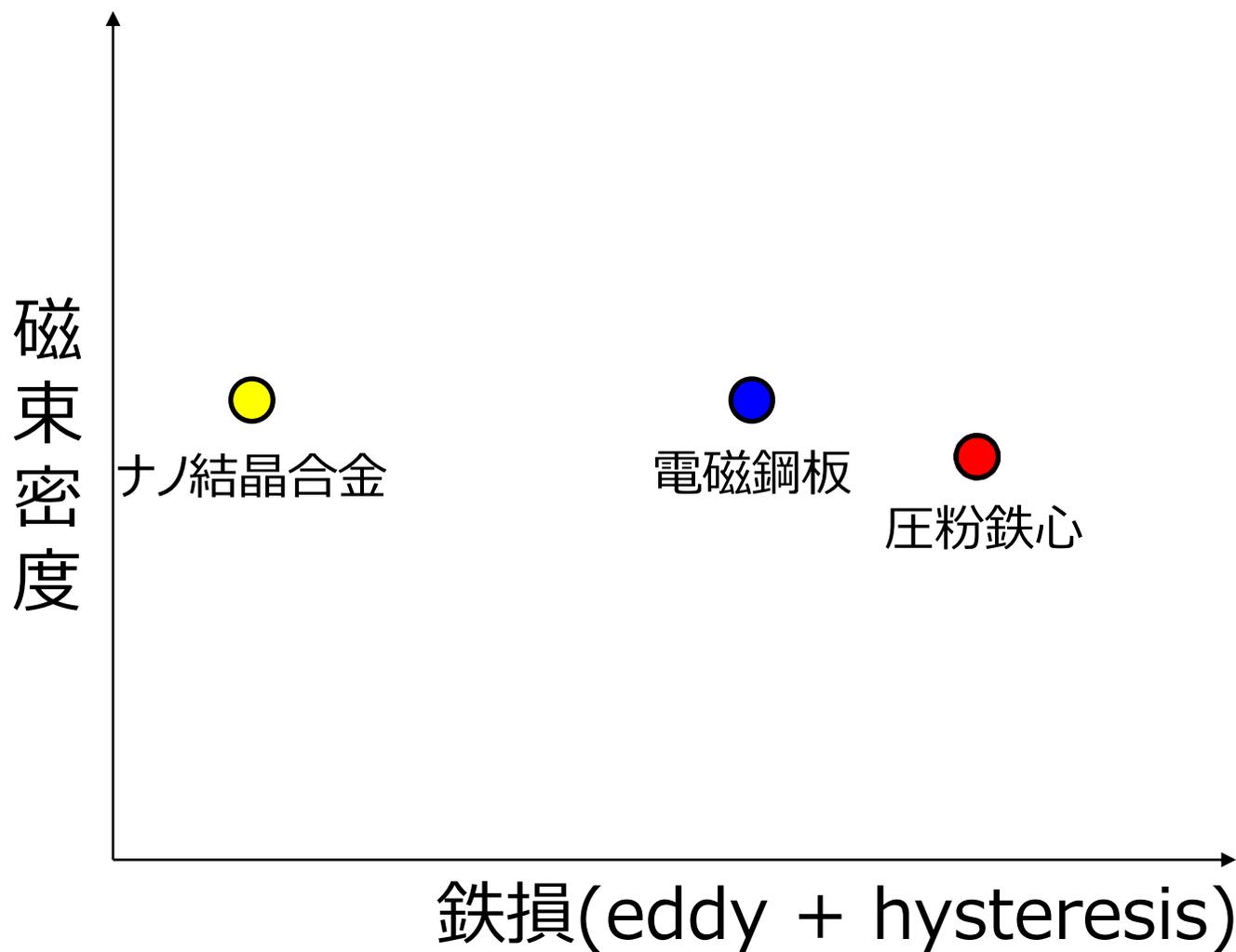


# モーターの小型化を促進する 高磁束密度を示す圧粉鉄心用扁平鉄粉

九州工業大学 大学院工学研究院 物質工学研究系  
准教授 本塚 智

2021年12月9日

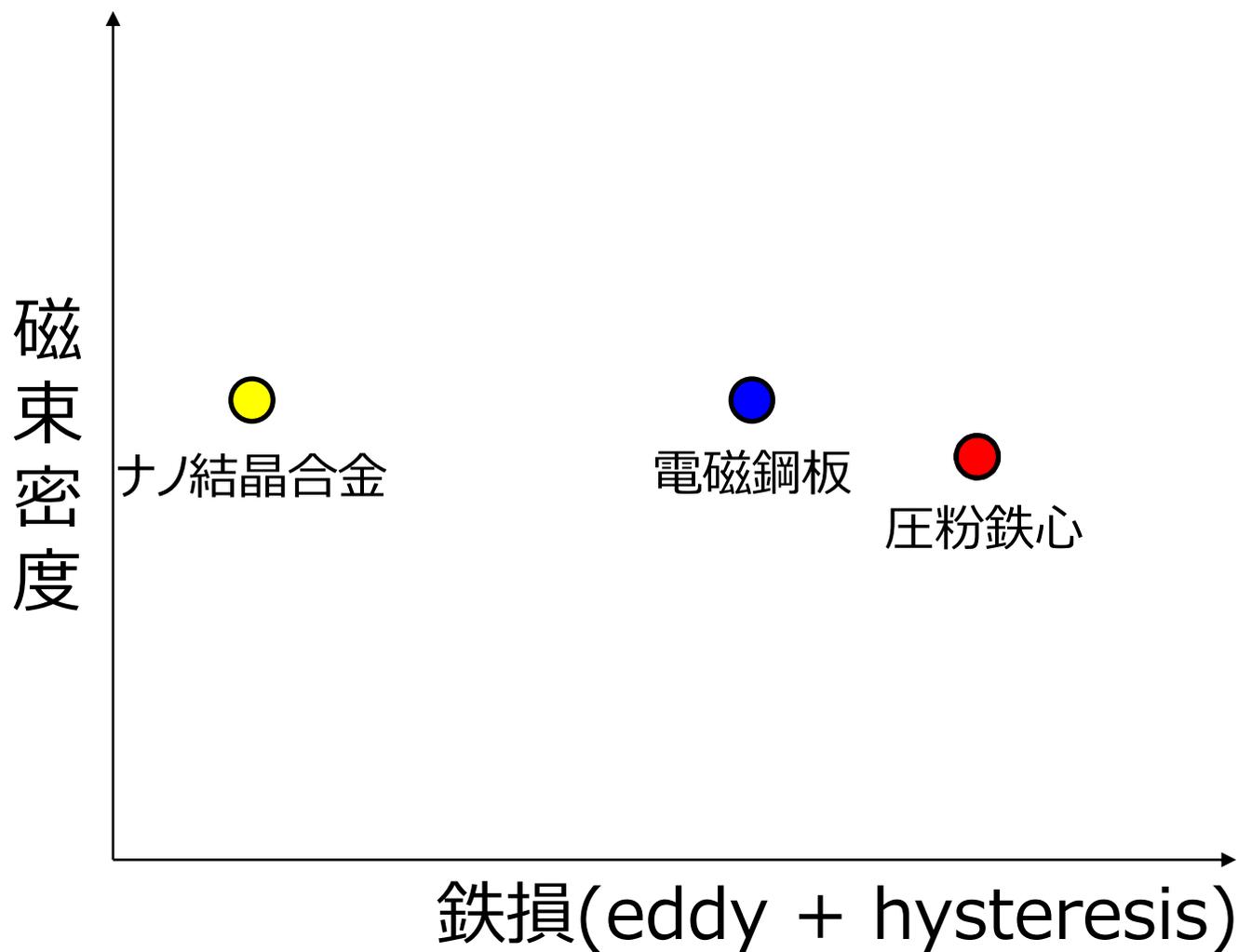
