

タイトル：物性研強磁場のパルスマグネット開発の現状講演者：松井一樹^A，高橋和樹^A，松尾晶^A，宮田敦彦^A，金道浩一^A所属：^A 東京大学物性研究所

要旨： 物性研究所の強磁場施設では、マグネットの破壊を伴わない非破壊パルス磁場としてショートパルスマグネット（4ms）、ミッドパルスマグネット（36ms）、ロングパルスマグネット（～1s）をユーザーに供している。銅線では強磁場発生時の磁場による強い応力に耐えられないため、伝導度が良くかつ高強度な線材が必要となる。

そこで我々は Cu-Ag 合金線（Ag: 6 wt%）を採用し、開発を行っている。本材料による線材は引張強度 1000MPa 以上、電気伝導が 80%IACS 程度とパルス磁場発生に適した特性を持っている。2011 年にはショートパルスマグネットで最高磁場として 85.8 T を発生させることに成功し、同ロットの線材でユーザー向けショートパルスマグネットとして 75 T の磁場発生を 100 発程度繰り返せるコイルが実現した。しかしながらこのロット以外の線材ではほぼ同様の物性値を示すにもかかわらず 80 T を超える磁場が発生できるマグネットは再現せず、長らく開発は停滞していた。

近年の線材開発を通して、線材製作における工程中の微小な違いが強磁場発生時の性能に大きな差を生むことが明らかになってきた。 casting 温度から熱処理のスケジュール、絶縁層の構造といった細かな違いを選別していくことで、2023 年には最高磁場として 88.6 T（図 1）の発生に成功し、また最高磁場 85 T を出せる線材を安定して製造できる状況となった[1]。一方で、長期に使用した際の耐久性や破壊の様態についてはいまだ課題が残っている。

講演では、我々が最強の銅銀線を製造するためにどういった工程に着目し改質を試みているかについて、材の熱処理や伸線加工後の絶縁処理等を例に挙げて紹介する。また、現在直面している課題と解決策の展望についても触れる。

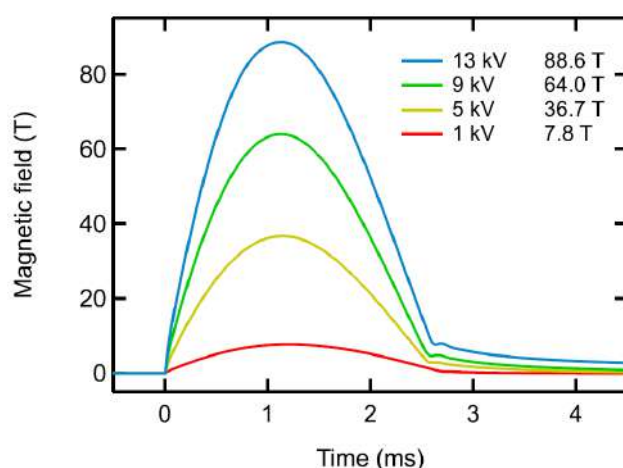


図 1． 88.6 T ショートパルスマグネットの充電電圧に対する磁場波形 [1]

[1] A. Miyata *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond, **36**, 4300204 (2026).

タイトル：柔らかな多孔性材料における分子吸脱着相転移

講演者：光元亨次

所属：東京大学総合文化研究科

要旨：内部に多数の微細孔を有する物質は多孔性材料と呼ばれ、幅広い用途に利用されている。なかでも近年、特に注目を集めているのが、その開発が 2025 年ノーベル化学賞の授賞理由となった金属有機構造体（metal-organic framework: MOF）である[1]。MOF は、金属クラスターと有機配位子が配位結合によってネットワークを形成した結晶性多孔体であり、その一部は高い構造柔軟性を示す。柔軟な MOF では、外部ガス圧の上昇に伴って吸着量が一次相転移的に急増するなど、従来型の剛直な多孔性材料とは異なる挙動が現れる。材料工学分野では実用化に向けた研究が精力的に進められている一方、このような特異な吸着挙動を生み出す機構や、吸着過程を支配する物理法則については、十分に理解されていない。そこで我々は、これらの現象を統計物理学の観点から理解することを試みている。

我々は、ゲスト分子の局所的な吸着に伴って細孔構造と局所剛性が変化する統計力学モデルを構築し（図 1）、数値シミュレーションを行った。このモデルは、ゲスト粒子間に直接相互作用が存在しないにもかかわらず、一次相転移的な不連続吸着を再現する[2]。解析の結果、この一次相転移が、弾性によって媒介されるゲスト粒子間の有効相互作用により引き起こされることを見いだした。また、正方格子では吸着相と脱着相の二相のみが現れるのに対し、ハニカム格子ではゲスト分子の充填率が $1/3$ の超格子相が現れることを発見した[3]。さらに、この弾性媒介相互作用が、吸着過程の非平衡ダイナミクスにおいても重要な役割を果たすことを明らかにした[4]。このダイナミクスは異常動的スケーリングを示し、パラメータ領域全体で共通のスケーリング形式に従う一方、観測されるスケーリング指数は系の弾性特性に依存することがわかった。本講演では、これらの結果を簡潔に紹介する。

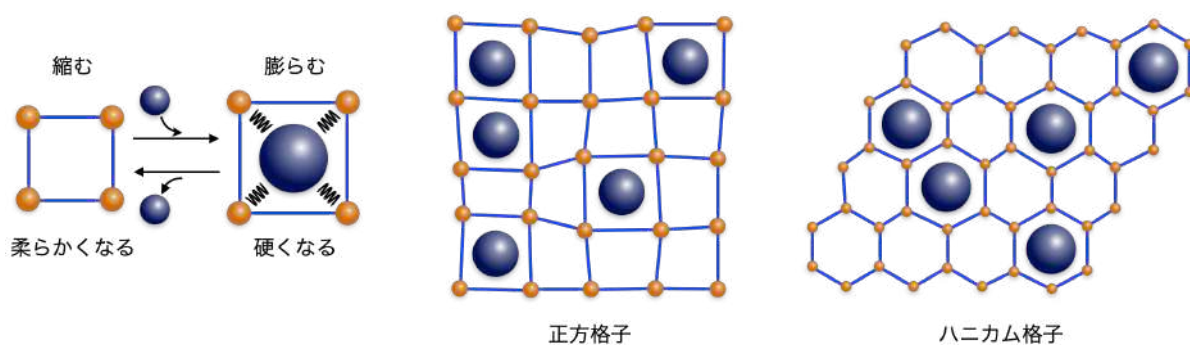


図 1. 模型の概念図

- [1] S. Horike, S. Shimomura, & S. Kitagawa, Nat. Chem. 1, 695–704 (2009).
- [2] K. Mitsumoto, & K. Takae, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 120 (30) e2302561120 (2023).
- [3] K. Mitsumoto, & K. Takae, Phys. Rev. Research 6, L012029 (2024).
- [4] K. Mitsumoto, & K. Takae, Commun. Phys. 9, 36 (2026).

