

■ 関西支部だより

関西支部では特別講演会として、令和6年11月15日(金)に関西学院大学大阪梅田キャンパスで第23回低温工学・超伝導若手合同講演会を開催した。本講演会は(社)応用物理学会関西支部、(社)日本表面真空学会関西支部およびセンシング技術応用研究会の協賛を得た。募集講演内容は、超伝導エレクトロニクス、低温・超伝導基礎物性、ナノテクノロジーによる低温工学・超伝導研究、低温デバイス開発、超伝導線材および超伝導マグネット開発並びにその応用などである。本講演会は、関西地区在住者に限らず広く全国から低温工学および超伝導関連の研究を進める大学院生、若手任期付研究員ならびに企業の若手研究者等に最先端の研究成果を発表する機会を持っていただき、人材発掘の一助とすると同時に、質疑や討論を奨励し、組織を越えた若手研究者同士の交流を図ることを目的としている。また、本講演会では、若手研究者個人の寄与が大きいと判断されかつ発表内容の水準が高い優秀な講演をした若手研究者には「低温工学・超伝導若手奨励賞」を、そして最優秀発表者には「信貴賞」を授与している。「信貴賞」は初代関西支部長として低温工学の発展に尽力され、とりわけ若手研究者の育成に努められた大阪市立大学名誉教授故信貴豊一郎氏のご徳を顕彰して2011年に設立されたものである。今回は、審査委員長を畑徹氏(大阪市立大学名誉教授)に、審査委員を石田武和氏(大阪公立大学客員教授(大阪府立大学名誉教授))、佐藤謙一氏(低温工学・超電導学会顧問)をお願いした。

今回の講演発表は「午前」4件、「午後A」4件、「午後B」4件、「午後C」4件の16件であり、質疑応答を含め16分講演となった。また最後に、2021年度第20回低温工学・超伝導若手合同講演会で、「信貴賞」を受賞した重政茉於(京都大学大学院工学研究科)氏に招待講演を行っていただいた。以下に「講演題目」講演者所属、氏名を示す。

10:45-11:01 「ナノコンポジットバッファ層を用いた $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7\text{-pure}$ 薄膜への欠陥ピンニングセンターの導入」名古屋大学大学院工学研究科、奥村 慎

11:01-11:17 「配位子間の化学反応を利用して作製した量子ドット超格子の光物性と温度依存性」大阪公立大学大学院工学研究科、高山 大

11:17-11:33 「KOH フラックス法による $(\text{Pr}_{1-y}\text{Sm}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$ 膜の金属-絶縁体転移特性の向上」島根大学自然科学研究科、山本 樹輝

11:33-11:49 「BMO 添加 YBCO/YBCO の積層構造による不連続なナノロッドの導入」名古屋大学大学院工学研究科、伊藤 駿汰

12:50-13:06 「液体水素の貯蔵・輸送に関する数値シミュレーション」神戸大学大学院海事科学研究科、山下 陽也

13:06-13:22 「充填率をパラメータとした横振動時にお

ける液体水素の貯蔵・輸送に関する研究」神戸大学大学院海事科学研究科、武中 悠一郎

13:22-13:38 「キラルな結晶構造を有する TaGe_2 における Al 置換による超伝導発現」大阪公立大学大学院工学研究科、小泉 太護

13:38-13:54 「微細加工熱伝導率測定プローブのセンサー薄膜における課題と対策」大阪公立大学大学院理学研究科、永井 弘哉

14:05-14:21 「低温・高磁場下を利用した核磁気共鳴測定によるディラックフェルミオンの検出手法の構築」兵庫県立大学大学院理学研究科、藤井 拓斗

14:21-14:37 「ジョセフソンプラズマエミッタからの10GHz帯周波数変調テラヘルツ波放射」京都大学大学院工学研究科、杉本 啓太郎

14:37-14:53 「層状 Ni 酸化物高温超伝導 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ の La-NMR/NQR によるマイクロ電子状態」大阪大学大学院基礎工学研究科、大下 裕仁郎

