

掲載内容 (サマリー):

年頭挨拶	理事長	荒木 浩
2007 年を迎えて	超電導工学研究所長	田中 昭二
2007 年のご挨拶	経済産業省産業技術環境局審議官	古谷 毅

超電導関連 1-2 月の催し物案内

新聞ヘッドライン (11/20 - 12/18)

低温工学材料研究会「先進超電導材料における高 Jc 化技術」報告

低温工学パネル討論会「既存技術の見直しと更なる技術の高度化」開催

隔月連載記事 - 高温超電導の謎に迫る (その 1)

読者の広場(Q&A) - 将来の通信技術にソフトウェア無線が有望と聞きますが、どのようなものでしょうか?

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

発行者

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集局

〒105-0004 東京都港区新橋 5-34-3 栄進開発ビル 6F

Tel (03) 3431-4002 Fax(03) 3431-4044

超電導 Web21 トップページ : <http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.html>



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

<http://keirin.jp>



年 頭 挨拶

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



あけましておめでとうございます。

当財団で研究開発をしております超電導技術は、エネルギー、エレクトロニクス、医療、輸送、環境改善等幅広い分野において、従来機器の大幅な性能向上や新しい機器の実現をもたらし、21世紀の私たちの生活をより豊かにするものと期待されております。このような革新的技術は、従来にも増して早期の実用化が望まれ、その実用化に向けた研究開発は日米欧を中心とし、近年、中国、韓国も多くの研究成果を発表しております。

当財団は、次世代超電導線材の開発を中心とする「超電導応用基盤技術研究開発」や「超電導電力ネットワーク制御研究開発」等のナショナルプロジェクトを受託し、日本における超電導技術開発の中核的な研究機関としての役割を担っております。昨年は種々の研究開発の積み重ねを、具体的な成果として、皆様にご紹介することができました。

本年も産学官関係各位の力強いご支援・ご協力の下、研究開発・調査研究等の事業を着実に進展させるとともに、これまでの研究成果を踏まえ、実用化を目指した更なる展開を図って参る所存であります。

年頭に当たり、皆様のご繁栄を心からお祈り申し上げますとともに、本年も一層のご支援を賜りますようお願い申し上げます。

[超電導 Web21 トップページ](#)

2007年を迎えて

超電導工学研究所
所長 田中 昭二



昨年は、高温超電導発見 20 周年ということで、様々な記念行事が世界各地で行われた。初めからこれに関わった筆者にとって、それは夢のように過ぎた 20 年であった。初めの 10 年は、相次ぐ新物質の発見と、それによる臨界温度の上昇に追い回され、新物質の物性を調べることが精一杯であった。1995 年以降、物質開発も落ち着き、それらの実用化に着手し、バルク、デバイス、線材の 3 分野での実用化技術も進展し、実用化の先導研究が現在進行中である。それにしても、新物質を材料化し、それを使って実用機に至る道が、如何に労苦に満ちているかを身にしみて知った 20 年であった。

20 年という期間が長いか短いかは主観にもよるが、トランジスタを例にとれば、1948 年に発明されてから、1971 年の LSI・DRAM の出現まで 23 年を必要とし、主力となった CMOS に至るまで、更に 10 年を経過している。このことは、新技術の開発に当たっては、国あるいは企業が、確固とした意思を長期にわたって継続させることが不可欠である、ことを示している。幸いにして、ISTEC の事業に対する国及び各企業の長期に及ぶ協力により、各種の超電導機器の出現の見通しが明らかになりつつあることは、誠に喜ばしく、感謝している次第である。

最近になって、新しい超電導物質開発の機運が、世界的に起こりつつあることは注目に値する。これは、1993 年に水銀酸化物において 135K (1 気圧) の臨界温度が記録されて以来、13 年間に亘り、臨界温度の上昇が途絶えていることに対する反省から出ているが、これは、高温超電導発見以前の 1980 年頃の状況と良く似ている。米国においては、昨年 5 月、エネルギー省主催のワークショップが開かれ、欧州においても今年 6 月、ノルウェーで 6 日間にわたるワークショップが開かれる予定である。わが国においても、昨年 NEDO の委託により、ISTEC に「新超電導物質探索調査委員会」が設置され、既に活動を開始している。これらは、いずれも室温超電導に接近することを目標にしており、この機運が続けば、今後 10 年あるいは数年以内により臨界温度の高い新超電導物質が発見される可能性が高いと予想される。

