



先端科学技術と利用可能な希少元素

吉 本 秀 幸*

Available Rare Elements for Advanced Science and Technology

Hideyuki YOSHIMOTO

資源調査会報告第 100 号「主要な希少元素の資源の有効利用に関する調査報告」¹⁾をベースに、現在から将来にわたって注目される希少元素の資源についてまとめたものである。

1. 元素の存在度

地殻は一般に大陸性地殻と海洋性地殻に分類される。現在、希少元素の資源の主な供給源は「大陸性地殻」である。このため本調査では、大陸性地殻における 90 元素のうち存在度が 0.1% 以上 (1 000 ppm 以上) の元素を「豊富元素」とし、元素の存在度が 0.1% 未満の元素を「希少元素」とした。

この結果、豊富元素には 11 元素が属し、他の 79 元素は希少元素に属している。希少元素のうち地殻での存在度が 1 ppm 以下の 33 元素を超希少元素とした (表 1 参照)。

ここで、地球化学的な観点からの地殻の元素の存在度で示される数字の大小が必ずしも入手の難易度を表現していないことを注意しておく必要がある。

2. 主な資源の埋蔵鉱量と生産量

資源の乏しい我が国では、これら資源の確保上の目安として可採年数と偏在性に注目する必要がある。

2.1 可採年数

可採年数は現在陸域で確認されている鉱床の埋蔵鉱量を昭和 59 年の当該資源生産量で除した数値を採用して検討した。

可採年数は現在の経済ベースで各資源が何年間生産され得るかを示す寿命とみなされる。

可採年数から資源を見る一つの尺度として、鉄の可採年数 (93.5 年) と対比してみた。表 2 には、可採年数が鉄より小さいものから順番に、ビスマス、ジルコニウム等 10 種の資源を挙げてある。なお、参考として表中に示した亜鉛、鉛、銅のごとく日常広く使用されている

金属の可採年数が小さいことも注目する必要がある。

2.2 偏在性

希少元素の資源の鉱床分布には極端な偏在性が認められるケースが多い。また、これら資源の開発には地理的条件に加えて政情、経済情勢、技術力等自然条件以外の要素が関与し、生産面にも偏在が認められるのが通例である。

希少元素の資源の偏在性は、鉱物資源の供給が特定の資源保有国の政情や経済情勢に左右されやすいことを示唆し、国際投機の対象となり、需給のバランスが崩れやすい性質をもっている。

3. 先端科学技術面からみた希少元素の資源

希少元素の資源を先端科学技術面からとらえるため、本調査の対象として取り上げた分野は、特殊鋼、特殊合金を含む構造用合金分野、形状記憶合金や水素吸蔵合金等を含む機能性合金分野、オプトエレクトロニクス、センサー用材料等を含む電子・光材料分野、超 LSI や半導体レーザー用材料等を含む半導体材料分野、磁石や磁気記録用材料等を含む磁性材料分野、リチウム電池や燃料電池用材料等を含む電池・蓄電材料分野、核磁気共鳴画像診断装置 (MRI: Magnetic Resonance Imaging) や磁気浮上列車等に使われる超電導磁石用等の超電導材料分野、現在の原子炉や将来の核融合炉に使われる材料を含む原子力材料分野、最近、種々のところに使用され始めたファインセラミックス材料分野及び触媒分野の 10 分野である。

表 3 に代表例としてまとめたように、先端科学技術分野に利用されている主要な材料中の含有成分である各種元素を分野ごとに抽出し、利用分野の数の多いものから主要な希少元素の資源を選定することを試みた。従つて、先端科学技術材料の機能性という定性的な要因に着目しており、選定に当たっては消費量の多寡は直接関係がない。

昭和 61 年 11 月 27 日受付 (Received Nov. 27, 1986) (依頼解説)

* 資源調査所主任調査官 (National Institute of Resources, 3-1-1 Kasumigaseki Chiyoda-ku, Tokyo 100)

Key words: high technology; utilized elements; resources; availability; dressing; optoelectronics; ceramics; rare metals; saving.

