

関西支部だより

関西支部では特別講演会として、令和1年11月22日(金)に関西学院大学大阪梅田キャンパスで第18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、若手任期付研究者なら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)をお願いした。

今回の講演発表は「午前」4件、「午後 A」5件、「午後 B」5件、「午後 C」4件の18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「発光中心としてMnイオンをドーピングした半導体ナノ粒子の作製とその光学特性」大阪市立大学大学院工学研究科、西村悠陽
- 11:02-11:19「半導体ナノ粒子周期配列構造の光物性とその温度依存性」大阪市立大学大学院工学研究科、李 太起
- 11:19-11:36「ポリアニリンの高周波導電率の温度依存性」大阪大学大学院工学研究科、田村謙伍
- 11:36-11:53「キラル磁性体におけるマイクロ波伝送特性」大阪府立大学大学院工学研究科、島本雄介
- 13:15-13:32「量子ドット間のトンネル現象を利用した高速単一スピンの操作」大阪大学産業科学研究所、松本雄太
- 13:32-13:49「液体水素の貯蔵・輸送時における容器内部の液面・温度・圧力測定」神戸大学大学院海事科学研究科、岩佐太陽
- 13:49-14:06「ヘリカル流を利用した液体水素用流量計に対する低温用箔ひずみゲージの適応性研究」神戸大学大学院海事科学研究科、佐藤 更
- 14:06-14:23「ヘリカル型海流MHD発電機の電気分解特性の経年変化」神戸大学大学院海事科学研究科、牧野龍之介
- 14:23-14:40「磁気分離法を用いたエマルションの解乳化に関する研究」大阪大学大学院工学研究科、須藤稜平

- 14:55-15:12「パルス管冷凍機を用いた低温走査トンネル顕微鏡の開発」ユニソク 開発部、笠井 純
- 15:12-15:29「GM冷凍機を用いた無冷媒断熱法比熱測定装置の開発」大阪大学大学院基礎工学研究科、西岡颯太郎
- 15:29-15:46「高温超伝導体円偏光テラヘルツ光源における偏光特性の評価と制御」京都大学大学院工学研究科、前田慶一郎
- 15:46-16:03「NMRを用いた過剰電子ドーピングされた新しい鉄系超伝導体における超伝導発現機構の研究」大阪大学大学院基礎工学研究科、小内貴祥
- 16:03-16:20「空間変化する不純物ポテンシャルを有する超伝導板における渦糸付近の準粒子構造」大阪府立大学大学院工学研究科、玉井孝幸
- 16:35-16:52「分子動力学法による渦糸格子融解現象のシミュレーション」大阪府立大学大学院工学研究科、草深貴志
- 16:52-17:09「低コストREBCO線材に用いる導電性LaNiO₃中間層の作製と評価」島根大学大学院自然科学研究科、長瀬侑弥
- 17:09-17:26「Nb層を保護層としたMgB₂薄膜のポストアニール効果」京都大学大学院エネルギー科学研究科、神部広翔
- 17:26-17:43「短尺試料を用いた高温超伝導マグネットのクエンチ保護についての研究」京都大学大学院工学研究科、羅熙捷
- 各セッションの概要を以下に示す。

午前は半導体ナノ粒子の光学特性(2件)、伝導性高分子の高周波導電率、キラル磁性体のマイクロ波伝導特性の計4件の発表があった。西村氏は、希土類イオンをドーパントとした半導体ナノ粒子に関する報告を行った。半導体ナノ粒子とは量子閉じ込め効果によりバルク結晶とは異なる性質をもつ材料であり、近年、新しい光機能性材料候補として研究が行われている。特に希土類イオンのドーピングにより光学的・磁気的特性を付与する研究が活発である。同氏は ZnSe/ZnS:Mn/ZnS コア/シェル/シェルナノ粒子を作製し、2.1eV 付近で *d-d* 遷移に起因する Mn イオンの発光に成功した。発光効率率は約 80% であり、これまでに報告されている同種のナノ粒子の中でも最も高い水準であった。李氏は半導体ナノ粒子を規則的に配列した「ナノ粒子周期配列構造」の電子状態について発表した。周期配列構造においては隣接したナノ粒子間の相互作用により新奇の光物性、光機能性が発現するため応用面からも着目されている。同氏はナノ粒子を基板上に積層させる LBL (layer by layer) 法を用いて CdTe ナノ粒子の層状構造を作製し、電子状態が1次元、2次元、3次元的にひろがった状態を確認した。また、発光ダイナミクスの温度依存性に関しても測定を行った。田村氏は導電性高分子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分光法 (THz-TDS) を用いて複素導電率の温度依存性を 100K から 390K の範囲で測定したところ、高温側と低温側で周波数と導電率の関係が異なり、室温付近と高温の領域では自由キャリア+ホッピング伝導モ

