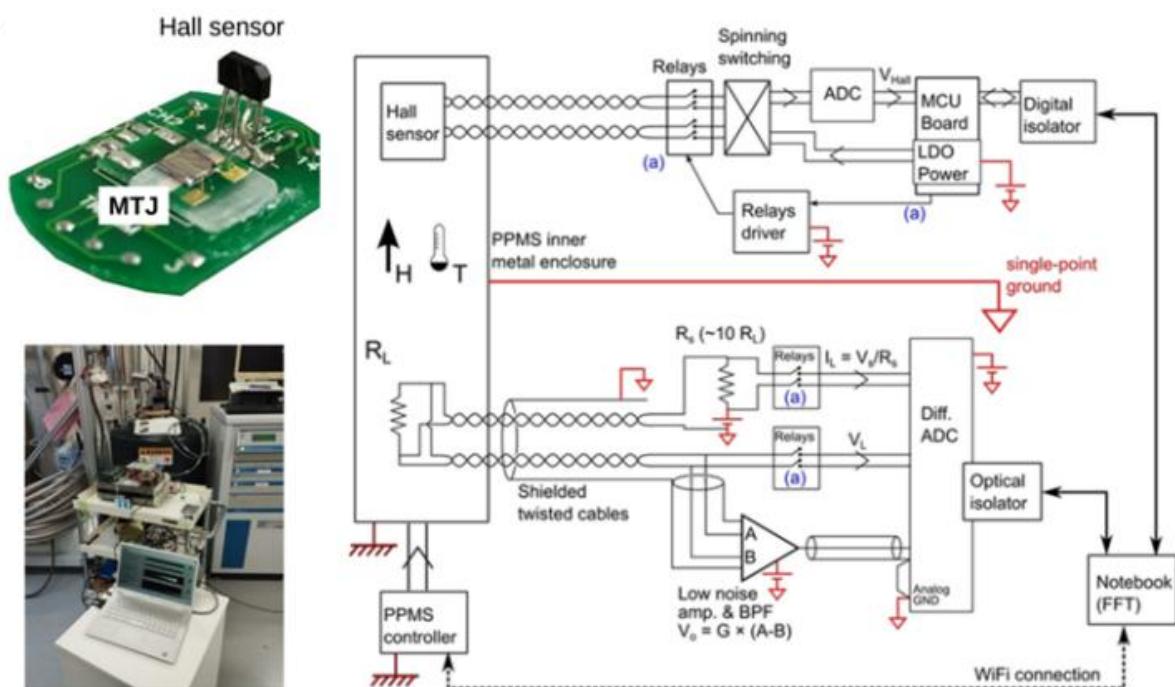


# 東北大學 極低温科学センターだより

No. 26



*Center for Low Temperature Science  
Tohoku University*

2025年12月

## 表紙の図の説明

物理特性測定システム (PPMS) を利用して構築された温度変化可能な磁気トンネル接合 (MTJ) 素子の低ノイズ測定システムの概要。詳しくは、研究ノート「トンネル磁気抵抗素子の  $1/f$  ノイズの温度特性評価」を参照のこと。

## 卷頭言

### 青葉山地区ヘリウム利用の歴史

極低温科学センター長 佐々木孝彦

東北大学金属材料研究所において 1952 年にアメリカから輸入したコリンズ式液化機によりヘリウムの液化が日本で初めて行われ、液体ヘリウム温度における実験研究が学内だけではなく全国から仙台に集まった先達たちによって開始されました。その後、1971 年に学内共同利用施設低温センターが設置され、1996 年には青葉山地区も含む全学組織として現在の研究推進・支援機構極低温科学センターに改組されて現在に至っています。日本の低温科学研究発祥の流れを汲む本センターの活動に、今後ともご協力、ご支援いただきますようお願いいたします。

青葉山地区では、現在、新液化機への更新工事が進んでいます。2026 年 3 月には完了し、青葉山地区の供給体制が強化されます。すでに供給サービスを開始したナノテラスも含む新青葉山キャンパスでは、新たな研究施設の建設、リサーチコンプレックス形成に伴い液体ヘリウム利用要望が多くなると思われます。国際卓越研究大学の研究・教育・開発力の強化に貢献してまいります。

さて、今回更新する青葉山地区のヘリウム液化機は、青葉山地区前身組織である理学部附属超低温実験施設のヘリウム液化機から数えて第 4 代目になります。ここでは青葉山地区でのヘリウム利用の歴史を振り返ってみたいと思います。

1971 年（昭和 46 年）4 月に低温センターが学内共同利用施設として片平地区金属材料研究所敷地内に開設され全学への液体ヘリウム供給を開始いたしました。当時は、ちょうど工学部、理学部などが片平地区から青葉山地区への移転が始まった時期でした。移転に伴い、まず先行して移転した工学部にサブセンターが開設されました（1970 年開設 1971 年ヘリウム供給開始）。液化機がある低温センター（片平）からヘリウムベッセルをサブセンターにトラックで運び、利用者は工学部中央の電気系学科エリアにあるサブセンターで各自のヘリウム容器に液体ヘリウムを汲み込んだ後、実験室に持ち帰り実験を行いました。蒸発



写真（左）：理学部サブセンター外観（現在の物理系講義棟（旧物理 B 棟）西側）（1971 年）

（東北大学低温センター（広報第 6 号）20 周年記念号（1991 年 9 月）より）

写真（右）：理学部サブセンター内部 ヘリウムベッセル横に立つ人物は理学部技官遠藤栄好氏

（東北大学低温センター（広報第 4 号）10 周年記念号（1982 年 3 月）より）

したヘリウムガスは直径 1.5 メートルほどのゴム製バルーンに回収してサブセンターに（人力で！）持ち込み、ガスボンベに圧縮充填して、再び片平にトラックで運搬するサイクルを繰り返しました。理学部では、物理系学科の移転、物理 A,B,C 棟の建設と合わせて理学部サブセンター（現極低温科学センター棟別館 約 100 m<sup>2</sup>）が現在の物理系講義棟の西側に建設され、ガスホルダー、圧縮機を設置して開設されました（1976 年 6 月）。理学部サブセンターが開設されるまでは、先に移転していた理学部化学系のユーザーも工学部サブセンターを利用していたそうです。

一方で、より大量のヘリウムを途切れることなく常時必要なユーザーが多かった理学部物理系では、1979 年 4 月に理学部附属超低温実験施設（7 年時限）を開設し、独自に 1981 年 9 月に BOC 社ヘリウム液化機（Turbocool 30 L/h）の運転を開始しました。これが青葉山地区でのヘリウム液化の最初です（第 1 代目）。ただし、この液体ヘリウムは主に実験施設内でのみ利用され、理学部の他のユーザーは片平から運搬されたヘリウムを理学部サブセンター経由で利用していました。同施設は 1986 年 4 月に理学部附属極微少エネルギー物理学実験施設（10 年時限）に改組されました。



理学部附属超低温実験施設（1981 年 6 月）  
(後に極微少エネルギー物理学実験施設、現在は極低温科学センター極低温物理学部)

片平から青葉山の工学部、理学部サブセンターへのトラック運搬では供給量の限界があったため、1988 年頃から低温センターの共同利用審議会・運営委員会で青葉山センター案が審議されたようです。だいぶ時間がかかりましたが 10 年時限を迎えた極微少エネルギー物理学実験施設は 1996 年 4 月に低温センターと統合し、学内共同教育研究施設極低温科学センターの青葉山地区極低温物理学部となりました。青葉山地区での供給を開始するために 1998 年 3 月に液化機更新（リンデ社製 TCF-50 80 L/h）（第 2 代目）が完了し、理学部、薬学部への供給が始まりました。2000 年には工学部への供給を開始し、2002 年から 2003 年にかけて青葉山地区のヘリウムガス回収配管網の整備が完了して全域への供給が可能になりました。この液化機は、青葉山地区のヘリウム供給を長年支えましたが、2011 年 3 月の東日本大震災時に液化システムが大破してしまいました。2012 年に液化機の更新を含めた復旧が完了し（リンデ社製 L280 200 L/h）（第 3 代目）、現在に至っています。

そして 2026 年 3 月に青葉山地区での第 4 代目となる新液化機が稼働し始めます。今回、新液化機への更新と合わせて強化拡充する液化・回収・貯蔵システムにより、青葉山・新青葉山地区の今後の拡大に十分に対応できるヘリウム供給能力を整備いたします。今後とも本センターの活動にご協力・ご支援いただけますよう、よろしくお願ひいたします。

## 研究ノート

# トンネル磁気抵抗素子の $1/f$ ノイズの温度特性評価

大学院工学研究科

大兼 幹彦 (mikihiko.ogane.e4@tohoku.ac.jp)

大学院工学研究科

王 育鵬 (wang.yupeng.r6@dc.tohoku.ac.jp)

### 1. 研究の背景

スピントロニクスは、電子の電荷とスピンの二つの自由度を活用することで、従来のエレクトロニクスでは実現できなかった高機能・高効率デバイスを実現する学際的研究分野である。その中核となる物理現象が、トンネル磁気抵抗 (TMR) 効果である。1995 年に室温で約 20% の TMR 効果が発見された後 [1, 2]、2001 年に Fe/MgO/Fe 構造を持つ磁気トンネル接合 (MTJ) において極めて大きな TMR 効果が発現するという理論予測がなされた [3, 4]。その数年後に、MgO トンネルバリア層を用いた MTJ において室温で約 200% という非常に大きな TMR 効果が観測されるに至った [5, 6]。また、製品応用上重要な Si 基板上に CoFeB/MgO/CoFeB 構造を有する MTJ が、230% という大きな TMR 比を示すことが報告され、この技術の社会実装が大きく加速された [7]。また、この CoFeB/MgO/CoFeB-MTJ 素子における巨大 TMR 効果が、高感度トンネル磁気抵抗センサ (TMR センサ) の技術的な基盤となっている。

CoFeB/MgO/CoFeB 構造の MTJ 素子は、大規模な Si 基板上に比較的簡便なプロセスで形成可能であることから、磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) や TMR センサ等に応用がなされている。MRAM では高・低抵抗の 2 値状態が必要であるため、記憶保持のための磁性材料には、硬磁性体が用いられる。一方、TMR センサでは低磁場領域で抵抗が敏感に変化することが求められ、感度向上のために、非常に軟らかい磁性材料が利用される。近年では、高 TMR 効果と軟磁性層の両特性を併せ持つ CoFeB/MgO/CoFeB ベースの MTJ 素子が開発されており、室温において生体磁場などの微弱磁

場を検出するに至っている [8]。また、TMR センサは室温動作に加えて、デバイスサイズ・消費電力ともに小さい特徴を有することから、生体磁場応用以外にも、インフラ構造物の非破壊検査や電気自動車バッテリーの電流監視など、幅広い用途での研究や社会実装が進んでいる [9, 10]。

TMR センサの最終検出ターゲットである生体磁場は非常に微弱であり、これを検出するためには、低周波領域におけるノイズ低減が課題である。MTJ 素子の低周波ノイズは  $1/f$  特性を示し、その起源の一つとしてトンネルバリア内の欠陥や界面状態に起因する電子トラップ-デトラップ過程が知られているが、その詳細な物理機構は未解明である [11]。本研究では、このトンネルバリアおよび界面に起因する電気的  $1/f$  ノイズの起源解明を目的として、以下の研究を行った。

- (1) 温度変化可能な低システムノイズを有する MTJ 素子ノイズ評価系の構築
- (2)  $1/f$  ノイズの MgO トンネルバリア層膜厚、および、測定温度依存性の評価

### 2. MTJ 素子ノイズ評価装置の構築

本研究で構築したノイズ測定システムを図 1 に示す。カンタムデザイン社の物理特性測定システム (PPMS) を用いることで、温度および印加磁場を可変なノイズ測定システムである。実験室にはノイズを遮蔽するための特別な磁気シールド室等の設備はなく、PPMS に付属のシールドに加え、システムノイズおよび環境ノイズの影響を低減するため、以下の(1)～(3)の工夫を行った。また、PPMS のサンプルホルダーにホールセンサを取り付けることで、印加磁場を正確に測定可能にした。

- (1) 交流電源を用いる測定機器は使用せず、バッテリー駆動の低ノイズアンプ (Stanford Research Systems 社製 SR560)、および、デジタル-アナログ変換器でデータを取得した。また、MTJ 素子への電源供給にもバッテリーを用いた。
- (2) 銅箔シールドで覆ったツイストケーブルを採用し、環境ノイズの影響を可能な限り回避した。
- (3) PPMS、および、測定回路および機器に対して共通接地を施し、システムノイズの影響を最大限除去した。

