

## 掲載内容 (サマリー):

### トピックス

超電導研、長尺高温超電導線材 (YBCO) で世界最高の臨界電流値を記録

### 特集: 進展する超電導標準化

IEC/TC90 (超電導) 第9回標準化国際会議開催  
経済産業省「国際標準化活動基盤強化アクションプラン」の意義  
現行超電導関連 IEC 規格 8 件のメンテナンス案、審議開始  
IEC/TC90、超電導製品規格化のためのアドホックグループ設置  
超電導関連プロジェクト成果の規格化の“道すじ”  
既に発行されている超電導関連 IEC13 規格及び JIS6 規格

超電導関連 10 - 11 月の催し物案内

新聞ヘッドライン (8/21 - 9/20)

超電導速報 - 世界の動き (2004 年 8 月)

2004 年電気学会 基礎・材料・共通部門大会報告

2004 年秋季学会にて、SFQ マイクロプロセッサの 21GHz 動作実証を発表

隔月連載記事 - ITER 超電導コイル開発への道のり (その 5)

読者の広場(Q&A) - 超電導技術とナノテクノロジーとは関係あるのでしょうか?

[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。

## 超電導研、長尺高温超電導線材 (YBCO) で世界最高の臨界電流値を記録

### - マルチブルーム・マルチターンの新製法により達成 -

(財)国際超電導産業技術研究センター(理事長 荒木浩) 超電導工学研究所 (所長 田中昭二) では、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) より受託している「超電導応用基盤技術研究開発プロジェクト」(プロジェクトリーダー 超電導工学研究所 塩原 融部長)の一環として、次世代高温超電導線材 ( $Y_1Ba_2Cu_3O_y$  略称 YBCO) の開発を進めている。

この度、開発中の長尺線材において、試作した長さ 45.8m の全長にわたり、液体窒素温度 (77K) で 182A の超電導電流を流せる線材の開発に成功した(図 1)。この記録は、これまで数 10m から 100m 級の長尺線材の臨界電流値の記録を大幅に塗り変えたものである。

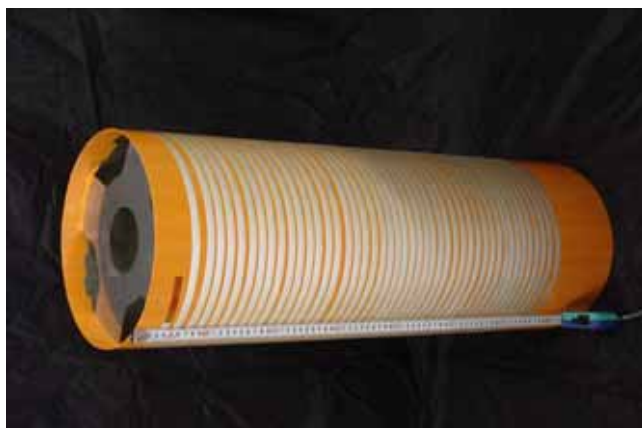


図 1 世界最高特性の YBCO 線材

昨年まで長尺 YBCO 線材で大電流が流せる高特性化が望まれていた。このため、日米欧および韓国の各国の国家プロジェクトあるいはベンチャー企業において、長尺化・高臨界電流化に関して活発な開発が進められている。今年 8 月には IGC 社から 100m 長線材で 70A、また、同じく 8 月には (株)フジクラから 65m 長線材で 104A が相次ぎ報告されていた。今回の成果はそれらの長尺線材における電流値を 2 倍近く上回る大きな進展であり、長年望まれていた YBCO 線材の応用が早期に期待できる。応用が進む第 1 世代の Bi 系線材では、数百 m で 100A 級の臨界電流を持つ線材が利用されている。今回の成果は長さこそ数百 m に至らないものの 50m 級線材での臨界電流値は Bi 線材に比べて大きく向上している。今後、この線材開発が進めば SMES、MRI などの機器応用も可能となる。なお、現行 NEDO-METI プロジェクトの目標は、2005 年度末までに 200m 長の線材で 200A、2007 年度末までに 500m 長の線材で 300A である。

この線材は、超電導工学研究所の名古屋高温超電導線材開発センター (センター長 山田 穰) において開発されている線材長尺化のためのパルスレーザー蒸着 (PLD) 法を基本とするマルチブルーム、マルチターン法と呼ばれる新しい製法の適用とつぎの 2 つの技術が相俟って実現されたものである。

すなわち、第 1 の技術として、この製法には、従来の PLD と異なり複数のレーザーブルームを作り、かつ複数のテープに効率よく YBCO を蒸着させる技術が適用されている。また、この技術によれば、膜厚に応じて温度を変化させることもできるため、従来の製法に比べて高速で高特性の YBCO 膜の作製が可能になる。今回作製に成功した臨界電流値 182A の線材では、従来に比べて高速の 3m/h で線材を作製した。さらに、臨界電流値 100A 級の線材では 7.5m/h で作製できる。従来法 PLD での製造速度 (1-2m/h) と比べて数倍の高速化が可能になった。このような高速製造技術は今後の産業化にとって大きなメリットになる。

第 2 の技術として、100-200m 級の基板が安定して製造できるイオンアシストスパッタリング (IBAD) セリア ( $CeO_2$ ) 基板製造技術を確立し、この技術が適用できたことである。高特性の YBCO

線材を得るには、結晶がきれいに並んだ(高配向)の基板が必要である。昨年来、この基板の製造にも改良を加え、単結晶基板に近い高配向基板を 100-200m の長尺で安定して製造できる技術水準に到達していたことが今回の開発成功の重要な要因となっている。従来他所で利用されていた基板の配向度は 10 度程度であったが、この基板は自己配向化に有効な特殊なセリア膜を使うことで、現在、配向度を 3-5 度にまで高めることができた(単結晶では 1-2 度)。

この線材は、大型 IBAD、PLD 法による線材一貫製造設備のある名古屋高温超電導線材開発センターで開発を進めているが、今後、応用をにらんでまず 200m 長で 200A 流せる線材の開発に注力する方針である。

なお、今回の成果は 2004 年 10 月 4 日から米国フロリダ州ジャクソンビルで開催された世界応用超電導会議 (Applied Superconductivity Conference 2004) において発表した。

本研究は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) より受託している超電導応用基盤技術開発プロジェクトの研究の一環で開発を進めているものである。本プロジェクトでは、名古屋高温超電導線材開発センターは IBAD 法により (株)フジクラと協力して研究を進めているが、ここに述べた基板作製装置 IBAD 装置は、(株)フジクラの協力により 2002 年に導入したものである。

(SRL/ISTEC 特別研究員 堀上 徹)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：進展する超電導標準化

IEC/TC90 (超電導) 第9回標準化国際会議開催

IEC/TC90 (国際電気標準会議 第90 専門委員会 (超電導)) は、2004年9月1-3日、米国アルゴンヌ国立研究所において、同第9回国際会議\*を6カ国にVAMAS\*\*も加わり22名参加のもで開催した。また、9月3日の本会議に先立ち、9月1-2日にWG2、WG3、WG4、WG5、WG7、WG8、WG10及びWG11会議が併催された。本会議では、IEC/TC90活動経過報告、規格審議、メンテナンス審議、各国並びに団体活動報告、標準化戦略改訂、新規業務項目、次回会議開催場所審議などがなされた。

\* IEC/TC90 (超電導) 国際会議は、18ヶ月から24ヶ月間隔で開催される。

\*\* VAMAS: Versailles Project on Advanced Materials and Standards

本会議においける報告並びに審議事項を次に示す。

(1) IEC/TC90 活動経過報告

前回第8回ウィーン会議議事録が承認された。ウィーン会議以降制定された規格は、IEC61788-8 (ピックアップコイル法による交流損失試験方法)及び IEC61788-13(マグネトメータ法による交流損失試験方法)であった。

(2) 規格審議

審議中規格 (IEC61788-9) について、CDV 結果について討論がなされ、寄せられたコメントを網羅した FDIS(最終国際規格案)を作成する段階への移行が承認された。

(3) メンテナンス審議

2003年5月16日に回付された現行 IEC の8規格に対する DC(コメント用審議文書)の結果の扱いについて報告がなされた。内4規格の MCR(メンテナンスサイクル報告書)段階への移行が確認され、残る4規格も順次 MCR 段階へ移行させることが承認された。

(4) 各国及び団体活動報告

オーストリア及び中国からの報告はなかった。ドイツは、メンテナンス、IEC 規格翻訳及び新規引張試験方法案作成を報告した。韓国は、国家プロジェクトを背景に表面抵抗試験、電流リード、不可逆磁界試験法案作成などを報告した。日本は、メンテナンス活動に加え、超電導発電機用導体、SMES 用導体及び超電導電流リードなど製品規格化活動経過を報告した。米国は、IEC/TC90 活動に加え、IEEE 及び NEMA における超電導標準化関連活動を報告した。VAMAS は、4WG による試験方法を主体とする基本規格化活動経過を報告した。

(5) 標準化戦略改訂

2003年度版超電導標準化戦略書の見直しに関する各国への提案要請がなされた。

(6) 新規業務項目

現行 IEC61788-8 及び IEC61788-13 (交流損失試験方法) についてメンテナンスのための DC 回付手続き提案がなされ、承認された。日本から提案した「超電導電流リードの設計方法の審議」製品規格化及び懸案中の「Uncertainty」の扱いに関して、それぞれ Ad hoc グループの設置が決定され、長村光造及び L.Goodrich がそれぞれの Rapporteur に任命された。

