

「超電導応用基盤技術研究開発」プロジェクト中間評価報告

財団法人 国際超電導産業技術研究センター(理事長 荒木浩)で実施中の「超電導応用基盤技術研究開発」プロジェクトに対する中間評価が、経済産業省の産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会「超電導応用基盤技術研究開発評価ワ-キンググループ」(座長:石黒 武彦 京都大学教授)において、平成13年度に実施された。

評価対象は、同センター超電導工学研究所が平成10年度以降新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの受託事業として進めてきた四本柱となる(1)超電導線材要素技術、(2)超電導素子要素技術、(3)超電導バルク材要素技術並びに(4)超電導材料基礎に係わる技術研究内容である。

評価内容は、(1)総合評価、(2)事業の目的・政策的位置付け、(3)研究開発目標、計画の妥当性、(4)研究開発実施者の事業体制、(5)計画と比較した達成度、成果の意義並びに(6)成果の実用化可能性、波及効果の6項目にわたり、高い知識経験を有する有識者による厳正な評価が行われた。

総合評価においては、本研究開発事業における開発目的・目標、開発体制、達成度は妥当で、「今後とも継続すべきと評価する」と総括されている。

評価内容を簡単に記すと、「事業の目的・政策的位置付け」においては、「超電導技術は公共的性格が強く、多額の設備投資・資金を必要とすることから国の事業として行った事は妥当である。超電導技術に対しては国が主導となって基礎科学研究を含む広範な研究開発を強力に推進すべきであることから、事業の目的は妥当であり、政策的位置付けも明確である」とされている。また、「計画と比較した達成度、成果の意義」については、「成果の中には、世界最高水準、世界初、或いは国際水準から見て優れた成果が出ていることに加え、新たな市場創造につながる

新規性・先進性・汎用性のある成果や、当初想定していなかったような波及性のある技術も認められる」とし、着実な研究開発により「全般的には目標水準を達成しつつあると判断する」とされている。

「今後の研究開発の方向性等に関する提言」の中では、「本プロジェクトの性格上、より実用性を求めて周辺の関連技術を巻き込んだ実用化革命に繋がる成果を期待する」と今後の開発に大きな期待がかけられている。

当センターとしては、超電導技術が次代の産業構造の変革を担う基盤技術になると考えており、コストの低減、実用化への進展を目指し、実効的な成果を生み出していけるようさらに努力を続けたいと考えている。

(SRL/ISTEC 特別研究員 堀上 徹)



超電導関連4-5月の催し物案内

4/1-5

2002 MRS Spring Meeting/
Materials Research Society,
Spring Meeting

<http://www.mrs.org./meetings/spring2002/>

場所: San Francisco, USA

(主催: MRS)

4/2

九州・西日本支部設立総会・講演会
場所: 九州大学ベンチャービジネス
ラボラトリー(福岡市)

(主催: 低温工学協会)

5/15

超電導技術動向報告会「省エネルギー・環境・産業応用 動き出した超電導技術」

場所: 都市センターホテル 3F コスモスホール (東京都千代田区)

(c) ISTEC 2002 All rights reserved.

(主催: 財団法人 国際超電導産業技術研究センター)

5/17

第1回材料研究会「超高磁場NMRに用いる超電導材料」・見学会

場所: 理研/横浜市大(横浜市)

(主催: 低温工学協会)

5/18-20

第66回(春季)低温工学・超電導学会

場所: 工学院大学(東京都新宿区)

(主催: 低温工学協会)

目次

「超電導応用基盤技術研究開発」
プロジェクト中間評価報告 1

超電導関連4-5月の催し物案内 1

「超電導Web21」- 創刊1周年 - 2

環境分野に貢献する超電導磁気
分離技術 2

産業用HTS超電導マグネット
応用 3

新聞ヘッドライン(2/20-3/19) 3

標準化活動 今月のトピックス 3

「超伝導物質・材料の研究状況に
関する調査研究会」より 4

一步前進した長尺次世代線材 4

平成14年度事業計画概要 4

第10回国際超電導産業サミット
(ISIS-10)速報 5

【隔月連載記事】 バルク超電導磁
石の誕生(その2) 5

超電導関連製品ガイド 7

読者の広場(Q&A) 7

超電導 Web21

Superconductivity

(財)国際超電導産業技術研究センター (ISTEC) が発行している「超電導 Web21」は、2002年4月で創刊から満1年になります。これもひとえに読者のご声援とご理解の賜物と編集局一同感謝しております。

「超電導 Web21」は、21世紀に相応しく、迅速、広汎、双方向をモットーに、超電導関連技術情報を簡潔、明瞭に広く内外へ発信することに努めております。「超電導 Web21」は、ISTEC が設立以来13年間に亘って発行してきた季刊誌「ISTECジャーナル」に替わって刊行されている日本語版月間電子情報誌です。また、「超電導 Web21」は、季刊で英語版も併せて発行しております。

