

超電導応用の省エネ効果の調査報告から

情報通信機器の電力需要予測と超電導化の環境・省エネ効果

(財)国際超電導産業技術研究センター(ISTEC)は、新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受け「超電導応用技術の省エネルギー効果に関する調査報告書」を平成13年3月に発行した。この調査は、将来飛躍の発展と普及が見込まれる情報通信機器とシステムの電力需要予測を行い、機器を超電導に置き換えることによる環境、省エネルギー効果を明らかにしている。

まず今後5～10年の各種情報通信機器に対して、画像配信など指数関数的通信トラフィックの増加と従来技術である半導体の進歩を前提として、機器の性能、台数、稼働時間等が詳しく分析されている。つぎにサーバーと付帯空調設備は、サーバー1台当たりの消費電力と通信トラフィック量をパラメータとして電力需要予測が行われている。

基本推計による電力需要は、2000年の418億kWhに対して、2005年に860億kWh、2010年に3,268億kWhになる。これはそれぞれ現在のわが国電力需要量の4.3%、8.9%、33.8%となり、大きな電力需要となる。二酸化炭素排出量に換算するとそれぞれ1.2%、2.6%、9.6%に相当し、環境負荷も見逃せない。

一方、サーバー、メインフレームコ

ンピュータ、ルータ、通信基地局用フィルタに超電導技術を適用することによって、大幅な省エネが可能である。2005年で約28%、2010年で約35%の省エネが見込め、環境負荷も低減できる。これら超電導製品のうち通信用フィルタが既に実用化されており、次いで、ADコンバータやルータ、更に、サーバーの製品化が展望されている。集積度の向上、半導体や光技術とのインターフェース、実装技術などの開発課題があるが、超高速・超低消費電力を特長とする超電導素子はシリコン半導体が遠からず突き当たる速度と消費電力の壁を克服しうる有力なデバイスと期待されている。

折しも、日本のIT政策は世界最高水準の超高速ネットワーク・インフラ整備を目標に掲げ、3千万世帯を高速インターネットに、1千万世帯を超高速インターネットに常時接続を可能とする計画である。最近のカリフォルニア電力危機は旺盛な電力需要が底流にあることは誰もが認める。加速する情報化によって、電力危機が起こる恐れを回避するためにも、実用化が展望されるようになった超電導応用技術の開発スピードアップが提言されている。

21世紀において、わが国の国民生活の向上と経済産業の発展を維持しながら、省エネルギー、環境に貢献できるキーテクノロジーとして、超電導技術が益々重要となってきた。

(報告書概要版のダウンロード先：
<http://www.istec.or.jp/>)
(ISTEC調査・企画部長 上羽良信)

超電導関連6月・7月の催し物案内

6/10-14

7th European conference on Advanced Materials and Process(EUROMAT2001)
<http://www.fast.mi.it/aim/euromat.htm>

場所:Italy(主催:EUROMAT2001)

6/19-22

8th International Superconductive Electronics Conference (ISEC'01)
<http://www.rcsuper.osaka-u.ac.jp/isec/>

場所:オサカ府大阪市(吹田市)
(主催:ISEC'01組織委員会)

6/24-27

第13回国際超電導ワークショップ
2001 International Workshop on Superconductivity(The 5th Joint ISTEC/MRS Workshop)
<http://www.istec.or.jp/WORK/workshopJ.html>

場所:ハワイ州ホノルル,USA(主催:ISTEC)

7/1-6

International Conference on Materials for Advanced Technologies Symposium P: Superconducting Thin Film and Devices

<http://www.mrs.org.sg/icmat2001>

場所:Singapore(主催:MRS)

7/16-20

CEC/ICMC2001

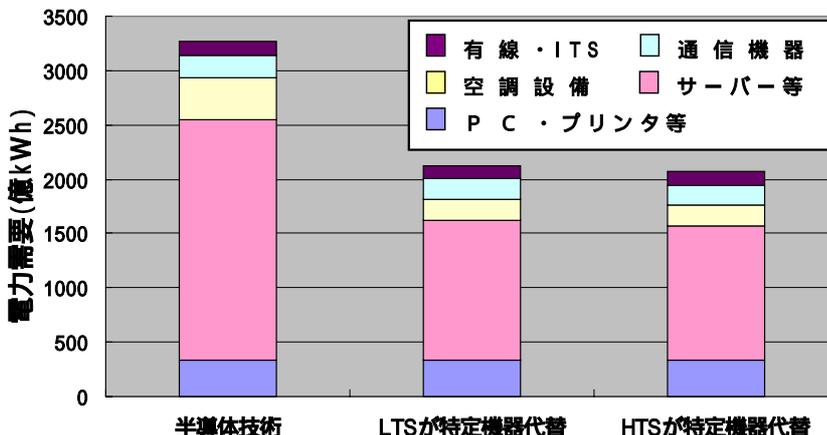
<http://www.cec-icmc.org>

場所:Madison,WI(主催:CEC/ICMC)

目次

超電導応用の省エネ効果の調査報告	1
超電導関連6月・7月の催し物案内	1
ユビキタス情報社会とは	2
独立行政法人 産業技術総合研究所 発足	2
NEDO 「高機能超電導材料技術研究開発プロジェクト」をISTECが受託	2
ビジネスの鼓動	3
超電導速報 - 世界の動き	4
新聞ヘッドライン	4
科学・技術の先端	5
超電導エネルギーの神秘(その2)	6
読者の広場	7
特許情報	7

