

1. 希少性資源の需要動向

1 - 1. 希少性資源の利用分野

本調査でいう希少性資源とは、地殻中での存在量が希である資源、地殻中に多く存在するが単体として取り出すことが技術的に困難である資源、また採掘や精錬のコストが高く経済的に採算が取れない資源であり、周期律表では図1 - 1にゴシック体で示した元素を指している。半導体産業のみならず広く工業的に不可欠な資源であるが、地球上では中国、アフリカ、ロシアなど偏在しているものが多い。

図1 - 1 周期律表における希少性資源

	A	A	A	A	A	A	A	A			B	B	B	B	B	B	B	0
1	1 H 水素																2 He ヘリウム	
2	3 Li リチウム	4 Be ベリリウム											5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素	10 Ne ネオン
3	11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム											13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S イオウ	17 Cl 塩素	18 Ar アルゴン
4	19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素	36 Kr クリプトン
5	37 Rb ルビジウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルビジウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素	54 Xe キセノン
6	55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57-71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オスミウム	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン	86 Rn ラドン
7	87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	89- アクチノイド	104 Rf ラザホージウム	105 Db ドブニウム	106 Sg シーボーギウム	107 Bh ボーリウム	108 Hs ハッシュウム	109 Mt マイトリウム									
ランタン系 列元素	57 La ランタン	58 Ce セリウム	59 Pr プラセオジウム	60 Nd ネオジウム	61 Pm プロメチウム	62 Sm サマリウム	63 Eu ユーロピウム	64 Gd ガドリニウム	65 Tb テルビウム	66 Dy ジスプロシウム	67 Ho ホルミウム	68 Er エルビウム	69 Tm ツリウム	70 Yb イットルビウム	71 Lu ルテチウム			
アクチノ イド系列	89 Ac アクチニウム	90 Th トリウム	91 Pa プロトアクチニウム	92 U ウラン	93 Np ネプツニウム	94 Pu プルトニウム	95 Am アメリシウム	96 Cm キュリウム	97 Bk バークリウム	98 Cf カリホルニウム	99 Es アインスタインウム	100 Fm フェルミウム	101 Md メンデレビウム	102 No ノーベリウム	103 Lr ローレンシウム			

典型金属元素	ゴシック体のものがレアメタル
半金属元素	
金属元素	
遷移金属元素	
希ガス	

なお、希土類（レアアース、REE）と呼ばれる原子番号21番のスカンジウム(Sc)、39番のイットリウム(Y)、および57番ランタン(La)～71番ルテチウム(Lu)は、希少であると考えられたが、実際にはその多くは地球上に豊富に存在している。

はじめに希少性資源の利用分野を概観する。

(1) 特殊鋼分野

鉄鋼分野において、鋼の強度、耐熱性、耐食性、被切削性等の向上に特殊鋼等の合金添加原料としてレアメタルが利用されている（日本の粗鋼生産約 1 億 1,270 万トンに対して特殊鋼生産約 1,984 万トン（2004 年））。用途別では、表 1 - 1 に示すとおりである。

表 1 - 1 特殊鋼の用途

特殊鋼	添加レアメタル	具体的用途
構造用鋼	Cr、Ni、Mo、V 等	一般構造物用の高張力鋼
	Ni	LNG 等低温用圧力容器等材料の低温鋼
機械構造用鋼	Ni、Cr、Mn、Mo	合金鋼、窒化鋼
特殊用途鋼	Mn、Cr、Mo、V	ばね鋼
	Se、Te、Bi 等	快削鋼
		軸受鋼
工具用鋼	Mn、Ni、Cr、Mo、V 等	耐衝撃工具に使われる合金工具鋼
	W、Cr、Mo、V	ドリル、カッター等の高速度工具鋼
耐食耐熱用鋼	Cr、Ni、Mo	ステンレス鋼
	Cr、Mn	タービン、バルブ等の高温部材用の耐熱鋼
	Ni、Cr、W、Mo、Ti、Nb 等	航空機ガスタービン等の超合金
電磁用鋼		変圧器、電動機等用のけい素鋼

(2) 電子材料・家電製品分野

パソコン、半導体、薄型テレビ、DVD レコーダー、カーナビゲーション、デジカメ、携帯電話等の電子機器（IC、半導体、コネクタ、リードフレーム、接点等）に、ガリウム(Ga)、タンタル(Ta)、ニッケル(Ni)、チタン(Ti)、ジルコニウム(Zr)、ニオブ(Nb)、プラチナ(Pt)等の種々の希少性資源が使用されている。主要なディスプレイとなった液晶の透明電極にはインジウム(In)と錫の化合物(ITO)が使用され、NdFeB 磁石は小型精密モーターとして、携帯電話(スピーカー、振動モーター)、エアコン(室外機コンプレッサー用モーター)、ハイブリッド車(駆動モーター)、医療用機器(MRI 等)、リニアモーター等に幅広く利用され、製品の小型化・軽量化に役立っている。また、小型二次電池(リチウムイオン電池にはリチウム(Li)、コバルト(Co)が、ニッケル水素電池にはコバルト(Co)、レアアース(REE)等)にもレアメタルが使用されている。青色発光ダイオードにはガリウム(Ga)が使用されている。

(3) 精密機械・加工分野

携帯電話、デジカメ、パソコン等の小型化・軽量化に、高性能の NbFeB 磁石が使われ、各種基板に 0.1mm のような極小の孔を開けるミニチュアドリル等の超硬合金には、タングステン(W、高融点 3,400)に靱性の高いコバルト(Co)粉末をバインダーとして成形・焼結して作られる。切削用超硬合金には、刃先の高温硬度と強度をさらに上げるため炭化チタンや炭化タンタル等の高融点金属が添加されている。

超硬工具や超硬製品は、身近なところではボールペンのボール、ビール缶の製造、VTR や音楽テープの切断にも使用されている。

表 1 - 2 精密機械・加工分野におけるレアメタルの活用

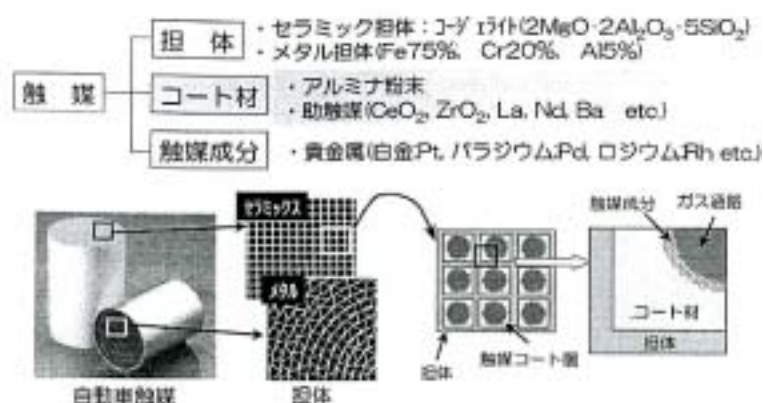
製品分野	添加レアメタル	具体的利用する分野
電子部品焼成炉	Zr	電子部品製造
超硬工具(ミニチュアドリル等)	W、Co、Ti、Ta、Mo、V、B等	精密機器・マザーマシン製造、基板製造
希土類磁石	REE (Nd、Dy)	マイクロマシン

(4) 環境・エネルギー分野

ガソリンエンジンの排ガス中に含まれる有害成分は、ガソリンの未燃焼成分である炭化水素(HC)、一酸化炭素(CO)、窒素酸化物(NOx)である。自動車用排ガス浄化触媒は、HC とCO を酸化して CO₂ と水に変えると同時に NOx を還元して無害な窒素 N₂ と酸素 O₂ に変換するので三元触媒といわれる。三元触媒には、白金族(プラチナ(Pt)、パラジウム(Pd)、ロジウム(Rh)) の3つの貴金属が使用されているが、レアアースであるセリウム(Ce)等も重要な役割を担っている。しかし、自動車排ガス触媒に使われるレアアースは、全流通量の5%程度に過ぎない。

また燃料電池にはプラチナ等が使用されている。

図 1 - 2 自動車触媒の構造



光触媒として酸化チタンが使われている。光による強い酸化力(汚れの分解、消臭、抗菌・殺菌、有害物質の酸化)と超親水性(ガラス・鏡の曇り止めや汚れ防止)の機能を有する酸化チタンは白色ペンキや化粧品に、最近では空気清浄機、脱臭フィルター、抗菌タイル、自動車のサイドミラーの曇り止めフィルムや脱臭・抗菌を目的とした衣類やティッシュなどにも使用されている。

表 1 - 3 環境・エネルギー分野におけるレアメタルの活用

製品分野	添加レアメタル	具体的効果
燃料電池・太陽電池	Pt、Mo、Ni、Ti、In、Ga、Te、Ge、Ta 等	クリーンエネルギーの創生
自動車排ガス処理用触媒	Pt、Pd、REE(Ce)	排気ガスの浄化
発光ダイオード(LED)	Ga、ヒ素(As)	省電力、長寿命
光触媒	Ti	抗菌作用、有害物質分解

1 - 2 . 鉍種別の用途、供給・業界構造及びリサイクルの概要

表 1 - 4 は、希少性資源がどのような部品に使われているかを一覧表にしたものである。

以下に、鉍種別の用途、需給、リサイクル状況の概要をまとめた。

表1 - 4 情報家電製品と自動車（部品を含む）に使われる希少性資源

	Li	Be	B	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Ga	Ge	Se	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Pd	In	Sb	Te	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Tb	Ho	Er	Tm	Yb	Y	Ta	W	Pt	Bi				
	リチウム	ベリリウム	ホウ素	チタン	バナジウム	クロム	マンガン	コバルト	ニッケル	ガリウム	ゲルマニウム	セレン	ルビウム	ストロチウム	ジルコニウム	ニオブ	モリブデン	パラジウム	インジウム	アンチモン	テルル	セシウム	バリウム	ランタン	セリウム	プロセチウム	ネオジム	サマリウム	ユーロピウム	ガドリウム	ジスプロシウム	テルビウム	ホルミウム	エルビウム	ツリウム	イットリウム	イットリウム	タンタル	タンゲステン	プラチナ	ビスマス				
ブラウン管																																													
蛍光灯																																													
PC モニター																																													
弾性表面フィルター(携帯電話、テレビ)																																													
リチウムイオン電池材																																													
リチウムイオン電解質																																													
スピーカー振動板																																													
電子機器用パネ板																																													
表示素子、発光素子																																													
熱電素子、圧電素子																																													
コネクター																																													
スイッチ																																													
リレー																																													
マイクロモーター																																													
ガラス長繊維(プリント基板)																																													
ガラス短繊維(冷蔵庫)																																													
ホウケイ酸ガラス(自動車、液晶ディスプレイ)																																													
排ガス浄化触媒																																													
デジカメレンズ																																													
フェロボロン(磁石、低合金鋼)																																													
磁気ディスク																																													
鉄鋼添加材																																													
高張力鋼																																													
非鉄金属添加材																																													
ハードディスク																																													
液晶																																													
メッキ																																													
磁気ヘッド																																													
フェライト																																													
ニッケル水素電池																																													
磁石																																													
フェライト磁石モーター、スピーカー																																													
リードフレーム等電子部材																																													
半導体チップ																																													
レーザープリンター																																													
蛍光体																																													
赤外線素子窓材(自動車)																																													
記憶媒体																																													
乾式複写機感光体																																													
整流器																																													
電着装置防錆剤																																													
電子材用																																													
コンデンサー																																													
カメラビデオ																																													
鉛蓄電池添加剤																																													
難燃助剤																																													
自動車ブレーキパッド																																													

出所) (財)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 HP ほか

(1) リチウム (Li)

(用途)

炭酸リチウムは、リチウムイオン電池の電極材や耐熱ガラス添加剤のほかに、弾性表面波フィルター用の LT (LiTaO₃)、LN (LiNbO₃) に使われる。特に高純度のものは、携帯電話、カーナビ等フィルター (SAW フィルター) 及び発信器として使用されているが、小型化により炭酸リチウムの需要量は減少傾向にある。臭化リチウムの用途はビル、工場などの大型空調用吸収式冷凍機の冷媒吸収材がほとんどである。水酸化リチウムの用途は自動車等のグリース及びリチウム電池 (一次、二次) 向けの原料である。金属リチウムの用途は一次電池の負極材としての箔及び合成ゴム触媒用のブチルリチウム向け原料である。

(供給)

日本国内ではリチウムの原料となる資源がない。リチウム化合物の出発原料にもなる炭酸リチウムの輸入量は 2004 年に約 12,000 トンであり、チリから 80% を輸入している。

表 1 - 6 にリチウム化合物別の日本の需要推移を示している。日本のリチウムメーカーは、本荘ケミカル (臭化リチウム、塩化リチウム、高純度炭酸リチウム、その他の塩類、金属リチウムを製造)、日本化学工業 (塩化リチウム等を製造)、本荘金属 (金属リチウム箔を製造)、アジアリチウム (ブチルリチウムを製造) である。

表 1 - 5 リチウム製品の輸入通関推移 (単位 : トン)

	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
炭酸リチウム	6,655	7,194	6,843	7,721	9,978	11,971
水酸化リチウム	1,572	1,558	1,312	1,019	1,458	1,497
塩化リチウム	550	500	450	90	90	60
金属リチウム	91.2	131.5	140.5	135.2	167.6	185.4

出所) 工業レアメタル 2005

表 1 - 6 日本のリチウム製品の需要推移 (t)

	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
炭酸リチウム	5,200	6,000	5,800	6,200	8,700	10,500
臭化リチウム	3,000	3,300	3,000	3,000	2,700	2,700
水酸化リチウム	1,572	1,558	1,312	1,019	1,458	1,497
塩化リチウム	700	720	650	300	200	150
金属リチウム	195	225	225	225	168	185

出所) 工業レアメタル 2005

(リサイクル)

リチウムは、陶磁器、ガラスの添加剤、溶接用フラックス、グリース等の消耗品や添加剤として利用されているため、ほとんどリサイクルされていない。負極に利用される箔は電池製造時に箔屑が発生するが、スクラップとして回収され再利用されている。しかし、使用済み電池は回収されていない。

合成ゴム重合触媒として使用されるノルマルブチルリチウム等については使用済み後、塩化リチウムとして抽出され溶接用フラックス等に再利用されている。また、リチウムイ

オン電池はコバルト酸リチウムであるので一部回収され、コバルトの回収が行われている。電池からのリチウムの回収は行われていない。

(2) ベリリウム (Be)

(用途)

ベリリウムは主に合金として使用され、合金のほとんどがベリリウム銅である。

ベリリウム銅は、Be 含量 0.2~2.0%で、黄銅やりん青銅などの銅合金の中で最高強度を示し、引張強度、導電率のバランスが優れている。その展伸材、鋳鍛材には、それぞれ高強度タイプ (Be 含量約 1.8%、C17200 : 25 合金など)、高伝導タイプ (Be 含量約 0.5%、C17510 : 11 合金など) がある。

展伸材では、導電バネ材として、光ピックアップ用の電子機器コネクタ、IC ソケット、スイッチ、リレー、マイクロモーターに利用され、産業用機器のほかに、携帯電話、デジカメ、パソコン、AV 機器、自動車電装品などに組み込まれている。

鋳鍛材では海水の耐食性と強度を活かして、安全工具、プラスチック用金型、溶接用電極、海底通信ケーブル用中継器の構造体などに利用されている。最近では、アルミダイカスト用のチルベルトとしてベリリウム銅のもつ熱伝導性と耐磨耗性を活かして、自動車部品用ダイカスト製品の品質向上や薄肉化に貢献している。

金属ベリリウムの用途としては、医療用・工業用機器の X 線窓、音響用スピーカー振動板、レーザー・ドリリング用ガルバノ・ミラー、半導体製造装置用反射電子防止板などがある。量的には少ない。

(供給)

日本は、水酸化ベリリウム、ベリリウム銅母合金などの中間製品、ベリリウム銅スクラップ、金属ベリリウムスクラップなどを輸入している。

ベリリウム鉱石の埋蔵量(2004年)は、米国 4.8 万トン、その他 3.2 万トンとなっている。世界全体の鉱石生産量は、表 1 - 7 に示すように、最近では 160 トン/年となっており、可採年数としては 491 年(埋蔵量 / 2004 年鉱石生産量)と長い。表 1 - 8 にベリリウムの主要メーカーを示す。

(リサイクル)

ベリリウムを含むスクラップとしては、コネクタ、スイッチなどの電子機器用部品(自動車用電装品を含む)、プラスチック金型など高強度工器具、溶接用電極などの伝導部品、

表 1 - 7 世界のベリリウム鉱石生産量の推移 (単位: トン)

	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04
米国	202	217	231	230	200	255	100	100	85	100
中国	55	55	55	55	55	55	15	15	15	15
カザフスタン	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
モザンビーク	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
ロシア	32	30	40	40	40	40	40	40	40	40
ブラジル	34	34	0	0	0	0	0	0	0	0
その他	0	1	1	1	2	2	1	1	1	1
合計	327	341	331	330	301	356	160	160	148	163

出所) USGS Minerals Commodity Summaries 2005

表 1 - 8 国内の主要メーカーと主要製品

メーカー	BeCu 展伸材	BeCu 母合金	BeCu 鑄鍛造加工品	BeAl 加工品	金属 Be	NiBe 製品
日本ガイシ						
ブラッシュ・ウェルマン・ジャパン						
ヤマハメタニクス						
住友特殊金属						
藤井製作所	(快削棒)					

出所) 工業メタル 2005

放射線や原子力用機器・装置用純金属ベリリウム、及び半導体基板に大別できる。

こうち、電子機器用部品が組み込まれた廃電気電子機器から、ベリリウムやベリリウム化合物としては回収されていない。

プラスチック金型、安全工具、各種機械部品などのベリリウム銅製品は、一部リサイクルされてマテリアルフローに乗るものがあるが、その量的にもものは明らかになっていない。しかし、この分野に使われているものは、大部分が銅スクラップとしてリサイクルされている。

(3) ホウ素 (B)

(用途)

ボロンの最終製品としては、ガラス長繊維とガラス短繊維が多い。長繊維は FRP 等のプラスチック補強材、電気絶縁材、耐火材として小型船舶、浴槽等に、短繊維 (グラスウール) は、断熱材や吸音材として一般建築物の天井、壁、床、冷蔵庫等に使われている。

鉄鋼生産向けのフェロボロンは他のフェロアロイと較べて量が少ないが、焼き入れ性や溶接性の改善に使用される。日本では現在、日本電工のみが生産している。

NdFeB 磁石の例は、少量のボロンで材質効果が向上する典型的な例である。最近では NdSiB のアモルファス製造にも使われている。アモルファス製造にも少量のボロンが有効である。このアモルファスは珪素鋼板と同様に柱上トランスに用いられ、生産量も増えている。

