



## 永久磁石の材料「レアアース」は安定調達できるのか？

横山昭雄(主任研究員)

(注)本稿は 2021 年 3 月 11 日現在の情報に基づく

- 本年 1 月に米国でバイデン政権が発足したことから、気候変動対策が世界においてさらに加速される勢いである。  
気候変動の主因がCO<sub>2</sub>の大量排出とすれば、対策は、エネルギーを化石燃料から再生可能エネルギー源(太陽光や風力)に変換することであるが、そうするとエンジン動力からモーター動力に置換されていくことになる。
- EV など自動車に適用するためには、強い磁力を持ち・比較的高熱にも耐えるモーターで、かつ軽量化・効率化していかなければならないが、それにはレアアースとりわけネオジウム(Nd)とディスプロシウム(Dy)が必須の材料である。
- レアアース資源の多くは低品位の鉱石で、しかも放射性物質と混合しており、本来適切な環境対策なしに金属資源として製造することができない。  
中国は 1990 年代から急激に生産を増やし、安値を武器に世界最大だった米国鉱山からシェアを奪い、今世紀には圧倒的な世界 No1 の生産国になっているが、その主因として環境対策にコストをかけていない疑いが強い。
- 2010 年のレアアースショックにより、中国への警戒感が強まってきたが、米国の鉱山はコスト競争に負けて経営破綻し、一部中国資本の入った企業の傘下に入り、精製工程は手放してしまった。(なお中国以外では豪州の鉱山が、マレーシアで精製していた。)  
米トランプ政権発足以降の米中紛争で、米国は精製工程の再興にも注力、補助金を交付し国内の精製工場の建設を促進している。
- 実はここまでの対策で、永久磁石用のレアアースの供給が確保されるとは必ずしも言い切れないことが問題。
- 特に Dy のような重希土類は、中国やミャンマーで採掘されるイオン吸着鉱という放射性物質を伴わない資源が高い競争力を持つ一方、通常の鉱山では構成比が非常に低く、しかも構成比の高い別の元素は、レアアースショック後の代替材開発等が奏功して、需要量を大きく減らしている。
- 今後の対策として、①Dy 構成比の高い別の鉱石資源を開発する(但しこれもやはり放射性物質が混合している) ②わが国としては南鳥島近郊の深海底にあるレアアース泥の開発が検討される ③Dy フリーひいては Nd 省資源化磁石を開発する といった取組みが考えられる。

## 1.気候変動対策に関わるレアアースの意義

昨年 11 月、米国では大統領選挙でバイデン氏が勝利したが、1 月の就任後さっそくパリ協定に復帰するとともに、4 月 22 日<アースデイ>に気候サミットの開催を計画している。

いうまでもなくその重要な取組み課題はCO<sub>2</sub> 排出量の削減であり、根本的な対策としては化石燃料(石油、石炭、天然ガスなど)から再生可能エネルギー源(太陽光や風力など)への置換である。

通常エネルギー源から、電気、熱または燃料製品として「エネルギー」が取り出されるのだが、再生可能エネルギーはこのうちもっぱら電気エネルギーとして現れる<sup>1</sup>。

自動車や多くの機械は、化石燃料を燃焼させて生じる熱エネルギーを動力源にエンジンを動かしていたが、再生可能エネルギーの時代になると、電気エネルギーを動力源にモーターを動かすことになる。

エンジン車などでも効率化やエンジン自体の軽量化が進められたが、今後はモーター車にも、効率化やモーター自体の軽量化が求められることになるが、現時点でその切り札はレアアースである。

レアアースを少量添加することでつくられる永久磁石無しに、モーター駆動の自動車や軽量化を求められる機械は製造できないと云っても過言ではない。

同時に、レアアースは、軍用の航空機のエンジンやミサイル誘導装置、レーザーといった兵器の製造にも使われることを忘れてはならない。

## 2.資源としての特徴

ところで、レアアースとは名に反して“rare(希少)な元素”というわけでない。自然界においては銅より少ないが、金銀より桁違いに多く存在している<sup>2</sup>。

レアアースが“rare な資源”になっているのは、

- ① 集積度の高い鉱石になり難いこと
- ② 比較的集積された鉱石もあるが、放射性物質(トリウム 232 が多い)と混合された鉱石であり、その鉱石を含む鉱脈も放射性物質と混合されることの多い鉱物であること

が大きな原因である。

そのため、鉱物の中からレアアースの含有された鉱石を採取する(選鉱)際も、その鉱石からレアアース(酸化物・REO)を取り出す(精製)ときも、処理のために大量の放射能汚染水が排出されたり、大量の放射性物質が残渣として残ってしまう。また、放射性物質でなくとも、レアアースを抽出した残りの重金属類を含む溶媒液などが排出される。

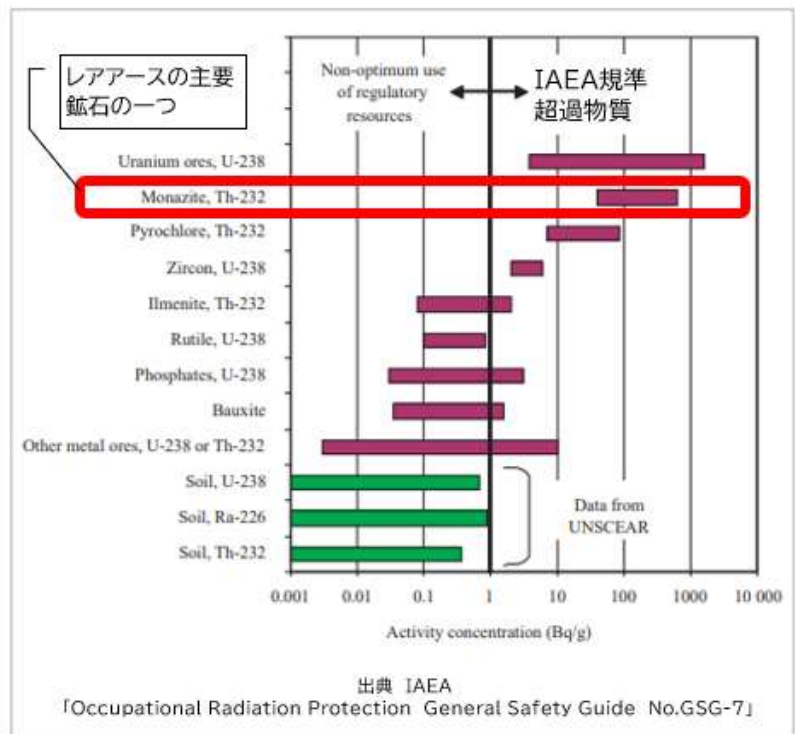
代表的なレアアース含有鉱石であるモナザイトは、放射性核種トリウム 232 を含み、放射能濃度は、IAEA の労働安全上の規準が 1 ベクレル/g に対して 37-500 ベクレル/g に達する<sup>3</sup>(図 1)。

