

掲載内容 (サマリー):

トピックス

SMES プロジェクト、第 60 回電気学会進歩賞を受賞
超電導工学研及び名工大、LPE による超電導材料評価用磁気光学薄膜を共同開発

特集：超電導技術動向報告会 2004

超電導技術動向報告会 2004 より
超電導産業の勃興
線材開発のための材料研究
バルク超電導体の高性能化と新しい応用開発
超電導フライホイール電力貯蔵技術の最近の進展
実用化を目指した Y 系次世代線材の開発の進捗と今後
高温超電導線・ケーブルの開発と“実”商業化に対する試み
超電導電力貯蔵(SMES)の研究開発成果と瞬低用 SMES 開発について
超電導 SFQ デバイス開発の進捗とネットワーク機器実用化への課題
無線基地局用超電導フィルタ及びレシーバフロントエンド開発

超電導関連 6 - 7 月の催し物案内

新聞ヘッドライン (4/20-5/20)
超電導速報 - 世界の動き (2004 年 4 月)
標準化活動 - 国際超電導センター・電気学会、超電導送変電機器標準化データ調査に合意 -
低温工学協会新磁気科学調査研究会第 3 回研究会報告
韓国超電導ワークショップ (DAPAS ワークショップ) 報告
ICEC20 (第 20 回国際低温工学会議) 報告
隔月連載記事 - ITER 超電導コイル開発への道のり (その 3)
読者の広場(Q&A) - イットリウム系酸化物超電導線にはたくさん電流を流せるそうですが、普通の銅線の何倍位多く流せるのですか？

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

発行者
財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集局
〒105-0004 東京都港区新橋 5-34-3 栄進開発ビル 6F
Tel (03) 3431-4002 Fax(03) 3431-4044
超電導 Web21 トップページ : <http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.html>



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。

SMES プロジェクト、第 60 回電気学会進歩賞を受賞

SMES プロジェクト(プロジェクトリーダー 辰田昌功)「超電導電力貯蔵システム(以下 SMES という)技術開発(平成 11 年度から平成 15 年度)」は、社団法人電気学会(会長 深尾 正)の第 60 回電気学術振興賞(進歩賞)を平成 16 年 5 月 21 日電気学会通常総会において受賞した。受賞者は、同プロジェクトを代表する平野直樹(中部電力株)*、花井 哲(株東芝)、寺園完一(九州電力株)、大崎博之(東京大学)及び辰田昌功(ISTEC)の 5 名であった。

進歩賞は、社団法人電気学会における昭和 17 年から続く伝統ある電気学術振興賞(他に論文賞、著作賞などがある)のうちのひとつで、今回電気学術の進歩に貢献した 8 件に授与されたものである。今回の受賞は、(財)国際超電導産業技術研究センター(ISTEC)が新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)(現独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)技術開発機構)から受託した SMES プロジェクトの技術開発成果が電気学術の発展に大きく寄与したことを評価されたものである。

この SMES プロジェクトは、市場ニーズがあり実用化が見込まれる小規模な電力系統制御用 SMES にターゲットを絞り、超電導コイルを主体にコスト低減技術開発を行ったものである。具体的には、100MW/15kWh 系統安定化用 SMES 及び 100MW/500kWh 負荷変動・周波数調整用 SMES について、金属系超電導コイルのコストミニマム設計及び実機との等価性能を考慮したモデルコイルの製作、性能検証試験を実施した。その結果、系統安定化用モデルコイルでは、5kA/s・4 パルス高速通電試験に成功し、負荷変動補償用モデルコイルでは、世界に例を見ない一万回の繰り返し通電に成功するなど、SMES のコスト競争力と技術性能の両立性が検証された。

これらの技術開発成果は、すでに民間企業における瞬時電圧低下補償 SMES の開発*へ波及するとともに更なる経済性向上の可能性を秘めた酸化物系超電導導体の適用も視野に入れた超電導電力ネットワーク制御技術開発へと発展しつつあり、SMES の電力機器としての早期実用化に弾みがつくものと期待される。

*なお、平野直樹氏は、発表論文「5MVA-5MJ 瞬低補償 SMES システムの開発」(2003 年度秋季学会,1B-p01)に対して 2004 年 5 月 24 日(社)低温工学協会から優良発表論文賞を受賞した。

(編集局)



第 60 回電気学術振興賞(進歩賞)受賞者
写真左より、花井 哲、辰田昌功、平野直樹、
大崎博之、寺園完一

[超電導 Web21 トップページ](#)

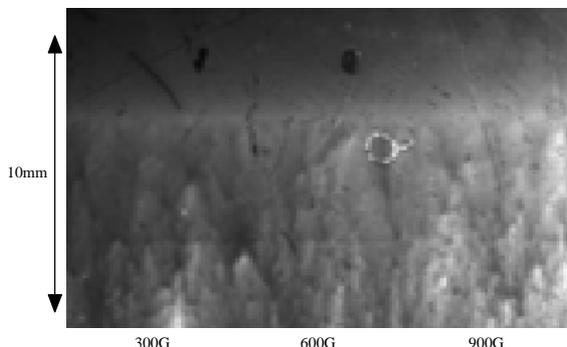
超電導工学研及び名工大、LPE による超電導材料評価用磁気光学薄膜を共同開発

超電導工学研究所盛岡超電導技術応用研究所と名古屋工業大学は、平成 15 年度の共同開発成果として可視領域において大きなファラデー効果を示し、磁場感度の優れた Bi 置換鉄ガーネット膜 $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Ga,Fe})_5\text{O}_{12}$ を(100)方位をもつ 1 インチ径の $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ (GGG) 単結晶基板上に成膜することに成功した。この膜は、磁束密度分布として $1\mu\text{m}$ 程度の空間分解能を有する面内磁化膜である。

超電導材料の臨界電流密度の評価や弱結合の検査に磁束密度の空間分布を観察できる磁気光学イメージ法が重要な役割を果たしている。通常、磁化方向が膜面内にあり、ファラデー回転角が大きい磁性ガーネット膜を検出媒体として使用するが、最近、その入手が世界的に困難となっている。超電導工学研究所は NEDO 超電導応用基盤技術研究開発プロジェクト(平成 15 年度スタート)で進めている高温超電導線材の評価技術開発の一環として実施し、液相エピタキシャル法(Liquid Phase Epitaxy : LPE)による磁気光学薄膜を名古屋工業大学とで共同開発したものである。

LPE による成膜では、まず、白金ルツボ内でガーネット成分が完全に融解するよう $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$ 系の融剤およびガーネット成分である原料酸化物を、飽和温度より 100 以上高い温度で攪拌、静置する。成膜時は、過飽和状態を保つように過冷却状態で GGG 単結晶基板を水平に保ちながら融液に浸し、回転させながらエピタキシャル成長させ、所望の厚さの膜を形成する。高品質の膜を形成するためには、融液組成、成膜条件(融液温度、成長時間、回転数など)が重要なファクターとなり、条件により $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Ga,Fe})_5\text{O}_{12}$ 膜はさまざまな特性を示す。磁化容易軸が面内にある膜を育成するためには、 $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Ga,Fe})_5\text{O}_{12}$ 膜と GGG 単結晶基板の格子定数差が重要な変数となる。冷却により膜および基板の格子定数は共に小さくなり、その格子定数差も変化するので、使用する温度領域を考慮に入れて成膜しなければならない。図に超電導線材評価用に開発した $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Ga,Fe})_5\text{O}_{12}$ 膜を用いて YBCO/IBAD 線材の 40K における磁束密度分布を観察した結果を示す。磁場の増加とともに枝状に分かれて磁束が侵入していく様子が観察できる。

今後、さらに高い空間分解能で磁束観察を可能にする Bi 置換鉄ガーネット膜の開発が課題である。このような磁性ガーネット膜を、高温超電導線材の欠陥や粒界の磁束ピン止め挙動等の解明に活用し、線材特性の向上に資する考えである。



磁気光学イメージ法による 40K における YBCO/IBAD 線材の磁束密度分布の観察結果

(編集局 / 超電導工学研究所盛岡超電導技術応用研究所)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2004 「超電導技術動向報告会 2004 より」

ISTEC は 2004 年 5 月 20 日（木）東京・都市センターホテルで超電導技術動向報告会「黎明期を迎えた超電導産業」を開催した。産・学・官、報道、一般参加者を含め約 240 名の参加があり、産業化を目指す超電導技術開発の成果と課題、動向が報告され、熱心な討議が行われた。

窪田 明・経済産業省産業技術環境局研究開発課長、奥田昌宏・独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新電力技術開発部長の祝辞があり、結実しつつある研究開発成果への期待と早期実用化への一層の激励を頂いた。

田中昭二・超電導工学研究所長は「超電導産業の勃興」と題した基調講演の中で、十数年間にわたる高温超電導基盤技術開発の成果が最近になり収穫期を迎えている。"量子コンピューターから核融合分野まで"の新たな領域への応用が見通せる状況になり、昨年提示した 2010～2020 年に向けての将来像が動き出したとの見方を示した。



基調講演の田中昭二・超電導工学研究所長

田島節子・SRL 材料物性研究部長は、これまでの基礎研究の知見を基に、高温超電導線材開発において、より精密な組成制御により特性向上を図ることができる段階にきたことを報告した。

村上雅人・SRL 特別研究員は、プロセス技術の開発による補足磁場特性の飛躍的向上と樹脂含浸等による機械強度の向上により、実用期に到達した産業応用分野の具体例として、磁気分離、磁気浮上、磁石応用などを紹介した。

九州電力 林 秀美氏は、「水の命を取り戻す 環境にやさしい超電導技術の実用化」と題して、バルク超電導体を用いた移動型磁気分離装置の設計・試作とその浄化特性、今後の課題などを紹介された。

腰塚直己・SRL 盛岡超電導技術応用研究所・所長代理は、フライホイール電力貯蔵用超電導軸受技術開発プロジェクトでの成果として、100kWh 級 FW 用超電導軸受の技術見通しと、10kWh 級電力貯蔵システムの工場試験及びラジアル型軸受けでの超電導浮上による電力貯蔵の成功などを報告した。

塩原融・SRL 線材研究開発部長は、応用基盤プロジェクト目標である高臨界電流密度および長尺化プロセス技術開発の達成状況と、今後の実用化研究への取り組みについて報告した。

住友電気工業 畑 良輔氏は、高温超電導ケーブルは OF ケーブルの一種であり、線材はケーブルシステムの一部との前提で、次世代線材の実用化へ向けてのサクセスストーリーを紹介された。

田辺圭一・SRL デバイス研究開発部長は低消費電力型超電導ネットワークデバイス開発プロジェクトの成果として、低温デバイス開発での平坦化技術・自動配線ツール等の要素技術確立による 4x4 スイッチ 40GHz 動作、マイクロプロセッサ 16GHz 動作実現など、また高温デバイスでの最近の成果と応用例などを報告した。

富士通研究所 山中一典氏は、移動基地局用受信機用の超電導体フィルタの設計・試作結果、および超電導フィルタを用いた試作基地局装置などについて紹介された。

辰田昌功・ISTEC 常務理事は、NEDO SMES プロジェクトの成果として、モデルコイルの設計・製作と各種試験を通して経済性と性能の両立する SMES コイル技術の確立、また高温超電導 SMES によるさらなるコスト低減の可能性、および今後の課題について報告した。

中部電力 長屋重夫氏は、瞬時電圧低下補償用 SMES システムの設計・製造・設置・実証結果についての紹介を通して、実用段階にある SMES システムについて報告された。

まとめ講演として、塚本修巳・横浜国立大学教授が“産業用電気機器への応用”と題した基調講演を行われ、運輸分野で期待できる超電導電動機のマーケットとして、低速大トルク・省スペース・高効率求められる船舶応用、また通信分野では送電損失、占有スペース大幅削減でのメリットが期待できるデータセンターへの超電導 DC ケーブル導入、さらに線材開発とその応用分野に関するロードマップについて紹介された。