タイトル：Spin-1 カゴメ反強磁性体の量子磁性

講演者：森田克洋

所属：東北大学大学院理学研究科物理学専攻

要旨：幾何学的フラストレーションを有するカゴメ格子反強磁性体では量子揺らぎとフラストレーションの競合により、通常の磁気秩序とは異なる非自明な基底状態や磁場誘起相が現れることが知られている。スピン 1/2 系については多くの研究が行われている一方、スピン 1 系では、ゼロ磁場基底状態、磁化プラトアの磁気構造、有限温度における熱力学的性質など、未解明な点が多く残されている。本研究では、スピン 1 カゴメ格子ハイゼンベルク反強磁性体を対象とし、大規模ランチョス法および有限温度ランチョス(FTL)法を用いて、ゼロ温度および有限温度における量子磁性について調査した[1]。

ゼロ温度の磁化過程について、周期境界条件下の最大 45 サイトまでの有限クラスターを解析した結果、規格化磁化 $m=M/M_{\text{sat}}=0, 1/3, 7/9, 8/9$ に磁化プラトアが現れることを確認した。27 サイトにおけるスピンスピン相関および基底状態の 2 重縮退から、 $m=0$ の基底状態はトライマーValence Bond Crystal (VBC)状態であることが示された。また、 $m=7/9$ および $8/9$ の高磁場プラトアはマグノン結晶として理解され、特に $m=8/9$ プラトアは厳密な局在マグノン結晶状態に対応する。さらに、複数の系サイズに対する磁化曲線を解析することにより、 $m=1/3$ プラトアの低磁場端、ならびに $m=7/9$ および $8/9$ プラトアの高磁場端に磁化ジャンプが現れることが示唆された。また有限サイズ系の特有な階段状の磁化曲線に対しては、ガウスカーネル平滑化法[2]を用いることで、これらのプラトアと磁化ジャンプを含む滑らかな磁化曲線を構成することに成功した。

有限温度では、磁化率、比熱および磁化曲線を最大 27 サイトまで FTL 計算を行った。比熱には $T/J \sim 0.1$ と $T/J \sim 1.1$ 付近にダブルピーク構造が現れ、低温のピークはトライマーVBCの磁気秩序を反映している可能性がある。有限温度磁化曲線では、 $m=1/3$ プラトアは温度を上げていくとプラトアの入口と出口で非対称にプラトアが融解する特徴を持つ。また、ある程度的高温まで比較的明瞭に残る一方、 $m=7/9$ および $8/9$ の高磁場プラトアは熱揺らぎによってすぐに不明瞭となる。

講演では、これらの結果の詳細について報告する。

[1] K. Morita, arXiv:2607.03086.

[2] T. Nakamura, Sci. Rep. **10** 14201 (2020).

パルス強磁場による磁場誘起構造相転移の転移経路とヒステリシス制御

木原工^A, 許晶^B, 宮川寅矢^B, 今富大介^B, 池田曉彦^C, 野田孝祐^C, 新堀琴美^C, Dilip Bhoi^C, 久保田雄也^D, 犬伏雄一^{D,E}, 矢橋牧名^{D,E}, 北西優弥^F, 廣瀬裕也^F, 田中薫^F, 安達義也^G, 鹿又武^H

^A 岡山大基礎研, ^B 東北大工, ^C 電通大, ^D 理研 SPring-8 センター,

^E 高輝度光科学研究センター, ^F 岡山大理, ^G 山形大, ^H 東北学院大

一次相転移では、安定な二相の間に存在するエネルギー障壁を越えるために過剰な駆動力を必要とする。そのため、温度上昇過程と下降過程では相転移温度が異なり、ヒステリシスが生じる。磁場などの外場によって相転移が誘起される場合も同様に、外場の印加・除去過程で転移条件が異なるためヒステリシスが観測される。したがって、磁場誘起構造相転移では一般に、熱励起が抑制される低温ほど相転移に必要な過剰駆動力が増大し、磁場ヒステリシスも大きくなる。

これに対し我々は、 $\text{Ni}_{41}\text{Co}_9\text{Mn}_{31.5}\text{Ga}_{18.5}$ ホイスラー合金において、低温で一度磁場誘起逆マルテンサイト変態（構造相転移）を経験させると、その後の転移磁場が大幅に低下し、磁場ヒステリシスが約 1/5 にまで抑制される特異な履歴効果を見出した[1]。さらに、その温度依存性を詳細に調べたところ、4.2 K におけるヒステリシスは室温のそれよりも小さく、通常とは逆の振る舞いを示すことが分かった。この起源を明らかにするため、X 線自由電子レーザー SACLA と 100 T 級パルス強磁場発生装置 PINK を組み合わせ、低温・強磁場下で X 線回折実験を行った。その結果、65–75 T 級の磁場印加によって一度磁場誘起オーステナイト相へ転移させた後、ゼロ磁場に戻ったマルテンサイト相では、磁場印加前には見られなかった回折ピークの顕著なブロードニングとストリーク状の散漫散乱が観測された。これらは、磁場履歴によって初期のマルテンサイト構造とは異なる、不規則な nanotwin 配列を含む準安定構造が形成されることを示唆している。

本講演では、この磁場誘起準安定構造とヒステリシス抑制との関係について議論する。最後に、nanotwin boundary 間相互作用を議論した理論研究[2]を紹介し、磁場によって生成される nanotwin boundary を相互作用する局在構造励起として捉える可能性など、準安定構造の新たな解釈と、それに基づく転移経路制御の可能性についても議論したい。

[1] T. Kihara *et al.*, *Scripta Mater.*, **181**, 25 (2020).