情報通信機器の2010年電力需要予測と超電導利用の省エネ効果
(ただし、LTS:低温超電導体, HTS:高温超電導体)



ユビキタス情報社会とは

(社)電子情報技術産業協会、(財)新機能素子研究開発協会、(財)光産業技術振興協会及び(財)国際超電導産業技術研究センターによって構成された電子基礎・基盤研究のあり方懇談会が2001年3月に纏めた報告書「情報通信ネットワーク機器基盤研究開発プログラムの提案」によると、「ユビキタス情報社会とは、様々な活動シーンにおいて、時間や場所の制約を受けることなく、安全性の高い多様な情報ネットワークから必要とする情報を、誰もが意識しないで簡単に安心して活用できる社会である」と定義されている。

ユビキタス情報社会という言葉は、米国 Xerox 社のパロアルド研究所 (PARC) の Mark Weiser 氏提唱の ubiquitous computing に由来して、この ubiquitous と究極の情報社会とを組み合わせた造語として、21 世紀の社会を象徴する言葉になるつつある。

わが国は、沖縄サミット以降情報技術 (IT) の遅れと IT 革命の波及性を認識し、21 世紀における社会目標である生産性向上、雇用創出並びに安定的経済成長を達成するためには、ユビキタス情報社会を実現することにあるとの戦略を策定した。また、今年1月6日に施行された「高度情報通信ネットワーク社会形成基本法」通称「IT 基本法」並びに「第2 科学技術基本計画」のもとに社会目標としてユビキタス情報社会を目指している。

このユビキタス情報社会実現のためには、IT 並びにネットワーク基盤技術開発の促進、IT ハード産業の支援及び ネットワーク利用産業基盤強化を総合的市場イメージの基で迅速に遂行することの必要性が明らかになっている。特に、IT 項に関連して「情報の流れ」と「情報のアクセス」におけるボトルネックを解消するため、光・ワイヤレスネットワークデバイス、光・電子デバイス、超電導デバイス、ナノテクノロジーなどの研究開発基盤の体制整備と研究開発推進が急務とされている。中でも、超電導 SFQ を用いたルータデバイス、高速サーバ用超電導デバイス及び超電導フィルターや広帯域超電導 AD 変換器などの受動ワイヤレスデバイスがユビキタス情報社会のキーデバイスとなることへの期待は大きい。

(編集局 田中靖三)

独立行政法人産業技術総合研究所発足

平成 13 年 4 月、旧通商産業省の 15 の工業技術院試験研究所を母体として、全国に広がる研究拠点を統合した独立行政法人産業技術総合研究所 (産総研) が発足した。

英語表記は National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (略称は AIST) である。

経済産業ジャーナルや産総研ホームページ (<http://www.aist.go.jp>) によれば、研究分野の特殊性、研究のミッション、研究開発のフェーズなどに対応して、様々な形態 (研究センター、研究部門、研究系、研究ラボ、連携研究体など) の組織が柔軟に配置されている。

超電導研究は研究センター群、研究部門群、研究ラボ群において、下図に示す組織で進められている。強相関電子技術研究センターにおける新しい電子物性とそれを用いた新規デバイスの研究、計測標準研究部門での電磁気標準研究、電力エネルギー研究部門での大電力の低損失輸送の研究、エレクトロニクス研究部門での革新的情報処理デバイスの研究、人間福祉医工学研究部門およびライフエレクトロニクス研究ラボでの非侵襲医用計測・診断法の研究などの一環として、超電導に関連する最先端の産業技術研究課題が遂行されている。

(ISTEC 国際部 吉田政次)

NEDO「高機能超電導材料技術研究開発」プロジェクトを ISTEC が受託

財団法人 国際超電導産業技術研究センター (ISTEC) は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が公募した「高機能超電導材料技術研究開発」を受託した。

高機能超電導材料技術研究開発は、高温超電導マグネットを幅広く産業用機器に適用するためのビスマス (Bi) 系高温超電導線材の高性能化を図るものである。

この開発の内容は、

- ・ビスマス系銀シース線材の低銀比化と高強度化を図り、より高機能なビスマス系長尺線材の作製技術の開発
- ・より広い産業応用が可能となる異形 (レーストラック型) コイルマグネットの作製技術及びこれに付随した電力供給・冷却システム技術の開発
- ・高磁場 (大空間) 応用等の産業応用に関して省エネルギーが実現可能なマグネット仕様の検討
- ・各種高温超電導線材開発技術の動向調査並びに、各種産業用マグネット応用への可能性及び経済効果に関する総合調査の実施である。

今回の開発は、平成 13 年度から 2 年間の予定で、現行の NEDO「超電導応用基盤技術研究開発」プロジェクト (平成 10 ~ 14 年度、プロジェクトリーダー: 田中昭二 超電導工学研究所長) の中で実施され、平成 13 年度の研究予算は約 5 億円である

(ISTEC 総務部 安住光弘)

