
掲載内容 (サマリー):

特集 : ISS2003

- 第 16 回国際超電導シンポジウム(ISS2003)開催
- ISS2003 トピックス : 物理、化学分野
- ISS2003 トピックス : バルク及びその応用分野
- ISS2003 トピックス : 線材及びその応用分野
- ISS2003 トピックス : 薄膜・接合、デバイス分野
- ISS2003 トピックス : 展示会

- 超電導関連 12 - 1 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン (10/18-11/19)
- 超電導速報 - 世界の動き (2003 年 10 月)
- 標準化活動 - IEC/TC90 - VAMAS/TWA16 合同会議開催 -
- 第 18 回磁石技術国際会議 (MT-18) 開催報告
- 第 4 回磁気分離研究開発に関するワークショップのレポート
- 超電導工学研究所 2003 年秋の所長賞決まる
- 隔月連載記事 - やさしい超電導のおはなし (その 6 最終回)
- 読者の広場(Q&A) - 病院の MRI 装置では超電導技術がどのように使われているのでしょうか?

[超電導Web21 トップページ](http://www.istec.or.jp/Web21/toppage.html)

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。

第 16 回国際超電導シンポジウム(ISS2003)開催

(財)国際超電導産業技術研究センターは、2003 年 10 月 27 日(月)～29 日(水)の 3 日間、つくば国際会議場で第 16 回国際超電導シンポジウム(ISS2003)を開催した。ISS は国内外の超電導に関する研究と技術開発の成果発表と国際交流を通して、超電導産業技術の開発と実用化の促進、一般社会への普及・啓蒙を図ることを目的に毎年開催しており今年で第 16 回目を迎えた。今回、海外参加 85 名を含め総参加者 637 名、参加国 15 ヶ国となり、米国および中国・韓国からの参加者の増加が見られた。発表は招待講演者 59 名を含め、口頭講演 123 件、ポスター講演 321 件の合計 444 件となり昨年より 23 件の増加となった。講演の論文は論文誌 Physica C(Elsevier B.V.)の特別号として出版される予定。また、企業 11 社による超電導関連材料と製品、技術の展示会も同時開催された。

第 1 日目は田中昭二 ISTE C 副理事長の開会挨拶、中川経済産業大臣(代読 塩沢文朗経済産業省産業技術環境局審議官)の来賓祝辞に続き、立木昌氏(物質材料研究機構)、M.Nisenoff 氏(M.Nisenoff Associates)の両プログラム委員長の司会で、2 件の特別基調講演と 6 件の基調講演が行われた。特別基調講演では、秋田調氏(電力中央研究所)が「高温超電導の電力機器・システム応用」について、また、J.Spargo 氏(Northrop Grumman Space Technology)が「米国における超電導デジタルエレクトロニクス」について講演された。基調講演では、D.C.Larbalestier 氏(University of Wisconsin-Madison)が「 MgB_2 での臨界磁場 50T」について、R.A.Hawsey 氏(Oak Ridge National Laboratory)が「米国(DOE)における次世代線材開発の動向」について、塩原融氏(ISTEC-SRL)が「日本における次世代線材開発の動向」について、水谷宇一郎氏(名古屋大学)が「バルク超電導材と応用」について、C.Foley 氏(CSIRO)が「SQUID による鉱物探査などの応用」について、塚田啓二氏(日立製作所)が「SQUID 心臓疾患検査システム」について講演された。また、夕方からバンケットが開催され、参加者の活発な交流の場が提供された。

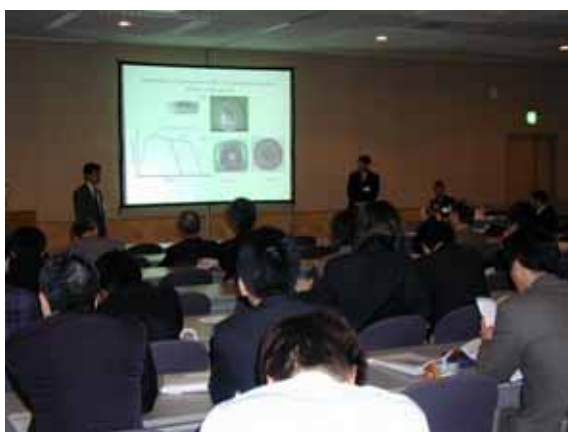


開会挨拶をする田中 ISTE C 副理事長

第 2 日目、3 日目は、物理・化学及び磁束物理、バルク/システム応用、線材・テープ/システム応用、薄膜・デバイスの 4 分野に別れての口頭発表と、2 回のポスターセッションが開催され、熱心な報告と討議がなされた。

物理・化学分野では、「強相関物理の新たな展開」「高温超電導体の超電導状態における相互作用」と題する 2 つのミニシンポジウムが企画され、超電導の新材料について及び高 T_c 銅酸化物の超電導機構の解明などの最新トピックスが議論された。バルク/システム応用分野では、液体酸素温度での磁気浮上や微弱重力空間での大型バルク製造などの最新トピックスや、フライホイールの超電導軸受け、超電導発電機、移動型磁気分離装置などの応用について最新成果の報告と議論がなされた。線材・テープ/システム応用分野では、日米における主要な 2 製法である IBAD 及び RABITS による線材・テープに関する最新の開発成果、さらに電力機器分野での応用などが報告され活発な議論が行われた。薄膜・デバイス分野では SFQ 素子によるマイクロプロセッサの開発、超電導デバイスのマイクロ波分野への応用、SQUID の広範囲な分野への応用などが報告された。

第 3 日目午後のクロージングでは、小形正男氏(東京大学)が物理化学・磁束物理分野、村上雅人氏(芝浦工業大学)がバルク/システム応用分野、R.A.Hawsey 氏(オークリッジ国立研究所)が線材・テープ/システム応用分野、田辺圭一氏(ISTEC-SRL)が薄膜・デバイス分野の各発表をそれぞれ総括された。最後に ISS2003 組織委員長の SRL 田中所長から閉会スピーチがあり、来年 11 月 23 日から 25 日の 3 日間に新潟市で開催予定の ISS2004 での再会を願って盛会裏に閉幕した。



オールラセッション



ポスターセッション

(ISTEC 調査・企画部長 佐伯 正治)

[超電導 Web21 トップページ](#)

ISS2003 トピックス：物理、化学分野

物理化学分野では、二つのミニシンポジウムが行われた。

「強相関物理の新たな展開」というミニシンポジウムでは、高温超電導体と同じように強い電子間相互作用の物質系で最近発見された新しい超電導体や新現象についての報告が行われた。物質材料研究機構の高田氏は、水を吸わせたコバルト酸化物の新しい超電導体について報告した。3 角形の結晶格子を持つという点で、これまでの超電導体にはない特徴があるが、強い 2 次元性がある点など、高温超電導体との類似点も多い。新しい磁気秩序状態や f 波等新しい超電導対称性などの観点からの興味のほか、水分子の挿入による面間距離拡大で超電導性が現れる機構に興味深い。水以外のものでも可能なかどうか、どの程度の 2 次元性が必須なのか、などまだわからない点も多く、今後の研究成果が待たれる。その他、有機超電導体やプルトニウムを含む超電導体など、バラエティに富んだ新超電導体が紹介された。

もう 1 つの「高温超電導体の超電導状態における相互作用」というミニシンポジウムでは、超電導状態における最も重要な相互作用が磁気的なものか格子との相互作用なのか、について最近の実験結果を中心に議論した。角度分解光電子分光において観測されているエネルギー分散曲線の折れ曲がり構造の起源については、磁気的なものであるという東北大学の高橋氏と、格子との相互作用によるものであるという Lanzara 氏 (UC Berkeley) の意見とが真っ向から対立した。超電導機構に格子との相互作用が関係している可能性を示唆する実験としては、Keller 氏 (Zuerich) が磁場侵入長に見られる酸素同位体効果の実験結果を紹介した。また、中性子や X 線散乱実験による格子の振る舞いの異常についても、詳細な報告があった。どちらの相互作用もそれぞれ無視できないくらい大きいように思われるが、超電導対形成にはどちらが関与しているのか、結論を出すにはまだ時間がかかりそうである。

