

マルチフェロイックス

1. マルチフェロイックス

マルチフェロイックスとは強弾性、強誘電性、強磁性などの性質を複数有する物質である。通常物質は外場に対して次のような応答を示す。外部電場に対して電気分極、外部磁場に対して磁化、応力に対してひずみが応答する。これらの外場がない状態でも自発的に秩序を示す物質があり、それぞれ、強誘電性、強磁性、強弾性と呼ぶ。マルチフェロイックスでは、これらの異なる秩序状態の相互作用によって、新たな応答を示す物質として期待されている。たとえば、外部電場を印加して磁化が応答したり、外部磁場を印加して電気分極が応答したりする。新たな物質開拓や、新たなセンサーデバイスへの応用が期待されている。

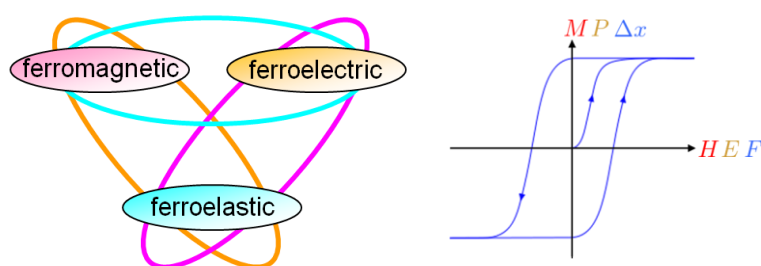


図1 マルチフェロイックスの性質とヒステリシス曲線

2. 圧電体

物質に外部電場を印加するとひずみが生じる、あるいは応力を印加すると電気分極が生じる物質を圧電体という。この物質もマルチフェロイックスの一種である。この性質は、応力が物質に加わると結晶のイオン構造が変異して電気分極が生じるという効果から生じるものである。圧電セラミックスは電気エネルギーを機械的なエネルギーへ変換し、逆の変換もするのでマルチフェロイックスである。

3. 磁性強誘電体マルチフェロイックス

希土類 Mn ペロブスカイト RMnO_3 の研究により、磁性強誘電体マルチフェロイックスの研究が急速に盛んになった。

3-1. 希土類 Mn ペロブスカイト

2003年の希土類 Mn ペロブスカイト TbMnO_3 における磁気強誘電性の発見(1)によって、電場による磁化の制御、磁場による分極の制御が可能になり、新たなメモリー素子への応用の期待があり近年盛んに研究されている。 TbMnO_3 は温度を下げていくと二回の磁気相転移を示すことが非弾性中性子散乱実験で明らかになった(2)。室温では常磁性相を示し、一回目の相転移で、サイン波のコリニアと呼ばれる常誘電相に転移する。さらに温度を下げると、横滑り bc スパイラル層に転移し、この相で強誘電性が生じる。