(7) 次回会議開催場所

次回第9回 IEC/TC90 国際会議の開催場所として、日本が推奨、時期として18ヶ月から24ヶ月後が承認された。

(8) その他

IEC1906 賞受賞者として、和田仁、船木和夫、M.Thoener、新富孝和及び松下照男の5名が紹介された。

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 特集：進展する超電導標準化

### 経済産業省「国際標準化活動基盤強化アクションプラン」の意義

経済産業省産業技術環境局  
標準課産業基盤標準化推進室長  
岩永 明男

経済のグローバル化の更なる進展の中で、国際市場における競争は激しさを増しているが、国際標準化活動は、我が国が有する技術優位を生かし、我が国産業の国際競争力を維持する手段として、その重要性がクローズアップされてきた。

日本工業標準調査会（JISC）ではこれまでも累次の提言・報告書において、国際標準化活動の重要性、戦略的な取組の必要性・方向性について示してきたところであるが、国際標準化を対象とした詳細な分野別戦略はこれまでは提示してこなかった。

このため、今後更なる国際標準化活動の進展を目指して各分野ごとの国際標準化対応体制の整備状況、国際標準化活動への積極的な取組状況を把握・評価し、我が国が今後重点的にとりくむべき分野の選定と必要な支援措置のあり方など、国際標準化活動の具体的な進め方を JISC として提言し、本年6月アクションプランの形で公表した。

アクションプランは、官民の役割分担、国際標準化活動の新たな支援体制構築、各当事者の役割、アクションから成る「総論」部分と分野別の国際標準化戦略を示した「各論」から構成される。特に「各論」の中で示された重点分野は産業競争力強化や社会ニーズ対応などの観点から抽出されたものであり、今後積極的な国際標準化活動が期待されているものである。そのうちの一分野に IEC/TC90「超電導」があげられる。

超電導分野においては、1989年の設立当時から我が国は活動の中心的役割を果たしており、今後はさらに超電導技術の市場への導入促進を図るべくこれまでの用語並びに試験方法規格から超電導機器に関する標準化活動が不可欠である。特に、電力機器分野における応用開発が進んでおり、平成15年度からの「超電導電力機器技術基盤の標準化に関する調査研究」では、新規提案に向けて超電導電力貯蔵システム（SMES）や送電ケーブルなどの電力応用機器について、研究成果や技術報告書 TR を調査し、電力応用機器ごとに順次準規格である公開仕様書 PAS、技術仕様書 TS などの素案の検討、原案の作成を行っているところである。これらの成果の円滑な国際規格化活動を当面の目標とし、また、技術進歩に伴うこれまで制定した基本規格のメンテナンス活動についても実施されることを期待する。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 特集：進展する超電導標準化

### 現行超電導関連 IEC 規格 8 件のメンテナンス案、審議開始

IEC/TC90 (国際電気標準会議 第90 専門委員会 (超電導)) は、2003年2月26日オーストリアで開催された同第8回国際会議 (ウィーン会議) の決議にもとづき現行 IEC 規格 8 件のメンテナンスを開始し、そのほとんどがメンテナンスサイクル報告書(MCR)発行前後の段階に到達した。

メンテナンスは、つぎの手順に従って実施されている。

- (a) メンテナンス対象規格確定：2003-02-26
- (b) コメント用審議文書 (DC: Document for Comments) 発行：2003-05-16
- (c) DC の投票：2003-09-26
- (d) 幹事国所見と改正規格案作成
- (e) 改正規格案回付又は改正案修正
- (f) メンテナンスサイクル報告書 (MCR: Maintenance Cycle Report) 発行
- (g) 委員会原案 (CD: Committee Draft) 発行
- (h) 投票用委員会原案 (CDV: Committee Draft for Vote) 発行
- (i) 最終国際規格案 (FDIS: Final Draft International Standard) 発行
- (j) 国際規格 (IS: International Standard) 発行

メンテナンスの対象となった規格を次に示す。

- (1) IEC 61788-1 (Nb-Ti 複合超電導導体の直流  $I_c$  試験方法)
- (2) IEC 61788-2 (Nb<sub>3</sub>Sn 複合超電導導体の直流  $I_c$  試験方法)
- (3) IEC 61788-3 (Bi 系超電導導体の直流  $I_c$  試験方法)
- (4) IEC 61788-4 (Nb-Ti 複合超電導導体の残留抵抗比試験方法)
- (5) IEC 61788-5 (Nb-Ti 複合超電導導体の銅比試験方法)
- (6) IEC 61788-6 (Nb-Ti 複合超電導導体の室温引張試験方法)
- (7) IEC 61788-7 (超電導膜の表面抵抗試験方法)
- (8) IEC 61788-10 (超電導導体の抵抗法による臨界温度試験方法)

2004年9月現在のメンテナンスの進捗状況をつぎに示す。

- (1) IEC 61788-1 (Nb-Ti 複合超電導導体の直流  $I_c$  試験方法)：MCR 段階
- (2) IEC 61788-2 (Nb<sub>3</sub>Sn 複合超電導導体の直流  $I_c$  試験方法)：改正規格案回付又は改正案修正
- (3) IEC 61788-3 (Bi 系超電導導体の直流  $I_c$  試験方法)：CD 段階
- (4) IEC 61788-4 (Nb-Ti 複合超電導導体の残留抵抗比試験方法)：CD 段階
- (5) IEC 61788-5 (Nb-Ti 複合超電導導体の銅比試験方法)：CDV 段階
- (6) IEC 61788-6 (Nb-Ti 複合超電導導体の室温引張試験方法)：改正規格案回付又は改正案修正
- (7) IEC 61788-7 (超電導膜の表面抵抗試験方法)：改正規格案回付又は改正案修正
- (8) IEC 61788-10 (超電導導体の抵抗法による臨界温度試験方法)：改正規格案回付又は改正案修正

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 特集：進展する超電導標準化

### IEC/TC90、超電導製品規格化のためのアドホックグループ設置

IEC/TC90 は、2004年9月3日米国アルゴンヌ国立研究所にて開催された同第9回国際会議において、超電導電流リードの設計方法に関するアドホック (Ad hoc) グループの設置を決定し、超電導製品規格化に着手した。

同会議において、日本審議団体 (JNC) 代表から超電導製品規格化の必要性に関する説明がなされた。超電導製品規格化の必要性に関する説明は、オーストリアのウィーンで開催された同第8回国際会議に続いてなされたものである。前会議からの懸案事項は、市場規模並びに技術開発段階の異なる超電導製品に対する適切な規格化手順を見出すことであった。

超電導製品規格化のニーズ及びその難易度に関して、これまで次のようにまな認識がなされていた。

- (1) MRI や NMR のように技術的にも成熟期にあり、かつ大きな市場規模をもつものの規格化は、確立されつつある利害関係者間のコンセンサス獲得にかなりの困難が伴う。
- (2) 超電導電流リードのように市場導入されたばかりで、比較的小さい市場規模をもつものの規格化は、超電導応用機器関係者とのコンセンサスが得られやすく、規格化の着手が比較的容易であると見込まれる。
- (3) 超電導発電機用超電導導体や SMES 用超電導導体のように技術開発途上にあるものの規格化は、特定プロジェクトに係る技術に偏る傾向があるため、技術の汎用性や応用機器の展開性を考慮することが肝要である。

今回、アルゴンヌ会議で決定した「超電導電流リードの設計方法に関する Ad hoc グループの設置」は上記第2のカテゴリに係るものである。この Ad hoc グループは「超電導電流リードの設計方法に関する規格化」に限定して審議する専門家グループであり、IEC/TC90 が任命した長村光造 Rapporteur (親委員会への報告責任者) と必要に応じて IEC/TC90 から任命を受けた専門家によって構成される。

この Ad hoc グループの今後の具体的な活動として、つぎの会議が提案されている。

#### **Open Discussion on Standardization of HTS Current Leads**

##### **- General Requirements for Design -**

**Hosted by Council of Superconductivity, IEEE, and cooperated by IEC/TC90**

**Date and Time: October 6, 2004 at 14:30-16:00**

**Place: Adam's Mark Hotel, Jacksonville, FL, USA (ASC2004 と同一場所)**

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：進展する超電導標準化

超電導関連プロジェクト成果の規格化の“道すじ”

IEC/TC90 は、2004年9月3日米国アルゴンヌ国立研究所にて開催された同第9回国際会議において、超電導関連プロジェクト成果の規格化並びに超電導製品規格化の“道すじ”が構築された。この“道すじ”の特徴は、従来の規格化の過程にアドホック（Ad hoc）グループが設置されたことである。

すなわち、超電導関連プロジェクト成果の規格化並びに超電導製品規格化には、これまでの用語、試験方法などの基本規格化に加えて顕在化する利害関係問題の理解と個々の製品への理解の深化並びに共通認識を目的として Ad hoc グループを規格化の前段階に設けた。

