

廃棄物学会 リサイクルシステム・技術研究部会

第18回廃棄物学会研究発表会 小集会
平成19年11月21日(水)

「レアメタルの現状とリサイクルの最新の話題」

特別講演
&
パネルディスカッション

WG1テーマ:レアメタルと資源・環境対策

WG2テーマ:レアメタルのリサイクル技術

部会WG活動メンバー

氏名	所属	区分
松藤敏彦	北海道大学	部会長
稲葉陸太	(独)国立環境研究所	WG1
佐藤明史	(株)九州テクノリサーチ	WG1
田崎智宏	(独)国立環境研究所	WG1★
中石一弘	(株)イーツーエンジニアリング	WG1
藤井 実	(独)国立環境研究所	WG1
山田芳幸	(株)エックス都市研究所	WG1
亀田泰武	(株)クボタ	WG2
杉山智	(株)ヒラテ技研	WG2
加茂 徹	(独)産業技術総合研究所	WG2
西 隆之	(株)日立製作所	WG2
早田輝信	(株)テルム	WG2
行本正雄	中部大学	WG2★
遠藤小太郎	(社)産業環境管理協会	コーディネータ

<19年度の活動経緯>

- ・3～10月 招聘講演(9件)
- ・7～11月 WG報告書作成
- ・8～11月 パネルD検討

WG1:レアメタルと資源・環境対策

WG2:レアメタルのリサイクル技術

レアメタルの定義



レアメタルの定義:

地球上の存在量が稀であるか、技術的・経済的な理由で抽出困難である鉱種等

国家備蓄が行われている7鉱種:

ニッケル、クロム、マンガン、コバルト、タングステン、モリブデン、バナジウム

本部会では、鉄やアルミなどのベースメタル以外の金属全てを幅広くレアメタルとして調査・検討の対象とした。

元素番号	元素記号	元素名	原子量	族	融点(°C)	密度(g/cm3)	地殻存在度(%)	用途
3	Li	リチウム	6.941	IA	180.5	0.534	0.0013	電池陽極材、半導体材料
4	Be	ベリリウム	9.012	IIA	1280	1.85	0.00015	ベリリウム-銅合金、X線管の窓原子炉減速材
5	B	ホウ素	10.811	IIIA	2080	2.37	0.001	脱酸材、合金添加材 半導体ドーピング材
22	Ti	チタン	47.867	IVB	1660	4.50	0.54	航空機用構造材、電解用電極材 化学装置用耐食材
23	V	バナジウム	50.942	VB	1890	6.11	0.023	合金鋼の添加剤、合金 核燃料被覆材
24	Cr	クロム	51.996	VIB	1860	7.19	0.0185	合金、めっき
25	Mn	マンガン	54.938	VIIIB	1240	7.44	0.14	鋼の脱酸剤、脱硫剤 鋼・アルミの添加元素、合金
27	Co	コバルト	58.933	VIII	1490	8.9	0.0029	磁性合金、高速度鋼、超硬合金
28	Ni	ニッケル	58.693	VIII	1450	8.90	0.0105	ステンレス鋼材、耐食耐熱材 合金、めっき
31	Ga	ガリウム	69.723	IIIA	29.78	5.91	0.0018	化合物半導体、易融合金 半導体添加剤、高温温度計
32	Ge	ゲルマニウム	72.612	IVA	937.4	5.32	0.00016	半導体素子、熱電対、抵抗温度計 歯科用合金
34	Se	セレン	78.963	VIA	217	4.79	0.000005	ガラスの着色、脱色剤 複写機感光体、触媒
37	Rb	ルビジウム	85.468	IA	38.9	1.53	0.0032	
38	Sr	ストロンチウム	87.621	IIA	769	2.54	0.026	
40	Zr	ジルコニウム	91.224	IVB	1850	6.51	0.01	原子炉材料、化学装置用耐食材料 鉄鋼の脱酸剤、脱窒剤、導電材料
41	Nb	ニオブ	92.906	VB	2470	8.56	0.0011	電子部品、化学装置用耐熱合金 超伝導合金、核燃料被覆材

元素番号	元素記号	元素名	原子量	族	融点(°C)	密度(g/cm3)	地殻存在度(%)	用途
42	Mo	モリブデン	95.941	VIB	2620	10.22	0.0001	特殊鋼材、電球・電子管の材料
46	Pd	パラジウム	106.421	VIII	1550	12.02	1E-07	触媒、電気接点、歯科用材料 蒸餾品
49	In	インジウム	114.818	IIIA	156.6	7.31	0.000005	化合物半導体、トランジスター 易融合金、透明導電膜
51	Sb	アンチモン	121.76	VA	630.7	6.69	0.00002	蓄電池の電極材、減摩合金 化合物半導体、易融合金
52	Te	テルル	127.603	VIA	449.5	6.24		鉄・非鉄金属の添加剤
55	Cs	セシウム	132.905	IA	28.4	1.87	0.0001	光電管陰極材料、光電子倍增管
56	Ba	バリウム	137.327	IIA	725	3.5	0.025	金属の脱酸剤
72	Hf	ハフニウム	178.492	IVB	2230	13.31	0.0003	原子炉の制御材、電球フィラメント ジェットエンジン部品
73	Ta	タンタル	180.948	VB	2990	16.65	0.0001	電解コンデンサー、電子工業用材料 化学装置用材料、合金添加元素
74	W	タングステン	183.841	VIB	3400	19.3	0.0001	特殊鋼成分、超硬合金、フィラメント 電気接点、X点ターゲット、ヒーター
75	Re	レニウム	186.207	VIIIB	3180	21.02	5E-08	真空管、電球のフィラメント 電気接点、熱電対、触媒
78	Pt	白金	195.078	VIII	1770	21.45		装飾品、熱電対、ろつぼ 排気ガス処理用触媒
81	Tl	タリウム	204.383	IIIA	303.5	11.85	0.000036	耐食性合金、易融合金
83	Bi	ビスマス	208.980	VA	271.3	9.75	0.000006	ヒューズ、冶金添加剤 化合物半導体、γ線遮蔽材
21								
39	(RE)	レアアース	-	IIIB	-	-	-	
57-71								