14:53-15:09 「 $\text{Bi}2212$ ジョセフソンプラズマエミッタの同期現象の時間発展解析」京都大学大学院工学研究科、宮本 将志

15:20-15:36 「交流磁界下で直流通電した場合のスパイラル銅複合多芯薄膜高温超伝導線の数値電磁界解析」京都大学大学院工学研究科、本多 尚

15:36-15:52 「超伝導スパイラル導体を巻いたコイルの作製と評価」京都大学大学院工学研究科、上垣 柊季

15:52-16:08 「雰囲気制御による KOH フラックス法 $\text{Nd}123$ 膜の超伝導特性改善に向けた検討」島根大学自然科学研究科、重信 明希

16:08-16:24 「ディラック線ノード物質 CaSb_2 における超伝導」京都大学大学院工学研究科、池田 敦俊
(招待講演)

16:35-17:00 「多種多様な銅複合多芯薄膜高温超伝導線における交流損失の実験則の導出」京都大学大学院工学研究科、重政 茉於

各セッションの概要を以下に示す。

午前は、計4件の発表があった。奥村氏は、 SrTiO_3 (STO) と CeO_2 ナノコンポジット薄膜をバッファ層に用いることにより、YBCO 薄膜中に結晶欠陥を誘発し、そのことが、低温・磁場中における YBCO 薄膜の J_c に与える影響について研究を行った。その結果、YBCO の成膜レートやバッファ層の違いが、YBCO 薄膜の低温・磁場中におけるピンニング力に大きな影響を与えることを明らかにした。また、ナノコンポジット薄膜をバッファ層にした YBCO では、貫通転位とともに Y_2O_3 ナノパーティクルが観察された。このナノパーティクルが磁束ピンニング点として働いていることを見出した。高山氏は、半導体量子ドットが規則的に配列した量子ドット超格子の光物性の温度依存性について

発表を行った。N-アセチル-L-システイン間のアミド結合を利用して、CdTe 量子ドット超格子を作製し、80 K および室温における発光減衰プロファイルを測定した。その結果、発光プロファイルの高エネルギー側ほど、減衰が速く、より低温で顕著となることを示した。励起子の拡張状態（ミニバンド）と局在状態（アンダーソン局在）を考慮するモデルにより、実験結果の説明が可能であることを明らかにした。山本氏は、優れた液相成長法である KOH フラックス法により、 $(\text{Pr}_{1-y}\text{Sm}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$ 薄膜の作製を行っている。 $(\text{Pr}_{1-y}\text{Sm}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$ 薄膜は、金属-絶縁体転移特性を有することから、超伝導コイルのターン間に用いることで、励磁遅延の抑制とクエンチ保護の両立が期待されている材料である。本研究では、KOH フラックス法により、合成温度 600°C の条件で LaAlO_3 基板上に作製した $(\text{Pr}_{1-y}\text{Sm}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$ 薄膜は、異相である CaPoPrO_4 が見られず、明瞭な金属-絶縁体転移特性を示すことを見出した。伊藤氏は、 BaHfO_3 (BHO) 添加 YBCO/YBCO 多層膜構造の J_c 特性に関する研究を行っている。本研究では、「積層数」、「BHO 添加 YBCO 層の比率（積層比）」、「BHO 添加量」の 3 つのパラメータを変化させることにより、ピンニング特性の制御を試みた。その結果、3 つのパラメータが J_c - B 特性に影響を与えることや温度や磁場に応じて 3 つのパラメータの最適値が変化することを明らかにした。また、ガウス過程回帰とベイズ最適化を用いることにより、少数データでも効率的に最適なパラメータを決定することができる可能性を示した。