磁束物理のセッションでは、ナノ構造を有する系における磁束の振る舞いをテーマとしてプログラムが組まれた。特に、s 波超電導体と d 波超電導体を組みあわせた時に界面部分に自発的に発生する磁束の振る舞いについては、シミュレーション結果が 3 件ほど報告され、新しい磁束量子素子としての可能性が示唆された。

(SRL/ISTEC 材料物性研究部長 田島節子、材料物性研究部 筑本知子)

[超電導 Web21 トップページ](#)

ISS2003 トピックス：バルク及びその応用分野

本節では、バルク / システム分野のトピックスを数件報告する。

材料の基本特性向上に関して、簡単かつ効果的にバルク体の臨界電流密度を向上させる手法について SRL から報告があった。これまで、バルク体の臨界電流密度は 77 K、ゼロ磁場中で数万 A/cm² のオーダーであったが、原料として用いる RE211 粒子を ZrO₂ ボールミルで微細化することにより、数十万 A/cm² のオーダーにまで向上した。これは、(Gd,Y)123 系および(Nd,Eu,Sm)123 系において達成されており、結晶成長後の組織観察では、極微細化された RE211 相が観察されている。また、TEM などの観察では、Zr 元素を含んだ数十ナノメートルの化合物が多数分散していることが観察されており、この微細な化合物も臨界電流密度の向上に寄与していると考えられている。特に (Nd,Eu,Sm)123 系においては、77 K、3 T 中においても十数万 A/cm² の臨界電流密度を示し、かつ液体酸素中(90K)においても数万 A/cm² の臨界電流密度を示すことから、液体酸素ポンプ等への応用が考えられる。報告では、液体酸素中での磁気浮上やフィッシング効果などの実験も示された。

また、バルク体に捕捉される磁場の大きさも向上しており、77 K の捕捉磁場は各種軽希土類置換 RE123 系において 2T を超え、Gd123 系においては、3.05 T の捕捉磁場を記録した。また、低温にすると材料の臨界電流密度が向上するため、捕捉磁場の向上が期待できるが、今までは磁場を捕捉させた際にバルク体に加わるフープ力による破壊や磁束の動きによる発熱により、期待されたほどの特性は得られていなかった。しかしながら、樹脂含浸と金属含浸を組み合わせることで機械的特性と熱の排出を高めることにより、17.9 T の静磁場印加により、29 K において 17.25 T の磁場を Y123 系材料に捕捉させることが可能となった。

バルク体応用に関しては基礎的な研究が数多く報告されていたが、その内、日立製作所および九州電力が開発している磁気分離装置は各種フィールドでの発展が期待される分野であり、実用化に近いと思われる。今回の報告では、バルク体を用いた分離はかなり効率が高く、他の分離技術とのコストメリット等がとれば、広範囲の応用も可能であるとのこと。各種の材料により吸着剤などを最適化する必要があり、磁場強度も高める必要があるなど改良の余地は多数あるが、今後が期待できる。また、名古屋大学を中心として実施しているマグネトロンスパッタリングへの応用も、従来の装置ではできなかった材質や細孔への成膜が可能であるなど、超電導体利用ならではの特徴を有しており興味深かった。

(SRL/ISTEC 材料物性研究部バルク研究開発室 坂井直道)

[超電導 Web21 トップページ](#)

ISS2003 トピックス：線材及びその応用分野

「Wires & Tapes/System Applications」のセッションは、Parallel セッションで行われた 2 日間フルに発表があり、活発な討論が行われた。口頭発表件数は、Plenary を含めると 30 を超えておりプロセスに関するものが多く約 25 件、その中でも RE（希土類）系線材である次世代線材に関するものが 3/4 を占めていた。また、プロセス以外では、Characterization と Application に関する発表がそれぞれ 4, 5 件ずつあり、特に Special Plenary で 秋田氏（電中研）が高温超電導の電力応用に関する Review を行うなどステージがより応用を意識したものに移行しつつある印象を受けた。以下には次世代線材に関する報告を中心に主な発表をまとめる。

次世代線材開発で必要となる 2 軸配向組織を実現する手法として様々な方法があるが、今学会で特徴的だったのは、長尺・高特性を実現しつつある研究開発の多くが Ni 系配向基板と IBAD 中間層を用いた技術に集約されつつあることである。IBAD 中間層形成技術では、Arendt 氏（LANL）の発表において、MgO 層を IBAD 法で形成する構造で酸素の拡散を抑える目的で第一層に新たに Al_2O_3 を配する構造を提案し、その効果を示している。日本においては、飯島氏（フジクラ）が $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 材料の IBAD 形成技術においてアシストイオンビームの広がりの影響について調査した結果として、現在用いている範囲の条件では、大きな影響は見られないことが示された。また、室賀氏（SRL）は、IBAD 法の課題である成膜速度向上に効果のあるキャップ層について材料の影響を調べ、 CeO_2 が最も効果的である事を示し、55m の長尺基板テープの作製成果を示した。この CeO_2 キャップ層の効果については加藤氏（JFCC）が TEM 観察による調査結果を示し、特に成膜初期より粒サイズの大きい CeO_2 が形成されていることなど、その特徴的な現象が明らかにされ、いくつか考え方は示されるものの決定的な機構解明には至っていないのが現状である。

IBAD 中間層を用いた基板上に超電導を成膜する技術としては、PLD 法によるものが当初より多く、日米欧で最も開発の進んでいる線材構造の一つと言える。Arendt 氏（LANL）は、IBAD-MgO 層を含んだ基板上に YBCO 層の厚膜化の成果として、高 J_c を維持した厚膜形成に成功し、5 μm の厚膜で 65K ながら 1000A/cm 幅の高 I_c を得たとの事であった。フジクラでは、長尺化で大きな成果が見られた。IBAD-GZO 配向中間層上に YBCO を成膜する構造で 100m の線材作製に成功し、38A の I_c を得ている。また、低コストが見込めるプロセスとして TFA 原料を用いた MOD 法では CeO_2 キャップ付 IBAD 基板上での成膜での厚膜化の成果として、筆者ら（SRL）は実電流として 292A の高 I_c 値を報告し、更に連続プロセスの成果として 0.25m 長で 200A 以上の I_c を報告した。また、同様に MOCVD 法による超電導層の成膜として鹿島氏（中部電力）により、First-try で 40A を有する 1m 長線材作製に成功したことが報告された。IBAD 基板上での MOCVD 法による超電導層形成技術開発に関しては IGC が以前から注力しており、Hawsey 氏の Plenary の中で紹介され、18m 長で 111A の I_c を達成しているとの事であった。

一方、配向基板系の線材では、ORNL で開発が進んでいる Ni-W 等の合金基板を用いた線材として Rupich 氏（AMSC 社）が TFA-MOD 法による線材開発の成果を紹介した。高い均一性を有する 10m 長の線材で End-to-End での I_c として 184A を得ている。更に、ORNL では中間層も含めて全ての層を MOD 法で作製する“All-MOD”法と呼ばれる成膜技術の開発を進めており、全 MOD 線材では 1MA/cm² を下回るものの、一部 MOD 中間層を含んだ線材では 2MA/cm² に近い高い特性を得ている。“All-MOD”法に関しては、長谷川氏（昭和電線）からも報告があり、特に最近開発した Ce-Gd-O 中間層に Nb を添加することで特性改善が見られたことが紹介された。

