

## 記者発表

## 「テラヘルツ波パルス磁場を用いて超高速スピン制御を実現」

— 1兆分の1秒のパルス磁場でスピンを制御、スピントロニクスに新展望 —

発表日時 2010年11月30日（火） 15時～16時

発表場所 本郷キャンパス 第2本部棟  
1階中会議室・小会議室（第二会議室） 地図参照

発表者 中嶋 誠（東京大学物性研究所 助教）  
末元 徹（東京大学物性研究所 教授）  
山口啓太（東京大学大学院理学系研究科 修士課程2年）

## 発表概要

テラヘルツ波（注1）超短パルスによるパルス幅1ピコ秒（1兆分の1秒）以下の超短磁場パルスを用いて、磁性体イットリウムオルソフェライト（以後、 $\text{YFeO}_3$ と示す）におけるスピン歳差運動を超高速に制御することに成功した。

## 発表内容

近年、電子がもつ電荷だけでなくスピン（ミクロな磁石の性質）に着目し、両者を利用した新しいエレクトロニクス（スピントロニクス）の可能性に注目が集まっている。スピンを制御することで、従来のエレクトロニクスをさらに発展させ、新しいデバイスを開発しようとする有望な次世代分野の一つであり、その基盤技術として超高速にスピンを制御する技術の開発が求められている。

従来、スピンを超高速に操作するためには、光（電場と磁場成分を併せ持つ）の電場成分を用いた方法が採用されてきた。これはスピんに比べて1000倍も高エネルギーの光（可視・近赤外光）では直接スピんに作用することができず、電磁波と電荷の相互作用を介してスピンの操作を行っていたからである。今回われわれは、スピンと同等に低エネルギーであるテラヘルツ波の磁場成分を用いることで、スピンの超高速制御に成功した。

強磁性共鳴（注2）をもつ磁性体にその振動周期より短い磁場パルスを作用させると、スピン歳差運動（みそすり運動）を誘起することができる（図1）。そして回転するスピンより円偏光（注3）の電磁波が放射される。測定は室温で行われ、試料である磁性体 $\text{YFeO}_3$ は弱い静磁場（ $\sim 0.1$ テスラ）中に配置された。直線（横）偏光のテラヘルツ波パルスを試料に照射し、透過してくるテラヘルツ波パルスを検出した。図2は、実際に観測された円偏光のテラヘルツ波であり、スピンの歳差運動を反映して電場・磁場が強磁性共鳴の周期3.3ピコ秒で高速に回転していることが分かる。この歳差運動しているスピんに、さらにテラヘルツ波パルス磁場を入射することで、スピンの制御を試みた。第1パルスに対して、スピン歳差運動の回転周期（T）の整数倍の間隔で第2パルスを照射すると（図3の赤線（3T））、歳差運動の振幅は2倍に増幅されることが分かった。また半整数倍の間隔で照射すると（図3の青線（3.5T））、歳差運動を停止させることが可能であることが分かった。このような位相に基づいた方法は、コヒーレント制御といわれるものであり、さながら揺れているブ

ランコをさらに押すタイミングをかえることによって、大きく揺らしたり、止めることが出来たりすることに似ているといえる。さらに、この方法を応用することで、複数のスピン歳差運動状態より、特定の状態のみを増幅・観測することが可能であることも明らかにした。テラヘルツ波の磁場によってスピンの運動を $\sim 0.3$ ピコ秒（テラヘルツ波パルスの時間幅に相当）という超高速で制御することが可能であることを実証した。

本研究の特徴は、電磁波の磁場成分を用いてスピンを制御している点である。スピンは元々磁場に反応する性質をもつ（例えば磁石）が、このような高速な磁場パルスで制御できることに成功したのは本研究が初めてである。磁場パルスを用いることで、従来のエレクトロニクスを用いる方法や光電場を用いる方法に比べて、余分な熱の発生が極めて小さく、電荷の状態を乱すことなく、スピン情報を直接操作することが可能であり、画期的な進展であるといえる。今後本研究の手法をさらに発展させ、磁場強度を増強することによって、磁場パルスによるスピン反転やスピン再配列を行うことも可能になると予想される。本研究で示したテラヘルツ波の磁場を用いた超高速スピン制御の手法は、他の物質にも応用可能であり、スピントロニクスや量子コンピュータ等の分野において進化を加速させる新技術となりうるものであり、今後のさらなる発展が期待される。

