

## 循環型社会形成推進科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

1. 研究課題 磁石合金スクラップから希土類元素を抽出・分離する新技術の開発 (K2104,K22041)
2. 国庫補助金精算所要額 20,460,000 円
3. 研究期間 2009 年～2010 年
4. 研究年度 2010 年
5. 研究代表者名 岡部 徹 (東京大学生産技術研究所)

### 6. 研究目的

希土類合金磁石は、生産量が急激に増大しており、特に近年は、高性能エアコンやハイブリッド自動車などの駆動用モータの需要増加が大きい。自動車の駆動用モータのように、高温下で動作する機器に使用されるネオジム磁石については、耐熱性と保磁力を向上させるため、資源的に希少なジスプロシウム(Dy)が最大で 10mass%程度も添加される。このため今後、ハイブリッド自動車や電気自動車が普及すると、Dy を多量添加したネオジム磁石の需要はさらに増加すると予想されている。しかし近年、中国政府が希土類元素の輸出に対する規制を強化したため、生産量に制約がある Dy を中心に希土類元素の価格が高騰し、磁石材料の安定供給に対する不安が高まっている。希土類鉱石の採掘や製錬の際の環境破壊や Dy の資源的制約を考えると、製品スクラップからの希土類元素の回収および再利用は重要な課題である。このため申請者は、磁石合金スクラップから効率良く希土類元素を分離・回収する新技術の開発を目的とする基礎的な研究を行う。

### 7. 研究方法

本研究の初年度である平成 21 年度は、リサイクルプロセスの第一段階である溶融  $\text{MgCl}_2$  を用いた希土類元素抽出工程について、以下の基礎的な実験を行った。プロセスは主に、希土類元素を  $\text{MgCl}_2$  溶融塩中に抽出する工程と、得られた混合塩から希土類の化合物を回収する工程からなる。Fig. 1 に溶融  $\text{MgCl}_2$  を抽出媒体として用いた希土類回収プロセスのフローチャートを示す。

Fig. 2 に溶融  $\text{ZnI}_2$  を希土類元素の抽出媒体として用いた希土類元素回収プロセスのフローチャートを示す。プロセスは  $\text{MgCl}_2$  を抽出媒体とした場合と同様に、磁石合金中の希土

類元素を  $\text{ZnI}_2$  溶融塩中に抽出する工程と、得られた混合塩から希土類元素の化合物を回収する工程からなる。本研究の 2 年目である平成 22 年度は、 $\text{ZnI}_2$  による希土類元素の選択的な抽出および希土類ヨウ化物の分離回収の有効性を基礎的な実験によって検証した。 $\text{ZnI}_2$  は蒸気圧が高いため、気相を介した供給が可能であるが、本章では基礎的な研究として、溶融  $\text{ZnI}_2$  中にネオジム磁石合金を浸漬することにより希土類元素の抽出を行った。得られた希土類化合物の分離・回収法としては真空蒸留法を利用して、高温中で  $\text{ZnI}_2$  および希土類化合物を揮発させ、希土類化合物を気相を介して輸送・回収することを試みた。

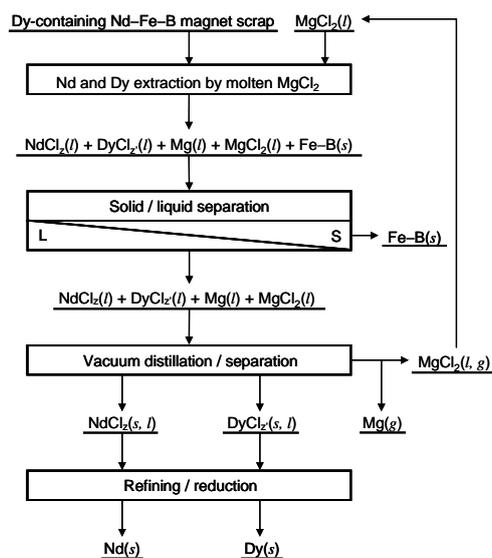


Fig. 1 Recovery of rare metal elements from Nd-Fe-B magnet scrap utilizing molten  $\text{MgCl}_2$ .