表1 地殻における元素の存在度

存在度の順位			元素の存在度(%)			存在度の順位			元素の存在度(%)		
↑ 豊富 元 素 ↓ 希 少 元 素 小計 99.275% ×	1	O	46.60	↑ 超 希 少 元 素 合計 99.6767952%	45	Cs	0.00030	↓ その他地殻に存在するもの (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac, Pa)			
	2	Si	27.72		④⑤	Er	0.00028				
	3	Al	8.13		希	47	Be		0.00028		
	4	Fe	5.00		48	Br	0.00025				
	5	Ca	3.63		少	49	Sn		0.00020		
	6	Na	2.83		50	Ta	0.00020				
	7	K	2.59		元	51	U		0.00018		
	8	Mg	2.09		52	As	0.00018				
	9	Ti	0.44		素	53	Mo		0.00015		
	10	H	0.14		54	Ge	0.00015				
	11	P	0.105		55	W	0.00015				
	12	Ma	0.095		⑤⑥	Eu	0.00012				
	13	F	0.0625		⑤⑦	Ho	0.00012				
	14	Ba	0.0425		⑤⑧	Tb	0.00008(※9×10 ⁻⁵)				
	15	Sr	0.0375		59	I	0.00005				
	16	S	0.026		⑥⑨	Ta	0.00005				
	17	C	0.020		⑥⑩	Lu	0.00005				
	18	Zr	0.0165		62	Tl	0.00005				
	19	V	0.135		63	Cd	0.00002				
	20	Cl	0.013		超	64	Sb		0.00002		
	21	Cr	0.01		希	65	Bi		0.00002		
	22	Rb	0.009		66	In	0.00001				
	23	Ni	0.0075		少	67	Hg		0.000008		
	24	Zn	0.0070		元	68	Ag		0.000007		
	②⑤	Ce	0.0060		69	Se	0.000005				
	26	Cu	0.0055		70	Ru	0.000001				
	②⑦	Y	0.0033		71	Pb	0.000001				
	②⑧	La	0.0030		素	72	Te		0.000001		
	②⑨	Nb	0.0028		73	Pt	0.000001				
	30	Co	0.0025		74	Rh	0.0000005				
	③①	Sc	0.0022		75	Au	0.0000004				
	32	Li	0.0020		76	Re	0.0000001				
	33	N	0.0020		77	Os	0.0000001				
	34	Nb	0.002		78	Ir	0.0000001				
	35	Ga	0.0015		...						
	36	Pb	0.0013		90						
	37	B	0.001								
	③⑧	Pr	0.00082								
	39	Th	0.00072								
	④⑩	Sm	0.00060								
	④①	Cd	0.00054								
	④②	Dy	0.00048(※3×10 ⁻⁴)								
	④③	Yb	0.00030								
	44	Hf	0.00030								
[備 考]				1) 理科年表：昭和 66 年版 (p. 684) の数値を採用し作成							
				2) ※印：Dy, Tb の () 内の記帳数値は、B. MASON: Principle of Geochemistry 3rd ed. (1966) [John Wiley & Sons. Inc.] のものである。							
				3) 存在度順位欄に○印をつけたものは、レア・アースである。							

【備考】

- 1) 理科年表：昭和66年版(p. 684)の数値を採用し作成
- 2) ※印：Dy, Tbの()内の記帳数値は、B. MASON: Principle of Geochemistry 3rd ed. (1966) [John Wiley & Sons, Inc.]のものである。
- 3) 存在度順位欄に○印をつけたものは、レア・アースである。

その結果を総合し一覧表にしたものが表4である。この表では現在技術と将来技術とに分け、利用される分野の数の多いものから二重丸印、一重丸印及び三角印をつけた。元素名で表現されている各種の資源がどのような先端技術分野において注目されているかが、よくわかる。例えば、ヘリウム(He)は超電導材料分野で特に注目され、ほう素は現在の構造用合金で注目されて、炭素は現在の構造用合金とファインセラミックス及び将来のファインセラミックス分野で注目されている等である。また、電子・光材料分野やファインセラミックス分野では、種々の機能材料の開発が積極的に進められ、新しい材料により新しい機能も生まれつつあるので、注目すべき希少元素の資源の種類も多くなっている。

このように、先端科学技術面からみて選定した希少元

素の資源は26種類、元素名で表現した資源の種類の総数は47となる。ただし、白金族(6元素)、レア・アース[16元素、人工的にのみ存在するプロメチウム(Pm)は除く]、ジルコニウムとハフニウム(2元素)はいずれも一種類とした。このうち、豊富元素であるけい素は先端科学技術面で高品位けい素が必要であり、高品位けい素の鉱量は非常に少ないため希少元素の資源として選定した。