さらに、早川尚夫 前名古屋大学教授が最近の超電導デジタル機器開発について基調講演を行われ、超電導デジタル技術の優位性は、CMOS 等の従来技術では実現できない高速動作、低消費電力を可能とする点にあり、その応用分野は SFQ による A/D コンバーター、ハイエンドルーター用スイッチさらにはハイエンドコンピューターへと広がるとの確信が述べられた。

超電導応用基盤技術開発プロジェクトの研究の成果が収穫期を迎え、早期実用化への期待が一層高まっている中で、産学官挙げての研究開発に取り組むことの意義と重要性を再認識できた報告会となった。



講演風景

(ISTEC 調査・企画部長 佐伯正治)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2004 「超電導産業の勃興」

超電導工学研究所
所長 田中 昭二

1. はじめに

2004 年は超電導産業にとって意義深い年になると思われる。待望の国際熱核融合実験炉(ITER)の開発が開始されるからである。総開発費が1兆円を越え、その30%以上が超電導関連施設の建設に当てられる予定になっている。線材としては Nb_3Sn が使用されるが、産業技術としての超電導技術がこれにより著しく進歩し、超電導産業を大きく刺激する事になる。

一方で、十数年間にわたって続けられてきた高温超電導基盤技術の開発も、最近になって収穫期を迎えつつある。以下で昨年度に得られた成果を列挙し、その将来像を述べる。

2. これまでの成果

A) バルク関連

(a) 高強度化に成功

樹脂含浸法により強度が10倍に増加し、更に金属埋込み法により熱伝導率を向上させ、20Kで17テスラの強磁場を捕捉。

(b) Gd系バルクを開発し、大きな臨界電流を得ることに成功。

(c) Nd、Eu、Gdの混晶を製作、液体酸素温度(90K)で強い磁気浮上力を得た。

(d) 10kWh級及び100kWh級フライホイールの為の超電導磁気ベアリングが極めて安定していることを立証、フライホイール以外への応用も期待できる事が証明された。

B) 線材関連

(a) Bi系線材で加圧焼成法が開発され、巾4mm、厚さ0.25mmの線で、130A(77K、0T)が得られた(住友電工)。

(b) Bi系線材で全長500mの送電ケーブルが試作された。

(c) Y系線材で5000Am級(77K、0T)のものが試作された(フジクラ)。更にこれが4~20Kにおいて20T以上の強磁場で使用可能である事が示された。

(d) 100m級のIBAD基板が製作された。

(e) Bi系線材を用い、リニア用マグネットを試作、初めて永久電流稼動に成功、減衰率も0.5%/日と少なく、又電磁擾乱に対しても極めて安定である事が実証された。

C) デバイス関連

(a) Nb系SFQデバイスで平坦化技術が完成、6層配線が可能になり、100万接合の集積化の可能性が示された。

(b) Nb系で、高速ルーター用の4×4スイッチ(40GHz)及びサーバー用の1ビットMPU(16GHz)が試作された。

(c) Y系でサンプラーが試作され、40Kで48GHzの波形を観測する事が立証された。

ここで、100万接合の集積化の可能性が示された事は、超電導素子の世界で革命的であり、今後の展開が期待される。

3. 今後の展望

線材とデバイスに関しては、超電導応用基盤技術開発プロジェクトとネットワークデバイス・プロジェクトが進行中である。本年度から新しく SMES プロジェクトも始まり、高温超電導化を進める予定である。

その他に、他省庁で進行中或いは計画中のプロジェクトにも積極的に参画する計画である。

量子コンピュータ開発(JST)

量子コンピュータにおいては、量子演算素子(キュービット)の開発と同様にこれらを駆動する回路も開発する必要があるが、超高速で低エネルギーの SFQ 回路が最適であり、この駆動 SFQ 回路を開発する。

ポスト地球シミュレーターの開発(文科省)(計画中)

現在世界最高速の「地球シミュレーター」の次期超高速スーパーコンピュータ用の論理演算 SFQ チップの開発を行う。

次期核融合実証炉の為に超強磁場発生用線材の開発

次期実証炉には 20T 程度の強磁場が必要であり、その為に超電導線材を開発する。

これらは、これまで我々が遂行して来た技術基盤の延長線上にあり、今後の技術革新にとって極めて重要な研究開発課題であり、積極的に参画して行きたい。

4. まとめ

最近になって在来技術の飽和傾向が次第と明らかになりつつあり、同時に技術革新に対する要請も強く表面化しているようだ。超電導技術がその最先端を担うべく、今後も努力する必要があると考える。

なお、本報告内容の一部は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO 技術開発機構) から委託を受けて実施されたものによる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2004 「線材開発のための材料研究」

現在開発中の超電導線材のうち、Y123 を中心とする coated conductor(CC)と MgB_2 について、臨界電流・臨界磁場向上のための指針や、それに基づいて線材の特性向上を図った実験結果例を紹介する。

現在の CC 作製プロセスで最も注意が払われているのは、結晶粒相互の角度を揃えることである。しかし臨界電流密度の値に影響を与える因子は、他にもたくさんある。結晶粒内の特性向上のためには、組成制御による高 T_c 化、高キャリア濃度化、磁束ピン止めの導入などが考えられるし、粒界特性の向上には、界面変質層や粒界析出物の除去が必要である。これ以外にも、安定して長尺の線材を製造するためには、プロセスパラメータの微小な変動に左右されないような材料選択が必要となる。

これらの多くの項目の中から、この1年特に注力した「高酸素濃度化」の研究成果について報告する。酸素濃度の効果だけを理想的に抽出するため、まず YBCO 単結晶を用いて臨界電流密度と酸素濃度との関係を調べた。その結果、 T_c が若干低下する“過剰ドーピング”と呼ばれる高酸素濃度状態にすることが、不可逆磁場を高めるだけでなく、試料中に存在する磁束ピン止め中心の力を最大限に引き出すことがわかった。次に TFA 線材試験片で酸素過剰ドーピング状態を実現しようとしたが、うまく行かなかった。これは、多結晶試料で過剰ドーピング状態の報告例がほとんどないことと関係していると思われたので、多結晶試料での過剰ドーピング状態実現を試みた。その結果、原料粉の真空中熱処理と純酸素中での焼成が「過剰ドーピング多結晶」の作製に必須条件であり、これによって試料中の残留炭素濃度が激減することがわかった。つまり YBCO の特性に大きな影響を及ぼす酸素濃度は、アニール温度と酸素分圧だけでは決まらず、残留炭素濃度にも依存することが明らかとなった。炭素の一部は YBCO の結晶格子の中にも取り込まれ、粒界からの酸素拡散を阻害する原因となっていると思われる。従って、線材作製プロセスの中でも残留炭素濃度を減らす努力を行うことが強く勧められる。実際、残留炭素濃度が少ないと思われる PLD 線材の酸素濃度は、TFA 線材より高いと思われる結果が得られている。

MgB_2 については、ホウ素の一部を炭素で置換した単結晶を作製し、種々の物性測定を行った。炭素置換により、正孔濃度が減少し T_c が低下するが、それを補って余りある劇的な不可逆磁場 H_{irr} の増大、異方性の低下があることがわかった。炭素 5%置換で 35T(OK)という高 H_{irr} が得られた。伝導面への不純物添加によってキャリア散乱が増加し、超電導相関長が減少したことによる臨界磁場 H_{c2} の増大が直接の原因である。臨界電流を増加させるには、別にピン止め中心を導入する必要があるが、臨界磁場向上の有力な指針を示せたと言える。

なお、本報告内容は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO 技術開発機構) から委託を受けて実施されたものによる。

(SRL/ISTEC 材料物性研究部長 田島節子)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2004 「バルク超電導体の高性能化と新しい応用開発」

芝浦工業大学
工学部 材料工学科
教授 村上雅人

1. はじめに

バルク超電導材料は、高温超電導の発見によって、その応用が初めて可能になったものであり、複雑な加工プロセスを必要としないで実用化が可能という利点を有している。現在、その応用を機能別に分類すると磁石応用、浮上応用、導体応用の3種類に分類することができ、それぞれの分野で活発な開発が進められている。

2. 材料開発

バルク超電導体は Y-Ba-Cu-O を基本系として開発が進められてきたが、臨界電流特性の高い RE-Ba-Cu-O (RE: Nd, Sm, Eu, Gd)系材料が開発されてから、材料研究の主流は、RE系にシフトしている。すでに、Gd-Ba-Cu-O系磁石において77Kで4Tを超える捕捉磁場が達成されている。

また、大型磁石は作製されていないものの、(Nd, Eu, Gd)-Ba-Cu-O系において、組成ゆらぎに起因する微細なピン止めセンターが発見され、77Kで15Tという非常に高い不可逆磁場が達成され大きな注目を集めている。また、最近では、この系においてZrをわずかに添加すると、微細な常電導相(Zr-Gd-Ba-Cu-O)がマトリックス内に分散し、液体酸素温度(90K)において高い臨界電流密度が達成され、その結果、液体酸素を利用した磁気浮上が可能となることも明らかとなった。この材料を利用すれば、今まで不可能であった液体酸素ポンプなどの90K応用が可能となる。

さらに、材料そのものの開発ではないが、エポキシ樹脂含浸や低融点合金を含浸することで、バルク超電導体の機械特性および低温安定性を飛躍的に向上することが可能となり、2.6cmφのY-Ba-Cu-O磁石において29Kで17Tという高い磁場を捕捉することも可能となっており、超強磁場発生技術という観点からも注目されている。

3. 応用開発

RE-Ba-Cu-O系磁石は、永久磁石と同様の形態ではるかに高い磁場を発生できるため、各種応用が注目を集めている。実際の運用にあたっては、冷凍機と組み合わせて使われる場合が多い。その強い磁気勾配を利用した水浄化用磁気分離装置や、マグネトロンスパッタリング装置の磁場源、NMR装置の磁場源などへの応用が検討されており、一部実用化されている。また、実験用の磁場発生装置も開発されており、最近では超電導モータが試作されている。

浮上応用としては、フライホイールへの応用開発が進んでいるが、永久磁石レールの上に浮上させることで物資などを搬送する装置が検討されている。中国やロシアでは、本システムの磁気浮上列車への応用も検討されている。

最後に、導体応用としては、超電導磁石への電流リード応用が考えられている。すでに核融合発電用超電導マグネットへの20000A電流リードの開発にも成功している。

4. おわりに

バルク超電導材料では、その基本特性を向上させる研究も進められているが、特性そのものは、すでに実用域に達しており、その実用化研究がさかんに行われている。今後は、材料研究者と応用

研究者が連携しながら、新しい応用分野を開拓するとともに、実際に使いやすいシステムを協力しながら開発していくことが重要と考えられる。

なお、本報告内容の一部は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）から委託を受けて実施されたものによる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集: 超電導技術動向報告会 2004 「超電導フライホイール電力貯蔵技術の最近の進展」

フライホイール電力貯蔵装置は電力の負荷平準化や負荷変動補償用、さらに最近は無停電電源としても注目されているが、従来型の機械軸受や磁気軸受では、低損失でしかも大型の装置を実現することが困難であった。高温超電導体と永久磁石の間の強力な力を利用した超電導軸受は、非接触かつ自己保持性という特徴をもち回転損失が極めて少ないことから、次世代の軸受として有望であり、世界的に活発な研究開発が行われてきた。我が国では1995年より通産省・NEDOによるプロジェクトが開始され、2000年からは第2フェーズとしてISTECが受託し、参加企業5社（四国総研、IHI、住特金、イムラ材研、光洋精工）とともに5年計画でフライホイール電力貯蔵用のラジアル型超電導軸受技術の開発を行っている。現在、世界的には、主にUPSへの応用を目指した10kWh級超電導フライホイールの開発がいくつかのグループで行われているが、大型化に有利なラジアル型という超電導軸受を用いた実機規模システムの開発の例はなく、その成否が問われている。