翻って、世界の情勢をみれば、エネルギーや環境、その他に関する世界的規模の難問は山積しており、これらを解決する新技術の開発は、一刻の猶予も許されない。これから誕生する超電導技術が、これらの難問解決に大きく貢献することは疑う余地のないところであり、我々も一層の努力を払う決意である。

最後に、これまで後援して頂いた経済産業省、NEDO を初めとして、ご協力頂いた多くの企業に厚く感謝の意を表すと共に、今後一層のご協力をお願いする次第であります。

[超電導 Web21 トップページ](#)

2007 年のご挨拶

経済産業省産業技術環境局審議官
(産業技術担当)
古谷 毅



平成 19 年の新春を迎え、謹んでお慶び申し上げます。

我が国経済は、長い停滞のトンネルを抜け出し、景気回復の実現による拡大局面にあります。その一方で、少子高齢化、人口減少、環境・エネルギー問題など、我が国の今後の発展にとって制約要因となる多くの課題に直面しております。このような状況の下、我が国が持続的な発展を実現していくためには、イノベーションを起爆剤とした経済成長を実現するとともに、更なる研究開発への投資を促進する「技術革新と需要の好循環」を確立することが必要不可欠であるとの認識から、我が国が政府・与党一体として取り組むべき施策を取りまとめた「経済成長戦略大綱」が昨年 7 月に策定されました。この大綱ではイノベーションを経済成長や社会進歩の原動力と位置付け、産学官が連携し、科学・技術・経営の 3 つが双方向的に融合して、知の流れの円滑化、異分野融合、価値創造の効果的なつながりの構築を推進することにより、科学技術によるイノベーションを生み出す仕組みである「イノベーション・スーパーハイウェイ構想」を実現することとしています。

経済産業省におきましては、これに加え「技術戦略マップ」の活用などを通して、我が国産学官でのシナリオの共有を図りつつイノベーションを創出していく考えであり、超電導技術につきましても、昨年 3 月末に取りまとめた超電導の「技術戦略マップ」の十分な活用を検討しております。

超電導技術につきましても、イノベーションを生み出す重要な技術として、環境・エネルギー分野のみならず、運輸、医療、計測、情報通信等の幅広い分野への応用を通じて、我が国の競争力強化と地球規模の環境問題解決への大きな貢献を果たすことが期待されております。この一年間だけを振り返りましても、我が国を含めた世界各国における精力的な研究開発により、超電導線材の性能大幅向上や、超電導機器の要素技術や周辺技術といった実用化に向けた成果が次々と生み出されるなど、大きな進歩が見られました。

経済産業省といたしましては、超電導材料を用いたイットリウム系線材や SFQ デバイス、電力貯蔵技術などの研究開発やピスマス系超電導ケーブルの実証研究のために、平成 19 年度関連予算として総額 58.7 億円を確保しているところであり、今後とも、技術戦略マップに示されている広範な分野での超電導技術実用化に向けた取り組みを積極的に推進してまいりたいと考えております。

最後に、本年も研究開発政策に対するより一層の御支援、御理解を賜りますようお願い申し上げますとともに、皆様方の益々の御発展を祈念いたしまして、新年の挨拶とさせていただきます。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 1-2月の催し物案内

1/24

低温計測からヘリウムの液化・超流動生成まで

場所：産業技術総合研究所及び筑波大学、つくば市

主催：低温工学協会、教育・セミナー委員会

問合せ：

物資・材料研究機構 材料ラボ 沼澤健則

Tel:029-863-5454、Fax:020-863-5460

e-mail:numazawa.takenori@nims.go.jp

1/26

表面科学技術研究会 - 表面処理を支える先端分析計測 -

場所：神戸大学瀧川記念学术交流会館、神戸市

主催：日本表面科学会関西支部、表面技術協会関西支部

共催：応用物理学会、神戸大学研究基礎センター

協賛：低温工学協会

問合せ：

日本表面科学会関西支部幹事

シャープ(株)技術本部 基礎技術研究所 村上善照

Tel: 0743-65-0454-、Fax:: 0743-65-0543

e-mail: murakmi.yoshiteru@sharp.co.jp

2/20

“強磁場MRIが拓く新しい世界についてのシンポジウム” 強磁場MRI - 生命の可視化 -

場所：東京大学医学部教育研究棟 14階鉄門講堂

主催：新領域創成科学研究科、医学系研究科

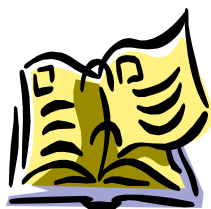
後援：文部科学省、未踏科学技術協会

問合せ：

東京大学新領域創成科学研究科

e-mail: e-hatano@ams.k.u-tokyo.ac.jp

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (11/20 - 12/18)

