

国際超電導産業サミット

ISIS -14

茨城県つくば市

2005年10月27、28日

コミュニケ(和訳)

(本文は和訳であり、正文は英文である)

・要旨

2005年10月27、28日、つくば国際会議場（エポカルつくば）にて「第14回国際超電導産業サミット」（ISIS-14）が開催された。サミットには CONECTUS（EU）、CCAS（米国）、ISTEC（日本）から、合計30名以上の参加者があった。また韓国、ニュージーランドからもオブザーバーが招かれサミットに加わった。今年のサミットの主題は「商業化と将来市場」である。

ISISは、超電導技術の産業化、商業化に向けリーダーシップの促進、提供という共通の目標に向けて、参加者が一同に会して協議を行う国際フォーラムである。このサミットは年に1度開催され、超電導の商業利用がもたらす利益について一般の理解を深め、早期の市場導入を進めるため、これまで一定の役割を果たしてきた。

この超電導技術の商業化には、これまで様々な試行が行われてきており、今後もさらに継続して努力が注がれる。例えば、超電導技術の商業化の最も大きな成功例の一つにMRIがある。超電導技術はまた、核融合や高エネルギー物理学にも不可欠な要素で、新しい素材の研究開発が加速されている。現在の開発状況としては、超電導のアプリケーションや商業化の大規模な拡大に向けて、地盤固めに力が注がれている。

近年、原油は価格が急騰しており、ピークでは1バレル当たり\$70を超えた。またどのような形態のエネルギーも需要が徐々に高まっているが、特にエネルギーの電氣的利用と世界経済の継続的拡大の間には密接な関係があり、この動きが今後も続くことは間違いない。また、エネルギー循環における環境保護の面についてこれまでになく関心が高まり、地球温暖化も重大な問題となってきた。超電導の技術やアプリケーションを用いることにより、電力供給網の密集地域にも大量の電力の輸送が可能となる。しかも制御性を高く、敷設部分を比較的小さく、

電力損失を極めて低く抑えることができる。また、現存の電力供給網に対して、電力の信頼性や質も改善される。

通信分野見ると、今やあり余る情報が洪水している状況にある。今日では、無線や有線の通信ネットワークを用いて動画の送信、処理、受信ができる。さらに将来的には通信ネットワークを介して、高精細度な（ハイデフィニション）動画の送達もできるだろう。移動通信技術の改良など、需要高騰の結果として世界的な通信量の増大が予測されるが、それに対応するため超電導の基盤技術が重要な役割を担うことができる。超電導エレクトロニクス・デバイスはエネルギー消費が小さく極めて高速であり、100 GHz以上でも熱的な問題を生じることなく作動できる。

超電導を基盤とする新技術には、未来の社会に無限の利益をもたらす可能性がある。ただ、技術、商業の両面でまだ問題が残されており、これは一企業の能力にはあり余る規模の問題である。このため、超電導技術がこういった緊急の社会的需要を満たし、今後の持続性ある成長を支えてゆくためには、超電導技術の研究開発や商業化を促進している組織、大学、企業では、政府機関との積極的な連携や政府機関からの財源支援が必要である。

このような状況を受け、サミット代表団は、超電導技術の商業化促進、予測されている問題に対する可能な対策、将来的な市場対策などに関して、様々な角度から検討を行った。さらに議論は、様々な電力やエレクトロニクスのアプリケーションなど、超電導の応用面での進展状況に集中して行った。例えば、HTS電力ケーブル、変圧器、限流器、SMES、HTS発電機、HTSモータ、船舶推進システム、MRI・NMRシステム、マグネット、フィルタ、ネットワークデバイスなどである。

商業化に向けた技術開発

サミット代表団は、様々な技術分野で達成された重要な進展状況について、検討を行った。検討した分野は、「商業化に向けた具体的な進展状況、超電導技術による試作された製品で立証された実用」可能性や利点、今後の研究課題などである。

