

# **TOSHIBA**

Leading Innovation >>>



**平成28年度(第42回)**

**資源循環技術・システム表彰 レアメタルリサイクル賞**

**申請テーマ**

**使用済産業用モーターからの高性能レアアース磁石リサイクル技術開発**

株式会社 東芝  
平成28年10月14日

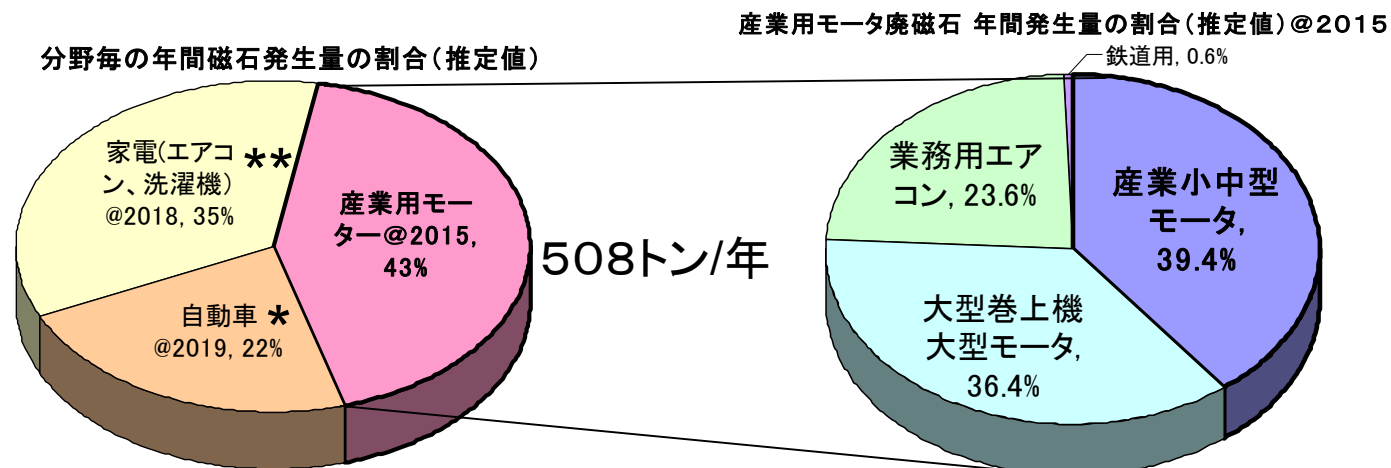
# 背景

## 【ニーズ】

- 近年、家電、自動車をはじめとする様々な用途で高機能・高効率を実現するため、高性能レアアース磁石(代表元素:ネオジム(Nd)、ジスプロシウム(Dy))を内蔵したモーターを利用している。しかし、Nd、Dyは海外からの輸入に依存しているため、価格変動のリスクはこれからも続く。 → **リスク回避**
- 磁石リサイクル市場としては、家電、自動車、産業用モーターがあるが、産業用モーターについては、何処も実施していない。 → **産業用モーター市場の開拓**

## 【市場規模の予定環境】

- 産業用モーターは、**流通ルートの把握が容易**で廃棄品の回収を適切に行える。
- 産業用モーターの**磁石発生量は家電、自動車と同等**で業界全体で年間508トン(2015年)



\*: 2009年に生産されたHVおよびEVが10年後に全て廃棄され、磁石量が1kg-磁石/台と仮定

# 目的・目標

---

## 【目的】

実施例のない産業用モーターリサイクルにおいて、代表的な産業用モーターを用いているエレベータ用モーターを対象とし、工程数, 二次廃棄物を大幅削減可能な磁石リサイクルシステムを構築して、バージン材料を原料とした磁石と同等の性能を有するリサイクル磁石を製造する。これにより、産業用モーターリサイクルのモデル事業構築に資する。