なお、資源の偏在には、埋蔵鉱量からみた偏在と生産量からみた偏在とがあり、これら両面を考慮して選定された資源は29種類である。なお、チタンは豊富元素であるが、偏在性の大きいことから希少元素の資源とみなして選定した。

表 2 主な希少元素の資源の可採年数

主な希少資源	単 位	埋蔵量 (鉱量) ¹⁾ (A)	生産量 ¹⁾ (B)	可採年数 (A)/(B)
ビスマス (Bi)	t	90 718	3 674 ²⁾	21
ジルコニウム (Zr)	t	20 865 140	883 593 ³⁾	22
バリウム (Ba)	重晶石 1 000 t	167 828	6 168	27
タンタル (Ta)	t	27 215	848 ⁴⁾	32
砒素 (As)	1 000 t	1 000	26	38
セレン (Se)	t	80 000	2 040 ⁵⁾	39
ダイヤモンド (C)	10 ⁶ カラット (t)	980 (196)	36.0 (7.2)	27
炭素 (C)	黒鉛 1 000 t	29 030 ⁶⁾	580	50
モリブデン (Mo)	1 000 t	5 443	93	58
タングステン (W)	t	2 800 000	43 200	64
ニッケル (Ni)	t	52 616 000	696 714	75
マンガン (Mn)	1 000 t	907 180	7 904 ⁷⁾	114
ストロンチウム (Sr)	t	6 803 850	58 060	117
クロム (Cr)	鉱石 1 000 t	1 056 865	8 355 ¹⁰⁾	126
コバルト (Co)	t	3 628 720	26 364	137
ヘリウム (He)	t	1 134 980 ⁸⁾	7 678	148
白金族 (Pt 族)	t	31 103	208	149
バナジウム (V)	t	4 354 464	29 030	150
リチウム (Li)	t	1 905 000	8 449 ⁹⁾	225
ほう素 (B)	B ₂ O ₃ 1 000 t	331 121	1 034	320
ニオブ (Nb)	t	4 082 000	10 433	391
レア・アース (R・E)	酸化物 1 000 t	45 000	37	1 216

[参 考]

- 1) 埋蔵量 (A) は Mineral Facts and Problems, 1985 ed. による元素含有量を, 生産量 (B) は Mineral Commodity Summaries 1985 の昭和 59 年の生産量をもとにして作成した。
- 2) ビスマスの生産量は米国の生産量を 500 t として補正した。
- 3) ジルコニウムの生産量は米国の生産量を 45 000 t として補正した。
- 4) タンタルの生産量は Mineral Facts and Problem, 1985 の数値を用いた。
- 5) セレンの生産量は精錬所ベース。米国とソ連は各 400 t を生産しているものとした。
- 6) 黒鉛の埋蔵鉱量は, 鱗状黒鉛と土状黒鉛の合計値である。
- 7) マンガンの生産量はマンガン鉱石中にマンガンが平均 35% 含有されているものとして計算した。
- 8) ヘリウムの埋蔵量, 生産量は米国のみの数値。
- 9) リチウムの生産量は米国の生産量を 6 000 t として補正した。
- 10) クロムの埋蔵量, 生産量ともにクロム鉱石重量である。クロム鉱石には平均 32.5% 含有されていると見込まれる。

4. 先端科学技術面及び資源面からみた主要な希少元素の資源

本調査では, 先端科学技術面と資源の偏在面等から総合的に検討し, 28 種類を主要な希少元素の資源として選定した。

さらに, この 28 種類の資源を, 先端科学技術面における重要性及び資源の偏在性による資源確保面の難易性からみて, これら要素を総合して A グループ, B グループ, C グループの三つのグループに大きく分類し編成した (表 5)。

A グループに属する資源は先端科学技術を支える材料の主要成分を構成する資源であり, かつ偏在性の大きい資源である。従って, 長期的には鉱石及び地金等の資源確保に困難が伴う可能性の大きい資源である。今後, 資

源の需給動向をふまえ安定確保対策を講ずる必要のある注目すべき資源と考えられる。A グループとしては, 12 種類の資源が属する。

B グループは, 先端科学技術用材料で, かつ, 主要な非鉄金属の製錬副産物として得られる資源であり, 我が国の生産及び消費シェアが世界的に大きい資源である。6 元素の資源がこのグループに属する。

