

## 関西支部だより

関西支部では特別講演会として、平成27年12月11日(金)に大阪市立大学文化交流センターで第14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、日本学術振興会第146委員会 通信・情報処理分科会との共催であり、(社)応用物理学会関西支部、(社)日本真空学会関西支部および(社)電気学会関西支部の協賛を得た。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、低温に関するものである。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、審査委員長を青木亮三氏(大阪大学名誉教授)に、審査委員を四谷任氏(大阪府立産業技術総合研究所)、山田忠利氏(マグネットテクノロジー)をお願いした。

以下に示す通り、今回の講演発表は「午前」6件、「午後A」6件、「午後B」5件の17件であり、質疑応答を含め18分講演となった。

- 10:15-10:33「無針注射器と磁気力を用いた遺伝子導入に関する基礎的研究」大阪大学大学院工学研究科、長谷川崇志  
10:33-10:51「Mems技術による微小試料用の熱伝導測定装置の開発」大阪府立大学大学院理学研究科、関口晃生  
10:51-11:09「輻射シールドにおける中間温度からの輻射熱負荷測定」三菱電機(株) 先端技術総合研究所 電機システム技術部、李智媛  
11:09-11:27「高温超伝導体を使ったコヒーレントな連続テラヘルツ光源の開発」京都大学大学院工学研究科、辻本学  
11:27-11:45「InGaAsN/GaAsSbタイプII量子井戸構造における2次元電子の有効質量」大阪府立大学大学院工学研究科、田中章  
11:45-12:03「カイラルらせん磁性体が生み出す超伝導体の渦糸構造への影響」大阪府立大学大学院工学研究科、福井 皐文  
13:00-13:18「1 K 以下、50 T 級パルス強磁場磁化測定開発」大阪府立大学大学院工学研究科、飯田賢斗  
13:18-13:36「磁気アルキメデス法による構造異性体の分離」大阪大学大学院工学研究科、小林剛之

- 13:36-13:54「磁気分離法による火力発電給水中のスケール除去に関する研究～酸化鉄スケールの化学形態と磁気分離効率～」大阪大学大学院工学研究科、中西基裕  
13:54-14:12「双晶を含むREBCO超伝導体における二軸磁場配向の高度化」京都大学大学院エネルギー科学研究科、藤岡祥太郎  
14:12-14:30「S波超伝導体MgB<sub>2</sub>の低温成膜とリフトオフによる加工」大阪府立大学工学域、中神嵩俊  
14:30-14:48「核融合炉用超電導磁石絶縁材料の照射効果に関する研究—マトリックスと界面の照射効果の検討—」大阪大学大学院工学研究科、小林浩二  
15:05-15:23「薄膜超伝導線材で巻かれた三次元形状をもつマグネットを対象とした遮蔽電流解析」京都大学大学院工学研究科、曾我部友輔  
15:23-15:41「KOHフラックスによるエピタキシャルREBCO膜の低温LPE成長」島根大学総合理工学研究科、船木修平  
15:41-15:59「REBCO超伝導線材用の新規導電性中間層NbドープTiO<sub>2</sub>の検討」京都大学大学院エネルギー科学研究科、森村岳雄  
15:59-16:17「電磁鋼板を基材としたREBCO線材の中間層構造の開発」京都大学大学院エネルギー科学研究科、喜多村康平  
16:17-16:35「低コスト化RE系薄膜高温超電導線材の開発」住友電気工業(株) パワーシステム研究開発センター、吉原健彦

