

100 Management Pack

# 資源からメタルへレアメタル



## 東京大学 生産技術研究所 岡部 徹


第7回 技術フォーラム  
主催: 先端エネルギー推進工学寄付研究部門(AECE)  
共催: エネルギー工学推進研究センター(CEE)  
エネルギー・資源フロンティアセンター(FRCSE)  
サステナブル材料国際研究センター(IRCSM)  
開催日時: 2012年5月18日(金)10時~18時20分  
場所: 東京大学伊藤国際学術研究センター  
(東京都文京区本郷7-3-1)

講演題目: 資源からメタルへレアメタル、岡部 徹  
講演時間: 14時20分~15時30分(70分間)

Institute of Industrial Science


### Dr. Toru H. Okabe's footmark

東北大  
Tohoku University




1995~2000

東大  
University of Tokyo




2001~


マサチューセッツ  
工科大学  
MIT, Boston



1993~1995

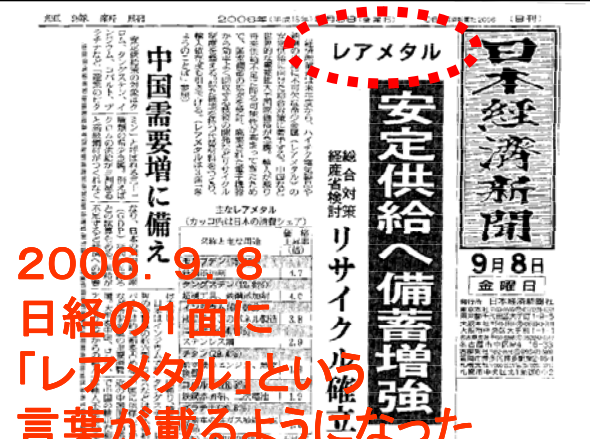


京大  
Kyoto University



1984~1993

<p>1984~1993 京大(学生)</p> <p>B: Ti M: Ti D: Nb, Ta, (Ti, Y, ...)</p> <p>1993~1995 マサチューセッツ工科大学(ポスドク) Ta, (Al, ...)</p> <p>1995~2000 東北大(助手)</p> <p>早稲田研: Ti, Nb, Ta, REMs (La, Pr, Dy, Tb...) 梅津研: Mo, Re, Ag, Cu, Ti, REMs (Nd),</p> <p>2001~ 東大(助教授・准教授・教授)</p> <p>初期: Nb, Ta, PGMs (Pt, Rh) 現在: Ti, Sc, V, PGMs (Pt, Rh, Ru, Ir, ...) Nb, Ta, REMs (Nd, Dy, ...), Ga, W...<sub>3</sub></p>	<p>20年以上、ひたすら レアメタルの研究を 地道に行ってきた (レアメタル オタク)。</p>
---	---



2006. 9. 8  
日経の1面に  
「レアメタル」という  
言葉が載るようになった

### レアメタルの用途別の分類

- ① 電子材料レアメタル
  - 半導体 (Si, Ge, GaAs)
  - 各種電子材料 (In, Ta, Li, Ba, Sr, ...)
- ② 合金用レアメタル
  - 工具用特殊合金 (W, Co, Ta, ...)
  - 鉄鋼添加用 (V, Cr, Mo, Nb, ...)
- ③ 航空・宇宙材料用レアメタル(空飛ぶレアメタル)
  - 航空機材料 (Ti, Ni基超合金, Al-Sc合金, ...)
- ④ 自動車用レアメタル(走るレアメタル)
  - 合金添加元素 (Mo, V, Nb, Ti ...)
  - 磁石材料 (Nd, Dy, Sm, Co)、電池材料 (Li, Co, Pt, Ni, ...)
  - 触媒 (Pt, Pd, Rh, ...)
- ⑤ エネルギー関連レアメタル(新エネ・レアメタル)
  - 太陽光発電用材料 (Si, Ru, Ga, In ...)
  - 発電・変換・送電・蓄電・制御用の材料
- ⑥ 原子力レアメタル
  - 原子炉用材料 (Zr, Hf, 特殊合金...)
  - 放射性医薬物 (PGMs ...)
- ⑦ 医療・生体用レアメタル
  - 生体材料 (Ti, Nb, Ta, ...)
  - 医薬品・健康食品

今後、  
一層発展する  
レアメタル



「領土問題」 「資源問題」 「環境問題」

「外交問題」


「政治問題」

「貿易問題」 「特許問題」

「技術問題」

「産業問題」

「経済問題」



レアメタルの問題

東京大学 生産技術研究所 岡部 徹 (配付資料)

# そもそも、レアメタルとは・・・

The Periodic Table of the Elements

IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B	IB	II B	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	
1	2	Rare Metals										Elements studied at Okabe lab.				18
Rare Metals (Broad category)																10
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	
67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	
83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	
99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	
115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	
131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	
147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	
163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	
179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	
195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	
211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	
227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	
243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	
259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	
275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	
291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	
307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	
323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	
339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	
355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	
371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	
387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	
403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	
419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	
435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	
451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	
467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	
483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	
499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	
515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	
531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	
547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	
563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	
579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	
595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	
611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	
627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	
643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	
659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	
675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	
691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	
707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	
723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	
739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	
755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	
771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	
787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	
803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	
819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	
835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	
851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	
867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	
883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	
899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	
915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	
931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	
947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	
963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	
979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	
995	996	997	998	999	1000											

# レアメタルとは

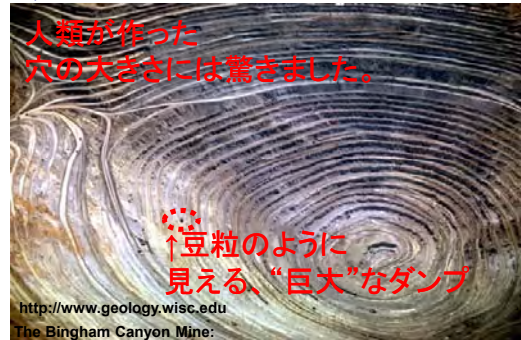
- ①資源的に、稀少な金属 (賦存量が少ない元素)  
→PGMs, In, Ga, Ta, Dy, ...
- ②資源的に豊富でも、メタルを得るのが困難な金属  
→Ti, Si, Mg, ...
- ③資源的に豊富でも、鉱床の品位が低い金属  
→Sc, V, ...

前述の定義以外にも、以下の定義を加える場合もある。

- ④ 高純度等、特異な形態で優れた機能を発揮する元素  
→超高純度鉄 (Fe), 高純度非鉄金属, ...
- ⑤ 少量、微量で特異な機能を発揮する元素  
(高付加価値を実現できる元素)
- ⑥ これまで用途が少なく、工業的には未開発である元素  
→オスmium (Os), アクチノイド, 超高純度金属, ...

# Bingham Canyon Copper Mine, Utah, USA

Cu



The Bingham Canyon Mine: an open-pit mine extracting a large porphyry copper deposit southwest of Salt Lake City, Utah, USA, in the Oquirrh Mountains.

