

総合資源エネルギー調査会 資源・燃料分科会 鉱業小委員会

希土類(レアース)産業が直面した問題とその対応

平成26年6月5日

(一社)新金属協会・希土類部会

多岐にわたるレアアースの機能と用途① / 機能性素材として高い重要性

- 希土類(レアアース)とは、元素周期表の第3族に属するスカンジウム、イットリウムにランタノイドの15元素を加えた17元素の総称である。ランタノイドの15元素は、原子を構成する電子軌道に「4f軌道」という特徴的な電子軌道を有するため、化学的な性質が類似するほか、優れた光学特性や磁気特性などを発現するという特徴がある。
- 上記のような特徴を有するため、ガラス・セラミックス、化学産業、鉄鋼業、エネルギー産業、機械産業、電気電子機器産業、光学精密機器産業、医療機器産業など、極めて広範な範囲で利用されている。

希土類(レアアース)の種類と主な用途

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
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 硫黄	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 ルテチウム	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 オスマニウム	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 ボン
7	87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	89 ~ 103アクチノイド	104 Rf ラザフォージウム	105 Db ドブニウム	106 Sg シーボーギウム	107 Bh ホーリウム	108 Hs ハッシュウム	109 Mt マイトネリウム	110 Ds ダームスタチウム	111 Rg レントゲニウム							

「レアアース」という名称とは裏腹に地殻存在比は、鉛や錫などよりも概して高い。

4f電子に起因する性質を利用した用途

光磁気記録材料、MRI造影剤、永久磁石、磁気冷凍、磁気センサ、磁歪材料、超伝導材料、蛍光体、光増幅ファイバー、赤外線レーザー、ガラス着色剤、熱電変換材料等

イオン半径、電荷、外殻電子の状態、化学的性質等、原子の外殻構造に起因する性質を利用した用途

触媒(ブタジエン重合、インテリジェント触媒、CO酸化、炭化水素酸化)、蛍光体、センサ(酸素、フッ素イオン、SO₂)、燃料電池(酸化物形電解質、空気極)、サーミスタ、セラミックキャパシタ、圧電体、光ファイバー、ガラス消色剤、紫外線吸収剤、蓄電池(水素吸蔵合金)、電子ビーム陰極材料、高温超伝導材料、ガラス研磨剤、マイクロ波吸収体、光アイソレータ、ハードディスク、多価イオン固体電解質、原子炉材(遮蔽材)、高輝度ハライドランプ 等

ランタノイド	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 ユロプrium	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	89 Ac アクチニウム	90 Th トリウム	91 Pa プロアクチニウム	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 アインシュタインウム	100 Fm フェルミウム	101 Md メンデレヴィウム	102 No ノーバエリウム	103 Lr ローレンシウム

軽希土類 / その他希土類
重希土類

(注) 上段: 原子番号、中段: 元素記号、下段: 元素名

(注) 原子番号64のGdから71のLuに原子番号39のYを加えたものは「重希土類」と称され、産出量が少ない傾向にある。

多岐にわたるレアアースの機能と用途② / 各種産業における付加価値の源泉

各種産業と主な用途	4f電子スピンの配列による特性	4f電子遷移による特性	4f準位から伝導体への電子励起	化学的性質	イオン半径、電荷による性質	結晶構造特異性	外殻電子の励起	その他
石油化学産業	触媒(ブタジエン重合、CO酸化、炭化水素酸化)				●			
窯業・土石産業	ガラス着色剤			●				
	紫外線吸収剤	●						
	ガラス研磨剤					●		
	セラミックス添加剤			●	●			
鉄鋼・非鉄金属産業	脱硫・還元剤			●				
一般機械産業	永久磁石(希土類磁石、フェライト磁石添加剤)	●						
	電子ビーム陰極材料		●					
電気電子機器産業	光磁気記録材料	●						
	赤外線レーザー		●				●	
	蛍光体		●				●	
	磁気冷凍	●						
	熱電変換材料			●				
	磁気センサ	●						
	永久磁石(希土類磁石、フェライト磁石添加剤)	●						
	サーミスタ					●		
	セラミックキャパシタ						●	
	圧電体						●	
	蓄電池(水素吸蔵合金)						●	
	電子ビーム陰極材料		●					
	マイクロ波吸収体						●	
	光アイソレータ						●	
ハードディスク	●							
自動車産業	永久磁石(希土類磁石、フェライト磁石添加剤)	●						
	蓄電池(水素吸蔵合金)						●	
	電子ビーム陰極材料		●					
	高輝度ハイドランプ		●					
	磁気センサ	●						
	センサ(酸素)					●		
	触媒(助触媒、インテリジェント触媒)					●		
光学・精密・医療機器産業	レンズ			●				
	プリズム			●				
	磁歪材料	●						
	センサ(酸素、フッ素イオン、SO ₂)					●		
	MRI造影剤						●	
	光ファイバー					●		
	光アイソレータ						●	
X線シンチレータ		●						
エネルギー産業	超伝導材料	●						
	燃料電池(酸化物形電解質、空気極)				●	●		
	多価イオン固体電解質					●		
	原子炉材(遮蔽材)							●
その他	ライター石			●				