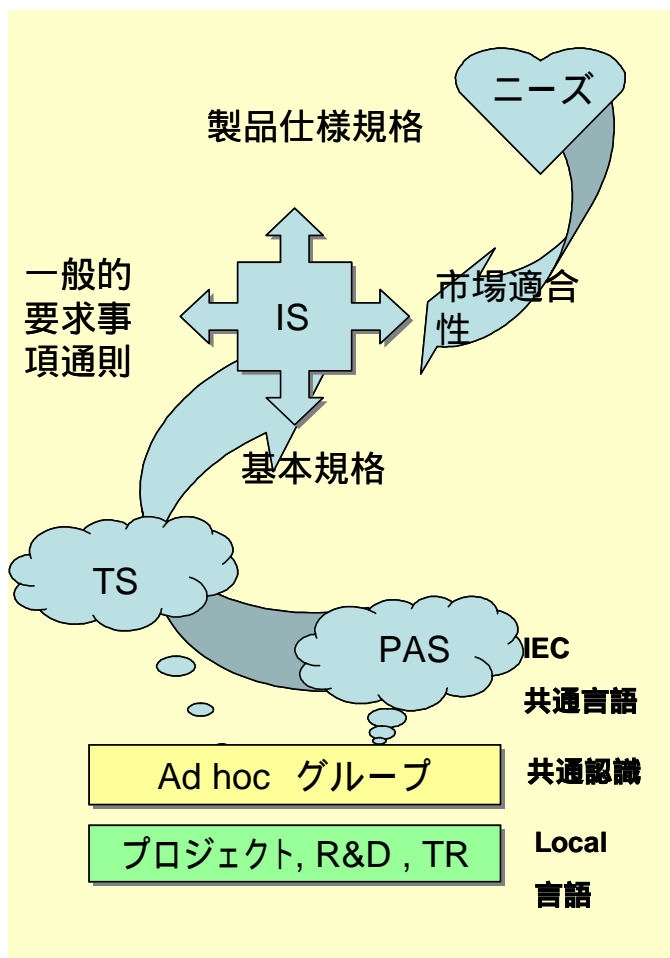
超電導製品規格化を目指して、「超電導電流リードの設計に関する一般的要求事項」に特化した Ad hoc グループ活動はすでに開始された。

一方、「超電導発電機用超電導導体」、「SMES 用超電導導体」のような特定の研究開発プロジェクトの成果の規格化も進められている。しかし、この研究開発プロジェクトの成果には、特定テーマが特定団体や地域で実施された性格上、これ自体の技術的完成度は高いものの、その技術の汎用性、国際的必要性、近未来の市場性などの多くの検討事項は明確になっていない。したがって、これらの諸検討項目を理解し国際規格としての共通認識を構築する“場”として、国際的専門家によって構成される Ad hoc グループや諮問会議を組織することが必要である。

<< 超電導関連プロジェクト成果の規格化並びに超電導製品規格化の“道すじ” >>

上部 IEC/TC90 国際会議は、Ad hoc グループや諮問会議からの報告を受け、その研究開発プロジェクトの成果から発展した技術領域が公開仕様書 PAS、技術仕様書 TS、国際規格 IS に向けた展開が可能か否かの判断を下す。

(ISTEC 標準部長 田中靖三)



[超電導 Web21 トップページ](#)



特集：進展する超電導標準化

既に発行されている超電導関連 IEC13 規格及び JIS6 規格

## IEC 規格:

- IEC 60050-815: 2000 International Electrotechnical Vocabulary-Part 815: Superconductivity
- IEC 61788-1: 1998 Superconductivity-Part 1: Critical current measurement-DC critical current of Cu/Nb-Ti composite superconductors
- IEC 61788-2: 1999 Superconductivity-Part 2: Critical current measurement-DC critical current of Nb<sub>3</sub>Sn composite superconductors
- IEC 61788-3: 2000 Superconductivity-Part 3: Critical current measurement-DC critical current of Ag-sheathed Bi-2212 and Bi-2223 oxide superconductors
- IEC 61788-4: 2001 Superconductivity-Part 4: Residual resistance ratio measurement- Residual resistance ratio of Nb-Ti composite superconductors
- IEC 61788-5: 2000 Superconductivity-Part 5: Matrix to superconductor volume ratio measurement-Copper to superconductor volume ratio of Cu/Nb-Ti composite superconductors
- IEC 61788-6: 2000 Superconductivity-Part 6: Mechanical properties measurement-Room temperature tensile test of Cu/Nb-Ti composite superconductors
- IEC 61788-7: 2002 Superconductivity-Part 7: Electronic characteristic measurements-Surface resistance of superconductors at microwave frequencies
- IEC 61788-8: 2003 Superconductivity-Part 8: AC loss measurements-Total AC loss measurement of Cu/Nb-Ti composite superconducting wires exposed to a transverse alternating magnetic field by a pickup coil method
- IEC 61788-10: 2002 Superconductivity-Part 10: Critical temperature measurement-Critical temperature of Nb-Ti, Nb<sub>3</sub>Sn, and Bi-system oxide composite superconductors by a resistance method
- IEC 61788-11: 2003 Superconductivity-Part 11: Residual resistance ratio measurement-Residual resistance ratio of Nb<sub>3</sub>Sn composite superconductors
- IEC 61788-12: 2002 Superconductivity-Part 12: Matrix to superconductor volume ratio measurement- Copper to non-copper volume ratio of Nb<sub>3</sub>Sn composite superconducting wires
- IEC 61788-13: 2003 Superconductivity-Part 13: AC loss measurements-Magnetometer methods for hysteresis loss in Cu/Nb-Ti multifilamentary composites

## JIS 規格:

- JIS H 7005:1999 超電導関連用語 (整合 IEC 60050-815: 2000)
- JIS H 7301: 1997 超電導 - 直流臨界電流の試験方法 - 銅安定化ニオブ・チタン合金複合超電導線 (整合 IEC 61788-1: 1998)
- JIS H 7302: 2000 超電導 - 直流臨界電流の試験方法 - ニオブ 3・すず複合超電導線 (整合 IEC 61788-2:1999)
- JIS H 7303: 2002 超電導 - 機械的性質の試験方法 - 銅安定化ニオブ・チタン複合超電導体の室温引張試験 (整合 IEC 61788-6: 2000)
- JIS H 7304: 2002 超電導 - 超電導体のマトリックス比試験方法 - 銅安定化ニオブ・チタン複合超電導体の銅比 (整合 IEC 61788-5: 2000)
- JIS H 7305: 2003 超電導 - 臨界電流の試験方法 - 銀シースビスマス 2212 及びビスマス 2223 酸化物超電導線の直流臨界電流

なお、IEC 並びに JIS 規格の入手は、IEC 及び(財)日本規格協会の Website 又は(財)日本規格協会(<http://www.jsa.or.jp>)へ直接ご用命ください。

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導関連 10 - 11 月の催し物案内

**10/3-8**

ASC04 Applied Superconductivity Conference  
場所：Adam's Mark Hotel, Jacksonville, FL, USA

<http://www.ascinc.org/>

**10/8**

The 13th International Superconductivity Industry Summit (ISIS-13)

場所：Jacksonville, FL, USA

主催：CCAS、共催：CONNECTUS, ISTE C

<http://www.istec.or.jp/index-J.html>

**10/22**

HTS の永久電流とその応用

場所：北九州国際会議場（北九州市）

主催：低温工学協会材料研究会九州・西日本支部

問合せ：Tel/Fax:0948-29-7683

e-mail:otabe@cse.kyutech.ac.jp

**10/22-23**

第6回冷凍部会 - 低温工学・超伝導工学における国際情勢と動向について

場所：ルネッサ赤沢、静岡県伊東市

主催：低温工学協会、冷凍部会

問合せ：Tel:029-863-5453, Fax:029-863-5470

e-mail: inquire@akahoshi.nims.go.jp

**10/26**

第59回ワークショップ「最近の新超伝導体探索研究」

場所：化学会館 501 会議室（千代田区神田駿河台）

問合せ：(株)未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会（担当：志村）Tel: 03-3503-4681

Fax: 03-3597-0535, e-mail: fsst@sntt.or.jp

（編集局）

**11/13**

市民講演会 - 南極の不思議・低温の不思議

場所：山形大学工学部（米沢市）

主催：低温工学協会東北・北海道支部

**11/18 (before CCA2004, Oiso)**

Technical Tour of 500m HTS Power Cable

場所：CRIEPI, Yokosuka, Japan

主催：Superconductivity Research Laboratory/ISTEC

<http://www.istec.or.jp/CCA2004Web/index.html>

**11/19-20 (before ISS2004, Niigata)**

International Workshop on Coated Conductors for Applications (CCA2004)

場所：Oiso Prince Hotel, Kanagawa, Japan

主催：Superconductivity Research Laboratory/ISTEC

<http://www.istec.or.jp/CCA2004Web/index.html>

**11/23-25**

17th International Symposium on Superconductivity (ISS2004)

場所：Niigata Convention Center (TOKI MESSE), Niigata, Japan

主催：International Superconductivity Technology Center, ISTE C

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

**11/29-12/3**

Material Research Society Fall Meeting

場所：Hynes Convention Center & Sheraton Boston Hotel, Boston, MA, U.S.A.