# Chuquicamata open pit mine



# Morenci Copper Mine, Arizona, USA

Cu



Copper extracted by Solvent Extraction Electrowinning (SXEW)

**Araxá Niobium Mine, Araxá, Brazil** **Nb**

世界のNb資源の生産シェア80%  
→自動車の鋼板に利用される




Courtesy of CBMM

**Open-pit mining operation**  
Percentage: approximately 3.0%  $Nb_2O_5$   
Reserves for more than 400 years  
→ほぼ、無尽蔵!

13

**Lonmin's Eastern Platinum Mine, Newman incline shaft, South Africa** **Pt**


白金鉍石の採掘は大変!  
品位も数ppm




この部分がプラチナの鉍脈 (UG2) 地下800m

2007.1 1414

白金の鉍石の採掘は地中に垂直シャフトや斜坑を掘り、採鉍している。Platinum Mine



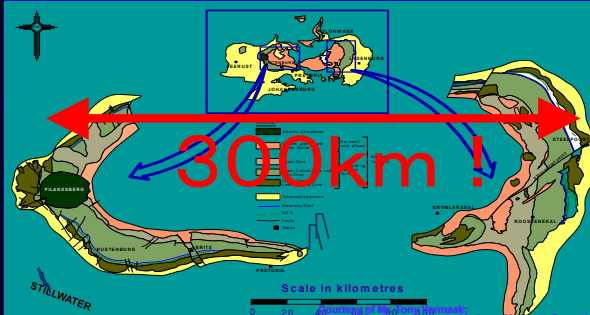
↑ PGM鉍脈の断面写真  
↓ PGM鉍脈の模式断面図



UG2 Reef 採掘深度が1000mを超えることもある

Merensky Reef

南アフリカの白金鉍山は巨大でまだまだ採掘できる




300km!

Scale in kilometres

071120\_PGM\_Mine\_Top\_South\_Africa.ppt  
Touji H. Okabe 2007/05/14 Trip to Johannesburg, South Africa

鉍石を採掘するため、ダイナマイトを仕掛けている




この部分がプラチナの鉍脈

この鉍脈の水平幅は100km以上ある

⑤

Platinum ore from South Africa

<b>メルンスキーリーフ</b>	<b>UG2</b>
	
Merensky reef 3.60 gPGM / ton ore	UG2 Chromatite 5.13 gPGM / ton ore

→白金を1トン生産するのに、100万トンの廃棄物が発生し膨大なエネルギーを消費する

From Lonmin Platinum Marikana Operations, January, 2007

071120\_PGM\_Mine\_Top\_South\_Africa.ppt  
Touji H. Okabe 2007/05/14 Trip to Johannesburg, South Africa

18

Titania and heavy mineral mine,  
Richards Bay, South Africa **TiO<sub>2</sub>**



砂山(Dune)に水をかければ簡単に採掘ができる。。。

2007.1

Dredge Mining at Richards Bay Minerals (RBM). 19

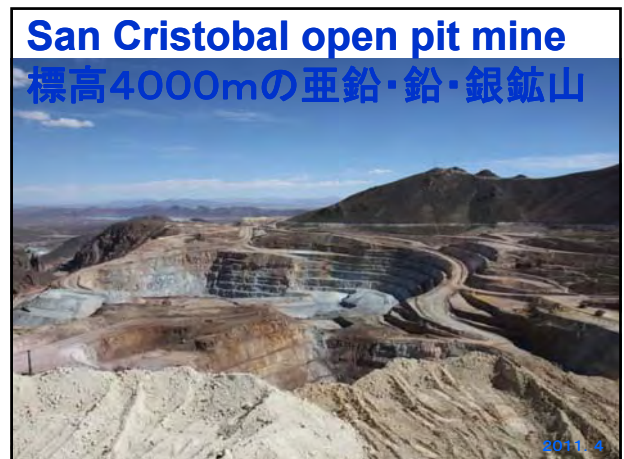
High purity silica mine,  
Tasmania, Australia **SiO<sub>2</sub>**



この鉱山も掘って洗って、粒度を揃えるだけで、高純度シリカの“製品”が出来上がる。。。

→液晶パネル向けの需要が拡大

<http://www.sumitomocorp.co.jp/english/business/unit/chemical/index.html>





Miracle of the earth  
地球がもたらした奇跡

コルタン (Coltan) :  
Columbite-Tantalite  
(Fe,Mn)(Ta,Nb)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>

高性能コンデンサの原料

26



レアメタルの鉱床の多くは、  
地球が生んだ“奇跡”であり、  
また、  
採掘に伴い貴重な自然環境を破壊し、  
製錬には多量のエネルギーを消費する。

28



高度循環社会の確立を  
目指した材料工学

循環資源立国への挑戦  
(その1) Rare Metals

レアメタルの環境調和型  
リサイクル技術の開発

30

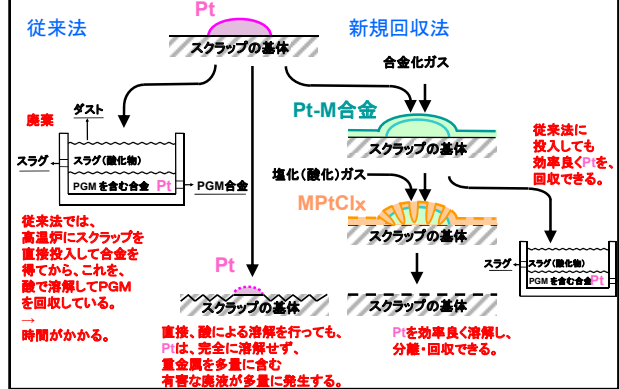
現在、岡部研で研究を進めている課題：

気相を介してコレクターメタルを供給し、  
PGMを合金化（抽出）後、  
気相を介して酸化（塩化）剤を供給し、  
易溶性の白金化合物に変換する  
新しいリサイクルプロセス

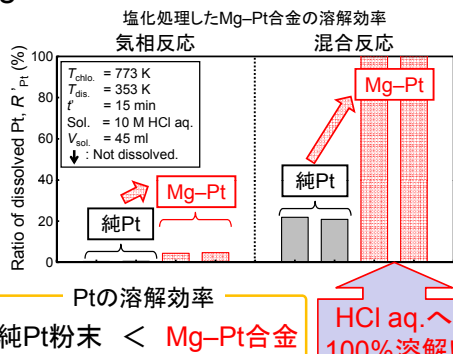
→基本的にガス反応を利用するので  
複雑な形状をしたスクラップからの  
貴金属の粗取りなどに適している。

31

### 白金族金属(PGM)を含むスクラップ処理の問題点と新規プロセスの特徴



### Mg合金化処理の溶解効率への影響



33

現在、岡部研で研究を進めている課題：

気相を介してコレクターメタルを供給し、  
PGMを合金化（抽出）後、  
気相を介して酸化（塩化）剤を供給し、  
易溶性の白金化合物に変換する  
新しいリサイクルプロセス

→基本的にガス反応を利用するので  
複雑な形状をしたスクラップからの  
貴金属の粗取りなどに適している。

34

将来的には、  
大型のプラントを必要とせず、

塩水や塩酸などで簡単に  
貴金属(Au, Pt, Rh...)が溶かせるような、  
環境調和型の  
画期的なリサイクルプロセスを開発したい

Institute of Industrial Science

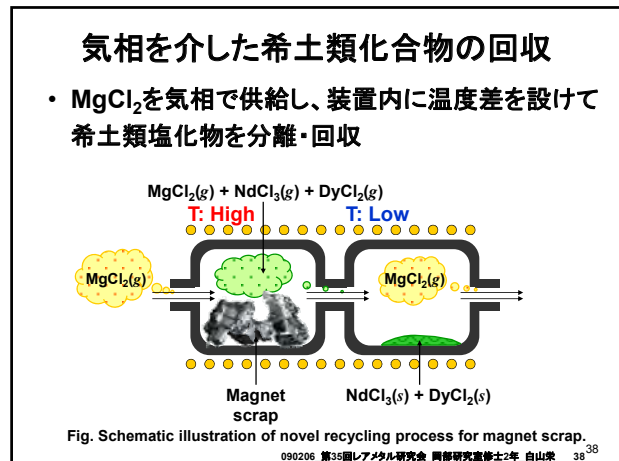
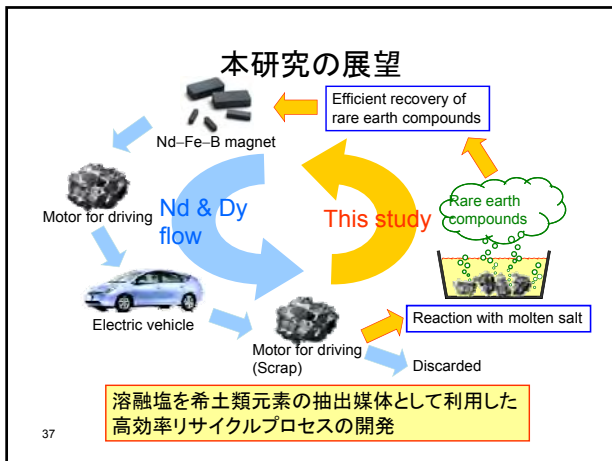
35

