

## 第11回国際超電導産業サミットコミュニケ

(本文は和訳であり、その正文は英文である。)

### 『商業化へ向けての鍵』

2002年11月17～19日

京王プラザホテル(日本)

#### 要約と勧告

2002年11月17～19日、京王プラザホテル(日本)において第11回国際超電導産業サミット(ISIS-11)が開催された。出席者は約50名であり、そのほとんどが3つの共催団体、すなわちCONNECTUS(超電導利用のための欧州企業連合、EU)、CCAS(超電導の商業利用に関する連合、米国)、ISTEC(国際超電導産業技術研究センター、日本)からの出席であった。今年のサミットの基本テーマは『商業化へ向けての鍵』である。

第1回のISISを開催したのは1992年5月11～13日、ワシントンDCにおいてであった。それ以来、超電導技術の産業化に関心を寄せる産学官の国際的なリーダーたちが、多様な政府機関および学術団体の支援を受けて年1回集まっている。今年は第11回目の会議であった。

ISISは起業家たちが一堂に集い、超電導技術の産業化と商業化を率先して促進するという共通の目標に関して意見を交わす国際フォーラムである。毎年のISIS開催が1つの要因となって、超電導の商業化がもたらすメリットについて一般社会の理解が深まり、早期における市場の受け入れが促進されてきた。

初めて超電導磁石が作られたのは1960年代のことである。いわゆる低温超電導(LTS)によって超電導技術の産業利用が始まったのが1970年である。1980年代に入ると高温超電導体が発見された。現在、高温超電導(HTS)材料の発見からすでに16年が経っている。その間に研究開発は大きく進歩し、有益な用途のためにこれらの将来性ある材料を商業化し、近未来の人類社会に恩恵をもたらそうとする取り組みは着実に前進している。さらにこれからの10年間で、驚くほどのエネルギー節減の可能性を持った超電導技術とその応用は一層進歩するはずである。そうした技術応用分野のいくつかでは、近い将来に商業化が実現するはずであるし、商業化が進めばさらに新しい他の応用分野が生まれるであろう。しかしそのためにこの10年間に克服すべき障害は、技術、製造、市場の分野で数多く残っている。

現代は情報社会であり、通信技術革命のまっただなかにある。近い将来、膨大な情報が地球規模で送受信、処理されることになる。一方、人類が利用できる資源は有限であり、また環境に関する懸念から、前世紀の技術に比べてエネルギー利用の効率と効果に優れた超電導技術やパワーエレクトロニクスで新製品を開発することが求められている。ところが国際エネルギー機関(IEA)の今後30年間に関するエネルギー予測によれば、世界全体のエネルギー消費量とエネルギー関連の炭素排出量は、現在のレベルからそれぞれ約65%、70%増加する。この予測は、これまで用いられてきたエネルギー効率とエコロジーに関する政策措置が今後も変わらない、との基準シナリオを前提としている。

超電導技術とその応用によって、電力をきわめてわずかな損失で輸送し、情報を驚くほど優れた性能で処理、伝達することが可能になる。さらに電力の信頼性と品質を、既存の送電網ばかりではなく、エネルギー消費型の統合インターネットデータセンターについても改善することができる。こうした商用のインターネットデータセンターは大量のデータを転送、記憶、処理することができる。超電導のこうした特徴は、今日においても未来においても非常に有望である。しかし超電導技術を完全に商業化するためには、個別の市場機会に対応した信

頼性の高い超電導製品を妥当な価格で提供しなければならず、これは大量生産によって実現することが可能であろう。さらに超電導製品は、顧客に付加価値を提供するものでなければならない。この点については、超電導を利用した製品分野の拡大になお努力が必要である。そのためには産業界および政府が十分な資金を提供する必要がある。

このような状況を踏まえて、ISIS-11の出席者は超電導技術の商業化推進と、予想される障害を克服するための現実的手法について、様々な状況について議論した。サミットで議論を交わした超電導技術の応用分野は、HTS電力ケーブル、変圧器、限流器、HTS発電機、HTSモーターと船舶推進システム、MRI/NMRシステム、超電導磁石、フィルターおよびネットワーク素子など、電力とエレクトロニクスの多岐にわたっている。そのなかでも冷凍技術は、超電導のあらゆる応用分野にとって最も重要な支援技術であると考えられる。この点を踏まえ、冷凍技術の開発の現状と今後の見通しについても意見を交わした。

