

2021年11月25日新技術説明会

(ものづくり技術～首都圏テクノナレッジ・フリーウェイ～)

# 6. 超低消費電力メモリにつながる マルチフェロイック材料

神奈川県立産業技術総合研究所  
次世代機能性酸化物材料プロジェクト

プロジェクトリーダー

東 正樹

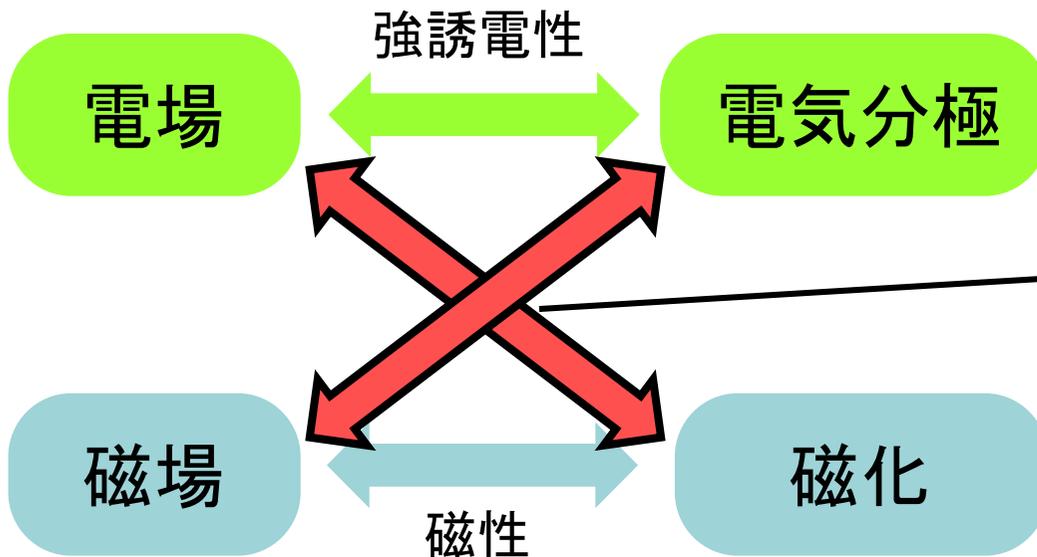
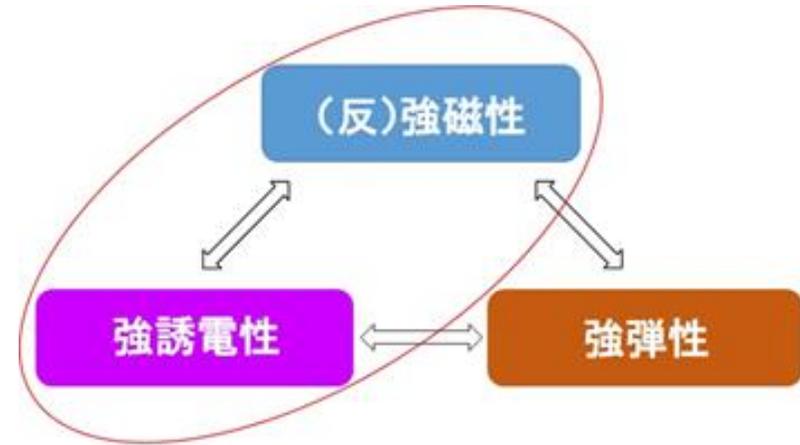
非常勤研究員

(東京工業大学助教)