高度循環社会の確立を  
目指した材料工学

循環資源立国への挑戦  
(その2) Rare Metals

レアメタルの環境調和型  
リサイクル技術の開発

36



大雑把にいうと、自動車1台には、

金 (Au)	0.2 ~ 0.5 g (電子基盤)
銀 (Ag)	2 ~ 5 g (電子基盤)
銅 (Cu)	20 ~ 30 kg
	(HV: ~50 kg, EV: ~60 kg)
白金 (Pt)	0.5 ~ 2.5 g
パラジウム (Pd)	1.4 ~ 5 g
ロジウム (Rh)	0.2 ~ 0.6 g

が必要。

自動車技術ハンドブック  
10 設計 (EV・ハイブリッド) 編

新刊のお知らせ  
**自動車技術ハンドブック  
第10分冊 設計  
(EV・ハイブリッド) 編**

堀 洋一教授(東京大学)を編集委員長に迎え、電動車両の開発に携わっているスペシャリストの方々による執筆です。本書を読めば、最新の電動車両の技術動向や技術課題の全体像がみえます。

定価5,775円(税込)(会員割引あり)

自動車用のレアメタルとリサイクルについても書いてあります。

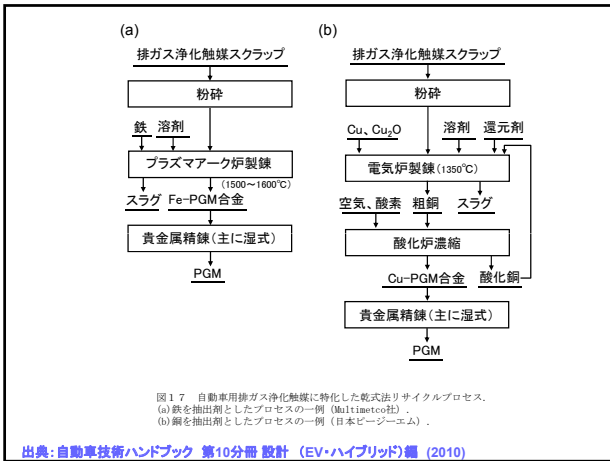
ちなみに、携帯電話1台には、

金 (Au)	0.02 ~ 0.1 g	(品位 300~2000 ppm)
銀 (Ag)	0.1 ~ 0.6 g	(品位 1000~8000 ppm)
銅 (Cu)	10 ~ 30 g	(品位 100,000~400,000 ppm)
白金 (Pt)	0.0002~0.002 g	
パラジウム (Pd)	0.008~0.07 g	

貴金属のリサイクル業者にとっては、スクラップ(主に基盤や触媒)に含まれる、

金 (Au)	(品位 100~2000 ppm)
銀 (Ag)	(品位 1000~8000 ppm)
銅 (Cu)	(品位 100,000~400,000 ppm)
白金 (Pt)	
パラジウム (Pd)	

の分析と評価が最も重要



**レアメタル便覧**

監修・編集代表:  
足立 吟也 大阪大学名誉教授

発行:丸善株式会社  
 B5判 1800ページ  
 3分冊(セット販売)  
 本体価格129,000円  
 ISBN 978-4-621-08276-8

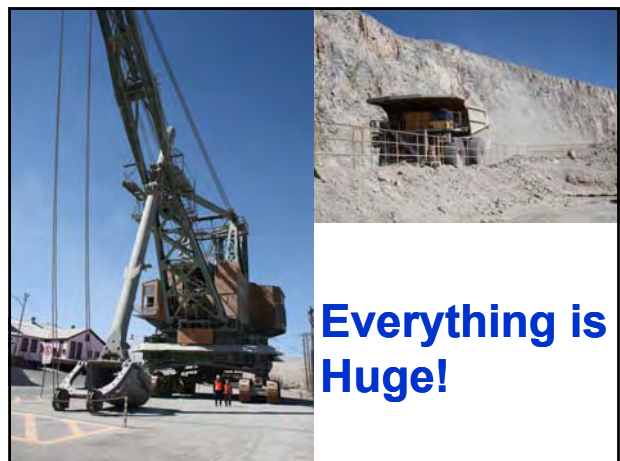
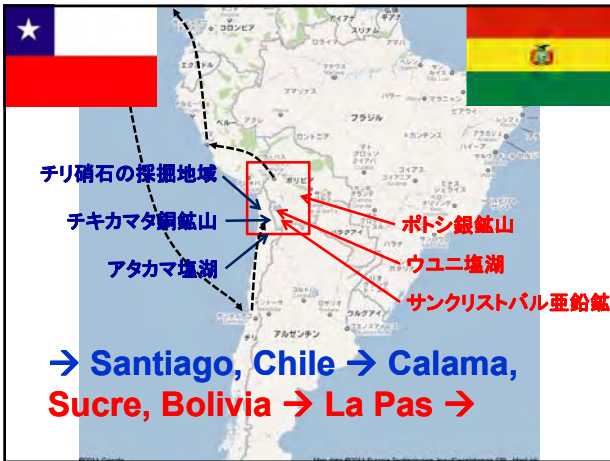
●レアメタルに関する資源、経済、環境、製造、応用、技術の詳細、データを網羅、集約した世界初のデータ集。

**6章 レアメタルの製造**

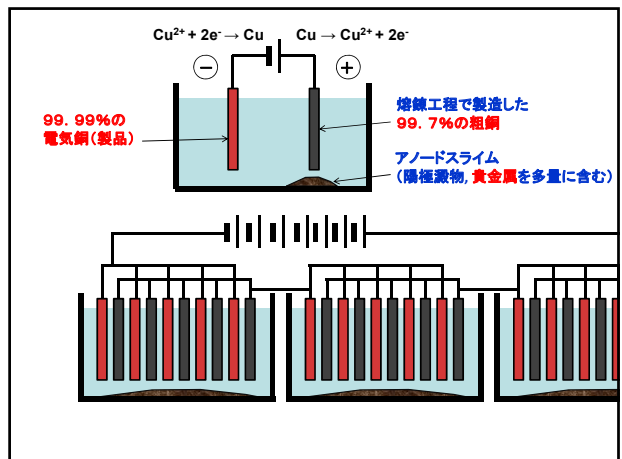
1族:アルカリ金属(Li, Na, K, Rb, Cs, Fr)/2 族(Be, Mg, Ca, Sr, Ba)/3 族(Sc, Y, ランタノイド)/4 族(Ti, Zr, Hf)/5 族(V, Nb, Ta)/6 族(Cr, Mo, W)/7 族(Mn, Tc, Re)/白金族元素(Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Os)/13 族(Ga, In, Tl)/14 族(Si, Ge)/15 族(As, Sb, Bi)/超高純度レアメタル/コモンメタルおよび周辺元素/溶媒抽出剤一覧/イオン交換樹脂一覧