理化学辞典第5版(岩波書店)、理科年表2006(丸善)より作製

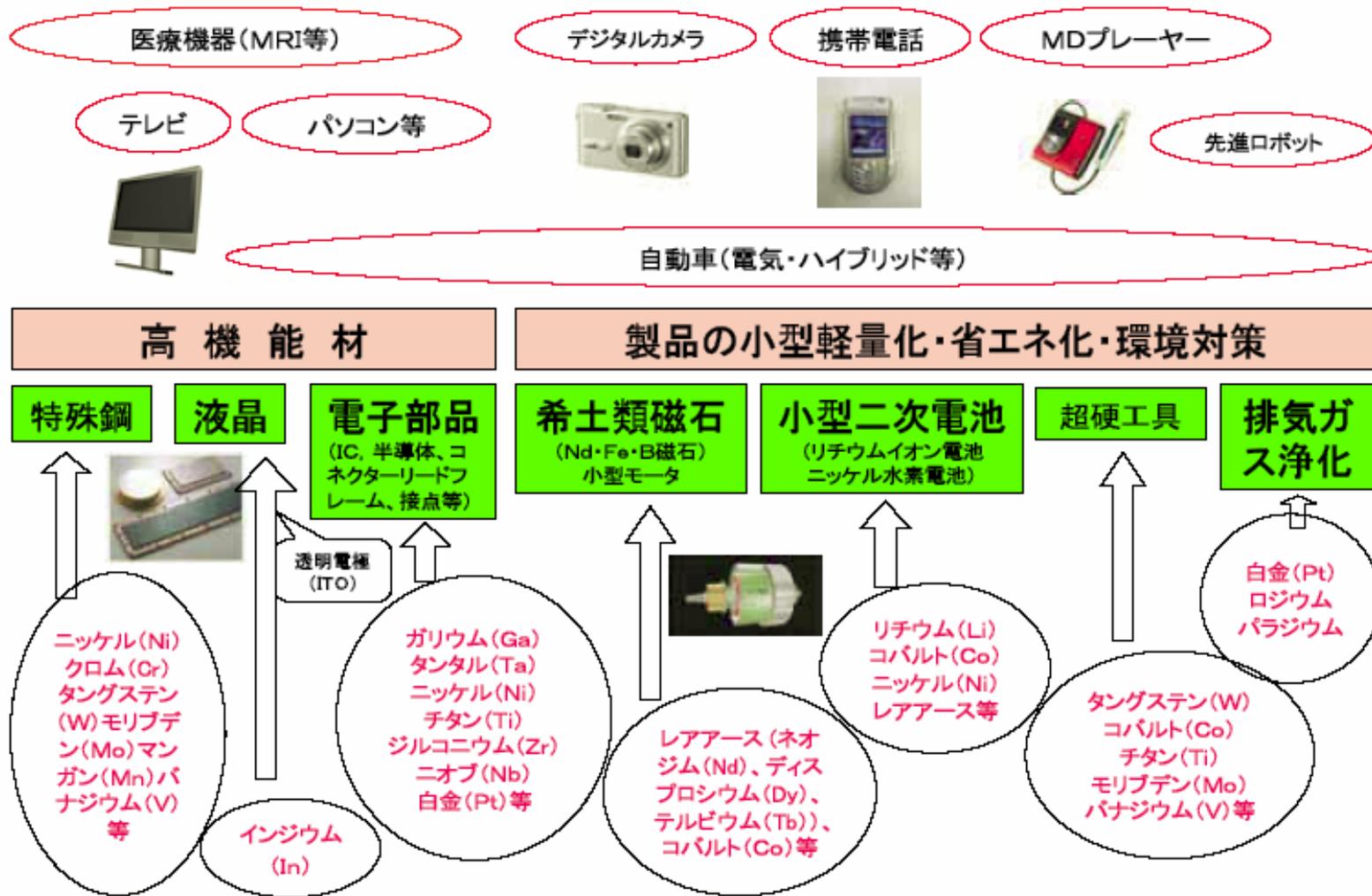
周期表とレアメタル

1																	18			
1 H	2														13	14	15	16	17	18 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne			
11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar			
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr			
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe			
55 Cs	56 Ba	*1	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn			
87 Fr	88 Ra	*2	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo			

*1 ランタノイド	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
*2 アクチノイド	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

- Xx** … 備蓄7鉱種
- Xx** … 要注視10鉱種 (Sc, Y, ランタノイドは「希土類」として1鉱種扱い)
- Xx** … 鉱業審議会鉱山部会レアメタル総合対策専門委員会(1987)で検討されたレアメタル31鉱種
- Xx** … NEDO評価(2006)における資源リスクが高い元素