重松 圭

# マルチフェロイック材料

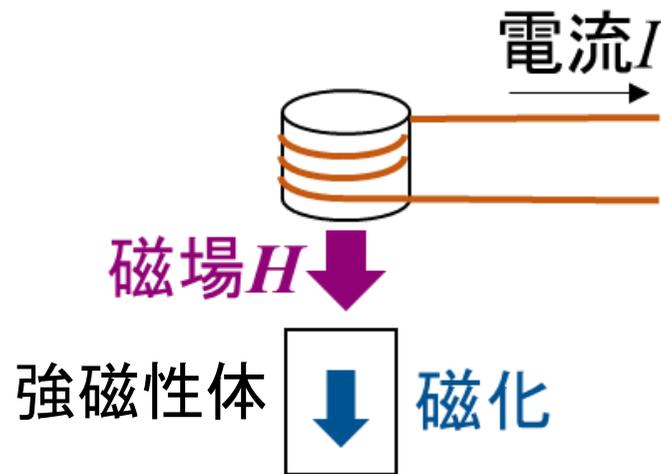
物質中に複数の**強的秩序**(=強誘電性・強磁性など)を併せ持つ材料



通常物質では不可能な「電場による磁化」「磁場による電気分極」の制御が可能

# マルチフェロイック材料を用いたメモリ

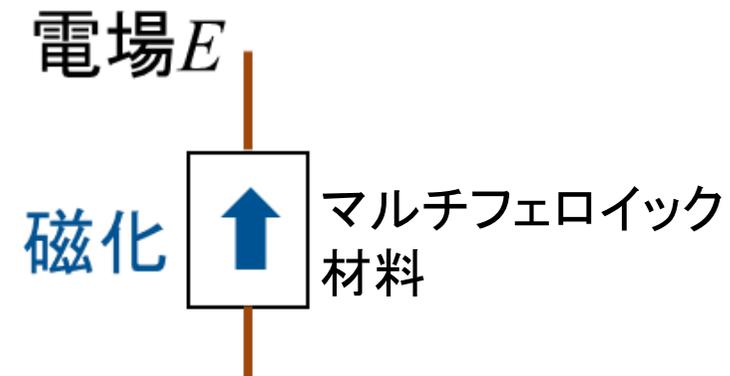
## 通常の磁性体メモリ



コイルに電流を流して生じる磁場によって、強磁性体の磁化をスイッチ

→ 電流のジュール熱による電力の消費が避けられない

## マルチフェロイックメモリ



マルチフェロイック材料に電場を印加し、強誘電性とカップリングした磁化をスイッチ

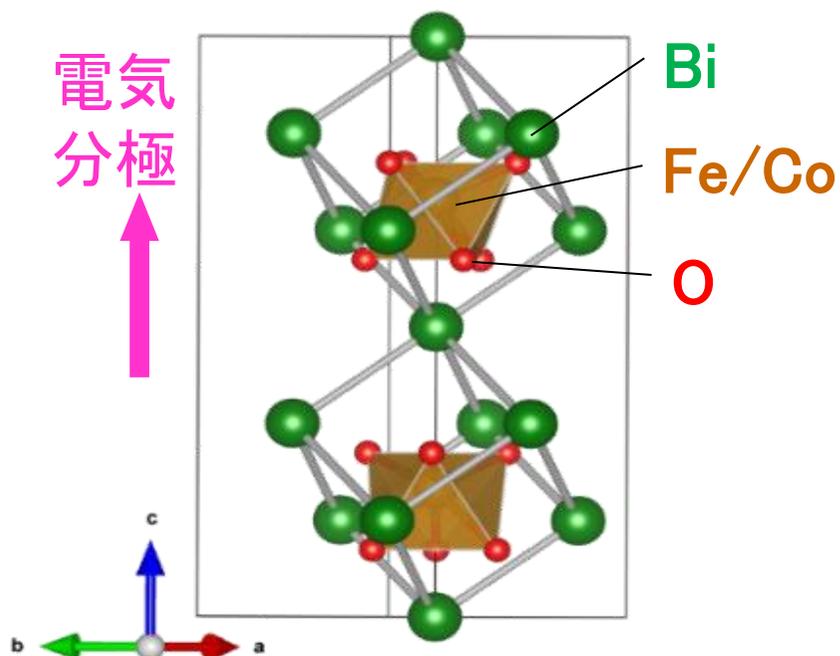
→ 電流が発生しないため低消費電力化が可能

# 新技術(材料)の特徴・従来技術との比較

- 従来のマルチフェロイック材料は $-200^{\circ}\text{C}$ 以下の低温でしか強磁性・強誘電性の両方を示さないため、磁気メモリ素子として実用化するのは困難であった。
- この発明技術により作られた材料 $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ は、室温で電場による情報の書き込み、および磁気情報の読み出しが可能である。
- 磁気メモリとして消費電力の大幅な低下が期待される。

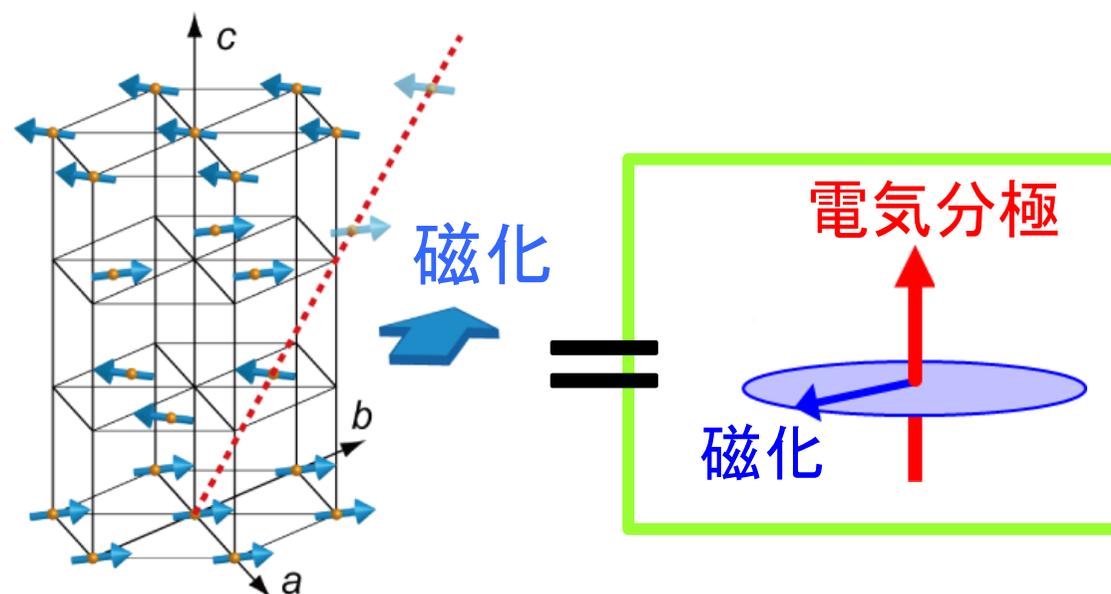
# 強誘電強磁性体 $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$

