

## 関西支部だより

関西支部では特別講演会として、令和3年11月26日(金)に大阪市立大学文化交流センターで第20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、若手任期付研究員並びに企業の若手研究者等を支援する趣旨で開催され、若手研究者に幅広い視点を身に付けてもらうと同時に、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威徳を顕彰して2011年に設立されたものである。今回は、審査委員長を児玉隆夫氏(大阪市立大学元学長)に、審査委員を四谷任氏(元大阪産業技術研究所)、山田忠利氏(マグネットテクノロジー)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」3件、「午後 C」3件の14件であり、質疑応答を含め18分講演となった。以下に「講演題目」講演者所属、氏名を示す。

- 11:05-11:23「酸化ガリウムのテラヘルツ領域における導電率異方性の温度依存性」大阪大学レーザー科学研究所、Wang Ke
- 11:23-11:41「遷移金属カルコゲナイド $Mn_{1/3}TaS_2$ におけるキラル磁気ソリトン格子形成の検証」大阪府立大学大学院工学研究科、宮城 悠也
- 11:41-11:59「微小試料NMR測定を可能にする極低温低ノイズアンプと平面型コイルの開発」大阪大学大学院基礎工学研究科、西岡 颯太郎
- 11:59-12:17「微小結晶用熱伝導率測定プローブの開発と磁性体の熱伝導率」大阪府立大学大学院理学系研究科、薄航大
- 13:20-13:38「不純物ポテンシャル下での渦糸系の分子動力学シミュレーション」大阪府立大学大学院工学研究科、青木 統五
- 13:38-13:56「第1種超伝導ワイヤーの中間状態の現象論的シミュレーション」大阪府立大学大学院工学研究科、水原 祥天
- 13:56-14:14「液体水素の熱流動現象に関する基礎研究」神戸大学大学院海事科学研究科、松田 竜之介
- 14:14-14:32「横振動下における極低温液体の流体シミュレーション」神戸大学大学院海事科学研究科、池北 智亮

- 14:47-15:05「Fe基板上に作製した $MgB_2$ 薄膜へのポストアニールによるTcとJcの向上」京都大学大学院エネルギー科学研究科、山崎 輝
- 15:05-15:23「パルスレーザー蒸着法による $MgB_2$ 薄膜の作製と超伝導特性」関西学院大学大学院理工学研究科、菊川 悟志
- 15:23-15:41「パルス強磁場、断熱消磁、 $^4He$ 熱伝達による強磁場超低温環境の構築」大阪府立大学大学院理学系研究科、吉田 勝一
- 15:56-16:14「磁気力制御による新生血管閉塞療法に関する基礎的研究」大阪大学大学院工学研究科、得丸 裕伍
- 16:14-16:32「磁気分離法を用いたマイクロプラスチックファイバーの除去に関する研究」大阪大学大学院工学研究科、藤井 里至
- 16:32-16:50「スパイラル銅複合多芯薄膜線材の磁化損失低減に対するフィラメント幅・線材幅縮小の効果」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。

午前はテラヘルツ関係1件、磁性研究1件、測定開発関係2件の発表があった。Wang氏は大きなバンドギャップを持つ酸化ガリウムのテラヘルツ領域での分光について発表した。温度可変のテラヘルツ時間領域分光法(THz-TDS)を用いて90 Kから500 Kの範囲で複素屈折率の温度依存性を測定し、異方的電気伝導特性などを導出したところ、通常の半導体と異なり温度上昇とともに導電率が下がる結果を得た。また、異方性についてはa軸がドルーデ応答を示し、c軸は非ドルーデ応答を示す。一方、Feドーピングした酸化ガリウムでは導電率が小さく、温度依存性も小さいが、異方性に関してはアンドープの酸化ガリウムと同じ応答を示す。これらの知見を活かしパワーデバイスへの応用が期待される。宮城氏は $Mn_{1/3}TaS_2$ の純良単結晶を合成し、これがキラルらせん磁性を示すことを報告した。スピンの向きがらせんを描くように秩序化するものをらせん磁性といふ新奇物性が報告されている。キラルな結晶構造を有す $Cr_{1/3}TaS_2$ が典型物質で多くの研究があるが、CrをMnに置換した物質においてもキラルらせん磁気秩序を発現することを示した。磁場を印加すると強磁性に転移するが、転移磁場が温度低下とともに発散的に増大することを見出し興味深い。今後、中性子回折測定などを行う予定とのことである。西岡氏は微小試料NMR測定を可能にする極低温低ノイズアンプと平面型コイルの開発について報告した。昨年、超高圧下で発見された室温超伝導を示す物質のNMR測定を目指している。まず、超小型低ノイズプリアンプをNMRプローブに組込むことにより極低温動作が可能なNMRプローブ組込み型アンプを開発し、S/N比の2倍以上の向上を実現した。次に、試料とコイルの密着性を高めるため平面展開型コイルを開発した。これらの結果、予備的な薄膜NMR測定データが得られているが、さらにS/N比向上を目指し、最適条件を見出すとのことである。薄氏は微小結晶用熱伝導率測定プローブの開発と磁性体の