## 【目標】

バージン材料から試作した磁石と同等の性能(>90%)\*を持つリサイクル磁石の実現

\*残留磁束密度( $B_r$ )、最大エネルギー密度( $BH_{max}$ )を比較評価

# 課題

---

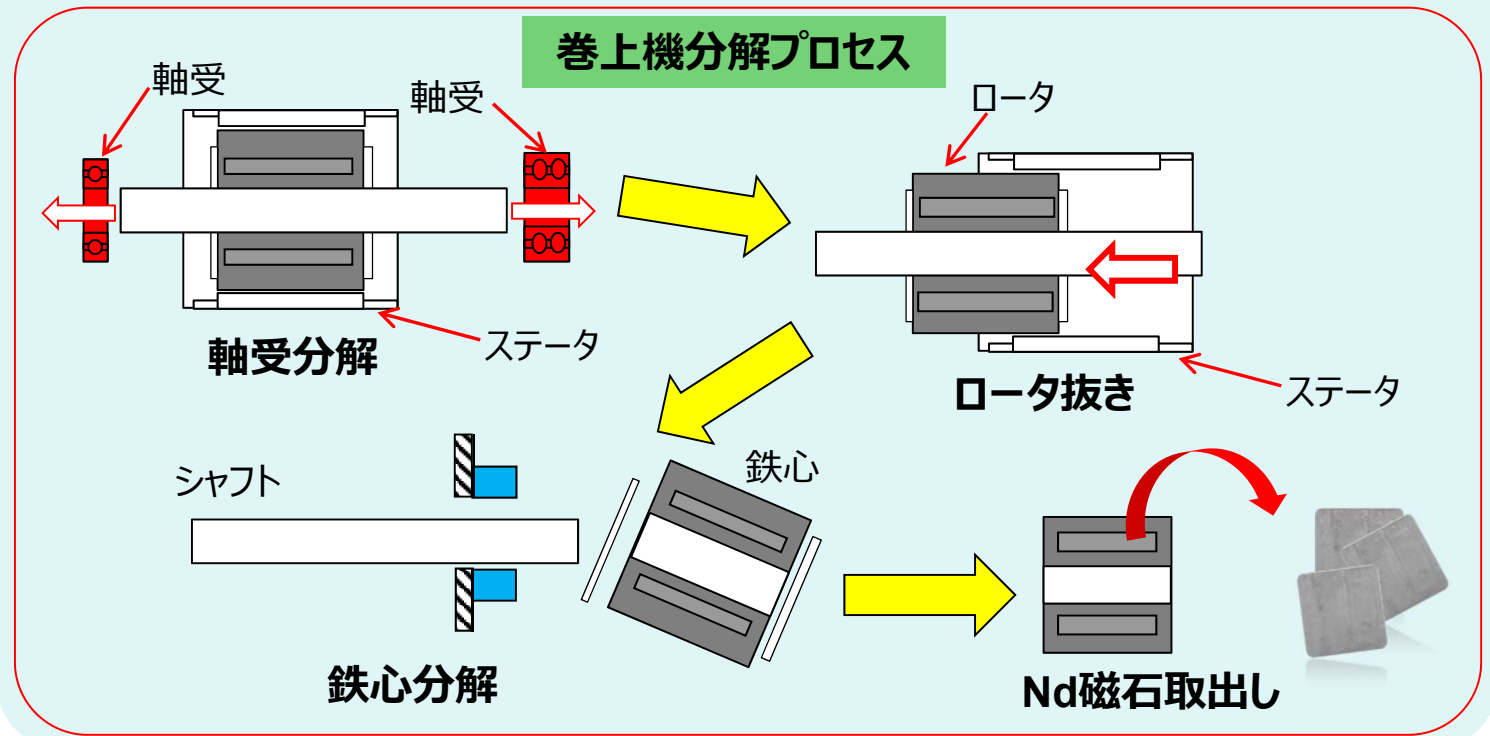
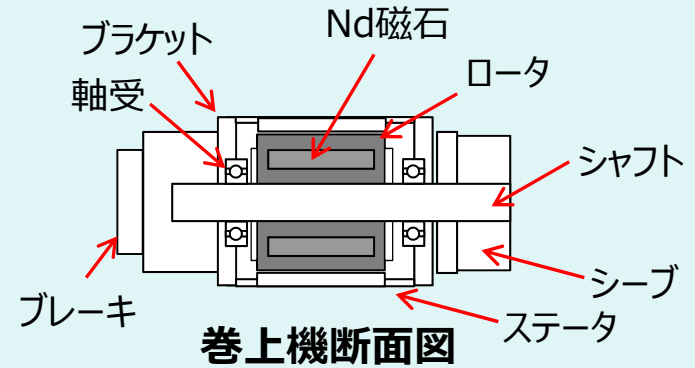
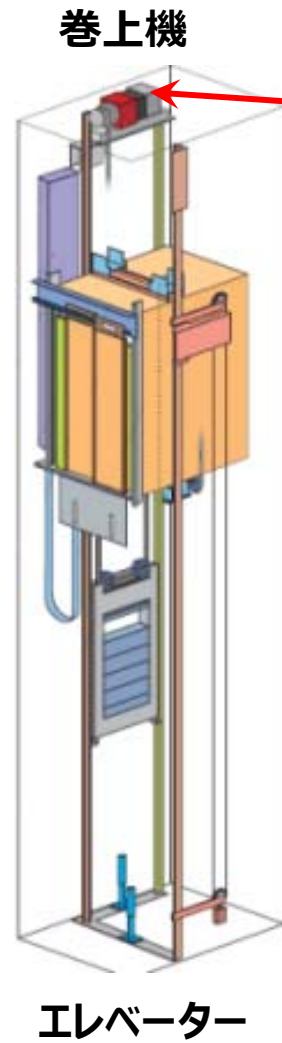
## 【高性能磁石取出し】

- 産業用モーター分解技術の確立。
- 部品毎の分解に要する力(引抜き力、押出力など)の把握。
- 最適な減磁(または脱磁)方法の選定。
- 対象となるエレベーター用モーターが重いため取扱いに注意が必要。専用の分解治具の開発。

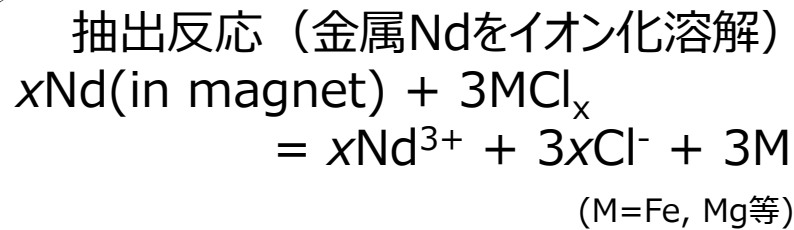
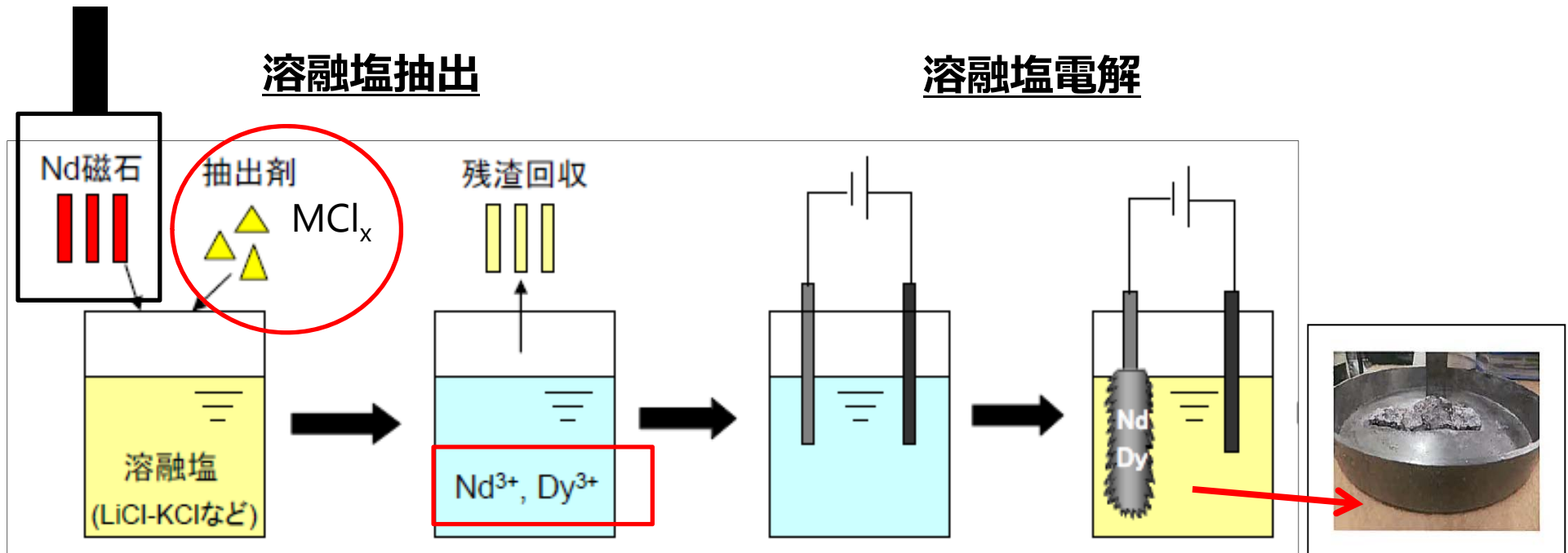
## 【磁石リサイクル】