第2フェーズ開始以来4年を経過し、以下のような成果が得られた。

1. 超電導軸受要素技術については、100kWh級フライホイール用超電導軸受モジュールを試作し、載荷力試験では77Kにおいて 11N/cm^2 、軸降下については1年間にわたり軸降下量を許容範囲内に納める方法を開発し、技術見通しを得た。回転損失についても、超電導バルク固定子のバルク配置構造等の工夫により、目標を達成できる見込みである。
2. 超電導軸受応用技術については、10kWh級運転試験システムを完成し、工場試験により7,500rpmの回転数、2.2kWhの貯蔵に成功した。この容量は現在の世界トップクラスの値であるが、本年度は、四国総研における本格的運転試験においてさらに回転数を上げ10kWhを目指すと共に、システムとしての課題を明らかにする予定である。

超電導フライホイールの実用化の可能性については、負荷平準化用に必要とされる10MWh級の大型システムよりも、負荷変動補償や自然エネルギー対応、電力品質対応電源等に適用できる30-100kWh級の中型システムの方が有望と考えられる。超電導軸受の製作見通しは得られたが、このシステムの実現には、今後フライホイール本体の大型化・高品質化や発電電動機の高出力化、超電導軸受の低コスト化などの課題を解決する必要がある。

なお、本報告内容は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）から委託を受けて実施されたものによる。

（SRL/ISTEC 盛岡超電導技術応用研究所 所長代理 腰塚直己）

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2004

「実用化を目指した Y 系次世代線材の開発の進捗と今後」

Y 系超電導材料は、磁場中での臨界電流特性に優れ、到達コストを低く抑えることが可能であることから、Bi 系銀シース線材の次を担う線材として「次世代線材」と呼ばれ日米欧で開発競争が展開されている。本稿では、この Y 系超電導材料の開発の動向をまとめる。

高特性を実現するために必要である結晶粒配向を得るための一つの手法である基板配向化技術開発では Ni 基金テープに関して米国オークリッジ国立研究所を中心として精力的に研究開発が行われており、最近では弱磁性化及び高強度化の目的で合金化の検討が行われ Ni-W 合金において高配向 ($\Delta\phi < 5^\circ$) で高強度(150MPa)基板を得ている。この上に、三層の気相中間層を介して後述する TFA-MOD 法により超電導層を形成することにより、均一、高特性線材の作製に成功しており、最近、AMSC 社が 250A の Ic を有する 10m 線材を得たとの情報が入っている。

一方、中間層を配向させる方法としては、IBAD 法による高配向中間層を配した線材を用いた開発が精力的に行われている。最近、(株)フジクラにおいて長尺化、高速化を目指して大型装置を導入し、GZO-IBAD 層上へ PLD 法で YBCO 層を形成する構造で、100m 級線材の作製に成功している。同線材は、短尺に比べてやや特性は劣るものの、38A の Ic で $0.76\text{MA}/\text{cm}^2$ の Jc を得ている。更に、IBAD 法の課題である高速化に対して、比較的配向性が悪い、つまり高速で薄い IBAD 中間層であってもその上に PLD 法で高速に CeO_2 層を成膜することにより短時間で高配向中間層が得られる技術が開発された。SRL において発見されたもので自己配向化現象と呼び、高速化と共に高配向化が可能である特徴がある。面内配向に関して $\Delta\phi$ で 4° 程度のものが得られ、Jc で $3.8\text{MA}/\text{cm}^2$ を確認している。この高配向中間層基板上で YBCO 層の厚膜化研究において、短尺ながら 227A の Ic を得ることに成功している。米国では、MgO 材料を用いた高速成膜技術開発がロスアラモス国立研究所を中心に行われている。同法では極薄膜で高配向が得られることから、高速成膜が実現可能であり、最近、第一層に Y_2O_3 を配することで、厚膜時の配向性低下の課題を抑制できたとの成果があった。長尺化に関しては IGC Super Power 社において、IBAD 法による MgO を含めて複数層の中間層を配した上に PLD 法により超電導層を形成した線材で 111A の Ic を有する 57m 長線材の作製に成功しているとの事である。

上記の超電導層に関しては、これまで実績のある PLD 法により形成したものであるが、低コスト化を志向した手法として MOD 法や MOCVD 法による超電導層形成技術開発も盛んに行われている。日本では、MOD 法に関して SRL と共に(株)昭和電線電纜で研究開発が行われ、上述 IBAD 中間層上の高配向 CeO_2 上で $3.4\text{MA}/\text{cm}^2$ を得ている。最近では、マルチコート法において熱処理条件の適正化を行うことにより Jc を低下させることなく厚膜化に成功し、292A の高い Ic を得ている。また、高速化に対して原料中の F 含有量を減らす工夫をすることで高速化に成功している。さらに、長尺化として、リール式連続焼成炉を開発し、動かしながら 0.25m の線材作製に成功している。一方、MO-CVD 法における開発では、(株)中部電力において上述の IBAD 基板上に YBCO 層を成膜し、短尺なら Jc で $2\text{MA}/\text{cm}^2$ 以上を、Ic で 100A 以上を得ており、長尺化に関しても 1m 長線材においてほぼ全域で $1\text{MA}/\text{cm}^2$ 以上の Jc を確認している。ここでは、原料ガスの供給システムの多段化による高速成膜が可能になっており、上記成果はいずれも数 m/h の高速成膜による結果である。

上記の成果を含めた最近の動向を図 1 にまとめる。日本側の成果は応用基盤技術研究開発プロジェクトによるもので、H19 年度末までには図中に示した目標値を満たすべく研究開発が実施されるものと考えられる。一方、米国でも同様の目標値を掲げており、今後も日米での開発競争が継続されるものと予想される。

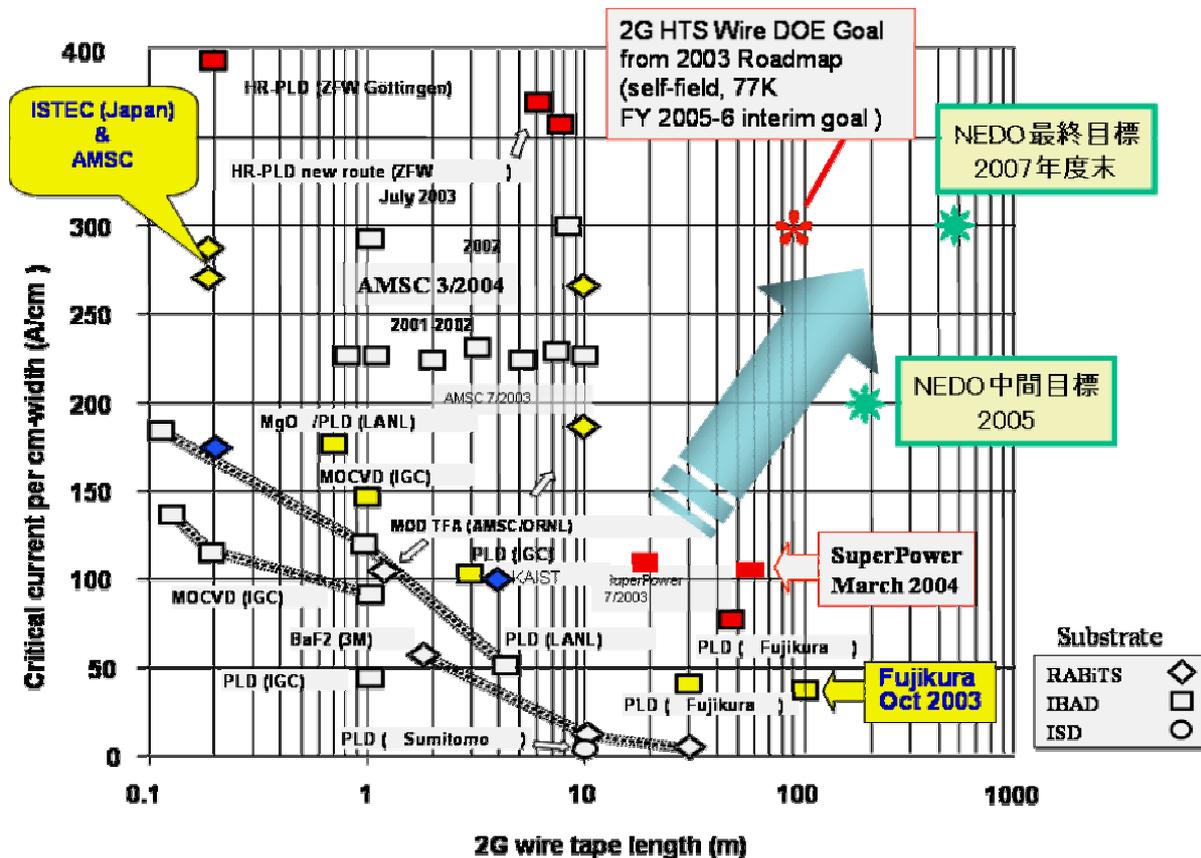


図1 日米欧における Y 系次世代線材の開発の動向

なお、本報告内容の一部は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）から委託を受けて実施されたものによる。

(SRL/ISTEC 線材研究開発部長 塩原 融)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2004

「高温超電導線・ケーブルの開発と“実”商業化に対する試み」

住友電気工業株式会社
執行役員
研究開発本部 副本部長
畑 良輔

20世紀の三大技術的発見（発明）と言われるエレクトロニクス、原子力、超電導の中で、人類社会に十分貢献できずに21世紀を迎えた超電導技術は、20世紀に人類が浪費した環境、エネルギー、資源の持続的成長という観点から大きな期待をされている。

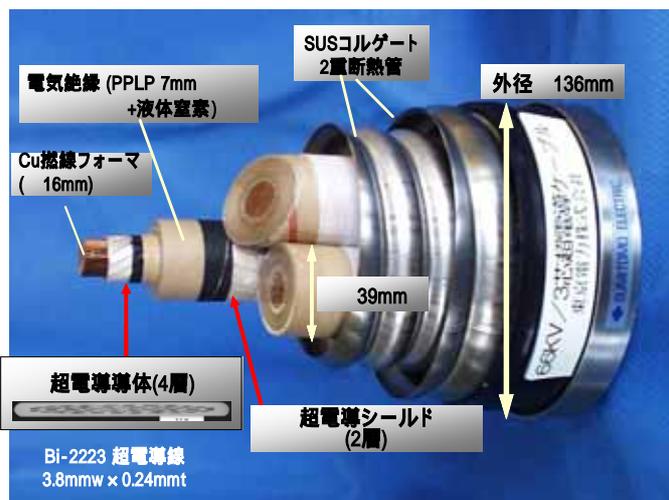
1988年に発見された日本発の技術であるビスマス系超電導線材を、日本発のPower Technologyとして21世紀の世界の環境、エネルギー、資源に貢献すべく、住友電気は開発を進めてきた。そして、ビスマス系超電導線の“実”商業化をもたらすひとつの大きな一歩が最近、踏み出された。その一歩をCT-OPという、ConTrolled(制御された)OverPressure(過圧)により、今まで得られなかった理論密度100%のビスマス超電導材料を実現することができたのである。これにより、混ぜ合わせた6つの元素(Bi,Pb,Sr,Ca,Cu,O)から純粋なビスマス2223相を得るための熱処理において、反応ガスの膨張に起因する部分的損傷を大幅に減少させ、超電導線の歩留まりを向上させることができ、1000m級の長尺線材とコストダウンの目処が立った。また、ビスマス2223相の高密度化により、臨界電流値は30%、材料強度も50%以上向上した。さらに、超電導ケーブルなどの応用時、圧力により液体窒素が超電導相に侵入し、温度が上がった時に膨張して線材にダメージをもたらす“窒素膨れ”も撲滅することができた。このように、コストダウン、性能向上だけでなく、扱いやすい線材を得る技術をCT-OPはもたらした。



1000m 級ビスマス超電導線

第一世代と言われるビスマス系超電導線材が十分実用化する前に、第二世代と言われる希土類系線材（YBCO など）の高い性能の可能性に期待した研究開発に、世界中で国家予算がつき込まれて