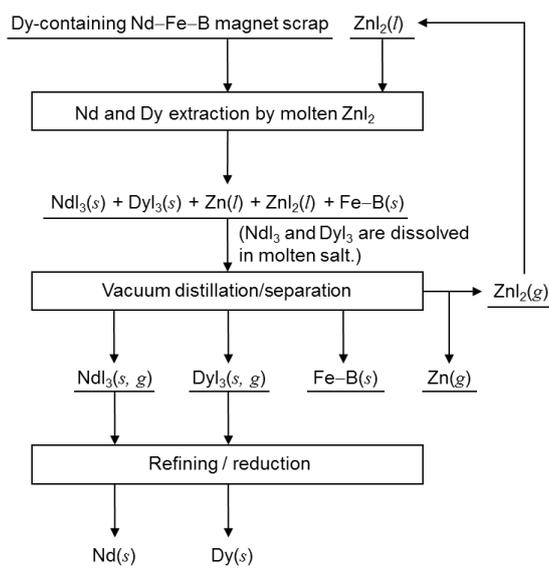


Fig. 2 Recovery of Nd from Nd-Fe-B magnet scrap utilizing molten  $\text{ZnI}_2$ .

### (1) MgCl<sub>2</sub>を用いた希土類元素抽出実験

ネオジム磁石合金から希土類元素を抽出する媒体として塩化マグネシウム(MgCl<sub>2</sub>)を選択し、希土類元素の抽出実験を行った。ネオジム磁石合金(26% Nd, 5% Dy, 68% Fe, 1% B)の小塊(10 × 10 × 20 mm) を、十分に乾燥させた無水 MgCl<sub>2</sub> とともに鉄製坩堝に充填した。この鉄製坩堝を 1273 K に昇温した電気炉内に導入後、アルゴンガス雰囲気下で 3~12 時間保持した。反応後、坩堝を電気炉内で徐冷し、坩堝内の塩および磁石合金試料を回収した。

### (2) 真空蒸留による MgCl<sub>2</sub> 除去実験

Nd および Dy を抽出後に回収した塩から、余剰の MgCl<sub>2</sub> と反応副生成物である Mg を 1300 K 以上の温度で真空蒸留を行って分離し、希土類塩化物の濃縮分離を行った。具体的には、ステンレス鋼製坩堝に試料となる塩を充填し、これを石英反応管内部に挿入した。反応管内を減圧にした後、試料保持部を 1273 K 以上に昇温し、一定時間の蒸留実験を行った。蒸留後、反応管を徐冷し、坩堝内の試料および石英管内壁に付着した塩を回収し分析を行った。

### (3) 熔融ヨウ化亜鉛を用いた希土類元素の選択的抽出実験

ZnI<sub>2</sub> を用いた希土類元素抽出実験は、熔融 ZnI<sub>2</sub> 中にネオジム磁石スクラップを浸漬することにより行った。MgCl<sub>2</sub> を希土類元素の抽出剤として用いた実験と同様に、磁石の小塊はあらかじめ十分に洗浄・乾燥した。ヨウ化物は塩化物よりも吸湿性が高いため、無水 ZnI<sub>2</sub> は、窒素雰囲気のグローブボックス内で扱った。抽出実験は反応温度,  $T$ , は 740 K、反応時間,  $t'$ , は 12 時間とした。反応後、坩堝を電気炉内で徐冷し、坩堝内の反応物および磁石合金を窒素雰囲気のグローブボックス内で回収した。回収したサンプルについて、粉末 X 線回折装置による相の同定を行った。ヨウ化物の XRD による分析の際には、ヨウ化物が空気中の水分と反応して水和しないよう、表面をポリイミド製のフィルムで覆い、分析を行った。試料の組成については、ICP-AES を用いた化学分析と、電位差測定装置を用いたヨウ素濃度の分析により定量した。

### (4) ZnI<sub>2</sub> と磁石合金の混合反応物からの Nd の分離回収実験

(3)で行った ZnI<sub>2</sub> を抽出媒体として利用した磁石合金中の希土類元素の抽出実験では、反応温度,  $T$ , が低温であったため、最大長さが 20 mm 程度の小塊の磁石合金を使用した場合、未反応の磁石合金が残った。そこで、低温の反応でも抽出反応が進行しやすいよう、抽出実験に用いる磁石合金を最大長さが 5 mm 以下の小片に粉砕して実験を行った。磁石合金の小片を試料に用いた場合、抽出工程において希土類元素抽出後の磁石合金を熔融塩と機械的に分離して回収することは難しいが、ヨウ化物の蒸気圧は高いため、蒸留によって化合物相を合金相から効率よく分離できる可能性がある。磁石合金試料約 20 g と、ZnI<sub>2</sub> 約 100 g を鉄製の坩堝内に充填して、740 K で 12 時間の間抽出反応を行った。反応後、坩堝を電

気炉内で徐冷し、N<sub>2</sub> 雰囲気グローブボックス内で坩堝内の混合反応物を回収した。抽出実験により得られた反応物を、続けて蒸留実験に供した。試料保持部の温度,  $T_b$ , は 1073 K、蒸留時間,  $t''$ , は 1 時間とした。反応終了後、反応管を徐冷し、N<sub>2</sub> 雰囲気グローブボックス内で反応管内の試料を回収した。抽出実験後および蒸留実験後に回収した各々の試料について、各種分析を行った。

