

## 韓国における超電導関連研究開発計画 - 韓国KMOSTが新規DAPAS計画(\$100M)推進 -



韓国における超電導関連の研究開発は、韓国商工エネルギー省(KMOCIE)のもとで韓国基礎科学研究所(KBSI)及び韓国先端科学技術研究所(KAIST)が中心となって実施している韓国超電導トカマク装置(KSTAR)計画と韓国科学技術省(KMOST)のもとに新しく発足した応用超電導技術センター(CAST)が実施するDAPAS計画を機軸として成果を挙げつつある。一方、ソウル国立大学(SNU)、延世大学、江川大学などの大学をはじめ韓国原子力研究所(KAERI)、韓国電気研究所(KERI)、韓国光技術研究所(KOPTI)、韓国電力公社電力研究院(KEPCO/KEPRI)などの国立研究所に加え、民間の三星(Samsung)先端技術研究所(SAIT)、低温真空技術(CVE)など大小企業が参画するなど官学産の緊密な連携のもとで研究開発が推進されている。

KSTAR計画は、KBSIのもとに核融合研究開発事業団を組織し、全体のプログラムの計画と研究進捗の総括を行っている。計画は、R&Dが1995年末から開始されており、2002年(約2年遅れる見通し)の運転を目指している全超電導トカマク装置(主半径1.8m、プラズマ中心磁界3.5T、プラズマ電流2MA)である。KSTARの開発は、核融合炉の設計を米国との共同開発、超電導(Nb<sub>3</sub>Sn)線材を中間製品として米国のIGC社、日本の三菱電機㈱などから購入、超電導マグネット要素試験を三星SAITの超電導試験所(SSTF)に委託するなど極めてユニークな手法を駆使した効率的な研究開発が行われている。

DAPAS計画は、10年間に総予算\$100M(約125億円)を投じるもので、2001年から開始したばかりの

超電導技術を応用した夢の電力システム計画(Dream of Advanced Power system by Applied Superconductivity technologies)の愛称で、KERIの敷地内に新設されたCASTにおいて推進されている。また、この計画は、21世紀フロンティア研究開発計画(10件)の1つとして位置付けされているもので、単独の予算規模としては従来からKMOSTが支出する年間予算約\$4M(1997年実績)の約2.5倍以上の規模に相当する。DAPAS計画は、超電導電力機器(地中ケーブル、変圧器、限流器、電動機)、超電導デジタルデバイス(ALU:演算論理回路)及び超電導基盤技術(HTS銀シース線材、HTS強制冷却型導体、低温技術、電力系統応用技術)の3領域9テーマから構成されている。研究開発の対象は、ALUを除いてすべて高温超電導材料に係わるもので、具体的には第1期(要素技術開発)、第2期(第1期技術を発展させた準商用試作機器開発)および第3期(実地試験と商用化技術開発)と3期に分けた到達目標が設定されている。

DAPAS計画の責任者であるCASTセンター長の柳康植(Kang-Sik Ryu)氏によると、この計画は過去の韓国における超電導関連の研究開発とは独立に開始したもので、その運営方式も国際的に門戸を開いた国際協力を基調としており、すでにNexans、ASCなど4機関から申し出を得ているとのことである。したがって、この方式のもとで順調に運営できれば、投資額の100倍の効果が期待できるという。なお、DAPAS計画には、超電導エネルギー貯蔵装置(SMES)や高周波フィルタの研究開発は含まれておらず、それぞれKERI、ソウル大学(EESRI)、韓国電子通信研究院(KETRI)など従来からの研究開発機関において継続実施されている。

これら韓国の超電導関連研究開発における特徴をまとめると、(1)官学産の緊密な連携研究開発体制を採用している。(2)人材難(1997年当時で総勢約250名)をカバーするために、若手専門家の抜擢、諸外国から中間材料や部品の購入、技術導

入、国際共同研究など効率的な推進手法を採用している。(3)1998年に設立された韓国超電導・低温工学会(KIASC)と日本の低温工学協会(CAJ)とが国際協力活動を実施、韓国標準科学研究院(KRISS)が国際電気標準会議(IEC)のIEC/TC90(超電導)国際会議を2001年秋に招致、日本が提唱した次世代知的生産システム(IMS)に2000年に加盟するなど活発な国際的研究開発活動が実施されていることを挙げるができる。

(編集局 田中靖三)

## 目次

韓国における超電導関連研究開発計画	1
マイクロSMESとは	2
新聞ヘッドライン	2
超電導関連2-3月の催し物案内	2
2001年秋 超電導工学研究所 所長表彰	2
LTS 発電機開発の現状	3
HTS 電動機開発の現状	3
超電導関連製品ガイド	3
超電導速報 世界の動き	4
EUにおける超電導関連研究開発計画	5
特許情報	5
標準化活動 今月のトピックス	6
2001 Japan-EU Workshop on Superconductivityの報告	6
【隔月連載記事】 バルク超電導磁石の誕生(その1)	6
読者の広場(Q&A)	8

## [ 解説 ] マイクロ SMES とは

マイクロSMES(超電導電力貯蔵システム)とは、字義通り、一般に出力1~3MW、貯蔵エネルギー3MJ前後を有する非常に小型のSMESに対して称せられており、主に瞬時電圧低下の影響を受けやすい産業プラントでの瞬低防止に利用されているほか、電力系統の末端における電圧低下時の電圧回復促進にも利用され始めている。現在、世界で約20台が設置されていると言われており、米国等では、システム全体がトレーラーに積載して移動可能な程度に設備構成になっている。