<sup>1</sup> 化石燃料は、燃料製品として燃焼し熱を発生させるするほか、火力発電により電気に変換される。

<sup>2</sup> たとえば本稿で扱うディスプロシウムでも、地殻存在度でいえば、銅の 10 分の 1 未満だが、金の千倍の桁で存在している。

<sup>3</sup> IAEA「Occupational Radiation Protection General Safety Guide No.GSG-7」([https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1785\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1785_web.pdf) 3 月 11 日確認)

図1 天然物質中の放射性核種の放射能濃度



わが国もこれに対応して、モナザイトや、同じく代表的なレアアース含有鉱石であるバストネサイトは、文部科学省・研究炉等安全規制検討会の「自然起源の放射性物質を含む物の利用時の被ばく線量測定及び措置に関するガイドライン」(平成 18 年 2 月 6 日付け)によれば、

「放射能濃度が 1Bq/g を超える物」

が適用対象となり、事業者に対して、速やかな測定・評価の実施と、放射線量率低減のための改善措置を講じることが求められている。

レアアース(製の永久磁石)製造工程と、放射性物質を含む残渣処置など万全の環境対策を求められる問題点を表 1 にてまとめた。

表 1 レアアース製造工程と問題点

工程	作業	発生物とその問題点	
		発生物	問題
採掘・選鉱	鉱山において、鉱物を採掘、異物を除去して必要な鉱石(精鉱)を得る	不要土砂	NORM(自然起源放射性物質)
分離・精製	精鉱から元素ごとの高純度酸化物(REO)を得る	溶媒抽出法・化学沈殿法	TENORM(人為的に濃度が高められた自然起源放射性物質)
		排液	重金属を多量に含む酸や有機溶媒を含む (使用する有機溶剤の揮発物の拡散リスク)
電解	REO を還元して RE 金属を得る	熔融塩電解法	排ガス フッ化物を含む
合金化	複数の RE や添加元素を加えて合金をつくる	真空溶解炉	
磁石製造	粉碎・成型・焼結して磁石をつくる		
加工	加工や表面処理により製品をつくる		

### 3.開発と生産推移(米中豪のレアース産業の盛衰)

#### (1)米中紛争以前

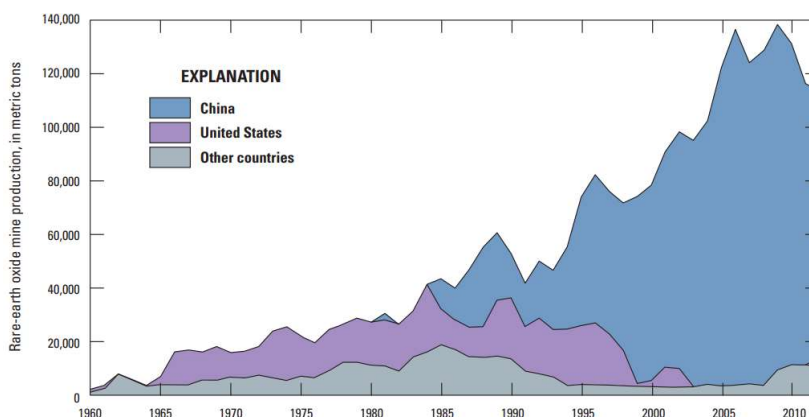
20 世紀後半、世界生産の大半を占めた米カリフォルニア州 Mt.Pass 鉱山(Molycorp 社：当時)は、国際機関から州政府まで、環境対策から労働者・近隣住民保護にいたるまで、前記上流工程における放射性物質(NORM、TENORM)の管理に関する様々な規制を受けた結果、中国製品に対するコスト競争力を失い、1998 年までに採掘中断に追い込まれた。

中国でのレアース産業の位置付けは、故鄧小平氏の南巡講話(1992 年)中の

「中東有石油、中国有稀土、一定把我国稀土的優勢發揮出来」

ということばで有名なとおり、重要な戦略資源であることは云うまでもない。90～00 年代にかけて、資源開発・採掘が急速にすすみ、中国は生産量・生産シェアともに世界トップに躍り出た(図 2)。

図 2 レアース世界生産実績推移(1)  
(酸化物 REO 換算)



出典 USGS 「Rare-Earth Elements」(2017 年)

その理由のひとつには、中国国内にレアースの最大級の大鉱山があったから(例 内蒙古 Bayan Obo 鉱山)だが、同時に、少なくとも当時の中国では、放射能からの防護も環境対策も軽視し、鉱滓の適切な処置などにまったくコストをかけずに廃棄してもお構いなしの生産が可能であったから、だと推定される。

しかし、いまやその中国でも環境対策の必要性が高まっている。

2006 年、豪州の Lynas 社は、西豪州の Mt.Weld 鉱山から産出されたレアース含有鉱物(主にモナザイト)から REO を精製するために中国に進出しようとしたところ、賃金上昇や補助金削減などとともに、予想外の環境対策の強化を求められた結果、コスト高になることが明らかになり進出を断念、マレーシアに工場をつくることになった。

なお、最近になってマレーシア政府は、環境汚染の懸念から操業延長の承認を渋っていたが、2019 年 8 月には半年の、20 年 2 月にはさらに三年間の操業延長を認めるに至った。これは、中国のレアース「輸出管理」の強化に対して、同国も含めて対応していかなければならないという観点からの意