## 8. 結果と考察

### (1) MgCl<sub>2</sub> を用いた希土類元素抽出実験

MgCl<sub>2</sub> を抽出剤としたネオジウム磁石からの希土類元素の抽出実験では、XRD による相の同定の結果、Fig.3 に示すように抽出実験後の磁石合金からは Fe 相が、塩からは MgCl<sub>2</sub> 相に加えて NdCl<sub>3</sub> 相が確認された。

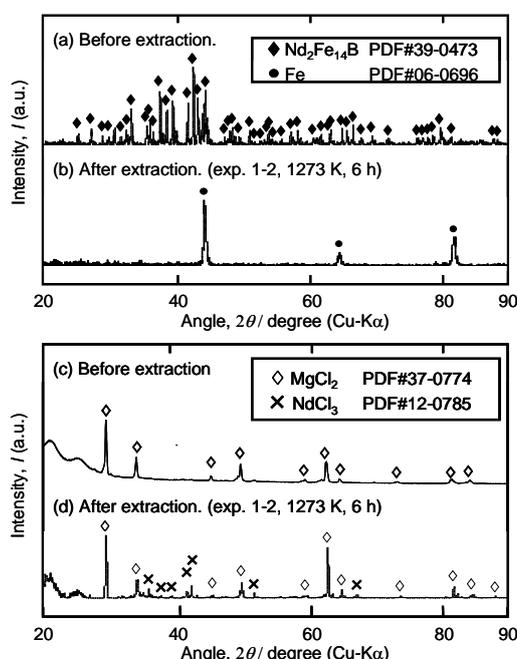


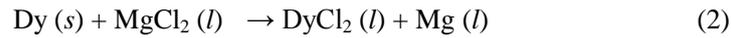
Fig. 3 XRD patterns of the samples in the extraction experiment; (a) initial magnet alloy, (b) obtained alloy after extraction at 1273 K for 6 hours, (c) MgCl<sub>2</sub>, and (d) obtained salt after extraction at 1273 K for 6 hours.

混合塩中からは Dy を含む化合物相は確認できなかったが、Fig.4 に示すように、磁石合金中の希土類元素濃度は反応時間の増加に伴って減少しており、Nd および Dy が磁石合金中から除去されたことが確認できた。さらに、反応後に得られた塩の組成分析の結果、塩中では希土類元素濃度が増加しているのに対して Fe や B の濃度は 1mass% 以下の低い値にとどまっていた。

本実験における希土類元素の選択的抽出は、次に示す反応式によって進行したものと考えられる。



$$\Delta G^\circ = -151.6 \text{ kJ at } 1300 \text{ K}$$



$$\Delta G^\circ = -57.6 \text{ kJ at } 1300 \text{ K}$$

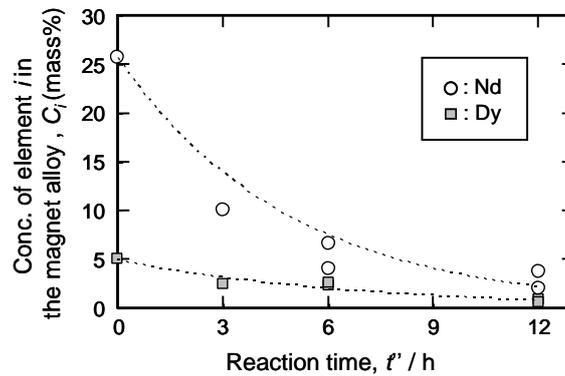


Fig. 4 Change in concentration of rare earth elements  $i$  the magnet alloy.

抽出実験の結果、磁石合金を熔融  $\text{MgCl}_2$  に浸漬することによって、磁石合金中の希土類元素が、熔融塩中に塩化物として選択的に抽出されることが実証された。XRD による相の観察においては、Dy の関連種が観察されていないが、これについてはサンプル中における元素濃度が 4mass%以下と、低いためであると考えられる。B については、実験後の合金試料で観察された Fe 相のピークが、純 Fe のピークと比べて低角度側にシフトしていることから、Fe に固溶しているものと考えられる。また、希土類抽出反応の副生成物である金属 Mg が塩の XRD からは検出されなかった。実験温度である 1273 K において Mg の蒸気圧が  $4.57 \times 10^{-1} \text{ atm}$  と非常に高いため、反応中に液相中から蒸発したものと考えられる。