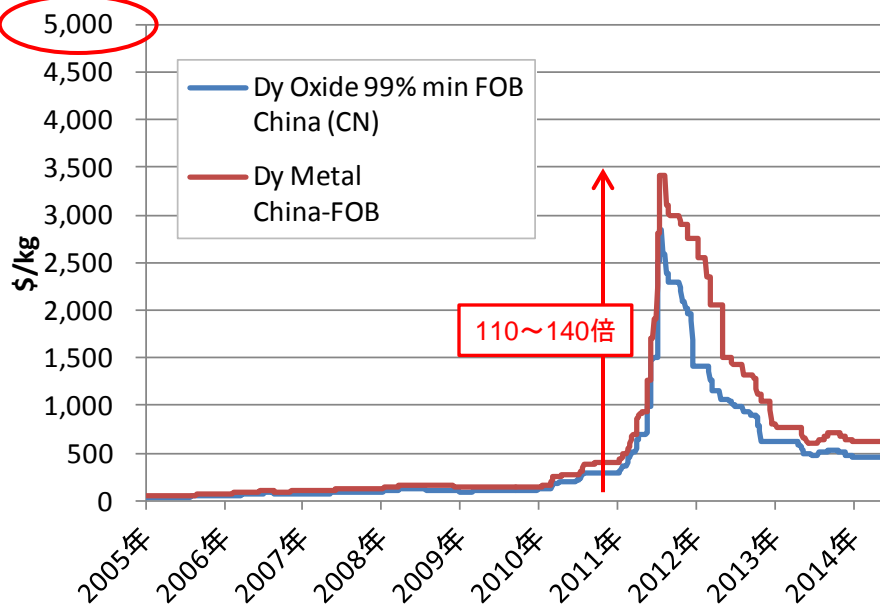
(出所) 足立吟也監修「希土類の材料技術ハンドブック」等から三菱UFJリサーチ&コンサルティング作成

一般社団法人新金属協会希土類部会

資源供給の偏在性や市場流通が少ないことによる相場の乱高下

- 世界最大のレアアース供給国である中国が実質的な禁輸措置を実施するまで、比較的相場は安定していたものの、**供給障害が発生したことに加え、いくつかの要因が重なり**、重希土類（以下グラフの左側にジスプロシウムの例）、軽希土類（同右側にセリウムの例）ともに相場が短期間のうちに暴騰し、平時の数10倍～100倍近くとなった。
- 急速な相場暴騰の結果、調達コストが上昇し、調達に要するキャッシュが急激に膨れ上がっただけでなく、製品へのコスト転嫁も同じスピード感で求められるようになった。
- その後、相場は急速に下落したことから、相場暴騰時に契約した在庫の時価評価額を大幅に縮小せざるを得ず、多額の損失計上をせざるを得ないケースがあった。