独立行政法人 産業技術総合研究所における超電導関連組織



ビジネスの鼓動 高温超電導体磁気分離浄水 システムの実用化

(財)国際超電導産業技術研究センター (ISTEC) と株式会社日立製作所は、かねてから新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成事業として、樹脂含浸型高温超電導バルク体を用いた水浄化装置の開発を進めている。この度、ISTEC が6月5日都市センターホテルにて開催する超電導技術動向報告会において、処理能力100t/日の試作装置の開発成果を発表することとなった。

従来この種のシステムは凝集沈殿法など数多く開発されているが、装置が大がかりである、操作がバッチシステムである、浄化処理によって排出される汚泥濃度が低いことによる排出量の増大、処理時間が数時間かかるなど総合的処理能力が低いものであった。

新しく開発した磁気分離浄水システムの特徴は、伝導冷却によって40-50Kに冷却された33mm角の高磁界高温超電導バルク体11個を装着した磁気分離ドラムと回転フィルタドラムの2ドラムで構成することによって、連続浄化運転と高速浄化処理の目的を満足させた点にある。

浄化原理は、これら2つのドラムの下部を生下水に予め磁性紛と無機系凝集剤を加えたフロック混合液を接触させ、回転フィルタによって浄化水を抜き取りと同時に、フィルタ面に付着したフロックを対向する磁気分離ドラムによって回転除去するものである。

このシステムの性能は、体格が約1m³とコンパクトであり、汚濁粒子(SS)濃

度が20mg/lから90mg/l相当の生下水に対して、汚濁粒子除去率90%以上、回収汚泥含水率96%以下の高濃度処理能力100t/日である。

このシステムの性能を凝集沈殿法などの従来設備と比較すると、除去率が同等であるにもかかわらず、設備がコンパクトで、連続浄化運転が可能であり、その処理能力が従来法の約20倍と著しく向上している。

また、浄化対象物質も、アオコなどの汚濁物に加えて、生下水中のリンにも適用可能で、リン酸鉄として有効に除去される。

この浄化並びに処理能力は、世界でも類例がなく、生活廃水、工場廃水、病院等施設廃水、汚染湖沼などの浄化設備への適用を加速するであろう(日立製作所機械研究所佐保典英主管研究員)。

また、佐保氏によると、磁性粉等の運転コストを軽減するために高温超電導バルク特性のさらなる改良、稼働率の高い処理能力400t/日級のコンパクトシステムの開発、長期運転試験の実施、設置サイトとの連携等が順調に進展すれば、遅くとも平成16年には実用される見通しである。

(編集局 田中靖三)

定着し始めた冷凍機冷却型 超電導マグネット市場

独立行政法人 物質・材料研究所 (旧科学技術庁金属材料技術研究所) の佐藤明男氏が1999年に報告した「低温産業の最近の市場動向」によると、1993年に商用ベースの冷凍機冷却超電導マグネットが登場して以来、

1999年度で累積136台の冷凍機冷却超電導マグネットが出荷された。これ以降の年間出荷総数は約40台の水準を維持しており、市場規模は約10億円と推定される。

1993年以前の超電導マグネットは、高価な液体ヘリウムを用いる浸漬冷却方式によって特定の研究機関に限定されて使用されていた。このマグネットを健全に運転するためには、液体ヘリウムの取り扱いや超電導マグネットの運転に高度な専門知識を必要とするものであった。

一方、1993年以降普及し始めた冷凍機冷却超電導マグネットは、超電導コイルを冷凍機によって伝導冷却するもので、液体ヘリウムの取り扱いや超電導の高度な知識を一切必要とせず、ボタン操作のみで誰でも運転できる特徴を有している。この利便性が急速な普及と市場定着の主要な要因となっている。

この冷凍機冷却超電導マグネットは、

超電導コイル、高温超電導電流リード、冷凍能力W級冷凍機(通常G-M冷凍機)、クライオスタート及び電源回路から構成される。

超電導コイル本体に適用する超電導材料は、すべてNb-Ti、Nb₃Snなど低温超電導体である。

最近、これらに続くものとして、株式会社東芝は、住友電工及び信越半導体との共同で銀シースBi-2223線材を用いた装置の開発を完了した(同社電力・産業システム技術開発センター)。

また、電流リードには、Bi-2223、Y-123などの高温超電導体が適用されており、外部からの熱侵入を通電電流100Aのとき0.8W以下に低減でき、冷凍機への入力負荷の低減に大きく寄ってきたという。

冷凍機冷却型超電導マグネットの用途開発は今後の重要課題であるという(同社電力システム社原子力開発営業部先端エネルギー担当)。

現在、商品としての到達最高磁界は15T(4.2K)であるが、5T型と10T型が普及しており、理化学研究用に供されている。たとえば、高分子や有機物研究用には大口径5T型が主に利用されている(同)。

将来的には、すでに開発されているシリコン単結晶引き上げ装置に代表されるような20K近傍で動作する大口径システムの普及への期待が大きい。特に、高温超電導材料は高温動作と変動磁界中での動作特性が差別化技術であり、冷凍機冷却型超電導マグネットの市場における棲み分けも明確になりつつある。

(編集局 田中靖三)

回転膜



汚泥



膜磁気分離槽 (処理量 100m³/日)
(株)日立製作所 提供



シリコン単結晶引き上げ装置用
高温超電導マグネット
(株)東芝 提供



超電導速報 世界の動き (2001年4月)