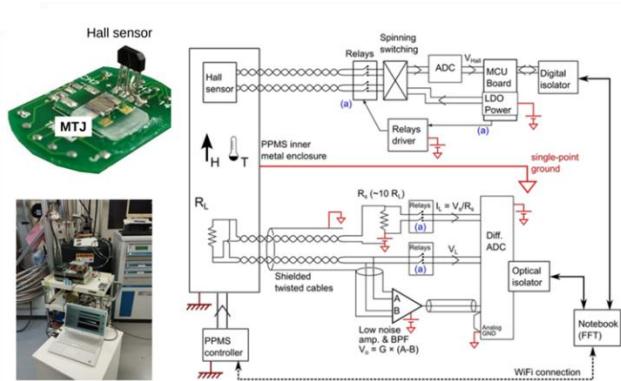


図 1 PPMS を利用して構築した温度変化可能な MTJ 素子の低ノイズ測定システムの概要

構築した測定システムを用いて、アンプのゲインを 50,000 倍とした場合のノイズ測定の一例を図 2 に示す。測定した MTJ 素子の多層膜構造は、 $\text{SiO}_2$  基板 /Ta(5)/Ru(10)/IrMn(10)/CoFe(2)/Ru(0.9)/CoFeB(3)/MgO(1.4)/CoFeB(3)/Ta(5)/Ru(10) (単位: nm) で、典型的な CoFeB/MgO/CoFeB-MTJ 素子の構造である。図 2 は、この MTJ 素子に対し、0.1 V の電圧を印加して測定した場合の結果である。比較として、レアメタル総合棟に設置されている磁気シールドルーム内で行った測定の結果、素子部をショートした場合のバックグラウンドノイズ、および、アンプの公称ノイズを図中に示している。図 2 から、構築システムでの測定結果は、磁気シールドルームでの測定と同等のノイズレベルであることが分かる。また、バックグラウンドノイズの

測定結果から、50 Hz の商用電源起因のノイズレベルはシールドルームに比べて大きいものの、ベースのノイズレベルはシールドルームの 2 倍程度に抑えられており、MTJ 素子のノイズに比べて十分に小さいことが分かる。さらに、高周波領域におけるホワイトノイズレベルはアンプの公称値に近づいており、構築したノイズ測定システムが良好な性能を有していることが確認できた。以上のことから、特殊な磁気シールドルーム無しで、温度変化 (2 K~400 K)、および、磁場印加 ( $\pm 9$  T) 可能な非常に低ノイズのノイズ測定システムが構築できたといえる。

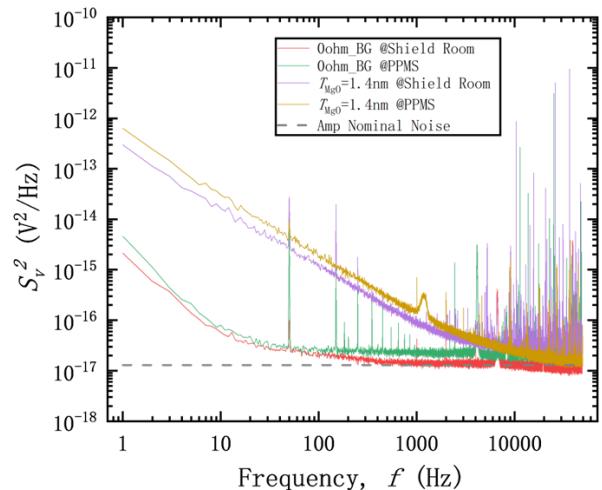


図 2 構築した測定系を用いて測定した典型的な CoFeB/MgO/CoFeB-MTJ 素子の  $1/f$  ノイズスペクトル (比較として磁気シールドルーム内での測定結果、ショート時の測定結果、アンプノイズの公称値を示した)

### 3. MTJ 素子における電気 $1/f$ ノイズの測定

MTJ 素子におけるノイズは、周波数に依存しないホワイトノイズと周波数に依存する  $1/f$  ノイズに大別できる。主なホワイトノイズの起源は、熱ノイズとショットノイズである。高温領域では熱ノイズが支配的であり、低温極限ではショットノイズが支配的になる。一方、周波数の逆数に比例する  $1/f$  ノイズ  $S_v^2$  ( $\text{V}^2/\text{Hz}$ ) は、以下の式で表される。

$$S_v^2 = \frac{\alpha V^2}{Af} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

ここで  $V$  (V) はバイアス電圧、 $A$  ( $\mu\text{m}^2$ ) は素子面積、 $\alpha$  は Hooge パラメータと呼ばれる  $1/f$  ノイズの比例項であり、面積の次元を持つ。 $1/f$  ノイズの発生機構は 2 値の離散化された値を持つランダムテレグラフノイズの重ね合わせによって発生すると考えられている。このランダムテレグラフノイズの発現機構として、主に 2 つが考えられる。一つの原因是、磁化や磁壁の揺らぎに起因する磁気的ノイズである。磁性層中に磁化の運動をピンニングするような格子欠陥や不純物がある場合、磁化は欠陥や不純物のポテンシャルを超えて二つの位置間で揺らぎを生じてノイズとなる。もう一つは、絶縁障壁層内部や絶縁障壁層/強磁性体界面での電子トラップである。電子線蒸着を用いて MgO 障壁層を作製すると、スパッタリング法で作製した MgO 障壁層を有する TMR 素子と比べて電気  $1/f$  ノイズが低下するという報告がある[12]。本研究では、二つの磁性層の磁化が平行状態での測定を行い、磁気ノイズは小さく、電気  $1/f$  ノイズが支配的な条件下で実験を行った。

本研究で作製した MTJ 素子の膜構成を図 3 に示す。MgO 絶縁層の膜厚が電気  $1/f$  ノイズに影響すると考え、その膜厚を 1.0~2.0 nm で変化させた。MTJ 多層膜を超高真空スパッタ法で成膜後、フォトリソグラフィと Ar イオンミリングによって  $40 \mu\text{m} \times 80 \mu\text{m}$  の素子に形成し、 $350^\circ\text{C}$ , 1T の印加磁場下で熱処理した。熱処理後、 $1/f$  ノイズの測定に加え、磁気抵抗特性およびトンネルコンダクタンスを 4 端子法により測定した。

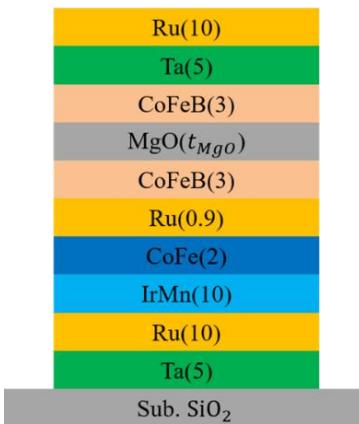


図 3 作製した MTJ 素子の膜構成

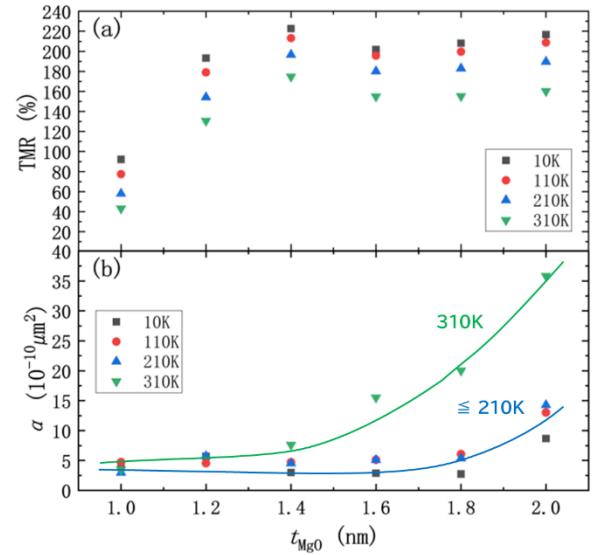


図 4 各測定温度における (a) TMR 効果、および、(b) Hooge パラメータ  $\alpha$  の MgO 膜厚依存性

図 4 (a) に作製した MTJ 素子の各測定温度における、TMR 効果の MgO 膜厚依存性を示す。MgO 膜厚が 1.0 nm 付近では TMR 比は低い値であったが、膜厚の増加に伴って向上し、1.4 nm 以上で飽和する傾向が見られた。MgO 膜厚が 1.4 nm より薄い領域では、MgO 膜中にピンホールが生じ、TMR 効果が減少したと考えられる。一方、1.4 nm 以上の領域では TMR 比は室温下においても 160% を超える値を示し、良質な素子が形成できたといえる。また、いずれの MgO 膜厚の試料についても、低温になるにつれて TMR 効果が単調に増大した。

これらの MTJ 素子について、構築した測定系を用いて  $1/f$  ノイズの温度依存性を測定した。測定した  $1/f$  ノイズスペクトルを (1) 式でフィッティングすることで、電気  $1/f$  のノイズの大きさを示す Hooge パラメータ  $\alpha$  を見積もった。図 4 (b) に見積もった  $\alpha$  の MgO 膜厚依存性を示す。210 K 以下の低温領域では、 $\alpha$  の温度依存性は比較的小く、MgO 膜厚の増加によってノイズの増大が観測された。一方、310 K では、特に 1.6 nm 以上の MgO 膜厚において、温度の増加による大きな  $\alpha$  の増大が観測された。特に、1.8 nm, 2.0 nm の素子では 310 K における  $\alpha$  の増大が顕著であり、デバイス応用上、深刻な課題となりうる。

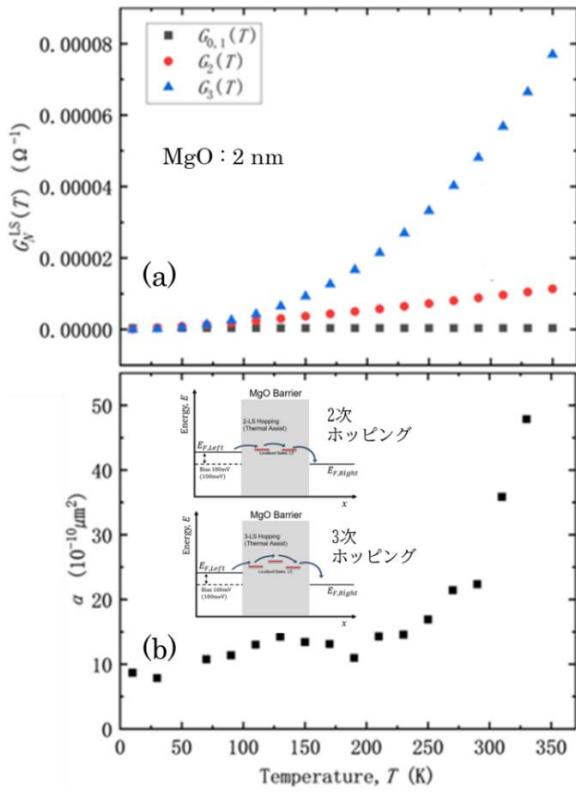


図5 MgO 膜厚が 2.0 nm の素子における  
(a) コンダクタンス、(b)  $\alpha$  の温度依存性

電気  $1/f$  ノイズ増大の原因を考察するために、トンネルコンダクタンスの温度依存性との比較を行った。図5に、MgO 膜厚が 2.0 nm と厚い素子における、トンネルコンダクタンスおよび  $\alpha$  の温度依存性を示す。トンネルコンダクタンスは、以下のモデル式 (2)を用いて解析した [13]。

$$G_{\text{tot}}(T) = G_{0,1} + G_2 T^{4/3} + G_3 T^{5/2} \quad \dots \dots \quad (2)$$

ここで、 $G_{\text{tot}}$  はトータルのコンダクタンス、 $G_0, G_1, G_2, G_3$  は、それぞれ弾性トンネリング、および、1, 2, 3 次のホッピングトンネリングによるコンダクタンスである (図5(b) の挿入図)。測定したコンダクタンスの温度依存性を (2)式でフィッティングし、 $G_{0,1}, G_2, G_3$ をそれぞれ求めた ( $G_0$  と  $G_1$  はともに温度依存性が小さいため、温度に依存しない  $G_{0,1}$  とした)。図5(a)から、200 K 以上で 3 次のホッピング項である  $G_3$  が、 $G_{0,1}, G_2$  に対して非常に大きくなっていることが分かる。この傾向は、MgO 膜厚が厚い素子において顕著であり、絶縁層が厚くなるほど欠陥を介したトンネル過程が増えることを意味している。また、図5(b)との比較から、200