Characterization に関して特筆すべき発表としては、岩熊氏（九大）が交流損失で Bi 系線材との比較を行い同じ 4mm 幅のテープで 2、3 倍程度損失が大きいことを紹介し、Suenaga 氏（BNL）が低磁場で超電導層厚さが損失に与える影響が大きく、厚い方が有利であることを提案した。応用に関しては Special Plenary Lecture で秋田氏（電中研）が電力応用で SMES、ケーブル、限流器などの応用への期待を、特に次世代線材への期待が高いことが紹介され、同様に欧州での動向が Neumüller 氏（Siemens）からも紹介されただけでなく、AMSC 社で加工性向上を目的とした“Neutral Axis”構造の線材を作製し、これを用いて Southwire 社が導体の試作を行った成果が報告されている。ここでは、24 本の線材を用いてスパイラル上に導体化されたケーブルの試作が行われ、4200A の通電に成功している。

以上、次世代線材に関するテーマを中心に概要をまとめた。冒頭にも述べたとおり、長さ、特性、速度等、開発課題は依然としてあるものの確実に進展があり、これに応えるように応用への意識が高まっているかんを強くした。今後の更なる展開に期待したい。

（SRL/ISTEC 線材研究開発部 和泉輝郎）

[超電導 Web21 トップページ](#)

ISS2003 トピックス：薄膜・接合、デバイス分野

本分野の発表件数は 110 件以上と、昨年に比べ約 30 件の増であった。超電導量子ビットなどの新たなテーマの発表が今回加わったことや、開催地の国研からの寄与が大きかったことによるものと思われる。

薄膜分野では、デバイスではなく線材応用をねらいとしたものであるが、RE-123 系薄膜の格子欠陥や析出物などのナノ構造を制御し磁場中 J_c 向上を図る試み（京大、山形大、東大、名大などのグループと産総研）が注目された。NTTグループは、MBE法で厳密な組成制御により作製した品質の高い超電導薄膜を以前より報告してきたが、今回、同じ手法で作製したNd-123 大面積薄膜が市販のY-123 薄膜より十分低い高周波表面抵抗を示すこと、また格子整合基板上にn型の超電導体である無限層 $Sr_{0.9}La_{0.1}CuO_2$ の高品質膜（ $T_c = 41\text{ K}$ ）が形成可能であることを報告した。

接合分野では、2つのBi-2212 ウィスカー結晶をある傾角で交差したSIS接合におけるd波対称性の影響の研究（物材機構）単結晶に近い結晶性の薄膜が得られるTri-phase epitaxy法によるNd-123 バイクリスタル接合の作製（物材機構、東工大、東北大ほか）などが注目された。また、120 K近い T_c をもつ(Hg,Re)-1212 薄膜を用いた[100]-tiltバイクリスタル接合では、77 Kで 1.4 mV、100 Kでも 0.4 mVという高い $I_c R_n$ 積が報告された（SRL）。

SQUID 分野では、基調講演での Foley（CSIRO）によるオーストラリア、カナダでの鉱物探査、塚田（日立）による心臓磁界検査システムの開発を始めとし、食肉中の注射針などの異物検査やカーボンファイバ複合材料の非破壊検査（豊橋技大、住友電工ほか）、磁性微粒子を用いた免疫診断システム（九大）、試料を微小振動させ感度を上げた SQUID 顕微鏡（大阪市大、物材機構）など様々な応用が報告された。マイクロ波応用では、トンネルや地下街など電波の届きにくい領域に設置する増幅器（ブースター）への超電導フィルター適用の検討（日立国際電気）が新たな応用として注目された。デジタル分野では、ニオブ系 SFQ 回路やプロセス開発に関する日米における著しい進展が報告された。日本では複数のグループ（SRL、名大、横国大、通総研）がセルライブラリを共有し、セルベース設計により 5000 接合級の種々の回路の 20-50 GHz 動作が可能になってきている。さらに、自動的に最適なセル配置を決定する CAD ツールも開発され、10 万接合級の回路設計への見通しが得られた。一方、米国では Northrop Grumman を中心に FLUX と呼ばれるマイクロプロセッサ回路（6 万接合規模）が試作されているが、完全動作には至っていない。しかしながら、米国ではマルチチップモジュール（MCM）や低温高周波実装技術に一日の長がある。今後は、次世代の集積回路プロセス開発も含め半導体性能を凌駕する超電導システム実証に向けての競争が激化するものと考えられる。

（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](#)

ISS2003 トピックス：展示会

2003 年 10 月 27 日(月)から 29 日(水)の 3 日間、第 16 回国際超電導シンポジウム(ISS2003)会場において、国内の産業界 11 団体による超電導関連の展示会が併催された。展示内容は、材料、デバイス、応用研究、製品開発の現状および製造に供する測定器、評価装置などであった。薄膜や線材、バルク材あるいは製造用基板、冷凍機、測定装置などの製品展示をするブースがある一方で、パネルによる各分野の最新技術動向説明やビデオを利用した SMES の開発・製造状況説明をするブースがあり、内容と展示方法が多岐に亘り飽きさせず興味深い展示会だった。

出展団体と主な出展内容

- ・ 有限会社ケイ・アンド・アール・クリエーション
YBCO 薄膜、超電導用酸化物基板 他
- ・ タテホ化学工業株式会社
酸化マグネシウム単結晶塊、単結晶ブロック、単結晶基板
- ・ 同和鉱業株式会社
合成粉、溶融体、ターゲット、ペースト 他
- ・ 新日本製鐵株式会社
高温超電導バルク材料 他
- ・ 株式会社イムラ材料開発研究所
極低温冷凍機 他
- ・ 丸文株式会社
大面積パルスレーザ成膜システム 他
- ・ 日本電気株式会社 R&D サポートセンター
超電導デバイス測定装置 他
- ・ 住友電気工業株式会社
Bi 系超電導線材 他
- ・ 株式会社フジクラ
YBCO 高温超電導線材 他
- ・ 九州電力株式会社
1kWh/1MW SMES 他
- ・ 超電導工学研究所/ISTEC
TFA-MOD 次世代線材、Y 系電流リード 他



展示会風景

(ISTEC 調査企画部 清水延彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 12 - 1 月の催し物案内

12/1-5

MRS 2003 Fall Meeting & Exhibit

場所: Boston, Mass.

Phone: (724) 779-8312

Fax: (724) 779-4397

E-mail: kaufold@mrs.org

Website: <http://www.mrs.org/>

12/2

第 3 回材料研究会/九州・西日本支部合同研究会「各種超電導材料の最近の状況と今後の展望」

場所: 島根大学 (松江市)

主催: 低温工学協会・同九州・西日本支部

e-mail: naoyuki@yamaguchi-u.ac.jp

12/3-5

2003 年度秋季低温工学・超電導学会

場所: 島根県民会館 (松江市)

主催: 低温工学協会/低温工学会

Website: <http://akahoshi.nims.go.jp/jcryo/conference2.html>

12/14-16

第 1 回応用超伝導・低温工学アジア会議

場所: Jiuhun Hotel(Beijing, China)

主催: 韓国超電導・低温工学会、中国科学院

e-mail: s.fuchino@aist.go.jp

12/18

第 3 回磁性材料研究会 21 講演会「スピンナノ研究が拓く新しい電子物性と磁性の世界」

場所: アルカディア市ヶ谷 (東京都千代田区)

主催: (社)未踏科学技術協会・磁性材料研究会 21

Website: <http://www.sntt.or.jp>

1/25-30

28th Annual International Conference & Exposition on Advanced Ceramics & Composites

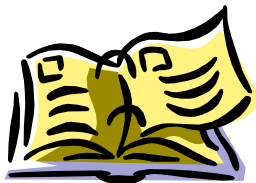
場所: Doubletree and Hilton Hotels, Cocoa Beach Florida, USA

Phone: (614) 890-4700

Fax: (614) 899-6109

E-mail: info@acers.org

Website: <http://www.ceramics.org>



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (10/18-11/19)