以上の点についてISIS-11出席者は2日間の議論を行い、以下の点で合意に達した：

(1)世界の電力需要は着実に増加を続けており、今後も情報通信産業の発展とアジア諸国の経済成長を主な要因として、なお増加を続けるものと考えられる。その一方、貴重な地球環境を保護するためにはエネルギー利用の効率化がますます重要課題となるはずである。こうした問題に対処する上で、超電導技術は実現可能性を備えた最も有望な技術の1つである。

(2)超電導技術の商業化を加速するためには、有望かつ実行可能な特定の応用分野にマンパワーと投資を集中する必要がある。

(3)超電導技術の商業化の拡大を実現するためには、超電導業界自らが顧客に対して同技術のメリットを十分に納得させる必要がある。

(4)超電導技術の商業化には標準化が不可欠である。超電導製品を標準化するためには、現在市販されている製品ならびに研究開発段階の製品についての国際的な取り組みが必要である。

(5)国際協力の促進にCCAS、CONNECTUS、ISTECが果たしてきた役割と貢献については幅広い賛同を得た。さらに出席者から、この3機関による現在の活動の継続を強く促す意見があった。

## **商業化に向けた技術開発**

### **(1)電力分野に関するHTS技術**

欧州、米国、日本の電力需要はこれまで着実に増加してきた。しかし現在では、発展を続けるアジア諸国が最も高いエネルギー消費の伸び率を示している。その一方、CO<sub>2</sub>排出問題など環境保護に対する懸念はますます深刻化しつつある。こうした状況のなか、効率的な発電、送電、電力利用が緊急に必要とされている。また電力供給の質も大きな問題となっている。こうした様々な問題に対し、超電導技術には解決への寄与が求められている。

超電導ワイヤー/ケーブルの製造は、送電のほか多様な応用分野を持つ基本技術である。送配電に超電導ケーブルを使用すれば、都市部を中心に数多くのメリットが得られる。超電導ケーブルの低インピーダンスという電気特性は、送電網の設計や改修の方法を一新するはずである。送電システムの設計技術者がその電気特性を活用し、既存の送電システム内に超電導の“バックボーン”と“ジャンパ”を戦略的に配置すれば、システム全体の高度化に要する追加費用を投じることもなく、送電効率を大きく向上させることが可能である。

HTS送電ケーブルを商業化する取り組みでは、1996年から現在までの第1段階で多数の

ケーブル実証プログラムを実行してきた。ケーブルの実証プログラムが始まったのは1996年であり、その年東京電力/住友電工とEPRI/ピレリが、それぞれの高電圧試験施設でHTSケーブルの初期試験に着手した。その後も日本、欧州、北米で続いて試験が行われた。日本では、東京電力/住友電工が電力中央研究所で実施した三相/100m、66kV/114MVAケーブルの実証プログラムが2002年6月に成功裏に終了し、超電導ケーブルの小型化をアピールした。欧州では、NKTケーブルが開発した三相/30m、60kV/104MVAケーブルの実験を2001年からコペンハーゲン(デンマーク)の送電網で実施し、50,000世帯への給電が成功した。米国では、Southwire社の三相/30m、12.4kV/27MVAケーブルの実証プロジェクトが2000年2月に始まり、ジョージア州キャロルトンにあるSouthwire社製造工場への給電を行っている。さらに米国では、ピレリが三相/130m、24kV/100MVAケーブルをデトロイトの変電所に設置し、実証実験を実施した。ただしこの実証実験は、学ぶところは多かったものの、極低温冷却システムに生じた漏れのため目標は達成することはできなかった。メキシコでは、Conduum社が一相/5m/2kAケーブルの実証実験を成功させている。