## 結晶構造



- 菱面体晶ペロブスカイト
- Biに由来する強誘電性
- 強誘電キュリー温度  $> 800^\circ\text{C}$

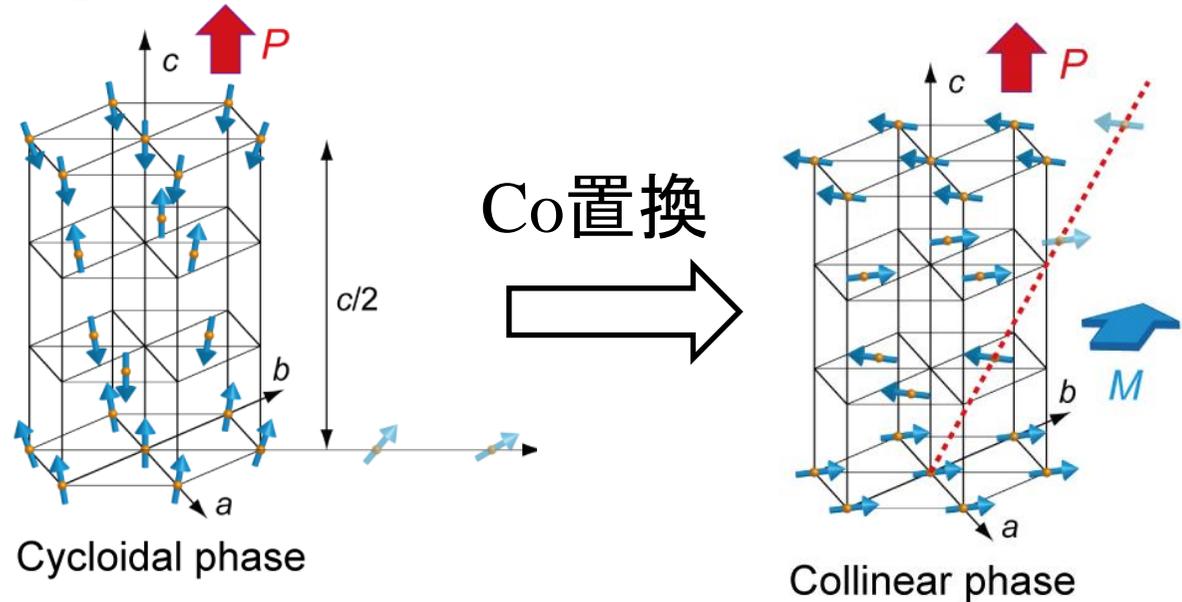
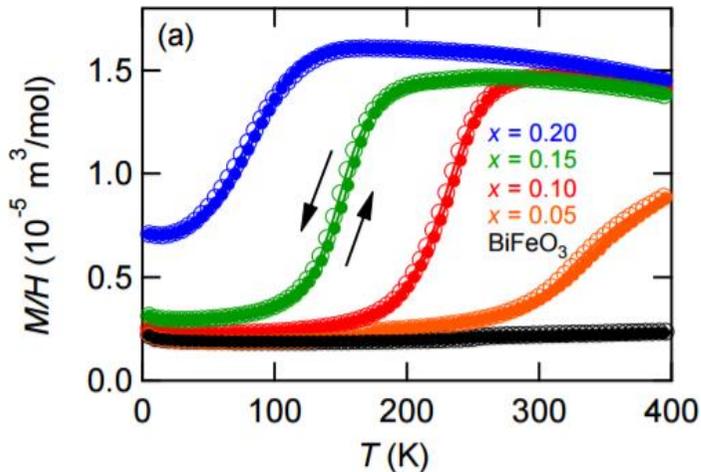
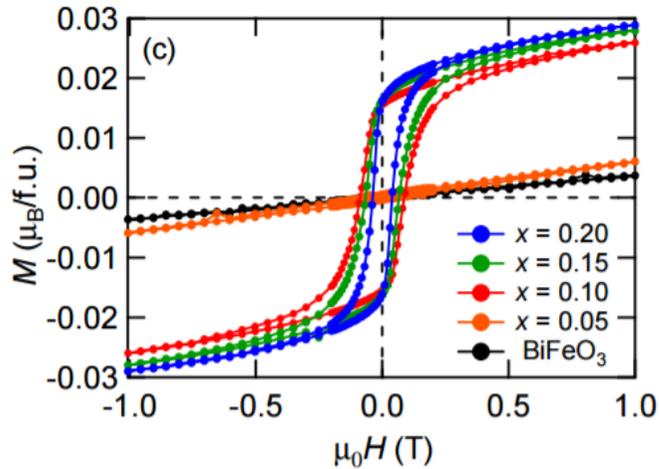
## スピン構造