現在、市場に出始めているマイクロSMESは、米国のASC社(American Superconductor Corp.)製のものであり、産業プラントにおける電力品質対策用のPQ-SMES(Power Quality-SMES)と電力系統に分散配置するD-SMES(Distributed-SMES)という2種類の形態が提案されている。日本国内においてもマイクロSMESの応用研究が活発に行われており、今後、産業用分野を中心とした導入が想定される。

なお、SMESの機能を電力系統の安定化や周波数調整等の電力系統制御へ適用するには、マイクロSMESの規模及び能力、性能では困難であり、電力系統制御機能としての本格的なSMESについては、現在、NEDOからの委託によりISTECにおいて技術開発を進めているところである。

参考までに現在使用され始めたD-SMESの主要仕様をまとめると次のとおりである。

1. 周波数 50 or 60Hz
2. 電圧 69 kV ~ 500 kV
3. 出力 3.0 MW (瞬間)  
8 MVAR (連続) 18.4 MVAR (瞬間)
4. 応答速度 故障検出から5ms以内
5. マグネット  
4.1Hソレノイド, NbTi; 1150A
6. 貯蔵エネルギー 3 MJ

参考資料:

「超電導エネルギー貯蔵研究会平成12年度研究報告書」

American Superconductor  
(<http://www.amsuper.com>)

(ISTEC 調査企画部 高祖 聖一)



マイクロSMESのイメージ(ASC製の場合)

## 新聞ヘッドライン (12/20-1/18)

量子コンピューターで因数分解  
MIT・IBMなど 12/20 日経産業新聞、12/21 日本経済新聞、日本工業新聞

中部電力 技術研究開発賞 部長賞 新型超電導導体の開発 12/20 電気新聞

高温超電導体フィルター 開発  
子会社を解散 12/24 日刊工業新聞

ITERの国内誘致「意義ある」総合技術会議 12/26 日経産業新聞、電気新聞

ゲノムビジネス動き出す! 横浜に集積地、産学官でビジネス化 12/26 日刊工業新聞

フロンティア サイエンス誌 科学技術トップ10 12/26 読売新聞(夕刊)

超への挑戦“究極の性能”量子コンピューター NEC、富士通など着々と 12/27 日本工業新聞

超高速スパコンに弾み 高温超電導体を利用 集積回路の開発成功 12/31 読売新聞、1/1 THE DAILY YOMIURI

朝日賞の皆さん「超伝導」で世界に衝撃 物質操る電子に迫る 1/1 朝日新聞

21世紀のエネ技術展望 国際熱核融合実験炉 1/4 電気新聞

日欧露共同の「核融合発電」実験炉 年内にもITER計画決定 1/7 日本工業新聞

田中昭二・超電導工学研究所長に聞く 超電導産業、2005年ごろ離陸 1/8 東京新聞(夕刊)

国際熱核融合炉計画 米が復帰を検討 1/9 読売新聞(夕刊)

原研と核燃サイクル統合へ 文科省が準備会議 1/9 日本工業新聞  
NEDO 東レなど環境5件選定(含超伝導磁気分離を利用した製紙工場からの廃水処理システム) 1/11 日本工業新聞

量子コンピューター 日本勢、開発研究競う NEC超電導材料を素子に 東芝レーザー光で駆動 1/14 日本経済新聞

米、復帰を前向き検討 ITER計画で大統領補佐官 1/16 日本工業新聞

高温超電導体 外部磁場で磁石に変化 東大とNEC北米研が観測 1/17 日刊工業新聞

## 超電導関連 2-3月の催し物案内

2/7  
第4回材料研究会  
場所:九州大学ベンチャービジネスラボラトリー3階ゼミナール室  
(主催:低温工学協会)

2/15  
超電導エネルギー貯蔵シンポジウム2002  
場所:(株)三菱総合研究所 AVルーム  
(主催:超電導エネルギー貯蔵研究会 E-mail: rasmers@trc-net.co.jp、(財)国際超電導産業技術研究センター(協賛))

3/4-6  
メソソピック超伝導とスピンに関する国際シンポジウム  
場所:NTT厚木研究開発センター講堂  
(主催:NTT物性科学基礎研究所)

3/8  
第10回冷凍部会例会「先進核融合実験装置」・総会  
場所:未定  
(主催:低温工学協会)

3/14-16  
ISIS-10(第10回国際超電導産業サミット)  
場所:Santa Fe, New Mexico  
(主催:CSAC, CONECTUS, ISTE)

3/18-22  
Annual APS March Meeting 2002  
場所:Indianapolis, Indiana  
(主催:APS)

## 2001年秋 超電導工学研究所 所長表彰

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(所長 田中昭二)では、春と秋の年2回、所内の表彰を実施しているが、2001年秋の表彰が11月13日に執り行われた。所長賞のテーマおよび受賞者を下記に紹介する。

### 【所長賞(3テーマ)】

「Ti添加によるMgB<sub>2</sub>焼結体の超電導特性の向上」  
Yong Zhao, 町 敬人,  
Daxiang Huang  
「MgB<sub>2</sub>の結晶育成」  
Sergey Lee  
「型ADコンバータの動作実証」

長谷川 晴弘, 橋本 龍典

(ISTEC総務部 安住光弘)

## LTS 発電機開発の現状

超電導発電関連機器・材料技術研究組合  
発電機技術部長 西嶋健一

LTS(低温超電導)発電機は、経済産業省プロジェクトの一環として新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの受託により1988~1999年度の12年間で70MW級モデル機の開発を行い、200MW級機の技術的な実現性に見通しを得た。しかし、現用発電機に対し経済性の課題があり、これを解決する為、“超電導発電機基盤技術”プロジェクトとして2000年度から4年計画で開始された。