レアメタルの用途



出典: 経済産業省・総合資源エネルギー調査会鉱物分科会・レアメタル対策部会
(平成19年6月11日)資料より

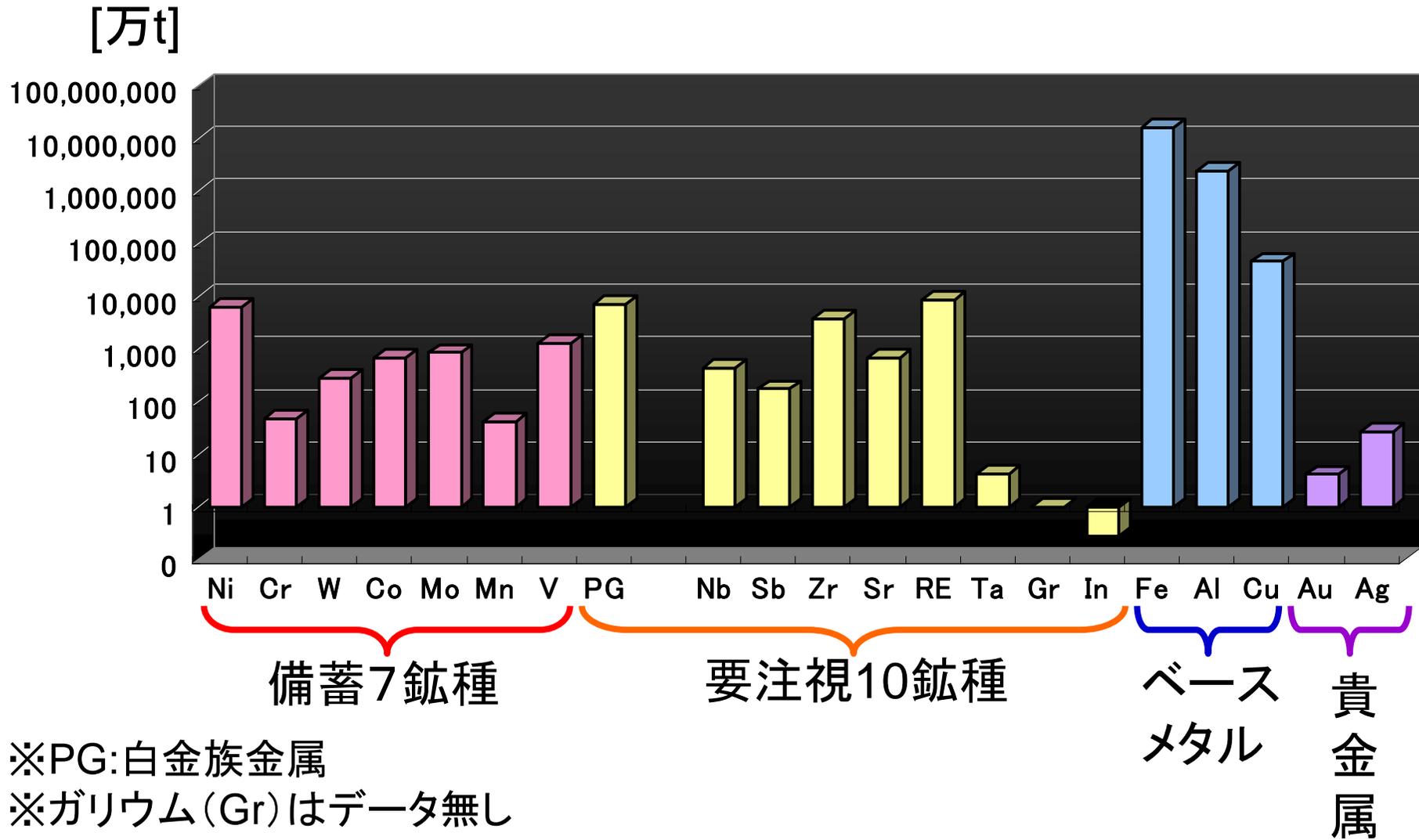
生産・需要量の増加

レアメタルの生産・需要量の経年変化

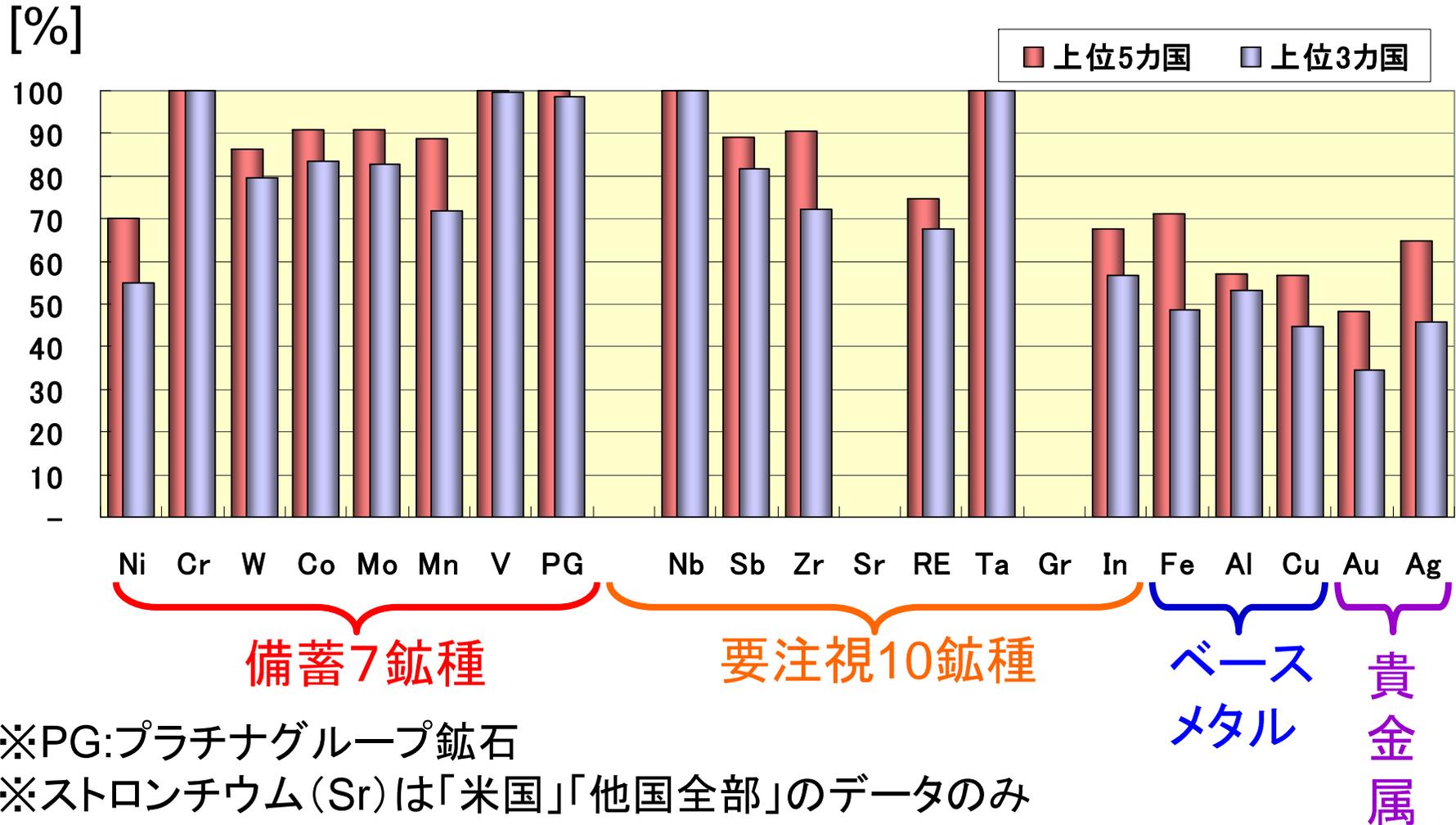
			1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005 (推定値)
クロム (高炭素 フェロクロ ム)	生産量(千トン)	世界合計	4213	4750	3849	3957	5422	5859	6042
	需要量(千トン)	日本	721	833	777	815	898	939	953
		世界合計	4146	4286	4095	4517	5461	5882	5951
マンガン (マンガン系 合金鉄)	生産量(千トン)	世界合計	7101	7688	7624	8210	9103	10798	10642
	需要量(千トン)	日本	-	-	-	-	763	807	826
		世界合計	-	-	-	-	8956	10084	11100
コバルト (地金)	生産量(千トン)	世界合計	35.1	38.6	40.0	41.2	44.9	46.7	52.5
	需要量(千トン)	日本	7.5	8.7	8.2	9.4	11	12.6	13
		世界合計	31.9	34.7	35.3	35.7	40.2	45	48.8
タングステン	生産量(千トン)	世界合計	44.2	48.2	55	45.1	57.1	56.7	63.1
	需要量(千トン)	日本	5.6	8.0	6.9	6.0	6.0	7.2	7.4
		世界合計	44.2	48.2	55	45.1	57.1	56.7	63.1
モリブデン	生産量(千トン)	世界合計	112.8	118.2	129.9	124.3	131.5	149.7	158.7
	需要量(千トン)	日本	19.1	21.8	23.6	23.6	23.6	27.2	28.6
		世界合計	108.9	117.9	128	128	133.4	142.2	152.2
バナジウム (V2O5)	生産量(千トン)	世界合計	66	78.3	80.6	78.7	71.5	82.3	88.1
	需要量(千トン)	日本	7.7	8.6	8.8	9.5	12.2	9.1	9.5
		世界合計	60.2	65	68.9	70.2	76.9	86	92.1