この他、釉薬として陶磁器に用いられたり殺菌作用があることから消毒剤、目薬、ゴキブリ用防虫剤、金属の表面処理用の熔融塩浴、原子炉の遮蔽壁等に用いられている。

さらに高純度ボロンとして半導体のドーパントに使用されている。ファインガラス、ファインセラミックの分野では様々な用途があり、光通信用ガラスファイバーやヘキサゴナルボロンナイトライド (h-BN) として潤滑材および高温における電気絶縁材料、キュービックボロンナイトライド (CBN) として難削材の切削加工工具に使用されている。さらに TiB_2 、 ZrB_2 として高級耐火物、 LaB_6 として熱電子放射陰極、 LiB_4O_7 として携帯電話、カーナビなどのフィルター、発振器用弾性表面波素子 (SAW)、 B_4C として研磨剤、原子炉制御剤にもちいられている。

(供給)

日本にはホウ素 (ボロン) の資源がないため、原料鉱石及び中間製品を全量輸入している。中間製品のホウ砂、ホウ酸についてはアメリカからの輸入が多い。

(リサイクル)

FRP の補強材として添加されたガラス長繊維は漁船やボートなどの廃船とともに産業廃棄物として主として埋立処分されているが、大型であるため処理が問題となっている。ガラス短繊維についても建築廃材として地中に埋められている。ホウ珪酸ガラスについても多くはガラス屑として埋め立てられている。

FRP に使用されたガラス長繊維について一部は自動車工場からの廃棄物を粉砕、自動車部品として再利用されている例もあるが、使用済み FRP 廃棄物(年間 30 万トン)は他の材質との複合体や、不純物で汚染されている場合が多いため再資源化が困難である。

フェロボロンについては鋼に添加され、スクラップとして回収される。その他の電気部品に使用されたものの多くは家電屑となる。鋼スクラップとしては回収後、他のボロンを含まない鋼と共に溶解され鋼の原料としてリサイクルされるが、ボロン含有量が微量であるためボロン成分としてはリサイクルされない。

ファインセラミックスとしてヘキサゴナルボロンナイトライド、キュービックボロンナイトライド、TiB₂ 等の化合物が少量生産され、潤滑材や研磨材に使用されているが、リサイクルはされていない。

(4) チタン(Ti)

(用途)

チタン原料はすべて輸入に依存している。ほとんどは酸化チタンとして使用される。

酸化チタンの用途は、約 2 / 3 が塗料、顔料向けであり、塗料、インキ、紙等に使用され、自動車や家電製品の塗装に使用されている。また、半導体(コンデンサー)やアルミ磁気ディスク円盤上の制御膜材としてチタンが使われる。また光触媒等に利用されている。

金属チタンは、耐食性に優れた特徴から、石油化学工業、海水淡水化プラントや発電所における配管、槽などに純チタンが使用されている。

最近では自動車エンジン部品に粉末冶金や鋳造によるチタン合金素材や鋳造合金、二輪車のチタンマフラー、眼鏡フレーム、腕時計、装飾品などの用途が広がっている。また、生体適合性や低い金属アレルギー性から人工骨、人工股関節などの医療材料としての用途も拡大している。

表 1 - 9 酸化チタンの国内用途別出荷量(2004 年)

用途	出荷量(トン)
塗料	74,422
ゴム	2,465
化繊	2,485
インキ・顔料	36,167
合成樹脂	18,075
製紙	14,847
コンデンサー	1,891
その他	16,956
合計	167,308

出所) 日本酸化チタン工業会資料

(供給)

世界の可採埋蔵量は、2004年ベースで7億2,000万トンである。オーストラリア、中国の2ヶ国で6割を占めている。世界の年間鉍石生産量(約500万トン)からの可採年数は138年となっている。日本は、チタン鉍石、金属チタン(くずを含む)、酸化チタンの形で輸入しており、2004年では、それぞれ約45万トン(主にベトナム、オーストラリア)、約7千トン(主にロシア、カザフスタン、米国)、約1万5千トン(主に中国、韓国)を輸入している。

表1-10 世界のチタン鉍石の可採埋蔵量(2004年)

	可採埋蔵量(万トン)	(%)
米国	640	1
オーストラリア	22,200	31
ブラジル	1,550	2
カナダ	3,100	4
中国	20,000	28
インド	9,240	13
ノルウェイ	3,700	5
南アフリカ	7,130	10
ウクライナ	840	1
その他	3,600	5
合計	72,000	100

出所) USGS Minerals Commodity Summaries 2005

(リサイクル)

塗料や顔料に使われる酸化チタンについては、リサイクルはされていない。一方、金属チタンについては、アルミニウムと同様に製造にてエネルギー消費が多い素材であることから、リサイクルの重量性が高まっている。ライフサイクルが長いこと、市場規模が小さいことから、その市場性は極めて限定的である。

市場からの使用済み製品については、一部、鉄鋼添加用のフェロチタン原料として再利用されている程度である。鉄鋼用の添加元素としてのチタンは微量であり、かつ分離ができないことから、リサイクルされずに鉄に含まれた状態で鉄くずとして回収されている。

(5) バナジウム(V)

(用途)

バナジウムを含有した高張力鋼の厚板は、主に橋梁、船舶、大型建造物、ラインパイプに使用され、非調質鋼は主に自動車の車軸、ボルト等に使用される。また、合金工具鋼はバイト、タップ、ダイス等の切削工具、ポンチ、たがね等の耐衝撃工具、シャー刃、ねじ転造ダイス等の冷間金型工具及びプレス型、ダイカスト型等の熱間金型工具に使用される。高速度工具鋼は特に高速重切削用各種工具、難切削材の切削工具として使用される。また、ステンレスの耐熱鋼(SUH)の一部にもバナジウムが含有され自動車用エンジンの排気バルブやタービンブレードとして使用される。

(供給)

バナジウム原料の生産は中国、ロシア、南アに集中している。そのために、日本は五酸

化バナジウムほぼ全量を輸入(2004年、2,274トン)に依存しており、南ア(1,200t)と中国(1,074t)に集中している。五酸化バナジウムの大部分がフェロバナジウムの原料として使用される。

表1-11 日本の輸入推移(五酸化バナジウム) (単位:トン)

	2001年	2002年	2003年	2004年
中国	1,292	1,889	1,696	1,074
オーストリア	1,400	1,080	100	0
南アフリカ	886	1,012	1,962	1,200
その他	41	0	52	0
合計	3,618	3,981	3,810	2,274

出所)工業レアメタル2005

表1-12 日本の輸入推移(フェロバナジウム) (単位:製品トン)

	2001年	2002年	2003年	2004年
中国	469	341	365	300
南アフリカ	2,029	2,527	3,459	4,124
チェコ	196	20	76	180
ロシア	151	220	60	421
オーストリア	70	70	140	130
その他	80	55	250	364
合計	2,995	3,233	4,251	5,518

出所)工業レアメタル2005

(リサイクル)

バナジウム含有高張力鋼の橋梁、船舶、建造物などの寿命は10年~数10年にわたり、自動車では5年~10年、工具鋼では1年程度である。スクラップは回収された後、電気炉にて溶解され、鉄源としてリサイクルされている。この際、鋼中のバナジウムは製鋼時に酸化され、スラグ中に吸収されるが一般のバナジウムを含有しない鋼スクラップと混合して溶解されるため、微量であり、バナジウム単体としては回収されていない。また、スラグ中のバナジウムの回収については微量であるため技術的、経済的に可能性が少ない。

Ti-V合金については製造時に発生したスクラップは約25%が工場内で再溶解されリサイクルされる。残り75%は海外特にTi-V合金の使用量の多いアメリカに輸出されリサイクルされている。航空機用については成分別保管が行われているためリサイクルされている。ゴルフクラブについては製造時のスクラップは回収されているが使用後のクラブについては回収は進んでいない。

硫酸製造用、排ガス脱硝用触媒については使用済み触媒の寿命が平均して10年~20年と長い。専門業者により回収、処理され鉄鋼材料用としてリサイクルされている。また、バナジウムが付着した石油脱硫触媒等も使用済み触媒として、また発電所の重油ボイラー灰も年1回の設備点検時に回収されV₂O₅製造用として使用され、国内におけるバナジウム原料のソースとなっている(バナジウム換算で106t)。

(6) クロム (Cr)

(用途)

主要用途は、特殊鋼（主としてステンレス鋼、耐熱鋼）、耐熱合金（スーパーアロイ）、耐火煉瓦、メッキ用等で、それらは産業用・家庭用機器、建設用材料、航空機、化学プラント、工業窯炉、皮革、顔料等幅広く使用されている。電子分野では磁気ヘッド材やアルミ磁気ディスク上の制御膜材や磁性膜材原料、リチウム電池のステンレスケースとして使用されている。クロムの需要の大半は、特殊鋼（特にステンレス鋼）でクロム消費量の95%程度が消費されている。2004年の日本のクロム需要は、特殊鋼用のフェロクロムが約50万トン（純Cr換算）であり、純クロムベースの割合は99.3%となっている。一方、スーパーアロイ（航空機、原子力機器）、非鉄合金（自動車、航空機部品等）、ターゲット材（ハードディスク、液晶）などの用途への金属クロムが約3,700トンとなっている。

(供給)

フェロクロムは2004年に南ア、カザフスタン、ジンバブエ等から約98万トンを入力している。金属クロムの輸入量は約3,700トンであり、中国、米国、などから輸入している。

日本の輸入量は単一国としては世界最大であるが、中国その他アジア地域のステンレス鋼生産の拡大による輸入量の増加、また過去長期間に渡る価格低迷により淘汰されたフェロクロム生産者の寡占化の進展等により、今後の我が国フェロクロムの需給が大きな影響を受ける可能性がある。

表1-13 日本のフェロクロムの生産、輸入、消費の推移（単位：千トン）

	2002年	2003年	2004年
フェロクロム生産	112	20	13
フェロクロム輸入	783	914	977
フェロクロム消費	842	892	915

出所) 工業レアメタル 2005

表1-14 金属クロム（塊、粉）の輸入実績（単位：トン）

	2002年	2003年	2004年
中国	1,082	1,498	1,836
イギリス	267	305	308
フランス	514	370	496
米国	516	681	632
ロシア	115	8	329
合計	2,550	2,930	3,682

出所) 工業レアメタル 2005

(リサイクル)

鉄鋼用クロム

クロムの多くは耐食性、耐熱性に優れたステンレス鋼や耐熱鋼などの特殊鋼に利用されている。ステンレス鋼の主な応用製品は、厨房機器、車体、産業機器、建設機材などで、Fe-Ni-Cr（クロム含有率18%）またはFe-Cr（同13%、18%）ステンレス鋼

として利用される。また耐熱鋼は、ボイラー、タービン、工業炉、化学プラントなどに広範囲に、23%、11.5%クロム含有耐熱鋼が利用される。

ステンレス鋼などの特殊鋼スクラップのリサイクル量は、現状では充分把握されていないが、市中回収品はクロム純分で19万5,000トン前後*と推定される。

金属クロム

金属クロム使用量は以下の用途の合計で約4,000トン(2003年)と推定される。

1) スーパーアロイ

スーパーアロイが航空機エンジン、原子力機器、高温タービン翼、化学プラント反応塔・配管等に使用されてから、使用済み品となるまでの期間は10~20年と見られる。スクラップ発生量は明らかではない。

2) 非鉄合金

航空機の胴や翼、車両、船体、建築構造材等に用いられるアルミ合金への添加材としてクロムが使用されるが、これらの使用済み品の発生量は明らかではない。

3) 電子工業部品

クロムまたは合金として磁気ヘッド、抵抗器、磁気記録媒体、電極等に使用されるが、これら部品の使用済み品は電子機器の筐体中やプリント基板上にあることが多い。スクラップ発生量は不明である。

4) スパッタリングターゲット

ハードディスク、液晶、ミラー、ガラスまたは装飾品用コーティングがクロムのスパッタによって製作されている。使用済みターゲット品は一部リサイクルされ、またスーパーアロイ用原料として利用されているようである。

表1-15 クロムのリサイクル

主な応用製品	利用形態	使用済みの存在形態		リサイクル形態		
		形態	量 (注)	リサイクルの実態	リサイクルのサイクル (注)	リサイクル率
産業機器 建設用材 業務用機器 家庭用機器 輸送材料	ステンレス鋼	ステンス屑	(163千t)	スクラップ業者	数年~数十年	26%
航空機、原子力機器、タービン、エンジン、化学プラント、ハードディスク、液晶、ミラー、ガラス	スーパーアロイ、非鉄合金、溶接棒、スパッタリングターゲット	使用済み屑	不明	不明	10年~20年	不明
メッキ、皮革、顔料、染料	無水クロム酸	廃液	(300t)	メーカー回収	1年	3%
工業窯炉	クロム煉瓦	煉瓦屑	不明	不明	数年~数十年	不明
鋳鋼用砂型	耐熱鋳物砂	耐熱鋳物廃砂	(2.8千t)	繰返し使用		不明

注) 量の単位:()内はCr純分トン、その他はマテリアル量トン
サイクル:()内は推定耐用年数、その他は実リサイクル年数

化学用クロム

使用量は合計で約1万2,000トンと推定される。用途の内、顔料、着色剤等ではリ

サイクルはない。メッキに使用される無水クロム酸約 9,000 トン分* の廃液が回収されリサイクルされている。(クロム純分約 300 トン、2003 年)

耐火物用クロム

使用済みの耐火物は炉の修理時に発生するが、その発生量は明らかでない(使用量はクロム純分で約 4,000 トン*)。クロムを含む耐火物は炉内で高温にさらされるため 6 価のクロムに変質する。従って近年使用量が減少してきている。

鋳物用クロム

特殊鋼の鋳鋼用砂型に使用されるクロマイトサンドは高価なので、ユーザーは繰り返し使用しているようである。(消費量はクロム純分で約 2,800 トン、2003 年) 廃棄されている使用済みの砂量は不明である。耐熱用の鋳物としてクロム鋳鉄とクロム鋳鋼があるがクロム使用量はわずかである。

(7) マンガン (Mn)

(用途)

マンガンの主要な用途は、鉄鋼(粗鋼)生産時の鋼の性質向上のための脱酸脱硫剤、またアルミ合金の硬度、強度向上剤として使用され、それらは普通鋼、特殊鋼、アルミ合金(例、飲料用アルミ缶のタブ)等として社会生活の中で幅広く使用されている。さらには二酸化マンガン等酸化物の形態で乾電池電極剤等にも使用されている。テレビ、VTR、コンピューター等に使用されるソフトフェライトは、マンガン亜鉛フェライト(Mn18%)がトランス用等に、マグネシウムフェライト(Mn 約 5%)が偏向ヨーク等に使用されている。

(供給)

マンガン鉱の可採埋蔵量は、2004 年ベースで 3 億 8,000 万トンであり、ウクライナ、インド、中国、南ア、オーストラリア、ブラジルなどにある。2004 年の鉱石生産量 1,100 万トンからの可採年数は 35 年となっている。2004 年の日本のマンガン系合金鉄の需要は 78 万トンで、金属マンガンは 8.3 万トンを示している。

マンガン系合金鉄の供給形態は、高炭素フェロマンガンについては主として輸入鉱石(輸入先:南ア、オーストラリアなどで 2004 年 126 万トン)から生産している。シリコマンガンについてはシリコマンガンの形態での輸入が主流となっている。なお、金属マンガンについては、全量を輸入(輸入先:中国など)に依存している。

表 1 - 16 マンガン(くず含む)輸入推移(t)

	2002 年	2003 年	2004 年
中国	37,033	55,397	73,700
南アフリカ	7,400	7,759	8,617
米国	1,077	851	795
その他	269	297	226
合計	45,779	64,304	83,338

出所)工業レアメタル 2005

2004 年の日本の生産は、需給逼迫や市況高騰を受け、JFE マテリアル、日本電工でのマンガン系合金鉄の生産再開、生産能力増強等により、高炭素フェロマンガンが 4.5 万トン、

中低炭素フェロマンガが 12.6 万トン、シリコマンガ 8.6 万トン、マンガ系合金鉄合計で 66,3 万トンとなった。

なお、マンガ乾電池の需要減によって、国内のメーカーは 1 社のみとなった。

(リサイクル)

鉄鋼、アルミ用

鉄鋼応用製品は、ビル、自動車、橋梁、船舶、産業機器から民生用の飲料缶まで多岐にわたっており、その使用年数は、飲料缶の数ヶ月、自動車の 7~8 年、橋りょう等の数 10 年とさまざまである。

鉄スクラップ量は電炉鋼用や鋳物用及び転炉鋼用原料としてリサイクルされている。中でも鉄缶は、79.1 万トンが回収し回収率 87.1%となっている(2004 年)。スクラップのリサイクルマンガ量は 14.7 万トンとなる。

各種スラグ中のマンガ量が大きい、マンガリサイクル用にはなりにくい。一部がマンガケイカル肥料等で利用されている。高炉スラグは、銑鉄 1 トン当たり約 286kg 発生する(2,436 万トン*)。セメント、コンクリート細骨材、路盤材、ケイカル肥料としてほぼ全量使用されている。転炉スラグは、転炉鋼 1 トン当たり約 111kg 発生し(897 万トン*)、また電気炉スラグは、電気炉鋼 1 トン当たり約 115kg 発生する(333 万トン*)。港湾工事、土木用、路盤材主体に利用されている。

アルミ製品の使用年数は、飲料用アルミ缶の数ヶ月からアルミサッシ類の数年~10 数年と大きく異なっている(推定マンガ使用量 5 千トン)。1990 年頃からアルミリサイクル再生ルートが確立されてきており、マンガを約 1.3%含むアルミ飲料缶胴体は、26.1 万トンが回収され回収率 86.1%に達した。マンガリサイクル率はアルミリサイクル率と同じとみると、アルミ缶からマンガ 3 千 390 トンがリサイクルされたことになる。

電池、フェライト、化学用他

廃乾電池は分別回収が進んできているが、二酸化マンガ(MnO_2)のリサイクルはあまり進んでない。分別収集されたものでも、鉄くず、ソフトフェライト、亜鉛として一部リサイクルされているが多くは埋め立てられている。乾電池業界全体の MnO_2 使用量は約 1.7 万トン(Mn 量 1.1 万トン)と推定される。

