

## 「Applied Superconductivity Conference (ASC2010)」報告

財団法人国際超電導産業技術研究センター  
超電導工学研究所  
副所長 田辺圭一

応用超電導会議 (Applied Superconductivity Conference) は、米国内において隔年で開催される超電導応用に関する最大の会議 (実質上の国際会議) であり、今年は8月1日から6日にかけてワシントン DC の Omni Shoreham Hotel で開催された。参加者総数は1500~1600名 (推定) で、日本からの参加者は前回の ASC2008 と同様の約300名であった。発表アブストラクト投稿数は約1500件と前回の1350件より増えている。分野毎の内訳は、Electronics が406件、Large Scale が585件、Materials が526件となっており、特に Large Scale の投稿数が前回に比べ100件以上増えている。これは、Y系線材の機器応用開発が本格化してきたことを反映しているように思われる。

Electronics 分野では、極低温動作ではあるが超高感度の電磁波センサとなる転移端センサ (Transition Edge Sensor: TES) のセッションが1/4以上を占めており、次いで SQUID 関連、デジタル応用関連、量子ビット関連の順で発表数が多かった。TES は宇宙観測応用以外にも核実験監視用センサや量子情報通信用の単一光子センサなど様々な検出器への応用が米国を中心に進んでいる。

SQUID 関連では、素子開発から応用まで約70件の発表があった。低磁場 NMR/MRI とバイオ応用のセッションで最も多くの発表が行われ、SQUID 応用の約2/3がこの分野に集中していた。この技術を用いた生体イメージングについては、まだ実験機レベルの開発段階であるが、前回の ASC2008 において空港での液体セキュリティ検査用の装置開発を既に報告していたロスアラモス国立研究所 (LANL) のグループは、低温 SQUID の代わりにファラデーコイルを用いた低周波 MRI 装置でも液体危険物の検出が可能と報告した。また今回は、常伝導体の検出コイルと高温 SQUID を結合させた検出コイル分離型構造の SQUID に関する報告が多く見られた。特に共振回路を用いた場合、ドイツの Julich 研究所のグループから  $7-8 \text{ fT/Hz}^{1/2} @ 9 \text{ kHz}$ 、九州大学から  $2.5 \text{ fT/Hz}^{1/2} @ 9 \text{ kHz}$  と、周波数が高い領域において低温 SQUID 並みの高感度特性が報告された。ISTEC からは、Y系テープ線材を検出コイルに用いた大型のグラジオメータ (金属資源探査用) 等を報告したが、特に ISTEC の高温超電導多層構造プロセスを利用し作製された複雑な構造の SQUID 素子は大きな注目を集めた。

Mixed Signal (アナログ-デジタル混在) 回路関連で注目されたのは、米国 HYPRES 社からのマルチバンドのデジタルレシーバの発表で、プラットフォームとなるマルチチップモジュール (MCM) 基板に共通に使用する並列-直列変換回路が集積化されており、2個の  $\Sigma\Delta$  型 ADC チップをフリップチップボンディングできる。2つの周波数帯域用を集積したチップシリーズを作っており、ユーザの要求に合わせた ADC チップにより MCM 基板1枚で4周波数帯域がカバーできる。ISTEC からは、超高速リアルタイムオシロスコープ等に利用できる高速・多ビットのフラッシュ型 ADC 動作に関する招待講演を行った。

デジタル関連では、省エネ・低炭素社会実現に関連して "Power energy efficient digital logic" のセッションができたことが一つの流れであった。HYPRES の Mukhanov は、単一磁束量子 (SFQ) 回路の消費電力をさらに低減する回路技術に関して最新の技術を含めレビューを行った。一つのキーワードは、従来回路における直流バイアス電流による電力消費をゼロとする回路技術の開発である。例えば、Northrop Grumann 社の Herr からは、新しい技術として、高周波でバイアスする RQL

(Reciprocal Quantum Logic) に関して発表があった(量子ビットエラー補正回路等への応用が目的)。デジタル集積回路の発表は、日本からの RDP (再構成可能なプロセッサ) 関係の発表(横国大、名大)が多かった。米国勢では、ニューヨーク州立大からデータプロセッサのアーキテクチャに関する発表はあったものの、プロセッサ全体のチップ試作の予定はないとのことであった。ただしそれに使われる数値演算ユニットや加算機などの要素回路の動作確認は行われている。

