

次世代自動車とそのリサイクル技術に関する最新研究

名古屋大学グリーンモビリティ連携研究センター 神本祐樹、市野良一

1. 緒言

レアメタルは、経済産業省鉱業審議会レアメタル総合対策特別小委員会にて、「地球上の存在量が稀であるか、技術的・経済的な理由で抽出困難な金属のうち、現在工業用需要があり今後も需要があるものと、今後の技術革新に伴い新たな工業用需要が予測されるもの」として定義される元素を示す。その元素は希土類元素(レアアース)を1鉱種として31鉱種が定義されている(図1)。それらの元素の多くは銅や亜鉛などのベースメタルの副産物として産出され、希土類元素の多くはウランなどの放射性元素と共に産出される。レアメタルの精錬の問題として鉱石中の含有率の低さや共存元素分離性や共存成分の有害性などの問題を有し、流通量やコストにも課題がある。

レアメタルのリサイクルに関連した政策は、経済産業省や環境省、文部科学省などで実施されている。それらは、海外資源確保(新規鉱山)や備蓄、代替材料開発(使用量低減)、リサイクルである。代替材料開発は、使用出来る元素や求められる性能が明確であり、多くの研究成果が発表されている。一方で、リサイクルは処理対象の組成が様ではなく、物理選別や化学分離などの異なるプロセスと結びついて初めて完結する。それらのことから、リサイクルに関する研究成果は代替材料開発に比べて少なかったが、近年では革新的な技術が多く発表されている。

次世代自動車としてハイブリッド車(HV)や電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド車(PHV)、燃料電池車(LCV)がある。それらには、動力源としてのモーターとモーター駆動用のリチウムイオン電池やニッケル水素電池などの二次電池を備えている。モーターには希土類を大量に使用したネオジム磁石が用いられ、二次電池の電極材料にはCoやNi、Liなどのレアメタルが使用されている。

H	* 黄色の塗り潰しはレアメタル * * 赤字は貴金属(白金+金銀)																He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Lanthanoid	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Actinod															
		Lanthanoid	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

図1 レアメタル一覧

本稿では、ガソリンなどの化石燃料の燃焼を単一の動力源として用いない HV や PHV、EV、FCV に用いられるモーターや二次電池などのレアメタルのリサイクル技術について紹介し、自動車のリサイクルの向上に必要な技術やその課題を紹介する。

2. 従来型自動車のリサイクル

ガソリンエンジンを単一の動力源とした自動車は、主に Al(ラジエーターやホイール)や Cu(ハーネス)、Fe(車体)、貴金属(触媒、電子端末)、Pb(バッテリー)などの金属成因を中心にリサイクルされている。ガラスやゴム、樹脂などの自動車シュレツダダスト(ASR)のマテリアルリサイクル率は低く、ASR の多くはサーマルリサイクルされている。Al や Cu などの金属はそれぞれの精錬事業所によって山元還元されることでマテリアルリサイクルが行われる。また、前述した金属には機能強化を目的として多様な元素が添加され、添加された元素は Cu や Pb などの精錬事業所にて可能な限り分離・回収される。しかしながら、精錬法によって分離が困難な元素があり、回収が困難となる。例えば、Fe が主成分のネオジム磁石を希土類元素の分離回収が困難な鉄鋼精錬に投入した場合、希土類元素はスラグに分配されて回収が不可能となる。上記の金属の多くは樹脂等と複合化されて部品として使用されるため、樹脂などの金属以外の成分を物理的に分離除去することがリサイクル率とリサイクル効率の向上に大きく寄与する。ASR に分類されるガラスはマテリアルリサイクルが技術的には可能であるが、コストの問題からマテリアルリサイクルが進んでいない。車種や年式によって ASR の組成が異なり、サーマルリサイクルの際の安定した処理が難しいなどの問題がある。また、近年の自動車部品の難燃化を目的としたハロゲン化合物の添加による有害化合物の発生など、ASR のサーマルリサイクルにも課題がある。これらの課題や問題を解決することは車の設計・製造時の配慮が最も望ましいが、廃車になるタイミングや材料の開発動向などが不明であり、廃棄物の物理選別の高度化が最も現実的な解決方法であるといえる。そのため、多くの大学や公的研究機関、企業によって物理選別のが進められている。