「超電導 Web21」は、ISTEC のウェブサイト

<http://www.istec.or.jp> から日本語版と英語版へ任意にアクセスすることが出来ます。お蔭さまで、2002年2月末現在、日本語版では累計5,481件、月間平均約500件、英語版では累計778件、月間平均約100件のご利用がありました。さらに、同時にISTECの賛助会員など関係者にはe-mailにてPDFファイルサービスも行っておりますので、月平均約1000人以上の世界中の読者にご利用いただいていることとなります。

また、「超電導 Web21」には「読者の広場」欄が常設されておりまして、読者の皆さんとの双方向の情報交換を通じて、「超電導 Web21」が気軽でなじみ易い誌面になるよう心がけ、編集関係者一同不断の努力を続けて参る所存です。

(編集局)



環境分野に貢献する超電導磁気分離技術

昨今、湖沼水質再生、生活排水・工場廃液処理、環境有害物質除去、油海水再生、稀少資源開発、有用資源リサイクルなど多くの分野で超電導磁気分離技術が有望視されている。冷凍機冷却型超電導マグネットの普及と相俟って、大学、国公立研究所、企業などの超電導磁気分離技術開発が活発化している。

かつて磁気分離技術は、磁性物質の回収、磁性不純物の除去、低品位鉱物の富化などに適用されてきた。しかし、これまでの磁気分離技術では、(1)分離速度が遅い、(2)処理能力が小さく大量処理に向きである、(3)分離するものやその大きさに制限が大きいなどの技術的限界があり、磁気分離技術は発電所やボイラの冷却水の鉄分除去、カオリンの精製などに適用が制限されていた。しかし、冷凍機冷却型超電導マグネットの普及に伴って、強磁界が簡易な装置で容易に得られるようになった。その結果、(1)磁気分離速度の飛躍的な向上、(2)100トン/日級の大量処理が可能、(3)分離対象物質の種類にかかわらず適用可能、(4)2次廃棄物が少ないなど多くのメリットがつぎのように検証され、実用化に向けた順調な展開をみせている。

- コイル超電導マグネットを利用する技術 -

(1) 地熱水のヒ素の除去

原水：地熱水
設備：冷凍機冷却型超電導 (銀シース Bi-2223 酸化物超電導コイル) マグネット、1.7T、約20K
前処理 (担磁)：硫酸第1鉄又は水酸化第2鉄へのヒ素吸着
処理速度：毎分10リットル
除去率：99%、ヒ素環境基準0.01ppm達成
実施機関：(財)いわて産業振興センター、岩手大学、筑波大学、物質・材料研究機構

(2) 環境ホルモン除去

原水：ノニルフェノール(NP)水溶液
設備：冷凍機冷却型超電導 (銀シース Bi-2223 酸化物超電導コイル) マグネット、40K
前処理 (担磁)：酸化鉄微粒子に直鎖アルキル基有機化合物を付け疎水性
処理速度：毎時0.6トン
除去率：8.4ppmを1万分の1に減少

実施機関：物質・材料研究機構、(財)いわて産業振興センター

(3) 弱磁性微小粒子分離

原水：-ヘマタイト(Fe_2O_3)又は水酸化第2鉄水溶液
設備：冷凍機冷却型超電導マグネット(6T)と金網高勾配磁気分離装置
前処理：-ヘマタイト；平均粒径1 μ m、水酸化第2鉄；MgO中和3 μ m
捕獲率：-ヘマタイト；約95% (@流速0.8m/s、2T-6T)
実施機関：(財)いわて産業振興センター、岩手大学、筑波大学、物質・材料研究機構

(4) 半導体加工工場廃液処理

原水：半導体加工工場廃液
設備：超電導マグネット、2T、室温
前処理 (担磁)：硫酸第1鉄と水酸化カリウムによる水酸化鉄超微粒子コロイド
処理速度：毎分10リットル
除去率：約12 μ mSiC粒子ほぼ100%除去
実施機関：大阪大学、京都繊維大学、TKX株式会社

- バルク超電導磁石を利用する技術 -

(1) 汚水の浄化

原水：下水、工場排水、カオリン汚濁水
設備：冷凍機冷却型Y系バルク超電導磁石、動作磁界3.2T、35K
前処理 (担磁)：マグネタイト、鉄系無機凝集剤(ポリ鉄)及び高分子ポリマーによる磁性フロック
処理速度：毎日100トン
除去率：汚濁粒子90%以上、93% (カオリン汚濁水)
実施機関：株式会社日立製作所、(財)国際超電導産業技術研究センター

(2) アオコ(植物プランクトン、溶存リン等)除去

原水：K市の池のアオコ水
設備：冷凍機冷却型Y系バルク超電導磁石、動作磁界3.2T、35K
前処理 (担磁)：マグネタイト、鉄系無機凝集剤(ポリ鉄)及び高分子ポリマーによる磁性フロック
除去率：クロロフィルa 94.2%、浮遊粒子96.4%、総リン93.9%、鉄83.7%
実施機関：株式会社日立製作所、九州電力株式会社

(3) 油汚泥水浄化

原水：水道水と原油で合成設備：

冷凍機冷却型 Y 系バルク超電導磁石、3.2T、35K

前処理(担磁):マグネタイト、鉄系無機凝集剤(ポリ鉄)及び高分子ポリマーによる磁性フロック

除去率:有機炭素 90%以上

実施機関:株式会社日立製作所
(編集局 田中靖三)

