

## ■関西支部だより

関西支部では特別講演会として、令和5年11月24日(金)に関西学院大学大阪梅田キャンパスで第22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威を顕彰して2011年に設立されたものである。今回は、審査委員長を見玉隆夫氏(大阪市立大学元学長)に、審査委員を石田武和氏(大阪公立大学名誉教授)、佐藤謙一氏(低温工学・超電導学会顧問)にお願いした。

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」3件の15件であり、質疑応答を含め17分講演となった。以下に「講演題目」講演者所属、氏名を示す。

10:45-11:02 「Design, Fabrication, and Testing of Prototypes of High-Temperature Superconducting Induction/Synchronous Electric Machines for Future Zero-Emission Electric Aircraft Propulsion」京都大学大学院工学研究科、高 雲飛

11:02-11:19 「超伝導マグネットシステムを転用したパルス強磁場・断熱消磁クライオスタットの開発Ⅲ」大阪公立大学大学院理学研究科、前川 翔

11:19-11:36 「液体窒素との違いよりみた液体水素タンク内部の状態変化予測に関する研究」神戸大学大学院海事科学研究科、幡井 翔悟

11:36-11:53 「パルスレーザー蒸着法による  $\text{La}_{1-x}\text{Gd}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  薄膜作製への取り組み」関西学院大学大学院理工学研究科、氏島 陸

13:15-13:32 「NMR マグネット向け冷媒蒸発抑制装置」ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー、松本 拓也

13:32-13:49 「NMR による層状ニッケル酸化物高温超伝導の母相のマイクロ電子状態」大阪大学大学院理学研究科、梶 昌孝

13:49-14:06 「ジョセフソンプラズマ放射源におけるマイクロ波電圧変調スペクトル」京都大学大学院工学研究科、宮本 将志

14:06-14:23 「REBCO 線材の安定化層形成に向けた導電性酸化物  $\text{LaNiO}_3$  の低温成膜条件の検討」京都大学大学院エネルギー科学研究科、湊 優貴

14:33-14:50 「 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  プロープの尖鋭化と特性評価」豊橋技術科学大学大学院工学研究科、大西 漠

14:50-15:07 「KOH フラックス法による金属-絶縁体転移材料  $(\text{Pr}_{1-y}\text{Sm}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$  膜の作製と評価」島根大学大学院自然科学研究科、山本 樹輝

15:07-15:24 「KOH 法 Nd-Ba-Cu-O への Ca 添加によるキャリア濃度制御」島根大学大学院自然科学研究科、鶴鶴 瑛介

15:24-15:41 「ジョセフソンプラズマ放射源における周波数変換現象」京都大学大学院工学研究科、柳生 望光

15:51-16:08 「テラヘルツ時間領域分光による超伝導-強磁性二層膜における複素伝導度解析」京都大学大学院工学研究科、西村 太一

16:08-16:25 「カイラルソリトン格子の集団励起に基づく交換相互作用の系統的評価」大阪公立大学大学院工学研究科、庄司 大希

16:25-16:42 「銅複合マルチフィラメント薄膜高温超伝導線材の結合時定数と銅安定化層抵抗率の 4.2 K~77 K における測定」京都大学大学院工学研究科、上垣 冬季

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。高氏は航空機に用いることを目標とした超伝導モーターおよび発電機の開発について報告した。本研究ではこれまでローターバーに使用していたビスマス系テープ材の代わりに、RBCOバルク材を用いることを提案しており、液体窒素温度で十分なトルクが得られており、発展が非常に楽しみな成果である。前川氏はパルス強磁場中で1K以下の低温を得るために、断熱消磁による冷却を試みている成果を発表した。特に今回は消磁塩への磁場印加に超伝導マグネットを利用する提案であり、磁場印加部への熱伝導という課題について着実な成果を挙げてきているので、パルス強磁場中での極低温測定の普及に期待が持てる。幡井氏は、安全な液体水素運搬船や燃料電池トラックの大型水素タンクなどで、液体水素を安全に運搬する技術の開発に液体窒素が代用できるか、という問いの下、液体窒素と液体水素の圧力変化の類似性・相違性について得られた成果を報告した。液体窒素の方が蓄圧時間が長かったほか、温度分布にも顕著な違いが見えた。氏嶋氏は100Kに迫る $T_c$ が得られるLaBCO薄膜をパルスレーザー蒸着法で育成し、 $T_c$ 上昇を目指した研究を推進している。 $T_c$ の上昇には、サイト秩序が重要であり、ターゲットバルクの最適化への手掛かりが得られた。