K 以上における  $G_3$  の増加と、電気  $1/f$  ノイズの急激な増加に相関が見られる。つまり、電気  $1/f$  ノイズの室温近傍における増大は、3 次のホッピングトンネリングが原因であることが示唆されている。今後、高次のホッピングトンネリングと電気  $1/f$  ノイズとの関係を明確にするためには、MgO 絶縁層および界面状態の詳細な分析等が必要と考えられるが、本研究で得られた知見は、今後の TMR センサの低ノイズ化に対して極めて重要である。

### 謝辞

本研究は、SIP プロジェクト、BRIDGE プロジェクト、X-nics、科研費基盤研究(B)、および、東北大学 CSIS, CIES の支援を受けて行われた。

### 参考文献

- [1] T. Miyazaki and N. Tezuka, J. Magn. Magn. Mat. 139, L231 (1995)
- [2] J. S. Moodera *et al.*, Phys. Rev. Lett. 74, 3273 (1995)
- [3] W. H. Butler *et al.*, Phys. Rev. B 63, 054416 (2001)
- [4] J. Mathon, and A. Umerski, Phys. Rev. B 63, 220403 (2001)
- [5] S. Yuasa *et al.*, Nat. Mater., 3, 868 (2004)
- [6] S. S. P. Parkin *et al.*, Nat. Mater., 3, 862 (2004)
- [7] D. D. Djayaprawira *et al.*, Appl. Phys. Lett., 86, 092502 (2005)
- [8] T. Nakano, K. Fujiwara, and M. Oogane, Appl. Phys. Lett. 126, 160503 (2025)
- [9] T. Nakano, M. Oogane, T. Furuichi, and Y. Ando, Appl. Phys. Lett. 110, 012401 (2017)
- [10] MAI Mohd Noor Sam, Z. Jin, M. Oogane, and Y. Ando, Sensors 19, 4718 (2019)
- [11] Z. Q. Lei *et al.*, IEEE Transactions on Magnetics 47, 602 (2011)
- [12] Z. Diao *et al.*, Appl. Phys. Lett. 96, 202506 (2010)
- [13] A. A. Khan *et al.*, Phys. Rev. B 82, 064416 (2010).

## 研究ノート

# カイラル反強磁性体における量子計量の室温操作

電気通信研究所 内村 友宏 (uchimura.tomohiro.s8@dc.tohoku.ac.jp)  
深見 俊輔 (s-fukami@tohoku.ac.jp)

## 1. はじめに

量子固有状態の幾何学的性質は量子幾何テンソルによって特徴付けられ、それは実部の量子計量と虚部のベリー曲率の 2 つの異なる物理量から構成される[1,2]。このうち、ベリー曲率は量子ホール効果や異常ホール効果など幅広い物理現象を説明することが知られている[3,4]。一方、量子計量はこれまでの研究で殆ど無視されてきたが、近年、異常ランダウ準位やフラットバンド超伝導などの非自明な現象を説明するための重要な概念として徐々に注目を集めている[5,6]。

量子計量の輸送測定による検出手法の一つとして、2 次のホール効果、すなわち非線形ホール効果が挙げられる。これは、物質が量子計量の双極子構造を有する場合に、印加電流の 2 乗に比例してホール電圧が発生する現象である。この効果は Gao らによって理論的に予測され、近年、反強磁性トポロジカル絶縁体  $Mn_2BiTe_4$  において初めて実証された[7-9]。重要なのは、磁性材料では電子構造と磁気構造が密接に結びついているため、反強磁性秩序の制御を通じて量子計量そのものを操作できる点である。このような制御性は基礎研究・応用研究の両面で極めて重要であるが、これまでの報告は 25 K 以下の低温および 8 T という強磁场条件に限られていた。

量子計量非線形ホール効果を室温で観測し、その状態を磁場で制御するための鍵は、室温においてトポロジカルな電子構造を示す磁性材料である。本研究では、その候補としてカイラル反強磁性体である  $D0_{19}\text{-Mn}_3\text{Sn}$  に着目した。 $Mn_3\text{Sn}$  は六方晶  $Ni_3\text{Sn}$  型の結晶構造を持ち、Mn 原子が(0001)面上でカゴメ格子を形成する。このとき、Mn 磁気モー

メント間の交換相互作用とジャロシンスキイ・守谷相互作用 (DMI: Dzyaloshinskii-Moriya interaction) の組み合わせにより、室温でカイラル反強磁性スピノン構造が形成される(図 1)。この特徴的なスピノン構造を有する  $Mn_3\text{Sn}$  は巨視的に時間反転対称性を破り、従来の磁性体には見られない特異な物性を発現する[10]。その代表例が、トポロジカルな電子構造であるワイル半金属状態の実現であり、これにより豊富な量子幾何学的構造が誘起される[11]。よって、本研究では  $Mn_3\text{Sn}$  を用いて室温における量子計量非線形ホール効果の観測と、その磁場制御を実証することを目指した。

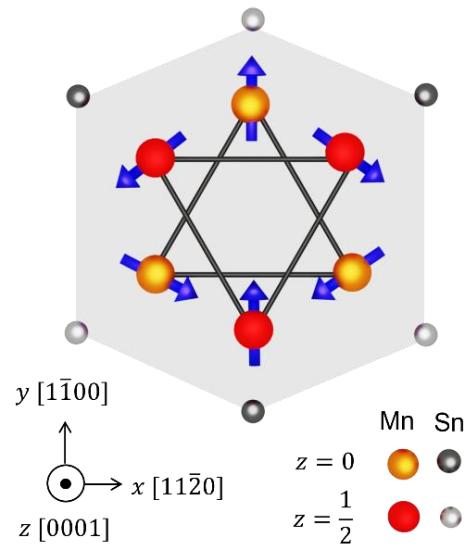


図 1 カイラル反強磁性体  $D0_{19}\text{-Mn}_3\text{Sn}$  の結晶・磁気構造。

2 次の非線形ホール効果の発現には空間反転対称性を破ることが必須条件となる。しかし、 $Mn_3\text{Sn}$  はその結晶構造によって空間反転対称性を保持しているため、これを破るにはヘテロ構造の導入が必要である。そこで本研究は(0001)配向  $Mn_3\text{Sn}/\text{Pt}$

構造における界面DMIに着目し、この問題の解決を試みた(図2(a))。界面DMIとは反対称的交換相互作用であり、界面でねじれたスピン構造を誘起する。先行研究では、図2(b)に示すようにMn<sub>3</sub>Sn/Pt界面においてMnスピンがカゴメ面直方向にキャントすることが報告されている[12,13]。したがって、我々は界面DMIによってスピン構造の反転対称性が膜面直方向に破れると考えた。

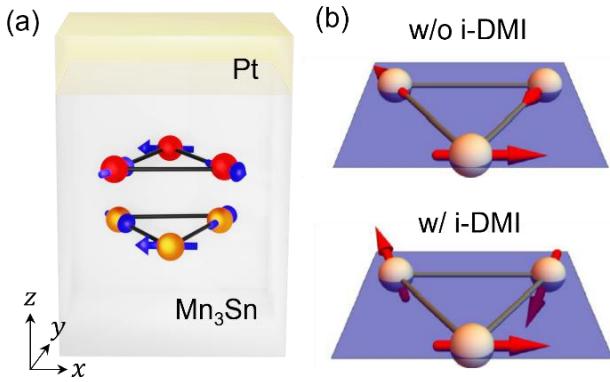


図2 (a) (0001)配向 Mn<sub>3</sub>Sn/Pt ヘテロ構造。 (b) 界面DMIによるスピン構造のねじれ。

## 2. 実験方法

DC/RFマグネットロンスパッタリング法により、MgO(111)単結晶基板上に Ru (5 nm)/Mn<sub>3</sub>Sn (15 nm)/Pt (5 nm)の積層構造を作製した。このとき、MgO基板とRuバッファ層の組み合わせにより、カゴメ面が膜面内に揃った(0001)配向Mn<sub>3</sub>Snエピタキシャル薄膜が形成される。得られたサンプルは、フォトリソグラフィとArイオンミリングによりマイクロスケールのホール素子へと加工した。非線形ホール効果は、交流電流 $I_{ac}$ を印加し、ロッキンアンプを用いてホール電圧の第2次高調成分 $V_H^{2\omega}$ を測定することで評価を行った。また、この配向のMn<sub>3</sub>Snはゼロ磁場で多磁区構造を形成することが知られているため、測定中は面内磁場を印加することで反強磁性秩序を単磁区化した。

## 3. 実験結果

まず、我々は外部磁場をxy平面内で回転させながら2次のホール電圧を測定した。その結果、図3(a)に示すように、 $\cos\alpha$ に従う角度依存性を示す

2次のホール電圧が観測された。このような磁場の反転による2次のホール電圧の符号反転は、観測された非線形ホール効果が時間反転に対して奇であることを示しており、量子計量双極子の対称性と一致している。また、この結果は、時間反転に対して偶であるベリー曲率双極子が起源ではないことを示唆している[14]。次に、印加電流を変化させて同様の実験を行い、 $\alpha = 0^\circ, 90^\circ, 170^\circ, 360^\circ$ の結果を図3(b)にまとめた。結果的に $\alpha = 0^\circ, 180^\circ$ における2次のホール電圧は印加した電流の2乗に比例していることが確認され、観測された効果が2次的な性質を持つことが明らかになった。さらに詳細は省略するが、我々は積層構造の異なる試料で同様の測定を行い、スピン軌道トルクや熱効果(異常ネルンスト効果、スピンゼーベック効果など)に起因する2次のホール電圧は無視できるほど小さいことを確認した。

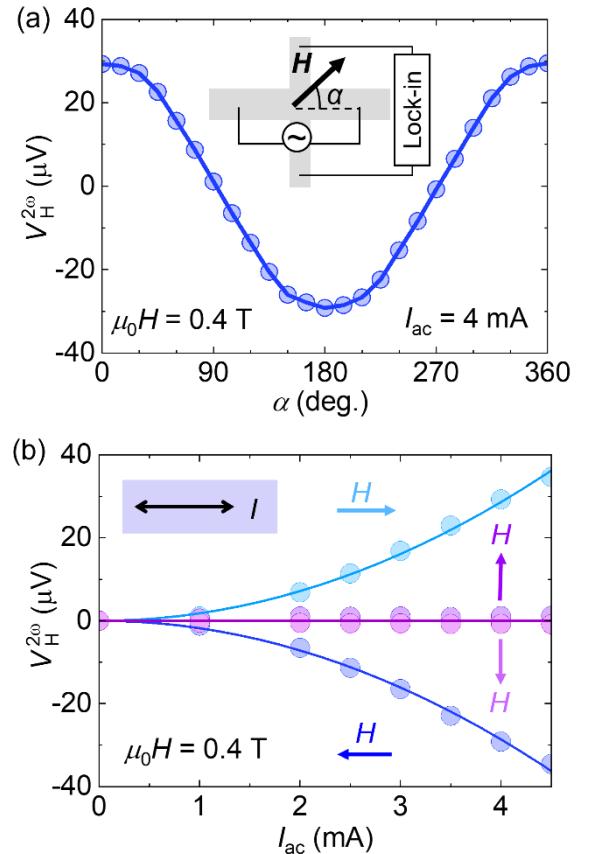


図3 (a) 2次のホール電圧の磁場角度依存性。挿入図は測定回路と印加磁場角度の定義を示している。(b) 様々な方向に磁場をかけたときの2次のホール電圧の電流依存性。

不純物散乱による外因性効果も 2 次のホール効果に寄与することが知られており、それは量子計量と同じ対称性を有している。しかしながら、両者は散乱時間に対する依存性が異なるため、その関係を調べることで切り分けることができる。具体的には、量子計量は散乱時間に依存しないのに対して、外因性効果は散乱時間の 1 乗もしくは 2 乗に比例する。よって、我々は 2 次のホール効果の温度依存性を測定することで両者の切り分けを試みた。図 4 は温度を変化させたときの 2 次のホール電圧を示している。観測された 2 次のホール電圧は温度の上昇により徐々に増加し、300 K 付近でピークを迎えたのちに、330 K 付近で消失した。このうち、高温での消失はネール温度に達したことによる常磁性体への変化が要因だと考える。一方、低温では時間反転対称性を保つスピスパイラルもしくはスピングラス状態が安定化する。この磁気相転移は組成や試料作製条件に強く依存するが、50 K 以下の非線形ホール効果の消失はそのような相転移に起因している可能性がある。ここで特に注目すべき挙動は、温度を 100 K から 300 K へと上昇させると、2 次のホール電圧が増加する点である。一般的に散乱時間は低温ほど長くなるため、もし外因性効果が支配的であれば温度低下とともに信号が増大するはずである。しかし実際には高温側で増強が観測されたことから、観測された 2 次のホール効果は散乱時間に依存しない量子計量に起因している可能性が高いと考えられる。