## (2) 真空蒸留による $\text{MgCl}_2$ 除去実験

抽出実験で得られた  $\text{MgCl}_2$ - $\text{NdCl}_3$  混合塩を真空蒸留に供することによって、余剰の  $\text{MgCl}_2$  および、反応副生成物である Mg を除去し、 $\text{NdCl}_3$  の回収を行った。試料の大部分は、実験中の石英管外壁温度が 500 K ~ 900 K の箇所白色の塩(A)として回収された。実験中の石英管外壁の温度が 1050 K の箇所からは緑色の析出物(B)が回収され、坩堝内からは黒色の反応物(C)が少量回収された。

低温側から回収されたサンプル(A)は、 $\text{MgCl}_2$  と  $\text{NdCl}_3$  の混合物であるが、Fig.3 (d)に示した抽出実験後の塩のパターンと比較してわかるとおり、 $\text{NdCl}_3$  の含有量は少量であった。

また、高温側の反応管内壁に析出していたサンプル(B)は、 $\text{NdCl}_3$  であり、坩堝内のサンプル(C)からは  $\text{NdOCl}$  相が観察された。これらの結果より、Nd 塩化物が少量混入しているものの、真空蒸留による  $\text{MgCl}_2$  の除去に成功していることがわかった。組成分析の結果と、XRD による相の観察結果から、反応管内壁に析出した  $\text{MgCl}_2$  には、4 mass%程度の Nd が塩化物として含有されていることがわかった。一方、希土類が多く含有されているサンプル(B)および(C)に関しては、サンプル中の Mg 濃度が 0.5 mass%以下まで低減されていた。各サンプル中の希土類元素の濃度をみると、Nd は低温側にも輸送されているのに対して、Dy はその大部分が坩堝内に残留していた。

実験結果から、抽出実験で得られた混合塩を真空蒸留に供することにより、余剰の  $\text{MgCl}_2$  および反応副生成物である Mg(大部分は抽出実験において系外に揮発している)を除去することが可能であることが明らかになった。また、 $\text{NdCl}_3$  の一部が気相を介して輸送され、石英管の高温側にサンプル(B)として析出したことから、 $\text{NdCl}_3$  は比較的揮発しやすい物質であり、気相を介した系外への輸送や回収が可能であると予想される。しかし、今回の実験では、石英管の低温側に析出した  $\text{MgCl}_2$  に、少量ながら Nd の混入が見られた。これは、真空ポンプによる排気量が大きく、揮発した  $\text{NdCl}_3$  の一部が低温側へ移動した後に析出したためと考えられる。この点に関しては、今後排気量の調節や温度勾配の最適化を図ることにより、試料の析出箇所を制御することが可能であると考えられる。

### (3) 熔融ヨウ化亜鉛を用いた希土類元素の選択的抽出実験

実験後に回収された合金試料の外観を、Fig. 5 に示す。抽出実験後に回収された磁石合金は表面が膨張したような形状に変化した。この表面層 2-(A)は、磁石合金と  $\text{ZnI}_2$  との反応によって形成されたと考えられ、磁石合金の中心部分(Fig. 5, 2-(B))から容易に剥離することができた。坩堝内の  $\text{ZnI}_2$  については、実験前には白色であったものが、磁石表面に近い箇所の塩のみ、実験後に緑色に変化した。

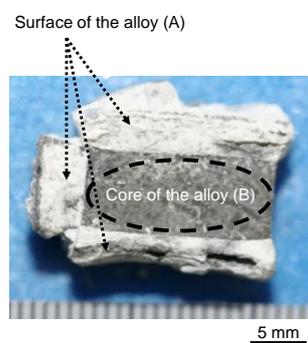


Fig. 5 The magnet alloy obtained after the extraction experiment utilizing molten  $\text{ZnI}_2$  (See Table 4).

抽出実験後の合金試料の表面層 2-(A)は、合金試料と、試料に固着した塩との物理的な分離が困難であった。そこで、磁石中心部 2-(B)からの物理的な剥離によって回収された表面層 2-(A)を蒸留水に浸漬することで、磁石合金に付着している塩を水に溶解し、遠心分離によって固体残渣と溶液を分離し、得られた溶液および固体残渣を分析に供した。

実験前の試料および実験後に得られた各試料に対して、XRD による相の同定を行った結果を Fig. 6 および Fig. 7 に示す。磁石の表面層 2-(A)を蒸留水へ浸漬した後に回収された固体残渣からは、Fe 相が観察されたが、純 Fe の PDF パターンよりも回折ピークは低角度側にシフトしていた(Fig. 6(c))。この結果から、磁石合金の表面では希土類元素が抽出されたことが確認された。実験後に得られた磁石合金試料の中心部分 2-(B)を粉砕して XRD で分析したところ、実験前と同じく  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  金属間化合物相が観察された(Fig. 6(b))。実験後に坩堝内から回収された塩に関しては、磁石表面付近で回収された緑色の塩と、それ以外の白色の塩とを分けて分析したが、いずれのサンプルからも  $\text{ZnI}_2$  相のみが観察された(Fig. 7)。

