



文部科学省 科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A)
1000テスラ超強磁場による
化学的カタストロフィー
非摂動磁場による化学結合の科学

Grant-in-Aid for Transformative Research Areas (A)
1000-Tesla Chemical Catastrophe
Science of Chemical Bonding under
Non-perturbative Magnetic Fields

予稿集 / Abstracts

第7回領域会議 / The 7th Area Meeting

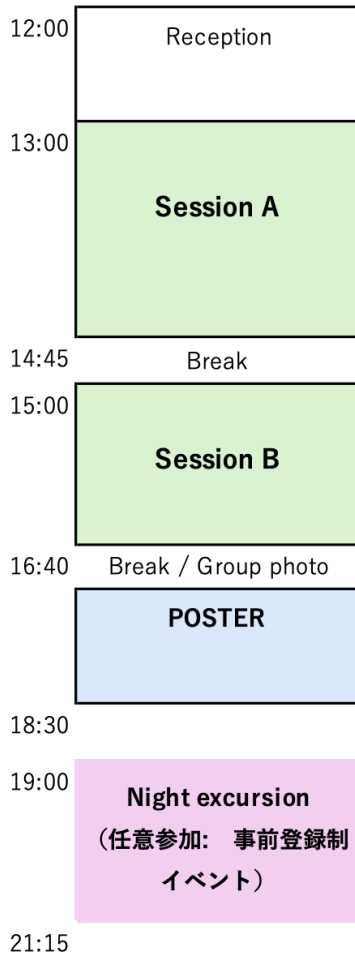
2026年(令和8年) 4月24日(金) — 4月26日(日)

イーグレ姫路 あいめっせホール / Egre Himeji Aimesse Hall

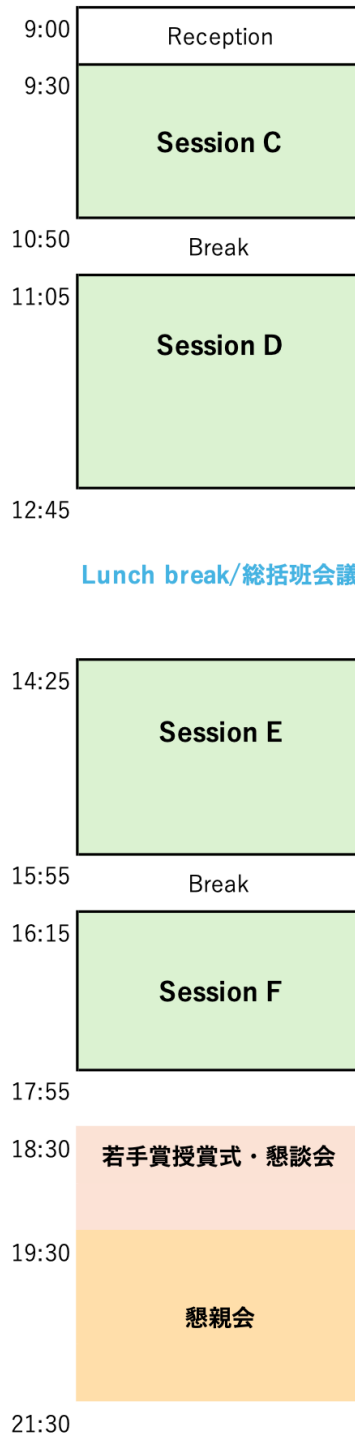


Oral Presentations

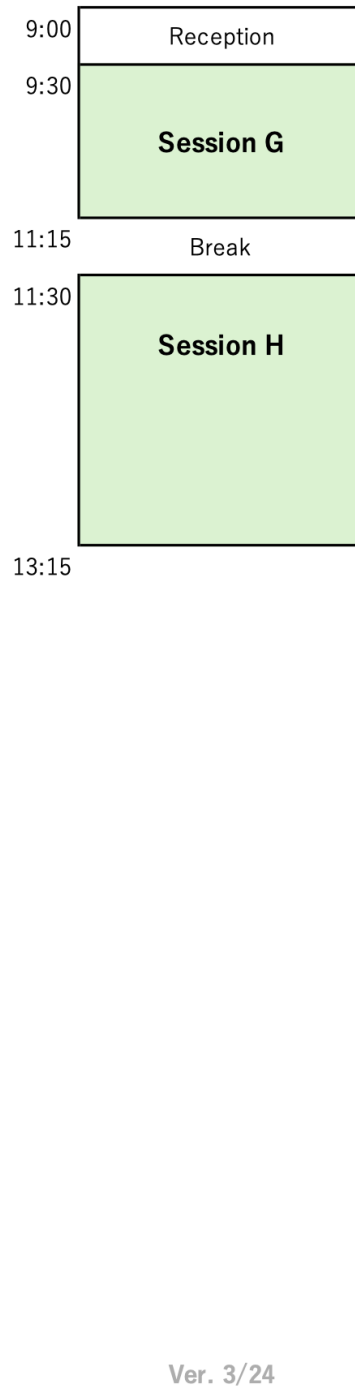
4/24 (Fri)



4/25 (Sat)



4/26 (Sun)



Ver. 3/24



学術変革領域研究(A) 23A201

1000テスラ超強磁場による化学的カタストロフィー：非摂動磁場による化学結合の科学

第7回領域会議 2026年4月24日（金） - 26日（日）

Presentation time

Oral : **15 min** (12 min + 3 min for Q&A), or **20 min** (15 min + 5 min for Q&A),

Venue : あいめっせホール (イーグレット姫路) / Aimesse Hall (Egret Himeji)

April 24th (Friday)

講演時間 (min)	Session_A	座長：笠松 (山形大)	研究項目
13:00	5 松田 康弘	東大	A01 はじめに
13:05	20 後藤 真人	京大	B01 異常高原子価酸化物における超強磁場下での磁場応答評価
13:25	20 石川 孟	東理科大	B01 MOFの三次元構造を活用した超強磁場誘起磁気相の開拓
13:45	20 近藤 雅起	東大	B01 極限的超強磁場で探るバルク分数量子ホール効果
14:05	20 亀山 亮平	東大	B01 超強磁場によるイオンホール効果の実証とキャリアダイナミクスの解明
14:25	20 金友 拓哉	東京都市大	B01 常磁性有機分子における磁場誘起構造相転移の研究
14:45			

Break

講演時間 (min)	Session_B	座長：大池 (NIMS)	研究項目
15:00	20 花咲 徳亮	阪大	B01 超強磁場を用いたフラストレート格子系物質の分子軌道の融解と物性開拓
15:20	20 巖 正輝	東大	B01 新機構に基づく磁場誘起ヤーン・テラー相転移の開拓と実証
15:40	20 山田 林介	東大	B01 1000テスラ領域の超量子極限における新奇量子相の開拓
16:00	20 呉 樹旗 (Wu Shu-Qi)	九州大	B02 Electron Delocalization Driven by Ultrahigh Magnetic Fields in Molecular Crystals
16:20	20 中埜 彰俊	名大	B01 極性電荷密度波と磁性が織りなす超スローダイナミクス
16:40			

Group Photo

Break

16:55			
	95	Poster presentation	
18:30			

19:00

Night Excursion (任意参加：事前登録制)

21:15

April 25th (Saturday)

講演時間 (min)	Session_C	座長：米澤 (京大)	研究項目
9:30	20 吉松 公平	科学大	B01 強磁場で解き明かす入相Ti3O5の相転移メカニズム
9:50	20 小島 慶太	岡山大	B01 超強磁場で迫るフラットバンド金属の実現と強磁性誘起
10:10	20 井原 慶彦	北大	B01 破壊型パルス磁場中NMR測定を利用した超強磁場誘起構造変化の観測
10:30	20 志村 恭通	広島大	B01 数100テスラの内部磁場を有する超強磁場・極低温用の核蓄冷材の開発
10:50			

Break

講演時間 (min)	Session_D	座長：徳永 (東大)	研究項目
11:05	20 須藤 健太	東大	B01 FIB微細加工を用いた量子極限グラファイトの電子状態の検証
11:25	20 楊 卓 (Yang Zhuo)	東大	B01 Cyclotron Resonance Probing of the Metal-Insulator Transition in Graphite above 100T
11:45	20 樋口 克彦	広島大	B01 「非摂動磁場を含んだ相対論的強束縛近似法」による磁場誘起相転移現象の研究
12:05	20 長田 俊人	東大	B01 平行超強磁場下の巨大な波数シフトとスピン分裂を用いた擬2次元系の電子構造解析
12:25	20 福岡 脩平	北大	B01 真性モット絶縁体に対する超強磁場効果と磁場誘起局在化転移
12:45			

Lunch Break 総括班会議

講演時間 (min)	Session_E	座長：野村 (静岡大)	研究項目
14:25	20 木村 尚次郎	東北大	A04 オケルマナイト化合物の磁場誘起非相反線二色性
14:45	15 北川 裕一	北大	A04 テトラキス型Tb-Nd混合錯体の磁気キラル共鳴型エネルギー移動に関する研究
15:00	15 若狭 雅信	埼玉大	A04 化学反応の強磁場効果
15:15	20 浜崎 亜富	信州大	B02 パルス超強磁場が分子集合体を与える非摂動的作用の総合的理解
15:35	20 井上 芳幸	芝浦工大	B03 理論と観測で解き明かすブラックホール天体の磁場
15:55			

Break

Session_F		座長：富田（芝浦工大）研究項目			
16:15	20	大和田 謙二	QST	A01	誘電体ナノ結晶の磁場効果
16:35	15	松田 康弘	東大	A01	WドープVO ₂ の磁場誘起絶縁体金属転移
16:50	15	加藤 大地	京大	A01	層状酸ハロゲン化物の結晶構造の理解；ダイマー × 自発分極の磁場制御を目指して
17:05	20	池田 暁彦	電通大	A02	100テスラX線回折によるLaCoO ₃ の強磁場スピントロニクスオーバーの解明
17:25	15	野村 肇宏	静岡大	A02	1000テスラファラデー回転法によるスキルミオン誘電体における5重項凝縮の観測
17:40	15	米澤 進吾	京大	A02	超強磁場における磁気光学カー回転法の開拓
17:55					
18:30					
<i>Poster award ceremony</i>					
19:30					
<i>Banquet</i>					
21:30					

April 26th (Sunday)

Session_G		座長：池田（電通大）研究項目			
9:30	20	徳永 将史	東大	A03	バンド電子によるカラストロフィーに向けた取り組みの現状
9:50	15	秋葉 和人	岩手大	A03	磁場中・圧力下の黒リンにおける励起子絶縁体相実現の可能性
10:05	15	山田 暉馨	神戸大	A03	三回対称性を持つプレナーホール効果の古典論
10:20	20	稲田 聡明	東大	A05	物性系でのアクション探索
10:40	15	森田 太智	九州大	A05	プラズマにおける磁場効果
10:55	20	牧島一夫(A)、伏屋雄紀(B)	東大(A)、神戸大(B)	A05/B03, A03	磁気白色矮星のもつ1000テスラ磁場の物性物理学的な解釈
11:15					
<i>Break</i>					
Session_H		座長：木村（東北大）研究項目			
11:30	20	岡 隆史	東大	A06	波動駆動された磁場中量子ホール状態の理論
11:50	15	笠松 秀輔	山形大	A06	TBA
12:05	20	片山 尚幸	岡山大	B01	非摂動磁場によるランダム分子の制御とX線吸収分光法による観測
12:25	20	久保田 雄也	東大	B01	XFEL分光法を用いた超強磁場誘起量子相の解明
12:45	20	打田 正輝	科学大	B01	非摂動強磁場下における異常ホール効果の解明
13:05	5	TBA			講評
13:10	5	松田 康弘	東大	A01	おわりに
13:15					

異常高原子価酸化物における超強磁場下での磁場応答評価

^A京大化研

後藤 真人^A、飯星 眞^A、Kunlang Ji^A、島川 祐一^A

Fe^{4+} や Ni^{3+} などの異常高原子価イオンを含む酸化物は、新物性を開拓する上で極めて重要なプラットフォームである。これらの系では、遷移金属の $3d$ 軌道と酸素の $2p$ 軌道間の強い混成により、酸素側にホールが導入されたリガンドホール(d^{L})状態が安定化されていると考えられている。こうした物理の典型例が、共に Fe^{4+} を含む SrFeO_3 と CaFeO_3 である。立方晶構造の SrFeO_3 は、リガンドホールの非局在性に起因する金属伝導性と螺旋磁性を示す^[1]。一方で、斜方晶構造の CaFeO_3 は、温度低下に伴い異常高原子価状態の不安定性を解消するように、単斜晶歪みを伴って電荷不均化[$2\text{Fe}^{4+}(d^{\text{L}}) \rightarrow \text{Fe}^{3+}(d) + \text{Fe}^{5+}(d^{\text{L}^2})$] (リガンドホールの局在化)を示し、同時に金属から絶縁体へと変化する^[2]。これらの挙動は、リガンドホールが電荷・スピン・格子の自由度と密接に結合していることを象徴しており、特異な物理現象を引き起こす源泉となっている。

我々は、結晶構造等の制御により、高原子価状態の不安定性に起因した、新規な電荷転移の探索を進めている。中でも、 $\text{Fe}^{3.75+}$ イオンを含む A サイト4重ペロブスカイト $A\text{Cu}_3\text{Fe}_4\text{O}_{12}$ ($A = \text{La-Gd}$)は、温度低下に伴い Cu イオンとのサイト間電荷転移[$4\text{Fe}^{3.75+}(d^{\text{L}^{0.75}}) + 3\text{Cu}^{2+}(d^{\text{L}}) \rightarrow 4\text{Fe}^{3+}(d^{\text{L}}) + 3\text{Cu}^{3+}(d^{\text{L}})$]を示すとともに、金属・絶縁体転移、常磁性・反強磁性転移、負の格子熱膨張も同時に生じる^[3]。また、最近発見した A サイト層状ダブルペロブスカイト $R\text{BaFe}^{3.5+}_2\text{O}_6$ では、異常高原子価 Fe 系において初めて逐次的な電荷不均化転移($\text{Fe}^{3.5+}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+}\text{Fe}^{4+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}_{1.5}\text{Fe}^{5+}_{0.5}$)を示すことを見出した^[4]。さらに、中間状態では、 Fe^{3+} のみが磁気秩序し小さな自発磁化を生じさせること、低温相では全ての Fe イオンが磁気秩序し反強磁性へと転移することも分かっている(図1)。

このように、異常高原子価系において電荷転移温度以下では絶縁体で反強磁性秩序を示すものが多いことから、磁場印加による絶縁体・金属絶縁体転移や価数転移の発現が期待できる。また、超強磁場下において、異常高原子価イオンの $3d$ 軌道と酸素の $2p$ 軌道の軌道混成状態が安定化されるかは定かではないので、無磁場下とは異なる新規な異常高原子価状態の実現もあり得る。そこで本研究では、上述の電荷転移を示す物質を中心に、超強磁場下での磁化や電気抵抗等の応答評価に取り組む予定である。

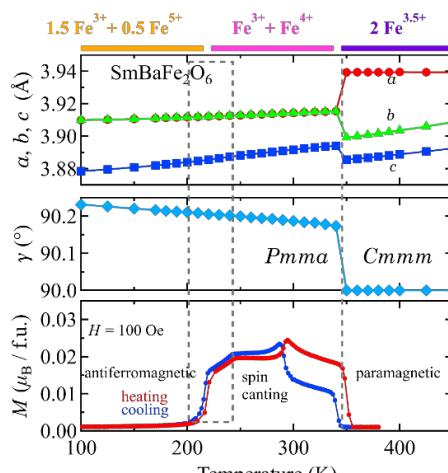


図1. $R\text{BaFe}^{3.5+}_2\text{O}_6$ ($R = \text{Sm}$)の逐次電荷相転移に伴う物性変化。

[1] S. Ishiwata *et al.*, PRB, **101**, 134406 (2020).

[2] Y. Takeda *et al.*, Mater. Res. Bull., **113**, 661 (1978).

[3] Y. Kosugi, *et. al.*, Adv. Funct. Mater. **31**, 2009476. (2021).など

[4] M. Iihoshi, *et. al.*, J. Amer. Chem. Soc. **145**, 10756. (2023).など

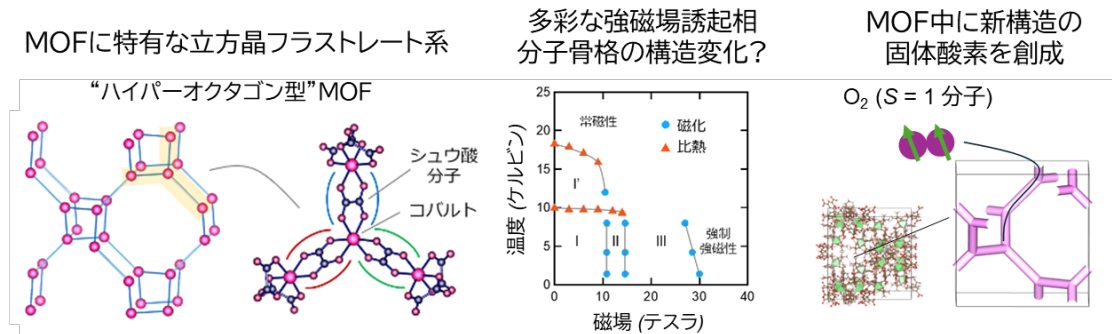
MOF の三次元構造を活用した超強磁場誘起磁気相の開拓

東京理科大学

石川 孟

MOF (Metal-organic framework)は、金属イオンが有機配位子によって架橋されたネットワークを組む物質で、空孔へのガス吸蔵材料や化学反応場としての活用が注目を集めてきた[1]。近年では物性物理分野において、超伝導や量子磁性を示す、いわゆる量子物質研究の舞台として注目され始めている。強磁場物理分野においても古くから研究されており、磁性分子である酸素を MOF に吸着させ、強磁場印加により磁性と共に酸素の配向が変化することが提案されている[3]。

最近我々は MOF において磁性遷移金属が三次元ハニカム格子の一種であるジャイロイド(ハイパーオクタゴン)とよばれる特徴的な立方晶のカイラル構造を実現することに着目し、フラストレート磁性[4]や圧電性[5]を発見した。これは、MOF が特徴的な三次元構造を舞台とした磁性や構造物性研究の舞台であることを示している。さらに、MOF の中にはジャイロイド型の空孔[6]をもつものもあり、過去に行われた空孔に吸着した酸素の磁性研究を、様々な三次元構造に拡張できる可能性がある。これらの MOF と近年の開発された様々な強磁場測定技術を組み合わせ、強磁場誘起相を探索する研究について提案する。



左：シュウ酸を配位子とする MOF において実現するハイパーオクタゴン(ジャイロイド)構造 中央：Co²⁺イオンのジャイロイド構造をもつ MOF の温度磁場相図 右：ジャイロイド型の空孔をもつ MOF の結晶構造

[1] <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/popular-information/>

[2] N. Drichko et al., npj Quantum Materials, 11, 24 (2026).

[3] A. Hori et al., J. Phys. Soc. Jpn. 82, 084703 (2013).

[4] H. Ishikawa et al., Phys. Rev. Lett. 132, 156702 (2024).

[5] S. Kitou, H. Ishikawa et al., J. Am. Chem. Soc., 147, 13642 (2025).

[6] D. Bradshaw et al., J. Am. Chem. Soc., 126, 6106 (2004).

極限的超強磁場で探るバルク分数量子ホール効果

東大物性研

近藤 雅起

磁場中の金属や半導体では、電流に垂直な方向に、磁場に比例して電圧が生じるホール効果が現れる。一方、半導体界面の高移動度二次元電子系では、低温・強磁場下でプラトー構造を示す量子ホール効果が観測される。プラトーにおけるホール抵抗値は、プランク定数と電気素量、および充填因子 ν によって厳密に定まる。典型的に ν は整数でありフェルミ準位以下のランダウ準位数に対応するが、電子相関が強い場合には ν が分数となる分数量子ホール効果が現れうる。これは整数量子ホール状態とは本質的に異なる多体量子相であり、近年は量子情報の観点からも注目されている。

量子ホール効果の研究は、電界効果によるフェルミ準位制御の容易さや清浄な伝導面を実現しやすいことから、整数・分数を問わずこれまで二次元電子系が主流であった。これに対し2020年、酒井らによってBaMnSb₂バルク単結晶における整数量子ホール効果が強磁場下で観測された[1]。この物質は、高移動度ディラック電子が伝導するSbジグザグ鎖層と高絶縁性の磁性層が交互に積層した構造をもち[図1(a)]、多層化した高移動度二次元電子系と見なせる。このような系で電子相関が支配的になれば、バルク結晶であっても分数量子ホール効果が発現するのではないだろうか。そこで本研究では、全ての電子が最終ランダウ準位に収容された量子極限状態に、さらに強磁場を印加することで到達できる超量子極限状態に着目した。ここではサイクロトロン半径が著しく縮小するため電子相関の相対的な増大が期待でき、電界制御が使えないバルク試料であっても分数量子ホール状態を創出できる可能性がある。本研究ではBaMnSb₂単結晶に極限的超強磁場を印加し、バルク結晶における分数量子ホール効果の実現可能性を追求する。

これまでに予備測定として、一巻きコイル法によるBaMnSb₂単結晶のRF伝導測定を行い、95 Tまでのショットで磁場中に振動するRF信号を得た[図1(b)]。振動ピークは、非破壊型マグネットでも55 Tまで測定した層間伝導率 σ_{zz} の振動と一致した[図1(c)]。層間伝導率のピークはランダウ準位を反映しているため、RF信号の振動も量子ホール状態を反映した構造と考えられる。さらに80 T近傍にはブロードなピーク状構造も観測された[図1(c)の▽印]。分数量子ホール状態に由来するものか現時点では不明だが、少なくとも整数量子ホール状態は破壊型マグネットでも検出可能であることが示された。今後はバルク試料である特徴を活かし、RF測定に加え超音波測定などの様々な測定手法を組み合わせ、超強磁場中での分数量子ホール状態の検出を目指す。

[1] H. Sakai *et al.*, Phys. Rev. B **101**, 081104 (R) (2020).

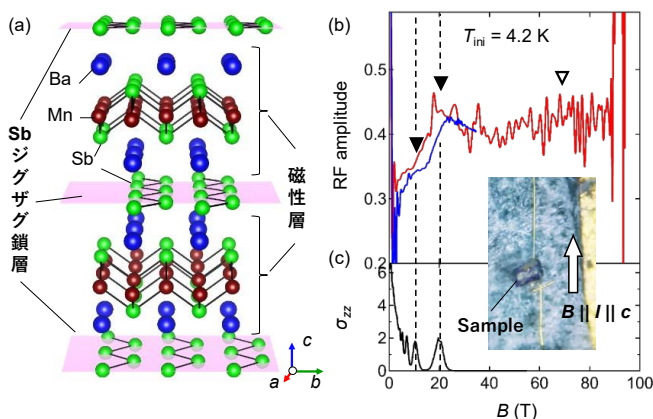


図1: (a) BaMnSb₂の結晶構造。(b) 一巻きコイル法で測定したBaMnSb₂のRF信号の磁場依存性。(c) 非破壊型マグネットでも測定したBaMnSb₂の層間伝導率 σ_{zz}

超強磁場によるイオンホール効果の実証と

キャリアダイナミクスの解明

東大新領域

亀山 亮平、今城 周作

固体中を移動するイオンは、全固体電池や各種センサーの動作を支える基盤的担体であり、その輸送特性の理解と制御は、関連デバイスの高性能化に直結する重要課題である。ところが現状では、イオン輸送の評価は主として伝導率 $\sigma = nq\mu$ の測定に依拠しており、輸送を担うイオン数 n と移動度 μ を分離して捉える普遍的な手法は確立していない。そのため、材料改良や劣化に伴う性能変化が、「実際に動けるイオン数」と「1個あたりの動きやすさ」の変化どちらに由来するかを直接判別することは難しい。固体中の電子系では、ホール効果測定はキャリア数と移動度を分離する標準的手法にとどまらず、輸送がバンド的かホッピング的か、担体が非局在的か局在的かを見極めるうえで本質的な役割を果たしてきた。これに対し、固体中イオン輸送ではホール応答の実証が極めて限られており¹、輸送担体の実効像に立ち返った議論が成立していない。通常イオン輸送は重い粒子の古典的・非干渉的ホッピングとして理解されるが、その描像がどこまで妥当であるかは必ずしも明らかでない。

本研究では、100 テスラ級超強磁場と近年開発された高周波 RF 測定技術³を融合し、固体中イオン輸送におけるホール応答の検出と実証に挑む(図1)。磁場中の横応答からは、輸送を担うイオンの実効キャリア像に直接迫ることができる。通常条件では極めて微弱な横応答を、超強磁場によって検出可能な水準へと引き上げ、パルス強磁場下 RF 計測によって高感度に読み出すことで、イオン輸送に対してホール測定という新たな評価軸を導入する。これにより輸送へ実際に寄与するイオンの実効キャリア像に迫るとともに、古典的独立ホッピング像を超えて、相関・協同性・量子的側面を含む新たな輸送描像の構築を目指す。

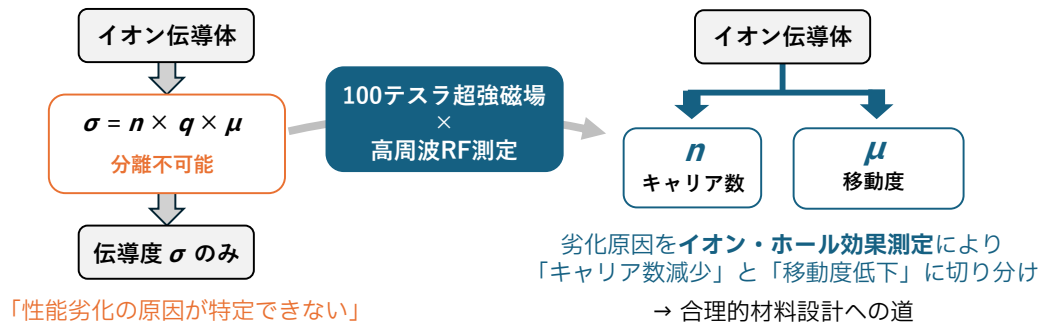


図1. 超強磁場・高周波 RF 測定を用いたイオン伝導率の分離評価概念図

- [1] C. H. J. Stuhmann, *Solid State Ionics* 154–155, 109–112 (2002).
[2] P. Chiu, Y. Ishii, Y. H. Matsuda *J. Appl. Phys.* 137, 155903 (2025).

常磁性有機分子における磁場誘起構造相転移の研究

東京都市大学

金友 拓哉

常磁性有機分子において、ニトロキシド (NO) は室温空気下で安定に存在し、有機化学的な合成手法も確立された代表的な化合物群である。ニトロキシドの興味深い特徴として、分子間で NO 基同士が近接し、 π^* 軌道の重なりを介して共有結合性の 2 量体を形成が挙げられる。例えば、 $(CF_3)_2NO$ の $CFCl_3$ 溶液では、色調と ESR シグナルの変化より、室温から低温への冷却に伴い単量体から 2 量体への遷移が確認されている [1]。また、2-azaadamantane-*N*-oxyl (AZADO) およびその誘導体は固相にて、単量体-2 量体間の遷移に関連するスピン転移を伴う構造相転移が観測されている [2,3]。これまでニトロキシド 2 量体を利用した相転移現象は熱や圧力を外場として研究されてきたが、磁場を外場とした研究例は報告されていない。

本研究では、ニトロキシド 2 量体の基底 1 重項状態と励起 3 重項状態の準位交差に着目し、強磁場によって共有結合の切断が誘起できるかを検証する (図 1)。本領域では酸素分子ダイマーにおいて、強磁場により π^* 軌道の重なりが減少する方向への相転移が既に報告されている [4]。この 2 原子分子で観測された現象を多原子分子であるニトロキシドへ拡張できれば、磁場誘起相転移現象の研究対象の拡大が期待される。さらに、急速な磁場掃引によって励起 3 重項種をゼロ磁場下で捕捉することも目指したい。

有機分子は構造の多様性が魅力であり、1 つの分子内に複数のニトロキシド基を導入できる。これにより、2 量化に関与する会合サイト数を分子設計によって制御できる [5]。こうした設計指針を用いることで、2 量化を介した 2 次元、3 次元の高次構造へ展開し、分子構造の次元性が磁場誘起相転移現象に及ぼす影響についても検討する。

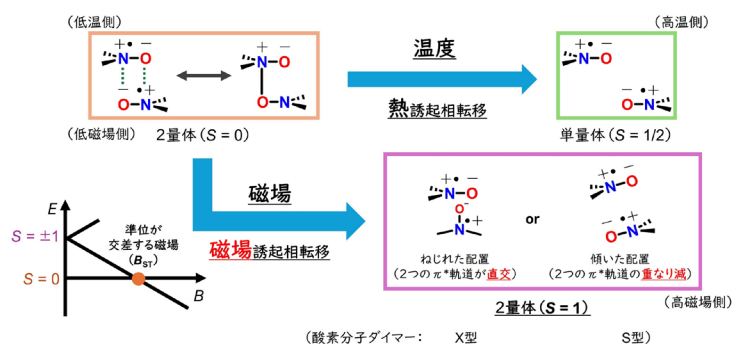


図 1. ニトロキシド二量体における熱/磁場誘起相転移の概念図

- [1] W. D. Blackley et al., *J. Am. Chem. Soc.* 87, 802 (1965). [2] S. Matsumoto et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* 50, 10879 (2011). [3] A. Dragulescu-Andrasi et al., *J. Am. Chem. Soc.* 141, 17989 (2019). [4] T. Nomura et al., *Phys. Rev. Lett.* 112, 247201 (2014). [5] H. Nishimaki et al., *J. Am. Chem. Soc.* 132, 9598 (2010).

超強磁場を用いたフラストレート格子系物質の 分子軌道の融解と物性開拓

^A 阪大理、^B 東大物性研、^C 東北大金研

花咲 徳亮^A、松林 龍^A、松田 康弘^B、P.Chiu^B、林 浩章^B、近藤 雅起^B、
徳永 将史^B、酒井 英明^C

原子間の結合によって多くの物質が形作られているが、その最も基本的なものとして、共有結合による分子の形成が挙げられる。遷移金属酸化物のような固体内でも“分子”を形成するものがある。近年の超強磁場技術の進歩により、多量体を形成する非磁性絶縁状態を磁場で金属状態に転移させたり、非磁性強誘電状態を磁場で制御する研究が報告されている [1,2]。もし磁場によって“分子軌道”の結晶を融解させる事ができたら、分子軌道がランダムに配置したり共鳴的な状態になるであろうか。フラストレート格子では、この“分子”の配置の仕方について多くの様々な状態を取りえるため、磁場など外場による影響を受けやすいと考えられる。そこで、本研究では、フラストレート格子系の遷移金属化合物に着目して研究を進めていきたい。パイロクロア型酸化物 $\text{Cd}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ は、 $T_c=204\text{K}$ で Nb の原子変位を伴う構造相転移を起こすが[3]、 $T_0\sim 180\text{K}$ 付近で誘電率がピークを示し、その値は $\epsilon\sim 5000$ 程度と高い値を持つ。このピークは周波数依存性が大きい事から、リラクサー的な特徴を持つ非磁性の強誘電体である[4]。この強誘電性の原因として、理論計算から Nb と酸素の間の結合性軌道の形成が示唆されており [5]、X 線散漫散乱からは、この Nb 変位が 2in-2out 的であるとされている[3]。超強磁場下で測定した $\text{Cd}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ の誘電率を図 1(a)に示す。155K 以下の温度領域において、磁場による誘電率の増加が観測された。また、170K など誘電率ピークに近い温度では、磁場による誘電率の減少も見られた (図 1(c))。これは誘電率のピーク温度 T_0 が磁場によって低温側にシフトしている事を示唆している。一方、超音波測定では、構造相転移温度 T_c 近傍における弾性定数のソフト化は、磁場による影響が小さい事が分かった。今後、元素置換を施して強誘電状態の安定性を下げる事で [6]、強誘電状態を超強磁場で完全に抑制する事を目指したい。

[1] Y.H.Matsuda et al., Nat.Commun.**11**, 3591 (2020).

[2] P.Chiu et al., J.Appl.Phys.**137**, 155903 (2025).

[3] T.Malcherek, J.Appl.Cryst. **44**, 585 (2011).

[4] M.Tachibana et al., Phys.Rev.B **70**, 064103 (2004).

[5] M.Fisher et al., Phys.Rev.B **78**, 014108 (2008).

[6] M.A.Subramanian et al., Prog.Solid St.Chem. **15**, 44 (1983).

