

磁性材料等の分析・観察から 新しい応用機器の開発へ — 産学連携活動に向けて —

竹澤 昌晃

九州工業大学 大学院工学研究院 先端機能システム工学研究系 教授
イノベーション推進機構 グローバル産学連携センター長

履歴

氏名: 竹澤 昌晃

所属: 工学研究院 先端機能システム工学研究系

生年月日: 昭和47年3月1日

学歴

平成 2年3月 静岡県立清水東高等学校 卒業

平成 2年4月 東北大学 工学部電気工学科 入学

平成 6年3月 同上 卒業

平成 6年4月 東北大学大学院工学研究科

電気・通信工学専攻博士前期課程入学

平成 8年3月 同上 修了

平成 8年4月 東北大学大学院工学研究科

電気・通信工学専攻博士後期課程進学

平成11年3月 同上 修了

平成11年3月 博士(工学)(東北大学)

履歴

職歴

平成11年 4月 東北大学電気通信研究所 助手
平成11年12月 九州工業大学 工学部 助手
平成19年 4月 九州工業大学 大学院工学研究科 助教
平成20年 4月 九州工業大学 大学院工学研究院 准教授
平成28年 5月 九州工業大学 大学院工学研究院 教授
平成30年 4月 九州工業大学 グローバル産学連携センター長
現在に至る

永久磁石、電力用磁性材料、およびそれら
磁性材料を用いた機器・デバイス応用等、
一貫して磁気工学に従事

「磁気工学の産業応用」

～世界を変えた強力磁石～

ネオジム磁石(Nd-Fe-B)



100 gのネオジム磁石で10 kgの吸引力
(鉄心を用いると200 kgの重さを持ち上げる)

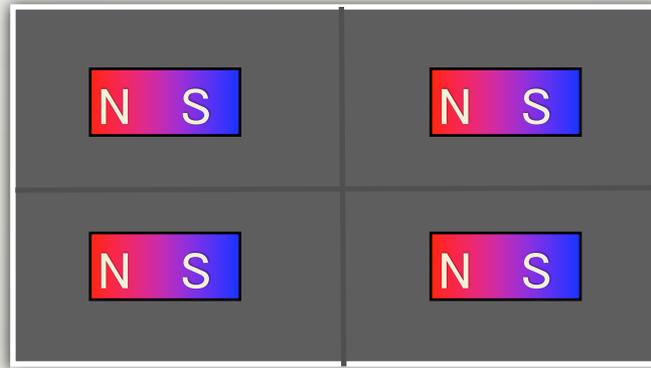


ネオジム磁石はなぜ強い？

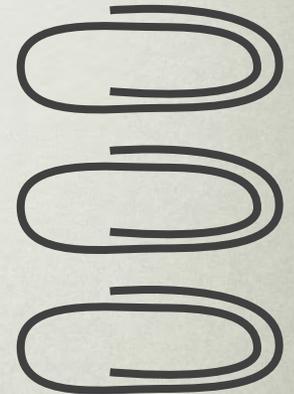
そもそも、なぜ鉄は磁石になるのか？



磁石



鉄



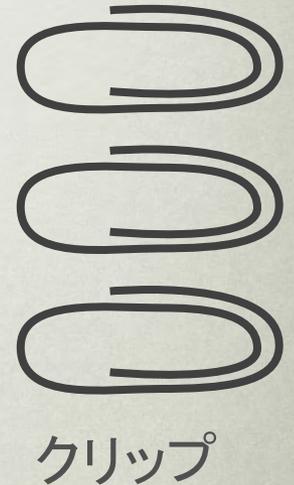
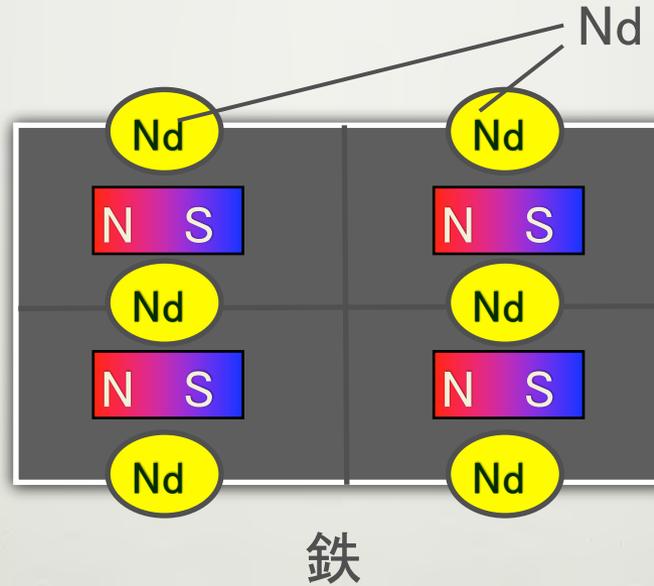
クリップ

磁界を印加 → 磁石になる

磁界をなくす → 磁石でなくなってしまう!

ネオジム磁石はなぜ強い？

ネオジム(Nd)の添加



磁界を無くしても磁石のまま!



