

掲載内容 (サマリー) :

トピックス

- ISS2003 招待講演者決まる !!

特集 : Y系超電導線材開発

- Y系線材プロジェクト「超電導応用基盤技術研究開発」のISTEC受託が決定
- 日米共同プロジェクト「交流損失の評価・削減に関する研究開発」の現状

- 超電導関連 8-9月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン (6/20-7/22)
- 超電導速報 - 世界の動き (2003年6月)
- 標準化活動 経済産業省、平成15年度事業を採択
- 特許情報
- 超伝導科学技術研究会 第29回シンポジウム報告
- 応用物理学会 第27回春季研究会
- 超電導応用研究会シンポジウム「SMES研究開発の最新状況と実用化への展開」から
- 第4回 Pasreg ワークショップ会議報告
- 隔月連載記事 - やさしい超電導のおはなし (その4)
- 読者の広場(Q&A) 一次世代線ってどのようなものですか?

[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。

ISS2003 招待講演者決まる !!

2003年10月27日(月)~29日(水)の3日間、つくば国際会議場で開催される第16回国際超電導シンポジウム(ISS2003)の第2回プログラム委員会が2003年7月16日(水)に開催され、特別基調講演者2名、基調講演者6名、各セッション(物理・化学分野、バルク分野、線材分野、薄膜デバイス分野)招待講演者51名の計59名の招待講演者が決定された。

特別基調講演として、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)が超電導デジタルエレクトロニクスについて講演される。基調講演として、D. C. Larbalestier氏(University of Wisconsin-Madison)がMgB₂での臨界磁場50T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、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、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る。

また各セッション招待講演者として、物理・化学分野13名(海外6名、国内7名)、バルク分野5名(海外3名、国内2名)、線材分野20名(海外6名、国内14名)、薄膜デバイス分野13名(海外5名、国内8名)が決定された。詳細はISS2003ホームページ(<http://www.istec.or.jp/ISS/ISS.html>)に掲載の予定。

連絡先:

(財)国際超電導産業技術研究センター ISS2003 事務局
〒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
E-mail: iss@istec.or.jp
Website: <http://www.istec.or.jp/ISS/ISS.html>

(ISTEC 調査・企画部長 佐伯正治)

[超電導 Web21 トップページ](#)

Y系線材プロジェクト「超電導応用基盤技術研究開発」のISTEC受託が決定

このプロジェクトは、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が平成15年度から平成19年度の5年間プロジェクト「超電導応用基盤技術研究開発」として委託先の公募を行っていたものであり、平成15年5月29日付でISTEC及び共同提案企業（株式会社フジクラ及び住友電気工業株式会社）が受託先として決定したものである。

1. Y系長尺線材に係わる「超電導応用基盤技術研究開発」プロジェクトの受託の意義

Y系線材に関しては、これまでのISTECを中心とした研究開発の成果として数十m級の高特性線材が得られているものの実用化を考慮した場合、様々な課題の解決が必要となる。しかしながら、これまでのところ単独企業で全てのY系線材に必要な積層構造を仕上げる技術が未だ確立していないところから、線材作製プロセスに応じ、積層化のための各種試料の研究実施企業等との円滑な移動と線材化、及び試料の管理を含めて効率良く研究を実施することが必要となる。実用化に繋がる目標を達成するためには、前プロジェクトでの実績を基にISTECのマネジメント機能と研究能力を核に、共同提案企業、再委託先企業、さらに、共同研究先大学から成る共同研究体を構成し、プロジェクトリーダーの強いリーダーシップの下、実施者間が強力で連携し、上記研究開発内容を効果的、効率的に推進することが最短の道であり、ひいては本分野を核とした産業活性化に効率的に資する意味を持つと考えられる。

2. このプロジェクトにいたる背景と必要性

昨年度までのNEDO「超電導応用基盤技術研究開発」プロジェクトにおける線材/材料研究の成果において、RE123系超電導材料の二次元性、d波超電導特性に起因した超電導結晶粒の配向性、粒界特性等が大きく線材の特性に影響を及ぼすことが判明した。この特徴が、逆に高特性線材作製に対して大きな障壁となっていたため、ピスマス系線材開発に比して長尺線材開発に時間を要していた。しかしながら、線材の電磁特性を大きく向上させる技術が、これまでの、第期の超電導応用基盤技術研究開発（平成10年度 - 平成14年度）の研究開発の中で明らかになってきており、現実にも、数cm～数十m級線材において、超電導臨界電流密度としては100万A/cm²を越える特性を有した線材開発が数種類の作製プロセスにおいて成功した。現状では、日米欧の熾烈な開発競争において、長さ及び特性の点でわが国が世界をリードしている状況にある。しかし、このRE123系超電導線材の実用化に対しては、成膜速度の高速化、生産性の向上、更なる長尺化、特性の均一化、高臨界電流化のための厚膜化、線材作製プロセスとしての低コスト化等において、解決すべき技術的課題が未だ多く残っており、事業化を見通せるようにするために上記課題解決が焦眉の急である。

3. このプロジェクトで解決される技術課題

本研究開発では、これまでのわが国の超電導応用基盤技術研究開発の成果を踏まえつつ、これまで研究されてきた数多くの線材作製プロセスのなかで、実用化に向けた目標に対して、達成が大いに見込める各要素技術としてのプロセスを選択し、長尺線材作製プロセスの研究開発を進める。長尺線材作製プロセスは、技術開発の効率性から「高性能長尺線材プロセス開発」と「低コスト長尺線材プロセス開発」に分けて進める。また、これらの作製プロセス研究に並行して、線材の機器・システム化への展開を容易にする基盤整備として「長尺線材評価・可加工性技術開発」、さらに、材料レベルの特性向上、結晶粒界及び線材間の接合界面特性の高度化として「高温超電導材料高度化

技術開発」を行い、線材作製プロセス改善へフィードバックし目標達成促進に資する。いずれにしても、実用化のための機器使用を念頭に置き、これらに耐えうる線材作製プロセス開発として更なる長尺化、高臨界電流化のための厚膜化、と共に生産性に係わる成膜速度の高速化、低コスト化を解決する必要がある。ここでは、大型装置開発も含めたプロセスの安定化と共に精密な組織制御や作製条件の適正化、装置大型化などにより上記課題を解決し目標達成を目指す。(表1参照)

表1 本プロジェクトの研究開発目標

| 線材仕様 | 中間目標 (H17末) | | 最終目標 (H19末) | |
|---------|-----------------------|----------------|-----------------------|------------------|
| | 高性能線材 | 低コスト線材 | 高性能線材 | 低コスト線材 |
| 線材長さ(m) | 200m | | 500m | |
| 臨界電流 | Ic=200A/cm幅 (@77K,0T) | | Ic=300A/cm幅 (@77K,0T) | |
| | Ic=20A/cm幅 (@77K,3T) | ----- ----- | Ic=30A/cm幅 (@77K,3T) | ----- ----- |
| 作製速度 | ----- | | 5m/h | |
| コスト | 最終目標達成可能な線材作製プロセスを示す。 | | 12 円/Am (@77K,0T) | 8 円/Am (@77K,0T) |