[2] M. E. Gruner *et al.*, *Sci. Rep.*, **8**, 8489 (2018).

タイトル：S=1/2 カゴメ反強磁性体 $\text{InCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_3$ の強磁場 ESR 測定

講演者：細見悠馬^A，原茂生^B，赤木暢^B，太田仁^{C, D}，大久保晋^{C, B}，加藤萌結^E，今布咲子^E，吉田紘行^E

所属：^A神戸大学大学院理学研究科，^B神戸大学学術・社会共創機構コアファシリティセンター，
^C神戸大学ライフ光学イノベーション研究センター，^D福井大学遠赤外線領域開発センター，
^E北海道大学大学院理学研究科

要旨：S=1/2 カゴメ反強磁性体は量子スピン液体のモデル物質として、5つの磁化プラトー相と新たな基底状態の存在が示唆され、大変注目を集めている[1]。これらの全磁気相を観測するには、幅広い周波数-磁場領域での ESR 測定が必要である。 $\text{InCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_3$ は磁性を担う Cu^{2+} イオンがカゴメ格子を形成しており(図1)、磁性イオンと非磁性イオンの置換が起こらないから、理想的な二次元カゴメ面と強いスピンプラストレーションを持つことが予想されている。また、カゴメ系の代表的な物質であるハーバースミスサイトに対して本物質の最近接交換相互作用は比較的小さいことから、全磁気相の観測に非常に大きな磁場を必要としない点も優れている。実際1/3磁化プラトーは約7T~14Tの間で確認されている[2]。本研究では $\text{InCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_3$ の磁気状態について調べるために、粉末試料と単結晶試料を用いて強磁場 ESR 測定を行った[3, 4]。粉末試料で行った ESR スペクトルからは、2つの吸収が観測された。観測された吸収は7T~14Tで現れているため、1/3磁化プラトー相での共鳴だと考えられる。図2には1.9Kにおける単結晶試料 $H//c$ での ESR スペクトルの周波数依存性を示す。単結晶試料での ESR スペクトルからは、1つの吸収が観測され、これは粉末試料で観測された2つの吸収のうち、高磁場側の吸収であると考えられる。詳細な結果については当日発表する。

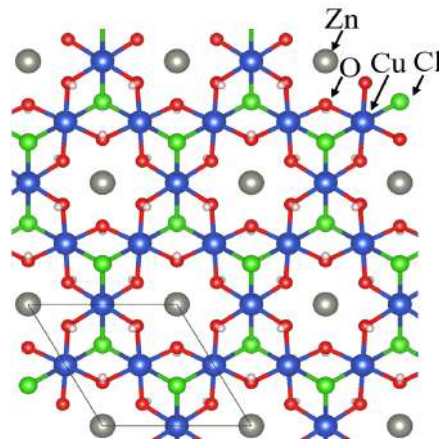


図1：カペラサイトの結晶構造

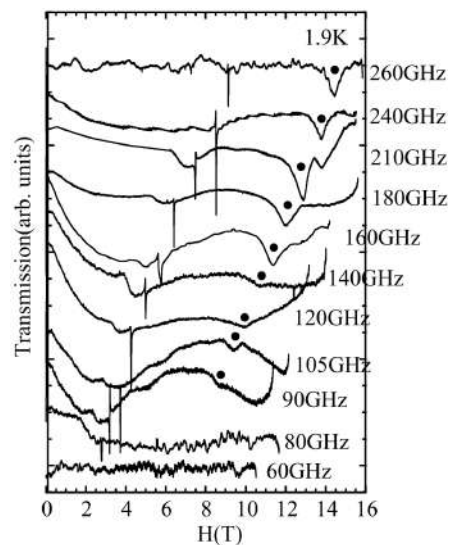


図2： $\text{InCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_3$ の $H//c$ ，1.9Kでの ESR スペクトルの周波数依存性

- [1] S. Nishimoto *et al.*, *Nat. Commun.* **4**, 2287 (2013)
- [2] M. Kato *et al.*, *Commun. Phys.* **7**, 424 (2024)
- [3] M. Motokawa *et al.*, *IRMMW* **12**, 149 (1991)
- [4] S. Kimura *et al.*, *IRMMW* **17**, 833 (1996)

タイトル： $S=1$ 一次元ボンド交替反強磁性体 $\text{Ni}(\text{333-tet})(\mu\text{-NO}_2)(\text{ClO}_4)$ の压力下磁性講演者：佐藤竜哉^A，木田孝則^A，櫻井敬博^B，鳴海康雄^A，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大阪大学コアファシリティ機構

要旨：本研究対象の $\text{Ni}(\text{333-tet})(\mu\text{-NO}_2)(\text{ClO}_4)$ [333-tet : N, N' -Bis(3-aminopropyl)-1,3-propanediamine] (以下、NTENP と称す) は、スピン量子数(S) 1 を有する Ni^{2+} イオンが NO_2 基を介して連なった一次元ボンド交替反強磁性体であり、交換相互作用の大きさ(J, J') が交互に異なる[1]。ボンド交替比 $\alpha (=J'/J)$ は約 0.45 であり、基底状態はシングレットダイマー相にある[2]。理論的には、ボンド交替比 $0.6 < \alpha \leq 1$ でハルデン相が実現すると予測されているが、 $0.6 < \alpha < 1$ に対応する物質はこれまで報告されていない。本研究では、圧力印加によってボンド交替比を制御し、圧力誘起量子相転移によるハルデン相の実現を目的とし、NTENP 単結晶試料の鎖平行方向に磁場を印加した際の压力下磁化・帯磁率測定を行った。さらに、圧力誘起量子相転移の実現を VBS (Valence Bond Solid) 描像に基づいた基底状態の観点から検証するため、 Ni^{2+} を非磁性イオンの Zn^{2+} で部分置換した NTENP の単結晶試料 (以下、NTENP:Zn と称す) を合成し、鎖平行方向に磁場を印加した際の压力下磁化・帯磁率・ESR 測定を行った。