いる。全く新しい技術である超電導の製品が商業化されるための、“死の谷越え”には、材料だけではなく、システムの同時開発が必須である。例えば、電力ケーブルの場合では、超電導線材はその一部であり、絶縁、冷却、端末、ジョイント、布設技術等々といった総合システム技術の開発なしには実用化はありえない。超電導応用製品の普及には実使用実績とユーザーサイドの検証が必要であるため、第二世代線材のみの材料開発を重要視（第二世代線材が開発されないと高温超電導システムは実用化されない云々）アピールして“高温超電導技術とビジネスそのものの立ち上げを遅らせるような”ミスリードを避けるとの共通意識の熟成が極めて重要である。



3相一括型超電導ケーブル

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2004

「超電導電力貯蔵(SMES)の研究開発成果と瞬低用 SMES 開発について」

SMES 関連については、NEDO からの委託により平成 11～15 年度に実施した「超電導電力貯蔵システム(SMES)技術開発の成果と今後の課題」について、(財)国際超電導産業技術研究センターの辰田常務理事から報告があり、続いて中部電力により開発された「瞬時電圧低下補償用 SMES」について(株)中部電力の長屋チームリーダーより報告があった。



講演風景 (ISTEC 辰田常務)

「超電導電力貯蔵システム(SMES)技術開発」については、開発対象を市場ニーズがあり実用化の可能性が見込まれる系統安定化用途および負荷変動補償・周波数調整用の小規模な電力系統制御用 SMES に的を絞り、コイルを主体としたコスト低減技術開発を行った結果、モデルコイルの設計・製作、性能検証試験によりコスト低減と性能の両立性を検証・確認できたことが報告された。これらのコスト低減技術開発とともに、高温超電導 SMES の技術調査についても実施しており、Bi2212 ラザフォード導体を用いた 1 ターンコイルを伝導冷却下にて世界初の 4kA (at 26K) の通電に成功するなど、更なるコスト低減に資する酸化物系高温超電導 SMES の実現可能性の見通しを得たとの調査結果が報告された。今後はこれらの成果を踏まえ、トータルシステムとしての低コスト化などを行い、信頼性実証を経た後、2010 年代には SMES の実用化が実現することに期待していることが述べられた。

中部電力の「瞬時電圧低下補償用 SMES」は、瞬時の電力補償に適している SMES を精密機器の製造ラインを有する工場に設置し、ライン停止等の損害を回避することを目的としたもので、平成 15 年 7 月からシャープ(株)亀山工場に設置し、フィールド試験中にある。今回開発した SMES は、補償動作後に電流をゼロとし、クエンチに対する裕度を小さくすることで SMES コストを低減したことなどの特長を持っていることが述べられた。今後は 10MVA クラスの SMES を同工場に設置し、一括補償を図ったフィールド試験を行うとともに酸化物コイルを用いた瞬低用 SMES の開発に取り組んでいく予定であることが報告された。

このように、電力系統制御用および瞬時電圧低下補償用 SMES については、着実に実用化の姿が見えつつあり、今後の開発動向が注目されるとともに、更なる用途の拡大にも期待したい。



亀山工場 (国産半導体)



シャープ(株)亀山工場の位置及び外観

なお、本報告内容の一部は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO 技術開発機構) から委託を受けて実施されたものによる。

(ISTEC 調査・企画部 丸山敦志)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2004

「超電導 SFQ デバイス開発の進捗とネットワーク機器実用化への課題」

ISTEC-SRL では、平成 14 年度より NEDO の「低消費電力型超電導ネットワークデバイス」プロジェクトの下で超電導単一磁束量子(SFQ)デバイスの開発を進めている。高度情報化社会の進展に伴いより大容量の情報を高速処理するネットワーク機器が必要となるが、シリコン LSI は微細加工、発熱、リーク電流等による性能の限界が見えてきており、シリコン LSI の性能限界、消費電力増大をブレークスルーする技術として超電導 SFQ デバイスの開発を行っている。大規模集積化が可能なニオブ系低温超電導デバイスに関しては、基幹ネットワークノードに設置されるルータやサーバへの実用化を目指し、材料が複雑であるが小型クーラで動作可能な酸化物系高温超電導デバイスに関しては、無線基地局用広帯域 AD コンバータなどアクセス系ネットワーク機器や研究開発用の超高速計測機器をターゲットとしている。プロジェクトでは、これらの機器の主要部品プロトタイプの実証を目標とし、実用化に必要な集積度の向上のためのプロセス技術、回路設計技術の開発を併せて行っている。

ニオブ系低温超電導デバイスについては、6 層の超電導層を含む平坦化積層構造や 1 平方マイクロンサイズのジョセフソン接合作製技術などが開発され、10 万個のジョセフソン接合 (JJ) を含む 80 GHz 高速動作の SFQ 回路実現を可能とする次世代集積化プロセスの基盤が確立された。また、SFQ 回路設計技術に関しては、半導体 LSI と同様のトップダウン設計技術の構築を目指しているが、ライブラリに登録されたゲートセルを、ピコ秒のクロック 信号間のタイミング調整をしながら自動配置するソフトウェアを開発し、18 万 JJ 規模の回路設計が可能となった。この設計技術を用い、4x4 SFQ クロスバスイッチ (4200JJ) の 40 GHz 動作やビットシリアル型のマイクロプロセッサ (6300JJ) の 16 GHz 動作 (設計は再委託の名大、横国大による) が実証され、ISSCC 等に採択されるなど高い評価を受けた。平成 16 年度末からは、次世代プロセスが本格稼働し、数万 JJ 規模回路の動作が期待できる。我々は、高いパケット処理能力をもつ SFQ スイッチと半導体ラインカード (パケットの前処理を行うプロセッサ) を組み合わせることにより、2010 年頃に必要になる数十 Tbps クラスの大容量 IP ルータを実現するという実用化シナリオを描いているが、SFQ 回路と室温の半導体デバイスをつなぐインターフェイス、実装技術の開発を加速し、システム専門家から評価してもらえるデモをできるだけ早く行うことが重要と考えている。

一方、平成 15 年度よりプロジェクトに加わった高温超電導デバイスに関しては、酸化物系薄膜積層構造の表面平坦性の改善などにより、集積回路プロセスの再現性が大幅に向上し、100 個のジョセフソン接合を含む回路の動作が可能となった。また、実用化ターゲットの一つであるサンプラー回路については、45 GHz の高速電流波形観測が実証され、最終目標の 100 GHz 波形観測に向け開発が着実に進展している。帯域を主に制限している実装技術の開発と、クーラの一層の小型化が実用化への重要な課題と考えている。

なお、本報告内容は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO 技術開発機構) から委託を受けて実施されたものによる。

(SRL/ISTEC デバイス研究開発部長 田辺圭一)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会 2004

「無線基地局用超電導フィルタ及びレシーバフロントエンド開発」

株式会社 富士通研究所
材料・環境技術研究所 物質研究部
山中一典

当社で進めてきた、2GHz 帯の超電導受信フィルタと、この超電導フィルタを搭載したレシーバフロントエンドの研究開発について、一端を以下に紹介したいと思います。

以前にもご紹介^{1),2)}したように、無線の受信装置（レシーバ）のフロントエンド部分において、希望信号を含んだ周波数成分を取り出すために、複数の共振回路を構成要素とするバンドパスフィルタ回路がよく用いられます。この場合、通過損失が小さく周波数選択性を向上させるためには、共振回路の抵抗成分を小さくし高 Q 化するのが、重要な要素の一つであり、準マイクロ波やマイクロ波の周波数では、その共振回路の導体材料として、高品質の YBCO などの酸化物高温超電導体が高 Q 化に効果的と考えられます。¹⁾ また、上記のフロントエンドは、応用からすると多くの場合（ケースバイケースですが）維持が容易なようにより小型が望まれることも考えられます。

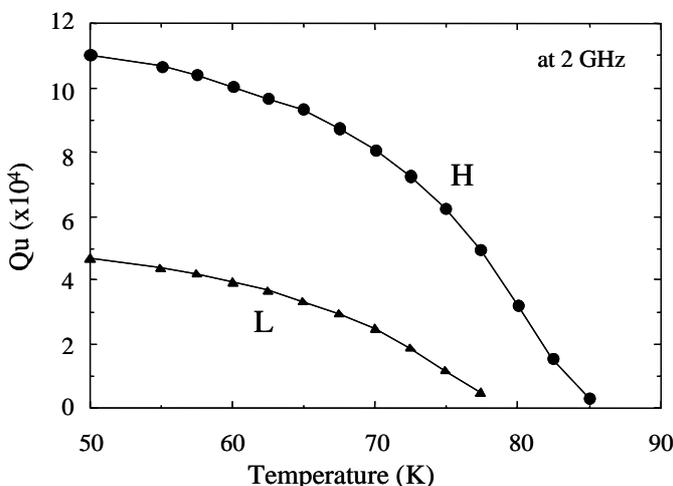


図1 テスト共振回路における YBCO 膜質と Qu の関係³⁾

以上を考慮し、2GHz 帯の酸化物高温超電導膜を用いたフィルタと同フィルタを搭載したフロントエンドの研究開発を進めました。YBCO 膜を例にとると、膜質により無負荷 Q 値(Qu)が異なります。図 1 は、複数種の膜試料から平面回路型共振回路を作製し、その依存を調べた結果の例です。³⁾

図 1 において、膜 H は相対的に膜密度が高く結晶性も良好な例です。種々検討の結果、2GHz 帯の超電導受信フィルタに必要な YBCO 膜条件として、膜の結晶性、粒界、析出相などと Qu 値の関係について知見を得ました。

比較的、膜質が良好な YBCO 膜を用いた 2GHz 帯超電導受信フィルタの初期の試作例を図 2 に示します。³⁾ 図 2 のフィルタは、平面回路型であり、立体回路型に比べ十分小さいと言えますが、さらにフィルタを小

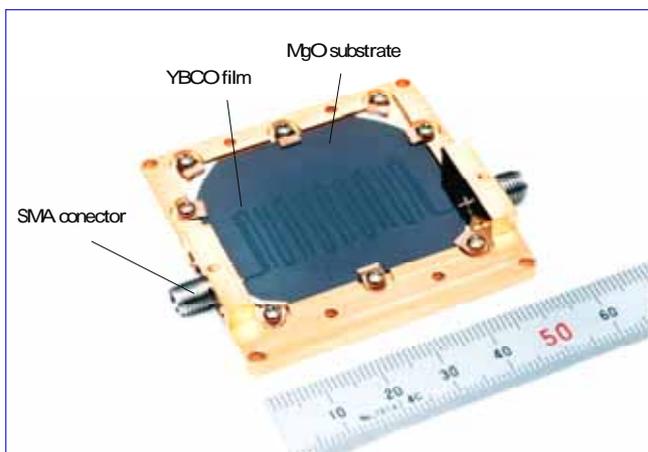


図 2 試作した 2GHz 帯超電導受信フィルタの例（パッケージの蓋を開けた状態）³⁾

型にして、かつこの冷却のために用いる冷凍機も動作時の負荷も下げるため、共振回路パターンやフィルタのパッケージなどのさらなる開発を行いました。この開発により、小型化した2GHz帯超電導受信フィルタの試作例を図3に示します。図2の例では、U字（通常ヘアピン型と言われる）形状の超電導共振回路パターンが直列に9個（9段）入った回路ですが、図3は小型化したダブルスパイラル形状の超電導共振回路⁴⁾が直列に15個入った回路が収まった例です。⁵⁾ この図3の小型化を反映して、IMT-2000の移動通信システムの周波数帯に対応する2GHz帯超電導受信フィルタを搭載した受信増幅装置（無線基地局のレシーバフロントエンドの一種）開発が行えました（図4参照）。⁵⁾ この装置は、フィルタと低雑音増幅器など2系統有したダイバーシティ受信のための構成となっています。同機能の常電導型フロントエンド装置に比べて、遜色ない装置容積で、周波数選択性の急峻化と受信高感度化を達成できました。

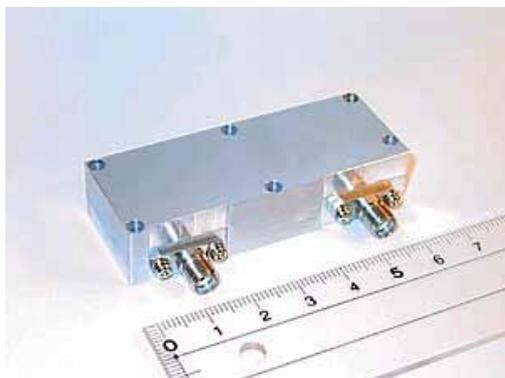


図3 小型化した試作2GHz帯超電導受信フィルタの例⁵⁾



図4 開発した装置⁵⁾

参考文献

- 1) 山中一典、「読者の広場」、超電導 Web21、2003年3月号
- 2) 山中一典、「マイクロストリップ型バンドパスフィルタ技術開発の状況」、超電導 Web21、2004年3月号
- 3) Akihiko Akasegawa, Kazunori Yamanaka, Teru Nakanishi, and Manabu Kai, FUJITSU Sci. Tech. J., 38, 1, p31-38, June, 2002.
- 4) 甲斐学、中西輝、赤瀬川章彦、山中一典：電子情報通信学会ソサイエティ大会、SC5-3（9/13発表）2002年。
- 5) 富士通プレスリリース、<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2002/09/20.html>、2002.9.20.