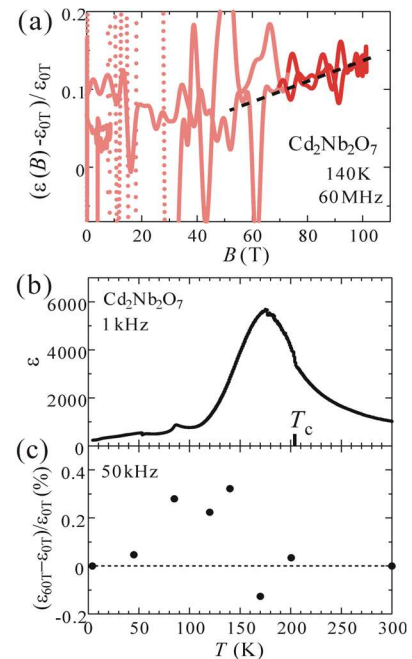


図1. $\text{Cd}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ の誘電率
(a) 誘電率に対する超強磁場効果 (b) 誘電率の温度依存性 (c) 磁場効果の温度依存性

新機構に基づく磁場誘起ヤーン・テラー相転移の開拓と実証

東大物性研

巖 正輝

ヤーン・テラー効果は、電子軌道の縮退を格子歪みにより解消する現象であり、軌道秩序や電荷秩序、超伝導など多彩な物理現象と密接に関わる。一般にこの効果は電子のスピン自由度を直接起源としないため、外部磁場の影響を受けにくいと考えられてきた。実際、スピン-軌道相互作用が弱い 3d/4d 電子系においては、磁場誘起のヤーン・テラー相転移の報告例は、私が調べた限り見当たらない。

私は、令和 6~7 年度の公募研究に参画させていただき、欠損スピネル化合物 GaNb_4Se_8 を対象にパルス超強磁場下での物性研究を推進してきた。本物質は、Nb の四面体クラスターが面心立方格子状に配列しており、室温で空間群 F-43m の立方晶構造を有する。温度を下げていくと、 $T_N = 47 \text{ K}$ で協調的ヤーン・テラー効果を起源とする空間群 $P2_13$ への立方晶-立方晶転移を起こし、さらに $T_N = 31 \text{ K}$ で直方晶空間群 $P2_12_12_1$ への構造相転移を伴う非磁性転移を起こす[1,2]。これらの中間温度相および低温相の結晶構造においては、隣接する Nb_4 クラスターが互い違いの $\langle 111 \rangle$ 軸方向に伸びた X_3 の歪みモードが支配的になっており、反極性構造とみなすことができる[3]。我々は、 GaNb_4Se_8 に対して一巻きコイル装置を用いた 170 T までの物性測定を行い、約 100 テスラにおける磁場誘起相転移を発見した。興味深いのは、低温相だけでなく中間温度相からも相転移が起きる点であり、図 1 に示すような特徴的な磁場-温度相図を示す。この結果は、 GaNb_4Se_8 の軌道自由度に対する磁場効果を示唆しており、一種の磁場誘起ヤーン・テラー相転移と見なすことができる。さらに、磁歪の異方性測定や誘電率測定の結果から、空間群 $R3m$ の極性構造への構造相転移が示唆されており、これまで報告のない磁場誘起の反極性-極性転移の可能性も期待される。そこで、本公募研究ではパルス超強磁場下での粉末 X 線回折実験と電気分極測定によって、 GaNb_4Se_8 の磁場誘起相における極性構造発現の実証を目指す。

また、別の欠損スピネル化合物 GeV_4S_8 についても約 40 T での相転移がドレスデンの強磁場グループにより報告されているが、その起源は未解明である[4]。我々は、ヤーン・テラー効果に起因する V-V ダイマーの形成、および磁場による破壊の可能性に着眼し、強磁場相の結晶構造の解明を通して磁場誘起相転移の微視的理解を目指す。

(参考文献)

- [1] H. Ishikawa *et al.*, Phys. Rev. Lett. **124**, 227202 (2020).
- [2] S. Kitou, M. Gen *et al.*, Chem. Mater. **36**, 2993 (2024).
- [3] T.-H. Yang *et al.*, Phys. Rev. B **109**, 144101 (2024).
- [4] V. Felea *et al.*, Phys. Rev. B **101**, 064413 (2020).

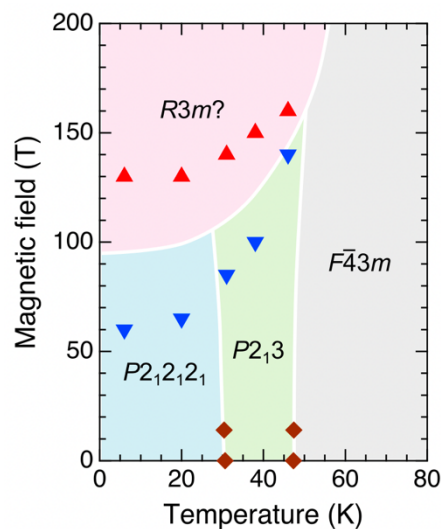


図 1: GaNb_4Se_8 の磁場-温度相図

1000 テスラ領域の超量子極限における新奇量子相の開拓

東大物工 山田林介

地上における磁場の効果は一般的に弱く、摂動的な寄与をもたらすにとどまる一方で、超量子極限と呼ばれる強磁場領域では、バンド電子に対するカタストロフィーが生じる。特に、本研究では超量子極限における次元性の変化に着目する。低磁場で三次元的な輸送特性を示す伝導電子は、量子極限において磁場に垂直な面内で磁気長程度に量子閉じ込めを受け、擬一次元状態となる。一次元系では、非フェルミ液体の代表例である朝永ラッティンジャー液体やパイエルス不安定性に由来した電荷・スピン密度波など、電子間の相互作用に起因した特徴的な量子相が発現する[1]。つまり、量子極限の擬一次元状態は、三次元系への摂動的な磁場効果だけでは到底説明できない、新奇量子相探索に格好の舞台である。

本研究では、超量子極限における新奇量子相の開拓に向けて、電磁濃縮法による超強磁場発生と極低温における高周波インピーダンス測定を組み合わせる。対象物質としては強い電子相関と非自明なバンドトポロジを兼ね備える強相関ディラック半金属 CaIrO_3 が挙げられる[2,3]。物性研究所の松田研究室で実施させていただいた予備測定により、バルクの CaIrO_3 を用いた場合には 50 T 付近の磁場領域ではエディ電流の効果により 10 K 程度の温度上昇が生じることがわかってきた。デバイス加工により発熱効果を抑制し、極低温における超量子極限における新奇量子相発現の可能性を探索する。

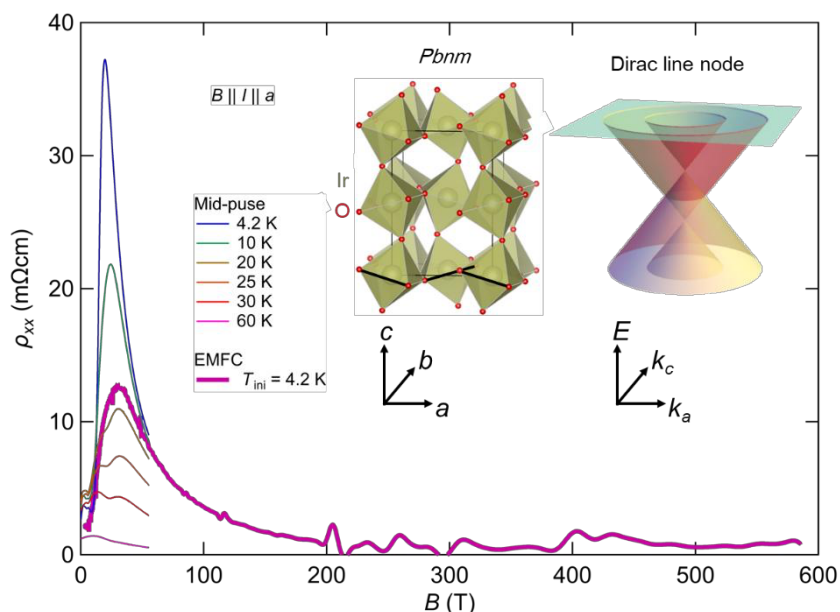


図1. 強相関ディラック半金属 CaIrO_3 の超強磁場中の磁気抵抗。パルス磁場発生により 10 K 以上の発熱効果が生じている。インセットには、 CaIrO_3 の結晶構造とフェルミ準位近傍のディラック型ラインノードを示した。

- [1] G. Grüner, Rev. Mod. Phys. 60, 1129 (1988)
- [2] J. Fujioka, R. Yamada et al., Nat. Commun. 10, 362 (2019).
- [3] R. Yamada et al., npj Quantum Mater. 7, 13 (2022).

Electron Delocalization Driven by Ultrahigh Magnetic Fields in Molecular Crystals

^AInstitute for Materials Chemistry and Engineering, Kyushu University

Shu-Qi Wu^A, Yu-Long Wei^A, Osamu Sato^A

Magnetic fields profoundly influence matter through their coupling to electron spins and orbitals. Extreme fields above 100 T open regimes of quantum behavior unattainable under ambient conditions, but most studies have focused on inorganic solids. How molecular materials respond to such fields remains largely unexplored. At the molecular level, magnetic fields can drive Zeeman-level crossings that reshape electronic distributions. In crystals, these changes in local dipoles compete with elastic interactions and may stabilize unconventional phases. Chemistry offer a decisive advantage: their electronic structures and intermolecular couplings are chemically designable, allowing systematic exploration of field–matter interactions.

In this project, we will investigate magnetic-field-induced, spin-dependent electron redistribution in molecular crystals, focusing on electron delocalization in mixed-valence complexes, where antiferromagnetic exchange suppresses charge hopping while strong fields can collapse charge localization, providing a molecular analogue of field-induced insulator–metal transitions [1]. We will employ pulsed and megagauss fields while monitoring magnetization, electric polarization, magnetostriction, and electronic spectra. These complementary probes will reveal the onset of field-driven delocalization and the emergence of exotic high-field states inaccessible thermally. Magnetic field-induced collapse in the metal–ligand covalency is also discussed in the metal–radical coupled system [2].

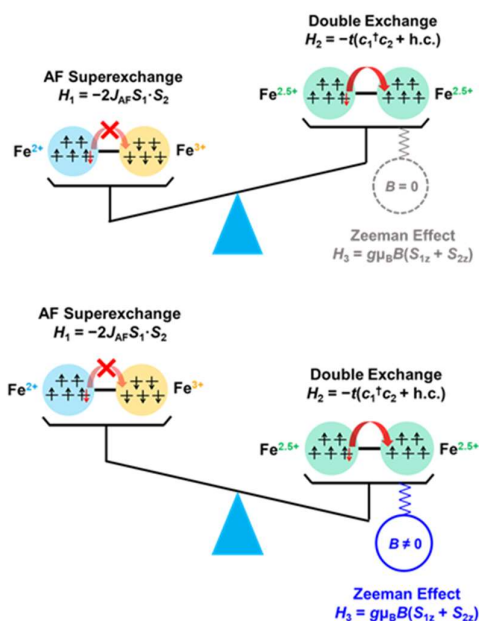


Fig. 1 Schematic illustration of competing antiferromagnetic exchange and the Anderson-Hasegawa double exchange. Magnetic fields favor the latter, stabilizing an electron-delocalized configuration.

[1] W. -H. Xu et al., *J. Am. Chem. Soc.* 147, 5051–5059 (2025).

[2] X. Zhang et al., *J. Am. Chem. Soc.* 145, 15647–15651 (2023).

極性電荷密度波と磁性が織りなす超スローダイナミクス

^A名大工応物

中埜 彰俊 ^A

低次元導体における電荷密度波(CDW)の形成は固体化学・物理の重要な問題である。希土類元素とテルルからなる二元系化合物は、磁性と CDW の共存や非自明な集団励起の観測等、新奇な物理現象の舞台として注目を集めている。このような系においては、テルル 2 次元正方格子が実空間で多量体形成を示す CDW を、希土類が磁性を担うと考えられており、それらの競合・協奏には興味を持たれる。特に、強力な外場磁場に対しては、①磁性を介した CDW の変調、②テルル多量体の結合切断、という 2 つのチャンネルでの巨大応答が期待できると考えられる。

このような観点で、本研究では希土類テルル化合物 EuTe_4 における CDW に着目した。 EuTe_4 は図 1 に示すように、EuTe 層、テルル 2 次元正方格子(single layer)、EuTe 層、テルル 2 次元正方格子(double layer)の順で積層した結晶構造をとる。本物質は Wu らによりおよそ 260 K においてテルルが極性多量体を形成することによる CDW が出現することが提案された[1]。興味深いのは、この CDW が昇温・降温過程において、報告された測定範囲内で 100 ~ 400 K に及ぶ巨大な温度履歴を持つことである。類縁物質の CDW と比べても極めて異例なこの温度履歴は、 EuTe_4 における多量体形成において、層間の位相・積層・極性秩序を含む 3 次元的な再編成に大きな障壁があることを示唆する。実際、電流通電やレーザー照射により強励起した際にも、2 状態間を遷移するような振る舞いが観測され[2]、複数のエネルギー的に安定な準安定状態が存在することが示唆される。

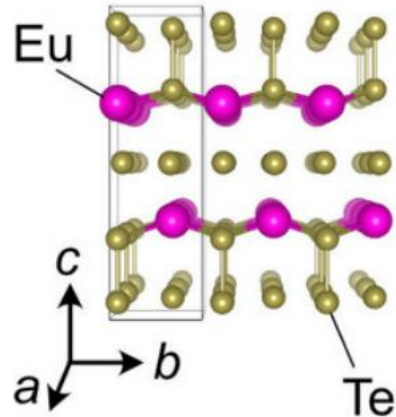


図 1 EuTe_4 の結晶構造

このような背景の下、本研究では EuTe_4 における磁場による新奇な準安定相の創出を目的として研究を進める。発表では、具体的な研究計画に加え、予備的なパルス磁場による磁気抵抗測定の結果を示し、 EuTe_4 の CDW には非自明な遅いダイナミクスが示唆されることを紹介する。

[1] D. Wu et al., PHYSICAL REVIEW MATERIALS 3,024002 (2019)

[2] Q Liu et al., Nat. Commun. 15 8937 (2024)

強磁場で解き明かす λ 相 Ti_3O_5 の相転移メカニズム

^A 東京科学大学物質理工学院

吉松 公平 ^A

酸化チタンは TiO_2 が光触媒・白色顔料・色素増感太陽電池に実用化されており、他にも様々な $\text{Ti}:\text{O}$ 組成比をもつ酸化チタンが知られている。その中で Ti_3O_5 は、光・圧力などの多彩な外場刺激で相転移を示すことから、蓄熱材料や光記録材料への応用が期待されている[1,2]。相転移には結晶多形の中で室温最安定相の β 相 ($\beta\text{-Ti}_3\text{O}_5$) と準安定相の λ 相 ($\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$) が関係し、共に単斜晶構造を持つ $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ と $\beta\text{-Ti}_3\text{O}_5$ では Ti 原子位置が一部異なっている (図 1 挿入図)。これまで準安定な $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ はナノサイズの多結晶試料しか合成できず、その物性はほとんど未解明であった。そこで我々は薄膜技術を用いて $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ の合成に取り組み、 LaAlO_3 (110) 基板上に(100)面直配向の単結晶が得られることを見出した[3]。この単結晶薄膜を測定試料とすることで $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ の電子物性が初めて観測可能となり、抵抗率の温度依存性から ~ 350 K で一桁の抵抗変化を示す金属絶縁体転移(MIT)を発見した (図 1)。この MIT は硬 X 線光電子分光測定によるフェルミ準位近傍の Ti 3d 状態のスペクトル強度の移動からも検証されている。一方で、ナノ多結晶試料の光学特性や第一原理計算から $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ は常磁性金属と考えられており、放射光 X 線回折による $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ 薄膜の構造解析からは、MIT に伴う結晶多形間の相転移は観測されず、MIT 温度を境に a 軸長の熱膨張係数の符号変化が見られている[4]。

我々がこれまで明らかにしてきた電気特性・電子分光・構造解析から、 $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ の MIT には $\text{Ti}^{3+}\text{-Ti}^{3+}$ の二量体や Ti 3d 電子による反強磁性相互作用が深く関わっていることが示唆される。そこで本公募研究では、超強磁場により二量体や反強磁性秩序を崩壊させることで相転移を制御し、相転移発現のメカニズムを明らかにすることを目的とする。強磁場下での磁気抵抗測定、線 (円) 二色性、(共鳴) 散乱の実験と密度汎関数法による電子状態計算を組み合わせ、 $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ が示す多彩な相転移の姿を明らかにしていく。

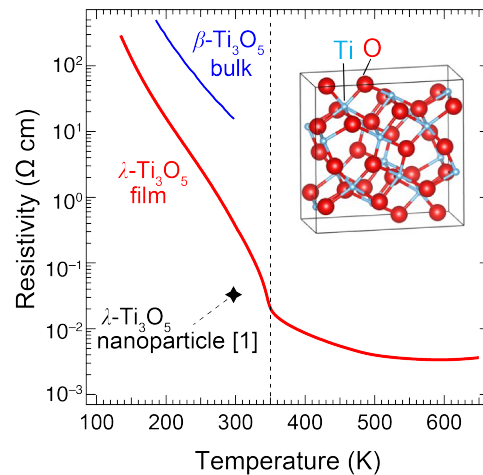


図 1. $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ 薄膜の抵抗率の温度依存性。抵抗率曲線のキックが ~ 350 K に見られ金属絶縁体転移が発現していることがわかる。挿入図は $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ の結晶構造。

[1] S. Ohkoshi *et al.*, *Nature Chem.* 2, 593 (2010).

[2] Y. Tokoro *et al.*, *Nature Commun.* 6, 7037 (2015).

[3] K. Yoshimatsu *et al.*, *Cryst. Growth Des.* 22, 703 (2022).

[4] K. Yoshimatsu *et al.*, *Phys. Rev. Mater.* 8, 035002 (2024).

超強磁場で迫るフラットバンド金属の実現と強磁性誘起

岡山大学 環境生命自然科学学域

小島 慶太

フラットバンドは電子の運動エネルギーを著しく抑制し、電子相関を極端に増幅する舞台として注目されている。とくにフェルミ準位近傍にフラットバンドが存在する場合、わずかな相互作用や外場によって多彩な電子相が発現しうるため、フラットバンド金属とその不安定性の解明は、強相関電子系における重要課題の一つである。なかでも強磁性は、フラットバンドがもたらす高い状態密度を背景として理論的に期待される[1]代表的な現象であるが、実物質においては格子歪み、軌道自由度、電子格子相互作用などが競合し、理想的なフラットバンド金属状態の実現は容易ではない。

本研究では、**breathing pyrochlore** 格子をもつ **NbSeI** に着目する。**NbSeI** は、A サイトが完全に欠損した混合アニオンのスピネル型構造 ($\square B_2X_2X_2$) として理解することができる。**Se** と **I** のイオン半径差を反映して **NbSe₃I₃** 八面体中心 から **Nb** の自発的変位が生じ、結果として **Nb₄** 四面体クラスターを形成する[2,3]。第一原理計算からは、**breathing pyrochlore** 格子の対称性に起因して、フェルミ準位近傍にフラットバンド金属的なバンド分散が現れることが示されている。一方で、実験的には本物質は **106 K** の相転移の前後でいずれも非磁性絶縁体的振る舞いを示す。相転移前後の結晶構造研究からは、相転移温度以下では長距離秩序を伴う軌道秩序によるバンドギャップ形成が、相転移温度以上では局所的な低対称化によるギャップ形成が生じており、軌道自由度と格子の絡み合いに由来する低対称化が、フラットバンド金属状態の発現を阻む本質的要因であると考えている[4]。

こうした系において、超強磁場は絶縁体ギャップを外場で直接揺さぶり、潜在的に埋もれた金属状態を露出させる有力な手段となる。本研究では、**NbSeI** に対する超強磁場下実験を通じて、抑制された金属状態を引き出すことを目指す。さらに、純粋 **NbSeI** に加えて **Mo** 微量置換によるギャップ縮小も組み合わせることで、磁場誘起金属化の臨界条件を系統的に追究する。これにより、フラットバンド不安定性を規定するエネルギースケールを定量化するとともに、最終的には高状態密度を背景とした強磁性誘起の可能性に迫る。超強磁場科学を通じて、実在物質におけるフラットバンド物性の実現条件を明らかにすることが本研究の目的である。

[1] E.C. Stoner, Proc. R. Soc. London Ser. A **165**, 372 (1938).

[2] V.E. Fedorov *et al.*, Zh. Neorg. Khim. **26**, 2701 (1981).

[3] H. B. Yaich *et al.*, J. Less-Common Met. **102**, 9 (1984).

[4] K. Kojima *et al.*, arXiv:2601.05562

破壊型パルス磁場中 NMR 測定を利用した 超強磁場誘起構造変化の観測

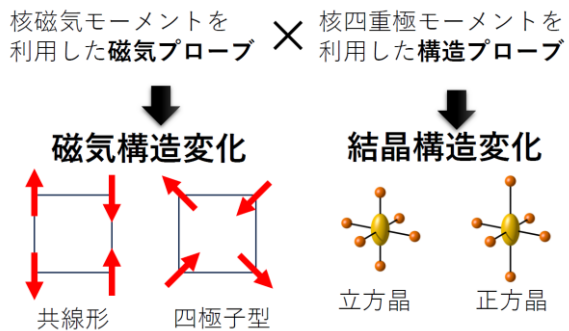
北大院理
井原 慶彦

極限的超強磁場中では、通常環境では実現し得ない物質の状態が実現する可能性があり興味深い。特に、破壊型パルス磁場を用いて発生される 100 テスラ超の磁場領域では、ゼロ磁場状態とは異なる結晶構造が実現する場合があります、物性理解の基本となる結晶の対称性から明らかにしていく必要がある。コイルの破壊を伴う磁場発生法が必要になる超強磁場中では利用できる測定手法に制限が課されるが、それでもなお超強磁場中でミクロな結晶の対称性を観測する手段として、破壊型パルス磁場中での X 線構造解析が実現している[1]。本研究では、結晶構造の対称性に加えて、磁気構造に関する情報も引き出すことができる NMR 測定を破壊型パルス磁場中で実現し、これを用いた磁場誘起相の磁気構造および結晶構造を明らかにすることを旨とする。

物質を構成する元素が持つ核磁気モーメントをミクロな磁気的プローブとして利用する NMR 測定では、磁気秩序状態中で秩序モーメントが原子核位置に作る内部磁場を観測することで磁気構造の対称性を明らかにすることができる(図1左)。これに加えて、核スピン $I > 1$ の原子核が持つ電気四重極モーメントを利用すると、原子核位置の局所的な結晶対称性も明らかにできる(図1右)。パルス強磁場中で NMR スペクトルを測定できれば、結晶構造・磁気構造をともに調べることが可能となり、強磁場誘起状態を解明するうえで非常に強力なプローブとなり得る。

しかし、磁場発生時間が限られており、超高速で磁場が掃引される破壊型パルス磁場中で NMR スペクトルを測定することは難易度が高い。これまでに比較的磁場発生時間が長いパルス磁場中では NMR 測定ができるようになっており、物性測定への応用も進んでいるが[2]、さらに短時間での測定を実現するには測定方式の根本的な見直しが必要であった。本研究では、電気四重極相互作用を利用したゼロ磁場での核磁化分極により、短い磁場発生時間中での NMR 信号観測方法を開発する。NMR 測定に必要な安定でノイズに強い検出系は、他の物性測定にも応用可能であるため、領域内での測定技術交流にも貢献したい。

超強磁場中NMR測定



超強磁場中で現れるミクロな構造変化を検出

[1] A. Ikeda, et al., *Appl. Phys. Lett.* **120**, 142402 (2022).

[2] Y. Ihara, et al., *Phys. Rev. B* **112**, 094405 (2025).

図1. 磁気構造と結晶構造をプローブするパルス磁場中 NMR 測定の概略図。

数 100 テスラの内部磁場を有する 超強磁場・極低温用の核蓄冷材の開発

広島大学 大学院先進理工系科学研究科

志村 恭通

100 テスラを超える超強磁場下において、1 K を下回る極低温では、電子スピンの比熱はゼーマン分裂によりすべて失われるため、実用的な蓄冷材は存在しない。一方、Pr などの希土類の原子核スピンの磁気秩序した 4f 電子の磁気モーメントから発する静的な内部磁場を感じる時、0.1 K 付近で通常金属の電子比熱の数 1000 倍の大きさの増強核比熱が観測されることがある。核スピンの感じる内部磁場は 100 テスラを超えることもあるため、たとえ超強磁場を加えても核比熱は愚鈍であり、蓄冷材として機能するはずである。

本研究では、希土類元素の中でも特に核スピンの 4f 電子間の超微細相互作用が強い Pr や Ho を含む様々な磁性体を合成して、1 K 以下の極低温比熱を測定する。そして核スピンの感じる内部磁場の最大化を目指す。内部磁場は、磁気秩序した 4f 電子の磁気モーメントが大きいくほど強くなり、核比熱はより高温から明確に観測される。しかし、Gd と Eu を除くほぼすべての希土類は軌道角運動量 J が良い量子数となるため、4f 電子が結晶電場を受け、 J 多重項が分裂し、磁気モーメントも縮んでしまう。

ここで、結晶電場のエネルギーは室温程度であることが多いことから、数 100 K で磁気秩序を示す磁性体であれば、結晶電場効果に負けずに、秩序モーメントの収縮を避けられると着想した。そこで 100 K 以上の高温で磁気秩序を示す磁性体をねらう。

一方、核比熱の観測には 1 K 以下の低温が必要であり、 ^3He を用いた最低温度 0.4 K 程度の冷凍機でも核比熱の“裾”の観測はできるものの、より低い温度での測定が望ましい。しかし様々な試料に対して、希釈冷凍機を稼働させるのは容易でない。私は約 50 g の金属磁気冷凍材料 YbCu_4Ni [1,2] が搭載された、汎用物性測定装置 PPMS に取り付け可能な冷却セルを製作した。そして、冷却セルの上に乗せた熱量計を用いて準断熱法により比熱を測定する。これを用いると、ほぼ全自動かつ 1 日半程度で最低温度 0.2 K 弱の比熱測定が可能となり、極低温冷凍機を使った測定をせずとも、たくさんの磁性体に対して簡易的に核比熱の評価ができる。

研究の後半には、こうして開発した“核”蓄冷材が、実際に 1 K 以下の極低温かつパルス強磁場下で蓄冷性能を発揮するかの実証を目指す。本研究により開発された核蓄冷材は、超強磁場と極低温を組み合わせた極限環境での計測技術の開拓につながると期待している。

[1] Y. Shimura: JSAP Rev. **2025**, 250208 (2025).

[2] Y. Shimura *et al.*, J. Appl. Phys. **131**, 013903 (2022).

FIB 微細加工を用いた量子極限グラファイトの電子状態の検証

^A 東大物性研、^B 岩手大理工

須藤 健太^A、秋葉 和人^B、徳永 将史^A

グラファイトは、炭素原子が蜂の巣格子状に並んだグラフェン層が積層した半金属である。低いキャリア密度に起因して、約 10 T 程度の比較的低い磁場ですべてのキャリアが最低ランダウ準位に収束する量子極限状態に到達する。この特異な性質により、グラファイトは強磁場下における量子極限電子系の研究対象として注目されてきた。量子極限を超える磁場領域では、複数の絶縁相の出現が報告されており[1]、その起源は、擬一次元化した電子状態におけるフェルミ面ネスティングに起因する密度波転移として理論的に説明されている[2]。

このような密度波状態が実現している場合、非線形伝導やナローバンドノイズ(NBN)の発現が期待される。実際に、30 T 以上の絶縁相において非線形伝導が観測されており[3]、密度波形成を支持する結果が得られている。一方で、電子・正孔対形成に起因する励起子絶縁体状態とする別の解釈も提案されている[4]。さらに、より高磁場側の絶縁相では非線形伝導の報告はなく、その微視的起源は未解明である。

これまでの実験における大きな課題の一つは、グラファイト特有の結晶形状に起因する電流方向の制御の困難さである。従来の輸送測定は多くはバルク測定に限られており、電流分布の不均一性や面内成分と *c* 軸成分の混在が、定量的解析の妨げとなってきた。本研究では、集束イオンビーム (FIB) 微細加工を用いて、*c* 軸方向の電流を精密に制御可能なデバイスを作製することで、この問題を克服する。これにより、面内寄与を排除した四端子法による *c* 軸輸送測定を実現する。さらに、この手法をパルス強磁場領域へ拡張することで、量子極限状態における複数の絶縁相の電子状態の解明を目指す。

[1] Z. Zhu et al., Phys. Rev. X **9**, 011058 (2019).

[2] D. Yoshioka and H. Fukuyama, J. Phys. Soc. Jpn. **50**, 725 (1981).

[3] H. Yaguchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **68**, 1 (1999).

[4] Z. Zhu et al., Sci. Rep. **7**, 1733 (2017)

Cyclotron Resonance Probing of the Metal-Insulator Transition in Graphite above 100T

^AISSP, University of Tokyo、^BLNCMI-CNRS

Zhuo Yang^A、Oleksiy Drachenko^B、Bei Sun^A、Oliver Portugall^B、Atsuhiko Miyata^A

Graphite is a benchmark semimetal system for studying field-induced electronic instabilities. Despite decades of research, a significant controversy persists regarding its high-field ground state—specifically, the magnetic field at which the final two Landau sublevels depopulate, marking the definitive metal-insulator transition. Previous transport studies have yielded conflicting results, with predictions for the transition ranging from 75 T to over 240 T [1-4].

This project aims to resolve this debate using cyclotron resonance (CR). In this study, we plan employ a custom-developed far-infrared cyclotron resonance (CR) setup combined with non-destructive and destructive pulsed magnets (up to 1200 T). By monitoring the CR transmission signals of the transition from the electron sublevel ($n_e = 0 \uparrow$) to ($n_e = 1 \downarrow$), we can directly track the depopulation of the final Landau sublevels to pinpoint the metal-insulator transition field. This research will provide the first direct experimental evidence for the depopulation field of graphite and establish a benchmark for understanding quantum instabilities in 3D semimetals.

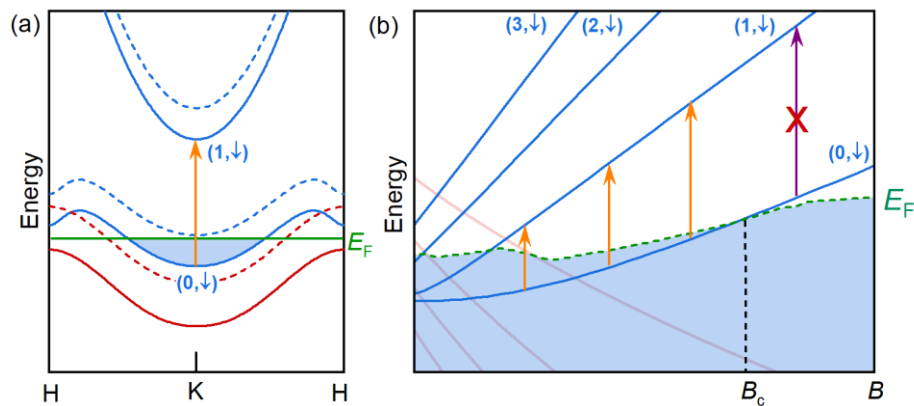


Figure 1 Schematic view of the cyclotron resonance transitions in graphite

- [1] F. Arnold et al., Physical Review Letters 119, 136601 (2017)
- [2] Z. Zhu et al., Physical Review X 9, 011058 (2019)
- [3] B. Fauque et al., Physical Review Letters 110, 266601 (2013)
- [4] Y. Shimamoto et al., Journal of Physics: Condensed Matter 10, 11289 (1998)

「非摂動磁場を含んだ相対論的強束縛近似法」による 磁場誘起相転移現象の研究

^A 広島大学、^B 信州大学

樋口克彦^A、樋口雅彦 (研究協力者)^B

我々のグループでは、磁場が印加された固体の電子状態を第一原理的に計算する手法である「非摂動磁場を含んだ相対論的強束縛近似法(nonperturbative Magnetic-field-containing relativistic tight-binding approximation method、以下、非摂動 MFRTB 法)」の開発を進めている[1-4]。非摂動 MFRTB 法では、磁場の非摂動効果を取りこむことが可能である[3,4]。具体的には磁場下固体に対するハミルトニアン行列に、異常ゼーマン効果に加えて強磁場下で出現するパッシェン・バック効果を取り込まれている[3,4]。また、本手法には磁場による波動関数の空間的変化も取り込まれている[3,4]。これにより、パリエルス位相因子を用いた近似を超えた「非摂動効果を取り込んだ磁場下とび移り積分」がハミルトニアン行列に含まれている[3,4]。

本手法により、磁氣的ブリュアンゾーン内で記述される磁氣的ブロッホバンド構造を様々な物質で計算することが可能となった。これまでに、磁場下金属で観測されているド・ハース-ファン・アルフェン振動 (dHvA 振動) や磁場破壊による磁気振動の記述に成功している[1-4]。また、磁氣的ブロッホバンドに現れる微細なエネルギー準位構造によって、従来の Lifshitz-Kosevich 理論では説明できない「付加的な振動ピーク」が出現することも明らかにした[1-4]。さらに、グラフェンにおける半整数量子ホール効果[5-7] や結晶シリコンにおける磁場誘起相転移[8,9]の記述にも成功している。

本公募研究では、「非摂動 MFRTB 法」を d 電子系に適用できるように拡張・整備する。そして、絶縁体から金属へ相転移が実験的に観測されている VO₂ や FeSi に「非摂動 MFRTB 法」を適用し、磁場誘起相転移のメカニズムの解明を目指す。昨年度より本手法を d 電子が含まれる物質に適用できるように整備・拡張を進め、これまで s 軌道と p 軌道のみで使用可能だった「相対論的スレーター・コスター表」を d 軌道が扱えるように拡張した。さらに、「非摂動効果を取り込んだ磁場下とび移り積分表」を d 軌道が扱えるように拡張した。テスト計算として、一様磁場下の Cu に「非摂動 MFRTB 法」を適用し、dHvA 振動の記述に成功している[10]。本公募研究では、これらを実装したプログラムコードを開発し、プログラムコードの汎用化・公開を目指します。また、d 電子系物質 VO₂ および FeSi に「非摂動 MFRTB 法」を適用し、磁場誘起相転移に伴う結合状態の変化、磁氣的ブロッホ状態の幾何学的位相の変化を明らかにし、磁場誘起相転移の記述を試みます。

- [1] K. Higuchi, D. B. Hamal and M. Higuchi, PRB **91**, 075122(2015).
- [2] M. Higuchi, D. B. Hamal and K. Higuchi, PRB **95**, 195153 (2017).
- [3] K. Higuchi, D. B. Hamal and M. Higuchi, PRB **97**, 195135 (2018).
- [4] M. Higuchi, D. B. Hamal, A. Shrestha and K. Higuchi, JPSJ. **88**, 094707 (2019).
- [5] Md. A. Rashid, M. Higuchi and K. Higuchi, PRB **108** 125132 (2023).
- [6] K. Higuchi, W. Sakamoto and M. Higuchi, PRB **110**, 205131 (2024).
- [7] W. Sakamoto, K. Higuchi and M. Higuchi, PRB **112**, 235141 (2025).
- [8] K. Higuchi, D. B. Hamal and M. Higuchi, NJP **24** 103028 (2022).
- [9] K. Higuchi and M. Higuchi, PRB **110**, 195136 (2024).
- [10] K. Higuchi and M. Higuchi, submitted.