開発対象機は200MW級、600MW級機であり、その開発のポイントは、高密度化により発電機の小型化を限界まで追求することで低コスト化の実現を目指すことにある。具体的には、電機子巻線電流密度140A/cm<sup>2</sup>、界磁巻線電流密度80A/mm<sup>2</sup>と、前プロの開発レベルに対してそれぞれを1.3倍に向上させ出力密度を1.5倍にすることである。これにより、発電機体格は8割以下に小型・軽量化することが可能となる。

開発初年度は、前プロの成果、各種解析等を踏まえ基本設計を行い、開発目標達成の見通しを得た。次年度からの3年間において、基本設計を踏まえた要素モデル試験・解析検証の実施、さらに構造・材料見直し等による一層の低コスト化の検討により、基盤技術の確立を目指す。

## HTS 電動機開発の現状

京都大学大学院  
工学研究科 電気工学専攻  
助教授 星野 勉

1993年頃から開発されているHTS(高温超電導)電動機には、超電導界磁巻線を持つ同期電動機、バルク材を磁性材料として用いる塊状鉄芯形電動機がある。誘導電動機はトルクを発生するためには必ず二次銅損が発生するので二次導体の発熱が問題となろう。バルク材を用いる電動機は、実験室規模である。超電導体に着磁した永久磁石形電動機1)は、磁束クリーブを如何に減少させるかが、実用化への課題である。リラクタンズ機は、突極特性の向上が報告されている。2)完全反磁性を利用するヒステリシスモータ3)も研究されている。界磁巻線を超電導コイルで構成するもので、起磁力が大

きく取れるため、体格の小型化が図れる。大別して、船舶の推進用としての直流単極電動機4)と整流子直流電動機5)、同期電動機の試作研究がある。回転電機子型6)と回転界磁型7)があり、小型では回転電機子型が選ばれている。米国Department of Energy(DOE)が1988年から始めたSuperconductivity Partnership Initiative(SPI)のもとでReliance Electricによって1000馬力のデモンストラーションが進められている。8)また、韓国の超電導21世紀フロンティアプロジェクトの中で、電動機が取り上げられ、1MWを目標として開発が始められている。

### 参考文献

- 1) Z. Szucs *et al.*: Preprint of ICEC16, PS1-e2-09 (1996.5)
- 2) 池田泰章 他: 電気学会超電導応用電力機器研究会資料 ASC-96-13, pp. 111-120 (1996.1)
- 3) P. Tixador *et al.*: IEEE Transactions of Applied Superconductivity, Vol. AS-7, No. 2, pp. 896-899 (1997.6)
- 4) D. W. Hazelton *et al.*: IEEE Transactions of Applied Superconductivity, Vol. AS-7, No. 2, pp. 664-667 (1997.6)
- 5) E. Spooner *et al.*: IEE Proceedings-Electric Power Applications, Vol. 141, No. 3, pp. 135-143 (1994.5)
- 6) R. Mikkonen *et al.*: IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 32, No. 4, pp. 2377-2380 (1996.7)
- 7) J. P. Voccio *et al.*: Preprint of CEC/ICMC 1995, TU-S1-3 (1995)
- 8) [http://www.reliance.com/news/press\\_releasespress\\_7\\_16\\_01.html](http://www.reliance.com/news/press_releasespress_7_16_01.html)

### ISS2002のご案内

#### 第15回国際超電導

#### シンポジウム(ISS2002)

... 15th International Symposium on Superconductivity 2002

...

日時: 2002年11月11日(月)  
~ 11月13日(水)

場所: パシフィコ横浜会議センター(横浜市)

論文募集:

4月1日ホムペにて案内

5月31日ファーストサーキュラ発送

発表申込: 7月15日締切

プログラム: 8月30日ホムペにて掲載

事前登録: 9月30日締切

## 超電導関連製品ガイド - 会社は五十音順表示 -

### バルク材料

多結晶体  
・同和鋳業株式会社FTP事業部 超電導材料グループ  
Tel: 03-3201-1086  
Fax: 03-3201-1036  
担当: 中村、和田  
Y系、Bi系、TI系

溶融体(単ドメイン結晶体)  
・新日本製鐵株式会社 先端技術研究所 新材料研究部 超電導グループ

Tel: 0439-80-2714  
Fax: 0439-80-2746  
e-mail: hirano@re.nsc.co.jp  
酸化物系担当  
商標: QMG  
・同和鋳業株式会社FTP事業部 超電導材料グループ  
Tel: 03-3201-1086  
Fax: 03-3201-1036  
担当: 中村、和田  
RE系

### バルク材料の応用製品及びシステム

磁気シールド  
・同和鋳業株式会社FTP事業部 超電導材料グループ  
Tel: 03-3201-1086  
Fax: 03-3201-1036  
担当: 中村、和田  
Y系、Bi系

電流リード  
・新日本製鐵株式会社 先端技術研究所 新材料研究部 超電導グループ  
Tel: 0439-80-2714  
Fax: 0439-80-2746  
e-mail: hirano@re.nsc.co.jp  
酸化物系担当

次号予定: 大面積基板とフィルタ製品

## [ ビジネストレンド ] 超電導速報 世界の動き ( 2001年12月 )

### 電力応用

American Superconductor Corporation (2001年12月10日)

American Superconductor Corporation は、2001年フィナンシャル・タイムズ世界エネルギー賞を受賞した。高温超電導ワイヤーの生産への貢献がその受賞理由。この賞は、いくつかのカテゴリの中で、全世界のエネルギー産業における際立った成果に対し与えられる。American Superconductor Corporation は、"Pre-Commercial Technology Development of the Year" というカテゴリにおける最終候補7社の中から選ばれた。同社は、最近世界で初めての高温超電導製造施設をオープンしている。この施設の年間生産能力は、超電導ワイヤー2万キロメートル。2002年度末までに、生産能力は3万キロメートルに増強される予定。

( 出典 )