電力応用

American Superconductor Corporation (2001年4月2日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、2000年度第4四半期の収益見積もりを下方修正した。収入は、当初予想(\$550万~900万)から減額、現在は\$250万と予測している。年度を通しての収入予測についても、当初の\$1,950万~2,300万から、\$1680万へと減額した。その理由として、同社は、SMESの売上げが落ちているためとしており、メイン・ユーザーである電力、半導体製造関連企業が昨今の経済事情及び規制の問題から、SMESの購入に慎重になっているためと見られる。

(出典)

“American Superconductor Reduces Revenue and Earnings Estimates for the Fourth Quarter of Fiscal 2001” (American Superconductor Corporation Press Release; April 2, 2001)

<http://www.amsuper.com>

詳細は出典を参照。

American Superconductor Corporation (2001年4月2日)

John Oliver 議員が、マサチューセッツ州デブンの American Superconductor Corporation (MSC) HTS ワ이어製造プラントを視察した。同プラントは世界で初めての大規模 HTS 製造施設である。同プラントは、2002 年前半に試験操業を始め、同年後半には商業生産に入る予定。

(出典)

“Congressman John Oliver Tours Construction Site for American Superconductor’s First HTS Wire Manufacturing Plant”

(American Superconductor Corporation Press Release; April 18, 2001)

<http://www.amsuper.com>

詳細は出典を参照。

MRI とセンサー応用

Oxford Instruments plc (2001年4月4日)

Oxford Instruments の Eynsham 工場 で、4月5日、NMR 研究者の技術討論会 が開催された。日本の科学技術装置

メーカーである JEOL も英国内の NMR ユーザー 50 社を招待した。同討論会では、Oxford Instruments の 900MHz ~ NMR用超電導磁石や今年後半にオープンされる予定の 900MHz ~ NMR を設置した新しい研究所の紹介が行われた。

(出典)

“Information exchange for NMR scientists”

(Oxford Instruments News; April 9, 2001)

<http://www.oxford-instruments.com/SCNNWP361.htm>

詳細は出典を参照。

モーター応用

American Superconductor Corporation (2001年4月25日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、米国海軍研究所 (ONR) との間で総額 \$310 万の第 3 次契約を締結、電気推進艦に向けた HTS モーター及び関連サブシステムの開発を継続して進めることになったと発表した。AMSC は、本契約に係る開発は今後 9 ヶ月で完了させ、2003 年末の海域実験に向けた次の契約に進みたいとしている。この HTS モーターは、従来のモーターに比べ 1/3 の重量、1/5 の大きさであり、操船性や燃料効率の大幅な改善等多くの利点が見込まれている。

(出典)

“American Superconductor Announces Third Contract from U.S. Navy for Development of HTS Ship Propulsion Motors”

(American Superconductor Corporation Press Release; April 25, 2001)

<http://www.amsuper.com>

詳細は出典を参照。

通信

Superconductor Technologies Inc. (2001年4月24日)

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、2001 年第 1 四半期の実績を発表した。製品の総売上は、\$250 万で、前年同期に比べ 150% 増。政府契約は、前年同期の \$130 万に比べ、\$110 万と微減。ネットの収益は、前年同期に比して 69% 増の \$280 万。HTS SuperFilter™ の増加が、同社の製品売上の大幅な増加に大きく寄与した。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Reports First Quarter 2001 Results”

(Superconductor Technologies Inc. Press Release; April 24, 2001)

<http://www.supotech.com>

詳細は出典を参照。

(ISTEC 国際部 マーナ・ハロッド, 津田井 昭彦)

新聞ヘッドライン (4/19-5/18)

