

11. 超伝導 分科会企画シンポジウム

「超伝導応用技術開発ロードマップと現状」報告

高温超伝導体の発見から 30 年が経過し、パワー応用、デバイス応用ともに実用化レベルに達しつつあると言って良い状況である。そのような中、国際的には International Energy Agency の超伝導セクション(IEA-HTS)が中心になって 2030 年までのパワー応用と線材開発についてのロードマップが昨年まとめられた。そこで、本シンポジウムにおいては、これらのロードマップの紹介およびその背景、また国内外でのパワー及びデバイス応用開発とその到達状況、課題をご講演いただくとともに、関連した材料技術開発の現状について、一般講演にて報告いただいた。シンポジウムは休憩を挟んだ二部構成であり、会場には常時 80 人前後の参加者があり、活発な質疑応答も行われ、関心の高さが伺われた。

最初に、IEA-HTS の議長を務める Luciano Martini 氏 (RSE S.p.A) が “The IEA HTS Roadmap and the European status of Electric Power Sector Applications” というタイトルで講演をおこなった。ロードマップの背景には、ヨーロッパ 2030 宣言の中で、再生可能エネルギーの割合を 27%以上、またエネルギー効率も 27%にするというのがあり、それを支える新しいグリッドの構築において超伝導が重要な役割を担うという考えがある。そのような動きの中、超伝導に関する国際的な技術協力プログラム(TCP) (日本を含む 9 カ国が参加) が作られ、それが母体となって、各メンバーへのインタビューや学会での調査等によりロードマップがまとめられた。ロードマップでは各技術が市場導入の視点から定めた各ステップに対してどの段階にあるかをまとめたもので、対象はケーブル、限流器、SMES、変換器、発電機などのパワー応用である。この中で、ケーブル、限流器は Full commercial application にいたる 9 段階のステップにおいて、6-8 の段階まで到達しており、一番実用化に近い段階にある。また、講演では、ヨーロッパにおいて精力的に行なわれているケーブル、限流器、風力発電機の開発状況について紹介した。

続いて、木下晋氏 (NEDO) は「NEDO における超伝導技術開発」というタイトルで講演を行い、今まで実施されてきた NEDO プロジェクトの対象、ねらい、予算規模のレビューを行うとともに、昨年からはスタートした実用化プロジェクトのスタートにあたって 2014 年に実施した調査の概要を紹介した。調査では、まず超伝導製品 13 製品について、将来性等を検討し、電力ケーブル、風力発電機、鉄道用直流き電線、磁気分離、船用モーターの 5 つに絞り込んだ。電力ケーブルについては、欧米では低電圧、大容量化、長期信頼性をターゲットに開発が行われており、系統試験が活発であることなどを踏まえて、実用化プロジェクトのターゲットを検討したとのことである。

これらパワー応用の実用化には超伝導線材の高性能化および低コスト化が欠かせない。そこで、関連する技術について次の 2 件の一般講演を組み入れた。

吉田ら (名大) は「人工ピン導入 $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 線材の微細組織と磁場中超伝導特性」というタイトルで講演し、40K 以下での磁場中臨界電流密度向上を目指して LTG 法による BHO 人工ピン導入の最適化を行い、IBAD-MgO 基板上で $F_p=260 \text{ GN m}^{-3} @ 40 \text{ K}$, $690 \text{ GN m}^{-3} @ 20 \text{ K}$, $1.5 \text{ TN m}^{-3} @ 4.2 \text{ K}$ と高い特性が得られたことを報告した。

続いて土井ら (京大) は「Cu テープを基材とした低コスト MgB_2 線材の開発」というタイトルで講演

し、REBCO と比較して MgB_2 の成膜は基板表面がラフでも高い特性が得られること、2 軸配向制御が不要であること、成膜温度が 200-300℃ と低いことなど、様々な利点があり、低コスト化が可能であると述べるとともに、成果として、5 K&6T で $5.42MA/cm^2$ 、20K&6T で $0.82MA/cm^2$ という高い特性が得られていることを報告した。