"American Superconductor Receives 2001 Financial Times Global Energy Award"  
(American Superconductor Press Release, December 10, 2001)  
<http://www.amsuper.com/>

### 材料

Nano-C LLC (2001年11月30日)

Nano-C LLC は、新しいフラーレン合成量産プロセスを開発した。フラーレンとは超電導や他の工業応用の観点から有望視されている一種の炭素分子。同社は、現在のコストを10分の1から100分の1にすることが可能なフラーレン合成プロセスのスケールアップに取り組んでいる。このようなコスト低減が可能になれば、新デバイスや数々の応用に向けた商業生産に必要な大量のフラーレンを入手することができるようになる。現在、全世界の年間フラーレン生産量は100kg。Nano-C LLC は、同社プロセスにより2004年までに、月産数トンのフラーレン製造が可能と見ている。現在、フラーレンに係る応用特許は2000以上あり、2004年における市場規模は年間1億ドルと見積もられている。同社は、現在、パートナーを探しているところであり、Fullerene International Corporation と三菱商事の合併会社と第1号の非排他的ライセンス契約を締結した。

( 出典 )

"Nano-C LLC Extending Commercial Production Process for Fullerene Carbon Molecules, Seeking Partners"  
(Nano-C LLC Press Release, November 30, 2001)  
<http://www.nano-c.com/press.htm>

University of Toronto (2001年12月12日)

トロント大学の物理学チームが、固体物理の世界では最も古く且つ確立された法則と思われるヴィーデマン・フランツ則が成り立っていない場合があるという論文を「ネイチャー」12月13日号に発表した。ヴィーデマン・フランツ則は、電子により媒介される電荷と熱を取り扱ったもので、これまで全ての金属において成り立つものと考えられていた。この法則は、熱をよく伝えるものは電気もよく伝えるということ(定量的に)述べたもの。しかし、「ネイチャー」の論文では、(超電導)銅酸化物では電気伝導と熱伝導にはその態様において全く関連が認められないとされている。論文筆者は、(超電導)銅酸化物では(擬粒子としての)電子は異なる2種類のものに分かれると考えている。1つは電荷を担い、別のものは電荷を担わない。この知見は、高温超電導メカニズムに関する現在の知見に大きなインパクトを持つものと思われる。

( 出典 )

"Superconducting Metals Research Breaks the Law"  
(University of Toronto Press Release, December 12, 2001)  
<http://www.newsandevents.utoronto.ca/bin2/011212a.asp>

### 通信

Superconductor Technologies Inc. (2001年12月13日)

Superconductor Technologies Inc. は、北米主要通信事業者から追加で最低でも1000台のSuperFilter(R)の発注を受けた。出荷は直ちに開始され、2003年第1四半期まで続く。また、各四半期毎の最低出荷量も決められている。この通信事業者は、Superconductor Technologies Inc. の超電導フィルターをその通信ネットワークの標準コンポーネントとして使用することを決めており、既存の地上局の置き換えばかりでなく新たな地上局全てにそのフィルターを使用する予定。この購入契

約により1年強の間に既存のネットワークに組み入れられるフィルターの数が2倍になる。これは、超電導フィルター・フロントエンドシステムとしてはこれまでで最大の受注。

( 出典 )

"Superconductor Technologies Inc. Receives Purchase Commitment for 1,000 SuperFilter(R) Systems from Major Wireless Carrier"  
(Superconductor Technologies Press Release, December 13, 2001)  
<http://www.supotech.com/>

Superconductor Technologies Inc. (2002年1月8日)

Superconductor Technologies Inc. は、同社社長 CEO M. Peter Thomas が日本で開催される国際第3世代移動通信サミットの中のパネル "3G Core and Access Infrastructure" の議長を務めるとともに講演を行う予定であると発表した。このサミットは、第3世代移動体通信分野で最も重要な国際会議の1つであり、2002年1月15日~18日、東京の日本コンベンション・センターで開催された。Thomas 社長は、カバレッジ、容量、サービス品質改善という観点から第3世代及び第4世代のデータ・ネットワークにおける極低温フロントエンド・システムの役割について講演の予定。

( 出典 )

"Superconductor Technologies Inc. CEO M. Peter Thomas to Present at 3G Mobile World Summit in Tokyo"  
(Superconductor Technologies Inc. Press Release, January 8, 2002)  
<http://www.supotech.com/>

( ISTE C 国際部長 津田井 昭彦 )

**EUにおける超電導関連研究  
開発計画  
- GROWTH など約25億円規模のFP5 進行中 -**

欧州連合(EU: European Union) 15カ国は、2002年1月のユーロ通貨流通(ユーロ圏12カ国)により、新たな歴史的深化を遂げた。現在、EUにおける超電導研究開発は、独立した計画としては存在せず、行政府である欧州委員会(European Commission)の決定した第5次フレームワーク(FP5:1998-2002年)のもとで研究技術開発部門(RTD)、エネルギー部門などが立案した大型計画からの助成、欧州各国の補助と企業の資金並びに国際協力を効率的に組み合わせて実効を挙げている。

EUにおける超電導研究開発プロジェクトは、GROWTH計画、EESD計画などの大型計画の中で枠取されている。CORDIS(<http://www.cordis.lu>)と財団法人国際超電導産業技術研究センター(ISTEC)が日本貿易振興会(JETRO)に委託した調査結果によると、現在進行しているEUの超電導関連研究開発プロジェクトは、表に示すように10件程度で、総助成予算23百万ユーロ(約25億円)規模である。

EUにおける超電導関連プロジェクトの特徴は、(1)研究技術開発RTDにはFP5総予算(14,960百万ユーロ)の約18%(2,700百万ユーロ)が充当され、その約0.15%が超電導関連プロジェクト年間予算に向