<http://www.mrs.org>

新聞ヘッドライン (8/21-9/20)

持続的成長達成へ、改革進める 中部電力 2004 夏総合特集 瞬低を低コストで解消する UPS  
8/25 電気新聞

心臓病診断 心磁計で正確に 岩手医大/岩手大 磁気解析し立体表示 8/26 日経産業新聞  
高温超電導の謎に迫る 電子分布はチェス盤型 理研と JST が観察 8/26 日刊工業新聞、日経  
産業新聞

電磁石使いプラズマ溶融炉 長崎熱学、来月から実証試験 医療廃棄物向け商品化へ 8/31 日  
刊工業新聞

SQUID 非破壊検査 「移動型」装置にメド 東北電力 配管測定で効果 9/1 電気新聞

九州電力新人社員 T君の一日 PM4:00 9/3 電気新聞

捕まえる 超対称性粒子 素粒子物理学の新たな夜明けへ 超対称性粒子発見に手がかり 9/5  
日本経済新聞

環境ホルモンの影響 1000人分のデータ集積 国環研 高性能MRIで脳測定 9/6 日刊工業新聞  
高温超電導ケーブルシステム 住友電工 韓国電力公社から受注 アジア展開の橋頭堡に 9/8  
日刊工業新聞

量子もつれ合い 磁束量子ビットと調和振動子間 固体デバイスで操作(NEC NTT・蘭大)  
半導体で光子発生 レーザー照射で実現 量子通信・計算機に道(東北大と JST) 9/9 日刊工  
業新聞、日経産業新聞

心臓の電流分布 3次元画像化に成功 日立が「心磁計」を活用 9/10 日刊工業新聞、フジサ  
ンケイビジネスアイ、毎日新聞

超電導磁束量子ビット 多光子制御に成功 NTT と JST 量子計算機へ前進 9/10 日刊工業新聞



[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8月)

### 電力

#### Intermagnetics General Corporation (2004年8月4日)

SuperPower, Inc. は、非常に均一な 100m 長 HTS 次世代線材を用いて世界記録である電流 70A の性能を達成したと発表した。この記録は昨年 SuperPower, Inc. が発表した世界記録 6000A-m を凌ぐものである。100m 長の次世代線材は、これが商用デバイスの製造に必要な最低限の長さであるという意味で極めて重要な意義を持つ。Intermagnetics General Corporation 社長 Glenn H. Epstein は、「我々は 2004 年末までに 100A, 100m を達成し、2005 年には商業化可能な状態、2006 年までにはフルスケールにというマイルストーンを達成したいと考えている。2006 年の年間生産量は 1,000,000m を計画している。この生産量は、市場需要に応じて容易に増減させることができる。」と見通しを語った。

次に、SuperPower, Inc. は、オルバニー HTS ケーブル・プロジェクト用次世代 HTS 線材を始めて住友電工に出荷したと発表した。これは、2006 年に設置される 30m ケーブルに先立ち設置される 1m テストケーブルに使用される予定である。この 4mm 幅の線材の AC 損失は以前のものに比べ 20 分の 1 であり、冷凍負荷を軽減させるという意味で非常に重要な特徴を持っている。SuperPower, Inc. は、2005 年秋までに全部で 8000m の次世代線材をオルバニー・ケーブル・プロジェクトに供給するとしている。

3 番目に、SuperPower, Inc. はニューヨーク州エネルギー開発公社の資金を得て X-Ray Optical Systems, Inc. と協力して開発した品質管理システムにより栄えある R&D100 賞を受賞した。これは次世代線材のバッファ層及び超電導層の均一性を測定するテーブルトップの X 線回折システムである。SuperPower, Inc. 社長 Pellegrino は、「この開発により、商業化を可能にするためには是非とも必要な高品質、高性能最終製品を製造する能力を高めることができる。」と語った。

また、DOE ピアレビューにおいて、SuperPower, Inc. は Rockwell Automation Power Systems に 25m の次世代 HTS 線材からなるコイルを供給したと報告した。このコイルは、次世代 HTS 線材では世界初と考えられる回転機用途である小規模デモ用 HTS 発電機に組み込まれた。Rockwell Automation Power Systems は、試験用発電機を 1800rpm、1.2 馬力で運転したと報告した。

(出典)

“Intermagnetics' Superpower Subsidiary Achieves New World-Record Performance in Second-Generation HTS Wire”

Intermagnetics General Corporation press release (August 4, 2004)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=10215&storyId=118611>

#### American Superconductor Corporation (2004年8月5日)

American Superconductor Corporation は、SuperVAR シンクロナス・コンデンサ原型機のオハイオ州マンスフィールドにおける First Energy 社送電グリッドでの試験、運転が成功したと発表した。SuperVAR コンデンサは、連続で 8 mega-VAR の無効電力を供給することが可能で、2004 年 1 月の Tennessee Valley Authority (TVA) のグリッドに設置したものより性能がよくなっている。このシステムは、コンデンサのロータ設計を改善して装置のローバスト性を高め、製造コストを低減している。システムは無負荷及び有負荷の条件の下、1800rpm、13.8kV で動作する。このシステムは TVA 送電グリッド設置のためテネシーへ出荷したところ。

(出典)

“American Superconductor's SuperVAR™ Synchronous Condenser Successfully Generates Reactive Power on Ohio Transmission Grid”

American Superconductor Corporation press release (August 5, 2004)

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

#### American Superconductor Corporation (2004年8月5日)

American Superconductor Corporation は、2004年6月30日に終了する2005年度第1四半期の収支を発表した。純収入は63%増加して記録を更新、前年同期780万ドルに対し、当期は1,270万ドルであった。純損失は、前年同期の840万ドルに対し、当期は490万ドルであった。ASMC社は第1四半期の間に1,210万ドルの新規受注を受けた。契約も含めた受注残は6,420万ドル、内4,200万ドルは2005年度内に現金化される見込み。

(出典)

“American Superconductor Reports Fiscal 2005 First Quarter Results”

American Superconductor Corporation press release (August 5, 2004)

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

#### Intermagnetics General Corporation (2004年8月30日)

SuperPower, Inc. 等は、マトリクス型 FCL(MFCL) 開発プログラムにおける概念確認実験を成功裏に終了したと発表した。開発中の装置は、送電グリッドを電力サージから保護するために使われる。SuperPower, Inc. はこのプロジェクトのリーダーで、Nexans SuperConductors, GmbH と共同開発を行っている。このプロジェクトは SPI プログラムの下で実施されているもので、当該プログラムの下では DOE がプロジェクト費用 1,220 万ドルの半分を負担する。また EPRI も 60 万ドル資金を提供している。この概念確認実験により、開発プログラムの第 1 段階はほぼ終了し、得られた結果は実用送電レベルの電圧に向けたスケールアップ設計の基礎データとなる。IGC 子会社の SuperPower, Inc. 社長 Philip J. Pellegrino は次のように述べた。「この試験により MFCL が 50 ミリ秒以内に顕著に(50%以上)電流を抑制できることが証明された。50 ミリ秒といえば、従来型の電流遮断装置がようやく作動を始める時間である。この FCL を使えば、単段の FCL で十分な遮断能力を有するために、変電所で多段のサーキットブレーカーを採用し、さらにその性能を向上させる必要がなくなる。どれくらいのブレーカーを置き換えることができるか、また、最悪のケースとして想定される新たな変電所の建設を不要にできるかによって数字は変わるが、節約可能な費用は数百万ドルは下らないであろう。」送電電圧に耐える次のプロトタイプは2005年後半に完成予定である。

(出典)

“Intermagnetics' SuperPower Subsidiary Reports Successful Testing Of Prototype Superconducting 'power valve' Device”

Intermagnetics General Corporation press release (August 30, 2004)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=10215&storyId=119594>

## 医療

#### CardioMag Imaging™ (2004年8月9日)

CardioMag Imaging™ (CMI)は、欧州やカナダなどに同社の MCG 医療診断装置を供給するための包括的承認と国際的証明 (CE certification 等) を受けたと発表した。これら一連の証明があれば、

最近米国食品・薬品安全局から受けた同社 MCG の米国内販売の承認に加え、顧客に対する品質保障として有効である。同社 MCG は、心臓動脈疾患を始めとして各種心臓疾患の早くて正確、かつ、非侵襲性の診断手段として、病院、画像診断センター、研究機関から非常に高い関心を持たれている。いくつかの機関はすでに MCG を使って心臓のモニターや不整脈の検査を行っている。装置は、米国の他、ドイツ、イタリア、中国で心臓医学分野の先端研究に使われている。

(出典)

“CardioMag's Heart-Health Scanner Receives International Marketing and Product Quality Certification”

CardioMag Imaging™ press release (August 9, 2004)

[http://www.cardiomag.com/about/news/CE\\_Press\\_Release\\_8-9-04.pdf](http://www.cardiomag.com/about/news/CE_Press_Release_8-9-04.pdf)

## 材料

### Superconductive Components, Inc. (2004年8月18日)

Superconductive Components, Inc. (SCCI)は、2004年6月30日に終了する四半期の収支を発表した。総収入は、前年同期 627,765 ドルに対し 5.3%増の 661,162 ドル。収入の増加の主な原因は製品出荷が伸びたこと。研究契約収入は、前年同期に比べ 6.5%増加した。これは、長手方向連続反応による HTS 線材の製造方法の開発に関する DOE SBIR 第2フェーズの寄与が大きい。同社社長 Dan Rooney は次のように述べた。「市場の状況は、第2四半期に入って徐々に改善してきている。総収入は、前期から比べれば 29.7%の増加であり、前年同期比でも上回っている。第2四半期は注目している市場からは着実に収入が得られている。第2四半期末には市場にはプラスとマイナスの要因はあるものの、今後とも利益率改善に努め、継続的な収入増加を図っていく。」

(出典)

“Superconductive Components, Inc. Reports Second Quarter Results”

Superconductive Components, Inc. press release (August 18, 2004)

<http://www.targetmaterials.com/ne/earnings/scci24.htm>

## 通信

### Superconductor Technologies Inc. (2004年8月5日)

Superconductor Technologies Inc. (STI)は、2004年7月3日に終了する第2四半期の収支を発表した。純収入は、前年同期 890 万ドルに対し当期は 460 万ドル。政府等との契約は、前年同期 230 万ドルに対し当期は 180 万ドル。純損失は、前年同期 310 万ドルに対し当期はリストラ費用 250 万ドルも含め 890 万ドルであった。同社社長 M. Peter Thomas は次のように述べた。「第2四半期に、損益分岐点を下げることにより財務体質を強固なものとした。また、株式公募も成功裏に終了し、これも財務体質改善に大きく寄与している。費用低下のための努力により、第3四半期からは第1四半期に比べ四半期ベースで 170 万ドルの節約が可能となる。また、株式公募により 1,680 万ドルが得られた。」2004年7月3日時点で、受注残は 180 万ドルである。STI社は、第3四半期には第2四半期よりも大きな売り上げを見込んでおり、総収入は 700~800 万ドル程度になるものと見られる。