平行超強磁場下の巨大な波数シフトとスピン分裂を用いた 擬2次元系の電子構造解析

東京大学 工学系研究科 物理工学専攻

長田 俊人

擬2次元層状物質に伝導面に平行な磁場が印加されているとき、電子が層間を磁場を横切ってホッピングすると、Aharonov-Bohm 位相を獲得するため移動後の層内波数が一様にシフトする。また磁場中では電子のエネルギーはスピン分裂して Zeeman シフトを示す。本研究では、層状物質に印加する平行磁場を 1000T 級の超強磁場に拡張することにより、面内波数シフトを面内 Brillouin 領域内の Fermi 面構造に匹敵するほど巨大化させる、あるいはスピン分裂を層間バンド分散幅に匹敵するほど巨大化させることにより発現する伝導現象を実証し、擬2次元系の大域的電子構造の解明に利用する。

以下の課題について、実験的・理論的研究を行う。実験は物性研の破壊型パルス超強磁場装置の高周波測定を共同利用して実施する。

①層間伝導の Fermi 面ネスティング共鳴

層間移動後の状態の Fermi 面は一様にシフトするので、エネルギーを保存する層間トンネルチャネルは移動前後の Fermi 面の交点であり、これが層間伝導に寄与する。両 Fermi 面が接するとき（ネスティングするとき）層間伝導度はピークを示す。この現象を用いて Fermi 構造の解明を行うと共に、ゼロ磁場でのネスティングに由来した CDW 状態に対する平行磁場の効果を調べる。対象として有機導体 α -(BEDT-TTF)₂XHg(SCN)₄ (X=K, NH₄)および層状物質 2H-NbSe₂ を扱う。

②バルク Aharonov-Bohm 振動

層間移動後の波数シフトが面内逆格子ベクトルに等しくなると、層間結合はゼロ磁場の場合と同等になる。これは「単位胞を貫く磁束が磁束量子 h/e の整数倍」という条件と等価なので、層状バルク結晶の電気伝導は磁場に周期的な振動が現れる（バルク Aharonov-Bohm 振動）が現れる。面内逆格子ベクトルが小さい CDW 系超格子やツイスト二層グラフェンのモアレ超格子を用いて、本振動の前駆的兆候を探索する。

③Zeeman シフト分光

平行超強磁場下では、バンド構造深部の状態をスピン分裂させて、片側スピンの状態を Fermi 準位付近まで Zeeman シフトさせることができる。面内の Landau 量子化の影響を排除して、ゼロ磁場ではアクセスできないバンド深部の大域的状態密度の構造を層間伝導により調べることができる（Zeeman シフト分光）。実証対象として、狭いバンド幅を有する擬2次元有機 Dirac 電子系 α -(BETS)₂I₃ の van Hove 特異点の検出を試みる。

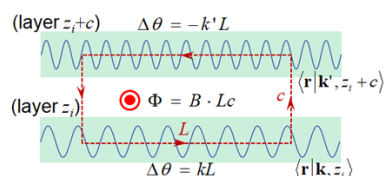


図1 平行磁場下の波数シフト。

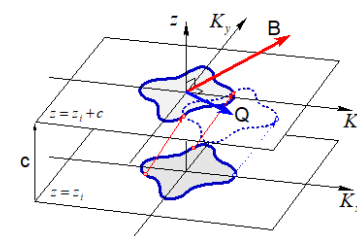


図2 隣接2層の Fermi 面とトンネル効果。

真性モット絶縁体に対する超強磁場効果と磁場誘起局在化転移

北大院理

福岡 脩平

相互作用するフェルミ粒子系の振る舞いはランダウによるフェルミ液体論で良く記述される。例えば弱磁場領域でのスピン感受率や電子比熱は有効質量などを用いて、相互作用のないバンド理論から予測される値への修正で説明出来る場合が多い。しかし、1000 テスラ級の超強磁場領域では、弱磁場領域での振る舞いとは質的に全く異なるカタストロフィーが生じる。その顕著な現象の一つが、電子相関の強いフェルミ粒子系で発現が理論予想されている磁場誘起局在化転移である[1]。これは、モット境界に近い電子相関の強い金属状態に対して磁場を印加すると、スピン感受率の不連続な跳びを伴う一次転移により局在化が起きることを予測している。しかし、理論予測にもかかわらず、実験的に観測された例はほとんどない。その原因として、多くのモット絶縁体物質は低温で磁気秩序化や構造不安定性が生じ、これらの外的要因により局在化転移の本質的な検証が難しくなることがある[2]。また、実験的検証にはモット境界近傍の電子状態を実現する必要がある。電子状態をモット境界に近づける方法として圧力印加の方法があるが、パルス磁場測定との相性が悪いという技術的制約も存在する。

そこで本研究では、研究対象として量子スピン液体候補物質である分子性モット絶縁体 κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃に着目する。本物質はBEDT-TTF分子が形成する二量体が二次元三角格子を形成し、幾何学的フラストレーション効果により磁気秩序化が抑制される。その結果、極低温まで常磁性モット絶縁体状態が維持されるため、低温まで常磁性金属相と常磁性モット絶縁体相が隣接する「真性モット絶縁体」とみなすことが出来る[3]。なおかつ、ドナー分子の一部をBEDT-STF分子に置換することで、化学圧力効果により電子状態を制御することが可能であり、置換量を0.1程度に調整すると、常圧環境でモット境界近傍の電子状態を実現できる(図)。つまり本物質は、磁場誘起局在化転移を検証する条件を満たす理想的な系といえる。本研究では、 κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃を対象として、非摂動磁場領域で現れる磁場誘起局在化転移と新規電子状態の探索を目的とする。

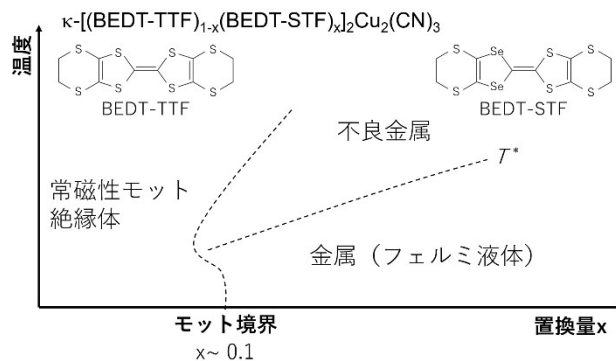


図 BEDT-TTF と BEDT-STF の分子構造と分子置換 (化学圧力) によって得られる相図。

[1] D. Vollhardt, Rev. Mod. Phys. **56**, 99 (1984), L. Laloux et al., Phys. Rev. B **50**, 3092 (1994).

[2] S. A. J. Wiegerts et al., Phys. Rev. Lett. **66**, 2895 (1991), F. Kagawa et al., Phys. Rev. Lett. **93**, 127001 (2004).

[3] A. Pustogow et al., Nat. Mater. **17**, 773 (2018).

オケルマナイト化合物の磁場誘起非相反線二色性

^A 東北大金研

木村 尚次郎^A、宮川 健吾^A、淡路 智^A

空間反転対称性を持たない圧電点群 T_d や D_{2d} に属する物質に磁場を加えると、二次の電気磁気効果のため次式に従って電気分極 \mathbf{P}_H が発生する。

$$\begin{pmatrix} P_{H,x} \\ P_{H,y} \end{pmatrix} = \tilde{\alpha} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix}, \quad \tilde{\alpha} = \begin{pmatrix} 0 & \beta H_z \\ \beta H_z & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 β は定数、 x, y, z はそれぞれ結晶の $[100], [010], [001]$ に対応している。この電気磁気効果によって、以下のように磁場誘起による非相反線二色性が生じることが期待される。上式は、物質に z 方向の静磁場 H_z を加えた状態で、これに平行または反平行に進行する x または y 偏光を照射すると、光の振動磁場によってそれと直交する電気分極 \mathbf{P}_H が発生することを示している。この \mathbf{P}_H は振動電場によって生じる分極 \mathbf{P}_E と干渉するが、それらが互いに強め合うか、弱め合うかが偏光の 90 度回転によって変化するため、偏光回転により光学応答が変化する線二色性が発生しうる。さらに静磁場に対して光の進行方向を反転すると線二色性の現れ方が反転し、偏光回転で起こる光学応答の強弱の変化が入れ替わる非相反応答が生じる。この磁場誘起非相反線二色性を観測するため、点群 D_{2d} に属するオケルマナイト化合物 $\text{Sr}_2\text{SiCo}_2\text{O}_7$ の光学スペクトル測定を強磁場中で行った。光ファイバーを用いた光学測定プローブに単結晶試料を配置し、光を磁場と平行に試料に照射して光吸収スペクトル測定を行った。磁場は(001)面の出た試料に垂直に印加し、光の振動電場が $[100]$ 方向になるように試料直上に偏光フィルムを置いて測定を行った。実験は 4.2 K において行い、磁場反転に伴う吸収スペクトルの変化から磁場誘起非相反線二色性を観測した結果が図 1 である。 $400 \sim 550$ nm の波長範囲に複数の吸収ピークが観測されており、そのいくつかにおいて、 ± 14.5 T の磁場反転による吸収率の変化が観測されている。この振る舞いは、磁場誘起非相反線二色性に起因していると思われる。偏光フィルムを 90 度回転させて測定し、線二色性の振る舞いが反転することも確認された。

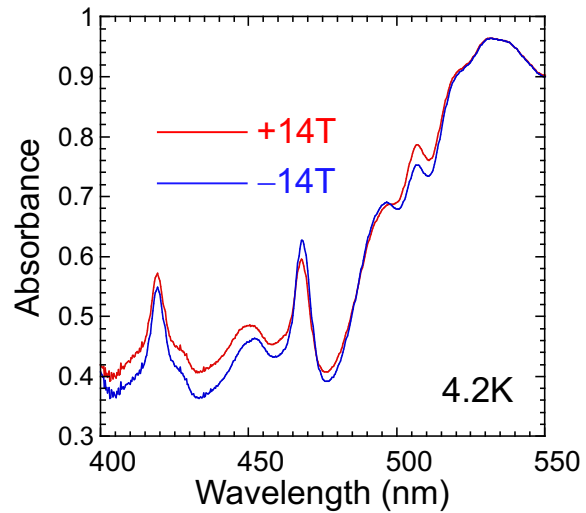


図 1. $\text{Sr}_2\text{SiCo}_2\text{O}_7$ の光吸収スペクトル

$\text{Sr}_2\text{SiCo}_2\text{O}_7$ 単結晶試料をご提供いただいた神戸大学コアファシリティセンター赤木暢准教授に感謝いたします。

テトラキス型 Tb-Nd 混合錯体の 磁気キラル共鳴型エネルギー移動に関する研究

^A 北海道大学、^B 東北大学

北川 裕一^A、小泉 薫^B、木村 尚次郎^B

磁場下におけるキラリティとスピン角運動量の相関が生む非対称なキャリア輸送現象は、次世代スピントロニクスへの応用において重要視されている。その代表例である「磁気キラル異方性(MChA)」は、電流と磁場の相対方位により電気抵抗が変化する現象であり、省電力な整流素子の原理として期待されている[1]。本研究では、この輸送現象の概念を従来の電流(基底状態)から「光励起状態」へと拡張し、磁気キラル共鳴エネルギー移動(磁気キラル FRET)の初の実証を目的とした。磁場と光の相対方位に依存した励起子輸送が実現すれば、従来の電気伝導に代わる非散逸的なエネルギー伝導が可能となり、通信の高速化やさらなる低消費電力化に寄与する。本研究では、強い磁気キラル二色性(MChD) [2-5]を示すキラル希土類錯体[6]を設計・合成し、磁場下における光物性評価を行った。

キラルな希土類錯体 TEA[Tb(±fc)₄](Tb(+), Figure 1)を合成し、4.2 K における MChD 特性を評価したところ、膜状態の ⁵D₄→⁷F₅ 遷移において大きな異方性因子(g_{MChD})を確認した。次に、Tb(III)をドナー、同遷移付近に吸収帯を持つ Nd(III)をアクセプターとした混合錯体(Tb(+)-Nd(+))膜を設計した。Tb(+)-Nd(+))膜において MChD 測定を行った結果、Tb(III)由来の ⁵D₄→⁷F₅ 遷移における g_{MChD} が、単独系の Tb(+))と比較して増大することを見出した。一方で、鏡像異性体から構成される Tb(-)-Nd(-))膜では、g_{MChD} は単独系の Tb(-))膜よりも減少した。このように、エナンチオマー間で単なる鏡像関係に留まらない非対称な挙動(一方では増大、他方では減少)が観測されたことは、磁気キラル FRET 現象が生じていることを支持している。

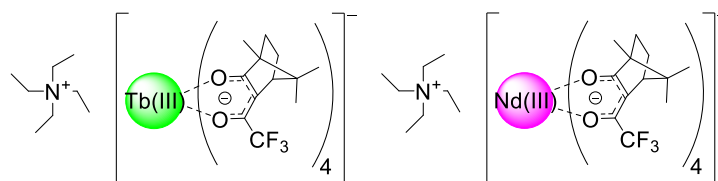


Figure 1. Chemical structures of Tb(+)) (left) and Nd(+)) (right).

[1] G. L. J. A. Rikken and N. Avarvari, Nat. Commun. 13 (2022) 3564.

[2] G. Wagnière and A. Meier, Chem. Phys. Lett. 93 (1982) 78.

[3] L. D. Barron and J. Vrbancich, Mol. Phys. 51 (1984) 715.

[4] G. L. J. A. Rikken and E. Raupach, Nature 390 (1997) 493.

[5] G. L. J. A. Rikken, E. Raupach, Nature 405 (2000) 932

[6] K. Itaya et al., The 74th Conference of Japan Society of Coordination Chemistry, 3Fb02.

光化学反応に対する強磁場効果

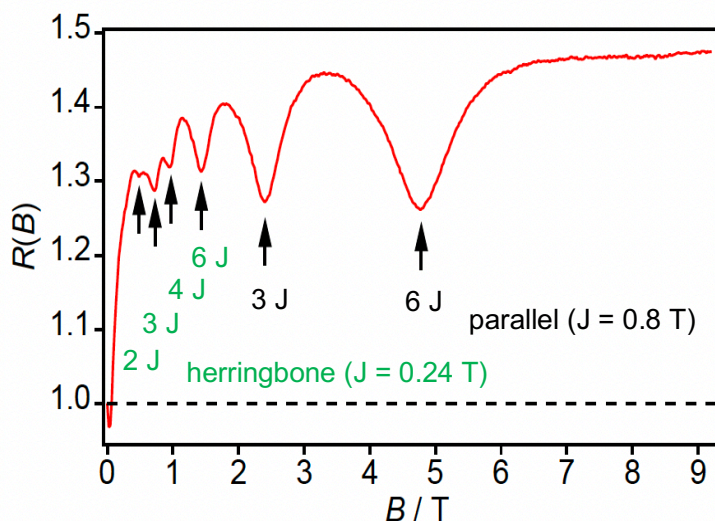
埼玉大

若狭 雅信

光化学反応における 1000 T 非摂動的磁場効果の発見を目指し、昨年度は、(1) 30 T 発光測定システムの改良と 10 T 過渡吸収測定システムの開発、(2) ルブレンなどのシングレットフィッシュンに対する磁場効果のシングルショット測定、(3) 紫外励起ロドプシンの光化学反応に対する強磁場効果(共同研究)の実験を行った。

30 T 発光測定システムでは、破壊型パルスマグネットを用いたシングレットフィッシュン^{1,2}の強磁場効果測定を視野に入れて、0-30 T シングルショット発光測定を行った。斜方晶のルブレン結晶について、10 T 超電導マグネット(図)³および 30 T パルスマグネットを用いたシングレットフィッシュンの磁場効果を初めて測定した。

ロドプシンの過渡吸収の磁場効果については、過渡吸収が弱いため、シングルショットでの磁場効果測定は難しそうである。そこで、昨年度は新たに紫外励起ロドプシンについて 1.7 T 電磁石での測定を試みた。さらに、10 T 超電導マグネットを用いた過渡吸収測定システムを開発して予備的測定を行った。以上の詳細およびその後の展開については、領域会議の会場で述べる。



[1] M. Wakasa*, M. Kaise, T. Yago, R. Katoh, Y. Wakikawa, T. Ikoma, *J. Phys. Chem. C*, 119, 25840-25844 (2015).

[2] T. Yago*, K. Ishikawa, R. Katoh, M. Wakasa*, *J. Phys. Chem. C*, 120, 27858-27870 (2016).

[3] T. Nakamura, T. Yago*, M. Wakasa*, *JJAP Conf. Proc.* 12, 011012 (2026).

パルス超強磁場が分子集合体に与える非摂動的作用の総合的理解

信州大理 浜崎亜富

ソフトマテリアルや生体関連の物質では、自己組織化プロセスおよびそれによって構築された構造体は非常に重要である。このような共有結合やイオン結合など、共有電子対によらない弱い相互作用により構築される大きな構造体を扱う分野は『超分子化学』として知られる。自己組織化の駆動力はファンデルワールス力や水素結合といった分子間力であり、特に長鎖炭化水素を持つ両親媒性分子は分子間力で集合体をつくりやすい。長鎖炭化水素は構造異方性が大きいいため磁化容易軸と磁化困難軸が明確に存在し、それぞれの磁化率の差、すなわち反磁性磁化率の異方性が大きくなる。このような分子では、磁気配向で分子が磁場に安定な方向に向くようなトルクが発生する。自発変化である自己組織化に逆らう力として考えれば、極端な場合には破壊につながる。また、うまくバランスをとることができれば、可逆的な変化を示す可能性が高い。これまでの研究で、静磁場では顕著な磁場の効果が見られないことから、われわれはパルス磁場を用いて実験を提案しているが、一般的なパルス用コイル内で光学測定を行おうとすれば、入射光に対して同軸方向にしか測定領域を確保できない。そこで、透過光で変化を観測したうえで、透過光の解析より粒径がどのように変化したかを検討した。

実験は、Dimethyldioctadecylammonium chloride (DODAC) の球状二分子膜；ベシクルに最大 20 テスラのパルス磁場を印加し、その瞬間の透過率の変化を観測した。ベシクル懸濁液をキャピラリーに入れ、両端から光ファイバーを差し込んで、光路長 2 mm になるように固定した。ベシクルはバンガム法で作成し、粒径制御はせずに使用した。

磁場印加により、パルス幅 (数ミリ秒) より明らかに長い時間、電圧の変化が見られた。変化率は磁場の二乗に直線的に変化しており、磁気配向に起因することが示唆された。電圧変化は光量の低下を示し、すなわち、入射側からの光が検出側のファイバーに到達しにくくなったと予想できる。磁場によってベシクルが歪んだ場合、前方に光が到達しやすくなる。反対に、散乱断面積と屈折率を考慮すると、ミー散乱が発生するサイズのベシクルの量が減少することにより、前方への散乱が抑えられるので、今回の減少は後者が支配的であったと予想できる。

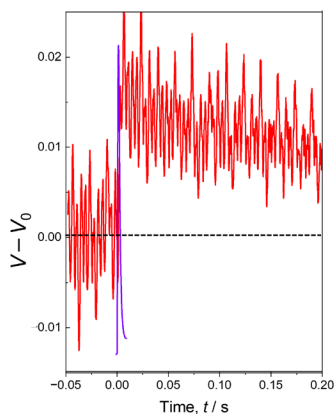


Fig. 1 電圧換算した透過光の時間変化

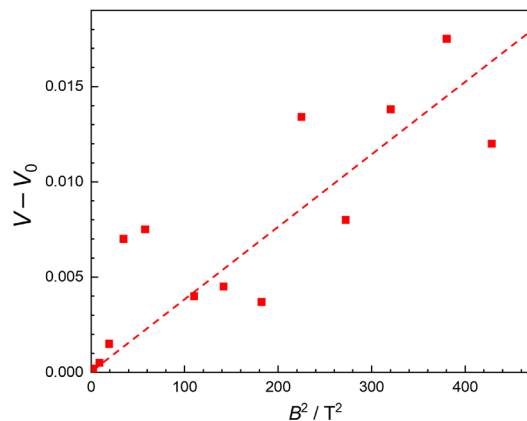


Fig. 2 変化電圧の磁場依存性

理論と観測で解き明かすブラックホール天体の磁場

^A 芝浦工業大学

井上 芳幸 ^A

ブラックホール(BH)近傍の高エネルギー現象を規定する鍵は磁場であると考えられているが、その直接的な制約は依然として限られている。近年、我々は理論と観測を連携させ、巨大BHを銀河の中心に持つ活動銀河核におけるBH周辺の高温コロナ由来のミリ波シンクロトロン放射の検証を進めてきた。特に近傍活動銀河核であるIC 4329AやNGC 985では、X線観測とALMA多周波観測を用いたスペクトル解析を通じて、数十シュヴァルツシルト半径スケールの磁場強度が約10 G (1 mT) 級であることを示した。さらに、IC 4329AのALMAモニター観測では日スケールの有意な変動が確認され、ミリ波放射のコロナ起源を時間変動の観点からも支持する結果が得られている。本講演では、ALMAの観測成果から得られた巨大BH周辺の磁場測定を概観するとともに、本公募研究で進めるコロナ幾何を取り入れたミリ波放射モデルの拡張と、多天体サンプルへの系統的適用を通じて、BH近傍における磁場の役割と非摂動磁化層(プラズマ $\beta < 1$)の可能性について議論する。

誘電体ナノ結晶の磁場効果

^AQST、^B 広島大学

大和田 謙二^A、塚田 真也^B、黒岩 芳弘^B

A01 における研究では、分子軌道（化学結合）の視点から、超強磁場中に新たに発現する固体結晶構造の探索・解明を目指している。特に、共有結合、イオン結合、水素結合といった基本的な結合形態に注目し、強磁場による分子軌道の変化（カタストロフィー）を電子分布に基づく微視的描像から理解することで、化学結合への非摂動的な磁場効果の量子力学的な側面を明らかにしようとしている。

対象とする物質系には、これまで磁場効果の研究がほとんど進んでいなかった BaTiO₃ などの強誘電体や、VO₂ などの分子軌道結晶が含まれており、最大 1000 テスラの超強磁場下における結晶構造相転移の探索に取り組んでいる。これまでに 100 テスラ級までの磁場領域において、強誘電体単結晶 BaTiO₃ はじめとする物質群に対する基礎的な磁場効果の検討が進められてきた。さらに 2025 年度までに、いくつかの物質系では 100 テスラ級実験から 1000 テスラ級実験へと磁場領域を拡張することで、100 テスラ磁場域では顕在化しなかった新規な磁場応答が見出されつつあり、超強磁場領域に特有の現象探索の有効性が示されている。

あわせて、新規材料探索や磁場下分光実験に向けた光学系、強磁場発生用マグネットの開発も推進しており、1000 テスラ実験に向けた基盤整備が着実に進行している。

共有結合への磁場効果をより深く理解するため、BaTiO₃ に代表される d⁰ 酸化物ペロブスカイトにおける「サイズ効果」にも注目している。ナノ～サブミクロン領域では、粒径の縮小に伴い結合性が共有結合性からイオン結合性へと変化し、それに伴いドメイン構造や物性もバルク単結晶とは異なる挙動を示すことが報告されつつある [1,2]。このような結合性の変化を伴うサイズ依存性を踏まえた磁場効果の探索は、粒径縮小によって電子分布や分子軌道の性質が連続的に変化する領域において、強磁場が化学結合に及ぼす影響を顕在化させる点で重要である。とくに、共有結合性とイオン結合性の境界にある結合状態では、結晶構造間のエネルギー差が小さいため、磁場による分子軌道のわずかな再編成が結合エネルギーや構造安定性を顕著に変調し得る。このような効果を通じて、非摂動的磁場効果に起因する新たな相転移機構の解明につながる可能性がある。この観点から、磁場印加下におけるラマン分光測定に着手している。

さらに、これまで主に単結晶試料を対象としてきた磁場印加実験を、粉末試料へと拡張する試みも進めている。粉末試料特有の課題に対応するため、試料調整方法の最適化にも取り組んでおり、今後、ナノ結晶系における磁場応答の解明に向けた基盤構築をさらに進めていく予定である。

[1] H. Ohsime, K. O. *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **62**, SM1022 (2023).

[2] M. Shao, K. O. *et al.*, 第5回領域会議

W ドープ VO₂ の磁場誘起絶縁体金属転移

東大物性研

松田 康弘

学術変革領域研究(A)「1000 テスラ科学」立ち上げの契機となった研究のひとつが表題の研究である。VO₂では、低温ではバナジウム間の分子軌道によって二量体が形成され、340 K 付近で金属から絶縁体に転移する。この絶縁体金属転移への磁場効果に着目した研究は2020年までほとんどなかったが、1000 Tクラスの磁場によって金属化がおこることが最近明らかになってきた。[1,2] 分子軌道が磁場によって不安定になり、二量体が壊れたと解釈でき、磁場による化学結合の破壊「化学的カタストロフィー」の固体物理版と捉えることができる。

発表では、これまでの実験結果を概観し、光学測定と高周波電気抵抗測定での実験結果の比較から、今後の研究方針について議論する。また、最近、石井らはV₆O₁₃の強磁場磁歪の結果をVO₂の場合と比較し、Clausius-Clapeyronの式による解析を行っている。[3] WドープVO₂でこれまでに得られている結果についても同様の観点から整理し、温度磁場相図について考える。

[1] Y. H. Matsuda *et al.*, Nat. Commun. **11**, 3591 (2020).

[2] Y. H. Matsuda *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **91**, 101008 (2022).

[3] Y. Ishii *et al.*, arXiv:2504.20633 [cond-mat.str-el] (2025).

層状酸ハロゲン化物の結晶構造の理解；ダイマー × 自発分極の磁場制御を目指して

^A 京都大学

加藤 大地^A、Vidhya Lalan^A、村山 寛太郎、高津 洋、陰山 洋^A

層状物質である NbOX₂ (X = Cl, Br, I)は、非常に大きい第二次高調波発生 (SHG)¹ や圧電応答² から近年注目を集めている材料系である。この物質は、NbO₂X₄ の八面体を有しており、Nb が d¹ の電子配置を持っているにも関わらず、Nb が八面体中心からズレる off-centring 歪みにより、自発分極を有している。さらに興味深いことに、polar axis と直行する方向には、Nb-Nb のダイマー形成があり絶縁体化している。この物質では、強誘電歪みとダイマー形成がカップルしているとの報告があり³、もしこの系に強磁場を印加すれば、磁場によるダイマーの開裂を通して、強誘電歪みを操作できると考えた。ただ、NbOX₂ では、そもそも温度によるダイマー形成の開裂の報告がなく、磁場誘起での構造変化を期待するのは困難であると考えた。

このような背景から、より低温でのパイエルズ転移を期待して、報告の室温構造に歪みが無い VOBr₂ (空間群 *Immm*⁴) に着目した。しかし、興味深いことに、単結晶 XRD から室温構造が V が交互にオフセンタリングした構造 (空間群 *Im2m*) であることが明らかとなった (図 1)。一方で、NMR を測定したところ、80 K 以下から、スピンギャップの存在を示唆する結果が得られた。当日は、これらの観点について、共同研究の可能性なども議論したい。また、別のテーマとして、当研究室で取り組んでいるハイパーハニカム構造を持つ新物質についても簡単に紹介する。

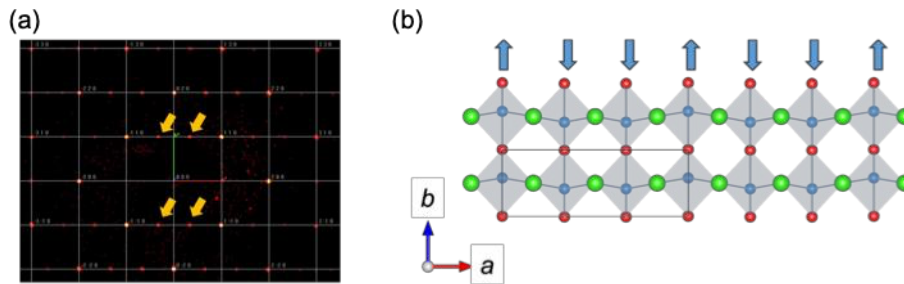


図 1. (a) 単結晶 XRD の *hk0* 面の回折。構造歪みの無い理想体な格子 ($a = 3.5 \text{ \AA}$, $b = 3.8 \text{ \AA}$, $c = 12.7 \text{ \AA}$) で指数付しており、矢印で示した回折点が超格子。(b) 本研究で明らかになった VOBr₂ の構造。

(1) Abdelwahab, I.; Tilmann, B., *et al.*, *Nature Photonics* **2022**, *16* (9), 644-650.

(2) Wu, Y.; Abdelwahab, I., *et al.*, *Nat. Commun.* **2022**, *13* (1), 1884.

(3) Fu, T.; Bu, K., *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145* (30), 16828-16834.

(4) Hillebrecht, H.; Schmidt, P. J., *et al.*, *J. Alloys Compd.* **1997**, *246* (1-2), 70-79.

100 テスラ X 線回折による LaCoO₃ の強磁場スピנקロスオーバーの解明

^A電気通信大学、^B東大物性研、^C神戸大、^D理研、^EJASRI、^F茨城高専
池田暁彦^A、野田孝祐^A、新堀琴美^A、関健汰^A、小林秀彰^A、Dilip Bhoi^A、石井悠人^B、林 浩章^B、松田康弘^B、赤木暢^C、久保田雄也^{B,D}、犬伏雄一^{D,E}、矢橋牧名^{D,E}、佐藤桂輔^F

Exciton condensation is a Bose-Einstein condensation of a large number of excitons, which may occur in a semiconductor with a small gap or a semimetal with a small band overlap. The exciton is a pair of electron and hole that has spin degrees of freedom, where spin-singlet exciton and spin-triplet exciton are possible [1]. Spin-triplet exciton condensation is anticipated when a spin-crossover occurs in a correlated electron system. This is because of Hund's coupling and the sufficient inter-site coupling that favors the spin-triplet exciton and the delocalization of the exciton, respectively, triggering the possible Bose-Einstein condensation of the spin-triplet exciton. We have been investigating the magnetic field-induced spin-state transition in LaCoO₃ at 100 T using magnetization measurement and magnetostriction measurements, and at 600 T using magnetostriction measurements [1]. We observed several phase transitions up to 600 T, which are candidates for the spin-triplet exciton condensation. However, above 100 T, no experimental method has been available to elucidate the microscopic information, such as spin-state or electronic state. We have been developing techniques to make this possible using a portable 100 T generator PINK, and the x-ray free-electron laser SACLA [2]. In the present study, we conducted x-ray diffraction experiments on LaCoO₃ at 110 T, with a temperature variation from 10 K to room temperature. It aims to clarify the possible anisotropy resulting from the lattice change induced by phase transitions above 100 T. We have observed an isotropic expansion of the lattice, which implies that the isotropic orbital and electronic configuration is realized at the high magnetic field phase above 100 T.

