



九州大学広報室  
〒819-0395 福岡市西区元岡 744  
TEL:092-802-2130 FAX:092-802-2139  
MAIL:koho@jimu.kyushu-u.ac.jp  
URL:http://www.kyushu-u.ac.jp

PRESS RELEASE (2014/11/14)

## 光の任意の偏光状態を磁性体に書き込み・読み出すことに成功

### 概要

九州大学大学院理学研究院の佐藤琢哉 准教授と東京大学生産技術研究所の志村 努 教授、飯田隆吾 博士（研究当時大学院生）は、フリードリッヒ・アレクサンダー大学エアランゲン・ニュルンベルグ（ドイツ）の樋口卓也 博士、チューリッヒ工科大学（スイス）のマンフレッド・フィービッヒ教授と共同で、光パルス（ 1 ）の任意の偏光状態（ 2 ）を磁性体の磁化振動モード（ 3 ）として転写し、それらを情報媒体として書き込むことに成功しました。また、時間的に遅れて照射された別の光パルスを用いて磁化振動モードを読み取り、元の偏光状態の情報を失うことなく読み出すことに成功しました（図 1）。この成果は、光が持つ偏光自由度を用いた多重度・偏光メモリーの研究開発につながることで期待されます。

本研究成果は、2014年11月17日16時（英国時間）に、英国科学雑誌「Nature Photonics」のオンライン版に掲載されます。

### 背景

磁性体は不揮発性を持つことから S/N 極を記録媒体として広く利用されてきましたが、他にも多様でかつ特異な性質を持ちます。例えば、反強磁性体（ 4 ）は磁場を加えなくても数テラヘルツ（ 5 ）の共鳴周波数を有するため、超高速に動作する素子としての可能性を秘めています。

光を磁性体に照射したときに、磁化（ 3 ）の向きなどの性質が変わる効果を光磁気効果と呼びますが、実際、照射する光の偏光状態によってその効果が変わる磁性体が存在します。これまでに円偏光の光を照射すると磁化の向きが高速に回転することが示されていますが、まだ基礎的な研究レベルに留まっています。他方、直線偏光の光による光磁気効果は光磁気（MO）ディスクやミニディスク（MD）として商品化されていますが、磁性体の性質が変わる理由は光の吸収による加熱効果であり、偏光の自由度を活かしたものではありません。このように光が持つ偏光自由度を最大限に活用して非熱的・超高速に磁気情報の制御を行う研究や開発は、ほとんど例がありませんでした。

### 内容

本研究ではまず、3回対称性（ 6 ）を持つ反強磁性体（図 2）に注目しました。この性質を持つ六方晶  $\text{YMnO}_3$ （Y：イットリウム、Mn：マンガン、O：酸素）は、3つの直交する独立な磁化振動モードを示します。ここに偏光ストークスパラメータ  $S_1, S_2, S_3$ （ 2、図 1 左）の光パルスを照射すると、それぞれ X モード、Y モード、Z モードの磁化振動モード（図 1 中、図 3）が誘起されます。これは光の3つの偏光自由度すべてを独立に磁化振動モードという形で転写できたことを意味します。さらに光パルスに対して時間的に遅れて照射された別の光パルスを用いて、この3つの磁化振動モードを独立に読み出すことに成功しました（図 1 右）。また、偏光がねじれたダブル光パルスを用いて、約 1 テラヘルツで回転運動する磁化振動モードを単結晶系で引き起こすことにも初めて成功しました。この結果は、振動モードのそれぞれに「重ね合わせの原理（ 7）」が成り立ち、ポアンカレ球（ 2 ）上の任意の点で示される偏光を持つ光パルスの偏光情報を、磁性体に書き込み、またそれを別の光パルスで読み出せることを意味しています。

## 効果・今後の展開

従来の偏光メモリーは、偏光ストークスパラメータ  $S_1, S_2, S_3$  のうちのどれか 1 つのパラメータの符号 (±) を「0」と「1」のビット情報として記録していました。本研究の成果により、3 つのパラメータをすべて用いて光の任意の偏光を保存する多重度・偏光メモリーの研究・開発が可能になるものと期待されます。