各セッションの概要は以下の通りである。

「午前」は磁気力のバイオ応用、熱物性測定研究2件、テラヘルツ光開発、基礎物性研究2件と多彩な内容の発表があった。長谷川氏は磁場印加型薬剤送達システム(MDDS)を用いた遺伝子導入法の開発を目指し、磁性粒子と結合させた遺伝子を無針注射針を用いて投与し、永久磁石により表皮層の遺伝子濃度を高く保つ可能性を検討した。その結果、磁性粒子を結合させることによる粒子径増大が細胞への取り込み阻害要因になるが、強磁場磁気力による表皮層への遺伝子量増加がそれを上回る結果を得、MDDSの可能性が示された。関口氏はMEMS技術による微小試料熱伝導測定装置の開発を行った。熱伝導測定にはヒータと熱浴、温度計2個が必要であるが、これらをすべて微細加工技術で作製した。発表ではNbN<sub>x</sub>抵抗温度センサの温度依存性、磁場依存性が示され、0.1 μKの温度分解能を有することが示された。また、磁場依存性が小さく、強磁場中の温度計としての特性に優れる結果を得た。李氏は輻射シールドからの熱負荷低減を目指し、輻射シールドにおける中間温度からの輻射熱負荷測定を行った。輻射は材料や表面状態に大きく依存するため、これまで液体窒素温度やヘリウム温度といった定点のデータしかなかったが、今回、材料や表面状態を変えて、低温側を8 Kに固定し、高温側を100, 120, 140 Kとした系統的な測定を行い、詳細なデータを得ることができた。辻本氏はBi-2212を使ったコヒー

レントな連続テラヘルツ光源の開発をした。Bi-2212 は超伝導層、絶縁層の積層結晶構造を有し、固有ジョセフソン効果を示す超伝導体で、これをメサ構造に加工することにより、テラヘルツ光源の開発が進捗している。今後、高出力化、高周波化、動作温度の向上が実用化に向けての課題となっている。講演は非常に丁寧な説明を与え、専門外にもわかりやすく、現状と問題点および今後の展望を整理した。田中氏は、極低温強磁場領域の磁気抵抗で観測されるシュブニコフ・ドハース振動を解析することにより、InGaAsN/GaAsSb タイプ II 量子井戸構造における有効質量を評価した。その結果、アニール温度の上昇に伴い有効質量が減少し、窒素含有率の増加に伴い有効質量が増大することが分かった。これはバンド分散の平坦化を示唆するものである。福井氏はカイラルらせん磁性体／超伝導体の二層構造についてカイラルらせん磁性体が超伝導体の渦糸構造に与える影響を有限要素法を用いた Ginzburg-Landau 方程式により理論計算した。この二層構造では渦糸構造はカイラルらせん磁性の磁化分布に依存する。今後は 3 次元系での計算を行い、らせん構造を完全に取り込んだ時の渦糸構造を調べる。いずれもたいへん活発な質疑応答が行われた。

「午後 A」も、パルス強磁場装置の開発、磁場を用いた分離に関する研究 2 件、成膜技術に関する研究 2 件、核融合炉用絶縁材料の研究と多彩な研究発表があった。飯田氏は、温度 0.1 K、最高磁場 50 T のパルス強磁場装置の開発について発表を行った。パルス磁場の制御、断熱消磁に関する装置の設計や冷熱伝達材料の検討等の結果が示された。現在、最高 43 T の磁場を得ることができている。小林剛之氏は、磁気アルキメデス法を用いた構造異性体の分離について発表を行った。現在、構造異性体の分離は大規模な蒸留塔施設を用いて行われているが、本研究では、磁気力、特に反磁性体の分離に有効とされる磁気アルキメデス法により、構造異性体の分離を試みた。その結果、芳香族ジカルボン酸のフタル酸、イソフタル酸、テレフタル酸を分離できることを示した。中西氏は、火力発電給水中のスケールの磁気分離による除去について発表を行った。効率的に分離除去を行うためには酸化鉄スケールの物理的性質を明らかにする必要があるが、実際の火力発電所給水中のスケールを直接分析することは困難である。そこで、火力発電所給水系の高温部を模擬的に再現する実験機を作製し、発生したスケールの成分や粒度分布を明らかにした。藤岡氏は、間欠回転磁場による磁場配向法を用いた REBCO 超伝導体の二軸磁場配向についての発表を行った。双晶組織を有する Y123 に大きな磁気異方性を有する Er をドーピングすることにより磁気異方性を制御し、合成温度の違いで粒成長を制御することにより、二軸磁場配向の高度化を目指した。中神氏は、110°C という低温化において、MBE 法を用いて MgB<sub>2</sub> エピタキシャル薄膜を作製することに成功した。作製した薄膜の T<sub>c</sub> は、26.9 K であった。この結果、リフトオフプロセスによる MgB<sub>2</sub> エピタキシャル薄膜の微細加工の可能性を見出した。

