

レアメタル

産総研レアメタル・タスクフォース

レアメタルとは何か

3年程前から、「レアメタル問題」とか「レアメタル危機」という言葉を見聞きすることが多くなりました。レアメタルのレアは、英語のRARE（レア）＝希少な、希薄な、まれな、という言葉ですが、学術的に定義された言葉ではなく、どの元素をレアメタルと呼ぶかということについてもコンセンサスはありません。近年は、経済産業省の定義に従って、図1に示されている47の金属元素をレアメタルと呼ぶケースが多くなっています。図中の17種類の希土類元素（レアアース）を1種類とカウントして31元素と数えることもあります。自然界に存在する元素は89種類ですから、半分以上の元素がレアメタルということになります。

チタン、マンガン、クロムといった、地殻中に大量に存在する元素もレアメタルとされています。これは、マンガンやクロムは、昔から鉄の特性を向上させる添加物として使われる、工業社会に必要不可欠な元素であったためです。チタンは酸化物として大量に存在

する鉱石の精錬に高度な技術が必要で、製造が難しい金属です。一方、歴史的経緯から、古くからの貴金属である金、銀はレアメタルとは呼ばれません。

産業のビタミンから産業の生命線へ

レアメタルは以前から「産業のビタミン」といわれて、産業上の重要性が認識されてきました。しかし、近年、レアメタルを使わないと作れない製品に、産業が大きく依存するようになり、レアメタルは「産業の生命線」になっています。

レアメタルが大きな役割を果たしている、または将来は果たすであろう製品の代表的な例を紹介しましょう。

現在の自動車、および開発中の省エネ・低環境負荷型の自動車とレアメタルの関係の例を図2に示します。今後、どのようなタイプの自動車が開発されても、レアメタルがますます重要になることが分かります。

もう1つの例として、液晶テレビがあります。最近、急激に生産台数が拡大し、画面も大型化している液晶テレ

ビのパネルには、透明導電膜（ITO）の成分として、非常に希少なレアメタルであるインジウムが不可欠です。

なぜレアメタルが問題か

このようにレアメタルの重要性が増しているにも関わらず、その供給の将来が必ずしも安心できるものでなく、近年、価格も大きく高騰したことが、大きな問題となっています。その国際的な背景として、以下のことがあります。

- 中国、インドなどの人口の多い開発途上国の急激な工業化による、全ての資源需要の急増（およびその予測）
 - 液晶テレビ、ハイブリッド自動車など、新しい製品（省エネ・低環境負荷に貢献する機器を多く含む）に必要とされる特定のレアメタルの需要の急増
 - 比較的小規模なレアメタル市場への大量の投機的資金の流入
 - 埋蔵資源が偏在する資源国の国内産業育成政策などによる輸出の制限・抑制
- 経済のグローバル化、製品のモ

	1族	2族	3族	4族	5族	6族	7族	8族	9族	10族	11族	12族	13族	14族	15族	16族	17族	18族
1 周期	1 H																	2 He
2 周期	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3 周期	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4 周期	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
5 周期	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
6 周期	55 Cs	56 Ba	57~71 ランタノイド	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
7 周期	87 Fr	88 Ra	89~103 アクチノイド															

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
アクチノイド	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U											

図1 47の金属元素

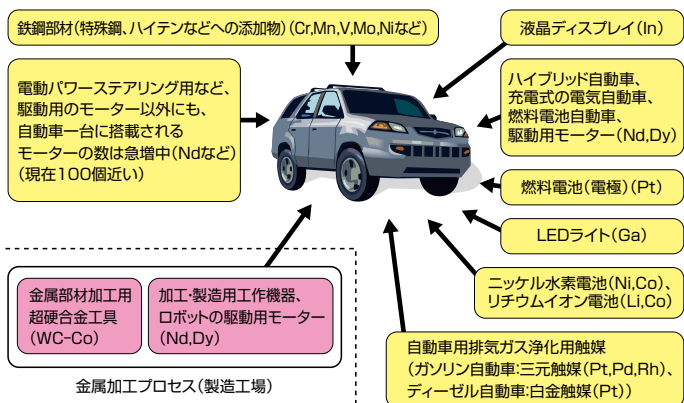


図2 低環境負荷型の自動車に関わるレアメタルの例

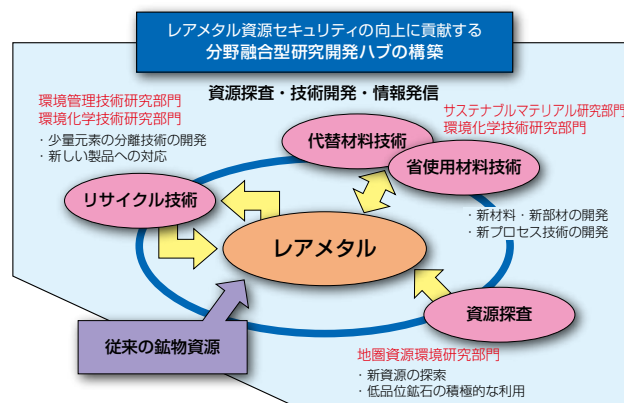


図3 レアメタルタスクフォースの目指している融合研究のイメージ

ジュール化の進展などが、多くの製品の生産力の爆発的増加を可能にすることも、レアメタルの需給バランスが急変する危険性を高めています。

安定供給が危惧されているレアメタルには、①埋蔵鉱量や生産量が極少なく、さらに少数の国に偏在している元素（白金族元素、タングステン、重希土類元素など）、②別の資源を採掘する際の副産物として極少量しか生産されないため、需要に応じた生産増加が困難な元素（インジウムなど - 主に亜鉛の副産物として産出 -）などがあります。^{[1] [2]}

