

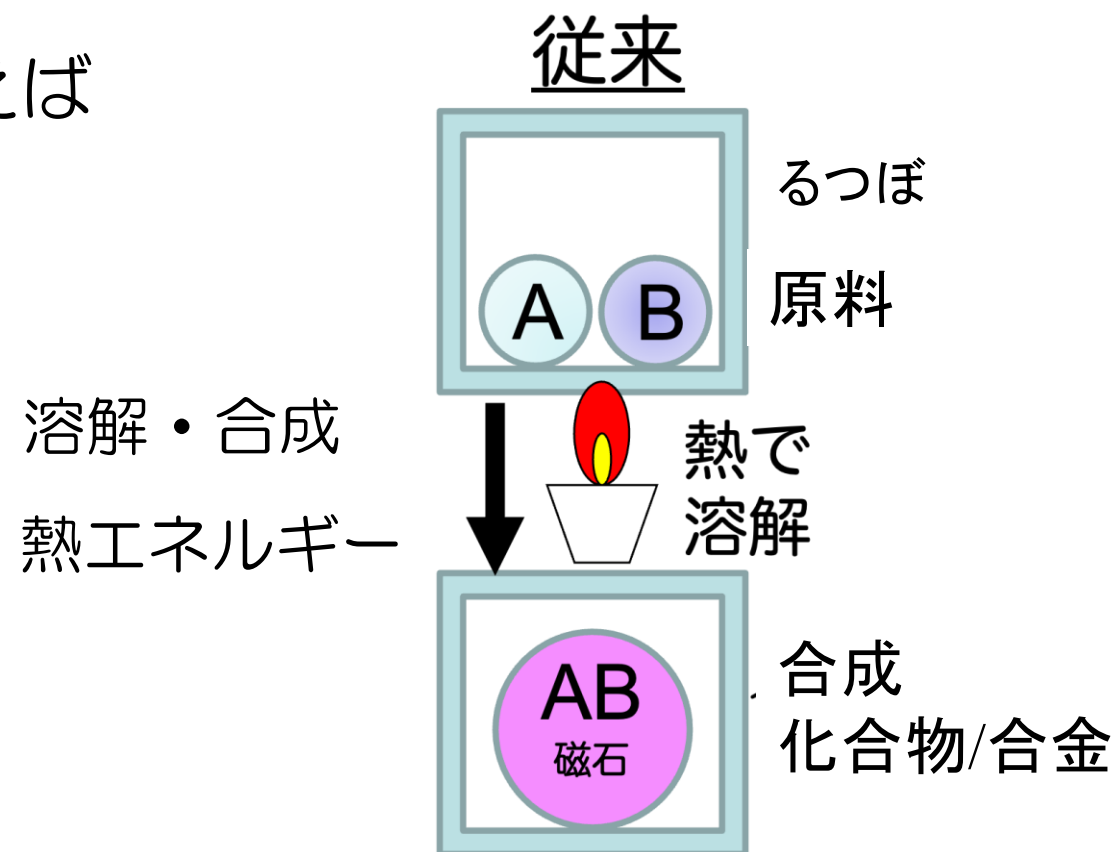
磁気を利用して材料の合成分解 および元素回収技術

鹿児島大学 理工学研究科 理学専攻
教授 小山 佳一

2025年7月24日

- 磁気（**磁場**）は温度や圧力と同じ環境パラメータ
- **温度**は**熱エネルギー**を生じ、**圧力**は**力学的エネルギー**を発生させる

例えば



熱エネルギーと力学的エネルギー

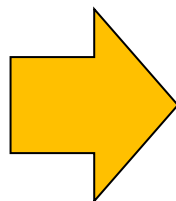
- 強い磁気（鉄など） ✕ 磁場を与えると
引き寄せられる
 - 磁気エネルギー（磁気・磁場）の利得による
 - 磁場効果
- 熱エネルギーや力学的エネルギーと比べて、
磁気エネルギーは学術的未開拓領域