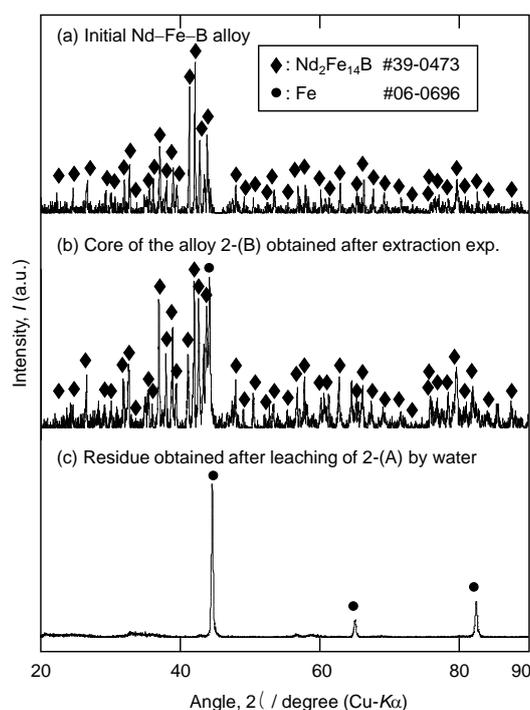


Fig. 6 XRD patterns of the sample alloy in the extraction experiment by utilizing molten  $\text{ZnI}_2$ ;  
(a) initial Nd-Fe-B magnet alloy,  
(b) core of the alloy obtained after the dissolution (2-(B)), and  
(c) residue obtained after the leaching of 2-(A) by water.

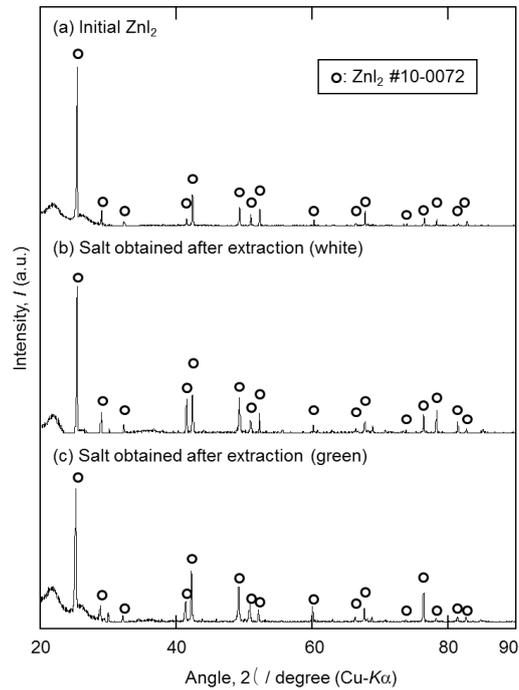
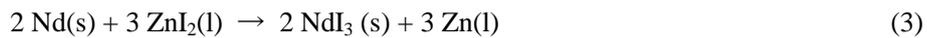


Fig. 7 XRD patterns of the sample salt in the extraction experiment by utilizing molten  $\text{ZnI}_2$ ;

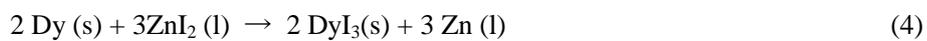
- (a) Initial  $\text{ZnI}_2$ ,
- (b) the white salt recovered from the top of the crucible, and
- (c) the green salt recovered near the alloy.

磁石合金の表面層 2-(A)については、蒸留水に浸漬した後に得られた固体残渣を十分に乾燥させて重量を測定した。蒸留水によるリーチングによって表面層 2-(A)に固着していた塩はすべて水に溶解したと仮定して、リーチング前の固体との重量変化を、合金試料表面層に存在した塩の重量とした。ICP-AES による組成分析の結果、合金試料の中心部分は実験前の磁石合金に近い組成であった。合金試料の表面には、Fe と Zn のみが含まれており、磁石合金試料の表面付近から回収された緑色の塩は、Nd および Dy を含有していた。