- CT 撮影 1 回臓器一括診断 東京農工大など 8 大学 新システム開発へ 4 年後試作 10/19 朝日新聞
- 最優先政策 ITER など 32 事業 総合科学技術会議 来年度分を格付け 10/20 日本工業新聞
- 熱核融合炉建設費 国内誘致で 4 割負担 日本分担案 欧州なら最大 17% 10/20 日本経済新聞
- 住友電工 高温超電導開発を加速 ケーブル、国内早期実用化へ 10/21 電気新聞
- 解説 科学予算格付け 研究者・省庁に不満 透明・信頼性が課題 10/21 読売新聞
- 今年のノーベル科学 3 賞 生理学・医学賞；MRI の実用化に貢献、物理学賞；超電導現象の理論化に尽力、ほか 10/21 読売新聞
- ナノチューブ長さ均一に 青山学院大 薄型ディスプレイ部品 画質向上に期待 10/22 日経産業新聞
- つくば発ベンチャー ハイテク戦略を探る エム・アール・テクノロジー 小型 MRI で市場開拓 10/22 日経産業新聞
- 時速 580 キロ目指す JR 東海、リニア試験で 10/23 日本工業新聞、日経産業新聞
- SFQ ロジック LSI 10 万接合、自動で配線 SRL が実現 超電導ルーターに道 10/27 日刊工業新聞
- NEC 理研 量子コンピューター、2 ビット回路動作に成功 固体素子で実現可能性 量子コンピューター国家戦略でも重要視 10/30 日本工業新聞、日経産業新聞、読売新聞、日刊工業新聞
- 高温超電導の限流器 低コスト、小型化に成功 東京電機大、産総研グループ 10/30 電気新聞、日刊工業新聞、11/4 日経産業新聞
- リニアモーター車海外販売 伊藤忠など合併計画 10/30 日刊工業新聞
- 国際熱核融合実験炉 ITER いよいよ着工 核融合エネルギー実用化へ一歩 建設地、年内にも決定 研究成果統合 巨大プロジェクト新たな段階に 10/31 日刊工業新聞
- リニア実験線 初の夜間走行 山梨 11/1 朝日新聞
- 出力増加、10 倍を実証 永久磁石発電装置を開発 新エネルギーに応用 11/5 日刊工業新聞
- 大強度陽子加速器計画 評価部会きょう初会合 文科省 11/7 日刊工業新聞
- ITER 選定担当相会議 EU のサイト一本化が前提 来月 6 日ウィーンで 11/7 電気新聞
- ITER 計画 9、10 日に北京で 第 9 回政府間協議 11/7 日刊工業新聞、電気新聞
- 「日本のスパコン抜け」米力こぶ 今後 20 年で優先研究計画を発表 最重点は国際熱核融合 11/11 朝日新聞(夕)
- 年内に建設地決定 ITER 関係 7 極代表が確認 11/12 日本工業新聞
- 電源革命 弾み車に電気を貯蔵 風力・太陽光発電の弱点補う 11/12 日経産業新聞
- カテーテル挿入模擬装置 理研が開発 MRI 画像で再現 11/12 日経産業新聞
- 核融合、詳細な計画を 電機工業会 技術者の確保を提言 原子力委専門部会 11/13 電気新聞
- 国家間連系テーマに ITER がフォーラム 11/18 電気新聞
- ECO 技術、JR 総研 フラワーホイール蓄電装置 電車、バス向け実用化 11/18 日本工業新聞
- 九電と日立 超電導体使い水質浄化装置 膜・磁気分離法で実証 アオコなど 90%強除去 11/19 日刊工業新聞
- 5000kW の超電導電力貯蔵装置 中部電、世界最大 05 年度商品化 瞬時の電圧低下に対応 小型化を実現 11/19 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 (2003 年 10 月)

電力

American Superconductor Corporation (2003 年 10 月 1 日)

American Superconductor Corporation は、米国国防省及びエネルギー省と同社次世代 HTS 線材プラント拡張に関する 2 段階のコスト・シェアリング・プログラムの第 1 段階に相当する 9 か月分、総額 40 万ドルの契約を締結したと発表した。第 2 段階の資金供給は 2004 年に総額 1,000 万ドルが予定されており、これにより製造施設が完成する。米国空軍の超電導チームリーダーの Paul Barnes は、「高性能次世代線材が製造できる国内プラントの整備は国防上非常に重要である。この資金援助プログラムは、軽量高出力発電機や先端兵器システムといった多くの未来兵器システムの開発に不可欠な米国が次世代 HTS 線材の供給を確保することを目指している。」と述べた。また、エネルギー省超電導担当課長 James Daley は、「超電導技術は国内電力グリッドの整備・強化に重要な役割を果たすことが期待されており、我々は送電ケーブルや発電機といった新しい重要 HTS 技術の開発をさらに推し進めていく考えである。」と語った。American Superconductor Corporation は、この資金を利用して商業生産機器及びシステムの評価をすすめていく。同社は 3～4 年で次世代 HTS 線材の量産化に進む予定。

(出典)

“American Superconductor Receives Additional Funding To Support Manufacturing Scale-up for Second Generation HTS Wire”

American Superconductor Corporation press release (October 1, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/106784329710.html>

SuperPower, Inc. (2003 年 10 月 2 日)

Intermagetics General Corporation の子会社である SuperPower, Inc は、連邦政府から次世代 HTS 線材技術に関しトップ・ランキングの評価を受けた。SuperPower, Inc は、毎年行われる米国エネルギー省のピア・レビューに参加する 14 の企業、国立研究所のうちの 1 つである。トップ・ランキングは通常、非常に基礎的な研究が行われる国立研究所に与えられるものであるが、今回は民間企業に与えられた。SuperPower, Inc 及び他の参加機関の成果は以前に明確にされている目標に対する達成度、次年度の目標、国立研究所（他企業）との協力の質とレベルを踏まえ独立の委員会でランク付けされる。評価委員会は、「SuperPower, Inc における次世代 HTS 技術開発プログラムは世界一流であり、よく集中され、目的意識が明確である。また、マネージメントのフォローアップも強力で、革新的技術開発を目指しており、当初の目標をしのぐ成果を達成するのに必要な強力なチーム力を発揮した。」とコメントしている。SuperPower, Inc 社長 Philip Pellegrino は、「我々の次世代線材開発プログラムの強みは全面的な生産に至るまでの明確なロードマップを持っていること、また、現在の問題点のみならず、生産に至るまでの道筋でクリティカルな点を押さえていることである。」と述べた。SuperPower, Inc の詳細な次世代線材開発プログラムは同社ウェブサイト (<http://www.igc.com/superpower/index.htm>) をご参照頂きたい。

(出典)

Sources:

“INTERMAGNETICS RATED NO. 1 FOR 2ND-GENERATION HTS WIRE PROGRAM”

Intermagetics General Corporation press release (October 2, 2003)

http://www.igc.com/news_events/news_story.asp?id=96

“SuperPower Achieves Top Ranking From DOE Peer Review Panel For 2nd-Generation HTS Wire Program”

Intermagetics General Corporation press release (October 2, 2003)

http://www.igc.com/news_events/news_story.asp?id=97

American Superconductor Corporation (2003 年 10 月 3 日, 11 月 3 日)

American Superconductor Corporation は、普通株の 1 株当たり 9.50 ドルでの公募を 11 月 3 日に締め切った。この株式公募による収入は、投資銀行向けの特別増資分も含めれば 5110 万ドルに達する。この資金は次世代 HTS 線材パイロット・プラントの拡張などの流動資金として、また、同社の一般費用として使用される予定。

(出典)

“American Superconductor Announces Pricing of Public Offering of \$47,262,500 of Common Stock”

American Superconductor Corporation press release (October 3, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/106784329718.html>

“American Superconductor Announces Exercise Of Over-Allotment Option for Public Offering”

American Superconductor Corporation press release (November 3, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/106785329731.html>

Superconductive Components, Inc. (2003 年 10 月 6 日)