NTENP の压力下帯磁率は、印加圧力の増加に伴ってボンド交替比 α が増大する振る舞いが見られた。また、図 1 に Zn 仕込み量 10% で置換した NTENP:Zn の压力下帯磁率 (χ) を示す。NTENP:Zn では、鎖切断により生じるエッジスピン ($S'=1$) のシングライオン異方性 (D' 項) に起因して低温で特徴的な磁気応答を示すことが知られている[2]。0.36 GPa 以上の圧力で 10 K 以下の低温域でキュリー的なそり上がりが顕著となった。また、压力下 ESR 測定では、0-0.70 GPa で D' 項によるシングレット-ダブレット準位間の共鳴モードが観測され、それはゼロ磁場分裂を反映した V 字型の周波数-磁場依存性を示した。

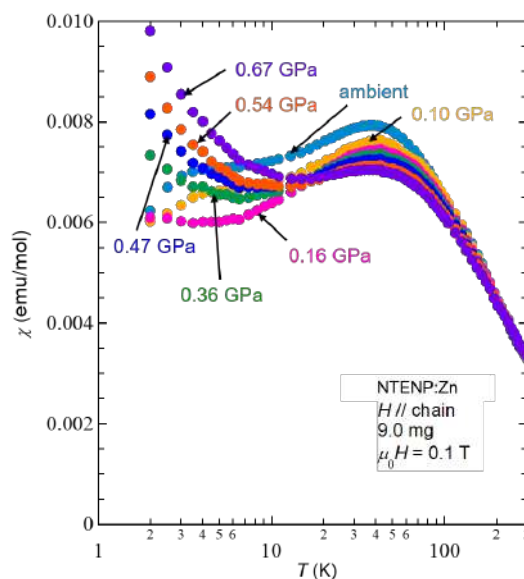


図 1：NTENP:Zn 単結晶試料の压力下帯磁率

さらに、0.35 GPa 以上では共鳴モードが周波数-磁場平面の原点を通り、エッジの有効スピン $S'=1/2$ が現れたことを示唆する結果も得られた。これらの結果は、0.35 GPa 以上で圧力誘起量子相転移が生じている可能性を示している。量子モンテカルロ法による数値計算結果と磁化・帯磁率測定の実験結果との比較から、交換相互作用定数 J, J' 、バルクのシングライオン異方性定数 D を見積り、それぞれのパラメータの圧力依存性について解析を進めており、その結果も当日報告する。

[1] A. Escuer *et al.*, J. Chem. Soc. Dalton Trans., **26**, 531 (1997).[2] Y. Narumi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **86**, 324 (2001).

タイトル：熱を利用した高周波スピン応答

講演者：土田拓海^A，石川裕也^B，川喜田圭祐^B，簗下恭佑^B，藤井裕^B，三国宏樹^{C*}，佐藤琢哉^C，
水取陽光^D，後藤穰^{A,D,E}

所属：福井大院工^A，福井大遠セ^B，東京科学大院理^C，東理大先進工^D、阪大 CSRN^E

(*現所属：一橋大 SDS)

Title: High-Frequency Spin Response Utilizing Thermal Effects

Authors: T. Tsuchida^A, Y. Ishikawa^B, K. Kawagita^B, K. Yabushita^B, Y. Fujii^B, K. Mikuni^{C*}, T. Satoh^C, H. Mondori^D, and M. Goto^{A,D,E}

Affiliations: Grad. Sch. Eng., Univ. Fukui^A, FIR Center, Univ. Fukui^B, Science Tokyo^C, Tokyo Univ.

Sci.^D, CSRN-Osaka^E (*Present address: Grad. Sch. SDS, Hitotsubashi Univ.)

要旨：スピントロニクスでは、磁性体中のスピンダイナミクスを利用した高周波デバイスの実現が期待されている。我々はこれまで、スピンデバイスにおける発熱を利用することで、GHz 帯の高周波を高感度に電氣的検出できることを示してきた[1]。さらに、反強磁性体やフェリ磁性体では交換相互作用に起因する高周波の共鳴モードが存在することから、より高周波領域におけるスピン応答の検出にも関心が集まっている[2]。

本研究では、側面に Pt (6 nm) を成膜したフェリ磁性ガーネット $\text{Gd}_{3/2}\text{Yb}_{1/2}\text{BiFe}_5\text{O}_{12}$ にジャイロトロンからの高出力連続電磁波を照射し、スピンダイナミクスに起因する電氣的応答を調べた (図 1)。135 GHz の電磁波を照射しながら外部磁場を掃引したところ、スピン共鳴に対応する明瞭な電圧ピークが観測された (図 2)。共鳴磁場の温度依存性は、二副格子フェリ磁性体における低周波共鳴モードの振る舞いとよく対応した。さらに、観測された電圧は外部磁場の反転に対して主として対称な応答を示した。この結果は、スピンプンピングによる逆スピンホール起電力では説明できず、電磁波の共鳴吸収による局所的な発熱と、それに伴うゼーベック起電力によって説明できる。本講演では、これまでの熱を利用した GHz 帯高周波スピン応答とあわせて、ジャイロトロンを用いた高周波スピンダイナミクスの電氣的検出について紹介する。

[1] M. Goto *et al.*, Nat. Commun. **12**, 536 (2021).

[2] S. Funada *et al.*, Phys. Rev. Applied **19**, L031003 (2023).

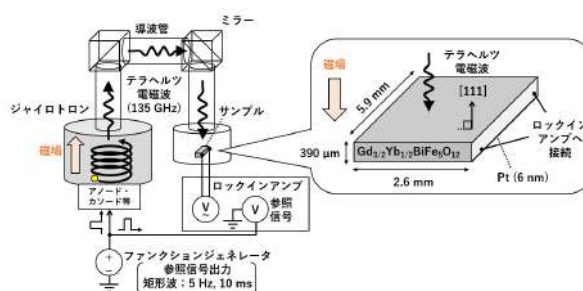


図 1 ジャイロトロンを用いた 135 GHz 電磁波応答測定の実験模式図。Gd_{3/2}Yb_{1/2}BiFe₅O₁₂ 試料に電磁波を照射し、外部磁場を掃引しながら誘起電圧をロックイン検出した。