- Nd/Dy電解回収技術の確立。
- 溶融塩抽出工程の確立
- 溶融塩電解工程の確立

# 成果： 分解&Nd磁石取出プロセス

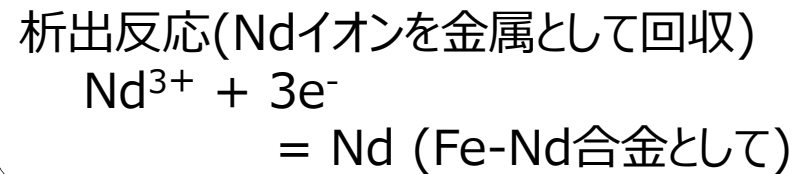


# 成果：レアース回収プロセス



用いる抽出剤の種類によりNd磁石からレアースのみを溶解可能

抽出率 85%~100%



陰極に鉄を用いることでレアース鉄液体合金となり取り出しが容易

電流効率 57%~81%

# 成果：要素開発（脱磁工程）

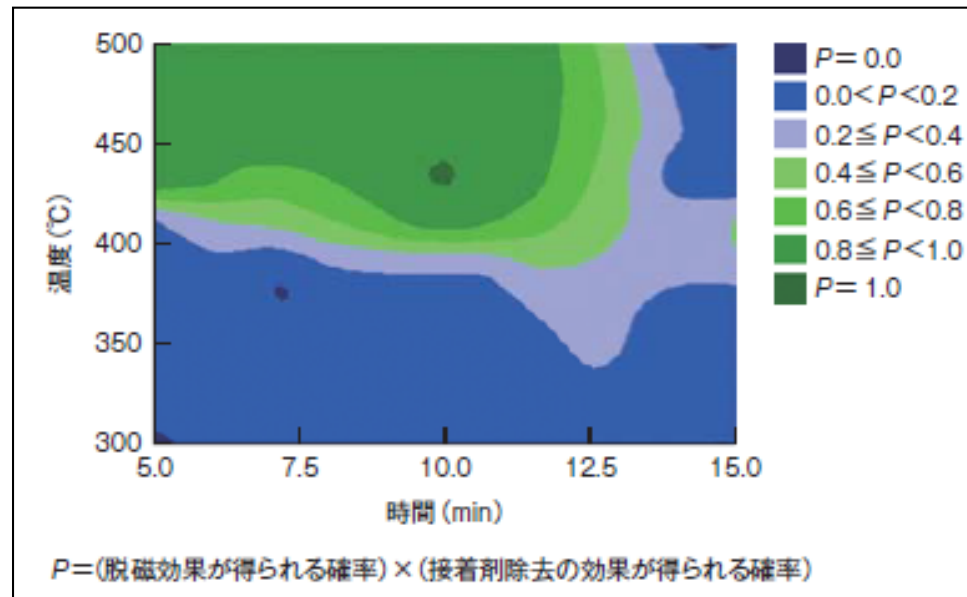
## 目的（熱脱磁）

- ① 鉄心から磁石を取り出しやすくする。
- ② 機器への張り付き防止（作業性劣化の防止）。
- ③ 不純物の吸着を防止する。

脱磁後の残留磁束密度は、磁力による鉄粉等の付着が生じない  
**5 mT以下**（交番減衰脱磁法と同等）とした。



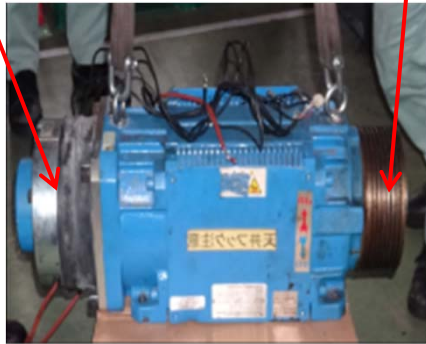
加熱炉



加熱温度：430℃ 加熱時間：10分

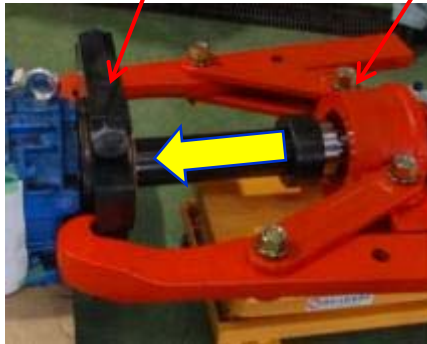
# 成果：要素開発（分解工程 1）

ブレーキ シーブ

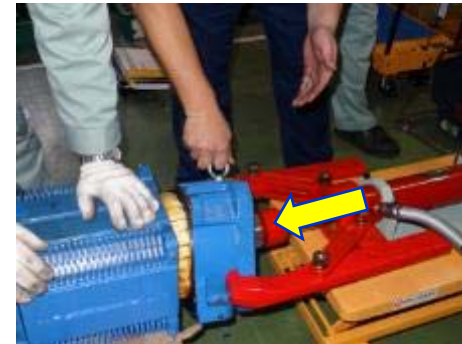


エレベーター用巻上機

引抜装置 (油圧シリンダ)  
シーブ抜き治具



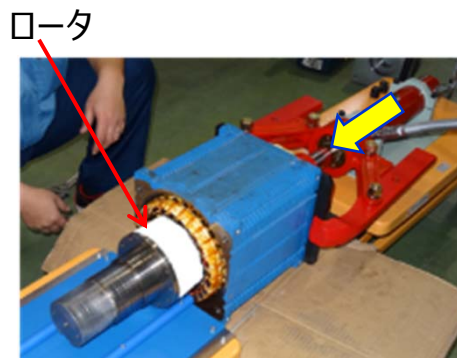
シーブ取外し



シーブ側ブレット取外し



軸受取外し



ロータ取外し

ステータ



ロータ



巻上機分解後