午後 A は、計 4 件の発表があった。松本氏は近年価格が高騰し、入手も困難になってきている液体ヘリウムの使用量を減らす装置の開発について報告した。装置は高分解能 NMR 超電導マグネットの液体ヘリウムと液体窒素の蒸発を、GM 冷凍機を用いてゼロにするものである。高分解能 NMR 測定ではわずかな振動がノイズとなって測定に影響を及ぼすことから冷凍機振動が課題になる。これに対し NMR 測定で問題となる低周波成分が少なくなるような冷凍機支持構造を開発した。製作した試作機では冷媒蒸発量をゼロとし、振動が NMR 測定に支障のないことを確認できた。梶氏は本年 5 月に報告された 80K を超える  $T_c$  をもつニッケル酸化物に関し、その高温超電導現象の解明を目的として NMR による研究を行っている。今回の報告では高圧下での高温超伝導現象が確認された  $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$  と比較サンプルの  $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10}$  の常圧下での La-NMR の測定結果と考察が示された。スペクトルの温度変化からは、どちらのサンプルでも低温で CDW 的な転移が観測された。また緩和時間の測定から両者とも CDW 的な転移を起こした温度よりも十分低い領域でも金属的なフェルミ面の存在を示唆する結果が得られた。こうしたことから、両サンプルの電子状態は類似のものであることが推定され、 $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10}$  についても新たな高温超伝導体となりうる可能性が示唆された。宮本氏はテラヘルツ波光源候補として研究されているジョセフソンプラズマ放射源 (JPE) の周波数変調スペクトルについて報告した。JPE は将来、テラヘルツ通信の実現につながることを期待されている。研究では JPE の印加電圧に 3GHz と 10kHz の変調電圧を加えることにより、放射電磁波を周波数変調し、テラヘルツ帯の周波数変調スペクトルを観測することに成功した。周波数変調は通信において搬送波に信号を重畳するために必要であることから、今回報告の成果がテラヘルツ通信の発展につながることへの期待が示された。湊氏は REBCO 線材のコスト低減のため、安定化層材として用いられている Ag を導電性酸化膜に置き換えた研究について報告した。導電性酸化膜として  $\text{LaNiO}_3$  を YBCO 上に 150nm 堆積した試料において抵抗率を測定し、77K において  $1.2\sim 2.4\ \Omega\cdot\text{cm}$  と低い値を確認した他、Ag 層の代替として重要な指標となる酸素透過速度についても確認した。今後は  $\text{LaNiO}_3/\text{LBCO}$  上に直接 Cu 層を堆積し、貴金属である Ag を使用しない REBCO 線材への開発を進めていく。

午後 B は、計 4 件の発表があった。大西氏は、HTS トンネル接合の創製を目的として、YBCO 製プローブの開発を行った。ファインカッターや研磨装置、FIB 装置を駆使して YBCO バルクをプローブへと加工した結果、尖端曲率半径 334 nm という鋭利な形状を実現した。X 線回折や抵抗-温度特性の各種評価を経て角棒の超伝導特性を確認し、AFM システムへの搭載試験を行った結果、同プローブが十分な空間分解能を有することを実証した。FIB における

