

タイトル：キラリティが誘起するスピン位相整列状態と位相欠陥

講演者：井上克也

所属：広島大学先進理工系科学研究科・キラル国際研究拠点 (CResCent)・持続可能性に寄与するキラルノット超物質拠点 (WPI-SKCM2)

要旨：右手と左手のように、重ね合わせることはできないけれども、鏡に映すとたがいに交換しうる形や動きの対をキラルな関係であるという。それぞれの片方をエナンチオマーと呼び、二つの異なるエナンチオマーの対をラセミ体と呼ぶ。これらキラリティの関係は、分子では非常に多く研究されており、典型的には生物を構成する分子は基本的には片方のエナンチオマーからできている。例えばタンパク質のモノマーであるアミノ酸は全てL体(左手系)のエナンチオマーからなり、でんぷんなどのモノマーのブドウ糖や果糖などの糖は、すべてD体(右手系)からなる。地球上の生命のすべてが同じエナンチオマーからできているが、なぜそうなっているのかはいまだに謎で、ホモキラル問題と呼ばれ、小惑星探査などでの中心話題になっている。キラリティの関係は、分子のみならず固体の構造でも適用できる。結晶構造の空間は、中心対称性がある群と中心対称性のない群に分けられ、中心対称性がない群は極性のある群とキラルな群に分けられる。キラルな空間群の固体中の原子や分子の集団には、キラル特有の物性が現れることが最近明らかになりつつある。つまりキラリティは、媒質のトポロジーを変化させ、マクロスケールの位相整列をもたらす。位相整列状態に外場を加えることで、位相欠陥を作り出すことができる。キラル磁性体であるキラル結晶中のスピン集団は、スピン位相整列が起こり、外部磁場を加えることにより、一次元ソリトンや2次元スキルミオンが、磁気空間群の次元性に応じて現れる。これらスピン位相整列状態やスピン位相欠陥状態では、普通には見られない物性を示すと考えられる。今回はこの特殊な物性について考えてみたい[1]。

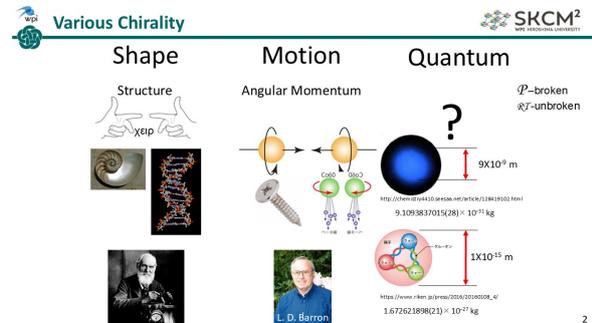


図 1：様々なキラリティ

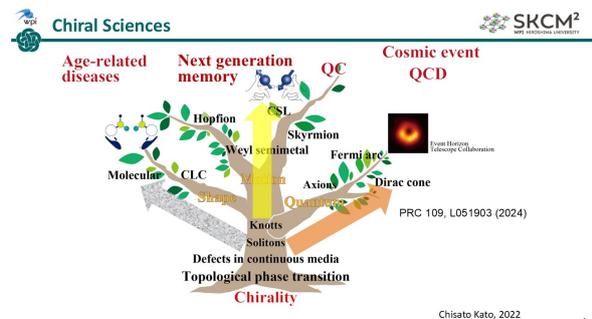


図 2：物質中のキラリティの役割

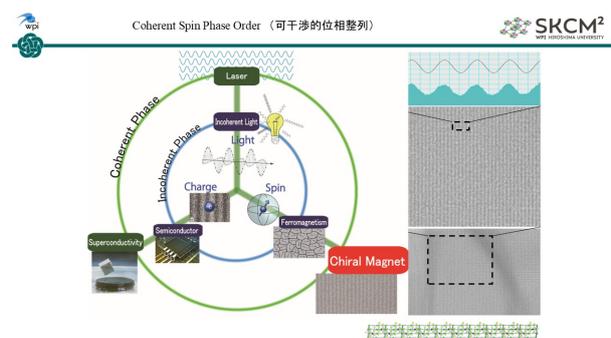


図 3：キラル磁性体中のスピン位相整列

[1] K Inoue, Chemistry Letters 50 (4), 742-751(2021).

タイトル：パルス強磁場下における特異な磁気光学応答の探索

講演者：宮田敦彦

所属：東京大学物性研究所

要旨：近年、反強磁性体における磁気秩序と光学応答の結びつきに注目が集まっており、特に時間反転対称性や空間反転対称性の破れがもたらす非相応答や巨大な線・円二色性など、対称性と強く結びついた特異な光学応答が報告されている。一方で、磁場によって磁気構造を変調した際に、バンド構造（電子状態）の再構成がどのように起こり、光学応答にどう反映されるかは未解明な点が多い。本研究では、パルス強磁場下における直線・円偏光依存の可視・近赤外分光測定を行い、磁気秩序の対称性と光学応答の相関を明らかにすることを目的とした。

ファンデルワールス反強磁性体 FePS_3 では、ジグザグ型磁気秩序の発現 (C_3 対称性の破れ) に伴い 1.6-2.0 eV の広範囲なエネルギー領域で巨大な線二色性が観測されている。ここに 40 T の強磁場を印加すると強磁性相を誘起 (C_3 対称性の回復) することができ、光学異方性と磁気秩序との明確な相関を実証した(図1)[1]。また、電磁気効果を示す物質 LiNiPO_4 においては、磁気秩序による空間反転対称性の破れに起因して、ゼロ磁場で巨大な光ダイオード効果が発現することが知られている[2]。一方で、 LiNiPO_4 は強磁場下で多段の逐次磁気相転移を示すことが報告されており[3]、本研究では、こうした磁気構造の変化によって波長 500 nm 付近の吸収帯において特異な光吸収強度変化が現れることを明らかにした(図2)。さらに、40 T 以上で現れる低対称な磁気構造では、エネルギーシフトを伴う特異な方向二色性の観測に成功している。

本講演では、これらの系を含む複数の反強磁性体に対して、パルス強磁場と偏光依存した分光測定を用いて、磁気秩序の対称性と光学応答の関係を調べた結果について紹介する。

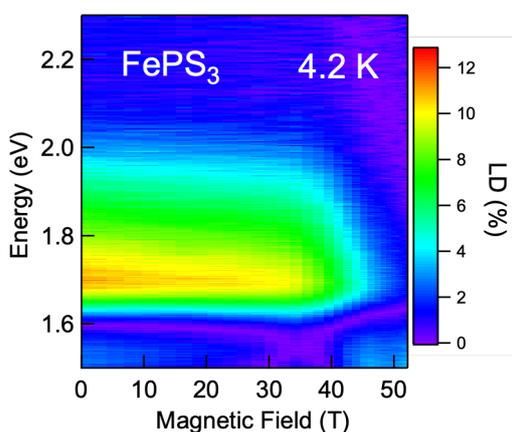


図1：強磁場下における FePS_3 の線二色性スペクトル。

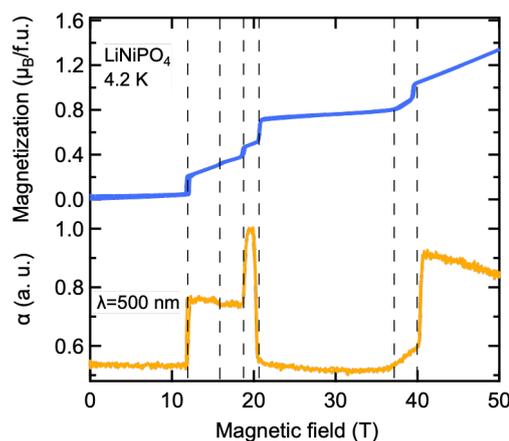


図2： LiNiPO_4 における波長 500 nm の光吸収強度変化。

[1] X.-G. Zhou, *et al.*, arXiv.2405.10326 (2024).

[2] K. Kimura *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **132**, 036901 (2024).

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

タイトル: ベクトル強磁場と FIB 微細加工を用いた量子物質の研究

講演者: 木俣基

所属: 日本原子力研究開発機構・先端基礎研究センター

要旨: 磁場の角度を精密に制御することは、磁性体や超伝導体における異方的応答の解明に極めて重要です。私たちはこれまで、東北大学金属材料研究所における定常強磁場に二軸回転機構を組み込み、20 テスラを超える強磁場を任意の方向に印加できる「三次元ベクトル強磁場」環境を構築してきました。この装置を活用し、さまざまな量子物質の研究を展開しています。

本発表では、ベクトル強磁場環境を用いた実験技術開発の概要をご紹介したのち、それを用いた最近の応用例として、スピン三重項超伝導体 UTe_2 における角度依存磁気抵抗振動 (AMRO) 測定の結果を紹介します。AMRO は、擬二次元伝導体において面間方向の電気抵抗が磁場の角度に対して周期的に変化する現象であり、これを結晶の全方位で測定することで、フェルミ面の詳細な形状を明らかにできます。 UTe_2 の実験では、こうした手法を用いて、擬二次元的なフェルミ面の構造を精密に決定することに成功しました。

さらに時間が許せば、FIB (Focused Ion Beam) による微細加工技術を活用し、単結晶微細デバイスで測定した非相反磁気抵抗の実験結果や、東北大金研の 25T-CSM 用の希釈冷凍機の導入状況など、最新の技術的取り組みについてもご紹介します。