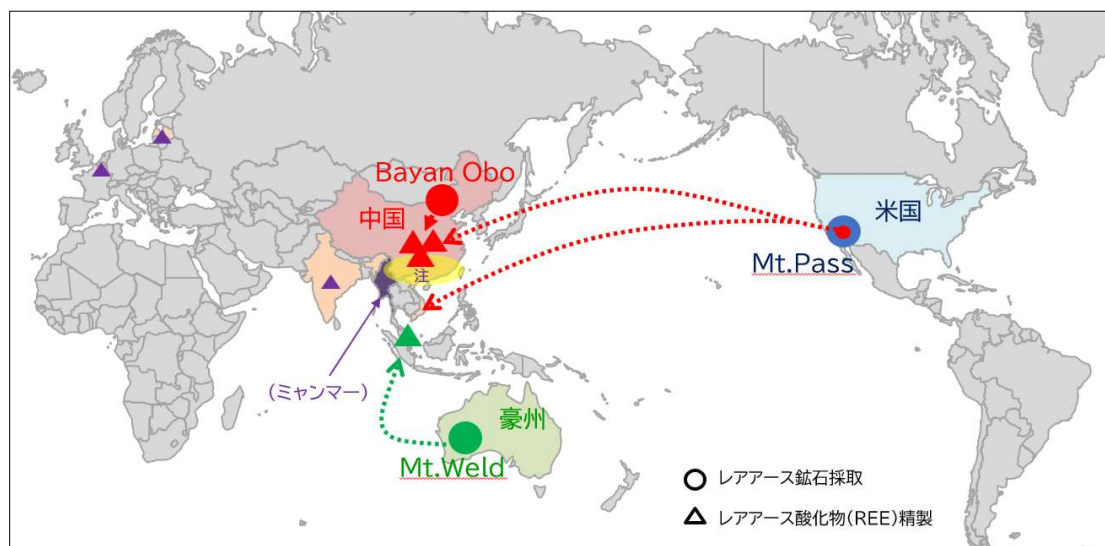
思決定とも考えられる<sup>4</sup>。

2010-11 年におこった「レアアースショック」は記憶に新しいが、そのとき各国・企業は、レアアース供給がほぼ中国に独占されているリスクに気付かされ(図 2)、他地域での資源開発や、レアアース所要量を減らす・代替材を開発する、といった動きが始まった。

レアアースショックへの対策として、2011 年、米国では Mt.Pass 鉱山の操業が再開されたものの、供給が緩和された後 2015 年には操業停止、Molycorp 社は経営破綻した。その後米国投資会社と盛和資源(中国)が譲受し、MP Materials 社として 18 年から操業再開しているが、中国本土や東南アジアの盛和資源関係会社で分離精製以降の工程を行うスキームとなり、米国内では分離精製や電解工程を行う事業者は無くなった。

結局中国以外には、この Mt.Weld 鉱山を持つ Lynas 社以外に、とりわけ自力で分離精製工程を操業できる企業はほとんどないのが現実である<sup>5</sup>(図 3)。

図 3 世界の三大レアアース鉱山と精製工場へのフロー



## (2)米中紛争以降

2017 年 1 月の米トランプ政権発足後、米中間で貿易問題を端緒にさまざまな分野で紛争が拡大してきた。

レアアースは、永久磁石材料など軍事・安全保障上も不可欠の資源だが、中国が鉱石採掘から分離精製工程の大半を握っていたため、何よりも鉱山開発と精製処理工場の新設が必要であった。

<sup>4</sup> 2020 年 2 月 28 日 NNAASIA 「豪ライナス、3 年間の操業延長認可を取得」

(<https://www.nna.jp/news/show/2013372#:~:text=%E3%82%AA%E3%83%BC%E3%82%B9%E3%83%88%E3%83%A9%E3%83%AA%E3%82%A2%E3%81%AE%E3%83%AC%E3%82%A2%E3%82%A2%E3%83%BC%E3%82%B9%EF%BC%88%E5%B8%8C%E5%9C%9F%E9%A1%9E%EF%BC%89%E7%94%9F%E7%94%A3,%E3%81%BE%E3%81%A7%E5%8F%AF%E8%83%BD%E3%81%A8%E3%81%AA%E3%81%A3%E3%81%9F%E3%80%82> 3 月 11 日確認)

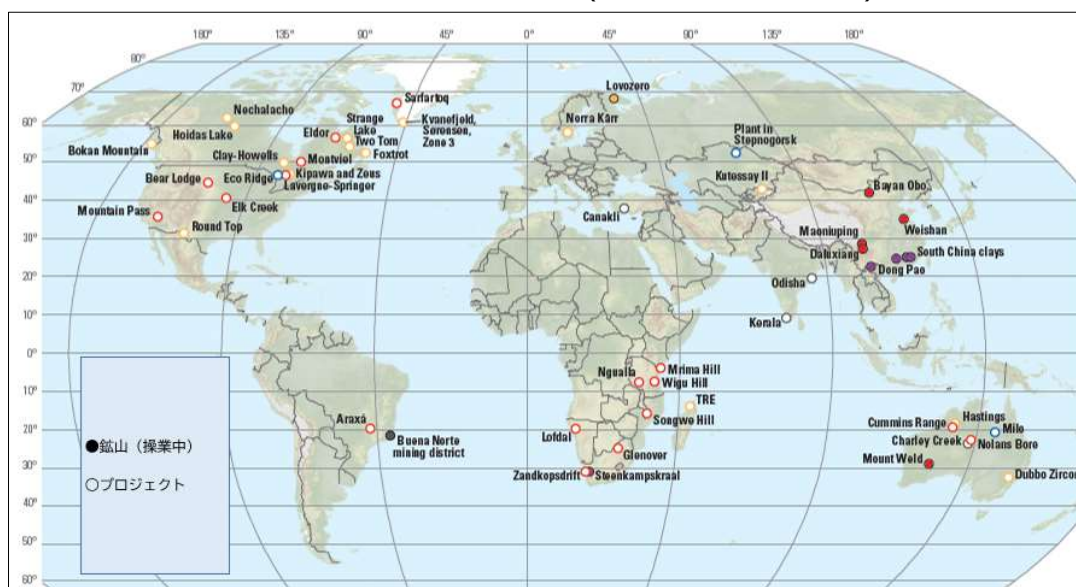
<sup>5</sup> ほかに精製工程を持つのは、Solvay(Rhodia)(ベルギー)が年間処理能力 10 千トン、エストニア、インドが同数千トンと云われている。



## ① 鉱山・鉱床開発

米国 USGS によれば、北米や豪州、アフリカ南部など実は多数の未開発の鉱山・鉱床がある(図 4)が、問題は、どれほどの品位の埋蔵量があり、採算を確保できるのか、にある。

図 4 世界のレアアース鉱山(稼働中・プロジェクト物件)



出典 USGS 「Rare-Earth Elements」<sup>6</sup>

## ② 分離精製工場の新設

米国としては、何よりも分離精製工程が国内に無い、という状況の克服が求められている。対策として、Mt. Pass 鉱山が採掘を再開しても中国など海外で精製しているのに対して、国防生産法(DPA)に基づき MP Materials 社に補助金を与えて設備を稼働させた。また、Lynas 社とテキサス州のレアアース金属塩製造業者 Blue Line 社の合併事業にも補助金を与えて精製設備を稼働させることとした。(いずれも昨年 7 月確定)<sup>7</sup>  
くわえて、Lynas 社には、本年 2 月にも上記に隣接して新規設備を稼働させるために約 3 千万ドルの補助金支給が決定された<sup>8</sup>。

<sup>6</sup> <https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp18020> 3月11日確認