強力な磁石 (Nd-Fe-B磁石)

磁石

ネオジム磁石の応用例

小型・高トルクモータ

ボイスコイルモータ

スピンドルモータ

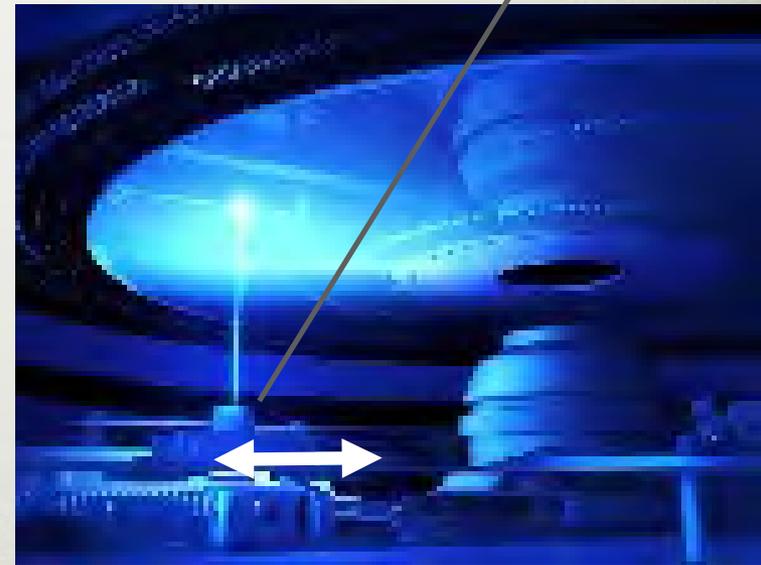
光ピックアップ

振動モータ

スピーカー

ハードディスク

スマートフォン



CD, DVD, BD

ネオジム磁石の応用例

小型・高トルクモータ



エレベーター



洗濯機・乾燥機

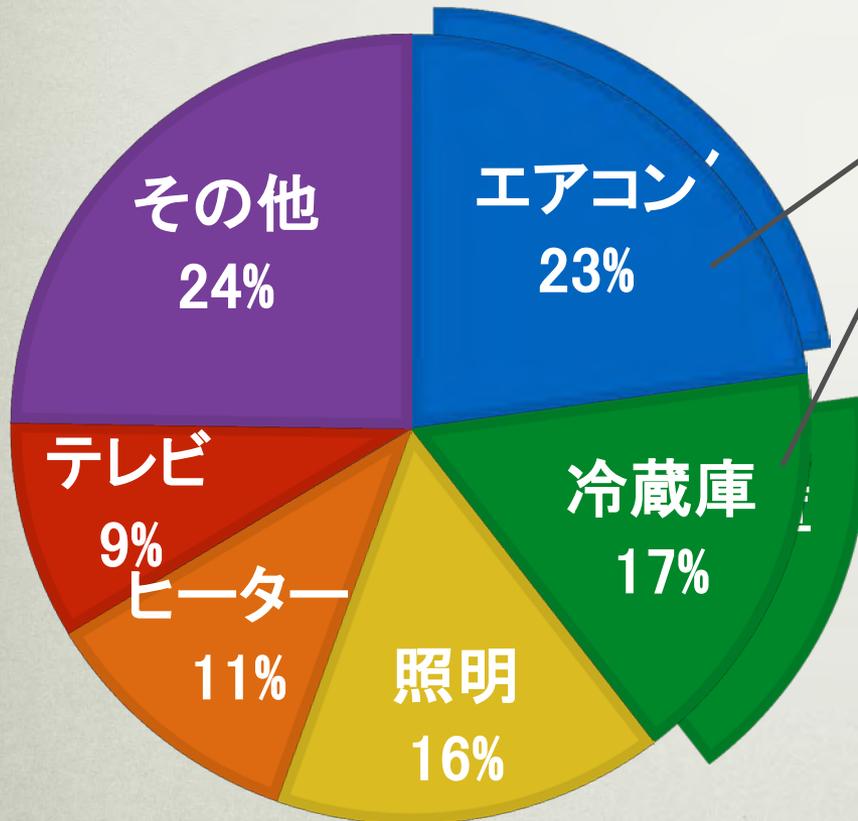


パワーショベル

磁石使用量増加! ➡ 省エネへ

「省エネの切り札」

モータの省エネ



モータによる電力消費



2003年出荷分から
省エネ規制開始

トップランナー方式



モータ効率改善の要求!

2010年さらに改訂

家庭の用途別消費電力量

永久磁石同期モータ

誘導モータから永久磁石同期モータへ

効率：～85%

効率：～95%

➡ **高効率**

モータの使用電力量は年間約5,430億kWh(全電力の55%)

➡ モータの効率を1%向上できれば約60億kWhの電力削減可能
↪ 原発1機分!



磁石モータ

誘導モータ

➡ **ハイブリッド自動車
では軽量モータで
低燃費!**

磁石モータによる省エネ化



電気・ハイブリッド自動車

5700万kL/年の
ガソリン需要削減

磁石モータによる
高効率化



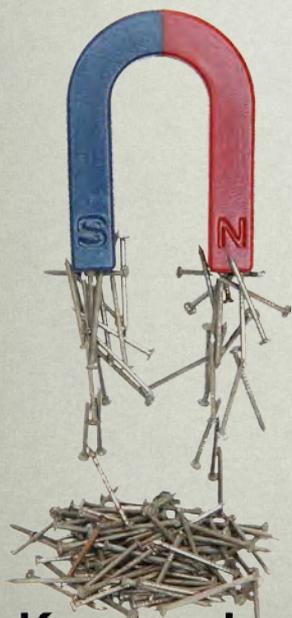
原子力発電所数基分の省エネ効果!