C グループは A, B グループ以外の資源で先端科学技術を支える材料の成分を構成する資源である。10 元素の資源がこのグループに属する。これらの結果を資源生産国及び輸入相手国等も含め総合的に表 6 にまとめた。これら希少元素の資源による材料の用途について, A, B, C の各グループ別に整理し, まとめたものが表 7 である。これら希少元素の資源は先端科学技術のみならず, 日常生活に深いかかわりあいをもっている。

表3 先端科学技術分野で用いられる材料の組成例

分野		項目	材 料	組 成 等	
構造用合金		現在	軽材料(航空・宇宙) 耐高温材(宇宙・原子力)	チタン合金, アルミニウム-リチウム合金 一方凝固共晶合金 (Ni ₃ Al-Ni ₃ Nb) Co-TaC 系, Ni-TaC 系, (Co, Cr)-(Cr, Co) ₇ C ₃ 合金, (Ni ₃ Al+Ni)-Cr 系, (Ni ₃ Al+Ni)-Mo 系	
		将来	超耐熱材料	粒子分散合金 (Y ₂ O ₃ 分散 Ni 基合金) 結晶制御合金・超塑性合金 (高融点の Nb, Mo, Ta, W と粒界強化の B, C, Zr を添加した合金)	
機能性合金	形状記憶合金	現在	引張強度, 変態スピード 耐食性のよい材料	Ti-Ni 合金系, Ti-50Ni (at%) Ti-51Ni (at%)	
			安価な材料	Cu-Zn-Al 合金系, Cu 75-Zn 15-Al 10 (wt%)	
	将来	研究開発中	Ni-Al 合金系, Ni-36.6Al (at%) Ag-Cd 合金系, Ag-45.0Cd (at%) Au-Cd 合金系, Au-47.5Cd (at%) Cu-Al-Ni 合金系, Cu-14.5Al-4.4Ni (wt%) Cu-14.1Al-4.2Ni (wt%) Cu-Au-Zn 合金系, Au-21Cu-49Zn (at%) Au-29Cu-45Zn (at%) Cu-Sn 合金系, Cu-15.3Sn (at%) Cu-Zn 合金系, Cu-39.8Zn (wt%) In-Tl 合金系, In-21Tl (at%) In-Cd 合金系, In-4.4Cd (at%) Ti-Ni-Cu 合金系, Ti-20Ni-30Cu (at%) Ti-Ni-Fe 合金系, Ti-47Ni-3Fe (at%)		
			(マグネシウム系合金) 水素貯蔵量が多い材料	MgH ₂ , Mg ₂ NiH _{4.0} , MgCaH _{3.72}	
				(レア・アース系合金) 常温で吸蔵, 放出が可能な材料 (Mm: ミッシュメタル)	LaNi ₅ H _{6.0} , MmCo ₅ H _{3.0} , Mm _{0.9} Ti _{0.1} Ni ₅ H _{4.5} , MmNi ₅ H _{6.3} , Mm _{0.5} Ca _{0.5} Ni ₅ H _{5.0} , MmNi _{4.5} Mn _{0.5} H _{6.6} , MmNi _{2.5} Co _{2.5} H _{5.2} , MmNi _{4.5} Cr _{0.25} Mn _{0.25} H _{6.9} , MmNi _{4.5} Al _{0.5} H _{4.9} , Mm _{0.5} Ca _{0.5} Ni _{2.5} Co _{2.5} H _{4.5} , MmNi _{4.5} Cr _{0.5} H _{6.3} , MmNi _{4.5} Al _{0.45} Ti _{0.05} H _{5.8} , MmNi _{4.5} Si _{0.5} H _{3.8} , MmNi _{4.7} Al _{0.3} Ti _{0.05} H _{5.6} , MmNi _{4.5} Mn _{0.45} Zr _{0.05} H _{5.2}
				その他	CoNi ₅ H ₄ , LiH, AlH ₃ , VH ₂
水素吸蔵合金	将来	常温で吸蔵, 放出が可能で, かつ, レア・アース系合金より安価な材料 (チタン系合金)	TiFeH _{1.9} , TiFeH _{0.85} Mn _{0.15} H _{1.9} , TiCo _{0.75} Ni _{0.25} H _{1.5} , TiCoH _{1.4} , TiFe _{0.46} Nb _{0.04} H ₅ , Ti _{0.9} La _{0.1} CoH _{1.9} , TiFe _{0.8} Be _{0.2} H _{1.34} , Ti _{0.9} V _{0.1} CoH _{1.4} , TiFe _{0.8} Ni _{0.15} V _{0.05} H _{1.6} , TiCo _{0.5} Mn _{0.5} H _{1.7} , TiMn _{1.5} H _{2.47} , TiCo _{0.5} Fe _{0.5} H _{1.2} , Ti _{0.8} Zr _{0.2} Mn _{1.8} Mo _{0.2} H _{8.0} , TiCo _{0.75} Cr _{0.25} H _{1.3} , Ti _{0.9} Zr _{0.1} Mn _{1.4} V _{0.2} Cr _{0.4} H _{6.2} , Ti _{0.8} Zr _{0.2} Cr _{0.8} Mn _{1.2} H _{3.0} , TiCr _{1.9} H _{3.6} , Ti _{1.2} Cr _{1.2} Mn _{0.8} H _{3.2} , Ti _{1.2} CrMnH _{3.4} , Ti _{0.75} Al _{0.25} H _{1.5}		
電子材料	センサー	現在	光センサー(可視光) 赤外光センサー 光電効果ないしは 光起電力効果 焦電効果 熱電効果 紫外光センサー	CdS, CdSe, Si をベースにしたもの CdS, PbS, PbSe, InAs, InGaAs, InSb, HgCdTe, PbSnTe, Ge (Au, Hg) PbTiO ₃ , LiTaO ₃ , PZT, PVDF InSb, Te, PbTe, BiSb, Bi ₂ Te ₃ Bi ₂ Se ₃ , Sb ₂ Te ₃ SbCs ₃ , Na ₂ KSbCs, K ₂ SbCs	
		電子回路	実装材料 ①リードフレーム材料 ②封止材料 ③はんだ材料	FeNi, FeNiCo, CuZr, CuSnNi, CuSiSnCr Al ₂ O ₃ , エポキシ樹脂 PbSn, InSn, BiSn, AgCu, AuSn, AuSi	
	光源	光		固体レーザー	ルビー: Cr, YAG: Nd, ガラス: Nd
蛍光材料			現在	カラー CRT (赤) 高圧水銀ランプ (赤) 蛍光ランプ (赤) 〃 (黄緑) 〃 (緑) プラズマディスプレイ (赤)	Y ₂ O ₂ S: Eu ³ Y (P・V) O ₄ : Eu Y ₂ O ₃ : Eu ³ LaPO ₄ : Ce, Tb 3Sr ₃ (PO ₄)・CaCl ₂ ・Eu (Y, Gd)BO ₃ : Eu