# 成果：要素開発（分解工程2）



鉄心分離装置



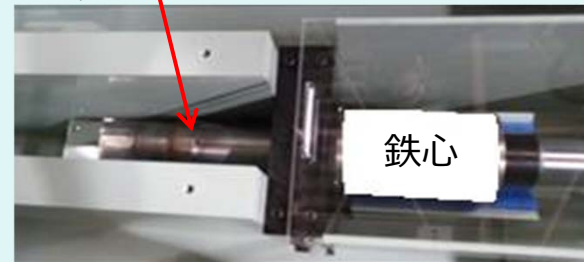
ロータ装着前

油圧シリンダ



鉄心

シャフト



鉄心

鉄心とシャフトに分解



鉄心



シャフト

ロータを鉄心とシャフトに分解

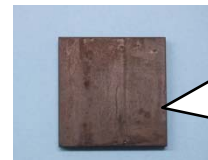
# 成果： 要素開発（表面処理 1）

## ◆ブラスト試験

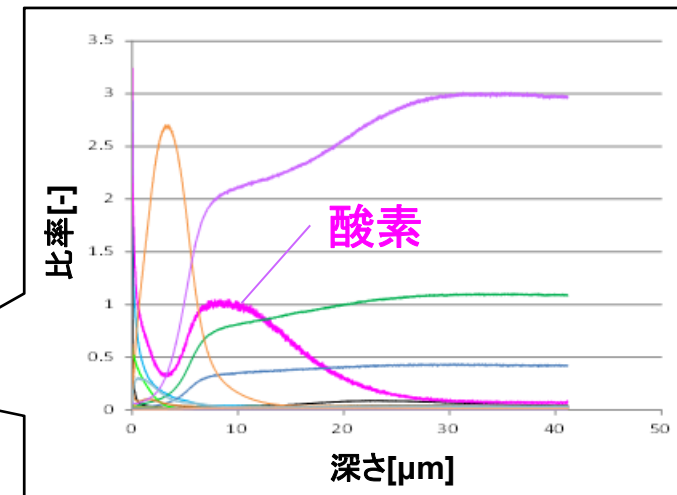
ブラスト処理対象に微細な砥粒を吹付けて表面を研磨する処理

### 【目的】

加熱処理後の磁石は表面に酸化被膜を形成するとともに、磁石内部にもわずかに酸素を含む。混入した酸素は再生磁石の性能に対して阻害要因になるため、下記の酸素含有率を満たすブラスト処理条件を決定する。



加熱後磁石



### 【目標値】

酸素含有率 5000ppm以下・・・一般的な市販レアアース磁石の酸素含有量

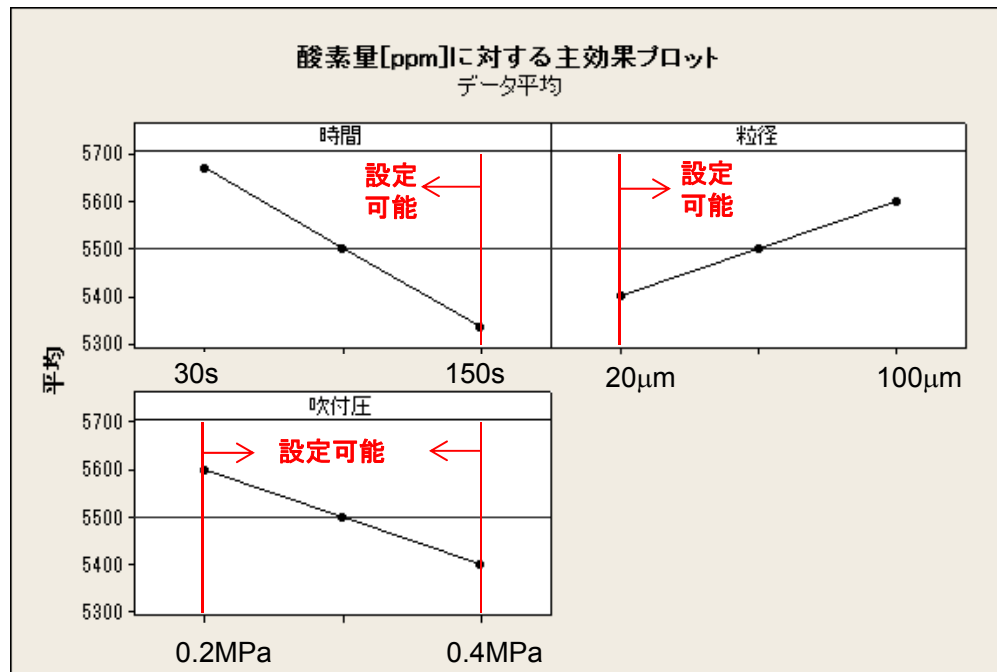
### 【方法】

ブラスト処理後の磁石に関して酸素含有量分析を実施  
目標値を満たすブラスト条件を求める。

# 成果： 要素開発（表面処理2）

フィッシュボーン、C&E Matrixよりパラメータ抽出 → 各パラメータの主効果を確認  
抽出パラメータの試験条件

- ①時間: 30~150s(工程許容時間より、1ブラスト処理当たり150s以下が制約条件)
- ②粒径: 20~100 $\mu$ m(標準品最少粒径20 $\mu$ m)
- ③吹付圧: 0.2~0.4MPa(ブラスト装置の設定可能範囲)