けられている。(2)各プロジェクトへの補助率は、大学などの研究機関へは100%であるが、民間企業に対しては約50%である。(3)研究開発の中心はドイツで、EUからの助成の他にドイツ連邦教育研究省(BMBF)からVDIテクノロジーセンターを通じて年間27.5百万マルク(約16.6億円)の補助予算(総予算の0.7%)がある。しかし、英国では自主的な補助予算は工学及び物理科学研究評議会(EPSCR)がもたらす25.5万ポンド(約0.5億円)に留まっている。(4)FP5GROWTH計画では、知的生産システム(IMS)を通じて予算の約0.5%を上限として諸外国との共同開発を推奨している。(5)研究開発は、SCENETに代表されるような通信技術やネットワーク技術よりも、エネルギー技術の応用技術開発に重点が置かれている。

EUプロジェクトにおける具体的な成果として、NKTグループとPirelli社との共同開発により2001年デンマークのコペンハーゲン市にEU最初の酸化超電導ケーブルの導入がある。このプロジェクトは、FP5GROWTHのQ-SECRETSとOPTIMISE(総額8.2百万ユーロ)からの助成のもとで要素技術を開発し、DanishNKT、デンマークエネルギー庁及びEltra, Elkraft 両電力会社から総額約6億円をもとに应用開発した。また、このFP5GROWTH助成の波及効果として、ドイツ連邦教育研究省(BMBF)の支援のもとでジームス社が開発した2001年EU

最初の400kW超電導モータがある。これらの成果の一部は、<http://www.nst.com>に掲載されている。  
(編集局 田中靖三)

**特許情報**

平成13年度第3四半期の公開特許

平成13年10月～12月に公開されたISTEC出願の特許をお知らせします。詳しい内容は特許庁のホームページ内の特許電子図書館等の特許データベースをご利用下さい。

1)特開2001-308399「超電導接合素子及びその作製方法」: ジョセフソン接合の作製の従来法では、下部電極超電導層と上部電極超電導層間に絶縁膜等の極薄いバリア層を形成している。上部と下部の電極材料に異種の酸化超電導体を用いてバリア層の形成過程を省略出来るジョセフソン接合の作製方法。

2)特開2001-342020「希土類系酸化超電導体の製造方法」: 従来の方法で作製したバルク状の酸化超電導体には熱処理中の雰囲気ガスの残存や熱分解時の酸素ガスの発泡等が原因で多数の空孔が存在している。こうした機械的強度を劣化させる要因を大幅に改善する酸化超電導体の作製方法。

(SRL/ISTEC開発研究部長 中里克雄)

**EUにおけるFP5超電導関連研究開発**

Programme名	Proj 名 e	代表機関	期間	予算, M Euro	補助率, %	内容
FP5/GROWTH	Q-SECRETS	Twente大 (NETHERLAND)	2000.07- 2003.06	2.39	59	SC電力システム
FP5/EESD	ACROPOLIS	FZK (GERMANY)	2000.10- 2003.09	5.15	54	Bi線のACロス低減
FP5/HUMAN POTENTIAL		SEA (NORWAY)				SCコイル
FP5/HUMAN POTENTIAL	JUELICH NEUTRONSFOR	FZJ (GERMANY)	2001.11- 2004.03	0.7	100	中性子研究基盤
FP5/GROWTH	OPTIMISE	NST (DENMARK)	2000.01- 2002.12	5.81	53	PITテープ開発、 HTSMRI開発
FP4/BRITE/ EURAM3	SCENET- POWER	CNR (ITALY)	延期申請中			EU学術・エネルギー 技術ネットワーク
	SUITABLE	機能材料センター (GERMANY)	2000.09- 2003.08	1.4		交流用酸化超電導テープ 開発と実証
	BIG-POWA	Pirelli (ITALY)	2000.03- 2003.02	3.86		Bi-2223超電導体用粉末 開発と実証
	READY	OI-PLC (UK)	1998.10- 2002.10	2		交流用YBCOテープ 開発、100kVA 変圧器実証
	BYFAULT	シュイタ' - 電工 (FRANCE)	1998.07- 2002.06	1.86		17MVA、3相限流器 用RE系超電導体作製

## 標準化活動 今月のトピックス

- 標準競争元年を迎える -

21世紀になって、超電導情報通信分野である超電導フィルタ技術に関する特許係争(訴訟)問題が持ち上がった。21世紀に新しい超電導産業が生まれるとするならば、知的財産権をも含めたこの種の標準競争は避けられないものであり、まさに標準競争元年を迎えたと言ってもよいであろう。かかる標準化環境が変化の中で、超電導製品規格化活動が進められている。

すでに実用化が定着している医療用MRI装置、NMR分析機器などは2000億円以上の市場規模で発展しているにもかかわらず、少なくとも特許係争や標準競争が表面化した記憶はない。この一つの理由として、これら従来の超電導製品が独立機能製品(スタンドアロン製品)としてその機能波及効果が限定されていたことを挙げることができる。すなわち、個々の機器は単独で特定された個人、顧客、地域などに対して高度なサービスを提供するに留まっておき、その機器の導入が波及的にグローバルかつ社会的問題にまで発展することがなかったからである。

しかし、超電導フィルタは、IT社会、中でも高度化する新情報通信システムに不可欠な要素機器である。現在の超電導フィルタの市場はせいぜい十億円程度でありながら、係争問題にまで発展するところにこの機器の社会的効果がいかに大きいか想像されよう。この現象は21世紀型超電導産業の萌芽として、また続いて発生するであろう超電導版標準競争の発端としても重要な位置付けができる。