「磁石開発の歴史」 ～日本の果たした役割～

天然磁石から人工磁石へ



「磁鉄鉱」酸化鉄が雷や火山などにより磁石になる
紀元前7世紀：古代ギリシャ(マグネシア地方)で産出
19世紀まで羅針盤(コンパス)に利用される



「KS鋼」 本多光太郎(1870～1954) (東北大学)が1917年 KS
鋼(Co-W-Cr-C-Fe)を開発

従来の磁石の3倍の磁力 ($H_c = 250 \text{ Oe}$) を持つ画期的な発明

日本での磁石開発

MK鋼(アルニコ磁石)

三島徳七(1893～1975) (東京大学)が1931年 MK鋼 (Al-Ni-Fe)を開発

KS鋼の2倍の磁力 ($H_c = 500 \text{ Oe}$)

(MKは養家の三島家と生家の喜住家のイニシャル)

フェライト(OP磁石)

加藤与五郎(1872～1967)、武井武(1899～1992) (東京工業大学)が1930年 フェライト磁石を開発

KS鋼の約3倍の磁力 ($H_c = 700 \text{ Oe}$)

日本での磁石開発

サマリウムコバルト磁石

俵好夫(1937～)(信越化学工業)が1967年 SmCo_5 より強い $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 磁石を開発

サマコバ磁石としてヘッドホンに應用

俵万智さん(歌集「サラダ記念日」の作者)の父親として有名

「この味がいいね」と君が言ったから
七月六日はサラダ記念日
ひところは世界で一番強かった
父の磁石がうずくまる棚

日本での磁石開発



ネオジム磁石

佐川真人(1943～)

住友特殊金属(当時)
(インターメタリックス元社長、東
北大学名誉教授)