主効果より、どの  
パラメータも効果  
が見られる。

## 【望しい条件】

時間 → 最大化  
粒径 → 最少化  
吹付圧 → 最大化

時間: 150秒、粒径: 20 $\mu$ m、吹付圧: 0.4MPaの条件において、  
表面酸素含有量4500ppmを確認

# 成果：要素開発（表面処理3）

---



サンドブラスト装置



加熱処理後の鉄心とNd磁石

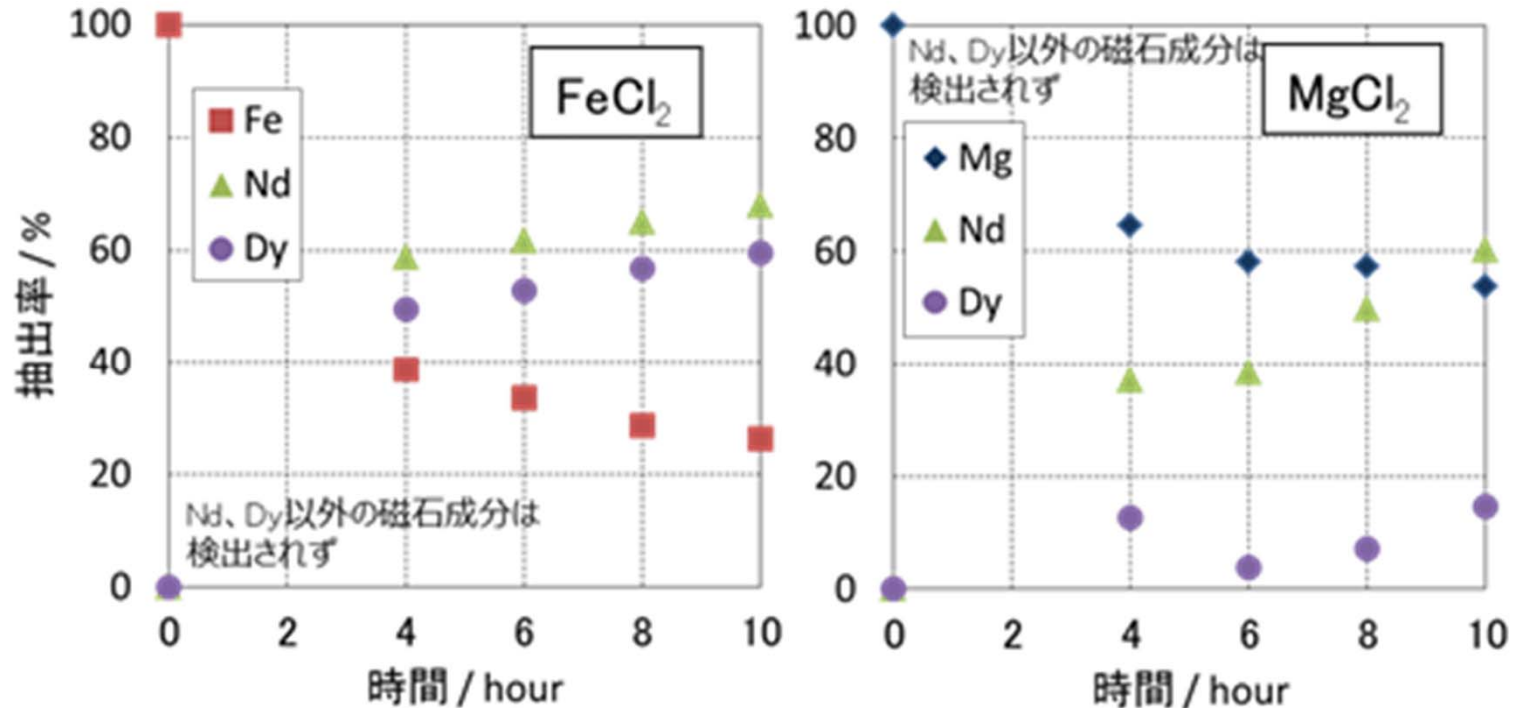


ブラスト処理前    ブラスト処理後

表面処理前後の使用済みNd磁石

# 成果： 要素開発（熔融塩抽出工程）

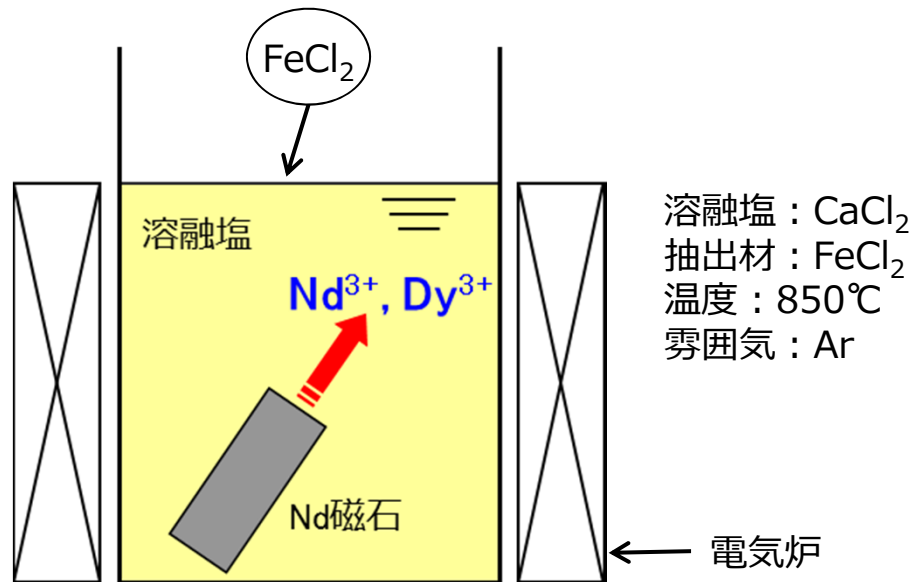
## 抽出材の選定



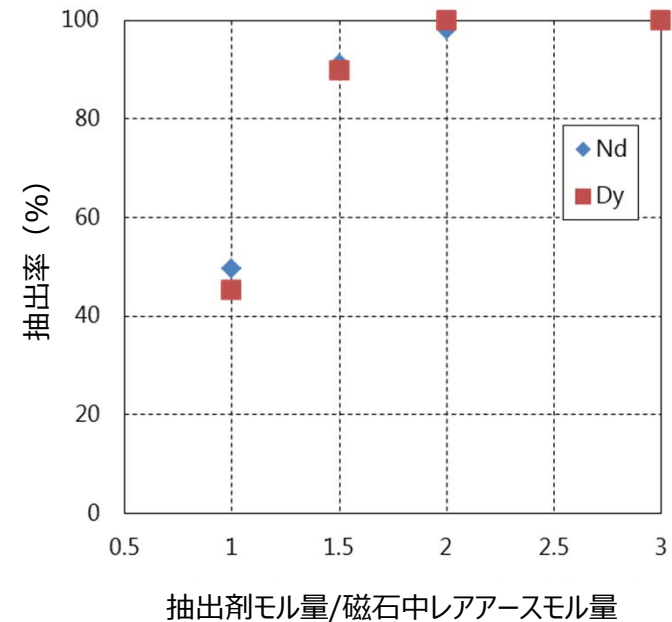
抽出材として、FeCl<sub>2</sub>とMgCl<sub>2</sub>を選択。両者とも抽出材として使用できることを確認。本研究では、Dyにおける抽出性が高いFeCl<sub>2</sub>を選定した。