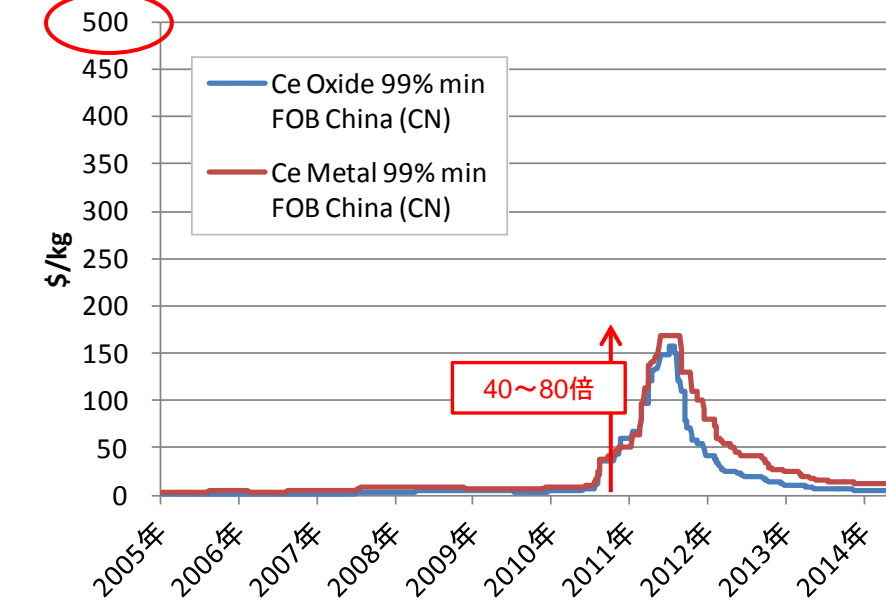
重希土類(Dy)と軽希土類(La・Ce)の価格差推移(2005～)