1983年 ネオジム磁石($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$)開発

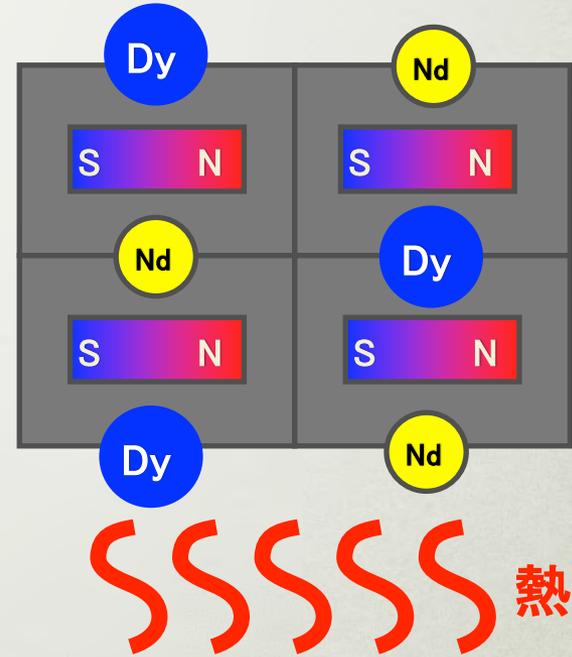
日本の磁石開発が世界をリード

「ネオジム磁石の弱点」 ～レアメタル問題～

ネオジム磁石の耐熱性



電気・ハイブリッド自動車

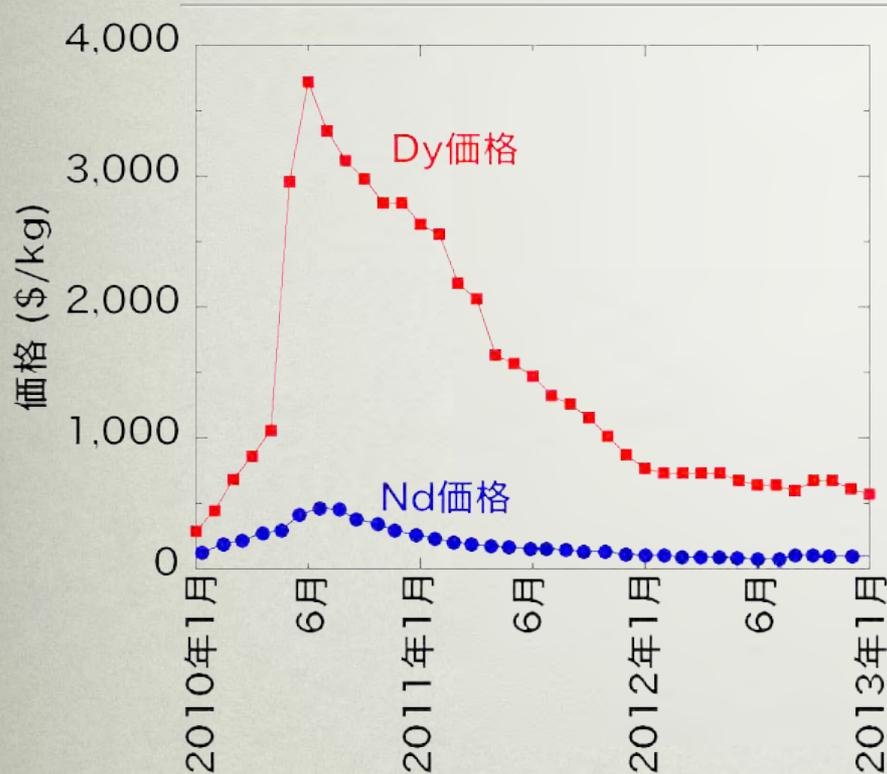


課題

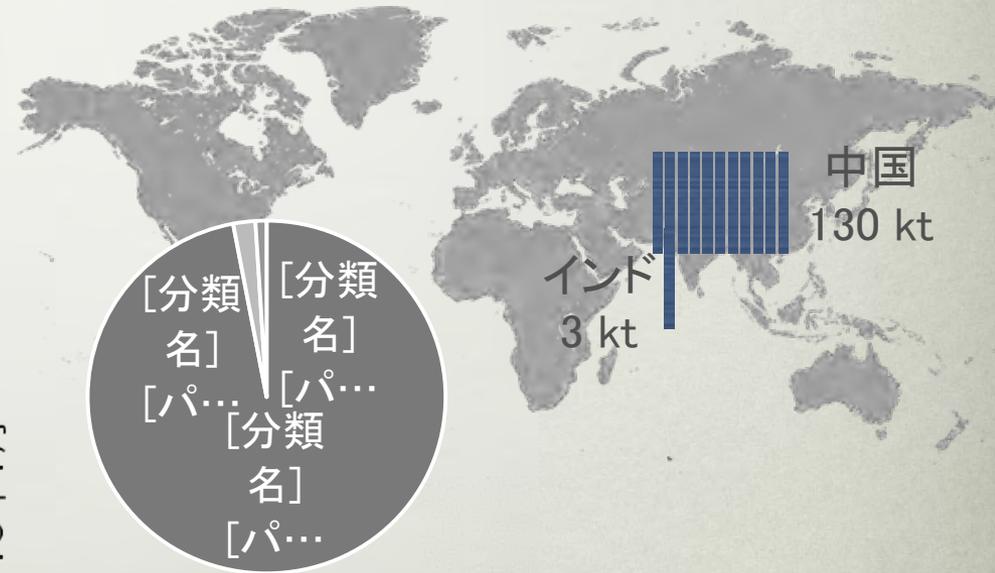
モータのネオジム磁石は
熱に弱く自動車の環境温度
200°Cを満たさない...

レアメタル(レアア
ース)Dyを用いた
高耐熱化

レアメタルの危機



希土類鉱石の価格推移



2011年 希土類鉱石の生産量

- ▶原料価格高騰
- ▶ほとんどが中国で生産される

電気自動車の安定供給に課題

「危機を乗り越えろ」

希土類鉱床の開発状況



2013年から稼働を開始、ただしDyは希少

より広範囲の産出地開発

レアアース200年分以上、南鳥島海底に 東京大が確認

日本の排他的経済水域にあたる南鳥島の南西約310キロの海底で、厚さ30メートル分の泥に最高1700 ppmという高濃度のレアアースが含まれていた。埋蔵量は680万トンに上ると推定されるという。

朝日新聞 2012年6月29日

将来的な希土類採取に期待。ただし、コスト面に課題

磁石開発の課題

これまでの磁石開発は経験則によるものが多く「何故そうなるのか？」が解明されていない。



文部科学省「元素戦略プロジェクト」

「低希土類元素組成高性能異方性ナノコンポジット磁石の開発」

九州工業大学、日立金属(株)、愛媛大学、
名古屋工業大学、(独)物質・材料研究機構

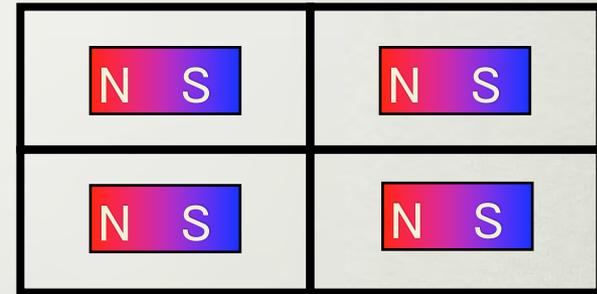
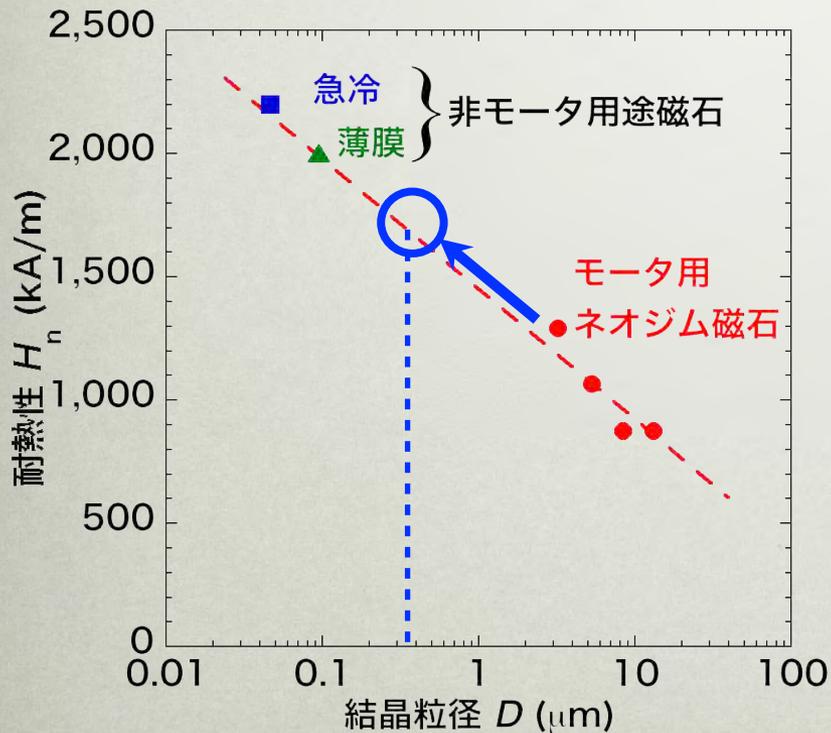
研究期間は平成19～23年度(次々世代の新磁石材料研究開発)