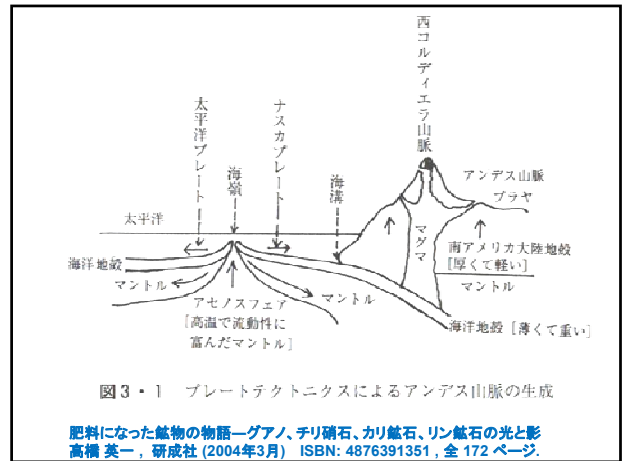
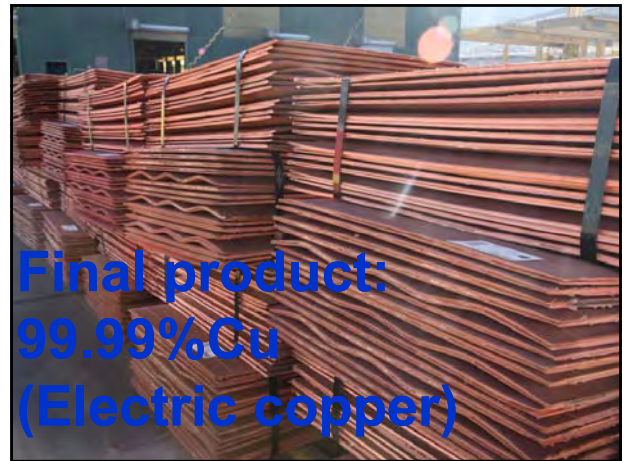
丸善株式会社

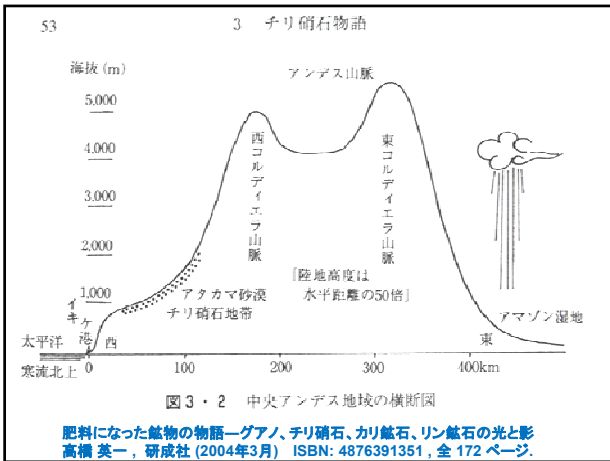
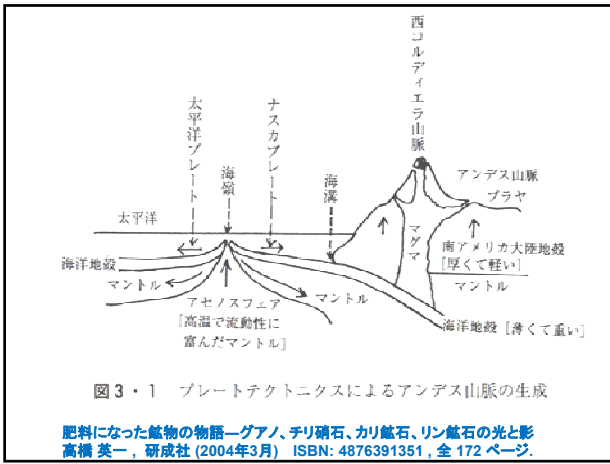
44











東京大学 生産技術研究所 岡部 徹 (配付資料)



**ボリビア多民族国**  
(Plurinational State of Bolivia)

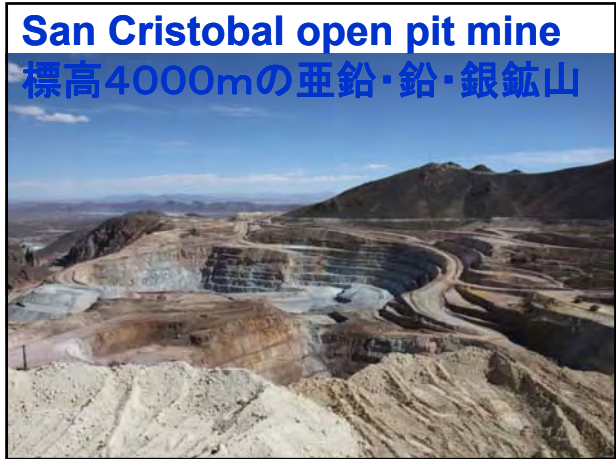
面積: 1,100千km<sup>2</sup> (日本の3倍)  
人口: 10.4千人 (2010年)  
首都: ラパス (憲法上はスクレ)

一人当たりのGDP: 1,900 US\$ (南米最貧国)

宗教: 国民の95%がローマ・カトリック  
日本との時差: 13時間

2011年3月28日、住友商事株式会社サンクリストバル・プロジェクト部 森永佳男氏、  
“ボリビア・サンクリストバル鉱山に於ける社会環境配慮について”、講演資料 他







東京大学 生産技術研究所 岡部 徹 (配付資料)

# ここから本題 ～レアメタル資源～

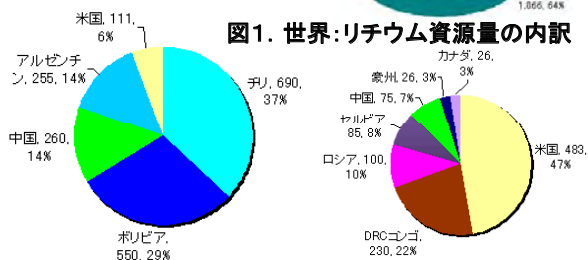
85

## ウユニ塩湖

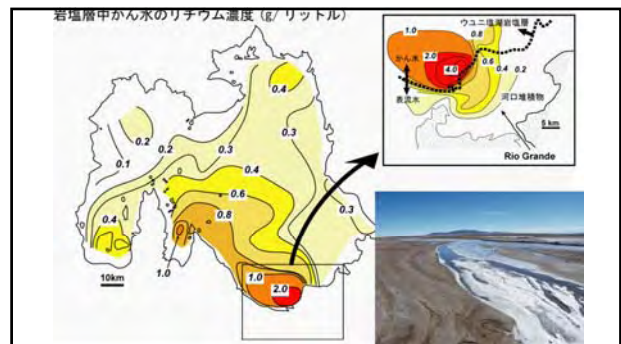
- 面積約1万km<sup>2</sup>以上,
- 雨期(1月～3月)以外, 塩湖南東部を除いてほぼ干上がっており, 白色の“塩”で覆われている.
- 干上がった湖面直下では, かん水が岩塩層中の空隙を満たすように分布している
- かん水中に含まれる金属資源量は, リチウムで900万トンの他, カリウム1億9千万トン, ポロン800万トン, 2億1千万トンのマグネシウムが推計されている (Risacher and Fritz, 1991)

(村上氏資料および, Risacher, F. and Fritz, B. (1991) Chemical Geol. 90, 211-224)