# 従来技術とその問題点



モーター用の鉄心材料として電磁鋼板が普及しており、ポスト電磁鋼板としてナノ結晶合金が開発中で優れた低損失性を示す。

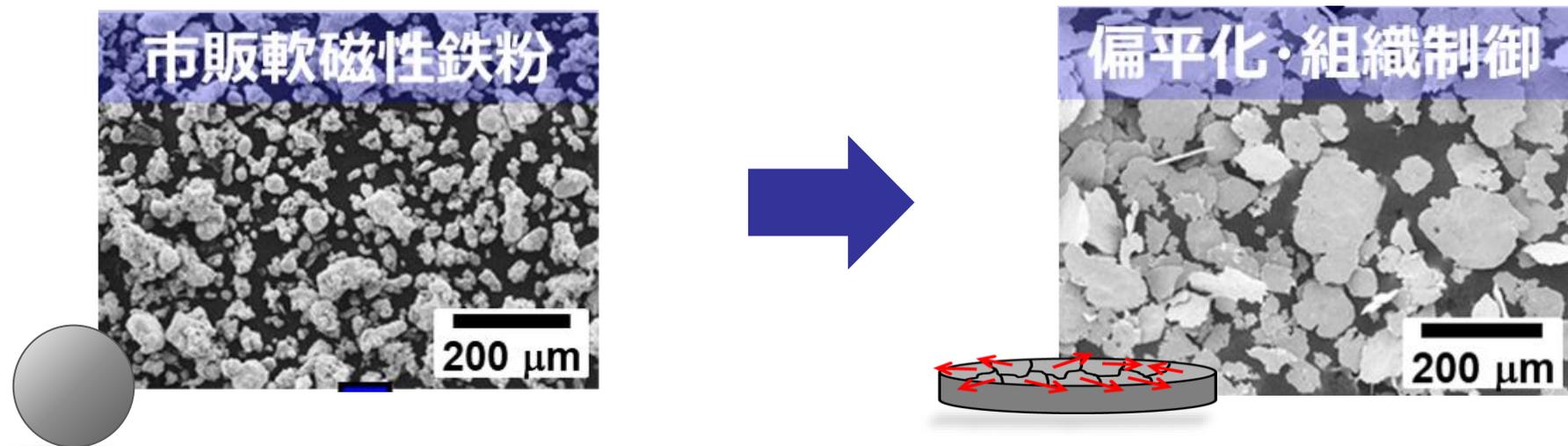
しかし、磁束密度については電磁鋼板並みとなっており、モーターの小型化のためには高磁束密度を示す材料が求められている。