- [1] A. Ikeda et al., Phys. Rev. B **93**, 220401(R) (2016). Phys. Rev. Lett. **125**, 177202 (2020)., Nat. Commun. **14**, 1744 (2023), J. Phys. Soc. Jpn. **93**, 121005 (2024).
[2] A. Ikeda et al., Appl. Phys. Lett. **120**, 142403 (2022), Phys. Rev. Lett. **135**, 186702 (2025).

1000 テスラファラデー回転法による スキルミオン絶縁体 Cu_2OSeO_3 における 5 重項凝縮の観測

静大理,^A Loughborough Univ.,^B IFW Dresden, ^C 東大物性研, ^D 東大工
 野村肇宏, I. Rousochatzakis^A, O. Janson^B,
 巖正輝^C, 周旭光^C, 石井裕人^C, 関真一郎^D, 小濱芳允^C, 松田康弘^C

カイラル磁性体 Cu_2OSeO_3 は絶縁体で初めて磁気スキルミオンが観測された物質として知られ、精力的に磁場-温度相図が調べられてきた。この物質の磁性を担うのは Cu_4 クラスタであり、強磁性ボンドと反強磁性ボンドの共存のため合計のスピ量子数は $S = 1$ をとる(古典描像において 3-up 1-down)。このフェリ磁性状態、いうなれば 1/2 磁化プラトー状態は極めて安定であり、真の磁化飽和 ($S = 2$) を観測するためには超強磁場が必要になる。本研究では電磁濃縮法を用い、 Cu_2OSeO_3 の磁化過程の全貌を明らかにした。また図 1 に示すように、1/2 プラトー相と強制強磁性相の間にキャントしたフェリ磁性相が現れ、これがスピン三重項—五重項間のマグノンのボース・アインシュタイン凝縮に対応することを見出した[1]。

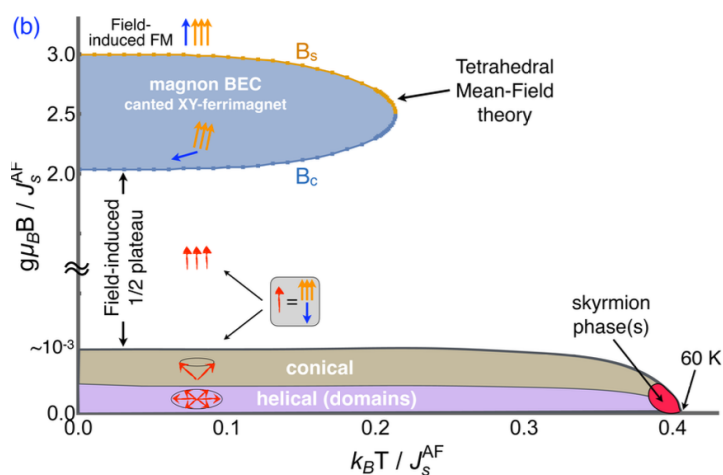


図 1 : Cu_2OSeO_3 の磁場—温度相図。

[1] T. Nomura, I. Rousochatzakis, O. Janson, M. Gen, X.-G. Zhou, Y. Ishii, S. Seki, Y. Kohama, Y. H. Matsuda, Quintuplet condensation in the skyrmionic insulator Cu_2OSeO_3 at ultrahigh magnetic fields, Phys. Rev. Lett. 136, 076703 (2026).

パルス強磁場中での磁気光学カー効果測定技術の現状と展望

^A 京都大学工学研究科 電気電子デジタル理工学専攻

米澤 進吾 ^A (A02 分担)

磁気光学カー効果とは物質表面における光の反射に伴って偏光状態が変化する効果である。磁気光学カー効果は磁性の光学プローブとして古くから知られているが、最近では、巨視的な磁化を持たない交替磁性やスキルミオン状態などにおいても、仮想磁場に起因する非自明な時間反転対称性破れが磁気光学カー効果によってプローブできる点も注目されている[1]。また、磁気光学カー効果測定は、不透明な物質や薄膜などに適用できるという重要なメリットを持つため、カー効果の超強パルス磁場下かつ低温での測定が可能になれば、超強磁場中におけるカタストロフィー現象の有力なプローブとなりえる。しかし、磁気光学カー効果に伴う偏光の角度変化は最大でも 10 ミリラジアンオーダーと非常に小さいため、パルス磁場下でのカー効果測定は挑戦的であり、従来はわずか数例の室温での測定報告があるのみであった[2]。

最近、我々のグループにおいて、高感度の磁気光学カー効果測定手法であるループレス・サニャック干渉計に、光ファイバコネクタの部品であるセラミックフェルールにレンズを埋め込んだ微小フォーカサを利用した試料固定法を組み込み、さらに位相分解数値ロックイン解析を組み合わせることで、最大 43 T のパルス磁場下における磁気光学カー効果測定に成功した[3,4]。このパルス磁場発生には本学術領域変革研究の目玉の一つである小型パルス磁場用電源バンク[5]を用いた。

また、より最近、光学系全体を可搬化し、東大物性研の強磁場施設・徳永グループの非破壊パルス磁場に組みこむことで、60 T での磁気光学カー効果測定にも成功した[6,7]。この実験では、 UTe_2 や $\text{Fe}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ といった興味深いメタ磁性を示す物質のメタ磁性転移を磁気光学カー効果で観測できただけでなく、バルクの磁化測定には見られなかった、前駆現象的な振舞いやメタ磁性転移における巨大な応答なども観測できた。これは磁気光学カー効果測定が単に磁化測定の置き換えにとどまらない、高い有用性を持つことを示している。

本発表では、これらのパルス磁場下磁気光学カー効果測定の現状を紹介するとともに、100 T や 1000 T 級のパルス磁場下におけるカー効果測定に向けた準備状況や[7]、中空ファイバーを用いたバックグラウンドフリーのカー効果測定を目指す取り組み[8]などの将来展望についても報告する。

[1] 最近の当グループの取り組みとして、G. Watanabe, *SY et al.*, arXiv: 2604.14947v1.

[2] X. Chen *et al.*, *Measurement* **46**, 52 (2013); S.-Y. Lin *et al.*, *Chin. J. Phys.* **55**, 698 (2017).

[3] Atsutoshi Ikeda, *SY et al.*, *Phys. Rev. Research* **8**, 013169 (2026).

[4] Soichiro Yamane, *SY et al.*, *JJAP Conf. Proc.* **12**, 011011 (2026).

[5] Akihiko Ikeda *et al.*, *J. Appl. Phys.* **136**, 175902 (2024).

[6] Soichiro Yamane, *SY et al.*, Poster of this Meeting.

[7] Sota Nakamura, *SY et al.*, Poster of this Meeting.

[8] Shuya Suzuki, *SY et al.*, Poster of this Meeting.

バンド電子によるカタストロフィーに向けた取り組みの現状

^A 東大物性研

徳永 将史 ^A

A03 研究項目では、バンド電子によるカタストロフィー現象として、(1)超量子極限状態で増強された強相関効果で誘起される新奇量子相の探索、(2)バンド電子のエネルギーを利用した磁場中結合制御、(3)伝導電子の常磁性エネルギーを用いたファンデルワールス物質の積層制御、を目指した研究を行ってきた。本会ではこれら3つのテーマに対する研究の現状を紹介するとともに、主に(1)のテーマに関連した最近の進展を紹介する。

すべてのキャリアが最低次のランダウ準位だけを占有する量子極限状態を実現し、そこからさらに磁場を強くした超量子極限状態に到達するには、一般的な金属の場合、数万テスラを超える磁場が必要になる。実験室環境でこの状態を実現するため、我々は半金属と半導体の境界にある物質を対象とした研究を行ってきた。その一つである BiSb 合金では、半金属である Bi の一部を Sb で置換することで半導体に転移する。その境界のゼロギャップ状態近傍にあるいくつかの組成の試料に対し強磁場物性測定を行ったところ、境界からわずかに半金属側にある状態で超量子極限状態に突入すると、磁場と平行な方向の電気伝導だけが絶縁化する現象が観測された[1,2,3]。組成や磁場方位を変えた実験の結果は、電子と正孔が共存しともに量子極限状態にある場合にこの状態が実現すること、その際に電子と正孔のフェルミ・ポケットの個数には依存しないこと、などが明らかになった。

この現象の普遍性を検証する実験として秋葉らは、高圧・強磁場の多重極限環境下で黒リンの磁気輸送特性を詳細に研究し、半金属相の超量子極限状態で縦磁気抵抗が絶縁化する振る舞いを観測した[4]。

本会では、このテーマを中心に、今後の研究で明らかにすべき点などについて概観する。

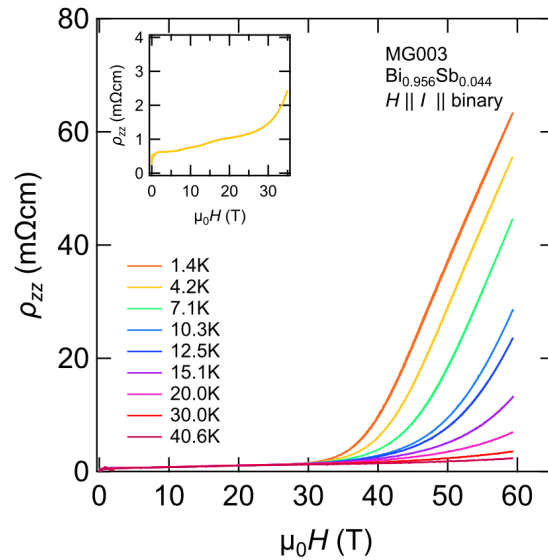


図1. BiSb 合金における縦磁気抵抗効果[3]。

[1] Y. Kinoshita et al., Phys. Rev. B 107 (2023), 125140.

[2] Y. Yamaguchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. 94 (2025) 043701.

[3] 山口侑真、修士論文、東京大学 (2024).

[4] K. Akiba et al. JJAP Conf. Proc. 12 (2026), 011014.

磁場中・圧力下の黒リンにおける励起子絶縁体相実現の可能性

^A 岩手大理工、^B 兵庫県立大、^C 東大生研、^D 東大物性研

秋葉和人^A、瀬賀柚月^A、赤浜裕一^B、瀬尾優太^C、町田友樹^C、徳永将史^D

強磁場下の少数キャリア系で実現する量子極限状態では、最低 Landau 準位に由来するキャリアのみが物性に寄与し、磁場の強さを変えることでキャリア数密度および実効的なキャリア相関の強さを制御することができる。このような極限の状態におかれたパルス強磁場下のグラファイトや BiSb 合金では、電子と正孔が束縛され凝縮した励起子絶縁体相の実現可能性など興味深い現象が報告されている[1-3]。

我々は磁場に加えて、圧力によってもバンド構造を精密に制御しうる物質として黒リンに着目してきた。黒リンは常圧において 300 meV のナローギャップをもつ典型的な単元素半導体であり、圧力の印加によって約 1.5 GPa で半金属へと転移する。我々はこれまでに、圧力下・磁場角度分解の量子振動測定によって半金属黒リンの Fermi 面の全容を解明するとともに、圧力下の黒リンが理想的なノーダルリング半金属状態であることを明らかにした[4]。これによって圧力下で実現する半導体-半金属境界領域における新奇電子相探索のための基礎が整ったといえる。

最近我々は、圧力により電子状態を半導体-半金属境界に制御した黒リンに対して磁場を積層方向に印加することで、層間抵抗の劇的な増大 (図1 赤マーカー) が見られることを明らかにした[5]。その増大のオンセット磁場はグラファイトや BiSb 合金と同様に強い温度依存性をもち、多体効果の重要性を示唆している。強磁場下におかれたノーダルリング半金属状態の黒リンでは、正孔ドーパ量に依存して電荷密度波相あるいは励起子絶縁体相が基底状態になる可能性が理論的に提案されており[6]、今回観測した磁場中の絶縁体化はこのうち励起子絶縁体相の実現に関連する可能性が高いと考えられる。これらの結果は、キャリア数を圧力で精密に制御できる黒リンが、実験的にアクセスしやすい磁場領域で励起子絶縁体相の物性を精査できる舞台となり得ることを示している。

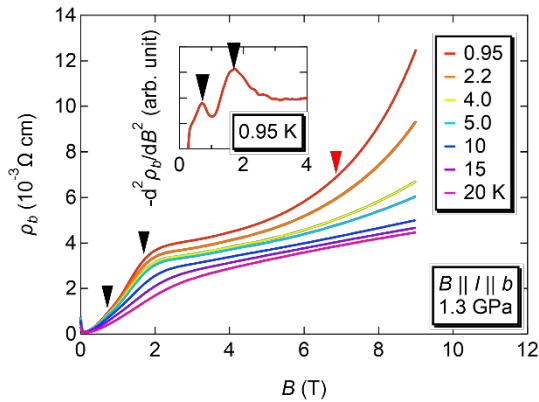


図 1: 1.3 GPa における黒リンの面間磁気抵抗。

- [1] K. Akiba *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 054709 (2015).
- [2] Y. Kinoshita *et al.*, Phys. Rev. B **107**, 125140 (2023).
- [3] Y. Yamaguchi *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **94**, 043701 (2025).
- [4] K. Akiba *et al.*, Phys. Rev. B **109**, L201103 (2024).
- [5] K. Akiba *et al.*, JJAP Conf. Proc. **12**, 011014 (2026).
- [6] Z. Y. Wang *et al.*, J. Phys.: Condens. Matter **36**, 395702 (2024).

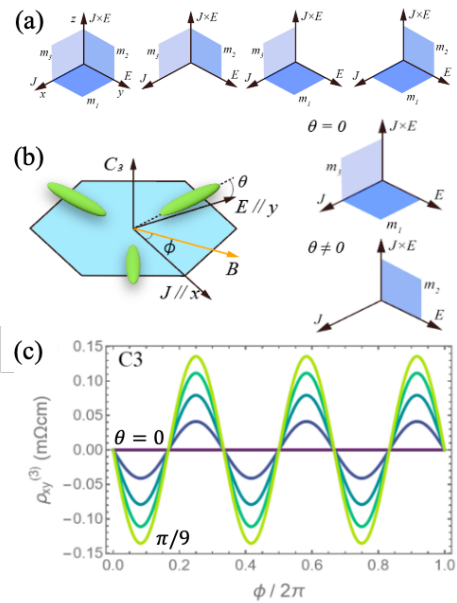
三回対称性を持つプレナーホール効果の古典論

神戸大理学部

山田 暉馨、伏屋 雄紀

超伝導磁石及びパルスコイルの技術革新は一様磁場印加空間を劇的に拡大し、磁場中輸送測定セットアップの自由度が飛躍的に増加した。特に回転磁場中の電気磁気効果測定を短時間で行うことができるようになり、近年ではプレナーホール効果 (PHE) がカイラル異常 (CA) の検出を目的として盛んに測定されるようになった。これは結晶の持つ対称性とは異なる角度依存性が発現し、それが磁場強度によって対称性を変えることもある興味深い効果である[1]。5端子測定で電流・電圧平面内で磁場を回転させるため、その応答にはローレンツ力の寄与が含まれないとの記述も散見されるが、それは誤りである。Goldberg, Davis および Seitz が指摘したように[2,3]、この効果を古典的な運動方程式から見るとローレンツ力が重要な役割を果たすことがわかる。一方で古典的 PHE には磁場の方向に関して奇関数的な依存性、特に磁場回転に対して3回対称を示す成分は見出されておらず、近年続々と報告されている実験的観測[4-7]に対する古典的説明は困難かと思われていた。

今回 Seitz による磁場展開を高次まで拡張し、3回対称な PHE の磁場角度依存性の起源を探る。古典的な視点では、この依存性は結晶が3回対称性を持つかどうかではなく、電流・電圧・2者の外積がなす面に対する鏡面对称性の破れに起因していることが明らかになった (図 1 a) [8]。対称性を反映した簡単なエネルギー分散のモデルと、立方対称性を持つ強束縛模型からこのことを定性的に解説する (図 1 b,c)。加えて、ローレンツ力に起因する3回対称成分がどの程度の強度で発現しうるかも検証した結果、それぞれのキャリアポケットの異方性が振幅を増大させ、一般的なセットアップでの電流電圧測定において十分観測可能な強度を持ち得る明らかになった。



される鏡映面の配置 (b) 3回対称なフェルミ面と面外への傾斜 θ
(c) PHEに含まれる3回対称成

- [1] S.-Y. Yang, K. Chang, and S. S. P. Parkin, Phys. Rev. Research **2**, 12 (2020).
- [2] C. Goldberg and R. E. Davis, Phys. Rev. **94**, 1121 (1954).
- [3] F. Seitz, Phys. Rev. **79**, 372 (1950).
- [4] A. Nakamura, et al., Phys. Rev. Lett. **133**, 236602 (2024).
- [5] S. Nishihaya, et al., Phys. Rev. Lett. **135**, 106603 (2025).
- [6] S. Nishihaya, et al., Adv. Mater. **37**, e02624 (2025).
- [7] J. Chen, et al., arXiv:2507.16544 (2025).
- [8] A. Yamada, Y. Fuseya, Phys. Rev. B (accepted).

物性系でのアクシオン探索

東大 素粒子センター 稲田 聡明

2012年のHiggs粒子の発見は、それまで物質を構成する fermion やそれらの相互作用を媒介する gauge boson を研究対象としてきた素粒子物理学を新たなフェーズへと導いた。Higgs 粒子が他の素粒子と本質的に異なり、「真空」と同じ量子数を持つスカラー粒子であることで、真空は空っぽではなく Higgs 場が凝縮しており、その相転移により宇宙が進化してきたことを示している。またそれは同時に素粒子研究自体も、宇宙や真空、及びそれらを内包する「時空」に対する研究へと自然に拡張される契機となった。現在では、宇宙の成り立ちを説明する「物質・反物質間の非対称性」や、銀河及び星の形成を支配する「暗黒物質」、さらに宇宙加速膨張の起源となる「暗黒エネルギー」の探索が精力的に行われている。

A05 は素粒子班及びプラズマ班で構成され、素粒子班では

- ・ 初期宇宙の進化や星の形成を支配する暗黒物質および暗黒エネルギーの高感度探索、および新粒子に対する物性系でのアナロジーの調査
 - ・ ブラックホールや中性子星などの強磁場天体で発現する真空の磁気応答や異常シンクロトロン放射の検証、および極限環境下での新たな素過程の発見
- を研究目的として設定している。

現在、暗黒物質の有力候補としてアクシオンの探索が世界中で行われている。これまで有望視されてきた μeV スケールの質量を探索するには GHz ほどの共振周波数を持つ空洞共振器を用いる手法が有効であったが、最近ではより重い質量領域が有望視されており、100 GHz ほどの反磁性共鳴を用いる手法が注目されている【1】。本講演ではその探索原理や、領域内で取り組みを開始した実証実験等の計画について説明する。

【1】 [J. Qiu et al, "Observation of the axion quasiparticle in 2D MnBi₂Te₄", Nature 641 62 \(2025\)](#)

レーザー生成プラズマと放電プラズマを用いた強磁場下における磁気リコネクションの検証

^A 九大総理工、^B 成蹊大、^C 核融合研、^D 長岡技科大、^E 阪大レーザー研、
^F 富山大、^G 青山学院大、^H 北海道大

森田太智^A、諫山翔伍^A、枝本雅史^B、古場健斗^A、栗丸空^A、松清修一^A、
長松優斗^A、尾川知也^A、境健太郎^C、佐々木徹^D、佐野孝好^E、竹崎太智^F、
田中周太^G、富田健太郎^H、山崎了^F、坂和洋一^E

レーザーやパルスパワーによる固体アブレーションでは、高いエネルギー密度のプラズマを容易に生成でき、強磁場下でのプラズマ現象を実験的に検証できる。大阪大学の大型レーザーである激光の照射で生成した高エネルギープラズマと、プラズマ中に自己生成、またはパルス駆動の外部印加強磁場を用いて、未解明の宇宙のプラズマ現象である磁気リコネクションや無衝突衝撃波の検証実験を行っている。レーザーを固体に集光照射すると、100 T 程の非常に強い磁場が集光点周りに生成され、プラズマとともに広がる。この強磁場同士のつなぎ替わり（磁気リコネクション）[1,2]について、つなぎ替わる速度（リコネクション率）が実験から決定できることを解析から明らかにしたが[3,4]、衝突させるプラズマ・磁場のパラメータを変化させ、リコネクション率や磁気エネルギーからプラズマエネルギーへのエネルギー変換を計測から直接求めることで、リコネクション率のパラメータ依存性を検証できるようになってきた。また、磁場を斜めに相互作用させ、磁気リコネクションによって加速されるプラズマ挙動がどう変化するのか、局所計測と排出されるプラズマ速度の両計測から検討する。

また、現在、パルスパワー放電による細線アブレーションで生成する高エネルギープラズマと大電流で駆動する強磁場を用いたリコネクション実験装置を開発中である[3]。本装置で検証可能なプラズマと磁場、またリコネクションパラメータ等について検討した結果について紹介する。

[1] M. Yamada et al., Rev. Mod. Phys. 82, 603 (2010)

[2] E. Zweibel et al., Annual Review of Astronomy and Astrophysics 47, 291 (2009)

[3] T. Morita et al., Phys. Rev. E 106, 055207 (2022)

[4] T. Morita et al., Phys. Plasmas 26, 090702 (2019)

磁気白色矮星のもつ 1000 テスラ磁場の物性物理学的な解釈

^A 東京大学 理学系研究科、^B 神戸大学 理学研究科

牧島 一夫^A、伏屋 雄紀^B、

初期質量 $0.08\sim 8M_{\odot}$ (M_{\odot} は太陽質量)の恒星は進化すると、中心部で C, O, Ne, Mg を合成する核融合で輝き、これら元素からなる高密度のコアと、大きく膨らんだ外層 (H+He) をもつ、赤色巨星となる。核融合が停止し外層が星間空間へ放出されると、コアは電子縮退圧で支えられた白色矮星(WD)として残る。その質量は $0.3\sim 1.3 M_{\odot}$ 、半径は太陽の $\sim 1\%$ 、密度は $\rho\sim 10^6 \text{ g/cm}^3$ 、電子のフェルミエネルギーは $\epsilon_F\sim 200 \text{ keV}$ に達する。誕生時、中心温度は $\sim 6\times 10^8 \text{ K}$ 、表面温度は $\sim 6\times 10^4 \text{ K}$ だが、約 1 億年かけて冷えてゆく^[1]。

銀河系内で観測された $\sim 10^4$ 個の WD のうち 1~2 割は、水素吸収線のゼーマン分裂により、 $B=10^0\sim 10^5 \text{ T}$ (中央値は 1000T) の強磁場をもつことが知られており、MWD と呼ばれる。残る多数派の WD では、磁場は検出限界より弱い ($B<10^0 \text{ T}$) ので、WD の磁場分布は明らかに 2 山構造を示すが、その理由は未解明である^[2]。

WD が冷えて内部温度が $< 2\times 10^6 \text{ K}$ になると、プラズマ状態だった C, O, Ne, Mg などのイオンがクーロン結晶 (内殻電子を持たない完全電離イオンが作る格子構造) になると考えられる。面白いことに、内部が結晶化したと思われる WD は、高い確率で MWD になることが観測されている。結晶化すればイオンは流動性を失うので、物質の対流と差動回転を必要とする、ダイナモ過程による磁場増幅は働かない。したがって MWD の強磁場は、縮退した遍歴電子がスピン整列することで生じる、強磁性の発現である可能性が高い^[4]。じっさい全電子の 1 割が強磁性になれば $B\sim 10^5 \text{ T}$ に達して最強の MWD が説明できるし、常磁性のままなら磁場のない WD となると期待される。

そこで、Ne, Mg などのイオンが作るクーロン結晶中で、 $\epsilon_F\sim 200 \text{ keV}$ の縮退した電子が強磁性を獲得できるか、という問題設定となる。パウリの排他率と電子間のクーロン斥力 U_{ee} により、多電子系の波動関数は元来、空間部分が反対称、スピン部分が対称になることを好むが、それだけでは不十分である。イオンの周期的ポテンシャル中でバンド構造を作った電子が、鉄に代表されるような「バンド強磁性」を示すためには、電子の状態密度 D がバンドギャップの上下端で増加し、 ϵ_F 付近で $U_{ee}D(\epsilon_F)>1$ という「ストーナー条件」を満たすことが必要である。そこで実際に計算してみると、密度が高く電子間の U_{ee} が高まる効果にも増して、 $\epsilon_F\sim 200 \text{ keV}$ がとても高いため、電子は自由電子としての性格を強く示す結果、簡単にバンド強磁性は発現しないようである。

そこで、相対論を取り込んで考える、WD の最深部ではなく、やや表面に近い部分 (ここでは ϵ_F が下がる) を考える、縮退電子がクーロン結晶のフォノンと結合してポーラロンを作って有効質量を増やす過程を取り込む、などの検討を進めている。まだ肯定的な結果を得るには至っておらず、模索が続いているものの、通常結晶より格子定数が 2 桁も小さく、フェルミエネルギーが数十倍も高いような、「非日常的」なパラメータ領域での物性物理学を考えることは、たいへん刺激的な挑戦となっている。

[1] Saumon, D., Blouin, S., and Tremblay, P.-E. : *Physics Reports*, **988**, 1 (2022)

[2] Ferrario, L., de Martino, D., and Gaensicke, B. T. : *Space Science Reviews*, **191**, 111 (2015)

[3] Bagnulo, S. & Landstreet, J. D.: *Monthly. Not. Roy. Astron. Soc.* **507**, 5902 (2021)

[4] Ichimaru, S.: *Physics of Plasmas*, **8**, 48 (2001)

TBA

第一原理計算による安定電荷・スピン秩序の予測

^A山形大理、
笠松 秀輔 ^A

遷移金属イオンを含む化合物に対して DFT+U 法に基づく第一原理計算を適用した場合、様々な電荷・スピン状態に対応した任意の局所最適解に電子状態がトラップされ、どのような電荷・スピン秩序が比較的安定に存在するか、事前知識なしに予測することは非常に難しい。この問題を解決し、低エネルギーの電荷・スピン秩序とそれに伴う格子変形を第一原理計算で自動探索できれば、磁場下で構造転移する物質の探索が加速できると期待される。そこで本研究では、「構造中の遷移金属イオンをランダムに選択し、局所的に歪みを加え、電子状態の最適化を行う」ことを繰り返す **local perturbation + relaxation** 法を考案、実装し、その有効性を検証した。まずは、「正解」が分かっている具体例として、NiO の反強磁性秩序、LiMn₂O₄ の Mn^{3+/4+} の電荷秩序 (図)、酸素欠陥を有する TiO₂ のポーラロン配置の最適化を行い、妥当な結果を得た。さらに、本手法をリチウムイオン電池正極材料 LiNi_{1/3}Mn_{1/3}Co_{1/3}O₂ に適用し、通常的第一原理計算による構造最適化に比べて、エネルギーが 1 eV も低い電子配置を得た。すなわち、電荷・スピン秩序が不明瞭な場合で正確なエネルギー計算を行い、磁場下相転移の可能性を評価するためには、通常構造最適化では不十分で、本研究のような電子配置の最適化が必要となることが明確となった。

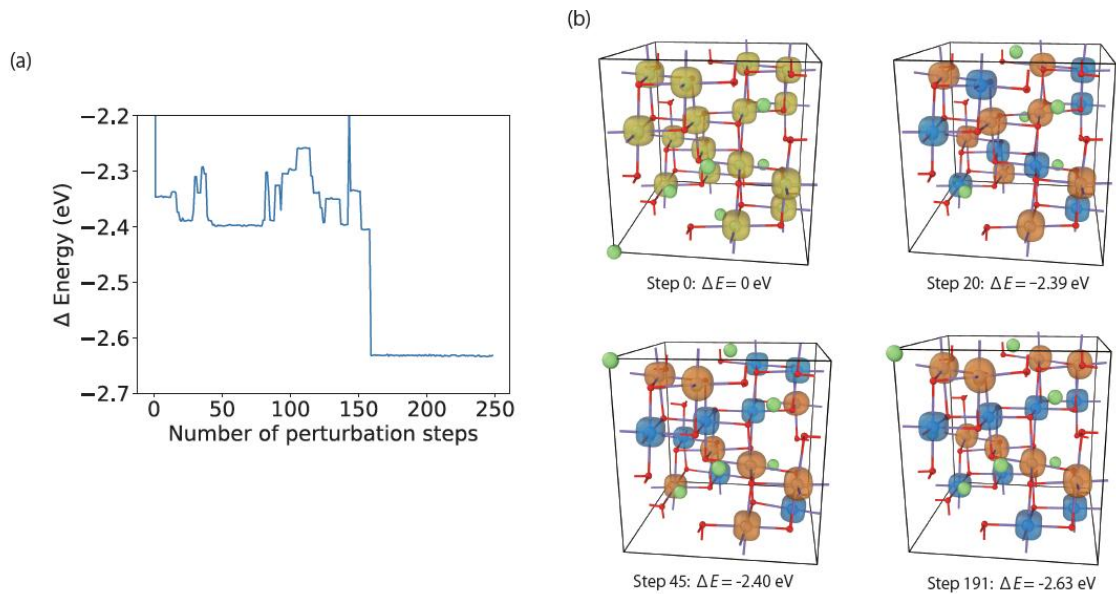


図. LiMn₂O₄ の電荷・スピン秩序の自動探索

非摂動磁場によるランダム分子の制御と X 線吸収分光法による観測

岡山大学 環境生命自然科学学域

片山 尚幸

固体結晶中で構成元素が自発的に集合し、分子軌道状態を形成する現象は、物質の電子状態や結晶構造を大きく変化させる。こうした分子軌道状態を超高磁場によって抑制し、化学結合に対する非摂動磁場効果を解明することは、本研究分野における主要課題の一つである。一般に、結晶中で分子軌道が形成される際には数千 K 級の大きなエネルギーギャップが生じるため、分子形成に伴う格子歪みの解消によるエネルギー利得を考慮しても、磁場によって結合状態を変化させることは容易ではない。そこで本研究では、以下の二つの方針に基づき、固体結晶中の分子軌道に対する非摂動磁場効果の検証を進める。

1. RuX (X = P, As, Sb) に対するパルス磁場下 X 線吸収分光測定

MnP 型構造をもつ RuX では、X = P, As の場合に低温で金属絶縁体転移が生じ、Ru が直線状の三量体分子を周期的に形成する。一方、X = Sb では全温度領域で金属的であり、三量体分子の長距離秩序は現れない。我々はこれまでに原子二体分布関数 (PDF) 解析による構造研究を行い、X = P, As では高温金属相において三量体分子の長距離秩序は消失しているものの、局所的な短距離秩序としての特徴が残存することを明らかにしてきた。また、X = Sb についても、三量体そのものと断定することはできないものの、分子形成に関連した何らかの局所秩序が発達している可能性を見いだしている。高温相で現れるこのような局所的分子状態は、熱揺らぎの下で不安定に存在している可能性があり、低温で長距離秩序化した分子状態に比べて、より低い磁場で抑制されることが期待される。そこで本研究では、SPring-8 において RuSb のパルス磁場下 X 線吸収分光測定を行い、磁場印加に伴う局所構造変化を追跡することで、短距離秩序として現れる分子状態に対する非摂動磁場効果を検証する。

2. Tl₂Ru₂O₇ におけるパルス磁場下電気抵抗測定

パイロクロア型酸化物 Tl₂Ru₂O₇ では、低温で金属絶縁体転移が生じるとともに、隣接する RuO₆ 八面体間で、両者をつなぐ頂点酸素を介した Ru-O-Ru 分子が周期的に形成される。相転移温度が 125 K と比較的低いことから、分子軌道形成に伴うエネルギースケールも、典型的な分子性絶縁体に比べて小さい可能性がある。このため Tl₂Ru₂O₇ は、到達可能な超高磁場下で分子軌道状態の抑制や金属化の兆候が現れうる有望な候補系である。前期 (R6-R7) には物性研究所強磁場施設においてパルス磁場下電気抵抗測定の前準備実験を実施し、150 T 弱の磁場パルスの立ち上がりおよび減衰に対応する抵抗変化を示唆する信号を得ている。2026 年度には再実験を行い、再現性の確認と信号の定量的評価を通じて、Tl₂Ru₂O₇ における分子軌道状態の超高磁場応答を明らかにすることを目指す。

XFEL 分光法を用いた超強磁場誘起量子相の解明

東大物性研

久保田 雄也

磁場は物質科学における基本的な外場の一つであり、物質の磁気モーメントに直接作用することで、多くの興味深い物性や現象を誘起できる。特に 100 テスラ以上の磁場下で、イッテルビウム化合物の特異な金属相[1]やコバルト酸化物の新規スピン秩序相[2]など、超強磁場誘起の相転移が発見され、注目されている。しかし、100 テスラ以上の超強磁場の発生時間は数マイクロ秒と短く、物性計測手段は限られていた。具体的には磁化・電気伝導・磁歪・磁気光学測定といったマクロな物理量を計測する手法であり、超強磁場下で結晶構造や電子状態のミクロな情報を直接得る手段はこれまでなかった。マクロ量の起源を知るにはミクロな情報が必要であり、超強磁場に由来する新規相・現象が、どのような物理機構で発現しているのかを実験的に解明できずにいた。

このような背景の中、我々は日本唯一の X 線自由電子レーザー (XFEL) 施設 SACLA にてポータブルな超強磁場発生装置 Portable INTense Kyokugenjiba (PINK)-02 を開発し、図 1 に示すように、世界最高 110 テスラにおける X 線回折測定に成功した。この手法を利用すれば、100 テスラ超強磁場下のミクロな結晶構造を直接明らかにできる。一方、電子のスピンや価数といった情報は X 線回折測定からの取得が難しく、超強磁場下のミクロな電子状態の取得という課題が未だ残っている。その問題を克服するべく、本研究にて、XFEL と PINK-02 を組み合わせた、100 テスラ超強磁場下における X 線吸収/発光分光手法の開発を提案する。

本研究の目的は、100 テスラ超強磁場下で発現する価数状態やスピン秩序相などのミクロな電子状態を直接観測するための X 線吸収/発光分光法を開発し、それらの物理機構を解明することである。図 1 にこれまでの研究背景も踏まえた、本研究の概要を示す。本講演にて、研究計画の詳細と最近試験的に実施した超強磁場下の X 線吸収分光の結果について紹介する。

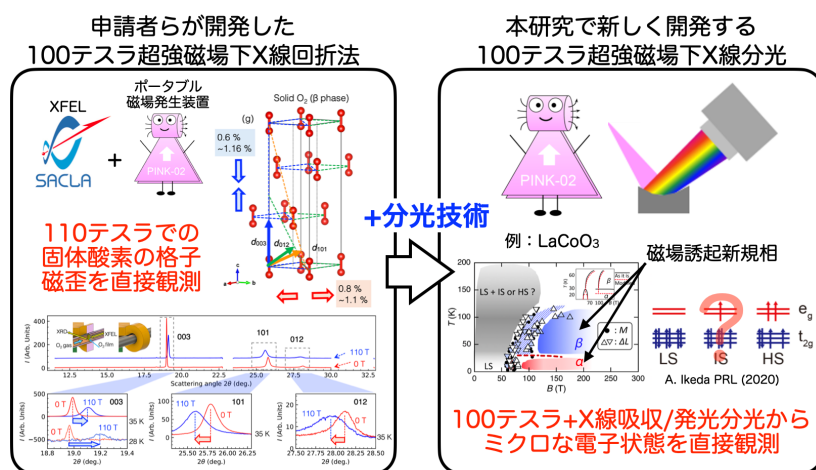


図 1. 本研究の概要。

[1] T. T. Terashima *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 054710 (2017).