休憩をはさんだ後半は、まず、日高睦夫氏（産総研）より「超伝導エレクトロニクスの課題と展望」と題して、低温超伝導体を利用したコンピューティング応用に関する講演が行われた。超伝導を用いたコンピューティング応用は、デジタルコンピューティングと量子コンピューティングに大別される。デジタルコンピュータの分野ではこれまで単一磁束量子集積回路設計技術やプロセス技術やにおいて日本が世界をリードしてきたが、最近になって米国が新たな国家プロジェクトを開始して猛追している。また本分野では、さらなる低消費電力回路の発明や、磁性体と超伝導を融合した新型メモリの提案、熱効果を使用した高利得ナノスイッチ素子の開発など様々な新技術が生み出されている。一方、量子コンピュータは、量子ゲート方式と量子アニーリング方式に大別される。前者はデコヒーレンス時間がまだ小さいために、誤り訂正符号を実装した方法が検討されているものの、そのために膨大な数の量子ビットが必要であることが課題となっている。一方、量子アニーリング方式では、量子トンネリングを利用して最適化問題を高速に解くことを目指しており、カナダの D-Wave 社により 512 量子ビットマシンが既に販売されている中、実用的な問題を解く上で必要な 100 万量子ビットの集積化を目指して現在 2 年で 2 倍のペースでの集積度の向上が行われている。

続いて圓福敬二氏（九大）より「超伝導センサを用いた先端計測システム」と題して、超伝導センシング技術の現状と今後の展望について講演が行われた。超伝導デバイスを用いれば量子限界性能のセンシングが可能のため、究極の先端計測システムを実現できる。現在、電波、粒子検出、検査・探索、医療・バイオなど広範な分野への応用が期待されている。電波応用では、SIS 接合を用いた電波望遠鏡や、固有ジョセフソン接合による THz 発信器、超伝導フィルタを用いた気象レーダなどへの応用が進められている。粒子検出応用では、励起エネルギーに対する超伝導特性の鋭敏性を利用した高感度センサが研究されている。例えば、準粒子数の変化を利用した STJ、温度変化を利用した TES、SN 転移を利用したナノワイヤ、インダクタンス変化を利用した MKID など、様々な高感度検出器が研究されている。これらは、エネルギー分散型 X 線回折装置や、飛行時間型質量分析装置、量子暗号通信用単一光子検出器などで実用化を念頭に研究が進められている。また、高感度な SQUID 磁力計を利用した、検査・探査応用での実用化が進んでおり、例えば高温超伝導体 SQUID を用いた資源探査機器、磁気不純物の検査機器などが製品化されている。さらに、超高感度な SQUID の医療・バイオへの応用が期待されている。例えば、脳機能や脊髄神経信号などのマッピング、超低磁場による小型 NMR、磁気マーカを利用したバイオセンシングなど様々な取り組みがなされている。

最後に、大崎博之氏（東大）より「IEA 高温超伝導ロードマップとわが国の超伝導応用電力機器開発現状」と題して、IEA のロードマップの紹介と我が国の超伝導電力機器の最新の研究開発動向についてのレビューがおこなわれた。IEA のロードマップでは、高温超伝導を用いたケーブル、限流器、SMES、変換器、発電機などへの応用について技術的成熟度がまとめられている。一方、日本国内では JST の S イノベ、ALCA などの大型プロジェクトが進められており、ALCA では、水素エネルギー供給ネットワー

クと超伝導機器を組み合わせた新しい低炭素エネルギーシステムの実現を目指している。わが国の最新の研究動向に関しては、ケーブル応用は、コンパクト性や低損失性を活かした都市内の地中ケーブルや、発電機-変圧器間の大電流ケーブル、鉄道システムでの直流送電などが有力な応用分野であり、長期的には長距離送電線などの基幹系への適用を目指している。また、回転機応用では、自動車、船舶、風力発電機、フライホイールへの応用が進められている。高温超伝導線材開発では、臨界電流や磁場特性の向上と長尺化、低コスト化が課題である。そして、今後の高温超伝導技術の実用化に向けて、高温超伝導機器の高い基本性能を示すとともに、システムの信頼性の検証と経済性を示すことが必要であると締めくくった。

以上、御講演を快く引き受けていただいた招待講演者の方々、最先端の研究内容をご紹介いただいた一般講演の皆様、お忙しい中ご来場いただいた多くの方々に厚く御礼申し上げます。

(中部大学・筑本知子、横浜国大・吉川信行)