産総研レアメタルタスクフォースとその目指すもの

資源小国であるわが国が、将来も「ものづくり」を重視しつつ、新産業を創出し、先進工業国としての地位を保つ

ていくためには、レアメタルの供給不安を緩和する、レアメタル資源セキュリティのレベルを高めていくことが望まれます。

そして、新技術の開発で問題を解決していくことが、わが国の産業にとって大きなチャンスの創造に繋がると考えられます。

公的研究機関で実施可能な対策としては、新資源の探査による資源供給の選択肢の多様化、個別の製品に対応する省資源使用技術および代替材料技術の開発、リサイクル技術の確立があります。また、投機を抑制するためには、適切な情報発信に努力することも重要です。そして、それらは、資源の需給を通じて相互に強く影響します。

産総研は、レアメタルに関わる前述の研究開発要素のほとんどを組織的に行っている日本唯一の研究機関です。

また、レアメタルの研究という意識が無くとも、非常に多くの研究員が、レアメタルの特性を利用した技術開発に携わっています。しかし、これまで複数の研究ユニットが自らのポテンシャルを生かして、個別課題に取り組んできたため、レアメタル問題への取り組みに必要な連携および情報発信は不十分でした。

レアメタルタスクフォースは、所内の複数の研究ユニットに跨る分野融合型の研究課題を推進することで、レアメタル問題に積極的に取り組むことを目指して、2006年に組織されました。図3は、レアメタルタスクフォースの目指している融合研究のイメージです。

サステナブルマテリアル研究部門長
中村 守

参考文献

- [1] レアメタル-技術開発で供給不安に備える-、独立行政法人産業技術総合研究所レアメタルタスクフォース編、工業調査会、(2007)
- [2] USGS Minerals Information: Commodity Statics and Information, 2007 (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>)

重希土類を使わない希土類磁石

多くの先端装置に利用される高性能磁石

高性能磁石の開発において、歴史的に日本は世界をリードし続けています。特に、Nd-Fe-B磁石の性能はそれまでの磁石を遙かに凌駕するものでありました。現在も改良が続けられ、その性能は向上しています。

Nd-Fe-B磁石は、ハードディスク用ボイスコイル磁石 (VCM) や、携帯電話用スピーカー・振動モーター、DVD用光ピックアップ、産業用ロボット、核磁気共鳴画像装置 (MRI) などのハイテク機器や先端装置に利用されています^[1]。最近注目されているのが、ハイブリッド車や電気自動車に使用されるモーターです。自動車用のモーターは冷却機構などを設置しにくいので、200℃程度の使用温度になるとされており、耐熱性が要求されています。

ジスプロシウム (Dy) の重要性和希少性

永久磁石の特性を表す指標として、保磁力、残留磁束密度、最大磁気エネルギー積があります。最大磁気エネルギー積が大きいものが高性能磁石とされます。高性能磁石であるNd-Fe-B磁石は温度の上昇とともに保磁力が著しく低下するという欠点がありました。これを改善するためには数%程度のDyの添加が有効であることがわかってきました。現在のNd-Fe-B高性能磁石にはDyが必須元素となっており、使用温度が高くなっても保磁力が低くならないようにしています。過酷な環境にある自動車用のモーターは高温でも高い保持力を維持する必要があり、Dyの量が従来の常温で用いる場合の3倍程度添加する必要があると言われていました。

しかし、Dyの添加は残留磁束密度を低下させます。保磁力と残留磁束密度の関係から最大磁気エネルギー積が決まってくるため、Dyの過剰な添加は最大磁気エネルギー積を低下させてしまいます。

地殻に存在する希土類元素資源は偏在しており、中国がそのほとんどを生産しています。特にネオジウム (Nd) やサマリウム (Sm) などの軽希土類に比べ、Dyを含む重希土類は偏在が著しく、採掘量も少なく、価格もNdの3倍程度するため^[2]、使用量を低減する必要がありますができました。経済産業省でもDyの使用量を低減した磁石を開発するプロジェクトを平成19年度から開始しています。昨今の磁石需要の増大、特に環境に優しいと注目されているハイブリッド車の生産増加によって、Nd-Fe-B磁石の使用量は今後益々増加するものと考えられています。現在のNd-Fe-B磁石の地位は当分揺るがないと思われますので、このプロジェクトは大変重要な位置を占めています。