研究拠点づくりで基本方針 世界レベル狙う 総合科技会議 11/20 日本経済新聞
船のおもり「パラスト水」浄化義務へ 細菌剤使わず磁石で汚れ吸着 海水の洗濯機 11/20 読売新聞(夕)
研究成果の実用化促進 産学連携のあり方 年内に取りまとめ 経産省 11/21 日刊工業新聞
省エネよりも“活エネ” 塩野七生氏基調講演 ローマ文明テーマに 11/21 電気新聞
電力 vs ガス 伸びるオール電化住宅 「聖域」なき熱源攻防戦 11/21 フジサンケイビジネスアイ
新エネルギー導入 義務料めぐり電力と経産省が激突 将来は家計に影響も RPS 法に問題点 11/25 フジサンケイビジネスアイ
エネ庁 石炭火力の将来像検討 来月1日、研究会立ち上げ 11/28 電気新聞
熱量換算か1次エネか 熱電併給のCO₂計算 「温対法」制度実施迫るも平行線 11/28 電気新聞
CO₂量、どのように把握? 法定係数を使って計算 11/28 電気新聞
ものづくり技術伝承と発展 住友電工 「線材」ノウハウ生かす 超電導 初の家庭送電 11/29 読売新聞
超偏極キセノンガス 高効率で連続生成 産総研など装置開発 11/29 日刊工業新聞、日経産業新聞
超電導液体攪拌 マグネオ技研と芝浦工大 不純物混入防ぐ 11/30 日刊工業新聞
国際標準の提案数倍増を 経産省が目標設定 専門家育成も 11/30 フジサンケイビジネスアイ、日刊工業新聞
新エネルギー 製造業、活発に利用・開発 12/1 日本経済新聞
蓄電装置 容量1.5倍 横国大が新技術 電極に微小な穴 省エネ車応用期待 低温性能改良へ 12/1 日経産業新聞
脳卒中の救急搬送に壁 都の病院情報、消防側に伝えず 12/4 朝日新聞(夕)
コンセントについてインターネット 電力線通信「待った」 総務省を提訴へ 12/5 毎日新聞
2つの法律、2つの計算法 脱CO₂にはやはり「全電源」で 12/5 電気新聞
米沢(山形)にEMC 暗室棟 ザクテクテクノロジー 電磁ノイズ 検査メニュー充実 12/6 日刊工業新聞
日立、治療機器に参入 第1弾、がん用システム 陽子線の精度2mmに 12/6 日刊工業新聞
実現するかITER 環境対策?へ高まる期待 12/6 電気新聞
燃費規制 世界で強化 環境対応車向け 電子部品を開発 「日本電産」省エネモーター研究 「京セラ・村田」ディーゼル部品参入 12/6 日本経済新聞
医療ルネサンス 優しい医療求め 連載4000回 高精度放射線で副作用減 12/6 読売新聞
新エネルギー 利用義務拡大 コスト論議 視界晴れず 12/6 読売新聞
先端技術で環境負荷を抑制 世界最大の太陽光 SMESで瞬低防止 シャープ 亀山工場 12/7 電気新聞
船舶のモーター化促進 西芝電機 NEDO 新電気推進システム 12/9 日刊工業新聞
こちらラボ がん治療に定位放射線 医療法人社団 北賢会 12/9 フジサンケイビジネスアイ
自動車メーカーEV戦略 技術開発の勢い加速 進む選択と集中 12/12 電気新聞
発熱量のとりかた次第で変わる熱効率 比較時は注意 LHVとHHV 12/12 電気新聞
大強度陽子加速器計画 未来プロジェクト動く 精密解析に海外も関心 12/13 日経産業新聞