(1) 電力応用技術

電力需要は、欧州、米国、日本で徐々に増加傾向を見せている。ただし、現在のエネルギー消費の増加率は、発展途上のBRICS諸国（ブラジル、ロシア、インド、中国）が最大となっている。他方、エネルギー価格は次第に高騰しつつあり、また、環境保護に関する規制も厳しさを増してきている。世界経済の成長をこのまま継続させるとするならば（これが、世界の安定のために必要不可欠と広く認められている条件だが）、十分なエネルギー供給と、安定的かつ信頼性の高いエネルギー供給基盤の整備のため、適切な措置を取らなくてはならない。エネルギー問題は、国家の安全保障に密接な関連があるとされている。米国では、4年間にわたる議会審議を経た後、先頃、大統領が「2005年エネルギー包括法」に署名した。この重要な新法制の中心には電力供給網の近代化があり、超電導技術については、このような緊急の必要性を満たすための新エネルギー関連技術として、最重要かつ最有望なもの1つと規定されている。

超電導線材やケーブルの製造は、送電など様々な利用形態のための基礎的な技術である。特に市街地域では、電気の送電や配電に超電導ケーブルを利用することにより、多くの利益が生まれる。LTS線は市場で入手可能で、MRIやNMRマグネットにも使用されており、また核融合炉や粒子加速器の建設にも不可欠となっている。HTSに関しては、第一世代BSCCO線材がすでに商業的規模の量で生産されており、さらに第二世代のYBCO線材の研究開発も盛んに行われている。日本の線材開発を見ると、2003年度から5ヵ年計画が開始された。この計画は、2007年までに、臨界電流300A/cm-w以上の500-m YBCO線を開発することを目的としている。日本ではこれまでのところ、液体窒素温度で245Aの幅1cm、長さ212mの線材の開発に成功している。これに対して米国では、2006年までに幅1cm当たり300Aで長さ100mの第二世代線材を開発することを目標としている。これまで米国では、幅4.4mm、長さ85mで幅1cm当たり165Aの第二世代線材、および長さ206mで幅1cm当たり100Aを以上の能力を有する線材の開発に成功している。第二世代の長線材加工は、4cmの長さまで切断可能であることが証明されている。欧州を見ると、2007年までに250mの第二世代線材を開発することを目標としており、MgB₂の開発が今も続けられている。MgB₂は5年前に発見されたもので、実用に供される最新の超電導素材である。また欧州では、商業化を目的とする新会社が設立された。

米国では、ケーブルのデモンストレーション（実証実験）計画が3件進行中である。(1) オハイオ州コロンバスの13.2-kV、200-m、3-kA「3軸」配電ケーブル計画、(2) ニューヨーク州アルバニーの34.5-kV、350-m、800-A「3軸」ケーブル計画、(3) ニューヨーク州ホールブルックの138-kV、600-m、2.4-kAの送電ケーブル計画である。ケーブルのデモンストレーション計画は、この他欧州、中国、韓国、メキシコでも策定中、あるいは実施中である。このケーブルのデモンストレーションには全て、交流（AC）ケーブルを用いている。ACケーブルは、世界での主流である。米国議会は、2005年エネルギー包括法で、さらにデモンストレーションを追加して規定した。AC送電の電圧、極小インピーダンス、制御可能HTS送電線によるデモンストレーションである。また、直流（DC）HTS送電線のデモンストレーションについても、規定を設けた。

超電導の電力機器というのは、エネルギー効率が良好、コンパクト、軽量であり、将来の様々な電力産業における重要な役割を担うものと期待されている。送電技術の分野以外にも、電力利用の技術研究開発が世界中で行われており、これまでモーター、同期コンデンサ、発電機、風力タービン、限流器、磁気分離、変圧器、SMESシステム、フライホイールなどが注目されている。日本では、MAGLEV技術の研究開発を続けている。一方、米国は現在、HTS船舶推進装置や船舶推進用発電機の開発やデモンストレーションを積極的に進めている。欧州や日本では、このような原動機やオール電化船舶向けの電動機の開発に着手したところである。