4. このプロジェクトに期待される成果

超電導の優れた特性を示す RE123 系超電導材料(RE:Y,Sm,Nd,Ho 等)は、線材に用いた場合、液体窒素温度(64-77K)においても高磁場特性に優れているとともに、自己磁場における臨界電流密度も高く、超電導線材の主たる応用である電力用低交流損コンパクトケーブル導体への利用、さらには SMES (超電導電力貯蔵システム) を含めたマグネット用等高磁場応用に対して、極めて高い優位性を有する材料であることが、これまでの研究成果から明確になっている。さらに、ビスマス系と違って銀等の貴金属を大量に使用しないこと、線材断面積当たりの臨界電流が高いこと等から将来の大幅なコスト低減が見込めるものである。

したがって、本プロジェクトの推進によりわが国のこれまでの技術的蓄積と開発力を集中し、超電導の優れた特性を実現する長尺、高特性の線材を高速で低コストで作製できる技術を開発することにより、産業技術競争力を維持し、従来技術では実現し得ない革新的機能を有した新たな高温超電導線材産業の創出や、従来機器の飛躍的な性能向上による活性化など、わが国の経済再生にも大きく貢献することができると考えられる。加えて、様々なエネルギーロスの低減効果により省エネルギー、CO₂ 排出量削減等環境保全等にも貢献することが期待される。

(SRL/ISTEC 線材研究開発部長 塩原 融、線材研究開発部 和泉輝郎)

[超電導 Web21 トップページ](#)

日米共同プロジェクト「交流損失の評価・削減に関する研究開発」の現状

大きな省エネルギー特性が期待される高温超電導を用いた送電ケーブル等の超電導機器・システムにおいて、交流損失を削減することによりエネルギー利用効率を向上させ、二酸化炭素の排出の抑制に貢献することになる。このためには、超電導交流損失の評価方法や基準の明確化、交流損失削減のための指針化への取り組みが不可欠である。そこで、本プロジェクトは、わが国と同様に超電導線の交流損失評価等実績を持つ米国との共同研究により、早期の実用化を狙うイットリウム系高温超電導線の交流損失の評価技術の確立及び損失低減指針導出が可能な損失解析シミュレーションの開発を目標として平成14年度より三年間の計画で実施している。

これまでのところ、評価用 Y 系超電導線材を作製し、これを受けて、様々な種類の交流損失評価に必要な要素的基礎特性の評価を行っている。また、交流損失評価技術開発用装置の導入・立ち上げを実施し、これを用いて評価を開始した。さらに、今後、本格化するシミュレーション技術開発用の準備を開始している。以下に個別の進捗をまとめる。

評価用線材作製では、ハステロイ金属基板上に IBAD 法（配向中間層）及び PLD 法（超電導層）を用いて線材を評価用として作製した。具体的には、超電導層厚さ及び安定化層厚さの異なる線材を作製し、基礎特性評価及び交流損失評価技術開発グループへ供給した。

超電導基礎特性評価においては、低温レーザ走査顕微鏡を用いて、局所的超電導特性を評価し、直流通電特性の機構ならびに IBAD 基板の臨界電流制限因子に対する影響について検討した。また、磁気光学顕微鏡を用いて、線材に侵入する磁束挙動を観察し、金属系とは異なる不均一挙動を確認した。

さらに、交流損失評価技術開発では、全交流損失測定システムや強交流磁場中損失評価装置を構築すると共に、プロトタイプ装置で IBAD/PLD 法 Y 系線材の交流損失を測定した。ここでは、磁化損失はテープ面に垂直な磁界成分に支配されることがわかった。また、交流垂直横磁界下で交流電流を輸送する線材の全交流損失を測定した結果、臨界電流の小さい今回の線材では、外部磁界の寄与が支配的であるという結果を得た。また、反磁界効果の影響を調べるため、テープは1枚と6枚積層（層間絶縁）したものを準備し交流損失測定を実施した結果、積層枚数が多くなるほどスラブの理論値に近づく傾向が見られた。

シミュレーターの開発に関してはその準備として、特に計算時間の短縮に的を絞って、非線形超電導特性を扱うための各種反復法と各種行列解法の組み合わせが計算時間に与える影響について比較検討した。

また、研究成果に関しては日米研究者間での情報交換を活発に行うべく技術会議を開催すると共に、国内における実験研究担当者会議を開き効率的に線材評価技術の開発を推進している。

（SRL/ISTEC 線材研究開発部長 塩原 融、線材研究開発部 和泉輝郎）

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 8 - 9 月の催し物案内

8/4

エレクトロニクスと薄膜

場所：長岡技術科学大学（長岡市）

（主催：低温工学協会 超電導応用研究会）

8/11-12

磁気分離夏の学校 - 磁気分離を応用した水処理

場所：つくばクリエーションセンター

（主催：電気学会 超電導応用電力機器技術委員会）

e-mail:HIGA.Shouji@nims.go.jp

8/17-22

ICR2003,21st Congress International Institute of Refrigeration

場所：Washington,DC

e-mail:csa@huget.com.

8/18-20

第2回ナノサイエンス・サマー道場 - 超伝導・磁性の新しい方向を目指して -

場所：長野県飯綱高原「ホテルアルカディア」

（主催：社団法人未踏科学技術協会）

e-mail:nano-sci@sntt.or.jp

8/25-27

平成15年電気学会基礎・材料・共通部門大会 超電導材料テーマセッション(8/25)

場所：長岡技術科学大学

（主催：電気学会基礎・材料・共通部門）

<http://www.iee.or.jp/fms/>

8/25-27

第8回超伝導・低温若手セミナー

場所：ウエルサンピア仙台（仙台市）

（主催：低温工学協会 東北・北海道支部）

e-mail:nojima@imr.tohoku.ac.jp

9/14-18

EUCAS2003-6th European Conference on Applied Superconductivity

場所：Sorrento Napoli, Italy

e-mail:eucas2003@unina.it

<http://www.eucas2003.it>

9/21-23

12th International Superconductivity Industry Summit, ISIS-12

場所：Forschungszentrum Karlsruhe, Germany

e-mail:michael.sander@itp.fzk.de

9/22-26

Cryogenics Engineering Conference and International Cryogenic Materials Conference(CEC-ICMC)2003

場所：Anchorage, Alaska

Contact Central Conference, 303-499-2299

<http://www.cec-icmc.org/>

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (6/20-7/22)

集積化容易な超電導回路 三菱電機 2010年実用化目指す ループ型素子 平たん化 6/20 日経産業新聞

無人宇宙システムの帰還カプセル公開 6/25 毎日新聞(夕)