強磁場中で超電導現象

4/19 日刊工業新聞、日経産業新聞、日本工業新聞、毎日新聞、電気新聞
磁束量子回路 新超電導材で製作へ
NEC 高速ルーターへ応用

4/24 日経産業新聞

線材化容易な高温超電導金属間化合物ターゲット材 加付化学

4/25 日刊工業新聞

医療機器、故障を事前察知 GE 横河メディカル ネット使い監視

まず MRI 向け 4/26 日経産業新聞

甦れニッポン 科学技術創造立国へ
超への挑戦 73 超電導エネルギーを貯める

4/26 日本工業新聞

わが国産業を支える理工系大学
豊橋技術科学大学

4/26 日本工業新聞

21 世紀の夢実現 素材・エネルギー：次世代技術の光関連技術、高性能センサ -、高温超電導・・・
開発機能強化 4/26 日刊工業新聞

同 交通：05 年万博契機に陸・海・空とも変ぼう 4/26 日刊工業新聞

強磁場で「超電導」常識破る現象
発見 物質研など

4/27 朝日新聞夕刊

強磁場有機超電導現象 従来理論
覆す BETS 5/8 日刊工業新聞

核融合実験炉誘致で調査委
選定条件など議論 文科省

5/9 日経産業新聞

「C₆₀」研究、活発化の兆し
ベンチャー設立、応用目指し

5/10 日経産業新聞

社説 21 世紀型材料「超電導」に
新たなブーム 5/15 化学工業日報

1 平方センチに電流 40 万アンペア
高温超電導の電線開発

5/15 毎日新聞、電気新聞、
日刊工業新聞、日本工業新聞、
日経産業新聞

高温超電導マグネット 蓄積エネ、
世界最大を実現

5/16 電気新聞、日刊工業新聞、
電波新聞、日本工業新聞、日経産業
新聞、化学工業日報、鉄鋼新聞

長さ 3.5 キロ、断面は矩形 NMR 向けに
超電導線材 ビスマス系で実現

5/16 日本工業新聞

ネット社会揺るがす力 量子コン
ピューター 5/16 日経産業新聞

「早急に候補地選定を」ITER

所長、日本に要望
5/17 日経産業新聞

高温超電導ケーブル実証試験

東京電力と住友電工 全長 100 メートルに
課電・通電 来月から 1 年間

5/17 日本工業新聞

科学・技術の先端

イットリウム系酸化物超電導線材で20倍の高速作製速度達成

㈱フジクラ、中部電力(株)及び(財)国際超電導産業技術研究センター超電導工学研究所は、イットリウム系酸化物超電導テープを従来の20倍の1m/hの速度で作製する技術開発に成功したことを5月15日発表した。

この技術を利用して長さ10mの線材を作製し、液体窒素温度で1平方センチメートル当たり40万アンペアの臨界電流密度と50Aの臨界電流を実証した。

イットリウム系酸化物超電導テープの作製工程は、成膜基板を構成する中間層を結晶配向化させる工程とその上にY-123酸化物超電導膜を作製する工程に大別できる。

従来、テープ線材の作製速度は、前者の結晶配向基板を作製する工程の速度に支配され、短尺線材の1平方センチメートル当たりの臨界電流密度が100万アンペアと高いにもかかわらず、結果的にはテープ線材の作製速度が5cm/h程度と低く実用化が危惧されていた。

この結晶配向基板の作製技術は、フジクラ(株)が10年前に開発したIon Beam Assisted Deposition (IBAD)法に基づくもので、今回、新しく3つの技術、すなわち、IBAD装置の大型化、同イオンビームソース形状の矩形化並びにパイロクロア型酸化物 $Zr_2Gd_2O_7$ という新配向性中間層材料の適用がなされ、配向性中間層作製速度が従来の20倍の1m/hと画期的に改善された。

この速度は、後工程であるエキシマレーザによるY-123酸化物超電導薄膜作成速度とも同期する水準である。

今回、この作製技術は、10mのテープ線材で実証されたものであるが、50m-100m長への長尺化は容易であり、長尺高特性のテープ線材に近い将来工業的規模で得られることを意味する。すなわち、イットリウム系酸化物超電導線材の電力ケーブル、各種高磁界マグネットなどへの応用が大きく前進したことになる。

(編集局 田中靖三)



2001年度春季低温工学・超電導学会より

2001年春の低温工学会が東京多摩ニュータウンにある明星大学日野キャンパスで5月16日から18日にわたっておこなわれた。

T_cが40Kの新材料MgB₂が本年初頭に発見され、全世界的に超電導研究の大きな盛り上がりを見せている。

今回低温工学会でも2日目の総会後の特別招待講演に青山学院大学の秋光教授が招かれた。

講演はシェークスピアホールと名付けられたエリザベス朝の劇場を模した講堂で、MgB₂のほかにもBi系、Nd系、ラダー系、等々綺羅星のごとくいわゆる秋光マテリアルと呼ばれる酸化物超電導体の発見経緯を中心に、大変興味深いお話を伺った。

MgB₂の発見に際しては、長年の経験よりも、若い学生さんの好奇心と馬力に今回の物質の発見への原動力があったことを聞き、大いに共感するものがあった。

MgB₂に関しては初日の夕刻から特別セッションが組まれ、低温工学の観点から線材化、ピンニングの問題、磁気特性、不純物・置換効果、薄膜プロセス、コスト等に関する発表がおこなわれた。磁場中の超電導特性が今ひとつであることから、応用への展望には今ひとつ積極的な印象がなかったが、この材料の応用を考えると、水素エネルギー社会との連関は重要であると思われる。

Y系線材に関しては約30件もの発表があり、盛況であった。フジクラのIBADの進捗が著しい。パイロクロアの $Zr_2Gd_2O_7$ を用いた大型成膜領域の装置を開発しこれまで製造速度がネックといわれたIBAD中間層形成をm/hクラスに引き上げ、また10mで1.50Aを実証した。

高J_cで最近注目を浴びているTFA-MOD法に関してはSRL、昭和電線等から発表があった。IBAD基材上に短尺ではあるが、2.5MA/cm²の特性を得ている。また長尺化に対応した塗布法が開発され、厚膜化もある程度目処がたちこのプロセスの進展が期待される。そのほかLPE法によるIBAD基板上で高いJ_cが初めて観測されたことが報告されたが、この方法も有望であり、同様に進展が期待される。

酸化物超電導線材の応用としては、東芝・住電・信越半導体の共同で進められているビスマス線材コイルによる磁場シリコン単結晶引き上げ装置の運転が始まったことと、目新しいものとして、東京大学・核融合研で進められている新原理によるプラズマ閉じこめ研究炉のためのビスマス線材をもちいた磁気浮上コイル作製が目をつけた。

(SRL 第5研究部長 平林泉)