5. 資源の有効利用技術の高度化

資源の有効利用技術には, 製錬技術, 代替関連技術等があり, 次に, これらのうちからおの代表的な技術について述べる。

5・1 製錬技術の高度化

現在, 選鉱法, 製錬法, 精製法等の従来技術の高度化が図られつつあるが, 今後さらにキレート樹脂, イオン対吸着法等新しい分離, 回収法の要素技術を開発し, 溶媒抽出法との組合せにより原料特性に応じた最適な分

表5 主要な希少元素の資源のグループ編成

グループ		希少元素の資源
A グループ	先端科学技術を支える材料の主要成分で、かつ、長期的には資源確保に困難が伴う可能性のあるもの	ほう素(B), コバルト(Co), クロム(Cr), ヘリウム(He), マンガン(Mn), モリブデン(Mo), ニオブ(Nb), 白金族(Pt族), レア・アース(R・E), タンタル(Ta), バナジウム(V), ジルコニウム/ハフニウム(Zr/Hf)
B グループ	先端科学技術用材料であり、かつ、副産物として得られる元素で、我が国の生産及び消費シェアの大きい資源	砒素(As) ←銅、鉛、亜鉛等の鉱石 ビスマス(Bi) ←銅鉱石等 ガリウム(Ga) ←ボーキサイト、鉛、亜鉛等の鉱石 インジウム(In) ←亜鉛鉱石等 セレン(Se) ←銅鉱石等 テルル(Te) ←銅鉱石等
	参考	副産物を回収生産している主要元素 銅(Cu), 鉛(Pb) 亜鉛(Zn)
C グループ	先端科学技術を支える材料の成分を構成する資源	金(Au), バリウム(Ba), 炭素(C:黒鉛, ダイヤモンド), ゲルマニウム(Ge), リチウム(Li), ニッケル(Ni), けい素(Si:高純度品), ストロントリウム (Sr), チタン(Ti), タングステン(W)