# 成果： 要素開発（熔融塩抽出工程）

## レアース抽出試験

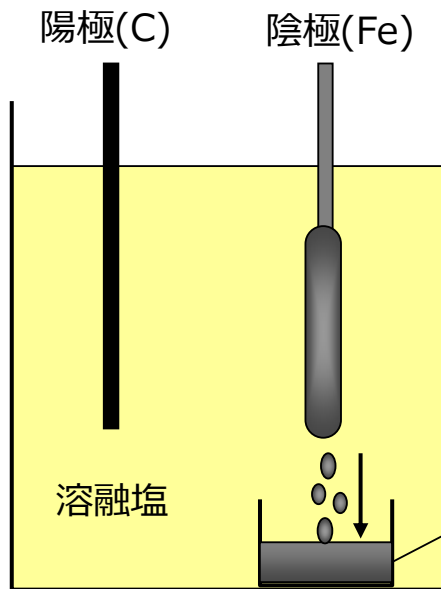


レアース抽出試験



レアースに対して3倍モル以上の抽出剤を添加することで、磁石からNdとDyだけを選択的に99.9%以上溶解できることを確認した。

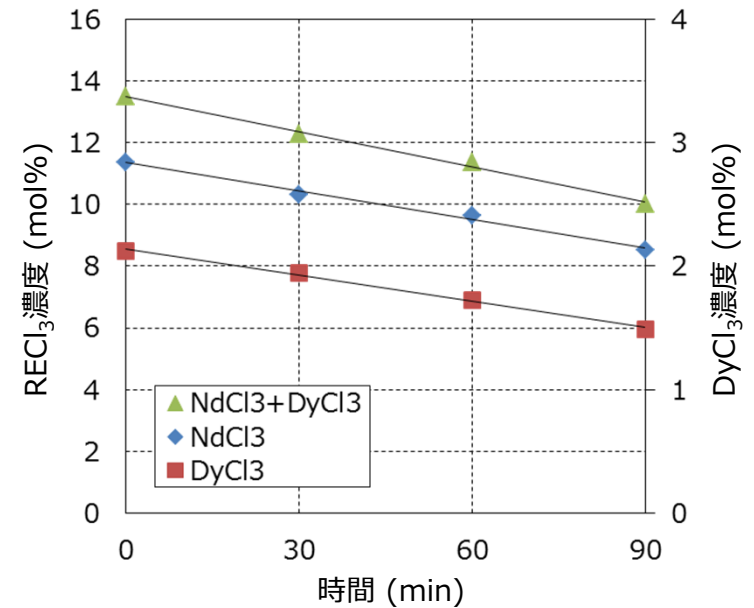
# 成果：要素開発（熔融塩電解工程）



熔融塩 :  $\text{CaCl}_2 - \text{RECl}_3$   
 (RE = Nd, Dy)  
 温度 :  $850^\circ\text{C}$   
 電流密度 :  $1 \sim 3 \text{ A cm}^{-2}$   
 雰囲気 : Ar

液体合金(RE-Fe)

レアース電解回収試験



電解時の熔融塩中のレアース濃度の経時変化



回収したレアース合金

抽出後の熔融塩を用いて、レアース合金を回収できることを確認した。

# 成果：スルー試験（Nd磁石取出し）

## 分解装置

プレス機用油圧ポンプ



クレーン



ロータ受け台 300kN用 500kN用  
多目的油圧プレス機



鉄心分離プレス機

ブレーキ

シーブ

## 分解工程

分解時間 25分



エレベーター用巻上機

ステータ



ロータ



鉄心



シャフト



# 成果：スルー試験（Nd磁石取出し）

加熱装置



加熱炉



加熱処理後の鉄心とNd磁石

加熱温度：430℃ 加熱時間：10分

サンドブラスト装置



サンドブラスト装置



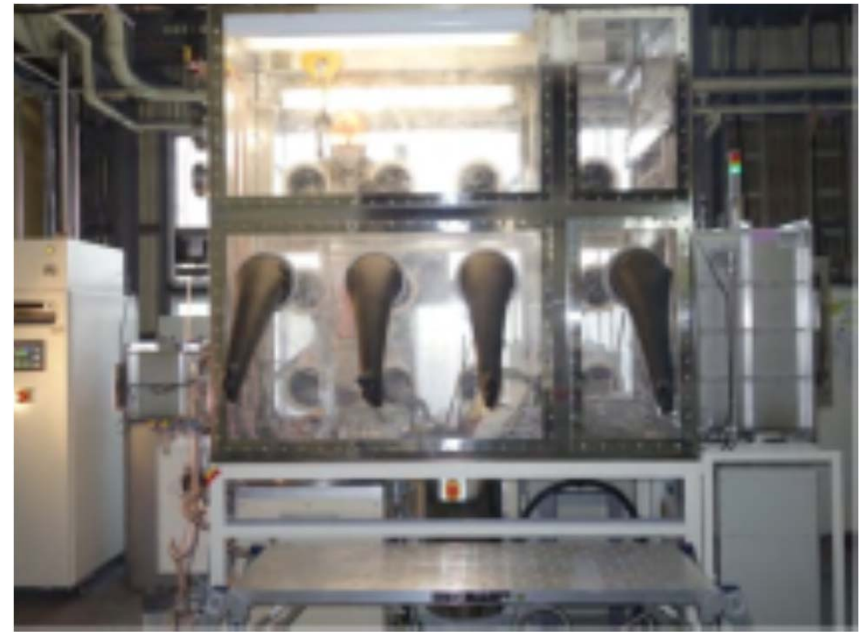
ブラスト処理前    ブラスト処理後

表面処理前後の使用済みNd磁石

処理時間:150秒 粒径:20μm 吹付圧力0.4MPa

# 成果： スルー試験（Nd合金精製）

## 熔融塩電解装置



# 成果：スルー試験（Nd合金精製）

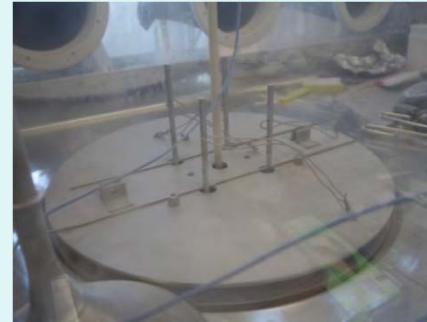
## 熔融塩抽出



抽出フランジ



るつぼ



熔融塩抽出中



残渣

熔融塩:  $\text{CaCl}_2=27.7\text{Kg}$ 、 $\text{NdCl}_3=2\text{kg}$ 、 $\text{DyCl}_3=0.5\text{kg}$ 、 $\text{PrCl}_3=0.5\text{kg}$