<sup>7</sup> 2020年7月22日ロイター「米国防総省、レアアース事業への資金支援再開」

(<https://jp.reuters.com/article/usa-rareearths-idJPKCN24N0BR> 3月11日確認) 当然であるが、米議会からは中国資本の入った MP Materials 社や、他国である豪州企業の Lynas 社への補助金支給に反対する声もあったが、では他の国内企業が代わってただちに担うことができるかといえば、難しいというのが米国レアアース産業の実情と解される。

<sup>8</sup> 2021年2月1日米国防総省リリース「DOD Announces Rare Earth Element Award to Strengthen Domestic Industrial Base」

<https://www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/2488672/dod-announces-rare-earth-element-award-to-strengthen-domestic-industrial-base/> 3月11日確認) これによれば、プロジェクトが成功すれば Lynas 社は世界の 1/4 の REO 供給能力を持つことになるという。

#### 4.永久磁石とレアアース素材の将来性と課題

##### (1)永久磁石とレアアース

一口にレアアースといっても、実は 17 種類の金属元素の総称であり、それぞれの元素がそれぞれの特性に応じて利用されている。

東京大学 HP 上の永久磁石とレアアースの関係の記述によれば、その関係とは

「…人工的な永久磁石材料の歴史はここ 100 年程度、と短い。

1917 年の本多光太郎らによる KS 鋼より本格化する永久磁石材料開発では日本人の貢献が大きく、1982 年の佐川真人らによるネオジム磁石(Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 焼結磁石)により大きなブレイクスルーを迎えた。

現在においてもネオジム磁石は最強の永久磁石であり、この登場により磁石材料の小型化が飛躍的に進み、携帯電話のスピーカーやパソコンのなどハードディスクなど、現代のエレクトロニクスにおいてきわめて重要な役割を果たしている。

ところが、近年の風力発電機タービンやハイブリッド自動車モーターなどなど、200℃程度の高温環境における大幅な需要の高まりにより、新磁石材料の開発が求められることとなる。

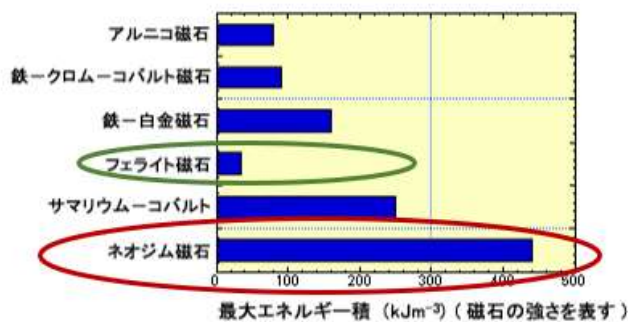
なぜならネオジム磁石の高温性能を確保するためには、重希土類元素であるディスポロシウム(Dy)の添加が必要」<sup>9</sup>(下線筆者)

というものである(図 5)。

すなわち、私たちが永久磁石として今後とも利活用していかなければならないのは、ネオジム磁石と考えてよい。

ネオジム磁石の原料となるレアアースは、17 種類のうち軽希土のネオジム(Nd)と重希土のディスポロシウム(Dy)<sup>10</sup>の二種類で、のうち磁石としての性能への効果を持つのが Nd、耐熱性に効果を持つのが Dy。

図 5 永久磁石の強さ比較



フェライト磁石は、酸化鉄が主成分で、非常に安価かつ耐食性も良いため、現在最も多量に使用されている永久磁石。

ネオジム磁石は、鉄以外にネオジム(Nd)30%弱、ディスポロシウム(Dy)2-8%程度、ボロン(B)1-2%程度入った合金。強さを示す最大エネルギー積で比べてみるとフェライト磁石の10倍以上。

出典 公益社団法人日本磁気学会HP

<sup>9</sup> <https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/story/newsletter/keywords/40/01.html> 3月11日確認

<sup>10</sup> テルビウム(Tb)も同じ位置付けなので、本稿では省略する。なお、サマリウムコバルト永久磁石もレアアースであるサマリウムや貴重なレアメタルであるコバルトを利用するが、需要量がネオジム永久磁石ほどにならないと予想されるため、本稿では省略する。

## (2)ネオジム磁石素材

17 種類の希土類(レアアース)は、用途と別に生産の観点から、大きく軽希土、中・重希土に分類される(表 2)。

表 2 主要鉱山(鉱床)別レアアース品位・構成(1)<sup>1 1</sup>

鉱山	推定生産量(千トン/年)	主鉱石	鉱石中のレアアース品位	レアアース構成比								
				軽希土類(7種)				重希土類(10種)				
				La	Ce	...	Nd	Sm	...	Dy	...	Y
Bayan Obo (内蒙古)	60	バストネサイト	6.0%	23.0%	50.0%	...	18.5%	0.80%	...	0.10%	...	
Mt. Pass (米加州)	20	バストネサイト	11.3%	34.0%	48.8%	...	11.7%	0.79%	...		...	0.12%
Mt. Weld (西豪州)	15	モナザイト	8.9%	23.9%	47.6%	...	18.1%	2.44%	...	0.25%	...	0.76%
Xinfeng (江西省)	不詳	イオン吸着鉱	(0.05-0.2%)	27.3%	3.2%	...	17.6%	4.54%	...	3.71%	...	24.3%

既述の Bayan Obo、Mt. Weld や Mt. Pass と云った主要鉱山で採れる鉱石中のレアアースは、5-10%ほどの品位だが、その過半が軽希土類である。だいたいセリウム(Ce)、ランタン(La)だけで重量比7-8割に達する。ネオジム磁石素材のうち Nd も 1-2割を占めており、rich といえよう。ところが、中重希土類 10種はいずれも非常に少なく、合計で数%ほどであり、ネオジム磁石素材のうち Dy も 0.数%にしかならない<sup>1 2</sup>。

一方、表 2 で初めて触れる Xinfen といった中国・江西省やその近郊の省では、イオン吸着鉱と呼ばれる資源地域があり、この“土”はレアアース全体の品位はわずか 0.数%に過ぎないが、中・重希土類に富み、Dy だけでも数%を占めている。

イオン吸着鉱は、「表土をはがし地中に穴を掘って、鉱体に硫酸アンモニウムなどの溶離剤を直接打ち込むだけで、イオン吸着鉱からジスプロシウムが溶け出してくる。…極めて低いコストでジスプロシウムの採掘と分離回収が可能<sup>1 3</sup>であり、かつ残渣にも放射性物質をほとんど伴わないというメリットがある。ただし、鉱(石)に占める全体の品位は小さいため、モナザイト、バストネサイトと同様に発生する廃棄物の量は膨大になってしまう<sup>1 4</sup>、薬剤を適切に処理しないと残渣の有害性が残ってしまう<sup>1 5</sup>。

<sup>1 1</sup> 2020年6月 USGS 「2017 Minerals Yearbook-RARE EARTHS TABLE2 RARE EARTH CONTENTS OF SELECTED SOURCE MINERALS」 (<https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/myb1-2017-raree.pdf> 3月11日確認)