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 6 - 7 月の催し物案内

6/10-15

5th International Conference on New Theories, Discoveries and Applications of Superconductors and Related Materials (New3SC-5)

Chongqing, China

E-mail: new3sc@phys.subr.edu.

6/21

第 30 回超伝導シンポジウム

場所：科学未来館みらい CAN ホール（江東区）

主催：（社）未踏科学技術研究会 超伝導科学技術研究会

問合せ：Tel:03-3503-4681、Fax:03-3597-0535

6/28

超伝導分科会第 29 回研究会「高温超伝導材料の高度化と強磁場応用」

場所：東京海洋大学 越中島會館 セミナー室 3-4

主催：応用物理学会超伝導分科会

問合せ：Tel:03-5245-7702、E-mail:nsakai@istec.or.jp（坂井直道）

7/19-23

The 20th General Conference of the Condensed Matter Division

場所：Prague, Czech Republic

主催：European Physical Society

7/25-30

第 14 回超高速現象国際会議

場所：朱鷺メッセ、新潟市、新潟県

主催：応用物理学会、日本物理学会他

問合せ：Tel:03-5841-4227、Fax:03-5841-4165

E-mail:fujiyama@femto.phys.s.u-tokyo.ac.jp

7/26-30

SCES704 The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems

場所：Karlsruhe, Germany

（編集局）



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (4/20-5/20)

発電機・エアコン一体化 エネソルなど コスト2割削減 4/20 日経産業新聞
超電導向け新ライン 導線被覆加工 東京ワイヤー 3年後売上高2.5倍に 4/22 日刊工業新聞
超電導体を用いた500メートル送電線の試験 電力中央研 4/22 日経産業新聞
開放型のMRI室 鹿島 精神的配慮から開発 4/22 日経産業新聞、4/23 フジサンケイ・ビジネスアイ
乗車率20%以下で苦戦 上海リニア 運賃値下げで巻き返し 4/23 フジサンケイ・ビジネスアイ
米科学技術予算バツサリ 国防・テロ対策重視「省エネ」26%「環境」10% 4/23 読売新聞(夕)
医療ルネサンス 頭痛の新常識 症状の裏に別の病気も 4/23 読売新聞
「愛・地球博」開催に備えてJR東海新幹線の輸送力増強 目玉パビリオン JR東海超電導リニア館 4/24 フジサンケイ・ビジネスアイ
6極の次官級 来月にも会合 国際熱核融合炉誘致 4/25 朝日新聞
宇宙の底で いのちの不思議を追って 4/27 朝日新聞
磁場強度世界最高記録(21.9テスラ)の達成 4/28 読売新聞
超電導磁石の発電機 技術組合が実用にめど 5/1 フジサンケイ・ビジネスアイ
全身のがん 一度でくまなく検査 MRIで撮影 放射線を使わず安価で鮮明な画像 東海大教授らが開発 5/3 毎日新聞
脳科学 実社会に応用 効果的教育や産業育成 画像で活動観察 能力判断、慎重さ必要 5/5 日本経済新聞
核融合の実験結果 立体画像で表示解析 原研など ITERにも活用 5/7 日本経済新聞
住友電工 超電導の電線量産 コスト大幅減 送電能力130倍 「国産」特許・材料を駆使 5/10 日本経済新聞
シャープと中部電力が新型補助電源 世界最大級、出力1万キロワット 大型液晶テレビ工場に導入へ 5/10 フジサンケイ・ビジネスアイ
高温超電導線材の実用化 銅線比130倍の送電能力 冷却維持や接合などクリアで夢も実現 5/12 日刊工業新聞
ナノホール素子プローブ顕微鏡 温度可変で広範囲に走査 東工大 圧電・ホール素子部を分離 スピン素子 超電導LSI 評価に応用可能 5/14 日刊工業新聞
超電導で金属検出 AFT 食品・医薬に混入防止 5/20 日経産業新聞



[超電導 Web21 トップページ](#)

【ビジネストレンド】超電導速報 世界の動き (2004年4月)

電力

American Superconductor Corporations (2004年4月5日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、ニュージーランドの Industrial Research Limited (IRL)の研究から生まれた新しいビジネスを行う HTS-110 社の 20%の株式を取得したと発表した。HTS-110 社は、エンドユーザー向け HTS コイル、磁石等の他、AMSC 社の線材を使ったオリジナル機器の設計・製造を行っている。株式取得の対価は、コイルの特許や、設計、製造ノウハウを含めた AMSC 社の CryoSaver ®電流リードのビジネスを HTS-110 社に移転することで支払われた。HTS-110 社社長 Geoff Todd は、「世界中の多くの会社が、それぞれの製品の性能を向上させるためにいかに HTS 技術を利用するかを検討している。これらの会社と協力関係を結ぶことで、開発コストを削減したり、新製品市場投入までの時間を短くしたりすることができる。」と語った。HTS-110 社の製品やサービスは、現在のところ科学用機器向け電磁石及び高速発電機であるが、将来は加速器や磁気分離といったより幅広い応用分野に広げていきたいとしている。

(出典)

“American Superconductor Takes Equity Stake in New Company to Address Market for High Temperature Superconductor Components”

American Superconductor Corporations press release (April 5, 2004)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/10335061601760.html>

材料

Superconductive Components, Inc. (2004年4月6日)

Superconductive Components, Inc.は、2003年12月31日に終了する第4四半期の収支を発表した。収入は、前年同期の 595,239 ドルから 374,114 ドルに減少した。赤字幅は前年同期の 65,003 ドルから 166,022 ドルへと拡大した。売り上げが 37.1%も減少したことが、その最大の理由である。事務所移転経費のような出費はあったものの、一般経費はスタッフの減少もあって前年同期に比べ減少した。同社社長 Dan Rooney は、「受注は 2003 年に景気が好転してきたために改善に転じた。営業努力もあって光学分野での新規顧客が獲得でき、その内の数社からは注文も寄せられている。」と述べた。

2003 年通年 (2003 年 12 月 31 日締め) の収入は、2,268,488 ドルで対前年比 23%の減少であった。また、製品販売総額は、2,021,653 ドルで対前年比 25.2%の減少であった。売り上げの減少は市場が軟調であったためである。2003 年の契約収入は、246,835 ドル (2003 年 254,462 ドル) であった。グロス・マージンは、2002 年の 617,815 ドル (総売上上の 20.9%) に対し、2003 年は 302,656 ドル (総売上上の 13.3%) であった。

(出典)

“Superconductive Components, Inc. Reports Fourth Quarter Results”

Superconductive Components, Inc. press release (April 6, 2004)

<http://www.sciengineeredmaterials.com/ne/earnings/scci43.htm>

NMR

Oxford Instruments and Varian, Inc. (2004年4月19、20日)

Oxford Instruments と Varian, Inc.は、両社で共同開発した 400 ~ 600MHz 帯の NMR 磁石

ActivelyCooled™ を発表した。従来型磁石は冷媒に関してのメンテナンスが必要であるが、ActivelyCooled™ はヘリウム再液化技術を採用している。冷媒の操作や再充填に必要な設備等が経済性の観点から利用困難な場所においても NMR 磁石の使用が可能となるため、ActivelyCooled™ 磁石により、より幅広いユーザー層の利用が可能になると期待されている。冷媒の充填のための装置停止時間も少なくすむ。液体窒素タンクも不要になるため、装置がコンパクトにもなる。Oxford Instruments によって開発された ActivelyCooled™ 技術には、冷凍機としてパルスチューブ冷凍機を採用しているが、これは NMR の冷却に対する要求に適合するよう最適化されている。また、冷却部分に可動部がないため振動が抑えられる。これは NMR にとって非常に重要なことである。システムの面でも、24 ヶ月もの間、停止時間や機器サービスのためのインターバルを最小にするよう設計が最適化されている。新製品は 10~12 ヶ月後に出荷が可能になる。

(出典)

“ActivelyCooled™: a new cryogen-free technology for NMR”

Oxford Instruments press release (April 19, 2004)

<http://www.oxford-instruments.com/SCNNWP723.htm>

“ACTIVELYCOOLED™: A NEW CRYOGEN-FREE TECHNOLOGY FOR NMR”

Varian, Inc. press release (April 20, 2004)

http://www.corporate-ir.net/ireye/ir_site.zhtml?ticker=VARI&script=410&layout=-6&item_id=516506

通信

HYPRES, Inc. (2004年4月1日)

Hypres, Inc. は、米国陸軍 Communications-Electronics Research, Development, and Engineering Center (CERDEC) との間で、2つのフェーズ Small Business Innovative Research (SBIR) 契約を締結した。これらはアナログ/デジタル・コンバーター(ADC)及びダイレクト・デジタル・シンセサイザーの開発に関する契約である。2つの契約で 150 万ドル以上である。2つのデバイスともにソフトウェア無線のような次世代電子システムを目標にしており、これらは国防総省 JTRS プログラムの下で開発が進められる。John Nunziato 部長 (Wireless Technology & JTRS at the CERDEC Space & Terrestrial Communications 部) は、「HYPRES の技術は素晴らしい。その技術を使えば JTRS クラスター プログラム向けに設計された無線技術におけるサイズ、重量、消費電力といった障害が効果的かつ実質的に処理できる。」と語った。受信機の面では、多重ブロードバンド ADC フロントエンドを、ダイナミックレンジ 2~200MHz 受信バンドにまで最大化して設計することが可能となる。開発が同時進行しているデジタル・チャネライザー及びクロス・コリレーターと共に、ADC 変調器が HYPRES 多チャンネル・ワイドバンド・レシーバー・アーキテクチャーの心臓部をなす。ダイレクト・デジタル・シンセサイザーは、200MHz を超える周波数帯の信号を変調して中心周波数の最高値で 2GHz までの純粋なスペクトル波形を合成する。L バンドアナログ/デジタル・コンバーター(ADC)及びダイレクト・デジタル・シンセサイザーは、汎用にする、軍用にする、完全デジタル化 RF トランシーバーの実現のために必須である。HYPRES は、海軍研究所とともに、SBIR フェーズ として全デジタル RF レシーバーの開発を進めている。

(出典)

“HYPRES, Inc. Awarded Two Contracts From The U.S. Army To Develop Joint Tactical Radio System Technology”

HYPRES, Inc. press release (April 1, 2004)

http://www.hypres.com/pages/new/bnew_files/PR_CECOM_SBIR_%20040104.htm

ISCO International, Inc. (2004年4月29日)

ISCO International Inc. (ISCO) は、2004年3月31日に終了する 2004 年第 1 四半期の収支を発表した。純収入は、前年同期 1,235,000 ドルに対し当期は 422,000 ドル。グロス・マージンは前年同期の 49% から 27% に低下した。これは固定費を十分吸収しきれなかったためである。収入減にも