# 従来技術とその問題点



圧粉鉄心は低渦電流損特性を示すが、ヒステリシス損が電磁鋼板と比較して高く、磁束密度の点でも電磁鋼板に劣っている。

# 新技術の特徴・従来技術との比較

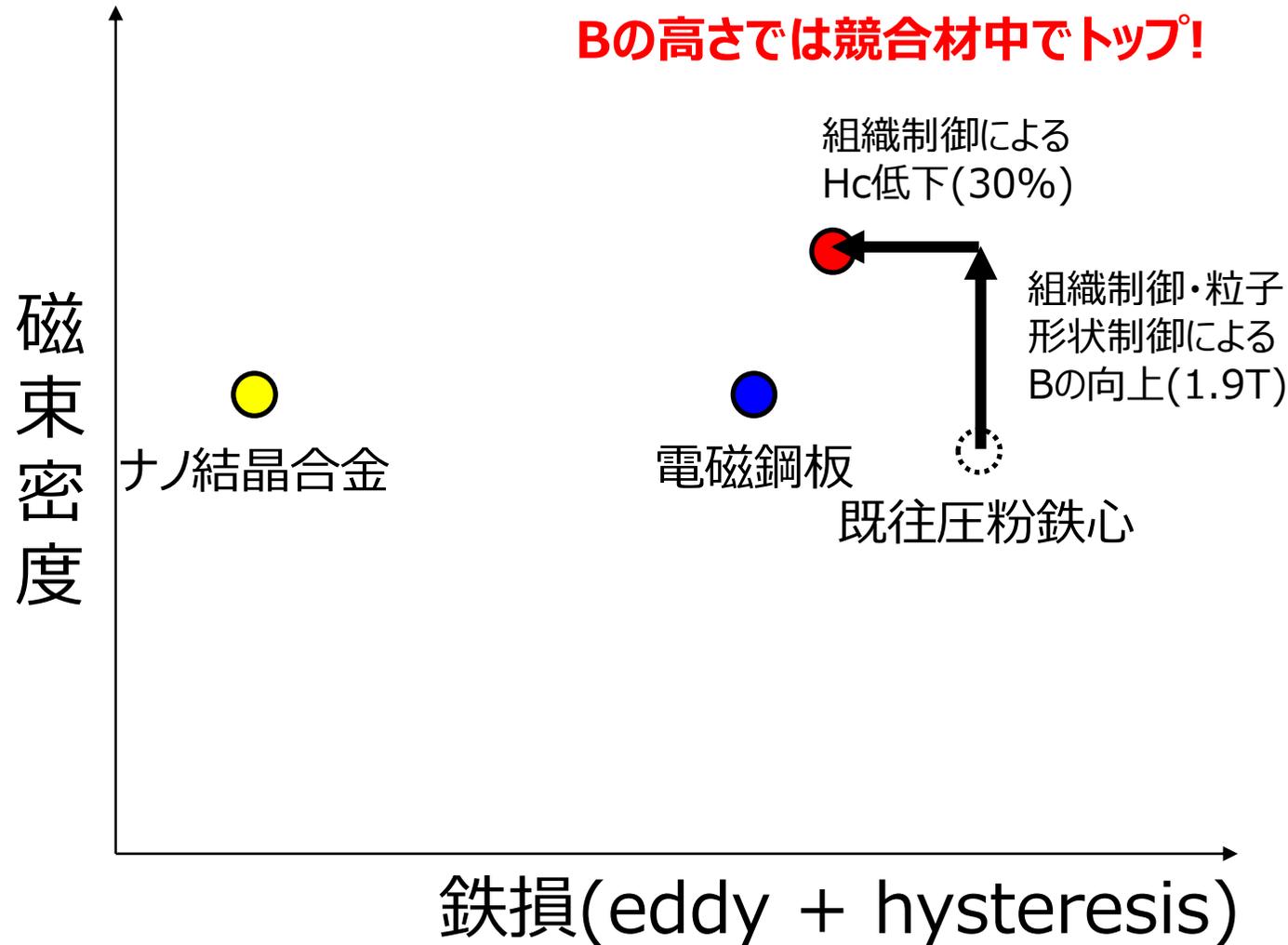


圧粉鉄心の原料粉末が純鉄であるにも関わらず磁束密度の低い理由は、形状に由来する反磁場による透磁率の低さにある。

我々は、純鉄粉末を扁平にして反磁場を低減することに加え、磁化容易軸を制御することによって、透磁率を高めることに成功した。

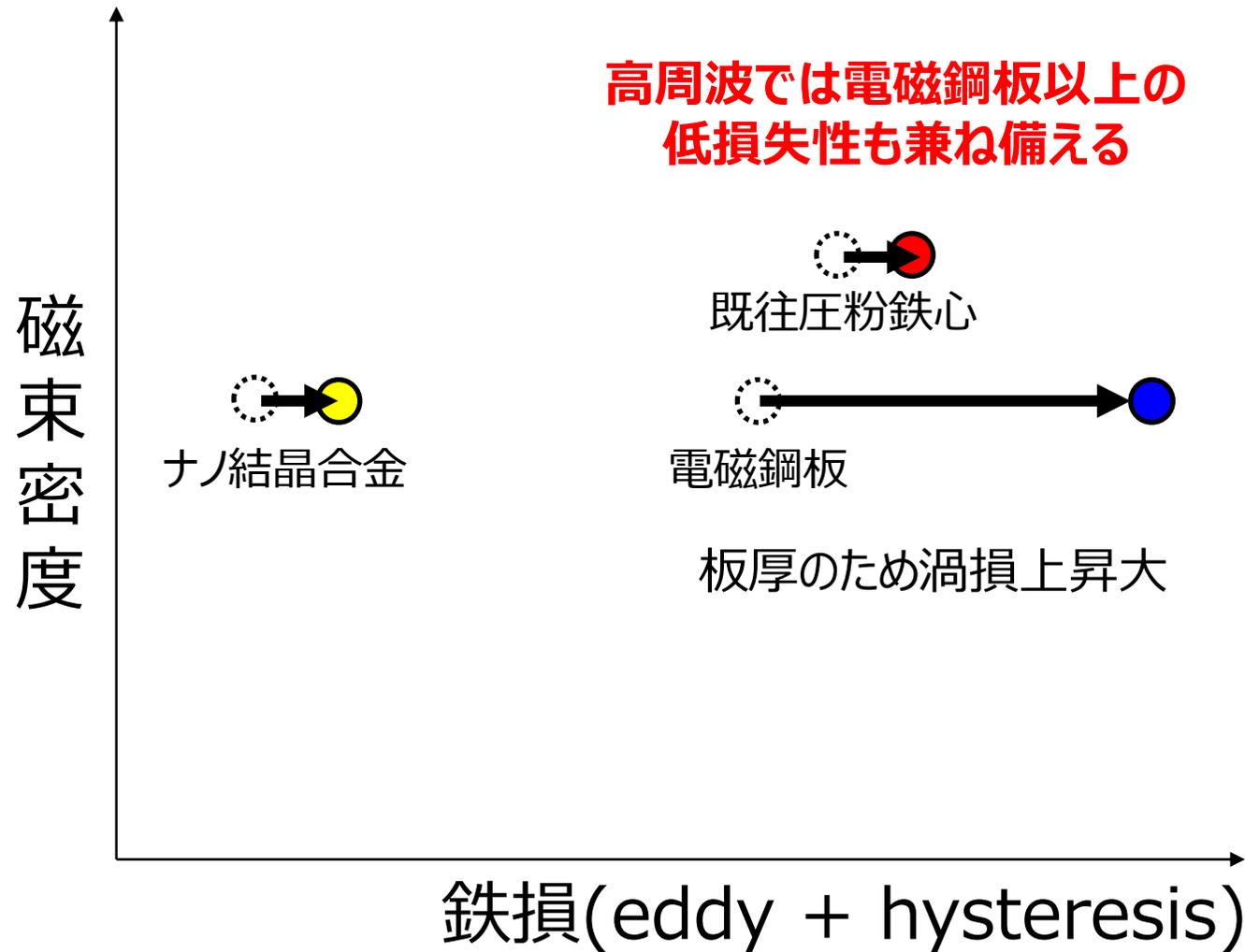
本技術の適用により、純鉄粉末比で10%程度の磁束密度の改善が期待される。

# 新技術の特徴・従来技術との比較



磁化容易軸制御によって、損失を電磁鋼板に限りなく近づけつつ、磁束密度で競合材を上回る特性を目指すことが可能

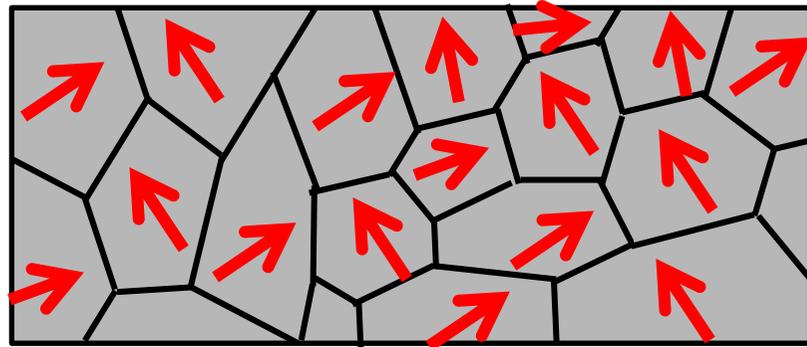
# 新技術の特徴・従来技術との比較



高周波では電磁鋼板を上回る低損失性も見込まれる

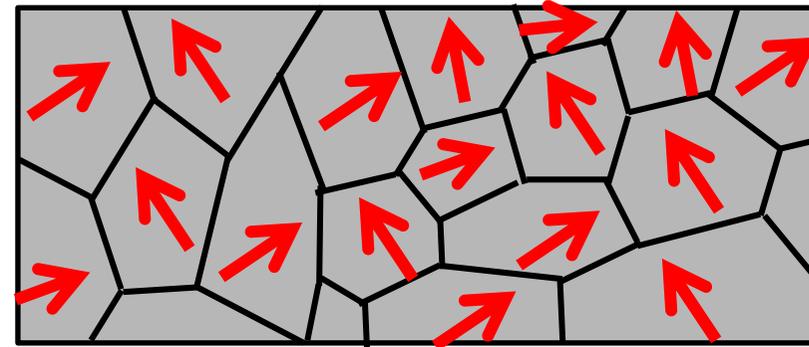