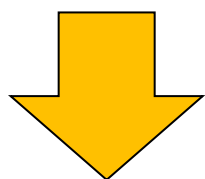
➤ 磁場効果のポイント

磁気エネルギー > 熱エネルギー・力学的エネルギー

磁気エネルギー

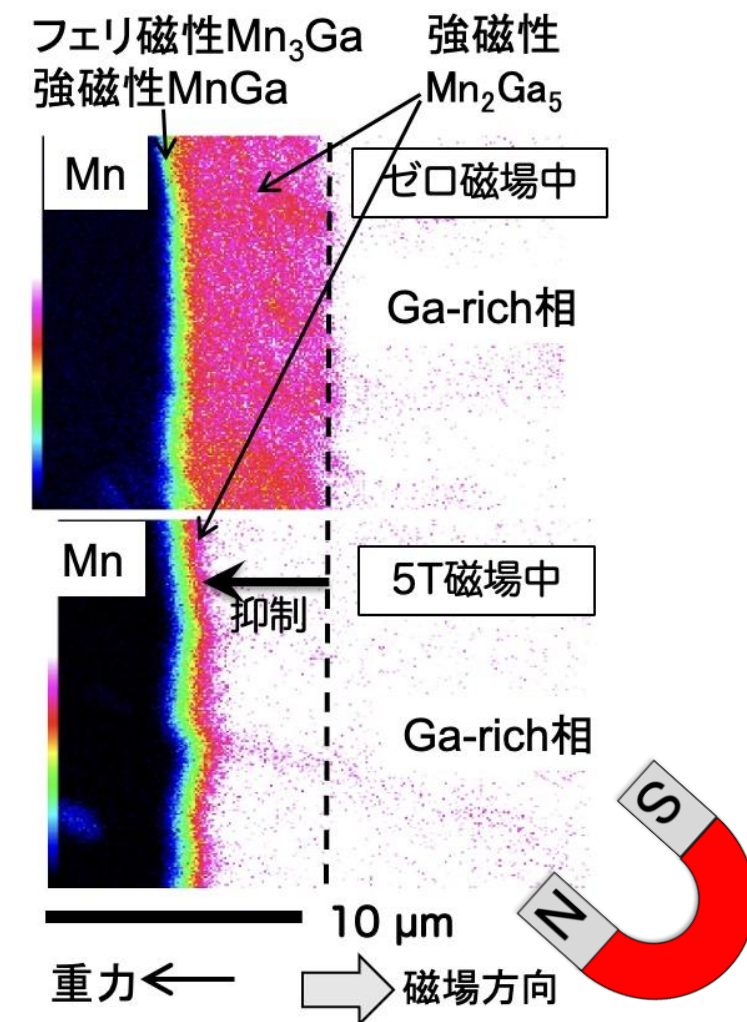


- ✓ 物質・化合物によって異なる