[2] A. Ikeda *et al.*, Phys. Rev. Lett. **125**, 177202 (2020).

[3] A. Ikeda, Y. Kubota (equal contribution) *et al.*, Phys. Rev. Lett. **135**, 186702 (2025).

非摂動強磁場下における異常ホール効果の解明

^A 東京科学大学、^B 豊田理化学研究所

打田正輝 ^{A,B}

我々は近年、磁性ワイル半金属の薄膜において、面内磁場によって巨大な異常ホール効果が誘起されることを発見した[1]。この面内異常ホール効果は、量子幾何学量の一種である軌道磁化が顕在化した効果であると理解され、新たな交差相関応答として今後の学理開拓が期待される[2-4]。

さらに、我々は、このアイデアを非磁性ディラック半金属に応用することで、非磁性体における異常ホール効果の観測に成功した[5]。これは、ローレンツ力による正常ホール効果と分離された形で異常ホール効果の定量的な検出を可能にしたという点で、学術的に重要な進展である。

面直磁場下で非摂動強磁場領域に達すると、電子バンドはランダウ準位へと分裂し、二次元的な電子構造を持つ場合には量子ホール効果が発現する。面内磁場ではそのような変化は起きないが、両方の成分を持つ傾斜強磁場下では、面直磁場成分によりランダウ分裂を引き起こし、さらに面内磁場成分に応答する効果に着目することで異常ホール効果を検出できると期待される。本研究では、このような量子ホール領域における異常ホール効果の学理構築を目指す。

[1] A. Nakamura *et al.*, Phys. Rev. Lett. **133**, 236602 (2024) Selected for Editors' Suggestions

[2] H. Lee *et al.*, Phys. Rev. B **111**, L241106 (2025)

[3] S. Nishihaya *et al.*, Adv. Mater. **37**, e02624 (2025)

[4] A. Nakamura *et al.*, arXiv:2507.21458

[5] S. Nishihaya *et al.*, Phys. Rev. Lett. **135**, 106603 (2025)

Poster Presentations

Poster presentations

April 24th 16:55 - 18:30 (会議室1,2 + 会議室 4 ~ 6)

Poster No.			
1	日高 大知	名古屋大学	A01 非磁性体 SmS と CuGeO ₃ における磁場誘起相の開拓
2	林 竜ノ介	名古屋大学	A01 量子振動によるトポロジカル酸化物の電子状態解明
3	Yu-Bo Huang	東京大学	A01 All-optical Control of Polarization Change in Electronic Ferroelectrics
4	Xiaochen Wang	University of Tokyo	A01 Study of the magnetic field-induced insulator-metal transition in W-doped VO ₂
5	Zhao Junmeng	Istitute of solid state physics	A01 A contactless RF technique for resistivity measurement of powder samples above 100 T
6	OH BYUNGKWON	The University of Tokyo	A01 Development of the measurement technique for the electric polarization in ultrahigh magnetic fields exceeding 100 T
7	HUANG KAIYANG	The Institute for Solid State Physics	A01 Optical absorption spectroscopy of van der Waals antiferromagnets in ultrahigh magnetic fields
8	塚田 真也	広島大学	A01 ラマン散乱研究の新展開：パルス磁場下フォノン応答と組成-温度勾配による相図探索
9	石井 裕人	東京大学	A01 超高速磁場の発生とその応用可能性
10	小林 秀彰	電気通信大学	A02 3D 有限要素法シミュレーションを用いた電磁濃縮法による超強磁場発生プロセスの解析
11	野田 孝祐	電気通信大学院	A02 ベクトルパルスマグネットを用いたビスマスの異方的磁気抵抗の測定
12	野原 実	広島大学	A02 TmPO ₄ における磁場誘起ヤン-テラー転移
13	松本 峻平	広島大学	A02 せっけんの化学による物質探索：金属一次元鎖を有する Zr ₆ FeSb ₂ および Zr ₆ RuSb ₂
14	佐竹 美月	広島大学	A02 強磁場による分子破壊のための物質開発：Eu(Rh,Co) ₂ P ₂ の結晶育成
15	二宮 大翔	広島大学	A02 交替磁性体 CrSb と NiS のピエゾ磁気効果
16	大池 広志	国立研究開発法人物質材料研究機構	A02 Control of Temperature-Magnetic Field Sweep Paths toward Metastable High-Field Phases
17	山根 聡一郎	京都大学	A02 Tracking the field-induced metamagnetic transition in multiferroic Fe ₂ Mo ₃ O ₈ using magneto-optical Kerr effect
18	松下 真大	広島大学	A02 Nb 三量体を有する極性金属 NbS における超伝導
19	中村 颯汰	京都大学大学院	A02 パルス強磁場下における UTe ₂ の磁気光学カー効果測定
20	鈴木 秀弥	京都大学	A02 ファイバーベース光学系における磁気光学Kerr効果のバックグラウンドフリー計測
21	加茂 葵	広島大学	A02 メタルリッチ化合物 Zr ₆ MSb ₃ (M = Ru, Ni, Pd, Pt) における超伝導探索
22	河合 慶一郎	電気通信大学	A02 Magnetostriction measurements of MnF ₂ under pulsed magnetic fields
23	卜部 裕真	電気通信大学	A02 強磁場×高圧のための非金属小型圧力セルの開発およびベクトルパルスマグネットを用いた Fe ₃ O ₄ の磁気抵抗・ホール抵抗測定
24	花井 龍一郎	東京大学	A03 トポロジカル反強磁性体 NdBi における強いスピン格子結合によるメタ磁性転移
25	大平 至波	東京大学	B01 クラスタ物質 GeV ₄ S ₈ における磁場誘起ヤン・テラー相転移
26	松林 龍	大阪大学理学研究科	B01 強磁場下におけるフラストレート格子系強誘電体 Cd ₂ Nb ₂ O ₇ の超音波測定
27	Bei Sun	The University of Tokyo	B01 Magnetic-field switching of exciton-magnon coupling in LiNiPO ₄
28	Susumu Okubo	Kobe University	C01 Magnetostriction measurements of CsFeCl ₃ under high magnetic fields
29	太田 那生也	東北大学	A06 変分モンテカルロ法を用いた Hofstadter-Hubbard 模型に対する磁場効果
30	岩崎 龍太	東北大学	A06 キタエフ候補物質 RuX ₃ (X = Cl, Br) に対する磁場応答の理論
31	那須 謙治	東北大学	A06 極限環境下の固体酸素で現れる新規磁性相
32	瀬尾 優太	東京大学	A03 原子層物質の強磁場下トンネル伝導測定
33	Wei Yulong	Faculty of Science, Kyushu University	B02 Magnetic-Field-Induced Magnetoelectric Coupling in a Ferromagnetic [Mn ₃ O] Single-Molecule Magnet
34	永田 崇	東京大学	A04 光受容タンパク質の吸収波長スクリーニング自動化技術の開発
35	草本 哲郎	大阪大学	A04 磁場応答発光を示す新たな開殻分子系の開拓
36	GUO YULIN	東京大学物性研究所	A01 The optical absorption spectra of a microbial rhodopsin in 400 T ultra-high magnetic field
37	中山 和之	東京大学	A05 差周波発生における有効ゲージ場の実験的研究
38			A05 (Cancel)
39	内藤 佳輝	大阪大学	B03 レーザー進行方向に垂直な弱い外部磁場が存在する系におけるレーザーイオン加速の高エネルギー化に関する研究
40	酒井 英明	東北大学	A03 Bi 正方格子物質の"強誘電"転移における強磁場効果

非磁性体 SmS と CuGeO₃ における磁場誘起相の開拓

^A名大工、^B東大物性研、^C電通大、^D理研

日高 大知^A、井口 寛太^A、水野 陽介^A、平井 大悟郎^A、石井 裕人^B、
林 浩章^B、松田 康弘^B、巖 正輝^B、小濱 芳允^B、鈴木 博之^B、野田 孝祐^C、
池田 暁彦^C、久保田 雄也^D、竹中 康司^A

本研究では、非磁性絶縁体 SmS およびスピン・パイエルス物質として知られる CuGeO₃ について、100 T を超える強磁場下における磁場誘起相転移を調査した。

SmS は黒色相と金色相の二つの電子相を有し、常圧では黒色相をとる。黒色相は $J=0$ の非磁性絶縁体であり、金色相は $J=5/2$ の磁性金属である。圧力印加や元素置換により相転移を示すことが報告されており[1,2]、両者の磁性の違いから、強磁場下での相転移が期待される。本研究では、垂直温度勾配凝固法により作製した SmS 単結晶を用いて実験を行った。一巻きコイル法によりパルス強磁場を発生させ、Fiber Bragg Grating[3]を用いた磁歪測定を行った。さらに、ポータブル 110 T 発生装置 PINK-02[4]と X 線自由電子レーザーを組み合わせ、強磁場中 X 線回折測定を実施した。図 1 に示す 140 T までの測定では、80 T 付近で収縮が始まり、最大約 200 ppm の磁歪を観測した。これは圧力誘起相転移に伴う歪み (2×10^4 ppm) [1]と比較して 2 桁小さい。また、110 T における強磁場中 X 線回折測定では、回折ピークの有意なシフトは観測されなかった。これらの結果は、金色相とは異なる電子相の発現を示唆している。

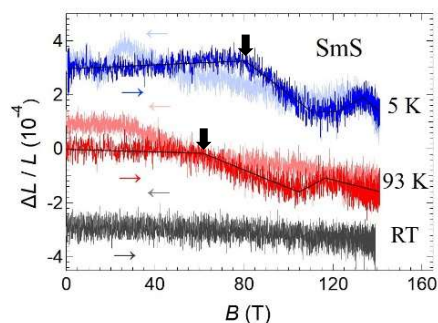


図 1. SmS の 5 K、93 K、室温における 140 T までの磁歪の磁場依存性。

CuGeO₃ はスピン・パイエルス転移を示す最初の無機化合物として知られ[5]、 $S=1/2$ の Cu イオンが低温で二量体を形成し、非磁性基底状態をとる。磁場印加により 12.3 T で部分的に二量体が破壊され、254 T で強制強磁性状態に至ることが報告されている

[6]。本研究では、この中間磁場領域の磁気状態を明らかにするため、Floating Zone 法で作製した単結晶を用い、180 T までの磁歪測定を行った。 b 軸方向に磁場を印加した結果、約 100 T において磁歪の挙動変化を観測した。この結果は、二量体の破壊がそれ以上進行しない飽和状態に至った可能性を示唆している。

以上の結果は、非磁性体において 100 T を超える強磁場を印加することで、圧力や他の外場によって誘起される相とは異なる新規相が出現する可能性を示している。

[1] A. Jayaraman *et al.*, Phys. Rev. Lett. **25**, 3023 (1970).

[2] K. Takenaka *et al.*, Sci. Rep. **9**, 122 (2019).

[3] A. Ikeda *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **89**, 096103 (2018).

[4] A. Ikeda *et al.*, Phys. Rev. Lett. **135**, 186702 (2025).

[5] M. Hase *et al.*, Phys. Rev. Lett. **70**, 23 (1993).

[6] H. Nojiri *et al.*, Phys. Rev. B. **52**, 17 (1995).

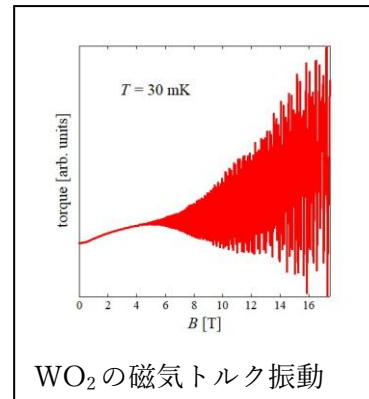
量子振動によるトポロジカル酸化物の電子状態解明

^A名大院工、^B東大物性研

林竜ノ介^A、村松佑都^A、平井大悟郎^A、竹中康司^A、徳永将史^B、近藤雅起^B

トポロジカル半金属とは、 E_F 付近で伝導体と価電子帯が線形に交差するという特徴を持つことが知られている。このバンド構造に由来する有効質量が0であるディラック電子が引き起こす高移動度キャリアや巨大磁気抵抗などの特異な物性から近年注目を浴びている。中でも遷移金属二酸化物である WO_2 と RuO_2 は理論計算によるバンド構造や、巨大磁気抵抗効果などから[1][2][3]、どちらもトポロジカル酸化物であることが予想されている。本研究では、まず気相輸送法による単結晶育成を行った。そのうち、 WO_2 には最大 17.5 T、 RuO_2 には最大 60 T の磁場を印加することで量子振動の観測を行った。そこからディラック電子やディラックノーダルライン (DNL) の観測をすることで未解の電子状態を明らかにすることを試み、第一原理計算の結果と比較を行った。

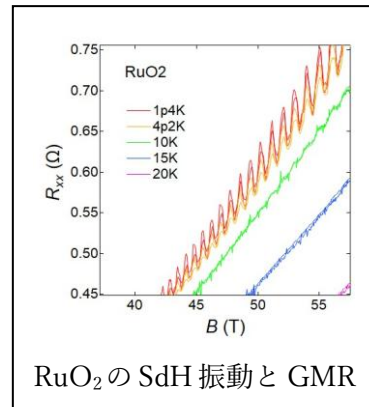
WO_2 はそれぞれが垂直に交わる、 a^* 軸、 b 軸、 c 軸に対して、30 mK で磁場を印加し、磁気トルクの角度依存性を測定した。また、 a^*b 面、 bc 面、 ca^* 面の各面において 2 方向ずつ、35 mK から 978 mK の範囲で 8 回温度を変えて温度依存性を測定した。解析において、角度依存性ではすべてのフェルミ面が理論値より小さくなっていることが分かった。温度依存性では L K 公式を用いて mass-plot を行ったところ、ほぼすべての電子の有効質量が理論値の 2~4 倍大きくなっていることが分かった。角度依存性の結果も考慮すると、原因は単純な E_F のシフトや電子フォノン相互作用ではなく、電子相関の影響だと予測される。一方、理論値で DNL があると予想されている場所の電子は自由電子との質量比が 0.05 と理論値と一致しており、ディラック電子だということが分かった。



WO_2 の磁気トルク振動

RuO_2 はディラック電子を観測しやすくするために比較的高温 (1.4~20 K)、強磁場 (60 T) で電気抵抗振動の測定を行った。結果として、明瞭な量子振動とともに 60 T を超えても飽和しない $1.1 \times 10^7\%$ ほどの巨大な磁気抵抗が観測された。

結果として本研究では WO_2 がトポロジカルな性質を持つことが分かり、 RuO_2 ではディラック電子の存在が示唆された。今後は Ru 以外のトポロジカル物質も探索していく予定である。



RuO_2 の SdH 振動と GMR

[1] Hongyu. C *et al.*, *Adv. Mater.* **37**, 2507764 (2025).

[2] Y. Sun *et al.*, *Phys. Rev. B* **95**, 235104 (2017).

[3] Y. Muramatsu *et. al.*, *APL Mater.* **13**, 011119 (2025).

All-optical Control of Polarization Change in Electronic Ferroelectrics

^AISSP, The University of Tokyo、^BIMCE, Kyushu University

Yu-Bo Huang^A、Shu-Qi Wu^B、Yasuhiro H. Matsuda^A、Osamu Sato^B

Ferroelectric memory devices are distinguished by their capacity to retain data without continuous power supply, providing significant energy-saving advantages. However, the electrode physically contacts the ferroelectric unit during a typical operation cycle of a FeRAM device, leading to difficulties during device fabrication. In this context, we propose a new approach involving the electron transfer coupled spin transition (ETCST) process in cyanide-bridged [FeCo] bimetallic complexes, which distinguishes from traditional materials by enabling polarization switching in response to light.

Herein, our complex, [Fe(Tp)(CN)₃]₂(Co(dpa)₂)·2H₂O·IPA ([Fe₂Co]), exhibits a thermo- and light-induced ETCST associated with a ferroelectric-type phase transition between a nonpolar space group (*C2/c*) and a polar one (*Cc*), allowing for the direct observation of polarization switching by conventional pyroelectric measurements [1]. Most impressively, irradiation with a 532 nm laser can convert the nonpolar phase generated by irradiating with a 785 nm laser into the polar phase, producing a clear electric current signal without requiring any external electric field [2]. Such optical cycles can be replayed repeatedly without a change in the polarization value, providing an optical mimic of the typical operational cycles of FeRAM devices.

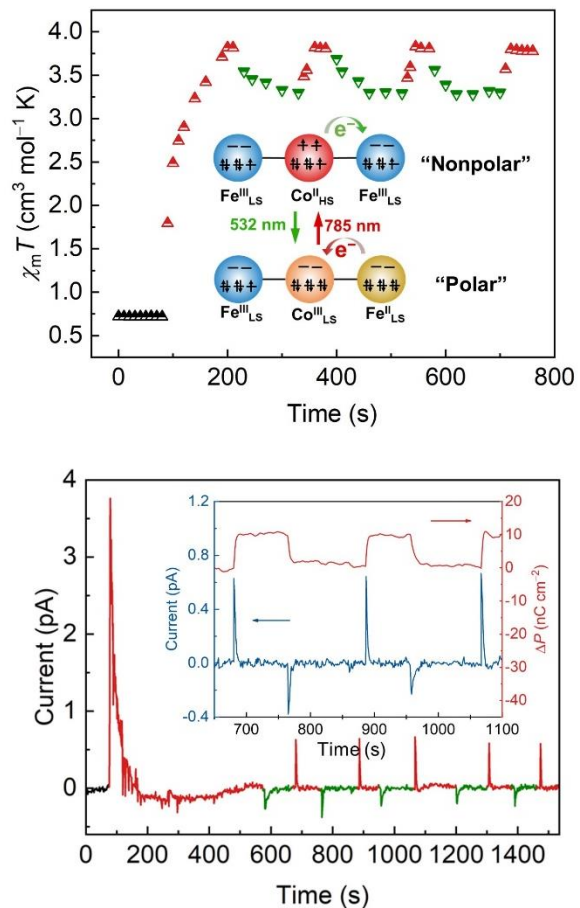


Fig. 1. Time-dependent $\chi_m T$ plots by applying alternative 785 and 532 nm light irradiation of [Fe₂Co].

[1] Y. Huang *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **146** (1), 201-209 (2024).

[2] Y. Huang *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **63** (38), e202409948 (2024).

Study of the magnetic field-induced insulator-metal transition in W-doped VO_2

^AISSP, UTokyo, ^BELST, Okayama University, ^CRIIS, Okayama University

Xiaochen Wang^A, Yasuhiro H Matsuda^A, Yuto Ishii^A, Hiroaki Hayashi^A, Hironobu Sawabe^A, Shota Nakamura^B, Yuji Muraoka^C

Vanadium dioxide (VO_2) is a prototypical system for studying the physics of metal–insulator transitions (MIT). It undergoes a first-order phase transition near 340 K from a high-temperature metallic paramagnetic rutile phase to a low-temperature insulating diamagnetic monoclinic phase, accompanied by a dramatic change in resistivity over several orders of magnitude and a pronounced jump in magnetic susceptibility. In the insulating phase, V^{4+} ions form V–V dimers along the crystallographic c axis, which are widely considered crucial for electron localization. However, whether this structural distortion is the primary driving force of the MIT or a consequence of an electronically driven transition remains an open question [1].

In this study, the external magnetic field is used as the primary control parameter. Ultrahigh magnetic fields exceeding 500 T were generated using the electromagnetic flux compression (EMFC) technique [2]. The high-frequency (radio frequency; RF) impedance measurement has been conducted to investigate the field-induced insulator-metal transition. A $V_{1-x}W_xO_2$ ($x=0.04$) thin film [3] was used for the experiment. The measurement temperature is 204 K, which is lower than the MIT transition temperature of this film (around 238 K).

The measurements reveal a pronounced anomaly in the RF signal at 150 MHz in the ultrahigh-field region around 300 T, indicating a significant change in electronic transport properties. This anomalous response is attributed to a magnetic-field-induced metallic phase. This study has revealed the magnetoresistance at the magnetic-field-induced insulator-metal transition in $V_{1-x}W_xO_2$ for the first time. The strong magnetic field acts on the V^{4+} d electrons via the spin Zeeman effect, destabilizing the electronic structure stabilized by V–V dimerization in the insulating phase and thereby inducing an insulator–metal transition [4].

[1] Daniel I. Khomskii and Sergey V. Streltsov, *Chem. Rev.* **121**, 2992 (2021).

[2] D. Nakamura *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **89**, 095106 (2018).

[3] Y. Muraoka and Z. Hiroi, *Appl. Phys. Lett.* **80**, 583 (2002).

[4] Y. H. Matsuda *et al.*, *Nat. Commun.* **11**, 3591 (2020).

A contactless RF technique for powder samples in microsecond pulsed magnetic fields above 100 T

^AISSP, Univ. of Tokyo, ^BDept. of Phys., Univ. of Osaka

Junmeng Zhao^A, Yuto Ishii^A, Noriaki Hanasaki^B and Yasuhiro.H.Matsuda^A

Understanding the evolution of electrical transport and dielectric properties under strong magnetic fields is essential for revealing the electronic structure, phase transitions, and correlated behaviors of quantum materials and functional oxides. Characterization of magneto-transport phenomena provides important insight into carrier dynamics, electron localization, magnetic ordering, and field-induced emergent states[1].

To overcome the limitations of conventional contact-based measurements in extreme magnetic-field environments, this study develops a wireless radio-frequency (RF) system for non-contact electrical characterization under ultra-high magnetic fields. The technique is particularly suitable for powders, liquids, brittle materials, and small-sized samples that are difficult to probe using traditional electrode-based methods. By employing an RF reflection-based detection scheme, the system indirectly monitors magnetic-field-dependent changes in electrical resistivity and dielectric properties through real-time measurements of reflected RF amplitude and phase.

By correlating the complex RF response with the electromagnetic impedance of the sample, dynamic transport and dielectric behaviors can be quantitatively evaluated. To satisfy the demanding conditions of pulsed-field experiments, especially in single-turn coil systems exceeding 100 T, the RF measurement chain, shielding configuration, and heterodyne demodulation architecture were systematically optimized to improve signal stability and temporal resolution.

Experimental results demonstrate that the developed RF system can reliably acquire electromagnetic response signals in both non-destructive and destructive pulsed magnetic fields, enabling sensitive detection of magnetic-field-induced variations in resistivity and dielectric constant. Compared with conventional four-probe methods, the proposed technique offers electrode-free operation, broad sample compatibility, and superior adaptability to harsh experimental environments.

[1] Shitaokoshi T et al., Rev. Sci. Instrum. **94**, 094706 (2023)

Development of the measurement technique for the electric polarization in ultrahigh magnetic fields exceeding 100 T

^A 東大物性研、^B 東大新領域、^C 神戸大学

B. Oh^A, P. Chiu^A, H. Yagiuchi^B, M. Gen^A, Y. Tokunaga^B, M. Akaki^C, Y. H. Matsuda^A

Various techniques such as magnetization, magnetostriction, and ultrasound measurements have been developed for ultrahigh magnetic fields (B) beyond 100 T [1,2]. In contrast, electric polarization measurements remain technically challenging because of large inductive noise and signal distortion under ultrafast magnetic-field pulses. In this work, we developed a differential measurement technique for detecting polarization responses in a single-turn coil (STC) system [3]. The measurement circuit was optimized with careful consideration of common-mode noise suppression, wiring configuration, signal transmission, transformer coupling, and impedance conditions.

The validity of the setup was first examined using $\text{Ca}_2\text{CoSi}_2\text{O}_7$, a known magnetic-field-induced polarization material [4]. We then applied this technique to $\text{CaBaCo}_{3.9}\text{Ni}_{0.1}\text{O}_7$, which exhibits a giant magnetoelectric effect [5], and performed measurements up to 100 T at 4.2 K with $P\parallel c$. Clear anomalies in dP/dB , corresponding to field-induced polarization responses, were observed for both $B\parallel a$ and $B\parallel c$. The characteristic field range is broadly consistent with previous reports, although a slight shift was found, possibly reflecting polarization dynamics under ultrafast pulsed fields and/or experimental conditions.

We will present the basic measurement principle, optimization of the STC polarization setup, and preliminary results for $\text{CaBaCo}_{3.9}\text{Ni}_{0.1}\text{O}_7$, and discuss the potential of this method for magnetoelectric studies in extreme magnetic fields.

- [1] T. Nomura et al., *Nat. Commun.* **14**, 3769 (2023).
- [2] S. Peng et al., *Supercond. Sci. Technol.* **38**, 075012 (2025).
- [3] M. Tokunaga, *Front. Phys.* **7**, 386 (2012).
- [4] M. Akaki et al., *Appl. Phys. Lett.* **94**, 212904 (2009).
- [5] M. Gen et al., *Phys. Rev. B* **105**, 214412 (2022).

Optical absorption spectroscopy of van der Waals antiferromagnets in ultrahigh magnetic fields

^AInstitute for Solid State physics, Univ, of Tokyo;

^BDepartment of Physics and Astronomy, Seoul National Univ

^AKaiyang Huang, ^BJaena Park, ^AZhuo Yang, ^AYoshimitsu Kohama, ^AAtsuhiko Miyata,

^BJe-Geun Park, ^AYasuhiro H. Matsud

NiPS₃ is a layered van der Waals antiferromagnetic insulator that has attracted considerable interest as a model system for studying the interplay between magnetic order and optical excitations in two-dimensional correlated materials. Below the Néel temperature of approximately 155 K, it exhibits zigzag antiferromagnetic order and hosts two ultranarrow near-infrared excitonic resonances around 1.475 and 1.498 eV [1], indicating a close coupling between the excitonic states and the antiferromagnetic background. Understanding how these excitons evolve under strong magnetic fields is important for clarifying how spin, orbital, and excitonic degrees of freedom are intertwined in magnetic van der Waals systems.

Here, we perform magneto-optical absorption measurements on NiPS₃ in pulsed magnetic fields up to 178 T. We find that the two excitonic branches show a pronounced field-induced mutual repulsion: under an external magnetic field, the higher-energy exciton shifts to higher energy, whereas the lower-energy exciton shifts to lower energy, as summarized in Fig. 1. Moreover, the magnitudes of the two shifts are different, reaching about +3 meV and –2.5 meV, respectively, at 178 T. In contrast, the optical band edge shows no detectable field-induced shift within our experimental resolution. The peak shifts are nonlinear at low fields and become nearly linear at high fields, while the overall effect is strongly suppressed as the temperature approaches the Néel temperature.

To account for these observations, we introduce a minimal two-level model with a common diamagnetic term and a field-induced off-diagonal coupling between the two excitons. The model reproduces the opposite energy shifts and their high-field evolution semi-quantitatively, supporting the interpretation that the dominant high-field response of NiPS₃ arises from a magnetic-field-tunable exciton–exciton interaction. These results establish NiPS₃ as an important platform for exploring correlated excitonic physics on an antiferromagnetic background and demonstrate that ultrahigh magnetic fields provide a powerful probe of many-body optical excitations in magnetic van der Waals insulators.

[1] Kang, S., Kim, K., Kim, B.H. et al., Nature 583, 785–789 (2020).

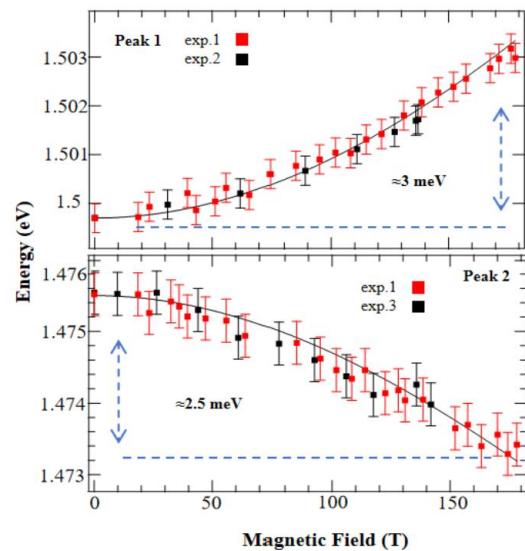


Fig. 1 Field dependence of the exciton peak energies. The two peaks shift in opposite directions, with different magnitudes.

