

## マルチフェロイクスにおけるマイクロ波非相反性の電氣的制御

### 1. 発表者：

井口 雄介（東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻相関基礎科学系 大学院博士3年生）

新居 陽一（東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻相関基礎科学系 助教）

小野瀬佳文（東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻相関基礎科学系 准教授）

### 2. 発表のポイント：

- ◆マルチフェロイクス材料（注1）を用いてマイクロ波の非相反性（注2）を電氣的に制御することに成功した。
- ◆マイクロ波における非相反性の電氣的制御は、世界初となる。
- ◆本研究を発展させればアイソレータの透過方向を電氣的に切り替えるデバイス機能が期待できる。

### 3. 発表概要：

東京大学大学院総合文化研究科の井口雄介大学院生は、新居陽一助教、小野瀬佳文准教授と共同で、マルチフェロイクス材料におけるマイクロ波伝搬の非相反性を電氣的に制御することに成功した。マルチフェロイクスとは、磁性によって誘起された強誘電体のことで、磁気モーメントがらせん状に整列すると物質中の相対論効果を介して強誘電性を発現することが知られている。このような物質中では、強い電気と磁気の相関が存在して電磁波が普通の物質中と違う伝わり方を示す。非相反性とは、透過強度が伝搬方向に依存する性質のことで、マイクロ波領域ではこのような性質を利用したアイソレータと呼ばれる素子がすでにあるが、透過できる方向は固定されており切り替えることはできなかった。本研究では、マルチフェロイクスの性質を利用して非相反性を電氣的に切り替えることが出来ることを示した。マイクロ波技術は携帯電話などの無線通信になくってはならないものだが、今回の研究を発展させれば、電氣的に切り替えられるアイソレータなどの高機能マイクロ波素子の実現も期待できる。

本研究成果は、2017年5月8日英国科学雑誌「Nature Communications」に掲載される。

### 4. 発表内容：

十倉好紀、木村剛らが2003年にらせん磁性体が強誘電性を誘起することを発見して以来、磁性誘起強誘電体（マルチフェロイクス）は精力的に研究されてきた。マルチフェロイクスにおいては、その強い電気磁気結合により多彩な電磁気応答を示すが、特にマルチフェロイクス中の電磁波応答はユニークな性質を示す。例えば、物質中の磁気モーメントの振動励起である磁気共鳴励起は、通常は電磁波の交流磁場成分によって励起されるが、マルチフェロイクスでは交流電場成分によっても励起される。このような動的な電気磁気効果は、電磁波の伝搬に大きな影響を及ぼし、その結果として多くの場合には、ある方向に伝搬する場合の透過強度が、それと180度逆の方向に伝搬する場合とは異なる、という非相反性を示す。このような電磁波の非相反は最初可視光領域で見出され、X線領域などでも観測されてきた。最近になって、マイクロ波領域でも観測されていたが、この場合の非相反性は結晶格子に対して固定されていて電場で切り替えることが難しかった。

本研究ではらせん磁性強誘電体  $\text{Ba}_2\text{Mg}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$  においてマイクロ波非相反性を電氣的に制御することに成功した。らせん磁性体は、らせんの回転方向が強誘電分極と結合し、電場で制御することが可能なマルチフェロイクスの性質を示す。 $\text{Ba}_2\text{Mg}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$  は、民生用磁石として普及している「六方晶フェライト」の類縁物質で、比較的高温の  $-78^\circ\text{C}$  (195 K) 以下でマルチフェロイックとしての性質を示す。六方晶フェライトの物質群の中には室温以上でマルチフェロイックとして働く物質もある。この物質におけるらせん磁性体の磁気励起は、マイクロ波領域の 15 GHz 付近に存在するが、その磁気励起周波数付近のマイクロ波透過強度を測定すると非相反性が観測された (図)。さらに、電場で静的ならせん磁気構造の回転方向を反転させると、非相反性も反転した。らせん磁性体の低エネルギー磁気励起周波数においては、電磁波の非相反性が電気分極と磁化のベクトル積 ( $\mathbf{P}\times\mathbf{M}$ ) であるトロイダルモーメントに比例する非相反性を示すことが理論的に知られており、本研究はこれを実験的に観測したものであると理解できる。