IEC/TC90超電導標準化活動は、かかる状況に鑑み2000年度から特許権など知的財産権とも密接に係わりのある超電導製品規格化に対するニーズ調査活動を実施している。従来の標準化活動の成果である超電導関連用語規格並びに試験方法規格を基本として21世紀に不可欠な新環境関連システム、新医療介護システム、新教育システムなどの新情報通信システム並びに新エネルギーシステム、新交通・物流システムなどの新ライフラインシステムに対応し得る総合的な超電導製品規格を構築すべく作業を進めている。この目的を達成するためには、超電導製品個別の市場展開や超電導技術の単独開発の成果に甘んずることなく、まず日本が先導的に超電導製品標準大系を

確立し、日本発の技術力と国際技術交渉力を駆使して、従来型のデジュール標準と新たなデファクト標準との発展的競争環境をコントロールすることが必要である。この標準競争こそが新超電導産業を創出し、超電導産業の発展に不可欠な原動力であると考えられる。

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

## 2001 Japan-EU Workshop on Superconductivityの報告

物質・材料研究機構  
材料基盤研究センター長  
戸叶 一正

2001年12月12日から14日にかけて、つくば市の(独)物質・材料研究機構で日本と欧州共同体(EC)の超電導に関するワークショップが開催された。周知のように、日本と米国の間では超電導ワークショップが定期的開催されているが、日本と欧州の間では今回が初めての試みである。今回のワークショップは、旧科学技術庁国際課と欧州連合(EU)研究総局との話し合いで、超電導材料の研究開発を協力しながら効率的に進めることを目的として開催が決められたものである。その結果、日本側は文部科学省材料推進室が窓口、物質・材料研究機構が事務局となって準備を進めてきた。また、欧州側は欧州委員会(EC)本部のAgeladarakis博士が事務局担当で、Parma(Italy)のMarezio教授が欧州内の研究者の取りまとめを行ってきた。

同時多発テロの影響が心配されたが、欧州側からはほぼ予定通りの20名の参加があった。Deutcher(Tel Aviv)、Evetz(Cambridge)、Freyhardt(Goettingen)、Flukiger(Geneva)、Weber(Wien)など第一線で活躍中の研究者が多く参加したのに加え、特に印象深かったのはPirelli、Nexan、Siemens、NSTなど企業から多くの参加者があったことである。日本側からも80名(うち講演者26名)を超える多くの参加者があった。特にMgB<sub>2</sub>を発見して最も脚光を浴びている秋光先生を始めとして、お声をかけた殆どの先生方にご参加を戴き、盛会になったことをこの場を借りて感謝したい。

なお最後に今後の協力関係のあり方を議論するためラウンドテーブルディスカッションが行われたが、日欧の研究体制の違いによって議論が

平行線に終わってしまったのが事務局としては心残りであった。欧州には超電導研究者の集まりとしてSCENETという組織があり、EC主導のもとに結束が硬い。一方日本では、文部科学省系、経済産業省系等の行政上の枠があり、SCENETに相当するような超電導研究を一元的に統括する組織は明確には存在しない。この辺の事情が欧州側にはなかなか理解できないのが原因である。どちらが良いか悪いかは別にしても、今後日本国内で対応を協議すべき問題のように感じた。

## 【隔月連載記事】 バルク超電導磁石の誕生 (その1)

SRL/ISTEC 第1・3研究部長  
村上雅人

### 1. はじめに

本稿は、バルク超電導磁石(bulk superconducting magnet)がどのような経緯で誕生したかという歴史的な背景と、その特徴や応用開発の現状について紹介する6回の連載の第1回目である。その誕生を知るには、高温超電導開発の歴史や、その材料プロセスとピンニング効果の理解が不可欠である。そこで最初に、バルク超電導体が歴史の表舞台に登場するまでの背景を今回は紹介する。ある程度基礎的な話を中心になるが、ご容赦願いたい。

超電導が有するゼロ抵抗(zero resistivity)という特徴と、その本質であるマクロ量子効果(macroscopic quantum effect)は、電力、エレクトロニクス、医療、交通など数多くの分野に革新的な技術を提供する。この超電導が持つ魅力は多くの人々が認識していたが、残念ながら、超電導現象が生じる温度は、1986年までは絶対温度23度(23K)が最高であった。そのため、超電導応用には、必ず極低温技術が必要となり、これがネックとなって超電導応用が進展しなかったのである。よって、超電導研究者は何とか高温で超電導になる物質を探そうとやっきになっていたのである。

それが、1986年にLa-Ba-Cu-Oが30Kで超電導になることが発見されてから、続々と高臨界温度超電導体が出現し、Y-Ba-Cu-Oでいっきに液体窒素温度77Kを超えるに至って、物理と超電導工学の両分野で大フィーバーとなった。予想を超える臨界温度のなぞの解明と、それがも

たらず新産業革命への期待の大きさが、研究者のみならず、経済界をも巻き込んだ大騒動へと発展していったのである。

## 2. 臨界電流問題の勃発

超電導フィーバーは、燎原の火のごとく世界中に広がったが、時をそれほど待たずして、その将来性に対する危惧の念が各方面から寄せられるようになった。その主張のひとつに、超電導応用にとって重要な臨界電流 (critical current) が高温超電導体では本質的に低いという指摘があった。

1988年に Science や Physics Today に高温超電導体は本質的に永久電流 (persistent current) 状態ではないという特集記事が寄せられた。寄稿した物理学者がいずれも世界的に著名な面々であったために、高温超電導体の応用はすでに魅力のないものという印象を多方面に与えた。しかも Science のタイトルが "Superconductivity: Is the party over?" という衝撃的なものであり、内容はすべて "Yes, the party is over." という否定的な内容であった。この特集を受けて、New York Times や朝日新聞にも？マークつきではあったが、「高温超電導応用は困難か」という記事が載ったのを記憶している。