汚染の影響においても、Ar イオンミリングを行うことで除去できると考えられる。液体窒素冷却可能な STM に搭載し、電流-電圧特性を取得し、仕事関数に由来すると考えられる約 1 V からの電流の立ち上がりを確認した。山本氏は、KOH フラックス法を用いて作製した  $(\text{Pr}_{1-y}\text{Sm}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$  膜の M-I 転移特性の発現について報告した。Ca 量が最も膜に固溶する実験条件において、RE にあたる Sm の原料比を変えて成膜し、作製した試料の評価を行った。LaAlO<sub>3</sub> 基板上に作製した膜の XRD  $2\theta$ - $\theta$  測定結果から、 $y=0.4, 0.5$  において全体としては  $(\text{Pr}_{1-y}\text{Sm}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$  が連続的に成長していることが確認できた。異なる原料 Sm 比で LaAlO<sub>3</sub> 基板上に作製した膜の電気抵抗率の温度依存性を評価したところ、 $y=0.3$  以上の膜では緩やかな M-I 転移が観測され、 $y=0.3$  から 0.5 にかけて M-I 転移温度が高くなった。鷗鶴氏は、KOH フラックス法を用いて作製した  $\text{Nd}_{1-y}\text{Ca}_y\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  において、 $\text{Nd}^{3+}$  を  $\text{Ca}^{2+}$  で置換することによりホール濃度を増加させることで、Nd123 膜の  $T_c$  改善を試みた。Ca 添加量  $y = 0, 0.1$  は Nd123 単相膜であったのに対し、 $y = 0.2$  以上では Nd123/124 の混相膜となった。これは Ca 含有量の増加により Nd123/124 相境界が低温側にシフトしたためと推測された。500°C で作製した Nd123 単相膜における規格化した磁化率の温度依存性から、 $y = 0 \sim 0.3$  において Ca 添加量増加に伴う  $T_c$  の上昇が確認された。柳生氏は、ジョセフソンプラズマ放射源 (JPE) における周波数変換現象について報告した。従来とは異なる JPE を用いることにより高周波の変調を加えることを試みた。3 GHz の変調を加えた場合、理論通り放射周波数  $\omega_c$  を中心に変調周波数  $\omega_m$  おきのピークを観測できた。一方で、ピークの現れる場所や強度は左右非対称なものとなった。また、6 GHz の変調周波数においても変調を確認した。今後は単一モードで発振し、より高周波数を加えることができるような JPE の作製に取り組んでいく。

午後 C は、計 3 件の発表があった。西村氏は、テラヘルツ時間領域分光を用いて  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  (YBCO) 単層薄膜と YBCO -  $\text{Pr}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$  (PCMO) 二層膜の複素伝導度測定を行った。その結果、両試料ともに超伝導ゆらぎが確認でき、さらにその超伝導ゆらぎは、単層膜に比べ二層膜で抑制されていることがわかった。このことから、強磁性体が超伝導ゆらぎに影響を及ぼすことが示唆されると報告した。庄司氏は、磁気共鳴スペクトルを用いて、カイラル磁性結晶  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  の交換相互作用の大きさ ( $J_{\perp}$ ,  $J_{//}$ ,  $D$ ) と熱力学特性の関係 ( $H_c$ ,  $T_c$ ) を調べた。その結果、 $D$  は  $H_c$  と線形な関係があり、この関係は Chiral Sine-Gordon モデルの解析解と傾向が一致している。また、磁気異方性磁場  $H_m$  と  $T_c$  が相関しており、これは、平均場解析で定性的に説明できると報告した。上垣氏は、電流容量が大きく、低交流損失でロバストなケーブルである SCSC ケーブルの基本形態である銅複合マルチフィラメント薄膜高温超伝導線材における、

結合時定数  $\tau_c$  と銅安定化層抵抗率の温度依存性を調べた。その結果、 $\tau_c$  は、銅層厚さに伴い大きくなるが、単純な比例関係にはない。これは、フィラメント間の 2 次元的な電流経路に依存している可能性があることを示した。また、低温になるほど  $\tau_c$  は、大きくなるが、20 K 以下では、ほとんど変化しないと報告した。

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、京都大学の宮本将志氏に「信貴賞」、豊橋技術科学大学の大西漢氏、大阪公立大学の庄司大希氏、ジャパンスーパーコンダクタテクノロジーの松本拓也氏、京都大学の湊優貴氏に「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、4 年ぶりに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、前列左から佐藤審査委員、児玉審査委員長、石田審査委員、後列左から、松本氏、大西氏、宮本氏、湊氏、庄司氏である。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 37 名の講演会参加者全員に深甚な感謝の意を表す。

(尾崎壽紀、掛谷一弘、斉藤一功、中本将嗣)



写真 講演会奨励賞受賞者および審査委員