# 新技術の特徴・従来技術との比較

## 実用されている電磁鋼板 (無方向性電磁鋼板)



・磁化容易軸の向きが完全なランダム

## 理想の電磁鋼板



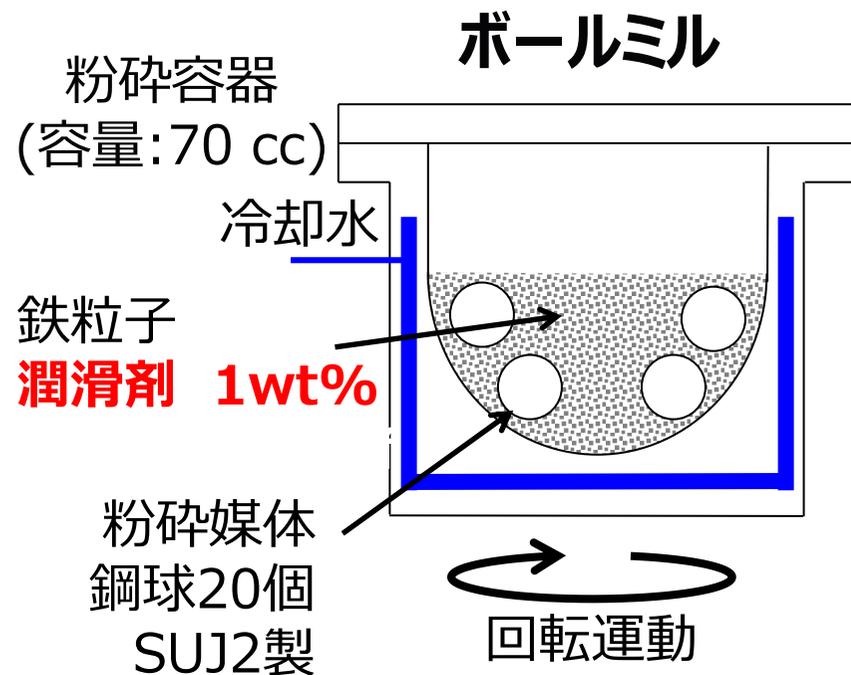
・磁化容易軸の向きは面内でランダム  
→交流磁場は板面内で方向を変えるため(=磁場の方向と容易軸が一致)  
無方向性電磁鋼板比で3割鉄損が下がることはわかっているが、実用化されていない。

本鉄粉末は、この理想の電磁鋼板を扁平鉄粉にしたものに相当

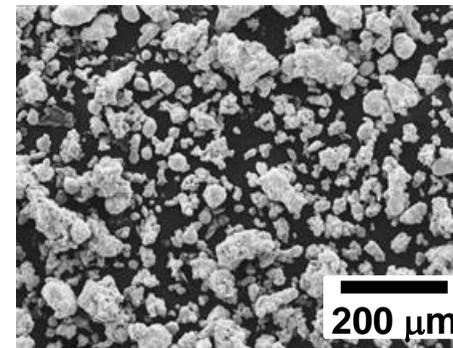
# 新技術の特徴・従来技術との比較

## 作製方法

## 材料

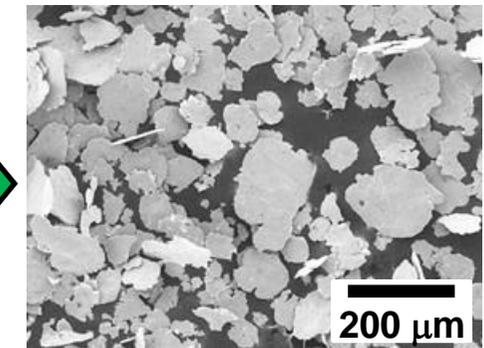


### 粉碎前



神戸製鋼所製  
アトメル300M  
(純鉄粒子)

### 粉碎後



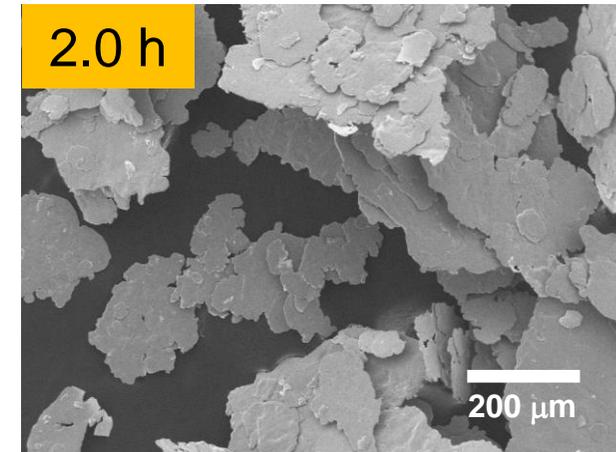
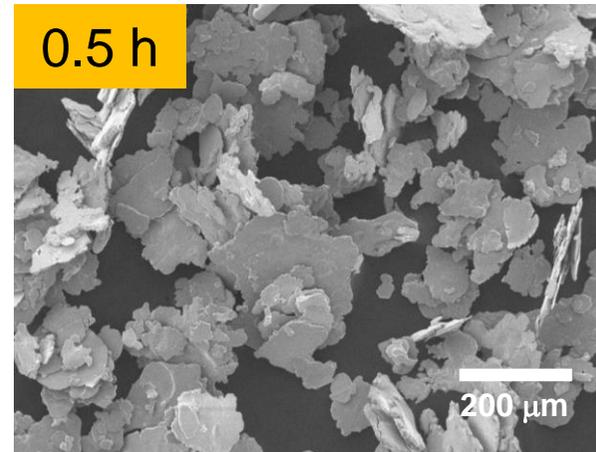
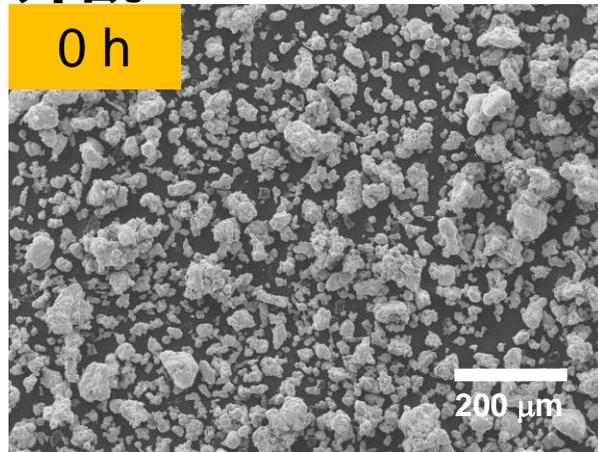
扁平化された鉄粒子