また、本研究で得られた回転運動する磁化振動モードは円偏光のテラヘルツ電磁場パルスを放出すると予想しています。これによりテラヘルツ周波数帯での円二色性や光学活性を調べることが可能になり、セキュリティチェック、医療診断、分子構造解析、建物の非破壊検査など、幅広い分野での応用が期待されます。

## 発表雑誌

雑誌名：Nature Photonics 2015 年 1 月号

論文タイトル：Writing and reading of an arbitrary optical polarization state in an antiferromagnet

著者：Takuya Satoh, Ryugo Iida, Takuya Higuchi, Manfred Fiebig, Tsutomu Shimura

DOI 番号：10.1038/NPHOTON.2014.273

本研究成果は、以下の事業・研究領域・研究課題によって得られました。

独立行政法人 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 個人型研究 (さきがけ)

研究領域：「光の利用と物質材料・生命機能」

研究総括：増原 宏 奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科 特任教授  
台湾国立交通大学 講座教授

研究課題：「フェムト秒光波制御による超高速コヒーレントスピン操作」

研究者：佐藤 琢哉 九州大学大学院理学研究院 准教授

(平成 26 年 3 月まで東京大学生産技術研究所 助教)

研究期間：平成 22 年 10 月～平成 26 年 3 月

## 【用語解説】

### 1) 光パルス

短時間のみ ON となる光。パルスの時間幅が短いほど、波長の帯域幅が広がる性質があります。

### 2) 偏光・ストークスパラメータ・ポアンカレ球

光は電磁波であり、電場と磁場は光線の進行方向と垂直に振動します。電場面の振動方向を偏光面といい、それが伝播に伴って時間的に不変ならば光は直線偏光、円弧を描くならば円偏光と呼びます。光の任意の完全偏光状態は 3 つのストークスパラメータ ( $S_1, S_2, S_3$ ) で表現できます。図 1 左のようなポアンカレ球を用いると、ストークスパラメータは球上の 1 点に対応します。赤道上の点はすべて直線偏光であり、経度は偏光の方位角を表します。北極と南極では円偏光、それ以外の点では楕円偏光となり、経度は楕円率を表します。

### 3) 磁化振動

磁化とは、物質がマクロに磁気を帯びるとき、その単位体積当たりの量を磁化といいます。磁化は、ある周波数においてマイクロ波を吸収し共鳴振動します。これを磁化振動と呼びます。磁化振動は、可視光を照射することでラマン散乱過程によっても誘起することができ、これが本研究におけるメカニズムになっています。

### 4) 反強磁性体

強磁性体は磁石に吸い付くのにに対し、反強磁性体は磁石に吸い付きません。これは、反強磁性体の内部で隣り合うスピンの互いに反対方向を向き、全体として磁化が相殺されているためです。内部では強いスピン間相互作用が働いているため、共鳴周波数は数テラヘルツにも達することがあります。

### 5) テラヘルツ

1 テラヘルツは 1 秒間に  $10^{12}$  乗回、つまり 1,000,000,000,000 回の振動数です。

6) 3回対称性

ある軸を中心に3分の1回転させると、元の形と同じ形になる性質です。

7) 重ね合わせの原理

2つの振動モードの変位が、ある時刻・位置で  $X_1, X_2$  であるとし、その合成振動モードの変位  $X$  が、 $X=X_1+X_2$  のような単なる和で表されるとき、重ね合わせの原理が成り立つといいます。