TV、VTR、パソコン等に使用されるソフトフェライトは、マンガ亜鉛フェライト(Mn18%)がトランス用等に、マグネシウムフェライト(Mn 約 5%)が偏向ヨーク等に使用されている。廃家電等として処分されて、ほとんどリサイクルは行われていないが、一部電波吸収材への利用が行われているようである。中国輸出分については不明であるが、リサイクルされている可能性がある。

肥料、飼料等への添加物は、消耗品であり、リサイクルされない。

染色、上水等に酸化剤として使用される過マンガ酸カリは、低級マンガ酸化物のスラッジとなりリサイクルされていない。

亜鉛精錬の電解液の酸化剤として使用されていた二酸化マンガ鉍粉は、亜鉛電解時の正極に MnO_2 として回収して再利用するようになり、使用が無くなった。補足用に、過マンガ酸カリが年間マンガ使用量 280 トン*程利用されている。(* は 2003 年のデータを使用)

表 1 - 17 マンガンのリサイクル

主な応用製品	利用形態	使用済みの存在形態		リサイクル形態		
		形態	量 (注)	リサイクルの 実態	リサイクル(注)	リサイ クル 率
産業機器、建設用材、業務用機器、家庭用機器、輸送材料、飲料缶	普通鋼・特殊鋼への添加元素	鉄スクラップ	(147千t)	スクラップ業者	数年～数10年	
アルミ合金飲料缶	アルミ合金	アルミ缶スクラップ	(3,390t)	自治体、業者	数ヶ月	
マンガン乾電池	MnO ₂	廃乾電池	不明			
ソフトフェライト	Mn ₃ O ₄	廃家電	不明			

注) 量の単位:()内はMn純分トン、その他はマテリアル量トン
 サイクル:()内は推定耐用年数、その他は実リサイクル年数

(8) コバルト(Co)

(用途)

主要用途は携帯電話、ノートパソコン等に使用されるリチウムイオン二次電池で、その他の応用製品としては切削工具等超合金用の粉末冶金、航空機、プラント等に使用される高速度鋼や耐熱鋼等の特殊鋼、家庭電化製品、音響機器等に使用されるアルニコ磁石、サマリウム・コバルト(SmCo)磁石等の永久磁石、石油精製時の脱硫触媒等がある。

2003年にコバルト価格が、中国のコバルト需要の大幅増予測に反応して暴騰し、2004年3月まで高値を示していた。その後、一旦調整によって価格は下落したものの、世界的なリチウムイオン二次電池向け需要の増大、航空機向けスーパーアロイ需要増等によって、価格も高値が続くものとみられている。

2004年の日本のコバルト需要量は、三井物産推定によると12,600トン(前年比+15%)であった。用途別需要では、6割強が二次電池向けであり、二次電池の内でもその95%相当がリチウムイオン電池用と推定されている。携帯電話、ノートパソコン等の生産増大に伴い、リチウムイオン電池の生産数量も2001年453百万個、2002年568百万個、2003年763百万個、2004年779百万個と増加の一途を辿っている。現在の日本の電池メーカーの世界市場シェアは6割を超えているものとみられる。

今後の需要に大きく影響を与えるものとしてハイブリッド車向けのニッケル水素電池用コバルト需要がある。現在、ハイブリッド車の二次電池は安全性・コスト優位性等の観点からニッケル水素電池であり、今後の環境規制の強化による低排出ガスの自動車の開発・生産の増大によりコバルトの需要も大きく増大する可能性がある。

(供給)

2004年の国内生産は住友金属鉱山の429トンのみで、それ以外は総て輸入に依存している。2004年の輸入量は、コバルト地金及び粉末が15,181トン、酸化物及び水酸化物が2,626トンとなっており、コバルト地金及び粉末の主要供給国をみるとフィンランド、オーストラリア、カナダと比較的安定供給先への依存度が高いと言える。

表 1 - 1 8 日本のコバルト地金、粉末の輸入推移 (単位: トン)

	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
コンゴ	460	305	557	348
ザンビア	873	1,458	1,512	1,715
フィンランド	1,387	1,977	2,709	3,931
ノルウェー	914	912	1,054	1,272
ベルギー	566	416	476	573
ドイツ	80	58	27	19
カナダ	1,777	2,032	2,003	2,309
ロシア	54	120	258	233
その他	1,862	2,549	4,092	4,781
合計	7,973	9,827	12,688	15,181

表 1 - 1 9 日本の酸化コバルト、水酸化コバルトの輸入推移 (単位: トン)

(酸化物)	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
ベルギー	1,011	1,651	1,892	1,404
フィンランド	211	462	764	441
カナダ	16	11	17	13
その他	66	49	252	250
合計	1,304	2,173	2,925	2,108
(水酸化物)				
ベルギー	95	117	161	208
フィンランド	64	106	333	133
アメリカ	10	93	2	68
その他	11	16	106	109
合計	180	332	602	518

表 1 - 2 0 日本におけるコバルトの需要推移 (単位: トン)

	2002 年	2003 年	2004 年
特殊鋼	730	1,041	873
磁石	193	173	210
超硬	206	307	419
触媒	134	257	254
電子合金	367	404	489
その他	230	1,360	1,181
合計	1,859	3,541	3,426

出所: 工業レアメタル 2005、経済産業省資源統計月報

* ただし資源統計月報には最大の需要である二次電池などが含まれていない

(リサイクル)

表 1 - 2 1 にはリサイクルの状況を、図 1 - 3 にはマテリアルフローを示した。

特殊鋼

高速度鋼のうちの切削工具の一部は、超硬工具同様に数ヶ月から 1 年程度で交換され、それ以外の耐熱鋼などの機械装置についても、数年ごとに交換修理され、10 年以上の機械本体の寿命を経て廃棄される。

コバルトの鋼材への添加は、これらのスクラップを利用して行われる。コバルトのリサイクル量を推定することは困難であるが、特殊鋼生産量の増加、鋼屑消費量の増加により今後とも微増する見通しである。なお、製鋼時には5%程度の不良品、検査片などが発生しているが、これは自工程内でリサイクル再利用されている。

触媒

石油精製時の脱硫触媒として消費され、2～8年程度で交換される。いずれも石油精製残滓や未反応樹脂などの混合物であり、コバルト純分ベースで約46トン程度の回収(2003年データ)があったと推定される。

二次電池

最大の需要用途であるリチウムイオン電池からのコバルト、鉄、銅、ニッケルを回収する技術開発は実用化レベルに達しているが、回収システムの構築が今後の課題である。このうちリチウムイオン電池からのCoの回収は始まったようである。

表1-21 コバルトのリサイクル状況

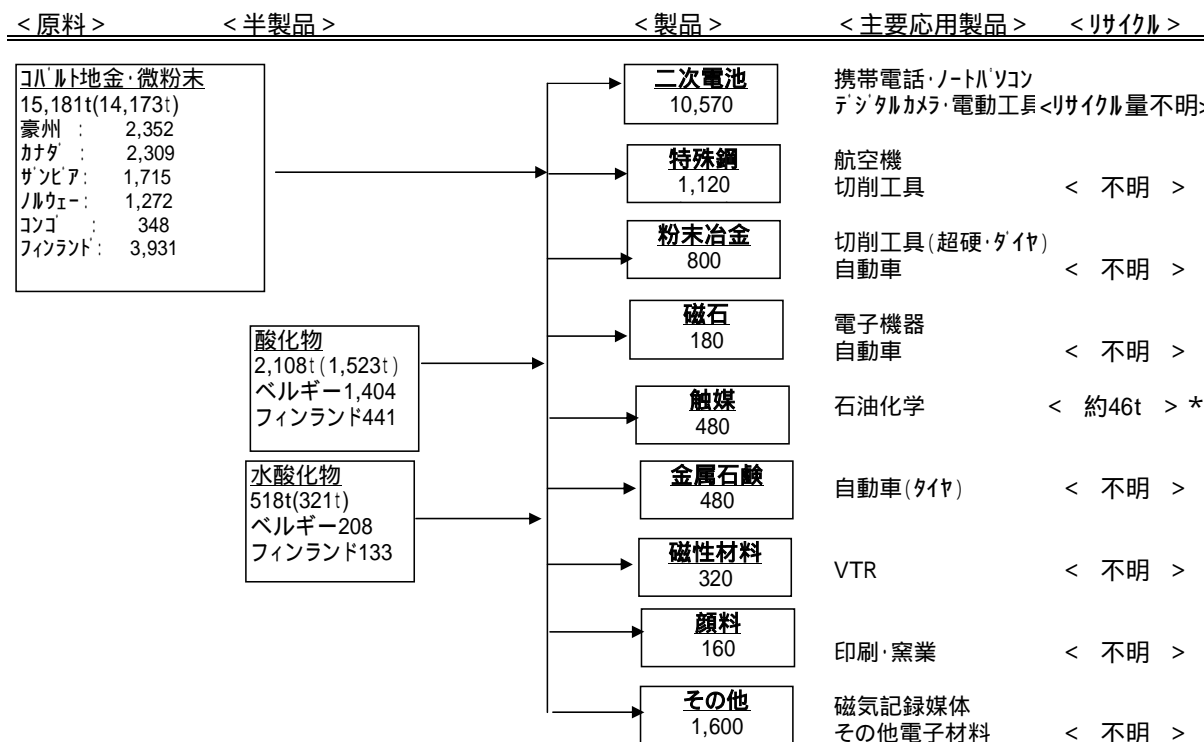
主な応用製品	利用形態	使用済品の存在形態・量		リサイクル形態		
		形態	量 (注)	リサイクルの実態	リサイクルのサイクル (注)	リサイクル率
工作機械、 鋸山機械	超硬工具(約10%)	使用済みチップ		専門業者が集荷	1年	%
一般工具、 工作機械、 航空機、 タービン	切削工具、炉製品、エ ンジン部品(4～40%)	使用済み工 具、鋼材スクラ ップ		専門業者が集荷 特殊鋼用の溶解 原料として使用	5年	%
音響機器、 電子機器	SmCo系磁石(66%) アルニコ系磁石(4～20%)	機械部品		リサイクルなし 専門業者が集荷	(5年) 5年	0% %
電子機器	蒸着材料(100%)	パッケージ等		リサイクルなし	(5年)	0%
石油化学用	触媒(約4%、一部約 50%)	使用済み触媒			2年	%
石油精製用	触媒(約2%)	使用済み触媒			(2～8年)	%
VTRテープ	磁気テープのコティング 層添加剤	テープ		リサイクルなし	(3年)	0%
NiCd電池	電極材(約5%)	使用済み電池		法的規制	(5年)	%
NiMH電池 Liイオン電池	電極材料(5～20%)	使用済み電池		リサイクルが始まっ たが、量は不明	(5年)	%
ガラス	添加剤	ガラス廃材		リサイクルなし	(5年)	0%
鍋、タンク	ホールの下塗り	ホール廃材		リサイクルなし	(3年)	0%
電子機器	ソフтверйт	電子機器		リサイクルなし	(5年)	0%

(注) 量の単位：()内は使用量純分トン、その他は発生量純分トン
サイクル：()内は推定使用年数、その他は実リサイクル年数

図 1 - 3 コバルトのマテリアルフロー

コバルト(Co)

2004年ベース、単位:()はCo純分ベース



- 埋蔵量：13百万トン（米鉱山局推定）
- 可採埋蔵量：7百万トン（米鉱山局推定）

工業レアメタル2005
* 2003年データ

出所) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構、「鉱物資源マテリアル・フロー2005」平成 17 年 12 月

(9) ニッケル (Ni)

(用途)

ニッケルの主要用途は、ステンレス鋼、特殊鋼、メッキ板、磁性材料、非鉄合金、電池、触媒等多岐にわたり、それらは石油・化学プラント、自動車、産業用機器、家電、通信機器、石油精製等、多方面に使用されている。

(供給)

ニッケルの需給は、ニッケル地金、フェロニッケル、酸化ニッケル、ニッケル粉の分野からなっている。2004 年、ニッケル地金の需要は 93,400 トン、ステンレス原料となるフェロニッケルは 69,000 トンとなった。酸化ニッケルでは、ステンレス鋼生産の増加と共に酸化ニッケルの需要も伸びている。ニッケル粉の 2004 年の輸入は約 1 万トンで、ハイブリッド車への需要が期待されている。

(リサイクル)

メッキ材料では自動車や自転車等のスクラップとなる。スクラップはニッケルとして再生されることなく、母材としてリサイクルされているものがほとんどである。

触媒は、石油精製の水素化脱硫触媒として直接脱硫と間接脱硫触媒があり、直接脱硫触

媒はほぼ全量がリサイクルされてフェロニッケルの原料とされている。間接脱硫触媒はリサイクルメリットが少なく、ストックされている。油脂加工、石油化学、リフォーミング用触媒はニッケル含有量が高く、ほぼ全量集荷・リサイクルされている。

磁性材料はアルニコ磁石 (Al-Ni-Co) で、リサイクル業者等により 70% 近くリサイクルされ、特殊鋼の原料となる。電池は、ニッケル水素電池とニッカド電池で、2004 年には 180 トンのニッケルが回収された。ステンレス鋼や特殊鋼は石油・化学等の設備、LNG タンカー等の主として産業用設備として使用され、製造後約 10 年で廃棄、スクラップとなる。リサイクル量は推定で約 305 万 t、その他に約 2.2 万 t のスクラップが輸入された。

(10) ガリウム (Ga)

(用途)

ガリウムは、結晶用、エピタキシャル用とも GaAs 系の需要が高く、GaP 系は GaAs 系の 1/6 ~ 1/7 である。また、結晶用とエピタキシャル用にはほぼ同量が使用されている。

LED 用途のガリウム系素子として、GaAs 系は、超高速コンピュータ、衛星通信装置、オーディオ装置、レーダー、レーザープリンター、携帯電話に用いられるマイクロ波用電子デバイス等に対するもので、最近需要が増加しているのは携帯電話の需要増とパソコンの普及に伴う CD、CD-R、CD-R/W、DVD、オーディオ MD 向けの半導体レーザー用の増加によるものである。

GaP 系は、携帯電話等に用いられる緑、オレンジなどの表示、バックライトの LED 用とそのエピタキシャル成長用溶媒の増加によるものである。なお、GaP 系は、可視 LED (緑色ランプ) の主力材料であったが、GaAs 系 (赤色ランプ) の開発が進んで高輝度化し、この用途の約半数が GaAs 系に代替された。結晶用及びエピタキシャル用化合物半導体以外では、ランガサイト、GGG などの酸化物結晶や固体電解質用のガリウムの原料、MO ガス用の原料として 1.5 トン程度の少量の需要がある。

青色 LED 向けの GaN は、携帯電話のバックライトや、オーディオ製品のフルカラーイルミネーションなどで実用化が進んでおり、液晶モニター用バックライト、高密度 DVD 用ピックアップ、白色ランプの代替などへの需要も見込まれる。

(供給)

国内で新地金を生産しているのは同和鉱業のみとなり、他のメーカーはスクラップや低純度品からの再生を行っている。同和鉱業の 2004 年の生産量は前年比若干増の 8 トンで亜鉛精錬のバイプロダクトとして生産されている。

輸入先では、1997 年、1998 年はカザフスタンからの輸入量が多くなっていたが、2004 年は中国、米国、台湾、フランス、ウクライナなどから約 44 トンを輸入している。

国内のガリウム供給メーカーは同和鉱業、住友化学工業、住友金属鉱山、ラサ工業、日亜化学の 5 社である。2004 年のスクラップ回収率が供給量の 60% と非常に高いのが現状である。

日本のガリウム需要は、2001 年に急減したが 2004 年には 144.2 トン (リサイクル品含む) まで回復している (世界の需要の 80% 以上)。2000 年の GaAs 系の増加は携帯電話用マイクロ波電子デバイスの需要増と、パソコン用の CD-R、CD-R/W やオーディオ用 MD の増加によるところが大きい。GaP 系の増加は、携帯電話などの表示用、プッシュボタンのバツ

クライト用 LED の需要増による。

GaAs 系はシリコンデバイスとの競合やデバイスサイズの小型化により、需要はそれほど伸びないと見られている。

GaAs 新規の需要としては室内・外照明用の白色 LED による照明が模索されている。消費電力は現在の 1/10 以下、寿命は 10 倍以上、明るさも数倍以上と非常に有望である。

2004 年のガリウムの世界需要は 175 トン、前年比 5% 減少した。GaAs 系デバイス向けが堅調だったものの、GaP 系が GaAs 系 LED に置き換えられて減少した。ガリウムの生産減を反映して値戻しが行われている。

表 1 - 2 2 日本の金属ガリウムの供給力 (2004 年) (単位: トン/年)

	新地金 (4N)	高純度品 (6N 以上)
	供給力	供給力 (スクラップ再生含む)
同和鉱業	8	100
住友化学	0	80
ラサ工業	0	35
日亜化学	0	10
住友金属鉱山	0	8
その他	0	0
合計	8	233

出所) 金属時評 2005 年 4 月 15 日、No.1946

表 1 - 2 3 世界と日本のガリウム需要の推移 (単位: トン)

	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
世界全体	211	141	176	184	175
日本のみ	140	96	129	143	144

出所) 工業レアメタル 2005

表 1 - 2 4 日本の用途別ガリウム需要 (単位: トン)

		1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005 予想
結晶用	GaAs 系	26.0	34.0	27.0	34.0	35.0	39.0	49.0	35.0	47.1	58.0	64.0	47.0
	GaP 系	18.0	21.0	17.0	20.0	13.0	16.0	18.5	11.0	12.0	10.0	8.8	7.7
	計	44.0	55.0	44.0	54.0	48.0	55.0	67.5	46.0	59.2	68.0	72.8	54.7
LED 用	GaAs 系(LED)	28.0	36.0	28.0	36.0	37.0	42.0	52.0	37.0	53.4	60.0	60.0	53.0
	GaP 系(LED)	18.0	21.0	17.0	20.0	12.0	15.0	17.5	10.0	14.1	11.5	9.9	8.9
	GaAs 系(LD)	2.0	2.0	2.0	2.4	3.0	3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	0.0	0.0
	計	48.0	59.0	47.0	58.4	52.0	60.0	71.0	48.5	69.0	73.0	69.9	61.9
その他		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
合計		93.0	115.0	92.0	113.4	101.0	116.0	139.5	96.0	129.7	142.5	144.2	118.1

出所) 1994 ~ 2000 ; 金属時評 No.1812 2001 年 7 月 25 日

2001 ~ 2005 ; 工業レアメタル 2005 No.121

(リサイクル)

使用済みガリウム系製品から回収されるスクラップは、GaAs 系約 5.4%、GaP 系約 3.2%と低い。これは使用済製品回収からメタル回収の技術が確立されていないためである。