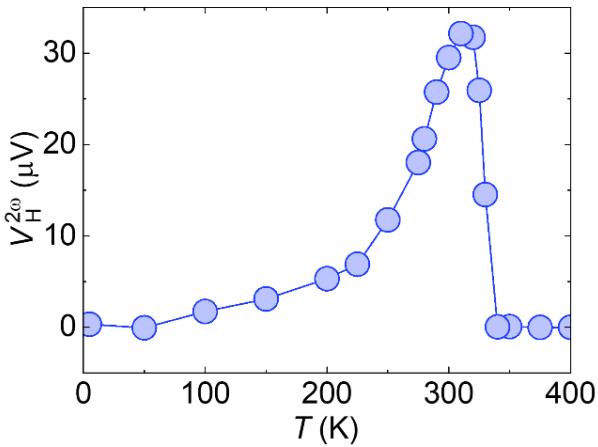


図 4 2 次のホール電圧の温度依存性。

最後に我々は理論計算を行い、実験との比較を行った。ここでは、 $\text{Mn}_3\text{Sn}/\text{Pt}$  における界面 DMI を考慮してスピン構造を決定し、得られたスピン構造をもとにタイトバインディングモデルによって電子構造の計算を行った。図 5 は最終的に得られた 2 次のホール伝導度の磁場角度依存性を示している。計算結果から明らかなように、量子計量双極子(青)は実験結果の角度依存性を良く再現しているのに対し、ベリー曲率双極子(グレー)は異なる角度依存性を示し、その値も量子計量双極子に比べて著しく小さいことが分かる。この定量的な差異は、前述したような両者の散乱時間依存性の違いに起因すると考える。よって、以上の結果から、 $\text{Mn}_3\text{Sn}/\text{Pt}$  へテロ構造における非線形ホール効果は量子計量に由来することが示され、室温での量子計量制御が可能であることが明らかとなった。

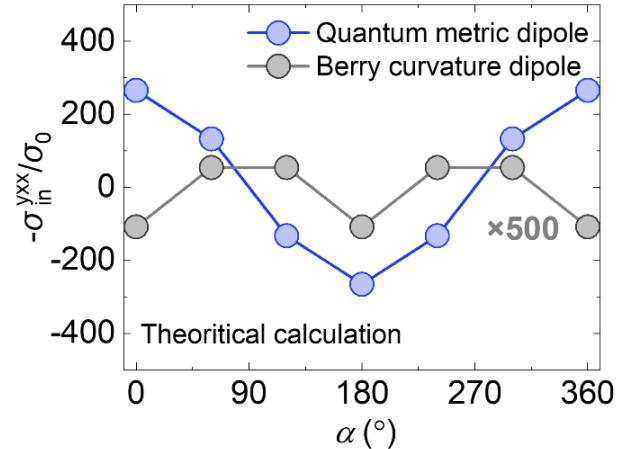


図 5 理論計算で得られた 2 次のホール伝導度の磁場角度依存性。青は量子計量双極子、グレーはベリー曲率双極子に起因する非線形ホール効果を示している。

#### 4. まとめ

本研究では、トポロジカルな電子構造を有するカイラル反強磁性体  $\text{Mn}_3\text{Sn}/\text{Pt}$  へテロ構造において、室温で量子計量構造を操作できることを明らかにした。ここでは、量子計量は 2 次の非線形ホール効果として検出され、その効果は室温付近で大きく増強された。本成果は、量子計量を用いた整流素子や THz 検出器などの高効率な非線形電子デバイスの基盤となることが期待される。さらに、本

研究は物性物理学における非線形応答の理解を深めるとともに、スピントロニクスや電子工学など異分野間の学際的研究の発展にも寄与するものである[15]。

### 謝辞

ここで紹介した内容は、東北大学の大野英男氏、金井駿氏、山根結太氏、Jiahao Han 氏、竹内祐太朗氏、Ju-Young Yoon 氏、日本原子力研究開発機構の荒木康史氏、家田淳一氏との共同研究による成果である。ここに感謝申しあげます。また、本研究は日本学術振興会科学研究費助成事業 (JP19H05622, JP 22K03538, JP 22KF0035)、同会外国人研究者招へい事業、文部科学省「次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業」No. JPJ011438 の支援の下で行われたものです。

### 参考文献

- [1] J.P. Provost, and G. Vallee, *Commun. Math. Phys.* **76**, 289 (1980).
- [2] M.V. Berry, *Proc. R. Soc. A* **392**, 45 (1984).
- [3] D. J. Thouless *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **49**, 405 (1982).
- [4] S. Murakami *et al.*, *Science* **301**, 1348 (2003).
- [5] J. W. Rhim *et al.*, *Nature* **584**, 59 (2020).
- [6] H. Tian *et al.*, *Nature* **614**, 440 (2023).
- [7] Y. Gao *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 166601 (2014).
- [8] A. Gao *et al.*, *Science* **381**, 181 (2023).
- [9] N. Wang *et al.*, *Nature* **621**, 487 (2023).
- [10] S. Nakatsuji *et al.*, *Nature* **527**, 212 (2015).
- [11] K. Kuroda *et al.*, *Nat. Phys.* **16**, 1090 (2017).
- [12] J. J. Liu *et al.*, *Rare Met.* **41**, 3012 (2022).
- [13] N. Jiang *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **123**, 072401 (2023).
- [14] Q. Ma *et al.*, *Nature* **565**, 337 (2019).
- [15] J. Han, T. Uchimura (Equal contribution) *et al.*, *Nat. Phys.* **20**, 1110 (2024).

## シンプルで高分解能な比熱測定系の構築 II

極低温科学センター/大学院理学研究科

水上雄太 (mizukami@tohoku.ac.jp)

## 1. はじめに

低温物性測定においては、測定対象となる試料の物理量が温度に対してどのように変化するかを明らかにすることが主要な目的となる。そのため、試料温度を正確に把握し、制御しながら測定を行うことはほぼ不可欠であり、温度計測は低温測定における最も基本的かつ重要な要素の一つであると言える。特に極低温領域では、わずかな温度変化が物性に大きな影響を及ぼすことも多く、温度計測の精度や信頼性が測定結果全体の質を左右する。比熱や熱伝導度に代表される熱物性量は、試料の温度応答を直接的に反映する量であり、その多くは温度計測によって得られる情報を基礎として評価される。これらの熱的物性は、電子状態や格子振動、さらには相転移や量子臨界現象など、物質の本質的な性質を理解する上で極めて重要な指標である。その意味で、比熱測定は低温物性測定の中でも特に基本的かつ汎用性の高い手法の一つとして位置づけられている。本記事では、以前に本誌において紹介した比熱測定手法の一つである long relaxation method について [1]、改めて取り上げる。特に、本手法を実際の低温測定に適用した具体例や、測定条件に応じた工夫、さらには応用的な利用方法に焦点を当てて解説する。やや手前味噌な内容ではあるが、日常的に低温測定を行う研究者や、これから比熱測定に取り組もうとする読者にとって、実践的な参考資料となることを目的としている。

## 2. 微小単結晶に対する測定

以前の記事で紹介したように、本手法ではバックグラウンド成分である addenda の熱容量を、約

0.5 K の温度領域において nJ/K 以下にまで抑制することが可能である。低温における金属の比熱は、一般に電子比熱項が支配的であり、例えば電子比熱係数を  $\gamma = 1.0 \text{ mJ}/(\text{molK}^2)$  と仮定すると、1 K における電子比熱は  $C_{el} = 1.0 \text{ mJ}/(\text{molK})$  となる。このとき、nJ/K 程度の比熱を与える試料量はおよそ  $10^{-6} \text{ mol}$  に相当する。単純金属である銅を例にとれば、これは約  $10 \mu\text{g}$  程度の質量に対応し、商用の PPMS による比熱測定で一般的に想定される下限試料質量である 1 mg と比較すると、桁違いに小さな試料が測定可能であることが分かる。さらに重要なのは、上述の見積もりがあくまでバックグラウンドと同程度の熱容量を有する試料重量を評価したに過ぎない点である。実際の測定データのばらつきはこれよりも十分に小さく、実効的なノイズレベルは nJ/K を下回る。その結果、本手法は極めて高い感度を有しており、微小試料の熱容量測定に特に適した手法であると言える。この特長を活かし、例えば図 1 に示すように、筆者が近年測定対象としている小さな単結晶しか得られない鉄系超伝導体においては、 $\mu\text{g}$  程度の質量しか持たない単結晶試料に対しても、超伝導転移に伴う比熱異常を明瞭に観測できるだけでなく、転移温度以下における

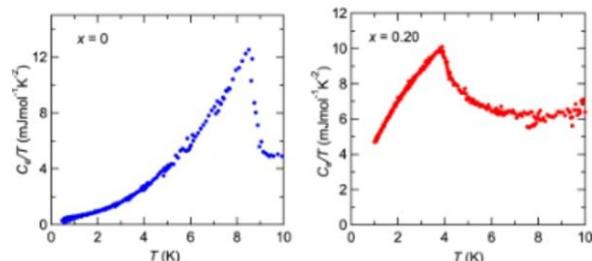


図1: 鉄系超伝導体  $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$  の  $\mu\text{g}$  級の試料に対する long relaxation method の測定例 [2]。

る比熱の温度依存性を高い精度で決定することができる [2]。このことは、例えば電子比熱が大きな重い電子系化合物においては、より一層小さな試料でも測定が可能であり、サブ  $\mu\text{g}$  オーダーの試料に対しても問題なく比熱測定を実施できる。

新規物質の開発初期段階では、十分なサイズの単結晶を得ることが困難な場合が少なくないが、そのような状況において本手法は特に有効である。また、すでに比較的大きな単結晶が得られている物質であっても、相分離やドメイン構造などの空間的不均一性が存在する場合には、より小さな試料を用いることでそれらの影響を低減し、物質本来の熱物性を抽出できる可能性が高まる。

一方で、このような微小試料を扱う場合には、試料質量の正確な評価が大きな課題となる。現状では、一般的な電子天秤の測定限界は高精度なものでもおおよそ  $10\ \mu\text{g}$  程度であり [3]、それ以下の質量を直接測定することは極めて困難である。正確な質量が不明でも、測定された熱容量データそのものから温度依存性を議論することは可能であるものの、電子比熱係数などの絶対値を評価するためには比熱への換算が不可欠であり、そのためには試料重量の正確な見積もりが必要となる。この点は、本手法でより高分解能な測定を実現していく上で重要な課題の一つである。

### 3. 磁場角度回転下測定への応用

比熱の磁場依存性を測定することにより、系の相転移温度やエントロピーが磁場に対してどのように変化するかを詳細に議論することが可能となる。特に磁気的・電子的異方性の大きな系においては、磁場強度のみならず、結晶軸に対する磁場の印加方向によって比熱が顕著に変化する場合がある。このような異方性を調べる手法として、比熱の磁場角度依存性測定はこれまで多くの物質系に対して用いられてきた。超伝導体においては、超伝導ギャップの異方性やノード構造を反映して、磁場中の準粒子励起に明確な磁場角度依存性が現れることが知られている。この性質を利用し、超伝導ギャップ構造の同定を目的として、比熱の磁場角度

依存性測定が多様な超伝導体に対して精力的に行われてきた [4]。また、磁性体においても、磁気転移温度の磁場方向依存性や、マグノン励起のエネルギー分散の異方性などが、比熱の磁場角度依存性を通じて議論可能であり、磁気異方性の理解において重要な情報を与える。

試料の結晶軸に対して磁場角度を変化させる方法としては、大別して二つのアプローチが存在する。一つは磁場自体の方向を変える方法であり、この場合にはベクトルマグネットが用いられる。スプリットコイルと通常のソレノイドコイルを組み合わせ、それぞれの磁場強度を独立に制御することで、空間内の磁場方向を連続的に変化させることができる。もう一つは、磁場方向を固定したまま試料の向きを変える方法であり、こちらはさらに、インサート全体を回転させる方法と、低温インサート内部に設置された試料ステージのみを回転させる方法に分類される。インサート全体を回転させる方式では、デュワー上部においてインサートを固定するフランジを回転可能な構造とすることで実現されるが、回転軸はインサートの長手方向に限られる。このため、磁場としてはスプリットコイル型マグネットの使用が前提となる。一方、低温インサート内部で試料ステージを回転させる方式では、通常のソレノイドコイルを用いることが可能であり、10 T を超える高磁場環境下での測定が実現できる点が大きな利点である。ただし、試料ステージ回転方式では、回転ステージ上に比熱測定系を構築する必要があるため、空間的制約が