ラマン散乱研究の新展開： パルス磁場下フォノン応答と組成-温度勾配による相図探索

広島大学大学院先進理工系科学研究科

塚田真也

ラマン散乱は、固体中の格子振動や緩和過程といったダイナミクスを直接的に観測可能な有力な分光手法である。特に強誘電体においては、フォノンの振る舞いが相転移や分極状態と密接に結び付いており、その理解は物性機構の解明や機能発現の本質に迫る上で極めて重要である。本研究では、ラマン散乱測定的高度化を通じて、外場および空間的不均一性を積極的に活用した新たな物性探索手法の確立を目的としている。

我々は独自に構築したラマン分光システムを用い、多様な実験環境の実現を進めてきた。具体的には、図1に示すように顕微ラマン分光系とパルス磁場発生装置を組み合わせることで、強磁場下におけるラマン散乱測定を可能とした。パルス磁場は短時間で極めて高い磁場を印加できるため、従来はアクセスが困難であった磁場領域におけるフォノン応答を観測できる点に特長がある。現在はさらに温度可変機構の導入を進めており、「温度-磁場の広いパラメータ空間」において、強誘電体における分極ダイナミクスの包括的理解を目指している。

加えて近年、空間的勾配を物性探索に活用する新しい測定手法を展開している。試料内に温度勾配を導入可能な温調系の開発[1]、および組成が連続的に変化する長尺(約50 mm)の組成勾配試料[2,3]のラマン散乱測定を行っている。これらにより、単一試料内で連続的に異なる条件を実現し、従来は多数の試料や測定を要した相図の探索を効率的に行うことが可能となった。さらに、組成勾配と温度勾配を組み合わせることで、組成-温度の二次元パラメータ空間に対応した物性分布を一度の測定で取得でき、「相図を目の前に展開する」新しい実験概念を実現している。

本講演では、これらの実験手法の開発と応用について概説するとともに、パルス磁場下における格子振動の観測、コイルを冷却しつつ試料温度を独立に制御する測定系の構成、ならびに勾配試料を用いたリラクサー強誘電体 $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-x\text{PbTiO}_3$ の相図探索について紹介する。これらのアプローチは、強誘電体に限らず、外場応答や不均一性が重要な役割を果たす広範な物質系に適用可能であり、新たな物性探索の指針を提供するものである。

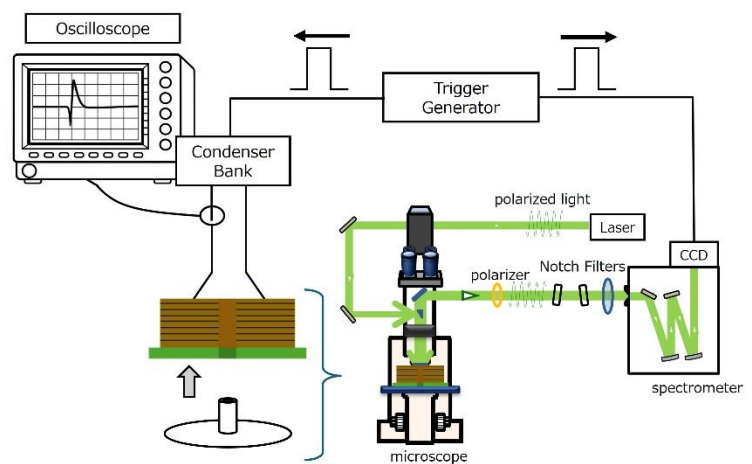


図1：可搬型パルス磁石を組み合わせたラマン分光システム。

Refs. [1] S. Tsukada, *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **62**, 106501 (2023). [2] S. Tsukada, *et al.*, *Commun. Phys.* **6**, 107 (2023). [3] D. Shimizu, *et al.*, *Phys. Rev. B* **92**, 174121 (2015).

超高速磁場の発生とその応用可能性

^A 東大物性研、^B 電通大
石井裕人 ^A、池田暁彦 ^B、松田 康弘 ^A

100 テスラを超える超強磁場は物質に非摂動的な効果を与え、新しい電子状態や結晶構造の探索を可能にする。また破壊型のパルスマグネットでは、磁場のパルス幅がマイクロ秒ととても短いという点も磁場の特徴的な点の一つである[1,2]。

従来磁場の速さは厄介なものとなってきた。しかし最近、非常に大きなヒステリシスやその特異な磁場依存性[3]、準安定磁化過程状態[4]、電荷秩序融解現象における非自明なブロードニング現象[5]など、磁場の速さが重要だと思われる現象が観測され始めた。近年の超短光パルス[6]や急冷[7]などによる新しい準安定物質相開拓の急速な発展と合わせて考えると、高速磁場により現れる非平衡性を利用することによる新しい非平衡物性を開拓できる可能性もあると期待できる。

マイクロ秒級高速磁場は、一巻きコイルや電磁濃縮[1,2]、ポータブル一巻きコイル PINK[8,9]を使うことにより発生させられる。一方で、非破壊パルス磁場は磁場のパルス幅がミリ秒という比較的長いパルス幅を持つ。破壊型ではコイルが一巻きコイルでありそのインダクタンスが小さい上に、コンデンサーの静電容量を抑え、かつエアギャップスイッチを使用することで装置全体の残留インダクタンスを小さくすることで、マイクロ秒級の高速放電を可能にしている。

最近我々は、非破壊のマイクロ秒磁場の発生を目指し回路のパラメーターなどを考察し、装置の試作・テスト実験を始めている。具体的には、近年発展が著しい超高速パワートランジスタや超高速運用可能なセラミックコンデンサーを応用することによる装置の残留インダクタンスを小さくする方針や、パイポラ電源を使い直接コイルに高周波の磁場を発生させることを考えている。パイポラ電源による高周波磁場は、超強磁場中における交流磁化率測定への応用も期待できる[10]。

講演では、これまでの考察や実験結果、また簡単なシミュレーションによる回路パラメーターの考察などを紹介し、今後の展望などについても議論する予定である。

- [1] N. Miura *et al.*, *Physica B* **294**, 562 (2001).
- [2] D. Nakamura *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **89**, 095106 (2018).
- [3] T. Nomura *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 247201 (2014).
- [4] K. Nomura *et al.*, *Phys. Rev. B* **105**, 214430 (2022).
- [5] Y. Ishii *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **92**, 074702 (2023).
- [6] J. S. H. Lee *et al.*, *Nat. Phys.* **22**, 68 (2026)
- [7] H. Oike *et al.*, *Science Advances* **4**, eaau3489 (2018).
- [8] A. Ikeda *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **120**, 142403 (2022).
- [9] A. Ikeda *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **135**, 186702 (2025).
- [10] 石井裕人 他 日本物理学会 2022

3D 有限要素法シミュレーションを用いた電磁濃縮法による超強磁場発生プロセスの解析

^A電気通信大学、^B株式会社テラバイト
小林 秀彰^A、竹越 邦夫^B、池田 暁彦^A

本研究では、電磁濃縮法 (EMFC) による超強磁場発生過程の理解を目的として、フル 3 次元マルチフィジックス解析を行った。EMFC は数 100~1,000 テスラ級の磁場を発生可能な手法であるが、マイクロ秒スケールで進行するライナーの大変形を伴うため、実験的な直接観測には限界がある。従来は 2 次元軸対称モデルによる解析が主であったが、実際には非対称な変形が生じることが知られている。そこで本研究では、竹越氏の先行研究で提案された 3 次元解析モデルおよび計算条件を踏襲し、有限要素法ソルバー LS-DYNA を用いて構造・熱・電磁場の連成解析を実施した。本発表では、構築した解析モデルの概要と解析手法について述べるとともに、ライナー変形挙動と磁場生成の関係について報告する。

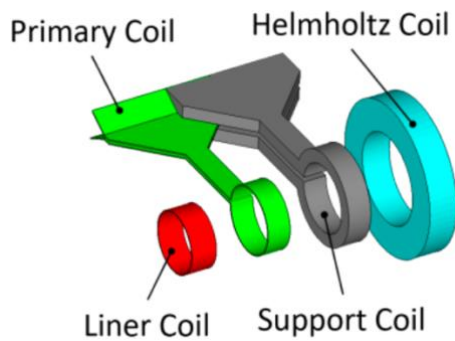


図 1. EMFC コイルの構成

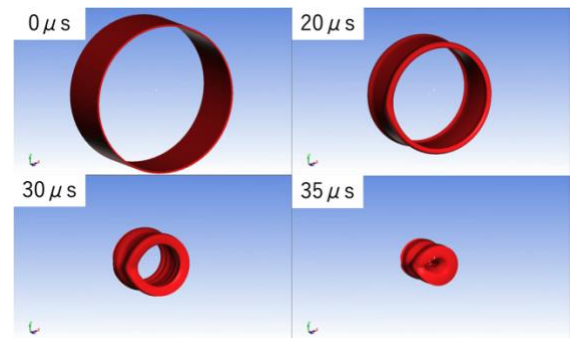


図 2. ライナーコイルの変形

[1] Takekoshi, K., “Study on the Electromagnetic Flux Compression using 3D Simulation,” Terrabyte Corporation, 2018.

ベクトルパルスマグネットを用いた ビスマスの異方的磁気抵抗の測定

^A 電気通信大学、^B 岩手大理工、^C 東大物性研

野田 孝祐^A、関健太^A、 Dilip Bhoi^A、秋葉和人^B、木下 雄斗^C、徳永 将史^C、
松林和幸^A、池田暁彦^A

固体においては、結晶構造の対称性がマクロな物性に反映され、しばしば顕著な異方性が現れることが知られている。また、異方的なフェルミ面を有するビスマスやグラファイトでは、磁気抵抗に強い異方性が現れることが報告されている。さらに近年では、対角項のみならず非対角応答の探索がトポロジカル物性や多極子物性の分野における重要な研究課題となっている。本研究の目的は、ビスマスにおいて、低温で発現する磁気抵抗の対称性低下の機構を解明することである。我々は、磁気異方性の新たな測定手法として、パルスマグネットとベクトルマグネットと掛け合わせたベクトルパルスマグネットを開発してきた[Fig1]。ベクトルパルスマグネットでは2種類のコイルと2台のミニコンデンサーバンク[1, 2]を用いて任意方向の磁場発生(ベクトルパルスモード)と、回転磁場発生(ローテーションパルスモード)を可能とする[3, 4]。本発表では、測定した78K, 2~6T回転パルス中での磁気抵抗[Fig2]と4.2K, 6T回転パルス中での磁気抵抗について報告する。

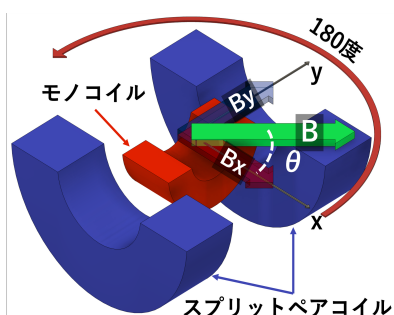


Fig1. ベクトルパルスマグネットの概念図

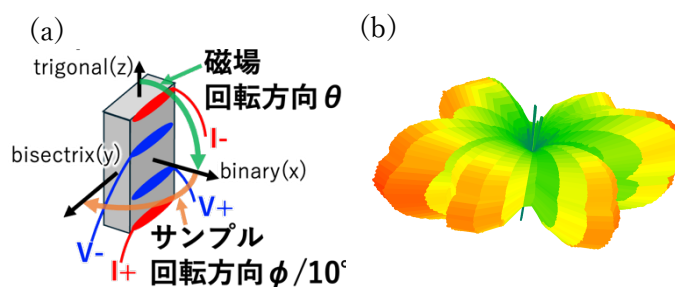


Fig2. Biの(a)測定方法と(b)磁気抵抗測定結果

- [1]. 池田暁彦, 固体物理, Vol 59, No. 6, 303 (2024).
- [2]. A. Ikeda *et al.*, J. Appl. Phys. **136**, 175902 (2024)
- [3]. 野田孝祐 他, 日本物理学会第78回年次大会, 16aPS-81.
- [4]. K. noda *et al.*, Appl. Phys. Lett. **127**, 122403 (2025)

TmPO₄における磁場誘起ヤン-テラー転移

^A 広大先進理工、^B 東大物性研

松下 真大^A、近藤 雅起^B、徳永 将史^B、野原 実^A

希土類ジルコン TmPO₄は正方晶 (空間群 $P4_1/amd$, D_{4h}^{19} , #141) の構造を有する。Tm³⁺の基底多重項 3H_6 は、正方対称の結晶場 ($\bar{4}m2$, D_{2d}) により分裂する。基底一重項 Γ_1 (A_1) と第一励起状態の非クラマース二重項 $\Gamma_5(E)$ である。このため Van Vleck 常磁性を示す。二重項 E は電気四極子 O_{xy} の自由度を持つが、励起エネルギーが 41 K と高いので、電気四極子の秩序、すなわち構造相転移は生じない。

ところが $\langle 100 \rangle$ 方向に磁場を印加すると、 A_1 と E の波動関数が混成し、基底波動関数が電気四極子 O_{xy} の自由度を持つようになる。その結果、磁場 6 T で結晶中の全ての Tm の電気四極子が強的に秩序化し、正方晶から斜方晶へのヤン-テラー相転移が生じる。さらに磁場を強くすると、混成が弱まり、60 T 付近で正方晶へ再び戻ることが予想されている。磁場による準位の逆転による相転移ではなく、磁場による混成によって引き起こされる相転移という特徴がある。

本研究では、フラックス法により TmPO₄ 単結晶を育成し、パルス磁場による磁化測定によってこの相転移を捉えた。図 1 に 2 K における磁化の測定結果を示す。約 6.5 T において磁化の異常が観測された。磁場誘起のヤン-テラー転移に伴う異常であると考えられる。結晶場計算から 60 T 付近で第 2 の相転移が生じると予想されるが、この測定では捉えることができなかった。測定の S/N を改善するために、単結晶試料の量を 10 倍にして、再度パルス磁場の実験を行う予定である。

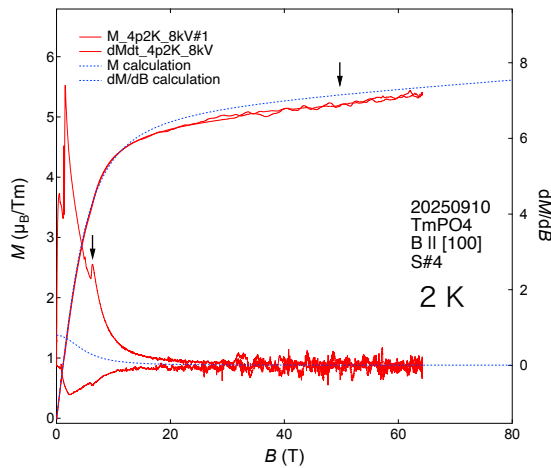


図 1. TmPO₄ 単結晶のパルス磁場による磁化曲線。

せっけんの化学による物質探索：
金属一次元鎖を有する Zr_6FeSb_2 および Zr_6RuSb_2

広大院先進理工
松本 峻平、野原 実

Co と Pb のような不混和元素ペアは、二元化合物や固溶体を形成しない。しかし、不混和元素ペアに第三の元素を加えると、しばしば低次元の結晶構造を有する三元化合物が形成される。例えば、Co と Pb のペアに La を加えると、図 1(a)に示す La_5CoPb_3 が得られる。この化合物は、結晶構造中で La 原子が Co 原子と Pb 原子を隔てることで La_6Co 八面体を形成する。さらに、これが c 軸方向に連なることで、Co の鎖状構造が形成される。このような第三の元素は、化学におけるミセル形成との類似性から、「せっけん」元素として捉えることができる。

本研究では、 Zr_6FeSb_2 および Zr_6RuSb_2 の合成と物性について報告する。これらの化合物では、Zr がせっけん元素として振る舞う。多結晶試料は、アーク溶解法およびアニールにより合成した。粉末 X 線回折の結果から、両物質が六方晶 Zr_6CoAl_2 型構造 (空間群 $P\bar{6}2m$, D_{3h}^3 , No. 189)であることを確認した[1]。図 1(b)に示すように、これらの化合物は Zr_6Fe (Zr_6Ru)の三角プリズムを有し、 c 軸方向に Fe (Ru) の一次元鎖を形成している。この構造は、 La_5CoPb_3 における Co の一次元鎖を想起させる。

Fe-Sb や Ru-Sb では二元化合物が存在するため、厳密には不混和元素ペアではない。しかし、これらに Zr を加えた系では、 La_5CoPb_3 と類似した一次元鎖構造が形成される。これらの結果は、せっけん元素による戦略が不混和元素ペアを超えて適用可能であることを示している。今後は、この戦略により、超強磁場下において特異な電子状態や磁気応答が期待される一次元鎖構造を有する物質の探索を進めたい。

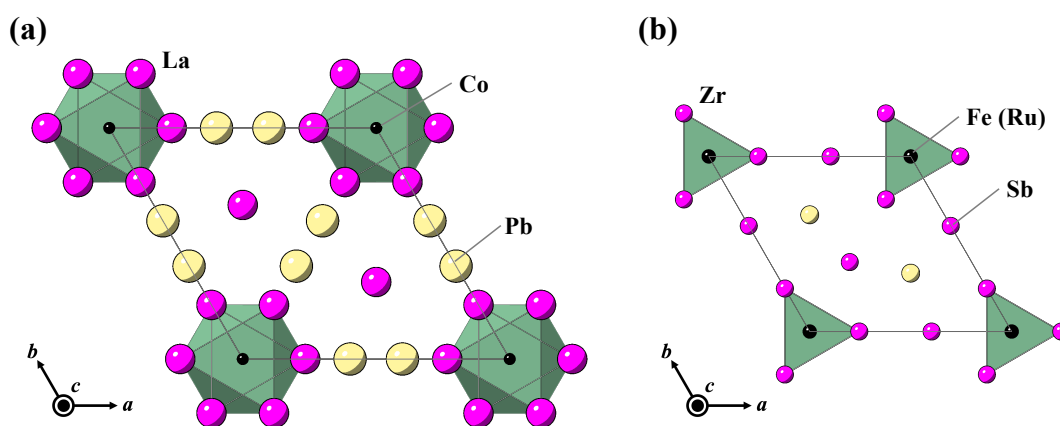


図 1. (a) La_5CoPb_3 の結晶構造および (b) Zr_6MSb_2 (M = Fe, Ru) の結晶構造

強磁場による分子破壊のための物質開発：Eu(Rh,Co)₂P₂の結晶育成

広島大先進

佐竹美月、野原実

122型層状リン化物 EuRh₂P₂ は、結晶中に P₂ 分子を有する (図 1(a))。温度を上げると 810 K で P₂ 分子解離の相転移が生じ、同時に Eu の価数が 2+δ 価から 2 価へと変化する[1] (図 1(b))。Rh を Co で部分置換すると転移温度が低下し、Eu(Rh_{0.9}Co_{0.1})₂P₂ では 500 K になる[2]。転移温度の低下は P₂ 分子の共有結合のエネルギーの低下を意味する。したがって、転移温度がさらに低下し、共有結合のエネルギーが磁氣的ゼーマンエネルギーの程度にまで低下すれば、強磁場による P₂ 分子破壊を実証できると考えられる。

そこで本研究では、Co 置換量をさらに増やした固溶体 Eu(Rh_{1-x}Co_x)₂P₂ の合成を目的とした。Pb フラックス法により単結晶試料を、固相反応法により多結晶試料を合成した。固相反応法では RhP (Rh₄P₃ と RhP₂ の混合物) と CoP を前駆体とした。これは、組成変化によって P₂ 分子解離の相転移を起こす Eu(Co_{1-x}Ni_x)₂P₂ の合成方法[3]に倣ったものである。室温での粉末 X 線構造解析により、x ≤ 0.15 は P₂ 分子が形成した低温相であった。一方、x ≥ 0.2 は P₂ 分子が解離した高温相であり、室温以下で P₂ 分子の結合・解離の相転移が生じる可能性が高い。

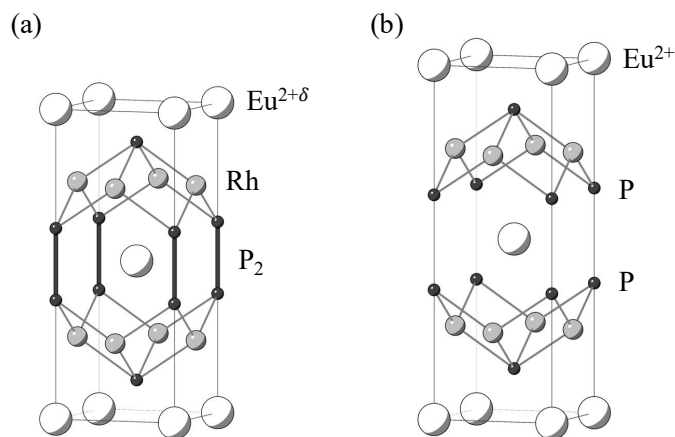


図 1 EuRh₂P₂ の結晶構造。(a) 低温相。(b) 高温相。

[1] C. Huhnt *et al.*, *Physica B* **240**, 26 (1997).

[2] A. Wurth *et al.*, *Z. anorg. allg. Chem.* **623**, 1418 (1997).

[3] R. Nakamura *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **91**, 024701 (2022).

交替磁性体 CrSb と NiS のピエゾ磁気効果

広島大学先進理工系科学研究科

二宮大翔、松下真大、青山拓也、野原実

交替磁性 CrSb と NiS は、両者とも六方晶 NiAs 型の結晶構造を有し、磁気転移温度は 712 K と 264 K である[1,2]。磁気構造は、Cr および Ni のスピンの c 軸方向に共線的に配列し、磁気点群は $6'/m'mm'$ である。この磁気対称性により、両者は以下のようなピエゾ磁気効果を示すことが予測される。

$$M_x = q_{xxx}(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}), M_y = -q_{xxx}\varepsilon_{xy}, M_z = 0$$

すなわち、歪 $\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}$ および $-\varepsilon_{xy}$ により磁化 M_x と M_y がそれぞれ線形に誘起される。逆に、磁場の印加により歪が線形に誘起される。これは磁場の二乗に比例して歪が生じる従来の磁歪とは異なる。

本研究の目的は、単結晶を用いたピエゾ磁気効果の測定である。CrSb については、Sn フラックス法により c 軸方向に伸びた針状結晶を、化学輸送法 (CVT) により ab 面が現れた板状結晶を得た (図 1)。また、NiS については、熔融法によりバルクの単結晶を、化学輸送法により ab 面が現れた板状結晶を得た (図 2)。ポスター発表では、得られた単結晶と歪ゲージを用いた、磁場下での歪測定の結果についても報告する予定である。

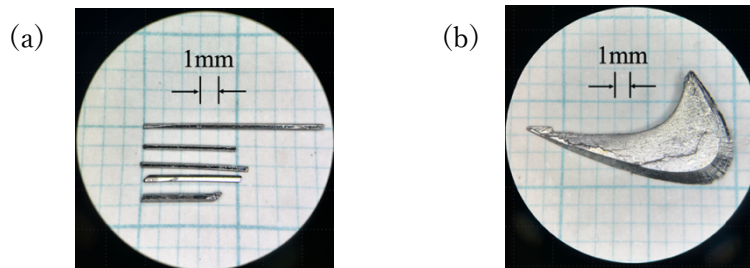


図 1. CrSb 単結晶の写真：(a) Sn フラックス法で得た c 軸方向に伸びた針状結晶
(b) 化学輸送法で得た ab 面が現れた板状結晶

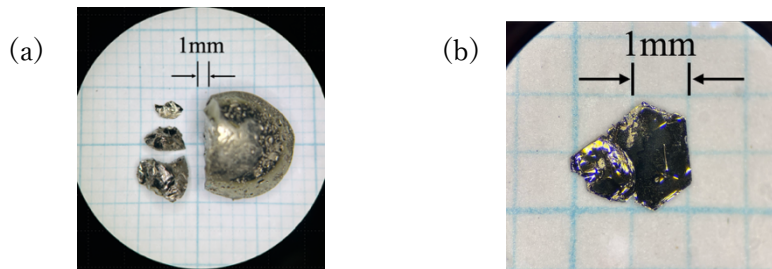


図 2. NiS 単結晶の写真：(a) 熔融法で得たバルクの単結晶
(b) 化学輸送法で得た ab 面が現れた板状結晶

[1] Xin Peng, et al., Phys. Rev. B **111**, 144402 (2025).

[2] Joseph T. Sparks and T. Komoto, Rev. Mod. Phys., **40**, 752 (1968).

Control of Temperature–Magnetic Field Sweep Paths toward Metastable High-Field Phases

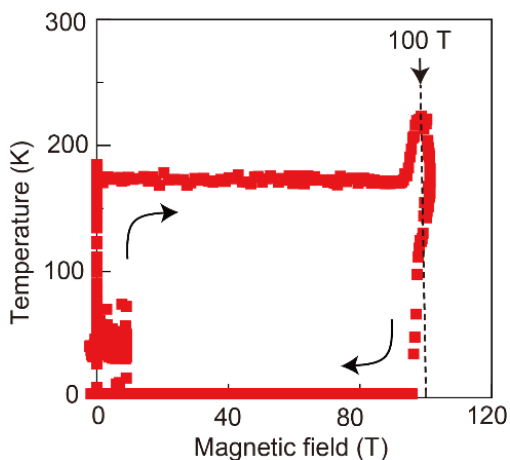
^ANIMS MANA、^B東大物性研

大池 広志^A、石井 裕人^B、孫 慧傑^B、小塚 裕介^A、松田 康弘^B

超高压の科学では、極限環境で実現する状態の探索に加え、高压合成のように高压相を準安定化して常圧に取り出す研究が行われている。これに対し、超強磁場の科学では、極限環境の探索は盛んに行われているが、強磁場相を準安定化してゼロ磁場に取り出す研究は未開拓である。本研究では高压合成から着想を得て、強磁場中で冷却を行った後にゼロ磁場に戻るといった経路で強磁場相を準安定化することを目的とした。

シングルターンコイル法は、試料を破壊しない方法の中で最も高い磁場を発生させることができるため、本研究で採用した。パルス強磁場のパルス幅は 10 μs 程度なので、強磁場中で冷却するためにはそれよりも速く冷却を行う必要がある。絶縁基板上に蒸着した 10 μm 程度のヒーター線に電流を印加すると局所的に加熱され、電流を切った後にサブマイクロ秒で急冷される。このように局所的な高速温度制御を行うことで、100T 以上の強磁場中で冷却を行った後にゼロ磁場に戻るといった経路での温度-磁場掃引を実現することができた。

現在は、開発した温度-磁場掃引法を IrTe_2 の薄片試料や $\text{V}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_2$ 薄膜に適用するためのデバイス改良を進めている。 IrTe_2 では温度や圧力に依存して Ir イオンの価数が +3 と +4 の間で変化し、それに伴って Te イオンの価数が -1.5 から -2 の間で変化する[1]。 Ir^{4+} - Ir^{4+} の 2 量体形成や、開殻の Te-Te 間のポリマー的結合形成など、価数とともに結合も変化する。これらの結合様式のエネルギーバランスが磁場下で変化すると新たな結晶相が現れる可能性がある。 $\text{V}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_2$ は徐冷下では絶縁化するのに対し、急冷下では準安定金属相が現れる。W ドープによって隣接する V イオン間に 2 量体が形成されることが知られており[2]、この局所的な結合形成が準安定化の起源に関連していると考えられる。したがって、強磁場で 2 量体形成を弱めると金属相の準安定性が失われ、急冷下であっても絶縁相が形成される可能性がある。当日は、技術開発の現状と磁場下での結合様式の変化に基づく準安定化の理解について議論する。



[1] Ko, K.-T. *et al. Nature Communications* **6**, 7342 (2015).

[2] Ling, C. *et al. ACS Appl. Nano Mater.* **2**, 6738–6746 (2019).

図 1, 温度-磁場の掃引履歴

Tracking the field-induced metamagnetic transition in multiferroic $\text{Fe}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ using magneto-optical Kerr effect

^A京大院工、^B東大物性研、^C電通大、^Dカルフォルニア工科大、^E科学大理、
^F理研 CEMS、^G東大工、^H東大東京カレッジ

山根 聡一郎^A、中村 颯汰^A、鈴木 秀弥^A、池田 敦俊^A、
近藤 雅起^B、徳永 将史^B、野田 孝祐^C、池田 暁彦^C、
車地 崇^D、伊能 健太郎^E、松浦 慧介^E、賀川 史敬^{E,F}、
十倉 好紀^{F,G,H}、米澤 進吾^A

磁気光学カー効果 (MOKE) 測定は、反射光の偏光面が回転する現象であり、その測定は磁化に代表される磁性応答に加えて、バンドトポロジーに由来する光学ホール応答など、電子状態が持つ時間反転対称性の破れの情報を非接触で引き出せる。実験的観点からは、電気的接触を必要としないという特長により、MOKE 測定はパルス強磁場環境と相性が良い。一方で、パルス磁場装置では試料空間が限られること、さらに多くの物質で MOKE 信号が小さいことから、パルス磁場下 MOKE 測定の報告例は限られていた [1-3]。これらの課題を克服し、我々は近年、ポータブルパルス磁場発生装置 [4] と zero-area-loop Sagnac 干渉計 [5] を組み合わせ、40 T を超えるパルス磁場下かつ 77 K までの温度域において、複数の強磁性およびフェリ磁性試料の MOKE 測定に成功した [6]。さらに、双極性パルス磁場および 77 K までの温度域での MOKE 測定も達成した [7]。これらの成果は、小さなコイルボアに適合するコンパクトな試料固定治具の開発と、MOKE 信号に対する位相分解数値ロックイン解析の導入によって実現することができた [6, 7]。以上の技術的進展により、パルス強磁場下 MOKE 測定法は、磁場誘起現象を高感度かつ非接触で探索する有望なアプローチとして確立されつつある。

カミオカイト $\text{Fe}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ は極性をもつ層状磁性体 [8] であり、磁気秩序と電気分極が強く結合したマルチフェロイック物質として注目されている [9]。先行研究では、巨大な電気磁気応答や磁場誘起メタ磁性相転移が報告され、磁化・分極の高磁場下測定に基づく相図も詳細に議論されている [9]。今回我々は、東京大学物性研究所強磁場施設において、最低温度 1.4 K、最大磁場 60 T の極限環境下でパルス強磁場 MOKE 測定を実施し、 $\text{Fe}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ の磁場誘起転移を光学的に調べた。その結果、40 T 付近におけるメタ磁性転移の観測に成功するとともに、先行研究で報告された磁化曲線とは質的に異なる巨大な MOKE 応答がメタ磁性転移において観測できた。本発表は、測定系の詳細とともに、その結果を報告する。

[1] M. Weisheit *et al.*, IEEE Trans. Magn. **42**, 3072 (2006). [2] X. Chen *et al.*, Measurement **46**, 52 (2013). [3] S. Y. Lin *et al.*, J. Phys. **55**, 698 (2017). [4] A. Ikeda *et al.*, J. Appl. Phys. **136**, 175902 (2024). [5] J. Xia *et al.*, Appl. Phys. Lett. **89**, 062508 (2006). [6] A. Ikeda *et al.*, Phys. Rev. Res. **8**, 013169 (2026). [7] S. Yamane *et al.*, JJAP Conf. Proc. **12**, 011011 (2026). [8] W. H. McCarrroll *et al.*, J. Am. Chem. Soc. **79**, 5410 (1957). [9] Q. Chen *et al.*, Phys. Rev. B **109**, 094419 (2024).

Nb 三量体を有する極性金属 NbS における超伝導

広大院先進理工

松下真大、二宮大翔、野原実

結晶構造に空間反転対称性がない超伝導体には、スピンシングレットとトリプレットが混ざり合った超伝導状態が現れる。そのような超伝導状態では、非常に大きな上部臨界磁場 H_{c2} が期待される。例えば、CeRhSi₃ では超伝導転移温度 $T_c \sim 1.1$ K にもかかわらず、 H_{c2} が 30 T を超えることが報告されている[1]。本講演では、空間反転対称性が破れた NbS における 2.7 K の超伝導を報告する。

NbS は $T_s = 750^\circ\text{C}$ で構造相転移を示す[2]。高温相と低温相はいずれも、Nb の三角格子を形成する NiAs 型構造 ($P6_3/mmc$, D_{6h}^4 , #194) から派生した構造である。高温相は NiAs 型構造が歪み b 軸方向に Nb のジグザグ鎖を形成した MnP 型構造 ($Pnma$, D_{2h}^{16} , #62) である。これは空間反転対称性が破れていない非極性構造である。高温相は簡単に低温まで保持することができ、4.8 K の超伝導が最近報告された[3]。一方で、低温相は、NiAs 型構造で ab 面に Nb 三量体を形成した超格子構造 ($P6_3mc$, C_{6v}^4 , #186) である。さらに、硫黄イオンが Nb 三量体に近づくように c 軸方向へ変位しており、低温相は空間反転対称性が破れた極性構造である。

本講演では、低温相 NbS における 2.7 K の超伝導を報告する。高温相単結晶をヨウ素を輸送剤とする化学輸送法により育成し、 $T_s = 750^\circ\text{C}$ より低い 650°C で 24 時間アニールすることで低温相の単結晶が得られた。図 1 に低温相の磁化の温度依存性を示す。磁化は 2.7 K で反磁性を示し、ゼロ磁場冷却における超伝導体積分率は 115%であった。これは、空間反転対称性が破れた極性金属における新しい超伝導である。今後、上部臨界磁場 H_{c2} を調べる予定である。

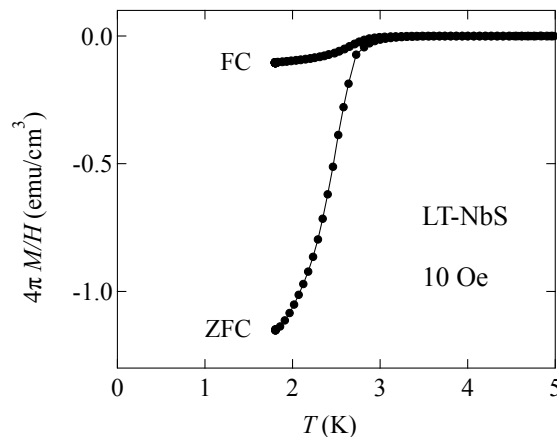


図 1. 低温相 NbS における磁化の温度依存性

- [1] N. Kimura, et al., Phys Rev. Lett., 98, 197001 (2007).
- [2] F. Kadijk, et al, J. Less-Common Met., 19, 421 (1969).
- [3] B. Ruan, et al., Phys. Rev. B, 108, 17417 (2023).