<sup>1 2</sup> レアアース全体の品位が1割なので、鉱石中の品位でいえば0.0数%

<sup>1 3</sup> 岡部 徹・野瀬 勝弘「レアメタルの供給や需要に関する今後の展望」(金属 Vol.83 (2013) No.11)より。  
([https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen\\_nenryo/kogyo/pdf/001\\_s03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/kogyo/pdf/001_s03_00.pdf) 3月11日確認)

<sup>1 4</sup> 原料鉱中の品位でみると、Mt.Weld の組成比で 0.03%、Xinfen の組成比でみると 0.007%

<sup>1 5</sup> 問題は、中国の南部やミャンマーといった地域で、どれほどの環境対策がなされているのかわからないし、確認のし



そしてこの鉱床の最大の特徴(問題)は、現時点で鉱業的に採算を成り立たせて採掘できているのが、中国南部からインドシナ半島(ミャンマー～ベトナム)に限定されているということである<sup>16</sup>(図 3 黄色着色した<注>地域)。

### (3)ネオジム磁石素材の必要量見込み

ネオジム磁石素材のレアアースはどれほど消費されることになるのかを見込むのは難しいが、もっとも伸びが大きいと予想される自動車についていえば、現状の一台当たりの消費原単位は、EV(電気自動車)用ネオジム磁石で組成比 Nd28%、Dy3%、一台当たり計 2kg 程度、HV(ハイブリッド車)、PHV(プラグインハイブリッド車)では同 1.2kg 程度という<sup>17</sup>。

2019 年の世界の HV・PHV・EV 生産台数は約 680 万台であり、ここに組み込まれたレアアース量は Nd2.7 千トン、Dy0.3 千トン程になる計算である。

矢野経済研究所によれば、2030 年の HV,PHV,EV の生産台数は 2030 万台と予測される<sup>18</sup>ので、これを同様に単純に試算すると、Dy 所要はさらに 0.6 千トン増えることになり、Mt. Weld 鉱山の構成であれば、160 千トン弱のレアアース生産が上積みされることになるが、これは 2020 年世界生産実績 240 千トンの 8 か月分に相当する(歩留無視ベース)。Dy には 6 千トン+歩留 X 千トンの実需はあるとして、そのためには 10 年後にいまの倍のレアアースの生産が求められることになるが、その他の需要はあるのだろうか？

### (4)ネオジム磁石素材以外のレアアース増産と課題

レアアースの所要量減・代替材開発といった対策が奏功した分野に、研磨用途や触媒用途がある。セリウム(Ce)は研磨や自動車排ガス触媒用に用いられていたが、所要量は 2010 年ころから半減している。

ランタン(La)は流動接触分解(FCC)装置の中で重油分解用の触媒用に使われている。

Ce と La は多くのレアアース鉱石中で合わせて 7-80%を占めているが、2015 年消費実績では、触媒・研磨用だけだと 36%に過ぎない(図 6)。

自動車排ガス触媒用や重油分解用といった用途は、将来の趨勢として、再生可能エネルギーへの変換が進むほどに需要が低下することは間違いない。

すなわち、いまの用途別の消費状況が変わらなければ、すなわち Ce や La に新しい用途が見つからなければ、今後レアアースが増産されても、そのうちの 7-8 割は今以上の増産が不要な金属を生産することになりかねない<sup>19</sup>。

---

ようもない。

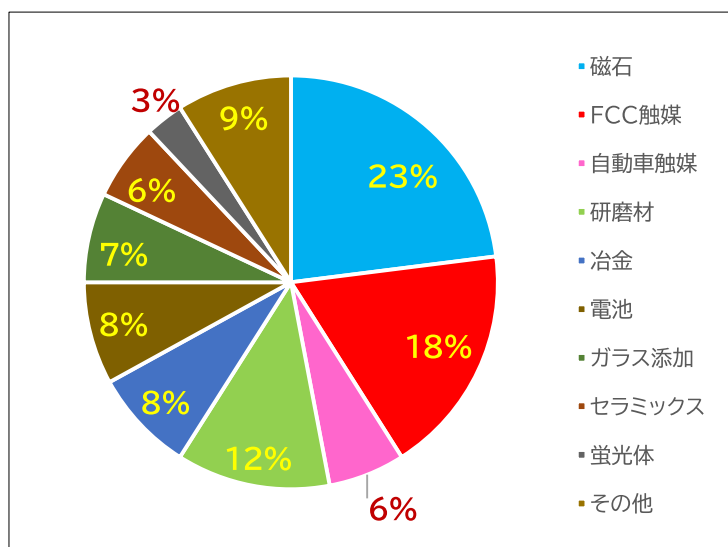
<sup>16</sup> もう一つ記憶すべきは、イオン吸着鉱であれば必ず中重希土類が rich に存在する、とは限らず、普通の放射性物質と混在した鉱石と似た組成のものもあるということ。

<sup>17</sup> 2020 年 5 月 28 日、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)「北米におけるレアアースのサプライチェーン状況分析業務最終報告書」(<http://mric.jogmec.go.jp/news/20200528/> 3月11日確認)

<sup>18</sup> 2020 年 8 月 17 日(株)矢野経済研究所リリース「xEV 世界市場に関する調査を実施(2020 年)」([https://www.yano.co.jp/press-release/show/press\\_id/2491](https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/2491) 3月11日確認)

<sup>19</sup> 単純に考えれば、現在 Ce や La が担っている製造コスト相当分も、Nd や Dy の製造コストに付加されることになるので Nd や Dy からみると大幅なコストアップになるものと思われる。

図 6 レアース用途別消費実績構成



(出典 JOGMEC<sup>20</sup>)

## 5. 中国のレアース戦略の影響

### (1) 米中紛争以前

1980-90年代に中国(内蒙古)ではレアースの採掘・製錬、輸出が発展していったが、00年代以降、価格や環境破壊についての不満は次第にあらわになってくる。

JST(科学技術振興機構)の伝えるところ、すでに2010年1月には、中小の事業者が環境保護設備を設けず、「三廃(廃液、固体廃棄物、排ガス)」を許可なく排出し、飲用水取水口まで汚染されるような事例があること、製品の販売価格では環境回復費用を賄えないのではないかという指摘があることが記されている<sup>21</sup>。

2000年代になって中国は、レアースの輸出枠を設け、輸出税を課しており、枠は漸減、税率は引き上げ傾向にあったが、2010年7月突如として10年の輸出枠を前年比4割減とすることを発表した<レアースショック>(表3)。

