸入を拡大。		国家備蓄を行っている7鉱種の1つ。	ステンレス鋼のリサイクル率は3割程度。ステンレス鋼の回収ルート整備を含めた国内の処理体制整備が課題。	ステンレス鋼に関しては、価格によりクロム系とニッケル系で代替関係あり。

第8表 レアメタルに関する鉱種別制作課題(つづき)。

	探鉱開発	貿易投資の諸問題	備蓄	リサイクル	代替材料開発・省使用化
プラチナ (燃料電池用触媒、環境浄化用触媒)	【南ア偏在】輸入量の7割を南アが占める。南アの巨大鉱床(ブッシュフェルト岩体)で数多くの鉱山が操業。自動車排ガス触媒用プラチナの需要増で需要が拡大しており、南ア等における探査開発の促進が課題。尾鉱を含め、未利用プラチナ資源からの回収技術開発が課題。南ア等における我が国の鉱山・製錬・製造業の投資交流の促進も、有効なアプローチとなる。	【南ア】投資のハードルは高い。	国家備蓄は行っていない。要注視鉱種である。1g=4,000円とすれば、10kgで4,000万円であり、備蓄を行うには予算面の手当が課題。	主な工業用途である触媒については、リサイクルが進んでいる。自動車メーカーが唯一直接確保する鉱種である。	プラチナより効率の良い触媒材料の開発は難しい。省使用化については、燃料電池のプラチナ原単位低減技術開発等が課題。自動車メーカーでは触媒効率アップで省使用化をはかる。
ニッケル (ステンレス等)	日本企業は、インドネシア、ニューカレドニア、フィリピン等の鉱山及び製錬所(中間製品)に投資。硫化鉱及び高品位ラテライト鉱に加え、低品位ラテライト鉱に対する新技術(高圧酸浸出法)の適用で、供給可能性が拡大。海外投資先からの原料輸入割合(鉱石及び中間製品)は25%程度。更なる自主開発、輸入多角化が課題。過去の供給障害例としては、圧倒的シェアを握るメジャーのストが多数確認される。	日本の輸入依存度が高いインドネシアにおいて鉱業法等で規制の動きあり、注意が必要。	国家備蓄を行っている7鉱種の1つ。	ニッケル水素電池及びニッカド電池の7割、ステンレス鋼の4割がリサイクル。ステンレススクラップを韓国等から輸入中。ステンレス鋼の回収ルートを含むリサイクル体制の整備が課題。	ステンレス鋼についてはニッケルの高騰を受け、クロム系ステンレスへシフトする等、用途に応じて代替が進展。二次電池については、機能と価格の問題があるが、コバルト、マンガンによる製品レベルでの代替が可能。
コバルト (特殊鋼、電池)	【副産物】1970年頃は、旧ザイール銅山が、世界生産の半分以上を供給。現在は、ニッケル湿式製錬技術の発達で、ニッケルラテライト鉱床からの産出が急拡大。ニッケルと同様自主開発比率は高い。ニッケル及び銅の副産物で、生産途絶の可能性は少ないが、供給量は主産物の生産量に支配される。中国の輸入量が増加で、世界の需給タイト化を経験。	技術革新で偏在性が緩和。投資のハードルが低い国もある。	国家備蓄を行っている7鉱種の1つ。	電池及び触媒についてはリサイクルされているもののリサイクル率は低く、リサイクル率の向上が課題。	1970年代後半のシャバ紛争で、日本ではICリードフレームや磁性材料分野でニッケル合金等への代替が進む。現在の需要先は、二次電池及び特殊鋼(航空機用等)、リチウム電池向けは技術革新が進み、マンガン等に代替が進展中。
モリブデン (特殊鋼)	【副産物】世界生産量の8割が銅の副産物。供給量は銅の生産量に支配される。2002年以降、需給がタイト化し、国際価格の高騰を経験。日本企業が進出する中南米の銅鉱山で生産。中国では、モリブデンに関する輸出増値税の還付は、既に撤廃され、輸出インセンティブは縮小。	自主開発率が高く、投資のハードルは低い。	国家備蓄を行っている7鉱種の1つ。	金属スクラップ及び使用済触媒についてはリサイクルされているもののリサイクル率は低く、リサイクル率の向上が課題。	需要の9割は特殊鋼。耐酸、耐熱性を必要とする特殊鋼に不可欠な金属。モリブデン調達困難化した場合、スーパーアロイ生産に影響が出るおそれあり。
インジウム (太陽電池、液晶パネルの透明電極)	【副産物】国内に亜鉛製錬所があるため、インジウムの副産が可能。輸入量の7割は中国から。インジウム合金では中国に進出例あり。供給源の多角化のため、亜鉛鉱山の探鉱開発や鉱さいなどからの回収が課題となる。具体的には、ロシアやカナダの塊状硫化物鉱床や、ボリビア、ペルー、アルゼンチンの多金属鉱床の亜鉛鉱石中のインジウム回収等が課題。	亜鉛の生産国は、投資のハードルは比較的低い。中国には投資は困難。	国家備蓄は行っていないが、要注視鉱種である。	インジウムを利用したITO材の7割は再利用される。ITO製造工程内でリサイクルが進む一方、使用済み製品からのリサイクルは、回収技術開発や回収ルート確立等が課題。	透明電極用ITOについては亜鉛が代替品の候補ではあるものの技術的に制約大。抜本的代替材料開発等の可能性について、機能発現の理論研究、界面制御等の材料開発関連技術研究の推進が課題。