熱伝導率について発表した。長さ 1 mm 程度の微小試料の熱伝導を測定するため、ダイヤフラム上にヒータと 2 個の温度センサーを微細加工で製作し、その上に試料をグリッドで貼り付けるという手法で装置開発を行っている。今回、磁場中で相転移を起こす反強磁性体  $\text{CsCuCl}_3$  の熱伝導率測定では、試料研磨時の表面粗さが測定に大きく影響することなど判明した。今後のさらなる開発が期待される。

午後 A は超伝導理論 2 件、液体水素などの流体解析 2 件、計 4 件の発表があった。青木氏は、交流電流を印加したときの渦糸ダイナミクスの違いを可視化するために、分子動力学に不純物ポテンシャルを有限要素法で取り入れたシミュレーションを行った。渦糸が定常状態になるまでの時間を示す緩和時間を緩和関数によって得ることで、不可逆相における緩和時間の発散を見つけたと報告した。水原氏は、第 1 種超伝導ワイヤーに臨界電流  $I_c$  以上の電流を流した時の超伝導相と常伝導相が共存する中間状態の構造について、有限要素法を用いて Ginzburg-Landau (GL) 方程式を解くことで調べた。その結果、ロンドンが、London 方程式に基づいて提案した構造に近い構造をとることがわかった。また、ベクトルポテンシャルを固定した条件の方が、位相を固定した条件よりも計算の収束が早く、超伝導の強弱が明瞭になることを報告した。松田氏は、液体水素の熱流動現象を明らかにするために、急減圧時における液体水素容器内部の光学観察及び熱流体解析を行った。液体水素では白いミストがはっきり確認されたが、液体窒素ではほとんど確認されなかった。これは、表面張力や密度の違いによるものであると考えられるとのことであった。また、液体水素において、成層状態の方が飽和状態に比べて、減圧中の熱流動現象が穏やかであると報告した。池北氏は、横振動下における極低温液体の気液界面の光学観察と流体シミュレーションの結果を比較して、横振動下における極低温液体の振動モデル等を評価した。振動を受けるタンク内の流体を 1 自由度振動系であるとみなした振動モデルを構築することで、再現性の高い計算モデルを構築できたと報告した。

午後 B は、 $\text{MgB}_2$  薄膜に関する研究が 2 件、強磁場超低温環境の構築に関する研究 1 件の合計 3 件の発表があった。山崎氏は、 $\text{MgB}_2$  超伝導線材の実用化を目指し、EB 蒸着法による  $\text{MgB}_2$  薄膜の作製に関する研究を行っている。その中で、 $\text{MgB}_2$  薄膜を Si 基板上に作製し、ポストアニールを行った場合と比較して、SUS304 基板上に作製し、ポストアニールを行った場合には、 $J_c$  が低いレベルにとどまることを見出した。この原因を解明するために、Fe 基板上に  $\text{MgB}_2$  薄膜を作製し、ポストアニール時間を変えてその特性を調べた。その結果、650 °C で 3 時間以上アニールを行うと、 $T_c$  と  $J_c$  が共に低下した。基板由来の Fe が  $\text{MgB}_2$  薄膜中に拡散したことが低下の原因である可能性を示した。菊川氏は、宇宙空間で発電した電力を地上に送電するワイヤレス伝送システムについて紹介し、その中で、超伝導ダイオードデバイスが必要であることを説明した。そこで、超伝導ダイオードの新規材料として  $\text{MgB}_2$  に着目し、PLD 法に

より、 $\text{MgB}_2$  薄膜を作製する研究を行った。 $\text{MgB}_2$  薄膜の作製は、PLD 法により前駆体薄膜を作製し、その後熱処理を行うという 2 step 法を用い、PLD ターゲットの組成比を変えて研究を行った。その結果、PLD 法においても比較的高い  $T_c$  と  $J_c$  を有する  $\text{MgB}_2$  薄膜を作製することができ、 $\text{MgB}_2 : \text{Mg} = 1 : 2$  のターゲットを用いた場合に、最も  $T_c$  が高い薄膜が得られることを示した。吉田氏は、量子スピン系や量子反強磁性体の物性研究では、強磁場中でかつ 1 K 以下の極低温で実験を行うことの必要性について説明を行った。そこで、本研究では、高価な  $^3\text{He}$  を用いた希釈冷凍機を用いない常磁性断熱消磁法による冷却システムを採用し、パルス強磁場との複合極限環境の構築を試みた。この構築において、磁氣的干渉を避けるために、試料測定部と消磁塩の距離を離す必要性が生じ、その部分の熱伝達が課題となる。そこで、超流動ヘリウムを用いた熱伝達システムを設計・制作した。その結果、使いやすい工夫がなされたクライオスタットの作製に成功し、初期温度 5.34 K で超伝導磁場 2.6 T の条件下で、最低到達温度 0.66 K を達成した。