熔融塩温度:  $850^\circ\text{C}$  抽出剤:  $\text{FeCl}_2=1.5\text{kg}$  Nd磁石:  $4.96\text{kg}$

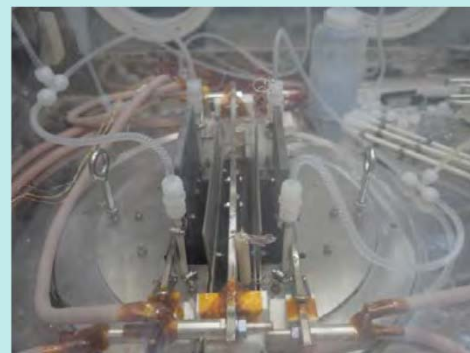
## 熔融塩電解



陰極(純鉄)



陽極(黒鉛)



熔融塩電解装置

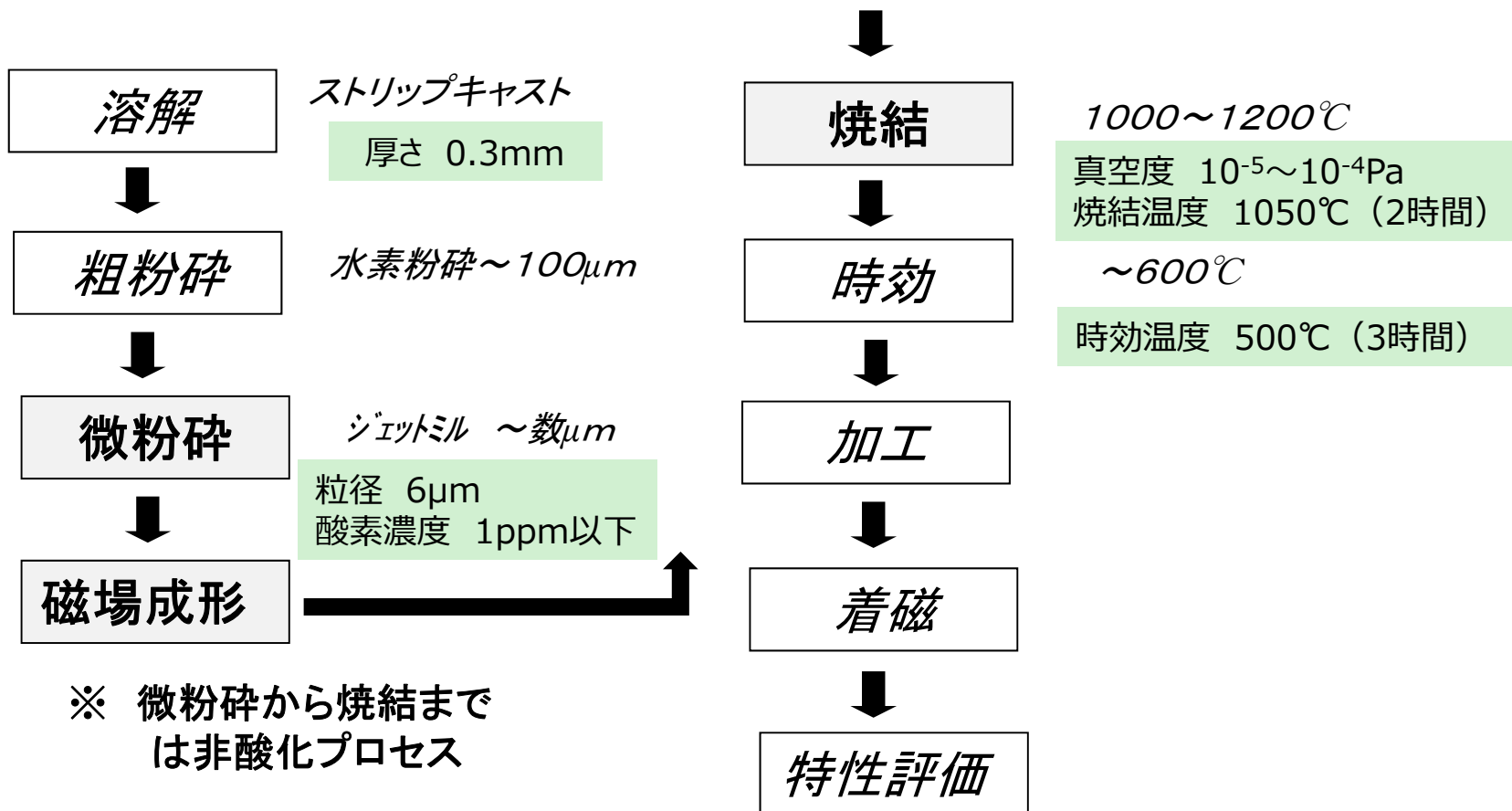
電解電流:  $200\sim 300\text{A}$



回収したレアアース鉄合金

# 成果：Nd磁石試作

## Nd-Fe-B 磁石の試作プロセス



# 成果：スルー試験（Nd磁石性能評価）

焼結温度：1050℃

	焼結温度 [°C]	時効温度 [°C]	Br [T]	bHc [kA/m]	iHc [kA/m]	BHmax [kJ/m <sup>3</sup> ]	対バージン 材比 Br	対バージン材 比 BHmax
バージン材	1050	420	1.09	835	1448	225.2	-	-
リサイクル材	1050	420	1.20	887	1503	268.8	110%	119%
バージン材	1050	460	1.19	866	1369	261.5	-	-
リサイクル材	1050	460	1.16	861	1653	251.8	98%	96%
バージン材*	1050	500	1.15	732	1153	240	-	-
リサイクル材	1050	500	1.22	861	1006	285.7	106%	119%