(出所) メタルページズ

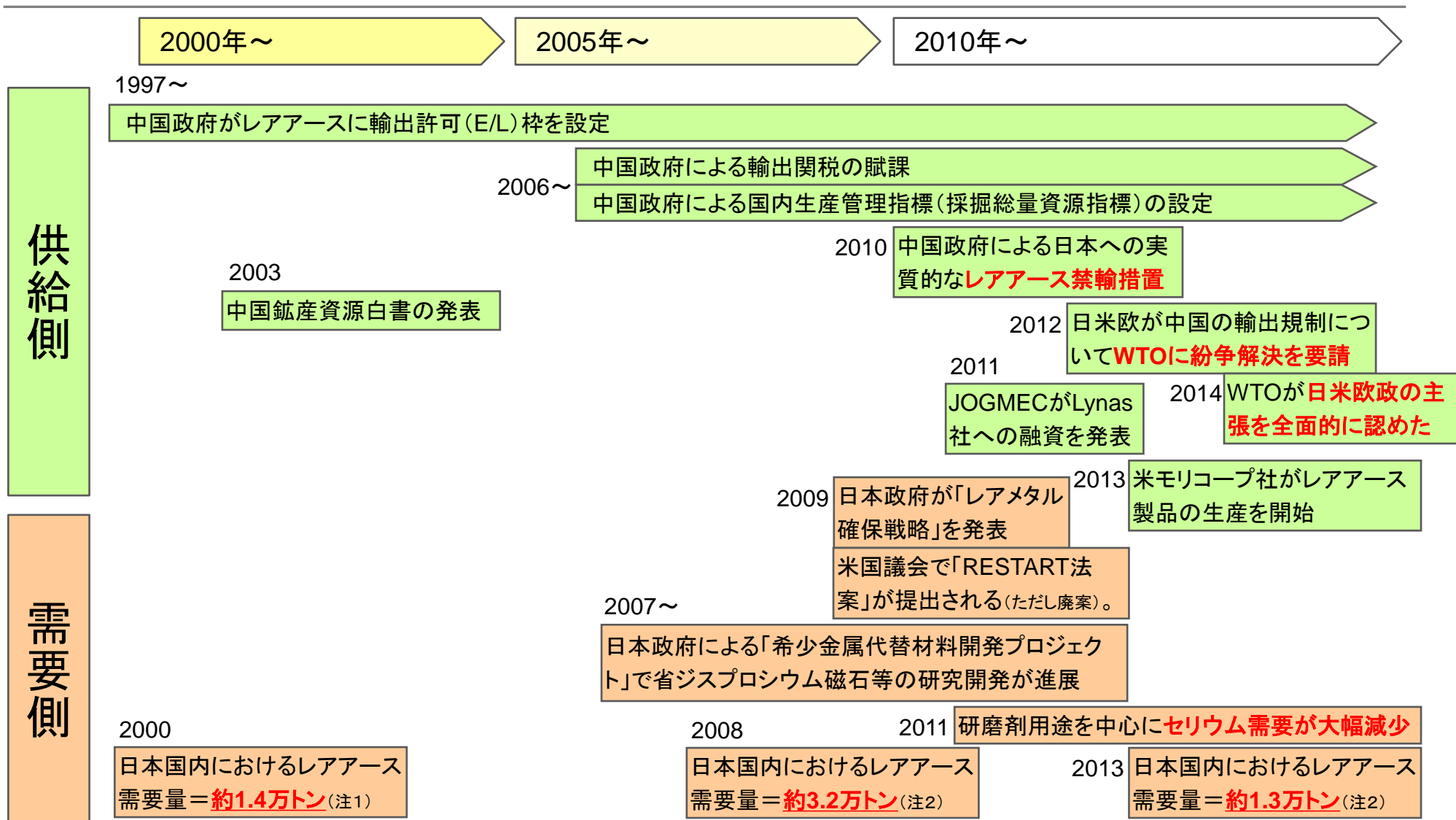
一般社団法人新金属協会希土類部会

主要なレアアース製品(金属)の相場推移(2005年～)