的、リサイクルしやすい。一方、メッキに使われるものはリサイクル率を上げることは困難であり、消耗品に使われるものはリサイクルが不可能である。また、タングステンのように、再生品の使用が好まれない用途（精密加工用の超硬工具）もあることに留意する必要がある。

リサイクル体制整備が課題である鉱種例：コバルト、インジウム

〈官の役割〉

- ・ リサイクル原料の調達ルートの確保支援

〈民の役割〉

- ・ リサイクル原料の調達ルート拡大
- ・ 工程内回収、使用済み製品の回収

(4) 代替材料開発優先型

有効なケース：ステンレスのニッケル、クロムのように性能には差が出るものの、ある程度代替できるケースや、電池のように製品レベルの代替開発が可能なケースもあるが、多くは、代替性が困難であり、現実的な解決策である省使用化を進めながら、代替については、基礎研究から進める必要がある。

代替材料開発が待たれる鉱種例：タングステン、レアース、プラチナ等、供給リスクが高い鉱種

〈官の役割〉

- ・ 代替材料開発の可能性について、機能発現の理論研究、界面制御等の材料開発関連技術研究、プロセス技術研究の推進について、支援を検討する。

〈民の役割〉

- ・ 代替及び省使用化に関する技術開発の推進

(5) 備蓄優先型

有効なケース：「海外探鉱の促進」及び「貿易投資の障害除去」に力を注いでも、安定供給の課題は残り、備蓄による短期的な供給障害への備えが必要な鉱種。ベースメタルの副産物のように、ベースメタルの供給に支配され、需給のタイムラグがある鉱種。保管上の問題がない鉱種。

〈官民の役割〉

- ・ 供給障害に備えた備蓄の推進
- ・ 最近の利用形態の変化に応じた物資の備蓄（例えば、タングステンは鉱石から中間製品への需要が変化）

以上、レアメタルのマテリアルフローを俯瞰し、探鉱からリサイクルまで、鉱種毎の世界需給や、日本の金属産業構造などの各鉱種の特性を踏まえた資源供給の安定確保政策について整理を行った。

これまでベースメタルでは、探鉱開発からリサイクルまで幅広い対策がなされてきた一方、レアメタルの安定供給に関する対策は、備蓄が中心であった。昨今のレアメタルを取り巻く状況を鑑み、安定供給を目的に、探鉱開発からリサイクルまでの全般にわたる対策をとる際には、鉱種別の特性を分析し、鉱種毎にどのような対策が有効か、対策の重み付けを行い、官民一体となった取組みを行う必要がある。

HORI Takuma (2006) : A study of the problem of providing a stable rare metal supply.

〈受付：2006年6月12日〉