(出典)

“Superconductor Technologies Announces Second Quarter 2004 Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (August 5, 2004)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=5951&storyId=118731>

### Superconductor Technologies Inc. (2004年8月19日)

Superconductor Technologies, Inc. (STI) は、Deloitte & Touche の栄えあるロスアンジェルス Technology Fast 50 プログラムに3年連続で選ばれた。Technology Fast 50 プログラムは、ロスアンジェルス地区で最も成長スピードの早い技術関係会社をランキングしたものである。このランキングは、過去5年の年間収入の伸びの平均値を基に行われる。STI 社社長 M. Peter Thomas は、「続けて3年間ランキングされ非常に名誉なことでありうれしく思っている。2004 年前半は余り好調であったとは言えないが、将来に向かっては手放しというわけではないものの明るい見通しを持っている。顧客の収支も改善してきており、回復の兆しが出てきている。顧客が再びカパレッジや容量を拡大し、次世代ネットワークを導入するという状況になれば、我々はこれを支援していくことになるだろうとそのことを楽しみにしている。」と語った。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Again Named One of LA's Fastest Growing Tech Companies in Deloitte & Touche 'Technology Fast 50' Program”

Superconductor Technologies Inc. press release (August 19, 2004)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=5951&storyId=119282>

## 基礎

### University of Illinois at Urbana-Champaign (2004年7月30日)

University of Illinois at Urbana-Champaign では、ヘテロ構造を持つ単結晶中に作り込まれた HTS トンネル接合中の励起状態の状態密度が、電子とホールで大きな非対称性を持つことを見出した。現在の理論は超電導体が電子 ホール対称性を有しているとしており、これらの結果はこれと合わず、未だ説明できないでいる。研究グループの長である James Eckstien 教授は、「超電導転移点以下では、ゼロバイアス近傍でトンネルコンダクタンスが予想しない大きな非対称性を示した。このことは、高温超電導体、特に Ti 層では本質的に電子 ホールの対称性が破れていることの証拠である。」と述べた。負バイアス状態のスペクトルには期待通りの粒子的性格を持った電子のトンネリングに対応した超電導ギャップが見られるが、正バイアス状態では、ステップ状の飛びが見られる。このように電子とホールの励起状態は、超電導体の接合部分で対称性が敗れている。

実験に使ったヘテロ構造は MBE により作成、in situ のモニタリングにより最適化を図った。このため、現在の結果につながるこれまで得られなかったような完全な超電導体 絶縁体界面を得ることができた。Eckstien 教授は、「このような完全な界面の存在により効果が顕著に出るようになった。この結果は、高温超電導の理論に新たな課題を与えるものである。」と述べた。研究結果は近々 Physical Review Letters に掲載される。

(出典)

“Asymmetric feature shows puzzling face for superconductivity”

University of Illinois at Urbana-Champaign press release (July 30, 2004)

<http://www.news.uiuc.edu/news/04/0730eckstein.html>

### University of California, Berkeley (2004年8月16日)

University of California, Berkeley と Lawrence Berkeley National Laboratory は、東京大学と協力

して、(高温)超電導体では格子振動が、従来考えられていたような態様ではないが、重要な役割を果たしていることを明らかにした。従来の高温超電導理論はフォノンのような格子振動を無視して、磁気モーメントを背景としたホール(電子の欠如によって生じる)の運動から超電導は生じるとの考え方が中心となっている。しかしながら、高温超電導体におけるフォノンの役割が全て否定されているわけではなく、議論は続いている。これを明らかにするため、重くて硬い格子は超電導に影響を与えるだろうと考え、研究者達はBi-2212の酸素16をより重い酸素18に置き換えた。材料中の電子の速度を測定する角度分解光電子分光(APRES)を用いて調べた結果、高温超電導体では格子振動が電子のダイナミクスに直接影響を与えていることが判った。この結果は、超電導を記述する理論からフォノンを除くことはできないことを示唆しており、未知の新たな超電導体の発見につながるかも知れない。研究結果はNatureの7月8日号に掲載された。

(出典)

“Vibrations in crystal lattice play big role in high-temperature superconductors”

University of California, Berkeley press release (August 16, 2004)

[http://www.berkeley.edu/news/media/releases/2004/08/16\\_Lanzara.shtml](http://www.berkeley.edu/news/media/releases/2004/08/16_Lanzara.shtml)

(ISTEC 国際部長 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)



## 2004年電気学会 基礎・材料・共通部門大会報告

物質・材料研究機構

超伝導材料研究センター 酸化物線材グループ

ディレクター 熊倉浩明

表記の会議が、2004年8月30、31日に仙台の仙台国際センターで開催され、酸化物超電導材料のセッションがテーマ付きセッションとして31日に開かれた。本セッションには9件の研究発表があり、出席者はあまり多くはなかったものの、それだけに緊密で活発な議論が展開された。ここでは、それぞれの発表についてごく簡単に報告したい。

住友電工の林は、加圧焼結法により作製したBi-2223線材について発表した。PIT法によるBi-2223線材では、焼結が進むにつれて酸化物コアの充填密度が低下してしまうのが問題点の一つである。このため通常の大気圧焼結では、Bi-2223層の充填密度は87%程度に留まるが、Ar+O<sub>2</sub>混合ガスで加圧して焼結することにより、ほぼ100%の充填密度が得られるとしている。この充填密度の向上により、Bi-2223超電導体の反応の促進や、Bi-2223結晶粒の接合の改善などが期待できるとしている。このような組織の改善により、J<sub>c</sub>が約30%上昇したと述べた。また、この加圧焼結法を適用して、500m級の長尺線材の作製にも成功している。この長尺線材のI<sub>c</sub>は125A程度(77K、自己磁界)であり、長さ方向のJ<sub>c</sub>のバラツキは十分に小さいとしている。

超電導工研の和泉らは、TFA-MOD法によるY-123線材について発表した。実用上重要なI<sub>c</sub>の向上のためには、J<sub>c</sub>を向上させるとともに、高いJ<sub>c</sub>を維持しながら厚膜化する必要があるとした。高J<sub>c</sub>化については、IBAD(Ion Beam Assisted Deposition)法による配向Gd<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(GZO)中間層の上にCeO<sub>2</sub>層(キャップ層)を配することで、Y-123配向膜の配向の乱れが3度程度と高い配向度が得られるようになり、薄膜では3MA/cm<sup>2</sup>(77K、自己磁界)を越えるJ<sub>c</sub>を実現していると述べた。もう一方の厚膜化では、塗布と仮焼を繰り返すマルチコート法の適用を試みている。この手法によってI<sub>c</sub>は膜厚の増加とともにほぼ直線的に増大し、1.6μm厚のテープにおいて312Aの高いI<sub>c</sub>が得られるようになったと述べた。

フジクラの飯島らは、IBAD/PLD法によるY-123テープについて発表した。このIBAD法では中間層が重要な役割を果たすが、CeO<sub>2</sub>/GZOの中間層を用いることにより、高いJ<sub>c</sub>が達成されているとしている。J<sub>c</sub>値は膜厚とともに徐々に低下する傾向にあるが、1.5μmの膜厚においても200A(10mmテープ幅)以上の高いI<sub>c</sub>が得られている。これらの短尺試料の中間層と同レベルの中間層を有する100m級の基材テープが連続形成装置によって得られており、さらにY-123膜を連続製膜することにより、100m長で38AのI<sub>c</sub>を持つ線材を作製している。このI<sub>c</sub>はまだそれほど高くはないが、近々I<sub>c</sub>=100Aの100m級線材ができる見通しであると述べた。また、長尺テープのn値はJ<sub>c</sub>値自体よりもJ<sub>c</sub>の均一性に依存するとしている。

物材機構の熊倉らは、MgとBの混合粉末を用いるin situ PIT法によるMgB<sub>2</sub>線材の特性について報告した。Mgが非常に酸化されやすい金属であるために原料粉末の調製が重要であり、ボールミル法、MgH<sub>2</sub>を使う方法、微細Mg粉末を使う方法、などが高J<sub>c</sub>化に有効であるとしている。微細なSiC粉末を添加した線材では高磁界でのJ<sub>c</sub>-B特性が大幅に改善され、600と比較的低い温度で熱処理をした線材では4.2Kの不可逆磁界が23Tに達し、また20Kでも8-9Tはあり、MgB<sub>2</sub>は高磁界用線材ならびに冷凍機冷却用線材として有望であるとしている。ただし、J<sub>c</sub>値自体はまだ低く、更なる高J<sub>c</sub>化が必要不可欠と述べた。

横浜国大の雨宮らは、Y系コーテッドコンダクター(テープ幅10mm)ならびにPIT法によるBi系多芯テープ線材の交流損失を比較して発表した。磁界がテープ面に平行(角度0°)の場合はY系

線材の方が Bi 系線材よりも交流損失が小さいが、磁界が垂直(90°)の場合は逆転して Y 系線材の方が大きくなる。また、磁界角度が 5°の場合でも弱磁界領域を除いて Y 系線材の方が大きくなり、10mm 幅の Y 系線材は交流損失の観点からは不利であるとしている。しかしながら Y 系線材にスリットを入れて多芯化した線材においては、大幅に損失が低減すると述べた。また Bi 系線材では銀マトリックスを高抵抗化すれば、垂直磁界においてもツイストの効果が現れて損失がかなり低減すると述べた。