パルス強磁場下における UTe_2 の磁気光学カー効果測定

^A京大院工、^B電通大、^C東北大金研、^D東大物性研

中村 颯汰^A、鈴木 秀弥^A、山根 聡一郎^A、池田 敦俊^A、
野田 孝祐^B、池田 暁彦^B、三宅 厚志^C、青木 大^C、
近藤 雅起^D、徳永 将志^D、米澤 進吾^A

パルス強磁場下での物性測定は、メタ磁性転移をはじめとする強磁場誘起現象を解明するうえで不可欠である。特に、試料の磁氣的性質に応じ反射光の偏光面が回転する現象である磁気光学カー効果 (Magneto-optical Kerr effect : MOKE) の測定は、非接触かつ高速であり、電磁氣的ノイズに強いという特徴があることから高磁場下での有力な探索手法として期待されている。一方で、パルス磁場発生に伴う激しい振動や、磁場生成コイルの限られたボア径といった技術的課題が、精密な光学アライメントを要する測定の大きな障壁となっており、先行研究例はわずか数例に留まっていた[1,2]。

我々は、静磁場下 MOKE 測定で実績のある Loopless Sagnac 干渉計[3]を採用し、限られた試料空間内で試料を強固に保持する独自の固定機構の開発や、パルス磁場に追従可能な位相分解数値ロックイン解析の導入により、低温・パルス強磁場下での MOKE 測定を可能とした(図 1)。複数の磁性体をテストサンプルとした、ポータブル磁場発生装置[4]を用いた 77 K、40T 環境下での実証[5,6]を行った上、東京大学物性研究所内の非破壊型パルスマグネットを用いた 1.4 K、60 T という複合極限環境下での測定を通じ、 UTe_2 におけるメタ磁性転移の観測に成功した。加えて常磁性層において、メタ磁性転移に先立ちカー回転角が前駆的に増加するという、バルク磁化測定とは異なる非自明な振る舞いも観測した。本発表では、これまでの測定系開発や実証結果の詳細に加え、現在進行中である 40 T、4.2 K での MOKE 測定を京都大学で実現するためのクライオスタット構築の進展状況についても報告する。

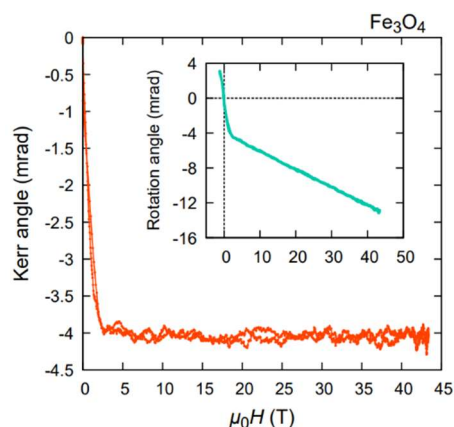


図 1 マグネタイト (Fe_3O_4) に対する、液体窒素内、パルス磁場中での MOKE 測定結果[5]。主グラフ(赤線)は、インセットに示した回転角の測定結果から、線形なバックグラウンドを差し引いた正味のカー回転角を表す。

- [1] X. Chen *et al.*, *Measurement* **46**, 52 (2013).
 [2] S. Y. Lin *et al.*, *Chin. J. Phys.* **55**, 698 (2017).
 [3] J. Xia *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **89**, 062508 (2006).
 [4] A. Ikeda *et al.*, *J. Appl. Phys.* **136**, 175902 (2024).
 [5] A. Ikeda, S. Nakamura *et al.*, *Phys. Rev. Research* **8**, 013169 (2026).
 [6] S. Yamane, S. Nakamura *et al.*, *JJAP Conf. Proc.* **12**, 011011 (2026).

メタルリッチ化合物 Zr_5MSb_3 ($M = Ru, Ni, Pd, Pt$) における超伝導探索

広島大院先進理工

加茂 葵、松本 峻平、野原 実

近年、金属一次元鎖を有する Zr-Ru-Sb 系メタルリッチ化合物において、超伝導が報告されている。図 1 (a) に示す Zr_6RuSb_2 は、Zr の三角柱の中心に Ru が位置する金属一次元鎖を有し、転移温度 4.0 K の超伝導を示す[1]。図 1 (b) に示す $Zr_5Ru_{0.6}Sb_{2.4}$ は、Zr の四角アンチプリズムが連なる金属一次元鎖を有し、転移温度 5.0 K の超伝導が報告されている[2]。

本研究では、これらと同様に金属一次元鎖を有する Zr_5RuSb_3 に着目した。結晶構造を図 1 (c) に示す。 Zr_5RuSb_3 は、Zr の三角アンチプリズムの中心に Ru が位置する金属一次元鎖を有するが、物性については未解明である。また、同構造を有する Zr_5NiSb_3 について第一原理計算をおこなった結果、フェルミ準位近傍にフラットバンドの存在が示唆され、超伝導の発現が期待される。

本研究の目的は、 Zr_5MSb_3 ($M = Ru, Ni, Pd, Pt$) における超伝導の探索である。多結晶試料をアーク溶解法により合成した。得られた試料に対して、 $M = Ru, Ni$ では 1000 °C、 $M = Pd, Pt$ では 900 °C で 1 週間のアニール処理をおこなった。粉末 X 線回折の結果、 $M = Ni, Pd, Pt$ の試料では Zr_5MSb_3 相が主相として得られた一方、 $M = Ru$ の試料では同相は確認されなかった。磁化測定の結果、各試料において超伝導転移が観測され、 $M = Pt$ 試料では最大転移温度 $T_c = 9.5$ K を示した。今後、観測された超伝導の起源となる相の同定や、超伝導相を単相化するための合成条件の最適化を進める。

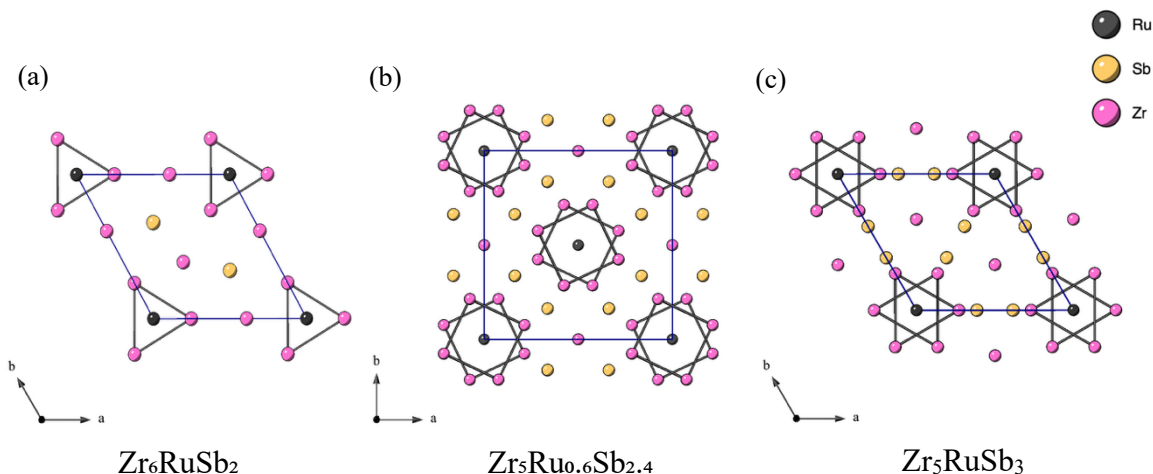


図 1. 金属一次元鎖を有する Zr-Ru-Sb 系メタルリッチ化合物

[1] 松本峻平 他, 日本物理学会第 80 回年次大会, 2025 年, 18aSK311-6.

[2] Weiwei X. et. al., J. Mater. Chem. C, **3**, 8235 (2015).

Magnetostriction measurements of MnF_2 under pulsed magnetic fields

Keiichiro Kawai¹, Kosuke Noda¹, Kenta Seki¹, and Akihiko Ikeda¹

¹Department of Engineering Science, University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo 182-8585, Japan

Altermagnets have recently emerged as a new class of magnetic materials. Despite their nearly vanishing net magnetization, they exhibit remarkable phenomena such as the Faraday effect, magnetic circular dichroism, and anomalous Hall effect, which are attributed to the unusual breaking of the rotational and time-reversal symmetry in the magnetic order [1].

However, whether MnF_2 can be classified as an altermagnet remains under debate[2,3]. From a symmetry perspective, the presence of linear magnetostriction with respect to the magnetic field direction has been theoretically proposed as a key signature of altermagnetism.

In this study, we investigate the magnetostriction of MnF_2 under pulsed high magnetic fields using a fiber Bragg grating (FBG) technique. In addition to measurements along the c -axis, we perform angular-dependent measurements in order to probe the anisotropy of the magnetoelastic response using a vector pulsed magnet (VPM)[4]. Through this approach, we aim to examine whether MnF_2 exhibits the symmetry characteristics expected for altermagnets.

In the presentation, we report the current status of our experiment and the problems to overcome.

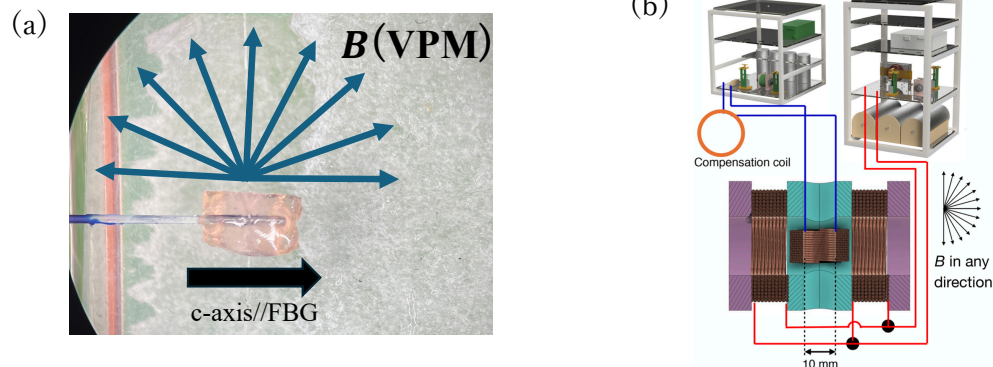


Fig1: (a) Setup with a FBG attached parallel to the c -axis of the MnF_2 single crystal. (b) Vector Pulse Magnet (VPM) system, consisting of two orthogonal coils [4]

[1] M. Mostovoy, Appl. Phys. Lett. **127**, 060501 (2025).

[2] A. Hariki, T. Okauchi, Y. Takahashi, and J. Kuneš, Phys. Rev. B **110**, L100402 (2024).

[3] V. C. Morano *et al.*, Phys. Rev. Lett. **134**, 226702 (2025).

[4] K. Noda *et al.*, arXiv preprint (2025).

強磁場×高圧のための非金属小型圧力セルの開発およびベクトルパルスマグネットを用いた Fe_3O_4 の磁気抵抗・ホール抵抗測定

ト部裕真^A, 石井裕人^B, D.Bhoi^C, 松林和幸^A, 福岡脩平^D, 岡真史^D, 野田孝祐^A,
松田康弘^B, 池田暁彦^A,

^A電気通信大学, ^B東大物性研, ^Cオークリッジ国立研究所, ^D北大院理

高圧および強磁場環境は、物質の電子状態や層転移を制御する強力な手段であり、通常では観測することのできない強相関電子系などの本質的性質を明らかにするうえで重要な役割を担っている。高圧は、原子間距離などが変化することで金属-絶縁体転移などの現象を引き起こす。一方で強磁場は、電子のスピンや軌道を制御し磁気秩序や輸送特性を顕在化させることができる。これらを組み合わせることで、さらなる新規相の探索や強相関電子系の理解を深めることが可能になる。これまで、非破壊パルスマグネットを用いた 60 T 程度の強磁場と高圧を組み合わせた実験手法が開発され、研究が行われてきた[1]。しかし、100 T を超える破壊型超強磁場下での高圧実験はこれまで行われていない。そこで我々は、100 T 下における高圧実験を可能にする圧力セルの開発および実験環境の確立を試みた。

パルス強磁場中では金属セルが過電流の発生や発熱の原因となるため、非金属製の圧力セルを使用する必要がある。そのため我々は Prmax1200 を用いたピストンシリンダー型の非金属小型圧力セルを開発した。本セルは、外形 8.8 mm、全長 22 mm と小型で、最大圧力は 0.2 GPa 程度を想定している。非金属かつ小型であることで、超強磁場破壊型パルスマグネットを用いた実験にも使用することが可能となり、計測自由度の拡張が期待できる。現段階では 100 T 下での強磁場実験を行い、セルの耐久性の問題など様々な課題が明らかになっている。

本発表では、圧力セルの開発状況および現段階での課題点を発表する。

また、本研究室で実験を行っている Fe_3O_4 の磁気抵抗およびホール抵抗測定の実験結果についても併せて発表を行う。

まずは 6 テスラのベクトルパルスマグネット [2] を利用した測定を行った。具体的には、金属絶縁体転移(約 120 K)の転移温度前後を含むさまざまな温度帯において、6 T 環境下での磁気抵抗測定およびホール抵抗測定を実施した。現段階の測定結果としては、温度変化や磁場印加に伴う劇的な抵抗変化や異常は観測されておらず、転移の明確な兆候を捉えるには至っていない。この結果から、Verwey 転移や異常ホール効果の相関をより詳細にマッピングするためには、温度制御の自由度向上およびさらなる強磁場環境が必要であると考えられる。

[1] D. E. Graf *et al.*, High Pressure Res. 31, 533 (2011).

[2] K.Noda *et al.*, Appl. Phys. Lett. 127, 122403 (2025)

トポロジカル反強磁性体 NdBi における強いスピン格子結合によるメタ磁性転移

東大物性研

花井 龍一郎、木下 雄斗、近藤 雅起、福島 優斗、鈴木 博之、近藤 猛、徳永 将史

近年トポロジカル反強磁性体として注目を集める NdBi は、Nd スピンの磁気状態に依存しバンド構造が大きく変化することから、主に光電子分光をはじめ多彩な研究が盛んに行われている。Nd 副格子は $T_N = 24\text{ K}$ において c 軸方向を磁化容易軸とした A 型反強磁性秩序を示す。これに伴い結晶構造も変化し、NaCl 型の立方晶から c 軸が縮んだ正方晶へ転移する^[1]。我々のグループでは磁場中の NdBi の磁気状態や電子状態の変化に興味を持ち、強磁場を用いた様々な物性測定を行ってきた。これまでの MPMS での磁化測定では、1 T において転移が観測され、さらに 30 T までのパルス磁場下の磁化測定では 16 T においても明瞭なメタ磁性が観測された(図 1.(a))^[2]。前者の転移はスピフロップと考えられているが^[3]、後者の転移では幅 0.2 T 程の 1/2 磁化プラトーも伴い、単純な A 型反強磁性では理解できない興味深い磁気構造であることが示唆される。加えて、両者はヒステリシスを伴っており、磁気構造に追従し格子も変化していると予想される。

そこで本研究では磁場中の Nd 副格子の磁気状態を解明するため、NdBi 磁化曲線に対し Nd 4f 軌道の結晶場を考慮した数値計算を用いた詳細な解析を行った。解析の結果、 $B \parallel a$ の場合 16.3 T にて異方性が急変し、さらに実験の 16 T のメタ磁性を再現する磁化曲線を得ることに成功した(図 1.(b))。基底状態が接近した励起状態に反発し、異方性が大きく変化したと解釈することが出来る^[4]。一方で、16 T における 1/2 磁気プラトーを数値計算で再現することができなかった。

メタ磁性に伴う容易軸の変化は、実験的に正方晶ドメインの変化として観測されることが予想される。そこで本研究では数値計算に加え、NdBi 単結晶に対するパルス磁場偏光イメージングも行った。その結果、1 T で結晶ドメインの明暗コントラストの変化、および 16 T でその消失が観察された。以上の結果から、1 T の異常は c 軸が磁場に垂直な面に倒れこむ構造相転移であり、16 T の異常は異方性の急変により c 軸が磁場方向に揃う構造相転移であると考えられる。このことから NdBi は強いスピン-格子結合を有する系と考えられる。

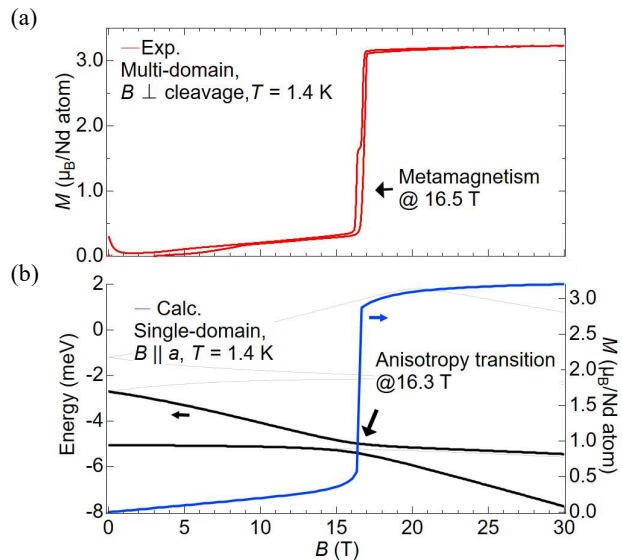


図 1. (a) 1.4 K における NdBi のパルス磁場下における磁化曲線。磁場は立方晶の主軸方向に印加した。(b) 1.4 K における NdBi の数値計算で求められた磁場中での結晶場準位と磁化曲線。磁場は正方晶の a 軸方向を仮定した。

[1] N. Nereson *et al.*, J. Appl. Phys. **42**, 1234 (1971)
 [2] 福島 優斗 東京大学 博士論文 (2026)
 [3] R. Wang *et al.*, Adv. Sci. **10**, 230978 (2023)
 [4] T. Han. *et al.*, Phys. Rev. Research **7**, L042045 (2025)

クラスター物質 GeV_4S_8 における磁場誘起ヤーン・テラー相転移

^A 東大物性研、^B 電気通信大学、^C 理研 Spring-8、^D JASRI

大平至波^A、野田孝祐^B、河合慶一郎^B、卜部裕真^B、池田暁彦^B、石井裕人^A、松田康弘^A、久保田雄也^{A,C,D}、矢橋牧名^{C,D}、小濱芳允^A、巖正輝^A

欠損スピネル GeV_4S_8 はモット絶縁体であり、 V_4 で一つのクラスターを形成しスピン $S=1$ の分子軌道描像でよく記述される。室温で立方晶 F_{43m} の結晶構造をとり、価電子帯の 3 重縮退の t_2 軌道を電子が 2 つ占有するため軌道自由度が残る。このため、ヤーン・テラー機構により 32 K で自発分極を伴う直方晶 $Imm2$ への構造相転移を示し、さらに 17 K で反強磁性転移を起こす。スピン軌道相互作用が弱い 3d 電子系は、一般的にスピンと軌道が独立に振舞うことから、磁場印加により格子対称性の変化を伴うような構造相転移は期待されない。しかしながら、本物質は 32 K 以下の温度領域において分極変化を伴った一次のメタ強磁性転移が報告されている[1]。特筆すべきは、この転移が磁気秩序の無い常磁性相でも存在することである。一方、この転移のメカニズムは議論されておらず、未だ明らかになっていない。

GeV_4S_8 のヤーン・テラー転移は格子歪みによって駆動され、 $Imm2$ においては V_4 のうち 1 組の V-V が縮むことでダイマーが形成されるという描像が理論的に提案されている[2]。我々の研究グループはこれに着目し、 GeV_4S_8 における一次メタ磁性転移は、磁場が V-V 間にあるダイマーを破壊することに起因する可能性を見出した。この意味で外部磁場が化学結合を破壊する化学的カタストロフィーの候補である。これを実証するためには磁場印加に伴う格子対称性の変化を直接観測することが最も効果的である。そこで、本研究室では強磁場中での粉末 X 線回折によって結晶構造の変化を直接追うことにより、 GeV_4S_8 の磁場誘起相転移の描像を明らかにすることを研究目的とした。

$Imm2$ phase ($T < 32$ K)

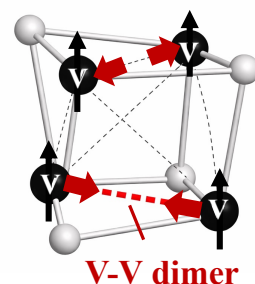


図 1. $Imm2$ 相 V_4 クラスターにおける V 原子の変位と V-V ダイマー形成の模式図[2]

本研究では GeV_4S_8 の固相反応法により粉末試料の合成を行い、非破壊型パルスマグネットを用いた 55 T までの磁化測定、磁歪測定を行った。さらに、SACLA の X 線自由電子レーザーとパルス超強磁場発生装置 PINK-02 を組み合わせた強磁場下粉末 X 線回折実験[3]を最大磁場 90 T の磁場下にて行った。本発表ではこれらの実験結果について詳細に議論する。

[1] V. Felea et al., Phys. Rev. B **101**, 064413 (2020).

[2] H. Müller et al., Chem. Mater. **18**, 2174 (2006).

[3] A. Ikeda et al., Phys. Rev. Lett. **135**, 186702(2025)

強磁場下におけるフラストレート格子系強誘電体 $\text{Cd}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ の超音波測定

^A 阪大院理、^B 東大物性研、^C KEK 物構研

松林 龍^A、花咲 徳亮^A、近藤 雅起^B、徳永 将史^B、奥山 大輔^C

近年、強磁場を用いたカタストロフィー効果が注目されており、 d^0 系の非磁性強誘電体を対象とした強磁場効果の研究が行われている[1]。原子変位を伴うフラストレート格子系物質に注目すると、原子が変位する状態について競合があるため、強磁場の印加によって原子変位の変化や構造の変化が期待される。パイロクロア型酸化物 $\text{Cd}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ は、 $\epsilon \sim 5000$ 程度の大きな誘電応答を示す強誘電体である。先行研究から多段転移が確認されており、204 K において立方晶から直方晶への構造相転移が生じ、196 K では、それに重なる弱い構造変化も報告されている[2]。誘電率は約 180 K において周波数に依存するブロードピークを持ち、リラクサー的な誘電特性を有している。また、84.5 K においても誘電率のピークが確認されている。

本研究では、 $\text{Cd}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ における構造変化と弾性異常、およびその磁場効果を観測することを目的として、粉末 X 線回折および非破壊パルス強磁場下での超音波測定を行った。粉末 X 線回折からは、約 200 K 以下の温度領域で禁制反射が確認され、立方晶から低対称相への構造変化が示唆された。また、超音波測定より得られた弾性定数と吸収係数の温度変化から、約 200 K と約 82 K における異常を確認した(図 1)。200 K 近傍の弾性定数には単調でない段階的なソフト化が観測され、複数の弾性異常が重なっている可能性が考えられる。実際、赤外分光およびラマン散乱から、この温度領域について Cd イオンの振動モードと NbO_6 八面体由来するソフトモードが関与することが指摘されており[3][4]、200 K 近傍における複数の自由度の結合が示唆される。この温度領域について強磁場下での超音波測定を行ったところ、約 0.2% のわずかな弾性定数の減少が確認された(図 1 挿入図)。

- [1] P. Chiu *et al.*, *J. Appl. Phys.* 137 (2025) 155903
- [2] M. Tachibana *et al.*, *J. Phys.: Condens. Matter* 25 (2013) 435902
- [3] E. Buixaderas *et al.*, *Eur. Phys. J. B* 19 (2001) 9-16
- [4] H. Taniguchi *et al.*, *Phys. Rev. B* 77 (2008) 224104

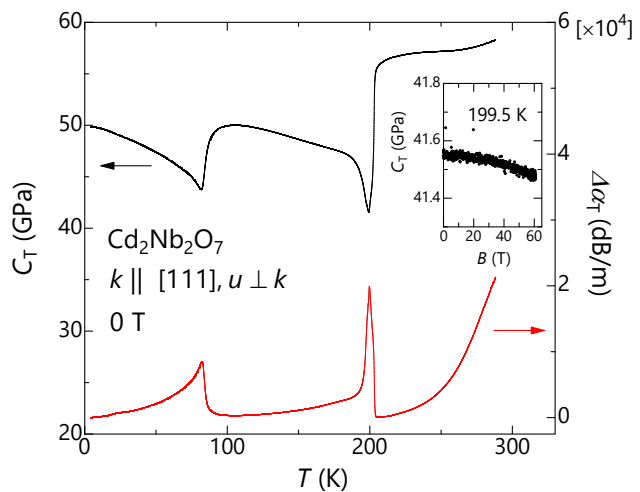


図 1. [111] 方向へ入射する横波を用いた超音波測定より得られた実効弾性定数 C_T と吸収係数 $\Delta\alpha_T$ の温度依存性。挿入図は 200 K 近傍の弾性定数の磁場依存性。

Magnetic-field switching of exciton-magnon coupling in LiNiPO₄

B. Sun¹, Z. Yang¹, J. Shibuya², K. Kindo¹, K. Kimura², and A. Miyata¹

¹ *Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo,*

² *Osaka Prefecture University*

³ *Osaka Metropolitan University*

Exciton-magnon transitions (magnon sidebands) in magnetic insulators provide a powerful probe of spin-forbidden d-d transitions. In these processes, coupling to magnons relaxes spin constraints, while magnetic fields can further tune these pathways by reshaping the magnon spectrum and gap. Specifically, the hot sideband—exciton creation via thermal magnon annihilation—is highly sensitive to the magnon gap: a field-induced gap reduction enhances the sideband intensity by increasing the low-energy magnon population [1,2].

LiNiPO₄, a magnetoelectric antiferromagnet with a complex phase diagram up to 56 T [3]. We aim to demonstrate how field-driven magnetic structures enable selective switching of exciton-magnon coupling, providing a direct optical probe of the underlying spin degrees of freedom.

We investigated the exciton-magnon coupling in LiNiPO₄ under pulsed fields up to 50 T. At zero field, the absorption feature at 500 nm exhibits thermal activation, identifying it as a hot magnon sideband [Fig. 1(a)]. Under high magnetic fields, this sideband displays sharp intensity switching at magnetic phase boundaries [Fig. 1(b)]. Notably, the absorption is strongly suppressed in plateau phases but enhanced in canted spin states. This phase-dependent evolution reveals that the optical response is governed by an interplay between the thermal magnon population (tuned by the magnon gap) and the spin-dependent transition matrix element (dictated by magnetic symmetry). These findings demonstrate that field-driven transitions can effectively act as an optical switch for composite excitations in LiNiPO₄.

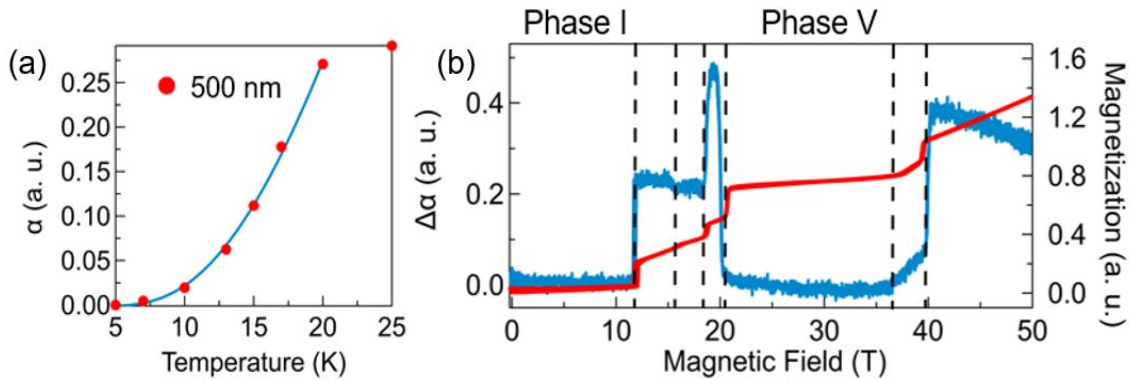


Figure 1. (a). Thermal activation like behavior at 0 T around 500nm. (b). Field dependent optical absorption intensity around 500nm.

[1] Y. Tanabe, T. Moriya, and S. Sugano, *Phys. Rev. Lett.* 15, 1023 (1965).

[2] S. J. Allen, R. Loudon, and P. L. Richards, *Phys. Rev. Lett.* 16, 463 (1966).

[3] E. Fogh et al., *Phys. Rev. B.* 101, 024403 (2020).

CsFeCl₃ の強磁場における磁歪測定

Magnetostriction measurements of CsFeCl₃ under high magnetic fields

A 神戸大ライフ光学イノベ、B 神戸大院理、C 神戸大学術社会共創、D 阪大コア
 ファシリティ、E 福井大遠赤セ、F 静岡大理、G 東大物性研、H 東京科学大
 大久保 晋^A、平田 涼^B、瀬川 和磨^B、原 茂生^C、櫻井 敬博^D、肘井 敬吾^A、
 太田仁^{A,E}、松本正茂^F、巖 正輝^G、小濱 芳允^G、栗田伸之^H、田中秀数^H

CsFeCl₃ の磁性イオンは、歪んだ八面体 FeCl₆ 内の Fe²⁺ が担っている。この Fe²⁺ イオンが Cl を介して超交換相互作用により *c* 軸方向に強磁性的な 1 次元鎖を形成し、*ab* 面内には反強磁性的な相互作用をもつ三角格子を形成している。この系では LS 結合の項が大きく、基底状態 $J=1$ と $J=2$ のエネルギー差が 300 K と開いており、低温弱磁場では $J=1$ として取り扱うことができる。また、交換相互作用より単一イオン異方性が大きく容易面型異方性により、基底 singlet 状態から励起 triplet 状態には 15 K のエネルギーギャップを有する[1]。磁場中では triplet の $J_z = -1$ の準位が降りてきて 7.5 T で磁場中秩序化することが知られている。さらに磁場を印加すると、32.2 T と 32.9 T でメタ磁性転移を起こすことが知られている[2, 3]。 $J=2$ の準位が降りてきて基底状態と入れ替わると考えられるが、今日まで考えられているモデル計算では 33 T 付近での磁気相転移は到底実現することができない[1]。これに対して、伊達らは、 $J=2$ のエネルギー準位が飛ぶモデルを提唱している[4]が、この検証は未だなされていない。これを明らかにするために我々は、これまで THz ESR 測定を行い、磁気相転移に対応する 32 T 付近で ESR モードが折り返しを観測している (図 1)。32 T の転移磁場において ESR モードには 300 GHz のエネルギーギャップをもって折り返しており、格子の寄与が示唆される[5]。そこで、東大物性研において Fiber Bragg Grating (FBG) 法による磁歪測定をパルス磁場中に行った。32 T の転移磁場より高磁場において *c* 軸も *a* 軸も縮むことが観測された。これはこの転移で格子の大きな寄与が存在することを示唆している。

- [1] H. Yoshizawa *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **49** (1980) 144-153.
- [2] M. Chiba *et al.*, Solid State Commun. **63** (1987) 427.
- [3] K. Nihongi *et al.*, SciPost Phys. Proc. **11** (2023) 012.
- [4] 伊達宗行、堀秀信、固体物理 **23** (1988) 698.
- [5] H. Nojiri *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999) 3417.
- [6] A. Ikeda *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **89** (2018) 096103.