JOGMEC: 金属資源レポート、レアメタル2006より作製

レアメタル資源の埋蔵量



偏在性(埋蔵量に占める上位国の割合)



※PG:プラチナグループ鉱石

※ストロンチウム(Sr)は「米国」「他国全部」のデータのみ

※ガリウム(Gr)はデータ無し

資源セキュリティの確保



そのためには、**多面的・総合的アプローチ**を**戦略的に展開**する必要がある。

① 探鉱開発の推進



- ・探鉱開始から生産に至るまでに10年以上を要する。
- ・対象地域の政治リスク等、様々なリスクを伴う。

② リサイクル推進



- ・使用済製品からのリサイクル
- ・製造工程における「工程くず」の発生抑制及び再生利用

※海外へ輸出されるケースも多くある

③ 代替材料開発



- ・レアメタルの特殊な機能
- ・需給緩和、安定供給の確保、今後のマテリアル・サイエンスの発展にも貢献

④ 備蓄

- ・天然資源の備蓄：現在、7鉱種（ニッケル、クロム、タングステン、コバルト、モリブデン、マンガン、バナジウム）
- ・廃棄物の備蓄



⑤ その他

統計整備、人材育成等



レアメタルの有害性と物質管理

① 人ならびに水生生物への有害性

	For humans (μg)	Ref. ^a	For aquatic biota (μg)	Spe- cial ^b		For humans (μg)	Ref. ^a	For aquatic biota (μg)	Spe- cial ^b
Ag	0.01	4	0.00005	D	Mn	0.5	3	0.004	F
Al	NA		0.009	F	Mo	0.07	1	2	D
As	0.01	1	0.007	A	Ni	0.01	1	0.007	A
As	NA		0.2	F	Pb	0.01	1	0.01	D
Ba	0.7	2	0.1	D	Pt	NA		0.04	F
Ba	0.004	3	0.05	D	Sb	0.002	1	0.007	A
Cd	0.01	1	0.00004	F	Sb	0.01	1	0.002	A
Co	0.004	4 ^c	0.009	F	Sn	5	4 ^c	0.3	D
Ce	0.05	1	0.002	D	Se	2	4	1	D
Cu	2	2	0.003	D	Tl	NA		NA	
Fe	NA		0.09	D	Tl	0.002	4	0.001	A
Hg	0.0005	1	0.00005	D	V	0.005	4 ^c	0.08	F
Li	NA		0.01	F	Zn	9	3	0.001	A

未規制とはい
え、鉛の水質
環境基準値
(0.01mg/L)と
同等の値を有
するレアメタル
が少なくない。

③レアメタルの物質利用管理

<管理の方向性>

リスク等に応じた
管理方策

チェックゲートと
トレーサビリティ

ハザード管理と
リスク管理

規制と
自主管理

<具体的な管理方策>

- 他の製品の製造時における代替物質の評価や使用制限
- 製品中含有レアメタルの情報管理
- レアメタルを含む使用済み製品等の回収率向上方策
- 未回収分の適正処理
- 他の循環資源への有害レアメタルの混入防止など

② 採掘から製錬・精製段階における環境負荷

鉄と白金の既採掘量の比較(鉱石ベース)

Pt
既採掘量: 約4,200トン
白金鉱石の品位: **5ppm**
掘り出した鉱石の体積
→ 約4億 m^3

Fe
蓄積量: 約130億トン
鉄鉱石の品位: **60%**
掘り出した鉱石の体積
→ 約100億 m^3

約0.7km角の立方体



白金鉱石は
露天掘りではないので
実際の岩石の
採掘量はもっと多い

約2.1km角の立方体



白金のようなレアメタルは金属
使用量は少ないが、採掘にお
いて鉄並みの量の鉱石を採掘
している。

→採掘～製錬のプロセスで、
レアメタルはベースメタルと同
等の環境負荷が発生させてい
る可能性あり。

参考: 金材研H12年度調査報告書

国際資源循環

① 国の動向

<経済産業省>

- ・トレーサビリティを確保した資源循環ネットワーク構築
- ・都市間連携による循環型都市協力事業

<環境省>

- ・廃棄物不法輸出防止国際ネットワーク事業
- ・有害廃棄物越境移動対策調査
- ・アジアにおける資源循環の推進方策検討事業
- ・廃棄物等輸出入トレーサビリティ整備検討事業

<国土交通省>

- ・リサイクルポート
- ・拠点港を核とした国際循環資源物流への対応

② バーゼル条約改正

<バーゼル条約BAN改正案>

- ・1995年に採択・可決。
- ・リサイクル目的でも先進国から発展途上国への有害廃棄物の越境移動を禁止。
- ・発効に必要な批准国数(3/4の国)に達していない。
- ・発効され次第、OECD諸国から発展途上国への有害廃棄物の輸出は全面禁止となる。

③ システム提言

<循環資源の輸入>

国内の精錬メーカーが、海外で精錬できない循環資源を国内に持ち込んで処理したいと考えている。主に東南アジアの国々から。

<循環資源の輸出>

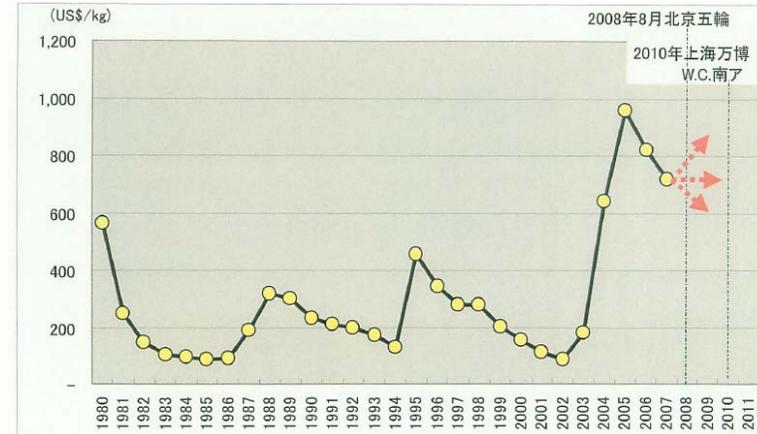
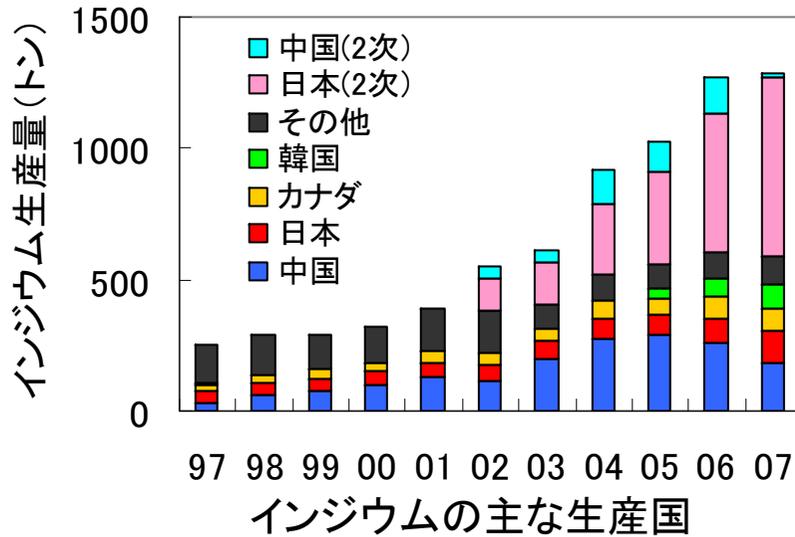
基本ルール: 汚染性の回避