ヨーロッパの超電導研究開発事情

2001年3月にドイツのUniversitaet Giessen, Cryoelectra (Wuppertal), Forschungszentrum Juelich, Universitaet Leipzig, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Berlin),そしてUniversitaet Hamburgを訪問した。

超電導技術の産業応用に向けた着実な進展が実感された。

マイクロ波フィルター応用ではHTS薄膜を用いることの特性的優位は既に実証された。マイクロ波技術とHTS薄膜作製技術とともに、実用通信システムに採用される準備はできている。

SQUIDセンサーを応用するシステム技術は、スパッタリング用ターゲットの微細粒構造やSiウエハの光誘起電流均一性などの材料評価、航空機機体・部品の非破壊検査(NDE)、医療用の心磁計(MCG)や脳磁計(MEG)などに有用性を示している。

材料評価における必要な分解能、非破壊検査(NDE)における材料欠陥起因および試料構造起因を区別するシミュレーション技術、医療応用における診断ソフトウェアの重要性が指摘されている。

(ISTEC 国際部 吉田政次)

イタリアにおける高温超電導電力ケーブルシステム開発プロジェクト

Pirelli Cavi e Sistemi S.p.A., CESI及び、EDISON S.p.A.は共同で、132kV、3000Aのプロトタイプ高温超電導(HTS)ケーブルシステムの開発を1999年から4年計画で進めている。

CESIのLuciano Martini氏(business unit tests & components product leader)の説明によると、このプロジェクトの内容は、イタリアの電力運用ネットワークに必要な技術の評価等ネットワークの研究、HTS相互連結ラインの設計、交流損失特性の記述、終端とジョイント部分を含むプロトタイプシステムの詳細設計、プロトタイプの作製、プロトタイプのテスト、結果の評価などを行うものである。

なお、プロトタイプシステムの仕様は、

- ・単相同軸(cold dielectric)
- ・電圧:132kV
- ・公称電流:AC 3000A
- ・30mのBSCCO-2223ケーブルである。

(ISTEC 総務部 安住光弘)

【隔月連載記事】

超電導エネルギーギャップの神秘(その2)

東京大学大学院
新領域創成科学研究科
教授 内田慎一

5. 超電導ギャップの起源 (BCS理論)

超電導状態と対比されるのは正常相と呼ばれる金属状態である。金属状態は前回(創刊号)の図1(a)で示した半導体の電子構造において、その伝導帯を電子(伝導電子という)が途中まで占有している様な状態である(図3)。

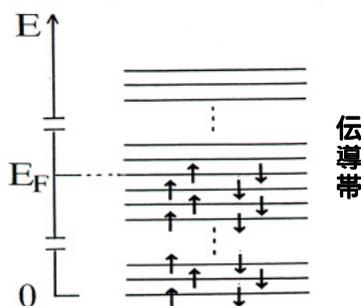


図3.

金属の電子構造。矢印は電子を表わす。電子はフェルミエネルギー(E_F)までの準位を占有し、その上にある準位は全て空になっている。

伝導帯や価電子帯というのは電子のエネルギー準位が密集したエネルギーバンドで、固体中の電子はパウリの原理(1つの準位に収容できる電子数は最大2)に従って、バンドを構成する準位をエネルギーの低いものから2個ずつ埋めてゆく。電子を収容した1番エネルギーの高い準位をフェルミ準位といい、バンドの底から測ったエネルギーがフェルミエネルギー(E_F)である。金属には 1cm^3 あたり、大体 10^{22} 個の伝導電子が存在している。この膨大な数の電子を伝導帯につめてゆくとフェルミエネルギーは数eV(電子ボルト)にも達することになる。1eVというエネルギースケールは、電荷 $e(=1.6 \times 10^{-19}\text{C})$ を持った粒子を1Vの電圧で加速した時に得る粒子の運動エネルギーに相当する。我々の日常世界(マクロな世界)では極く小さなエネルギーであるが、電子にとっては莫大なエネルギーになっている。ちなみに1eVに相当するエネルギーを電子が熱浴からもらうとすると、この熱浴の温度は1万度Kでなければならない。また、1eVに加速された電子の速度は 10^8cm/s で光速の1/100にも達するのである。従って、数eV

の E_F をもつ金属中の電子は、無理矢理(パウリの原理のせい)で高エネルギーの状態におかれていることになる。このフラストレーションのたまった金属状態は、何らかのきっかけをつかまえて、少しでもエネルギーの低い状態に移ろうとする傾向を内在している。

多くの金属で、そのきっかけとなるのが、フォノン(格子振動)を媒介とする電子間の引力であり、それによって金属は低温で超電導状態に移るのである。電子間に働くこの引力は決して強くはない。しかし、それがどんなに弱くても金属状態にとって破壊的な効果をもたらすことを示したのがBCSの一人、L. Cooperである。

今、図3の金属に2個の電子をつけ加えたとする。この2個の電子は、 E_F の真上の準位に収容されるであろう。準位の間隔は微小なので、2電子のエネルギーは $2E_F$ となる。これで何事も起こらなければ、今考えている金属状態は安定であるといえる。ところが電子間に引力が働くと事態は激変してしまう。Cooperは、引力がどんなに弱くても、2個の電子は束縛状態(クーバー対)をつくってしまうことを示した。クーバー対をつくることにより2電子のエネルギーは $2E_F$ から $(2E_F - E')$ に低下する。束縛エネルギー E' は、 $E' = 2h \nu_0 \exp(-2/N(0)V)$ となる。ここで、 ν_0 は、フォノンの振動数、 V は引力ポテンシャルの強さ、 $N(0)$ は E_F 近傍にある準位の数(状態密度)を表わす。この束縛エネルギーが超電導ギャップをつくるのである。