(出所) メタルページズ

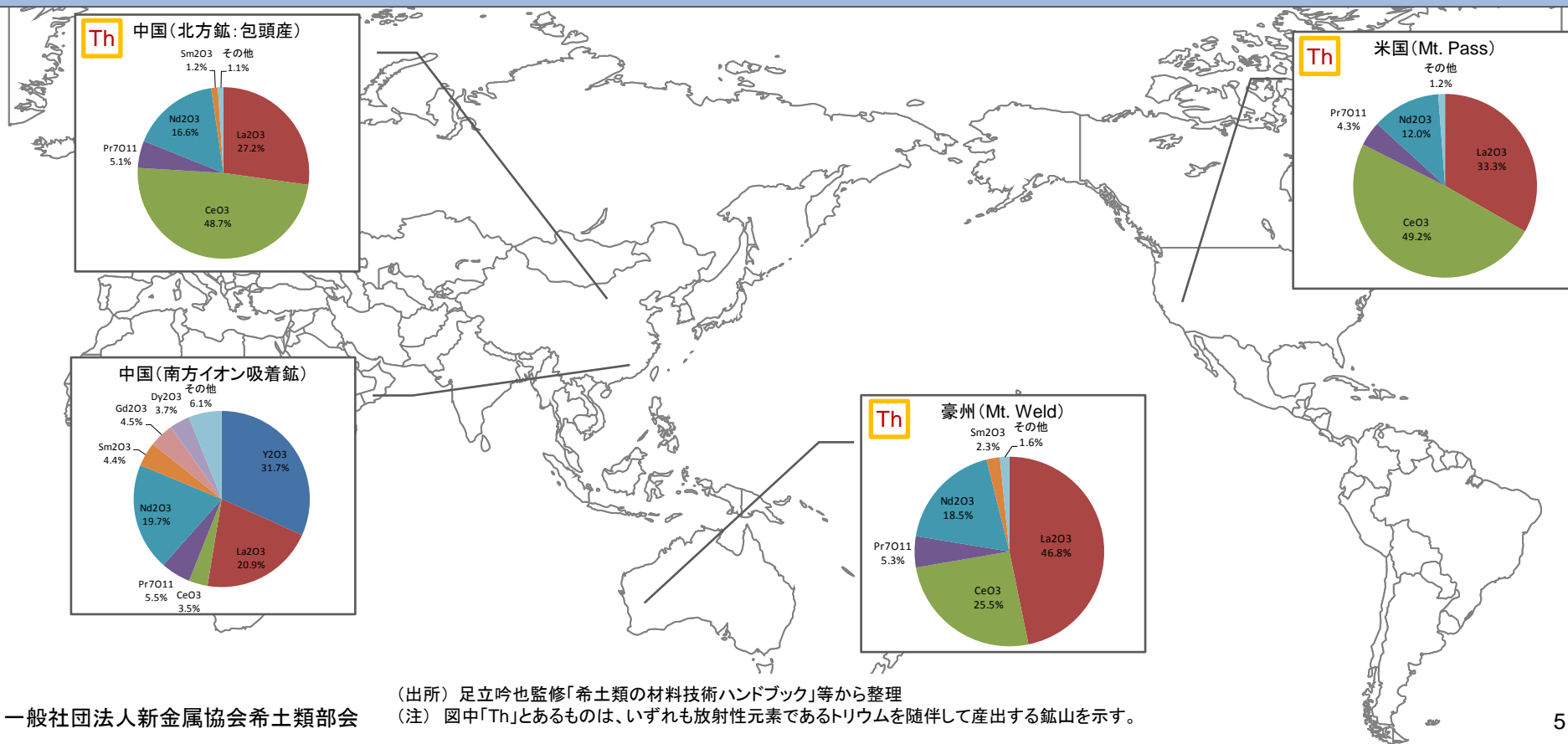
世界最大の供給国である中国の影響を強く受ける日本の希土類産業



連産品であるレアアース① / 地域によって鉱石中の各元素品位は異なる

- レアアース各元素は化学的な性質が類似することから、単独で産出、採掘・精製されることはなく、複数のレアアース元素が同時に得られる。産出地域によって鉱石に含まれるレアアース各元素の品位は大きく異なっており、商業的な重希土類の採掘・精製は中国南部に集中している。
- 中国南部を除き、レアアース鉱山の多くはトリウムを随伴産出するため、安全性確保に注意が払われている。

世界における主なレアアース鉱山と各レアアース元素の品位



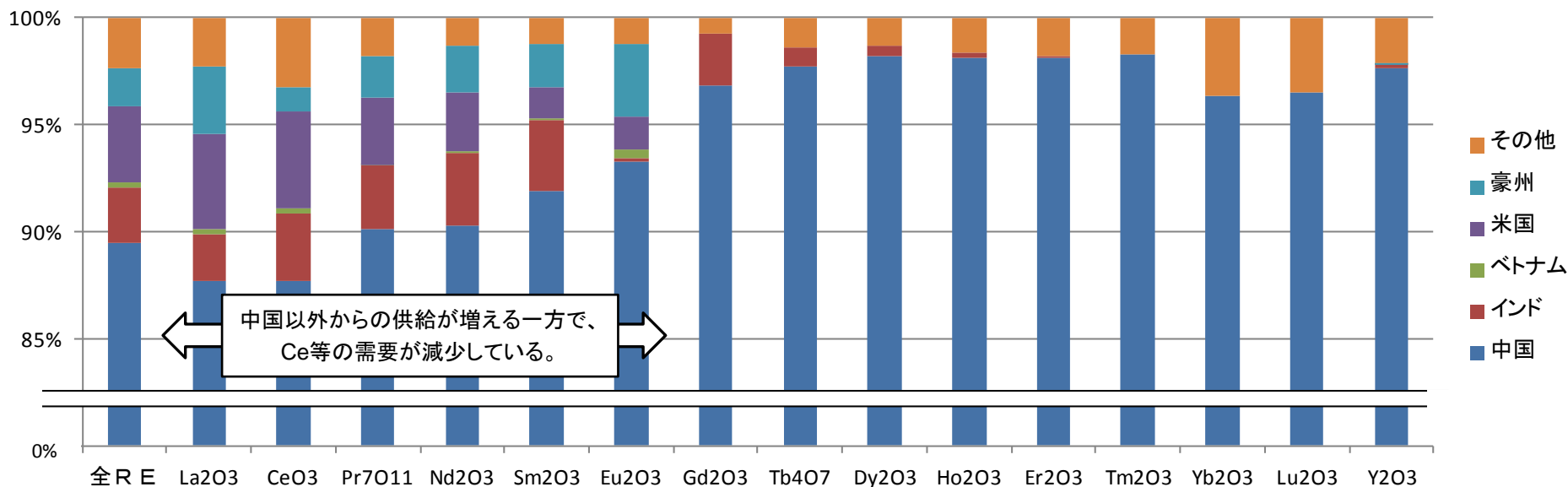
(出所) 足立吟也監修「希土類の材料技術ハンドブック」等から整理

(注) 図中「Th」とあるものは、いずれも放射性元素であるトリウムを随伴して産出する鉱山を示す。

連産品であるレアアース② / 供給過剰が拡大するセリウム

- 2000年代は世界におけるレアアース生産の9割強を中国が担っていたが、2010年代に入り、豪州産鉱石や米国产鉱石を原料としたレアアース製品の生産が行われるようになってきている。
- しかし、NdFeB磁石などに添加される重希土類の商業生産は、依然として中国南部に広く分布するイオン吸着鉱に依存している状況である。
- 2010年代に入り、軽希土類の供給が増える一方、主要なレアアース需要国である日本国内をみると、代表的な軽希土類であるセリウムの需要が減少しているため、レアアース各元素の需給バランスが崩れつつある(余剰が拡大)。
- **また、レアアースの需要が拡大しない場合には、中国以外の海外企業が資金不足により操業中止に追い込まれる可能性もある。**