このためには、トレーサビリティの確保が重要。また、拠点形成による安全性と効率性の向上も期待される。

WG1:レアメタルと資源・環境対策

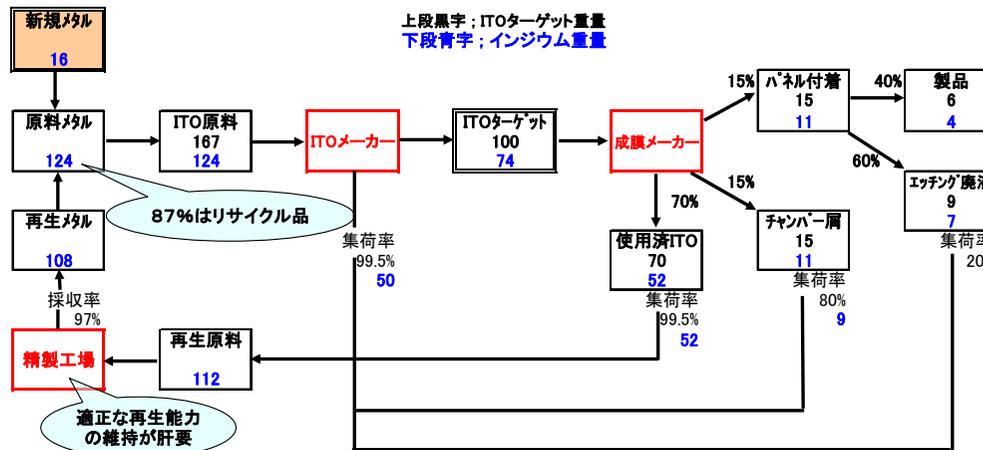
WG2:レアメタルのリサイクル技術

インジウムの循環



インジウムの価格の変遷

ITOターゲット関連Inメタルバランス(マーケット静止時)

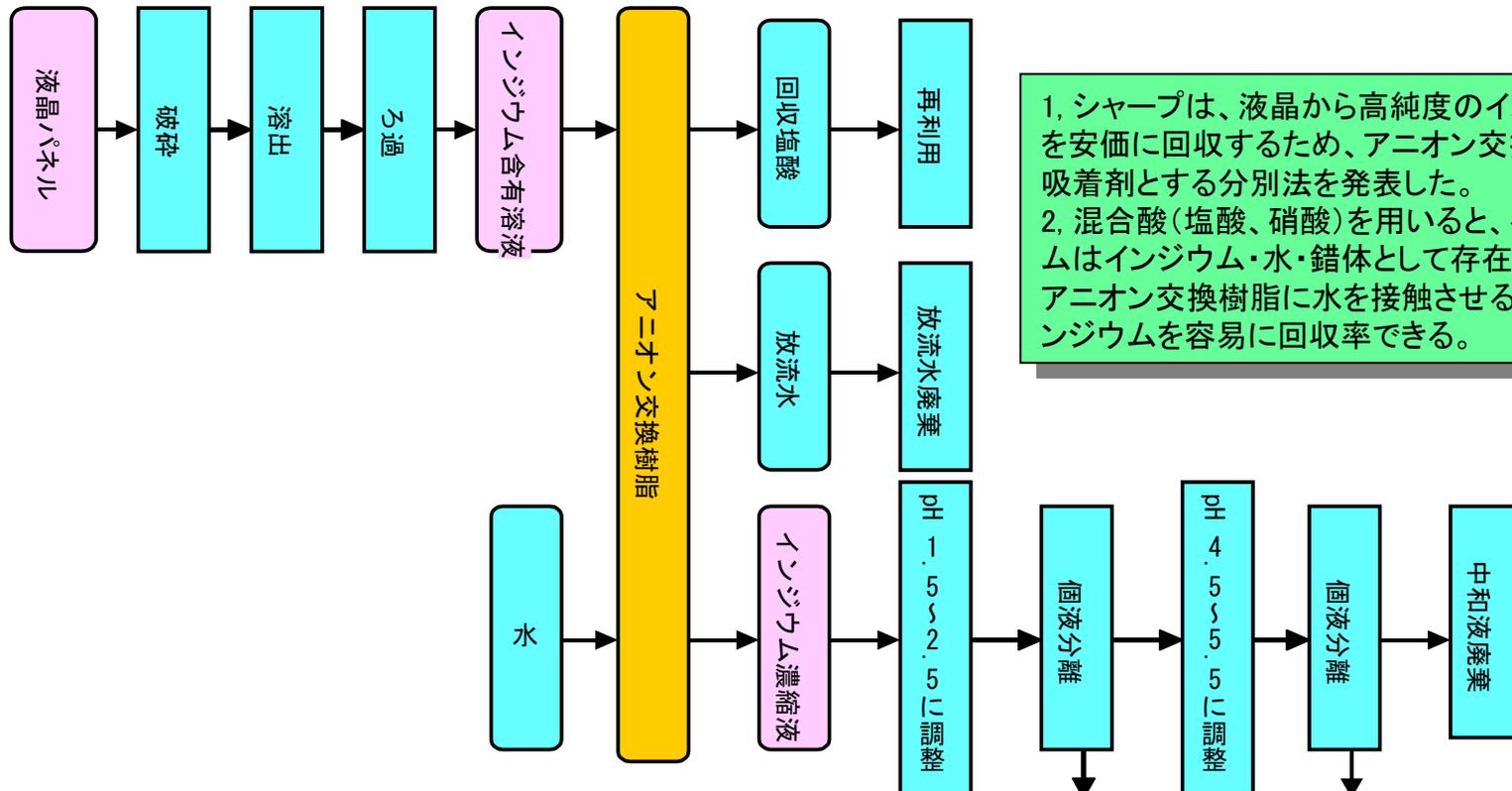


インジウムの循環利用量

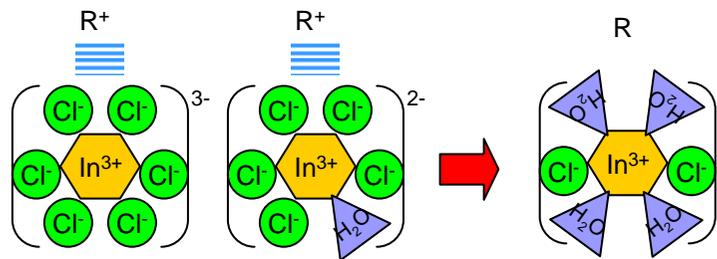
- 1, インジウムの生産国は世界で数カ国に限られ、生産量は近年急速に増加し、価格は高騰している。
- 2, 液晶テレビ等の最終製品に使用されているインジウムは全体の4%程度に過ぎない。インジウムを循環利用するため、チャンパー屑やエッチング廃液からの回収がおすすめされている。

