

## 11 超伝導 講演会報告

今回は、初日 3 月 13 日の午後に「超伝導応用技術開発ロードマップと現状」と題して Martini Luciano 氏(Ricerche sul Sistema Energetico – RSE)らをお呼びして、分科会シンポジウムが行われた。冒頭で Luciano 氏からは 2015 年にまとめられた超伝導開発ロードマップが紹介され、さらにヨーロッパでの超伝導プロジェクトの紹介があった。前半には木下晋(NEDO)から NEDO でのこれまでとこれからのプロジェクトの紹介があった。続いて、吉田隆(名大工)と土井俊哉(京大)により材料の現状の紹介があった。後半では日高睦夫(産総研)と圓福敬二(九大)らにより超伝導エレクトロニクスと超伝導センサの現状の紹介があり、さらに大崎博之(東大)によりロードマップと日本における超伝導プロジェクトについて紹介があった。

一般講演では口頭 79 件、ポスター 21 件の合計 100 件の講演が行われた。以下に中分類毎のまとめを記載する。

「基礎物性 (材料系)」においては 16 件 (ポスター 3 件含む) の発表があり、うち銅酸化物系 5 件、鉄系 5 件、新超伝導体探索・その他 6 件であった。2008 年の鉄系超伝導体の発見から 7 年経過した現在、鉄系物質の臨界温度の制御因子など微視的な議論や測定が簡便になった加圧装置を使った物性測定など広く行われている。また、既存の銅酸化物超伝導体においても、臨界温度制御を目的とした分子内の局所構造制御や三軸磁場配向の磁場条件の解明など着実な進展が認められた。

「基礎物性 (デバイス)」において、ジョセフソン接合関連では、固有ジョセフソン接合のテラヘルツ波発振素子では自己発熱効評価や高出力化に向けた実験的研究、数値計算による発振特性の検討に加え、磁束運動とマイクロ波の相互作用、スピン注入効果に関する報告があった。ジョセフソン接合以外では、YBCO 薄膜へのイオン注入効果、 $MgB_2$  ナノ粒子を分散させた複合結晶の特性に関する報告がされた。

「薄膜、厚膜、テープ作製プロセスおよび結晶成長」のセッションでは口頭発表 16 件とポスター発表 5 件の計 21 件の講演が行われた。内訳は RE-Ba-Cu-O 膜 13 件、Fe 系 3 件、 $MgB_2$  2 件、Bi 系 1 件、新材料 2 件であった。ポスター発表では、エアロゾル、KOH フラックスや母材粉碎法など新規手法を用いた銅酸化物超伝導体結晶の作製技術や、気相法による薄膜成長についての詳細な検討についての報告があった。口頭発表では、低コスト RE123 線材の作製を目指して、配向 Cu や Fe テープ上に導電性中間層を成膜する報告がされた。また、それらの中間層上に成長した Y123 薄膜の結晶性や超伝導特性についても報告があった。人工ピン止め点の観点では、PLD 法を用いて新規自己組織化材料や薄膜構造による磁束ピンニングへの影響についての報告があった。TFA-MOD 法を用いて作製した(Y,

Gd)123 線材について、本焼熱処理条件や酸素アニール条件の最適化についての報告や、フッ素フリーMOD法における Cl 添加が与える影響について詳細な報告がされた。Fe 系超伝導体については、Ba122 への BaZrO<sub>3</sub> 添加や、11 系へのプロトン照射による磁束ピン止め特性の向上が報告された。また、電気二重層を用いて 11 系にキャリアを注入し、バルクを越える  $T_c$  を実現した報告もされた。同様に、電気二重層によって MgB<sub>2</sub> 薄膜や Sm1111 へのキャリア注入に関する基礎検討が報告された。新規超伝導材料探索の一環として、CaNiN 薄膜の作製についても報告があった。聴講者は 50 名程度で、座席数が 40 席ほどであったため、立ち見も見られた。また、机がなく椅子が密に並べられている部屋であったため、聴衆にとっては窮屈に感じたかもしれない。