\*: 15kgバッチの結果、その他は5kgバッチの結果

残留磁束密度( $B_r$ )、最大エネルギー密度( $BH_{max}$ )の比較評価

$B_r$ ：リサイクル材はバージン材使用磁石の98~110%

$BH_{max}$ ：リサイクル材はバージン材使用磁石の96~119%

目標値の90%以上を達成

## 市販品と同等レベル磁石性能を実現

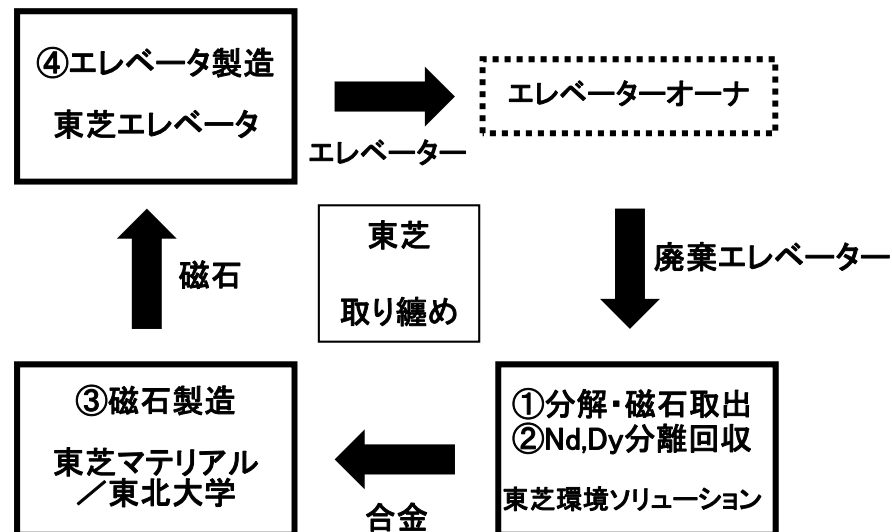
※ 焼結および時効プロセスのそれぞれにおける保持時間、時効後の急冷速度などの因子の詳細設定により、さらなる向上が見込める。

# 事業化の方向

- ①産業用モーターリサイクルは手付かず  
家電や電気自動車モーターからのリサイクルは既に行われているが、**産業用モーターは実施例がない**
- ②リサイクルシステム構築が容易  
エレベーター用モーターは**流通ルートが把握しやすく**廃棄品の適切な回収が可能。  
また、使用期間も決まっているため**リサイクル量の把握も容易**
- ③家電に匹敵するネオジム磁石回収量

	エレベーター用モーター	エアコンコンプレッサ
1事業所あたりの年間ネオジム磁石回収量 (2020年)	<b>7t以上</b> 使用期間が決まっており、殆ど変動無し	<b>4t</b> エアコン回収台数で変動 未だNd使用率は低い

## エレベーター用モーターの場合



## 東芝が提案する産業用モーターのリサイクルフロー

東芝グループ内で回収-分解-磁石合金作製-  
磁石再生を一貫して実施する  
クローズドサイクルを実現  
→産業用モーターのリサイクルモデル事業を構築

# 事業化の方向

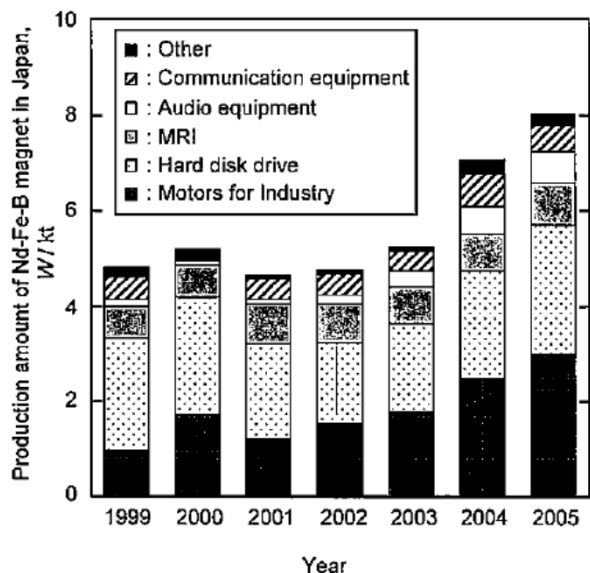


図. 日本国内におけるネオジム磁石の用途

白山, 岡部, 溶融塩および高温化学, Vol. 52, No. 2 (2009)より

国内で生産されたNd磁石の37.5%が産業用モーター用途(2005年度)であるが、ほとんど手付かず



本提案でエレベーター用モーターのリサイクルモデルを示すことで、他の産業用モーターのリサイクルを加速し、Nd,Dyを安定確保(海外依存のリスク回避)

本プロセスと従来プロセスの比較

	本プロセス	従来プロセス
工程数	3	15
必要試薬量	1	5~10
廃棄物量	1	6

従来リサイクルシステムは技術的には可能であるが、工程数、二次廃棄物量の削減に課題



工程数、二次廃棄物量を削減可能な経済性、環境調和性の高いリサイクルシステムを実現

# 今後の課題・事業化に向けたリスク

---

## 【今後の課題】

### ●使用済みレアアース磁石の回収ルートの構築

他社製の産業用モーターの確保が困難

- ①産業用エレベーター用モーターは国内全体で35t/yの廃棄が見込めるがその回収ルートの構築に課題がある。
- ②同様に大型モーター、業務用エアコンはさらに廃棄量が多いと見込めるがその回収ルートの構築に課題がある。

## 【事業化に向けたリスク】

### ●使用済みレアアース磁石量の確保

上記課題による事業化リスク(成長性)

### ●レアアース原料の値下がりによるコストメリットの低下

中国産レアアース原料が高騰前に戻ったことによる再生レアアース原料の採算悪化

- ①再生レアアース原料を磁石メーカーへの取引する場合のリスク

### ●磁石製造に向けたリスク

レアアースの試作に成功したが、製造設備がなく、設備導入のリスク、または、同業他社へ委託する場合のリスク



# 謝辞

---

本成果の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)助成事業「使用済みモーターからの高性能レアアース磁石リサイクル技術開発」(平成25年度～平成26年度)によるものです。

**TOSHIBA**

**Leading Innovation >>>**