希少金属の湿式回収法

(例: 液晶からのインジウムの回収、シャープ)



1. シャープは、液晶から高純度のインジウムを安価に回収するため、アニオン交換樹脂を吸着剤とする分別法を発表した。
 2. 混合酸(塩酸、硝酸)を用いると、インジウムはインジウム・水・錯体として存在するので、アニオン交換樹脂に水を接触させるだけでインジウムを容易に回収率できる。



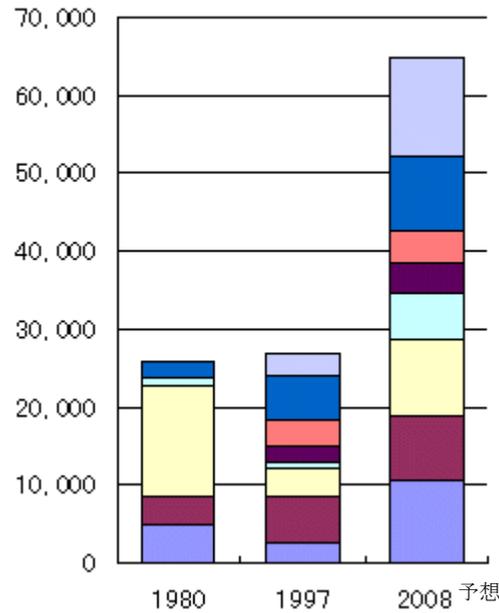
用途別の触媒分類と用いられるレアメタル元素

触媒分類	用いられるレアメタル	触媒分類	用いられるレアメタル
石油精製触媒	La, Ce, Si, (Al) Ni, Mo, W, Pt Pt, Re (Fe)	高分子重合触媒	Ti, (Al), Mg, Co
接触分解触媒		無機化学品製造触媒 アンモニア合成触媒 硝酸製造触媒 硫酸製造触媒	(Fe), K, Ca, (Al)
水素化分解触媒			Pt, Rh
接触改質触媒			V, K
スィートニング触媒		(Fe)	
重油脱硫触媒	Co, Ni, Mo	ガス製造触媒	
石油化学品製造触媒	Ni, Co, Mo, Cr, Pt, Pd (Hg), (Cu) V, Ag, Mo Cr, (Fe), (Cu) Pt, (Al) B, P Ni, Co, Mo, Pd Mo, Bi, V Cr, (Zn) Ag, Mo, (Fe) (Al) P	都市ガス製造用分解触媒	Ni
水素添加触媒		改質触媒	Ni
塩素化触媒		一酸化炭素転化触媒	Cr, (Fe), (Cu), (Zn)
酸化触媒		メタネーション触媒	Ni
脱水素触媒		脱硫触媒	(Zn), (Fe)
異性化触媒			
アルキル化触媒		油脂加工触媒	Ni, (Cu), Pt, Rh, Pd
選択水添触媒			
アクリロニトリル合成触媒		医薬食品製造触媒	Ni, Co, (Cu), Pt, Rh, Pd
メタノール合成触媒			
ホルマリン合成触媒		公害防止触媒	Pt, Pd, Rh, Ni, V, W, Ti Ce, La
脱水触媒			
重合触媒		その他の触媒	
	雲用気ガス製造触媒	Ni, Pt, (Fe)	

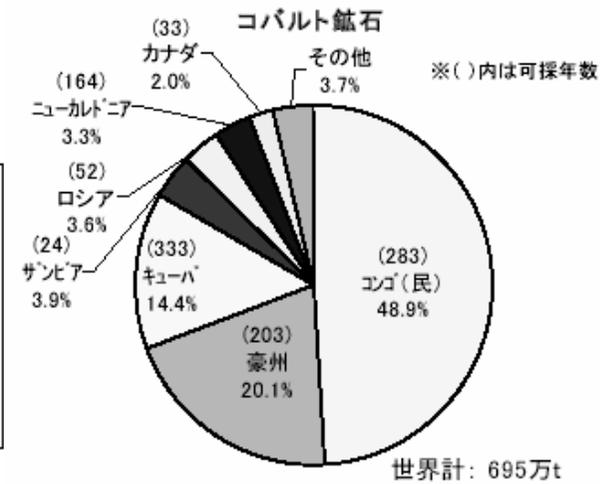
リサイクルが進んでいるのは、石油精製触媒 (Ni、Mo、V) と排ガス浄化触媒 (Pt、Pd) である。

(引用: JOGMECLレアメタルニュース1235)

磁石・電池



コバルト生産量



コバルト埋蔵量

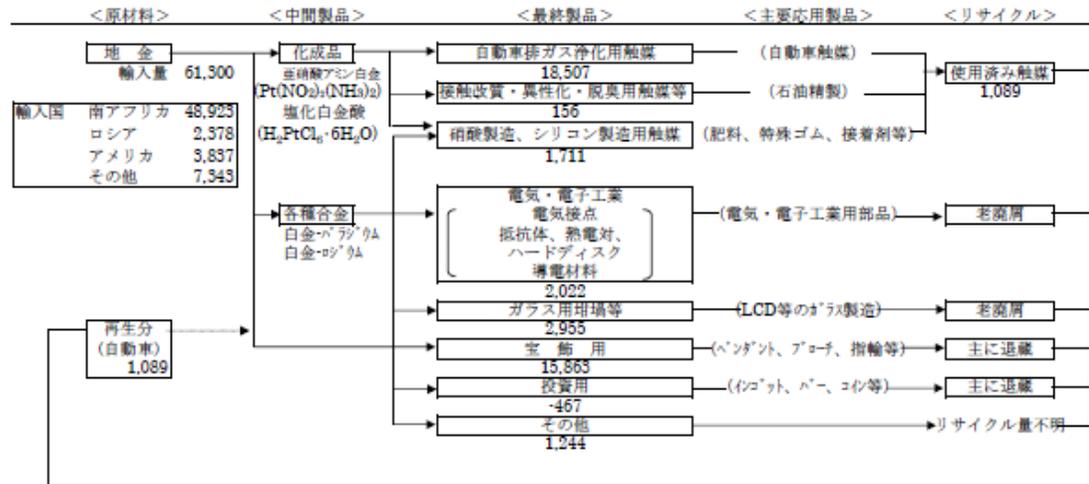
レアアースの需要量

	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年
輸入	26,928	19,736	22,571	25,705	26,758
供給計	26,928	19,736	22,571	25,705	26,758
国内需要					
研磨剤	3,738	2,544	3,721	4,061	6,000
蛍光体	n.a	n.a	850	1,200	400
紫外線吸収ガラス	2,832	2,381	2,366	2,257	2,000
工学ガラス・レンズ	526	409	384	437	1,200
磁石	3,918	3,204	3,483	4,185	4,300
水素吸蔵合金	2,360	1,490	3,920	3,560	3,200
その他					
需要計					