液体酸素温度で超電導浮上 芝浦工大など実験に成功 医療応用に弾み 6/27 日刊工業新聞、日本工業新聞、日本経済新聞、毎日新聞、朝日新聞、読売新聞、河北新報、盛岡タイムズ

液体酸素温度で初 国際超電導産業技研など 超電導浮上に成功 6/30 電気新聞

高温超電導線材 長さ100メートル 品質も良好 フジクラ 送電線などへ期待 6/30 日経産業新聞

次世代視野に技術開発を加速 愛知万博で“山梨リニア”を演出 超電導技術チーム、山梨リニアの実用化開発着実に進展など 6/30 日本工業新聞

青森県 サイクル、ITER 誘致・・・ 新知事の手腕に関心 7/3 電気新聞

二ホウ化マグネシウム 物材機構が低温製造技術 7/4 日経産業新聞

Sunday Nikkei 味覚やきゅう覚と脳の関係調査 7/6 日本経済新聞

研究補助の2割 途中で打ち切り NEDO、中間評価で 7/7 日本経済新聞

ナノテク ここが焦点 国際標準の整備 競争力向上に直結 7/7 日経産業新聞

特許相互供与に合意 住友電工 高温超電導で米社と 7/11 電気新聞、日刊工業新聞

電力系統 超電導技術開発を支援 エネ庁 来年度 自由化後の安定化へ 7/14 電気新聞

ISO 次期会長 田中氏(日化協専務理事)有力 国際標準で主導権確保 7/15 日刊工業新聞

先端拠点に行く 盛岡超電導技術応用研究所(盛岡市) 超電導体、液体酸素中で応用 7/15 日本経済新聞東北経済A

高温超電導磁石用電源 大きさ1/100に 東芝、MRIへ応用に道 7/16 日経産業新聞

たんぱく質の立体構造 920メガヘルツNMRで解読 物材機構と理研 3元素を同時計測 7/21 日刊工業新聞

高温超電導線で量産技術 送電損失が半減 住友電工 7/22 日本経済新聞

西松建設、がん診断参入 先端医療へ事業多角化 まず仙台で9月開業 7/22 日本経済新聞



[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6月)

電力

American Superconductor Corporation and GE Industrial Systems (2003年6月24日)

American Superconductor Corporation (AMSC) と GE の電気部門である GE Industrial Systems は、マーケティング及び販売提携契約を拡充、更新した。2000年に始まる両社の契約は D-VAR™ や D-SMES のような電力電送信頼性改善システムの北米地域におけるマーケティングや販売提携に関するものであった。新たな契約では、GE Industrial Systems は北米及び南米の AMSC 電力システム販売チャンネルとしての役割を継続する。この他の地域については、AMSC は同社電力システムを直接に、又は、地域代理店を通じて販売する。新契約では、他の供給契約でカバーされない地域における PQ-IVR™ の販売が含まれることになる。

(出展)

“American Superconductor Renews and Expands Joint Sales Agreement with GE Industrial Systems”

American Superconductor Corporation press release (June 24, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/105639419201.html>

American Superconductor Corporation (2003年6月26日)

American Superconductor Corporation は、5MW の船舶用 HTS モーターを予算の範囲内でかつ計画通り米国海軍に納入できる見込み。モーター及び駆動システムは、海軍関係者立会いの下英国 Alstom 社の試験施設で成功裏に受け入れ試験を終えた。モーターは出荷に向けた準備を行っており、2003年7月半ばに米国海軍に納入される。米国海軍研究所のプログラム・マネージャー Scott Littlefield は、「我々は、先端船舶駆動システムの工場試験の結果に大変満足している。この HTS モーターは、我々の要求仕様の全てをクリアーし又は凌ぐものであった。」と語った。この 5MW モーターの大きな利点は、サイズと重量の大幅な減少、静音性、故障が少なく長時間運転可能なこと、高い効率である。これらの利点は、従来のモーターと同程度の価格で入手可能である。モーターの効率が高いということは、オイルの消費量が少ないということであり、燃料の大幅な削減につながる。さらに、故障が少ないということは修理費も少なくすむということである。

(出展)

“American Superconductor Delivering High Temperature Superconductor Ship Propulsion Motor to U.S. Navy - Advanced Motor Successfully Completes Factory Acceptance Tests, On-Budget and On-Schedule”

American Superconductor Corporation press release (June 26, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/105655994421.html>

通信

Hypres, Inc. (2003年6月24日)

Hypres, Inc. は、米国国防総省との間で世界初の全デジタル化受信機 (ADR) 開発に関する 800 万ドルの契約を結んだ。国防総省を代表して海軍研究所が契約業務の運営を担当し、統合戦術無線システム (JTRS) 統合プログラム事務局 (JPO) がシステム・ドメインにまたがるシステム・ガイダンスを準備する。超電導マイクロ・エレクトロニクスは ADR 実現のための重要技術である。非並列信号処理による入力 RF 信号の直接デジタル化の結果、現在の超電導マイクロ・エレクトロニクスの効率は半導体の

それを凌駕する。ADR 技術は、無線通信、衛星通信、信号処理、電子兵器、レーダーシステム等軍事、民生の幅広い応用が期待されている。

(出展)

“HYPRES Awarded Contract to Develop the First All Digital Receiver”

Hypres, Inc. press release (June 24, 2003)

http://www.hypres.com/pages/new/bnew_files/pr_adr_62403.htm

Superconductor Technologies Inc. (2003年6月24日,25日)

Superconductor Technologies Inc.は、1100万ドルの資金調達手続きを終えた。同社は、5,116,278株の新規株と1,279,069株に対する行使価格2.9ドルの5年ワラント債を発行した。この1,030万ドルの資金は運転資金及び全社共通資金として使われる。取引は2003年6月25日に完了した。

(出展)

“Superconductor Technologies Inc. Announces \$10.8 Million Equity Private Placement”

Superconductor Technologies Inc. press release (June 24, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJFkEQUA LSTO&product=MzgwU1ZJPVakWQEQUALSTOEQUALSTO&storyId=89902>

“Superconductor Technologies Inc. Closes \$11.0 Million Equity Private Placement”

Superconductor Technologies Inc. press release (June 25, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJFkEQUA LSTO&product=MzgwU1ZJPVakWQEQUALSTOEQUALSTO&storyId=89960>

(ISTE C 国際部 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 8月のトピックス

- 経済産業省、平成 15 年度「超電導電力機器技術基盤の標準化」事業を採択 -

(財)国際超電導産業技術研究センター (ISTEC) が経済産業省に応募していた「超電導電力機器技術基盤の標準化」事業が平成 15 年 6 月 19 日付で採択決定された。