これに対し、ガリウム系製品の生産工程で発生する工程スクラップは GaAs 系、GaP 系の結晶用で生産時の使用量の 60%、GaAs 系、GaP 系のエピタキシャル用で 69%と多量である。この中から実際に回収されるスクラップの回収率は結晶用で 32%、エピタキシャル用で 61%である。2001 年の回収率は 48%、2002～2003 で 60%となっている。

(1 1) ゲルマニウム (Ge)

(用途)

日本におけるゲルマニウムの主な用途は、PET 樹脂用触媒である。このほかには光ファイバー向けゲルマニウムドープ材、蛍光体、半導体、赤外線素子用窓材、記憶媒体などがある。また、健康用途も増加している。需要は、2004 年メタル換算で 34 トン(前年比 + 13%)と推定されている。

表 1 - 2 5 ゲルマニウムの国内需要 (2000 年の数値をベースに推定) (単位: kg)

	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
蛍光体	3,600			3,600	3,600
PET 触媒	20,700			24,300	28,400
その他(半導体)	600			600	600
光ファイバー	6,000			6,500	4,100
赤外線素子用窓材	600			600	600
その他(記憶媒体)	600			600	600
国内在庫	5,052			不明	不明

出所) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構、「鉱物資源マテリアル・フロー2005」平成 17 年 12 月

(供給)

ゲルマニウム鉱石は輸入していない。低品位ゲルマニウム、酸化ゲルマニウム、およびゲルマニウムくずの輸入でまかなわれている。表 1 - 2 6 は 2000 年以降の国内供給の推移である。表 1 - 2 7 は 2004 年の国別輸入実績である。中国からの輸入が多い。

(リサイクル)

リサイクルについては、いずれも行われていない。PET はリサイクルされているが、PET に含有されたゲルマニウムは、触媒としてリサイクルされていないと考えられる。

表 1 - 2 6 ゲルマニウムの国内供給 (単位: kg)

	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
二酸化 Ge (kg)	44,107	46,228	42,712	28,892	40,616
金属 Ge (kg)	6,718	6,867	6,292	9,947	9,092
合計(酸化物換算)	53,781	56,116	51,965	43,520	53,987

出所) 工業レアメタル 2005

表 1 - 2 7 日本へのゲルマニウムの輸入 (2004 年) (単位: kg)

	二酸化 Ge	金属 Ge
中国	18,725	7,132
ベルギー	12,650	1,559
ドイツ	60	
ロシア	1,590	119
ウクライナ	120	
カナダ	4,541	
米国	360	
その他	2,570	282
合計	40,616	9,092

出所) 工業レアメタル 2005

(1 2) セレン (Se)

(用途)

主な用途は、整流器、乾式複写機のドラム、ガラス着色剤 (赤、ピンク、橙黄色)、化学薬品、顔料、鉄 (快削鋼) で、銅の添加元素としての用途もある。

表 1 - 2 8 セレンの国内需要量の推移 (単位: トン)

	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
生産	650	745	767	744	614
輸入	46	18	26	15	13
供給計	696	763	793	759	627
内需 (見掛)	149	143	212	220	102
内需 (報告値)	162	170	195	186	150
整流器・乾式複写機	16	22	17	20	20
ガラス	55	31	45	21	23
化学薬品	8	12	10	17	36
顔料	9	7	5	10	4
その他	75	99	117	117	67
輸出	528	605	572	570	539

出所) 日本鋳業協会

セレンの国内需要量は、2004 年で 150 トンとなっている。セレンの原料は、主として非鉄金属製錬の電解スライムであるが、複写機用セレン感光体ドラムのスクラップからも回収されている。日本では大手銅製錬会社およびスクラップ精錬会社がセレンを生産しており、セレンの生産量は世界の 25% を占めて世界一となっている。

(リサイクル)

セレンは精製の容易さもあって、比較的回収が進んでいる。しかし、近年は複写機感光体ドラムからのリサイクルを除いてほとんど行われていない。

OA 機器のリサイクルプラントから回収された感光ドラムは、特定の収集ルートによってリサイクル精錬企業に集まり、リサイクルされる。感光ドラムには高純度セレンが使用されていること、毒性が強いことから、使用済みとなった複写機やファクシミリの感光ドラムは、機械から簡単に取り外されて新品ドラムと交換され、確実に集荷が行われている。

毒性が強いこともあって、リサイクル業者が限定されている。2003年度の回収セレン量は25トンとなっている（出所：使用済触媒資源化協会）。

感光ドラムから回収されたセレンは再びドラム用途に使用されるが、毒性回避の観点から有機感光剤を使用したものがあるが、収集ルートで混入することはない。

快削鋼として鉄に添加されたセレンは、鉄スクラップとして回収され、セレン単体としてはリサイクルされていない。同様にガラス着色剤についても、同様な状況である。

表 1 - 29 世界のセレン生産量の推移 (単位：トン)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
ベルギー	250	200	200	200	200	200	200
カナダ	545	438	400	350	360	230	250
チリー	50	49	50	45	45	40	40
フィンランド	30	26	25	25	25	40	50
ドイツ	115	100	100	100	100	100	100
日本	525	548	550	739	650	715	750
フィリピン	40	40	40	40	40		
セルビアモンテネグロ	30	10	10	20	20	20	20
その他	75	69	25	61	20	45	50
合計	1,660	1,480	1,400	1,580	1,460	1,430	1,500

出所) USGS Minerals Commodity Summaries 2005

(13) ルビジウム (Rb)

(用途)

炭酸ルビジウムの形で、主に光学ガラス添加剤として使用される。石油化学用触媒、医療用などに使用されている。ルビジウム蒸気を利用して磁場の強さを測定する磁力計用としても使用されているが、量的には極めて少ない。

(供給)

ルビジウムは、銀白色で反応性に富み、融点は約 39 である。リチア雲母からリチウムを精製する際の副産物として、またポルクス石からセシウムを精製する際の副産物として、回収されている。産出国はカナダ、ナミビア、ザンビアである。ルビジウムの需要量は極めて少ないために正確に把握されていない。2004年にはドイツから 200kg 輸入したとの推定がある(出所(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構、「鉱物資源マテリアル・フロー2005」平成 17 年 12 月)。

(リサイクル)

光学ガラス用添加剤としてのリサイクルは量的に少なく、他の各種添加物の異なったレンズとの識別が困難であるとともに、添加濃度も低いために、経済的に成立しずらく、リサイクルは行われていないと考えられる。石油化学用触媒の場合も添加剤として少量であり経済性もなくリサイクル技術は開発されていない。

また医療用の血液造影剤としてルビジウムが添加されているが、これは消耗品のためリサイクルされていない。更に、磁力計に用いられるルビジウムも極めて少なく、リサイクルの経済性がない。

(1 4) ジルコニウム (Zr)

(用途)

輸入されるジルコンサンドの大部分は、直接鉄鋼向けの耐火物の原料として使われる。国内で生産されるジルコニア (酸化ジルコニウム、 $ZrCO_2$) の 45% が不定形耐火物や耐火煉瓦の原料になる。乾式法で生産されるものは耐火物、研磨剤、窯業顔料等に用いられるが、湿式法で生産されるジルコニアは、高純度で PZT 圧電素子、セラミックコンデンサー等の電子材料、光学レンズ、酸素センサー等に使用されている。その他 (触媒など) が急増しているが、主な用途は自動車排ガス浄化触媒用である。

これらのジルコニウム化合物を含む各種パーツ、例えば PZT 圧電素子は、携帯電話の圧電スピーカー、インクジェットプリンター素子 (インク噴出制御)、走査型トンネル顕微鏡や原子間力顕微鏡の探針と試料台の制御などに組み込まれており、また PLZT 圧電素子は、光シャッター、画像メモリとしてデジカメなどに組み込まれる。酸素センサー ($Y_2O_3-ZrO_2$) は、排ガス規制に対応するために自動車用に使用されている。光学ガラスは、デジカメやハードディスク用基板、液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイ向けに利用されている。

また、触媒では自動車排ガス浄化触媒用 (CeO_2-ZrO_2) として、また環境触媒や水素製造用触媒としても注目されている。

表 1 - 3 0 代表的なジルコニウム化合物と用途

化合物	用途
$ZrCO_2$	PZT (チタン酸ジルコニウム酸鉛) 圧電素子、PLZT (チタン酸ジルコニウム酸ランタン鉛) 圧電素子、触媒、光学ガラス、酸素センサー、研磨剤、CZ (キュービック・ジルコニア、単屈折性で、ジルコニウム酸化物とイットリウム酸化物から合成された人工の結晶、宝石)、MLCC (多層構造セラミックキャパシタ)
共沈安定化 $ZrCO_2$	酸素センサー、構造材料、吸着剤、抗菌剤、触媒、低熱膨張材
酢酸 Zr	防水材、防霉材、触媒
炭酸 Zr アンモニウム	架橋材 (ゴム、高分子、紙)、精密鑄造
オクチル酸 Zr	塗料
ステアリン酸 Zr	防水材 (繊維紙)
電融安定化 $ZrCO_2$	連鑄ノズル、タンディッシュノズル、精密鑄造、セッター、溶射材料、研削材

(供給)

日本は 2004 年にジルコン鉱石 64,000 トン (オーストラリア、南アなどから)、バデライト鉱石 (ZrO_2 含有率 95 ~ 96%) 4,000 トン (ロシア)、粗製塩類約 15,000 トン (中国、米国などから) を輸入している。

国内のジルコニア・メーカーを表 1 - 3 2 に示した。

(リサイクル)

ジルコニウムの大部分が原料のジルコンサンドを直接原料として焼結されて使用されており、原料そのものが安価であることからリサイクルの対象にはなりにくい。

電子材料用に使用された湿式法のジルコニアは現状では廃棄されているが、部品リサイクルが経済的に成立する可能性が指摘されている。自動車用の酸素センサーも経済的にリサイクルすることは困難であり、現状リサイクルされていない。

表 1 - 3 1 ジルコニウム原料の推定輸入量とジルコニアの用途別需要推定量 (単位: トン)

		2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
輸入	鉍石	88,300	84,200	74,200	53,800	68,000
	粗製塩類*	14,340	12,640	12,650	13,000	19,000
	塊・製品・くず		557	621	645	711
供給計		102,640	97,397	87,471	67,445	87,711
ジルコニアの用途別需要推定計		9,670	8,830	9,570	9,770	10,750
	耐火物	4,430	4,200	4,200	4,200	4,800
	研磨・研削材	700	580	580	580	580
	電子材料	1,020	510	740	740	810
	窯業顔料	420	390	390	350	380
	ガラス	300	300	340	350	440
	センサー	450	480	520	530	550
	ファインセラミックス	850	470	400	420	500
	その他(触媒)	1,500	1,900	2,400	2,500	2,700

*) オキシ塩化ジルコニウム、炭酸ジルコニウムなどを含む
出所) 工業レアメタル 2005

表 1 - 3 2 日本のジルコニア・メーカー

メーカー	所在地	製造方法
第一希土元素化学工業(株)	大阪、島根	湿式、乾式
太陽鉍工	京都	湿式
東ソー(株)	山口	湿式
昭和電工(株)	長野	乾式
福島製鋼(株)	福島	乾式
NKK マテリアルズ(株)	富山	乾式
日本電工(株)	徳島	湿式
共立マテリアル(株)	愛知	湿式
同和ハイテック(株)	埼玉	湿式
住友大阪セメント(株)	大阪	湿式
阿南化成(株)	徳島	湿式
アイディーユー	高知	湿式

出所) 工業レアメタル 2005

(1 5) ニオブ (Nb)

(用途)

ニオブのほとんどは鉄鋼原料用途であるが、最近では光学レンズ、超伝導線などに加え、タンタルの代替としてコンデンサー用に使用する研究も開始されている。

表 1 - 3 3 ニオブの用途別需要推定量

(単位: Nb 換算 トン)

	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
鉄鋼用	4,414	4,667	3,771	4,253	4,611	5,551	4,887
高純度酸化物	110	120	140	95	130	136	133
炭化物	7	7	9	12	6	7	12
金属 Nb						65	65

出所) 工業レアメタル No.121 2005 をニオブ換算

鉄鋼原料

自動車用薄板、抗張力ラインパイプ用厚板、ステンレス鋼に代表される鉄鋼分野が90%を占める。2004年のフェロニオブの消費は約6,800トンであったが、造船向高張力鋼ほか鋼材の需要増により、2005年には7,000トンを超えたものと見られている。

レンズ、コンデンサー

2004年は、高純度の酸化ニオブ Nb₂O₅ で約133トン(Nb換算約93トン)の需要であったと推定されている。ニオブは光学レンズ添加材(高屈折率高級レンズ用)、チタンは低グレードのレンズ用と区分される。セラミックコンデンサー(圧電用誘電体添加材、SAWフィルタ用LN用途の開発も行われている)。

金属ニオブ

2004年の金属ニオブの需要は、ターゲット材を中心に約70トンと推定されている。Nb-Sn(50:50)、Nb-Ti(50:50)の合金が主体である。米Teledyne Wah Changが金属ニオブの世界的なメインサプライヤーである。用途は、スパッタリングターゲット材、NMR、超伝導線(医療、分析等)粒子加速器用などであるが、国内需要はNMRが大半である。スパッタリングターゲット材料用の金属ニオブの需要が、伸びている。

真空グレード(耐熱超合金;スーパーアロイ)

真空グレード用途には、フェロニオブまたはNb-Ni合金(Nb65%、残部がFe、Ni)に含まれるPb、P、Sなどの不純物がppmのオーダーまで精製される必要がある。用途はエンジン・ターボチャージャー等のタービンなどに使用されるが、国内需要はほとんどない。

炭化ニオブは超硬工具用として、タンタルとの化合物あるいは炭化ニオブ単体として添加物としての需要がある。この分野は回復基調ではあるがほぼ横ばいと見込まれている。

(供給)

世界の埋蔵量は不明のアフリカ地区を除くとブラジルが97%を占めており、ニオブの生産もブラジルの独占状態である。

表1-34 ニオブの国別埋蔵量(単位:トン)

	埋蔵量	占有率(%)
ブラジル	4,300,000	96.9
カナダ	110,000	2.5
オーストラリア	29,000	0.7
コンゴ	N/A	-
エチオピア	N/A	-
モザンビーク	N/A	-
ナイジェリア	N/A	-
ルワンダ	N/A	-
ウガンダ	N/A	-
その他	N/A	-
合計	4,439,000	100.0

出所) USGS Minerals Commodity Summaries 2005

表 1 - 3 5 ニオブ精鉱の生産量 (単位: トン)

	精鉱生産量	(%)
ブラジル	29,000	88.3
カナダ	3,300	10.1
オーストラリア	240	0.7
コンゴ	13	0.0
エチオピア	6	0.0
モザンビーク	35	0.1
ナイジェリア	200	0.6
ルワンダ	30	0.1
ウガンダ	3	0.0
合計	32,827	100.0

出所) Mineral Commodity Summaries 2005

日本ではニオブ鉱石は産出せず、フェロニオブが金属ニオブの形で全て輸入されている。2004 年はブラジルからの輸入量が 93%となっている。ブラジルの CBMM 社からの輸入が大半を占め、この傾向はほぼ 10 年間以上変動がなく、輸入価格も安定している。金属ニオブは、ブラジルの金属ニオブの大部分がアメリカに輸出され、ニオブチタン合金又は金属ニオブに加工された後、一部が日本に輸出されており、年間消費量は 60~70 トン程度である。

日本で唯一のフェロニオブを生産していた日本重化学工業が、1995 年に撤退してから、日本はフェロニオブ、金属ニオブ、ニオブチタン合金を輸入している。

表 1 - 3 6 フェロニオブの輸入量 (単位: トン)

	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
ブラジル	5,941	6,274	5,046	5,643	6,300	7,747	6,761
カンダ	526	589	506	617	500	400	439
ドイツ	17	8	2	12	4	7	8
ベルギー	18	18	5	0	0	0	0
その他	32	18	13	6	2	9	7
合計	6,516	6,888	5,567	6,278	6,805	8,163	7,215

出典) 財務省貿易統計 7202.93-000

(リサイクル)

国内需要の大部分を占める鉄鋼に含まれるニオブ量が微量なため、ニオブは分離されずに鉄としてリサイクルされている。フェロニオブ以外の用途でのニオブのリサイクルはほとんど行われておらず、今後の課題である。

ニオブは、1960 年代にブラジル、カナダ等の国々においてパイロクロア鉱石という無尽蔵の埋蔵量を有した鉱山が相次いで開発されて以来今日にいたるまで供給、価格共に一貫して安定に推移しており、これがニオブのリサイクル活用への必要性を生じさせない結果となっている。各分野の動きは次のとおりである。

- ・ 鉄鋼用：我が国のニオブの約 90%以上は鉄鋼用に消費されており、この分野ではニオブのリサイクルを目的とした回収は全く行われていない。今後とも鉄スクラップからニオブを回収することは経済的見地からも技術的見地からも実現の可能性はないと考えられる。

- ・ その他：耐熱超合金、超電導材、光学レンズといった鉄鋼の分野以外で使用されるニオブについても現在、価格的にマッチングしないためニオブのリサイクルを目的とした回収はほとんど行われていない。

(16) モリブデン (Mo)

(用途)

モリブデンの主要な用途は、機械的強度、剛性、電気伝導度、熱伝導度が良好である性質から、鋳物および特殊鋼の添加元素用が大部分であり、その他では電子部品等のモリブデン製品、触媒(石油精製用、石油化学工業用)、潤滑油、顔料などに利用されている。

表 1 - 37 モリブデンの主な用途

用途	説明
触媒	石油精製用NiO-CoO-MoO ₃ 系触媒(水素化脱硫用(Mo:4.5%)、水素化分解用(Mo:7.0%)) 石油化学工業用のBi ₂ O ₃ -MoO ₃ 系(Mo12%)触媒
特殊鋼・鋳物の添加元素	三酸化モリブデンやフェロモリブデンとして添加される。 構造用合金鋼(Mo:0.15~0.7%)、ステンレス鋼(Mo:0.5~5.0%)、高張力鋼(Mo:0.15~0.7%)、合金工具鋼(Mo:0.2~1.5%)、高速度鋼(Mo:3.5~9.5%)など。 鋳物用(Mo:0.3~3.5%)
線・板・棒・箔 電子材料	金属モリブデンを線、板、棒、箔の形態で使用する応用製品としては、照明器具(マンドレル、反射鏡)、電子管用陰極及びヒーターグリッド、ガラス炉融炉用電極棒、マグネトロン管部品(陰極、端子等)、工業炉用発熱体等がある。
無機薬品	Moを含む無機薬品としては、防錆塗料用に塩基性モリブデン酸亜鉛(Mo:25~30%)、着色顔料としてモリブデート赤(Mo:9%)がある。摩擦係数が低いことから、二硫化モリブデンとして、工業用の潤滑油やエンジンオイルの添加剤に用いられる。