- 転移温度  $\sim 370^\circ\text{C}$ の反強磁性体
- 強誘電体による構造歪みによってスピンの完全な反並行から傾く  
→ 電気分極に垂直な方向に磁化が出現

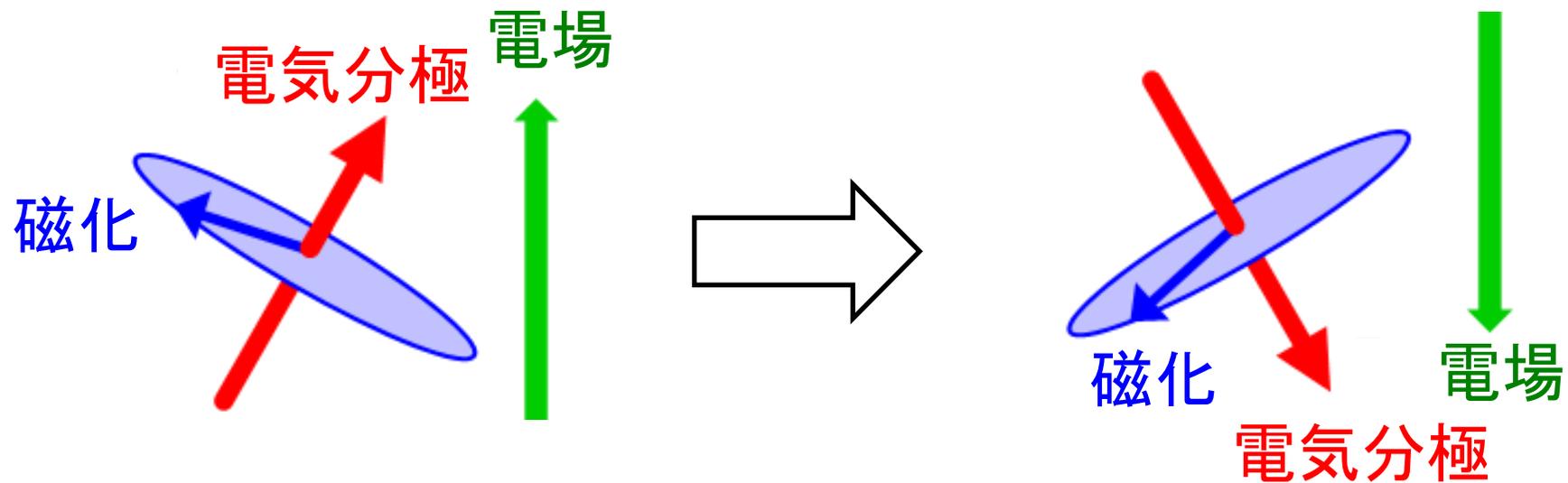
# BiFe<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>O<sub>3</sub> : Co置換の効果

## 粉末試料の磁気特性



- BiFeO<sub>3</sub>は、サイクロイド変調と呼ばれる、長周期でスピンの1周し、巨視的な磁化がゼロのスピン構造を持つ。
- FeをCoに一部置換すると、スピンの傾きが変化する。置換量 $x$ が0.1以上では、**室温で強誘電強磁性体の性質を持つ。**

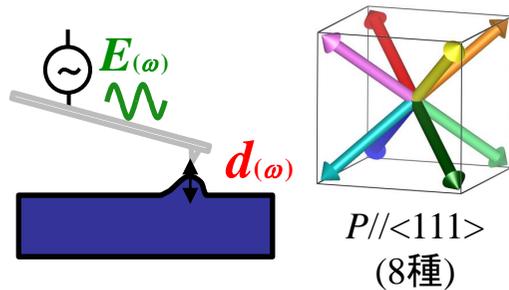
# 電場印加による磁化反転



$\text{BiFe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_3$ の、電気分極に垂直な方向に現れる磁化を、電場印加によって反転させることができる。