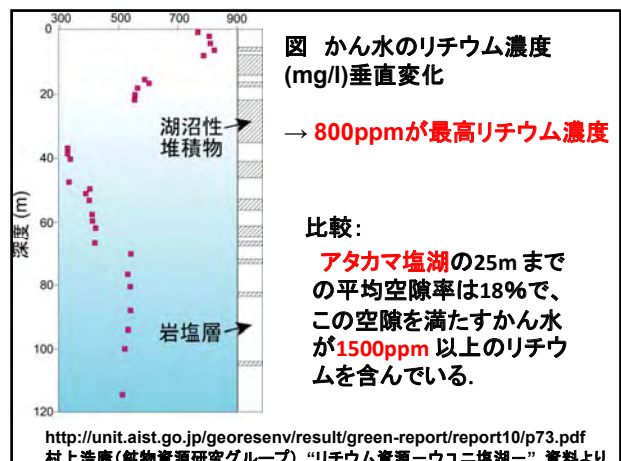
## リチウム資源



http://www.iogmsec.go.jp/mrhc\_web/current09\_21.html  
平成21年4月23日 2009年21号  
リチウムの資源と供給-Lithium Supply & Markets Conference 2009(LSM'09)参加報告  
<サンシャイゴ事務所 大野克久 報告>



http://unit.aist.go.jp/georesenv/result/green-report/report10/p73.pdf  
村上浩康(鉱物資源研究グループ), “リチウム資源—ウユニ塩湖—”, 資料より



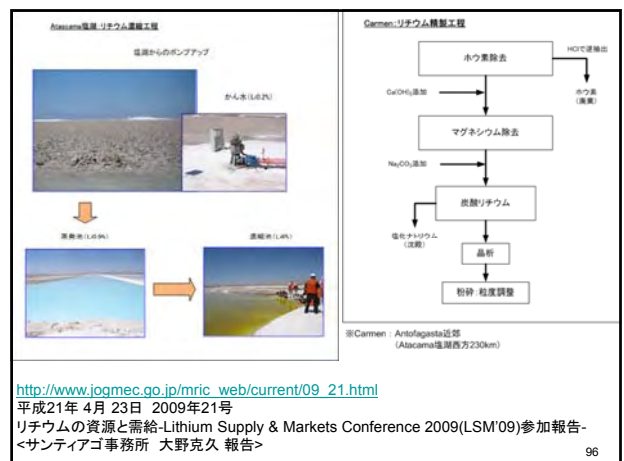


## ウユニ塩湖とアタカマ塩湖

アタカマ塩湖では湖面から35m まで連続する岩塩層に空隙が認められ、25m までの平均空隙率は18%である。この空隙を満たすかん水が1500ppm 以上のリチウムを含んでいる。

ウユニ塩湖では空隙率の高い岩塩層は湖面下11m しかない。かん水中のリチウム濃度は、最上位の岩塩層で800ppm、湖面下20m のかん水では500ppm 程度と低い。→ 空隙率の高い岩塩層の層厚が薄く浅部での連続性が悪い、リチウム濃度が低くMg 濃度が高い、という点で経済性に不利。

<http://unit.aist.go.jp/georesenv/result/green-report/report10/p73.pdf>  
村上浩康(鉱物資源研究グループ)，“リチウム資源-ウユニ塩湖-” 資料より



東京大学 生産技術研究所 岡部 徹 (配付資料)





**(雨が少ない)乾燥気候、太陽、風**

**Pedro de Valdivia鉱山、Maria Elena鉱山**  
**Nitratine (or nitratite, soda niter or Chile saltpeper: チリ硝石)**  
 →硝酸ナトリウム(NaNO<sub>3</sub>), ヨウ素化合物...

**アタカマ塩湖(Salar de Atacama)**  
**Brine (かん水:塩分の濃い塩水)**  
 →塩化カリウム(KCl), 塩化リチウム(LiCl), ホウ素化合物(M<sub>2</sub>BO<sub>3</sub>), 硫酸カリウム(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 塩化マグネシウム(MgCl<sub>2</sub>), 食塩(NaCl)

↓

**硝酸塩を低いコストで製造できる**

↓

**カリウム塩・リチウム塩を低いコストで濃縮できる**

**(雨が少ない)乾燥気候、太陽、風**

**Pedro de Valdivia鉱山、Maria Elena鉱山**  
**Nitratine (or nitratite, cubic niter, soda niter or Chile saltpeper: チリ硝石)**  
 →硝酸ナトリウム(NaNO<sub>3</sub>), ヨウ素化合物...

**アタカマ塩湖(Salar de Atacama)**  
**Brine (かん水:塩分の濃い塩水)**  
 →塩化カリウム(KCl), 塩化リチウム(LiCl), ホウ素化合物, 硫酸カリウム(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 塩化マグネシウム(MgCl<sub>2</sub>), 食塩(NaCl)

↓

**NaNO<sub>3</sub> + KCl → KNO<sub>3</sub> + NaCl**

↓

**硝酸カリウム(KNO<sub>3</sub>)**  
 →肥料等(主力製品)  
 ヨウ素(I<sub>2</sub>) (世界シェアの33%)  
 → 医療用化学品等

↓

**2 LiCl + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> → Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 2 NaCl**

↓

**炭酸リチウム(Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), 水酸化リチウム(LiOH)**  
 →ガラス、電池の材料(副産物)  
 ホウ酸(H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub>), 塩化カリウム(KCl), 硫酸カリウム(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 塩化マグネシウム(MgCl<sub>2</sub>)

◎ **アタカマ塩湖が有利な点:**

雨が少ない・風が吹く  
 →乾燥に適している  
 →水分の蒸発・濃縮のコストが低い  
 場所によっては不純物が少ない、かん水が得られる

× **リチウム製錬の問題点:**

自然の力を利用するため、蒸発・濃縮にかかる  
 →数ヶ月のプロセス時間が必要  
 雨(とくにボリビアなど、雨季のあるところは不利)  
 →蒸発乾燥・濃縮に不利→別の**新技術が必要**  
 不純物(多くの塩湖はMg濃度が高い)  
 →Mgなどの不純物は、高純度化にコストがかかる  
 化学薬品の製造コストや輸送コスト  
 →炭酸ナトリウム(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)は、現地調達できない?

表5 代表的なリチウムイオン電池製品のリチウム原単位(概数)。

製品	リチウム原単位 (kg/台)	炭酸リチウム原単位 (kg/台)
HV	0.225	1.2
EV	4.5	24
携帯電話	0.00075	0.004
パソコン	0.0135	0.070

**EV 1台つくるのに、2トン以上のかん水(0.2%Li)を掘り出す必要がある!**

101

**走るレアメタル**

東京大学 生産技術研究所 岡部 徹

Institute of Industrial Science

102

### レアメタルの用途別分類

- ① 電子材料レアメタル
  - 半導体 (Si, Ge, GaAs)
  - 各種電子材料 (In, Ta, Li, Ba, Sr, ...)
- ② 合金用レアメタル
  - 工具用特殊合金 (W, Co, Ta, ...)
  - 鉄鋼添加用 (V, Cr, Mo, Nb, ...)
- ③ 航空・宇宙材料用レアメタル (空飛ぶレアメタル)
  - 航空機材料 (Ti, Ni系合金, Al-Si合金, ...)
- ④ 自動車用レアメタル (走るレアメタル)
  - 合金添加元素 (Mo, V, Nb, Ti ...)
  - 磁石材料 (Nd, Dy, Sm, Co)
  - 触媒 (Pt, Pd, Rh, ...)
- ⑤ 原子力レアメタル
  - 原子炉用材料 (Zr, Hf, 特殊合金...)
  - 放射性廃棄物 (PGMs ...)
- ⑥ 医療・生体用レアメタル
  - 生体材料 (Ti, Nb, Ta, ...)
  - 医薬品・健康食品