午後 A は、計 4 件の発表があった。山下氏は貯蔵タンク内部の液体水素の状態変化を予測可能な解析モデルの構築を目指した小型液体水素模擬タンクの実験結果を対象とした数値シミュレーション結果について報告した。流体解析ソフトウェアとして STAR-CCM+ を使い、解析手法として、界面が鮮明な流れに特化した VOF 法と界面が混合している流れに特化した MMP を採用した。その結果、MMP により得られた液体水素の圧力上昇のシミュレーション結果は、実験結果をよく再現できることを明らかにした。武仲氏は液体水素の貯蔵・輸送に関する研究として、横振動時における容器内の液体水素の熱流動特性を明らかにすることを目的とした液体水素用クライオスタットを用いた実験結果を報告した。初期充填率・振動開始圧力をパラメータとして、最大 0.4 MPaG までの振動蓄圧実験を行った。その結果、初期充填率によらず、振動開始圧力が大きい方が入熱量は大きくなることを明らかにした。また、入熱量は静止蓄圧時より振動蓄圧時の方が大きくなることも明らかにした。小泉氏はキラルな結晶構造である六方晶系 C40 構造を有する TaGe_2 に着目し、Ge サイトの Al 置換を通じてフェルミ面近傍の状態密度を制御することで得られた $\text{TaAl}_x\text{Ge}_{2-x}$ は第二種超伝導体であることを見出したことを報告した。 x が 0.2 から 0.4 の範囲で超伝導が発現し、それ以外の領域では超伝導が消失することを明らかにした。ま

た、超伝導転移温度 T_c は x が 0.2 で 2.0 K、 x が 0.4 で 2.2 K であり、この T_c の変化は $\text{TaAl}_x\text{Ge}_{2-x}$ の状態密度の変化に起因することを示した。永井氏は現在精力的に行われているスピントロニクスの研究にも適用可能な微細加工熱伝導率測定プローブの開発における課題と対策を報告した。開発したプローブはヒーターと温度センサーが $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 多層膜によるダイアフラムのみで支持されており、このダイアフラムは内部に存在する残留応力によって座屈が生じることをレーザー顕微鏡像による観察により明らかにした。座屈が発生すると測定物とヒーターおよび温度センサーとの間の熱接触が低下し測定精度が低下することから、ダイアフラムにスパッタ成膜した Ta_2O_5 を使い、熱処理条件を最適化することで、座屈を回避できることを示した。

午後 B は、計 4 件の発表があった。藤井氏は核磁気共鳴 (NMR) により決定される核スピン緩和率 $1/T_1$ の磁場依存性を測定することで高圧下におけるディラックフェルミオンの検出が可能であることを報告した。研究では圧力下において 3 次元ディラックフェルミオンを形成することが理論的に予言されている黒リンについて圧力下 NMR 測定を 2 T から 24 T の広い範囲で行い、 $1/T_1 T$ が磁場の 2 乗に比例することを明らかにした。このふるまいは 3 次元ディラックフェルミオンのゼロモードランダウ準位により説明されるものであり、黒リンにおいて圧力下で 3 次元ディラックフェルミオンが存在することを示している。本研究で開発された手法は圧力下でディラックフェルミオンを検出できる強力なツールであり、今後のトポロジカル物質研究への貢献が期待される。杉本氏は $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) 単結晶を用いたジョセフソンプラズマエミッタ (JPE) への 7.5 GHz 交流電圧印可によるテラヘルツ波発振に成功したことを報告した。JPE では印可電圧を変調することで発振されるテラヘルツ波の周波数を変調することができる。従来は 3 GHz までの周波数変調でのテラヘルツ波発振が行われてきたが、この研究では変調周波数 7.5 GHz でのテラヘルツ波発振に成功した。7.5 GHz 以上の変調周波数でのテラヘルツ波発振を実現するためには回路インピーダンスの更なる調整が必要であることが報告された。大下氏は層状ニッケル酸化物高温超伝導体 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_{7+\delta}$ (La327) の常圧における NMR 及び核四重極共鳴 (NQR) 測定を行い、 T^* 以下での秩序状態での電子状態の微視的な変化を報告した。La327 はごく最近高圧下で転移温度が 80 K に達する超伝導転移が報告され、注目を集めている。実験では酸素欠損がある試料と無いとされる試料の NQR 測定の比較を行い、局所電子状態が大きく異なることを明らかにした。また酸素欠損が無いとされている試料においても積層欠陥などの結晶構造の乱れに起因して局所環境の異なる La サイトが複数存在することを示した。これらの試料では X 線構造解析からは単一相とされているが、NMR/NQR 測定では X 線構造解析よりもはるかに高感度に局所環境の違いを検出できる