重希土類を使用しない希土類磁石の可能性

Dyの使用量を低減する一方で、Dyを使用しない高性能磁石の研究も進めていく必要があります。現在Nd-Fe-Bに匹敵する磁石として軽希土類のSmを使用するSm-Fe-N磁石が有望です^[3]。この磁石は、Nd-Fe-Bと同等の性能を持つとされており、さらに150℃程度キュリー温度が高いため、比較的高温下での用途に有効であると考えられています。また、耐食性にも優れていることからNd-Fe-B磁石のように表面を別の

金属などでコーティングしないで使用できることも有利な点です。ただし、この材料の欠点は600℃程度の高温になるとSmの窒化物と鉄に分解してしまうことです。これは、磁石を製造する際に非常に問題になります。

磁石は合金化した磁性粉末を固めて作りますが大きく分けて焼結磁石とボンド磁石があります。焼結磁石は磁性粉末を高温で焼き固めて作ります。そのため、緻密な磁石となります。一方、ボンド磁石は磁性粉末を樹脂で固めたもので、磁性体は粉末の状態に残っており、粉末の間隙を樹脂が埋めています。そのため、同じ量の磁性粉末を使用しても、焼結磁石の方がボンド磁石より高い性能が得られます。ただ、樹脂の入ったボンド磁石はいろいろな形に成

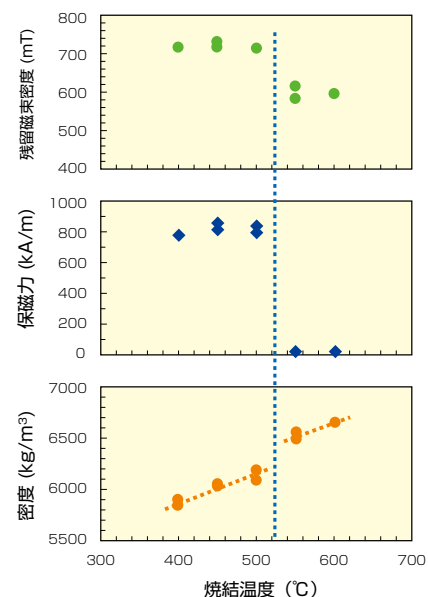


図1 Sm-Fe-N粉末の焼結温度と残留磁束密度 (Br)、保磁力 (Hcj) および焼結密度の関係
点線の温度付近でSm-Fe-Nの分解が起きている。

形できますので、用途によってそれぞれの磁石が使い分けられています。

高性能磁石を開発する場合、焼結磁石の方が有利ですが、Sm-Fe-Nは高温で分解するため、磁性粉末を焼き固めることが非常に困難です。そのため、現在市場にでているSm-Fe-N磁石はボンド磁石のみとなっています。

焼結プロセスを変える

私たちの研究グループでは、Sm-Fe-N焼結磁石の作製を試みています。従来の焼結方法は、あらかじめプレスによって固めた磁石の粉末を炉の中で加熱することで焼き固めます。この方法では、比較的長い時間高温下にさらされるため、Sm-Fe-Nが分解しやすくなります。そこで、私たちは新しい焼結技術であるパルス通電焼結法^[4]によって荷重(加圧)をかけながら短時間で焼結することで、Sm-Fe-Nの分解を抑えながら緻密な焼結磁石を作製することを試みました。

緻密な焼結体を作製するには、焼結温度と加圧力が重要な因子です。一般的には、いずれの因子も高くすることによって焼結体は緻密になります。図1はSm-Fe-N粉末の焼結温度を変化させた時の焼結温度と残留磁束密度(Br)、保磁力(Hcj)、焼結密度の関係です。密度は焼結温度の上昇とともに増加していきます。一方、磁気特性は500℃までほぼ一定を保ちますが、これ以上焼結温度を高くすると低下し、特に保磁力はほとんど無くなってしまいます。これは、Sm-Fe-Nの分解が起こってしまったためです。このようにSm-Fe-Nの磁気特性は、温度によって徐々に低下す

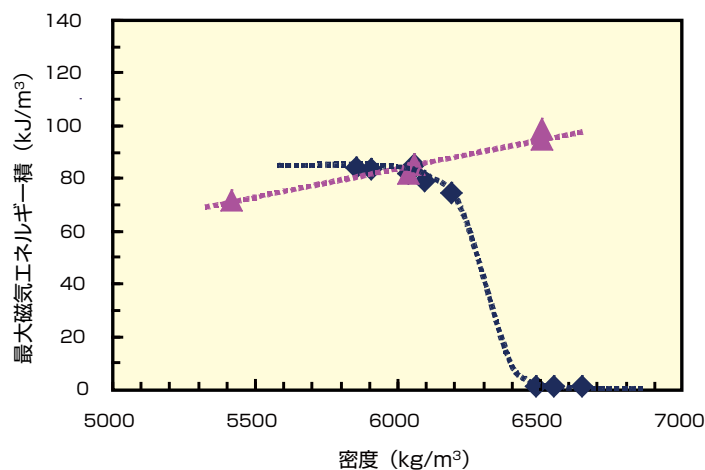


図2 Sm-Fe-Nの焼結密度と最大磁気エネルギー積との関係
▲は加圧力によって焼結密度を変えた場合。◆は焼結温度によって焼結密度を変えた場合。

るのではなく、ある閾値^{しきいち}までは変化せず、ある温度以上になると特性が一気に低下するという特徴があります。そこで、解決法としては高い加圧力をかけながら分解をしない温度で焼結することが必要となってきます。図2はこれらの結果を密度と最大磁気エネルギー積((BH)max)との関係で整理したものです。加圧力を高くして焼結密度を上げることによって、最大磁気エネルギー積を高くできるため、低温高加圧焼結によってこれを達成することができます。ただ、この手法によりますと高性能焼結磁石を作製することは可能ですが、単純な形状の焼結体しか作製でき