世界におけるレアアースの生産割合(各元素別推計:2013年現在)



(出所) 三菱UFJリサーチ&コンサルティング推計

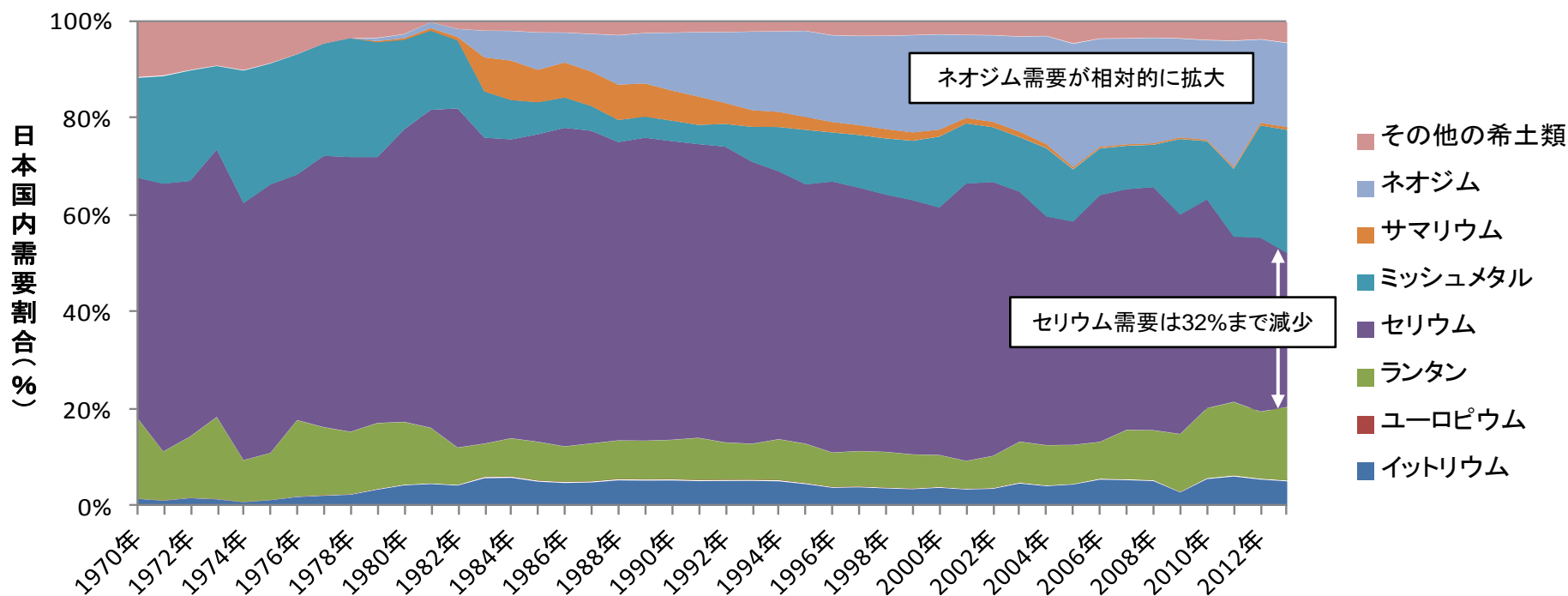
(注) 1. 米国地質調査所の各国生産量データ(2013年)に各国鉱山のレアアース品位を乗じて推計(中国は地域の違いによる品位の差異も考慮)