元素戦略プロジェクト

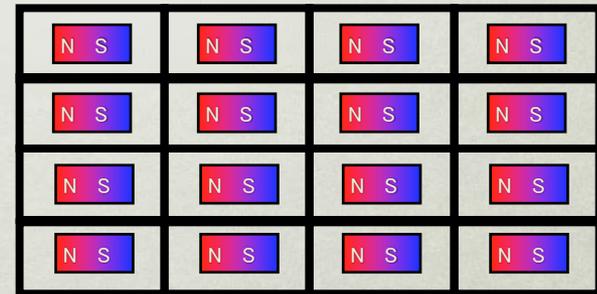
高耐熱性(保磁力増大への戦略)

～Dyに依存しないアプローチ～

粒子サイズを減少



粒子サイズ:大

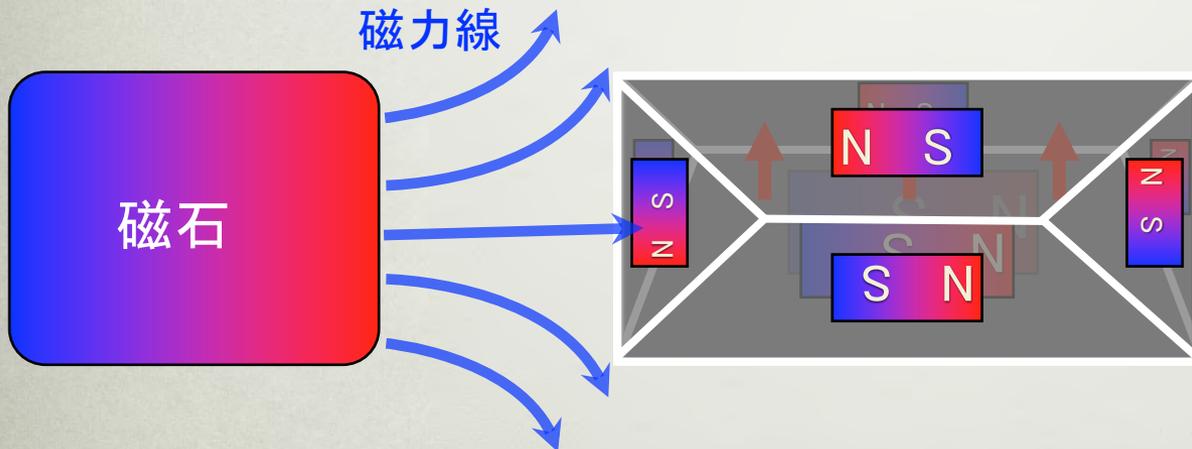


粒子サイズ:小

しかし、微細化しても耐熱性は上がらなかった...