ませんし、量産化には不向きな方法となってしまいます。また、製造時のコストも非常に高くなることが予想されます。現在、製造コストの削減と量産化に適したプロセスの開発をめざし、最適な粉末の製造から焼結までの研究開発に取り組んでいます。

サステナブルマテリアル研究部門
尾崎 公洋

参考文献

- [1] 佐川真人、浜野正昭、平林 真 編：「永久磁石」、アグネ技術センター (2007)
- [2] レアメタルニュース、2008/2/24号、アルム出版社
- [3] 今井秀明、入山恭彦：特許第2703281号
- [4] 小林慶三、尾崎公洋：粉体および粉末冶金、51、19-26 (2004)。

パラジウム削減・代替水素分離膜

白金族金属が抱える課題

白金、パラジウムに代表される白金族金属は環境・エネルギー分野で欠かせない金属です。自動車排ガス処理触媒には世界生産量の半分近くが使われています。近年、クリーンなエネルギー媒体として水素に期待が集まっていますが、その製造・利用にも白金族は不可欠です。現在、水素の多くは天然ガスなどから化学反応によって製造されていますが、その触媒に白金族金属が使われます。水素と酸素から効率よく発電する燃料電池には触媒として白金が使われます。このように、水素社会実現には大量の白金族金属が必要になると考えられます。

一方、白金族金属の鉱脈は品位が低く、純金属1gの生産に1tもの岩石を採掘する必要があります。そのため、採掘に伴って自然環境を破壊し、ほぼ同量の岩石類を廃棄することによっても環境を破壊しています。しかも、その岩石を取り扱うために莫大なエネルギー

を消費しています。環境・エネルギー分野で必要となる白金族金属の生産で、逆に環境・エネルギー問題を引き起こしているとは大変皮肉なことです。

パラジウムで高純度水素を作る

パラジウムからなる金属膜は混合ガスから水素のみを選び分ける「ふるい」として使用することができます。その分離メカニズムを図1に示します。水素分子は膜の表面で2つの原子に解離し、膜中に溶解し、金属原子の隙間を縫って拡散し、膜の反対側で再結合することで透過します。水素以外の分子は解離、溶解、拡散が困難なことから透過することはできません。半導体、LEDの製造には超高純度の水素が必要ですが、そこではパラジウム膜で99.999999%の水素を作り出して利用しています。

蒸留のような気液の変化を伴わないこの分離プロセスはエネルギー効率が

良く、燃料電池用の水素製造でも期待されています。金属膜で得た高純度水素を供給することで、燃料電池触媒の白金量を減らすことができます。水素製造に必要な白金族金属触媒の一部も不要になります。

しかし、パラジウムもまた白金族金属です。産総研では水素分離膜に用いるパラジウムの削減・代替に関わるさまざまな研究を進めています。ここではその一部を紹介します。

パラジウム削減・代替技術

① 薄膜化によるパラジウム削減

パラジウム使用量削減の最も基本的な方法は膜を薄くすることです。膜厚が市販膜の10分の1の5μmになれば、面積あたりの水素透過速度は10倍になります。従って、同量の水素透過に必要な面積は10分の1に、結果として、必要なパラジウム量は100分の1と大幅に削減することができます。