以上の結果を踏まえると、磁石合金試料の表面付近では、希土類元素の溶融  $\text{ZnI}_2$  中への選択的な抽出(反応(3)、(4))が進行していたと考えられる。



$$\Delta G^\circ = -472.0 \text{ kJ at } 740 \text{ K}$$



$$\Delta G^\circ = -613.27 \text{ kJ at } 740 \text{ K}$$

溶融  $\text{ZnI}_2$  を抽出媒体として用いた希土類元素の抽出実験により、金属ヨウ化物を利用した希土類元素の選択的な抽出が可能であることが本研究で実証できた。特に、抽出実験後の磁石合金の表面層に対してリーチングを行った結果から、Nd および Dy は水に易溶な化合物として磁石表面から抽出されており、抽出実験後にリーチングにより水相中に浸出することもできると考えられる。磁石表面付近から回収された塩の XRD による分析で希土類ヨウ化物の存在が確認されなかった理由は、塩中の希土類元素の濃度が低かったため(2 mass%以下)と考えている。

合金試料の表面層 2-(A)を蒸留水に浸漬して得られた固体残渣からは Nd と Dy が除去されており、抽出実験に成功した。ただし、磁石合金の中心部分が未反応のまま残り、抽出率に関しては Nd で 46%、Dy で 42%であった。  $\text{MgCl}_2$  を抽出媒体とした実験と比較して抽出率が低下した理由に関しては、本実験は  $\text{ZnI}_2$  の融点(719 K)よりもわずかに高い 740 K で実施したため、反応温度,  $T$ , が低く、生成した希土類の固体ヨウ化物が熔融塩に溶解せずに固着し、抽出反応が妨げられたためと考えられる。あるいは、反応温度,  $T$ , が充分に高くなかったため、反応物質の拡散が遅かった可能性もある。抽出温度,  $T$ , を上昇させると、上記の問題は解決すると考えられるが、一方で温度を 1423 K 以上の高温にすると、 $\text{ZnI}_2$  の熱分解が開始するため、高温に保持することで抽出反応が実際に進行するか否かは、今後実験的に検証・調査する必要がある。リーチング後の磁石合金を XRD によって分析した際、Fe 相の回折ピークが純 Fe 相の回折パターンと比較して低角側にシフトしていた。また、組成分析の結果、固体残渣に Fe 以外に Zn が含まれていた。 Fig. 8 に示す Fe-Zn 二元系状態図から、合金試料表面で生成した反応生成物の Zn が Fe に固溶し、Fe-Zn 合金が生成した可能性がある。

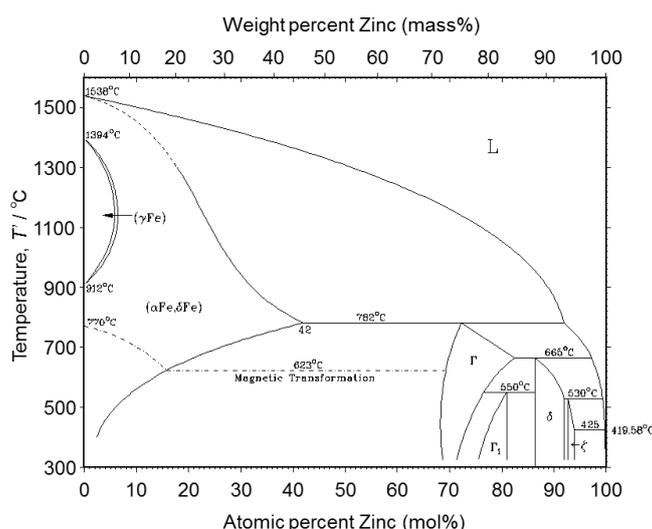


Fig. 8 Binary phase diagram of Fe-Zn system.