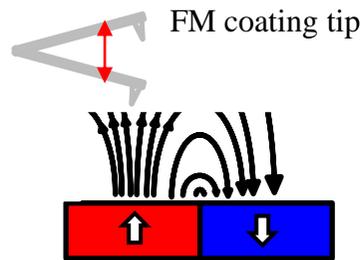
# 電場印加磁化反転の観察

圧電応答顕微鏡(PFM)



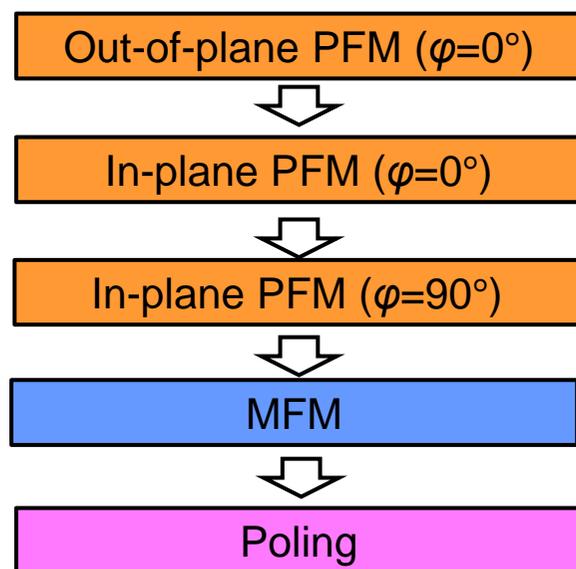
表面の面直/面内分極を観察

磁気力顕微鏡(MFM)



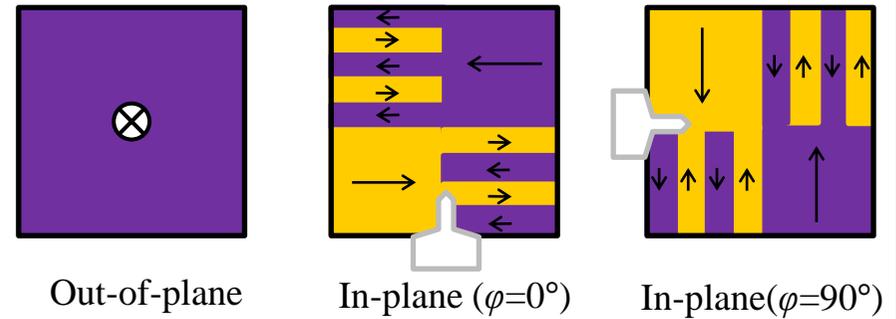
漏れ磁場で面直磁化観察

測定手順

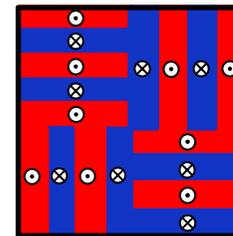


画像合成

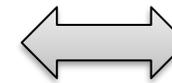
• PFM  $P$ は<111>方向(8種類)→3種の測定



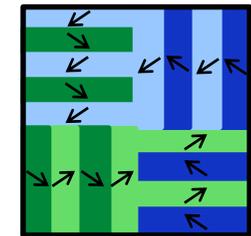
画像を1枚に合成



MFM

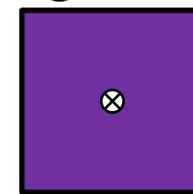


比較

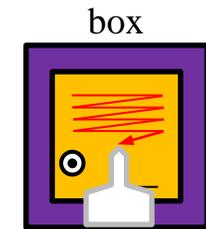


Total PFM

• Poling



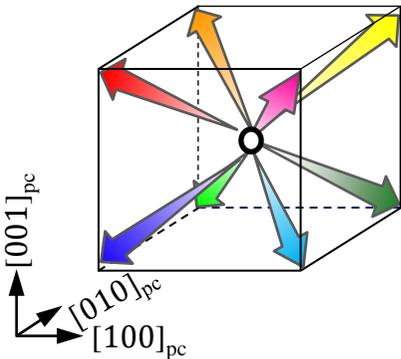
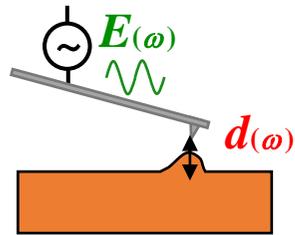
as-grown