**Large Scale** 分野において高温超電導線材応用で発表が多かったのは、限流器 (Fault Current Limiter: FCL, 61 件) とケーブル (45 件) で、モーター・発電機 (43 件)、変圧器 (20 件) についても、それぞれ口頭で 1、ポスターで 2 つのセッションが組まれていた。個別セッションでは、ケーブルに関する日米韓露のプロジェクトの進捗状況や、日本を主体とした変圧器の開発内容等の発表があったが、特に目新しい情報はなかった。ただ、Y 系プロジェクトの変圧器において技術開発中の FCL 機能について、欧米各国が FCL 単体やケーブルとの組合せ等で技術開発に傾注していることが印象に残った。

**Materials** 分野では、Y 系線材のプロセスや磁束ピンニング特性に関する報告が約 1/4 (口頭、ポスター合わせて 15 セッション) 以上と最も多く、 $MgB_2$  と  $Nb_3Sn$  線材がそれぞれ 6 セッション、Bi 系線材、鉄系超電導材料、AC ロス、機械特性がそれぞれ 4 セッションとなっていた。米国研究機関による Y 系線材に対する発表は、概ね前月の DOE Peer Review での報告のままであったが、そこでは出ていなかった新しい成果もいくつか注目された。全体として Y 系線材においては、長尺線材開発についての新しい報告はなく、短尺のプロセス開発がほとんどであった。Kansas 大の Wu は、傾斜単結晶基板を用いて  $BaZrO_3$  (BZO) 入り Y 系薄膜の PLD 成膜を行い、傾斜角を増やすことにより BZO の形状がロッドから平板 (ab 面内) に変化することを報告した。これは傾斜基板のステップにより導入された歪みの効果によるものである。オークリッジ国立研究所 (ORNL) の Goyal による発表では、BZO の周囲に導入された歪みにより超電導相中の酸素拡散は影響を受け、BZO 近傍にはあまり酸素が入っていないことが、高分解能 TEM 観察や電子線エネルギー損失分光 (EELS) の結果により明瞭に示された。スペイン国立研究所の Obradors グループは、MOD 法において Zr 塩を原料溶液に添加する手法で、直径約 15 nm の BZO 粒子ピンを導入した YBCO 薄膜を単結晶基板上に作製した。BZO/YBCO 界面には歪みが導入されており、添加量につれて増加する歪みとともにピン力が増加するという結果を示した。

鉄系超電導材料関係では、応用につながる薄膜作製を中心に 32 件の発表があった。鉄系超電導体において現状で最も  $T_c$  の高い 1111 系  $REFeAs(O,F)$  のエピタキシャル超電導薄膜の作製には、名大・Ikuta グループのみが成功している。MBE 法による成膜において、過剰な F を Ga と反応させ取り去ることにより、GaAs 単結晶基板だけでなく MgO 単結晶基板上にも 40 K 以上の  $T_c$  をもつ薄膜が作製できたことを報告した。最も異方性の小さな 122 系  $Ba(Fe,Co)_2As_2$  の薄膜については、ドイツ IFW-Dresden の Iida が Fe をバッファ層に用いることにより格子欠陥の少ない薄膜が PLD 法で形成できることを報告した。一方、Wisconsin 大グループは、 $BaTiO_3$  等をバッファ層として用い作製したエピタキシャル膜においては、 $BaFeO_3$  等のナノロッドが c 軸方向に形成されており、数  $MA/cm^2$  の高い self-field  $J_c$  が得られると共に  $J_c$  磁場角度依存性に大きな c 軸ピークが見られることを報告した。また東工大の Katase は、MgO や LSAT バイクリスタル基板上に作製したジョセフソン接合や SQUID など、ISTEC との共同研究の成果について報告した。 $Fe(Se,Te)$  等の 11 系材料は、PLD 法で 300 °C 程度の低基板温度でエピタキシャル薄膜が形成でき、基板との格子定数差による歪みの影響で  $T_c$  が 18~20 K 程度まで向上することをブルックヘブン国立研究所やイタリア CNR-SPIN 研究所のグループが報告した。また、前者は Y 系線材用の IBAD-MgO や RABiTS 基板上にも成膜が可能であることを報告した。

最終日の基調講演では、Naval Research Laboratory における超電導応用技術開発の歴史が紹介されたが、米国ではやはり軍事関連応用が超電導技術開発を大きく牽引しているとの印象を改めてもらった。次回の ASC は、2012年10月に西海岸のオレゴン州 Portland で開催される予定である。

本稿をまとめるにあたって、ISTEC の鈴木秀雄、塚本 晃、五所嘉宏、吉積正晃の各氏の協力を得ました。

[超電導 Web21 トップページ](#)