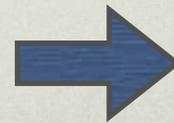
磁性体の磁区観察

磁区・・・磁性体内部のミニ磁石の向きが揃った領域



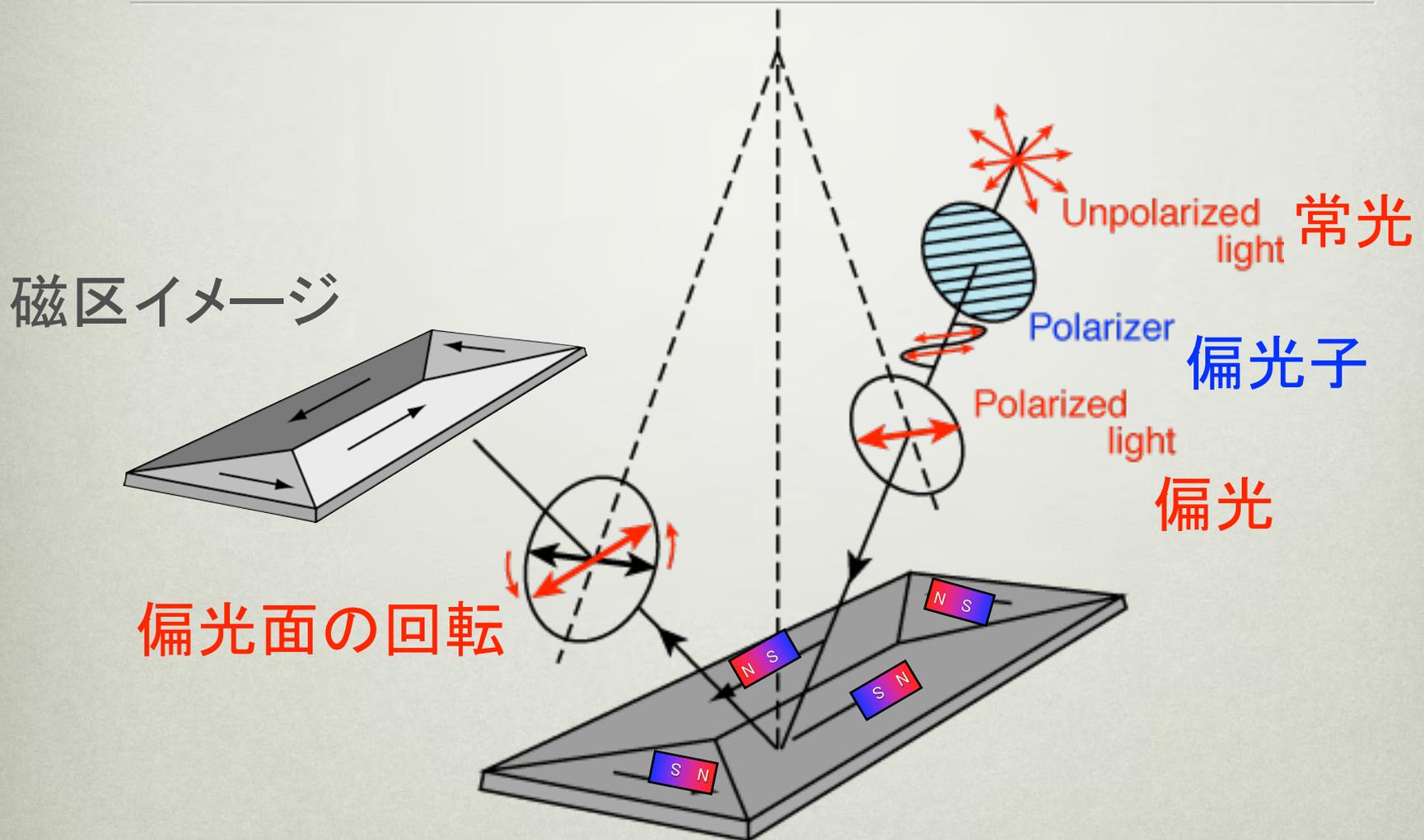
磁区観察によって磁石の特性をミクロに解明できる

しかし、肉眼では見えない



可視化
(イメージング)

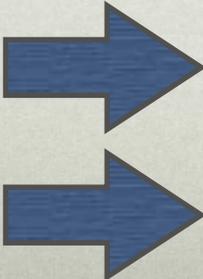
磁気光学Kerr効果による磁区観察



磁気光学Kerr効果による磁区観察例



磁区観察

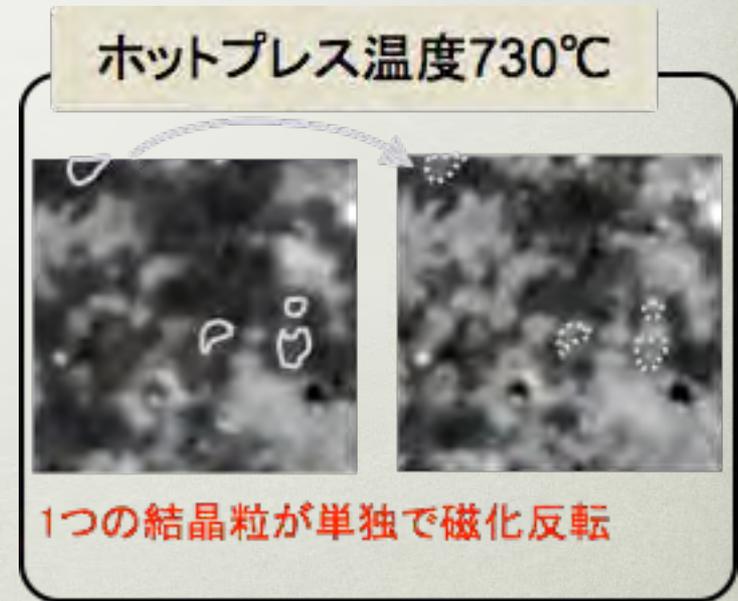
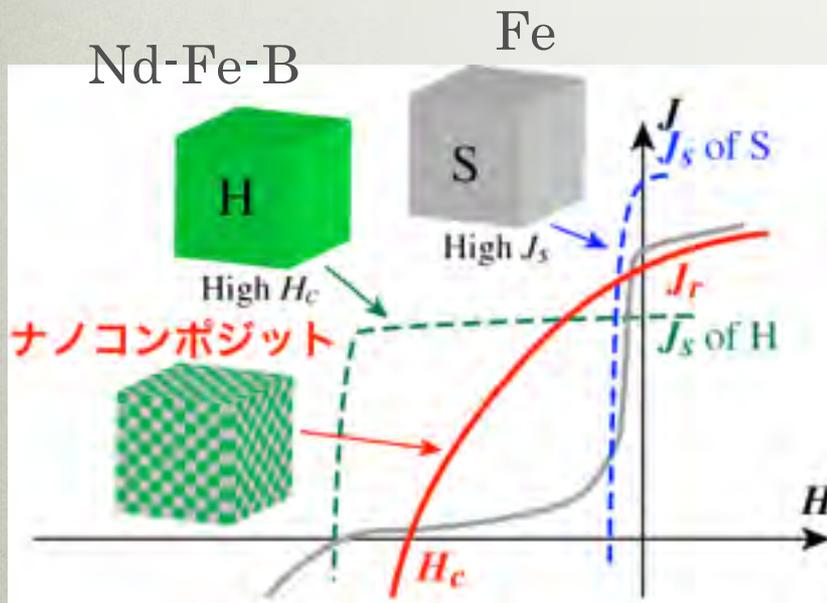