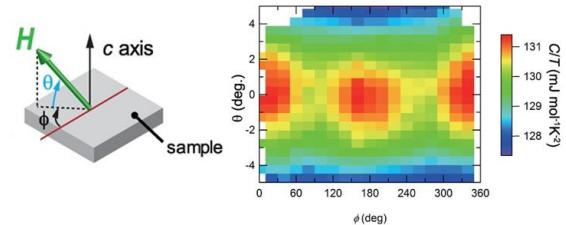


図 2: long relaxation method の磁場角度回転機構の適用例。プローブ回転機構とベクトルマグネットを用いることで、磁場を全方位に印加可能な状況で、微小単結晶の測定が可能である [7]。

存在する。この点において、long relaxation method は、既に述べたように直径約 10 mm 程度の小さなスペースがあれば測定系を収めることができ、その高いコンパクト性を最大限に活かすことができる。回転ステージとしては、インサートの室温部からシャフトを介してギア機構により試料ステージを回転させる機械的方式と、低温環境下で動作するピエゾ素子駆動型ローテーターを用い、室温からの電圧印加によって回転させる方式の二つが一般的である。いずれの方式においても long relaxation method の適用実績があり、安定した比熱測定が可能であることが確認されている。筆者は、比較的汎用的に利用されている attocube 社製の低温用ローテーターを主に用いているが、小型タイプのローテーター（例えば ANRv51）であっても十分な余裕をもって熱量系を構築することが可能である。これら熱量計を備えた回転ステージは、筆者が用いている内径 41 mm の一般的な  $^3\text{He}$  冷凍機インサートにおいても、問題なくセットアップが行えることを確認している [5,6]。また、筆者はベクトルマグネットとプローブ全体を回転させる回転機構を併用することで、図 2 に示すような磁場方向を三次元的に制御した比熱測定も実施しており [7]、磁場角度依存性の詳細な解析に有効であることを確認している。

#### 4. 今後の展望

以上のように、long relaxation method は、限られた空間内に高分解能な熱量計測系を構築できるという特長を有しており、そのコンパクト性と高感度を活かしたさまざまな応用例を紹介してきた。これまで主に比熱測定への適用について述べてきたが、近年の筆者による実験から、本手法は比熱測定にとどまらず、熱輸送測定へも応用可能であることが分かっている。一般に、熱輸送測定では、試料の両端に金線などを用いて電極を取り付け、温度計と熱的につなぎ、試料一端から他端へと定常的な熱流を印加することで、温度勾配と熱流量の関係から熱輸送係数を求める手法が広く用いられている。これは定常法として確立された測定手法

である一方、電極の取り付けや試料形状への制約が大きく、また測定系全体が比較的複雑かつ大型になりやすいという課題を伴う。これに対し、long relaxation method を応用した熱輸送測定では、試料に電極や配線を直接取り付ける必要がなく、測定系を大幅に簡素化できるという利点がある。その結果、試料に課される制約が緩和されるとともに、測定系全体の空間サイズを著しく低減することができる。この特性は、比熱測定の場合と同様に、回転機構への搭載や狭い低温インサート内での測定を容易にし、磁場角度回転測定などの高度な実験手法への展開を可能とする。さらに、本手法では熱流の印加方向を反転させることも可能であり、これにより熱輸送係数の熱流方向依存性を直接的に評価できる点も大きな特長である。加えて、磁場方向と熱流方向を独立に、かつ同時に制御した測定も実現可能であり、磁場中における異方的熱輸送現象や、対称性に由来する新奇な熱輸送応答の解明に対して、有力な測定手法となることが期待される。以上の点から、long relaxation method は、従来の比熱測定手法としての枠を超えて、熱輸送測定を含む多様な低温物性研究へと展開可能な汎用性の高い測定手法であると言える。今後、本手法のさらなる改良と応用範囲の拡張により、極低温・高磁場環境下における新たな物性の探索が一層進展するものと期待される。

#### 5. まとめ

本記事では、比較的低予算かつシンプルな測定セットアップでありながら、高い分解能を実現可能な比熱測定手法である long relaxation method について、その具体的な応用例を中心に紹介した。本手法を用いることで、従来の測定手法により議論してきた熱容量の温度依存性や磁場依存性に加え、磁場角度依存性についても、十分に高い感度で測定できることを示した。さらに、本手法は比熱測定に限定されるものではなく、近年の検討から熱伝導度測定への応用も可能であることが明らかになりつつある。以上のように、long relaxation method は、装置的制約の少なさと高感度測定を両立した

手法として、微小試料や特殊環境下での測定において特に有効である。今後、本手法のさらなる改良と応用範囲の拡張により、極低温・高磁場環境下における新規物性の解明に貢献することが期待される。

## 謝辞

本記事で紹介した比熱測定手法について技術的な面で支援頂いた University of Bristol の Antony Carrington 教授、Liam Malone 博士、Philip Walmsley 博士に感謝申し上げます。また比熱測定系の立ち上げにあたり、筆者の当時の所属先である東京大学大学院新領域創成科学研究科の藏田 聰信氏（当時）、田中 桜平氏（当時）、芝内 孝禎教授には多くのご協力とご助言を頂きました。比熱測定系の熱伝導度測定への拡張行う際には、東北大学の木村 憲彰教授には様々なご協力を頂きました。ここに厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 水上雄太, 東北大学 極低温科学センターだより No.25 (令和6年11月) 技術ノート : シンプルで高分解能な比熱測定系の構築。
- [2] Y. Mizukami, M. Haze, O. Tanaka, K. Matsuura, D. Sano, J. Böker, I. Eremin, S. Kasahara, Y. Matsuda, T. Shibauchi, *Communications Physics* **6**, 183 (2023).
- [3] 例えば、METTLER TOLEDO 社 ウルトラミクロ天秤
- [4] 橘高俊一郎, 物性研究・電子版 Vol.6, No.1, 061204.
- [5] O. Tanaka, Y. Mizukami, R. Harasawa, K. Hashimoto, K. Hwang, N. Kurita, H. Tanaka, S. Fujimoto, Y. Matsuda, E.-G. Moon, and T. Shibauchi, *Nat. Phys.* **18**, 429-435 (2022).
- [6] S. Fang, K. Imamura, Y. Mizukami, R. Namba, K. Ishihara, K. Hashimoto, T. Shibauchi, *Physical Review Letters* **134**, 106701 (2025).
- [7] Y. Mizukami, O. Tanaka, K. Ishida, A. Onishi, Y. Kageyama, M. Tsujii, R. Ohno, N. Kimura, T. Mitsui, S. Kitao, M. Kurokuzu, M. Seto, S. Ishida, A. Iyo, H. Eisaki, K. Hashimoto, T. Shibauchi, *PNAS Nexus* **4**, pgaf060 (2025).

## センターからのお知らせ

# 最近のできごと

### 1. アウトリーチ活動

令和7年8月28日に駒場東中学校・高等学校物理部の生徒42名（引率の先生4名）の訪問を受けました。物理部の夏合宿における行事の一貫として来てくれました（見学コースとして、宮城教育大学、ナノテラス、金属材料研究所強磁場超伝導材料研究センターも含まれていたようです）。見学では最初講堂で物質科学研究における低温と強磁場の意義を講義した後、ヘリウム液化システムの現場説明を行いました。中高の理科・物理ではそれほど出てこない極低温という言葉は、少し難しかったかもしれません。熱心に質問する生徒もいました。なにより、引率の先生方が楽しそうでした（図1）。



図1 東邦駒場中学高校見学において長尺ガスカーボルの見学に向かう様子。

令和7年9月1日 - 3日の日程で低温工学・超電導学会東北北海道支部の第25回若手セミナーが仙台で開催され、そのイベントの一つとして、9月3日に金研強磁場超伝導研究センター・片平地区極低温科学センターの見学会がありました。東北・北海道地区の工学系大学院生・高専生約40人が2グループに分かれて見学に来ました。超伝導材料の研究をしている学生さんも多かったのですが、最近冷凍機冷却を用いる研究室も多いせいか、液体ヘリウ



図2 低温工学・超伝導学会北支部若手セミナー見学においてヘリウム液化機の説明を聞く様子。

ムが実際に作られる現場は彼らにとって新鮮だったようです。ヘリウムの輸入先や海外情勢に関しても質問があり、さすが大学院生といったところでした（図2）。

令和7年7月10日に東京エレクトロン宮城主催「楽しい理科のはなし」の出前授業を大和町立小野小学校（5年生）で行いました。前半に「低温の不思議」のお話し、後半に液体窒素を使った体験実験という構成で行われました。佐々木センター長を筆頭に佐々木研・野島研（極低温科学センター）の学生が講師として参加しました。小学生対応が初めての大学院生もいましたが、ほどなく慣れてうまく説明していたようです（図3）。



図3 小野小学校での授業の様子。

## 2. 片平まつり・きんけん一般公開

令和7年10月11日に片平まつり・きんけん一般公開が開催されました。極低温科学センター（片平地区）のメンバーを含む、金研低温強磁場グループで「マイナス196℃の世界を体験してみよう」というブースを出しました。超伝導ジェットコースターや磁気浮上列車は例年通り人気企画でしたが、液体酸素の凝縮やバラを凍らせるデモ実験も親子共に興味津々で体験してくれました。今回は高温超伝導コイルの中に磁石を落とすという新たなデモも加わりました。磁石が跳ね返る結果は見学者だけでなく、説明を担当した学生にとつても驚きだったようで、今後も続けていきたいと考えています（図4）。

## 3. ナノテラスへのヘリウム供給の現状

令和6年度に稼働を開始した次世代放射光施設「ナノテラス」に対し、当センターでは液体ヘリウムの供給を本格的に開始いたしました。ナノテラスは、国内外の研究者が最先端の放射光を利用して多様な研究を推進する拠点であり、極低温環境を必要とする実験設備も導入されています。そのため、安定かつ継続的な液体ヘリウム供給体制の構築は、施設運用にとっても重要な役割を担っています。当セ



図4 片平まつり・きんけん一般公開「マイナス196℃の世界を体験してみよう」ブースの様子。

ンターでは、令和6年7~9月期より実際の供給を開始し、令和6年度全体としては合計1,794リットルの液体ヘリウムをナノテラスへ供給いたしました。初期段階でありながら多くの実験で液体ヘリウムが利用されており、低温環境を必要とする研究の需要が高まっていることが確認されます。さらに、本年度の供給量については、令和6年度の実績を大きく上回る見込みとなっております。研究ビームラインの本格稼働や、新規実験装置の導入などにより、ナノテラスにおける低温利用の需要は一層拡大しており、それに対応する形でヘリウム供給量も増加傾向にあります。当センターとしても、安定供給を維持するための設備保守や運用体制の強化に努めており、研究活動が円滑に進むよう継続的に支援してまいります。当センターは、液体ヘリウム供給を通じてナノテラスにおける低温研究の発展に貢献できるよう、引き続き尽力してまいります。

## 4. オープンキャンパス

東北大学のオープンキャンパスが、令和7年7月30日および31日の2日間にわたり開催されました。オープンキャンパスは、主に大学進学を控えた高校生を対象として、大学での講義や研究活動に実際に触れ、学問への理解を深めてもらうことを目的として毎年実施されている重要なイベントです。青葉山地区の極低温物理学部でも、例年と同様に「極低温の世界」をテーマとした展示を行い、今年も多くの来場者にお越しいただきました。展示では、液



図5 オープンキャンパスで極低温物理学部が実施した「極低温の世界」の掲示。本年度は、巨視的量子物性研究室の「磁気の世界」と合同で実施しました。

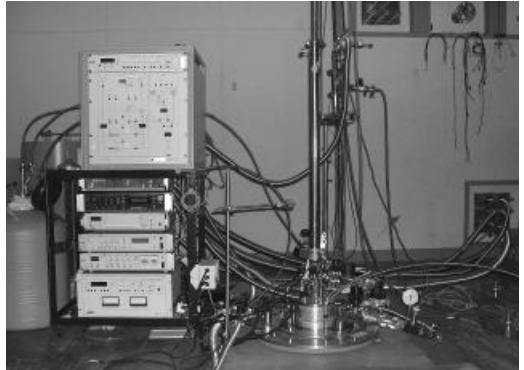
体窒素を用いてさまざまな物質を冷却し、温度によって性質が大きく変わる様子を目の前で観察できるデモンストレーションを実施しました。物質が冷やされることにより色が変化したり、硬さや脆さが変わったりする様子に、参加者は興味深げに見入っていました。今年度は、通常の展示に加えて超伝導に関する磁気浮上実験も行いましたが、超伝導体の上で磁石が宙に浮く現象は、相変わらずの人気を博