この委託事業は、経済産業省が標準化への新たな取り組みとして、携帯機器用超小型燃料電池、ITS (高速道路交通システム) パイオインフィオマティクス、光触媒、先進複合材料など採択された 35 テーマのひとつである。これらのテーマに関する戦略的な国際標準化を通じて、わが国が優位に立つ新技術・新製品の国際市場の獲得を図るもので、平成 15 年度から 3 年間で研究開発データの収集・分析等を実施し、国際規格原案を作成し、ISO/IEC への国際提案を行うことが義務づけられている。

このたび ISTEC が受託するこの事業は、すでに実施中あるいは採択されている「超電導発電機基盤技術研究開発」、「超電導電力貯蔵システム技術開発」、「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」、「超電導応用基盤技術開発」などの研究開発プロジェクトにおける研究開発成果やデータを収集・分析し、3 年後には超電導発電機用超電導導体の技術仕様書、TS、超電導電力貯蔵システム (SMES) 用超電導導体の公開仕様書、PAS などの国際規格原案作成を第 1 の目的としている。また、この事業は、IEC/TC90 (超電導) の幹事国であるわが国の超電導標準化戦略にも沿うもので、結果的には、経済産業省が掲げるわが国の国際競争力の強化策を支援するものである。すなわち、本事業は、わが国の超電導標準化戦略である、(1)市場適合性の確保、(2)国際標準化の重視並びに(3)研究開発との一体的推進のうちの第 3 項に対応して、研究開発との一体的標準化推進活動を通じて、国際標準化促進と超電導市場の発展に寄与しようとするものである。

現在、長村光造京都大学教授を委員長とする超電導技術調査委員会とこのもとに発電機分科会、SMES 分科会並びに送変電分科会を設置するこの事業の推進体制が概ね合意され、その組織づくりが着々と進められている。

(ISTEC 標準部 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特許情報

平成 15 年度第 1 四半期の公開特許

平成 15 年 4 月 - 6 月に公開された ISTEK 出願の特許をお知らせします。詳しい内容は特許庁のホームページ内の特許電子図書館等の特許データベースをご利用下さい。

- 1) **特開 2003-095650「臨界電流密度の高い MgB₂系超電導体及びその製造方法」**: 本発明は、Mg、B 及び Ti の原料粉を、原子比 Mg : B : Ti = (0.7 ~ 1.2) : 2 : (0.07 ~ 0.3) で混合した混合粉を加圧成形し、600 以上で焼成することにより、MgB₂ 多結晶体に Ti 及び Ti 化合物が分散して存在する MgB₂ 系超電導体を作製することに関するものである。この方法により、臨界温度 39K、臨界電流密度 $1.3 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ (20K で) の MgB₂ 超電導体が得られる。
- 2) **特開 2003-095652「Ca 置換希土類系 123 超電導体」**: 本発明は、製造が容易で高い不可逆磁界を示す希土類系 123 超電導体に関するもので、化学式が REBa₂Cu₃O_{7-d} (但し RE は希土類元素) で表される物質を主体とする希土類系 123 超電導体において、その RE の一部を Ca で置換することにより、温度 77K で c 軸方向に磁界を印加した場合の不可逆磁界が 10T 以上である特性を確保できる。
- 3) **特開 2003-101089「永久電流スイッチ材料及びその製造方法」**: 本発明は、RE123 系超電導体 (RE は Y および希土類系元素で、Nd123 系や Sm123 系など) に Zn や Mg 元素を添加することにより臨界温度を 30K から 96K の範囲で制御し、さらに、あらかじめ形状加工した種膜からの LPE 成長によりミアンダ形状もしくはスパイラル形状の長尺通電経路を持つ LPE 厚膜を作製し、小型、軽量かつ常電導状態で高い電気抵抗値を有する永久電流スイッチを提供する。
- 4) **特開 2003-121076「雰囲気制御型熱処理炉」**: 本発明は、セラミックス、有機化合物および金属化合物などの長尺材料の熱処理に適した雰囲気制御が必要な熱処理炉に関するものである。すなわち、炉心管を二重構造にし、外管と内管の間に 4 枚の仕切り板を設け 2 組のガス供給流路とガス排出流路を形成する。ガス供給流路に複数箇所のガス流出孔を、ガス排出流路に複数箇所のガス流入孔を設け、各ガス供給流路に複数のガスを異なる流速で供給し、ガス流出孔とガス流入孔との間に圧力差を生じさせ、炉心管の軸に対して垂直方向に複数のガスをそれぞれ均一に流す。これにより、炉内の雰囲気制御を所定の条件で適正に行うことができ、特性の向上した均一な長尺材料が得られる。
- 5) **特開 2003-137693「複合基板」**: 本発明は、高品質な高温超電導薄膜をエピタキシャル成長させるために、酸化物超電導薄膜との間に格子不整合が生じない中間層を形成した基板に関するものである。すなわち、MgO、Al₂O₃ 及び SrTiO₃ などの基板上に、中間層として REBa₂TaO₆ (RE : Nd, Sm, Eu, Gd, Dy など) で表される化合物の薄膜を形成し、つづいて、この複合基板上に、NdBa₂Cu₃O_{7-d} などの希土類系酸化物超電導薄膜をエピタキシャル成長させる。前記の中間層の採用により、コスト的にも供給のし易さの点でも優れた基板材料である MgO 及び Al₂O₃ が超電導デバイスの実用基板材として採用することが可能となる。

(SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超伝導科学技術研究会 第29回シンポジウム報告
- 脚光を浴びる超伝導フロンティア -

本シンポジウムは、平成15年6月24日、早稲田大学国際会議場で約120人の参加者を得て開かれた。

合計8人の講演者による夫々興味のある話題が報告された。超電導の基礎科学の面からは「圧力のもたらす驚異の新現象」と題して阪大の清水先生が発表された。物質を極限まで圧縮していくとどうなるかということを探している内容である。すべての物質は高圧下で超電導になるのではという予測の下に、極低温実験に超高压を世界に先駆けて導入し、多くの成果をあげている。これまでに、ヨウ素、臭素、硫黄、酸素、カルシウム、リチウムなどの元素が超電導性を示すことを見出している。

超電導の応用という面からは、早大の石山先生が「Superconductopiaの実現を目指して」と題して、主に学生に対する啓蒙的な講演をされた。超電導特性を活かした様々な応用の可能性に言及し、中でも磁気分離による古紙回生の例や脳磁計の例を挙げながら社会に当たり前の技術として受け入れられるような技術にならなければならないと結んだ。

電力応用では、電中研の秋田氏より、「電力自由化時代の新技術 超電導ケーブルと SMES - 」と題して興味あるお話を聞くことができた。電力自由化とは要するに、供給者側からすると、計画的供給から競争的供給に変化することで、その結果最小限の投資で短期的投資効率を上げなければならない。また、電力の潮流は運用計画ではなく需給で決まる。ということで、超電導地下ケーブルは管路に収容できるので洞道建設よりも短期間で敷設できるメリットがある。SMES は電力貯蔵装置の役割というよりも瞬低対策として重要な意味を持つという講演であった。