- ✓ 温度によって異なる
- ✓ 液体、固体によって異なる



物質合成と分解分離の制御環境を開拓できる

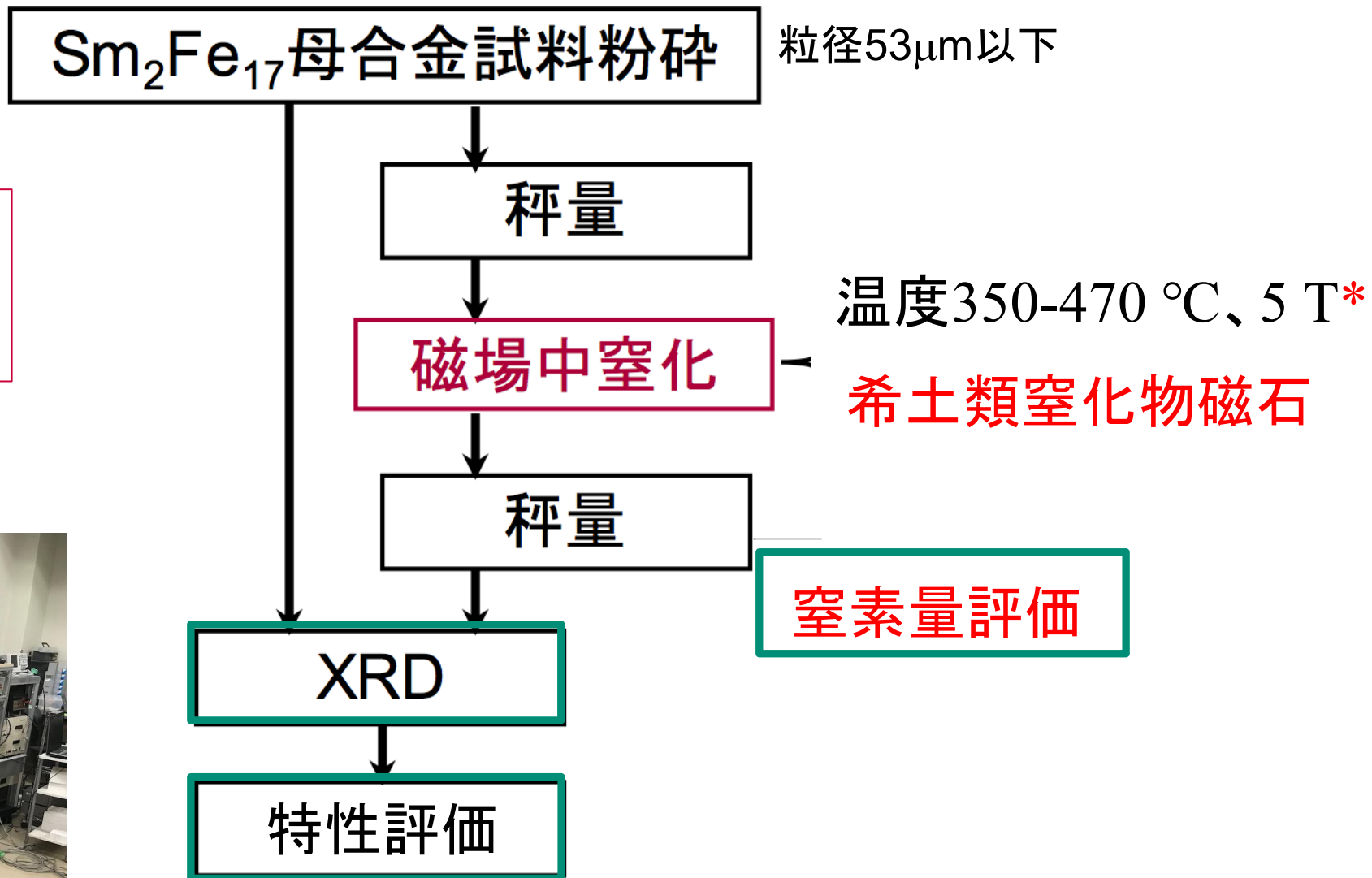
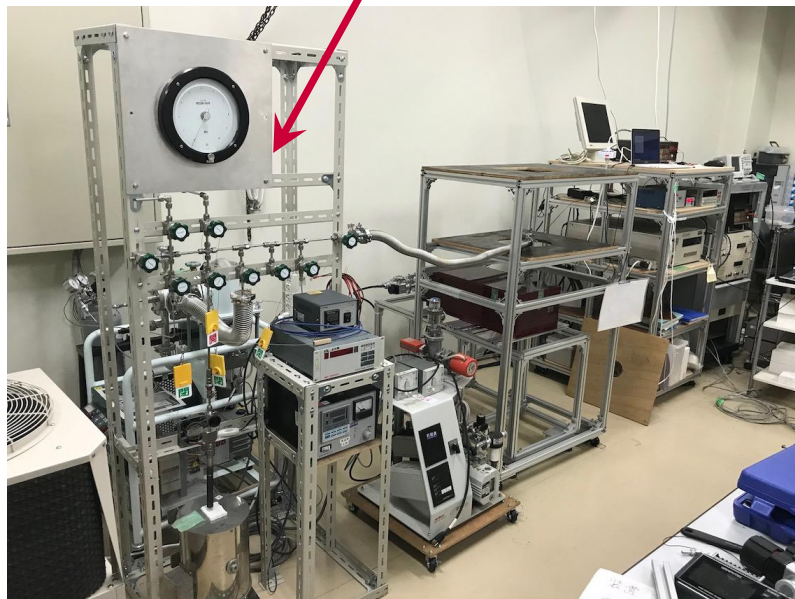
磁場印加選択的合成