小林浩二氏は、核融合炉で用いられる超伝導磁石の絶縁材料についての発表を行った。ITER で使用される超伝導磁石の構成要素は、放射線環境下、低温化で優れた強度を維持することが重要となる。そこで、本研究では、低温環境下における放射線照射が、絶縁材料の層間せん断強度に与える影響について調べた。

「午後 B」の発表は 5 件であった。いずれも高温超伝導線材 (REBCO) 線材の実用化がテーマになっており、この分野での研究開発が活発に行われていることが伺われた。曾我部氏はテープ状の高温超伝導線材の遮蔽電流の影響を三次元形状マグネットに用いた場合について解析により求めた。高温超伝導線材を加速器用マグネットのような三次元形状を持つものを使用する場合には遮蔽電流による磁場の影響が大きいことを明らかにし、何らかの対応策が必要であると結論している。船木氏は製造に高温、真空の条件が必要なためコストの低減が困難な RE123 系ではなく、比較的低コストで製造できる可能性のある R124 系の成膜方法の開発について紹介された。KOH フラックスによってエピタキシャル REBCO 膜の低温 LPE 成長では基板の選択に困難があった。これまでに MgO や LAO、NGO を基板に用いたがいずれも電流が流せる膜の生成にまではいたらなかった。しかし、基板上にあらかじめ Y123 を種膜としその上に Y124 を成長させることにより、通電に耐える膜の作製に成功した。森村氏は REBCO 線材のコストを低減するため、安定化層として用いられている銀の代わりに Nb をドーピングした TiO<sub>2</sub> を使う可能性を探っている。このため Nb-TiO<sub>2</sub> 膜の絶縁性単結晶基板上的配向性や膜の表面状態、導電性を実験的に調べ、結果を報告した。導電性中間層としてこの物質を用いるには Nb ドープ量や成膜条件の最適化が必要であることを明らかにした。喜多村氏は、市販の REBCO 線材には高価なレアメタルを含んだ Ni-W 合金やハステロイなどが用いられていることがコスト低減の障害になっているとして、これを安価な電磁鋼板で代替することを検討している。現在の課題として電磁鋼板からの Si により中間層が剥離することがある。この対策として中間層の構成を見直し、酸素の拡散速度を低減させるために CeO<sub>2</sub> 層を用いての構造 (電磁鋼板-CSZ-CeO<sub>2</sub>-CSZ-CeO<sub>2</sub>-YBCO) を提唱している。今回は CSZ 上に CeO<sub>2</sub> 膜をエピタキシャル成長させるための成膜条件についての実験について報告した。最後に REBCO 線材メーカーである住友電工の吉原氏より低コスト化のための開発について発表があった。低コスト化に向けて中間層の層数削減および薄膜化を検討しており、従来の 3 層構造を単層 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> とし、なおかつ厚さも従来実績のある 800 nm から 130 nm まで薄くした条件で 15 m 長線材への適用が成功したことを報告し、今後の低コスト化超伝導線材の実現への期待を示した。

講演の最後に、大阪市立大学の畑氏による、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。講演終了後、厳正な審査のもとに、京都大学の辻本学氏に「信貴賞」、大阪大学の小林剛之氏、京都大学の藤岡祥太郎氏、大阪府

立大学の中神嵩俊氏、住友電気工業株式会社の吉原健彦氏に「低温工学・超伝導若手奨励賞」が授与された。また、講演会終了後に懇親会が持たれ、審査委員と発表者を中心として16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、前列左から吉原氏、小林氏、辻本氏、中神氏、藤岡氏、後列左から山田審査委員、四谷審査委員、青木審査委員長である。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40名の講演会参加者全員に深甚な感謝の意を表す。

(関西支部役員 野口悟、佐藤和郎、斉藤一功)



講演会奨励賞受賞者および審査委員