本研究は、科学研究費補助金 若手研究 (B) (No.2176004) などの研究助成を受けて行われました。

#### 発表雑誌

この研究成果に関しては、2010年12月2日の「**Physical Review Letters**」（アメリカ物理学会）のオンライン速報版で公開予定です。（オンライン12月2日号、紙面12月3日）

タイトル：“Coherent control of spin precession motion with impulsive magnetic fields of half-cycle terahertz radiation” ハーフサイクルテラヘルツ波の超短磁場によるスピン歳差運動のコヒーレント制御

著者： Keita Yamaguchi, Makoto Nakajima, and Tohru Suemoto

**注意事項** 論文公表前の発表は禁止されていますので、日本時間12月3日（金）午前0時（米国時間・ニューヨーク：12月2日午前10時）より前の公表はお控えください。

#### 用語解説

（注1）**テラヘルツ波** 光波と電波の中間の周波数帯に位置する電磁波。最近まで未踏領域の電磁波とされてきた。近年、レーザー技術の進歩とともに、発生や検出、操作の技術が大きく進展した。1テラヘルツは光子のエネルギーにすると約4ミリエレクトロンボルト（meV）、周期にすると1ピコ秒（ $=1\text{ ps} = 10^{-12}\text{ 秒} = 1\text{ 兆分の}1\text{ 秒}$ ）に相当する。

（注2）**強磁性共鳴** 磁性体に特定周期の電磁波を照射すると、スピンの歳差運動を起こし、その電磁波を吸収する現象。

（注3）**偏光** 光（電磁波）の電場（あるいは磁場）ベクトルの振動の方向が偏っているような状態。振動方向が一方向の場合を直線偏光、回転して出てくる偏光を円偏光と呼ぶ。

添付資料： 図1~3

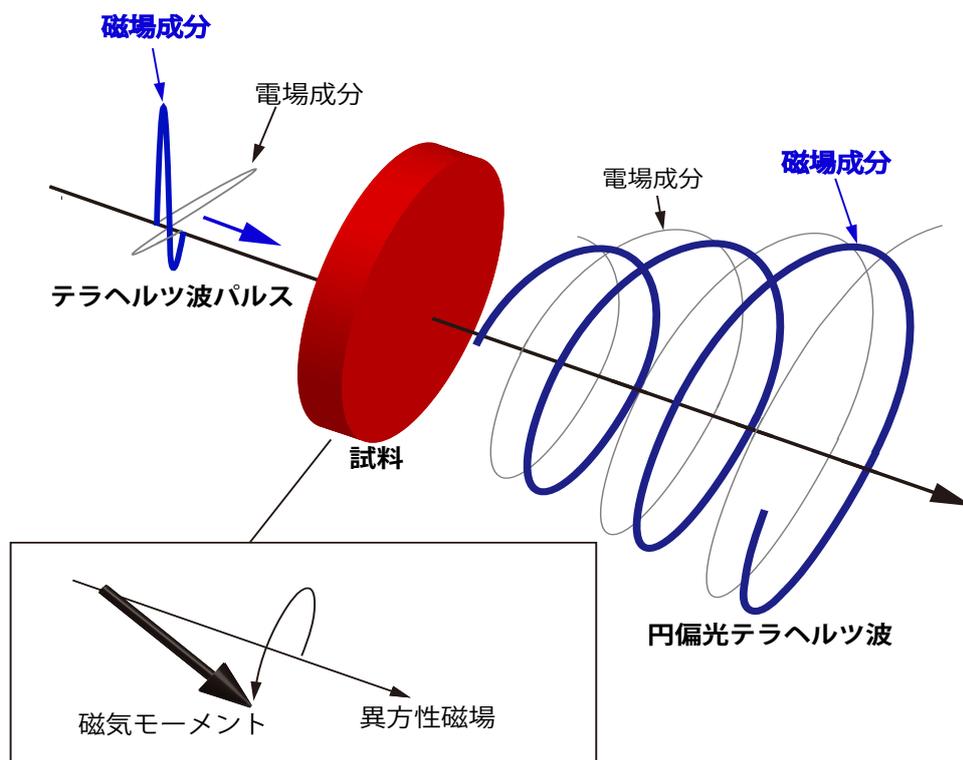


図1 概念図 テラヘルツ波磁場パルスによるスピン歳差運動の誘起と円偏光テラヘルツ波放射（自由誘導減衰）。スピンは磁石の性質を持ったマイクロなコマと考えることができるので、磁場中に入れると重力を受けるコマのようにみそすり運動を行う。これをスピン歳差運動という。