産業用 HTS 超電導マグネット応用

- シリコン単結晶引き上げ装置用高温超電導マグネットの開発 -

株式会社 東芝 電力システム社
電力・産業システム技術開発センター

計測・検査技術開発部 超電導応用技術担当
小野 通隆

2001年4月、株式会社東芝、住友電気工業株式会社、信越半導体株式会社が共同で、世界最大の1.1MJ(メガジュール)の蓄積エネルギーを持ち、温度20K(-253℃)前後で運転が可能な高温超電導マグネットの開発に世界で初めて成功した。本マグネットの開発は経済産業省の省エネ補助金を受けて進められたもので、大型化の進むシリコン単結晶引き上げ装置向けに、液体ヘリウムを用いずに極低温冷凍機による簡易な冷却システムで超電導マグネットの利用を可能にした。本プロジェクトの成功は高温超電導の線材化技術とその特性を生かしたマグネット設計・製造技術の確立によるものである。本マグネットシステムは、低温超電導を用いた従来のシステムに比べ省エネ性に優れ(消費電力約1/3)、高い信頼性を有し、かつ短時間(1分:従来の約1/20)のマグネット励磁を可能にした。今回の開発の成功は、高温超電導マグネットの産業界での幅広い応用に向け大きな前進となり、今後、医療用MRI、鉄鋼、磁気浮上鉄道などの産業分野や超電導エネルギー貯蔵、超電導ケーブルといった電力応用への適用などが期待できる。

参照:超電導Web21、2001年6月号、P.3「定着し始めた冷凍機冷却型超電導マグネット市場」

新聞ヘッドライン (2/20-3/19)

MRIに新機能 脳・心臓詳しく検査 シーメンス旭が2機種 2/20 日経産業新聞

前立腺がん 早期発見に道 MRI用コイル 神戸大とGE横河が共同開発 2/21 日刊工業新聞

Y系高温超電導を連続成膜 11万アンペアの電流密度達成 東芝など 銀テープ上に長尺化めど 簡単製法で低コストに 2/21 日刊工業新聞

酸素浮く 超電導で磁石にくっつく 2/21 読売新聞

データセンターの非常用電源 SMES採用を提唱 鹿島、高い信頼性に自信 2/22 日刊工業新聞

電線から磁石まで一貫製造・開発 神鋼が超電導専門会社 3/1日本経済新聞

ナノテク使い 半導体用材料 日韓研究チーム 3/1 日本経済新聞
ナノカーボン革命 中堅企業が広げる市場 リスクを恐れず果敢に 3/4 日経産業新聞

「泡の核融合」泡と消える? 3/5 朝日新聞(夕) 日本経済新聞(夕) 読売新聞(夕)

最高臨界電流密度 30mlにわたり 80万アンペア フジクラ Y系線材で達成 3/5 日刊工業新聞、日経産業新聞、電気新聞

核融合試験装置 電子温度3億度に 原研、ITERにも応用 3/7 日経産業新聞、日刊工業新聞

「バブル核融合」本物か 理論的には可能 再現性は未確認 「冷静な検証待つ」 3/12 読売新聞(夕) 3/18 日本経済新聞

東北大が糸状の高温超電導体応用に成功 3/14 日本工業新聞

炉心内核融合反応 中性子モニター リアルタイム計測 原研 ITER計画に反映 3/19 日刊工業新聞

標準化活動 今月のトピックス

日本工業規格2件が公示される

平成14年2月20日付け官報号外第29号において、日本工業標準調査会で審議されていたつぎの超電導関連2件が日本工業規格JIS H7303及びJIS H7304として制定されたことを公示した。

超電導 - 機械的性質の試験方法 - 銅安定化ニオブ・チタン複合超電導導体の室温引張試験 JIS H7303:2002

要旨:断面が円形又は長方形で、断面積が0.15mm²から2mm²の範囲かつ銅対超電導体積比が1.0から8.0の絶縁被覆が施されていないCu/Nb-Ti複合超電導導体について、室温における弾性係数、銅成分の降伏による複合体の0.2%耐力及び引張強さを試験する方法を規定している。なお、破断伸び及びNb-Ti成分の降伏による第2種の0.2%耐力の値は参考値に留められている。

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・チタン複合超電導導体の銅比 JIS H7304:2002

要旨:断面が円形又は長方形、断面積が0.1mm²から3mm²、Nb-Tiフィラメントの直径が2μmから200μmで銅比が0.5以上のCu/Nb-Ti複合超電導導体について、硝酸で銅を溶かし、各々の質量と比重から銅対超電導体積比を求める方法を規定している。

なお、これらは、国際電気会議IEC規格であるIEC61788-6:2000及びIEC61788-5:2000にそれぞれ対応した整合国家規格である。

これらのJIS規格がご入用の方は、つぎにご連絡ください。IEC/TC90割引価格にて斡旋いたします。(財)国際超電導産業技術研究センター内

IEC/TC90 事務局

Tel:03-3459-9872

Fax:03-3459-9873

E-mail:tc90tanaka@istec.or.jp
(ISTEC標準部長 田中靖三)