こうしたHTSケーブル商業化プロセス第1段階における実証プログラムは、デトロイトのケーブル試験を除いて、いずれも大成功を収めた。2003年から2005年を予定している商業化プロセス第2段階では、日本、欧州、米国、韓国、中国、メキシコでおよそ8~10件の新たなHTSケーブル実証プロジェクトを計画している。この第2段階では、商業化の前段階として第1世代のHTSワイヤーを利用することになっており、2005年以降のHTSケーブル商業利用につながることを期待されている。

一方、第2世代の超電導ワイヤーは目下精力的に開発が進められている。この新世代ワイヤーの開発に成功すれば、超電導の送電分野における用途がさらに広がるはずである。最近、YBCOの上部臨界磁場強度は4.2Kで100T以上に達することが確認された。この発見は、HTS技術に有望な新分野をもたらすものと考えられる。たとえば核融合のための超強力磁石、生命科学研究のための核磁気共鳴、高性能の超電導電力貯蔵(SMES)システムなどである。

超電導を利用した電力システムはエネルギー効率が高く小型軽量であるため、今後の電力産業では様々な分野で重要な役割を担うものと考えられる。電力分野では送電以外の用途についても、全世界で技術研究と開発が進められている。注目を集めているのは、SMESシステム、フライホイール、変圧器、モーター、発電機、限流器、磁気分離用磁石などである。日本もLTS-MAGLEV(低温超電導磁気浮上式列車)技術の開発に力を注いでいるほか、新しい試みとしてMAGLEVへのHTS技術の導入にも取り組んでいる。米国海軍は現在、船舶用推進システムのためHTS利用の推進モーターおよび発電機の開発と実証に力を注いでいる。Siemens社も商用貨物船用の同種モーターを開発中である。

こうした用途の中でも、超電導技術のメリットが特に大きいのが磁気共鳴画像法(MRI)である。顧客側もイメージングに超電導磁石を使用するメリットを知悉しており、こういった製品の市場は十分に確立している。また低温超電導(LTS)ワイヤーを利用する小規模な商用SMESは、すでに製品化されている。

ISIS-11の出席者は、こうした着実な開発努力が強い意志と明確な目標をもって継続されることに対する心からの希望を表明した。なぜならそうした努力こそが商業化を成功させるための必須条件だからである。

## (2)電子産業における超電導技術

我々は情報共有とグローバルコミュニケーションという新しい時代に入ろうとしている。パーソナルコミュニケーションのニーズは拡大し、共有情報量は増加を続けている。欧州や日本ではブロードバンドの無線通信システムがすでに導入されている。米国では携帯電話の通信事業者が、通信ネットワークへの超電導フィルターの導入を進めており、超電導フィルター産業は大規模な商業化に向けた大きな一歩を踏み出した。米国の通信事業者は、

携帯基地局に超電導フィルターを導入することによって得られる経済的メリットを十分理解しているようである。日本と欧州では超電導フィルターの利用は実現していないが、実地試験はすでに行われており、試験に参加した通信事業者は超電導システムのメリットを認めている。

欧州ではCryoelectra社が現行ネットワークおよび3G無線通信ネットワーク用に超電導フィルターシステムを開発しており、欧州のサービスプロバイダと協力して行った実地試験では成功を収めている。また欧州におけるある共同プロジェクトでは、Infinion Technologies Wire Systems Sweden ABが超電導体と半導体のハイブリッド技術を利用して、ポスト3G通信ネットワークに向けたソフトウェア無線用にA/Dコンバータの開発を進めている。日本では測定/通信分野におけるLTS/HTSの高速単一磁束量子(RSFQ)デジタル素子の利用を目指し、研究開発プロジェクトが進められている。さらに日本では2002年初頭から、エネルギー消費の少ない超電導ネットワーク素子を開発する新プログラムが始まり、高速ルーター用のスイッチングモジュールやコンピュータサーバー用のプロセッサモジュールの開発が進められている。こうしたプログラムでは、天文学的な量の情報が通信、処理される将来のIT時代に不可欠の通信障害のないネットワークやエネルギー消費の極めて少ない素子などについて、その実現への貢献が期待されている。あるいはまた研究者は、ジョセフソン接合を通過して伝播する磁束はソリトン性を示すと指摘している。この特性を利用した集積超電導素子も、将来のIT時代には実現するかもしれない。