今後、  
一層発展する  
レアメタル



103

<b>鉄鋼部材 (特殊鋼・ハイテンなど)</b> → 合金添加元素 (Cr, Mn, Mo, V, Nb, Ti ...) <b>モータ類</b> → 磁石材料 (Nd, Dy, Sm, Co, Tb ...) 現在、100個以上のモータが1台の車に使われている ハイブリッド車や電気自動車には、多量のNdやDyが必要	<b>排気ガス浄化触媒</b> → 白金族金属 (Pt, Pd, Rh, ...) <b>電池</b> → ニッケル水素電池 (Ni, Co, ...) → リチウムイオン電池 (Li, Co, ...) → 燃料電池の触媒や電極 (Pt, ...) <b>照明</b> → LEDライト (Ga, In, ...) → ハロゲンランプ (Sc, ...) <b>液晶ディスプレイ</b> → 透明電極 (In, ...) <b>電子基板・センサ等</b> → トランジスタ (Si, Ge, Ga, In, ...) → コンデンサ (Ta, Ag, Pd, ...) → 抵抗 (Ru, Pd, ...) → 電極 (Au, Ag, Pt, Pd, ...) → はんだ (In, Ga, Bi, ...)
--	---

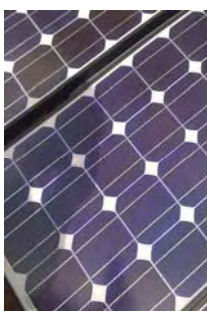


http://shop.fsystem.co.jp/toyota/

自動車の製造時にも多くのレアメタルが使われる  
 → 工具用特殊合金 (W, Co, Ta, ...)  
 → 工作ロボット用のモータ (Nd, Dy, Sm, ...)  
**未来の車にはさらに多くのレアメタルが使われる**  
 → 超長寿命・軽量材料 (Ti, Sc...)

104

図4 自動車に使われるレアメタル (走るレアメタル) の一例。

<b>結晶シリコン系太陽電池</b> → シリコン (Si) → 電極材料 (Ag, In ...) 	<b>CdTe太陽電池</b> → カドミウム、テルル (Cd, Te, ...) <b>色素増感型太陽電池</b> → ルテニウム (Ru) <b>CIS/CGIS太陽電池</b> → ガリウム、インジウム (Ga, In, ...) <b>電極・導線・接点</b> → 電極材料 (Ag, Au, ...) → 透明電極 (In, Zn, ...) <b>制御・変換 (インバータ)</b> → 透明電極 (Si, Ga, As, ...) <b>電池・蓄電</b> → ニッケル水素電池 (Ni, Co, ...) → リチウムイオン電池 (Li, Co, ...) → 燃料電池の触媒や電極 (Pt, ...) <b>送電</b> → 導電材料 (Cu, Ag, Al ...) → 超伝導材料 (Nb, Ti, Sn, Bi, Sr, ...) <b>未来の太陽光発電システムにはさらに多くのレアメタルが使われる</b> → 発電、蓄電、送電、インバータ...
--	--

105

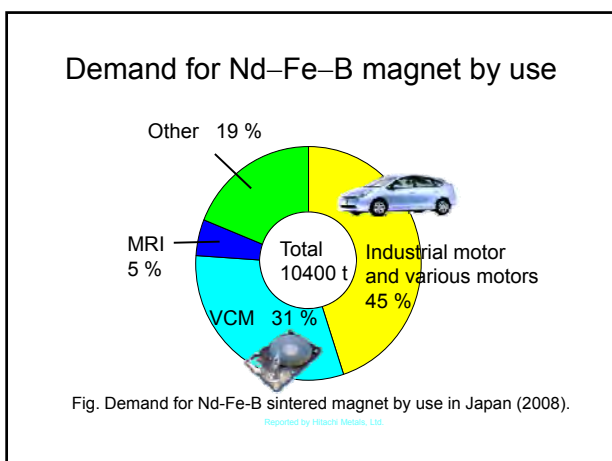
図5 太陽光発電に使われるレアメタル (エネルギー関連レアメタル) の一例。

高性能モータ、  
蓄電池、各種制御器、  
センサー、ライトなど。

## ハイテク機器や太陽電池は レアメタルの塊

### 太陽光発電 & プラグインハイブリッド (or 電気自動車) が普及すると 膨大な量のレアメタルが必要となる。

106



ハイブリッドカーや燃料電池自動車など、「走るレアメタル」が本格的に普及すると、「桁違いの量」のレアメタルが必要となる。

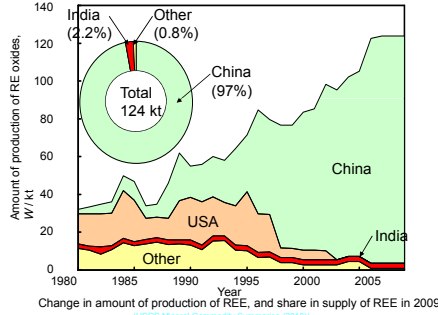
レアメタルの新しい製造技術の開発、高効率リサイクル技術の開発など、今後も、日本が世界をリードしなくてはならない課題は多い。

108

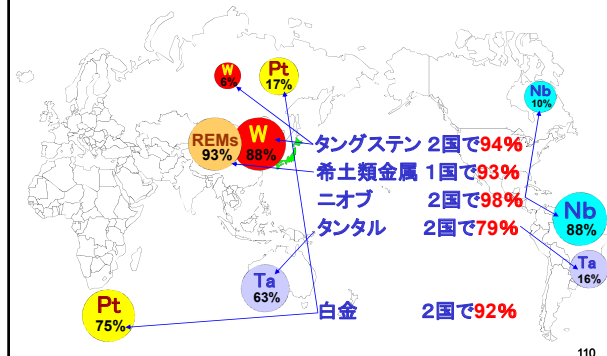
### 希土類元素の供給上の課題

中国の優良な鉱床・安価な労働力・緩慢な環境規制

→ 希土類生産が中国に独占されている



### レアメタルの生産地域の偏在



希土類元素 (Rare earth elements, REE)

金、銀、銅を「銅族元素」とし、需要や価格、希少性について、まとめて議論できない。  
同様に、REEも「ランテッド元素」である。

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sb	Te	I	Xe	
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb		
Lu															

図 周期表における希土類元素。軽希土と重希土の分類については、厳密な定義がなく、文献によって分類が異なる。資源的に豊富なLa-Ndまでを軽希土と呼び、それ以外を中・重希土と呼ぶのが実用的である。

### 用途や需要については、レアアースとまとめて一語で議論できない。

資源的に豊富な、ランタン(La)、セリウム(Ce)、ネオジウム(Nd)、資源的に希少な、ジスプロシウム(Dy)、テルビウム(Tb)、ユーロピウム(Eu)、など、レアアースの資源量は大きな差がある。

さらに、需要や用途は、それぞれの元素によって大きく異なる。

スカンジウム(Sc)以外は、鉱石としてはまとめてでることが多い。

### 希土類資源

代表的な希土類鉱物の組成と中国の生産量(2007)

バストネサイト (77.3 kt): Ce: 50%, La: 25%, Nd: 16.7%, Pr: 5.1%, その他: 2.3%

イオン吸着鉱 (31.7 kt): Y: 65.8%, Dy: 6.8%, Gd: 7.0%, Sm: 2.8%, Nd: 3.0%, La: 1.8%, その他: 11.7%

○ 軽希土に富む (La, Ce, Pr, Nd)  
○ 重希土に富む (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb)  
○ 放射性元素を含まない  
× U, Th を含む  
○ 世界的に広く分布  
× 稀少で特殊な鉱物  
× 中国に局在