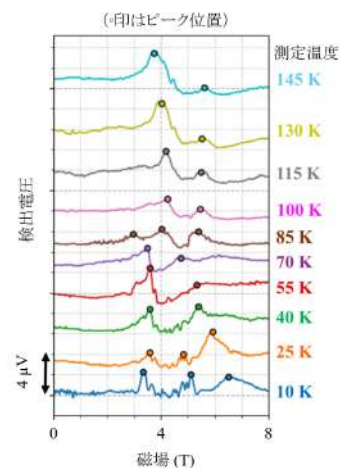


図 2 135 GHz 電磁波照射下における検出電圧の磁場依存性とその温度変化。試料の [111] 方向に外部磁場を 0~8 T の範囲で掃引した。○印は各温度で観測されたピーク位置を示す。

タイトル：PMN-PT 圧電単結晶による強磁場下磁歪測定装置の開発

講演者：鷹羽虎太郎，川邊生馬，木田孝則，鳴海康雄，松井一樹^A，金道浩一^A，萩原政幸
 所属：大阪大学理学研究科附属先端強磁場科学研究センター，^A 東京大学物性研究所

要旨： 磁歪測定は、強相関電子系やフラストレート磁性体のスピン-格子相互作用や磁場誘起相転移を調べる有力な手法である[1,2]。本研究では、大きな圧電定数をもつ強誘電体単結晶 $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-x\text{PbTiO}_3$ (PMN-PT, $x \sim 0.3$) を用いた高感度磁歪測定装置の開発を進めている。PMN-PT は試料の微小な変形を電圧として高感度に検出でき、コンパクトな構成が可能なことから、パルス強磁場下での磁歪測定に応用されている[3]。さらに、結晶方位の選択や素子の回転により、磁歪テンソルの非対角成分へのアクセスも期待できる。本研究では、(001)カット素子を用いてパルス強磁場及び定常磁場(超伝導磁石)下で CuFeO_2 の磁歪を測定した。

評価試料として用いた三角格子反強磁性体 CuFeO_2 は、 c 軸平行磁場下で 7 T および 13 T に格子歪みを伴う一次の磁場誘起相転移を示す。測定では、 c 軸方向に伸長した CuFeO_2 単結晶の(110)面に PMN-PT 素子の(001)面を貼付し、磁場による試料の変形を素子へ伝達する構成とした。素子は面内ひずみに応じて厚み方向に電圧 V を生じる。接着には硬化後に高い弾性率をもつエポキシ系導電性ペースト(TK PASTE, CR-3520)を用い、ひずみの伝達と電極形成を両立させた。信号はパルス磁場においては入力抵抗 100 M Ω の低ノイズ電圧プリアンプ、定常磁場では高入力インピーダンスのエレクトロメータの電圧モードで取得した。図 1 に、 $H \parallel c$ で 4.2 K でパルス磁場を掃引して得た面内ひずみの磁場依存性を示す。 $H_{c1} \approx 7$ T 及び $H_{c2} \approx 13$ T の磁場誘起相転移に対応して 面内ひずみが階段状に変化し、一次転移に伴うヒステリシスも観測された。

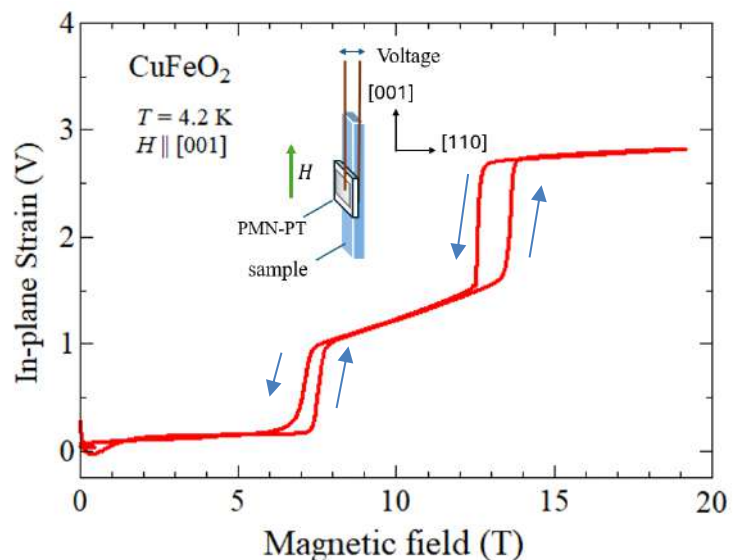


図 1: 面内ひずみの磁場依存性

講演では、測定系の構成とパルス強磁場下での CuFeO_2 の測定結果を示すとともに、定常磁場測定との比較及び今後の展開について報告する。

- [1] Y. Sawai *et al.*, Prog. Theor. Phys. Suppl. 159, 208 (2005).
- [2] R. Daou *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 81, 033909 (2010).
- [3] X. Ding *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 89, 085109 (2018).

タイトル：マルチフェロイクス物質 YCrO_3 の高周波 ESR 測定

講演者：宮澤毅弘^A，池田将平^A，太田仁^{B,C}，大久保晋^{B,A}，原茂生^D，櫻井敬博^E，櫻井裕也^F

所属：^A神戸大学大学院理学研究科，^B神戸大学ライフ光学イノベーション研究センター，^C福井大学遠赤外線領域開発研究センター，^D神戸大学学術・社会共創機構コアファシリティセンター，

^E大阪大学コアファシリティ機構低温科学支援部門，^F物質・材料研究機構

要旨：近年、高速通信、燃料電池への応用の期待から、ペロブスカイト型構造を持つ物質への関心が高まっている。なかでも ACrO_3 型のペロブスカイト構造の物質には、電気分極、磁気秩序が同時に起こるマルチフェロイックな性質を示す物質が多く、方向二色性などの性質から応用が期待されている。今回、我々が着目している YCrO_3 はペロブスカイト型の結晶構造をとり(図 1)、orthorhombic 系の空間群 $Pbnm$ に属している[1]。473K で強誘電体へ転移し、自発分極が現れる[2]。磁化率の温度依存性から $T_N=140\text{K}$ で弱強磁性を示すことが報告されている[3]。このことから YCrO_3 は強誘電性と弱強磁性が共存しているバイフェロイック物質である。

我々のグループではこの YCrO_3 の粉末試料に対して広い周波数範囲で強磁場 ESR 測定を行っている。この測定で 1.9K での反強磁性共鳴(AFMR)を観測した[4]。AFMR の周波数-磁場プロット(図 2)により、スピントロップ転移 $H_f \sim 3.0\text{T}$ を示すことが示唆されている。しかし、この AFMR モードは反強磁性ギャップから伸びるモードとスピントロップ以上に現れるモードの傾きが、常磁性共鳴のラインへと漸近しておらず(破線)、通常の二部分副格子反強磁性体の AFMR モードとは大きく異なる。この異常性は、マルチフェロイックス特有の電気磁気効果により、系全体に特有の「有効磁場」が作用しているためと考えられる。本発表ではこの異常な AFMR モードに関して発表する。