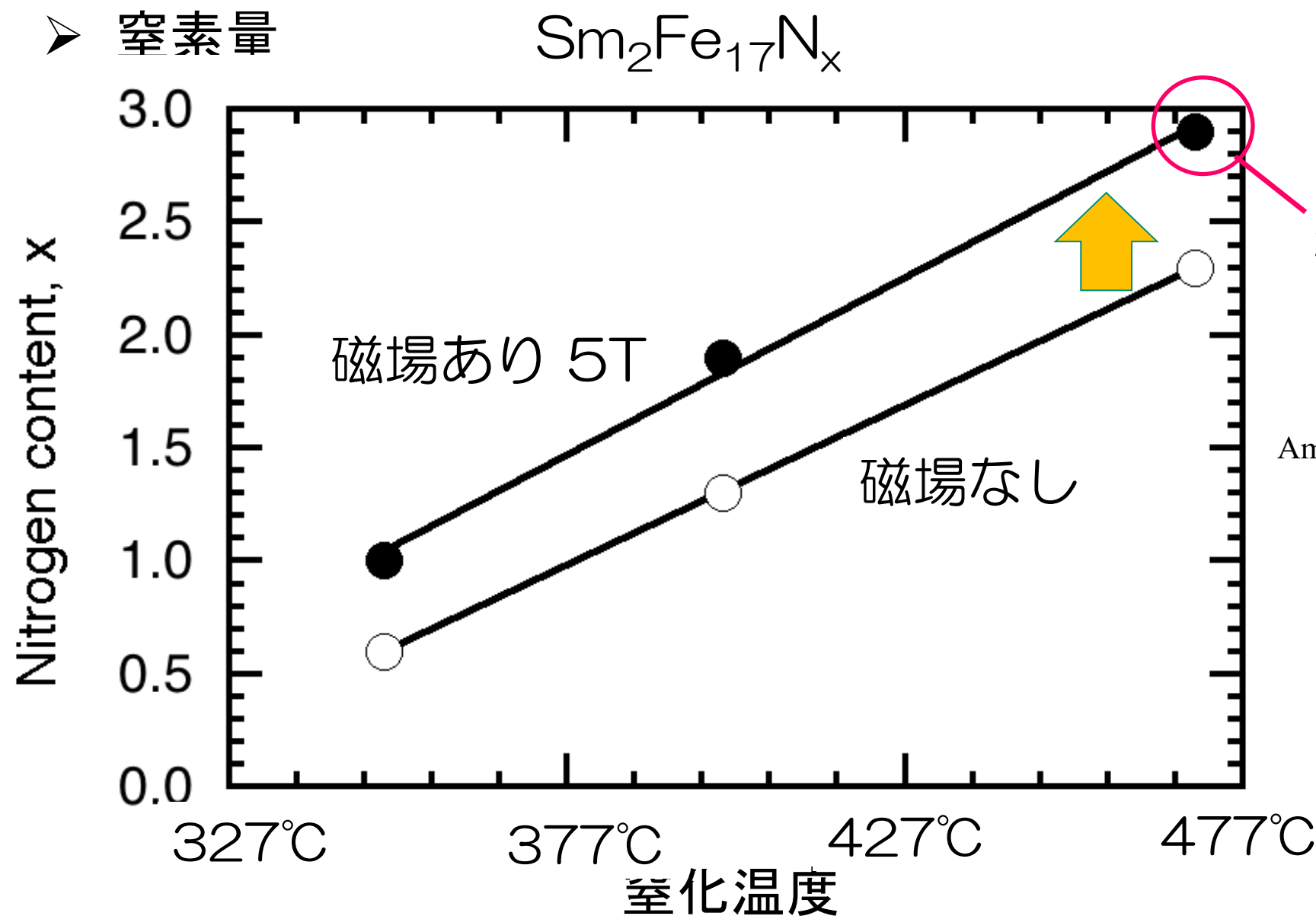
➤ 磁場中合成実験工程

- 最大熱処理温度：600℃
- 最大ガス圧：0.1 MPa
- 最大印加磁場：5 T

ガス制御システム



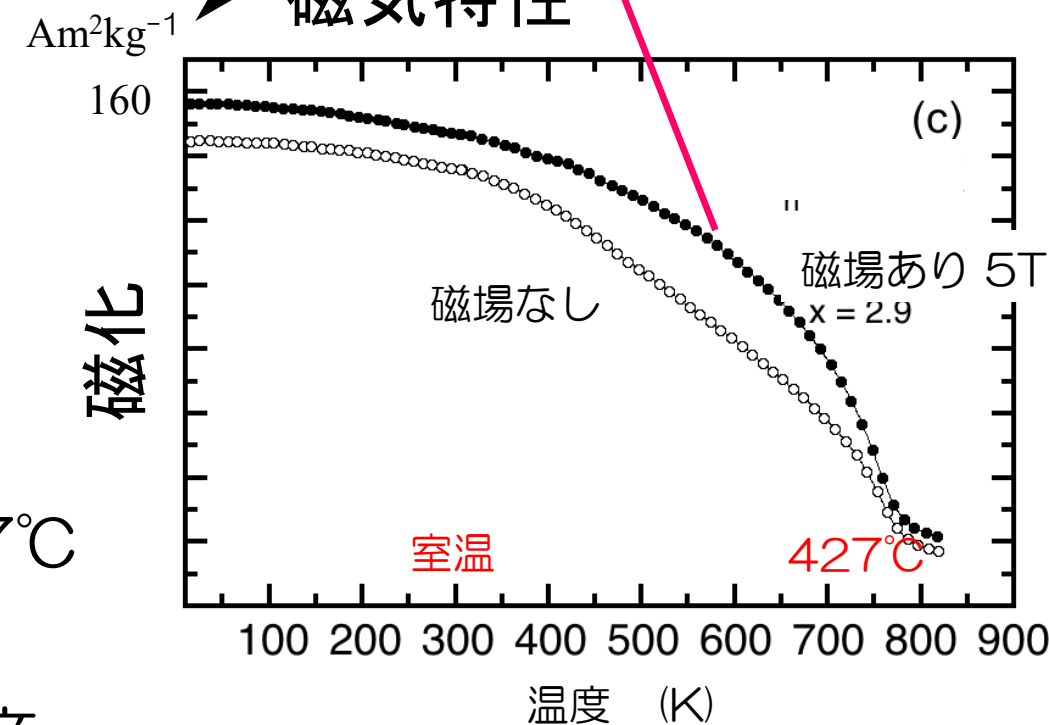
*5 T (テスラ) = 地磁気の10万倍



良質な窒化物
磁石原料

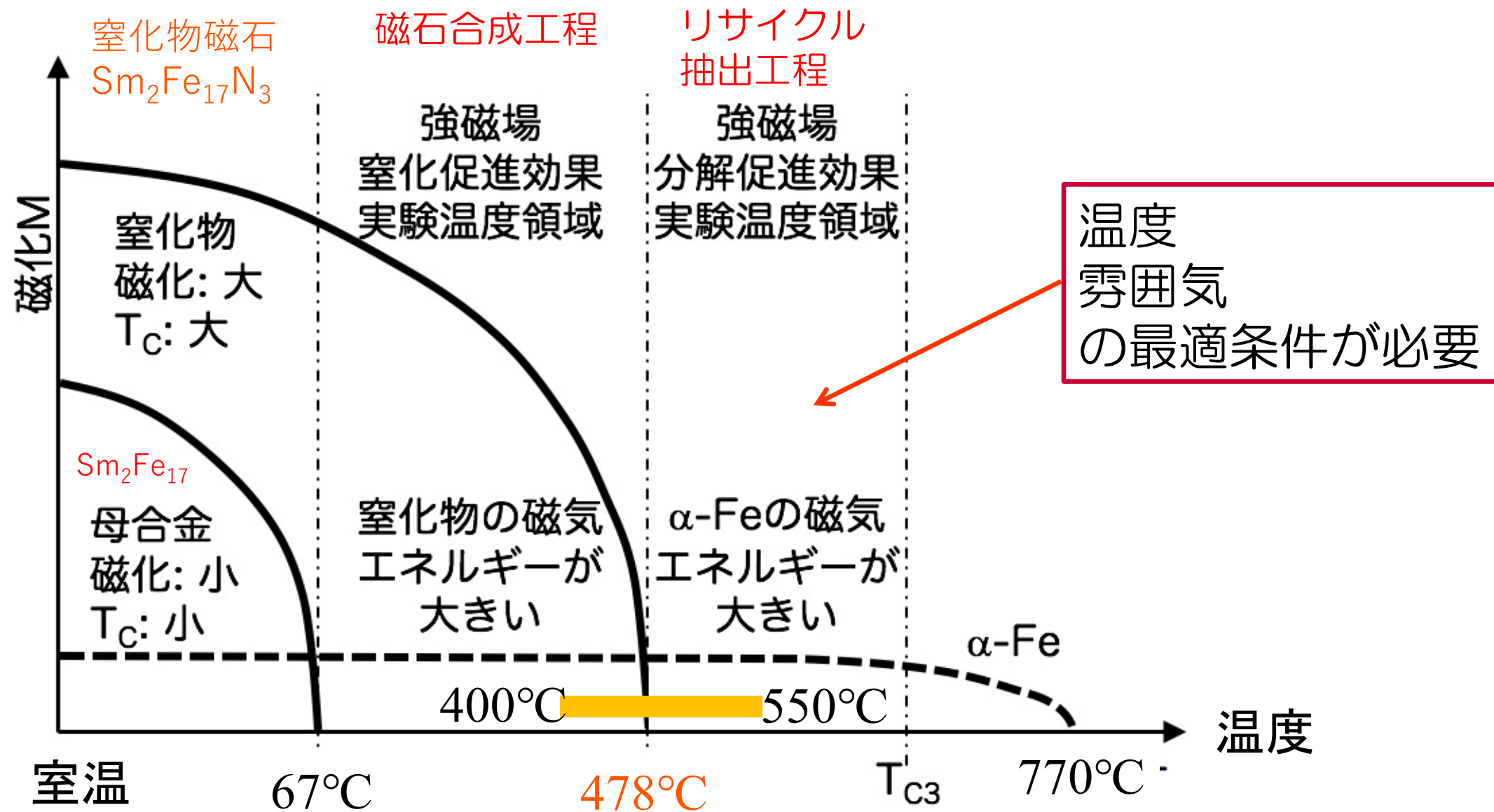


➤ 磁気特性



磁場で窒素量増加→短時間で良質磁石原料生産

磁場を分解工程に用いるアイディア（模式図）



例えば

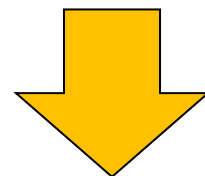
➤ 使用済みボンド磁石の元素回収

- ✓ 資源の有効利用のために、廃棄物から回収される使用済みの磁石のリサイクルが行われている
- ✓ 熱処理によって使用済みボンド磁石からバインダ成分を取り除くリサイクル方法は提案されている

➤ 問題点

- ✓ 提案されている方法では、ボンド磁石が希土類元素と鉄元素とを含む磁性化合物によって構成されている場合、上記報告の熱処理によっては、その磁性化合物の分解までは充分に行うことができない

最大産出国によるレアアース輸出規制等なされ、希土類元素と希土類-鉄磁石は戦略物資になっている



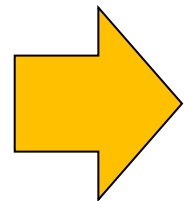
希土類-鉄系磁石は、例えば、ハイブリッド自動車、電気自動車、家電製品等に使われるモータ、コンピュータの記憶装置に使われるハードディスク、複写機に使われるマグネットローラ、医療機器、磁気センサ等から回収することができる

➤ 使用済み希土類-鉄系磁石の分解

- ✓ 加熱による希土類-鉄系磁性化合物の分解には、長時間を要する
- ✓ 希土類-鉄系磁性化合物をすみやかに分解することができる技術が望まれる

➤ 本発明の目的

- ✓ 希土類元素と鉄元素とを含む磁性化合物を、希土類含有物及び鉄含有物へとすみやかに分解することができる、希土類-鉄系磁性材料のリサイクル方法を提供することである