鉄粒子をボールミルによって粉碎することにより扁平化  
潤滑剤(例えば黒鉛)を同時添加することで磁化容易軸を制御できる  
潤滑剤を入れるだけなので量産性良好、実用化のハードル低

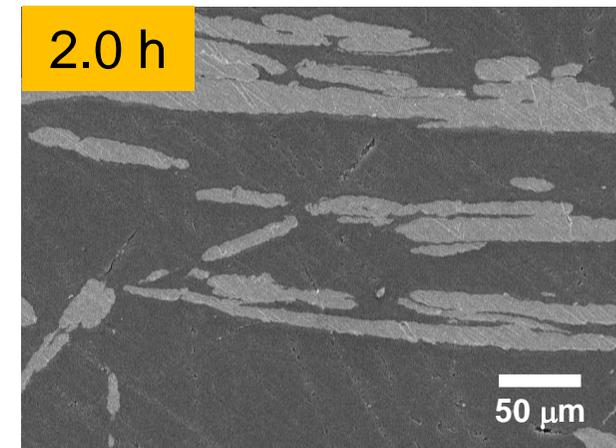
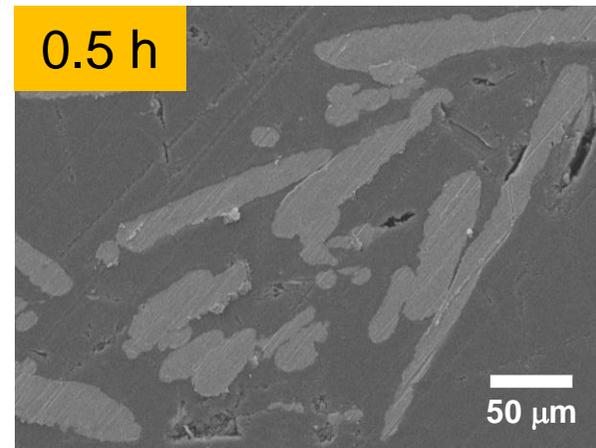
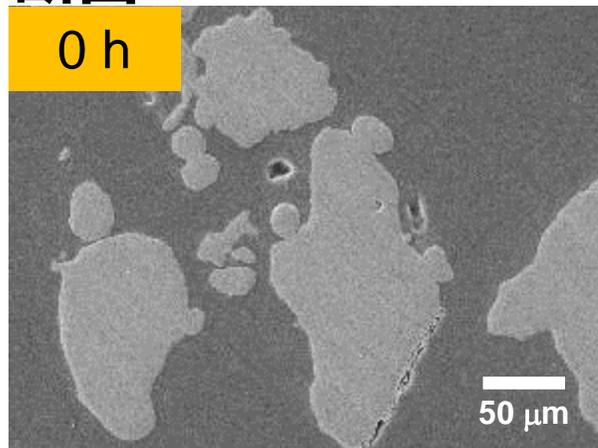
S. Motozuka, M. Morinaga et al., AIP advances, 5, 097127 (2015).