していました。今回は、物理学専攻の巨視的量子物性研究室による「磁気の世界」展示と合同で実施したこともあり、磁性や超伝導といった関連する内容で展示がさらに充実し、研究分野のつながりや広がりを来場者に示すことができました。その結果、2日間でのべ 1000 人を超える方々にお越しいただき、大変盛況となりました (図 5)。

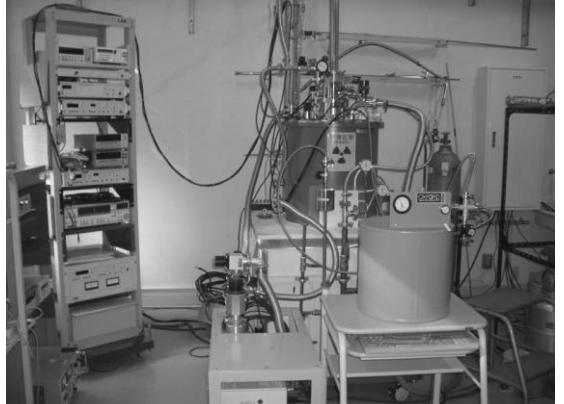
## センターからのお知らせ

# 共同研究、共同利用設備一覧

極低温科学センターでは、共同研究、共同利用実験のため、実験室に以下のような装置を提供しております。ここで「共同研究設備」とは本センター職員と共同で行う研究用の実験装置、「共同利用設備」とは基本的に利用者のみで実験を行う装置です。共同利用の装置は共同研究として使用することも可能です。共同研究および共同利用の申込法、マシンタイム、装置の詳しい性能等に関しては、Web ページ(<http://www.clts.tohoku.ac.jp/equipment.html>)をご覧いただくな、極低温科学センタースタッフ（極低温物理学部（青葉山）：内線 92-6478、低温科学部（片平）：内線 91-2167 または ltcenter-imr@grp.tohoku.ac.jp）にご相談ください。また装置に關係なく低温技術に関する相談にもできる限り応じております。どうぞお気軽に連絡ください。

装置名	場所	分類
トップローディング式希釈冷凍機システム	極低温物理学部	共同研究
装置の説明		
装置仕様 形式：トップローディング方式 試料空間径：24 mm 最低到達温度：20 mK 最高磁場：17 T プローブ：試料回転装置付プローブ 圧力用プローブ  常圧、静水圧、一軸圧下で電気抵抗などの輸送現象、AC 帶磁率、dHvA 効果などの測定が可能です		
		

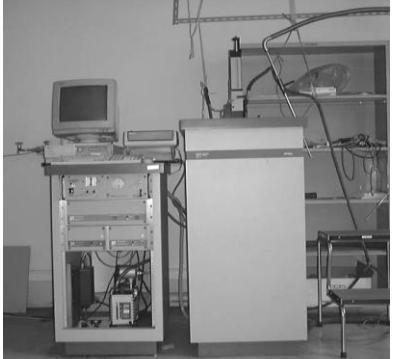
装置名	場所	分類
<sup>3</sup> He クライオスタットインサート	低温科学部	共同研究
装置の説明		
装置仕様 試料空間口径：25mm $\phi$ 最低到達温度：340 mK (ワンショット運転) 530 mK (連続運転) 最低温度到達時間：1.5K より 2 時間  低温科学部にある 9/11T 超伝導マグネット、およびファラデー型超 伝導マグネットに挿入可能な自作の <sup>3</sup> He 冷凍機です。トップロー ーディングとバキュームローディングの両方の形式で実験が行えま す。現在、磁場中輸送特性とファラデーセルを用いた DC 磁化測定 が可能です。		
		

装置名	場所	分類
トップローディング式 <sup>3</sup> He クライオスタットシステム	低温科学部	共同研究
装置の説明		
装置仕様		
Oxford 社 Heliox-TL 形式：トップローディング方式 試料空間径：38 mm 最低到達温度：260 mK 最低温度保持時間：50 h 以上 最高磁場：8 T プローブ：輸送特性測定用プローブ		
装置をウォームアップすることなく、試料の交換が簡単にでき、かつ数時間で室温から最低温度に達することのできる便利なクライオスタットです。		

装置名	場所	分類
ファラデー型超伝導マグネット	低温科学部	共同研究
装置の説明		
装置仕様		
a. バックグラウンドマグネット 均一度：0.1%/cm 最大磁場：8T 口径：63.5mm $\phi$ b. グラディエントマグネット 最大磁場勾配：+/- 6 T/m リニアリティー：+/- 0.1%/cm DSV		
1-8T の磁場中で試料空間に一定の磁場勾配を作るマグネットです。 <sup>3</sup> He クライオスタットインサートと組み合わせて磁化と電気抵抗、VTI (1.5-300K) と組み合わせて電気抵抗が測定可能です。		

装置名	場所	分類
温度可変インサート&9/11T 超伝導マグネットシステム	低温科学部	共同研究
装置の説明		
装置仕様		
a. Cryomagnetics 社製 NbTi マグネット 均一度：0.1%/cm (磁場安定性 1ppm/時間) 最大磁場：9T/11 T (11 T はラムダープレート使用時) 口径：63.5mm $\phi$ b. VTI (温度可変型インサート) 試料空間口径：45mm $\phi$ 温度可変領域：1.5K-325K (安定度 0.1K)		
磁場中輸送特性が測定可能です。		

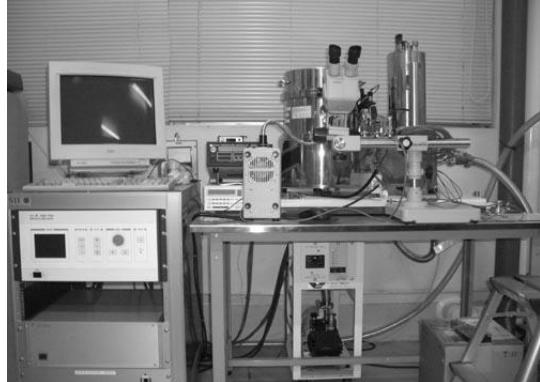
装置名	場所	分類
<b>VSM 磁化測定装置</b>	低温科学部	共同利用
装置の説明		
<b>装置仕様</b> Oxford 社 MagLab <sup>VSM</sup> 最大磁場 : 14 T 温度範囲 : 3.8—300 K ノイズレベル : $2 \times 10^{-6}$ emu(P to P) 分解能 : $1 \times 10^{-8}$ emu  最大 14Tまでの DC 磁化の温度、磁場依存性が自動測定できます。		
		

装置名	場所	分類
<b>SQUID 磁化測定装置-1</b>	低温科学部	共同利用
装置の説明		
<b>装置仕様</b> Quantum Design 社 MPMS <sub>2</sub> 最大磁場 : 5.5 T 温度範囲 : 1.7—350K 分解能 : $1 \times 10^{-8}$ emu  5.5Tまでの DC 磁化の温度、磁場依存性が自動測定できます。		
		

装置名	場所	分類
<b>SQUID 磁化測定装置-A</b>	極低温物理学部	共同利用
装置の説明		
<b>装置仕様</b> Quantum Design 社 MPMS <sub>2</sub> 最大磁場 : 1 T 温度範囲 : 1.8—350K 分解能 : $1 \times 10^{-8}$ emu  1Tまでの DC 磁化の温度、磁場依存性が自動測定できます。 Ultra-low field オプションを使用して極低温場 ( $\sim 5 \times 10^{-4}$ Oe) を実現可能です。		
		

装置名	場所	分類
<b>SQUID 磁化測定装置-B</b>	極低温物理学部	共同利用
装置の説明		
<p>装置仕様</p> <p>Quantum Design 社 MPMS XL</p> <p>最大磁場 : 5 T</p> <p>温度範囲 : 1.8–350K</p> <p>分解能 : <math>1 \times 10^{-8}</math> emu</p> <p>5TまでのDC磁化の温度、磁場依存性が自動測定できます。</p>		
		

装置名	場所	分類
<b>PPMS 物理特性測定システム-A</b>	極低温物理学部	共同利用
装置の説明		
<p>装置仕様</p> <p>Quantum Design 社 PPMS</p> <p>最大磁場 : 9 T</p> <p>温度範囲 : 2.0–350K</p> <p>9TまでのDC電気抵抗の温度、磁場依存性が自動測定できます。</p>		
		

装置名	場所	分類
<b>走査型 SQUID 顕微鏡</b>	低温科学部	共同利用
装置の説明		
<p>装置仕様</p> <p>セイコーインスツルメンツ (株) SQM200</p> <p>温度範囲 : 2–90 K</p> <p>センサーコイル径 : 10 <math>\mu</math>m</p> <p>空間分解能 : <math>2 \times 2 \mu\text{m}^2</math> 程度</p> <p>試料表面の磁化 (磁気) 分布測定が可能です。</p>		
		

装 置 名	場 所	分 類
試料評価用X線回折装置	低温科学部	共同利用
装 置 の 説 明		
装置仕様		
リガク社 RINT2100PC		
最大出力 : 2kW (60 kV, 50mA)		
封入管式ターゲット		
ゴニオ部 : $\theta/2\theta$ 運動、 $\theta$ 、 $2\theta$ 単独 (範囲 : $2\theta = -60\sim158^\circ$ 精度 : $0.002^\circ$ )		
アライメント自動調整、 自動可変スリット		
モノクロメータ		
カウンタ : NaI シンチレータ (700000cps 以上)		
オプション : 薄膜用回転試料台 ラウエカメラ (ポラロイドフィルム)		
解析 : 自動ピークサーチ、多重ピーク分離、 定性分析 (PDF2 カード)		
結晶系決定、格子定数精密化等		



## センターからのお知らせ

# 貸出機器一覧

極低温科学センターでは、低温実験に必要な各種機器の貸し出しを行っております。各機器の貸し出し条件および詳しい使用方法に関しましては、Web ページ(<http://www.clts.tohoku.ac.jp/equipment.html>)をご覧いただくな、極低温科学センタースタッフ（極低温物理学部（青葉山）：内線 92-6478、低温科学部（片平）：内線 91-2167 または [ltcenter-imr@grp.tohoku.ac.jp](mailto:ltcenter-imr@grp.tohoku.ac.jp)）にご相談ください。また装置に関係なく低温技術に関する相談にもできる限り応じております。どうぞお気軽に連絡ください。

装置名	貸出部局
リークディテクターA	極低温物理学部（青葉山）
装置の説明	
<p>装置仕様</p> <p>PFEIFER 社 Quality Test HLT260 真空およびスニファーモードでの検出可能 最高検知感度：<math>5 \times 10^{-13}</math> Pa m<sup>3</sup>/s インレットポート圧力：2500Pa 以下 立ち上がり方式：自動 立ち上がり時間：3 分以下 内蔵ポンプ排気性能：補助ポンプ 3.9 m<sup>3</sup>/h ターボ分子ポンプ 70 l/s 重量：44 kg キャスター付 ディスプレー方式：グラフィック</p>	



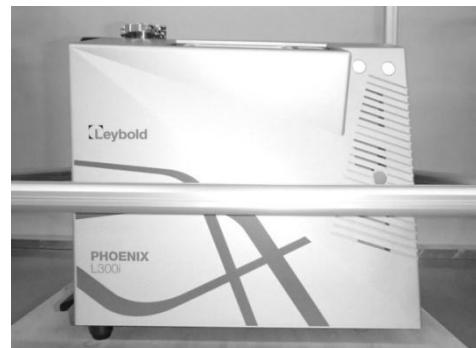
装置名	貸出部局
リークディテクターB	極低温物理学部（青葉山）
装置の説明	
<p>装置仕様</p> <p>OERLIKON LEYBOLD 社 PhoeniXL 300 真空およびスニファーモードでの検出可能 最高検知感度：<math>5 \times 10^{-12}</math> mbar·l/s インレットポート圧力：15 mbar 以下 立ち上がり時間：2 分以下 内蔵ポンプ：ロータリーポンプ 3.2m<sup>3</sup>/h ターボ分子ポンプ 70 l/s 排気性能：2.5 l/s 以上 (FINE) 0.4 l/s 以上 (GROSS) 重量：40 kg キャスター付</p>	



装置名	貸出部局
リークディテクターC	極低温物理学部（青葉山）
装置の説明	

装置仕様

LEYBOLD 社 PHOENIX L300i  
 真空およびスニファーモードでの検出可能  
 最高検知感度 :  $5 \times 10^{-12}$  mbar·l/s  
 インレットポート圧力 : 15 mbar 以下  
 立ち上がり時間 : 2 分以下  
 内蔵ポンプ : ロータリーポンプ  $3.2 \text{m}^3/\text{h}$   
 ターボ分子ポンプ  $70 \text{l/s}$   
 排気性能 : 2.5 l/s 以上 (FINE)  
 0.4 l/s 以上 (GROSS)  
 重量 : 40 kg キャスター付