強磁場応用ではバルクと線材についての講演があった。

バルクについては芝浦工大 (SRL 特別研究員) の村上先生から「バルク超伝導磁石はいま何に使えるか - 磁石開発と応用展開 - 」と題して、REBaCuO 系 (RE は希土類元素) のバルクが温度 29K で 17T という強磁場の発生に成功していること、企業がバルク超伝導体を用いた磁場発生装置や水浄化装置あるいはマグネトロンスパッタリング装置等の開発を展開していることが紹介された。線材を用いた強磁場発生の利用例として物材機構の木吉氏から「超伝導による強磁場はこんなに利用されている」というテーマで、世界最高磁場発生を誇る NMR 装置を中心に各種応用が紹介された。核融合や SMES に代表されるエネルギー分野、リニア等の輸送分野、MRI や NMR 等の医療・バイオ分野、Si 単結晶引き上げ装置等の材料プロセス分野、磁気分離等の環境分野、および加速器等の素粒子物理分野等「強磁場応用の広がり」についての講演であった。

今話題の量子コンピュータについては NTT の高柳氏から「どうして超伝導で量子コンピュータが実現できるのか？」と題しての講演があった。量子コンピュータの動作原理、国内外の研究状況、NTT での研究開発状況などが分かり易く話された。特に、超電導を用いた量子ビットの読み出しは、50mK 程度の極低温での厳密な実験結果を示され説得力のあるものであった。しかし、具体的なデバイスを用いた演算の詳細を理解することは筆者にはやはり難しかった。

筆者は、「進む超伝導応用 世界の動向」と題して日米欧の開発状況を報告した。

最後に文科省の大竹氏が「注目を浴びる核融合と関連超伝導技術」というテーマで講演された。大竹氏の講演は、ITER に関しては 9 月に建設サイトが決まる予定であり、日本が誘致に積極的なのは、個々の機器開発だけではなく、装置のインテグレーションを経験することが重要だからであること、さらに高温超電導への期待が大きいことなどが熱っぽく語られた。

実用化を強く意識したプログラム構成で、大変有意義なシンポジウムであった。
(SRL/ISTEC 特別研究員 堀上 徹)

[超電導 Web21 トップページ](#)

応用物理学会 第27回春季研究会

「進展のめざましいRE123系線材(実用化への課題)」と題して、平成15年6月20日に行われた研究会の概要を記す。

冒頭、超電導工学研の塩原部長が日本におけるRE123系線材の開発動向を総括した。本年3月に終了した応用基盤プロジェクトの成果としてPLD(超電導層)/IBAD(中間層)線材において46mで74Aの臨界電流を有する線材作製に成功し、またTFA-MOD法により200Aを超える臨界電流を実現したこと等が紹介された。加えて、今年度から開始される後継プロジェクトに関して説明がなされ、500mで300A/cm幅等の目標値が紹介された。

引き続き、各要素技術に関して以下の講演がなされた。

配向基板技術開発では、前田氏(古河電工)よりNi系材料を用いた技術開発で米国が先行し、最近ではAMSC社とORNLの共同開発により10m級の均一高特性線材作製に成功しているとの事であった。また、銀系材料基板開発では、土井氏(鹿児島大)が最近の研究成果として、{110}<110>配向を基本とした基板開発において配向性と平坦性を同時に満たす事の難しさが紹介された。

次に、MOD法による超電導層形成技術においては、筆者がTFA原料を用いたMOD法において厚膜化による高Ic化(210A)の達成と共に、高速化の一環として最も時間を要する仮焼時間の短縮を可能にする原料開発に成功し、今後は長尺化に注力する事を紹介した。また、高橋氏(昭和電線)は、最も低コストが見込めるAll-Solutionプロセスを目指した中間層形成技術の成果として、CeO₂膜を基本とした膜においてGdを添加することで課題であったクラック発生を抑制できたことを紹介した。今後は、反応抑制による特性向上と共に長尺化の検討を行うとの事であった。

気相蒸着法による超電導層の開発では、飯島氏(フジクラ)が最近の成果として100m級線材で38Aを実現したことを紹介し、今後は、更なる大型設備の導入により高速化、長尺化に取り組むとの説明があった。また、山田氏(超電導工学研)は、IBAD中間層の高速化に有効なCeO₂キャップ層の研究成果を中心に紹介した。ここでは、高速化と共に高配向化が実現でき、単結晶並み(=3°)の中間層を実現し、この上の超電導層で3.8MA/cm²のJcを得ている。更に、藤野(住友電工)は、耐久性に優れ、高速成膜が可能なHo系超電導材料の成果を紹介した。様々な基板、中間層上で検討し、最も高い特性として2MA/cm²を超えるJcを得ている。今後は、長尺化と共に両面高Je化を目指すとの事であった。

最後に、上記の開発で得られた線材に対する特性評価の動向として、木須氏(九大)からは、IBAD-PLD線材のJcの面内分布調査により、100mの周期的な揺らぎが観測され、単結晶上の膜との比較により金属基板上での特徴であることが示された。また、雨宮氏(横浜国大)からは、交流損失の解析では、損失の決定因子として磁場の垂直成分が主体であることが示された。

次世代線材プロセス開発も着実に進展し、100m級線材が出始め、実用化への道筋が見え始めたといえる。今後は、更なる特性向上、長尺化と共に、より実用化を意識し高速化や低コスト化も含めた開発へシフトする流れが見えた研究会であった。

(SRL/ISTEC 線材研究開発部 和泉 輝郎)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導応用研究会シンポジウム「SMES 研究開発の最新状況と実用化への展開」から

早稲田大学理工学部
教授 石山 敦士

2003年7月8日(火)、中部電力(株)寛政変電所超電導試験センターにおいて、低温工学会2003年度第2回超電導応用研究会シンポジウムと見学会が開催された。今回は「SMES 研究開発の最新状況と実用化への展開」をテーマに約35名の参加のもと行われた。

シンポジウムでは、まず、辰田昌功氏 (ISTEC) から、国プロジェクトとして1995年度から5年計画でスタートした第2フェーズプロジェクト「超電導電力貯蔵システム技術開発」の最新の状況報告がなされた。本プロジェクトは、NEDOの事業として実施中であり、コスト低減するための要素技術の開発と、高温超電導 SMES の実現可能性とさらなる経済性向上可能性の見極めの技術調査が行われている。コスト低減については、実用化の可能性が見込まれる比較的小規模な系統安定化用途(出力:100MW、貯蔵容量:15kWh)と負荷変動・周波数調整用途(出力:100MW、貯蔵容量:500kWh)に的を絞り、コスト低減効果の大きな超電導コイルを中心とするコスト低減のための要素技術の開発を実施している。また、SMESの機能が、目標コストを満たしつつ実現可能であることを検証するため、系統安定化用と負荷変動補償・周波数調整用を想定した二つの要素モデルコイルが試作された。前者は単一ソレノイドコイルで、九州電力(株)今宿総合試験センターにて通電試験、電流遮断試験等が行われた。後者は4コイルから成るマルチポールソレノイドで、本シンポジウムが開催された中部電力(株)超電導試験センターに据付が完了し、8月よりマルチポール特性や1万回の繰り返し通電試験等を予定している。シンポジウム終了後、本コイルシステムの試験設備の見学が行われた(写真)。以上のコスト低減に関する検討と平行して、高温超電導 SMES に関する技術調査が実施されている。ここでは SMES 用大電流導体の特性評価、高温超電導マグネット技術の調査、Bi系およびY系導体を用いた SMES の概念設計検討等が行われている。