(注) 〃の資源は、共產圏等の諸国が、主要な資源保有国となつてい

るもの。

離、回収、精製、超高純度化のシステムを開発する必要がある。このうち、超高純度化は、希少元素の有する既知の機能の向上はもとより、潜在物性が発現され新しい機能分野への可能性をもたらしことが期待されるため、今後の機能材料の開発を支えるための技術としても重要であり、浮遊帯域精製、固相電解、光励起精製等を組み合わせた新技術を開発する必要がある。

一方、希少元素の資源には、製錬技術の高度化に伴い、同一の鉱石から同時に生産されるものが多い。このことは、広範な応用分野が展開されている資源と、ほとんど利用されていない資源が同時に生産されることが起こることを意味する。

例えば、仮に磁性材料として注目されているサマリウム(Sm)を年間1000t取得しようとする、レア・アース鉱石中の賦存割合からランタン(La)が20000t以上、セリウム(Ce)は40000t近くが同時に生産されることになるが、需要がないため大量のランタン、セリウムが在庫することになる。

従つて、鉱石中の元素含有率に沿つた新用途開発、特にランタン、セリウム等の軽希土類の新用途開発を積極的に推進していく体制を固めなければ、資源の有効利用を図ることはできない。

5.2 代替関連技術

希少元素の資源の有効利用を図るためには、特定の資源を大量に使わないよう代替、節約する技術開発を進める必要がある。例えば、超電導技術開発におけるヘリウ

ム資源を考えてみると、超電導臨界温度(T_c)をできるだけ上昇させることは、臨界磁界(H_c)や臨界電流密度(J_c)のような超電導特性の向上や冷却コストの低減のためでなく、冷媒としての液体ヘリウムの使用量を節減し利用技術の簡便化等のためにも必要である。

すなわち、今後の研究によつて超電導臨界温度が30Kを超える材料が得られれば、液体水素(20.4K)及び液体ネオン(27K)が冷媒として使用可能となり、偏在している希少元素の資源であるヘリウムを大幅に節減することができる。また、冷媒として使用された後の低純度ヘリウムは再精製のうえ使用されているが、低純度のままで使用可能な風船用に転用する物流が実現すれば、エネルギー及び希少元素の資源の節約ができる。

6. 資源の価格動向

6.1 国際価格の低迷

現在、希少元素の資源を含む金属の世界市況は低迷状態にある。昭和55年以降の低迷の要因としては、①米政府の高金利政策(投機市場の変化(素材市場から金利商品へ移行)), ②国際情勢の安定化、③インフレの収束、④資源保有国での国有化企業による加工部門への進出(供給量の増加)、⑤製品への軽・薄・短・小化の浸透、等があげられる。

6.2 国際価格と日本の価格

希少元素の資源の価格は、基本的に海外諸国が主導権を握っている。原料輸入、製品輸出の比率がともに高い我が国では、原料価格はもちろん製品価格も海外市況を基準に設定されるものが多い。

我が国では、自己資本を投下した海外鉱山をもたず、1年程度の短期契約、あるいはスポット輸入に原料供給を依存しているため原料価格が安定していないこと、製錬に要する電力コストが海外にくらべて大幅に割高であること等の点から、国内製錬産業は海外との競争力が弱くなっている。これとは逆に加工コストの比率が大きい高機能材料(高純度けい素、ガリウム等半導体材料、分離希土、チタン等)では、我が国の競争力が強く我が国の価格が国際価格に対し主導権を持つているが、貿易摩擦のため我が国独自の価格が海外で通用しにくい状況が生まれつつある。

7. 主要な希少元素の資源の有効利用の推進方策

我が国は、これまで述べてきた状況を踏まえ、現在のように国際的に強力な経済力を保持している時期に、長期的観点から希少元素の資源の保持活用能力を蓄積すべく以下の方策を講ずる必要がある。