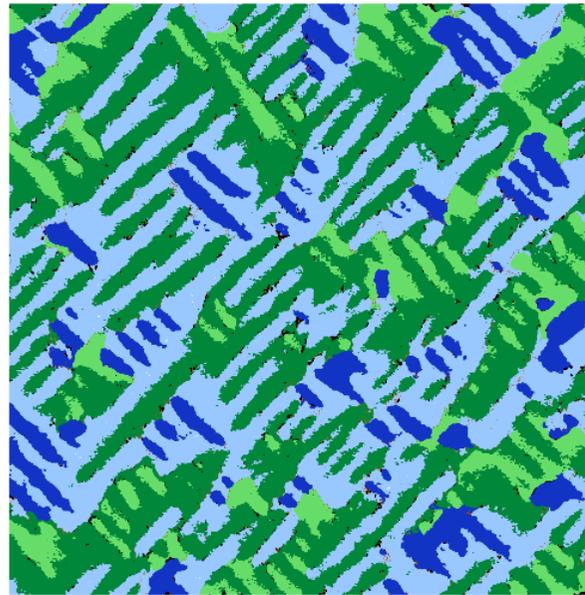
after poling

# 原子間力顕微鏡による検証：反転前

## 表面の電気分極 (圧電応答顕微鏡)

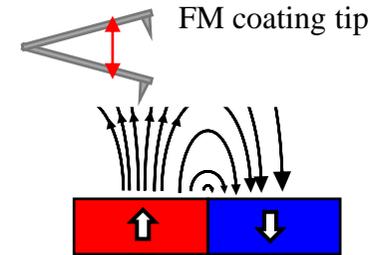
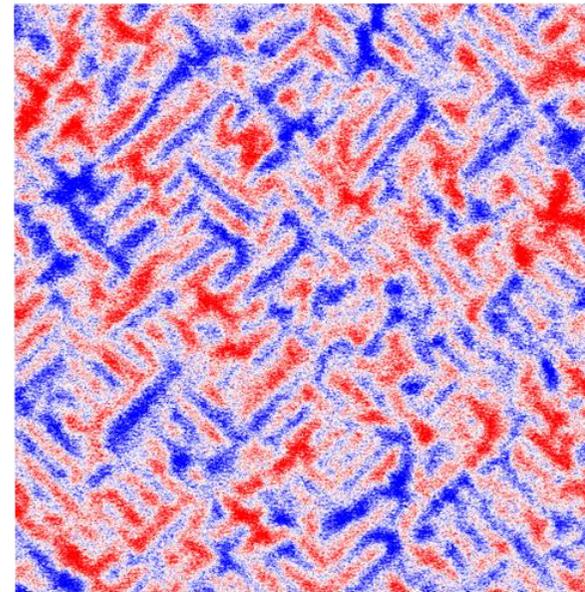


分極// $\langle 111 \rangle_{pc}$   
全8種類



薄膜下向き(青・緑色)の  
分極ドメインを形成

## 表面の漏洩磁場 (磁気力応答顕微鏡)



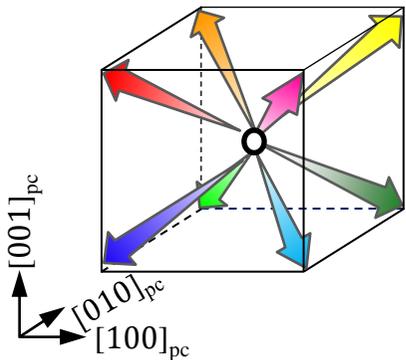
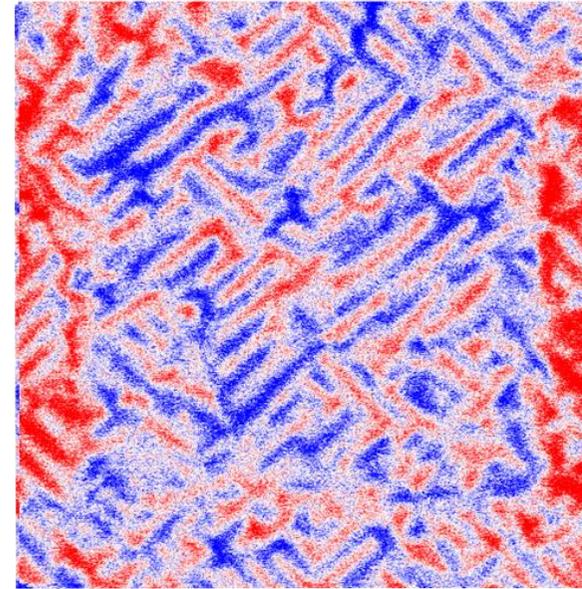
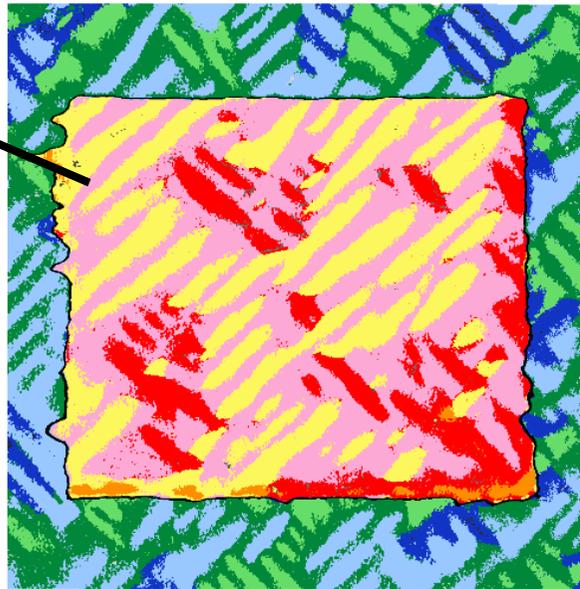
分極パターンと対応した磁気像  
= **分極・磁気**の相関