写真 負荷変動補償・周波数調整用 SMES 要素モデルコイルシステム

2番目の講演として長屋重夫氏(中部電力)から、中部電力で進められている瞬低(瞬時電圧低下)補償用 SMES の開発に関する紹介が行われた。IT産業を支える半導体や液晶などのハイテク工場における瞬低対策が急務となっている。我国の電力供給の信頼性を考慮すれば、1秒前後の補償ができれば、瞬低用としてほぼ完全に対応可能となる。SMESは、貯蔵電力を秒単位で放出可能であり、繰り返しによる特性劣化も少ないという特徴を持つことから、瞬低用 SMES の開発に着手した。現在、5MJ級(5MVA・1秒の瞬時出力仕様)瞬低補償 SMES を製作し、7月よりシャープ亀山工場(主要生産品:大型液晶TV)にて実フィールド試験を行う予定である。コイルシステムは、4コイルから成るマルチポールソレノイド配置で、特徴として、ラザフォード導体採用パルスコイル・

高耐電圧の浸漬冷却（小型冷凍機による冷却システム簡素化）・冷凍機冷却の高温超電導電流リードの採用等が挙げられる。SMES 導入に当たっては、高磁界化、高エネルギー密度化によるコイルのコンパクト化が重要となる。高温超電導コイルは、臨界温度が高く、高い熱的安定性を有していることから、コンパクト・高信頼性 SMES の実現の可能性を秘めている。そこで、Bi2212 導体開発を含め、高温超電導 SMES の開発を積極的に進めている。

以上の講演後、3名のコメンテータによる各分野における SMES 応用の可能性について紹介とディスカッションが行われた。

まず、新富孝和氏（高エネ研）より、加速器への応用について紹介があった。医療用シンクロトロンや現在建設中のJ-PARC（Japan Proton Synchrotron Research Complex）のシンクロトロンはパルス運転されるため、数秒の繰返しで数MW～100MW程度のパルス電力を必要とする。SMESを用いてこのパルス電力変動を補償することで、省エネあるいは系統への電力変動抑制ができる。高エネ研では中部電力で開発した瞬低用SMESの規模のものを12GeV陽子シンクロトロンに設置し、パルス運転される補助機器電源の電力補償を行い、この種のSMESの実用化に役立つ長期間フィールドテスト計画をしつつある。

次に中島洋氏（JR東海）から、電鉄への応用可能性について紹介があった。新幹線の1変電設備における列車通過に伴う負荷変動の実測例や、フライホイールの適用例などについての紹介がなされたが、現状においては、電鉄サイドにおけるSMESのニーズは「すぐに必要」という状況にない。

最後に、三戸利行氏（核融合研）より、核融合実験装置へのSMESの適用について紹介があった。核融合研のLHDは、5年間に11回のシステム停止を経験しているが、そのうち5回が停電によるものである。ほとんどの停電・電圧低下は2秒以下であることから、LHDの低温システムの高信頼化を目的として、瞬低対策SMES（3.5MW,2秒間）の研究開発を実施している。経済性に優れたNbTi超電導導体を用いた、伝導冷却型の超電導パルスコイルを開発している。

以上のように、加速器、核融合実験装置で期待されるSMESの容量は、瞬低用SMESとほぼ同規模（3～5MW,1～2秒）のものである。SMES実用化に向けて、中部電力の瞬低用SMESの実フィールド試験が成功し、雷による工場の瞬低補償が実際に可能であることが検証できることを期待したい（司会者）との発言で締め括られた。

[超電導 Web21 トップページ](#)

第4回 Pasreg ワークショップ会議報告

超電導工学研究所
芝浦工業大学
村上雅人

2003年6月30日から7月2日の日程で、ドイツのイエーナで第4回 Pasreg ワークショップ(4th International Workshop on Processing and Applications of Large grain (RE)BCO Superconducting Materials)が開催された。イエーナには Gawalek 教授がリーダーを勤める IPHT 研究所があり、ヨーロッパのバルク応用研究者にバルク超電導体を供給していることで有名である。本会議は、Gawalek 教授と、ドレスデンの IFW の Krabess 教授が議長を勤めた。

本ワークショップはバルク超電導体に焦点を絞ったものであり、参加人数も 100 人程度の小さな会議であるが、それだけに専門性の高い内容をじっくり議論できるという利点がある。また、本会議では IEC-TC90 の「捕捉磁束密度の測定方法」の標準化をサポートする目的で、7月1日の午前中に、測定方法について議論するセッションを設けるとともに、セッション後に国際委員が集まって、標準化を議論する WG10 会議を開いた。

全体の印象を述べると、バルク超電導体に関する研究は、ヨーロッパと日本が盛んであるが、米国の貢献が少ないというものである。また、中国グループがかなり力を入れて取り組み始めたという印象も受けた。これは、米国のパワー応用関係の予算が YBCO 線材に集中していることによる。ただ、ヒューストン大学の Salama 教授が、最近バルク超電導体で非常に高い捕捉磁場が得られたことをうけて、超電導ローンチャーの研究を開始したことが印象に残った。ボーイング社が進めている米国における超電導フライホイール開発の内容は紹介されなかった。

材料に関しては、超電導工学研究所の Muralidhar が中心になって開発した RE 混合系の研究が数多くのグループも取り組んでおり、単一系よりも高い臨界電流が得られるという報告がなされた。また、Muralidhar が Gd211 を ZrO₂ ボールを使って微細化する過程で、偶然ナノメータオーダーの Zr-Gd-Ba-Cu-O 粒子が分散することで 90K における J_c が 40000A/cm² に達し、液体酸素で超電導浮上が可能になったという報告は大きな注目を集めた。捕捉磁場に関しては、超電導工学研究所の成木が Gd-Ba-Cu-O において 77K で 4.1T という高い値を報告した。

プロセスに関しては、接合に関する報告が多かった。かつては、同一の試料を切り出して、再び接合するという研究が主流であったが、最近では、異なるバッチの試料を接合する方向へシフトしている。ウクライナの Prikna は特殊な治具を用いることで複雑形状の試料の接合も可能であると報告した。