これは事実上、下期(7-12月)の新規商談どころか既契約の履行も危うくする決定であり、わが国を含めて輸入各国は強く反発した。

表3 中国の対世界レアース輸出枠(総量ベース) (出典:中国商務部)

(単位 千トン)

	09年	10年	2011年			2012年			2013年		
			第1期	第2期	計	第1期	第2期	計	第1期	第2期	計
輸出枠	50.1	30.3	14.4	15.7	30.2	21.2	9.8	31.0	15.5	15.5	31.0
前年比		-39.7%			-0.2%			2.7%			0.0%

<sup>20</sup> 脚注17と同じ

<sup>21</sup> Science Portal China 2010年1月19日「中国のレアース産業、環境問題の圧力増す」  
([https://spc.jst.go.jp/news/101102/topic\\_2\\_01.html](https://spc.jst.go.jp/news/101102/topic_2_01.html) 3月11日確認)

特に大問題なのは、同 9 月の尖閣諸島沖での中国漁船衝突事件を受けて、わが国向け輸出は正式ではないものの、手続きの大幅遅延等を口実に事実上停止されたことである。

このような貿易の自由化と相いれない、恣意的といえる輸出規制により、調達への不安が高まった結果レアアースの市況は急騰した(Dy など半年間で 10 倍ほども値上がり)<sup>22</sup>。

このような中国の措置(輸出税や輸出枠の設定・操作)に対して、12 年 3 月、日米欧は一致して WTO(世界貿易機関)に提訴、14 年にはパネル・上級委員会で勝訴を勝ち取った。その結果中国は、15 年輸出枠を撤廃し、輸出規制の継続を断念した<sup>23</sup>。

## (2)米中紛争以降

2019 年 5 月、習近平主席が江西省「江西金力永磁科技股份有限公司」(高性能ネオジム磁石材料の研究開発、製造、販売事業者)を訪問し、“レアアース産業のグリーンで持続可能な開発を促進するための重要な指示”を行った。

このころから中国が対米交渉カードとして、レアアースの輸出制限を明示的に用いてくるようになったし、米国もこれを恐れていたことも明らかだった。

すなわち、当時トランプ政権が発動していた、各種製品の輸入関税の引上げに関しても、米国はレアアースを賦課対象から外していたのに対して、中国は対米輸入関税率を 25%に引き上げた。

ただし、この米国からの輸入品と云うのは、もっぱら中国・盛和资源グループが資本参加している米・MP Materials 社から、中国内の精製工場あてに出荷されている“金属になる前の原料”であることには留意したい。

しかも、この対抗策がもたらしたものは、既述のとおり、Lynas 社が、マレーシアの精製工場の操業延長を承認されたり、米国防総省の後押しを受け補助金まで支給されて、テキサス州に二つの新工場をつくる、という結果であった。

2021 年になって、中国はレアアースの生産から利用までのサプライチェーン全般への管理を厳格化している。工業情報化省によるとレアアース管理条例の立法目的は「国家利益と戦略資源産業の安全を守ること」や「違法売買・環境破壊・生産経営秩序の乱れを正すこと」等であり、そのために採掘・製錬分離・精錬から利用まで企業への管理監督を強化することとしている。

昨 12 月施行の輸出管理法も併せると、当然輸出への統制<sup>24</sup>が強化されることになる。

ところで、2011 年版不公正貿易報告書「中国のレアアース政策」によれば、この中国のスタンスは成否はともかくとして、10 年前から一貫していることに気付かされる<sup>25</sup>。

<sup>22</sup> ただし、実際の供給がそこまで絞られたわけでないで、間もなく暴落することになった。

<sup>23</sup> 2010-11 年にかけての異常な高騰は 12 年にはほとんど収束していたが、輸出枠撤廃により一時期を除きさらに価格は安定するようになった。

<sup>24</sup> 前回は輸出「規制」をして失敗したことに鑑み、今度は輸出「管理」の強化という名目で統制してきたということか。

<sup>25</sup> 4(4)で、Ce、La の消費量削減が進められてきたことについて、「なお、2010 年に中国がレアアース輸出枠を大幅

「…しかし中国が安価なレアアースを大量に供給してきたため、国際価格は比較的低下水準で推移してきた<sup>26</sup>。レアアースはハイテク製品の部品に加工される段階で、初めて高い付加価値を生じるため、中国国内には「レアアース輸入国が中国から安く買い叩いた原材料を加工し巨大な利益を獲得している」との不満が根強い。

…

また、中国のレアアース政策がもたらすのは、国際価格の高騰のみではない。中国は「輸出規制」によって粗放的な採掘・精錬集中型の産業構造を改め、先進国からレアアース関連の生産拠点・技術を移転し、レアアースの川下産業も取り込むことでバリューチェーン上流への移行を志向していると言われている。

…対外的には…レアアースの確保及び技術水準を高めてきた。そして現在、中国は国内産業を再編し、国内鉱山の管理を強めることで、この分野の競争力をさらに強化していく方針を示している」

ただ、このような戦略的な観点とは別に、深刻な鉱害を引き起こしていることも事実であり、中国政府がその対策が求められていることも、その要求を無視することができないのも事実である。

そこで、同条例では、「自然資源と生態環境を保護するため、…レアアースの採掘…製錬分離を制限又は停止することができる」と定めている。

## (2)重希土類(Dy)の供給-ミャンマーとの関係-

中国のレアアース産業政策全般は前項のとおりとして、特に本稿でとり上げたいのは Dy 供給の将来である。

Dy を含む中重希土類は、イオン吸着鉱床で相対的に豊富に採取できること、すくなくとも残渣が放射性物質でないことは既述のとおり。

ではこのイオン吸着鉱床の資源量がどれくらいあるのか、よくわからない。

確実に云えるのは、ミャンマー(特に中緬国境に近い北部)産のレアアースはイオン吸着鉱床由来であり、中重希土類が多いことは間違いない。

そして、このミャンマー産レアアースは、近年突如として生産量を伸ばしており、主に中国に輸出され製品化されて、世界の中重希土の供給を下支えしている(図 7)<sup>27</sup>