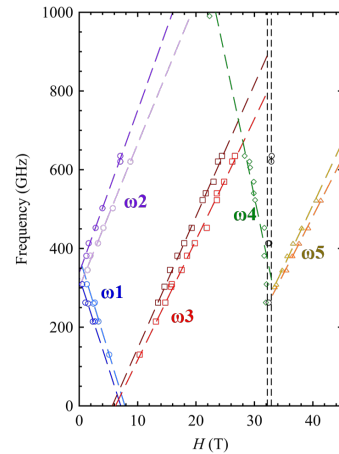


図 1. 1.8 K における $H//c$ の周波数-磁場ダイアグラム

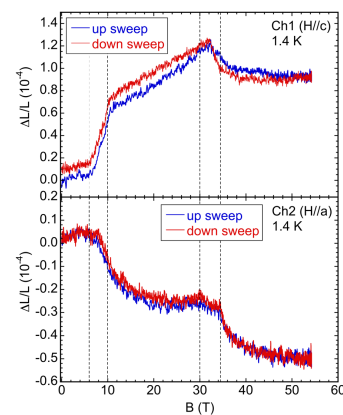


図 2. 1.4 K における磁歪の磁場依存性

変分モンテカルロ法を用いた Hofstadter-Hubbard 模型に対する磁場効果 東北大理

太田 那生也、那須 譲治

電子相関が重要な役割を果たす強相関電子系では、電子間相互作用に由来して古典的な秩序相を超えた量子相が発現することが知られている。特に三角格子では、幾何学的フラストレーションを由来とした古典的なスピン秩序である 120° Neel 秩序に加え、強い量子相関を由来として、スピン液体という長距離秩序を持たない状態が現れる。スピン液体状態の近傍では強い量子相関を由来とした特殊な性質が現れることが期待される。

近年、2層ねじれグラフェンをはじめとして、ひねり角を調整することで電子バンドを調整するモアレ格子上の物理が新規な量子相の舞台として注目されており、超伝導・分数量子 Hall 相などが確認されている。また、自由電子に対して一様な磁場を印加すると、Lorentz 力によってエネルギーが Landau 準位として量子化されるが、格子系では Hofstadter's butterfly [1] と呼ばれるエネルギー構造が出現し、数千テスラの磁場領域では Landau 準位を超えてエネルギーバンドが再構成される領域が出現することが知られている。近年の実験技術の進展により、1000T 程度の磁場を印加することが可能になりつつある [3]。また、三角格子 Hofstadter 模型は、モアレ格子上の物理の有効模型として注目されている。この模型において三角格子のそれぞれのプラケットに $\pi/2$ の磁束を挿入した場合には、電子正孔対称で有限の Chern 数を持つ 2 バンド模型になることが知られている。このとき、相互作用を有限にすると、臨界点を境に整数量子 Hall (IQH) 相 から Chiral spin liquid (CSL) 相というスピン液体相へ転移する。IQH-CSL 臨界点近傍で正孔をドーピングすることで、二次元の系においてのみ現れる粒子であるエニオンを由来とする超伝導が発現することが指摘されている [2]。

本研究では、強相関効果を取り入れて新規量子相を探索することを目的として、変分モンテカルロ法パッケージである mVMC [3] を使用し、Hofstadter-Hubbard 模型の性質を調べた。変分モンテカルロ法は厳密対角化法を超えたシステムサイズに対して、強相関効果を含む高精度な計算が行える計算手法として知られており、特に mVMC は多数の変分パラメータを効率的に最適化できるパッケージである。また、実空間における singlet のペア相関や超伝導相関関数を計算可能であるほか、多体 Chern 数を周期境界条件のもとでバルクとして評価することができるという利点がある。当日は、 $\pi/2$ -flux を印加した三角格子 Hofstadter-Hubbard 模型におけるクーロン項を由来としたトポロジカル転移や、ドーピング時の超伝導相関、CDW やスピン秩序との競合に関して議論する予定である。

[1] D. R. Hofstadter, Phys. Rev. B **14**, 2239 (1976).

[2] S. Divic et al., Proceedings of the National Academy of Sciences **122**, e2426680122 (2025).

[3] D. Nakamura et al., Review of Scientific Instruments **89**, 095106 (2018).

[4] T. Misawa et al., Computer Physics Communications **235**, 447 (2019).

キタエフ候補物質 RuX_3 ($X = Cl, Br$) に対する磁場応答の理論

東北大理

岩崎 龍太、那須 讓治

強いクーロン斥力により電子の電荷自由度が凍結したモット絶縁体と呼ばれる物質群では、スピンや軌道自由度が顕在化し、スピン液体や励起子絶縁体など、量子効果に起因した多彩な物理現象が発現する[1]。例えば α - $RuCl_3$ では、Cl 元素を媒介した Ru-Ru 間の異方的な局在スピン間相互作用による磁気秩序の抑制が報告されており、キタエフスピン液体の有力候補と指摘されている[2]。最近ではハロゲン元素置換を施した $RuBr_3$ の合成と物性測定[3]など、注目を集めている物質群である。

磁場応答という観点からは、 $RuCl_3$ と $RuBr_3$ はともに三方晶歪みに起因した磁気異方性をもつ。これにより、 $RuCl_3$ では磁化容易面であるハニカム面内 7 T 程度の磁場領域でスピン液体の実現が報告[2]されている一方、困難軸であるハニカム面直方向磁場下では 100 T 級の強磁場領域においてスピン液体の可能性が報告された[4]。また面内磁場下では、スピン液体に隣接する磁場領域において、ゼロ磁場下とは積層の周期が異なるジグザグ構造の実現が報告され、多彩な磁場相図をもつ[5]。

本研究では、 RuX_3 の磁場下での磁気構造の変化を明らかにすることを目的に、我々がこれまでに構築した有効擬スピンモデルに対する磁場応答の解析を行った。我々が構築した局在有効モデルでは、ゼロ磁場での平均場基底状態が、 $RuCl_3$ ではジグザグ磁気構造 (図 1)、 $RuBr_3$ では強磁性であることがわかっている[6]。発表では、両物質においてジグザグ磁気構造を仮定した平均場近似の下で磁化曲線の計算を行い、それに基づいて磁気構造の移り変わりを議論するほか、我々の開発した第一原理計算に基づく局在有効モデル構築スキーム[6]についても紹介する予定である。

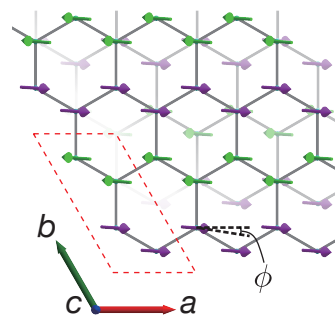


図 1. $RuCl_3$ におけるジグザグ磁気秩序。

- [1] 例えば D. I. Khomskii, ECS J. Solid State Sci. Technol. **11**, 054004 (2022). [2] レビューとして Y. Matsuda *et al.*, Rev. Mod. Phys. **97**, 045003 (2025). [3] Y. Imai, *et al.*, Phys. Rev. B **105**, L041112 (2022); J.S. Pearce *et al.*, Phys. Rev. B **110**, 214404 (2024). [4] X.-G. Zhou *et al.*, Nat. Commun. **14**, 5613 (2023). [5] 例えば C. Balz *et al.*, Phys. Rev. B **103**, 174417 (2021); J. Cen and H.-Y. Kee, Phys. Rev. B **112**, 024419 (2025). [6] R.I. *et al.*, in preparation.

極限環境下の固体酸素で現れる新規磁性相

^A 東北大理、^B 東京電機大

佐藤 直道^A、中 惇^B、那須 讓治^C

固体酸素では、酸素分子が持つ磁性と分子間のファンデルワールス力の競合により、圧力下で多彩な結晶構造と磁気構造が実現することが知られている。これまでに8つの相が確認されており、特に25K以下の低温領域においては、圧力 $P < 5$ GPa で反強磁性秩序を示す α 相 (C2/m)、 $5 < P < 8$ GPa で同じく反強磁性秩序の δ 相 (Fmmm)、 $8 < P < 96$ GPa で O_2 分子が4量体を形成した非磁性の ϵ 相 (C2/m) が実現する[1]。近年、単結晶を用いたX線回折の実験から、18 GPa 近傍に格子定数の非連続な変化が確認されている。この結果は、 ϵ 相内部に2つの異なる相 (ϵ_1 と ϵ_2) が存在することを示唆するが、その電子・格子状態は明らかになっていない[2]。

本研究では、高圧下の ϵ 相における電子・格子状態の解明を目的として、固体酸素の基底状態の解析を行った。酸素分子あたり2つの π_g 軌道と1つの σ_g 軌道を考慮し、スピン軌道結合による磁気異方性と O_2 分子の多量体化を記述する格子変位を取り入れた3軌道パイエルス・ハバード模型を構築した[3]。この模型をハートリー・フォック近似により解析した結果、 α 相と ϵ 相にそれぞれ相当する反強磁性相と酸素分子が4量体 (O_8) を形成する非磁性相との中間に、反強磁性秩序と4量体歪みが共存する相が実現することを見出した。この共存相は、空間反転×時間反転の対称性 (PT対称性) が破れた交替磁性相とみなせる[4]。図1に交替磁性相における π_g 軌道のエネルギーバンド構造および磁気容易軸 (b軸) のスピン成分を示す。ブリルアンゾーン内の Γ -M点間において、エネルギーバンドにスピン分裂が生じていることが分かる[5]。講演では、この交替磁性相におけるピエゾ磁気効果や、 δ 相における電気磁気効果についても議論する予定である。

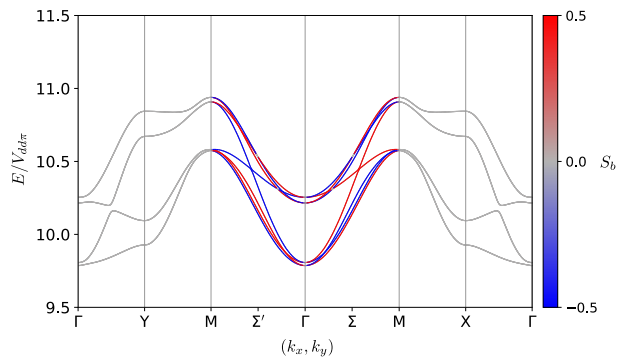


図1 交替磁性相における π_g 軌道のエネルギーバンド。色は各波数点のプロッホ状態が持つb軸方向のスピン期待値を表す。

- [1] Y. A. Freiman *et al.*, *Physics Reports*, **401** 1-228 (2004).
 [2] F. A. Gorelli *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **135**, 076101 (2025).
 [3] 佐藤直道, 中惇, 那須讓治, 日本物理学会 2025 年年次大会, 16aSK312-9 (2025).
 [4] 中惇, 求幸年, 妹尾仁嗣, 固体物理 **59**, 241-265 (2024).
 [5] 佐藤直道, 中惇, 那須讓治, 日本物理学会, 2026 年春季大会, 23aC1-2 (2026).

原子層物質の強磁場下トンネル伝導測定

^A 東大生研、^B 東大物性研、^C NIMS

瀬尾 優太^A、近藤 雅起^B、須藤 健太^B、武 之聖^B、渡邊 賢司^C、谷口 尚^C、
徳永 将史^B、町田 友樹^A

原子層物質への磁場印加は、エネルギースペクトルのランダウ量子化や量子ホール効果に代表されるように、電子物性を大きく変調します。これらの現象を詳細に理解するためには、磁場下におけるバンド構造の直接観測が不可欠です。しかし、数 10 テスラを超えるパルス強磁場領域においては、測定時間の短さや過酷な環境が制約となり、バンド構造を直接評価できる手法は極めて限定的でした。本研究では、この課題を解決する手法としてトンネル分光法に着目しています。非常に薄い絶縁層を二つの導電層で挟み込んだトンネル接合において、バイアス電圧印加により生じる量子トンネル伝導は、導電層の電子状態密度 (DOS) を直接的に反映します。この手法は、これまで静磁場下における原子層物質の電子物性解明に広く用いられてきました。本研究ではこれをパルス強磁場下へと拡張し、極限環境下における電子構造の直接観測を試みており、既に有望な初期データを得ることに成功しています。一方で、正確なスペクトロスコピーを行うためには、トンネル接合の構造の最適化が不可欠であることがこれまでの研究からわかって来ました。今回、トンネル接合構造の最適化のために、トンネルバリア層の厚み、探針となる導電層の種類、導電層間の結晶方位のツイスト角度などの複数のパラメータを変化させて、静磁場下でトンネル伝導測定を行いました。導電層の種類によらずトンネルバリアの厚みが重要であり、グラファイトとグラフェンを導電層として用いた際にはツイスト角度も大きく影響することが分かりました。発表では、探針層として単層グラフェン (MLG) を用いた場合と p-MoS₂ を用いた場合の結果の比較 (図 1) も含めて、最適構造に関する議論を行います。

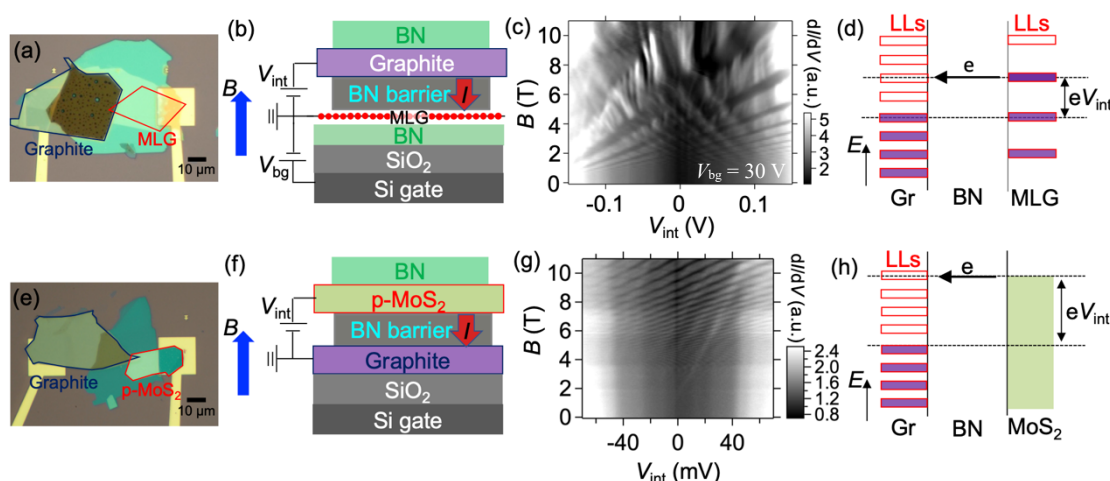


図 1. (a) 単層グラフェン (MLG)/h-BN/Graphite トンネル素子の光学顕微鏡像. (b) MLG/h-BN/Graphite 素子の模式図. (c) 静磁場下でのランダウ準位スペクトロスコピーの結果 ($T = 1.6$ K). (d) ランダウ準位スペクトロスコピーの模式図. (e) p-MoS₂/h-BN/Graphite トンネル素子の光学顕微鏡像. (f) p-MoS₂/h-BN/Graphite 素子の模式図. (g) 静磁場下でのランダウ準位スペクトロスコピーの結果 ($T = 1.6$ K). (h) ランダウ準位スペクトロスコピーの模式図.

Magnetic-Field-Induced Magnetoelectric Coupling in a Ferromagnetic [Mn₃O] Single-Molecule Magnet

^A Kyushu University

YULONG WEI^A, SHU-QI WU^A, OSAMU SATO^A

The magnetoelectric (ME) effect, which enables mutual control of magnetic and electric polarizations, holds great promise for next-generation multifunctional devices. However, its observation has been largely confined to antiferromagnetic or helimagnetic systems [1], while ferromagnetic systems have rarely been investigated.

Here, we report the magnetic-field-induced polarization change in a newly synthesized oxo-bridged trinuclear Mn₃ complex (compound **1**), which crystallizes in the polar space group (*R3c*) without a structure phase transition. Single-crystal X-ray diffraction reveals a distinctive C₃-symmetric molecular structure featuring significantly tilted Jahn-Teller axes of the Mn³⁺ ions, contributing to the non-collinear spin arrangement in its ground state [2]. Magnetic studies

confirm ferromagnetic interactions between the high-spin Mn³⁺ centers, accompanied by single-molecule magnet behavior with quantized magnetic hysteresis at cryogenic temperatures. Notably, compound **1** exhibits a pronounced ME coupling effect driven by an external magnetic field. The induced electric polarization shows strong temperature dependence below 50K, reaching its maximum at *ca.* 20 K. At a given temperature, ME current scales linearly with the magnetic field sweep rate, while the polarization remains sweep-rate independent, confirming the intrinsic ME origin. Angular-dependent measurements demonstrate that the ME response is highly anisotropic, and the most pronounced change is observed when the magnetic field is aligned with the magnetic easy axis.

This work provides a rare observation of the ME effect in a ferromagnetically coupled molecular cluster, opening new avenues for designing ME materials without frustrated structures or specific phase transitions.

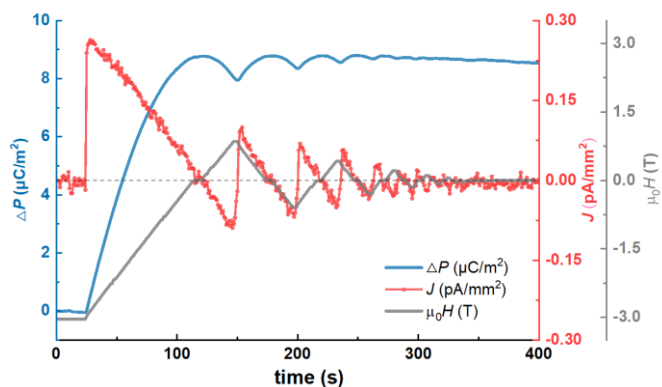


Fig. 1. Oscillating ME current density and polarization by magnetic fields modulated in oscillating mode at 20 K.

[1] Y. Tokura et al., Rep. Prog. Phys., 77, 076501 (2014).

[2] J. J. Henderson et al., Phys. Rev. Lett. 103, 017202 (2009).

光受容タンパク質の吸収波長スクリーニング自動化技術の開発

東大物性研

永田 崇

微生物や動物が持つ光受容膜タンパク質・ロドプシンは、光のエネルギーを利用してイオン輸送や細胞内シグナル伝達などを行い、細胞のエネルギー代謝や光応答に重要な役割を果たす。ロドプシンは主に7本の膜貫通ヘリックス構造を持ち、光を吸収する発色団であるレチナールをタンパク質内部に共有結合している。典型的な微生物ロドプシンでは、発色団レチナールが光子を吸収して励起状態になると1ピコ秒程度で異性化反応が生じ、これが引き金となって複数の反応中間体が形成される。この過程は可視光領域における吸収変化として捉えられるため、ロドプシンはパルス磁場中での光反応研究に適したタンパク質と考えられる。ロドプシンに対する磁場効果はこれまで報告されていないが、脱プロトン化状態の発色団を持つ紫外吸収型ロドプシンにおいて光異性化反応に三重項状態が関与する可能性が理論的に示唆されている[1]。このような特性を示す微生物ロドプシンはほとんど知られていなかったが、私たちはこれまでに複数種を自然界から発見し[2,3]、磁場効果の探索実験を進めている。より適した性質を持つロドプシンを見出す、あるいは創出するためには、ロドプシンの機能解析のハイスループット化が有効である。本研究では、光受容タンパク質ロドプシンの機能解析を高度に効率化した自動化実験プラットフォーム「Rhobot-Screen」を開発した。本システムは、遺伝子変異の導入、DNA 調製、タンパク質発現、機能評価といった複数の実験工程を自動分注システムにより統合・自動化し、ハイスループットかつ再現性の高いデータ取得を可能にした。特に、吸収波長を96 ウェル形式で測定する手法を確立することで、最大で96種類のロドプシンの分光特性を並列的に評価できるハイスループット解析を実現している。実証として、*Gloeobacter rhodopsin* の特定部位に系統的な変異導入を行い、得られた変異体の吸収波長を測定した結果、波長変化とアミノ酸側鎖の物理化学的性質との間に部位依存的な関係が示唆された。さらに、本プラットフォームを用い、ロドプシンの波長予測に関する機械学習モデルの高精度化も目指している。

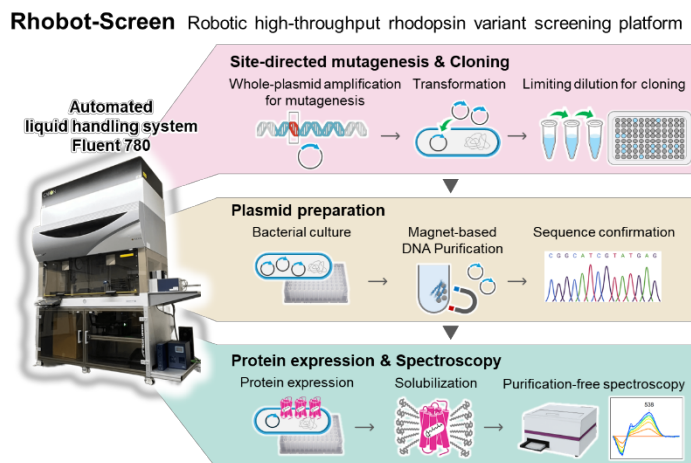


図1. 自動化実験プラットフォームの概要

[1] Filiba et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2022

[2] Mannen et al., *J. Mol. Biol.* 2024

[3] Galindo et al., *PNAS* 2025

磁場応答発光を示す新たな開殻分子系の開拓

^A 阪大院基礎工、^B 阪大院基礎工

草本 哲郎^A、竹脇 由佳^{A,B}、吉田 峻^A 樋川 岳真^A

我々は、1000 T という超強磁場により、分子構造、集積構造（結晶構造）、スピン状態や電子状態、電子遷移等のダイナミクスが変調を受け得るような開殻物質の創製を基に、超強磁場下で新たに発現する化学反応や光機能を創出、理解することを目指して研究を進めている。これまでに、ジラジカル等のラジカル集積体が磁場応答発光を示すこと、ならびにこれが物質のスピン状態と光物性が関連した機能＝スピン関連光機能であることを明らかにしてきた。本発表ではジラジカルに加え新たな物質系における磁場応答光について報告する。

1. 有機ジラジカルが示す磁場応答発光および吸光

比較的大きな分子内反強磁性相互作用 ($2J/k_B \approx -150$ K) を有するケクレ型ジラジカル DR3 を開発し、ポリマーフィルム中に希薄分散された DR3 の光学特性を、様々な温度および磁場下にて調べた。その結果、DR3 の吸光および発光スペクトルの両方が磁場効果を示すことを見出した (図 1)。詳細な解析の結果、二つの磁場効果は同じメカニズム、すなわち DR3 の基底状態における一重項および三重項状態の population 変化に基づくことを見出した。

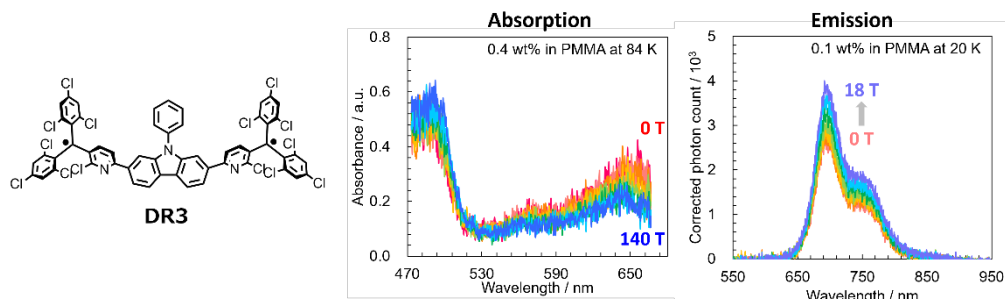


図 1. DR3 の化学構造 (左)、PMMA 中 84 K パルス磁場下における吸収スペクトル (中央)、PMMA 中 20 K 静磁場下における発光スペクトル。

2. 高スピン Mn 錯体が示す磁場応答発光

スピン関連発光を示す開殻物質は有機ラジカル集積系に限られており、これとは異なる物質系の創製が更なる機能開拓に向けた重要課題である。我々は、固体担体中に分散された高スピン（基底六重項）発光性 Mn 錯体が、4.2 K において磁場応答発光を示すことを見出した (図 2)。時間分解発光の詳細な解析から、Mn 錯体の磁場応答発光では、担体と Mn 錯体間のエネルギー移動過程に対して磁場が作用することが明らかとなった。スピン関連発光を示す新物質系の開拓と、従来とは異なる機構に基づく機能発現の実証の両立は、今後の更なる分野発展の礎となる重要な成果である。

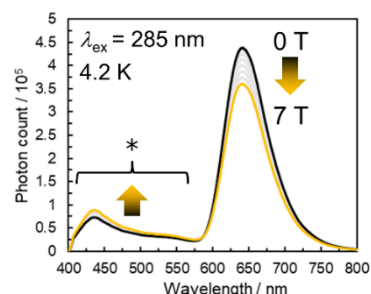


図 2. 高スピン Mn 錯体をドープした固体試料の静磁場中 4.2 K における発光スペクトル。

The optical absorption spectra of a microbial rhodopsin in 400 T ultra-high magnetic field

Y-L.Guo, Y.Ishii, X-G.Zhou, M. Konno, T.Nagata, K.Inoue, Y.H.Matsuda

ISSP, Univ. Tokyo

Magnetic field effect on biological function is generally believed to be negligible because the field-induced energy change in the electronic state is small: It is roughly 0.1 meV at 1 T. However, significant magnetic field induced effects may appear in some biological materials when the magnetic field is strong enough. Since the 1000 T class magnetic field has recently become available [1], a new research frontier can be developed using such a strong magnetic field. In the present work, we focus on microbial rhodopsins which have been intensively studied because they are photoreceptive proteins showing biological functions.

Schizorhodopsin (SzR1) is an inward H⁺ pump protein on the membrane. After being stimulated by light, a reaction called photo-isomerization takes place in SzR1 which only takes 10⁻¹³~10⁻¹² s to complete works [2]. From this reaction, all-trans retinal transform to 13-cis retinal. The electronic state and its change by photo-isomerization can be investigated with optical absorption spectroscopy. However, an ultrahigh magnetic field can not only influence the process of photo-isomerization but also the electronic state of SzR1, which can also lead to a change in the absorption spectrum.

Fig.1(a) shows the absorption spectra at 0 and 415 T. Although the spectra look like each other, there is a small but distinctive change in the spectrum by applying 415 T. The difference absorption spectrum is shown in Fig. 1(b). Because such a change is not observed when the magnetic field is smaller than 300 T, there can be some critical magnetic field. Using an ultrahigh magnetic field can explore the frontier of material science.

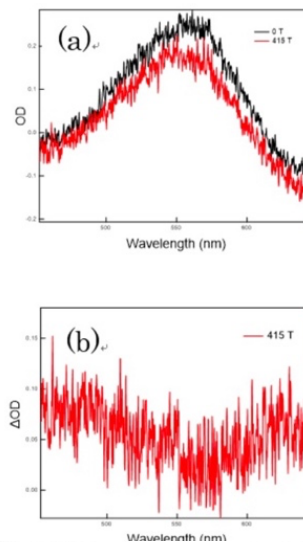


Fig.1 (a) The absorption spectra in 0 T and 415 T. (b) The difference between them in ΔOD .

[1] Nakamura, et al. "Record indoor magnetic field of 1200 T generated by electromagnetic flux-compression. Rev. Sci. Instrum. 89(9), 095106, (2018)

[2] Inoue, Keiichi, et al. "Schizorhodopsins: A family of rhodopsins from Asgard archaea that function as light-driven inward H⁺ pumps." Science Advances 6.15 (2020): eaaz2441.

差周波発生における有効ゲージ場の実験的研究

^A 東大素セ、^B 千葉大学、^C 東北大学

中山 和之^A、藤代 隼人^B、宮本 克彦^B、大野 誠吾^C

物理系の詳細に応じた粗視化や測定手法を通じて有効相互作用を導入することは、古くから標準的に行われてきた。近年では、物質のバンド構造や人工構造を積極的に活用し、有効ゲージ相互作用を研究する分野が活発化している。有効ゲージ場の生成手法は多様であり、実験系ごとに適切な物理モデルや制御性が異なる [1]。

本研究では、光渦を伴う非線型光学に着目する。光渦は位相特異点を有するらせん状の波面を持つ電磁モードであり、物理学および工学の両分野で注目されている。非線型光学過程の利点は、ゲージ場の構造を外部から動的に制御可能な点にある。また非線型効果によって生成される光は光流体として振る舞い、トポロジカル物質相やブラックホール時空のアナロジー物理と密接な対応を持つ。本研究の実証には、自由空間において強い非線型効果を実現することが不可欠である。そこで本研究では、可視～近赤外領域で高い非線型係数を有する有機非線型光学結晶 (DAST 結晶) を用いた差周波発生実験を行い、実験的検証を行った。

図 1(a) に非線型光学実験の概略を示す。光源として、 $1.5 \mu\text{m}$ 帯で動作する 2 系統のパルスレーザー (パルス幅: 7.4 ps 、平均出力: 0.5 W) を用意した。ポンプ光 ($1.513 \mu\text{m}$) は、スパイラル位相板を用いてトポロジカルチャージ $l = \pm 1$ を持つ光渦へと変換した。一方、アイドラー光 ($1.560 \mu\text{m}$) は、シリンジカルレンズペアを用いてアスペクト比 1:2 の楕円ガウシアンビームに成形した。これら 2 つのビームを DAST 結晶に入射した。DAST 結晶の出射面におけるビームパターンを観測するため光学イメージング系を構築し、ダイクロイックミラーおよび光学フィルターを用いて非線型光学効果によって発生した余分な光をカットしアイドラー光を観測した。図 1(b) にアイドラー光の回転角のポンプ光強度依存性を示す。アイドラー光の回転角は、ポンプ光の強度に比例し、その回転方向は光渦のトポロジカルチャージの符号に応じて反転していることが分かる。これは理論的予測とも整合的である [2]。

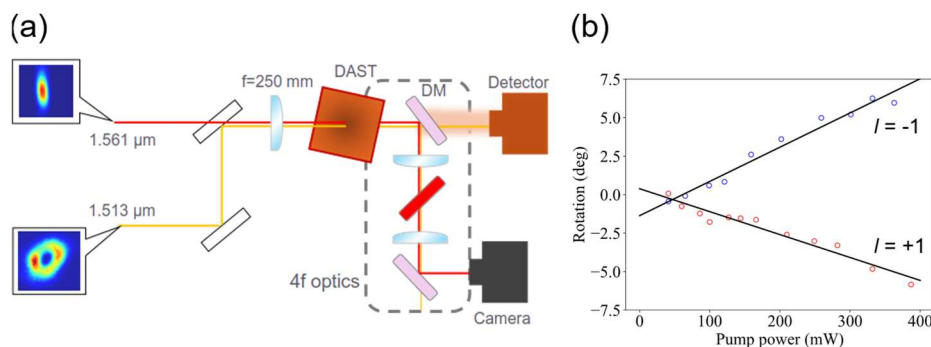


図 1(a) 実験概略図 (b) 回転角のポンプ強度依存性

[1] M. Aidelsburger *et al.*, C. R. Phys. **19**, 394-432 (2018).

[2] N. Westerberg *et al.*, Phys. Rev. A **94**, 023805 (2016).

Cancel

レーザー進行方向に垂直な弱い外部磁場が存在する系における レーザーイオン加速の高エネルギー化に関する研究

^A大阪大学、^B国立成功大学、^C電気通信大学、^D九州大学、

^E神戸大学、^F関西光量子科学研究所

内藤 佳輝^A、山本 隆奨^A、玉城 直也^A、二階堂 颯佳^A、草野 颯斗^A、
中村 豊^A、江寄 大和^A、安部 勇輝^A、群 英輝^A、Che-Men Chu^B、
池田 暁彦^C、野田 孝祐^C、森田 太智^D、金崎 真聡^E、桐山 博光^F、今 亮^F、
近藤 康太郎^F、福田 祐仁^F、蔵満 康浩^A

高強度レーザーを薄膜ターゲットに集光照射すると、レーザーとプラズマの相互作用によりイオンが加速される。このレーザーイオン加速は、医療や核融合分野での小型イオン源としての応用を目指して、高エネルギー化に向けた研究が進められている。イオンの高エネルギー化における重要な課題には、加速電場を作る電子が時間経過とともに発散することで加速電場が減衰することがあげられる[1]。

本研究では、レーザーイオン加速時に外部磁場を印加することで、電子の発散を外部磁場によって抑えることで長時間の加速電場の生成を目的とする。レーザーイオン加速時に生じるプラズマの作る磁場は数十 kT 級に上り、外部磁場と比較すると非常に大きい。しかしながら、レーザーの進行方向に垂直な場合には 0.7 T 程度の弱い外部磁場であっても電子の運動に影響を与えることが実験によって確認されている[2]。

二次元 PIC コードを用いて、レーザーのノイズ成分に強いグラフェンを 16 層積層した薄膜ターゲットを用い、レーザーの進行方向に垂直に 10 T の外部磁場を印加したシミュレーションを行なった。レーザーのパルス幅が 640 fs の条件においては、外部磁場により陽子の加速エネルギーに 30 % 程度の増加が見られた。この理由として、外部磁場によってイオンの前方の電子がより高密度に保たれ加速電場の減衰が抑制されたことが挙げられる。さらに、外部磁場の有無によって、プラズマ内のレーザーの伝搬に違いが確認された。本発表では、加速電場や電子密度の評価を行うことで磁場の有無におけるレーザーイオン加速の違いに関して考察を行う。また、このシミュレーション結果に基づいて 2025 年に関西光量子科学研究所の J-KAREN-P レーザーを用いて行なった実験についても発表を行う。外部磁場は、電気通信大学の池田暁彦准教授の作製したコイルとコンデンサバンクを使用した[3]。

[1] T. Minami et al., High energy density physics 55, 101195(2025)

[2] K. Sakai et al., Scientific Report 12, 16501(2022)

[3] A. Ikeda et al., J. Appl. Phys. 136,175902(2024)