Superconductive Components, Inc は、4.2K、12T 超強磁場マグネット向けのコスト・パフォーマンスの良いキロメートル長 BSCCO2212 線材製造のフェージビリティを検討するため、フェーズ 2 Small Business Innovation Research (SBIR) プログラムに係る契約者としてエネルギー省に指名された。このフェーズ 2 SBIR プログラムは、商業生産に向けたスケールアップだけでなく、超電導体 / 銀ワイヤーの熱可塑プロセス改良のための BSCCO2212 原料の粉末粒径分布の最適化にも着目したものである。このプログラムの当初の目標は、1 キロメートル長、240 A/mm² (4.2 K) 線材を製造することである。契約総額は約 518,000 ドルで期間は 2005 年 6 月まで。これに先立ち、今年始めに 105,000 ドルの契約が結ばれている。

(出典)

“Superconductive Components, Inc. Awarded Research Contract by U.S. Department of Energy”

Superconductive Components, Inc. press release (October 6, 2003)

<http://www.targetmaterials.com/ne/news/scci100603energy.htm>

医療

CardioMag Imaging, Inc. (2003 年 10 月 1 日)

CardioMag Imaging は、CardioMag Imaging™ (CMI™) システムを中国天津に設置したと発表した。医師からは完全に安全で、非接触、高感度、非侵襲的な心臓診断へのアプローチと言われている新し

いい心臓血管診断技術を装備した装置が、700 ベッドを保有する天津国際心臓外科病院に設置された。有名な心臓内科医であり同病院長の Liu Xiaocheng は、CardioMag Imaging の技術は、「より良く、より速く、より安価に」心臓疾患の診断が行える革新的方法であるとしている。

(出典)

“CardioMag Imaging™ Brings Novel Heart-Health Scanning™ Device to China”

CardioMag Imaging, Inc. press release (October 1, 2003)

http://www.cardiomag.com/News_and_events/MCG%20in%20China.htm

New York University Medical Center and School of Medicine (2003 年 10 月 7 日)

ニューヨーク大学医学部は、同学部にシールドタイプの 7T 超電導 MRI を導入する予定であると発表した。ニューヨーク市部で最も強力であるこの MRI は、研究目的のみに使用されることになっており、2004 年に運転を始める予定。本システムは人体の全身をスキャンすることができるが、今回のシステム導入の当初の主目的は脳の研究である。特にこの MRI システムは生体脳組織の代謝経路に関する詳細な情報を収集し、疾患がいかに脳の代謝に影響を与えるかをより深く理解することができることから、このような情報が脳梗塞やアルツハイマー症のような各種の疾患の早期発見につながればと期待されている。強力な磁場により人体の主要な構成元素である炭素や磷からの信号検知が可能となる。その結果、脳中の代謝物質や神経伝達物質のわずかな量の変化を見分けることができるようになり、色々な疾患の分子生物学的な痕跡を解析することにより、早期治療につながる手がかりをつかめる可能性がある。この MRI 装置は、アルツハイマー症の特徴である脳組織の斑点の位置といった構造上の情報を得るためにも使うことができる。このシステムの購入費用の一部は National Institutes of Health (NIH)からの資金援助によってまかなわれる。

(出典)

“NYU School of Medicine attracts a powerful MRI machine”

New York University Medical Center and School of Medicine press release (October 7, 2003)

http://www.med.nyu.edu/communications/news/pr_27.html

NMR及びセンサー

Varian, Inc. (2003 年 10 月 16 日)

Varian, Inc.によれば、米国、ヨーロッパ、日本で研究者はたんぱく質解析や薬学研究のために同社の新しい Cold Probe (-250°C)を使用している。Varian の 600 MHz NMR システム用に設計された Cold Probe は従来の室温プローブに比べ 3~4 倍の高い感度が得られる。また、計測時間は 10 倍速くなる。Cold Probe は、NMR マグネットのボア中心に試料を保持する重要な機器である。このプローブには、試料に高周波を照射し信号を受けるアンテナが設けられている。受けた信号は、構造情報を得るため、コンピューターソフトにより解析される。プローブは信号強度を向上させてシステムの電子部品が発生するノイズレベルを下げるため液体ヘリウムにより冷却される。重要な点は、Cold Probe は新しく別の NMR を購入することなく感度を向上させることのできる非常に経済的な方法であるということである。例えば、既存の 600 MHz NMR システムに Cold Probe を付け加えることにより、1/6 のコストで 800MHz システムの 2 倍の感度が得られる。

(出典)

“Proteomics, Pharmaceutical Scientists Use Varian, Inc. Cold Probes For 600 MHz NMR Spectrometers”

Varian, Inc. (October 16, 2003)

http://www.corporate-ir.net/ireye/ir_site.zhtml?ticker=VARI&script=410&layout=-6&item_id=459255

通信

Superconductor Technologies Inc. (2003 年 10 月 30 日)

Superconductor Technologies Inc.は、9 月 27 日に終了する第 3 四半期の収支結果を発表した。当期の純収入は 1420 万ドル、前期比 26%増、前年同期比 202%増であった。また、当期の製品販売収入は 1160 万ドル、前期比 30%増、前年同期比 170%増であった。政府等との契約は、当期 260 万ドル（前年同期 429,000 ドル）であった。これらの増加の主たる理由は昨年 12 月の Conductus との合併によるもの。一方、当期の損失は 851,000 ドル。同社社長 M. Peter Thomas は、「第 3 四半期には、ある米国主要通信事業者と包括調達契約を締結して、最初の発注を受けた。当期は新規契約が時期的に余りない時期である。当期末で当社の受注残は 200 万ドルである。しかしながら、まだ第 4 四半期に入ったばかりではあるが、すでに新規受注が伸び始めている。我々は今後この勢いが続くものと考えており、これがひいては 2004 年に向けた力強いスタートへと繋がっていくことを期待している。」と語った。

（出典）

“Superconductor Technologies Inc. Announces Third Quarter Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (October 30, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=5951&storyId=97717>

(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 12 月のトピックス

- IEC/TC90 - VAMAS/TWA16 合同会議開催 -

IEC/TC90 と VAMAS/TWA16 との合同会議が、2003 年 10 月 28 日（火）午後 7 時より（独）物質・材料研究機構千現地区本館管理棟第 2 会議室において開催された。会議にはドイツ 3 名、韓国 1 名、イギリス 1 名、アメリカ 2 名及び日本 10 名の合計 17 名が出席し、超電導標準化に関する線材、バルク、機械的性質、交流損失、ひずみ効果、先進材料計測法及び標準化活動状況について前年の横浜会議以降の進捗報告と議論が交わされた。

同合同会議の議題はつぎの通りであった。

1.TWA Office Report (K. Itoh)

2.Project Reports and Discussions

- (1) Project number: WG1-1 (T. Kuroda); Bending strain effects on critical current in oxide superconductors
- (2) Project number: WG1-3 (T. Matsushita); Measurement method of irreversibility field in oxide superconductors
- (3) Project number: WG1-4 (E. Collings); Coupling loss measurement in multifilamentary HTS superconductors
- (4) Project number: WG2-1 (M. Murakami); Measurement methods of trapped field and levitation force in bulk oxide superconductors, (T. Habisreuther); Report on the recent research at Jena, and (D. Cardwell); Report on European RRT
- (5) Project number: WG3-1 (S. Kosaka); Measurement methods of surface resistance in thin film superconductors
- (6) Project number: WG4-1 (K. Osamura); Measurement method for the mechanical properties of oxide superconductors

3.New Proposals

- (1) Critical current and mechano-electromagnetic properties of MgB_2 conductors (K. Osamura)
- (2) Inductive measurement of J_c in large area superconducting films (H. Yamasaki)

4.IEC/TC90

Related activities in IEC/TC90 (Y. Tanaka)

5.Future Schedule

（ISTEC 標準部長 田中靖三）

[超電導 Web21 トップページ](#)