微弱な引力で束縛状態ができると言うのは、力学の常識に反しているようにみえる。問題の電子は E_F (数eV)もの巨大な運動エネルギーをもっており、通常の力学では、それを上回る大きさの引力ポテンシャルが存在する時のみ束縛状態ができる。微弱な引力下での束縛状態を可能にしているのは、 E_F 以下に存在する膨大な数の電子である。その存在がパウリの原理により、付け加わった2つの電子の運動を制約し、引力ポテンシャルが有効に働くよう仕向けているのである。

E_F の上の2個の電子間に引力が働くなら、当然 E_F の下準位にいる2つの電子間にも働いている。そして、更にその下の準位でも……。このように、微弱な引力をきっかけとして図3のスキームが破綻し、伝導電子の集団がクーバー対の集団へと変身するのである。

ギャップは電子対の束縛エネルギーであり、従って対を破壊するのに要するエネルギーである。その大きさは低温超電導体では1meV程度となり、 E_F と比べると3桁も小さい。このような小さな効果が電子系全体に過激な影響を及ぼし超電導という大きな効果を生み出しているというのは「神秘的」である。

6. 臨界温度とコヒーレンス長

ギャップエネルギーは、クーバー対の束縛エネルギー、すなわちクーバー対を組んだ状態と2個の電子が独立に運動する状態とのエネルギー差を表している。これから、電子系全体として、超電導相に移行したとき、どれだけエネルギーを得るかを見積ることができる。超電導相と正常相のエネルギー差を超電導の凝縮エネルギーといい、 $U=N(0) \int_{E_F}^{\infty} E g(E) dE$ となる。引力相互作用はフェルミ単位 E_F を中心としたエネルギー幅内の準位にいる電子間に最も有効に働くための準位の数 $N(0)$ という因子がにかかっているのである。上式は、ギャップの大きさが大きくなる程、超電導相が安定化することを意味している。また、凝縮エネルギー及び(あるいは E')を決める式からわかるように $N(0)$ というパラメータも重要な役割を果たしている。 $N(0)$ が大きい程、 E' が大きくなり、従って、 U も増大する。 $N(0)$ が大きいということは、簡単にいえば、金属中の伝導電子の密度(数)が大きいということである。 $N(0)$ が大きいことの効果の1つは、パウリの原理をより効果的に作用させて引力相互作用を有効に働かせることにある。

10^8cm/s もの高速で運動する電子同士が弱い引力で対をつくるのであるから、クーバー対の状態は空間的に大きく広がったものになってしまう。その拡がり、 $\sim h\nu_F/2$ 程度であり(ν_F は電子の速さ)、通常の超電導体では $\sim 10^2 \sim 10^3$ となっている。はコヒーレンス長と呼ばれる長さで超電導特性を支配する。 1cm^3 あたり 10^{22} 個もいる伝導電子の平均間隔が1程度であることからすると、 λ_c は相当に大きな長さであり λ_c^3 の体積のなかには $10^6 \sim 10^8$ 個の電子が含まれる。従って、多数のクーバー対が同じ空間を共有していることになる。そのため、クーバー対は互いに連繋して運動せざるをえなくなる。実際、クーバー対は互いに同じ運動状態をとろうとする。量子力学の言葉で表現するとクーバー対の波動関数の位相を揃えようとするのである。ここから「コヒーレンス長」と呼ばれるのである。

ここまでは、絶対零度($T=0\text{K}$)での話である。温度を上げると、熱エネルギーが電子系に流入してクーバー対が壊れ始める。前回の図1(b)に示したように、クーバー対が2つの電子に分離するのではなく、準粒子という電子と正孔の性質を併せ持つ粒子に分かれるのである。多数のクーバー対が空間的に重なっているため、1つのクーバー対の破壊は他のクーバー対にも影響を与える。BCS理論では、クーバー対の数(密度) n_c と超電導ギャップの大きさ Δ とは、 $\Delta \sim n_c^{-1/2}$ という関係にあるの

で、クーパー対の数が減るとギャップが小さくなり、それが更に準粒子励起を促進して、クーパー対の減少そしてギャップの縮小を加速することになる。その結果、ある温度 T_c でギャップが消滅し、超電導相から正常相への転移が起こる。ギャップが温度とともに減少する様子 (T)を図4に示す。

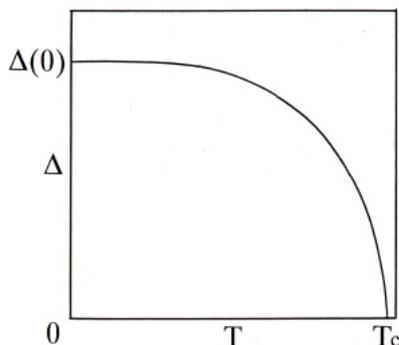


図4. 超電導エネルギーギャップの温度変化

これが超電導臨界温度である。 T_c は熱エネルギー $k_B T_c$ と $T=0K$ のギャップの大きさ $\Delta(0)$ が同程度($2\Delta(0) \approx 3 \sim 5k_B T_c$)になるところで決まる。