超電導技術動向報告会のご案内

省エネルギー・環境・産業応用動

き出した超電導技術

日時:2002年5月15日(水)

9:30 ~ 16:50

場所:都市センターホテル

3F コスモスホール

(東京 地下鉄麹町、永田町より徒歩) 基調講演

「省エネルギー問題と超電導技術」

超電導工学研究所所長 田中昭二

「超電導技術の産業応用:その可能性と効果」

東京理科大学理工学部教授

正田英介

他

問合せ先:

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

[Event/open.html](http://www.istec.or.jp/Event/open.html)

「超伝導物質・材料の研究状況に関する調査研究会」より

平成14年2月5日、物質・材料研究機構千現キャンパスにおいて表記研究会が「未踏科学技術協会・超伝導科学技術研究会」の主催により行われた。独立行政法人物質・材料研究機構は、平成13年10月15日に超伝導材料の総合的研究を行う目的で、超伝導研究センターを設置した。その発足にあたり超伝導物質・材料の研究状況と展望を把握することを目的として調査委員会が設置され、本研究会は、その活動の一環として実施された。午前中は調査委員会主査の鯉沼東工大教授による挨拶に続いて、物質・新材料、構造物性セッションにおいて、また午後からは線材開発・評価と薄膜及びデバイスの二つのセッションに分かれて、これら分野の最近の研究開発状況の報告および議論がなされた。物質・新材料関連では、 MgB_2 、 $CeCoIn_5$ 等の異方的超伝導体、パイロクロア超伝導体等、最近発見された物質の物性や構造評価の研究、臨界温度100Kを越える物質の材料化に関する報告があった。最近話題の電界効果誘起超伝導については、その再現性の確認が緊急課題であろうという空気が強かった。線材については、Y系次世代線材、Bi-2212、Bi-2223線材、さらに金属系のNb系線材、 MgB_2 線材についての臨界電流特性、輸送電流特性、機械的性質、応用についての多くの報告がなされた。いずれの線材についても、特性面において向上が見られるとともに、モデル機器の開発も着実に進歩している。しかし、真の実用化には、一層の特性改善が必要であり、組織制御などの材料学的研究の重要性が指摘された。薄膜、単結晶、デバイス関係では、コンビナトリアル・ケミストリ法などの新合成技術、高温超伝導接合技術からマイクロ波素子、SFQデジタル素子、ジョセフソン磁束による新機能デバイス、高温超伝導SQUIDなど幅広い応用についての最近の研究が紹介された。超伝導フィルタやSQUID応用、またSFQ素子の開発が強力に進められている一方で、固有ジョセフソン接合やd-波接合に関連した基礎的な研究分野も活発に研究が進展している。今後は、この分野の基礎研究とともに、具体的応用を念頭においた取り組みも求められようというまとめがあった。

(SRL/ISTEC盛岡研究所・所長代理 腰塚直己)

一步前進した長尺次世代線材

- 東芝、フジクラが技術成果発表 -

株式会社東芝及び株式会社フジクラは、2002年3月にイットリウム系酸化物線材、いわゆる次世代線材の長尺特性に関する技術成果を相次いで発表した。(株)東芝は、幅20mm、長さ10mのテープを製造し、液体窒素温度において4.4アンペアの臨界電流と1平方センチメートル当たり11万アンペアの臨界電流密度を記録した。また、(株)フジクラは、幅10mm、長さ30mのテープを製造し、液体窒素温度において39アンペアの臨界電流と世界最高の1平方センチメートル当たり81万アンペアの臨界電流密度を記録した。

これまでのイットリウム系酸化物線材は、長さ1センチメートルから1メートルの短尺線材において、液体窒素温度で、1平方センチメートル当たり100万アンペア級の臨界電流密度を達成していた。しかし、これよりも長い線材を製造すると結晶の並び方の乱れが大きくなり臨界電流密度などの特性が大きく低下し、実用化が危惧されていたものであった。

今回、(株)東芝では、金属基板である銀を複合強化したこと、銀の再結晶配向度を向上したこと、エキシマプルームの工夫並びにハロゲンランプによる金属基板の間接加熱の採用によって高特性と毎時2.5メートルの高速製造が達成できたとしている。担当の芳野久士氏によると設備能力では製造速度は毎時10メートルまで可能であるという。また、(株)フジクラでは、ハステロイ金属基板上に予め形成させる中間層の結晶の並び方を従来よりも厳密に揃えることで、従来の約2倍に相当する世界最高の長尺線材特性を達成出来たとしている。しかし、(株)フジクラの齋藤 隆部長によると、このイットリウム系酸化物線材を実用材料にするためには、さらなる長尺の線材を製造することに加え、線材の製造速度を今回の毎時4メートルから毎時10メートル級に上げる必要があるという。

なお、これらの成果は、経済産業省の超伝導応用基盤技術開発プロジェクトの一環として、(財)国際超伝導産業技術研究センター(荒木浩理事長)が、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託を受けてそれぞれ実施したものである。(編集局 田中靖三)