デルによくフィットする結果が得られた。しかし、低温側ではこのモデルでは実験データを説明することができなかった。こうしたことから、低温側と高温側で伝導のメカニズムが異なっていることを示唆する結果を得られた。島本氏は低消費電力での高速情報処理技術への応用が期待されているスピン波のマイクロ波伝送特性測定に関する発表を行った。測定はキラル磁性体である CrNb_3S_6 結晶を用いて行われた。 CrNb_3S_6 は 130K 以下で Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用のためにキラルソリトン格子 (CSL) が形成される。測定では CrNb_3S_6 に薄膜加工技術を応用して高周波アンテナを配置し、低温・磁場下でマイクロ波の透過を観測した。測定ではマイクロ波伝送の結晶らせん軸に関する方向依存性が調べられた。得られた結果によれば、結晶らせん軸に対する異方的な CSL マイクロ波応答が確認され、平行配置では強磁性領域がマイクロ波の良導体であり、垂直配置では強磁性領域はマイクロ波を減衰させることを示唆している。

午後 A は、半導体量子デバイスの基礎研究、液体水素の貯蔵・輸送時の基礎データおよび流量計開発、海流 MHD 発電、磁気分離による解乳化の計 5 件の発表があった。松本氏は量子ドット間のトンネル現象を利用した高速単一スピン操作に関する発表を行った。半導体零次元電子系 (量子ドット) 中の電子スピンは量子コンピュータの計算素子の有力候補であるが、量子情報を保持できる時間 (コヒーレンス時間) 内にスピン操作を行う必要がある。そのためには電場駆動型スピン反転速度向上が必須であり、これを量子ドット間のトンネル現象を利用し、電子の振動振幅を増幅することによって達成した。その結果、ラビ周波数が 0.5MHz から 5.8MHz へ、さらに 17MHz まで増大した。岩佐氏は液体水素の貯蔵時及び輸送中の液面揺動に伴う蒸発損失を正確に把握するため、容器内部の液面・温度・圧力測定を行った。液面測定には MgB_2 線材を用い、温度はカーボンセラミクスセンサー (CCS) 温度計により測定した。大気圧状態における貯槽試験では液面降下率 9.79mm/h、入熱量に換算して 3.16W (含:液面センサーヒータ分) となった。また、0.4MPaG までの蓄圧中の圧力上昇率、温度分布が明らかになった。さらに、海上輸送試験において液面揺動に伴う蒸発損失を評価した。今後容器内の熱流体挙動についてシミュレーションを行うとのことである。佐藤氏は液体水素温度で使用可能な流量計の開発を目指し、低温用箔ひずみゲージの適応性研究を行った。ヘリカル流の液体を通す配管にひずみゲージを取り付け、流体の管内圧力変化により生じる配管ひずみから流量を算出する。ひずみゲージは温度補償範囲が 77K 以上であったので、今回は 4K までの銅の熱膨張率を実測し、温度補正を行うための基礎データを取得した。その結果、文献値より傾きが緩やかな銅の熱膨張率曲線が描かれた。今後、ゲージ率の温度変化も考慮した更なる解析を行う予定とのことである。牧野氏の講演ではヘリカル型海流 MHD 発電機の電気分解特性における経年変化に関する発表があった。海流 MHD 発電は海流中に超伝導マグネットを用いて強磁場をかけること