[1] Y. Zhu *et al.*, Phys. Rev. Mater. **4**, 094409 (2020)

[2] C. R. Serrao *et al.*, Phys. Rev. B **72**, 220101 (2005)

[3] V. M. Judin and A. B. Sherman, Solid State Commun. **4**, 661 (1966)

[4] S. Ikeda *et al.*, Appl. Magn. Reson. **46**, 1053 (2015)

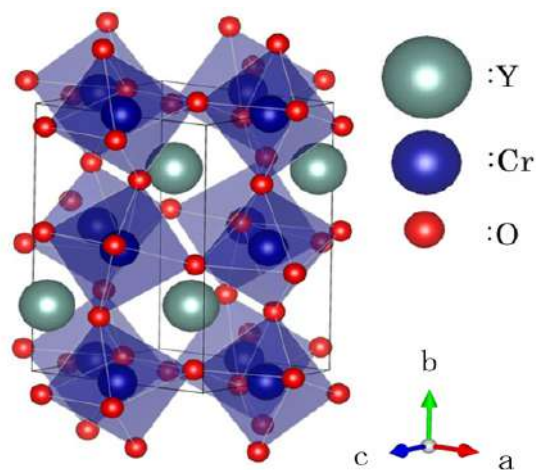


図 1: YCrO_3 の結晶構造。

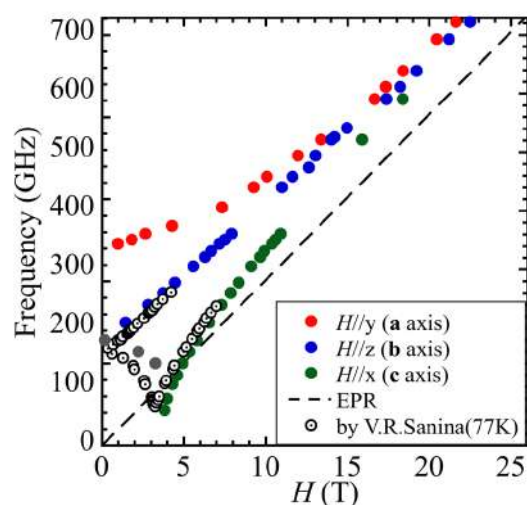


図 2: YCrO_3 の周波数磁場プロット。

ダイヤモンド NV センターを用いた ODMR 測定に向けた アンテナ開発講演者：服部嶺於^A，清水渉夢^A，大久保晋^{B,A}，櫻井敬博^C，太田仁^{B,D}，藤原正澄^E所属：^A神戸大学大学院理学研究科，^B神戸大学ライフ光学イノベーション研究センター，^C大阪大学コアファシリティ機構低温科学支援部門，^D福井大学遠赤外線領域開発センター，^E岡山大学大学院環境生命自然科学研究科

要旨： ダイヤモンドアンビルセル（DAC）は高圧環境を作り出すことができるが、試料空間が極めて狭いため試料量が少なく、光検出 ESR で用いる InSb 半導体検出器では信号検出が困難である[1,2]。そこで我々は、高感度なナノサイズの磁気センサーとして最近注目されているダイヤモンド NV センターに対し、光検出磁気共鳴（ODMR）を用いた高圧下 ESR システムの開発を行っている。DAC 内におけるダイヤモンド NV センターの ODMR 測定では、強力なマイクロ波を導入することに課題がある。本研究では、基本的な光学系とマイクロ波照射方法の調整を試みた。

図 1 は今回作成したアンテナである[3]。クイックポジ感光基盤（サンハヤト）を用いて作成した。このアンテナ評価のためにベクトルネットワークアナライザーでリターンロス計測した。この他にも円形導体部と、アンテナ部中心から試料ホール中心までの長さを変化させ、リターンロスの周波数依存性を調べた。その結果を図 2 に示す。作成したアンテナは 2.87GHz 付近で最大の吸収を示した。これは、ダイヤモンド NV センターの D 項におけるエネルギーギャップに対応する。これらの結果は、ODMR に最適なアンテナが設計できたことを示している。



図 1. プラナー型リングコイル

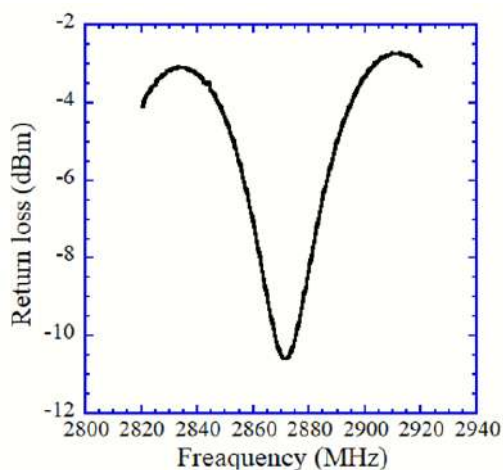


図 2. コイルのリターンロス

[1] T. Sakurai et al., J. Magn. Reson. 259, 108 (2015)

[2] J. M. Taylor et al., Nat. Phys. 4, 810 (2008)

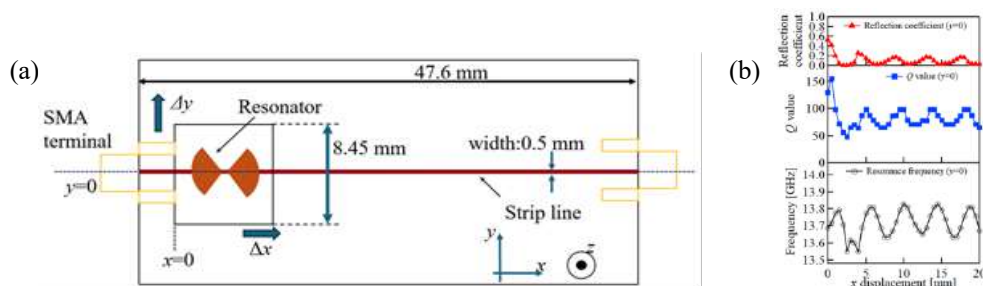
[3] K. Sasaki et al., Rev. Sci. Instrum. 87, 053904 (2016)