応用に関しては、名古屋大学の水谷らがマグネトロンスパッタリング装置の磁場発生装置としてバルク超電導磁石を利用すると、高真空中でプラズマが得られること、強磁性体の蒸着が可能となること、また収率が向上することなどを報告し大きな注目を集めた。また、アイシン精機の岡が磁場発生装置への応用を紹介した。ヨーロッパでは、超電導モータと限流器への応用が盛んである。この分野についても多くの報告があった。

標準化に関しては、オーストリアの Weber がまず測定において重要な点をまとめた。つぎにケンブリッジ大学の Cardwell がヨーロッパでのラウンドロビンテストの結果を報告し、4機関の測定結果が比較的よい一致を示していることを報告した。その後、IEC-TC90 の WG10 の緊急ミーティングを convenor の Hull 氏の主催で行った結果、標準化方法としては、工業的に使われるものではなく、誤差が 5% 以内に入る測定方法を推奨することとした。よって、議論のあったパルス励磁は、磁化方法としては推奨しないことを明記するという事で合意した。

最後にこの分野でのすぐれた研究者を顕彰する 2003 Pasreg Award of Excellence は、IFW の Fuchs, Oswald motor の Oswald, 名古屋大学の水谷宇一郎、芝浦工業大学の村上雅人が受賞した。

[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4)

超電導工学研究所
芝浦工業大学
村上雅人

1. 超電導は常電導とは違う相

前号では、マイスナー効果の発見によって、超電導状態が常電導状態とは異なる新しい熱力学的状態であるということが明らかになったことを説明した。それでは、何が常電導状態と異なるのであろうか。

すでに紹介したように、金属の常電導状態とは、最外殻の電子が金属原子の束縛から解放されて、自由に金属格子の間を動きまわっている状態である。この際、自由電子は、金属格子や他の電子との相互作用はほとんどないので、「自由」という名前がつけられている。しかし、自由と言っても、負に帯電した電子と正に帯電した格子とのクーロン相互作用をゼロにすることはできないので、電気抵抗はゼロにはならないということを説明した¹。

それでは、超電導状態とはいったいどういう状態なのであろうか。研究者によっては、複数の電子が互いに相互作用することで、結果的に電気抵抗がゼロになる状態ができるのではと考えた。しかし、前号でも紹介したように3体以上の運動方程式を解析的に解くことはできない。金属には、無数の電子(1モルあたり 10^{24} 個程度)が存在するから、その相互作用を計算するなど到底できない。

そこで、とりあえず2個の電子に注目して、その相互作用で電気抵抗ゼロを説明できないかに取り組んだのである(補遺参照)。しかし、このような考えには非難も多かった。なぜなら、電子は負に帯電しているので、互いに反発しあうだけであり、正の相互作用など有り得ないというのが、その骨子である。

確かに、電子どうしは反発しあうだけである。そこで、第三者を介在することで、電子どうしが引力相互作用を持つことができないかというアイデアが浮かんだ。それが、正に帯電した格子の存在である。負の電子と正の格子であれば、互いに引力が働く。しかし、前号で紹介したように、この引力こそが、電気抵抗の本質的原因である。電気抵抗の原因が、電気抵抗を消すことに役立つなどということが起こり得るのであろうか。

2. 超電導メカニズム

絶対零度であっても、正に帯電した格子の中を負に帯電した電子が運動しようとする、必ず正と負の電荷のあいだに働くクーロン力の影響で、電子の運動は妨げられる。この様子を模式的に示すと、図1(a)のように電子が図の位置にくると正に帯電した格子がわずかであっても変形し、その影響で格子振動が生じる。この結果、電子の運動エネルギーが格子振動に奪われてしまう。これが本質的な電気抵抗の原因である。

ここで、この格子振動を誘起した電子と十分近い位置に他の電子が居るものとしよう。最初の電

¹ 電子と格子の相互作用が弱いほど、電気をよく通す、つまり電気抵抗が低いということになる。金、銀、銅はその典型である。

子が格子の引力相互作用によって格子間距離が狭まることになるので、その領域は局所的に正電荷の濃度がまわりより高くなっている。すると第二の電子は、図(b)のように、この正電荷濃度の高い領域から引力を受ける。つまり、加速されることになる。言い換えれば、最初の電子は、格子にエネルギーを奪われるが、第二の電子は逆に格子からエネルギーを奪うことができるのである。

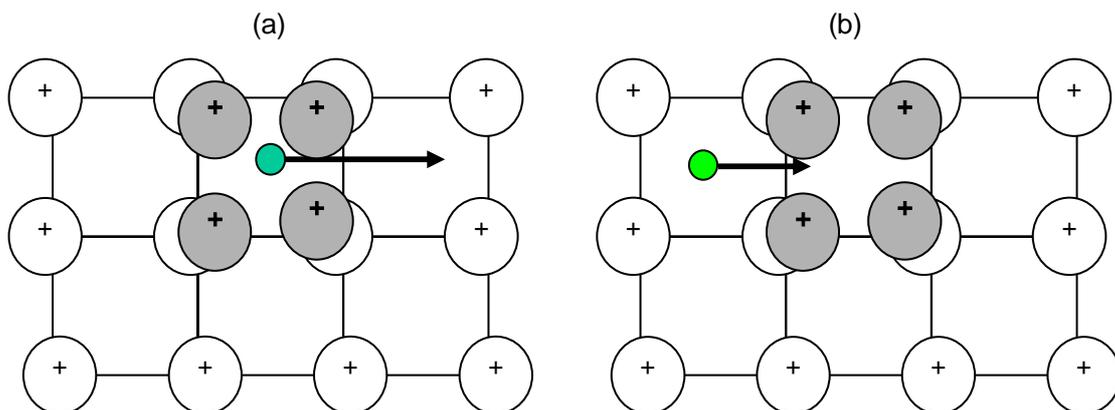


図 1 絶対零度において格子振動がない状態においても、負に帯電した電子が正に帯電した格子の中を運動すると、クーロン引力が働くため、電子と格子の間に相互作用が存在する。このため、電子が移動すると格子が電子に引き寄せられ図(a)のように変形する。これが格子振動を引き起こし、電子のエネルギーが格子に奪われる。また、これが電気抵抗の原因になる。

ところが、十分近くに図(b)のように第二の電子が存在すると、この電子は正電荷濃度の高くなった領域から引力を受け、加速されることになる。つまり、最初の電子が奪われたエネルギーを第二の電子が奪い返すことができるのである。この結果、電子のペアで考えれば、エネルギー損失のない状態ができあがる。これが超電導機構である。

そんなうまい話があるかと首を傾げたくなるが、実は、超電導状態では、ある電子が格子に奪われたエネルギーを、別の電子が奪い返すことで、これら2つの電子ペアで考えれば、エネルギー損失がない状態ができているのである。この電子対のことを、その提唱者にちなんでクーパー対 (Cooper pair) と呼んでいる。