3. 次世代自動車のリサイクル

本稿では HV と PHV、EV、FCV の動力源であるモーター(図 2)や二次電池(図 3)のリサイクルについて紹介する。

<モーター>

駆動用モーターにはネオジム磁石が用いられ、そのネオジム磁石は他のネオジム磁石の使用環境と比較して高温環境下で使用される。ネオジム磁石の耐熱性を向上させるためにネオジム磁石中の希土類元素の一部を Nd から Dy に置換させている。前記した代替材料開発にも関連するが、HV であるプリウスのモーターのネオジム磁石中の Dy 含有率はモデルチェンジごとに低下している²⁾。



図 2 次世代自動車のモーター¹⁾



図 3 次世代自動車の二次電池¹⁾

ネオジム磁石から希土類元素を回収するための研究は広く行われている。それらの大部分はネオジム磁石単体からの希土類を回収するものである。ネオジム磁石のモーターからの分離には、その高い磁力から危険が伴う。そのため、高温条件下で保持するなどの消磁が必要である。また、モーター中のネオジム磁石は、板上の磁石が図4に示すローター内に埋め込まれている。そのため、モーターからのネオジム磁石の回収は手分解によって行われる場合が多く、ネオジム磁石の脱着コストは高くなる傾向にある。そのため、モーターからネオジム磁石を簡易かつ安全に物理的に分離する技術開発が



図4 自動車用モーターのローター

進められている。また、ネオジム磁石のリサイクルではNdやなどの軽希土類よりもDyやTbなどの重希土類を選択的に

回収する技術が求められる。既存のネオジム磁石のリサイクルプロセスを図5に示す。多くの研究されているネオジム磁石のリサイクルプロセスは、希土類酸化物として回収されるため、熔融塩電解による金属への還元が必要になる⁴⁻⁶⁾。筆者らはネオジム磁石を陽極として熔融塩中で電解することで希土類元素のみを選択的に侵出し、陰極で回収するプロセスを報告している(図6)。陰極で回収された金属中の希土類元素の割合は安定して95%以上である。希土類元素の相互分離や回収物のさらなる高純度化が求められ、現在、それらの課題についての研究開発を実施している。