タイトル：12 GHz 帯 ESR のための極小ディアボロ型共振器の測定と評価講演者：松岡祥生^A, 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 福井大遠赤セ, ^B トウルク大

要旨：電子スピン共鳴(ESR)においてよく用いられる空洞共振器は、その内部に共振周波数のマイクロ波の定在波モードを生じさせることで実効的に高い振動磁場を得るため、半波長以上の大きさをもつ。一方、極小マイクロ波共振器(micro-resonator)は、半波長より小さい領域に局所的に電磁場エネルギーを集中させることで、 Q 値が低いにもかかわらず強い振動磁場を生じさせる[1]。極小共振器として、ループギャップ型共振器 (LGR) やディアボロ型 (ParPar 型) 共振器等の様々なタイプが提案され、比較的低い Q 値を生かしてパルス ESR 測定にも成功している[1]。

我々は、極低温ミリ波 ESR/NMR システムの開発を進めており[2]、このシステムにマイクロ共振器を加えるためには、まず共振器の基本的な結合特性を明らかにする必要がある。そこで我々は、10~12 GHz 付近で動作する極小マイクロ共振器を設計・製作した[3]。反射係数、 Q 値、および共振周波数は、ストリップライン上の定在波分布を反映して、共振器の相対位置に応じて周期的な変化を示した。この周期的な挙動は、マイクロ共振器がストリップラインから離れるにつれて急速に消失する。これは、共振特性がストリップラインとマイクロ共振器間の電磁結合によって支配されていることを裏付けている。

本研究の結果は、ディアボロ型マイクロ共振器の結合形状を最適化するための実用的な設計指針を提供する。



図：(a)ディアボロ型共振器とストリップラインの位置変化に伴う共振特性の測定を示す概略図。(b) $y = 0$ mm における反射係数、 Q 値、および共振周波数の変化を、 x 方向の変位関数として示したもの

[1] Y. Twig *et al.*, Rev. Sci. Instrum., **81** (2010) 104703; Rev. Sci. Instrum. **88** (2017) 123901.

[2] Y. Ishikawa *et al.*, Appl. Magn. Reson., **52** (2021) 305.

[3] Y. Ishikawa *et al.*, J. Low Temp. Phys., **222** (2026) 121.

タイトル：ソフトブランケットグラビアオフセット印刷による固体高分解能 MACS-NMR 用内部コイルの作製

講演者：小野木良将^A，石川裕也^A，泉小波^B，鈴木悠^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 産業技術総合研究所，

^C 福井大学大学院工学研究科

要旨： 固体 NMR は、原子核近傍の局所構造を非破壊で評価できるため幅広い分野で活用されており、その感度向上は微量試料の解析や測定時間の短縮に直結する重要な課題である。そこで近年、MAS 試料管内部に小型の LC 共振回路（内部コイル）を挿入し、試料とともに回転させる Magic Angle Coil Spinning（MACS）法が提案された。本手法は、内部コイルが試料の近くで共振し、外部コイルと誘導結合することで、印加 RF 磁場の増強と試料充填率の向上を同時に達成できる点が特徴である（図 1）。実際、ナノリットルスケールの試料に対して標準的な MAS 測定と比べて 8 倍以上の SNR 向上が報告されている[1]。しかし、従来の手巻きした内部コイルは、高速回転の不安定化、小径化の限界、共振特性の再現性など、実用化に向けた課題が残されている。

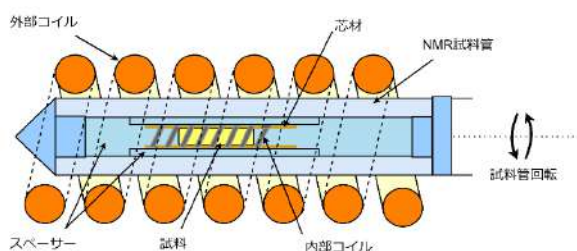


図 1. MACS 法における NMR 試料管および内部コイルの断面図。

本研究では、プリントエレクトロニクス技術の一つであるソフトブランケットグラビアオフセット（SBG、図 2）印刷を用いて、薄肉ポリイミドチューブ上に LC 共振回路を一体形成する MACS 用内部コイルの作製を試みた。SBG 印刷は、曲面を含む多様な基板へ高精度に印刷できるため、軽量化・小径化および共振特性の再現性向上が求められる本コイルの

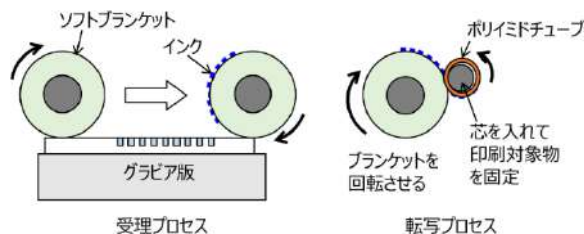


図 2. SBG 印刷法の模式図

作製に適している[2]。これまでに、SBG 印刷で作製した平面型コイルを用いて NMR 測定を行い、印刷コイルが NMR 測定に十分な性能を有することを確認した [3]。また、芯材として用いたポリイミドチューブは、極低温と室温の繰り返し温度サイクルに対して十分な耐性を示し、試作したチューブは磁場を印加しない条件下で 10 kHz 以上で安定して回転することを確認するとともに、無回転で NMR 信号強度の増強効果も確認した。本講演では、印刷コイルの設計、共振特性、及び無回転条件での NMR 測定結果について報告する。

謝辞：藤倉化成株式会社よりインクの提供を賜りました。厚く御礼申し上げます。

[1] D. Sakellariou, G. Le Goff, and J.-F. Jacquinot, *Nature* **447**, 694–697 (2007).

[2] 泉小波ら，共振回路、並びにインダクタおよびキャパシタの製造方法，特許 7905067 (2023).

[3] 笈田智輝ら，日本赤外線学会誌 **31**, 152–159 (2021).