本研究で明らかになった電場によって切り替えられる非相反性は、マイクロ波素子の高度化に資することが期待できる。マイクロ波の非相反性は、回路に強磁性体を非対称に配置すれば現れることが古典的な電磁気学の効果でも知られており、アイソレータなどの素子に活用されている。しかしながら、こうした古典的な非相反性は回路に固定されて外場で切り替えることは不可能であった。本研究で明らかになった成果を発展させれば、電場で透過方向が切り替えられるアイソレータを実現させることが期待できる。マイクロ波領域の電磁波は無線通信に活用されているが、近年の携帯電話などの発達により活用できる周波数帯の減少などの問題が指摘されている中で、マイクロ波素子の高度化が進めば、こうした問題に対する解決の一助になる可能性がある。

## 5. 発表雑誌：

雑誌名：「Nature Communications」 (5月8日オンライン掲載)

論文タイトル：Magnetoelectrical control of nonreciprocal microwave response in a multiferroic helimagnet

著者：Yusuke Iguchi\*, Yoichi Nii, Yoshinori Onose

DOI 番号：10.1038/NCOMMS15252

## 6. 注意事項：

日本時間 5月8日 (月) 午後6時 (イギリス時間: 8日 (月) 午前10時) 以前の公表は禁じられています。

## 7. 問い合わせ先：

東京大学総合文化研究科広域科学専攻関連基礎科学系  
准教授 小野瀬 佳文 (おのせ よしのり)

Tel : 03-5454-6742

E-mail : c-onose@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

## 8. 用語解説：

(注1) マルチフェロイクス

もともとは、強磁性 (ferromagnetism) と強誘電性 (ferroelectricity) の二つの ferro が重なった物質を指しているが、広義には磁性強誘電体全般を指すことが多い。また、らせん磁気構造などにおいて磁気秩序が強誘電性を誘起する磁性誘起強誘電体を指す場合もある。ここでは、磁性誘起強誘電体の意味で用いている。

(注2) 非相反性

ある方向に伝搬する電磁波の透過強度や屈折率、位相速度などが、180度逆方向に伝搬する場合とは異なっている現象。

## 9. 添付資料：

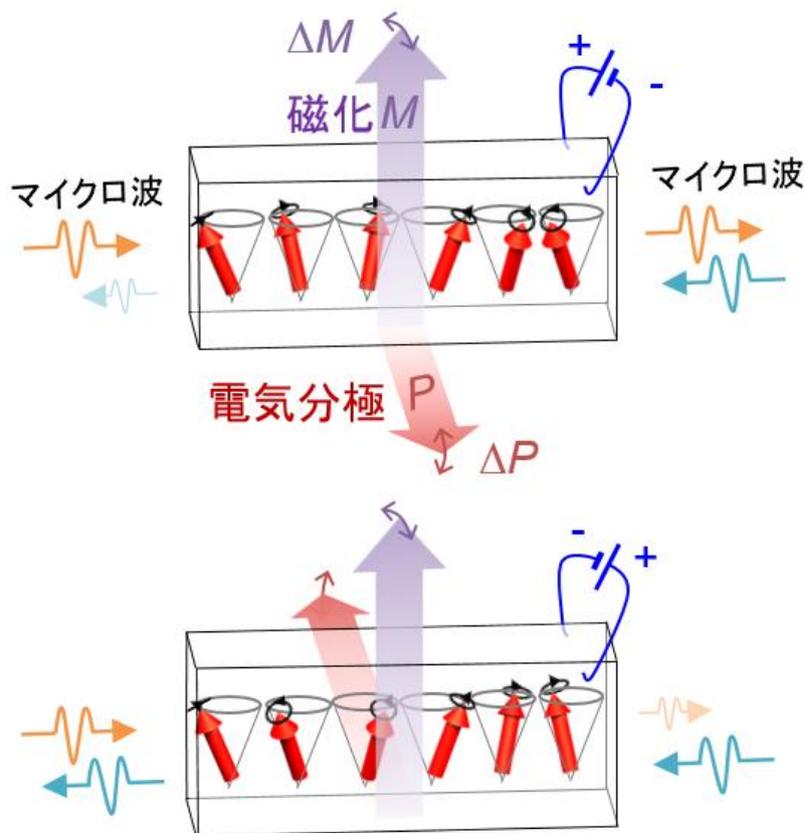


図 マルチフェロイクスにおけるマイクロ波非相反性の電場制御の概念図

らせん磁気構造における磁気励起（磁気モーメントの振動）は、磁化  $M$  と電気分極  $P$  の交流振動 ( $\Delta M$ ,  $\Delta P$ ) を生じる。このような磁気励起とマイクロ波が相互作用する場合マイクロ波の伝搬方向によって透過強度などが異なる非相反性が発現する。電場によってらせん磁気構造の回転方向が逆になると非相反性も逆になる。