磁気×磁場＝磁気エネルギー の利用

➤ 磁場中分解実験基本系

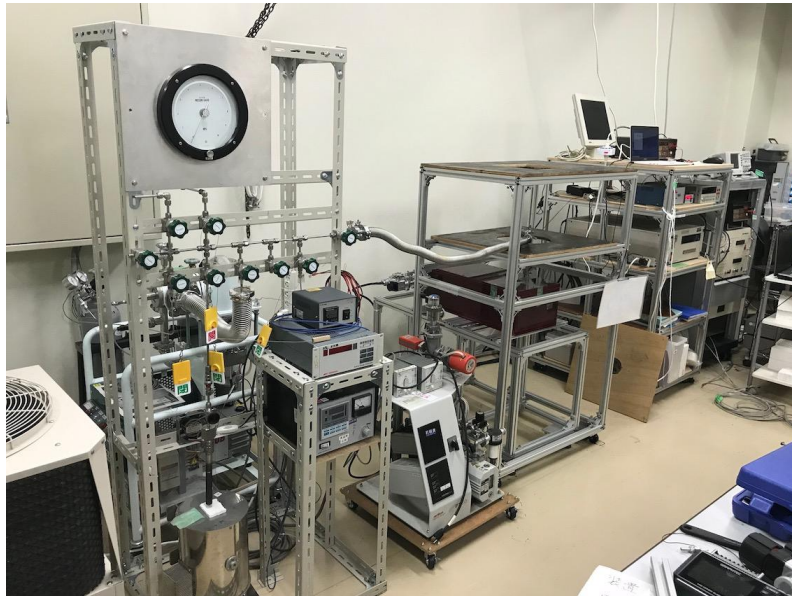
窒化物磁石： $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$