LTS線を用いたMRI・NMRマグネットでは、既に商業化が成功して久しい。MRI・NMRシステムには、超電導マグネットが必要不可欠な要素であり、その利益や価値は、市場で既に十分認められている。核融合炉や粒子加速器でも、大規模超電導マグネットシステムが中核部分を占める。近年、LTSマグネット（HTS電流リードなど）が極めて大量に製造され、スイスのCERN Large Hadron Collider（大規模強粒子加速器）に納品されている。また、多国籍のITER核融合計画に関連して、事業機会も期待されている。HTS第二世代線材は、ニオブ系LTS材より臨界磁場強度が高いため、極超短波NMRや核融合プロジェクト向け強力マグネットなど、将来の新しいアプリケーションの候補になるだろう。

(2) エレクトロニクス応用技術

情報の取扱量は日に日に増加している。今日、インターネットなどの通信ネットワークを通じて、個人がギガバイト級の情報を送受信することも珍しいことではない。無線通信はすでに3G時代に入っており、2010年には4Gの無線通信システムの運用が予測されている。米国では、フィルタ性能や経済利益の高さに注目して、超電導フィルタを導入している通信事業者もある。

単一磁束量子 (SSFQ) デバイスは、現行のシリコン・デバイスと比べ、スイッチ時間が非常に短く消費エネルギーも極めて小さい。このようなSSFQデバイスの特性のため、近い将来に予測される膨大な情報通信量の対応という面で大きな期待が寄せられる。日本では、2002年度に「低消費電力型超電導ネットワークデバイス研究開発プロジェクト」が立ち上げられ、この計画の下、同年度からLTSデバイス5ヵ年開発計画が開始された。さらに2003年度には、A/D変換器・サンプラ技術向けのHTSデバイス4ヵ年開発計画が始められた。どの計画にも、超電導デバイスの設計製造技術の研究開発が含まれている。2006年度までには、超電導ネットワークデバイスに必要な基本技術が確立される予定で、このようなネットワークデバイスには、高速ルータ向けスイッチング・モジュールやサーバ・コンピュータ向けプロセッサ・モジュールなどがある。この研究開発の途上、2005年には120GHzの稼動周波数を有する8ビットシフトレジスタが実証された。情報通信量、処理量が天文学的となる今後の情報技術時代には、通信障害が起こらないネットワークや消費電力が極めて低いデバイスが欠かせないが、上記の計画がその実現に寄与するものと期待されている。

超電導量子干渉デバイス (SQUIDs) を用いた脳磁計 (MEG) や心磁計 (MCG) 技術を用いると、現行の手法を用いては特定することのできない疾患について、人体を傷つけない診断手法が可能となる。このように、医療に関連した領域の超電導技術も飛躍的な進歩を遂げている。また、非破壊試験や物理探査など様々な特殊市場でのHTS SQUIDsの商業化にも、着実な進歩が見られる。

超電導市場の将来

今日、素材や、線材、様々なアプリケーション・デバイスなどから成る現在の超電導関連市場で、LTSとLTS関連のアプリケーションが一番大きな部分を占めている。中でもMRIとNMRの2つのシステムが商業的に最も大きな成功を収めているアプリケーションであり、これには超電導マグネットという要素が必要不可欠である。また今後の大規模加速器や核融合炉の計画なども、超電導なくしては実現できない。超電導エレクトロニクス技術の医療分野でのアプリケーションを見ると、MEGやMCGシステムがすでに市場で取引されており、新しい臨床検査機器の地位を確立している。上記のアプリケーション分野で、超電導に勝てる代替技術はまず存在せず、このような市場で超電導が主要商品としての地位を維持し続けるだろう。また、LTSベースの小型SMESシステムが公共施設に設置されており、重要とされる電力網の安定性や高品質な電力機能の提供を担っている。