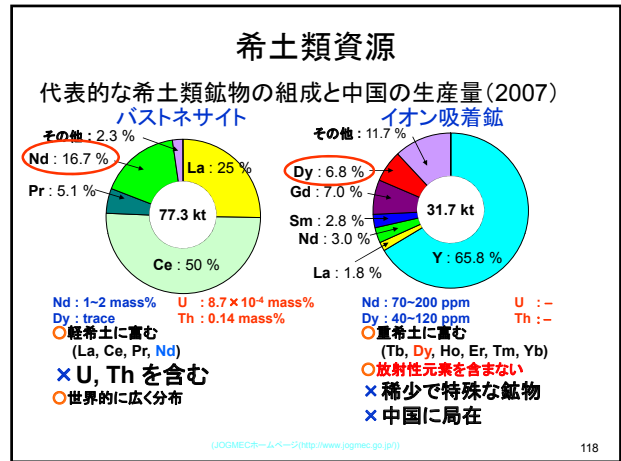
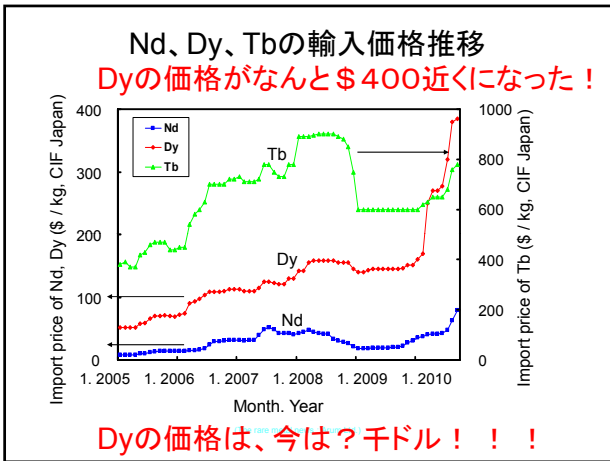
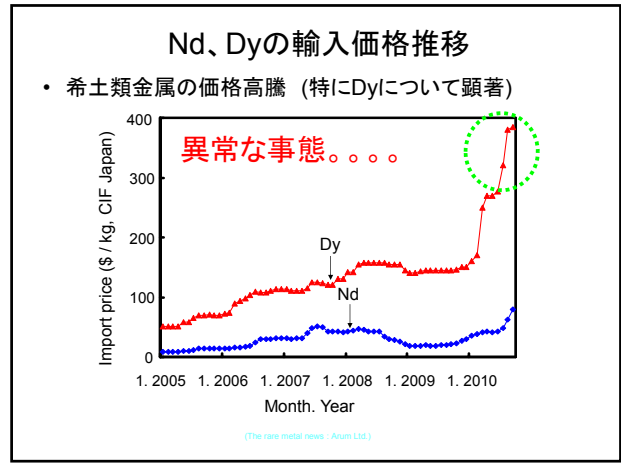
### ネオジウム磁石のすべて

—レアアースで地球(アース)を守ろう—

佐川真人 監修

2011年4月30日 初版1刷  
ISBN 978-4-901496-58-2 C3054  
発行 アグネ技術センター  
A5判・並製/約200頁/定価 2,940円

1. はじめに  
2. 資源的に豊富なNdを使った磁石の大躍進  
3. レアアースの資源と2010年の現状  
4. レアアースが抱える問題点と必要な対策  
5. ハイテク機器のレアアースの使用原単位やマテリアル  
6. レアアースのリサイクル  
7. レアアースの使用量低減および代替技術の開発  
8. おわりに

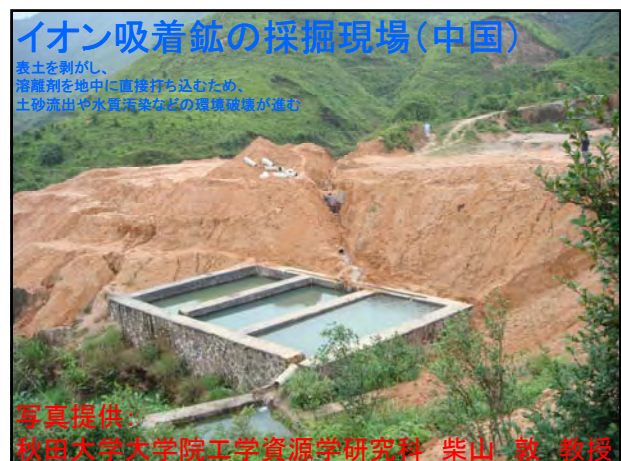


### 主な鉱石中のNd、Dy品位

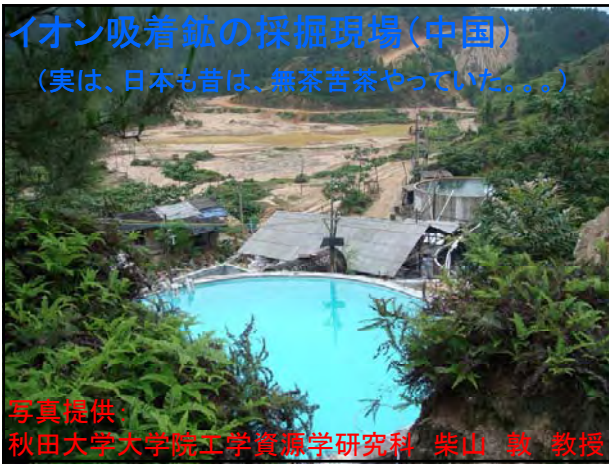
鉱石 探掘場所	イオン鉱 竜南 (中国)	バストネサイト		モナザイト
		バイユンオボ (中国)	マウンテンパス (アメリカ)	マウントウエルド (オーストラリア)
鉱石中のREO品位(wt%)	0.05~0.2	8.00	8.90	11.20
REO中の品位(wt%)				
	Nd	3.00	18.50	12.00
	Dy	8.70	0.10	trace
鉱石中の品位(wt%)				
	Nd	0.0015~0.006	1.11	1.068
	Dy	0.00335~0.0134	0.006	trace
				0.0224

主な鉱石中のDyの絶対品位は極めて低い

(右原稿三、村上英博、レアース資源を供給する鉱床タイプ、地質ニュース524号、10-24、(2008)  
 (USGS Mineral Commodity Summaries (2010))



東京大学 生産技術研究所 岡部 徹 (配付資料)



ハイブリッド車や電気自動車に不可欠な、高性能・高出力モータには、  
**約1.3kgの希土類(レアース)合金磁石(Nd-Fe-B磁石)が必要**

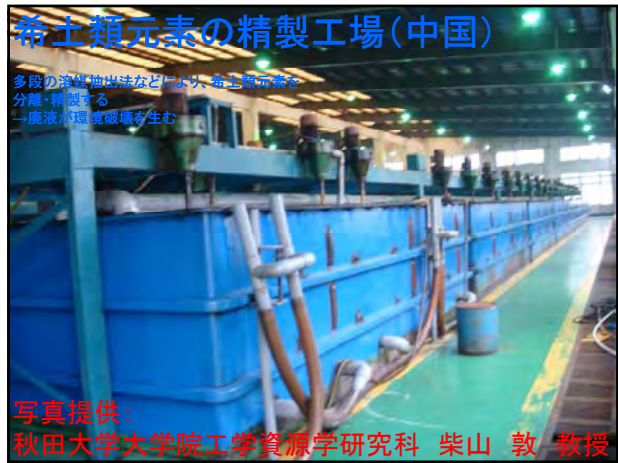
約1.3kgの希土類合金磁石には、  
 21(～26)%のネオジム(Nd)と  
 10(～5)%のジスプロシウム(Dy)  
 が含まれる。(残りは、鉄とボロン)  
 →耐熱性が要求されるモータには、**多くのジスプロシウムが必要**

ネオジムの 磁石品位は、約1% (バストネサイト)  
 ジスプロシウムの 磁石品位は、0.01%～0.003% (イオン吸着鉱)

高性能モータには、  
 ネオジム 約0.27kg 磁石換算で、31kg  
 ジスプロシウム 約0.13kg **磁石換算で、1～4トン**  
 (1磁石に直接、溶融剤を打ち込むので、磁石は動かない)