昭和電線の西岡らは、Bi-2212 ラザフォードケーブルについて報告した。Bi-2212 は 20K 以下の温度で高い  $J_c$  を示し、また丸線でも良好な  $J_c$  を示すので、多数の丸線材を撚り合わせて大容量化することが容易であり、大電流を必要とする SMES、加速器、核融合炉などに有望であるとしている。Bi-2212 丸線は PIT 法で作製し、61 芯×7 構造の 0.8mm の素線を 30 本撚り合わせてラザフォード導体としている。このようにして 150m 長のラザフォード導体を作製してこれを無誘導巻きの試験コイルとし、過冷却液体窒素温度(63.5K)で  $I_c$  測定を行った。ケーブル全長の  $I_c$  は 780A であり、 $I_c$  の分布は全長にわたって均一であることを確認できたと述べた。

東京海洋大の大谷らは、電気推進用高温超電導同期機の高トルク化を目指して、複層の界磁構造を検討しているが、今回はこの要素技術として、三つの渦巻き型コイルの間に二個の高温超電導バルク磁石を挟んだ複層構造において着磁試験を行った。バルク磁石は QMG 法で作製した直径 60mm の Gd 系バルク体である。試験は液体窒素に浸漬し、コイルにパルス電流を印加することによって着磁試験を行った。その結果、このような複層界磁構造を同期機に適合させて実装することが可能であることがわかったとしている。

物材機構の横山らは、超電導バルク体のロングパルス着磁の効果について発表した。超電導バルク体の着磁については、磁束の運動による温度の上昇を抑制することが重要と巻上げられる。そこで着磁におけるパルスの立ち上がり時間や印加磁場の大きさを種々に変化させて着磁の実験を行っている。パルス立ち上がり時間が短い場合、捕捉磁界は印加磁界と共に増大するが、パルス立ち上がり時間が長くなると、印加磁界がある値までは捕捉磁界は印加磁界とともに増大するが、印加磁界がそれよりも大きくなると捕捉磁界は逆に低下するとし、これはバルク体の温度上昇が大きくなって  $J_c$  が低下するためであるとしている。

物材機構の加藤らは、超電導マグネットを用いて大型永久磁石の磁化を評価する方法について発表した。高性能永久磁石材の評価には、高い磁界が必要であり、通常の電磁石では困難である。また、パルス磁石では大型の試料の場合は中心まで磁束を進入させることが困難であるとし、そのために超電導マグネットを用いた評価システムを開発した。超電導磁石としては内径 18cm、最大磁場が 7.5T の無冷媒マグネットを使用している。試料の磁化は試料にセットしたピックアップコイルによっている。この方法では、可動部分が無いため、構造が簡単で、大型の磁石のように強い力を受ける場合に固定して測定が出来るという利点があるとしている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 2004年秋季学会にて、SFQ マイクロプロセッサの21GHz 動作実証を発表

名古屋大学  
大学院 工学研究科  
教授 藤巻 朗

半導体マイクロプロセッサ(MPU)は3年で性能が2倍になるという驚くべき成長を遂げてきた。これは、デバイスの微細化が高速化と集積度の向上という一挙両得とも言うべき効能をもたらしていたためである。同時にそれは、演算の時間並列性や空間並列性の向上というアーキテクチャ的な改善をも促進し、総合的に大きな成長となっていた。しかしながら、ここに来てその成長に明らかに陰りが見えてきた。それは、以前から警鐘が鳴らされていた3つの壁、すなわちチップの発熱(電力密度)、長い配線の遅延時間、そして複雑になりすぎた回路という3つの問題に半導体MPUがまさに直面したことを意味している。

このような問題を解決するには、高速でありかつ発熱による集積化の限界のないデバイスを用い、できるだけ単純な構造(配線遅延の小さい構造)でMPUを構成する必要がある。その最も有力な候補が単一磁束量子(SFQ)回路であると考え、名古屋大学と横浜国立大学を中心にNEDOの支援による「低消費電力型超電導ネットワークデバイスの開発」事業の一環としてSFQ-MPUの開発が行われてきた。

開発は3つの大きな技術テーマに分かれており、最終的にはそれらを統合することでSFQ-MPUへの道筋をつける構想である。最初のテーマは、SFQ回路の大規模化に関する設計技術に対するものである。これまでに、超電導工学研究所、情報通信研究機構と協力してCONNECTトップダウン設計法を構築してきた。この設計法はすでに多くの実績を残しており、現在世界最高水準のSFQ回路設計技術と自負している。2つ目のテーマは、SFQ-MPUの動作実証である。実際にMPUを設計・評価することで、高速化・高性能化に対する障害を洗い出し、SFQ-MPUの性能律速要因を明らかにする目的をこのテーマは持っている。3つ目はSFQに適したMPUマイクロアーキテクチャの開発である。SFQ回路は、高いスループットと高速な長距離信号伝送を特長とする反面、ファンイン、ファンアウトが小さいという性格を持つ。これをうまく生かすアーキテクチャを追求するために、情報処理の専門家とともに検討を進めている。

図1は、SFQ-MPUの性能のマイルストーンを示したものである。CORE1αは上述の2つ目のテーマの目的のために開発したもので、すでにメモリを搭載したMPUがALUやレジスタなどのデータパスの部分で21GHz、命令を実行するためのクロックが1GHzで完全に動作している。性能は200M Operations/s (200 MOPS)とPentiumなどと比べれば1/10以下であるが、わずか7200個のジョセフソン接合数で実現できたことを考えると特筆すべき性能とみなすことができる。消費電力は

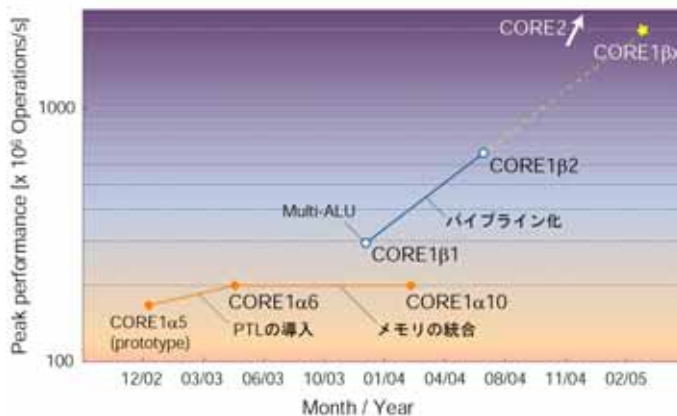


図1 SFQ-MPUのマイルストーン  
それぞれの点は開発開始時期を示す。

2.3mWであった。図2にその顕微鏡写真を示すが、この回路は動作の複雑さ、回路規模の観点から世界最高レベルと考えている。この回路は超電導工学研究所のニオブ系 SFQ 回路製造ラインを用いて試作したものである。なお、この成果は2004年秋季応用物理学学会学術講演(9月2日)及び2004年電子情報通信学会ソサイエティ大会(9月21日)にて発表された。現在は、次の世代のMPU(CORE1β)の開発に移行している。そこでは、ALUの空間並列化やパイプラインによる時間並列化などを導入した。実証レベルとして700 MOPS、数値解析レベルとして2000 MOPSを目指している。さらに、SFQ回路に適したアーキテクチャ(Tornado アーキテクチャ)を採用したMPU(CORE2)も、要素回路の実証段階に入っている。よく指摘されるメモリとのアクセス時間の問題も横浜国大がU.C. Berkeleyとともに開発しているSFQ/CMOSハイブリッドメモリによって解決ができそうである。そこでは、メモリのセンスにジョセフソン接合を用いることで大幅に読み出し時間が短縮されるほか、低温動作という特長を活かし半分のトランジスタ数によるSRAMを構成することでメモリ容量の拡大やアクセス時間の短縮が図られる。

このようにSFQ-MPUの開発はこの数年で大きく前進し、ポストシリコンも夢ではないと感じるようになってきた。その立役者は実は学生であったが、その若い力がさらなる飛躍をもたらしてくれる予感に浸っているところである。

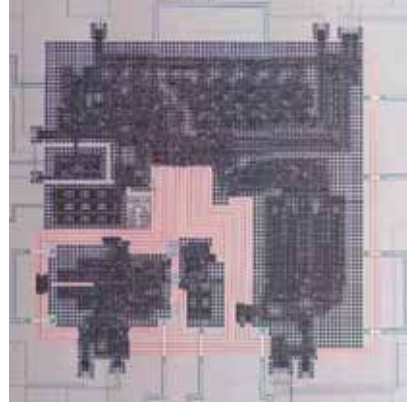


図2 メモリを統合したSFQマイクロプロセッサ。  
受動線路も利用している。

[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5)

日本アドバンスト・テクノロジー株式会社  
安藤俊就

5. Nb<sub>3</sub>Sn 線の開発

ITER の超電導コイルに使用する超電導線の大部分は Nb<sub>3</sub>Sn 線である。Nb<sub>3</sub>Sn が発見された後、長い開発過程を経て、ITER のコイルに採用できるまでになった。本稿では Nb<sub>3</sub>Sn の開発の進展と ITER で要求される特性について記述する。

5.1 ITER 用 Nb<sub>3</sub>Sn 線への要求特性

現在、ITER の Nb<sub>3</sub>Sn 線の設計では、図 17 に示すように安定化銅との複合 Nb<sub>3</sub>Sn 多芯線構造で以下のような特性が要求される。<sup>16)</sup>

線径：0.7 ~ 0.85 mm

銅比：1

クロムの厚み：1 ~ 2 μm

Jc : ≥800 A/mm<sup>2</sup> at 12 T, 4.2 K

(内部拡散法)