第 18 回磁石技術国際会議 (MT-18) 開催報告

高エネルギー加速器研究機構
低温工学センター長 新富孝和
編集局 田中靖三

第 18 回磁石技術国際会議 (MT-18) が 2003 年 10 月 20 日から 24 日にかけて、岩手県盛岡市で開催された。会議には世界 23 カ国から 601 人の研究者が参加し、490 件の研究論文が発表され、活発な議論が行われた。会議では 8 件の基調講演、30 件の招待講演を含む口頭発表とポスター発表が行われた。参加者は国内が約半分で、国外からはスイス、韓国、米国、ドイツ、ロシア、フランスの順であった。

基調講演は、現在建設中の LHC の現状報告を皮切りに、核融合 (ITER)、NMR、磁気応用、大型超電導磁石開発、強磁場磁石開発、高エネルギー物理用超電導磁石などの開発についての報告があり、最終日にこれらの技術開発に必要な不可欠な超電導材料開発、特に Nb_3Sn 、 MgB_2 の最近の開発状況など興味深い報告があった。

発表論文の分野は、原子核・素粒子物理および加速器、核融合、電力応用、医学・生物応用、磁場応用、高磁場などの新技術、超電導等材料、周辺技術、設計および解析など磁石技術に関して多岐に渡っている。分野別比率では、原子核・素粒子物理および加速器関連が約 22%、電力応用が約 18%、超電導および各種材料が約 15%で、それ以外の分野が 10%前後であった。

○LHC の設備建設は、必要なマグネット (主マグネット 1,600 基及び補正マグネット 4,000 基) の内 5%が製作された段階であり、2006 年完成に間に合わせるため導体及びマグネットの製造ラインがフル稼働しているとのことであった。

○LHC 後の高エネルギー物理関連の超電導マグネットに求められる超電導材料は、 Nb_3Sn やさらに先進的な超電導材料になること、 Nb_3Sn を用いて初めて 16T の加速器用マグネットが試作されたこと、またマグネットの設計には CAD や冷凍機冷却マグネットが不可欠になるなどの報告がなされた。

○ Nb-Ti 、 Nb_3Sn などの Nb 系超電導材料に代わるものとして、Bi-2212、Bi-2223、YBCO 及び MgB_2 を挙げることができる。これらの先進超電導材料は、まだ Nb 系材料に太刀打ちできる段階にはない。しかし、5.5T の Bi-2212 挿入マグネットと Nb 系マグネットとを合わせて 23.5T を発生するなど、先進超電導材料の実用化が一層加速される状況にあるとの報告があった。

○MRI 用銅製マグネット (銅線 738kg) と Nb-Ti 製マグネット (Cu/Nb-Ti 複合線 38kg) について、LCA (ライフサイクルアセスメント) 比較を行った結果が報告された。環境上は Nb-Ti マグネットが銅マグネットより有利であるが、製造過程で Nb-Ti マグネットの負荷が大きく、両者の LCA はほぼ相殺されるとの結果であった。

○冷凍機冷却型 5T 超電導マグネットを用いた高勾配型磁気分離装置の開発が飛躍的に進展しつつある。この磁気分離装置は、製紙工場のリサイクル用水浄化設備に適用することを目的とするもので、過去の 50 トン/日の試験実績を踏まえ、すでに 500 トン/日設備の実証試験を実施する段階にあるとのことであった。

また、テクニカルツアーとして、会議期間中ではあったが磁気浮上列車見学および試乗、会議後に古河電工日光工場見学、物質材料研究機構見学が行われ、夫々 20 名前後の参加者があった。

[超電導 Web21 トップページ](#)

第 4 回磁気分離研究開発に関するワークショップのレポート

財団法人 いわて産業振興センター
岡田秀彦

去る 2003 年 10 月 25 日(土)に岩手県盛岡市で「第 4 回磁気分離研究開発に関するワークショップ - 環境改善と資源循環利用 - 」が開催された。

今回、本ワークショップは 18th International Conference on Magnet Technology (MT18)のサテライトミーティングとして開催された。本ワークショップは 4 年前から毎年秋に、岩手県地域結集共同研究事業、学振未来開拓事業渡辺プロジェクト、物質・材料研究機構強磁場研究センターの三団体の共催で開催されてきたものであり、超電導マグネットによる強磁場を利用した、新しい磁気分離技術の研究開発に携わる研究者の成果発表と交流の場となっている。磁気分離を中心にすえたワークショップでは国内唯一であり、実用化を意識した研究成果が多数発表されるため、企業からの参加者が多い。今回は盛岡で開催されたにもかかわらず 90 名の参加があった。内訳は、企業 22 名、国公立研究機関 25 名、大学 43 名で、国外からは韓国 4 名、フィンランド 2 名、イスラエル 1 名であった。

上記 3 プロジェクトの紹介講演の後、小坂精錬株式会社・前田吉彦氏の「環境・リサイクル事業の現状と動向について - 同和鉱業グループでの実践 - 」と、岩手大学教授・斎藤徳美氏の「県境不法投棄問題の経緯と課題」の 2 件の招待講演があった。

前者は、非鉄金属の選鉱と精錬技術を使った産業廃棄物処理のお話であった。選鉱と精錬ですでに確立した技術を廃棄物にいかに応用するか、またその限界についての講演は、磁気分離の競合技術を知る上で興味深いものであった。

後者は瀬戸内海豊島の 1.5 倍(約 82 万 m^3)あるといわれる青森県と岩手県の県境の不法投棄問題に関する歴史的経緯と現状についての講演であった。広すぎて全てについての調査は未だに完了していないが、調べた範囲だけでも不法投棄による土壌、地下水の汚染はすさまじく、聴講者から「日本の恥」という発言が出たぐらいである。廃棄物を全量撤去できたとしても現在の技術ではその汚染の回復には何十年かかるかは不明である。環境回復技術に今何が求められているかの一端を知ることができ、磁気分離技術の目指すべき方向を見た聴講者も多かったと思われる。

一般発表は 24 件のポスター発表であった。生物、化学、物理的前処理から超電導マグネットによる磁気分離システムの構築、あるいは基礎研究から実証プラントによる実験まで、全ての研究段階の発表があった。活発な議論が終了時まで続いたが、最後に優良ポスター発表賞が発表された。応用部門では宇都宮大学・酒井保蔵氏の「磁気/沈降分離ハイブリッド磁化活性汚泥による都市下水処理-パイロットプラントスケール実証試験-」、基礎部門では大阪大学・劉成珍氏の「磁気分離法を用いた生理活性物質の分離プロセスの開発」が選ばれ、能登宏七委員長より表彰状と副賞が手渡された。

来年は大阪大学での開催が予定されている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導工学研究所 2003 年秋の所長賞決まる

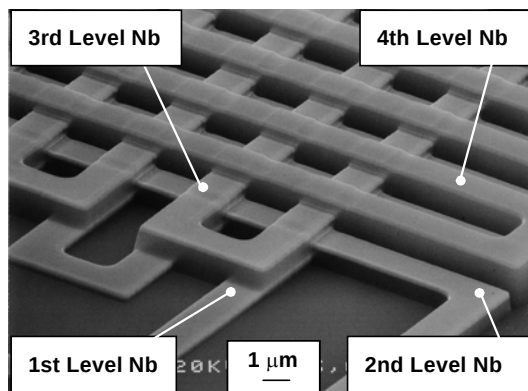
超電導工学研究所では春と秋の年 2 回、優れた業績に対し所内の表彰を実施しているが、2003 年秋の所長賞として 11 月 10 日次の 3 件が受賞した。

1. ニオブ系超電導集積回路に用いる新平坦化方法の開発

デバイス研究開発部低温デバイス開発室：日野出 憲治

ルータやサーバなどのネットワークデバイスをターゲットに超電導単一磁束量子 (SFQ) 回路の開発を進めているが、これを実現するための超電導集積回路プロセスにおいて、平坦化は重要な技術である。各層を平坦化せずに積み上げると上層に行くほど配線層や絶縁層を厚くしなければならずニオブ系集積回路では平坦化なしにはニオブ層は 4 層が限界であった。