出所) 工業レアメタル 2005

(供給)

モリブデンの可採埋蔵量は、中国、アメリカ、チリに集中しており、3ヶ国で8割以上を占めている。

表 1 - 38 モリブデン鉱石の埋蔵量 (2004年)

	埋蔵量 (万トン)	%
米国	270	31.4
アルメニア	20	2.3
カナダ	45	5.2
チリー	110	12.8
中国	330	38.4
メキシコ	9	1.0
モンゴル	3	0.3
ペルー	14	1.6
ロシア	24	2.8
その他	35	4.1
合計	860	100

出所) USGS Minerals Commodity Summaries 2005

2004年の日本のモリブデン需要は、モリブデン純分で約2.5万トン。大部分は特殊鋼などの添加元素用であり、2003年では約2.4万トンとなっている。

モリブデンの供給について、酸化モリブデン(MoO₃)は輸入に依存し、フェロモリブデン(FeMo)も約62%を輸入している。2004年の輸入量は、酸化モリブデンが製品ベースで3.6万トン、フェロモリブデンが5千トンとなっている。輸入先は、酸化モリブデンはチリ、メキシコ、中国から、フェロモリブデンについては、中国が92%と圧倒的なシェアを継続している(2003年データ)。

フェロモリブデンは環境問題、コスト等の観点から海外の供給者確保が難しい状況となっているが、日本国内では太陽鋳工(株)と妙中鋳業(株)の2社のみとなっている。

表1 - 39 日本のモリブデン需要 (単位:トン)

年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
需要量	21,600	21,600	21,600	24,300	25,200

出所)工業レアメタル2005

表1 - 40 日本の酸化モリブデンとフェロモリブデンの輸入量 (単位:トン)

	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
酸化モリブデン	32,389	31,705	30,140	32,727	35,462
フェロモリブデン	3,346	3,873	3,993	5,121	5,066

出所)工業レアメタル2005

(リサイクル)

触媒

国内で使用されたモリブデン触媒のうち石油精製用のものはリサイクルシステムが確立しており、直接脱硫用は1~2年、間接脱硫用は7~8年の使用の後、リサイクルされ再利用されている。石油化学工業用モリブデン触媒はアクリロニトリル製造用のものが一部リサイクルされている。

スーパーアロイ

工場内でのスクラップはほぼ全量原料として回収されているが、製品として出荷された後は再溶解原料に、溶解原料に適さない物はNi精錬工場等に戻される。

線、板、棒、箔

モリブデン金属の線、板、棒、箔は、照明、電子、通信等に使用されるが、これらのうち照明用については、業者経由でリサイクルされ、酸処理後にモリブデン塩としてリサイクルされ特殊鋼用に利用されている。

無機薬品

防錆塗料や着色顔料として各種器材の塗装用となっているが、リサイクルされていない。また、潤滑剤として使用される硫化モリブデンはグリース、ギヤ油等の廃油の形で使用済みとなり、最終製品からのリサイクルは行われていない。

表 1 - 4 1 モリブデンのリサイクルの状況

主な 応用製品	利用形態	使用済み品の存在形態・量		リサイクル形態		
		形態	量 (注)	リサイクルの実態	リサイクルのサイクル (注)	リサイクル 率
特殊鋼	ステンレス鋼 高張力鋼 高速度鋼	同左	(2,900)	鉄くずとして回収	(5年～10年)	
触媒	石油精製用 石油化学工業 用	廃触媒	(886)	リサイクルされる 触媒の大部分は石 油精製用直接法	(1年～7年)	不明
無機薬品	防錆顔料 着色顔料	塗膜	不明	リサイクル無し		不明
モリブデン 製品	モトール、陰極 ヒーター、電極棒 ポット、炉材	電球、電極棒、マグ ネトロン部品、廃炉 材	不明		(1年未満～3 年)	不明
スーパーア ロイ	タービン部材 化学プラント部材	同左	(特殊鋼 に含む)	工場内はほぼ全量 リサイクル 製品としてはスク ラップ	(5年～10年)	不明
潤滑材	グリース	同左		リサイクル無し		0%

出所(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構、「鉱物資源マテリアル・フロー2005」平成17年12月

(17)パラジウム(Pd)

(用途)

パラジウムの主な用途は、自動車排ガス浄化用三元触媒、歯科用材料、電気・電子部品、宝飾品である。自動車排ガス触媒では、プラチナ、ロジウムとともに使われている。電気電子部品でもプラチナや金、銀との合金で使用され接点などに使われている。

表1-42にパラジウムの需給推移を示す。2004年で自動車排ガス浄化触媒向けには21トンが、電子部品用には7トンが使用されている。

図1-4に日本の自動車触媒原単位の推移を示す。1996年まではプラチナ、パラジウム、ロジウムの合計は自動車1台当たり1.0～1.3g程度で推移していたが、1998年以降には2.0gを超え、99年以降は2.5gで02年には2.9gまで上昇している。これは、排ガス規制によるものである。

(供給)

パラジウムの埋蔵量(表1-43)はプラチナ同様に、ロシア、南ア、カナダに偏在しており、日本は2004年の輸入量60トンのうち、ロシア、南アから大部分を輸入している。国内ではニッケルや銅の精錬工程で副産物として得られる

(リサイクル)

自動車排ガス触媒は廃棄自動車からコンバーターを取り出し、リサイクル業者によってプラチナとともに回収されている。しかし、中古車およびコンバーター自体も輸出されている。

プリント基板や製品に組み込まれた電子部品からの回収については、前処理を行ったうえで、他の貴金属とともに銅・鉛精錬所などで回収されている。

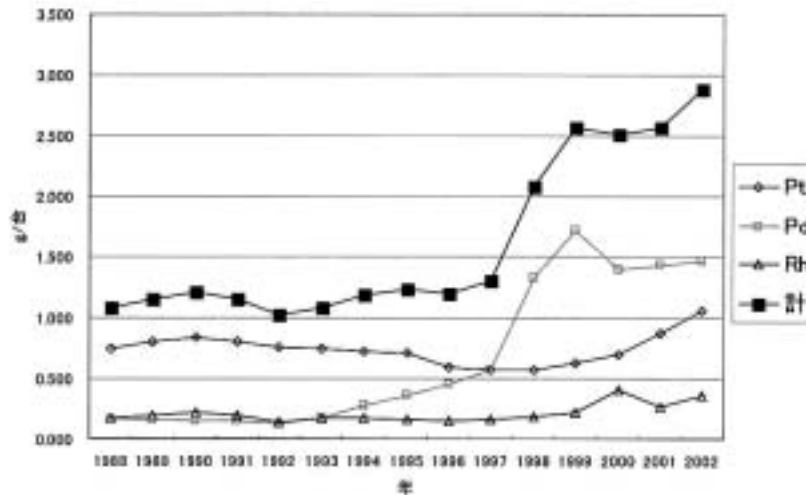
表 1 - 4 2 パラジウムの需給推移

(単位：トン)

	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
生産	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8
回収	1.6	1.2	1.2	1.2	1.2
輸入	84.2	49.0	46.4	57.8	60.3
供給計	86.5	50.9	48.3	59.7	62.3
国内需要					
自動車触媒	15.9	15.7	16.2	17.1	21.0
化学触媒	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8
歯科用材	14.6	14.8	15.7	16.0	16.2
電子用材	30.8	8.1	4.4	7.0	7.0
宝飾品	4.7	4.4	5.1	5.0	4.8
その他	0.5	0.3	0.3	0.2	0.3
内需計	67.0	43.9	42.3	46.0	50.1
輸出	17.2	12.5	13.9	11.4	12.0
需要計	84.2	56.4	56.2	57.4	62.1

出所) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構「鉱物資源マテリアル・フロー2005」平成17年

図 1 - 4 日本の自動車排ガス浄化触媒中の貴金属原単位 (g/台) の推移



出所) (独)物質・材料研究機構 エコマテリアル研究センター資料

表 1 - 4 3 世界のパラジウム埋蔵量 (単位：トン)

	可採埋蔵量	可採埋蔵量 (%)	資源量	資源量 (%)
米国	900	1.3	2,000	2.5
カナダ	310	0.4	390	0.5
ロシア	6,200	8.7	6,600	8.3
南アフリカ	63,000	88.7	70,000	87.5
その他	590	0.8	1,010	1.3
合計	71,000	100	80,000	100

出所) USGS Minerals Commodity Summaries 2005

(1 8) インジウム (In)

(用途)

インジウムの最大の用途は、液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイパネルなどに用いられる透明電極用 ITO ターゲット材である。2009 年には液晶テレビは 5,900 万台、プラズマディスプレイは 1,160 万台に増加し、世界のテレビの 37% を占めるだろうと予測されており、インジウムの需要は拡大していくと見られる。

ITO 用途以外ではボンディング材、化合物半導体、蛍光体、低融点合金などがあるが、液晶にも使用されるボンディング材を除き、ほとんど需要の変化はない。なお、LED ランプへの製品も開発され、省エネ型照明器具として、空港の着陸用ランプ、車のヘッドライト、交通信号などでの使用が増加している。

表 1 - 4 4 インジウムの国内需要推移 (単位 : トン)

		2000*	2001	2002	2003	2004
供給						
国内生産		50	55	60	70	70
輸入量		131	171	140	264	421
スクラップ再生			127	158	160	230
供給 計		188	353	358	494	721
需要	(応用製品)					
透明電極	液晶、プラズマテレビ	282	260	300	360	470
ボンディング	ボンディング合金	18	19	21	25	35
化合物半導体	半導体素子	9	17	7	7	7
蛍光体	ブラウン管	8	8	8	8	8
低融点合金	In 入りはんだ	6	6	6	6	8
ベアリング	合金	1	1	1	1	1
電池材料	太陽電池	4	5	5	5	5
歯科用合金	合金	3	3	3	3	3
その他		4	4	4	4	4
需要 計		335	323	355	419	541

* スクラップ再生は含まれていない
出所) 工業レアメタル 2003, 2004, 2005

(供給)

インジウムは亜鉛・鉛鉱石、錫鉱石などのバイプロとして生産されるが、埋蔵量としては銀や水銀等よりも多いと言われている。しかし、可採埋蔵量と 2004 年の生産量からの可採年数は約 8 年と短い。

2004 年の日本のインジウム輸入先として、中国からの輸入量が全体の約 70% を占めている。日本国内生産量 (同和鉱業、日鉱金属) が 70 トンであり、輸入量の 421 トン、スクラップ再生量の 230 トンを合わせた 721 トンが需要量と推定されている (表 1 - 4 4 参照)。

表 1 - 4 5 液晶テレビと PDP テレビに使用されるインジウム総量の試算

テレビサイズ	液晶 (32 インチ)	プラズマ (42 インチ)	合計
横 (cm)	79.5	113.8	
高さ (cm)	48	73	
面積 (cm ²)	3,816	8,307	
厚み ()	2000	2000	
比重	7.1	7.1	
In 比率	75%	75%	
パネル	2	1	
テレビ一台当たりの In 量(g)	0.812808	0.8847381	
ガラスの歩留まり(30%)	2.70936	2.949127	
液晶・プラズマテレビの生産台数 (2003 年)	1,237,000	239,000	1,476,000
重量(グラム)	3,351,478	704,841	
重量(トン)	3.4	0.7	4.1
総需要量(トン)	111.7	23.5	135.2

出所) (社)日本メタル経済研究所 レアメタル備蓄事業の調査研究報告書 2005 年 3 月

表 1 - 4 6 世界のインジウム生産量と埋蔵量 (単位/生産: トン、埋蔵量: トン)

年	2000	2001	2002	2003	2004	埋蔵量
中国	45	100	85	100	110	280
日本	55	55	55	70	70	100
カナダ	45	45	45	50	50	700
ベルギー	40	40	40	40	40	-
ロシア	15	15	15	15	15	200
フランス	65	65	65	65	10	-
ドイツ	10	10	10	10	10	NA
ペルー	5	4	5	5	5	100
米国	-	-	-	-	-	300
その他	15	15	15	15	15	800
合計	345	349	341	370	325	2,500

出所) U.S.Geological Survey, Mineral Commodity Summaries

表 1 - 4 7 日本のインジウム(塊、粉、くず)の輸入通関実績 (単位: kg)

	2000	2001	2002	2003	2004
中国	49,780	85,957	75,224	156,062	298,987
米国	2,581	10,913	29,987	47,798	26,947
カナダ	20,831	20,110	13,830	29,578	34,800
CIS	919	1,295	184	12,862	19,740
ベルギー	3,002	3,286	1,894	2,799	2,415
フランス	49,259	41,605	16,188	5,103	1,795
その他	4,081	8,001	3,167	10,316	36,013
合計	130,453	171,167	140,474	264,518	420,697

出所) 工業レアメタル No.121 (2005)

なお、日本は世界第2位の生産国であったが、豊羽鉱山（亜鉛・鉛鉱山、インジウム生産量年間30トン）が2006年3月に閉山しており、国内産出鉱からのインジウムの生産はなくなったために、全量輸入亜鉛鉱の副産物からの生産に切り替わっている。しかし、東邦亜鉛が2005年11月より群馬県の安中精錬所での精錬再開やITOからのリサイクルを再開している。

（リサイクル）

国内需要の30%以上をスクラップ再生品が占める。スパッタリング材は、使用後にターゲット製造メーカーに戻され再生品として使用されている。

一方、最終製品である液晶ディスプレイ中に含まれるインジウム量は、表1-45に示すように、1~2g程度であり、かつ技術の進展からインジウム量が減少しているために、経済的に考えてパネルからのリサイクルは採算に合わないとされている。

表1-48 日本のインジウムの生産会社

会社名	生産能力(トン)	備考
アサヒプリテック(株)(神戸)		リサイクルにより金、銀、パラジウム、プラチナの回収
同和鉱業(株)(秋田)	40	
日鉱金属(株)(富山・三日市)	30	豊羽鉱山の亜鉛鉱から製錬
三井金属(株)(竹原)	60	
新興化学工業(株)(堺)		回収インジウムの生産を1997年より開始
住友電工(株)(伊丹)		半導体用高純度インジウム、ガリウム、亜鉛の製造
住友金属鉱山(株)(新居浜)	5	二次インジウム。播磨工場からの鉛・亜鉛の残渣
東邦亜鉛(株)(安中)		2005年11月から19年ぶりにインジウムの生産を再開する。安中精錬所に精製用ろ過機、反応層を設置する。生産量は10t~20t/年の予定。

出所) Mineral Commodity Summaries 2003、工業レアメタルNo.120 2004、Roskil2003ほか

このように、使用済みとなった液晶テレビ等からのインジウムについては、技術的な困難さから、回収は進んでいない。経済的な理由のほかには、最終製品を分解してからインジウムを回収するまでに時間がかかること、またスクラップをストックしておく膨大な土地が必要なこと、インジウムを取った後のゴミの処理にコストがかかることなどを挙げることができる。更にITOにはインジウム以外に微量な元素が含まれているが、メーカーにより、また機種によってもその成分が異なっており、回収しても新しくずのようにそのまま利用できない点もある。

しかし、最近のインジウムの高騰に伴い、市中スクラップからのインジウム回収率も上がってくると思われ、製品に占めるスクラップ量は更に増加するであろう。

表1 - 49 インジウム応用製品のリサイクルの現状

主な応用製品	利用形態	使用済品の存在		リサイクル形態		
		形態等	量 (注)	リサイクルの実態	リサイクルのサイクル(注)	リサイクル率
In入りはんだ In入りヒューズ	低融点合金	電子機器等におけるはんだ付け、ヒューズを組み込んだ電子機器等	(6t)	電子機器など使用済み製品からのリサイクルはなし	製品による。携帯電話の1～2年からテレビの10年(1～10年)	0%
蛍光体	モノクロブラウン管	ブラウン管内部に塗布膜	(8t)	リサイクルなし	(5年)	0%
液晶テレビ プラズマテレビ	透明電極(ITO)	ITO薄膜(液晶パネル、プラズマパネル)	(360t)	ITOターゲットの使用済み品は再生品となる	都度	(100%)
				使用済みパネルからのリサイクルはなし	(5～10年)	0%
歯科材料	歯科合金	使用済みは王冠等	(3t)	貴金属を対象とし専門業者がリサイクル	(5～10年)	0%
ベアリング	合金		(1t)	リサイクルなし	(5～10年)	0%
半導体素子	半導体素子	チップ状	(7t)	InP等の工程内スクラップが再生	都度	(100%)
					(5～10年)	0%
ボンディング	ボンディング合金	使用済みは電気電子機器などに組み込まれた基板類	(25t)	使用済み機器からのリサイクルはない	(5～10年)	0%
電池材料	太陽電池	ITO薄膜	(5t)	使用済み製品からリサイクルなし	(10～30年)	0%

(鉱物資源マテリアルフロー、工業レアメタル2004)

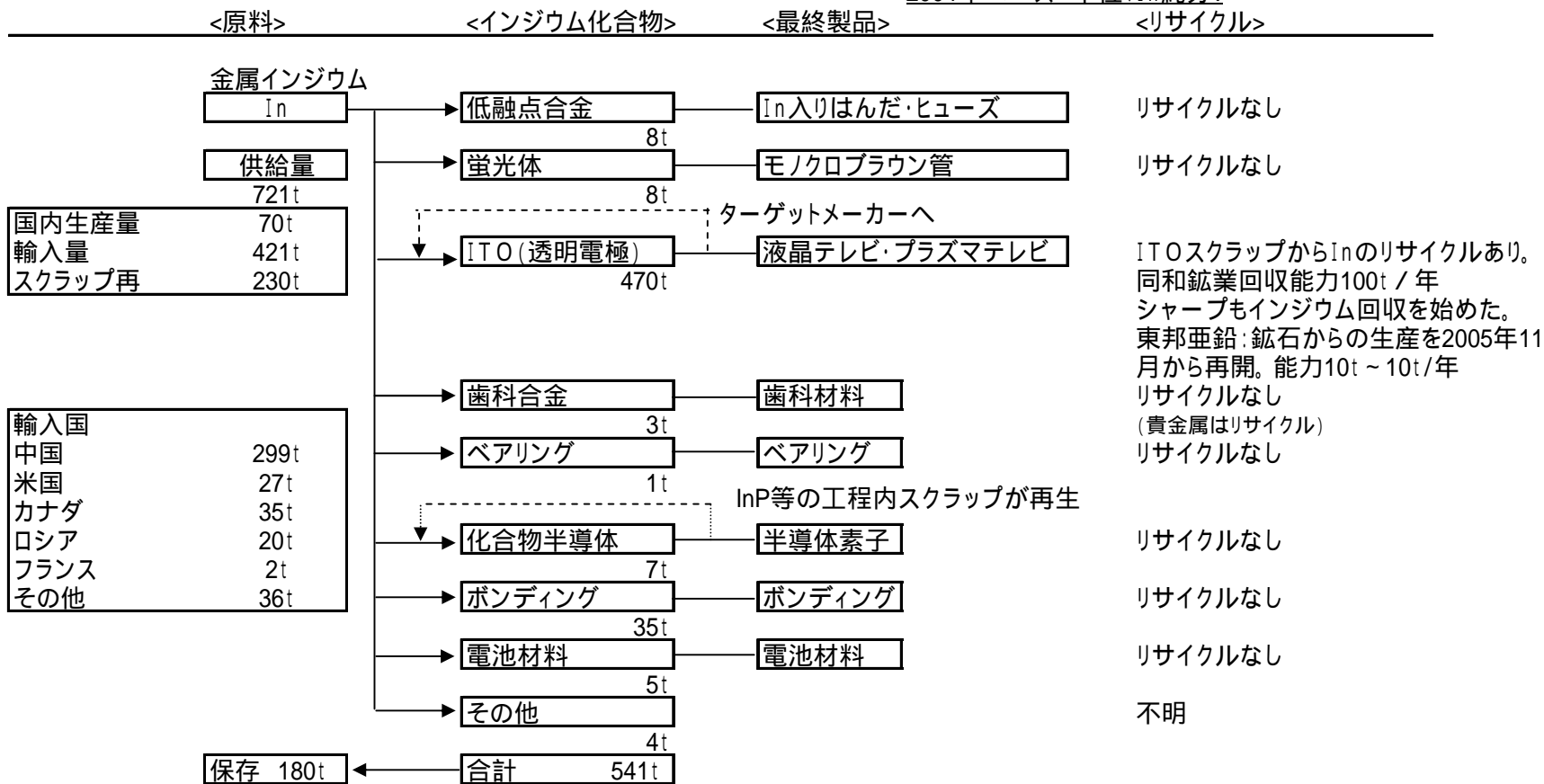
(注) 量の単位：()内の使用量純分、その他は発生量純分

サイクル：()内は推定使用年数、その他は実リサイクル年数

図1 - 5 インジウムのマテリアルフロー

インジウム(In)

2004年ベース 単位:In純分t



1.埋蔵量 2500t

2.可採鋳量 N.A.