タイトル：力検出型 ESR の量子スピン系への応用

講演者：大久保晋^{A,B}, 恒石一義^B, 高橋英幸^A, 齋藤佑^C, 原茂生^C, 櫻井敬博^D, 大道英二^B,
太田仁^A, 木村史子^E, 木村恒久^E, 那波和宏^F, 矢島健^F, 岡本佳比古^G, 廣井善二^G

所属：^A神戸大学分子フォトサイエンス研究センター,^B神戸大学大学院理学研究科,^C神戸大学
研究基盤センター,^D大阪大学コアファシリティ機構,^E京都大学大学院農学研究科,^F東北
大学多元物質科学研究所,^G東京大学物性研究所

要旨：神戸大学分子フォトサイエンス研究センターでは、テラヘルツ光パルス強磁場 ESR 測定をさらなる多周波数化、強磁場化させるだけでなく、高圧力環境や極低温環境などの多重極限環境下における ESR 測定を実現させてきた。また、レーザーを用いた周波数ドメイン ESR 測定などの新しい計測法の開発もおこなっている。2005 年より始めた力検出型 ESR は、現在ナノメンブレンを用いたものへと発展し、計測技術の開発から物性測定へとフェーズをシフトしている。今回、そのメンブレン力検出型 ESR の量子スピン系への応用として $S=1/2$ 反強磁性鎖 $\text{KCuMoO}_4(\text{OH})$ を取り上げ、微小単結晶試料 1 つによる測定を報告し、力検出 ESR の有用性について述べる。 $\text{KCuMoO}_4(\text{OH})$ は CuO_6 八面体が頂点共有して b 軸方向に連なる $S=1/2$ ハイゼンベルグ反強磁性鎖のモデル物質として知られる (図 1) [1]。結晶の対称性から、鎖内に交替 D ベクトルを持つ DM 相互作用と交替 g テンソルを持つ系と考えられている。この系では磁場中の低エネルギー励起としてソリトン、アンチソリトン、これらの結合した励起のブリーザー励起が期待され、磁場中比熱においても対応する磁場依存性が観測されている [1]。この物質は微小単結晶試料しか得られておらず (図 2)、従来のテラヘルツ光パルス強磁場 ESR 測定では粉末または磁場中配向試料でしか測定できず、ブリーザー励起モードの異方性は十分には明らかにできなかった。高感度なメンブレンを用いた力検出型 ESR 法 [2] では微小単結晶 1 つで高周波数 ESR 測定が可能となるので、1.8K における結晶の各軸に磁場を印加した測定を行なった。図 3 に $H//a$ の ESR スペクトルの周波数依存性を示す。測定から得られた異方性について議論する。

[1] K. Nawa *et al.*, Phys. Rev. B **96** (2017) 104429

[2] T. Takahashi *et al.*, Rev. Sci. Instr. **89** (2018) 083905

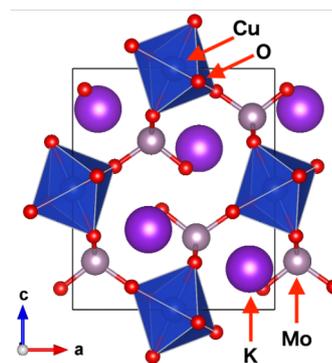


図 1: ac 面に投影した結晶構造

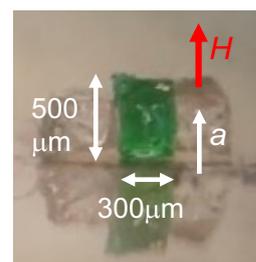


図 2: 結晶の外形 (ab 面)

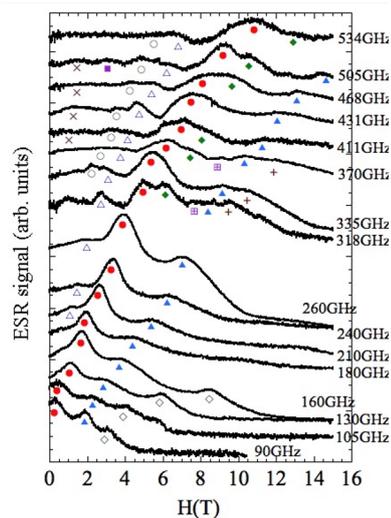


図 3: 1.8K における $H//a$ の ESR スペクトルの周波数依存

タイトル：X-band ESR 測定用超小型共振器の開発

講演者：石川裕也^A, 倉知豊^A, Jarno Järvinen^B, Sergery Vasiliev^B, 藤井裕^A,所属：^A福井大学遠赤外領域開発研究センター,^Bトゥルク大

要旨：誘導検出型電子スピン共鳴(ESR)測定システムでは共振器の特性が測定感度に大きく影響する。一般的な X-band (~ 10 GHz) ESR システムでは、高い Q 値 ($Q \sim 2 \times 10^4$) と大きな体積 (~ 10 cm³) を持つ空洞共振器が使用されており、発生振動磁場や測定感度は $\sqrt{V/\omega_0 Q_u}$ におよそ比例することが知られている(ここで、 Q_u は無負荷時 Q 値、 V は共振器の有効体積、 ω_0 は共振周波数) [1]。したがって、 Q 値が低くても、共振器の体積 V を桁違いに小さくすることにより試料部に局所的な振動磁場発生が可能となる。これにより ESR の空間分解能や感度の向上、低い Q 値を利用した短パルス化による動的な情報取得が可能になると期待される。その超小型マイクロ波共振器の候補としてループギャップ型共振器 (LGR) が Twig らによって提案されている [1]。

これまでに我々は、X-band 帯の LGR について COMSOL Multiphysics による計算や実機製作を通じ共振器特性について明らかにしてきた [2,3]。これまでの特性評価を踏まえ、ESR 用標準試料である DPPH の ESR 測定を室温中で行った (図 1,2)。中心周波数を 12.7 GHz とし、 ± 700 MHz 程度発振周波数を変化させた場合も信号強度は低下するが ESR スペクトルが観測されている。これは Q 値が約 70 であることと対応しており、実際にブロードバンドであることを意味している。講演では詳細について報告する。

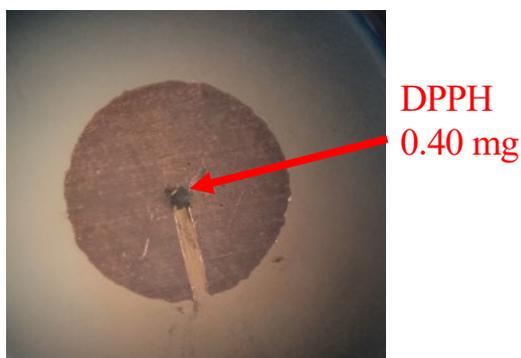


図 1. DPPH をセットした LGR。

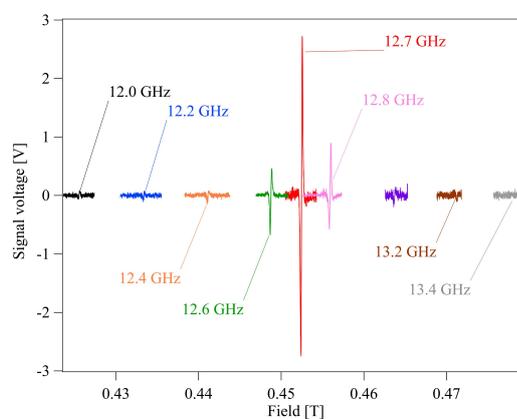


図 2. 室温における DPPH の X-band ESR スペクトル。中心周波数は 12.7 GHz であり、発振周波数を変化させた場合の ESR スペクトルも同様に観測されている。

[1] Y. Twig, E. Suhovoy, A. Blank, Rev. Sci. Instrum., **81** (2010) 104703.

[2] 倉知豊ら, 日本物理学会第 79 回年次大会, 16aPS-10, (2024).

[3] COMSOL Multiphysics® v. 6.2. www.comsol.com. COMSOL AB, Stockholm, Sweden.

タイトル：量子スピン系の複合極限下での磁性研究と今後の展望

講演者：萩原政幸^A, 森川悦司^{A*}, 森本大幹^{A*}, 木田孝則^A, 鳴海康雄^A, 二本木克旭^B,
本多善太郎^C, 櫻井敬博^D, 上床美也^E, 金道浩一^E

所属：^A大阪大学大学院理学研究科附属先端強磁場科学研究センター,^B理化学研究所創発物性科学研究センター,^C埼玉大学大学院理工学研究科,^D大阪大学コアファシリティ機構,^E東京大学物性研究所 (A*の現所属は共に三菱電機株式会社)

要旨：大阪大学の強磁場施設では、旧センター時代(極限物質研究センター、極限科学研究センターや極限量子科学研究センター)から高圧力パルス強磁場下での物性研究を行うべく装置開発が行われてきた[1-3]。高圧力-極低温-強磁場(特にパルス強磁場)の複合極限下での物性測定は困難を極め、残念ながらなかなか良い研究成果に繋がらなかった。現在理研に所属している二本木氏と木田氏がこの装置開発にブレークスルーをもたらした。本装置開発による研究成果を昨年度と一昨年度の当強磁場科学研究会で両氏が講演を行っている。磁性絶縁体において圧力セル内のサンプルに直巻きしたコイルと外部のコンデンサーで共振回路を作り、PDO素子を用いて周波数変化を観測する測定手法で、転移磁場での磁化変化が誘導法よりS/N比良く測定できる[4]。狭い磁場空間において、従来の誘導法では圧力セルの外側にピックアップコイルを巻かなければならなかったのに対して、内部にピックアップコイルを設置でき、圧力セルを肉厚にすることができるために圧力範囲も従来の2倍の約2 GPaまで可能になっている。また、この測定の肝はNiCrAl製金属圧力セルのジュール発熱により伝わる熱が試料に到達する前に測定を行う事で、現在1.4 Kにおいて40 Tまでの磁場中測定を可能としている。これまでに三角格子反強磁性体CsCuCl₃、CsFeCl₃[5-7]や二本足梯子鎖反強磁性体Cu(DEP)Br₂(DEP:diethyl-pyridine)の磁場誘起相転移の観測結果について報告してきている。