このため、LSI 規模 (接合数が 5 万個程度) のニオブ SFQ 素子の実現を目指した研究の一環として、ニオブ配線の多層化のための平坦化プロセスを開発した。これは、Si 基板上にパターニングしたニオブ配線上に同じ厚さの SiO_2 を成膜し、配線間を埋め込んだ。 SiO_2 膜表面は下地の配線に起因する凹凸をもっており、凸部の寸法 (幅) と密度が広い範囲に渡っている。この段階でニオブ配線の逆パターンをマスクとして SiO_2 をエッチングすることにより、ニオブ配線上の SiO_2 の大部分を除去し、凸部としては SiO_2 がニオブ配線の端部上のみに残った形状を実現した。凸部の幅はほぼ一定で面積的にも低密度であるため、従来からある平坦化法、CMP (研磨法)、塗布エッチバック、バイアススパッタ等を施せば、容易にパターン寸法依存性の小さい平坦化が達成できる。平坦化を施さない場合はニオブ配線の厚さ分 (今の場合 300nm) の段差が累積され多層化が困難になるが、本方法で平坦化した場合、残留段差を 30nm 以下にでき、当面必要な 6 層までの積層構造を問題なく作成できた。右図は CMP 法を用いて平坦化した 4 層配線テストパターンの写真を示している。試作したテストチップではコンタクトの導通特性、層間の絶縁特性とも良好で、Nb-SFQ の LSI を実現する要素技術の一つに見通しをつけたと考えている。



2. TFA-MOD 法による次世代線材の長尺化技術開発

線材研究開発部：本庄 哲吏、富士 広、徳永 義孝、松田 潤子、寺西 亮、中岡 晃一

次世代線材と呼ばれる Y 系超電導テープ線材の作製における成膜方法として、トリフルオロ酢酸 (TFA) 塩を原料溶液に用いた MOD (Metal Organic Deposition) 法は低コストで高い J_c が望めることから注目されている。

今回、このプロセスを用いた短尺での基礎試験結果、ガス流解析等を基に長尺線材作製用の連続焼成装置を開発した。そして、連続焼成試験を実施した結果、25cm 長で 210A を越える高臨界電流特性を示す線材作製に成功した。この特性は、連続焼成により作製した線材での世界最高の臨界電流を得ており、更なる長尺化への基礎技術として重要であると考えられる。

3. NdEuGd-123 バルク材料における高い臨界電流特性の達成

盛岡超電導技術応用研究所：Miryala Muralidhar

現在、液体窒素温度以上の高温での応用が可能な Y123 超電導体の臨界温度は-182 (91K)程度であり、液体酸素温度が-183 (90K)であるため、超電導体の特性が十分ではなく、この温度での応用は不可能とされていた。

今回、Y123 よりも臨界温度が 4 度高い I(95K)NdEuGd-123(この超電導材料の基本特許は岩手県工業技術センターと国際超電導産業技術研究センターが有している)において液体酸素温度での臨界電流特性の向上を図るため、ナノテクノロジーによる組織制御により不可逆磁界の大幅向上(15T, 77K)を実現し、また Zr を混入することにより 90K において超電導浮上を可能とする高い臨界電流密度を達成した。

この物質は、現在世界最高の臨界電流特性を持つバルク材料として評価されモリオカ・マテリアルとして世界的に知られており、今後の産業応用に期待されている。

なお、これら 3 件とも新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託を受けて実施したものである。

(ISTEC 総務部 久保義昭)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

やさしい超電導のおはなし (その 6 最終回)

超電導工学研究所
芝浦工業大学
教授 村上雅人

1. 磁束は流れる

1960 年代の第二種超電導体の発見によって、それまで低磁場でしか使えないと思われていた超電導に高磁場応用の曙光が差した。オネスの超電導磁石の夢もすぐにかなうと思われたが、ことはそれほど簡単ではなかったのである。

第二種超電導体において、強磁場中で超電導が利用できるのは、混合状態と呼ばれる状態ができるからである。この状態では、外部磁場が超電導体内部に量子化磁束と呼ばれる状態で侵入し、超電導と磁場が共存した状態が得られる。この状態は、かなりの強磁場まで維持されるため、強磁場中でも超電導が生き残る。磁場が侵入した領域では、超電導が壊れて常電導状態となっているので、混合状態と呼ばれている。

さて、第二種超電導体の誕生で、超電導磁石への期待が高まったが、残念なことに、混合状態では電気抵抗ゼロで電流を流せないという皮肉な事実がすぐに明らかになったのである。超電導の領域がありながら、なぜ電気抵抗が発生するのであろうか。

混合状態にある超電導体に電流を流すと、電流は抵抗のない超電導領域を流れる。しかし、電磁誘導と呼ばれる現象によって、常電導の磁束が動いてしまうのである。この現象は、磁場と電流が共存すると、その両者に相互作用が働くという基本的なものである。この相互作用によって図 1 に示すように、磁束を図の

矢印の方向へ動かそうとする力が働く。この電磁力をローレンツ力と呼んでいる。磁束は常電導になっており、常電導電子がつまっている。つまり、磁束が動くということは常電導電子が運動することになるので、エネルギーの散逸、つまり電気抵抗が発生することになる。つまり、混合状態では、**磁束の運動にともなう抵抗**が発生することになる。よって、この抵抗を**磁束流抵抗** (flux flow resistance) と呼んでいる。

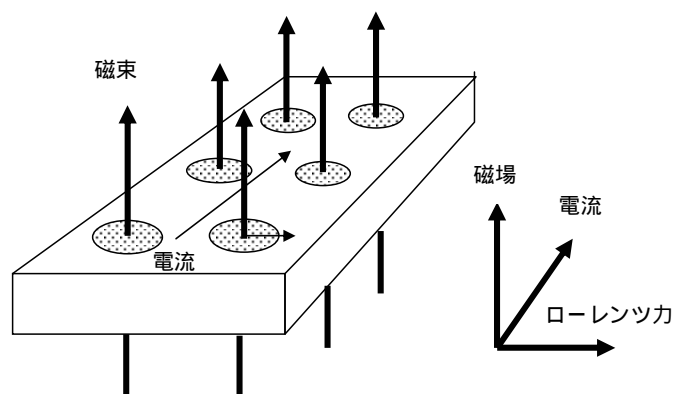


図 1 混合状態にある第二種超電導体に電流を流すと、電流は電気抵抗がゼロの超電導部を流れる。しかし、磁場と電流の相互作用により磁束に図の方向に電磁力 (ローレンツ力) が働き磁束が動きだす。この磁束の運動により電気抵抗が発生する。

2. 磁束の動きを止める

第二種超電導体では、せっかく強磁場まで超電導が生き残りながら、磁束が動くために、超電導

の魅力である電気抵抗ゼロを活かすことができない。それでは、超電導磁石を実現するというオネスの夢は不可能なのであろうか。

前述したように、混合状態で流れているのは、電気抵抗がゼロの超電導電流である。電気抵抗が発生するのは、電流と磁場の相互作用で磁束が動くことに起因する。よって、なんらかの方法で磁束の運動を止めることができれば、混合状態であっても電気抵抗ゼロを達成することができるはずである。

しかし、磁束の運動を止めることなどできるのであろうか。実は、それが可能であったからこそ、オネスの夢の超電導磁石が誕生したのである。この磁束の運動を阻止する働きをするのが、**磁束ピンニング** (flux pinning) と呼ばれる効果である。実は、超電導の臨界温度以下では、本来超電導の方が常電導よりも安定である。ところが、磁場の存在下では、超電導体はマイスナー効果を示すため、磁場を排除するという余分な仕事を必要とする。このため、超電導の安定度が小さくなる。混合状態では、この磁場を完全に排除するという余分な仕事を緩和するため、自分の体の一部を犠牲にして混合状態をつくり、トータルのエネルギーが低い状態をつくっているのである。

磁束の運動を止めるヒントがここにある。実は、混合状態で磁束が侵入すると、磁場を排除するためのエネルギーを緩和できるかわり、ローカルにはエネルギーの高い状態となっている。これをペナルティエネルギーと呼んでいる。サッカーのペナルティキックと同じ意味である。