3.出典 工業レアメタル2005、財務省貿易統計

出所) (独)石油天然ガス・金属鋳物資源機構「鋳物資源マテリアル・フロー2005」平成17年

(19) アンチモン (Sb)

(用途)

アンチモンは、鉛やスズなどの柔らかい金属との合金で硬度の上昇や、被削性や耐磨耗性の向上のために添加される。具体的にはバッテリー (Sb2.5%以下) や快削鋼などに使用されているが、バッテリーについてはメンテナンスフリー化の進展によりアンチモン量は低下し、カルシウムに取って代わられてきている。

三酸化アンチモンは、臭素系難燃剤と併用して、各種プラスチック、ゴム、繊維、塗料、接着剤などに難燃助剤として添加されている。このうち、プラスチックへの用途が多い。

表 1 5 0 アンチモン合金としての用途 (単位 : トン)

用途	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
蓄電池	194	203	316	348	184
特殊鋼	120	116	58	136	165
硬鉛鋳物	99	99	87	88	80
その他	95	373	127	102	58
計	508	791	588	674	487

出所) 工業レアメタル 2005

表 1 - 5 1 三酸化アンチモンの用途別出荷実績 (単位 : トン)

用途	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
難燃助剤	9,690	7,872	8,567	7,387	8,129
塗料・顔料	256	169	184	165	275
ガラス	100	88	57	31	42
その他	227	73	77	181	270
計	10,273	8,202	8,885	7,764	8,716

出所) 工業レアメタル 2005

(供給)

アンチモン鉱石の可採埋蔵量は、180万トンであり、このうち中国が44%、ロシア19%、ボリビア17%などとなっている。一方、アンチモン鉱石の生産は11.2万トンで中国が90%近くを握っている。日本は、需要の大部分を中国から輸入しており、金属アンチモンはほぼ100%を中国から、三酸化アンチモンも89%が中国からのものである。

(リサイクル)

難燃助剤として三酸化アンチモンが使われているプラスチックについては、プラスチックの種類が多いこともあり、添加量が少ないこともあって、経済的に成立しないが、ABS樹脂のように、プラスチックの種類を限定した場合にはマテリアルリサイクルが可能となり、この場合はアンチモンの特性が活かされた形でのリサイクルといえる。

バッテリーについては、鉛の回収が行われているが、回収鉛の電解精錬時にアンチモンが回収されているかは不明である。しかし、バッテリー用鉛合金 (Sb 1%) としてアンチモンはリサイクルされている。一方、バッテリーの一部は香港やベトナムに輸出されており、これに伴ってアンチモンも輸出されていることになる。

(20) テルル (Te)

(用途)

金属テルルを 0.01 ~ 1.9% を添加すると、快削性、強靱性、耐食性が向上する。そのために合金は、自動車部品、精密機械部品として利用されている。

テルルの金属間化合物 (Se - Te) は、乾式複写機の感光ドラムに使用されている。しかし、現在は有機感材ドラムによる代替が進み、この分野の需要が減少している。

高純度テルルについては、光ディスク用 (Ge - Te - Sb)、太陽電池用 (Cd - Te)、小型冷蔵庫や電子魔法瓶、カークーラー・ヒーターなどにおける熱電素子 (ペルチェ素子) 用 (Bi - Te - Sb) などがある。最近では太陽電池セル用が伸びており、また DVD 用として Sb - Te 系合金に比べ高速および低速の両方の書き込みが可能になるものとして Bi - Te 系合金が開発されている。

(供給)

世界のテルル生産は 95 トン (米国は除く) とされ、鉄鋼製品 50%、触媒・化学薬品 25%、非鉄合金 10%、光受光素子・熱電素子 8%、その他 7% と推定されている。

日本では銅製錬時の副産物として電解スライムから金属テルルを回収している。国内の生産企業は、三井金属鉱業、三菱マテリアル、日鉱金属、住友金属鉱山となっている。

表 1 - 5 2 に、テルルの国内需給推移を示す。

表 1 - 5 2 テルルの国内需給推移 (単位 : トン)

	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
期初在庫	70.7	77.9	80.7	82.0	31.7
生産	62.2	52.4	49.2	52.8	36.1
輸入	20.2	17.3	14.2	10.6	43.7
供給 計	153.1	147.6	144.0	145.4	111.4
見掛内需	66.5	45.0	45.2	19.4	34.0
内需 (報告値)	55.0	49.6	43.8	99.7	56.5
自家消費				3.4	
輸出	8.7	22.0	16.8	94.3	66.2
期末在庫	77.9	80.7	82.0	31.7	11.3

注) 輸出入はほう素を含む

出所) 日本鉱業協会資料、日本貿易月表

(リサイクル)

テルルを含んだ製品の中では、感光ドラムがあるが、これはリサイクルルートに沿って回収され、使用済触媒資源化協会によれば 2003 年度の回収量 1 トンとされている。

また、光ディスクメモリ向けのものがリサイクルされている可能性があるが詳細は不明である。

一方、テルルの用途の大部分を占めている鉄鋼製品 (自動車部品・精密機械部品) や触媒・化学薬品、非鉄合金、熱電素子などからの回収は行われていない。

(2 1) セシウム (Cs)

(用途)

ポルサイト鉱石を原料として生産されたセシウム化合物の主要な用途は、メタアクリル樹脂用触媒としての硝酸セシウムである。硝酸セシウムは、光学ガラス材料の光ファイバーや医療・生物学研究用にも用いられている。

ヨウ化セシウムは、エックス線蛍光増倍管、ガンマ線検出用単結晶等に用いられている。

フッ化セシウムは、フッ素樹脂合成のフッ素化剤として用いられ、また塩化セシウム等が、核酸の分離精製時に使用されているが、需要量は少ない。

最近注目されているのは、ポリオシアルキレンポリオール合成用触媒としての水酸化セシウムである。このポリオールは、優れた弾性と触感を持つポリウレタンの原料として用いられ、自動車用バンパーや内装部品に使われる。水酸化セシウムの価格、回収技術等の問題が解決されればかなりの需要が見込まれる。

(リサイクル)

メチルメタアクリル樹脂用触媒に用いられている硝酸セシウムは、セシウム需要の多くを占めている。リサイクル技術は確立しているが、実施はされていないと思われる。ヨウ化セシウム、フッ化セシウムおよび塩化セシウムはリサイクルされていない。

最近、自動車のバンパーや座席シートに使われる高級なポリウレタン製造用触媒向けに水酸化セシウムの需要が着実に増えている。高価格 (セシウム化合物 10,000 ~ 60,000 円 / kg) でありまた資源保護の面からリサイクルの動きがある。

(2 2) バリウム (Ba)

(用途)

塩化バリウムは、金属表面処理剤、顔料原料、X線造影剤用硫酸バリウムの原料などに使用されている。

炭酸バリウムは、管球光学ガラス (ブラウン管では Ba 含量約 8%) やセラミックコンデンサー (BaTiO₃ では Ba 含量約 60%) に使用されているが、ガラス向けはブラウン管メーカーの海外進出に伴い用途は減少している。硫酸バリウムは増量剤としての用途が多く、ゴム、印刷インキ、顔料、塗料、合成樹脂向けに使われている。自動車のブレーキパッドへの使用もある。

(供給)

バリウムは重晶石から製造されているが、日本は中国からの輸入に依存している。

(リサイクル)

ブラウン管を除き、機器に組み込まれたコンデンサーなどは最終的には廃棄されており、リサイクルに到っていない。また、塗料用増量材として使われた自動車の塗料は、自動車使用済みとなった後も回収されていない。同様に自動車のブレーキパッドについてもリサイクルされていない。

ブラウン管においてはガラスカレットから再びブラウン管が製造された分についてはバリウムはリサイクルされたことになる。

表 1 - 5 3 炭酸バリウム、硫酸バリウムの用途別出荷実績 (単位：トン)

	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
炭酸バリウム					
管球光学ガラス	12,503	8,853	9,493	6,202	2,793
窯業	382	182	134	309	910
コンデンサー	7,025	2,404	3,542	3,272	2,487
その他	2,933	1,457	1,838	1,205	1,890
輸出	1,823	477	928	861	527
計	24,666	13,373	15,935	11,849	8,607
硫酸バリウム					
印刷インキ	1,902	1,391	1,290	792	399
顔料	1,767	1,596	1,433	504	266
塗料	6,469	5,210	4,415	4,360	3,221
ゴム	772	616	627	628	1,189
合成樹脂	1,368	1,244	1,345	806	1,329
摩擦剤	2,036	2,962	3,590	3,579	3,933
蓄電池	474	559	601	330	191
その他	2,607	2,220	2,783	1,818	2,520
輸出	159	107	110	369	443
計	17,554	15,905	16,194	13,186	13,491

出所) 日本無機薬品協会

(2 3) タングステン (W)

(用途)

タングステンは、高温における硬度、耐熱等の特性から、主として高速度鋼、超硬合金として金属加工機に取り付けられて使用される切削工具及び金型、線引ダイス、その他の機械部品として工作機械等に使用される。

その他の応用製品としては、高融点の特性を利用して、線、棒、接点、電極棒として、照明基部、電子機器、自動車、工作機械等に使用されるとともに触媒として石油化学や環境機器等にも使用されている。2004年の我国のタングステン需要量はタングステン純分ベースで7,150トンである。最大需要先である超硬工具生産量は、2004年では5,508トン、高速度鋼は17,610トンとなっている。その他には、電気電子機器用等に、細線、棒線、トリタン、接点、銅タングステン合金、銀タングステン合金に使用されている。

表 1 - 5 4 日本のタングステン関連業界の生産実績 (単位：トン)

	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
高速度鋼	18,241	16,842	14,640	17,535	17,610
金属タングステン	5,046	3,678	3,303	2,597	4,254
超硬工具	4,641	4,053	3,958	4,177	5,508
合計	27,928	24,573	21,901	24,309	27,372

出所) 工業レアメタル 2005

(供給)

日本のタングステン供給は、中国にほとんどを依存している。表 1 - 5 5 にタングステン輸入量の推定値を示す。

表 1 - 5 5 日本のタングステン輸入量推定 (W純分、単位：トン)

	2001年	2002年	2003年	2004年
鉍石	528	492	421	73
フェロタングステン	636	428	1,007	1,023
A P T	4,335	3,386	3,361	4,314
金属タングステン	693	493	452	663
タングステンカーバイド粉	1,170	1,086	1,368	1,756
線・板・棒・その他	636	510	689	747
合計	7,998	6,395	7,298	8,576

出所) 工業レアメタル 2005

(リサイクル)

高速度鋼関係

高速度鋼の製網時のスクラップや工具製造時の切削屑、研磨屑等素性の明白なものは製網時に戻して使われる。使用済工具類は再生インゴットの成分の有形屑として使用される。2004年の使用済切削工具からのリサイクル量は、約150トンと推定される。

超硬合金関係

使用済超硬工具類は、バイト、カッター等の工具の先端にチップとして取り外し可能な物と、耐磨耗、耐蝕用工具が主なりサイクルの対象になる。2004年の超硬工具類の生産は5,508トンで、約300トンのタングステンがリサイクルされたと推定される。

触媒

現在、石油化学系タングステン触媒は、リサイクルのサイクルが6~7年と寿命も長く、使用済触媒からのタングステンの回収は非常に少量と推定される。火力発電所からの脱硝触媒は、タングステン含有量が低いためほとんどリサイクルされていない。

(24) プラチナ (Pt)

(用途)

プラチナの主要な用途は、自動車排ガス浄化触媒と宝飾品である

これに対し、自動車、電子工業、その他の割合が増加している。塩化白金酸から製造される各種工業材料の中で最も使用量が多いのが自動車排ガス浄化用触媒である。自動車用触媒に使用されるプラチナの量は以前、8~9トン/年で推移していたが、自動車触媒需要がパラジウムの高騰からの代替需要およびEUでのディーゼル車用廃触媒用途の増加で次第に増加している。

次に多いのは、電気・電子工業用である。表面が酸化されにくく接触抵抗が小さいことから高信頼性の接点として様々な電気部品に使用されている。通常はプラチナ単独では柔らかすぎるのでイリジウム、ロジウム、ニッケル等と合金にして利用される。また、コンピュータのハードディスクの磁気合金層にプラチナが添加され、磁場強度が増加する事によってディスクの記憶容量も増加する。このため、プラチナを使用したハードディスクの比率が高まっている。

電気業界におけるプラチナの主要用途としてはこの他に、熱電対があり、鉄鋼、半導体、ガラス製造の過程で温度モニターとして使用されている。

日本のプラチナ需要を用途別にみると、表1-56のようになっている。自動車触媒用分野では、世界の約15% (16.5/106.7)を占めている。

表1-56 日本のプラチナの用途別需要動向 (金属量:単位トン)

	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
自動車触媒	9.0	10.7	13.2	15.2	16.5
電気	2.8	2.5	2.5	2.5	1.4
装飾品	33.0	22.1	24.3	20.7	20.8
その他	0.9	4.5	4.2	2.3	2.8
合計	45.7	39.8	44.2	40.7	41.5

出所) Platinum 2004 Interim Review, Johnson Matthey

(供給)

プラチナはパラジウム(Pd)、ロジウム(Rh)、ルテニウム(Ru)、オスミウム(Os)などとともに、PGM(Platinum Group Metal)と呼ばれており、南ア、ロシアに生産が集中している。日本では、プラチナはリサイクル品以外すべて輸入に依存している。2004年の輸入量は62トンとなっている。輸入先は南アフリカ、ロシア、ドイツ、米国などであるが、南アフリカが74%を占めている。

表1-57 世界のプラチナ生産量および埋蔵量 (単位:kg)

	2000	2001	2002	2003	2004	埋蔵量
南アフリカ	114,459	130,307	133,796	151,000	155,000	63,000,000
ロシア	34,000	35,000	35,000	36,000	36,000	6,200,000
カナダ	6,302	7,410	7,400	7,400	8,600	310,000
米国	3,110	3,610	4,390	4,170	4,200	900,000
ジンバブエ	505	519	2,306	4,400	4,700	n.a.
その他	1,624	2,154	2,108	2,030	500	800,000
合計	160,000	179,000	185,000	205,000	218,000	71,000,000

出所) ジンバブエ以外は Mineral Commodity Summaries, January 2005
ジンバブエは Platinum 2004, Johnson Matthey)

プラチナの輸入量と需要量の推移を表1-58に示す。2004年の需要は64トンで、2005年の予測は67トンと増加傾向である。

現在、自動車触媒としては、アルミナをベースとして、プラチナ、パラジウム、ロジウムを加えた三元触媒が主に用いられている。ロジウムは窒素酸化物(NOx)の還元能力が高く、白金とパラジウムは炭化水素(HC)と一酸化炭素(CO)の酸化能力が高い。ガソリンエンジンの排ガス組成ではHC、CO、NOxのバランスがとれているため、HCとCOの酸化反応とNOxの還元反応を同時に行わせることができる。

表1-58 日本のプラチナ輸入量と需要の推移 (単位:トン)

	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年見込み
輸入量	53	50	51	49	62	65
需要量	55	52	53	51	64	67

出所) 工業レアメタル 2005

(リサイクル)

自動車排ガス浄化用触媒は、廃車時にコンバータを取り外し、切断して中の触媒を取り出し、リサイクル業者に持ち込まれている。2003～4年の回収量は約2トンとされている。

石油精製、硝酸製造、シリコン製造に使用される触媒については劣化した時点で交換され、触媒メーカーがリサイクルを行っており、リサイクル率は90%以上と高い。

電気・電子工業製品については接点部品の場合、分解によって取り外すことが困難でリサイクルはしにくい。パソコン、大型コンピューター、電話交換機、携帯電話等の基板には銅、金、銀、パラジウム、プラチナ等の有価金属が比較的多量に含まれており、集荷された基板は破碎、焼却あるいは乾留して銅製錬所に送られ、銅製錬工程の製銅炉に供給される。この後、銅製錬工程とそれに続く貴金属回収工程を経て他の有価金属と共にプラチナが回収される。

しかし、テレビ、洗濯機などの基板については貴金属含有量が低いいため回収されないこともある。自動車中の基板についても取り外しが面倒であるため実施されないことが多かったが、自動車リサイクル法の施行によって、回収率は上昇しているとみられる。