今回、以前森本氏が報告した二本足梯子鎖反強磁性体Cu(DEP)Cl₂の高圧力下での磁気測定の実験結果を類似のCu(DEP)Br₂の結果と比較して示すとともに、長年高圧下電子スピン共鳴(ESR)測定装置の開発をされてきた櫻井氏との共同研究で、我々のセンターでも14 T超伝導磁石とベクトルネットワークアナライザーを用いて圧力下でのESR測定が可能となったので、Cu(DEP)Br₂の粉末試料で行った測定結果を報告する。また、高圧力下磁気測定(帯磁率、強磁場磁化、ESR)を予定しているいくつかの量子スピン系についても今後の展望としてお話しする予定である。

- [1] T. Hamamoto *et al.*, *Physica B* **281-282**, 64 (2000).
- [2] T. Matsunaga *et al.*, *J. Low Temp. Phys.* **159**, 7 (2010).
- [3] T. Tahara *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **89**, 064711 (2020).
- [4] K. Nihongi *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **94**, 113903 (2023).
- [5] K. Nihongi *et al.*, *Phys. Rev. B* **105**, 184416 (2022).
- [6] K. Nihongi *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **93**, 084704 (2024).
- [7] K. Nihongi *et al.*, *SciPost Phys. Proc.* **11**, 012 (2023).

タイトル：単一分子で強誘電性を示す「単分子誘電体」の開発と応用

講演者：西原禎文^{A,B}所属：^A広島大学大学院先進理工系科学研究科,^BJST, さきがけ

要旨：強誘電性はこれまで、結晶の対称性に基づく集団的なバルク物性として理解されてきた。しかしながら我々は、単一分子でありながら、強誘電体に特徴的な分極ヒステリシスおよび自発分極を示す「単分子誘電体 (Single-Molecule Electret)」を初めて実証した^{[1],[2]}。この物性は、プレイスラー型ポリオキシメタレート (POM) と呼ばれるかご状の無機分子に由来するものである【図1 a】。対象とした POM は、分子内部に一つの Tb^{3+} イオンを含み、空洞内に存在する二箇所の安定サイトのいずれかにイオンが静止する構造を有する。 Tb^{3+} イオンが占有する位置により、分子全体の電気双極子モーメントが変化し、電場によってイオンの位置が反転することで分子分極の反転が引き起こされる。

この反転過程にはエネルギー障壁が存在するため、熱的に十分なエネルギーが得られない低温領域では、イオンは安定サイトにとどまり、結果として分子分極が凍結される【図1 b】。一方で、この温度域において外部から電場を印加することで、イオンの遷移を強制的に誘起し、電場に応答した分極反転が実現可能となる。実際に本系では、明確な強誘電転移点を示さないにもかかわらず、290K 以下でヒステリシスを伴う分極-電場 (P-E) 特性【図1 c】と自発分極【図1 d】が観測され、室温動作可能な新たなタイプの誘電体として注目されている。

これらの成果により、対象 POM は単一分子で強誘電的な振る舞いを示す「単分子誘電体」であることが明確となった。この性質は、従来のバルク強誘電体とは異なり、分子レベルでの情報記録が可能であることを意味し、不揮発性メモリ材料としての応用が強く期待される。我々はこの特性を活かし、単分子誘電体を活性層とした電界効果トランジスタ (FET) 型メモリ素子の試作に取り組んだ。具体的には、膜厚 10 nm の単分子誘電体薄膜をシリコン基板上に形成し、従来の半導体プロセスに則ってデバイスを作製した。当日は、合成化学、構造解析、電気特性評価、デバイス実装まで一貫して報告する。

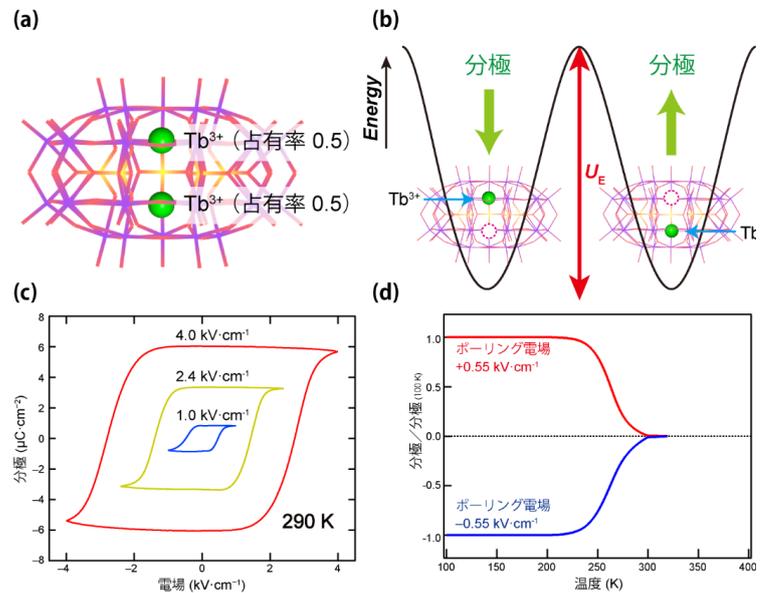


図1. (a) 分子内部に2箇所のイオン安定サイトを有する「単分子誘電体」と(b)分極エネルギー構造。(c) 450K以下で強誘電転移秩序を示さないにもかかわらず290Kで分極ヒステリシス、(d) 自発分極を示す。

[1] S. Nishihara *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 57, 13429 (2018)[2] S. Nishihara *et al.*, *Nature Nanotechnol.*, 15, 966 (2020)

タイトル：ハイエントロピー酸化物のマイクロ波加熱合成と

その物性 I -複素誘電率とその温度依存性

講演者：照井大和^A, 岸諒紀^A, 岩本拓馬^A, 仲川晃平^B, 西海豊彦^A, 浅野貴行^{A,B},
光藤誠太郎^{A,B}

所属：^A福井大学工学部,^B福井大学遠赤外領域開発研究センター

要旨：マイクロ波エネルギーは近年、その短時間かつ省エネルギーでの加熱特性を活用し、材料の合成、分解、抽出といった多様なプロセスへの応用が展開されている。これらのプロセスを適切に制御するためには、材料のマイクロ波に対する応答、すなわち複素誘電率の理解が不可欠である。

複素誘電率は、周波数および温度に依存する。特に加熱中には温度変化に伴って変化する。このため、マイクロ波を用いた加熱プロセスを安定かつ高効率に制御するには、使用周波数における複素誘電率の温度依存性を把握することが重要である。

本研究室では、新規磁性材料としてハイエントロピー酸化物 (High-Entropy Oxide, HEOx) [1] のマイクロ波合成に取り組んでいる。マイクロ波で合成された HEOx は通常加熱による HEOx と異なる格子定数を持ち、更に異なる磁氣的性質を示すことが分かった。そこで、その特異性を合成過程から理解できないかと考え、その基礎情報として、出発物質である MgO, NiO, Cr₂O₃, Fe₂O₃, MnO の 2.45 GHz における複素誘電率の温度依存性を測定した。図 1 に作製した複素誘電率の温度依存性測定装置の概略を示す。石英管に入れられた試料は、下部のマッフル炉で加熱され、その後上部の共振器内に引き上げられて測定される。発表では得られた複素誘電率の温度依存性よりマイクロ波で合成された HEOx の合成過程及び特異性を議論する。

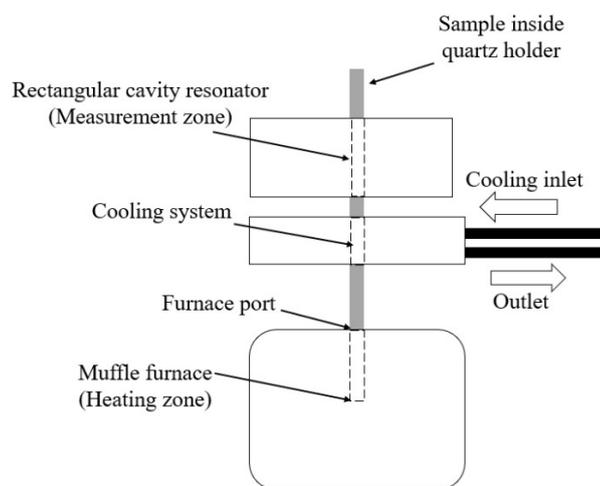


図 1：TE₁₀₂ モード矩形空洞共振器を用いた
温度依存複素誘電率の測定システム

[1] C.M. Rost et al., Nat. Commun. 6 (2015) 8485.