【添付資料】

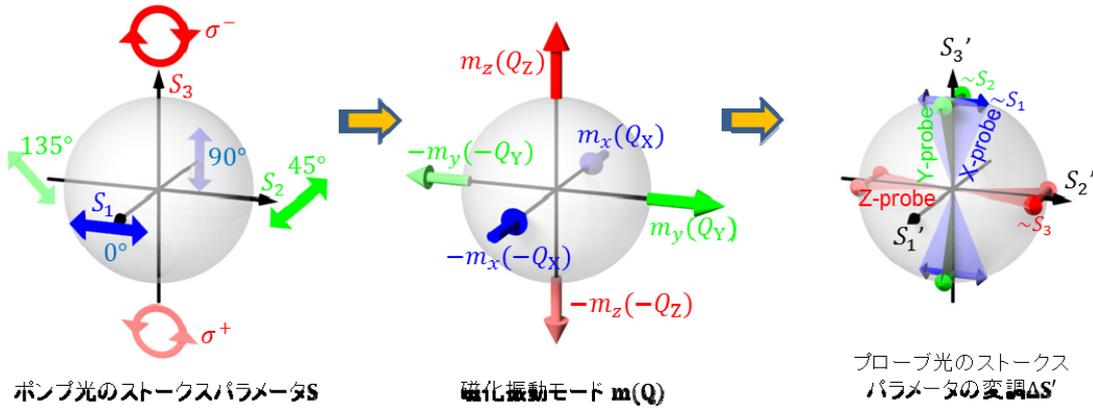


図1：光の任意の偏光状態を1対1に磁性体へ書き込み、1対1に光で読み出す概念図。ポンプ光のストークスパラメータと反強磁性体  $YMnO_3$  の磁化振動モード、プローブ光のストークスパラメータの変調の間の1対1対応を表す。

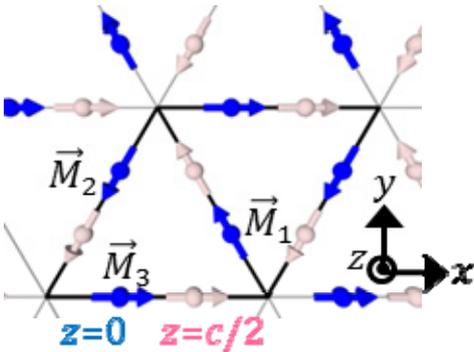


図2： $YMnO_3$  の  $Mn^{3+}$  磁気モーメントにおける3副格子 ( $M_1, M_2, M_3$ ) の反強磁性的配列。

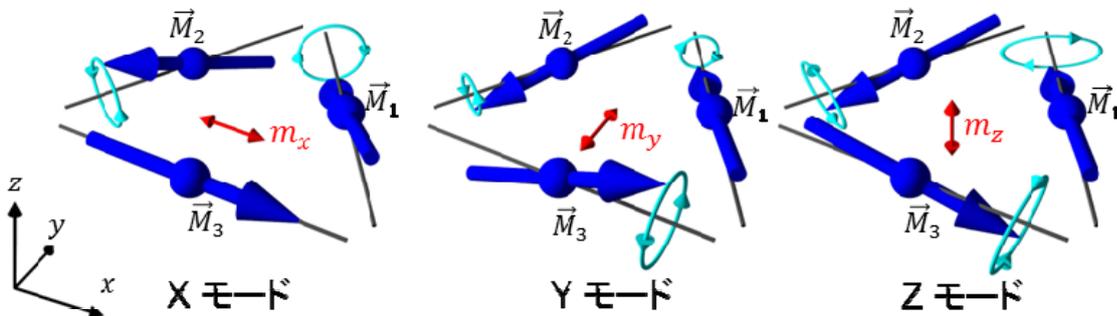


図3：磁化振動モード (X, Y, Zモード)

## 【お問い合わせ】

<p>&lt; 研究に関する事 &gt; 九州大学 大学院理学研究院 准教授 佐藤 琢哉 (さとう たくや)</p>	<p>&lt; 広報に関する事 &gt; 九州大学広報室</p>
<p>東京大学 生産技術研究所 教授 志村 努 (しむら つとむ)</p>	<p>東京大学 生産技術研究所 総務課総務・広報チーム 山田 隆治 (やまだ たかはる)</p>
<p>&lt; J S T の事業に関する事 &gt; 科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーショングループ 古川 雅士 (ふるかわ まさし)</p>	<p>&lt; J S T の広報に関する事 &gt; 科学技術振興機構 広報課</p>