そうは言っても、第一の電子が奪われたエネルギーをそっくりそのまま次の電子が受け取るなどということが、そう簡単に起こるとは考えにくい。ここで、われわれはミクロの世界を支配する量子力学の世界へ少し足を踏み入れなければならない。

電子の運動を支配するのは、ニュートン力学ではなく量子力学である。量子力学によると、電子のようなミクロ粒子の世界では、エネルギーが連続的に変化するのではなく、飛び飛びの値しかとれないことが分かっている。いわば、0, 1, 2, 3, ...のようにデジタル化、つまり量子化されているのである。

これを、いまの電子対にあてはめてみよう。電子のエネルギーはデジタル化されているから、最初の電子が格子に奪われるエネルギーもある決まった量となる。これを仮に k としよう。すると、第二の電子が格子から奪うことのできるエネルギーも、自由な量ではなく、 k ということになる。つまり、ミクロの世界ではやりとりできるエネルギーは飛び飛びの値しか取れないので、結局、やり取りできるエネルギーも一定となるのである。これを、電子のペアとして $(-k, k)$ のように表記する。あたかも、電子と格子がひとつのボールを投げ合っているような状態なので、電子と格子の

キャッチボールと呼びひともいる。

3. BCS の壁

電子が格子との相互作用を通して、ふたつの電子がペアをつくり、その結果電気抵抗ゼロの状態ができるということを提唱したのは、Bardeen, Cooper, Schrieffer という3人の研究者である。このため、3人の頭文字をとって、BCS 理論と呼ばれている。BCS 理論の登場によって、それまでなぞとされていた超電導の性質がすべて説明できるようになった。まさに奇跡の理論であったのである。

超電導機構が解明されたことで、興味の対象は、果たしてどれだけ高い温度で超電導現象は起こるのかという点に移った。超電導を工業的に利用するためには、できるだけ高い温度で超電導が発現する方がありがたいからである。

ここで、BCS 理論の基本は、電子が格子に及ぼす影響である。これを専門的には電子格子相互作用と呼んでいる。電気をよく通す物質は、この相互作用が弱いことを意味している。事実、金や銀や銅などの良導体は超電導にはならない。つまり、電子が格子に与える影響が弱すぎて超電導機構が働かないのである。

一方、温度が高くなると、格子の熱振動がはげしくなるので、電子が引き起こす小さな振動など、その中に埋もれてしまう。つまり、温度が高くなると超電導機構が働かなくなること示している。よって、より高温で超電導が発現するためには、熱振動に勝つぐらい、電子が格子に与える影響を大きくする必要がある。

それでは、電子格子相互作用は、どこまでも強くできるのであろうか。実は、あまり強くなり過ぎると、電子が格子に捉えられて動かなくなり、絶縁体になってしまう。電子が動けないのでは、超電導になりえない。つまり、自由電子が自由に動ける状態で、強くできる電子格子相互作用には限界がある。これは、この機構では超電導になる温度に上限があることを示している。これを BCS の壁と呼んでおり、30 - 40 K 程度と考えられている。

1986 年までは、多くのひとが、BCS の壁が限界であろうと考えていた。それが覆されたのが、高温超電導の発見である。いまでは 130K という高温で超電導が発現している。しかし、高温超電導のメカニズムについては、いくつか有力な理論が提出されているものの決着がついていないのが現状である。それだけに挑戦しがいのある分野とも言えるのだが。

補遺 本文では、やっつけ仕事で 2 個の電子の相互作用を考えたような書き方をしてしまったが、もっと本質的な理由がある。少し専門的になるが補足させていただく。電子などのミクロ粒子は、フェルミ粒子とボーズ粒子に分類される。フェルミ粒子は、ひとつのエネルギー準位に 2 個の粒子しか入れない。よって、系のエネルギーは粒子数とともに大きくなる。一方、ボーズ粒子は、最低エネルギー状態にすべての粒子が分布できる。実は、スピンの半奇数の電子が 2 個ペアをつくれれば、ボーズ粒子となり、最低エネルギー状態に凝縮できるのである。これをボーズ凝縮と呼んでおり、超電導は、このような状態であると考えられていたのである。

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：次世代線ってどのようなものですか？

A：超電導でいう次世代線とは、1986年以降に発見された酸化物超電導体のうち、イットリウム(Y)を構成元素とする銅酸化物超電導体の線材を指します。また、この線材の形態がテープ状であることから、次世代テープ線とも呼ばれています。一方、外国では次世代線の作り方に因んでコートド・コンダクタ(Coated Conductor)と呼ばれています。

それではどういうわけで次世代線と呼ばれるかを説明しましょう。

酸化物超電導体の結晶は、ちょうどトランプやマージャン牌のような形態をしていて、これに電流を流す場合、それらの繋がり方で電流の大小が決定された事から世代別の呼び名が付きまして。

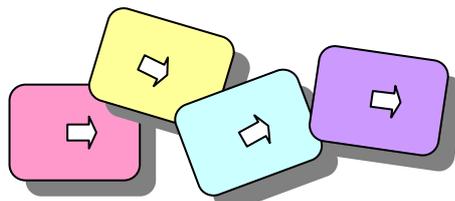
まず、1986年の高温超電導体の発端となるランタニウム(La)系酸化物超電導体にはじまり、Y系酸化物超電導体、ビスマス(Bi)系酸化物超電導体、タリウム(Tl)系酸化物超電導体などが次々に発見されました。これらを何の工夫もなく線材にしますと、酸化物の結晶がいろいろな方向を向いたものになりました。この線には1cm²当たり1000アンペア級の電流しか流す事ができませんでした。これが初代の線材です。

つぎに、トランプすなわち結晶を上下方向で一方向に揃える(これを1軸配向とかc軸配向という)技術がBi系酸化物線材で成功しました。これが現世代線で、1cm²当たり1万アンペア級の電流が流せる事や1km長級の線材加工もできることから、マグネットやケーブルとして一部ではすでに実用化されています。

さらに、Y系酸化物超電導線では、結晶のすべての方向を整然と並べる技術(三次元的配向とか面内配向という)が日本で生まれました。これが次世代線です。この次世代線にはなんと初世代線の500倍以上に相当する1cm²当たり10万から100万アンペア級の電流を流せることは実証済みですが、まだ数10m長級の加工技術に留まっています。

人間の世代交代はおよそ30年といわれていますが、酸化物超電導線は発見から16年か17年間に人間の6倍以上のスピードでの世代交代を遂げようとしています。この科学技術の威力を念じて、一日も早く次世代線の長さが1km長級を達成し、実用化されることを期待しましょう。

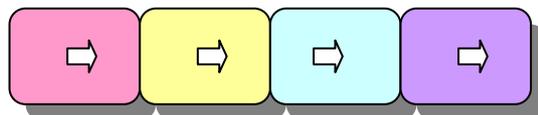
(編集局 田中靖三)



初代線



現世代線 (Bi系線材)



次世代線 (Y系線材)

[超電導 Web21 トップページ](#)