タイトル：ハイエントロピー酸化物のマイクロ波加熱合成と

その物性Ⅱ - 結晶構造と磁性

講演者：岩本拓馬^A, Wahyu Arya Alhady^A, 照井大和^A, 仲川晃平^B, 西村文宏^C,西海豊彦^A, 浅野貴行^{A,B}, 光藤誠太郎^{A,B}, 鳴海康雄^D, 萩原政幸^D所属：^A福井大学大学院工学研究科知識社会基礎工学専攻電磁工学コース,^B福井大学遠赤外線
域開発研究センター,^C福井大学産学官連携本部,^D大阪大学理学研究科附属先端強磁場科
学研究センター

要旨：近年、ハイエントロピー材料は、複数の元素を組み合わせることで特性を自在に調整できることから注目を集めている。ハイエントロピー材料とは、5つ以上の主要元素をほぼ等モル比で含む合金や化合物の総称であり、その1種として、ハイエントロピー酸化物 (HEOx) がある。

HEOx の合成は Rost *et al.*によって初めて報告された[1]。この報告を契機に、さまざまな結晶構造を有する HEOx が研究されている。その中でも、スピネル型 HEOx は触媒材料[2]や磁性材料[3]としての応用が期待されている。Stygar *et al.*は、Co-Cr-Fe-Mg-Mn-Ni-O を組み合わせて数種類のスピネル型 HEOx を従来の電気炉による固相反応法で合成し、選択する元素によっては岩塩相とスピネル相が混合した HEOx となることを報告した[4]。

我々は、その HEOx の中からスピネル相単相となる $(\text{Fe}_{0.2}\text{Cr}_{0.2}\text{Mg}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.2})_3\text{O}_4$ に着目し、結晶構造およびその物性の制御を目的としたマイクロ波加熱固相反応法による粉末試料の合成を試みた。加熱装置には、シングルモードマイクロ波加熱装置 (周波数 5.8 GHz) を用いた。シングルモードマイクロ波加熱装置では、マイクロ波をキャビティ (図1) 内で共振させ、電場と磁場の位相差が $\lambda/4$ (λ :波長)であることを利用し、電場最大の位置 (E_{\max}) と磁場最大の位置 (H_{\max}) の両位置において対象物への照射が可能となっている。

マイクロ波加熱は、被照射試料が自己発熱 (内部加熱) することによる迅速加熱や特定の成分や部位を優先的に加熱 (選択加熱) することが可能である。それに対し、電気炉での加熱は、発熱体により外部から加熱し、炉内雰囲気熱伝導を介して試料を加熱 (外部加熱) する。

本研究では、各種加熱法により $(\text{Fe}_{0.2}\text{Cr}_{0.2}\text{Mg}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.2})_3\text{O}_4$ の粉末試料を合成し、その結晶構造および物性に顕著な差異が見られた。これらの詳細について当日報告する。

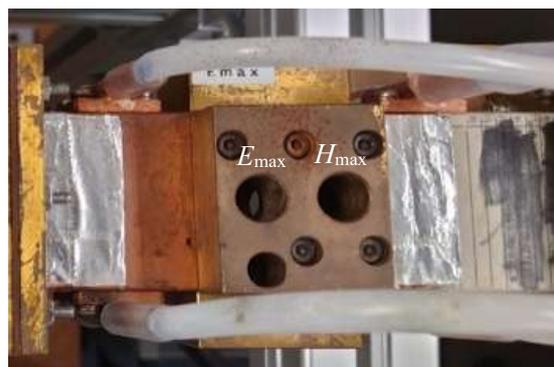


図1：シングルモードマイクロ波加熱装置のキャビティ (周波数 5.8 GHz)。

- [1] C.M. Rost *et al.*, Nat. Commun. **6** (2015) 8485.
- [2] J. Cieslak *et al.*, Acta Mater. **206** (2021) 116600.
- [3] H. Chen *et al.*, J. Mater. Chem. A **6** (2018) 11129.
- [4] M. Stygar *et al.*, J. Eur. Ceram. Soc. **40** (2020) 1644.

タイトル：ジャイロトロンを用いたパルス ESR システムの開発 I

-ダブルパルス成形システム-

講演者：片山大和^A、中根直人^A、浅野貴行^{A,B}、石川裕也^A、藤井裕^A、光藤誠太郎^{A,B}所属：^A福井大学遠赤外領域開発研究センター、^B福井大学工学部

要旨：福井大学では、ジャイロトロン光源を用いた応用研究として、電子スピン共鳴(ESR)計測を世界に先駆けて取り組み、多くの必要な技術開発を行ってきた。現在、我々はジャイロトロン光源を応用した ESR 計測法の開発をさらに進めて、パルス ESR 法によるスピンエコー測定の実現を目指して研究開発を進めている。

スピンエコーの測定にはコヒーレントな数十ナノ秒のダブルパルスを成形する必要がある。我々は、このダブルパルス成形に Si 板と Nd-YAG レーザーを用いた光駆動半導体スイッチ(PASS)を使用している。このスイッチは Si 板に可視光のレーザーを照射し、Si 板表面に電子を光励起させることで電磁波の反射と透過を制御し、パルスを成形することができる。これまでの PASS では、Brewster 角(約 74°)で Si 板に電磁波を入射することで、透過時の反射を抑えていた。しかし Brewster 角は入射角としてかなり大きく Si 板上で電磁波の断面がかなり広がり、Si 板からはみ出してしまうという問題があった。

そこで、2 枚の Si 板の干渉効果を用いることで、 45° 入射が可能となる PASS の開発を行った。この PASS に効率的に入射できるよう、準光学楕円ミラーを取り入れた、新しいダブルパルス成形システムを開発し、強度の等しいダブルパルスの成形を行った。発表では開発したシステム(図 1)と成形したダブルパルス(図 2)を中心に報告する。

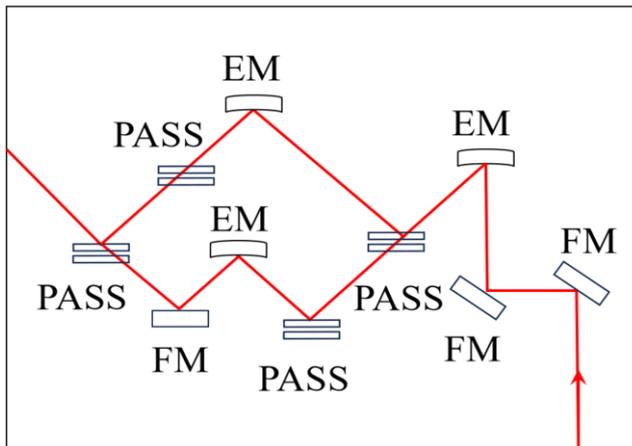


図 1：ダブルパルス成形システム

FM:フラットミラー、EM 楕円ミラー

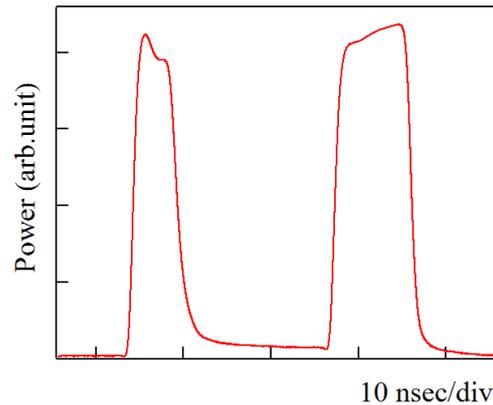


図 2：成形したダブルパルス

タイトル：ジャイロトロンを用いたパルス ESR システムの開発 II

-準光学伝送系-

講演者：中根直人^A，片山大和^A，浅野貴行^{A,B}，石川裕也^A，藤井裕^A，光藤誠太郎^{A,B}所属：^A福井大学遠赤外領域開発研究センター，^B福井大学工学部

要旨：パルス ESR (Electron Spin Resonance) は、電子スピンの動的性質を調べるための有効な手法である。近年、このような動的性質は、量子コンピュータや巨大タンパク質の構造解析などにおいて重要な情報源となっている。より高度な解析を可能にするため、パルス ESR の高周波化が進められている。本研究では、パルス ESR に必要な高出力・高周波光源としてジャイロトロン (Gyrotron FU CW VIIB) を用い、研究室レベルで運用可能なミリ波帯のパルス ESR 装置の開発を行っている。

本研究室で開発を進めているパルス ESR 装置の概略図を図 1 に示す。ジャイロトロンから発振された高出力のミリ波はガウシアンビームに成形され主に準光学伝送法により伝送される。伝送の過程はその機能によりいくつかのユニットに分けて開発を進めている。最初のユニットである、ダブルパルス成形システム (DPFS) でコヒーレントなダブルパルスに成形し、ユニット間を整合する MOU-I、準光学伝送路 (QOT)、コルゲート導波管への結合やそこからの信号の取り出しを行う MOU-II、最後に微弱なエコー信号を選択的に分離する QOD を通すことで、照射後に発生する微弱信号を検出する構成となっている。

今回、この一部である準光学的結合器 (MOU-I) を、DPFS の開発に併せて改修した。また、試料からの信号を受信器まで導く受信系についても、Quasi-Optical Duplicator (QOD) を Si 板を 2 枚用いた新しい光駆動半導体スイッチ (PASS) [1] を用いた設計へと変更したので、併せて報告する。