装置名	貸出部局
リークディテクター1	低温科学部（片平）
装置の説明	

装置仕様

OERLIKON LEYBOLD 社 PhoeniXL 300  
 真空およびスニファーモードでの検出可能  
 最高検知感度 :  $5 \times 10^{-12}$  mbar·l/s  
 インレットポート圧力 : 15 mbar 以下  
 立ち上がり時間 : 2 分以下  
 内蔵ポンプ : ロータリーポンプ  $3.2 \text{m}^3/\text{h}$   
 ターボ分子ポンプ  $70 \text{l/s}$   
 排気性能 : 2.5 l/s 以上 (FINE)  
 0.4 l/s 以上 (GROSS)  
 重量 : 40 kg キャスター付



装置名	貸出部局
リークディテクター(ハンディタイプ)	極低温物理学部（青葉山）
装置の説明	

配管からのヘリウムガスの漏れ検査に用います。

装置仕様

ジーエルサイエンス社 LD239  
 検出方式 : 熱伝導度比較測定  
 感度 : 0.0005mL/min  
 電源 : 充電式、連続動作時間約 5 時間  
 充電時間約 2.5 時間  
 重さ : 約 95g



装置名	貸出部局
リークディテクター(ハンディタイプ)	低温科学部(片平)
装置の説明	
配管からのヘリウムガスの漏れ検査に用います。	
装置仕様 ジーエルサイエンス社 LD229 検出方式: 熱伝導度比較測定 感度: 0.01mL/min 電源: 充電式、連続動作時間約5時間 充電時間約3時間 重さ: 約310g	



装置名	貸出部局
各種シールオフバルブ用オペレータ	低温科学部(片平)
装置の説明	
ヘリウム容器やトランスマーケットの断熱空間引き口に取り付けられたシールオフバルブのオペレータ(真空中で開閉を行う治具)を各種取り揃えています。	
仕様 シールオフバルブ側引き口: (1)外径16mmφ短管, (2)21mmφ短管, (3)35mmφ短管, (4)NW40 フランジ 真空ポンプ側引き口: NW25 フランジ	



## センターからのお知らせ

# 2024 年度共同利用成果

### <SQUID 磁化測定装置（青葉山）>

- M. Maeda, T. D. Matsuda, Y. Haga, K. Shirasaki, and N. Kimura, “Electronic Phase Diagram of Itinerant Electron Metamagnet UCoAl”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **94**, 024707 (2025).
- F. Ito, N. Kabeya, and N. Kimura, “Weakly coupled type-II superconductivity in LaCoSi<sub>2</sub> single crystal”, *Physica C: Superconductivity and its Applications* **630**, 1354655 (2025).
- N. Kabeya, R. Kogane, S. Takahara, S. Nakamura, K. Araki, K. Katoh, N. Kimura, and A. Ochiai, “Effective staggered field for strongly anisotropic moments on the low-symmetry site in Ce<sub>2</sub>Pd<sub>2</sub>Pb”, *Phys. Rev. B* **110**, 174421 (2024).

### <PPMS 物理特性測定システム-A（青葉山）>

- 福村知昭, “希土類単酸化物の薄膜エピキタシーによる合成と物性”, *固体物理* **60**(2), 33(103)-43(113) (2025). (無機固体物質化学研究室)

### <SQUID 磁化測定装置（片平）>

- S. Tajima, H. Masuda, Y. Nii, S. Kimura, Y. Onose, “A high-temperature multiferroic Tb<sub>2</sub>(MoO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>”, *Commun. Mater.* **5**, 267 (2024).
- A. H. Mayo, D.-A. Deaconu, H. Masuda, Y. Nii, H. Takahashi, R. V. Belosludov, S. Ishiwata, M. S. Bahramy, and Y. Onose, “Band asymmetry-driven nonreciprocal electronic transport in a helimagnetic semimetal  $\alpha$ -EuP<sub>3</sub>”, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **122**, e2405839122 (2025).
- T. Taniguchi, K. Osato, H. Okabe, T. Kitazawa, M. Kawamata, S. Hashimoto, Y. Ikeda, Y. Nambu, D. P. Sari, I. Watanabe, J. G. Nakamura, A. Koda, J. Gouchi, Y. Uwatoko, S. Kittaka, T. Sakakibara, M. Mizumaki, N. Kawamura, T. Yamanaka, K. Hiraki, T. Sasaki, and M. Fujita, “Field-Induced Criticality in YbCu<sub>4</sub>Au”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **93**, 124706 (2024).
- T. Taniguchi, K. Kudo, S. Asano, M. Takahama, I. Watanabe, A. Koda, and M. Fujita,

“Fermi-liquid state in  $T^*$ -type  $\text{La}_{1-x/2}\text{Eu}_{1-x/2}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  revealed via element substitution effects on magnetism”, Phys. Rev. B **110**, 085116 (2024).

- P. Xie, M. Takahama, T. Taniguchi, H. Okabe, A. Koda, I. Watanabe, and M. Fujita, “Annealing and doping effects on magnetism for  $T^*$ -type  $(\text{La}, \text{Eu}, \text{Sr})_2\text{CuO}_{4-y}\text{F}_y$  cuprates”, Interactions **245**, 66 (2024).
- Andoni Zabala-Lekuona, Aritz Landart-Gereka, María Mar Quesada-Moreno, Antonio J. Mota, Ismael F. Díaz-Ortega, Hiroyuki Nojiri, Jurek Krzystek, José M. Seco and Enrique Colacio, “Zero-Field SMM Behavior Triggered by Magnetic Exchange Interactions and a Collinear Arrangement of Local Anisotropy Axes in a Linear  $\text{Co}_3^{II}$  Complex”, Inorg. Chem. **62**, 20030 (2023).
- Masahiro Kawamata, Xiaoqi Pang, Hiroshi Murakawa, Seiko Ohira-Kawamura, Kenji Nakajima, Hidetoshi Masuda, Masaki Fujita, Noriaki Hanasaki, Yoshinori Onose, Yusuke Nambu, “Magnetic excitations in the noncentrosymmetric magnet  $\text{Sr}_2\text{MnSi}_2\text{O}_7$ ”, Phys. Rev. Mater. **9**, 014407 (2025).
- T. Elijah Kritzell, Andrey Baydin, Fuyang Tay, Rodolfo Rodriguez, Jacques Doumani, Hiroyuki Nojiri, Henry O. Everitt, Igor Barsukov, Junichiro Kono, “Terahertz Cavity Magnon Polaritons”, Adv. Opt. Mater. **12**, 2302270 (2024).
- Yifei Tang, Yoshihiko Umemoto, Yo Kawamoto, Masahiro Kawamata, Shinichiro Asai, Yoichi Ikeda, Masaki Fujita, Yusuke Nambu, “Unusual spin dynamics in the van der Waals antiferromagnet  $\text{FeGa}_2\text{S}_4$ ”, J. Phys. Condens. Matter **37**, 035801 (2025).
- Dicky Rezky Munazat, Budhy Kurniawan, Nobuyuki Kurita, Xiaodong Wang, Maykel T.E. Manawan, Toto Sudiro, Hiroyuki Nojiri, “Investigation of the impact of A-site cation disorder on the structure, magnetic properties, and magnetic entropy change of trisubstituted divalent ions in  $\text{La}_{0.7}(\text{Ba}, \text{Ca}, \text{Sr})_{0.3}\text{MnO}_3$  manganite”, Phys. Chem. Chem. Phys. **26**, 18343 (2024).
- Andoni Zabala-Lekuona, Xabier Lopez de Pariza, Ismael F. Díaz-Ortega, Javier Cepeda, Hiroyuki Nojiri, Nina P. Gritsan, Alexey A. Dmitriev, Alberto López-Ortega, Antonio Rodríguez-Díéguez, José M. Seco and Enrique Colacio, “From field-induced to zero-field SMMs associated with open/closed structures of bis(ZnDy) tetranuclear complexes: a combined magnetic, theoretical and optical study”, Dalton Trans. **53**, 7971 (2024).

- T. Miyakawa, A. Miyake, X. Xu, T. Omori, M. Tokunaga, R. Kainuma, “Metamagnetic transition behaviors and dissipation energy at low temperatures of (Ni–Co)<sub>50</sub>–Mn–Sn alloys under pulsed high magnetic fields”, Mater. Lett. **382**, 137888 (2025).

<X線回析装置（片平）>

- S. Tajima, H. Masuda, Y. Nii, S. Kimura, Y. Onose, “A high-temperature multiferroic  $Tb_2(MoO_4)_3$ ”, Commun. Mater. **5**, 267 (2024).
- H. Mayo, D.-A. Deaconu, H. Masuda, Y. Nii, H. Takahashi, R. V. Belosludov, S. Ishiwata, M. S. Bahramy, and Y. Onose, “Band asymmetry-driven nonreciprocal electronic transport in a helimagnetic semimetal  $\alpha$ -EuP<sub>3</sub>”, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. **122**, e2405839122 (2025).

<物性測定装置（片平）>

- T. Sakami, H. Ogura, A. Ino, T. Ouchi, T. Nojima, and F. Nakamura, “Metallisation of the Mott Insulator Ca<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> Using Electric Double-Layer Gating”, J. Phys. Soc. Jpn. **94**, 023703 (2025).

## センターからのお知らせ

# ヘリウムの利用法と供給報告

### 1. 液体ヘリウムの申込方法と受取方法

各地区の部局別の申込方法、受取方法を下記表に示します。所属する部局の場所と実際に実験を行う場所が異なる場合、実験を行う場所の申込方法、受取方法に従って下さい。

#### <青葉山地区>

※予約はなるべく使用予定日の1週間前までにお願いします。小型のクライオスタッフを持参して極低温科学センター棟別館(旧理学部低温サブセンター)か工学研究科低温センターで液体ヘリウムを汲み出す場合にはそれぞれの場所へ申し込んで下さい。詳細は極低温科学センターのホームページ <http://www.clts.tohoku.ac.jp/aobayama/> の「受け取りと使用料金」を参照下さい。

部局名	申込方法	受取方法
理学研究科		各研究棟の決められた場所に極低温科学センターが配達します。又は極低温科学センター棟別館で受け取って下さい。
工学研究科	Web サイトよりログイン <a href="http://www.clts.tohoku.ac.jp/aobayama/">http://www.clts.tohoku.ac.jp/aobayama/</a>	各研究棟の決められた場所に極低温科学センターが配達します。又は工学研究科低温センターで受け取って下さい。
薬学研究科		各研究棟の決められた場所に極低温科学センターが配達します。
その他の部局		各部局の決められた場所に極低温科学センターが配達します。

#### <片平地区、星陵地区>

※予約は使用予定日の2日前の16:00までにお願いします。詳細は極低温科学センターのホームページ [http://www.clts.tohoku.ac.jp/katahira\\_seiryou/](http://www.clts.tohoku.ac.jp/katahira_seiryou/) の「受け取りと使用料金」を参照下さい。

部局名	申込方法	受取方法
金属材料研究所*		低温科学部オペレーター室に液体ヘリウム容器を受け取りに来た旨を伝えて受け取ってください。
電気通信研究所		各研究棟の決められた場所に極低温科学センターが配達します。
多元物質科学研究所		各研究棟の決められた場所に極低温科学センターが配達します。
原子分子材料科学 高等研究機構 [AIMR ラボ棟]	Web サイトよりログイン <a href="http://www.clts.tohoku.ac.jp/katahira_seiryou/">http://www.clts.tohoku.ac.jp/katahira_seiryou/</a>	低温科学部オペレーター室に液体ヘリウム容器を受け取りに来た旨を伝えて受け取ってください。
原子分子材料科学 高等研究機構 [上記以外]		各研究棟の決められた場所に極低温科学センターが配達します。
その他の部局		各部局の決められた場所に極低温科学センターが配達します。

(\* 金研強磁場超伝導材料研究センターで液体ヘリウムを利用する際は、金研受入教員の指示に従って下さい)

## 2. 供給報告

令和6年度に極低温科学センターが供給した全学の液体ヘリウムの使用量は約16万3千リットルで、令和5年度の使用量の9割程度となった（図1、表1参照）。新型コロナウイルスによる活動制限解除後に増えていた使用量が減少に転ずることとなったが、この理由として昨今の急激なヘリウム価格の上昇に伴い、利用者の方で使用控えが生じた可能性が考えられる。