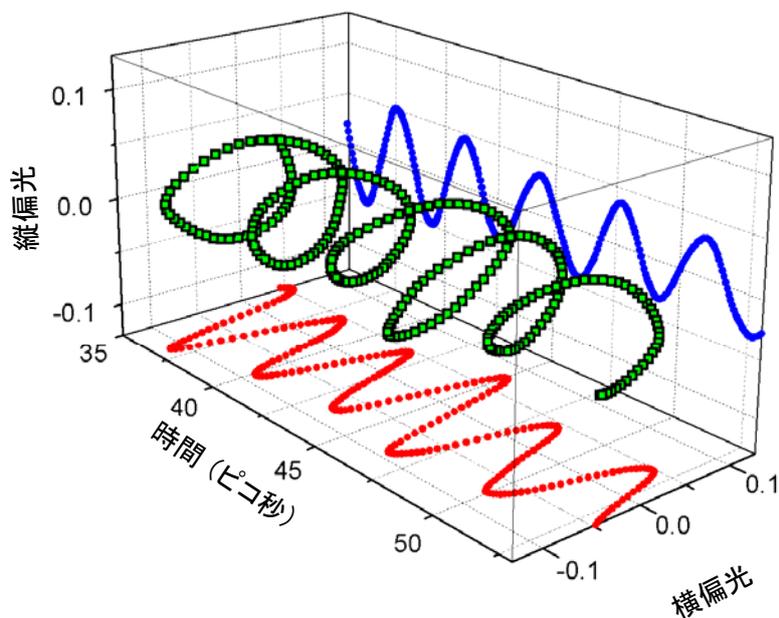


図2  $\text{YFeO}_3$ におけるスピン歳差運動から放射された円偏光テラヘルツ波  
室温にて、試料に横偏光のテラヘルツ波を照射させたときに観測された円偏光テラヘルツ波。緑の曲線（中央のらせん）が表すこの放射パターンはまさにスピンの歳差運動を反映して電場・磁場が時間

的に回転している。この歳差運動はテラヘルツ波パルスが入射されると運動を開始し、強磁性共鳴に相当する周期3.3ピコ秒で回転しており、次第に減衰していく。また赤（下面に投影）・青（右面に投影）の振動波形は、それぞれ横および縦偏光成分を切り出したものである。これらの振動波形の位相は約90度ずれており、円偏光の特徴をよく表している。また静磁場の向きを逆向きにすることで観測される円偏光の回転方向が逆方向になることも観測できている。

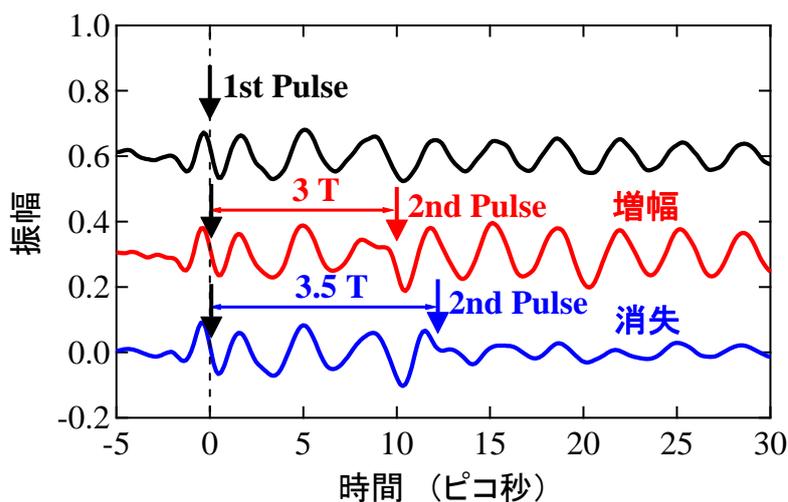


図3 テラヘルツ波パルスによる超高速スピン制御

黒線（上段）は透過波形の縦偏光成分を示しており、スピン歳差運動を反映する振動成分が存在することが分かる。赤線（中段）は、第1パルスに対して10ps（=3T, T: 歳差運動の周期）後に第2パルスを入射したものであり、振動成分（スピン歳差運動）が増幅されていることがわかる。青線（下段）は、同様に11.67ps（=3.5T）後に第2パルスを入射したものであり、振動成分（スピン歳差運動）が消失していることが分かる。

## 地図

## 東京大学本郷キャンパス 第2本部棟 1階中会議室・小会議室（第二会議室）