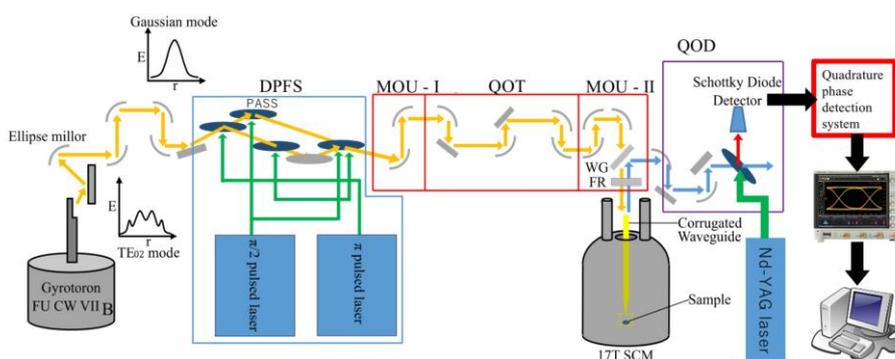


図 1. パルス ESR 装置の概略図

[1] 片山大和、「ジャイロトロンを用いたパルス ESR システムの開発 I -ダブルパルス成形システム-」、第十二回西日本強磁場科学研究会、広島大学、2025 年 9 月

電子スピン共鳴のための超小型ディアボロ型共振器の共振器特性

講演者：川喜田圭祐^A, 倉知豊^A, 石川裕也^A, J. Järvinen^B, S. Vasiliev^B, 藤井裕^A所属：^A福井大学遠赤外領域開発研究センター,^Bトゥルク大学

要旨：電子スピン共鳴(Electron Spin Resonance : ESR)では、測定感度向上のために空洞共振器が用いられることが一般的である。共振器特性の評価指標として Q 値(Quality factor)が知られており、 Q 値が高いほど共振器内部に閉じ込められるマイクロ波強度が強く、測定感度の向上が期待できる。しかしながら、共振器の大きさは用いるミリ波の波長に依存する。一方、近年では共振器をミリメートルサイズ以下に小型化することで、 Q 値が低くても磁束密度を微小空間内に閉じ込めることで大きな振動磁場を局所的に発生させ、微小領域の ESR 信号を検出できることが知られている[1]。Twig らにより小型共振器としてループギャップ(LGR)型共振器や ParPar 共振器(ディアボロ型)等様々なタイプが提案されている。

過去に、我々は X-band の LGR 型共振器(直径 4 mm)を製作し、共振器の位置の変化による共振特性の変化についてのシミュレーションと測定を行った[2]。共振器の Q 値の実測値はは数 10 程度であったが、X-band ESR 測定信号の検出にも成功している[3]。しかし LGR 型とストリップラインの適切な結合度を見つける三次元方向の相対的な位置調整が必要となり、調整機構や手順が複雑であることがわかった。そこで我々はストリップラインとの結合が比較的容易なディアボロ型共振器(図 1)に着目した。ディアボロ型においては、中央のくびれた接続部分で電流密度が高まり、周囲に強力な振動磁場が発生することが期待されている。

我々は図 1 のようなディアボロ型共振器を作成し、AB millimetre 社製のベクトルネットワークアナライザを用い、ストリップラインからの位置の変化による共振周波数の変化や Q 値の変化等共振特性の変化の測定を行った。

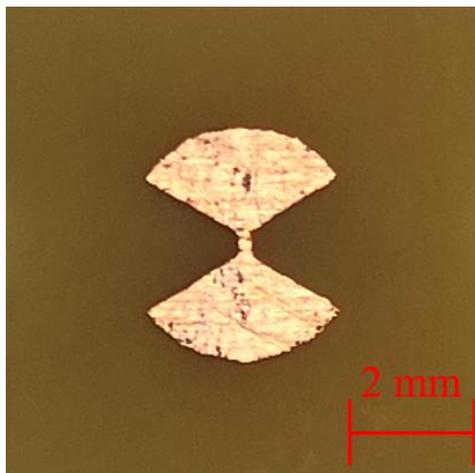


図 1. ディアボロ型共振器の画像

[1] Y. Twig, E. Suhovoy, and A. Blank, Rev. Sci. Instrum., **81** (2010) 104703.

[2] 倉知ら, 日本物理学会第 79 回年次大会(2024), 16aPS-106.

[3] 倉知ら, 日本物理学会春季大会(2025), 19pPSC-23.

タイトル：S=1/2 分子性三角格子金属ジチオレン錯体 $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の超低温・高周波 ESR

講演者：伊藤颯人^A、大島勇吾^B、清水勇太^A、石川裕也^A、加藤礼三^B、藤井裕^A

所属：^A福井大学遠赤外領域開発研究センター、^B理化学研究所

要旨： 金属ジチオレン錯体 $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ は三角格子を有する $S=1/2$ のモット絶縁体である。約 30 mK まで磁気秩序化しないことから、量子スピン液体状態が実現している候補物質となっている。しかし、これまで報告されてきた熱伝導の実験が再現されず、その基底状態が大きな議論となっている[1-3]。我々は近年、この物質に関して精力的に ESR 測定を行っており、三角格子を有する系にもかかわらず擬一次元的なスピンドYNAMICSを持つ事を見出した[4]。2 K まで ESR スペクトルのシフトは確認されておらず、超低温まで擬一次元スピンドYNAMICSを保つ事が μSR 実験で明らかになっている[4]。

しかしながら、他の分子性三角格子系では超低温でスピン重項状態になることが報告されており[5]、この系の超低温における基底状態を確認するために、1 K 以下の超低温環境を生成可能な希釈冷凍機の温度領域での ESR 測定は重要である。

このような背景を踏まえて、本研究では希釈冷凍機を用いて、5 K 以下から最低温 0.24 K までの超低温領域及び 130 GHz の高周波領域において、 $\text{EtMe}_3\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の ESR 測定を行った。図 1 に超低温下での ESR 測定の結果を示す。4.44 T ($g=2.08$) 付近では広い線幅の、4.60 T ($g=2.01$) 付近では狭い線幅の ESR スペクトルがそれぞれ観測された。また、これら 2 つの ESR スペクトルは、低温になるに従いスペクトル強度が下がり、2 K 以下では観測されなくなった。講演ではその詳細について報告する。

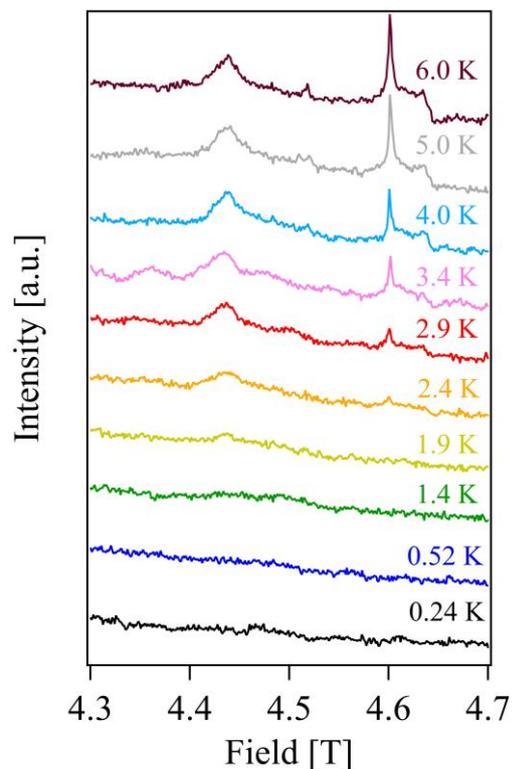


図 1 ESR スペクトルの温度変化

[1] M. Yamashita *et al.*, Phys. Rev. B **101**, 140407(R) (2020).

[2] P. Bourgeois-Hope *et al.*, Phys. Rev. X **9**, 041051 (2019).

[3] J. M. Ni *et al.*, Phys. Rev. Lett. **123**, 247204 (2019).

[4] Y. Oshima *et al.*, Phys. Rev. Lett. **133**, 236702 (2024).

[5] B. Miksch *et al.*, Science **372**, 276 (2021).

タイトル：希釈冷凍機を用いたヘテロダイン検出 ESR 測定装置の構築

講演者：清水勇太^A, 伊藤颯人^A, 石川裕也^A, 川喜田圭祐^A, 福田昭^B, S.Vasiliev^C,
藤井裕^A

所属：^A福井大学遠赤外領域開発研究センター,^B兵庫医科大学,
^Cトゥルク大学

要旨：ESR 測定の高周波化は分解能向上につながるが、低周波数に比べて伝送ロスが大きくなり、特に極低温・超低温での測定を行うには、伝送路が長くなるうえに光源にあまり高強度のものを使うと温度上昇を招いてしまうため、高感度かつ高分解能な極低温ミリ波 ESR 測定装置は世界的にも希少である。我々は、希釈冷凍機(D/R)を用いた約 130 GHz のミリ波 ESR 測定装置を開発し、それを用いた超低温 ESR 測定および DNP-NMR 等の二重共鳴測定を行ってきた[1]。このシステムでは、AM 変調によるホモダイン検出方式を用いており、InSb 検出器を分留器ステージに設置することで検出器の高感度化および試料-検出器間の導波路の短距離化による伝送ロス低減を図り、信号検出感度を高めていた。しかしながら、InSb 検出器の変調周波数は一般に 10 MHz 程度以下に限られており、比較的大きな低周波ノイズとドリフトがホモダイン検出の欠点である[2]。