るつば、熱電対に使用されるプラチナについては大部分が回収され、メーカーにて溶解されリサイクルされている。

1992年に同和鉱業40%、田中貴金属40%、小坂製錬20%が出資して日本PGM(リサイクル専門)を設立し、シュレッダーダストおよび石油化学系の廃触媒からPGMを回収している。

自動車は中古車として海外へ輸出されたり、リサイクルされずにそのまま廃棄されたりするケースも多いため、自動車触媒の回収率は余り高くなく、60%以下と言われているが、自動車リサイクル法の施行もあって、触媒の回収量は向上している。南アでも自動車触媒からのプラチナの回収を積極的に行っており、米国市場で発生した中古車エンジンを南アへ持ち込んで精錬し、地金に製造している。南ア第2位のプラチナ生産企業Impala社ではほぼ生産の半分近くまでが、この自動車触媒のリサイクルによるものであると述べている。

石油化学用が自動車用触媒と同様に行われている。石油化学用の触媒は廃棄されたり、輸出されたりすることがないため、自動車に比べ回収率は高い。電子部品の場合、例えば、携帯電話はほぼ400日程度で買い換えられており、一部海外へ輸出されるものの、年間約5,000万台が廃棄されていると見られているが、うちリサイクルされているのは1/3程度と言われている。カメラ付き携帯電話が普及していることもあり、最近では新しい携帯電話を購入しても古い携帯電話をデータとともに退蔵するケースも増えており、回収率は落ちている。携帯電話に含まれている貴金属の回収は行われているが、部品に使用される貴金属の量は次第に減少しており、回収及び処理コストを考えた場合、採算が合わない事業になっている。

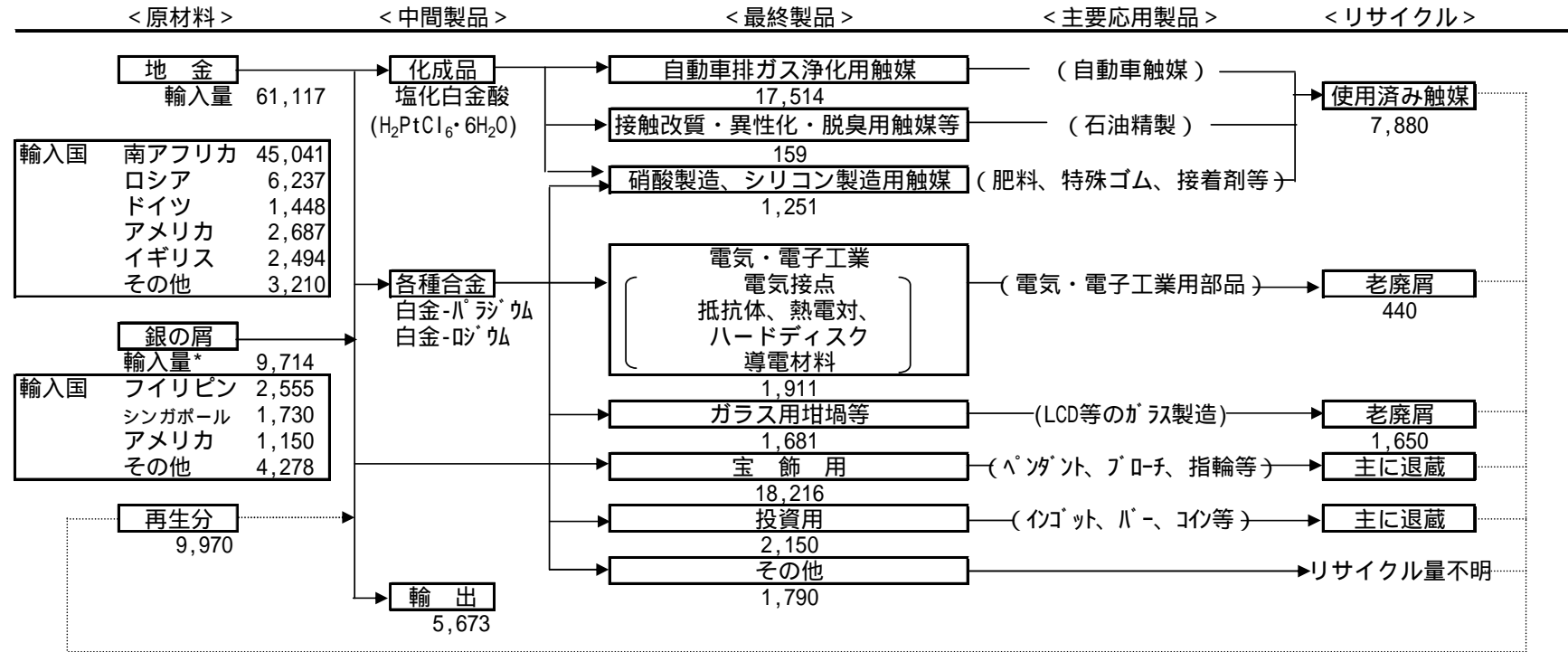
2001年度にドコモが回収した携帯電話・PHS計1,057万台から再生した資源は、表1-59の通りとなっており、貴金属としては金133kg、銀769kg、パラジウム49kgであり、プラチナはスラグに含まれてしまっている。なお、同社は回収携帯電話を100%リサイクルする方針を立てている。

表 1 - 5 9 携帯電話・PHS から得られる資源 (単位: kg)

回収メタル名	数量 (kg)	1台当たりの 数量(g)	比率 (%)
銅	61,908	5.8	19.6
鉄	14,218	1.3	4.5
コバルト	5,430	0.5	1.7
ニッケル	2,880	0.27	0.9
銀	769	0.07	0.2
アルミニウム	450	0.04	0.1
金	133	0.01	0.04
パラジウム	49	0.005	0.02
スラグ	230,677	21.8	72.9

プラチナ(Pt)

2004年ベース、単位：k g



*銀の屑のみ重量はton

- 1 世界の埋蔵量
- 2 可採鉱量 N.A.
- 3 出典 工業レアメタル2005、財務省貿易統計

図1 - 5 2004年のプラチナ(Pt)の MATERIAL FLOW (単位：プラチナ純分 kg)

(2 5) ビスマス (Bi)

(用途)

ビスマスはフェライト向けや、鉛フリーはんだより低温で溶けるウッド合金（低融点ハンダ材料や、防火用スプリンクラーの感温材料として用いられる）に使われる。また、ビスマスは、高温超伝導体の材料としても使われている。このほかに医薬品としての用途もある。

表 1 - 6 0 ビスマスの国内需要 (単位：トン)

	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
低融点合金	37	18	38	62	104
冶金添加剤	162	134	161	225	434
医薬	15	7	11	21	12
触媒	93	81	114	103	87
フェライト	340	178	272	360	337
その他	247	217	453	492	443
内需計	893	634	1,050	1,265	1,417
輸出	3	31	4	0	0

出所) 工業レアメタル 2004, 2005

(供給)

日本では、三井金属鉱業、三菱マテリアル、日鉱金属、東邦亜鉛、住友金属鉱山、同和鉱業が生産し、2004 年の総生産量は 498 トンとなっている。

(リサイクル)

ビスマスは添加剤として使われている。冶金添加剤として使われて可鍛鑄鉄やアルミ合金、銅合金となり、自動車や家電製品に部品として組み込まれて廃棄になった後で、ビスマスの回収目的ではリサイクルされていない。同様にフェライトとして自動車や家電製品の磁石向けに出荷されてものも、ビスマス回収としてはリサイクルされていない。

(2 6) ストロンチウム (Sr)

(用途)

ストロンチウムは、需要の 80%以上が炭酸ストロンチウムとして使用されている。炭酸ストロンチウムの主な用途は、カラーテレビ、コンピューターのモニター用ブラウン管とフェライト磁石である。

ストロンチウムは、二次放射線を防止する目的でカラーテレビやその他のモニターのブラウン管ガラスに炭酸ストロンチウムの形で用いられている。日本のガラスメーカー 2 社（旭硝子、日本電気硝子）が世界のブラウン管ガラス市場の 60 割を占めているが、一部大型平面ブラウン管を除いて海外の工場で生産されている。国内でのブラウン管ガラスの生産量は減少しており、2004 年で 460,600 トンと前年比 8%減となった。なお、ブラウン管に使用される炭酸ストロンチウムの需要は 2004 年で 39,300 トン程度と推計される。

ストロンチウムフェライト磁石は、より強力な磁石として自動車用小型モーター、スピーカー、テープレコーダー等に使用されている。フェライト磁石全体の生産量は 2004 年で

38,800 トンであり、前年とほぼ同量であるが、生産量の漸減傾向は止まっていない。フェライト磁石用途には 2004 年で 8,300 トンの炭酸ストロンチウムが使用されたと推計される。

その他炭酸ストロンチウムの用途としては、TFT、コンデンサ、プラズマディスプレイなど、クロム酸ストロンチウムが防錆性能を目的として塗装鋼板の一次被膜（プライマー）用塗料に添加されており、自動車の下塗り塗料として使用されているが、いずれも量的には少ない。また、クロム酸ストロンチウムは、最近の環境意識の高まりによって「クロムフリー」が求められており研究開発が進んでいることから、今後この用途は現状維持もしくは減少していくことが予想される。硝酸ストロンチウムは、花火、発炎筒などに使用されている。金属ストロンチウムの需要は少ないが、アルミニウムの添加元素として使用される。ストロンチウムを添加することで、鋳造性、組織的性質、機械的性質が向上する。その他の用途におけるストロンチウムの需要はごくわずかである。

炭酸ストロンチウムはカラー用ブラウン管が主たる用途であるが、代替金属として、白黒ブラウン管には炭酸バリウムが使用される。しかし近年、モニター用としての液晶やプラズマディスプレイの需要が増加してブラウン管需要が減じていることから、炭酸ストロンチウムや炭酸バリウムの需要は減少しつつある。

表 1 - 6 1 ブラウン管の化学組成 (単位：%)

	モノブラウン管ガラス	カラーブラウン管ガラス			
	P, F	P	F		T (* 1)
SiO ₂	64 ~ 67	59 ~ 61	51 ~ 52		
Al ₂ O ₃	2 ~ 4	2	3 ~ 5		
Na ₂ O	7 ~ 9	7 ~ 8	5 ~ 7		
K ₂ O	6 ~ 8	6 ~ 8	8 ~ 9		
SrO		8 ~ 10		9	6.0
BaO	11 ~ 12	6 ~ 10		8	5.3
CaO		0 ~ 3			
PbO	3.5		21 ~ 24	22.5	7.5
ZrO ₂		1 ~ 3			
CeO ₂	0 ~ 0.2	0.2 ~ 0.4			
Sb ₂ O ₃	0.2 ~ 0.5	0.3 ~ 0.5			
MgO		0 ~ 0.5	2		
ZnO		0 ~ 0.5			
TiO ₂		0.4 ~ 0.5			
Fe ₂ O ₃	0 ~ 0.2				

* 1) 重量比 P (P: 前面): F (F: 背面) = 2 : 1 から管球ガラス全体の % を推定

フェライト磁石にはストロンチウム系とバリウム系があるが、バリウム系は日本国内では殆ど製造されておらず、中国で中級品用途として製造されている。一方、ストロンチウム系は自動車用電子部品などに使用され、日本製が大部分を占める。ストロンチウムフェライト磁石の 7 割は、自動車電装品向けである。スターター、ワイパーなど大きさに制約されないで小型モーターなどに使用されている。また、フェライト磁石の 30% 近くがボンドタイプで、用途は冷蔵庫のドア、雑貨・日用品、テレビの偏向ヨークなど安価なもの向けである。輸出はほとんどない。

表 1 - 6 2 ストロンチウムの国内需給推移

(Sr純分t)

	2003	2004
輸入(炭酸ストロンチウム)	34,589	31,630
供給計	34,589	31,630
国内需要		
ブラウン管	25,368	23,400
磁石	5,395	4,970
その他	300	370
合計	31,063	28,370
需要計	31,063	28,370

(財務省貿易統計)

(供給)

ストロンチウムの埋蔵量は 17,903～19,155 千トンで、世界の生産量約 300 千 t /年からすると、可採年数は約 25～30 年（鉍石の純分 0.45 で計算）と推定されている。

日本はストロンチウムのすべてを輸入に依存している。主要原料である炭酸ストロンチウムは、メキシコ、中国、ドイツ等から輸入し、2004 年の輸入量は 60,490 トンを示している。メキシコと中国で 85%を占めている。特に中国からの輸入量が 2000 年以降急増している。

国内唯一、鉍石から炭酸ストロンチウムを製造している堺化学工業は、2005年から中国河北省石家荘においてストロンチウム鉍石からの炭酸ストロンチウム生産を開始する計画である。この工場が順調に稼働すると国内の生産を休止すると考えられ、国内での鉍石からの生産量が全量、輸入炭酸ストロンチウムに切り替わることになる。

表 1 - 6 3 日本の炭酸ストロンチウムの輸入量 (単位：トン)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
メキシコ	37,311	40,226	28,204	25,723	28,204	25,723
中国	16,375	26,515	23,053	25,409	23,053	25,409
ドイツ	11,991	11,265	7,907	7,040	7,907	7,040
その他	18	1,832	2,075	2,318	2,075	2,318
合計	65,695	79,838	61,239	60,490	61,239	60,490

出所) 財務省貿易統計 2836.9200

(リサイクル)

ブラウン管はカレットとしてブラウン管に再利用される。ストロンチウムを分離せず、再度ブラウン管に使用する。40%が再使用で、60%を新品との組み合わせで再使用される。最終製品となったブラウン管からはストロンチウム単体としてリサイクルされていない。

2001 年の家電リサイクル法により、使用済家電の再商品化率が 50%以上となり、テレビに占めるブラウン管の重量比率が高いため、ブラウン管のリサイクルが必須となった。リサイクルの技術的な可能性を検討した結果、使用済テレビのブラウン管をカレット化して、管球（ブラウン管）原料として最大 15～20%まで配合できることが確認された。これにより、現在、使用済みテレビのブラウン管がリサイクルされている。

家電製品協会の報告から、回収されたブラウン管ガラスが全量リサイクルされたと仮定するとリサイクルガラスの占める割合は2001年7.7%、2002年9.8%、2003年11.2%であり、徐々に上昇している。

表1 - 64 家電リサイクル法による管球ガラスリサイクル量

	家電リサイクル法による管球 ガラスリサイクル量	ブラウン管生産量 (カラー + モノクロ)	リサイクル率% リサイクル品/全生産 / × 100
2001	45,153	584,435	7.7
2003	55,075	563,160	9.8
2003	55,975	500,652	11.2
2004	60,818	399,588	15.2

出所) 家電製品協会ホームページ、電気硝子工業会ホームページ

ストロンチウムフェライトは、廃棄後の流通システムがないため回収されていないのが現状である。その他光学ガラスへの添加剤としての使用されているものについても回収はされていない。花火、発煙筒は消耗品であり回収はできない。

コンデンサーは基板として回収されるが、回収されず拡散してしまうものがある。製品に組み込まれた磁石は殆ど回収されていない。

(27) タンタル (Ta)

(用途)

タンタルの主な用途は、高温炉用ヒーター・容器・リード線、タンタルコンデンサ、セラミック材料、光学レンズ材料、超硬工具材料などであるが、新しい用途として、電子デバイス生産用のターゲット材が注目されている。特に近年、携帯電話、自動車電装品用タンタルコンデンサ用途の需要増加が著しい。

タンタルは生産・需要が限られていることと、タンタルコンデンサ業界の構造から、価格、需要、生産の変動が激しく、投機の対象になる場合がある。

タンタル製品の概況、需要動向は次のとおりである。

純タンタル粉末

フッ化物(K_2TaF_7)をアルカリ金属で還元して製造される。国内需要は2004年が214トンで、このうちコンデンサ用が165トンであった。タンタルコンデンサは通信機器、OA機器、携帯電話、CPU、デジタルカメラ、等に使用されている。近年はTaコンデンサの高圧用途・熱安定性などの特徴を生かしたCPU、自動車電装品、携帯電話向けを中心に、需要が大幅増加の傾向にある。但し、携帯電話など小型機器に搭載されるコンデンサ自体が小型化し、1個あたりのタンタル使用量(2004年で、165トン/54.77億個=30mg/個)が減少している。コンデンサの海外生産が増加するなか、タンタル粉末輸出し、コンデンサを輸入する傾向も強まっている。なお、タンタルの供給不安に対応するために、ニオブをタンタル代替としたコンデンサも開発されている。

表 1 - 6 5 日本のタンタルコンデンサ生産 (単位: 100 万個)

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
生産量	4,595	5,839	5,486	5,592	5,751	6,544	8,676	4,838	4,720	5,315	5,477

出所) 機械統計年報

塊(展伸材)

タンタル塊・展伸材は、インゴットから鍛造・圧延・線引き・溶接等の加工を経て生産される。2004年の国内需要は108トンであった。主な用途は、電子工業用真空熱処理炉部品(ヒーター、リフレクター等、ほとんどがタンタルコンデンサ焼結用)、コンデンサリード線、及び一般工業用化学装置(熱交換器、反応器等)、半導体・液晶用スパッタリングターゲットなどである。電子工業用が大半を占める。半導体では、CuとSi間の特性阻害化合物を生成しないというタンタルの特性を生かし、Cu配線のバリア材として使用されている。液晶ではバリア材とともに高温プロセスに対応したゲート電極として使用される。

化合物

2004年の化合物国内需要は140トンであり、前年比約28%増加した。

酸化物(Ta_2O_5)は主に光学レンズ添加剤及びタンタル酸リチウム($LiTaO_3$)の原料として使用されている。 $LiTaO_3$ は電子機器用各種フィルタ(中間周波増幅回路用フィルタ、表面弾性波(SAW)フィルタ等)に利用され、テレビ・ビデオ・携帯電話等に不可欠の材料である。酸化物の原料のほとんどは各種工程スクラップのリサイクル品である。

炭化物

炭化物(TaC)は、 Ta_2O_5 と炭素を混合プレスし、炭化炉で炭化された後、粉碎・篩い分けされて炭化物製品となる。炭化物の最大の需要は超硬工具用WC-TiC-TaC(炭化タングステン・炭化チタン・炭化タンタル)焼結品である。TaCはWCの靱性を向上させる。

(供給)

日本はタンタルを全量輸入している。2004年の輸入量は、フッ化物で500トン、塊・粉が142トン、製品59トン、くず62トン、(いずれもTa純分トン)であった。主要輸入先は米国、ドイツとなっている。ところが、タンタル鉱山はほぼ全世界に分布しており、Raw Material Dataによると鉱生産量はオーストラリアが2004年において800トンと全体の約63%を占めている。国内のタンタル需要は、2001年のITバブルが収束以降、安定化しつつゆやかに成長している。