2. その他には、ロシア、マレーシア、ブラジルが含まれる。

日本国内におけるレアアース各元素の需要割合は変化している

- NdFeB磁石が市場に投入された1980年代以降、ハイブリッド自動車のモーター、パソコンなどのボイスコイルモーター（VCM）向けのネオジム需要が拡大している。
- 日本国内のレアアース需要は、セリウムの割合が最大であるが、2011年以降、その割合は3割程度にまで落ち込むに至っている。

日本国内におけるレアアース需要の割合変化(1970～2013年)



(出所) 新金属協会

(注) 1. ミッシュメタルを除き、全て酸化物換算重量での需要割合を示す。

2. ランタン、セリウムには純度の低い製品を含む。ミッシュメタルには電池用需要を含む。ネオジムには2005年からジウムが含まれる。その他の希土類は、フッ化希土、酸化プラセオジム、酸化ガドリニウム、酸化ジスプロシウム、酸化テルビウム等の数量。

3. 2005年以降は新金属協会非会員分の需要も考慮した。

欧米においてもレアアース・レア金属の重要性が認識されている。

- 日本の動きをみて米国や欧州でもレアアースを含む希少元素の供給リスクが意識されるようになった
 - 米国では、2007年に米国科学アカデミー（NSA）が「Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy」という報告を発表し、分析対象とした11種類の資源のうち、供給リスクの大きさと供給途絶時の影響の大きさの観点から、特に注視すべき鉱物として、「PGM（白金族）、レアアース、インジウム、マンガン、ニオブ」に言及している。
 - 2010年、2011年と連続して米国エネルギー省は、希少元素戦略に関する報告書を作成し、研究開発や国際協力の提案を行っている（Innovation Hub for Critical Materials research）。米国国防総省でも従来から行ってきた戦略物質の備蓄に関する活動のほか、国防の観点から類似の調査、研究開発を進めている。
 - 欧州委員会では、2008年に「Raw Materials Initiative」を策定し、2010年にはリスクの高い原材料として「アンチモン、ベリリウム、コバルト、蛍石、ガリウム、ゲルマニウム、グラファイト、インジウム、マグネシウム、ニオブ、PGM（白金族）、レアアース、タンタル、タングステン」の14種類を選定した。また、2014年5月に見直し結果を公表し、新たに「ホウ素、コークス用炭、クロム、マグネサイト、天然グファライト、リン鉱石、金属シリコン」を追加、レアアースを軽希土と重希土の2つに分け、全部で20種類とした。
- 欧米でも中国政府によるレアアース等の輸出規制を問題視している
 - 2009年、米国政府は欧州及びメキシコと共同し、中国政府による「鉱物資源の輸出を不当に制限」についてWTOに紛争解決を要請（対象物質は、ボーキサイト、コークス、ホタル石、マグネシウム、マンガン、シリコンカーバイド、シリコンメタル、黄リン、亜鉛の9種類）。2011年に中国政府は敗訴した。
 - 2012年、米国政府と欧州委員会は、日本と共同で、中国政府による「鉱物資源の輸出を不当に制限」について同様にWTOに紛争解決を要請。（対象物質は、レアアース、タングステン、モリブデンの3種類）。2014年初頭に中国政府は一審敗訴の結果となった。
- 米国ではレアアースの国内サプライチェーンを復活させようとする動きがある
 - 2011年以降、多数のレアアース関連法案が提出・審議されている（ただし、多くの法案は審議未了によって廃案となっている）。主なものとしては、米国国内の戦略物質開発を定めた「National Strategic and Critical Minerals Production Act（2012→審議未了・廃案）」やレアアース・サプライチェーンを復活させることを意図した「RESTART Act（2012→審議未了・廃案）」などがある。
 - 上記のほか、レアアース鉱山で随伴産出されるトリウムを安全保管を促すことを想定した「National Rare Earth Cooperative Act（2013）」法案なども審議されている。

レアアースの調達体制は改善されたが、潜在的な利用価値は眠ったまま

- 「レアアース・ショック」を経て、日本の希土類産業における原料調達の安定性は大幅に改善された(リサイクルの確立、省資源技術の実用化等)。しかし、セリウムを中心としてレアアース需要が回復しておらず、また全般に「レアアースの利用回避」が社会風潮となり、レアアースの潜在的な利用価値は眠ったままである。