そこで我々は、超低温でのミリ波 ESR 測定をさらに高感度に行うことをめざし、D/R に新たにヘテロダイン検出を行うシステムを構築した。Fig. 1 に概要を示す。本システムは 3 つの信号発生器を使用しており、それぞれ $f_1 \approx 100$ MHz, $f_s \approx 1$ GHz, $f_0 = 128 - 130$ GHz である。常温部のミキサー M1 で f_s と f_1 を混合して $f_2 = f_s \pm f_1$ を発生させ、さらに D/R の 1 K ポットステージ上にあるミキサー CM1 においてミリ波 f_0 と f_2 を混合し、バンドパスフィルタを通すことで周波数 $f_3 \approx 129$ GHz のミリ波を生成し、試料に照射する。試料から返ってきた f_3 のミリ波は、入射時とは逆にまず CM2 で f_0 と混合して f_2 にダウンコンバートされ、極低温ローノイズプリアンプで増幅される。さらに、常温部の M2 によりダウンコンバートして最終的に $f_1 \approx 100$ MHz の信号としてロックイン検出器での検出を行う。このシステムを用いたリンドープシリコンの ESR 測定を行った結果とあわせて報告する。

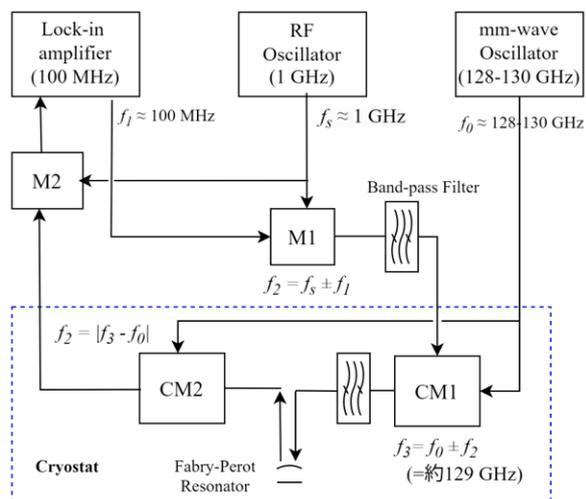


Fig. 1: Block diagram of heterodyne-detection system

(M1, M2: Room temperature mixers
CM1, CM2: Cryogenic mm-wave mixers)

[1] H. Yoshizawa *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **49**, 144 (1980).

[2] M. Chiba *et al.*, Solid State Commun. **63**, 427-430 (1987).

タイトル：バルク超伝導磁石着磁のための室温ボアロングパルスマグネットの開発

講演者：大谷洗葵^A, 鳴海康雄^A, 金道浩一^B, 萩原政幸^A

所属：^A大阪大学大学院理学研究科附属先端強磁場科学研究センター,^B東京大学物性研究所

要旨：強磁性材料をベースとした永久磁石は含まれる元素が持つ磁気モーメントの飽和磁化により磁場強度が制限されるが、超伝導バルク磁石では磁束の閉じ込めにより着磁されるため、より高い磁場強度を実現できることから、新しいタイプの永久磁石として注目されている。着磁の方法には定常磁場を用いる Field Cooled Magnetization (FCM) と、パルス磁場を用いる Pulsed Field Magnetization (PFM) があり、前者の方法で 17.6 T [1]、後者では 5.2 T [2] の磁場捕捉が報告されている。我々は定常強磁場下 X 線回折実験への応用を目指し、可搬性の観点から PFM を採用した装置開発を行っている。具体的な着磁は、バルク超伝導体を GM 冷凍機で冷却して超伝導状態にして、パルス磁場を印加して行う。初期の実験では既存のマグネット (口径 48 mm Φ) を使用し GdBCO バルク磁石の着磁実験を実施したが、GM 冷凍機の冷却能力不足により、0.7 T の着磁に留まった。この結果を受け、冷凍機の輻射シールド強化と、応用を見据えてマグネットを冷却する液体窒素が樹脂製シュラウド (光学窓を兼ねる) を冷やさないための室温ボアを確保するために、内径 80 mm Φ のパルスマグネット開発が必要となった。目標の 5 T 以上の着磁を実現するには、10 T 以上の外部磁場と緩やかな外部磁場の時間変化が必要であり、コイル長 80 mm、層数 21 層の設計とした。しかし最初に製作したマグネットでは、巻線時の歪みにより 17 層のコイルとなり、コイルのインダクタンスは 39.2 mH、最大磁場は 9.62 T、パルス幅は約 80 ms に留まった [3]。この課題を解決するため、内コイル 11 層、外コイル 10 層に分割することでコイルの歪みを抑えた 21 層を実現し、最外層をステンレス製リングで補強した新しいマグネットを開発した。図 1 は新マグネットの断面図で、コイルのインダクタンスは 58.4 mH である。このマグネットを 10.56 mF のコンデンサバンクと組み合わせて磁場発生試験を実施し、最大磁場 15.2 T、パルス幅約 100 ms という従来を超える性能を達成した。本研究会では、パルスマグネット開発の詳細を中心に発表する予定である。着磁実験の詳細については日本物理学会にて講演 [4] を予定しており、合わせて聴講頂けると幸いです。

[1] J. H. Durrell *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **27**, 082001 (2014).

[2] H. Fujishiro *et al.*, Physica C **468**, 1477 (2008).

[3] 大谷洗葵 他, 日本物理学会 2025 年春季大会, 19pPSC-25

[4] 大谷洗葵 他, 日本物理学会 第 80 回年次大会, 18pSK312-8

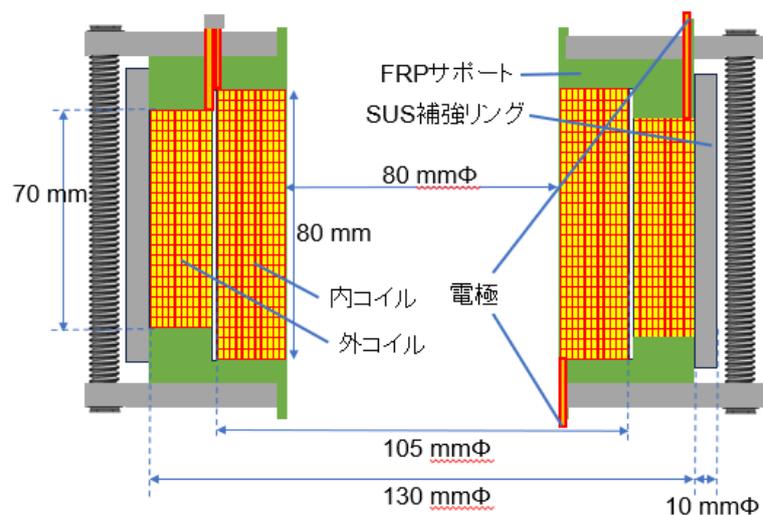


図1. 新パルスマグネット断面図

タイトル：スピン 1/2 F-F-AF-AF 四量体鎖(F:強磁性、AF:反強磁性)の高圧下の磁性研究

講演者：小寺智也, 木田孝則, 鳴海康雄, 萩原政幸

所属：大阪大学大学院理学研究科附属先端強磁場科学研究センター

要旨：スピン量子数(S)1/2の低次元磁性体は量子効果が顕著に現れる磁性体として、長年多くの研究がなされてきた。本研究対象の $\text{Cu}(\text{3-Clpy})_2(\text{N}_3)_2$ (3-Clpy: 3-Chloropyridine)は図1に示すように、 $S=1/2$ の Cu^{2+} イオンが、アジド基 N_3 によって a 軸方向に架橋された一次元鎖である[1]。Cu-N-Cu の end-on タイプの結合は、結合角度約 108 度を境にして強磁性(F)から反強磁性(AF)相互作用に変化することが知られており[2]、この物質の場合、F-F-AF-AF の組み合わせとなる四量体をユニットとした一次元鎖を形成している[3]。この相互作用の配列からスピンは3つが上向き、1つが下向きのフェリ磁性を低温で示すことが期待される。本研究は、 $\text{Cu}(\text{3-Clpy})_2(\text{N}_3)_2$ に圧力を印加し、Cu-N-Cu の結合角を変化させることで磁性の変化を観測することを目的としている。この仮説を検証するため、針状の単結晶試料を合成し、圧力下での帯磁率測定を行った。

図2に $\text{Cu}(\text{3-Clpy})_2(\text{N}_3)_2$ の圧力下帯磁率の温度依存性を示す(横軸対数プロット)。常圧の帯磁率(χ)は約 30 K から低温側に向かってそり上がりが観測された。それに対して圧力下においては、圧力の増加とともにそり上がりは緩やかになっていき、0.88 GPa では帯磁率は約 13 K にブロードなピークをもち、約 3.5 K で極小を示したのち、それ以下の低温ではそり上がりが観測された。0.88 GPa で観測されたブロードなピークを持つ振る舞いは低次元反強磁性体に特有のものであり、圧力をかけることでこの化合物の強磁性相互作用が消失して反強磁性相互作用に変わった事を示唆している。

なお、当日は $\text{Cu}(\text{3-Clpy})_2(\text{N}_3)_2$ の圧力下帯磁率に加えて、常圧下での強磁場磁化測定、電子スピン共鳴(ESR)測定の結果、及び7 T までの圧力下磁化過程についても報告する予定である。