かかわらず、純損失は前年同期の 3,151,000 ドルから 1,958,000 ドルに減少している。これは、主として現在控訴中である特許訴訟費用の減少によるものである。同社社長 Amr Abdelmonem は、「第 1 四半期における収支の明るい側面はボトムラインが引き続き改善していることである。第 1 四半期には期待した収入は得られなかったが、効率は向上しており、訴訟費用も減少している。これらの状態は、収入こそ低いものの、前年同期に比べはるかに改善されている。」と語った。

(出典)

Source:

“ISCO INTERNATIONAL REPORTS FINANCIAL RESULTS FOR THE FIRST QUARTER 2004; ADDS MICHAEL FENGER TO ITS BOARD OF DIRECTORS”

ISCO International, Inc. press release (April 29, 2004)

<http://www.iscointl.com/>

Superconductor Technologies Inc. (2004年4月29日)

Superconductor Technologies Inc. (STI)は、2004年3月31日に終了する2004年第1四半期の収支を発表した。全純収入は、前年同期760万ドルに対し、当期540万ドルであった。商品売上は、前年同期510万ドルに対し、当期320万ドル、一方、政府契約収入は、前年同期250万ドルに対し、当期220万ドル。純損失は、前年同期830万ドル(訴訟費用400万ドルを含む。)に対し、当期は560万ドル(訴訟費用227,000ドルを含む)。STI社は、干渉がひどくなることに伴う需要増大もあって第1四半期に製品の品揃えを拡大し、SuperLink Rx フロントエンドにアップグレード可能な現行PCS無線ネットワーク向け地上局高感度ソリューション AmpLink™ Rx をラインアップに加えた。2004年後半には売り上げの新記録がでるものと期待している。第2四半期の収入見込みは600~700万ドル。

(出典)

“Superconductor Technologies Announces First Quarter 2004 Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (April 29, 2004)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=5951&storyId=112954>

基礎

Russian Academy of Sciences and Los Alamos National Laboratory (2004年4月1日)

Russian Academy of Sciences 及び Los Alamos National Laboratory の研究者は、立方晶ダイヤモンドで超電導現象を発見したと発表した。これによりダイヤモンドを使った新しいデバイスの可能性が開け、同時にダイヤモンド構造を持つシリコンやゲルマニウムでも超電導の可能性が出てきた。超電導はボロンをドーピングしたダイヤモンド構造を持つ炭素材料で発現する。その材料はロシア科学アカデミー高圧物理研究所で超高温、超高压化で合成された後、Los Alamos National Laboratory で測定が行われ、超電導の性質を持つことが見出された。ボロン原子は炭素原子より電子が1個少なく、ダイヤモンドへのドーピングが容易である。このように合成されたダイヤモンドは電荷キャリアを持つ。キャリア数数の少ないものはトランジスターに適し、キャリア数数の大きいものは超電導体 ($T_c=5.37K$) になる。研究結果は *Nature* 2004年4月1日号に掲載される。

(出典)

“Superdiamonds? - Scientists discover superconductivity in diamond”

Los Alamos National Laboratory press release (April 1, 2004)

<http://www.lanl.gov/worldview/news/releases/archive/04-024.shtml>

(ISTEC 国際部長 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 6月のトピックス

- 国際超電導センター・電気学会、超電導送変電機器標準化データ調査に合意 -

(財)国際超電導産業技術研究センター (ISTEC) (理事長: 荒木 浩) と (社) 電気学会 (会長 深尾 正) は、超電導電力ケーブル、超電導限流器及び超電導変圧器に係わる標準化データの調査事業に平成16年5月18日付けで合意した。なお、本事業の実施期間は、平成16年5月から同年12月までの7ヶ月間である。

この事業は、超電導発電関連機器・材料技術研究組合が新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (現独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO技術開発機構)) から受託し平成12年度から平成16年度までの5年計画で実施している国家プロジェクト「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」の中の「導入効果等の調査」の一環として電気学会が受託している事業に係わる。

事業内容は、まず、超電導発電関連機器・材料技術研究組合において実施された同プロジェクトの成果である超電導電力ケーブル、超電導限流器及び超電導変圧器に係わる学术论文及び技術情報書に基づき、標準化に適合する対象項目を抽出する。すでに、標準化適合項目の抽出作業は一部着手されており、超電導電力ケーブル、超電導限流器及び超電導変圧器の試験通則が想定されている。さらに、これらの試験通則はわが国の研究開発プロジェクトの成果を根拠としたものであることから、その完成度と市場適合性を考慮して技術仕様書 (TS: Technical Specification) としての書式にまとめることが妥当であると想定されている。

この事業の実施にあたり、同プロジェクト並びに電気学会の技術的指導のもとに、超電導標準化委員会並びに電力ケーブルワーキンググループ、限流器ワーキンググループ及び変圧器ワーキンググループ体制をISTEC内に組織し、送変電機器に係わる在来技術者及び超電導技術者の総力を結集した短期達成型の事業体制で臨むこととなっている。

この事業の成果は、最終的には国際的規范文書に反映すべく、IEC/TC90 (超電導) の国際幹事国であるわが国の国内IEC/TC90超電導委員会に諮り、この委員会を通じて国際規格原案としてIEC/TC90へ提案することを意図している。

(ISTEC標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

低温工学協会新磁気科学調査研究会第3回研究会報告

物質・材料研究機構

強磁場研究センター 材料・プロセスグループ

廣田 憲之

低温工学協会 新磁気科学調査研究会の2003年度第3回研究会が、2004年4月7日、東京大学本郷キャンパスにて開催された。今回は、東京都立大の山登正文先生をお招きし、「強磁場を利用した新規高分子光学素子開発を目指して」というタイトルでご講演頂いた。

講演内容は大きく分けて1)結晶性高分子磁場配向メカニズム、2)磁気トルクを利用した高分子プロセスング、3)磁気力を利用した高分子プロセスングについてであった。

1)結晶性高分子磁場配向メカニズムに関しては、溶融した高分子試料が結晶化する際の核密度(核となりうる構造の密度)と結晶化速度・配向度との関連が論じられた。溶融温度が高い場合には、核となる構造が残っていないためそもそも結晶化しづらく、結晶化した場合でも少数の核から巨大な球晶が等方的に成長するため、配向を観測することは難しい。しかし溶融温度が低い場合には、溶融前に存在した結晶に由来する構造が多数存在していると考えられ(メルトメモリー効果)その構造が結晶核となり結晶化が促進される。またこれらの多数の核から同時に結晶成長するため、強大な球晶の生成が阻害され、結果的に磁場による配向が観測されることが考えられる。

講演では、これらのメカニズムと共に、IPSを用いた実際の実験で、溶融温度が低いほど結晶化が促進され、配向度が高いことが確かめられたことが紹介された。また、磁場の印加についても、結晶核が溶融試料内で配向可能な、粘性の低い段階での印加のみが有効であるとする結果が示された。

2)の磁気トルクを利用した高分子プロセスングでは、上述のように結晶化時の核密度を高め、磁場印加によりこれらの核を磁気トルクで配向させることで、配向した高分子試料を作成できることが例示された。また、溶融された試料中に結晶核となりうる核剤を入れ、核剤を磁場配向させることでも磁場配向が観測されたことなどが示された。磁場配向の場合は、磁場の透過性のよさから、厚みのある材料の内部まで均一に配向させることが可能であり、今後の新規なデバイスの開発等が期待できると考えられる。

3)の磁気力を利用した高分子プロセスングでは、二通りの実験が紹介された。まず、これまで直接作ることの出来なかった ~10 mm 程度の高分子球を磁気アルキメデス浮揚状態で作製可能であることが示された。また、鉄とアルミなど磁性の異なる物質を組み合わせることで磁場内にポテンシャルを作り出し、数十 μm 程度の微粒子がポテンシャルの形状に沿ってトラップされること(微粒子のパターン化)が示された。ポテンシャルの形状によっては微粒子を一列に並べることなども可能であることが示され、今後、磁場を利用したナノテクノロジーへの発展も期待される。

高分子材料の溶融凝固プロセスは金属や合金のケースとは状況が大きく異なり、融点や結晶の概念が異なる。構造が複雑なために未解明の点も多く、なかなか完全な制御とまでは行かないようで、プロセスングの難しさも感じられた。しかし、それだけに、まだまだ興味深い現象が見出される余地もあり、今後の展開に期待が持たれる。

新磁気科学調査研究会は2003年度を持って活動を終了するが、2004年度からは「新規磁場応用に関する調査研究会」として発展的に継続することとなった。引き続き、今後も各方面からの支援をお願いしたい。

[超電導 Web21 トップページ](#)

韓国超電導ワークショップ (DAPAS ワークショップ) 報告

韓国の超電導開発プロジェクトである DAPAS (Dream of Advanced Power system by Applied Superconductivity technologies)計画の第 1 期 (2001 年 7 月 ~ 2004 年 6 月) の結果を踏まえ、韓国 CAST (Center for Applied Superconductivity Technology) の主催で平成 16 年 4 月 19 日から 23 日の間 DAPAS ワークショップが開催された。参加者は、主催者側の情報によれば、韓国国内から 130 名、韓国外から 20 名。

初日の行事に続き会議は以下の日程で進められた。

- 20 日 ; HTS 応用開発 (Cable、変圧器、モーター、誘導型 FCL、抵抗型 FCL 他)
- 21 日 ; 招待講演 (CAST、ORNL、電中研、精華大学、Pohang 工業大学、LANL、住友電工)
- 22 日 ; HTS 次世代線材開発 (基板、IBAD、PVD、MOCVD、MOD 他)
- 23 日 ; LG Cable 社の 22.9kV/50MVA, 30m ケーブルデモ試験施設見学

韓国における、超電導開発は Center of Applied Superconductivity Technology (CAST) を中心に進められており、この超電導開発プロジェクトは「超電導応用技術による先端的電力システムの夢 (DAPAS ; Dream of Advanced Power system by Applied Superconductivity technologies)」と称されている。DAPAS プロジェクトは、韓国科学技術省(MOST)の資金による「21 世紀におけるフロンティア研究開発国家プロジェクト」の一部。このフロンティア研究開発プロジェクトは、国の競争力を増強することにより、韓国における生活の質を向上させ、先進経済を推進することを目的に 1999 年に発足。フロンティア計画は、超電導に関する DAPAS プロジェクトを含む 23 の分野で実施中である。韓国 DAPAS プログラムは、2001 年度に 10 年計画 (第 1 期 : 2001 年度 ~ 2003 年度、第 2 期 ; 2004 年度 ~ 2006 年度、第 3 期 ; 2007 年度 ~ 2010 年度) でスタートした。超電導予算は、2001 年度 ~ 2010 年度の 10 年間で政府 1 億ドル、民間 4600 万ドルを負担する予定。2001 年度 ~ 2003 年度の第 1 期は、毎年政府から 1000 万ドル、民間から 400 万ドルの資金が供給されてきている。CAST は Director の下、事務部門と研究グループから構成される。研究グループは、それぞれの所属機関で研究を実施している。

DAPAS 計画における電力関係の研究開発テーマ及び主な研究機関は以下の通り。

主要分野	研究対象	主な研究機関
電力機器	地下ケーブル	KERI/LG Cable
	変圧器	KPU/Hyunsong Corp
	リアクトル故障電流制限器	Yonsei Univ.
	抵抗型故障電流制限器	KEPRI/LG IS
	モーター	KERI/Doosan 重工
次世代線材	PVD for 2G	KERI
	MOCVD	KAERI
	MOD	KIMM
	IBAD	ソウル国立大
	共通技術	KERI
	電力系統応用技術	KERI

次世代線材については、第 1 期の目標は 1m 長、100A/cm-width 程度であるが、第 2 期の末 (2007 年 6 月頃) には、100m 長、250A/cm-width を狙うとしている。