新開発磁石の性能向上

省資源、省エネの実現

文科省元素戦略プロジェクト

- 19～23年度 低希土類元素組成高性能異方性ナノコンポジット磁石の開発



レアメタルフリーの高性能磁石開発

日立金属, 物質材料研究機構, 愛媛大学との共同研究

脱レアアース磁石の実現

レアアース輸入 急減 1~4月中国産7割、価格も下落

レアアースの輸入が急減している。中国からの輸入量は前年同期比約7割減少。「脱レアアース」の技術開発が進み、使用量が減退しているためだ。取引価格も下落し、ネオジムやジスプロシウムは昨年7月に比べ約7割安い。

日経新聞 2012年6月14日

エアコン用磁石 レアアースを半減

信越化学工業はモーター用の高性能磁石に使うジスプロシウムを大幅に減らす新製法の導入で、エアコン向け磁石をすべて使用量を半減した製品に切り替える。

日経新聞 2012年6月14日

「技術シーズの紹介」

～過去の共同研究例を通じて～

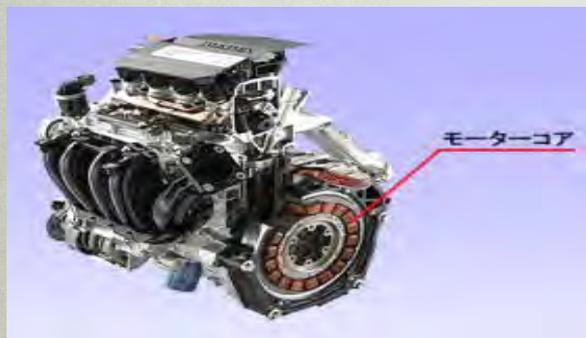
企業との共同研究例

- 22年度～ 新日鐵住金株式會社

電磁エネルギー変換用磁性材料の低損失化に関する研究

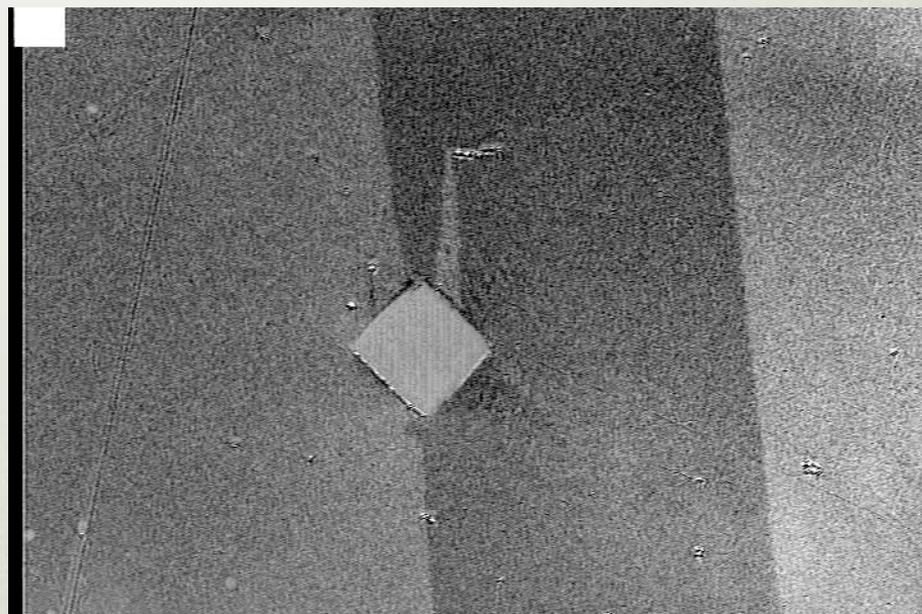


変圧器(トランス)



回転機(モータ)