図 2 のように超電導体が純粋な場合と、その中に常電導粒子を含んでいる場合を想定してみよう。図 2(a) のように、超電導領域しかない場合、磁束が超電導をこわす体積は一定であるから、どの位置にいようと、払っているペナルティエネルギーも一定である。よって、電流を流したとたんローレンツ力で磁束が運動をはじめるのである。それでは、図 2(b) のように、磁束が常電導粒子と交差していたらどうであろうか。この部分は、もともとが常電導であるから、磁束が来ても何の変化もない。一方、この部分から磁束を移動させると、新たに交差している体積分だけ超電導をこわす必要がある。つまりペナルティを払う必要があるのである。したがって、磁束は常電導粒子と交差している方が安定ということになり、磁束を固定することができるのである。これが、ちょうどピンで磁束を止めるという操作に似ているので**磁束ピンニング効果**と呼ばれる。

磁束ピンニング効果のおかげで、混合状態においても電気抵抗ゼロで電流を流せるようになった。オネスの夢が実現したのである。もちろん、電流を大きくすると、磁束を動かそうとするローレンツ力も大きくなるので、電気抵抗ゼロで流せる電流には限界がある。これを臨界電流と呼んでいる。

臨界電流は、超電導体の内部にいかにかピン止め効果を発揮する常電導相を分散させるかによって決定される。いわば組織敏感な値である。歴史的には、第二種超電導体の組織をいかに制御して臨界電流を向上させるかということも大きな研究テーマであったが、多くの研究者の努力によって実用レベルに到達したのである。

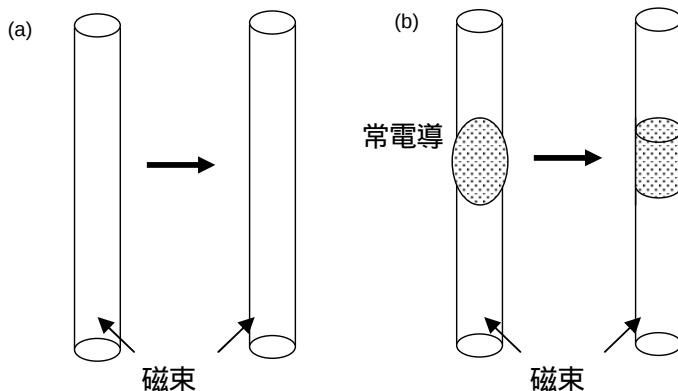


図 2 (a) 純粋な超電導体中では、磁束がどの場所に位置しても、エネルギー的に変化がないので、磁束に電磁力が働くと、すぐに磁束は運動する。(b) 超電導体の中に常電導粒子が存在すると事情が異なる。この部分は常電導であるから、磁束と交差してもエネルギーの上昇がない。一方、この位置から、磁束を動かそうとすると、図のように交差していた体積分だけ超電導を壊す必要があり、エネルギー上昇を招く。よって、磁束は常電導粒子の位置に固定されることになる。これを磁束ピンニング効果と呼んでいる。

3. 最後に

磁束ピン止め効果の発見によって、オネスの超電導磁石の夢は実現した。ただし、産業応用に結びつけるには、安全性や安定性も重要である。実は、超電導コイルを磁石化するには、流す電流量を上げて励磁する必要がある。このとき、電流の変化にともなって磁束の分布も変化する。つまり、磁束が動いてしまうのである。定常状態になれば電気抵抗がゼロになるので問題ないが、励磁の際に磁束が動くと、電気抵抗が発生し、発熱が生じる。極低温では、比熱が極端に小さいため、この発熱は一気に超電導体全体に広がり、突然超電導が壊れるクエンチと呼ばれる現象が生じる。クエンチが生じると超電導体はダメージを受ける。場合によっては、超電導線が破壊されコイルとして機能しなくなる。この問題は、超電導線を非常に細くし、そのまわりを熱伝導率の高い銅などで包むという技術で克服することができた。この構造を極細多芯構造と呼んでいる。産業応用という観点では、この極細多芯構造の発明こそが、その端緒を開いたと呼んでも過言ではない。

超電導は物理現象としても特異なものであり、多くの研究者を魅惑して止まないが、その産業応用も大きな魅力がある。ただし、その実用化には、その本質を理解するとともに、その周辺技術の開発も重要であるということを銘記していただきたい。往々にして、重要な技術開発が等閑にされる傾向にあるからである。

最後に、超電導応用としては強磁場応用だけではなく、磁束量子を利用した高感度磁場測定装置や電子デバイス応用開発も活発化している。本稿では、紙面の関係で紹介できなかったが、これらも非常に魅力ある超電導の応用分野であることを付記しておきたい。

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q： 病院の MRI 装置では超電導技術がどのように使われているのでしょうか？

A： 病院の MRI 装置は、磁気共鳴断層撮影装置の略称です。ドーム型の MRI 装置に人体を入れると、人体を切開することなく病変組織を短い時間で診断することができます。この診断には、人体を構成する水（水素と酸素）のうち水素の原子核の磁気共鳴現象を利用してコンピュータ処理した断層写真が使われます。

人体には大人で体重の 60%、新生児で 80%の水が含まれており、生命が維持されています。この水は人体の正常な組織と病変組織とでは水の含有量や分布が異なっていることがわかっています。したがって、水を分析することで人体の病変組織と病変場所を診断することができるわけです。特に、MRI 装置を用いますと、がん組織、脳腫瘍、てんかん、脳梗塞、アルツハイマーなどの脳疾患、心臓疾患などミリメートル単位の病変組織を早期に発見診断することができます。もっともこの種の X 線 CT（コンピュータ断層撮影法）装置などもありますが、人体に放射線をあてることで細胞に傷をつける（被爆する）ことや診断精度が低いことから早期診断には不向きです。

さて、この MRI 装置の基本原理を開発したのは、ご存知の 2003 年ノーベル医学生理学賞を受賞したポール・ラウターバー教授とピーター・マンスフィールド名誉教授です。本来、水素原子核は体内でバラバラの方向を向いていますが、強力な磁場（通常 1 万ガウス、1 テスラ）を加えると一斉に同じ方向に揃います。つぎにこの磁場に垂直な方向から 42.57 メガヘルツの高周波磁場パルスを加えると、水素原子核が核磁気共鳴を起こします。この状態で高周波磁場パルスを切ると、水素原子核は電磁波を放出しながら、もとの揃った方向に戻ります。この放出されてくる受信電磁波や受信時間をコンピュータ処理することによって正常組織と病変組織とが峻別された画像が得られます。

ここで最も大切なことは、病変組織の見落としや“ぼやけ”写真をなくし、正常組織と病変組織を確実に診断することです。この鮮明な画像を用いて正確に病変場所を特定するためには、水素原子核を同じ方向に揃える強い磁場（静磁場）が空間的に均一であること及びこの静磁場が時間的に変動しないことの 2 つの条件を満たす超電導磁石 MRI 装置が不可欠になります。MRI 装置には、超電導磁石 MRI 装置のほかに水冷銅電磁石を使った MRI 装置や永久磁石を使った MRI 装置もありますが、いずれもこの 2 つの条件を十分には満たすことができません。

現在、病院に置かれている超電導磁石 MRI 装置には精巧な超電導線材を用いた超電導磁石、永久電流回路、冷凍機、送受信回路などが組み込まれており、500mm の空間球で 0.1 ガウス（10ppm）以下という水冷銅電磁石 MRI 装置や永久磁石 MRI 装置よりも 10 倍以上優れた磁場均一度があります。また、1 時間あたり 0.0005 ガウス（0.05ppm）以下という水冷銅電磁石 MRI 装置や永久磁石 MRI 装置よりも 10 倍以上優れた性能を持っています。

（編集局 田中靖三）

[超電導 Web21 トップページ](#)