(財務省貿易統計、2000～2003年はレアメタル備蓄事業調査報告書、

自動車触媒用レアメタル

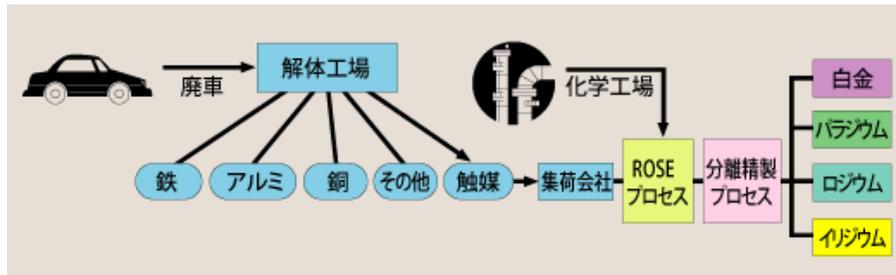
2005年ベース 単位:kg



プラチナの価格変動

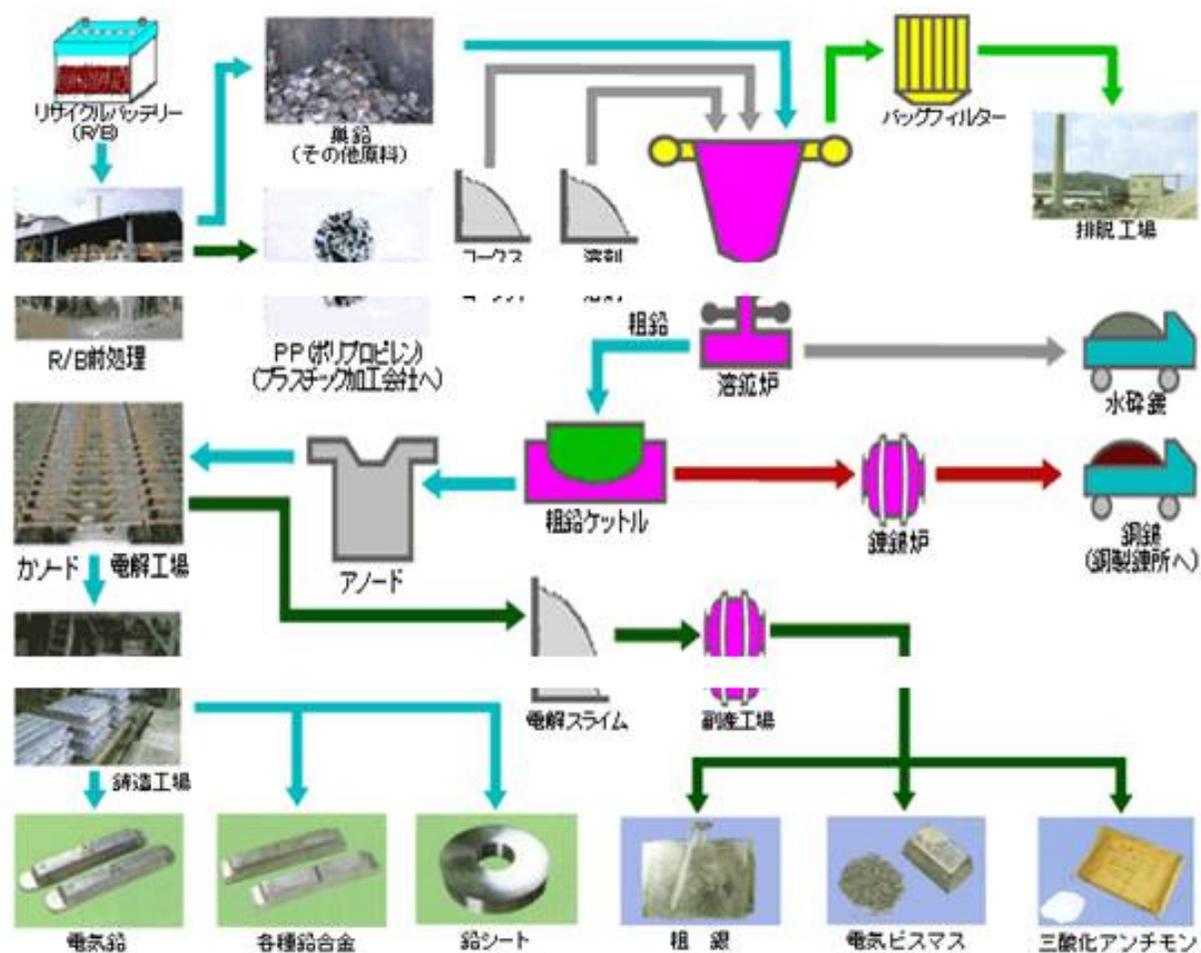
年度	ニューヨーク・フリーマーケット (米ドル/トロイオンス) 平均価格	田中小売価格(円/グラム) 平均価格
2001	530.16	2,142
2002	541.24	2,238
2003	692.23	2,634
2004	846.58	3,008
2005	897.53	3,245
2006	1,140.69	4,337