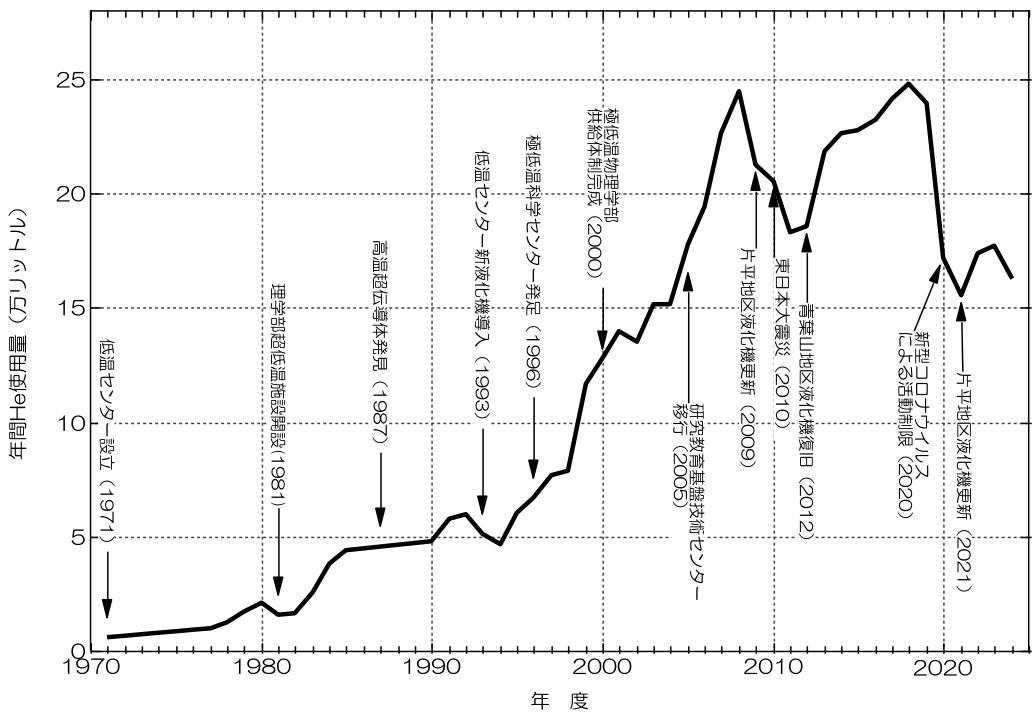


図1. 液体ヘリウムの年間使用量の推移

表1. 最近5年間の液体ヘリウム使用状況

部局名	令和2年度	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度
理学研究科	33,949	43,297	45,677	45,981	41,292
薬学研究科	781	768	773	772	965
工学研究科	7,986	11,022	13,639	8,793	10,461
金属材料研究所	69,968	58,889	72,903	74,422	65,461
電気通信研究所	2,519	2,439	916	1,849	1,983
多元物質科学研究所	22,052	12,038	12,391	13,167	11,163
極低温科学センター	10,764	7,219	12,911	18,781	18,065
学際科学フロンティア研究所	127	228	195	—	—
材料科学高等研究所	19,531	16,703	10,309	10,324	8,457
東北メディカル・メガバンク機構	2,863	2,854	3,393	3,061	3,233
国際集積エレクトロニクスセンター	1,140	—	265	—	—
流体研	—	—	112	—	—
ナノテラス	—	—	—	—	1,794
合計	171,681	155,457	173,484	177,150	162,874

### 3. 使用料金について

- ・使用料金は、ブロック（建物または研究科）ごとの回収率により決定されたヘリウム単価に使用量（使用前と使用後における液体ヘリウム容器内の液量の差）を乗じて算出します。
- ・無回収を前提として供給を受ける場合の液体ヘリウム利用料金は令和7年度において6,133円/リットル（令和6年度において6,013円/リットル）ですが、昨今の世界情勢により現在ヘリウムの調達が困難となっており、原則無回収を前提とした供給は行わないこととしております。
- ・回収率が100%を超えた場合はこれを100%とみなして計算します。

### 4. ヘリウム回収状況

学内平均の回収率は令和6年1月～令和6年12月の期間平均93%（片平地区：92%、青葉山地区：94%）でした。また運営委員会で承認された令和6年度における回収率に応じたヘリウム料金の計算式は

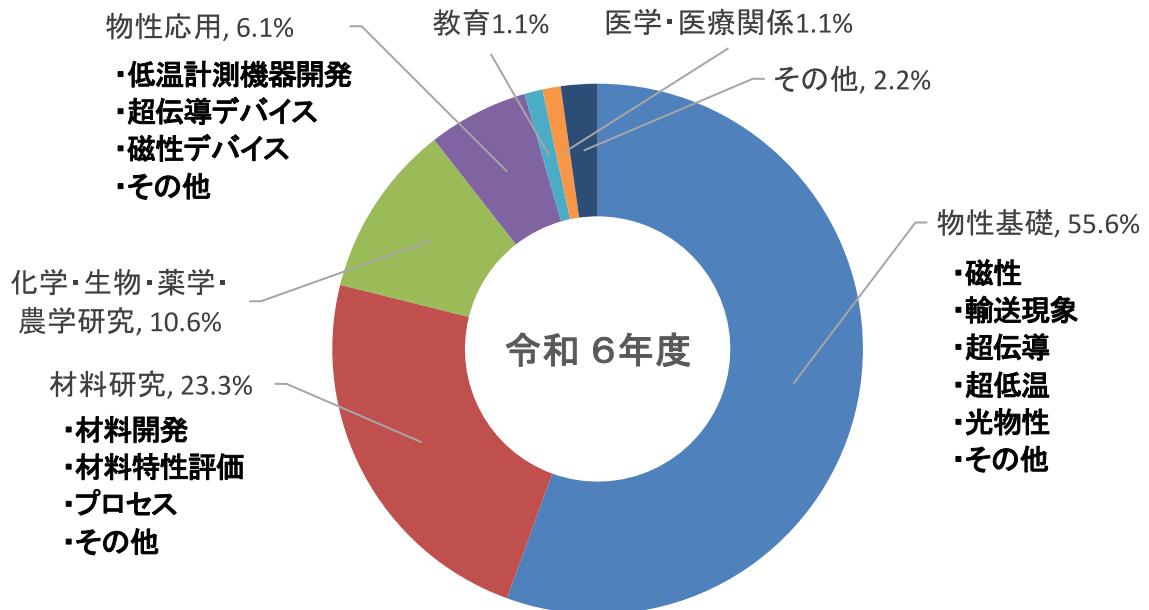
$$1 \text{ リットル当たりのヘリウム利用価格} (\text{円}) = 164 + 5849 \times \{100 - \text{回収率} (\%) \} / 100$$

となり、この方式により計算すると令和6年度前期（後期）の平均価格は573円/リットルとなった（R5年：578円、R4年前期（後期）：273(321)円、R3年：269円、R2年：331円）。

- ・料金、回収率、支払い方法についての質問は内線92-6478（青葉山地区）、内線91-2167（片平、星陵地区）までご連絡下さい。

## 液体ヘリウムを利用した研究

令和6年度の液体ヘリウムを利用した研究について、研究テーマ、研究者数、論文数等のアンケート調査させていただきました。液体ヘリウムを利用した研究テーマの分布は下図のよう、液体ヘリウムを利用した研究者数とその成果は下表の通りです。

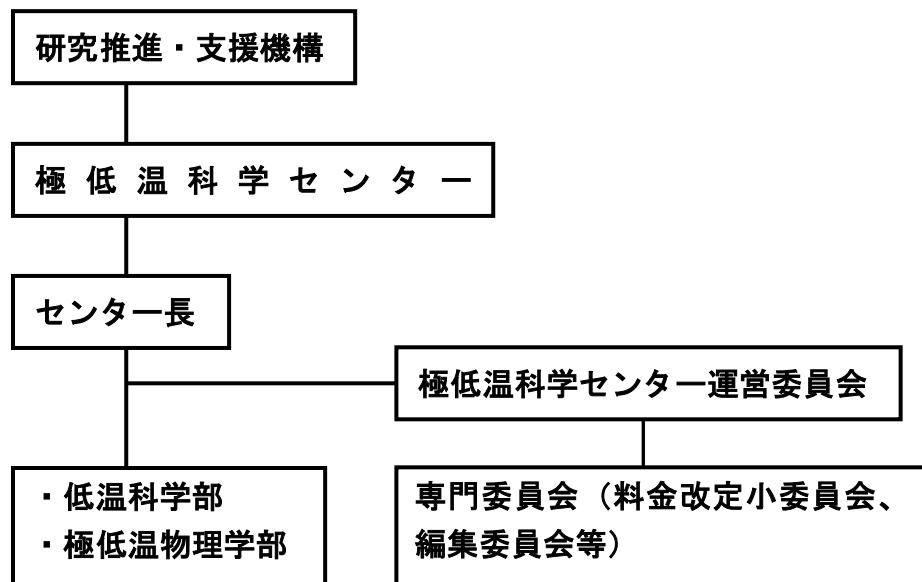


図：液体ヘリウムを利用した研究のテーマ分析

表：液体ヘリウムを利用した研究者数と成果

部局	教職員数(ポスドクを含む)	大学院生数	R6年度論文
理学研究科	24	60	33
薬学研究科	0	0	0
工学研究科	34	66	23
金属材料研究所	46	49	94
多元物質科学研究所	14	26	9
電気通信研究所	7	8	7
材料科学高等研究所	18	20	17
東北メディカル・メガバンク機構	10	0	9
環境科学研究科	3	7	8
計	156	236	200

## センターの組織と運営



### 極低温科学センター運営委員会

委員長	極低温科学センター長（兼任）	教授	佐々木孝彦
委員	理学研究科	教授	遊佐 剛
	医学系研究科	教授	武田 賢
	薬学研究科	教授	金野 智浩
	工学研究科	教授	大兼 幹彦
	農学研究科	教授	山下 まり
	金属材料研究所	教授	小野瀬 佳文
	流体科学研究所	教授	石本 淳
	電気通信研究所	准教授	大塚 朋廣
	多元物質科学研究所	教授	佐藤 卓
	極低温科学センター（兼任）	教授	木村 憲彰
	極低温科学センター（兼任）	准教授	野島 勉
	極低温科学センター（兼任）	准教授	水上 雄太

## 極低温科学センター (Center for Low Temperature Science)

(<http://www.clts.tohoku.ac.jp/> )

センター長 (兼) : 佐々木孝彦 (金研)

### 極低温物理学部

〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

電話 : 022-795-6478 Fax : 022-795-6478

教授 (兼)	木村憲彰 (理学研究科)
准教授 (兼)	水上雄太 (理学研究科)
技術職員	菊地将史 (理学研究科)
技術職員	森山弘章 (理学研究科)
技術職員	島越裕美恵 (理学研究科)
事務補佐員	杉内千恵子
技術補佐員	岩間尚也

### 低温科学部

〒980-8577 仙台市青葉区片平 2 丁目 1-1

電話 : 022-215-2167 Fax : 022-215-2168

准教授 (兼)	野島 勉 (金研)
助教 (兼)	中村慎太郎 (金研)
技術職員	細倉和則 (金研)
技術職員	緒方亜里 (金研)
技術職員	佐伯洋平 (金研)
技術補佐員	中野目俊夫
技能補佐員	太田 有
事務補佐員	岩渕洋美

## 東北大学極低温科学センターだより 第 26 号

令和 7 年 12 月発行

発行者 : 東北大学極低温科学センター

### 編 集 委 員

理学研究科	准教授 今井良宗
工学研究科	准教授 加藤雅恒
金属材料研究所	准教授 野島 勉
電気通信研究所	准教授 大塚朋廣
多元物質科学研究所	講師 高岡 毅
極低温科学センター (兼)	教授 佐々木孝彦
極低温科学センター (兼)	教授 木村憲彰
極低温科学センター (兼)	准教授 野島 勉
極低温科学センター (兼)	准教授 水上雄太

# 目次

<b>巻頭言</b>	-----	1
極低温科学センター長	佐々木孝彦	
<b>研究ノート</b>		
トンネル磁気抵抗素子の $1/f$ ノイズの温度特性評価 大学院工学研究科	-----	3
大兼幹彦、王 育鵬		
カイラル反強磁性体における量子計量の室温操作 電気通信研究所	-----	7
内村友宏、深見俊輔		
<b>技術ノート</b>		
シンプルで高分解能な比熱測定系の構築Ⅱ 極低温科学センター/大学院理学研究科	-----	11
水上雄太		
<b>センターからのお知らせ</b>		
最近のできごと	-----	15
共同研究、共同利用設備一覧	-----	18
貸出機器一覧	-----	23
共同利用成果論文	-----	26
ヘリウムの利用法と供給報告	-----	29
ヘリウムを利用した研究	-----	32
センターの組織と運営	-----	33