薄い膜の強度を補うには多孔質支持

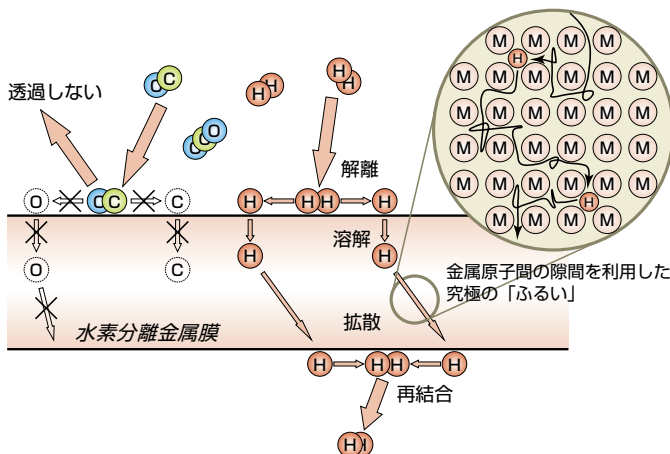


図1 金属膜による水素分離の原理

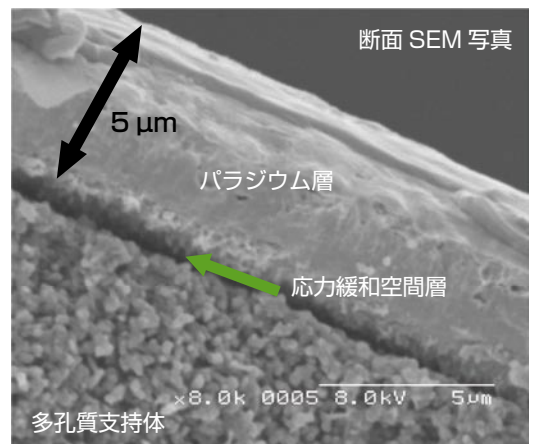


図2 多孔質支持体上に応力緩和空間層を介して形成した膜厚5μmのパラジウム薄膜

体などの支えが必要です。ところが、多孔質支持体表面の凹凸が原因で、その上に無欠陥で薄いパラジウム膜を作るのは困難でした。産総研では多孔質支持体上に薄い高分子層を一旦形成し、その上にパラジウムをメッキしてから高分子層を除去することで、無欠陥のパラジウム薄膜を作ることに成功しました(図2)。高分子層のあった部分が空間として残り、パラジウムが支持体に強く拘束されないことなどから、長期安定性に優れていることも明らかになりました。現在、更なる均一薄膜化(1~5 μm)やPd₆₀Cu₄₀に代表されるPd合金系への展開、さらに、モジュール化など実用化に向けて取り組んでいます。

② パラジウムに代わるバナジウムの薄膜化

水素透過能が高く、パラジウムに比べて資源が豊富な金属としてバナジウムが知られています。これまで圧延で作製されたバナジウム膜が研究されてきましたが、合金化、熱処理、表面研磨など多くのプロセスが必要でした。産総研では気相成長法を用いることで多孔質金属支持体上にバナジウム薄膜を単純なプロセスで形成することに成功しました(図3)。塩素を含まない原料を用いるため、金属支持体への影響も少なく、環境にも優しいプロセスで

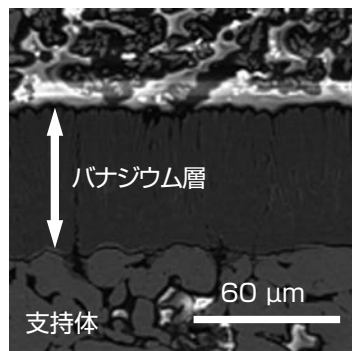


図3 多孔質ステンレス支持体上に形成したバナジウム薄膜

す。この上にパラジウムを薄く被覆することで水素透過能を発揮します。今後、一層の薄膜化、合金化による性能の改善、生産性の向上を目指して開発を進めていきます。

③ 非パラジウム系アモルファス合金膜

図1のように金属膜は水素透過の際に水素を溶解しますが、その水素により一般に金属が脆くなること(水素脆化)が知られています。その結果、崩壊し分離能を失ってしまうことが非パラジウム系膜素材の開発で最大の課題でした。そこで、高い靱性で知られるアモルファス合金に着目して材料探索を行いました。その結果、ジルコニウムとニッケルからなるアモルファス合金が水素分離膜として使えることを見出しました。また、非パラジウム系金

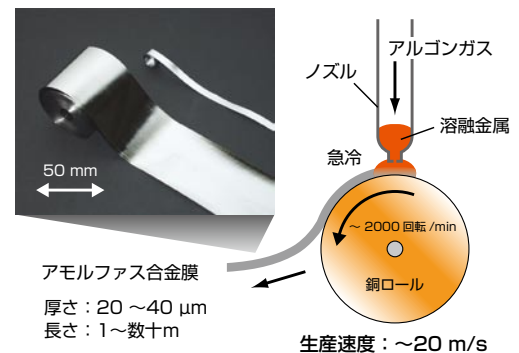


図4 単ロール液体急冷法の原理と、これを用いて作製したアモルファス合金膜
(写真：三菱マテリアル株式会社提供)

属膜は通常パラジウム被覆が必要ですが、この膜はパラジウムがなくとも水素を透過させることが分かり、パラジウム完全代替の候補として期待されています。しかも、アモルファス合金は単ロール液体急冷法を用いて大面積の膜を生産することが可能です(図4)。企業との共同研究などを通じて、性能向上、大面積化、耐久性の向上などに取り組んでいます。

資源・環境・エネルギー問題の同時解決に貢献することを目指して、産総研はこれらからも水素分離膜の研究開発を進めていきます。

環境化学技術研究部門
原 重樹

参考文献

- ・ M. Mukaida, et al, Preparation of Vanadium Thin Films by Chemical Vapor Deposition, *TMS2007 Ann. Meet. Proc.*, 169.
- ・ 須田洋幸、高純度水素の長期安定供給を可能にするパラジウム系薄膜の新規調製法、*水素利用技術集成 Vol.3*, NTS (2007) p. 268
- ・ レアメタル-技術開発で供給不安に備える-、独立行政法人産業技術総合研究所レアメタルタスクフォース編 工業調査会、p. 183 (2007)

希土類元素のリサイクル

希土類磁石のリサイクル

希土類磁石、特にネオジム-鉄-ホウ素系磁石は、優れた磁気特性を示し、ハードディスクドライブ(HDD)やハイブリッド自動車のモータ、MRI、音響機器などに使用され、今後も私たちの生活に欠かせない重要な素材です。