半導体においては、温度上昇により電子が価電子帯から伝導帯へと励起されるが、励起される電子の数が増えても半導体の電子構造には深刻な影響を与えない。超電導体における準粒子励起が超電導状態に大きなダメージを与えるのと対照的である。ここにも、超電導ギャップと半導体ギャップとの本質的な違いがあらわれている。

読者の広場

Q & A

質問: SQUIDが我々の身近で応用される日も遠くないようです。SQUIDは、微弱磁場の測定に威力を発揮するようですが、日頃次の点を疑問に思っていました。分かりやすく教えていただければ幸いです。

- (a) 強い磁場が入ってきたときは、どのように検出されるのですか？
- (b) 強い磁場が無くなったとき、検出素子に履歴が残りますか？
- (c) マルチ SQUID となった場合に、自己発生磁場が他の SQUID の計測に影響しないでしょうか？

回答: (a)、(c)、(b)の順にお答えしましょう。

SQUIDは微弱磁界を計測するセンサーですが、少し強い磁場を計測する方法の1つとして、dcSQUIDの磁界-電圧特性が磁束量子($\Phi_0 = 2.05 \times 10^{-15}$ Wb)の周期で変化しますので、この周期を数えることによって、外部磁界の変化量を知る方法があります。しかし、これでは最小磁束分解能が Φ_0 となります(磁界分解能はSQUIDの面積をAとすると $B = \Phi_0/A$ になります)。現在、測定範囲を大きく、しかも高感度に測定したい場合の工夫が研究されています。

SQUIDの高感度化と出力の線形化のため、SQUIDリングの近くに設けた帰還コイルから外部磁界を打ち消す帰還磁束を入れるFLL方式がとられています。この帰還磁束によって、SQUID本体周辺の全磁束はほぼゼロに打ち消されていますので、他のSQUIDへの影響は非常に小さいものとなります。ただし、検出コイルには外部磁界に比例した遮蔽電流が流れていますので、検出コイルを互いに近付ける場合には干渉度合いを計算し、影響の無いように配置します。もっと近付けたい場合には、帰還

電流を検出コイルに流す方法もあります。

急激な磁界変化が生じた時はFLLのロックが外れてしまいます。再ロックをするとき、その時点からの磁界変化量を測定することが出来ますが、ロック点を選ぶことができないため、それまでの磁界変化量とはオフセットが入った状態になりSQUID出力値はつながりません。オフセット量はその時々で異なります。

回答者: 独立行政法人 産業技術総合研究所 葛西直子

特許情報

平成12年度第4四半期の公開特許

平成13年1月～3月の間に公開されたISTEC出願の特許をお知らせします。詳しい内容をお知りになりたい方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 2001-80994 「酸化物超電導積層基板とその製造法」
- (2) 特開 2001-77667 「デシメーションフィルタ」
- (3) 特開 2001-73142 「複合ペロブスカイト酸化物の薄膜の原料とその成長法」
- (4) 特開 2001-64016 「耐割れ性に優れた酸化物超電導体及びその製造方法」(特許 3090658)
- (5) 特開 2001-64018 「水銀酸化物超電導薄膜及び作製方法」
- (6) 特開 2001-53345 「ジョセフソン接合」
- (7) 特開 2001-10879 「特性維持性能に優れた酸化物超電導体及びその製造方法」(特許 3100375)

(SRL 開発研究部長 中里克雄)

第三回(2001年度)サー・マーティン・ウッド賞受賞候補者推薦要項

凝縮系科学に関する日英の科学技術交流のための「ミレニアムサイエンスフォーラム」では、凝縮系科学に関わる若手研究者にインセンティブとモチベーションを与えるため、1999年3月に「サー・マーティン・ウッド賞」を創設致しました。下記の要領により、第三回サー・マーティン・ウッド賞受賞候補者の推薦を募集します。

対象分野: 広い意味の凝縮系科学(固体物理学、固体化学、材料科学、表面物理等) **候補者:** 日本における研究機関で、凝縮系科学における優れた業績をあげた40歳以下(2001年4月1日現在)の若手研究者1~2名、国籍は問わない。

賞の内容: 賞状、賞金50万円、英国大学への講演旅行

推薦依頼先: 関係専門分野の有識者、関連諸学会

推薦件数: 各推薦者、推薦団体からそれぞれ一件

申込締切: 2001年8月1日(水)

申込方法: 詳細は、下記事務局までお問い合わせください。

選考: ミレニアムサイエンスフォーラム実行委員会にて審査・選考する。

賞の決定: 2001年9月予定、賞の贈呈: 2001年11月予定

推薦書提出先及び連絡先:

〒135-0047 東京都江東区富岡2-11-6 オックスフォード・インストルメンツ株式会社内

ミレニアムサイエンスフォーラム事務局 TEL: 03-5245-3251, FAX: 03-5245-4472

E-mail: oiikk-hr@oxford-instruments.ne.jp

超電導 Web21 2001年6月号

2001年6月発行

< 発行者 >

(財)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

ホームページへのリンク

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



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。