磁場中熱加熱 分解

ゼロ磁場、5T
400～500℃
6～96 時間

X線回折

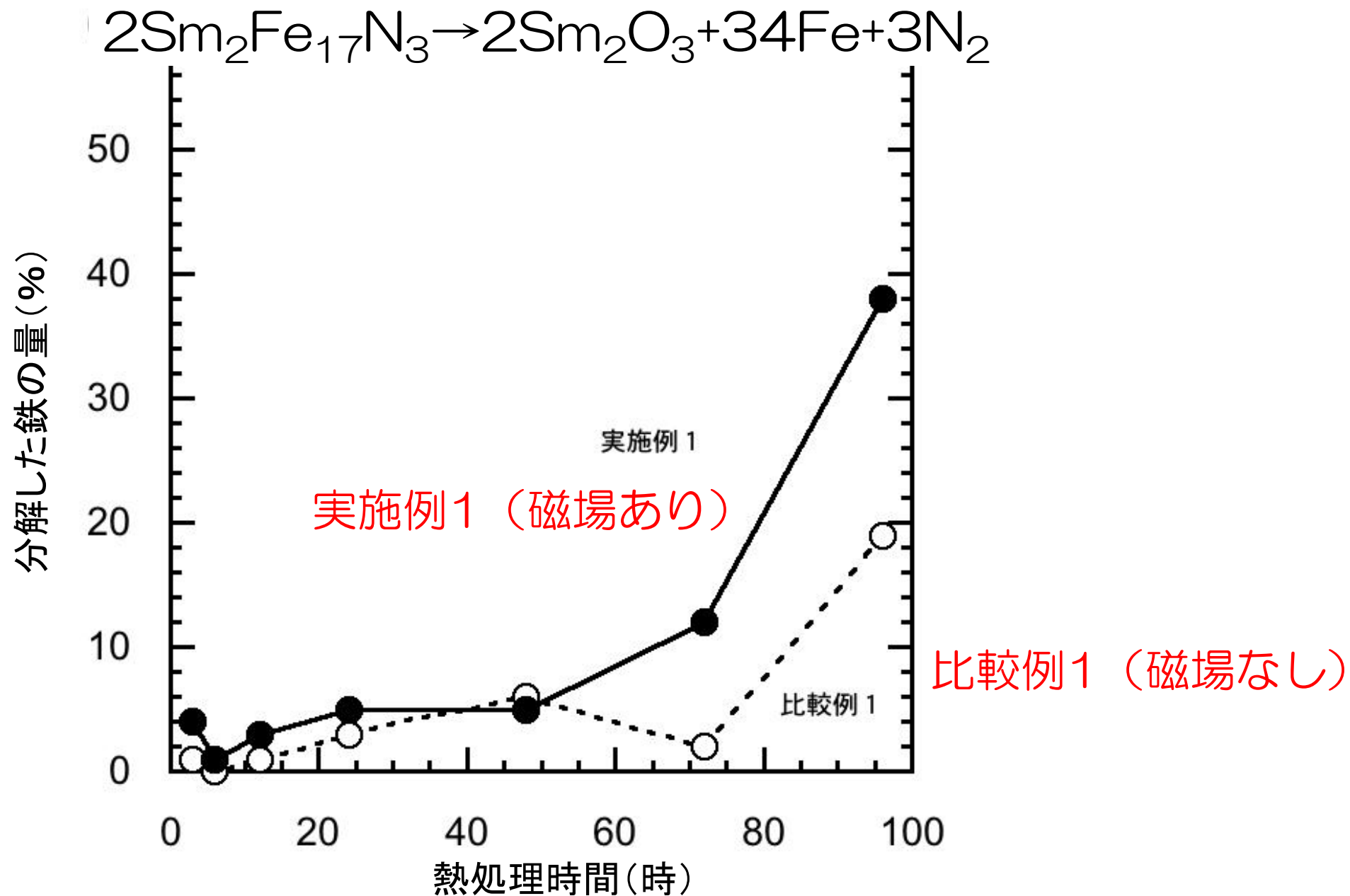
特性評価



磁場による分解反応を促進する効果が確認された

実施例 1 :
30 Pa中
(低真空)
400°C
磁場 5 T

比較例 1 :
30 Pa中
400°C
磁場 なし

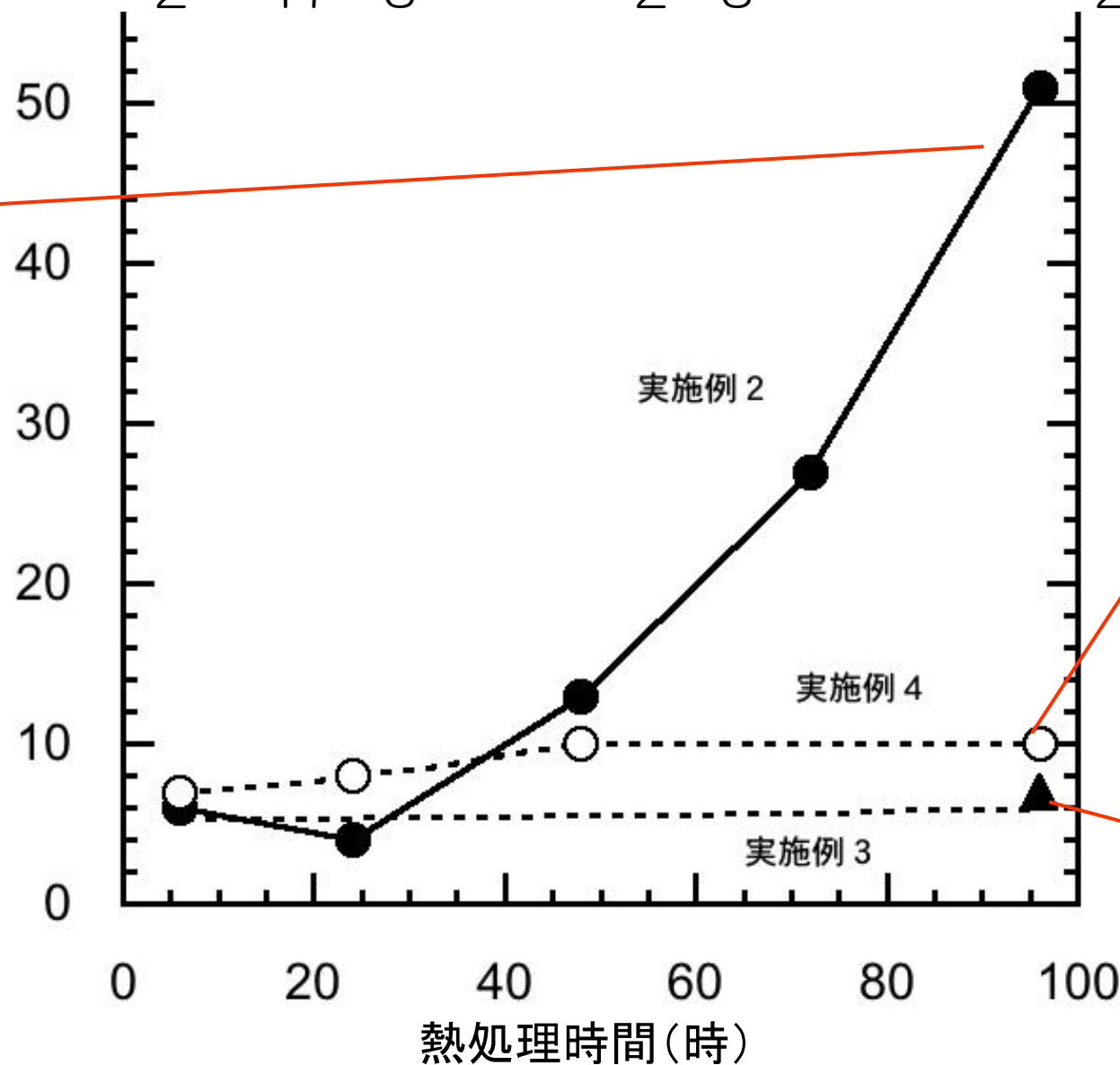


磁場による分解反応を促進する効果が確認された



実施例 2 :
30 Pa中
(低真空)
450°C
磁場 5 T

分解した鉄の量 (%)