表 1 - 6 6 国別タンタル鉱生産量 (単位: トン)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2004%
オーストラリア	350	370	660	900	765	800	63
ブラジル	90	90	340	340	200	200	16
カナダ	52	50	77	80	55	55	4
コンゴ			60	60	15	20	2
エチオピア			47	40	35	35	3
ルワンダ			95	90	14	15	1
その他	3	3	21	20	126	145	11
合計	495	513	1,300	1,530	1,210	1,270	100

出典: USGS Minerals Commodity Summaries 2005

表 1 - 6 7 タンタルの国内需給推移 (Ta純分Ton)

	2001	2002	2003	2004
輸入	693	491	571	764
供給計	693	491	571	764
国内需要				
粉末	116	181	219	214
化合物	85	81	109	140
加工品	95	109	116	108
合計	296	371	444	462
輸出	348	277	423	445
需要計	644	648	867	907

(財務省貿易統計、工業レアメタル2005)

(リサイクル)

廃電気製品のコンデンサなど、生産財として流通したタンタルコンデンサのリサイクルは困難で、リサイクルはほとんどされていない。

これに対し、タンタル製品の製造工程で発生するスクラップは、各工程で管理され、一般加工品くず・コンデンサ不良品などは95%以上がリサイクルされている。コンデンサ用純タンタル粉の場合、タンタル粉、コンデンサ不良品、アノード、リード線など、純度の高いスクラップが発生し、タンタル粉出荷量の約20%はスクラップと考えられている。国内の純タンタル粉メーカー(キャボット、スタルクヴィテックなど)は、タンタル粉ユーザーからスクラップを回収し、海外でフッ化物に戻すルートを確立している。

タンタルコンデンサ

コンデンサメーカーで発生する工程スクラップは、ほぼ100%リサイクルされる。タンタルコンデンサは、ほとんどプリント基板にはんだ付けされており、リサイクルには基板からタンタルコンデンサを取り外す必要がある。使用されたタンタルコンデンサは、一部は専門解体事業社(主に海外)によって取り外され、リサイクル事業社によって市場に出されている。リサイクル率は数%程度と見られている。

電子機器用フィルタ(SAWフィルタ)

タンタル酸リチウム(LiTaO₃)製造工程で発生するスクラップは、およそ20~30%で、そのほとんどがリサイクルされている。

装置部品など

高温炉炉体・ヒータ - 及び化学装置機器から発生するスクラップ(管・板・棒など)は、コンデンサ関連スクラップ同様粉末メーカー、タンタル専門スクラップ事業社が回収する。リサイクル率はほぼ100%と高いが、リサイクルのサイクルが10年程度と長い。年間の発生量は10トン程度と見られる。

スパッターターゲット

ターゲット材の使用効率は30%程度であり、残りの70%はすべてリサイクルされている。2004年のタンタルターゲット市場は約90トンで、成膜分30%(27トン)はリサイクルされていない。

光学レンズについては、微量使用されるタンタルはリサイクルされていない。

(2 8) レアアース (REE)

(用途)

原子番号 57 のランタン(La) ~ 71 のルテチウム(Lu)までをレアアースと呼んでいる。表 1 - 6 8 にレアアースの用途を示す。Eu は鉱石中の含有率が低く産出量も少ないが、蛍光体の赤色源として必須の原料である。Dy の主用途は Nd 焼結磁石である。耐熱性および高保持力を必要とする小型モーター用に使われており、ハイブリット車の駆動用モーターや発電機用の Nd 磁石には Dy が 5 % 以上も含まれている。Tb は緑色源として蛍光体材料に、また記憶材料 (ミニディスク MD や光磁気ディスク MO 用のターゲット材) や超磁歪材に金属として使われているが、最近では HEV 用 Nd 磁石の特性向上の添加原料に使われ始めている。

表 1 - 6 8 レアアース+イットリウムの用途

元素	レアアース名	用途・特徴
La	ランタン	<ul style="list-style-type: none"> ・自動車排ガス浄化触媒用、 ・セラミックコンデンサー (IT 機器や携帯電話向けで、酸化ネオジムとともに周波数の低い領域で使用。高性能が要求されるために中国製では対応できず、日本製を使用している) ・蛍光体用 (80 ~ 100 トン) ・高屈折低分散の光学レンズ (一眼レフ、天体望遠鏡、顕微鏡、デジカメのレンズ。携帯電話カメラレンズ。光学レンズ用ランタンは高品質でなくてもよく、中国製造品が日本のメーカーに直接納入されている。光学レンズ向け 700 トン (2003 年) 1,200 トン (2004 年) ・LaCo 系フェライト焼結磁石 300 トン (2004 年)
Ce	セリウム	<ul style="list-style-type: none"> ・主にガラス研磨剤 ・自動車 UV カットガラスや CRT 添加元素 ・自動車排ガス浄化触媒用、
Pr	プラセオジウム	<ul style="list-style-type: none"> ・Nd 焼結磁石 ・セラミックタイル発色剤 (黄色)
Nd	ネオジウム	<ul style="list-style-type: none"> ・セラミックコンデンサー (IT 機器や携帯電話向け) ・NdFeB 磁石 (焼結、ボンド)
Sm	サマリウム	<ul style="list-style-type: none"> ・SmCo 磁石 (焼結、ボンド)
Eu	ユーロピウム	<ul style="list-style-type: none"> ・蛍光体の赤色源
Gd	ガドリニウム	<ul style="list-style-type: none"> ・蛍光体用 ・光学ガラス ・原子炉の中性子遮蔽材
Tb	テルビウム	<ul style="list-style-type: none"> ・蛍光体の緑色源 ・記憶材料 (MD や光磁気ディスク MO 用ターゲット材)、 ・超磁歪材 ・ハイブリッド車用 Nd 磁石の特性向上用添加材
Dy	ジスプロシウム	<p>(鉱石中の含有量は少ない)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・主用途は Nd 焼結磁石 (耐熱性、高保持力を有する小型モーター用) ハイブリッド車の駆動用モーターや発電機用モーター用の磁石には Dy は 5% 以上も含まれる (後述)。
Er	エルビウム	<ul style="list-style-type: none"> ・クリスタルガラス着色剤
Y	イットリウム	<ul style="list-style-type: none"> ・蛍光体 (CRT、3 波長ランプ、液晶バックライト) 約 400 トン (2004 年) ・光学ガラス (プロジェクター、カメラ用レンズ) 140 トン (2004 年) ・セラミックスの安定剤 ・電池極板 ・コンデンサー

表1 - 69にレアアースの用途別需要量の推移を示した。

表1 - 69 日本におけるレアアースの用途別需要量推移 (単位:トン)

REE	用途	REE 形態	1999	2000	2001	2002	2003	2004
セリウム	研磨剤	CeO ₂	2,442	3,738	2,544	3,721	4,061	4,228
	FCC 触媒	粗塩化希土	600	702	776	814	682	710
	ブラウン管ガラス	CeO ₂	1,340	1,500	1,098	1,020	907	944
	UV ガラス	CeO ₂	1,300	1,332	1,283	1,346	1,350	1,406
ランタン	光学ガラス	La ₂ O ₃	450	526	409	384	437	455
セリウム、 ランタン	自動車排ガス触媒 三元触媒助剤 CeO ₂ は120g/台 La ₂ O ₃ は12g/台	CeO ₂	594	609	587	615	618	708
		La ₂ O ₃	59	61	59	62	62	
セリウム	化学触媒(脱硫)	CeO ₂	500	533	533	555	603	628
ネオジム ランタン	コンデンサー	Nd ₂ O ₃	700	973	541	652	805	981
		La ₂ O ₃	120	166	92	110	137	
イットリウム、 ユーロピウム、 ガドリニウム	蛍光体	Y, Eu, Gd	n.a.	n.a.	n.a.	850	1,200	1,249
ネオジム、 サマリウム	焼結希土磁石	Nd ₂ O ₃	3,381	3,648	2,996	3,250	3,920	4,225
		Sm ₂ O ₃	117	105	69	115	138	
ランタン	フェライト磁石	La ₂ O ₃	n.a.	86	74	70	65	
ネオジム、 サマリウム	RE ボンド磁石	Nd, Sm	300	165	139	118	127	132
ミッシュメタル	NiMH 電池	MM+La	1,997	2,360	1,449	3,920	3,560	3,707

出所) (社) 日本メタル経済研究所「レアメタル需給動向調査」平成17年度

表1 - 70は、各製品に含まれているNd磁石中からDy含有量を推測した結果であるが、Dyは合計140~180kgと推定されている。

表1 - 70 自動車用Nd磁石に使用されるDyの量

		Nd磁石の生産量*1 (トン/年)	歩留まり(60%)	うちDy含有率	Dy含有量(kg)
自動車用	EV用	360	216	7~8%	15.1~17.3
	パワーステアリング	600	360	5%	18
	その他(自動車用)	600	360	4~5%	14.4~18
	自動車用小計	1,560	936	5.1~5.7%	47.5~53.5
VCM		6,000	3,600	1~1.5%	36~54
MRI		720	432	0	0
FA		1,200	720	3~5%	21.6~36
音響		1,800	1,080	0	0
家電製品		1,800	1,080	3%	32.4
ピックアップ		600~1,200	360~720	0	0
合計		12,480~13,080	7,488~7,848	1.8%~2.2%	137.5~175.9

出所) 国内磁石メーカーより聴取 / *1 2004年の生産ベース)

以下に主要な用途について述べる

Nd 磁石

Nd 磁石は、情報通信機器や携帯電話、パソコンなどに加えて、自動車用にも使用されている。自動車用にはハイブリット電気自動車の駆動用モーターおよび発電機に Nd 磁石が 1 ~ 2 kg/台使用されている。一般乗用車においても、EPS(パワーステアリング)、ウォーターポンプ、オイルポンプ、A/C コンプレッサーなどの各種モーターや ABS センサー用にも用途が広がってきており、自動車用 Nd 磁石の需要は年々増加している。

希土類ボンド磁石の用途は、各種小型モーター、プリンター等の O A 機器、自動車など幅広いが、NdFeB は HDD の回転モーターであるスピンドルモーター用が一番多い。

蛍光体市場と希土類蛍光体

CRT(ブラウン管)、蛍光ランプ各社の海外進出により、日本国内の希土類蛍光体需要は減少しているが、代わって液晶テレビ等が伸びている。蛍光体の世界市場(再生品を除く)をみると、2002 年 17,000 ~ 18,000 トンが 2005 年には 18,600 ~ 19,700 トンに拡大するとみられており、用途別内訳は次の通りとなっている。

表 1 - 7 1 世界の蛍光体市場(2002 年)

用 途	数量(トン)	比率(%)
ブラウン管(TV, モニター)	5,500	30
蛍光ランプ(白色)	10,000	57
蛍光ランプ(三波長)	2,000	11
液晶バックライト	60 ~ 70	0.3 ~ 0.4
PDP	45	0.25
X 線増感紙他	65	-

出所) 2003 年 1 月 16 日のレアメタル・ニュース

希土類蛍光体の中では、表 1 - 7 2 に示すようにイットリウムが圧倒的に高い。

表 1 - 7 2 希土類蛍光体の元素別内訳(REO 換算)

元素	占有率(%)
Y2O3	80.0
La2O3	9.0
Eu2O3	4.8
CeO2	3.2
Tb4O7	1.9
Gd2O3	1.0

出所) 2003 年 1 月 16 日のレアメタル・ニュース

日本の蛍光体メーカーは、日亜化学工業、化成オプトニクス、東芝、東京化学、オスラムメルコ、根本特殊化学、大電である。

小型ニッケル水素(NiMH)電池用 MM(ミッシュメタル)

小型 NiMH 電池は、リチウムイオン電池に置き換わっているが、2003 年で 3 億 9,000 万個となっている。この結果、国内で消費される NiMH 電池用の MH 合金や [MM+La] メタルの数量も大きく減少してきている。一方、ハイブリット車向けは、需要が伸びている。

NiMH 電池の MH 合金量を 7.5g/cell、製造歩留を 95%、また [MM+La] の組成比を 33%、製造歩留を 98% とすると MH 合金および [MM+La] の消費量は表 1 - 7 4 の通りである。2000 年をピークに減少を続け、2005 年には 2000 年の約 30% にまで減少する見込みである。ただし、輸出分と HEV 用の NiMH 電池分が含まれていない。中国向け輸出の MH 合金が年間 6,000 ~ 7,000 トンあると言われている。中国製の品質が悪いため、中国に進出した日系電池メーカー向けと思われる。HEV 用需要については、2004 年末で 2,200 トン/年の Ni-MH 合金需要が見込まれている。

表 1 - 7 3 二次電池の販売量推移 (単位：百万個)

	ニッケル水素	リチウムイオン	ニカド電池
1994	194	-	866
1995	301	30	862
1996	358	114	711
1997	580	189	706
1998	648	262	598
1999	869	374	596
2000	1,011	480	615
2001	655	457	532
2002	550	571	493
2003	387	781	400
2005	316	957	n.a.

出所) 経済産業省機械統計、2005 年は中央リサーチセンター

表 1 - 7 4 [MM+La] 消費量 (単位：トン)

	MH合金	MM+La
1994	1,530	520
1995	2,380	800
1996	2,830	950
1997	4,580	1,540
1998	5,120	1,720
1999	6,860	2,310
2000	7,980	2,690
2001	5,170	1,740
2002	4,340	1,460
2003	3,060	1,030
2005	2,500	840

小型二次電池のメーカーは現在、三洋電機と松下電池工業の 2 社だけとなっている。PEVE (パナソニックエネジー) は HEV 用の Ni-MH 電池だけを製造している。

一方、NiMH 合金メーカーとしては、三井金属鉱業、三徳、中央電気工業、日本重化学がある。

(供給)

日本はレアアースを 100% 輸入に依存している。特に、中国からの輸入比率が年々高まり、フェロセリウムを除いて 2003 年にはいずれも 80% ~ 99% となっている。使用済み製品からの回収・リサイクルの必要性が伺えるところである。

表 1 - 7 5 に RE 資源の埋蔵量を、表 1 - 7 6 に RE 鉱石生産量を示す。レアアースの埋蔵

量は世界で 88,000 キロトンあると推定されており、2003 年での世界の需要量が 95 キロトンであることから、可採年数は 1,000 年近くになる。しかし、鉱種ごとの含有率に大きなバラツキがある。中国は、世界最大の RE 資源国である。表 1 - 7 5 の通り、2004 年の埋蔵量は 27,000kt で世界の 31%、資源量は 89,000kt で世界の 58%を占めているが、鉱石生産量については、93%を占めており、レアアース産業は中国に依存していると言っても過言ではない。

表 1 - 7 5 RE 埋蔵量(単位：REO 千トン)

	埋蔵量		埋蔵量ベース	
	2004	2004%	2004	2004%
中国	27,000	31	89,000	58
ロシア	19,000	22	21,000	14
米国	13,000	15	14,000	9
オーストラリア	5,200	6	5,800	4
インド	1,100	1	1,300	1
マレーシア	30	0	35	0
その他	22,000	25	23,000	15
合計	87,330	100	154,135	100

出典：USGS Minerals Commodity Summaries 2005

表 1 - 7 6 鉱石生産量(単位：REO 千トン)

	2000	2001	2002	2003	2004	2004%
中国	70	73	75	92	95	93
ロシア	2	2	2	2	2	2
米国	5	5	5	0	0	0
オーストラリア	0	0	0	0	0	0
インド	3	3	3	3	3	3
マレーシア	0	0	0	0	0	0
タイ	0	0	0	2	2	2
その他	2	0	0	0	0	0
合計	82	84	86	99	102	100

出典：USGS Minerals Commodity Summaries 2005

(リサイクル)

使用済み電池や使用済みモーター中の磁石については、国内でのリサイクルではコスト的に合わないことから、製造工程で発生するスクラップ以外のリサイクルは現在のところ、一部を除いてほとんど行われていない。ネオジウム磁石は製造工程での切削や破損などで発生する 20～30%のくずは、95%以上がリサイクルされている。しかしながら、国内でリサイクルした場合、ヴァージンより高くなるため、処理は中国で行われている。スラッジはドラムに入れ、水漬にして中国へ原料として送られている。

ニッケル水素電池のリサイクルも少量あるが、使用済み電池はなく、工程スクラップのみである。水素吸蔵合金および SmCo 磁石は、価格の高い Co や Ni をターゲットとしてリサイクルされていると言った方が適切である。

リサイクルの実情把握は極めて困難である。市中スクラップでも安定的に相当量回収され、コスト的に採算が合えば、溶媒抽出によるレアアースのリサイクルは可能と考えられる。

自家発生屑など組成が明確な屑はそれなりにリサイクルされているが、単価の安い RE の屑

はコスト面からリサイクルされていない。中国安値品の大量流入により国内の分離精製および金属生産メーカーの多くが事業からの撤退あるいは大幅削減を強いられ、現在、RE の溶媒抽出を行っている企業は数少なく、またその対象 RE も Y、Dy、Tb などの一部で、需要量の多い軽希土類の分離精製は殆ど行われていない。また、RE 金属生産の激減により、リサイクルにより再生される RE 化合物の国内での消化は限られ、リサイクルそのものが一層困難になっている。

二次電池用 Ni-MH 合金屑

素性や組成が判明している塊形状のものは回収され 100%リサイクルされている。それ以外の屑は RE 分ではなく、高価な Ni の回収目的で収集されている。

Nd 焼結磁石

国内 Nd 焼結磁石メーカーのうち、信越化学は組成合金からの一貫生産を行っており、NEOMAX(2003 年日立金属と住友特殊金属が合併)と TDK は、組成合金を外部から購入している。また、組成合金のベンダーは三徳、昭和電工、住金モリコープの 3 社である。国内での屑処理は採算割れとなっており、中国の精製分離メーカーに持ち込まれるケースが多い。日本では、三徳の深江工場でリサイクルが行われている。

RE 蛍光体

RE 蛍光体には高価な Eu や Tb が含まれており、かつては積極的に屑を回収し、リサイクルされていたようであるが、現在では、需要家の海外移転や液晶の急増から RE 蛍光体の内需の減少、CRT や蛍光ランプに含まれる水銀の処理もあって、蛍光体の材料メーカーではリサイクルは進んでいない。

MD (ミニディスク) および記憶材料の MO (光磁気ディスク) のターゲット材中の Tb

ターゲット材製造過程からの屑や使用済みのターゲット材が組成毎に回収されれば、ほぼ 100%リサイクル可能である。