平成14年度事業計画概要

(財)国際超伝導産業技術研究センター(略称ISTEC:理事長 荒木浩)は、平成14年3月7日、経団連会館において第29回通常理事会及び第19回評議員会を開催し、平成14年度ISTEC事業計画案を審議し、次のように決定した。

平成14年度事業計画の特徴は、超伝導に関する調査研究、具体的応用を目標においた基礎的な研究開発、国際交流の促進などを行うことにより、超伝導研究の円滑な推進を図るとともに、超伝導関連産業の健全な伸展に寄与するため、各般の事業を積極的に推進する点にある。

なお、平成14年度予算としては、受託事業・賛助会費等を含め、約55億円を見込んでいます。

1. 普及・啓発、国際交流事業

(1) 普及・啓発

(イ) 第15回国際超伝導シンポジウム(ISS2002)の開催【11月11～13日、横浜市 パシフィコ横浜 会議センター】

(ロ) 技術動向報告会の開催【5月15日、東京都 都市センターホテル】

(2) 超伝導に関する国際交流

(イ) 第11回国際超伝導産業サミットの開催【11月17～19日、東京】

(3) 超伝導に関する情報の収集および提供
(イ) “超伝導Web21”の発信
超伝導技術開発や実用化等に関する情報をインターネットを通し配信(和文1回/月および英文1回/3ヶ月)

(ロ) SRL Technical Reportの発行。

(ハ) 超伝導に関する事業成果の提供。

(ニ) 内外の超伝導関連情報の収集と提供(ISTEC海外情報等)。

2. 研究開発・技術開発事業(受託研究)

(1) 超伝導応用基盤技術研究開発(平成10～14年度)

(2) 超伝導電力貯蔵システム技術開発(平成11～15年度)

(3) フライホイール電力貯蔵用超伝導軸受技術研究開発(平成12～16年度)

(4) 微小重力環境利用超伝導材料製造技術開発(平成7～15年度)

3. 国際標準事業

(1) IEC/TC90 国際委員会活動

(2) JIS規格原案作成活動

(3) 超伝導標準化のための技術開発支援

(ISTEC総務部 安住光弘)

第10回国際超電導産業サミット (ISIS-10) 速報

当初、2001年10月に計画されながら、2001年9月の米国テロ事件などにより延び延びとなっていた第10回国際超電導産業サミット (ISIS-10) が、去る2002年3月14日から16日、米国ニューメキシコ州サンタフェで開催され、日米欧から経営トップ、技術幹部など多数が参加した。

今回のサミットは、「APPLICATIONS AND MARKETS」をメイン・テーマとして、4つのセッションからなるパネルディスカッション形式で行われ、活発な議論、意見交換が行われた。各セッションのテーマ及び日本側パネリストは以下の通りである。

セッション1: From Developer to User: Electric Power Applications for Superconductors

住友電気工業株式会社

中原恒雄特別技術顧問

東京理科大学 正田英介教授

セッション2: Commercial Applications for Superconducting Electronics

ISTEC/SRL 田中昭二所長

セッション3: Meeting the Needs of the 21st Century High Energy Physics Community

高エネルギー加速器研究機構

新富孝和教授

セッション4: The Outlook for Superconducting Medical Applications

株式会社日立製作所中央研究所

塚田啓二主任研究員

また、米国が次世代線材の開発加速を目的として推進している Accelerated Coated Conductor Initiative の一環として研究開発施設を重点整備したロスアラモス国立研究所の見学ツアーも生まれ、会議における種々の成果の他、米国の次世代線材にかける意気込みを肌で感じる事ができたことも非常に意義深いことであった。

(ISTEC国際部長 津田井昭彦)

【隔月連載記事】 バルク超電導磁石の誕生 (その2)

SRL/ISTEC 第1・3 研究部長
村上雅人

1. はじめに

超電導磁石をつくりたいというオネスの夢は、第2種超電導体の登場で現実のものになるかと思われたが、思わぬ伏兵がいた。それは、混合状態で電流を流すと、電気抵抗がゼロにはならないという事実である。

ただし、電気抵抗が発生したからと言って、超電導状態が壊れているのではない。あくまでも磁束が運動することが原因で電気抵抗が発生しているのである。このため、この電気抵抗を磁束流抵抗と呼んでいる。

とは言っても、混合状態で電気抵抗がゼロにならないのでは、オネスの夢である超電導磁石をつくることはできない。これは、低温超電導や高温超電導に関係なく、第2種超電導体に一般にあてはまる現象である。やはりオネスの夢はかなわぬ夢なのであろうか。前号の最後に紹介したように、これにはピンニング効果 (pinning effect) という救世主が存在したのである。