Development of a Gyrotron-Based High-Frequency Spin-Current Measurement System

講演者：Xuelian Zhang ^A, Yuya Ishikawa ^A, Andi Marwanti Panre ^A, Takuya Kawada ^B, Yuki Shiomi ^B,
Hiroki Arisawa ^C, Eiji Saitoh ^C and Yutaka Fujii ^A

所属：^A FIR-Center, Univ. of Fukui,

^B Dept. Basic Sci., Grad. Sch. Arts Sci., The Univ. of Tokyo,

^C Dept. Appl. Phys., The Univ. of Tokyo

要旨： The development of high-frequency spin-current measurement system and techniques are essential for investigating spin dynamics relevant to next-generation spintronic devices operating in the millimeter-wave and sub-terahertz frequency ranges [1,2]. Spin-current generation by spin pumping is driven by ferromagnetic resonance (FMR); however, conventional FMR systems generally operate at relatively low microwave frequencies. Furthermore, because spin-current signals generated in thin-film samples are intrinsically weak, high-power millimeter-wave excitation is required. To overcome these limitations, we have developed a gyrotron-based system for high-frequency spin-current measurements under high magnetic fields.

The system consists of a gyrotron millimeter-wave source (FU-CW CI), a millimeter-wave transmission line using circular waveguide, a 15-T superconducting magnet for applying magnetic fields to the sample, and inverse spin Hall voltage detection. In the present study, spin-current measurements were performed at 108, 142, 172 and 205 GHz by sweeping the magnetic field from 0 to 10 T while maintaining the sample temperature at 250 K using a helium-flow cryostat. A well-established GGG (Gd₃Ga₅O₁₂, 0.5 mm)/YIG (Y₃Fe₅O₁₂, 1 μm)/Pt (5 nm) tri-layer sample was employed as a benchmark sample [3,4]. The measured signals were analyzed using double-Lorentzian fitting, and the magnetization dynamics were discussed based on the Landau–Lifshitz–Gilbert equation. The extracted resonance fields showed excellent agreement with the Kittel relation, demonstrating the feasibility of the measurement system.

The results establish a practical gyrotron-based platform for future high-frequency spin-current measurements studies of spin-current generation in emerging magnetic materials.

- [1] J. Li *et al.*, Nature **578**, 70 (2020).
- [2] I. Ilyakov *et al.*, Nat. Commun. **14**, 7010 (2023).
- [3] Y. Kajiwara *et al.*, Nature **464**, 262 (2010).
- [4] B. Heinrich *et al.*, Phys. Rev. Lett. **107**, 066604 (2011).

タイトル：ジャイロトロンを用いたミリ波パルス ESR 装置の開発Ⅲ

ー ラビ振動の観測 ー

講演者：中根直人^A、片山大和^A、浅野功陽^A、西尾晃輔^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 福井大学工学部、^B 福井大学遠赤外領域開発研究センター

要旨：本研究では、ジャイロトロンを用いたミリ波パルス ESR 装置の改良により、BDPA ラジカルにおけるラビ振動の観測に成功し、スピネコー測定に必要な $\pi/2$ パルスおよび π パルス幅を決定できる見通しを得た。パルス電子スピン共鳴 (ESR) は、電子スピンの動的特性を調べるための有力な測定手法である。本研究では、高出力・高周波ミリ波源であるジャイロトロン (Gyrotron FU CW VIIB 154 GHz) を用い、実験室環境で運用可能なミリ波パルス ESR 装置の開発を進めている。従来の装置では、BDPA ラジカルから単一パルスによる自由誘導減衰 (FID) 信号の検出には成功していたものの、ラビ振動およびスピネコー信号は観測されていなかった。この原因としては、励起パルス強度の不足や試料位置における磁場均一性の問題が考えられる。

そこで、これまでに我々は、励起パルス強度の向上を目的として、ダブルパルス成形システム (DPFS) および準光学デュプレクサ (QOD) に用いる光駆動半導体スイッチ (PASS) を新たに開発し、その成果を報告してきた[1][2]。従来の PASS では、ミリ波をシリコン板のブリュースター角である 73.7° で入射していた。そこで、2 枚のシリコン板を用いた 45° 入射が可能な PASS を開発した。さらに、高効率なミリ波伝送を実現する準光学楕円鏡を導入し、DPFS、QOD および準光学結合器 (MOU-I) を新たに構築した。その結果、DPFS 通過後のミリ波強度が従来装置と比較して約 3 倍に向上することが確認された。これらの改良により、ミリ波伝送効率が向上し、励起パルス強度の増強がなされ、従来未達であった電子スピン集団のコヒーレント制御を観測するための条件が整った。

今回、新たに改良後のパルス ESR 装置を用いて BDPA の単一パルス FID 測定を行った。その結果、励起パルス幅に対して FID 信号強度が周期的に変化するラビ振動を観測することに成功した。図 1 は今回新たに観測されたラビ振動である。これにより、励起パルス幅に応じて電子スピン集団の磁化を制御できることを確認するとともに、スピネコー測定に必要な $\pi/2$ パルスおよび π パルスに対応するパルス幅を決定できるようになった。本発表では、改良したミリ波パルス ESR 装置を用いて新たに得られたラビ振動の観測結果を示すとともに、本装置が高周波 ESR におけるパルス制御実験およびスピネコー測定の基盤となることを報告する。

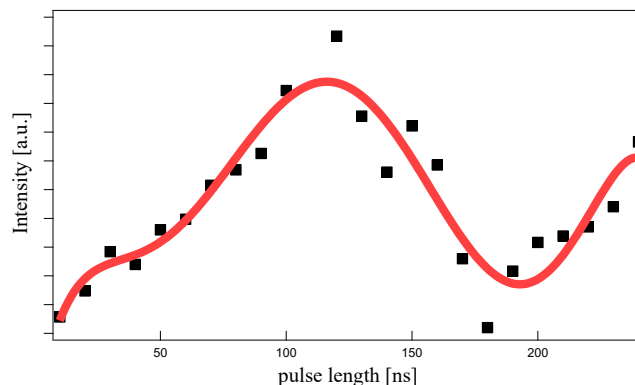


図 1. 新たな ESR システムにより観測されたラビ振動

- [1] 片山大和ら、「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、P-3
- [2] 中根直人ら、「ジャイロトロン光源を用いたパルス ESR システムの開発Ⅱ-準光学伝送系-」、第十二回西日本強磁場科学研究会、広島大学、2025 年 9 月、P-4