# 新技術の特徴・従来技術との比較

## 外観

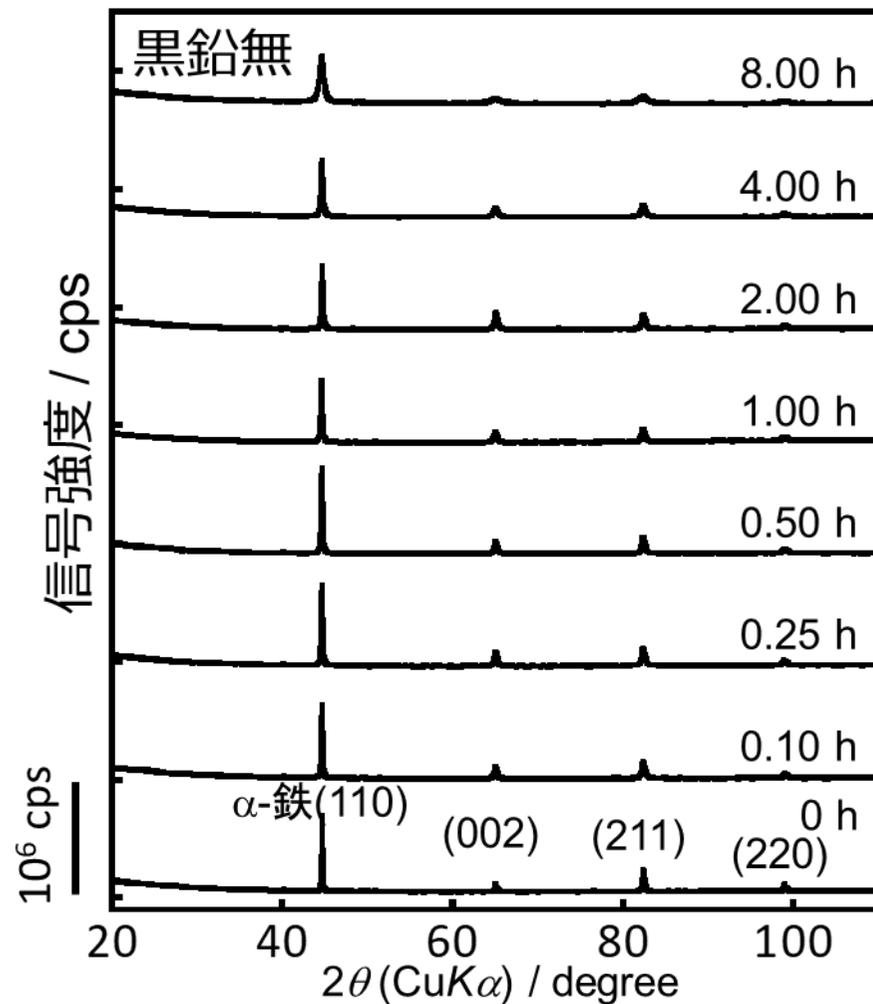


## 断面

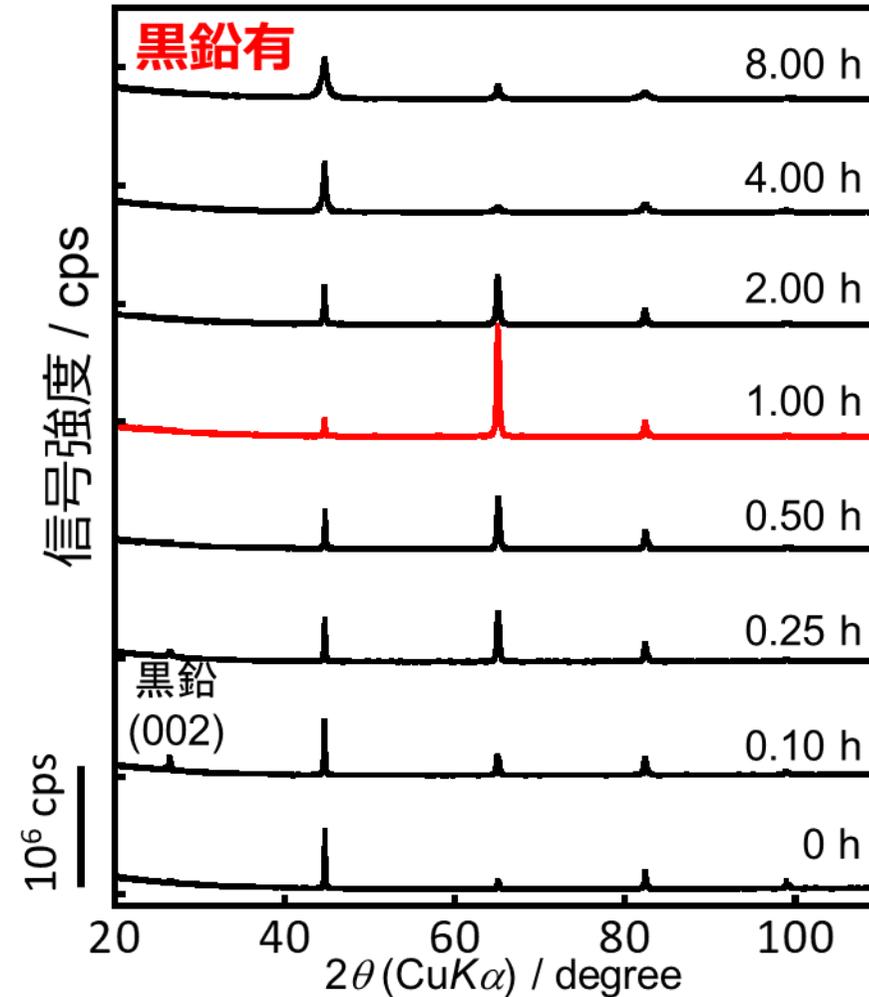


粉砕に伴い鉄粒子は顆粒状から扁平形状に変化

# 新技術の特徴・従来技術との比較



粉碎に伴う、ひずみ、結晶子サイズ減少によるブロード化

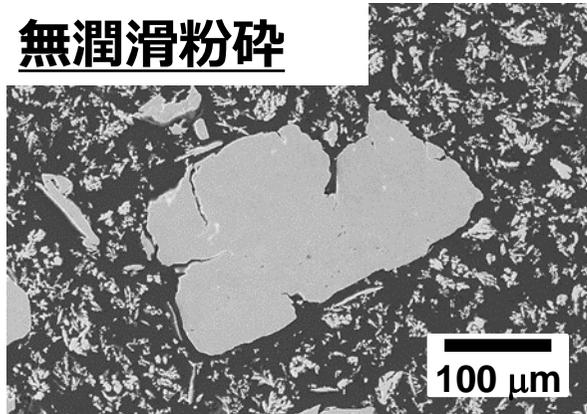


塑性変形に伴う集合組織形成を示唆

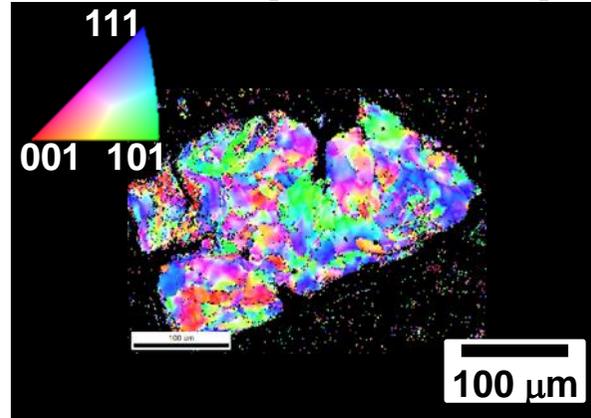
# 新技術の特徴・従来技術との比較

SEM

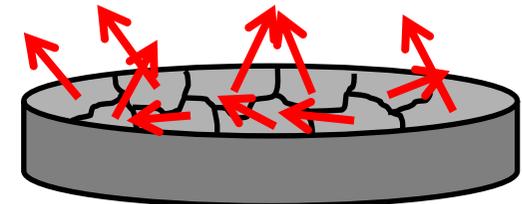
無潤滑粉碎



方位マップ°(EBSD,ND)

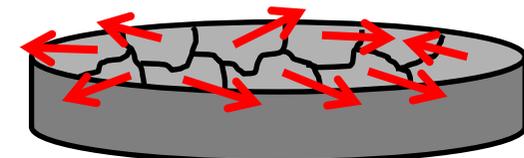
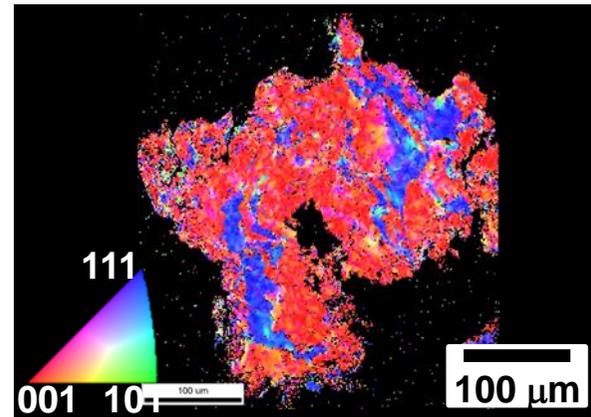
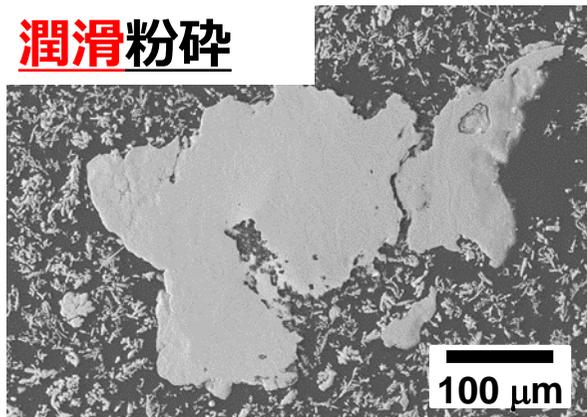


扁平鉄粒子中の  
001の配向イメージ



磁化容易軸<001>は  
ランダム

潤滑粉碎



磁化容易軸<001>は  
偏平面内でランダム



ランダムキューブ組織  
({001}繊維集合組織)