プラチナのマテリアルフロー

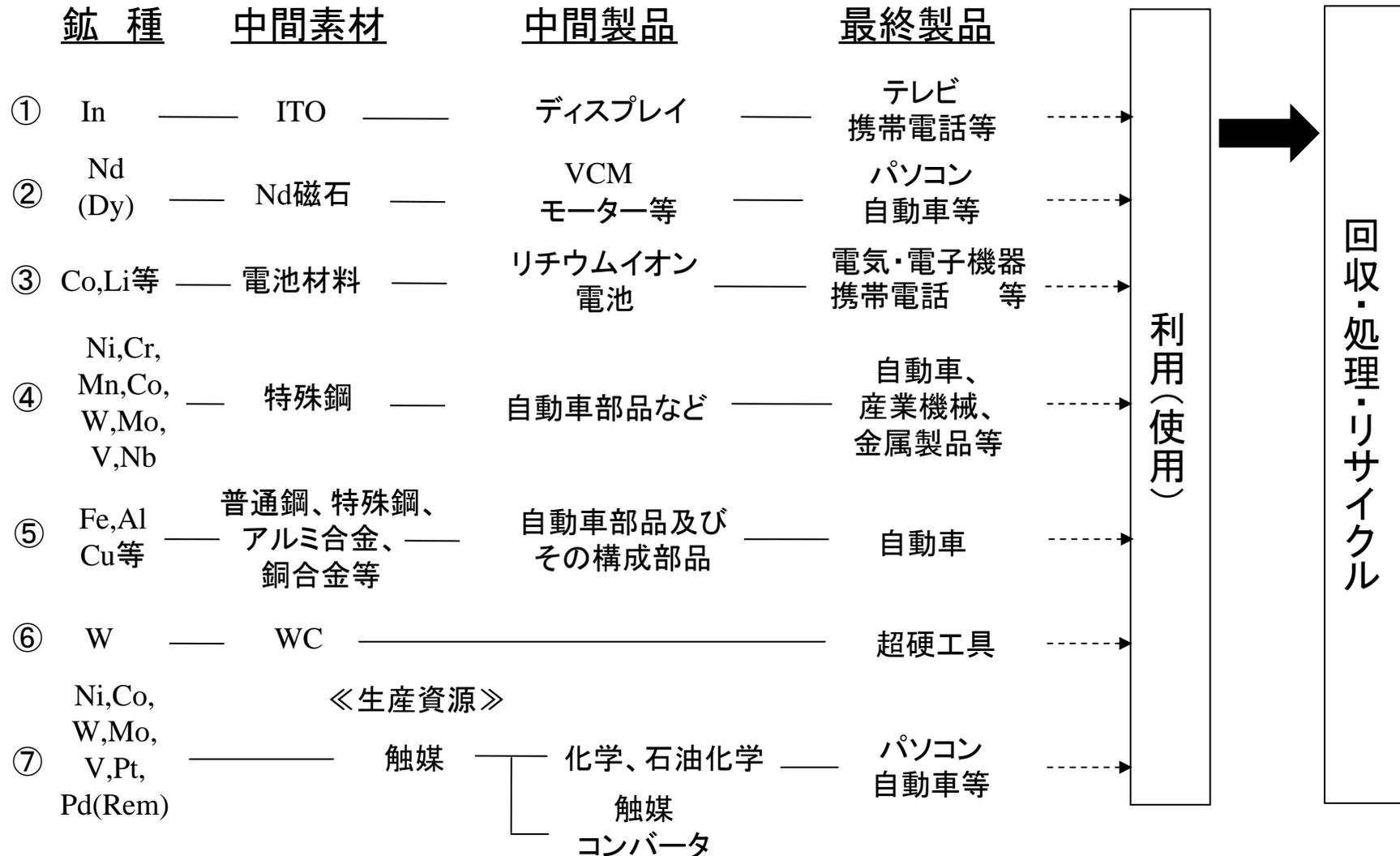


自動車用排ガスコンバータのリサイクル

乾式精錬（鉛精錬法）



・我が国企業の競争力の観点から、**液晶パネル等、ネオジム磁石、触媒、超硬工具、リチウムイオン電池、特殊鋼、自動車**の7品目が重要。



国家備蓄：主要レアメタル7種(ニッケル、クロム、タングステン、コバルト、モリブデン、マンガン、バナジウム)
 リサイクル量が多いもの：クロム(18.6万t)、マンガン(15.3万t)、ニッケル(4.2万t)・・・鉄鋼屑の再溶解
 リサイクル率が高いもの：ベリリウム(100%)、ニオブ(85%)、アンチモン(77%)

比較的リサイクルが進んでいるもの

- ・使用済み触媒(プラチナ、ニッケル、モリブデン、バナジウム)
- ・超硬工具(タングステン)
- ・二次電池(ニッケル、コバルト、カドミウム)
- ・スーパーアロイ(ニッケル、モリブデン)
- ・ステンレススクラップ

Cf. 希少金属代替材料開発PJでの検討対象3鉱種
 インジウム、タングステン、ジスプロシウム

ランキング	摘要 レアメタル	埋蔵量 (万t)	国内需要量 (t/年)	輸入価格 (kg/円)	市場規模 (億円/年)	リサイクル量		リサイクル必要性度合			
						(t/年)	比率(%)	希少性	需要	輸入価格	環境基準
1	インジウム(In)	0.3	550	101046	556	250	45	◎	△	○	
3	ニッケル(Ni)	6200	106000	1019	1080	41658	39	△	◎		△
8	プラチナ(Pt)	7.1	50	3142997	1571	18	35			◎	
8	モリブデン(Mo)	860	25000	4522	1131	10425	41	△	○		△
13	コバルト(Co)	700	15000	3897	585	5790	38.6	△	○		
13	タングステン(W)	290	8000	1922	154	2560	32	△	○		
13	リチウム(Li)	410	13000	299	39	40	0.3	△	○		
20	パラジウム(Pd)	7.1	50	670296	335	32	63			○	
20	バナジウム(V)	1300	5800	5571	323	4517	76		○		

・◎印を5点、○印を3点、△印を1点と換算し、得点を算出。

(引用) 2006年度レアメタル市場の現状と今後の方向性、株式会社トータルビジョン研究所(2006年1月～4月)、抜粋見本資料より

(参考)

年度	廃棄物学会研究発表会小集会の内容
平成13年度	「リサイクルシステム・技術研究部会研究の展開像」 ①「研究発表会論文集からみた過去5年間の系譜」の整理 ②部会員の専門領域からみる各分野の現状と課題の整理 ③本部会の活動方向に関する議論
平成14年度	「理想のリサイクルシステム・技術のあり方を考える－4つのWGによる中間報告発表－」 WG1 テーマ：製品廃棄物（含むリース・レンタル・中古） WG2 テーマ：リサイクル品の市場、販路、JIS化 WG3 テーマ：地域リサイクルシステムと環境コミュニケーション WG4 テーマ：リサイクル技術・システムの評価
平成15年度	「素材としてのプラスチックに着目する－4つのWGによる報告発表－」
平成16年度	「マテリアル・ケミカル・サーマルどの選択が正しいの？ 容リプラスチックの未来」
平成17年度	「家電リサイクル法の見直し案を議論する-法の目的、責任分担、技術、事業性の観点から-」 WG1：家電リサイクルの総合評価 WG2：プラスチックリサイクルのあり方 WG3：家電製品における環境適合設計
平成18年度	「建設リサイクルの現状と課題-プラスチックを中心に-」 WG1：法改正、行政動向 WG2：現状の処理実態の調査 WG3：回収・処理システムの技術検討
平成19年度	「レアメタルの現状とリサイクルの最新の話題」 WG1：資源・環境対策 WG2：リサイクル技術（分離、製錬等）