#### (4) ZnI<sub>2</sub>と磁石合金の混合反応物からの Nd の分離回収実験

実験後、反応管内の各箇所から試料が回収できた。試料名は、低温側の試料から 2-(W)、2-(X)、2-(Y)、2-(Z)とした。それぞれの試料の写真を Fig. 9 に示す。蒸留実験前の試料重量の約 70%が凝集物 2-(W)、28%が坩堝内の残留物 2-(Z)として回収され、凝集物 2-(X)および 2-(Y)はごく少量であった。実験中の石英管外壁の温度が 410-640 K の低温部からは白色の凝集物 2-(W)と金属凝集物 2-(X)が回収された。XRD による相の同定より、白色の凝集物 2-(W)は ZnI<sub>2</sub>、金属凝集物 2-(X)は Zn であることが分かった。さらに、中温部(約 920 K)で得られた緑色の凝集物 2-(X)からは NdI<sub>1.95</sub> 相が観察された。各試料の組成分析の結果を Table 3 前の試料に含まれていた Zn 成分は、真空蒸留実験により凝集物 2-(W)として回収できることがわかった。これらの結果より、抽出実験中には磁石合金中の希土類元素がヨウ化物として熔融塩中に抽出されており、余剰の ZnI<sub>2</sub> と反応副生成物の Zn を混合塩から除去できることが実験的に示された。また、抽出実験によって得られた希土類のヨウ化物も気相を介して輸送され、凝集物 2-(Y)として回収されたことがわかった。坩堝内に残留した反応物 2-(Z)の XRD パターンの解析結果からは、Fe 相が観察されたものの、同定できないピークが残った。そこで、反応物 2-(Z)1.09 g に対して蒸留水によるリーチングを行い、リーチング後の溶液と固体残渣を回収してそれぞれ分析に供した。蒸留水に浸漬した後に得られた固体残渣は十分に乾燥させて重量,  $w$ , を測定し、リーチング前の固体との重量変化を、水相中に溶解した化合物の重量とした。すなわち、1.09 g の試料 2-(Z)をリーチング後、0.75 g の固体残渣が得られたため、水中に溶解した化合物の重量は 0.34 g とした。固体残渣の XRD パターンからは Fe 相が観察され、固体残渣中の希土類元素の濃度( $C_{Nd} = 9.07\text{mass}\%$ ,  $C_{Dy} = 4.07\text{mass}\%$ )は、実験前の磁石合金試料中の希土類元素の濃度( $C_{Nd} = 25.7\text{mass}\%$ ,  $C_{Dy} = 4.96\text{mass}\%$ )と比較して減少していた。また、水相中に溶解した物質は、相の同定はできなかったが、主として希土類元素( $C_{Nd} = 28.9\text{mass}\%$ ,  $C_{Dy} = 1.41\text{mass}\%$ )とヨウ素( $C_I = 68.9\text{mass}\%$ )を含んでいた。

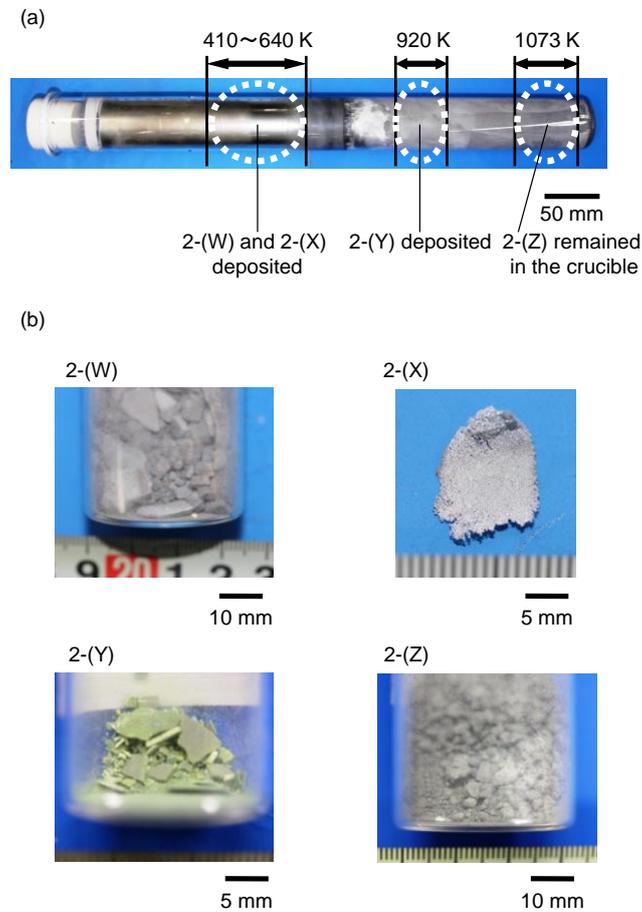


Fig. 9 Samples obtained after the vacuum distillation;  
 (a) the reaction tube after the experiment, and  
 (b) the samples obtained after the experiment.

磁石合金試料を粉砕し、熔融  $\text{ZnI}_2$  と反応させて得られた混合反応物に対して真空蒸留を行うことによって、熔融  $\text{ZnI}_2$  を利用した希土類元素の選択的な抽出と、得られた希土類ヨウ化物の選択的な分離・回収が可能であることを実証した。磁石合金を粉砕して抽出実験を行うことにより、反応温度,  $T$ , が低温でも希土類元素の抽出を行うことができた。また、蒸留実験後には余剰の  $\text{ZnI}_2$  および反応生成物である  $\text{Zn}$ 、 $\text{NdI}_{1.95}$  がそれぞれ異なる部位に凝集物として回収された。このように、ヨウ化物を用いた場合は、抽出媒体と希土類化合物との相互分離および希土類化合物の回収が比較的容易であり、気相を介した希土類ヨウ化物の分離・回収が利用できる可能性があると考えられる。今回の実験では、気相による分離が充分に行えず、混合反応物中に残留した希土類化合物も、混合反応物に対して水によるリーチングを行うことによって水相中に溶解し、磁石合金残渣と容易に分離することができた。このように、抽出媒体と希土類ヨウ化物の蒸気圧差が大きく、水への溶解性も極めて高いヨウ化物系を利用すれば、希土類化合物の効率の良い分離・回収が実現すると