2. ピンニング効果

混合状態で電流を流すと、量子化された磁束が動いてしまい、その結果磁束流抵抗と呼ばれる電気抵抗が発生する。ここで重要な点は、流れている電流そのものは、電気抵抗ゼロ

口の超電導電流であり、電気抵抗はあくまでも磁束が運動することで発生しているという事実である。

つまり、何らかの方法で磁束の運動を阻止することができれば、混合状態においても電気抵抗ゼロの電流を流すことができる。この働きをするのがピンニング効果である。

ここで、第2種超電導体の混合状態を思い出して欲しい。本来、超電導は磁場を嫌う性質を持っている。このため、マイスナー効果と呼ばれる超電導体が磁場を完全に排除する現象が観察される。しかし、磁場を排除するためには余分なエネルギーが必要になる。このエネルギーは外部磁場が大きいほど大きくなる。よって、第2種超電導体では、このエネルギーを緩和するために、ある限界の磁場 (下部臨界磁場) 以上では、超電導体内部への磁場の侵入を許すのである。この状態が混合状態である。

この時、超電導体内に磁場が侵入した領域では超電導が破れて常電導状態となっている。しかし、本来は超電導状態の方が安定な温度域であるので、この部分では局所的にエネルギーの高い状態となっている。つまり、混合状態では一部の超電導の犠牲を払って、トータル的自由エネルギーが低い状態をつくり出しているのである。この局所的に損しているエネルギーのことをペナルティエネルギー (penalty energy) と呼んでいる。

ここで、図1のように超電導体内部に常電導の部分が存在する場合を想定してみよう。すると、量子化磁

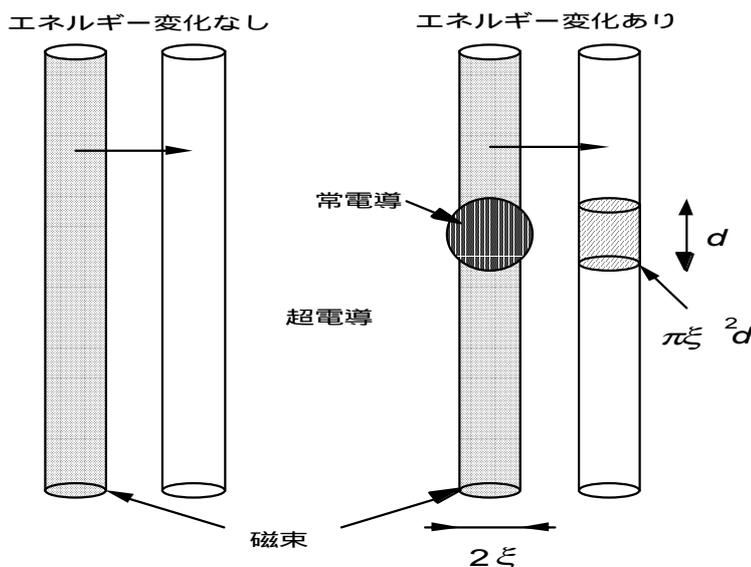


図1 ピン止め効果を示す模式図。純粋な超電導体内部では磁束は自由に動くことができる。これに対し、超電導体内に常電導部が存在すると、磁束はその位置ではペナルティを払わなくて済む。これがピン止め効果が生じる原因である。

束がこの部分に居ても、もともとが常電導であるから、ペナルティエネルギーを払う必要がない。一方、この磁束を、この位置から移動させようとすると、新たに超電導を壊す必要がある。つまりペナルティを払うことになる。このため、磁束はできるだけ、常電導部分に位置しようとする。これを、ピンで止めるというアナロジーから、ピン止め効果あるいはピンニング効果と呼んでいる。そして、このような常電導部分をピン止めセンター(pinning center)と呼んでいる。つまり、第2種超電導体の内部にピン止めセンターと呼ばれる常電導相が分散していれば、磁束の運動を止めることができるのである。

もちろん、ピンニング効果は、超電導体の内部にピン止めセンターがどのように分散しているかに依存する。そして、電流を流して発生するローレンツ力よりも、ピン止め効果(ピン止め力と呼んでいる)が強い間は、磁束線は動かずに、電気抵抗がゼロの超電導電流を流すことができるのである。ローレンツ力は

$$F_L = J \times B$$

のように、電流ベクトルと磁場ベクトルの外積となるが、磁場が強いほど、また流す電流が大きいほど大きくなる。よって、磁場が一定の時に流すことのできる電流の大きさは、ピン止め力(pinning force)の大きさを F_p とすると

$$F_p = J_c \times B$$

で与えられることになる。この電流ベクトルの大きさ J_c を臨界電流密度(critical current density)と呼んでいる。当然のことながら、この J_c は物質固有のパラメータではなく、組織敏感な値(structure sensitive value)である。

つまり、ピン止め力の大きい超電導体をいかにつくるかが、臨界電流密度向上、ひいては超電導磁石を実現するための鍵となる。そのためには、ピン止めセンターが分散した組織をいかにつくるかが最重要課題となる。事ここに及んで、オンネスの超電導磁石実現の夢は、純粹物理の世界から工学プロセスの世界へとバトンを渡すことになる。