※周辺の微粉：導電性埋め込み樹脂中の銅粉

潤滑粉碎により理想の電磁鋼板と同じ組織(ランダムキューブ(RQ)組織)を形成

# 新技術の特徴・従来技術との比較

	Density [g/cm <sup>3</sup> ]	比透磁率 $\mu_{max}$	磁束密度 $B_{10k}$ (T)	保磁力 $H_c$ (A/m)
原料粉	<b>7.62</b>	526	1.66	154
無潤滑粉砕	<b>7.21</b>	711	1.60	236
潤滑粉砕	<b>7.38</b>	1285	1.72	271

密度が低いにも関わらず、透磁率は2.5倍、磁束密度も原料粉を上回っている  
保磁力が高い理由は後述

## 想定される用途

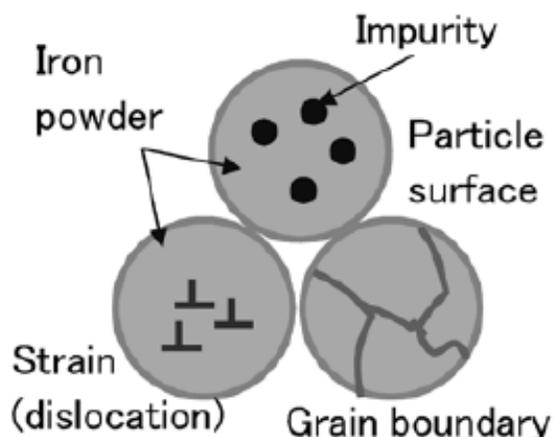
- 磁化容易軸を制御した扁平純鉄粉末はモーターのステーターコアに適用することで、モーターの小型化を促進できる。
- 上記以外に、リアクトルコアやインダクタへの適用も期待される。

## 実用化に向けた課題

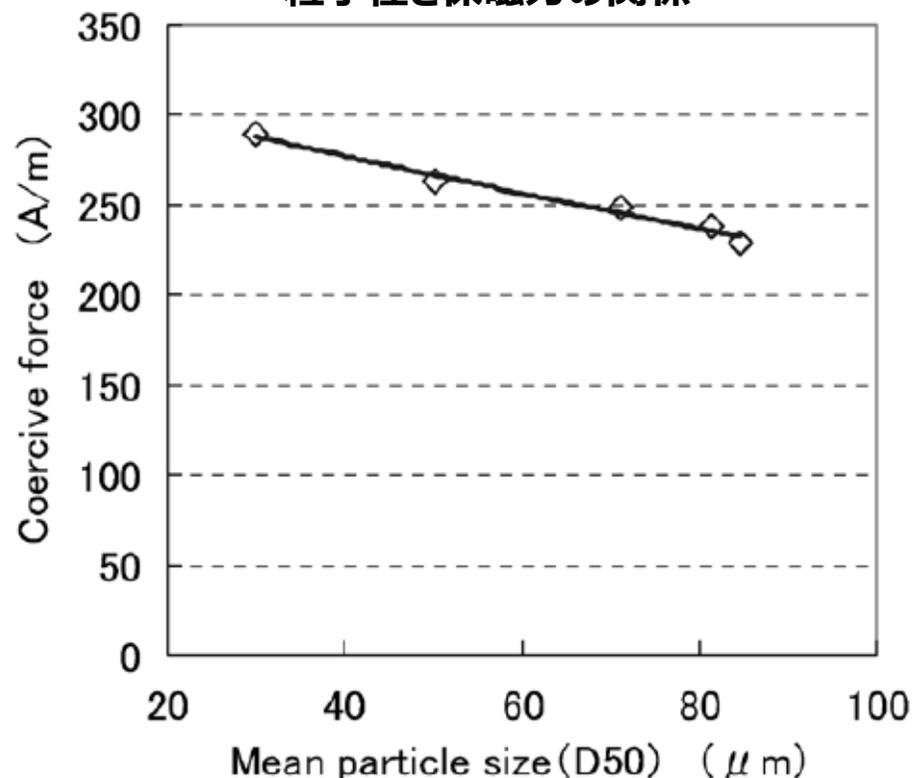
- 現在、同一密度の鉄心であれば10%程度の磁束密度の改善が認められている。今後、粒子形状および熱処理条件の最適化を進めて、磁気特性の最適化を図っていく。
- 実用化に向けて、粉体としてのハンドリング技術の確立も必要。