考えられる。

## 9. 結論

本研究では、希土類磁石の製品スクラップから有価元素である希土類元素を回収するプロセスを開発することを目的として、熔融塩を利用したリサイクルプロセスについて検討した。 $\text{MgCl}_2$ および $\text{ZnI}_2$ を希土類元素抽出媒体として選択し、各々について希土類元素の抽出実験、ならびに得られた希土類化合物の分離・回収実験を行った。

熔融 $\text{MgCl}_2$ を利用して、磁石合金中の希土類元素を選択的に分離・回収するプロセスについて、実験によりその有効性を評価した。抽出実験は、希土類磁石合金を1273 Kの熔融 $\text{MgCl}_2$ に浸漬することで行った。12時間の抽出で、抽出率はNdが77%、Dyが75%に達し、磁石合金中の希土類元素を極めて高い効率で抽出することが出来た。また固相にはFeが残り、熔融塩中にはFeやBの浸出がなかったことから、 $\text{MgCl}_2$ への浸漬によって磁石合金中のNdとDyを選択的に塩化し、FeとBから分離できたことが示された。さらに、抽出実験で得られた混合塩を、1273 Kにおいて6時間の真空蒸留を行った。その結果、余剰の $\text{MgCl}_2$ と反応副生成物であるMgの除去が可能であることを実証した。 $\text{NdCl}_3$ は、蒸気圧があるために液相には残らず、 $\text{MgCl}_2$ とともに気化し、低温部で析出していた。Dyの挙動に関しては、試料中の濃度が低いために確認をすることができず、今後さらなる詳細な調査を行う必要がある。

熔融 $\text{ZnI}_2$ を抽出媒体として利用し、740 Kで12時間の希土類元素の抽出実験を行った。その結果、磁石の表層部分がヨウ化されることで、希土類元素を選択的に抽出することに成功した。ただし、 $\text{ZnI}_2$ 中での抽出反応は速度が遅く、今後高速化に向けた検討が必要である。希土類化合物の分離実験は、1073 Kで1時間の加熱を行ったところ、熔融塩の $\text{ZnI}_2$ 、副生成物のZnおよび生成物の $\text{NdI}_{1.95}$ を分離することが出来た。さらに、坩堝中の残渣を水に溶解させることで、NdおよびDyのヨウ化物を水溶液中へ回収することにも成功した。

以上より、熔融塩を利用した磁石スクラップ中の希土類元素回収プロセスは、新規リサイクルプロセスとして有用であることが示された。本研究で提案されたリサイクルプロセスは、回収の段階で希土類の相互分類が可能であるため、溶媒抽出などによる希土類の相互分離のプロセスを省略でき、プロセス全体を簡略化できる可能性もある。将来的には、多量かつ複雑な構造物に組み込まれた磁石スクラップを処理するため、反応媒体を気相で処理し、得られる希土類化合物を気相を介して輸送するプロセスの構築が望まれる。

英語概要

10-1 研究課題名

Development of New Technology for Extraction and Separation of Rare Earth Elements from Magnet Scraps

10-2 研究代表者名及び所属

Toru H. Okabe,  
Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

10-3 要旨

In order to develop a new process for the recovery of neodymium (Nd) and dysprosium (Dy) from rare earth magnet scraps, selective extractions of Nd and Dy were investigated by using metal halides. For preliminary experiments, magnesium chloride ( $\text{MgCl}_2$ ) was selected as an extracting agent, and molten  $\text{MgCl}_2$  was reacted with Dy-containing Nd-Fe-B magnet alloys. Experimental results revealed that the rare earth elements in the magnet alloys were successfully extracted into  $\text{MgCl}_2$  with high yields. After the removal of  $\text{MgCl}_2$  by vacuum distillation, Nd and Dy could be separately recovered by a wet or dry process. The effectiveness of  $\text{MgCl}_2$  and other metal halides as extracting agents and the feasibility of effective recycling of Nd-Fe-B magnet scrap are discussed.

10-4 キーワード

Rare earth elements, recycling process, rare earth magnet, neodymium, dysprosium.