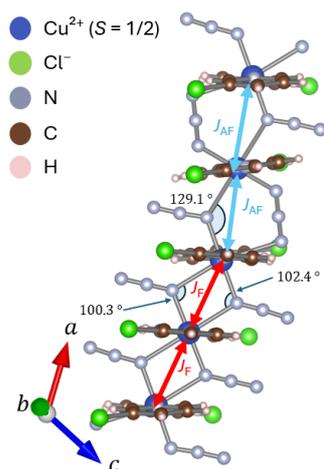


図1. $\text{Cu}(\text{3-Clpy})_2(\text{N}_3)_2$ の結晶構造

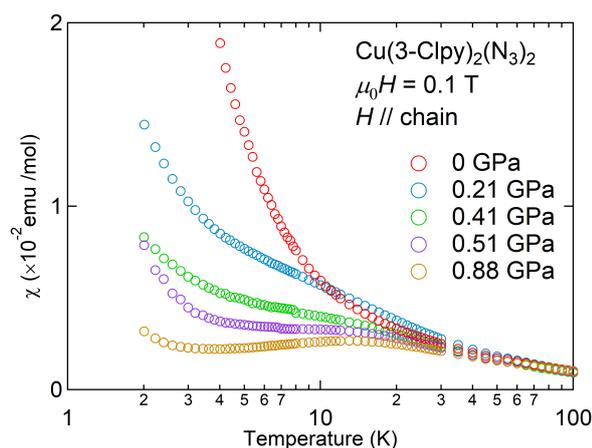


図2. $\text{Cu}(\text{3-Clpy})_2(\text{N}_3)_2$ 単結晶試料の圧力下帯磁率の温度依存性(横軸対数プロット)

[1] A. Escuer *et al.*, *Inorg. Chem.* **37**, 4466 (1998).

[2] L. K. Tompson *et al.*, *Inorg. Chem.* **34**, 2356 (1995).

[3] M. Hagiwara *et al.*, *Physica B* **30**, 294-295 (2001).

タイトル：FeCo 合金薄膜のテラヘルツ光 ESR 測定

講演者：平田涼^A, 大久保晋^{A,B}, 清水優斗^C, 小林翔太^C, 加藤宏朗^D, 板倉賢^E, 中野正基^F,
小池邦博^C

所属：^A神戸大院理,^B神戸大分子フォトセ,^C山形大院理工,^D山形大工,^E九州大工,^F長崎大工

要旨：高性能磁石の候補であるナノコンポジット磁石は、磁化の大きなソフト相と保持力の大きなハード相の間に交換相互作用が働くことで、高磁化かつ高保持力な磁性体としてふるまう[1]。本研究ではソフト相材料としてFeCo合金薄膜を取り上げ、その磁気異方性を調べることを目的としている。

マグネトロンスパッタリングによって製作された、ソフト磁性物質であるFeCo合金薄膜(図1)のESR測定を80~240GHzの範囲でパルス磁場(~14T)[2]を用いて行った。容易磁化方向である面内方向と、困難磁化方向である面直方向に磁場を印加し、それぞれ測定を行った。電磁波の進行方向 \mathbf{k} と磁場方向 \mathbf{H} が垂直であるのがVoigt配置で、平行であるのがFaraday配置である(図2)。強磁性体であるFeCo合金薄膜は、自発磁化による反磁場効果によって試料の感じる磁場は外部磁場からずれる[3, 4]。その結果、信号の見える位置が右にシフトする(図3)。測定結果の詳細についてポスター発表にて報告する。

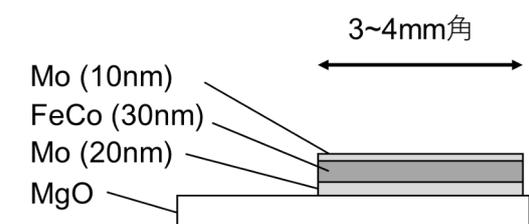


図1：FeCo合金薄膜模式図。

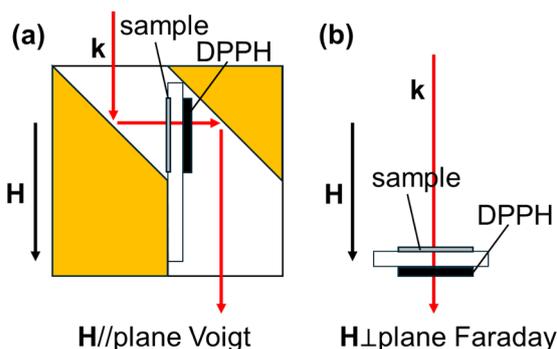


図2：FeCo試料配置。(a)Voigt, (b)Faraday

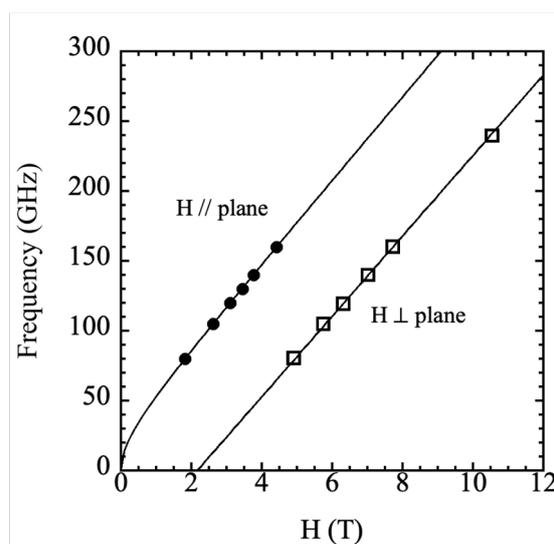


図3：265Kにおける周波数-磁場プロット。

[1] R. Uda, K. Koike, N. Inaba, H. Kato, M. Itakura, S. Okubo, H. Ohta, and H. Tsuchiura, AIP Advances **13** (2023) 0253111.

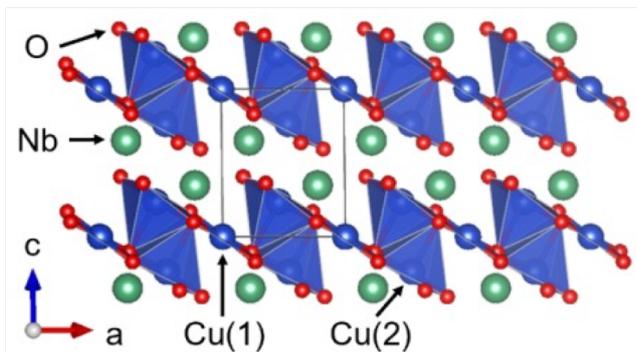
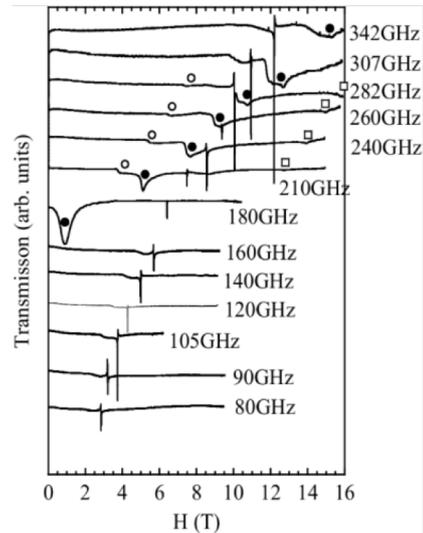
[2] N. Nakagawa, T. Yamada, K. Akioka, S. Okubo, S. Kimura, and H. Ohta, Int. J. Infrared and MMW **19** (1998) 167.

[3] C. Kittel, Phys. Rev. **115-6** (1959) 1587.

[4] 伊達宗行, 電子スピン共鳴 (1978) 培風館.

タイトル：S=1/2 歪んだダイヤモンド鎖 $\text{Cu}_3\text{Nb}_2\text{O}_8$ の強磁場 ESR 測定講演者：細見悠馬^A, 原茂生^B, 嵯峨慎^B, 太田仁^C, 大久保晋^{A,C}, 藤井裕^D, 菊池彦光^{C,D}所属：^A神戸大学大学院理理学研究科, ^B神戸大学研究基盤センター, ^C神戸大学分子フォトサイエンスセンター^C, ^D福井大学遠赤外領域開発センター^D

要旨： $\text{Cu}_3\text{Nb}_2\text{O}_8$ は三斜晶の空間群 $P\bar{1}$ に属しており[1]、磁性をになう Cu^{2+} イオンには 4 つの酸素が正方形を形成する 1 サイトと、5 つの酸素がピラミッド型を形成する 2 サイトの 2 つの異なるサイトが存在する(図 1)。本物質は比熱の温度依存性、中性子粉末回折から、26.5K で反強磁性状態へ転移し、電気分極の温度依存性から 24.2K で電気分極を発現することが知られており[1]、マルチフェロイクス物質と考えられている。また、磁気的には Cu^{2+} イオンがトライマー的に結合して鎖状構造を形成しており、 Cu^{2+} イオン間の超交換相互作用には強磁性と反強磁性の 2 種類あると考えられ[2]、これらの競合によりスピンプラストレーションの存在が予想されている。本研究では、 $\text{Cu}_3\text{Nb}_2\text{O}_8$ の磁気状態について調べるために、粉末試料を用いてパルス強磁場 ESR 測定を行った[3,4]。図 2 には 4.2K における ESR スペクトルの周波数依存性を示す。シャープな吸収は $g=2$ の磁場マーカーの DPPH の信号である。黒丸、白抜き丸、白抜き四角のシンボルで示した反強磁性共鳴による吸収が観測された。反強磁性ギャップは 187GHz と見積もられた。詳細な結果については当日発表する。

図 1： $\text{Cu}_3\text{Nb}_2\text{O}_8$ の結晶構造図 2：4.2K における $\text{Cu}_3\text{Nb}_2\text{O}_8$ の ESR スペクトルの周波数依存性

- [1] R. D. Johnson *et al.*, Phys. Rev. Lett. **107**, 137205 (2011).
 [2] Zheng-Lu Li *et al.*, Phys. Rev. B. **86**, 174401 (2012).
 [3] M. Motokawa *et al.*, Int. J. IRMMW **12**, 149 (1991).
 [4] S. Kimura *et al.*, Int. J. IRMMW **17**, 833 (1996).