超電導エレクトロニクス技術の医療分野への応用については、超電導量子干渉素子(SQUID)を利用した脳磁場計測装置(MEG)および心磁場計測装置(MCG)の開発が進められ、大きな成果を挙げている。こうした技術が開発されれば、現在他の方法では特定できない疾患についても非侵襲的に診断することが可能になる。MEGシステムはすでに基礎研究段階を終えており、複数のユニットがすでに臨床的に用いられている。MCGもごく近い将来、臨床診断機器として利用が始まるはずである。また非破壊試験や物理的地下探査といった多様な特殊市場において、HTS SQUIDの商業化に向けた着実な進歩がみられる。また走査型SQUID顕微鏡の開発と商業化の成功は、半導体チップの品質管理用途に有望な商業機会があることを示している。

### (3)支援技術：冷凍機

冷凍機などの極低温技術は、超電導の応用になくてはならない必須の基礎技術である。しかし商用の冷凍機器には妥当な価格、高い信頼性、優れたエネルギー効率、小型化、使いやすさが不可欠である。考慮すべきこうした必須の技術的特性は分野によって異なっている。一般に電力分野においては、最も重要な特性は信頼性とリダンダンシーであり、エレクトロニクス分野においては信頼性、費用、そしておそらくは温度安定性が必須である。冷凍機は現在は4.2Kと77Kという作動温度が標準となっているが、今後はその利用分野に応じて様々な温度域で用いられることが予想される。

既存の冷凍機は超電導以外の用途に製造されたものもある。たとえば大規模超電導に関する用途で用いられているGifford-McMahon(GM)冷凍機は、もともとMRIとクライオポンプ用に開発、製品化されたものである。ただしGM冷凍機は、送電ケーブルの冷却など超大規模の送電用途には適さないと考えられる。日本の三相/100m、66kV/114MVAケーブルの実証プログラムやデンマークのケーブルプロジェクト、欧州の変圧器および限流器では、従来型のスターリング冷凍機が用いられている。エレクトロニクス分野では、移動体通信用超電導フィルターシステムに用いられている冷凍機は、赤外線探知機の冷却など受動的用途のために設計された小型のスターリング冷凍機である。しかし現在の冷凍機技術には費用や効率などなお解決すべき問題点がある。送電やエレクトロニクスに関する一部の用途には、パルスチューブ冷凍機が有望かもしれない。

ISIS-11の出席者全員の一一致した意見として、冷凍機は超電導産業の未来にとって不可

欠の要素であり、その開発に全力で取り組む必要があると考える。そしてその開発努力は、ある条件を備えた冷凍機、すなわちエレクトロニクスと電力のそれぞれの分野に適し、既存の製品よりもエネルギー効率に優れ、信頼性が高く、一層小型で、価格が安い冷凍機ファミリーの開発に集中すべきである。また出席者は、国際コンソーシアムを結成し、極低温技術の開発と成熟を促進して超電導産業のニーズを満たすという構想についても意見を交わした。そして、こうしたコンソーシアムがもたらす成果は、超電導産業および冷凍機メーカーが利用することが出来るであろう。

## 次回サミット

CONNECTUSが主催する次回サミットは欧州で開催される。その開催日は、2003年9月14～18日開催の欧州超電導会議(EUCAS)に近い日程になる予定である。

ISIS-11の出席機関と国:

CONNECTUS(欧州)

CONNECTUS,EU

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH、ドイツ

NKT Research & Innovation A/S、デンマーク

Vacuumschmelze(VAC)、ドイツ

CCAS(米国)

American Superconductor Corporation

Argonne National Laboratory

Cardiomag Imaging, Inc.

IGC-SuperPower, Inc.

M. Nisenoff Associates

University of Houston

ISTEC(日本)

財団法人電力中央研究所

日立電線株式会社

北海道大学

財団法人国際超電導産業技術研究センター

九州電力株式会社

日本電気株式会社

新エネルギー・産業技術総合開発機構

日本大学

財団法人鉄道総合技術研究所

東京理科大学

住友電気工業株式会社

住友重機械工業株式会社

古河電気工業株式会社

東京電力株式会社

株式会社東芝

東京大学