≥700 A/mm<sup>2</sup> at 12 T, 4.2 K

(ブロンズ法)

(Jc の定義は 0.1 μV/cm)

ヒステリシス損失：≤600 mJ/cc +/- 3T cycle

(内部拡散法)

≤400 mJ/cc +/- 3T cycle

(ブロンズ法)

安定化銅の RRR : ≥100

これらの特性は ITER-EDA のときの特性より少し高性能になっているが実現可能な数値である。後はコストが ITER-EDA より低コストで製作できるかである。

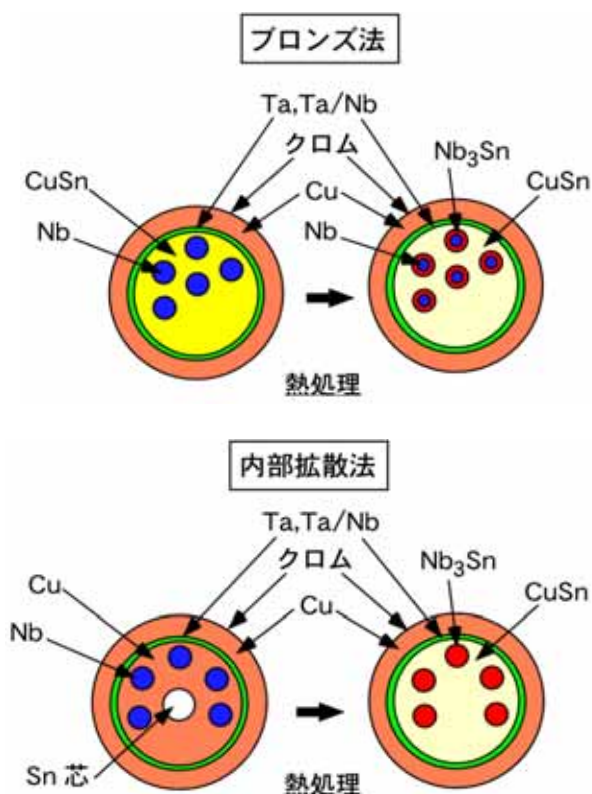


図 17 銅安定化 Nb<sub>3</sub>Sn 多芯超電導線

5.2 開発の進展

1954年に Nb<sub>3</sub>Sn が発見されて以来 Nb<sub>3</sub>Sn 線材の開発が続けられてきたが、核融合炉用として適用できる(もちろん他の応用においても)構造となってきたのは 1974年に多芯構造線の試作に成功してからである。<sup>17)</sup> この Nb<sub>3</sub>Sn 多芯線により、これまでの錫付着ニオブテープ線が抱えてきた磁気不安定性の存在、高い交流損失、高い残留磁場等の課題が解決できる見通しが得られ、また、コイルの励磁速度を早めることも可能となってきた。さらに、核融合炉用コイルへの適用に最も重要な大電流導体開発の可能性が出てきた。この多芯化された線は安定化銅と一緒に複合加工され、NbTi/Cu 複合線とほとんど同じように製作することができ、また、Nb<sub>3</sub>Sn 生成の熱処理温度も従来の錫付着テープ線の 900 台から 600 台に下がるなど、製造面でも大きな進歩をもたらした。世

界各国の研究機関、メーカーにおいて開発競争が始まり、原研でも本線を核融合炉用コイルに適用すべく1977年からメーカーの協力を得て開発に取り組み、それは核融合炉の高磁場化に向けた開発の基盤的役割をになった。

表4 核融合コイル用 Nb<sub>3</sub>Sn 線の開発の進展

コイル名	TMC (1982年)*	LCT-W (1986年)*	DPC (1990年)*	ITER-EDA (1998年)*	ITER
Nb <sub>3</sub> Snの種類	Pure Nb <sub>3</sub> Sn	Pure Nb <sub>3</sub> Sn	Alloyed Nb <sub>3</sub> Sn (In, Ti)	Alloyed Nb <sub>3</sub> Sn (Ti, Ta)	Alloyed Nb <sub>3</sub> Sn (Ti, Ta)
Jc at 12 T, 4.2 K**	360 A/mm <sup>2</sup>	350 A/mm <sup>2</sup>	420 A/mm <sup>2</sup>	550 ~ 700 A/mm <sup>2</sup>	700 ~ 800 A/mm <sup>2</sup>
ヒステリシス 損失 (±3T)**	400 mJ/cc	400 mJ/cc	300 ~ 460 mJ/cc	200 ~ 600 mJ/cc	400 ~ 700 mJ/cc
錫拡散バリア	Nb	Nb	Ta, V	Ta, Ta/Nb	Ta, Ta/Nb

\*コイルが最初に運転された年、\*\*性能のレベルを示す。

初期のころは Nb<sub>3</sub>Sn 多芯線の Jc は 12 T で 400 A/mm<sup>2</sup> 程度であったが、1979年に内径 100 mm のコイルに 10 T の磁場を発生することに成功した。<sup>18)</sup> その後ブロンズ内の錫濃度の増加、さらには Nb コアまたブロンズ内への第 3 元素の添加が行われるようになり、Jc はだんだんと高くなり、ITER の要求性能に近い性能をもつ Nb<sub>3</sub>Sn 線が開発されるようになった。その進展は原研で遂行された核融合コイルの開発計画において

でも示される(表4)。図18は Jc とヒステリシス損失との上から Nb<sub>3</sub>Sn 線の開発のレベルの進展を示す。トカマク型核融合コイルは変動磁場に曝されるので、低交流損失を実現するために、ヒステリシス損失の低減も重要な要素となる。ヒステリシス損失は、Nb<sub>3</sub>Sn のフィラメント径が同じであれば、Jc に比例して増加する。したがって、Jc を増加させながら、フィラメント径を小さくする必要がある。この場合のフィラメント径は有効フィラメント径 (~10 μm) であり、それは熱処理によりフィラメント間の幾何学的近接、電気的結合により幾何学的径 (~3 μm) より大きくなる。したがって、できるだけフィラメントを均質に製作する必要があり、Jc が高くなるほど高品質なフィラメントを実現しなければならないので、加工によるフ

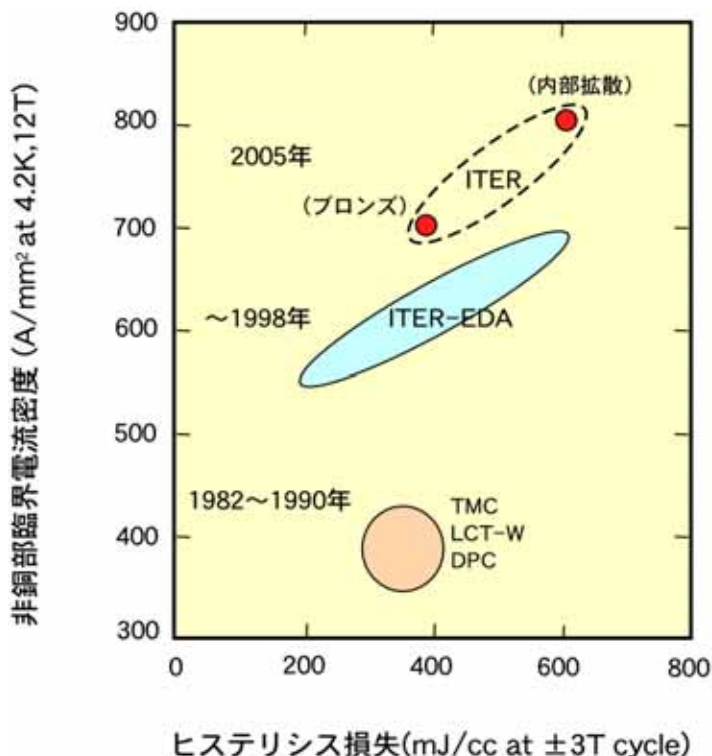


図18 Nb<sub>3</sub>Sn 線の性能の進展

フィラメントの変形を抑えるための製作技術が重要となる。Nb<sub>3</sub>Sn 多芯線の開発では、ブロンズ法以外にも、内部拡散法、ジェリーロール法、チューブ法等と多くの方法が提案され、高い Jc を実現すべく開発されているが、現時点では ITER の要求性能を満たすのはブロンズ法と内部拡散法である。表 5 は ITER-EDA のモデルコイル計画に、4 極 8 社が製作した多芯線の構成を示す。それらの Nb<sub>3</sub>Sn 多芯線はそれぞれ特徴をもち、どれ一つとして同じには製作されていないが、いずれも ITER-EDA の要求性能を満たした。

表 5 ITER-EDA のモデルコイル計画に使用された Nb<sub>3</sub>Sn 線の構成

極	製造メーカー	製法	フィラメント材	ブロンズ又は 錫コアへの 添加材	銅中の 錫比	錫拡散 バリア
日本	古河電工	Bronze	Pure Nb	CuSn-0.2w/o Ti	14.2w/o	Ta
	日立電線	Bronze	Nb-1w/oTa	CuSn-0.5w/o Ti	14.3w/o	Ta/Nb
	三菱電機	Internal Sn	Pure Nb	Sn-1.5w/oTi	17.4w/o	Ta
米国	IGC*	Internal Sn	Nb-7.5 w/oTa	Pure Sn	21W/o	TaNb
	TWC	MJR	Nb-1w/oTi	Sn-2w/oMg	31W/o	Ta-40w/oNb
EU	VAC*	Bronze	Nb-7.5w/oTa	Pure CuSn	13w/o	Ta
	EM	Internal Sn	Nb-1w/oTi	Pure Sn	27.8w/o	Ta/Nb
ロシア	Bochvar	Bronze	Nb-2 w/oTi	Pure CuSn	13.5w/o	Ta/Nb