会議最終日には、LG Cable の Electric Power Research Center (亀尾) に設置されている 22.9kV/50MVA, 3, 30m ケーブルデモ試験施設を見学した。試験設備はほぼ完成しており、5月から稼動を始め、年内試験を行う予定。

韓国の超電導開発は、応用開発、線材開発ともに、3年足らずの短い期間でありながら、非常に頑張っており、研究開発は急速に立ち上がっている。今後の健闘を期待したい。

(注) KERI ; Korea Electrotechnology Research Institute
KPU ; Korea Polytechnic University
KEPRI ; Korea Electric Power Research Institute
LG IS ; LG Industrial System
KAERI ; Korea Atomic Energy Research Institute
KIMM ; Korea Institute of Machinery & Materials

(ISTEC 国際部長 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

ICEC20 (第20回国際低温工学会議) 報告

高エネルギー加速器研究機構
素粒子原子核研究所
春山富義

ICEC20 (第20回国際低温工学会議) は2004年5月11日~14日、中国北京で開催された。会場は北京の“シリコンバレー”と呼ばれる学園都市内の北京友誼飯店であった。中国での開催は前回のICEC13から14年ぶりとなる。参加者数は17カ国からおよそ356名、151名が外国からで、フランス25名、スイス22名、そして日本から18名の参加があった。直前のSARS発生ニュースにもかかわらず会議は盛会であった。8件のプレナリーを含む350件が3つのパラレル口頭発表とポスター発表によって行われた。併設展示では中国の10社を含む19社が最新低温装置の紹介を行っていた。

Committee ChairpersonのGuy Gistauと現地実行委員長のLiang Zhang両氏によるオープニングに引き続き、初日のプレナリーとして中国科学院プラズマ物理研のP. Weng氏によるEAST超伝導トカマクについての講演が行われた。旧称HT-7Uプロジェクトは総予算2,000万ドルで3.5Tのトロイダル磁場を発生させる。ヘリウム冷凍機システムはCICCを3.8Kで冷却するため、冷凍能力は2kW@4.4K+11kW@80Kとのことである。ロシアなどから冷凍機のパーツを購入し中国で組上げる方針だ。2日目はドイツマックスプランク研究所のD. Lemke氏がNew Generation of Cooled Infrared Telescopesという題で超流動ヘリウムを宇宙でのセンサー冷却に使う技術の進歩について、また日大の松原洋一氏がパルス管冷凍機の将来についてそれぞれ講演した。

3日目のプレナリーは、低温材料の開発状況について中国科学院金属材料研のY.Y. Li女史が、またオックスフォードインスツルメンツのV. Mikheev氏がパルス管冷凍機を用いたヘリウム3の断熱膨張による無冷媒270mK装置開発と性能について報告した。

最終日のプレナリーはドイツDESY研究所のB. Petersenが次期大型リニアコライダーTESLAプロジェクトについて、超流動ヘリウム温度で冷却される超伝導空洞の開発を中心に講演を行った。引き続き、メンデルスゾーン賞の授賞式が行われ、長年、国際低温工学の発展に尽力されたIngridとGustav Klipping夫妻が受賞、生前のメンデルスゾーンや大島恵一両氏の思い出を交えた記念講演を行った。

閉会式で次回ICEC21が2006年7月にチェコのプラハで開催されることが発表され4日間の会議を終了した。閉会式後には中国科学院低温研究所、電工研、宇宙ロケット試験センターなどへのテクニカルツアーがあり、ツアーから帰った多くの参加者は最終日のバンケットに参加、旧交を温め、新しい出会いを求めている。



ICEC20 オープニング (2004年5月11日)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

ITER 超電導コイル開発への道のり (その3)

日本アドバンスト・テクノロジー株式会社
安藤俊就

4. 核融合炉用超電導コイルの開発研究の進展

4.1 開発研究計画の概要

日本における核融合炉用超電導コイルの開発研究が本格的に行われるようになったのは、核融合の臨界条件を目指す JT-60 装置の建設が決定され、次のステップである実験炉を具体的に検討せざるを得なくなってきた時(1975年)である。その進め方については科学技術庁・原子力局・核融合会議で議論され、実験炉の建設までに行うべく開発研究の計画が示された。⁸⁾そして、その執行の中心的役割を担う原研に超伝導磁石研究室が1977年に創設された。その計画は初期の段階では予定通り進められたが、その後は必ずしも予定通りとは行かなかった。その要因の一つが国際協力によるプロジェクトの遂行である。開発研究には多大の時間と費用が必要となり、その効率化のためには国際協力が有効な手段となる。そのもっとも象徴的なプロジェクトが実験炉そのものであり、国内計画ではなく国際計画の ITER となった。表3に実験炉に向けて実際に原研で遂行された、または参加した超電導コイルの開発プロジェクトを示す。最初は直流励磁するトロイダル磁場(TF)コイルの開発プロジェクトであるクラスター・テスト計画⁹⁾と国際協力である大型事業(LCT)コイル計画、¹⁰⁾次にパルス励磁するポロイダル磁場(PF)コイルの開発プロジェクトである実証ポロイダル・コイル計画¹¹⁾が進められた。これらの計画の成果でトカマク型核融合炉用超電導コイルの開発

表3 核融合炉用超電導コイルの開発プロジェクト

年	1977 ~ 1987	1985 ~ 1992	1991 ~ 2002
開発区分	トロイダル磁場コイルの基盤開発	ポロイダル磁場コイルの基盤開発	ITER 設計実証
プロジェクト	・クラスターテスト計画 ・大型コイル(LCT)計画	・実証ポロイダルコイル計画	・ITER-EDA(工学設計活動)
主題	・トロイダル配置超電導コイル ・容器あり ・コイルの高剛性 ・Nb ₃ Sn 導体の大電流化	・パルス励磁 ・容器なしコイル ・低交流損失導体	・ITER 実機導体を用い、同じ巻き線構造でコイルを製作し設計の妥当性の確認
主成果	・CTC:7T-2.1kA ・TMC:12.2T-6.4kA ・LCT(J):9.1T-11kA	・DPC-U2:5.3T-0.06T/s ・DPC-EX:7.1T-14.2T/s ・US-DPC:7T-7T/s	・CSMC:13T-46kA-0.4T/s ・TFMC:10T-80kA ・Nb ₃ Al Insert:12.5T-60kA

CTC:クラスターテスト計画において NbTi 導体で製作したクラスターテストコイル
TMC:クラスターテスト計画において Nb₃Sn 導体で製作したテストモジュールコイル
LCT(J):日本が製作した LCT コイル
DPC-U2: NbTi 導体で製作されたコイル
DPC-EX: Nb₃Sn 導体で製作されたコイル
US-DPC:米国が Nb₃Sn 導体で製作されたコイル
CSMC:日米を中心に PF コイルの実証として Nb₃Sn 導体で製作されたコイル
TFMC: EU を中心に TF コイルの実証として Nb₃Sn 導体で製作されたコイル
Nb₃Al Insert:日本が Nb₃Al 導体で製作されたコイル

ベースが出来上がり、そして実験炉である ITER のコイルの設計を実証する ITER 工学設計活動 (EDA)が行われた。それらのプロジェクトで得られた成果(電流 x 最大磁場)の進展を図 10 に示す。EDA の成果は、ほぼ ITER と同等のレベルに達している。

4.2 開発研究での課題

トカマク型核融合炉用の超電導コイルは大型で高磁場を必要とする。さらに、パルス励磁のコイルもあり、そのコイルによる変動磁場に曝される。このようなコイルを開発するためには大きくは二つのことが重要となる。一つは繰り返し応力に耐える高剛性のコイル構造を実現することである。コイルを出来るだけ一体化し、導体間、巻線部とコイル容器間の力の伝達が十分計られるようにし、コイル内の応力分布を均一化することが重要である。コイル内に亀裂が発生、または一部分が移動すると熱が発生しコイルを常電導状態に転位させることになる。

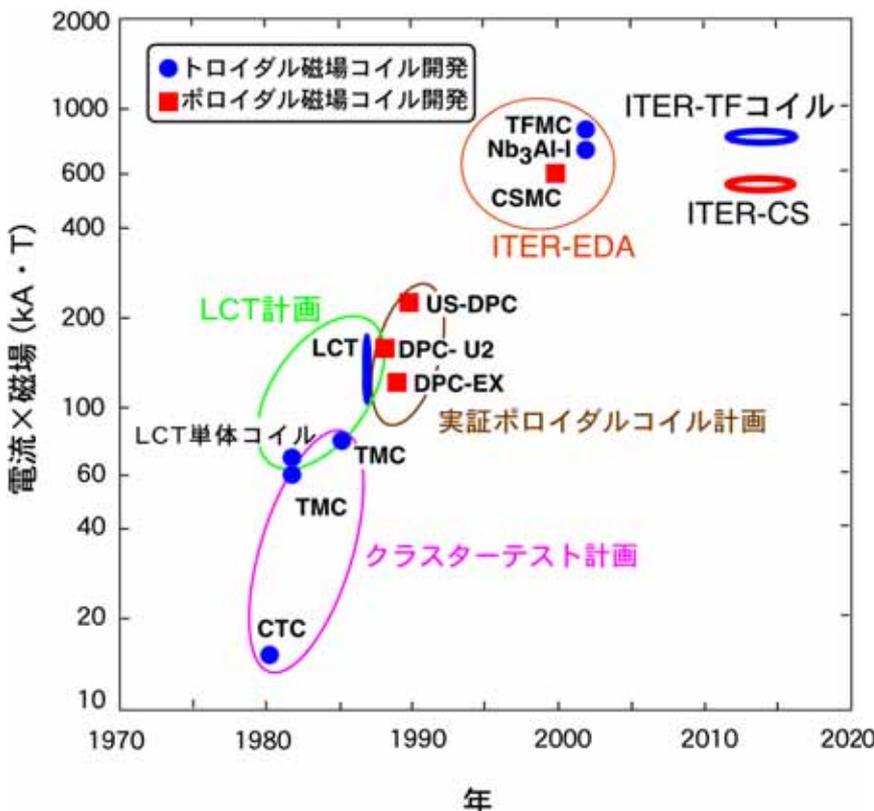


図 10 核融合炉用超電導コイル開発の進展

もう一つは高電流密度で低交流損失の大電流導体を実現することである。磁気蓄積エネルギー(E)が非常に大きくなるとコイルに用いる導体の動作電流値(I₀)は大きくなる。

$$I_0 = (E/2L)^{1/2} \tag{8}$$

Lはコイルの自己インダクタンスを表す。耐電圧の制限からLは一定と考えると、導体の電流値が大きくなると導体のサイズは大きくなる。導体に安定に流せる電流は Stekly の(9)式で制限される。

$$I_0 = (h\Delta T S P /)^{1/2} \tag{9}$$

ところで、I₀: 動作電流、hΔT: 導体から冷媒への熱流速、S: 超電導線材に付加した安定化金属の断面量、P: 超電導線材に付加した安定化金属の冷却周囲長、: 超電導線材に付加した安定化金属の比電気抵抗である。