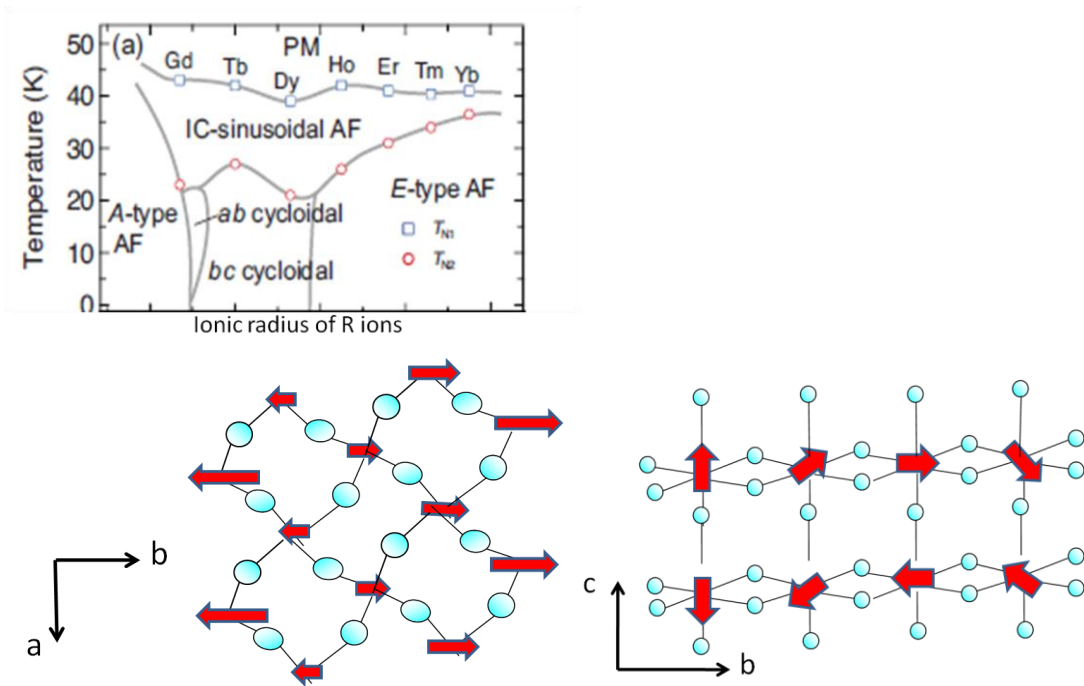


図2 (上) 温度変化によるスピン構造転移の相図
(左下) サイン波のコリニアと (右下) bc スパイラルの様子

TbMnO_3 の結晶構造自体は反転対称性を有するが、二回目の転移でスピンのらせん構造により、反転対称性の秩序が破られ電気分極が誘起される(3)。通常、強誘電分極が結晶構造自体の反転対称性の破れに由来している従来の強誘電体と比べ、このような特殊なメカニズムから生じる TbMnO_3 の強誘電性は非常に強い電気磁気結合が実現しており、磁場誘起誘電分極や巨大誘電応答、エレクトロマグノン励起などの興味深い電気磁気現象を示す。

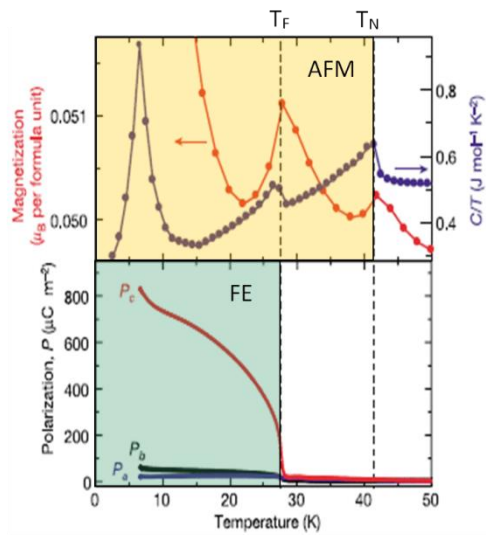


図3 TbMnO₃のSQUID実験と電気分極測定の結果
 スピン構造転移による強誘電分極の出現が確認出来る。

3-2. 電気磁気マルチフェロイクスの応用

2006年に希土類MnペロプスカイトRMnO₃のらせんスピン相においてエレクトロマグノン励起という現象が発見された。通常、マグノンは外部磁場によって誘起されるものであるがこの相では電場によって誘起されることからこれを特にエレクトロマグノンと呼んでいる。マグノンは数meVほどの比較的低エネルギーで励起されるものであり、テラヘルツ時間領域分光法を用いて発見された。

このように、高強度のパルスレーザーなどを照射することによってスピン構造の秩序を変化させることがマルチフェロイクスの応用になり、新たなメモリーデバイスの応用に期待がもたれている。

参考文献

- (1) Nature **426** 55 (2003)
- (2) Phy.Rev. B **81** 100411(2010)
- (3) T.Kimura et al., Nature (London) **55**, 426