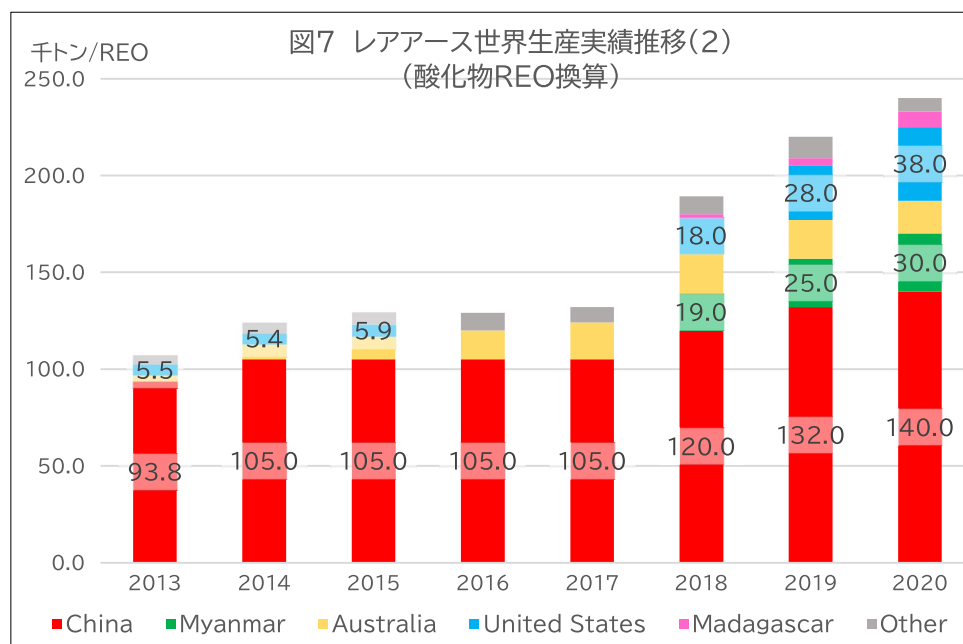
---

に削減して以降、レアアースの価格は軽希土を中心に高騰している」との記述もあり、この時点では適切な対策であったことがわかる。

<sup>26</sup> この結果、前世紀最大のレアアース鉱山であった Mt.Pass が操業停止に追い込まれたのであり、低価格は戦略であったと考えられる。

ところが中国側の眼から見ると、驚くほど逆に見えているようだ。2019年5月31日付けの人民日報日本語版「中国のレアアースはなぜ世界の戦略資源になったのか？」では、「中国は17種類あるレアアースをすべて提供できる唯一の国でもあり、特に軍事用途が突出した重レアアース(重希土類)でより多くのシェアをもつ」と胸を張る一方で、「米国は自国の鉱山を開発せず、それどころか自国最大のマウンテン・パス鉱山を閉鎖し、モリブデンの生産とその他レアアースの採掘を全面的に停止し、中国から毎年大量に輸入して戦略的備蓄を行っている」として、不信をあらわにしていた。(http://j.people.com.cn/n3/2019/0531/c94476-9583331.html 3月11日確認)

<sup>27</sup> 図8のとおり、2018年には米国 Mt.Pass 鉱山の採掘再開とともに、ミャンマーも統計に出現、米緬がそれぞれ20千トン弱の生産があったため、前年比大幅増(132→189千トン)となった。



出典 USGS 「MINERAL COMMODITY SUMMARIES」<sup>28</sup>

ところが、中国政府のミャンマー産レアアースの輸入に対するスタンスは、よくわからない。

2019 年以降、中国の輸入停止・再開やミャンマーの輸出停止・再開が繰り返されているようで、中国がどれほどの数量を必要としているのか・ミャンマーはどれほどの数量は輸出してよいと判断しているのか、そのどちらの影響が大きいのか、等々不明である。(さらにいえば、両国の規制とも、国境付近現地でどれほどの実効性があるのかさえ不明である)

さらに、中国が何故ミャンマー・イオン吸着鉱床由来の中重希土類を欲しているのか、その理由も不明である。一つには、国内資源の枯渇傾向が考えられ、その事前対策として輸入を優先しているのかもしれない。また、国内の採掘にかかる環境対策コスト増が負担となるため、いまだ環境対策を講じずに済むため安価なミャンマー産品を優先しているというみかたもある。

なお、結果として中国の統計上は、ミャンマーからの輸入量はこの三年間で激減(2020 年は 18 年の 1/4)している(表 4)<sup>29</sup>。

表 4 中国の対ミャンマーレアアース輸入実績

(単位 千トン、千\$、\$/トン)

	2018 年	2019 年	2020 年
炭酸希土輸入量	25.8	13.0	6.2
対前年比		-49.6%	-52.3%

(出典 JOGMEC 「ミャンマー：レアアース鉱石輸入に対する影響について」<sup>30</sup>)

<sup>28</sup> <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf> 3月11日確認

<sup>29</sup> USGS の生産統計と比較すると、この統計との挙動の不一致も見逃せない。生産量も通関量もどこまで真実に近い数値なのか不明である。

<sup>30</sup> [http://mric.jogmec.go.jp/news\\_flash/20210203/152935/](http://mric.jogmec.go.jp/news_flash/20210203/152935/) 3月11日確認



本年 2 月 1 日、ミャンマーでは軍部によるクーデタがおこり、大統領やアウン・サン・スー・チー国家顧問は拘束された。3 月 11 日現在、民衆の抵抗運動はやまず、国際社会もクーデタ政権を承認していない。中国も正式な承認を避け、あくまで内政不干渉を主張している。

この政情不安が中緬間のレアアース貿易に影響するかと云うと、輸出品はもっぱら北部(中緬国境地帯)の鉱山由来であり、もともとミャンマー中央政府の統制が及び難い地域であるため、当面大きな影響を与えないと云う。

クーデタがおこっても貿易に影響がないという地域の所産であるということから、私たちが留意すべきは、Dy を含む中重希土類が(相対的に)rich なイオン吸着鉱資源が、中緬泰越のどこにあるのか、ということよりも、これから自動車生産のほとんどはエンジン車からモーター車に置き換わるとして、本当にこれを支えるだけの採掘可能な Dy 資源が存在する確信が持てるのか、ということではないだろうか。

## 6.まとめ

ここまでをまとめると、ネオジム磁石用のレアアースの課題は、生産面、消費面で大きな課題を抱えていることがわかる。

### (1)生産上の課題

大量の放射性廃棄物・汚染水その他環境対策が必須であり、中国でさえ、いまや放置することが許されなくなっている。

なお Dy は、中国南部からインドシナ半島に限定されているイオン吸着鉱床産が高品位、採取が容易かつ残渣も非放射性物質であり、現時点ではコスト優位にあるとされる。

ただ、本当に環境対策を適切に実施した上でのコストなのかどうか、また、資源量が一定期間の生産を担保できるほど潤沢にあるのかどうか、よくわからない。

- Dy 資源を需要増大にあわせて確保しようという場合、まず原料鉱石として、Dy 比率の高いゼノタイムやフェルグソナイトが rich な鉱山を開発ということが考えられる。