導体の断面が矩形で、縦横の比率を一定とすると、導体の動作電流(I₀)が大きくなると導体の電流密度(J)は低下する。

$$J \propto I_0^{-1/3} \tag{10}$$

一方、導体の単位体積当たりの交流損失(Q)は(11)式で表される。

$$Q = (1/2) (dB/dt)^2 (m/2) ^2 \tag{11}$$

mは導体のツイストピッチを表す。mはほぼ導体の太さに比例するため、交流損失はツイストピッチに比例することになる。

$$Q \propto I_0 \tag{12}$$

このように、コイルが大型化すると、導体の電流密度が低下し、単位体積値の交流損失は大きくなる。

これらの課題を克服しながら導体の大電流化とコイルの高剛性化の実現した高磁界大型コイルが開発されていった。

4.3 LCT 計画

核融合炉用超電導コイルの開発において最も大きな進展をもたらしたのが LCT (大型コイル事業) 計画である。6 個の D 型のコイルをトロイダル磁場配置にして試験する、この IEA (国際エネルギー機関) の下で遂行された国際計画は、元々は米国の実験炉である TNS(The Next Step) の設計の超電導コイルの実証試験として計画されたものであった。したがって、6 個のコイルの内の米国が担当した 3 個のコイルは、GE 社、GD 社、ウエスチング(W)社) が TNS に提案したそれぞれの設計思想で製作された。したがって、W 社が担当したコイルには TNS の設計と同じ Nb₃Sn 導体が採用された。他の 3 個のコイルは日本、EU、スイスが担当し、NbTi 導体を用いて独自の設計で製作された。ただし、基本設計条件として、コイルの外寸、電流値 (10 ~ 20 kA) 最大磁場 (8 T) が設定された。これらのコイルの製作で最も特徴が現れたのが導体の設計であった。すなわち、導体の安定性の向上と交流損失の低減を計る上で示された。導体の動作電流値(I₀)は、LCT コイル計画以前での最大値はクラスター・テスト計画におけるクラスター・テスト・コイル(CTC)の 2 kA 程度であったが、LCT コイルではその 5 から 10 倍である。先に述べたように電流値が大きくなると導体

の電流密度が低下するので、下がらないための工夫が必要となった。そこで Stekly の安定限界電流を高めるために従来よりも熱流速(hΔT)を上げるか周囲長(P)を大きくするか工夫が計られ、それがそれぞれのコイルの特徴となった。図 11 に各コイルの導体の構造を示す。

日本、米国 GE、米国 GD は浸漬冷却、米国 W、EU、スイスは強制冷却で設計された。図 12 に各コイルの熱流速と冷却周囲長の関係を示す。最も冷却長を大きく設計したのが米国 W の導体で、いわゆるケーブル・イン・コンジット(CIC)導体である。一方、日本の導体は、冷却長は短い、熱

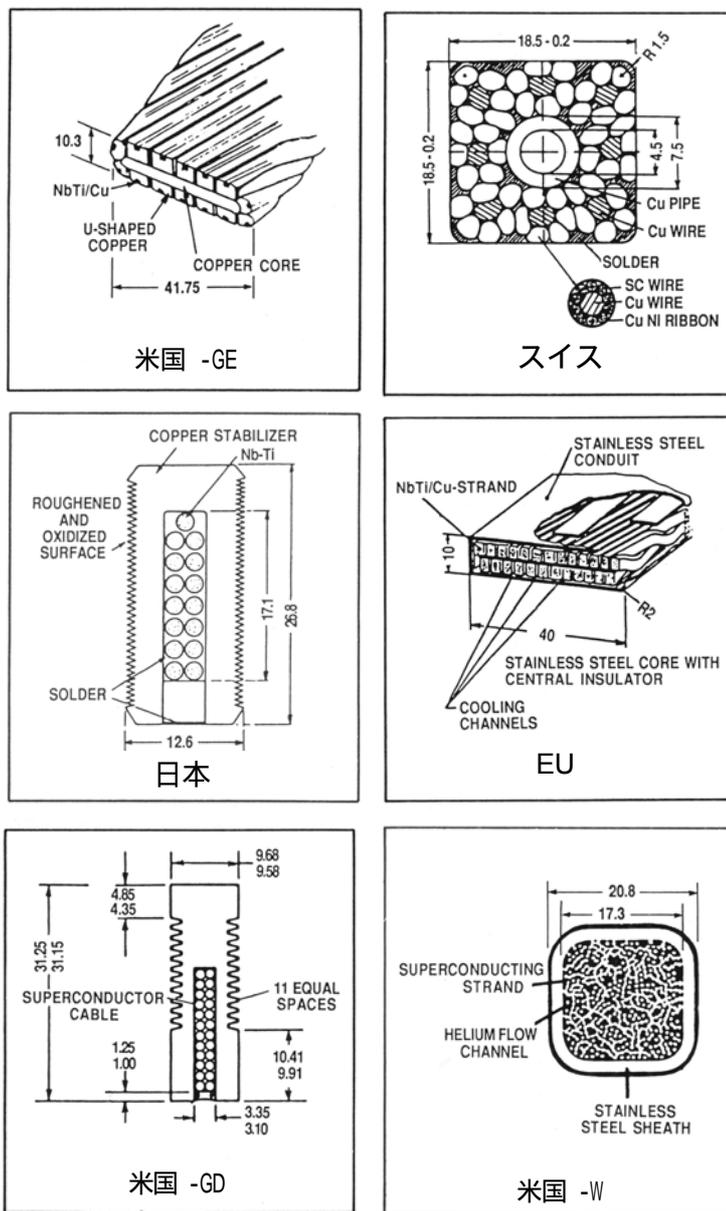


図 11 LCT コイルの導体の構造

流速は最も高くなっている。この高い値は導体表面を鋸刃状に加工し、さらに陽極酸化により黒化処理することにより得られた。また、交流損失の低減には、変動磁場が加わる方向の導体幅を狭くするか、幅が広い場合は導体を高抵抗物質で分割する方法が採られた。6個のコイルはいずれも目標である8Tの磁場を安定に達成した。さらに、9Tの磁場の発生が試みられ、全コイルが達成した。しかし、スイスと米国Wではクエンチも見られた。スイスのコイルの導体は単純なホロー型強制冷却導体で設計されており、冷却周囲長が非常に小さく安定性電流が小さいためである。米国Wは6個のコイルの中で唯一の Nb₃Sn 線材を用いた導体であったがコンジット材からの熱収縮による圧縮歪みが大きくなり Nb₃Sn 線の臨界電流値の低下を招いた。

この LCT コイル計画は、核融合炉開発研究で最も大きな装置である JT-60 等の臨界プラズマ装置のトロイダル磁場コイルとほぼ同等のトロイダル磁場配置で 1GJ の蓄積エネルギーをもつ超電導コイルが製作出来ることを実証し、プラズマ研究に必要な大型装置に並んだことで核融合炉用超電導コイルの開発の中でのエポックとなった。しかもこの計画からこれまでになかった超電導コイルに対する新しい考えが生まれたことである。さらに、国際協力の進め方についても ITER に大いに貢献している。

クラスター・テスト計画と LCT 計画の成功に

より、トールスプラ(仏)、トリアム(日本)のトカマク型装置のトロイダル磁場コイルは超電導化されたが、パルス励磁するポロイダル磁場(PF)コイルに対しては超電導化は出来なかった。この PF コイルの超電導化の開発として、原研では実証ポロイダル磁場コイル計画が、また、ドイツのカールスルーエ研究所ではポロ計画が立ち上がり、米国は日本の計画に参加し、進められた。それらのコイルには CIC 導体が採用され、14 T/s の励磁速度で 7T の磁場を発生することに成功し、¹²⁾ポロイダル磁場コイルに対しても超電導化が出来ることが実証された。

参考文献

- 8) 原子力局：核融合会議 超電導磁石分科会中間報告書 昭和51年11月
- 9) 安藤俊就ら：低温工学誌 19(1984)81-90
- 10) D. Beard et al. : Fusion Engineering and Design 7(1988)
- 11) S. Shimamoto et al. : Proc. of 10th Symp. of Eng. Prob. of Fusion Reserch (1984) 1358-1361
- 12) T. Ando et al. : IEEE Trans Mag-27(1991)2060-2063

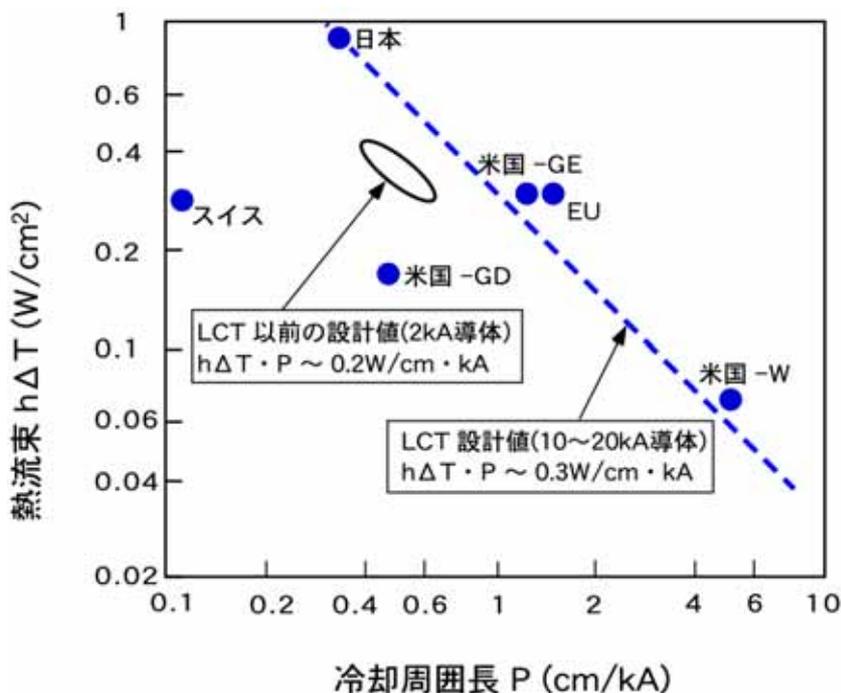


図 12 LCT コイルの導体の熱流速と冷却周囲長

読者の広場

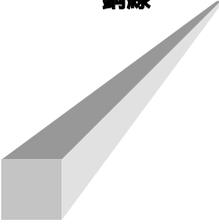
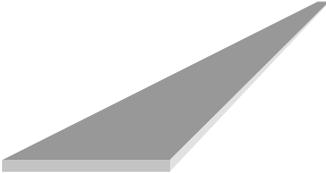
Q&A

Q: イットリウム系酸化物超電導線にはたくさん電流を流せるそうですが、普通の銅線の何倍位多く流せるのですか?

A: 答は、約2千倍です。

普通の銅線にも屋内配線、家電機器用ビニールコードなど家庭内にあるものから送電線、地中ケーブルまでいろいろありますが、身近な家電機器用ビニールコードを例に説明しましょう。

一般家庭にあるテレビ、電子レンジ、湯沸しポットなどの家電機器と壁コンセントを繋ぐビニールコードには電流の流れ過ぎによる発熱や火災事故を防ぐため、室温(20度)において7アンペア(A)から17Aと許容電流が規定されています。仮にこのコードと同じ太さのイットリウム系酸化物超電導線ができたとしてこれを低温(約マイナス200度)に冷やせば、15,000Aから34,000Aの電流を連続して流すことができます。逆に、イットリウム系酸化物超電導線を適用して家電機器用ビニールコードと同じ許容電流を流したければ、頭髪の半分の太さもあれば十分なことになります。

	銅線	イットリウム系酸化物超電導線	頭髪
			
断面寸法	1mmx1mm	0.25mmx4mm	~0.1mm
許容電流	7A から 17A (室温 20)	15,000A から 34,000A (マイナス約 200)	

家電機器用ビニールコードに使われている銅線は代表的な導電材料であり、その断面1mm角(1mmx1mm)あたり室温(20度)で約10Aの電流を連続して流すことができます。しかし、これ以上大きな電流を長時間流すと、被覆しているビニールが溶け出し、やがて真っ赤になって溶けてしまいます。このように銅線に流せる電流に限界がある理由は、導電性に優れた銅線にも電気抵抗があるためです。銅線は、この電気抵抗と流した電流の2乗に比例して発熱(=電気抵抗×電流の2乗)するため、どんどん熱くなってやがて真っ赤になって溶けてしまうのです。

一方、イットリウム系酸化物超電導線では、低温(約マイナス200度)に冷している限り電気抵抗がゼロであるため、たくさん電流を流しても発熱することはありません。もっとも、このイットリウム系酸化物超電導線にも限界はあります。たとえば、低温(約マイナス200度)まで冷さずに電流を流したり、温度が上がってしまったり、強い磁界の中で電流を流したり、1mm角(1mmx1mm)の断面に許容電流を超えてたとえば40,000Aもの大電流を流したりしますと、突然電流が流れなくなったり、溶けてしまう場合があります。

(超電導 Web21 編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)