3. ピン止めセンターの導入

ここで、再び、高温超電導を否定する記事を書いた Science や Physics Today の議論を考えてみよう。以上のように、第2種超電導体の宿命として、混合状態において電気抵抗が発生するのは当たり前話である。よって、高温超電導体の臨界電流密度が本質的に低いという結論は間違いで、高温超電導体においてもピン止めセンターを導入すれば、高い臨界電流密度を達成できるはずである。

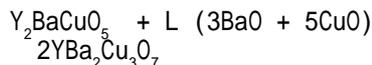
それでは、どうすればピン止めセンターを導入することができるのであろうか。高温超電導体であっても組織制御さえ行えば、臨界電流密度を高くできると豪語しても、それを実際に達成できなければ話にならない。

実は、ピンニング効果には研究者を悩ます問題が存在する。それは、ピンニング効果は中途半端という事実である。実用材料をつくるためには、組織制御によって積極的にピン止めセンターを導入し、臨界電流を高める必要がある。これが非常に難しい。一方、本来の物理的性質を調べるためには、徹底的に欠陥を減らす必要がある。つまり、ピン止めセンターとなる欠陥を除去しなければならない。これも非常に難しい。こ

のため、実用材料に供することもできず、かといって、物性研究にも役立たない中途半端な超電導材料が世の中には数多く存在することになる。

これは、低温超電導体にも言えることであり、数ある低温超電導体の中でピン止めセンターをうまく導入して実用レベルの臨界電流を達成できた材料が、現在実用化されている Nb-Ti 合金と Nb₃Sn 化合物のたった2種類だけなのである。低温超電導体では、たまたま運が良かったから、少ないながらも2種類も見つかり、そのおかげでオンネスの夢であった、超電導マグネットを実現できることになる。そして、現在では5T以上の磁場を発生する超電導マグネットが医療用の磁気断層撮影装置をはじめとして、数多くの分野で活躍している。オンネスの夢である超電導磁石を高温超電導で実現することが可能なのであろうか。

しかし、これを実現するためには、低温超電導でさえ大変であったピン止めセンターの導入を、酸化物の高温超電導で行わなければならない。実は、これを意図的に実現できたのが、Y-Ba-Cu-Oパルク超電導体である。この系では



という包晶反応によって、半熔融状態から超電導相である YBa₂Cu₃O₇ (Y-123) が生成する。Lは液相(Liquid phase)を示しており、かつこ内はその組成である。この化学組成ならば、原理的にはY-123の超電導相しか生成しない。

この時、常電導相である Y₂BaCuO₅ (Y-211) 濃度が高い側に、あらかじめ初期組成をずらすと、Y-123超電導相の中に常電導相であるY-211相が分散した組織をつくることのできる。すると、写真1に示すように、超電導相の内部に常電導相が微細に分散した組織をつくることのできる。われわれが、望んでいた組織が、この系ではうまくつくることができる。これこそ天恵であろう。

しかし、本当に使い物になる超電導体に育て上げるには、ピン止めセンターがあるというだけでは不十分である。それを有効に作用させるように、微細に分散させる必要がある。写真でみてわかるように、Y-211粒子の大きさは数10 μm程度である。これでは大きすぎる。その技術開発こそが重要なのである。組織制御については次回紹介する。

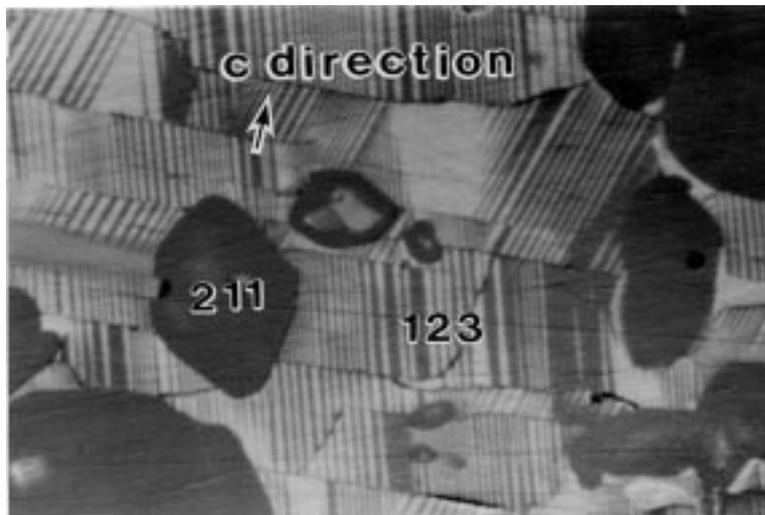


写真1 図のマトリックスで、双晶の入った領域がY-123超電導相(123と表記)であり、その中に分散した黒い粒子がY-211相である。この写真のスケールは、1cmが10 μmに相当する。