表 5 では参考値を示したが、ゼノタイムは 10%近い品位を有している。

ゼノタイムを多く含む鉱山の候補は中国とかインドシナ半島とかに限定されず、北米、豪州はもちろん世界各地に存在している<sup>31</sup>。

ただし、これも他の鉱石と同様、放射性核種との混合物であることには留意すべきである。

---

<sup>31</sup> たとえば Strange Lake(カナダ・ケベック)、Bokan Mountain(米国・アラスカ)といった鉱山の候補は、重希土類全般が rich であることが知られており、特に 1980 年代に超電導素材としてレアアースの一つである Y(イットリウム)が rich であることで注目されていた。(1989 年 5 月 20 日「鉱山地質」39 巻「世界のレアアース資源」([https://www.jstage.jst.go.jp/article/shigenchishitsu1951/39/214/39\\_214\\_139/pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/shigenchishitsu1951/39/214/39_214_139/pdf) より)、開発は近年ようやく進み始めていて、Strange Lake では 2023 年から REO 生産を開始する予定(<https://torngatmetals.com/operations> )、Bokan Mountain は少なくとも 2021 年までは検討中のみま(<https://ucore.com/bokan-mountain/> )(いずれも 3 月 11 日確認)

表 5 主要鉱山(鉱床)別レアアース品位・構成(2)<sup>32</sup>

鉱山	推定生産量(千トン/年)	主鉱石	鉱石中のレアアース品位	レアアース構成比								
				軽希土類(7種)				重希土類(10種)				
				La	Ce	...	Nd	Sm	...	Dy	...	Y
(参考)(広東省南東部)		ゼノタ イム		1.2%	3.0%	...	3.5%	2.20%	...	9.10%	...	59.3%
Mt. Weld (西豪州)	15	モナザイト	8.9%	23.9%	47.6%	...	18.1%	2.44%	...	0.25%	...	0.76%

●わが国にとってこの課題解決のカギの一つと考えられるのは、南鳥島近郊の海底レアアース泥の採取である。

国立研究開発法人海洋研究開発機構や東京大学、早稲田大学などが共同で調査検討しているが、その報告によれば、

- ・このレアアース泥は水深 5000mを超える深海底にある
- ・重希土に富む
- ・放射性物質がほとんどない
- ・希塩酸などで容易に分離抽出できる

という資源であり、その開発方法も

- ・海洋石油生産で多く用いられている「浮体式海洋石油・ガス生産貯蔵積出設備」を応用したシステムを検討している

とのことである。

2011年にレアアース泥層の発見が報告され、2018年には Dy で 700 年分消費量相当の資源があることなどが確認されている<sup>33 34</sup>。

●同じくわが国としては、新規素材の開発と別に、資源リサイクルの推進が考えられる。

わが政府は、レアメタル・レアアースの安定供給確保のために、これまでも様々な対策を講じてきており、本稿に即して言えば、Lynas 社のマレーシア分離精製工場プロジェクトへの出資なども行っている。

これと別の対策として、「リサイクル重点 5 鉱種」を選定し、技術開発について具体的検討が進められている。

(一社)産業環境管理協会 資源・リサイクル促進センターのまとめによれば、ネオジウム磁石から Nd や Dy を回収する技術は実用化中であるが、ネオジウム磁石でつくられるモーターを製品(自動車・家電製品・ハードディスク等)から回収する技術は、製品ごとで実用化までに遅速がある<sup>35</sup>。

<sup>32</sup> 出典は表 2 と同じ

<sup>33</sup> 東京大学基金 HP 「南鳥島レアアース泥を開発して日本の未来を拓く」(<https://utf.u-tokyo.ac.jp/project/pjt124>)、2018年4月10日 早稲田大学リリース「南鳥島レアアース泥の資源分布の可視化と高効率な選鉱手法の確立に成功」(<https://www.waseda.jp/top/news/58275>)(いずれも3月11日確認)

<sup>34</sup> なお希塩酸による浸出を行ったあと、水酸化ナトリウムで中和し無害化したのち、残渣の利活用を検討しているとも報告されている。

<sup>35</sup> 同法人 HP 「レアメタルリサイクルの必要性和対象鉱種>ネオジウム Nd、ディスプロシウム Dy」(<http://www.cjc.or.jp/raremetal/overview/needs-targets/neodymium-dysprosium> 3月11日確認)

このような国内にある使用中・使用済みの工業製品の中にある資源の再利用は大いに推進すべきである。

注意すべきは、リサイクルが技術的にできるというだけでなく、新規品の輸入(価格・供給量)に伍したコストでレアアース金属を製造できなければ、結局立ち消えになっていくか、コスト増要因になってしまい再利用品をつかった製品のコスト競争力を失わせるおそれもあり、事業として採算が取れるようになっていくスキームづくりが求められることはいうまでもない。

## (2)消費上の課題

レアアース全般としての原単位減や代替材開発は大きな成果を挙げたが、実はこれから消費が伸びるネオジム磁石用には寄与していると言いがたい。逆に Ce、La が消費上の構成比ではその半分ほどになっている。

この結果、ネオジム磁石用に少なくとも Dy を必要とする限り、イオン吸着鉱床以外の鉱山が世界的に生産を拡充したとしても、0.数%の Dy のために、大量の(消費されるあてのない)Ce、La も生産してしまうことになる(注 (1)で触れたゼノタイムの場合は 10%ほどだが、その他の鉱種が不要という理屈は同じ)。

これが本当に鉱工業として適正なあり方であり、ビジネスとして中長期的に成り立つだろうか。

一方で、Ce や La の用途開発の推進が求められるが、他方少なくとも Dy を大量に消費する、という製品のあり方を見直すということを真剣に検討してみなければならぬのではなかろうか。

●この課題解決には、すでにわが国自動車産業も取り組んでいる。

2016年7月、ホンダ技研工業は大同特殊鋼が開発した「重希土類(≒Dy)完全フリー熱間加工ネオジム磁石」を採用した旨発表した<sup>36</sup>。

また、2018年2月、トヨタ自動車が開発した「省ネオジム耐熱磁石」は、Dyフリー化だけでなく、Ndを最大50%まで削減しその機能をCeやLaに代替させることができるという<sup>37</sup>。

まさしく、CeやLaの用途開発を推進し、かつDyの消費を極少化し(併せてNdの消費も抑える)という技術であり、実用化が切望される。

これらの開発が目的とするところは明快であり、このような取組みが成功することや、他にも同様の取組みが広がっていくことが期待される。

以上

---

<sup>36</sup> 2016年7月12日、ホンダ技研工業リリース「重希土類完全フリー磁石をハイブリッド車用モーターに世界で初めて採用」(<https://www.honda.co.jp/news/2016/4160712.html> 2021年3月11日確認)

<sup>37</sup> 2018年2月20日、トヨタ自動車リリース「トヨタ自動車、ネオジム(Nd)使用量を大幅に削減したモーター用の新型磁石「省ネオジム耐熱磁石」を開発」(<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/21137873.html> 2021年3月11日確認)