が必要。したがって、  
 上記モータ一つを作るのに、最低でも、1トン以上の磁石が必要となる。  
 また、採掘には、**環境を破壊する。**

車の車体重量より、はるかに多くの量の**貴重な磁石を処理していることになる。**



東京大学 生産技術研究所 岡部 徹 (配付資料)

## 世界最大のBayan Obo鉱山(中国)

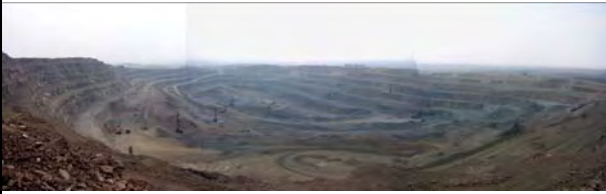


図1(a) 中国・内モンゴル自治区のバイヤンオボ鉱山。中国の内モンゴル自治区に位置するバイヤンオボ鉱山の露天採掘場。バイヤンオボ鉱山は、主に鉄を採掘している鉱床であり、レアアースは副産物として生産されている。この鉱床は、La, Ce, Ndなどの軽希土に富む鉱床である。レアアース生産量及び埋蔵鉱量ともに世界最大で、現在もこの鉱床が世界のレアアース生産を牽引している。(産業総合技術研究所 村上浩康主任研究員撮影・提供, 2005年8月撮影)

## かつて世界最大だった Mountain Pass 鉱山(米国)

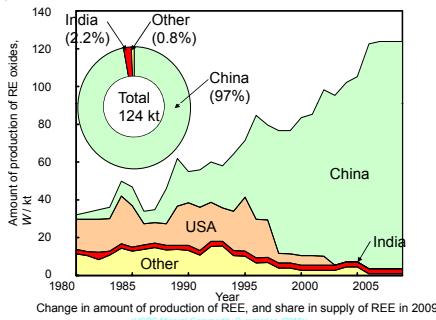


図1(b) 米国・カリフォルニア州に位置するマウンテンパス鉱山の露天採掘場。この鉱床は、La, Ce, Ndなどの軽希土に富むことを特徴とする。この鉱床の存在により、1966年から1985年の間、アメリカは世界のレアアース生産大国として君臨していた。1980年代後半から、大量のレアアース資源を持つ中国との価格競争の結果、2002年以降採掘を中止していた。近年の価格高騰や中国の資源独占状態を背景に、マウンテンパス鉱床での鉱石・精鉱の生産が2011年から再開される見通しとなっている。(産業総合技術研究所 村上浩

## 希土類元素の供給上の課題

中国の優良な鉱床・安価な労働力・緩慢な環境規制

→ 希土類生産が中国に独占されている



最近のレアアースの事例をみていると中国にレアメタルを持ち込むのは止めておいた方が良くと思われる。

希少性と偏在性が高いレアメタルは1年以上、備蓄しておくべき

複数のレアメタル鉱山の健全な開発と発展が望まれる。

## 世界最大のBayan Obo鉱山(中国)

産総研・地図資源環境部門の村上浩康氏撮影(ウェブより引用)



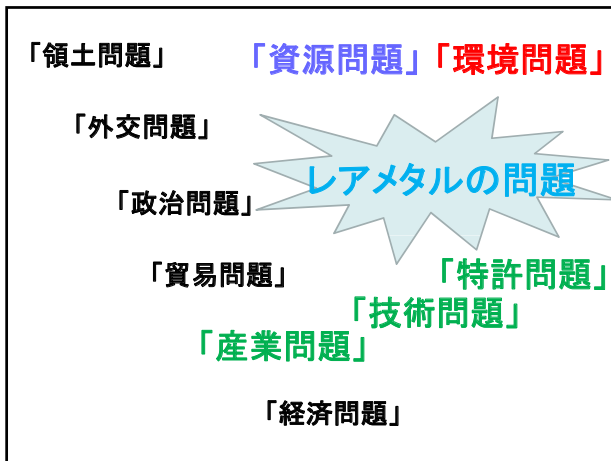
かつて世界最大だった Mountain Pass 鉱山(米国)

## 希土類磁石生産の将来展望と課題

- 電気自動車の普及により、Nd磁石の産業用モータとしての需要・生産量が飛躍的に増大する
- 自動車スクラップから発生する多量の磁石スクラップが断続的に廃棄される



- Dyは資源的に希少である
- Ndを磁石から生産する際には環境汚染を伴う
- 重希土類の優良な鉱床が中国に局在している



**レアメタル→稀少金属→枯渇**

最近の報道をみていると、レアメタルは枯渇するのでは？と心配になってくる。。

**ポイント: その1**      インジウム(In)  
ガリウム(Ga)  
ルテニウム(Ru)

副産物のレアメタルは、主産物が生産される限り生産される

枯渇の心配は少ない

ただし、主産物の製造量に依存するので急激な増産も困難

需要の変動により価格が大きく変化する

**ポイント: その1 (追加)**      コバルト(Co)  
スカンジウム(Sc)

副産物のレアメタルは、主産物が生産される限り生産される

→最近、電池材料としてコバルト(Co)を“使わない”技術開発が重要視されているが、私だったら、逆に、コバルトを“ジャンジャン使う”技術開発を(も)行う。

→、なぜなら、ニッケル(Ni)製錬が発展すると、長期的には多量のコバルト(Co)が副産物として生産される。

**ポイント: その2**

レアメタルは本当に枯渇するのか？

当分はしない。

とくに白金族金属は資源的にはまったく心配はない。

レアメタル→稀少金属→枯渇の構図は、偏見あるいは誤解、情報操作によるものが多い。

**ポイント: その3**

レアメタルに関する懸念事項は、供給障害

供給障害の主な要因:

- 投機(買占めなど)
- 事故(鉱山や製錬所の事故・物流障害)
- 政策(資源ナショナリズムの台頭)
- 枯渇(優良鉱山の枯渇)
- その他

供給障害の“懸念”は、レアメタルの価格を激しく変動させる

## レアメタル対策

### 海外資源の確保

- 供給先の多様化
- 備蓄(と市場の安定化機構の整備)
- 十分な量の備蓄 (現状は論外)

### リサイクル

- 日本が世界に貢献できる分野
- 代替材料の開発、使用量削減技術の開発
- 日本が世界に貢献できる技術分野

### 人的資源の育成

- もっとも重要。特に技術開発分野では。。
- 多角的、長期的な取り組みが必要

レアメタルの鉱床の多くは、

地球が生んだ“奇跡”であり、

また、

採掘に伴い貴重な自然環境を破壊し、

製錬には多量のエネルギーを消費する。

140



## Value of nature について

(a) 現在の経済原理によるレアメタルの(見かけ上の)価値

(b) Value of Nature を考慮したレアメタルの価値

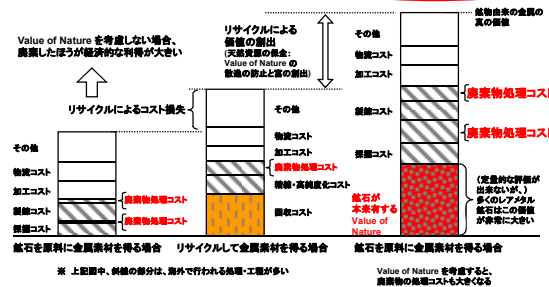


図4. 金属原料の価値の考え方。(現在の社会システムではValue of Natureについて考慮されていない。)

現在の社会システムの最大の問題は、

レアメタルをはじめとする

地球が生んだ“奇跡”の産物である

鉱物資源の価値があまりに低く評価され、

タダ同然で採掘され、

消費されている点である。

Value of nature について、もっと真剣に

考えるべきである。

143

東京大学 生産技術研究所 岡部 徹 (配付資料)