この磁石には、レアメタルであるネオジムやジスプロシウムといった希土類元素が使われています。日本は、希土類元素の供給のすべてを外国に依存していて、特に中国からの輸入がほとんどを占めています。将来も希土類元素を安定して確保するためには、中国以外での資源探査・開発とともに、国内での希土類元素リサイクル技術の開発が重要です。

希土類磁石の製造工程では、切削や破損などで全体の20～30%がスクラップとなりますが、これらのリサイ

クルはすでに行われています。しかし、いったん製品となって市中に出ってしまった磁石のリサイクルはほとんど行われていません。環境管理技術研究部門では、このような市中屑からの回収も念頭におき、物理的手法を用いた一次濃縮技術ならびに濃縮された対象物を水溶液に溶解し希土類元素を抽出分離する技術を研究しています。

HDDからの希土類磁石粉の回収

HDD全体に占める磁石の重量割合は2～3%と決して多くなく、希土類元素を効率良くリサイクルするには、まず固体状態で磁石を一次濃縮することが重要となります。HDDでは、まず筐体部分を優先的に破壊し、その後、砕け残った磁石含有部品から、希土類磁石粉だけを選択的に粉砕して回収する2段階選択粉砕技術を検討してい

ます(図)。このプロセスにより、小型電気・電子機器類を総合的にリサイクルする工程の中で、希土類磁石粉を効率良く濃縮・回収することができ、後段の溶解・抽出による金属回収プロセスを経済的に行うことが可能となります。

湿式法による金属分離

一次濃縮操作によって得られた原料は、硫酸や塩酸などの鉱酸によって溶解しますが、磁石の成分は70重量%以上が鉄で占められていて、その鉄を全て溶解させようとすると膨大な量の酸を消費してしまいます。したがって鉄の溶解をできるだけ抑制しつつ、希土類元素だけを効率良く溶解させることを目標に研究を行っています。また溶解液からの金属の分離精製には溶媒抽出法の適用を検討しています。溶媒抽出法を用いることにより、重希土類であるジスプロシウムと軽希土類であるネオジムを比較的簡単に相互分離することができ、このときホウ素や被膜成分であるニッケルは水溶液相に残すことができます。いったん抽出した希土類元素イオンは、化合物として回収し、再度磁石原料としてリサイクルすることを目指しています。



環境管理技術研究部門
田中 幹也
大木 達也

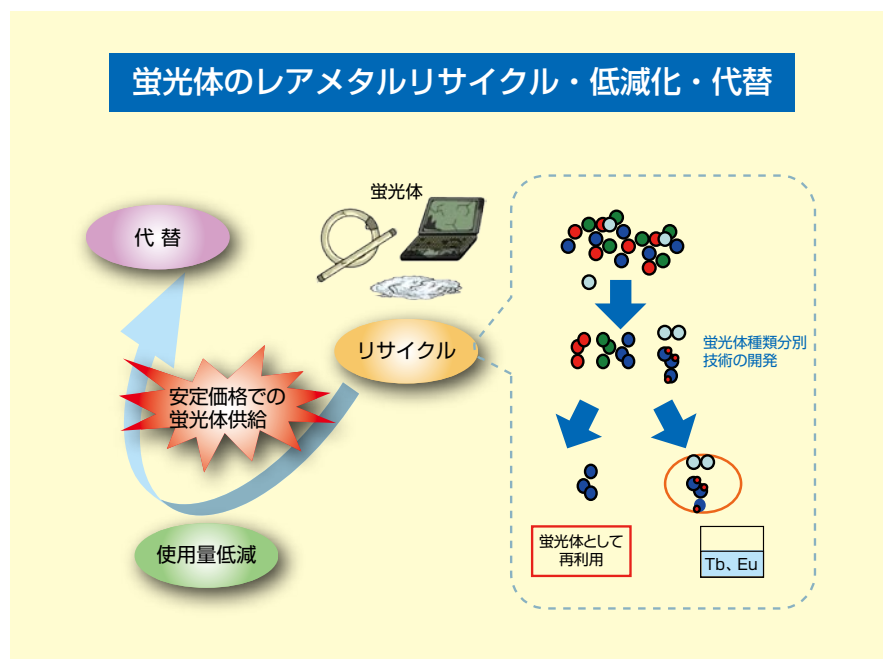
情報家電・照明の光の源となる蛍光体

今や私たちの生活においてディスプレイ・照明機器という電気を光に変える機器は不可欠なものとなっています。それらの機器では蛍光体は電気が発生した目に見えない紫外線・電子線を可視光に変換する重要な役割を果たしています。高輝度蛍光ランプや液晶バックライトでは、青、緑、赤の高輝度蛍光体を混ぜて白色発光を得ていますが、これらの蛍光体にはユーロピウム、テルビウムが多量に使用されています。希土類をめぐる昨今の情勢から蛍光体の価格は上昇し、また、供給が途切れるリスクも完全には否定できなくなっています。そのため、蛍光体のリサイクルは重要な課題となってきています。