で起電力を得る方法であり、海流の運動エネルギーを用いる安全で恒久的な発電機として注目されている。今回、海流 MHD 発電機の電極部分における電気分解特性の経年変化を調べた。その結果、過去のデータと比較して電気分解電圧 (約 1.5V) 以上でかなり小さな電流となったが、実験を継続するとともにこれが回復する現象が見られた。還元作用により電極表面状態が改善されたためと考えられる。須藤氏の講演では磁気分離法を用いたエマルションの解乳化に関する発表があった。水中に油微粒子が安定に分散した状態をエマルションといい、エマルションを破壊し相分離させることを解乳化という。今回、磁性粒子を利用して解乳化を行い、磁気力によりこれを回収することで二次廃棄物を最小限に抑えた油分除去法を検討した。シクロヘキサンを油相としたエマルションに対し、疎水性修飾マグネタイトと磁性活性炭 (MAC) の 2 種類の磁性粒子を用いて磁気分離実験を行った結果、油分除去能力は MAC の方が高いことが明らかとなった。

午後 B は、低温走査トンネル顕微鏡開発に関する研究、無冷媒断熱法比熱測定装置の開発に関する研究、テラヘルツ光源における偏光特性に関する研究、鉄系超伝導体における超伝導発現機構に関する研究、渦糸付近の準粒子構造に関する研究の計 5 件の発表があった。笠井氏は、現在開発中の無冷媒走査トンネル顕微鏡 (STM) の除振、及び冷却性能について報告した。パルス管冷凍機を用いて 4K 以下まで冷却しつつ、振動を伝えない構造にすることで、STM ヘッドを約 3.5 K まで冷却することに成功した。また、この最低温度約 3.5 K において、HOPG (Highly Oriented Pyrolytic Graphite) 表面の原子像から原子分解能を十分に達成できていることを確認した。今後は、本研究で得られた知見をもとに、無冷媒超高真空 STM システムを製品化する予定とのことであった。西岡氏は GM 冷凍機により発生する温度振動を抑える対策をした比熱測定装置の開発を行った。冷凍機コールドヘッドの下にあるステンレスパイプで温度振動を減衰させ、1 K He ポットに He を液化させることで更に振動を吸収させた。また、アデンダを薄いパイプで支え、熱浴と断熱しつつ温度振動への変換を抑制することで、温度振動に敏感な比熱の測定が GM 冷凍機でも可能であることを示した。前田氏は高温超伝導体 Bi-2212 における固有ジョセフソン接合を用いたテラヘルツ光源から放射されるテラヘルツ波の光学系の途中に、ワイヤグリッド偏向光と QWP (4 分の 1 波長板) を挿入することで、ストークスパラメータを算出し、ヘリシティを特定した。その結果、今回測定した試料では、右回転円偏光が得られ、このことから、ホットスポットが形成されている可能性があるとして報告した。小内氏は最近、鉄系超伝導体 $(\text{La}, \text{Na})\text{Fe}_2\text{As}_2$ の NMR/NQR 測定を行うことで、なぜ LaFe_2As_2 系の過剰電子ドープ域で超伝導が発現するのかを調べた。その結果、ホールドープ側は磁気揺らぎが強く、大きなギャップと小さいギャップがあることがわかった。一方の電子ドープ側では反強磁性揺らぎが弱く、ギャップは小さいと考えられる。また、 La-5d と Fe-3d の混成によって、 d_{xy} がフェルミ面上に残ることで

超伝導が発現することから、過剰電子ドープ領域では d_{xy} ホール面が重要になっているのではないかと報告した。玉井氏は Bogoliubov-de Gennes(BdG)方程式に不純物ポテンシャル項を加え 2 次元有限要素法で数値的に解析することで、完全に独立した渦糸が不純物ポテンシャルに対してどのような影響を受けるかを考察した。得られた傾向から、不純物ポテンシャルの変化の異方性が渦糸内部束縛状態の局所状態密度の異方性を引き起こすと分かった。また、ある指数関数分布で不純物ポテンシャルを設定することで渦糸コア半径がピーク値をとることがわかったが、これは Krammer and Pesch 効果が原因であると考えられると報告した。