# 実用化に向けた課題

粉末におけるヒス損の要因



粒子径と保磁力の関係

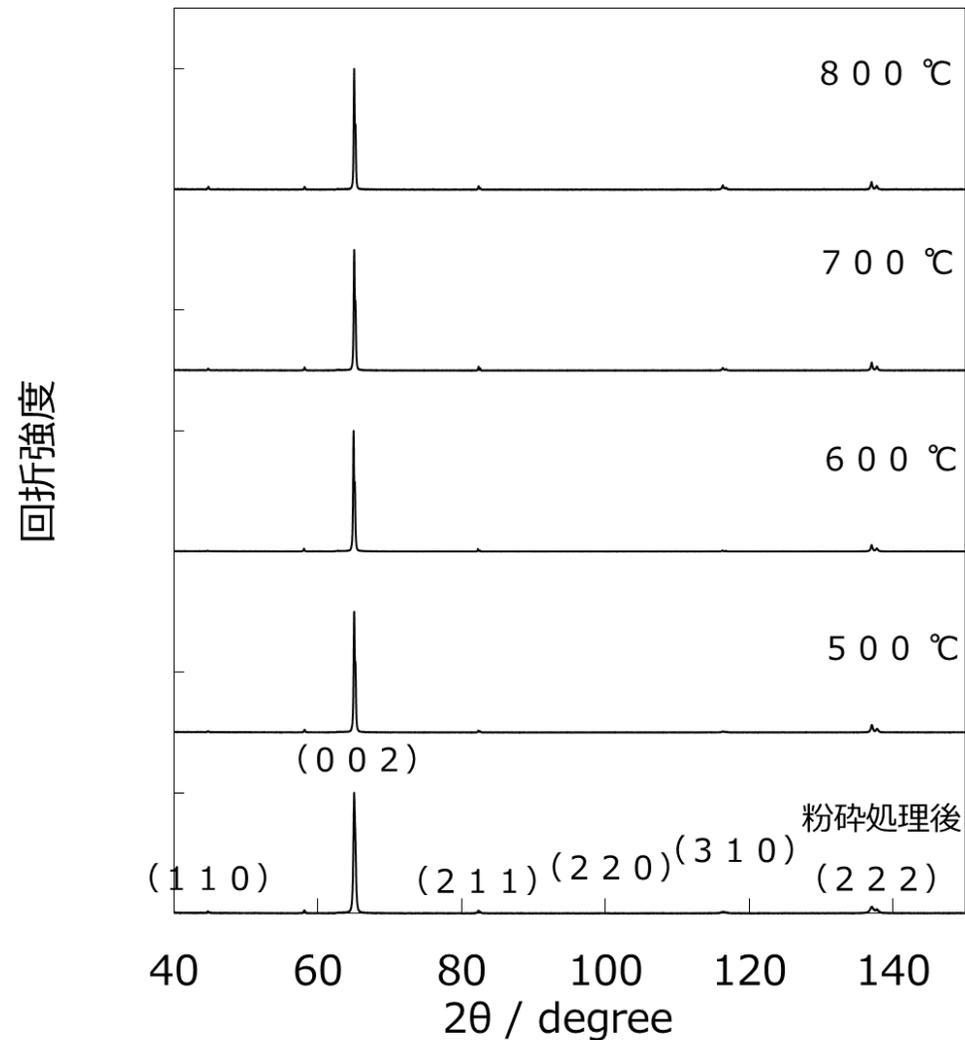
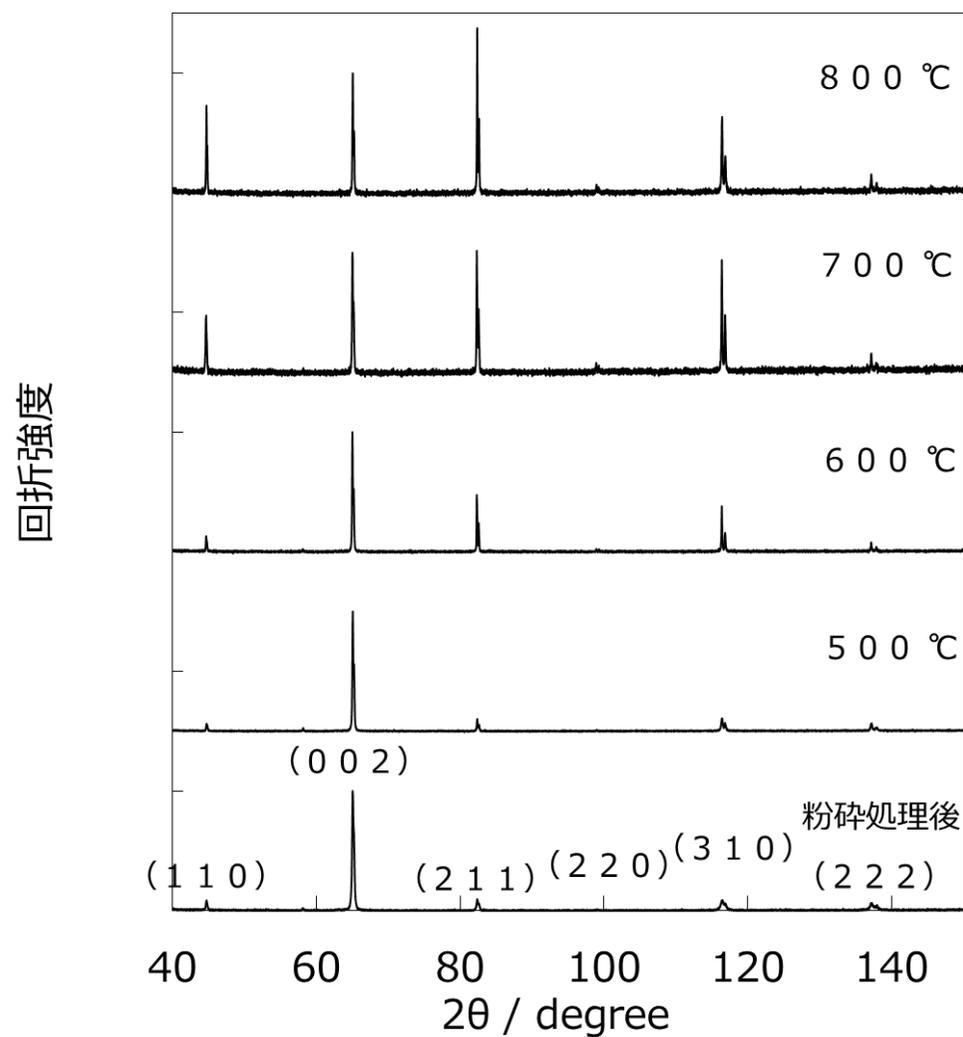


鉄粒子表面は保磁力増加の要因となる 実際には粒子径が大きい程保磁力低下

COBE STEEL ENGINEERING REPORTS/Vol. 66 No. 1 (Sep. 2016)

扁平化による表面積の増加のために、保磁力が高くなってしまっている→出発原料の粒径を大きくすることで低減可能。扁平なので渦損も高くない

# 実用化に向けた課題



熱処理による再結晶で、磁化容易軸の方位が変化

→熱処理条件を工夫することで変化を抑制する目途が立っている

# 実用化に向けた課題

	損失 $W_{10/400}$ [W/kg]	磁束密度 $B_{10k}$ [T]	製品例・備考
電磁鋼板	23	1.81	35A360(神戸製鋼カタログより)
ナノ結晶合金 (開発競合品)	2	1.80	NANOMET(東北マグネットイン スティテュート社ホームページより)
既往鉄粉 (顆粒状鉄粉)	34	1.70	ML35D(神戸製鋼カタログより)
本鉄粉	34	1.70 (成形最適化 1.84)	
開発目標値 (過去の論文か らの推測値)	24	1.90	損失 : T. Tomida, (100)-textured 3% silicon steel sheets by manganese removal and decarburization 磁束密度 : S. Tajima et al., Properties of High Density Magnetic Composite (HDMC) by Warm Compaction Using Die Wall Lubrication

現状の性能は、赤字で示した通り。来年にかけての開発では磁化容易軸の制御の精度を高めるなどにより、青字で示したレベルにする。

## 企業への期待

- 磁束密度と損失の間にトレードオフの関係があり、どのようなバランスが良いのか、本材料のユーザーとなる企業からの意見を期待する。
- モーターだけでなく、鉄心を備える製品を取り扱う企業との共同研究を希望。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 扁平金属粒子およびその製造方法、  
ならびに圧粉鉄心およびその製造方法
- 出願番号 : 特願2021-046881
- 出願人 : 九州工業大学、名古屋工業大学
- 発明者 : 本塚 智、佐藤 尚

# お問い合わせ先

九州工業大学 オープンイノベーション推進機構

産学官連携本部 知的財産部門 マネージャー

柳楽 隆昌（ナギラ タカマサ）

TEL : 093-884-3499

FAX : 093-884-3531

e-mail : [chizai@jimu.kyutech.ac.jp](mailto:chizai@jimu.kyutech.ac.jp)

名古屋工業大学 産学官金連携機構

TEL 052-735-5627

FAX 052-735-5542

e-mail [c-socc@adm.nitech.ac.jp](mailto:c-socc@adm.nitech.ac.jp)