超電導関連製品ガイド - 社名五十音順表示 -

Nb-Ti 合金複合超電導線

日立電線株式会社 技術開発本部
超電導技術推進本部

変動磁界用導体、高エネルギー加速器用導体

Tel: 03-5252-3288

Fax: 03-3201-0508

担当: 鎌田 園尚

古河電気工業株式会社

高エネルギー加速器用導体、変動磁界用導体、各種銅安定化Nb-Ti導体
交通公共営業部 超電導製品営業課

Tel: 03-3286-3161

Fax: 03-3286-3686

担当: 吉川、清水

研究開発本部 超電導開発部

Tel: 0288-54-0504

Fax: 0288-54-2216

担当: 木村

三菱電機株式会社 電力・産業システム事業所

原子力部 超電導素線製造プロジェクトグループ

PVF被覆超電導線材、ポリイミド被覆平角線材など

Tel: 0427-79-5564

Fax: 0427-79-5673

E-mail:

hidetoshi.kitakoga@sj.sow.melco.co.jp

担当: 北古賀秀敏(プロジェクトグループマネージャー)

Nb₃Sn 化合物複合超電導線

株式会社神戸製鋼所 電子技術研究所 超電導研究室

NMR分析器用線材、高磁界マグネット用導体

Tel: 078-992-5652

Fax: 078-992-5650

担当: 宮崎隆好

日立電線株式会社 技術開発本部
超電導技術推進本部

高磁界マグネット用導体

Tel: 03-5252-3288

Fax: 03-3201-0508

担当: 鎌田 園尚

古河電気工業株式会社

NMR分析器用線材、高磁界マグネット用導体、核融合炉用CICC素線

交通公共営業部 超電導製品営業課

Tel: 03-3286-3161

Fax: 03-3286-3686

担当: 吉川、清水

研究開発本部 超電導開発部

Tel: 0288-54-0504

Fax: 0288-54-2216

担当: 木村

三菱電機株式会社 電力・産業システム事業所

原子力部 超電導素線製造プロジェクトグループ

核融合炉用低ヒステリシス損失素

線、直流用高臨界電流密度素線

Tel: 0427-79-5564

Fax: 0427-79-5673

E-mail:

hidetoshi.kitakoga@sj.sow.melco.co.jp

担当: 北古賀秀敏(プロジェクトグループマネージャー)

ビスマス系銀シース酸化物超電導線

昭和電線電纜株式会社 技術開発センター 無機・金属材料開発室

銀シース Bi-2212 線材、銀シース Bi-2223 線材

Tel: 042-773-7163

Fax: 042-773-7291

担当: 長谷川隆代

住友電気工業株式会社 エネルギー環境技術研究所 超電導研究部

銀シース Bi-2223 テープ

Tel: 06-6466-6534

Fax: 06-6466-5705

担当: 林和彦

次号予定: 小型冷凍機

(編集局 田中靖三)

読者の広場 (Q&A)

Q: 酸化物超電導体は呼吸するって聞いたのですが、どういうことですか?

A: 酸化物超電導体の中でも $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ は一番激しく呼吸をし、酸欠になると超電導性が死んでしまいます。ペロブスカイトとよばれる、サイコロの中心に銅(Cu)角にA原子がある構造は $ACuO_3$ と書けます。Aにイットリウム(Y)とバリウム(Ba)を配して三段重ねると $(YCuO_3)(BaCuO_3)(BaCuO_3)$ 、化学式では $YBa_2Cu_3O_9$ ですね。これは超電導体 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ にそっくりです。ただし酸素(O)が多すぎる。そう、この超電導体はペロブスカイトを連ねて、酸素の一部を取り去った欠陥のある構造です。本来、ペロブスカイト構造は非常に堅牢ですが、 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ は酸素格子がほつれているために酸素の出入りが容易に起こります。ここで肝心なのは、超電導の舞台には酸素の適度な欠陥が必要な点です。したがって、この材料を生かすも殺すも呼吸次第といえるでしょう。それにしても、欠陥を制御しなければならないとは、材料屋泣かせです。

(回答者: SRL/ISTEC 特別研究員 森下忠隆)

ISS2002のご案内

第15回国際超電導 シンポジウム(ISS2002)

日時: 2002年11月11日(月)

~ 11月13日(水)

場所: パシフィコ横浜会議センター
(横浜市)

スケジュール:

5月31日 アブストラクト受付・

事前参加登録、出展申込み開始

7月15日 発表申込締切

9月30日 事前登録締切

8月30日 プログラムHP掲載予定

問合せ先:

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

[ISS.html](http://www.istec.or.jp/ISS.html)

iss@istec.or.jp

超電導Web21 2002年4月号

2002年4月発行

<発行者>

財団法人

国際超電導産業技術研究センター内

超電導Web21編集局

〒105-0004

港区新橋5-34-3 栄進開発ビル6F

Tel (03)-3431-4002

Fax (03)-3431-4044

ISTECのホームページ

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

超電導関連ホームページへの リンク

超電導情報研究会(スーパーコム)

[http://www.appchem.t.u-](http://www.appchem.t.u-tokyo.ac.jp/appchem/labs/kitazawa/SUPERCOM/)

[tokyo.ac.jp/appchem/labs/kitazawa/](http://www.appchem.t.u-tokyo.ac.jp/appchem/labs/kitazawa/SUPERCOM/)

[SUPERCOM/](http://www.appchem.t.u-tokyo.ac.jp/appchem/labs/kitazawa/SUPERCOM/)



この「超電導Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。



e-mail to:

web21@istec.or.jp