午後 C は、分子動力学法を用いた超伝導体渦糸の数値シミュレーション、REBCO 線材に用いる LaNiO_3 中間層に関する研究、 MgB_2 薄膜に用いる Nb 保護層の検討、高温超伝導マグネットのクエンチ保護に関する研究、計 4 件の発表があった。草深氏は、分子動力学シミュレーションを用いて、メゾスコピック超伝導体の渦糸の特性を調べた。メゾスコピック超伝導体の渦糸は試料の形状を反映した渦糸状態が実現することが知られている。本研究では、不純物を含む正方形上のメゾスコピック超伝導体の渦糸位置の標準偏差を調べ、平方数に近い 4 の倍数の渦糸数の場合に渦糸格子が安定しやすくなることを見出した。また、温度や形状を変化させた場合やナノロッドを想定した不純物を配置した場合についても、その超伝導特性を調べた。長瀬氏は、 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (REBCO) 超伝導線材に用いる導電性中間層材料に関する発表を行った。現在、REBCO 線材は、Ag 安定化層などを含む多層構造となっているため、コストが高いことが課題となっている。導電性の中間層を用いると安定化層が必要なくなり、コストの低減が期待される。本研究では、導電性の中間層として LaNiO_3 に着目し、 $(h00)$ に配向した LaNiO_3 薄膜の形成を試み、その特性を評価した。 LaNiO_3 薄膜は、DC スパッタリング法により作製し、その後大気中において熱処理を行った。その結果、基板温度 340°C で成膜し、大気中 800°C で熱処理を行った試料は、 $(h00)$ に配向することがわかった。神部氏は、超伝導特性の向上が期待されるポストアニール処理の高温化を目的として、 MgB_2 薄膜上に作製する保護膜の検討を行った。 MgB_2 薄膜に対して、超高真空中において、 550°C 、100 時間のポストアニール処理を行うと、20K、5T 中で $0.6\text{MA}/\text{cm}$ の臨界電流密度を得ることができるが、わずかに Mg の蒸発が生ずるといった課題があった。本研究では、 MgB_2 薄膜上に Nb を保護膜として作製し、 $\text{Ar}+\text{H}_2$ (3%) 雰囲気中でポストアニールを行った。その結果、Mg の蒸発を防止することに成功した。また、 650°C でポストアニールを行った試料は、20K、5T 中で $1.6 \times 10^6 \text{A}/\text{cm}$ という非常に高い臨界電流密度を示した。羅氏は、高温超伝導短尺線材を用いて、クエンチの模擬実験に関する発表を行った。本研究で用いた実験装置は、冷却された 180mm の直線状薄膜線材に対して、最大 5T の磁界を印加し、最大 500A の電流を流すことが可能である。ヒータにより試料に常伝導部を発生させ、試料全体電圧が閾値電圧

に達すると、事前の設定時間後に電源の出力電流を指数関数的に減衰させる。この実験システムを用いて、電流の大きさ、電流減衰時定数、検出電圧を変化させ、クエンチ模擬実験を行うことにより、クエンチ後の試料の劣化・焼損の有無を調べた。これらの実験結果から、クエンチ検出・保護システムの妥当性を評価することが可能となった。

以上、18 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、京都大学の神部広翔氏に「信貴賞」、大阪市立大学の西村悠陽氏、大阪府立大学の島本雄介氏、ユニソクの笠井純氏、京都大学の羅熙捷氏に「低温工学・超伝導若手奨励賞」が授与された。講演会終了後に懇親会が持たれ、審査委員と発表者、聴講者を含め 24 名が参加し、親睦交流が図られた。写真は信貴賞および奨励賞受賞記念写真で、前列左から四谷審査委員、神部氏、児玉審査委員長、山田審査委員、後列左から、島本氏、羅氏、西村氏、笠井氏である。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 46 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 講演会奨励賞受賞者および審査委員