蛍光体の希土類リサイクル

近年、蛍光ランプの事業所からの回収率が向上したため、廃蛍光体の回収量は増える傾向にあります。しかし、回収蛍光体の一部は劣化していることや、製品ごとの3色の混合比が異なっていることから、性能を重視する新製品にはほとんど使用されていません。そこで、再利用率を向上させるためには元の各色へ分別する技術や劣化した蛍光体を分別する技術が必要となります。そのため、各蛍光体が有する異なった物理的性質を組み合わせ、物理的な方法でこれらを分離する技術の開発を行っています。

また、劣化した部分など蛍光体としての再利用が難しいものについては、溶液に溶かした後、ユーロピウム・テルビウムを抽出して元素として再利用



することが考えられます。しかし、ランプ用、プラズマディスプレイ用の蛍光体には酸では抽出できない酸化物も多く、抽出を可能にするための前処理方法の開発が必要です。そのうちの1つの方法として、一部酸化物成分を添加してガラス化することで酸抽出を可能にする方法を検討しています。また、前項で述べられているように酸抽出した溶液から希土類を低コストで効率良く抽出する技術も重要な課題となります。

蛍光体希土類対策技術の今後

蛍光体のレアメタル対策のためには、短期的にはリサイクル技術の開発が効果的な対策ですが、中・長期的には、蛍光体に使用される希土類量の低減化・希土類元素代替も重要な技術課

題と考えられます。その目的のために、多孔質のシリカガラスを用いて、希土類使用量の少ない高効率蛍光材料や、希土類以外の金属を使用した高効率蛍光体の開発にも着手しています。

リサイクル・希土類使用量低減化・代替という一連の技術開発によって、蛍光体が低価格で安定して得られる枠組みが構築され、私たちの生活における「電気からの光」は今後も安定して供給され続けると考えられます。

環境化学技術研究部門
赤井 智子

希土類：資源調査および資源開発

はじめに

レアメタルの需要は、ほかの金属と同様に年々増加の一途をたどっています。よく「石油の寿命はあと30年」と言われていましたが、その寿命は縮まることなく維持されてきました。これは石油鉱床を新たに発見し、開発・生産するという努力が行われてきた結果です。レアメタルに関しても同様で、レアメタルの寿命を伸ばすために不休の努力が続けられています。しかし30年前の資源の消費量と現在の消費量は全く違います。そのため過去と同じ年数の資源量を確保することは大変な困難を伴い、資源を探索・開発する点で大きなブレークスルーやイノベーションを必要とします。

希土類^[1]を例にとると、1900年から2006年までに全世界で消費された資源量は220万tですが、その消費量は年々増加しており、今後30年間の需要は800～1,000万tと見込まれます(グラフ)。したがって30年の希土類寿命を

維持するためには、過去100年あまりの間に消費された資源量の4～5倍の埋蔵量を確保する必要があります。

希土類は消費国や生産国が特定の国に偏っているため、世界的にはあまり注目を浴びず、それらをターゲットとした資源量調査や鉱床探査・開発はこれまで活発に行われてきませんでした。しかし、日本が中国に次いで世界第2の希土類消費国となっていることもあり、私たちの鉱物資源研究グループでは、日本の先端産業に必要な希土類の資源量調査を2005年から行っています。

希土類資源量調査

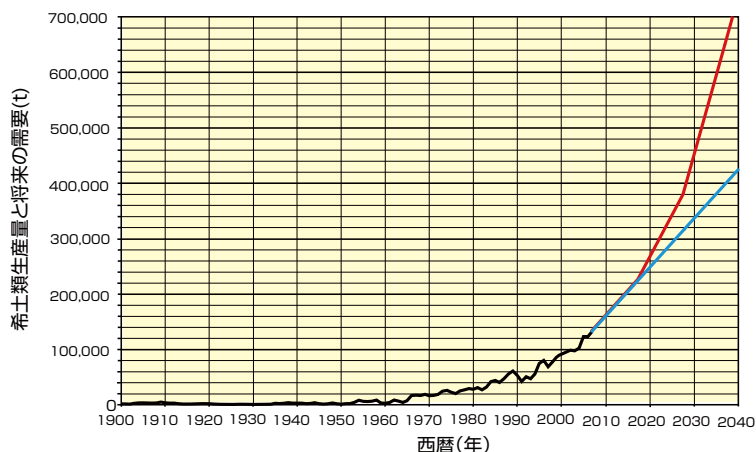
希土類はランタノイド系列の15元素とスカンジウム、イットリウムを加えた17元素の総称です。これまでに公表されている希土類埋蔵量(経済的に開発可能な資源量)はこれらすべての元素を一括して取り扱っています。しかし、それぞれの元素の存在割合は鉱床