# 原子間力顕微鏡による検証：反転後

表面の電気分極  
(圧電応答顕微鏡)

表面の漏洩磁場  
(磁気力応答顕微鏡)

電場印加領域



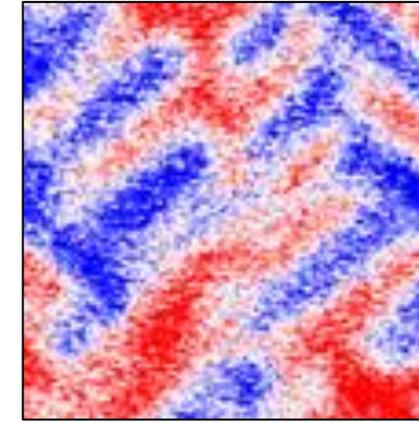
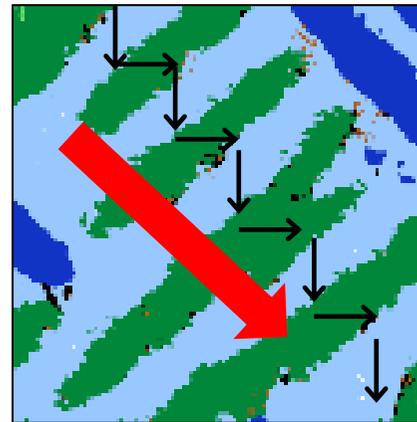
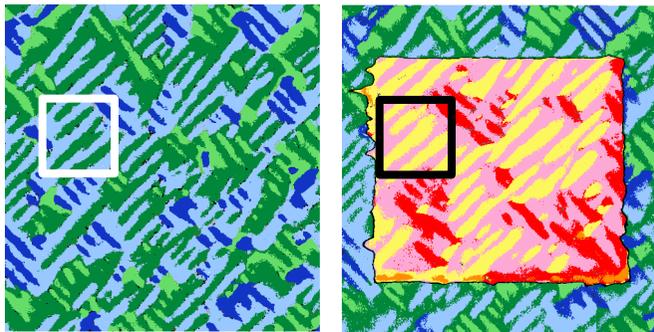
分極// $\langle 111 \rangle_{pc}$   
全8種類

電場印加領域の分極が、  
薄膜上向き(赤・黄色)に変化

電場印加の結果、磁気ドメインも  
形状が大きく変化

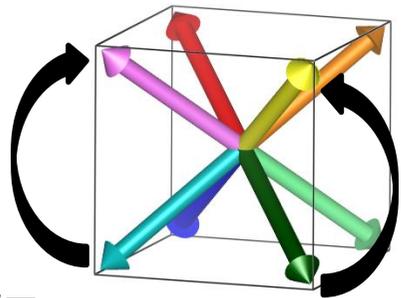
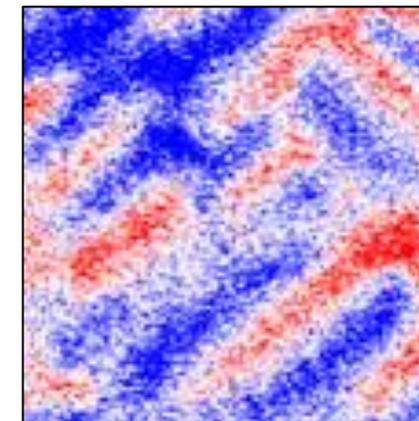
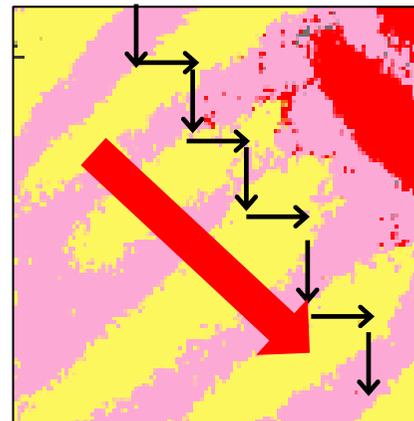
# 分極・磁気に対応関係の検証