午後 C は磁気力応用研究 2 件、HTS ケーブル開発 1 件の計 3 件の発表があった。得丸氏はがん治療を目的とし、がん細胞に栄養を補給する新生血管を閉塞するため体外から磁場を印加する方法について報告した。この方法はがん組織近傍に強磁性粒子を投与し、その後体外からの磁場制御により新生血管内に粒子を集積・凝集させ、最終的に新生血管を閉塞しがんの成長を抑制するものである。今回の報告では、新生血管を閉塞させるための磁場強度と磁場勾配について要素実験とラットでの生体実験が紹介された。マイクロ流路 (7  $\mu\text{m}$   $\times$  7854 本) を用いた要素実験では 100 nm のマグネタイト粒子に 300 mT の磁場強度、20 T/m の磁場勾配を作用させることで流路が閉塞されることが確認できた。次に実際の血管での閉塞を確認するため、露出させたラットの肝臓に磁場を印加し、マグネタイト粒子分散液を流し込み、鉄の蓄積量分布を測定した。磁場印加はネオジウム磁石で行なったため、磁場強度は 450 mT から 0 mT まで肝臓内で分布した。鉄の蓄積量は磁場が強い領域で多くなる傾向が示された。その一方で個体差も大きい。今後は個体数を増やして、検証を続けるとともに、実用化に向けてマグネタイト粒子分散液の全身投与を行って肝臓への蓄積量を評価する。藤井氏は環境中のマイクロプラスチック低減のため、磁気分離を適用する技術を報告した。ポリエステルやナイロンなどの合成繊維を含む衣料などを洗濯する際にはマイクロプラスチックファイバー (MPFs) が発生する。MPFs は下水処理施設に入り、その一部が河川などに放出され生態系に影響を与える。本研究は下水処理施設に磁気分離装置を設置し MPFs を取り除くことを目的としている。課題として繊維状粒子である MPFs を効率的に補足する条件を把握することがある。これまでビーカーテストでは 1 次粒径が 0.5  $\mu\text{m}$  のマグネタイトを付着させることで 96% の MPFs が除去されることが確認されている。今後の連続的な磁気分離システムでは MPFs が通過する軌跡の推定が必要になる。有限要素法による以下の解

析結果が示された。1) 繊維状粒子の向きは磁場勾配による配向よりも、流速勾配の影響が大きい。2) 繊維状粒子は球状粒子に比べて磁場による捕獲が困難である。この結果を受けて、今後はMPFsの磁気分離実験で解析結果の妥当性や提案手法の有効性の確認を行っていく。重政氏は HTS 線材の交流損失低減させるためのケーブル開発について報告した。“SCSC ケーブル”は銅複合多芯薄膜 HTS 線材を GFRP コアにスパイラル状に巻き付けられたもので、結合電流をスパイラルの半ピッチに閉じ込めることで結合時定数を小さくして、フィラメントの結合を抑制している。導体設計の基礎的検討を行うため、結合損失とフィラメント幅、線材幅の関係を実験で調べた。磁化損失低減の観点からは多芯線材のフィラメント幅、線幅ともに狭い方が望ましいとの結論が得られた。最終的にフィラメント幅 0.2 mm、線材幅 2 mm の SCSC ケーブルでは線材幅 4 mm の単芯線に比べて磁化損失が 20 分の 1 になっていることが実験的に確認できた。

以上、14 件の講演があり、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、大阪市立大学名誉教授の畑徹氏による、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、京都大学の重政英於氏に「信貴賞」、大阪府立大学の宮城悠也氏、大阪大学の西岡颯太郎氏、京都大学の山崎輝氏、大阪府立大学の吉田勝一氏に「低温工学・超伝導若手奨励賞」が授与された。恒例の講演会終了後の懇親会は行われず、審査委員と発表者、聴講者の親睦交流が叶わなかったが、オンライン形式でなく対面形式の講演発表会が実現し、有意義な会であった。写真は信貴賞および奨励賞受賞記念写真で、前列左から四谷審査委員、重政氏、児玉審査委員長、山田審査委員、後列左から、西岡氏、宮城氏、吉田氏、山崎氏である。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 38名の講演会参加者全員に深甚な感謝の意を表す。

(野口悟、尾崎壽紀、佐藤和郎、斉藤一功)



写真 講演会受賞者および審査委員