100 μ m

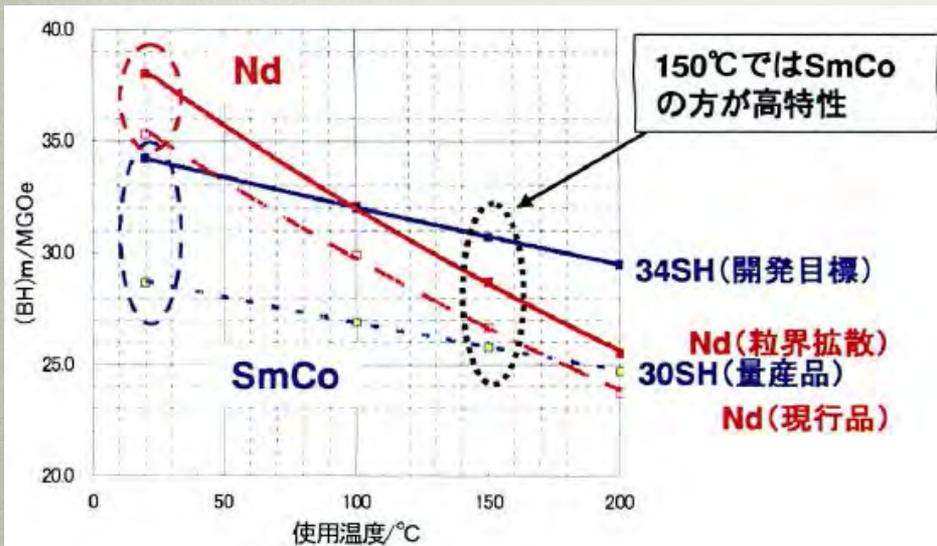


電磁鋼板の磁区観察例

企業との共同研究例

- 25年度～ 株式会社トーキン

高耐熱Sm-Co系磁石の高性能化に関する研究

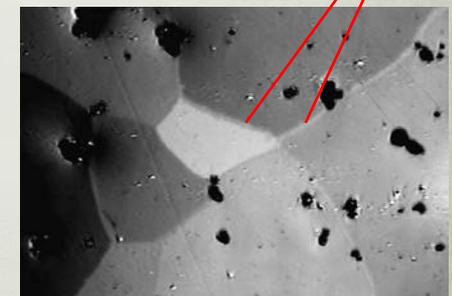


粒界の一部から局所的に逆磁区生成



30SH材

粒界に沿って均一な逆磁区生成



新32SH材

開発磁石の磁区観察結果

ネオジム磁石の一部を置換する
高耐熱磁石の開発



27年10月に共同で特許出願

企業との共同研究例

- 25年度～28年度 株式会社シーディエヌ
医薬品, 冷凍食品用の無線センサタグの開発



管理温度を越えると価値が無くなる商品を対象とした, 流通での温度履歴管理用タグの開発



その他, 磁気センサなどで特許取得を目指し技術指導

http://www.takachiho-kk.co.jp/prod/retail_secu/

企業との共同研究例

- 25年度～ 株式会社エムティアイ

磁気センサの小型・高感度化に関する研究



- 医療現場の磁気ノイズ測定用
- 顧客先で望まれるセンサの小型・高感度化を目指す

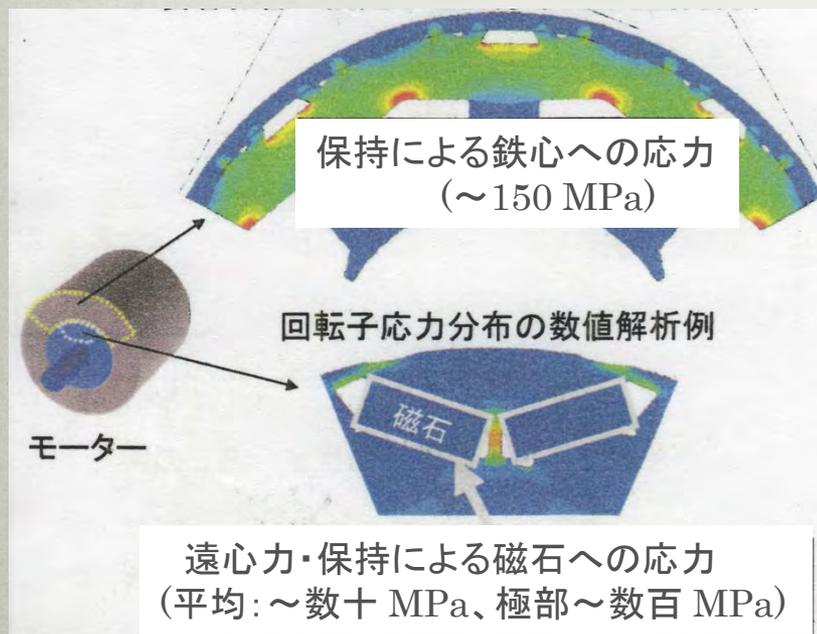


26年度から社会人博士後期課程に入学, 共同研究

株式会社MTI製フラックスゲート磁気センサ

企業との共同研究例

- ・ 24年度～ 三菱電機株式会社
- ・ 応力を考慮したモータ設計・評価技術の研究開発
経産省, NEDOプロジェクト「次世代自動車向け
高効率モータ用磁性材料技術開発」



- 応力が磁石劣化に与える影響を明らかにして、モータの高効率化を実現
- 三菱電機, 同志社大学との共同研究
- 28年度中間評価の後, さらに5年間

まとめ

- ・ 磁気イメージング技術を用いた磁性材料の性能評価を通じて、磁性材料、電気機器・デバイスの設計指針導出、性能向上を目指す
- ・ 産学連携活動（共同研究、特許取得、社会人博士後期課程等）を通じた産業、地域への貢献を目指す