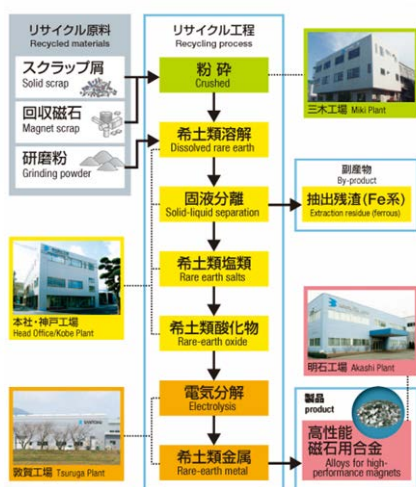


図5 ネオジム磁石のリサイクル³⁾

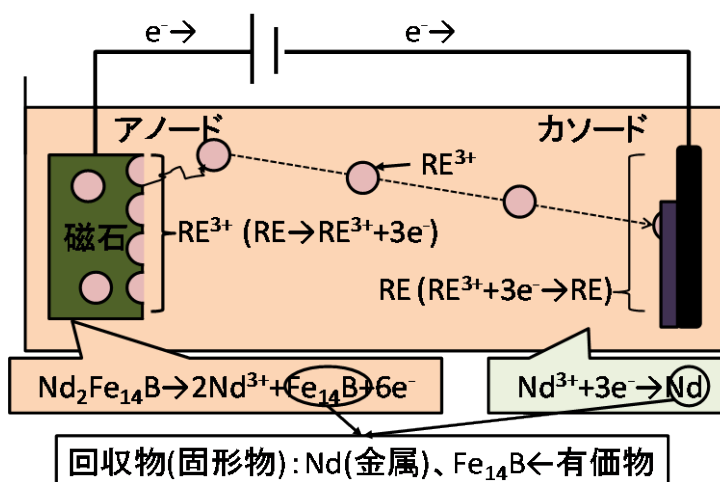


図6 熔融塩電解法を用いたネオジム磁石からの希土類元素のリサイクルプロセス

<二次電池>

次世代自動車に使用されている二次電池はリチウムイオン電池とニッケル水素電池に分類できる。ニッケル水素電池は、負極にLaNi₅などの水素吸蔵合金が用いられる。前述したネオジム磁石と同様にLaNi₅を陽極として熔融塩電解を行うことでLaのみを選択的に回収出来ることは報告されている⁷⁾。Laはレアアースであるが、La自身の価格や精錬コストなどからNiのみがリサイクルされて

いる⁸⁾。リチウムイオン電池の正極材としてLiやCo、Mn、Niの多元系の酸化物が使用されている。正極材を酸溶解処理後、溶媒抽出によって単離され、CoやNiなどは電解法によって金属に還元されるなど、それぞれの元素でコストに見合う状態として回収される(図7)⁹⁾。

4. 結言

次世代自動車の普及により自動車の燃費は著しく向上したが、その一方で使用されるレアメタルの量や種類が増加した。金属は元素ごとに回収することが可能であり、価格からもリサイクルを推進するポテンシャルは高い。しかし、ASRは自動車部品の大部分を占める一方でサーマルリサイクルでとどまっているのが現状である。自動車のリサイクルの推進には、次世代自動車に使用されるレアメタルのリサイクルに加えて従来型の自動車と共通のASRの処理を同様に考え、研究開発を進める必要がある。

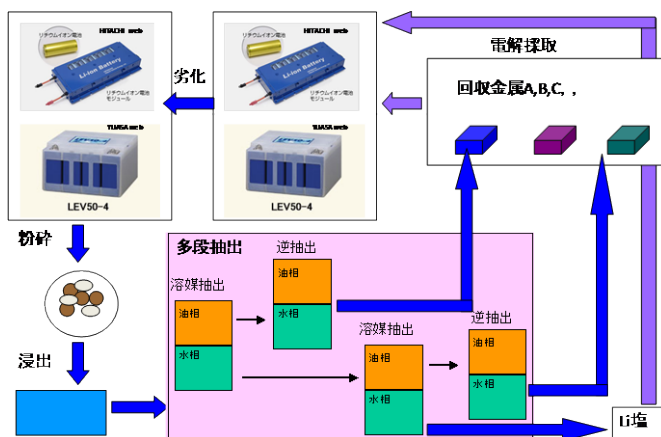


図7 リチウム二次電池のリサイクルプロセス

参考文献

- 1) <http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/environment/fcv/>
- 2) 中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会、小型家電小委員会(2012年1月)、WG合同会合議事録、http://www.meti.go.jp/committee/summary/0003198/019_gijiroku.pdf
- 3) <http://www.santoku-corp.co.jp/company/jigyoku/kinzoku/index.html>
- 4) 望月友貴、森広介、菅原勝康、塩化揮発法によるNd-Fe-B磁石からの希土類元素の分離、化学工学論文集、37、pp.70-77(2011)
- 5) T. Itakura, R.Sasai, H.Itoh, Resource recovery from Nd-Fe-B sintered magnet by hydrothermal treatment, J.Alloy Compd, 408-412, pp.1382-1385(2006)
- 6) Y. Tahashi, K. Kondo, A. Miyaji, M. Umeo, T. Honma, S. Asaoka, Recovery and Separation of Rare Earth Elements Using Columns Loaded with DNA-filter Hybrid, Anal. Sci. 28, pp.985-992 (2012)
- 7) H. Yamamoto, Kawakami, K. Kuroda, R. Ichino and M. Okido, Electrochemistry, 67, pp. 655-660 (1999)
- 8) http://www.toyota.co.jp/jpn/sustainability/environment/recycling_based/battery_recycle/
- 9) http://www.cjc.or.jp/commend/pdf/senshinjirei/h26/15_sys_13.pdf