

# 論文審査の結果の要旨

氏名 山口 啓太

本論文は、「Ultrafast spin dynamics induced by pulsed terahertz wave in canted antiferromagnet (傾角反強磁性体におけるテラヘルツ波パルス誘起超高速スピンドイナミクスの研究)」と題した実験研究を7章からなる英文で記述したものである。第1章から3章で序論・背景・実験手法を述べた後、4章から6章にかけて実験結果を述べ、第7章で本研究のまとめと今後の展望を述べている。

テラヘルツ波パルスを用いた物性研究は近年活況を呈しているが、電場成分を利用したものが主であり、磁場成分の利用は殆ど行われてこなかった。本研究は、テラヘルツ波の磁場成分を利用し、磁氣的相互作用による直接のスピン励起を行い、その超高速ダイナミクス観測を通じて、磁性体の新しい物性研究を目指したものである。対象物質として、希土類オルソフェライト  $\text{RFeO}_3$  (R:希土類元素)を用いた。この物質は、傾角反強磁性体もしくは弱強磁性体と呼ばれる。鉄イオンスピンの反強磁性的な秩序相において、ジャロシンスキー・守谷相互作用の存在により副格子スピン間の角度が  $180$  度からずれ、マクロな磁化を持つため、マクロ磁化の歳差運動を伴う強磁性共鳴に似た **F** モードと歳差運動を伴わない **AF** モードがテラヘルツ帯に存在することが知られている。さらに、 $\text{ErFeO}_3$  や  $\text{DyFeO}_3$  では、常磁性的な希土類スピンの磁化の大きさに応じて鉄イオンスピンの加わる異方性磁場が変化し、鉄スピンの容易化軸が  $90$  度回転する特徴的なスピン再配列転移を示す。

本実験では、まず、 $\text{YFeO}_3$  におけるテラヘルツ波パルス誘起スピンドイナミクスを、テラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS) により観測した (第4章)。テラヘルツ波でスピンを励起し、スピンの振動による磁気双極子放射・自由誘導減衰 (FID) を検出したところ、励起テラヘルツ波の偏光に応じて、磁場成分がマクロ磁化に平行なとき **AF** モードが、磁場成分がマクロ磁化に垂直な場合 **F** モードが励起された。また、テラヘルツ波ダブルパルス励起を行い、磁気共鳴のコヒーレント制御を試みた。ダブルパルス励起の時間間隔に応じてスピンの歳差運動の増幅やキャンセルが生じた。また、2つ目のテラヘルツ波の強度はスピンを止めた場合の方が高く、スピン系からエネルギーが回収されていることが示された。

$\text{ErFeO}_3$ 、 $\text{DyFeO}_3$  において、スピン再配列転移を THz-TDS を用いて観測した (第5章)。再配列転移近傍の磁気共鳴において、磁化の向きの変化から生じる FID シグナルの偏光変化により、高温相・低温相のピコ秒スケールでの判別が可能であることを示した。2つのモードのテラヘルツ波偏光に対する励起選択則の変化や、共鳴周波数のソフト化などによっても相転移が観測された。さらに  $\text{DyFeO}_3$  において外部静磁場によって相転移温度が低下する様子も観測した。可視ポンプパルスをサンプルに照射し、その結果生じる熱による高速な温度上昇を磁気共鳴の周波数シフトを介して測定した。 $\text{ErFeO}_3$

の場合、可視光による励起直後から約 20 ピコ秒の時間をかけ徐々に温度上昇している様子が分かった。 $\text{DyFeO}_3$  の場合温度上昇が遅く、100 ピコ秒程度要した。この差を、Er イオンと Dy イオンの 4f 電子の電子-格子相互作用の大きさの違いに起因すると解釈した。

最後に、高強度テラヘルツ波によってスピン励起を行い、そのダイナミクスを可視光プローブのファラデー回転を介して観測する実験を行った(第6章)。 $\text{ErFeO}_3$  において、F モード共鳴のピークの分裂を初めて観測した。機構として、ジャロシンスキー・守谷相互作用による分裂と解釈し、実測した分裂の大きさを説明した。さらに、 $\text{DyFeO}_3$  において、高強度テラヘルツ波励起のもとで相転移温度の 4K の低下を観測し、外部静磁場の印加と似た機構による転移温度低下と解釈した。

以上、本論文の内容は、テラヘルツ周波数領域における傾角反強磁性体の超高速スピンドダイナミクスに関して、意義ある実験事実と物理的解釈を新たに報告する物性物理研究である。特に、超高速励起・実時間観測という特徴を用いることでスピンのコヒーレント制御や可視ポンプ光による超高速加熱の観測など、従来の磁気共鳴の実験では実現不能なダイナミクス測定を行うことが可能になった意義は大きい。よって本論文の内容は、博士論文として十分評価に値すると判断される。

なお、本論文の研究内容は指導教官らとの共同研究であるが、実験の計画と遂行、結果の解析など、研究の大部分は論文提出者が主体となって行ったものと判断される。

よって、論文審査委員会は全員一致で博士(理学)の学位を授与できると認めた。