「臨界電流・超伝導パワー応用」では 3 月 16 日の午前に 11 件の口頭発表があった。TDGL 計算 3 件、電界評価 1 件、希土類系およびコート線材系で 4 件、切削工具 1 件、電力ケーブル 1 件であった。また 3 月 15 日の午前中には 5 件のポスター発表があった。バルク応用が 1 件、希土類系およびコート線材系で 1 件、MgB<sub>2</sub> が 3 件であった。時間依存型 Ginzburg-Landau 方程式(TDGL)では、名大の一野ら、有明高専の松野、九工大の谷村らが縦磁界下や横磁界下でピン止め中心をいれて磁束線の運動について議論を行った。熊大の末吉らは *ab* 面に平行に柱状欠陥を入れた RE 薄膜のピン止め特性について報告を行った。九大の福崎らは長尺 RE 線材の局所的  $J_c$  を 40 m にわたって評価した。九大の鈴木らは RE 線材の局所  $J_c$  が有効断面積の減少により説明することができることを示した。九大の井上らは RE 線材の 77K での磁場中での  $J_c$  特性により低温磁場中の  $J_c$  を推定することが可能であることを示した。成蹊大の草間らは TFM-MOD 法による RE 線材の縦磁界中特性を報告した。九工大の平松らはバルクの着磁を利用した磁気研磨装置の紹介をした。艦磁研の廣田は超伝導線材を用いた船舶脱磁の可能性について議論をして報告を行った。山梨大の高橋らはフッ化ナトリウムを添加した MgB<sub>2</sub> での  $J_c$  の向上について報告をした。鉄道総研の恩地らは伝導冷却での MgB<sub>2</sub> 線材の  $J_c$  特性を報告した。鉄道総研の石原らは MgB<sub>2</sub> バルクの磁化緩和特性について報告をした。九大の久島らは RE 線材の磁化緩和特性について報告を行った。

「アナログ応用および関連技術」では、3 月 15 日午前に関連ポスター発表が 5 件、3 月 16 日に口頭発表が 16 件行われた。講演の中より一部を紹介する。

量子暗号通信などで必要不可欠である超伝導体を用いた単一光子検出器(SSPD)に関連して、北見工大の柴田らは NbN, MgB<sub>2</sub> などと比較して高い温度で動作させることが期待できる銅酸化物 LSCO 極薄膜を用いたナノストリップの光応答について報告した。ボロメトリックな応答に成功している今後の発展が期待される。NICT の藪野らは深宇宙中心や生命化学など広い分野で応用が可能な大規模 SSPD イメージングアレイの開発を行っている。報告では単一磁束量子回路を用いた読み出し回路の多重化技術を組み合わせた新しいシステムについて報告を行った。また同じ NICT の三木らは、量子情報処理の実現のために必要な

SSPD のタイミングジッタ特性の計測について報告した。D フリップフロップに基づく SFQ 回路を作製し、光遅延装置により入力ポートに入射する光のタイミングをずらしながら時間相関ヒストグラムを得る方法について報告があった。また、回路のバイアス電流を変化させ時間遅延を発生させる方法についてもその成果が報告された。

SQUID 関連では、豊橋技科大の出町らは、SQUID を用いた超低磁場 NMR について報告した。特に、分極磁場をかけている間は、信号入力用のコイルから SQUID までの回路を電氣的に切断することで、分極磁場印加により、SQUID が不安定になるのを防いだ。また、開発した装置によって行った鉱物油および水の緩和計測についても報告があった。九大の牟田らは、磁気ナノ粒子が局在する位置を特定するイメージング手法に関して、平面に配置した 5 つの検出コイルを走査することで、得られた磁気信号分布から磁気ナノ粒子を 3 次元空間で可視化、位置を特定する方法について報告があった。今後、癌などの疾病診断への応用が期待される。

全体として、今回は講演件数が少なかったものの、質の良い講演が多く、当分野のポテンシャルの高さをうかがい知れる内容であった。

「接合・回路作成プロセスおよびデジタル応用」では、講演奨励賞受賞記念講演 1 件を含む 15 件の口頭発表と 1 件のポスター講演があった。超伝導分類全体のポスターセッションと同日のためか、講演会場はほぼ満員となる盛況であった。

秋期学術講演会の講演奨励賞受賞記念講演として、名大の谷口より磁性体を集積した超伝導単一磁束量子回路で構成されたルックアップテーブルの大規模化に向けた研究の発表があった。この講演の他にも横国大からは磁束量子パラメトロン of FPGA や再構成回路への応用に関する講演があり、超伝導回路のプログラマブル化という新しい研究の流れが感じられた。メモリを集積した超伝導マイクロプロセッサの開発や、ナノトロンを駆動回路とする半導体メモリハイブリッド回路の研究などは、超伝導回路に基づく情報処理の実用化に向けた着実な進歩といえる。NICT や横国大と産総研による超伝導読出し回路を用いた多チャネル超伝導センサシステムに関する研究は、基礎的な技術開発は既に終了し、今後いかにその優れた性能を利用したシステムやアプリケーションを実現するかなど、研究は実用化のステージにあることを強く印象づけた。

本報告は、堀井滋（京都大学）、加藤孝弘（長岡技術科学大学）、一野祐亮（名古屋大学）、小田部荘司（九州工業大学）、紀和利彦（岡山大学）、山梨祐希（横浜国立大学）、各氏の協力により作成したものです。