超電導応用にとっては、抵抗ゼロでいかに大電流を流すことができるかが重要となる。いくら臨界温度が高くとも、ゼロ抵抗で流せる電流が1Aしかないのでは使いものにならない。この電流の最大値を臨界電流 (critical current) と呼んでいる。これが極端に小さいというのが

多くの研究者の主張であった。

超電導電流は別名、永久電流 (persistent current) と呼ばれている。これは、電気抵抗がゼロの状態では、一度流した電流が永久に流れ続けるからである。これに対し、高温超電導体では永久電流状態が得られないというのが Science 誌を中心とする否定派の主張である。ところが、その考えの基礎となっている実験の解釈に実は問題があったのである。

彼等の主張は、高温超電導体の単結晶 (single crystal) を磁場中で測ると電気抵抗が発生するという実験結果に基づいていた。これには伏線がある。当初、高温超電導体は焼結法 (sintering method) という手法で作製されていたが、この手法で作られた超電導体は多結晶体 (polycrystalline materials) となり、結晶粒界 (grain boundary) が存在する。さらに、高温超電導体の結晶には異方性 (anisotropy) があるため、その両方の効果で臨界電流密度が極端に低かったのである。このため、単結晶を使った実験が必須と考えられていた。ところが、苦勞して作った単結晶でも臨界電流密度が低いという悲観的な結果が得られたのである。

単結晶でさえ駄目なのだから、工業的に生産される高温超電導体は使い物にならないと判断するのが自然の成り行きであった。しかし、磁場中で測定すれば、電気抵抗が生じるのは超電導体ではむしろ当たり前のことなのである。それを説明しよう。

## 3. 第一種と第二種超電導体

超電導体は、その磁場に対する振る舞いによって2種類に分類される (図1参照)。ひとつは第一種超電導体 (type I superconductor) と呼ばれるものである。第一種超電導体は、外部磁場を完全に排除するマイスナー効果 (Meissner effect) あるいは完全反磁性効果 (perfect diamagnetism) を示す。これは、本質的に磁場と超電導状態の相性が悪いことに起因している。

ところが、磁場を排除するためには余分な仕事が必要となる。よって、外部磁場の上昇とともに超電導状態の自由エネルギー (free energy) が大きくなり、ある限界で超電導から常電導に転移する。この磁場を臨界磁場 ( $H_c$ : critical field) と呼んでいる。残念ながら、 $H_c$  は低く、大きいものでも0.1T程度であった。これでは使い物にならない。超電導現象を発見したカマリンオンネス (Kamerlingh-Onnes) は、超電導磁石応用を夢見ていたが、この低い $H_c$ のために、その夢を断念せざるを得なかったのである。

このオンネスの夢をつないだのが、第二種超電導体 (type II superconductor) の発見である。実は、この種の超電導体は磁場と共存することが可能なのである。低磁場領域では、第一種超電導体と同様にマイスナー効果を示すが、下部臨界磁場 ( $H_{c1}$ : lower critical field) と呼ばれる磁場に、外部磁場が超電導体内に侵入する。このおかげで、外部磁場 (external field) を排除するためのエネルギーが緩和され、強磁場中でも超電導状態が生き残ることになる。この

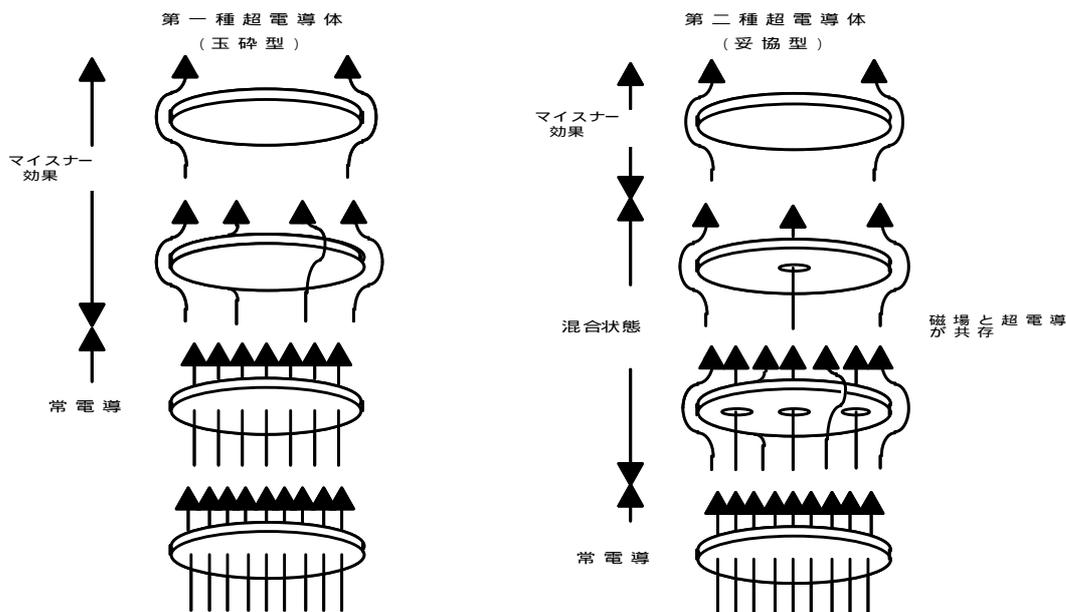


図1 第一種超電導体と第二種超電導体の外部磁場に対する応答の違い

時、侵入した磁場は量子化 (quantization) され、1本1本数えることができる。これを量子化磁束 (quantized fluxoid) あるいは渦糸 (vortex) と呼んでいる。また、磁束が侵入した領域では超電導が壊れ常電導状態となっているが、残りの部分は超電導状態のままである。つまり超電導と常電導が共存できるのである。この状態を混合状態 (mixed state) と呼んでいる。外部磁場が増えれば、それだけ磁束の本数が増え、やがて超電導体がすべて磁束で埋め尽くされたところで常電導に転移する。この磁場を上部臨界磁場 ( $H_{c2}$ : upper critical field) と呼んでいるが、 $H_{c2}$  は数10Tにも達する。