「レアアース・ショック」前

- 需要動向
 - 日本全体で約3.2万トン(酸化物換算)の需要(2008年)
 - 磁石製造に用いられるネオジムの需要が伸びた。
 - ガラス研磨剤などに用いられるセリウム需要が約50%
- 供給動向
 - 中国が世界のレアアースのほぼ全量を供給
- リサイクル(二次的供給源としての取り込みは僅か)
 - 一部の工程くずが中国に送られてリサイクルされていた。
- その他
 - 長期間にわたって低価格で安定した相場を維持していた。
 - 資源利用効率は必ずしも高くはなかった。

「レアアース・ショック」後

- 需要動向
 - 日本全体で約1.3万トン(酸化物換算)で需要激減(2013年で60%の需要がなくなる。)
 - ミッシュメタル(ニッケル水素電池用途)は需要を維持、ガラス研磨剤等用途のセリウムは75%減、ネオジム・ジジム(磁石用途等)は約70%減、イットリウム(蛍光体等)は60%減、ランタン(セラミックス、磁石用途等)は40%減。
- 供給動向
 - わずかだが中国以外からも供給が行われるようになった。
- リサイクル(二次的供給源に成長)
 - 磁石等の工程くずは、日系工場でリサイクルできるようになった
 - 市中リサイクル: 回収システム検討が進んだ(経済性課題は残る)
- その他
 - 環境費用を加えた持続可能な相場に戻った(下落後、安定)。
 - 省資源技術の開発などで少ないレアアースでも以前と同様の機能を発揮できるような技術が実用化された。

日本の希土類産業を取り巻く現状

- 「レアアース・ショック」を経た結果、日本のレアアース需要は2000年初頭(14年前)の水準にまで縮小
 - 2000年代初頭には約1.4万トン(酸化物換算推計)近くのレアアース需要が日本国内には存在し、同年代後半には約3.2万トン(同換算推計)近くまで国内市場は成長したが、一連の「レアアース・ショック」の結果、約1.3万トン(2013年時点推計)近くにまで縮小してしまった。
 - 2008年に発生したリーマンショックの影響を受けた工業需要の減退もさることながら、「レアアース・ショック」によるレアアースの代替や省資源化が一気に進んだことによる需要縮小の影響が大きい。
- 軽希土類の品位が高いレアアース鉱山の稼働が世界で相次ぐも重希土類の供給は依然として中国に依存
 - 豪州産レアアース鉱石からマレーシアでレアアースを生産するライナス社の動きや、同様に米国でMt.Pass鉱山におけるレアアース鉱石の採掘、処理を再開させたモリコープ社の動きは、世界におけるレアアース供給源の多様化を促すものであった。
 - 上記の鉱山は、セリウム、ランタンといった軽希土類の供給が中心であるため、日本の需要縮小も影響して、セリウムやランタンを中心に需給バランスは世界的に悪化している(セリウムやランタンの供給を十分に吸収し得るだけの市場がなくなってしまった)。
 - 重希土類のレアアース各元素は依然として中国に依存する状態に変わりがない。中国以外でも重希土類に富むレアアース鉱山の開発が行われているが、多くの場合、トリウムを随伴産出するため、安全性確保のための手続きや対応が障害となっている。
- バランスよくレアアース各元素を活用することが求められる
 - 一連の「レアアース・ショック」の結果、**日本国内でレアアース各元素の代替や省資源化の研究開発が一気に進み、供給途絶リスクを低減させる効果はあった。一方、一部のレアアースについては、平時にもどってからでも需要は回復せず、需給バランスが悪化している。**
 - レアアースに関する研究開発も「代替」や「省資源」を中心とするものであり、レアアース各元素が本来有するさまざまな機能を活用した新しい用途開発などが行われにくくなってきている。
 - 「レアアース・ショック」の結果、日本ではリサイクルの促進や省資源技術の実用化でこうした一時的な供給障害にも一定の耐性を確保するに至ったが(コンテインジェンシープランの確立)、「レアアース利用の回避」が社会的な認識として残っている。
 - 日本の産業における付加価値向上に資するため、レアアース各元素が持つ様々な潜在的利用価値を引き出すための方策を改めて調査、検討することが求められる。

政府への要望

- バランスよくレアアース各元素を活用するための潜在的利用価値の開拓に向けた方策の検討
- 例えば、軽希土類の需要拡大について、幅広い分野の参加による勉強会の開催など。