タイトル：三角キューポラ型反強磁性体 $\text{SrCu}(\text{OH})_3\text{Cl}$ の強磁場 ESR 測定

講演者：松村高弥^A, 原茂生^B, 櫻井敬博^C, 大久保晋^{A,D}, 太田仁^D, 吉田紘行^E, 今布咲子^E

所属：^A神戸大学理学研究科, ^B神戸大学研究基盤センター, ^C大阪大学コアファシリティ機構,

^D神戸大学分子フォトサイエンス研究センター, ^E北海道大学大学院

要旨： $\text{SrCu}(\text{OH})_3\text{Cl}$ は斜方晶の空間群 $Pmn2_1$ に属しており(図 1(a))、図 1 (b,c)のように三角キューポラ構造を持つ。酸素が正方平面配位した中心に位置し、銅イオンの $S=1/2$ スピンが磁性を担っている[1]。比熱測定から、 $T_N=1.2\text{K}$ で反強磁性相転移を示すと報告されている[2]。逆磁化率の温度依存性は 80K 以上の高温領域でキュリーワイス則に従い、ワイス温度 $\theta_w=-134.5\text{K}$ であることから、強いフラストレーションが存在すると考えられる。一方、 80K 以下の低温では逆磁化率の傾きが変化し、 $\theta_w=-1.84\text{K}$ と常磁性のようなふるまいを示す。この結果は、低温においてトライマーの3つのスピンのうち2つのスピンの反強磁性相互作用で結合し、有効スピン $S_{\text{eff}}=1/2$ をもつ常磁性的状態にあると理解されている。

今回、我々は三角キューポラの磁気状態をより詳細に調べるため、透過光法の ESR 測定を 1.88K から 80K の温度範囲で行った[3, 4]。図 2 は周波数 160GHz で温度を 1.88K から 80K まで変化した ESR スペクトルである。 5.8T 付近の鋭いピークは磁場較正用の DPPH の吸収である。また、 6T 付近の大きな吸収は 20K ほどで、低磁場側のブロードな吸収と混ざるようにシフトしていき様子が見られた。 2K 以下で存在する 8T 付近の吸収は、短距離秩序の発達によるものだと考えられる。詳細な結果は当日報告する。

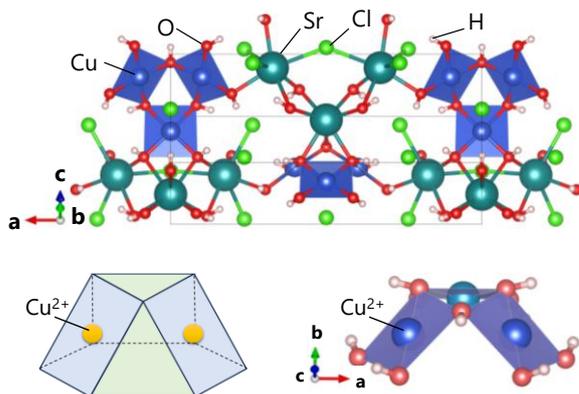


図 1(a) : $\text{SrCu}(\text{OH})_3\text{Cl}$ の結晶構造
(b) : Cupola 構造, (c)対応する Cu trimer

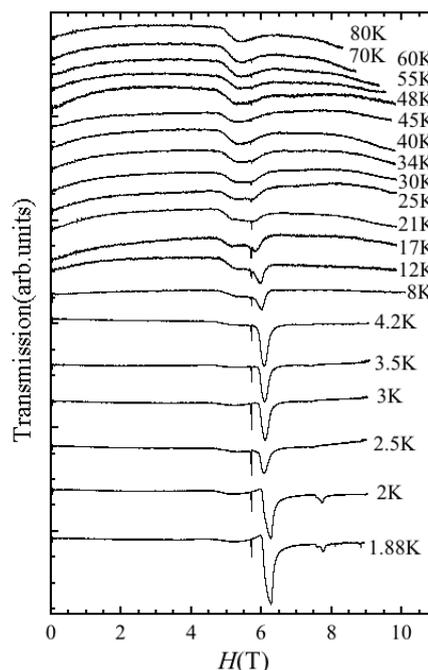


図 2 : H/b の ESR スペクトルの温度依存性

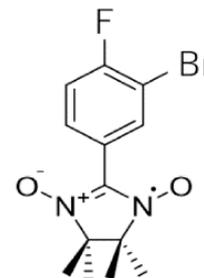
- [1] T.-T. Zhu *et al.*, *J. Mater. Chem. C* **2**, 8170 (2014)
- [2] S. Pal *et al.*, *Phys. Rev. Res.* **6** 033027 (2024)
- [3] M. Motokawa *et al.*, *Int. J. Infrared Millimeter Terahertz Waves* **12**, 149 (1991)
- [4] N. Nakagawa *et al.*, *Int. J. Infrared Millimeter Terahertz Waves* **19**, 167 (1998)

タイトル：40 T 級パルス強磁場の環境構築とニトロキシドラジカル量子スピンのパルス強磁場磁化測定

講演者：山本昂平^A，野口悟^{A,B}，新井野修二郎^A，小森田一真^A，細越裕子^{A,B}

所属：^A大阪公立大学理学研究科，^B大阪公立大学強磁場環境利用研究センター

要旨：40 T パルス強磁場中での物性測定環境の構築を行うとともに、有機磁性体が形成する量子スピンの磁化測定を行っている[1]。フェニルニトロニルニトロキシドラジカルにおいて、ベンゼン環の2ヶ所にハロゲン原子を置換したとき、そのハロゲンの種類や置換位置の違いによって、一次元鎖構造および鎖間の分子間積層様式と相互作用に変化が生じ、磁化プラトーやヒステリシス挙動に顕著な差異が現れた。これらの詳細について報告する。



3-Br-4-F-PNN

2,5-ジハロゲノ誘導体においては、二段階の磁化の飽和と、プラトー近傍で特異なヒステリシスを観測している。一方、3,4-ジハロゲノ誘導体は、磁化率の温度依存性が20 K 付近でブロードピークを示したのち、温度低下に伴い急激に減少する。基底状態はシングレットダイマーとも思われるが、強磁場磁化測定の結果、単純な二量体モデルではなく、複数の相互作用による一次元鎖形成が示唆されている。今回、右上図に示す 3-Br-4-F-PNN の強磁場磁化測定を行い、4.2 K 及び 1.2 K のとその微分磁化を右図に示す。この系に強磁場を印加すると 22 T 付近から磁化が出現する。微分磁化におけるピークは 1.2 K では2段に現れ、微細な構造を示唆する。Br を Cl に変えた 3-Cl-4-F-PNN 結晶の強磁場磁化も測定しており、定性的によく似た磁化曲線が得られている。今後、引き続き量子スピンの強磁場磁化測定を系統的に行っていく。一方、強磁場環境については、試料は液体ヘリウムにじゃぼ付であり、校正済み Ge 抵抗温度計を用いて最低到達温度 1.2 K を再確認している。現在、磁化測定精度の向上のために磁場立ち上がりノイズのカット、平滑化などの改良を試みている。

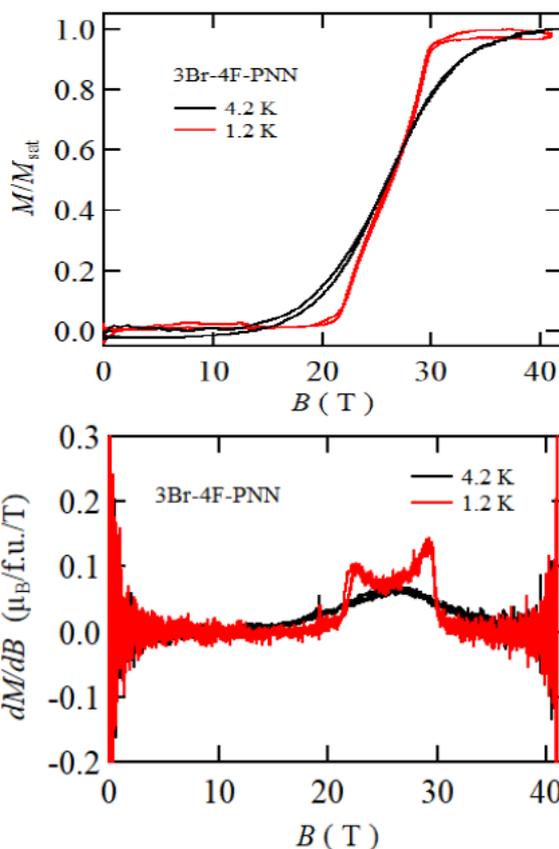


図 1. 3-Br-4-F-PNN の強磁場磁化曲線と微分磁化。黒が 4.2 K, 赤が 1.2 K