(1) 技術開発の総合的な推進

①鉱石の利用度を高めるための併存資源の分離生産技術、低品位鉱の利用技術、超高純度化技術等製錬技術の高度化及び新用途の開発

表 6 主要な希少元素の

項 目 グループ別			主要資源	主 要 生 産 国										
				米国	カナダ	オーストラリア	中南米及び南米諸国	アジア諸国	日本	ヨーロッパ等	ソ連	南アフリカ	中華人民共和国	その他
A グループ	粗原料確保に困難がともなう先端技術を支える材料の主要成分元素・資源の偏在している元素		B Co	◎						○トルコ				◎ザイール
			Cr He	◎							◎	○		
			Mn Mo				△ブラジル				◎	○		
			Nb Pt 族		○ △		◎ブラジル					○ ◎		
			R・E Ta	◎		○ ○	○ ○ブラジル	○ ◎タイ					◎	
			V Zr(Hf)				◎				◎	○ ○	△	
			B グループ	先端技術用材料であり、かつ副産物として得られる元素消費量のシェアの大きい元素		As←Cu, Pb, Zn Bi←Cu				○メキシコ ◎メキシコ			△フランス	◎
Ca←Cu, Pb, Zn In←Zn										◎				
Se←Cu Te←Cu	○ ○	○ △							◎ ◎					
参 考	副産物を回収生産している主要元素													
		Cu Pb Zn				○ ○	△ ◎		◎チリ					○
C グループ	先端技術用材料の主要成分元素			Au Ba C(黒鉛)	○			○メキシコ	△インド			○ ◎ ◎		
			(工業用ダイヤモンド) Ge							○	◎		◎ザイール	
			Ni W		○ △	△				◎ ○		◎		
			Li Si	○ ○			◎チリ		△		◎		○	
			Sr Ti	○		◎	◎メキシコ							
					○	◎			ノルウェー					

注) 欄内の◎, ○, △はウェイトの大きいものからの順序である。

資源のグループ編成

我が国の輸入相手国											備考(輸入量) (1000 t)
米国	カナダ	オーストラリア	中南米及び南米諸国	アジア諸国	日本	ヨーロッパ等	ソ連	南アフリカ	中華人民共和国	その他	
◎						トルコ 西独, フランス				◎ザイール	地金 2.5, 酸化物 0.3
◎			ブラジル	○インド			△ △	◎		ジンバブエ ポーランド△	クロム鉱 823.4, フェロクロム 395.4 He 0.4
◎	○	◎	ブラジル メキシコ			西独		◎	○	ガーナ	マンガン鉱 1361, 鉄マンガン鉱 826.6 三酸化モリブデン 18.3, フェロモリブデン 0.6, 金属 19
○	◎		◎ブラジル			西独 ○	○	◎		ナイジェリア	Nb 精鉱 2, フェロニオブ 2.1
◎				○		○			◎		
○		○						◎	○		五酸化バナジウム 4.6, フェロバナジウム 0.7
○						◎西独			○		In 世界生産 52 t, うち日本 15 t, 輸入 1 t Se 世界生産 1240 t, うち日本 400 t Te 世界生産 145 t, うち日本 65 t
		チリ	韓国							◎ザンビア	Cu 地金 266.9, 鉱石 871.8
		○	○スリランカ			西独			○ ◎		Au 輸入 182 t 重晶石 40
						◎フランス・ベルギー	○	◎	◎		二酸化ゲルマニウム 13.7, 塊 2.0
○	○ ○	◎ ○		フィリピン ○韓国	△	ノルウェー ポルトガル	○			ジンバブエ	Ni 鉱 2835, 地金 29, フェロニッケル 45 W 鉱 2.9, 粉 0.2
			ブラジル			ノルウェー		◎	◎		金属 Si 85
	○	◎		マレーシア							チタン鉱 648, チタンスラグ 62.7