HTS素材の発見からほぼ20年が経過しており、その間、LTS、HTS両方に関して、超電導技術の商業化を実現するための研究開発活動が熱心に行われている。中でもHTS技術による超電導フィルタはすでに市販されており、米国には地上無線通信局にこのフィルタを導入している通信事業者もある。現在のところ、超電導

フィルタの市場規模はそれほど大きくないが、今後の超電導フィルタの市場には期待が持てる。無線通信ネットワークによる情報量が増大し、干渉問題が特に市街地で無視できないほどにまで重大になるからである。2010年以後になると、無線通信ネットワークを使用して毎秒数十メガビットのデータ・パケット通信が行われ、高性能フィルタの重要性が飛躍的に大きくなるだろう。

超電導技術を用いた電力アプリケーションの分野では、送電線、発電機、電動機、限流器、磁気分離、SMES、フライホイール、変圧器などの機器は商業化以前の段階にある。定格無効電力12-megaVARのHTS同期コンデンサは市販されており、HTS研究用マグネットや電流リードも同様である。商業化の促進、拡大に向けた総合的な努力がさらに必要とされており、他方、進歩の妨げとなっている障害も克服していく必要がある。商業化に当たり最も重要な必要条件として、「上述のような超電導技術が経済的にも技術的にも実用可能であり、これ以外の代替技術より優れている」という点について、顧客の信頼を獲得することが必要だ。このような新技術の顧客による積極的な導入を図るには、デモンストレーションが最も効果的である。超電導技術の能力や実用性について、顧客の目で直接確認できるからである。

顧客の信頼なくして商業化はできない。デモンストレーションを行うことによって、商業化に伴う技術的かつ運用上の問題も明らかになり、その後の商業化の取組みで技術的対策、経営的対策を取ることができる。今後2、3年のうちは、HTSアプリケーションのデモンストレーションに第一世代HTS線材が用いられることが多いだろう。その後2年を経て、十分な数量の第二世代の線材が魅力的なコストで入手可能になった時点では、デモンストレーション試験の多くで第二世代の線材が用いられるだろう。さらに低コストの第二世代HTS線材が入手できるようになると、コスト効果が高まるため、商業化がますます拡大してゆく。

現在のところ、このような超電導電力機器の実際の市場規模を正確に予測することは困難である。とはいえ、ISIS代表団によると、今後の見通しは極めて明るい。限られたエネルギー資源、高まる世界規模のエネルギー需要、急成長を続ける世界の「百万都市」の悪化する電力供給問題（今後も解消は難しいだろう）など、近年には様々なエネルギー関連の問題が考えられるからである。

今後、有線や無線のネットワークを通じて膨大な量の情報がシームレスに行き交うIT時代が到来する。このIT時代には、超電導ルータや超電導コンピュータ・サーバなど、超電導エレクトロニクス技術が、エネルギー消費が極めて小さく超高速という特徴を生かし、重要な役割を果たすことが期待されている。これを実現するためには、実用性や経済的競争力の面における超電導技術の優れた点について、ユーザーにも理解してもらうことが重要である。このような意味で、実用的なアプリケーションで超電導ネットワークデバイス技術の採用を顧客に推奨す

るためにも、試作システムを完成させて、高速のシステム性能を実証することが必要である。

超電導という新しい技術の商業的利用を十分に達成することが、この地球の、今後の持続性ある成長に役に立つ。その実現に向けて、世界各地の超電導コミュニティが統一的な協調努力を払うことが必要である。ISIS-14代表団は、そのための努力を払うことを約束し、また、今後も強い意思と明確な目標を持って確固たる努力が継続されることを希望すると表明した。

次回サミット

ISIS-15の詳細については、別途発表する。