▼四角の領域を拡大



コントラストが完全に反転

分極ドメインの形が変わらず  
薄膜垂直方向だけ変化

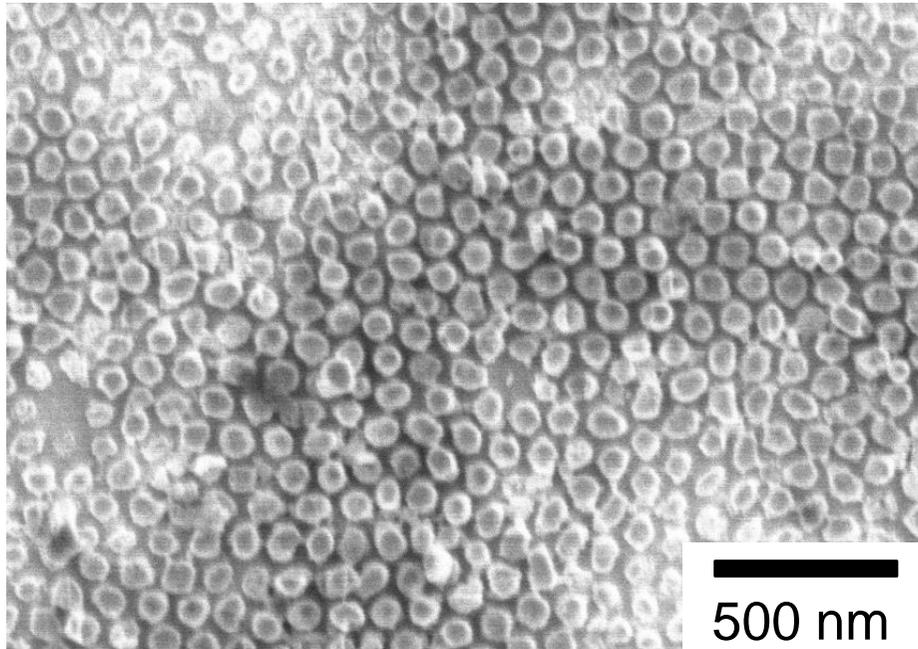


分極// $\langle 111 \rangle_{pc}$   
全8種類

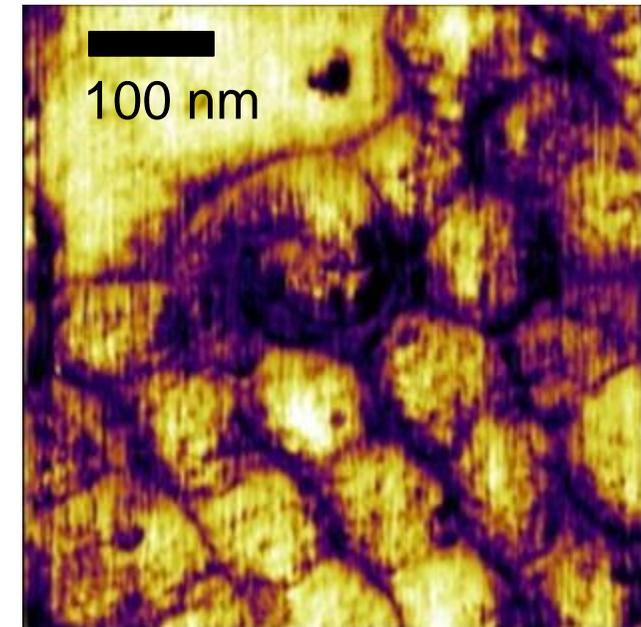
## 室温での電場印加磁化反転が実現

# 孤立ドット形状化の試み

電子顕微鏡像



形状観察



$\text{BiFe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_3$ の孤立パターンの形成を確認  
→ 実際のメモリデバイスの形態での検証を目指す

## 実用化に向けた課題

- $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ が「室温で電場による情報の書き込み・磁気情報の読み出し」が可能な材料であることは確立している。
- 実用化に向けて、 $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ の小さい磁化を精度良く読みだす磁気センサ技術と組み合わせることが課題。
- $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ の微細加工技術の効率化も必要。

# 企業への期待

- 微細加工による磁気センサー製造の技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- 低消費電力の次世代不揮発性メモリ開発中の企業には、本技術の導入が有効と思われる。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：磁気メモリ素子、並びに磁気メモリ素子の情報の書き込みおよび読み取り方法
- 登録番号： 特許第6902783号
- 出願人： 神奈川県立産業技術総合研究所
- 発明者： 東正樹、酒井雄樹、清水啓佑、川邊諒、北條元、重松圭、山本孟

# お問い合わせ先

**神奈川県立産業技術総合研究所  
企画部 知財戦略課**

**TEL : 044-819-2035**

**FAX : 044-819-2026**

**Email : [chizai@kistec.jp](mailto:chizai@kistec.jp)**