実施例 4 :
1 Pa中
500°C
磁場 5 T

実施例 3 :
1 Pa中
(高真空)
450°C
磁場 5 T

希土類-鉄物磁石の磁場中分解リサイクル工程実施形態

異物除去工程
メッキ除去工程
が入る場合あり

希土類-鉄系磁性材料
のリサイクル方法

回収工程

Sm-Fe-N系、Nd-Fe-B系等
各種工業製品の廃棄物から、使用済の希土類-
鉄系磁石（ボンド磁石／焼結磁石）を回収する

粉碎工程

分解反応を促進する観点から、1 mm未満

磁場中加熱工程

希土類-鉄系磁性材料を構成する磁性化合物が分解
酸素を含む雰囲気中、酸素分圧は6 Pa以上
磁場は大きい方が好ましい

磁気分離工程

鉄含有物を磁氣的な力で分離

純粋化工程

希土類酸化物の還元処理等

終了

前後する
場合あり

- ✓ 磁場を用いることで、希土類元素と鉄元素とを含む磁性化合物を、少なくとも希土類含有物及び鉄含有物へとすみやかに分解することができる、希土類－鉄系磁性材料のリサイクル方法を提供できた
- ✓ 現在主流のネオジム磁石について：
ネオジム磁石の磁気が消失する温度は、 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ のそれよりも低いため、実施例よりも磁場効果を活かした分解分離プロセスが期待される

- ✓ 磁場発生コスト等の問題があり、広く利用されるまでには至っていない
- ✓ しかし、材料合成への強磁場利用は、Siウエハー製造等で行われている（コストに見合うかどうか）
- ✓ 今後、リニア中央新幹線建設に伴う高温超伝導線材の大量生産によって、液体窒素温度で強磁場発生が可能となり、磁場発生コストが低減、製造／分解・分離工程での利用拡大が期待される

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・装置基本設計が完了（要素技術確立）	
現在	・個別磁石材料に対する磁場中合成・分解を調査 ・最適条件の調査	最大産出国によるレアアース輸出規制 リニア中央新幹線建設
3年後	・希土類鉄系磁石分離工程のプロットタイプ提案	デモンストレーション実施 ：JSTのA-STAP事業へ応募し研究資金獲得
10年後	・個別磁石材料に対する磁気分解分離プロセスの化を実現	リニア中央新幹線建設後の高温超伝導潜在の普及→磁場発生コストの低減 プロセス実装に向けたコンサルタント開始

- ✓ 磁場を使ったリサイクルに興味ある企業との共同研究を希望
- ✓ 希土類-鉄系磁石合成の技術を持つ、企業との共同研究を希望
- ✓ また、都市鉱山を利用した、リサイクル分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる

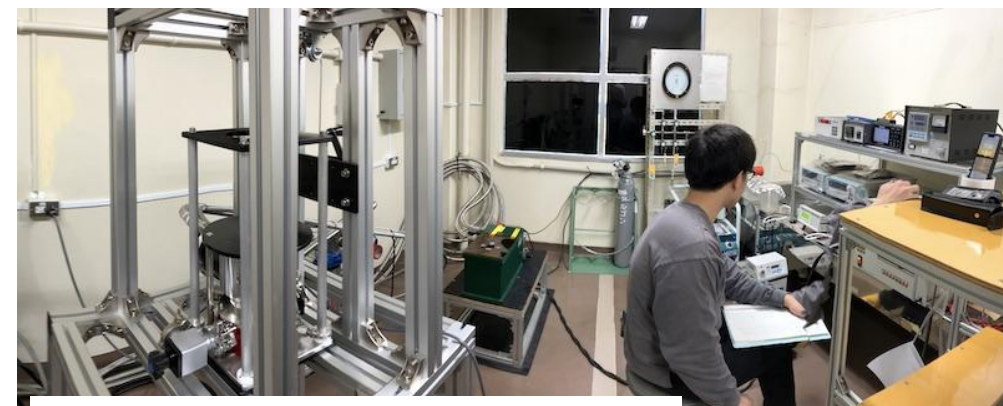
- ✓ 本技術は物質の磁気の差による分離なので、多くの物質群に適用できるため、幅広い分野の企業に貢献できると考えている。
- ✓ 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- ✓ 本格導入にあたっての技術指導等も行う
- ✓ 西日本最大級の強磁場実験施設



10T超伝導強磁場磁石



5T超伝導強磁石



8T超伝導強磁場磁石

- 発明の名称 : 希土類-鉄系磁性材料のリサイクル方法
- 出願番号 : 特願2018-198213
- 出願人 : 鹿児島大学
- 発明者 : 尾上昌平、小山佳一、三井好古



鹿児島大学講師
博士（理学）



鹿児島大学准教授
博士（工学）

お問い合わせ先

国立大学法人 鹿児島大学
南九州・南西諸島域イノベーションセンター
知的財産・リスクマネジメントユニット

〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40

TEL: 099-285-3878

FAX: 099-285-3886

E-Mail: tizai@kuas.kagoshima-u.ac.jp



鹿児島大学公式マスコットキャラクター