\*当時の社名

### 5.3 コイル定格電流での Nb<sub>3</sub>Sn の電流密度

ITER の TF コイルの定格電流は 11.8 T で 68 kA である。この時 Nb<sub>3</sub>Sn 線の非銅部当たりでの電流密度が 286 A/mm<sup>2</sup> となる。この値は 4.2K、11.8T での臨界電流値より非常に小さい値である。これは Nb<sub>3</sub>Sn 線をコイル状に巻いた時に Nb<sub>3</sub>Sn 線の環境が大きく変わっているためである。Nb<sub>3</sub>Sn 線は数千本束ねられてステンレススチールのコンジットに挿入され、コンパクト化された後コイル状に巻かれて 650 の温度で熱処理される。それがコイルの運転時には約 5 K の温度に冷却される。約 5 K の温度で Nb<sub>3</sub>Sn 材には導体を構成する他の材料との熱収縮率の違いから圧縮歪み加わる。

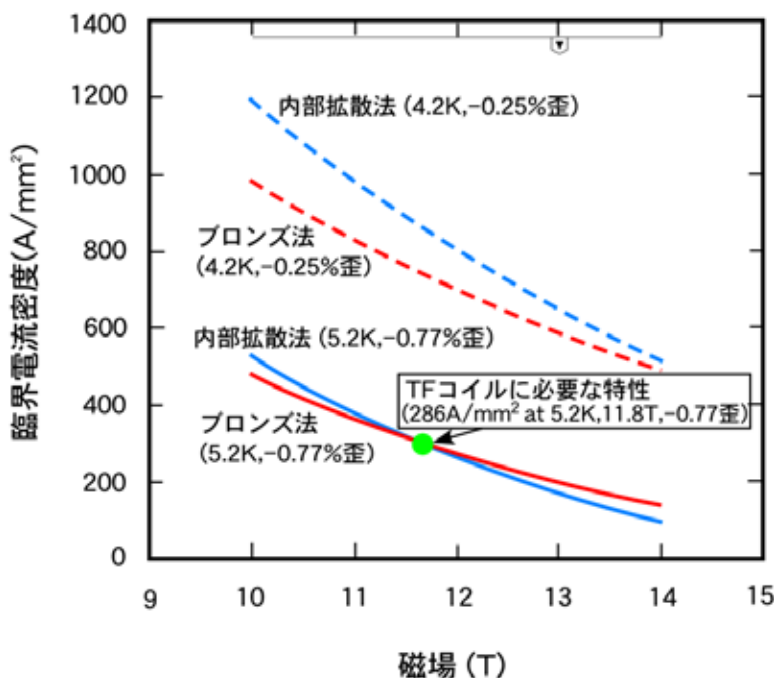


図 19 ITER で必要な Nb<sub>3</sub>Sn 線の Jc 特性

また、Nb<sub>3</sub>Sn 線の冷却はコンジット内に冷媒を循環して行われるが、ITER ではコイル内には中性子により大きな核発熱が発生し、また変動磁場により交流損失が生じる。これらによる温度上昇により冷凍機から供給される温度が 4.2 K であっても導体内での温度はそれ以上の上昇になる。ITER では、Nb<sub>3</sub>Sn 材に加わる歪みは 11.8 T、68 kA の定格時には -0.77 % となり、また温度は 5K となる。また温度については、コイルが安定に動作するためのマージンを含めると Nb<sub>3</sub>Sn 線は 11.8 T で 5.2K となる。286 A/mm<sup>2</sup> は丁度、これらの 5.2K の温度、-0.77% の歪みでの 11.8T の電流密度を表す。このように 4.2 K 以上の温度で高歪みでの Nb<sub>3</sub>Sn の臨界電流密度特性は 4.2K、-0.25% 歪みの環境とでは大きく変化する。その変化の割合合いがブロンズ法で製作された場合と内部拡散法とでは異なり、内部拡散法の方が変化が大きい。図 19 は ITER 用 Nb<sub>3</sub>Sn 線の Jc 特性を示す。4.2 K、11.8 T、約 -0.25% 歪みでは内部拡散法で製作された Nb<sub>3</sub>Sn 線の方がブロンズ法で製作された Nb<sub>3</sub>Sn 線より Jc が 100 A/mm<sup>2</sup> 以上高いが、ITER の TF コイルに巻かれコイルが運転された状態である 5.2 K、-0.77 % の環境では両者が一致する。

このように ITER では Nb<sub>3</sub>Sn 線は、4.2 K 以上の温度で高歪みで高い Jc である必要がある。従って、そのような条件での性能が評価できる装置が必要であり、今後 ITER の建設に向けて大量に製造される Nb<sub>3</sub>Sn 線の評価が重要となる。

## 参考文献

- 16) ITER Design Description Document DDD 11 Magnet (2004)
- 17) A. R. Kaufman and J. J. Pickett, Bull. Am. Phys. Soc. Vol 15 (1970) 838
- 18) T. Ando et al., Proc. 11th Symp. on Fusion Eng., (1986) 991-1000

[超電導 Web21 トップページ](#)



読者の広場

Q&A

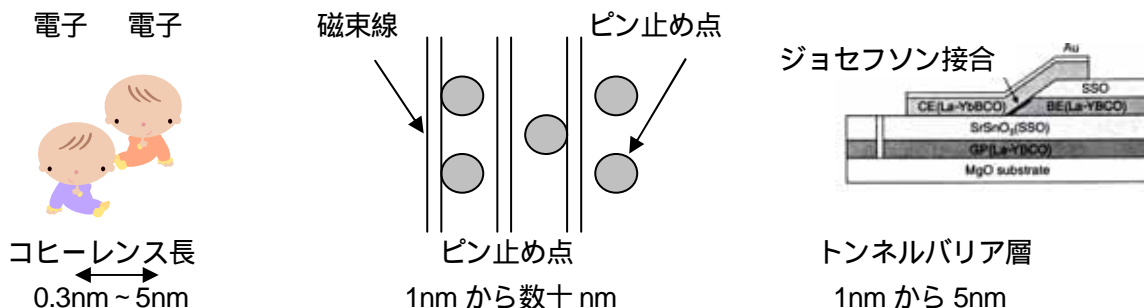
Q：超電導技術とナノテクノロジーとは関係あるのでしょうか？

A：超電導材料、超電導デバイスなどの超電導技術とナノテクノロジーとは密接な関係があり、ナノテクノロジーなくして超電導の応用はないといっても過言ではありません。

まず、ナノテクノロジーについておさらいしておきましょう。

「ナノ」とは、「10億分の1」を表します。これを長さのメートルに付けると、ナノメートル（10億分の1メートル）になります。この大きさは、たとえば頭髪（約100ミクロン）の約10万分の1に相当する極めて小さい寸法です。ナノテクノロジーという言葉の明確な定義はありませんが、一般にはつぎのように表現されています。すなわち、ナノテクノロジーとは、「ナノメートル程度の小さい構造体(原子、分子、組織など)に関する知識を応用して、ナノ構造体を作り、それから生まれる新しい機能を人間生活に役立てる技」ということができます。

さて、超電導材料、超電導デバイスなど超電導技術にかかわるナノメートルの世界を紹介しましょう。2個の導電子がペアを組むために必要な特性長がコヒーレント長です。この長さ以上離れたところにある電子はペアが組めず、超電導性を感じることができません。このコヒーレント長さは超電導体の種類や結晶系によって異なりますが、0.3ナノメートルから5ナノメートルの範囲です。超電導材料に大電流を流したり高磁界を発生するためには、超電導体に侵入した量子化された磁束線が動かないようにピン止めする必要があります。超電導体の内部にコヒーレント長の2倍程度の異相、酸化物などの常電導体を分散させます。また、超電導デバイスにおけるジョセフソン接合構造では、2つの超電導体の間に1から5ナノメートル程度のトンネルバリア層を挟む必要があります。このように超電導材料や超電導デバイスに大電流機能やデジタルデバイス機能を発現させ、超電導線及び超電導バルク材料における強磁界応用や超電導エレクトロニクス応用を実現させるためには、超電導材料や超電導デバイスにナノ構造を仕組む技術、すなわちナノテクノロジーが必要になるわけです。



(注) 1メートル = 1000 ミリメートル(mm)、1mm = 1000 マイクロメートル(μm)、1μm = 1000 ナノメートル(nm)

超電導材料における代表的なナノテクノロジーは、神業ともいえる複合超電導線材の製造技術です。複合超電導線材は、銅母材に直径数マイクロメートルの多数の超電導フィラメントを埋め込み、かつこの超電導フィラメントの内部に1ナノメートルから数十ナノメートルの常電導相を析出させ

ます。これは、超電導材料の異相析出、自己配向性など自己組織化と複合加工熱処理技術との融合によって生まれます。また、RE-Ba-Cu-O 系超電導バルク磁石では、微細組織制御法によって 20 ナノメートル以下の非超電導物質を分散させ、そのピン止め効果によって 8T 以上の捕捉磁束密度が達成されています。一方、超電導デバイスにおける代表的なナノテクノロジーには、酸化物超電導デバイスに不可欠な界面改質型ランプエッジ接合技術があります。酸化物超電導薄膜の段差部に人為的なイオン照射によっての酸素のみが欠損した数ナノメートル厚さのバリア層を形成し、このトンネルバリア層の上に上部超電導薄膜を重ねる技術です。超電導デバイスでは、このような接合を数千から数百万個集積する技術が求められます。

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)