により異なり、例えば希土類磁石に用いられるネオジムやジスプロシウムがどこにどのくらい埋蔵量として存在するのかといった詳細なデータベースはありませんでした。

私たちはこのデータベースを作ることから始めました。希土類鉱山の多くは元素ごとの詳細なデータを公表していないため(もしくはデータを持っていないため)、文献調査だけでは精度良いデータベースを構築することはできません。そのため、世界最大の希土類生産国である中国(写真1)を初めとして、アフリカから南米まで世界各地の鉱床を鉱石試料採取のために調査と独自の化学分析を行い、データを創り出しました。その結果、①世界には約900万tの希土類埋蔵量があること(そのうち中国の埋蔵量が約半分)、②ジスプロシウムやテルビウムなどの重希土類の埋蔵量はきわめて限られることなどが判明しています。この希土類埋蔵量は今後30年間の世界の予想需要量に相当します。

新たな希土類供給源の模索

希土類の中でも需要が逼迫^{ひっぼく}して価格の上昇が続いている重希土類(ジスプロシウムやテルビウムなど)の新たな供給源の開発は重要なテーマです。現在、重希土類は中国南部の花崗岩風化型の鉱床から供給されています。このタイプの鉱床はこれまでのところ中国でしか発見されていません。私たちはこのタイプの鉱床の成因研究を行い、鉱床形成には①重希土類に富む還元型花崗岩の存在、②厚い風化殻を形成する高温多湿の気候、③重希土類を含有



希土類元素の生産量と将来の需要。生産量は米国地質調査所の資料に基づく(http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/stat/)。赤線は、生産量がこれまでの伸び率と同様に将来も伸びた場合、青線は最近10年間の伸び率(1.7倍)が今後30年間継続した場合の需要を示す。

する鉱物が分解する環境、の3条件が必要であることがわかりました。日本学術振興会から科学研究費補助金を得て、東京大学や九州大学とともに、これらの条件を満たしている地域の花崗岩風化殻の調査を行っており、東南アジアで有望地を発見しています^[2]。

一般に資源の探査から開発までには10年あまりの長い期間と膨大な開発資金が必要です^[3]。また新たな鉱山開発は環境負荷を伴います。重希土類の供給を経済的に迅速に行うために、また環境負荷を最小限にとどめるために、既に開発中の鉱床からベースメタルや非金属鉱物の副産物として希土類を回収する可能性も検討しています。

1つの候補は農業用肥料の原料である燐灰石です。世界の主要な燐灰石鉱床の鉱石を集め希土類の含有量を測定したところ、世界で年間に生産されている燐灰石中には約17万tもの希土類(酸化物換算)が含まれていることが判明しました。この量は2006年の世界の希土類年間生産量(=消費量)である13万tを上回ります。燐灰石から燐酸を製造する過程で希土類の回収を行えば、希土類の供給を大幅に増加させることが可能です。

また日本の層状マンガン鉱床の鉄マンガン鉱石中には重希土類に富むものの存在が知られていました^[4]。鉄マンガン鉱石中の総希土類(平均1800 ppm)



写真1 中国バヤンオボ：世界最大の希土類鉱山。鉱石埋蔵量は鉱量約5,700万t、酸化希土類品位6%。

中の重希土類元素の割合は約20%であり、希土類鉱床の中では重希土類に富むことを特徴としています。残念ながら日本のマンガン鉱床は、規模が小さくすべて終掘しているのでここから希土類を回収することはできません。現在の課題は、希土類に富む規模の大きな層状マンガン鉱床を探し出すことです。産総研は2007年11月に南アフリカ共和国地球科学審議会、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構とともに南アフリカ共和国でのレアメタル資源に関する共同研究を実施することに調印しました。まず手始めに世界最大の規模を誇るカラハリ地域の層状マンガン鉱床の希土類ポテンシャル調査を行っています(写真2)。

希土類資源開発に向けて

希土類資源を開発するためには、資源の基礎的調査や研究をするだけでなく、開発・生産のための選鉱試験や経済性の調査も必要です。2008年度に



写真2 南アフリカ地球科学審議会のRamontja CEO(写真左)、Foya鉱物資源開発部長(右)と筆者(中央)。

経済産業省は124億円の予算で「希少金属資源開発推進基盤事業」を開始しました。このプロジェクトでは、鉱物資源賦存のポテンシャルが期待されるものの十分な探査活動がなされていないアフリカ、中央アジア、環太平洋地域などの資源戦略上の重点国をターゲットに、最新の鉱床地質学の成果なども活用しつつ、資源国との関係強化を図り、日本の権益確保を促進しようとするものです。この中では新しいタイプのレアメタル鉱床や^{ざんさ}残渣中の未回収レアメタルに対応した新精錬技術・回収技術の調査検討も行うことになっています。

私たちは、このプロジェクトを主体的に実施する独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構と連携して、新規調査地域や対象の提案をしていきたいと考えています。

地圏資源環境研究部門
渡辺 寧

参考文献

- [1] 渡辺 寧, 精密工学会誌, vol. 74, No. 1, p. 25-27 (2008).
- [2] 渡辺 寧, JEITA Review, Vol. 561, p. 2-7 (2008).
- [3] レアメタル-技術開発で供給不安に備える-, 独立行政法人産業技術総合研究所レアメタルタスクフォース編, 工業調査会, 208p (2007).
- [4] Kato, Y., Fujinaga, K., Nozaki, T., Osawa, H., Nakamura, K. and Ono, R., Resource Geology, v. 55, No. 4, 191-310 (2005).