ことを示した。宮本氏は Bi2212 単結晶を用いた JPE について変調周波数の変化に伴うテラヘルツ波のスペクトル変化を精密に測定し、理論モデルと比較することで求めた固有ジョセフソン接合(IJJ)の同期緩和時間について報告した。Bi2212 は結晶構造に由来して c 軸方向に多数の IJJ を持つため、テラヘルツ発振においては多数の IJJ の同期緩和が重要となる。研究では 10 kHz から 3 GHz まで変調周波数を細かく制御し、それぞれの条件下でテラヘルツ発振のスペクトルを測定した。同時に同期緩和についてのモデルを作成し、実験結果との良い一致を得た。同期緩和モデルと実験結果の比較から同期緩和時間を求めた。

午後 C は、計 4 件の発表があった。本多氏は、動的抵抗が発生する交流磁界・直流通電という条件下における超伝導線の損失特性を定量的に明らかにするため、直線状の単芯線と多芯線、スパイラル形状の単芯線と多芯線、の計 4 種を対象とした数値電磁界解析を実施し、動的損失や磁化損失、全損失等の比較評価を行った。結果、多芯化かつスパイラル状の構造が動的抵抗の低減にも有効であることが示され、今後はこの線材を多層化した解析を行い、SCSC ケーブルでの損失や動的抵抗の数値計算を進めていくと報告。上垣氏は、スパイラル導体を用いた多層・多ターンコイルを作製し、通電特性および交流損失特性の評価を行った。V-I 特性の結果からコイル巻きの前後で機械的な劣化が無いことを確認、交流電力計を用いた交流損失の測定を行い、結果、超伝導線において生じるヒステリシス損失が、黄銅コアや銅テープにて生じる渦電流損失と比べて支配的となっていると思われること、スパイラル導体が横磁界を経験したことにより、コイルの損失は直線状の超伝導線で生じる損失より大きくなっていることが確認できたと報告。重信氏は、水酸化カリウムを溶剤として用いる KOH フラックス法により制作した Nd123 膜の超伝導特性を改善するため、原料に含まれる酸素量の影響とその温度特性について調査を行った。結果、原料の酸素含有量を少なくするほど Nd123 膜の均質性は向上するが、Nd123 膜の合成および Tc 低下の抑制には適度な酸素が必要であり、系全体の酸素量を制御することが重要であると報告。池田氏は、CaSb₂ の単結晶を育成し、量子振動と角度分解光電子分光の実験を行った。結果、擬 2 次元的なフェルミ面を観測するとともに、超伝導状態の臨界磁場には異方性がみられ、臨界磁場の温度依存性はマルチバンド超伝導を仮定した曲線で説明できることを示した。これらの結果から、線ノードを持つ擬 2 次元的なフェルミ面が超伝導に寄与していると考えられると報告。

いずれもたいへん活発な質疑応答が行われた。講演の最後に、大阪公立大学名誉教授の石川修六氏による、信貴賞の設立経緯および信貴先生の思い出について紹介があった。その後、厳正な審査のもとに、兵庫県立大学の藤井拓斗氏に「信貴賞」、名古屋大学の伊藤駿汰氏、大阪公立大学の小

泉太護氏、京都大学の宮本将志氏、京都大学の池田敦俊氏に「低温工学・超伝導若手奨励賞」が授与された。講演会終了後は、有志による懇親会は行われ、審査委員と発表者、聴講者の親睦交流がなされた。写真は信貴賞および奨励賞受賞記念写真で、後列左から佐藤審査委員、畑審査委員長、石田審査委員、前列左から、小泉氏、伊藤氏、藤井氏、池田氏、宮本氏である。最後に主催者として、3 名の審査委員の先生方および熱心に議論して頂いた 36 名の講演会参加者全員に深甚な感謝の意を表する。

(尾崎壽紀、佐藤和郎、海野峻太郎、宍戸寛明、上野栄作)



写真 講演会奨励賞受賞者および審査委員