しかしながら、オンネスの夢は再び危機を迎えることになる。それは、混合状態で電流を流すと、電気抵抗がゼロにはならないという事実である。混合状態では、電流は電気抵抗のない超電導領域を流れるのであるが、磁場と電流が共存するとローレンツ (Lorentz) 力が発生する。そして、混合状態では量子化磁束にローレンツ力が働き、磁束が運動するのである (図2参照)。磁束の内部には常電導状態の電子があるから、その運動はまさつを生じ、結果的に電気抵抗が発生する。しかし、電気抵抗が発生したからと言って、超電導状態が壊れているのではない。あくまでも磁束が運動することが原因で電気抵抗が発生しているのである。このため、この電気抵抗を磁束流抵抗 (flux flow resistivity) と呼んでいる。

ここで、高温超電導体の話題に一時戻ろう。高温超電導体は第二種超電導体に属している。よって、混合状態では磁束流抵抗が生じることに

なる。つまり、高温超電導体の単結晶を使って、磁場中で電気抵抗を測定したら抵抗が発生するのはごくごく当たり前の話なのである。

このように、混合状態では超電導状態が生き残っていても、電気抵抗が発生する。とすれば、オンネスの夢は適わぬ夢として潰れてしまうのであろうか。実は、これにはピンニング効果 (pinning effect) という救世主が存在したのである。この続きは次回にゆずる。

「読者の広場」は、読者のみなさんが作っていくコーナーです。超電導に関して、さまざまな立場や角度から見た意見の投稿等を掲載するなど、情報の一方通行や偏った (誤った) 認識を避けるべく、コミュニケーションの場として活用することを目的としております。超電導を学術・専門的だけでなく、ビジネス分野から未来の世界まで夢を語るようなそんなコーナーにできればと考えます。  
\* 編集局ではみなさんの投稿をお待ちしております。



e-mail to:  
[web21@istec.or.jp](mailto:web21@istec.or.jp)

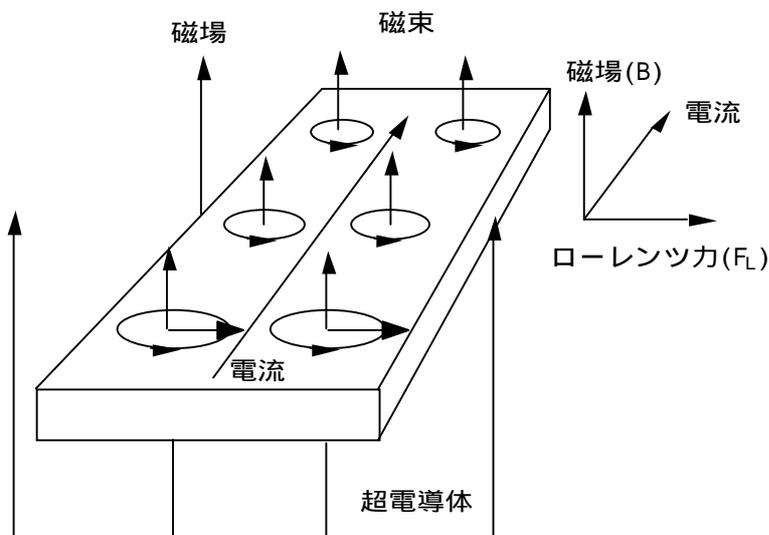


図2 混合状態にある第二種超電導体に電流を流すと、超電導領域を流れるが、磁場との相互作用で磁束にローレンツ力が作用する。この影響で磁束が運動してしまい、電気抵抗が発生する。

## 読者の広場

### (Q & A)

Q: 普通の永久磁石と超電導磁石などはどう違うのですか?

A: 永久磁石の磁場は、永久磁石を構成する元素が本質的に持っている「スピン」と呼ばれるミクロ磁石の性質に起因しています。このため、その磁場には上限があり、2T程度と考えられています。電磁石あるいは超電導電磁石は、銅線や超電導線をコイルに巻いて、「電流」を流して磁石化するもので、磁場発生原理は同じものです。ただし、普通の電磁石では銅の抵抗のため発熱が生じますので、高い磁場を発生することが難しく、大規模な冷却設備がなければ1~2T程度が限界です。これに対し、臨界温度以下に冷却する必要はありませんが、超電導コイル磁石では発熱がありませんので、最高で23T程度の磁場を発生するものも開発されています。最近、話題を呼んでいるバルク超電導磁石は、電磁誘導によってバルク超電導体内に誘導された電流が、超電導が有するゼロ抵抗のおかげで、減衰せずにそのまま流れ続ける性質を利用したものです。この場合も、本質的には電流がつくる磁場によって磁石化されます。バルク超電導磁石では最高で15T程度の磁場を発生するものが開発されています。

(回答者: SRL/ISTEC 第1・3研究部長 村上雅人)

### 超電導 Web21 2002年2月号

2002年2発行

< 発行者 >

財団法人

国際超電導産業技術研究センター内

超電導 Web21 編集局

〒105-0004

港区新橋5-34-3 栄進開発ビル6F

Tel (03)-3431-4002

Fax (03)-3431-4044

ISTEC のホームページ

<http://www.istec.or.jp>

### 超電導関連ホームページへのリンク

超電導情報研究会 (スーパーコム)

<http://www.appchem.t.u-tokyo.ac.jp/>

[appchem/labs/kitazawa/SUPERCOM/](http://appchem/labs/kitazawa/SUPERCOM/)



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。