表 7 主要な希少元素の資源の用途

項 目		主 要 用 途	備 考 (主な資源賦存国等)
A グ ル ー プ	ほう素(B)	ボロンファイバー、鉄鋼添加材、磁性材料、切削工具等	トルコ、米国、ソ連
	コバルト(Co)	耐熱耐食合金、超硬合金、磁性材料、触媒等	ザイール、キューバ、ザンビア
	クロム(Cr)	特殊鋼添加材、ステンレス鋼、耐食合金、耐熱合金、磁性材料、触媒、化学薬品、磁気記録材料等	南アフリカ、ソ連、ジンバブエ
	ヘリウム(He)	低温装置、分析装置、溶接用ガス、超電導機器	米国
	マンガン(Mn)	炭素鋼添加材、ステンレス鋼、ニッケル合金の添加材、磁性材料、乾電池、触媒等	南アフリカ、ソ連
	モリブデン(Mo)	合金鋼・ステンレス鋼添加材、化学工業用触媒、LSI 用配線材等	米国、チリ
	ニオブ(Nb)	鉄鋼材料・特殊鋼・特殊合金への添加材、電子材料・超電導材料、ナトリウムランプ部品等	ブラジル、ソ連、カナダ
	白金族(Pt 族)	電極材料、分析用または高純度材料用ろ過材、化学工業及び排ガス処理用の触媒	南アフリカ、ソ連
	レア・アース(R・E)	軽希土として、自動車排ガス用触媒、ブラウン管、レンズ等の研磨材、分離希土として永久磁石、カラーテレビ蛍光体、セラミック電子デバイス等	中国、米国
	タンタル(Ta)	耐食・耐熱材料、超硬合金、小型コンデンサー、電子デバイス等	タイ、オーストラリア、ソ連
	バナジウム(V)	特殊鋼、チタン合金、酸化触媒(化学工業等)、超電導材料等	ソ連、中国、南アフリカ
	ジルコニウム(Zr)	高級耐火物、構造用セラミックス、酸素センサー、電子材料(セラミックフィルター、圧電素子)、軽水炉燃料被覆管のジルコニウム合金、閃光電球用細線、耐食材料	オーストラリア 米国、南アフリカ
	[ハフニウム(Hf)]	原子炉制御棒等	ジルコニウム副産物
B グ ル ー プ	ひ素(As)	農業、ガラス添加材、蓄電池用鉛合金、化合物半導体	銅製錬副産物
	ビスマス(Bi)	化学工業用触媒、電子材料、光電子材料	銅・鉛製錬副産物
	ガリウム(Ga)	超高速演算素子、光デバイス、高性能太陽電池、化合物半導体、バブルメモリー、超電導用材料(ガリウム化合物)	アルミニウム、亜鉛製錬の副産物
	インジウム(In)	低融点合金、歯科用合金、電子材料(電気接合点合金、赤外線レーザー、ホール素子、透明電極)	亜鉛、鉛製錬の副産物
	セレン(Se)	化学薬品、複写機を中心とするオプトエレクトロニクス機器向材料	銅製錬副産物
	テルル(Te)	合金添加剤、薬品、触媒、複写機感光ドラム、光電セル、電子冷凍素子	銅製錬副産物
C グ ル ー プ	金(Au)	電子材料(IC 用電極、半導体の接合、コンピューター等の接点)、航空・宇宙材料	南アフリカ、ソ連
	バリウム(Ba)	窯業材料、ガラス原料、硫酸除去剤、フェライト磁石、圧電・誘電セラミックス	中国、インド、米国
	炭素(C) [高純度炭素]	ダイヤモンド…切削加工用工具、切削用工具、半導体、熱伝導体	オーストラリア、ザイール
	ゲルマニウム(Ge)	赤外線用機器、光ファイバー、PET 樹脂用触媒	ヨーロッパ、カナダ
	リチウム(Li)	窯業用、高性能電池、高強度アルミ合金、電子デバイス、核融合燃料(将来)	チリ、米国、オーストラリア
	ニッケル(Ni)	特殊鋼、ステンレス鋼、IC 用リードフレーム材、ニッケル基合金、磁性・電極・電池材料、電子部門のめつき材料、リフォーミング触媒	キューバ、カナダ、ソ連
	けい素(Si) [高純度けい石等]	アルミ合金、半導体用のシリコンウェハ、IC 及び IC 製造装置(シリコン化合物、シリカパウダー)、光ファイバー、太陽電池	ブラジル、中国
	ストロンチウム(Sr)	ブラウン管用ガラス、フェライト磁石用材料	英国、スペイン、トルコ
	チタン(Ti)	白色顔料、化学工業用材料(金属チタン)、超電導材料、半導体材料、誘電材料	ブラジル、南アフリカ、インド
	タングステン(W)	高速度鋼、超硬合金、フィラメント材、LSI のゲート材、触媒	中国、ソ連、カナダ

②資源消費の代替及び節約のための技術の高度化

(3) 国際協力の強化

③資源の再利用のための回収再生技術の高度化

文 献

④国産資源を確保するための未開発資源としての海洋

資源の開発利用

- 1) 科学技術庁資源調査会報告 第 100 号「主要な希少元素の資源の有効利用に関する調査報告」(1986 年 4 月)

(2) 調査研究の推進と体制の整備