UHV 試験ラインの建設始まる 中国 600 キロメートル超の大送電系統 停電・独占強化に懸念も 12/13 電気新聞

自動車メーカーEV 戦略 “究極” 決め手は電気 トヨタの将来像 12/13 電気新聞

ヘリウム 極低温で新現象 東大、超電導仕組み解明に 12/14 日経産業新聞

自動車メーカーEV 戦略 エンジン軸に独自色 ホンダの強み 12/14 電気新聞

太陽光、風力 系統運用研究を本格化 福井大、東電配線部と 12/14 電気新聞

CO₂ 濃度上昇 100 年後、人類生存の限界超える 求められる日本の技術輸出 12/14 電気新聞

ベンチャー支援 拡充急げ 衆院議員 片山さつき 12/14 フジサンケイビジネスアイ

電源・石油特会 エネ対策特会に統合 電促税 組入比率は維持 12/15 電気新聞

放射線「動体追跡照射」 がん病巣 3次元で捕捉 12/15 読売新聞(夕)

脳内の電極位置を MRI で詳細調査 東大など 12/18 日経産業新聞



[超電導 Web21 トップページ](#)

低温工学材料研究会「先進超電導材料における高 J_c 化技術」報告

鹿児島大学
工学部 電気電子工学科
助教授 土井俊哉

(社)低温工学協会は、平成 18 年 11 月 19 日熊本大学工学部黒髪総合研究棟多目的会議室において、平成 18 年度第 3 回材料研究会/九州・西日本支部合同研究会を開催した。今回のテーマは「先進超電導材料における高 J_c 化技術」であり、5 人の講師の方にご講演いただいた。

最初に、「磁束ピンニングと高 J_c 化」と題して九工大の松下氏が講演を行った。Ginzburg-Landau 理論の自由エネルギーから、常電導析出物や弱超電導相、結晶粒界などのピン止め候補点と量子化磁束線の相互作用、効果的なピン止め点とはどのような性質を備えているべきか等、ピンニングに関する基礎的理論の解説がなされた。その後、金属系超電導体、 MgB_2 、Y 系線材、Y 系バルクなどのピン止め点、ピンニング機構について研究状況の説明がなされ、最後に今後の高 J_c 化に向けた技術的方向性が提案された。

次に、京大の松本氏が「金属系超電導線材における高 J_c 化技術」の演題で、Nb-Ti 合金や Nb_3Sn 等の实用超電導線材において高 J_c 化のためにどのような技術開発が行われてきたのか、リボン状 -Ti や Nb などの人工ピン導入の話などを中心にレビューした。これらの線材開発の歴史には長年の基礎的・技術的要素が蓄積されており、高温超電導線材や MgB_2 線材の開発においても、 J_c 向上のヒントとなる知見が多数含まれていたように思われた。

続いて、SRL-NCCC の山田氏が「RE 系線材における高 J_c 化技術」の演題で、国内外の RE 系線材の開発状況、高 J_c 化、高 I_c 化、長尺化技術について講演を行った。また、名大の吉田氏は、「RE 系薄膜への人口ピンニングセンターの導入」の演題で、RE123 膜の結晶成長に関して詳細な解説を行った後、RE123 膜への人工ピン導入に関する最新の研究状況を報告した。

最後に、NIMS の北口氏が「 MgB_2 における高 J_c 化技術」のタイトルで、パウダー・イン・チューブ法で作製した MgB_2 線材での高 J_c 化、 J_c - B 特性の向上に関する研究の現状、及び薄膜を用いたピンニングセンターの同定、人工ピン導入の試みなどについての解説を行った。

普段の学会等では超電導材料毎にセッションが分かれる場合が多いため、異なる超電導材料間でピンニングセンターに関して相互に比較・議論する機会は多くないと思われ、37 名の参加者と講師の間で大変活発なディスカッションが行われた。

[超電導 Web21 トップページ](#)

低温工学パネル討論会「既存技術の見直しと更なる技術の高度化」開催

社団法人 低温工学協会は、平成 18 年 11 月 21 日熊本大学工学部において第 2 回低温工学特別討論会を開催した。この討論会は、平成 18 年 5 月 16 日大阪大学で開催された第 1 回特別討論会に続くもので、約 90 名の参加者があり盛会であった。なお、この討論会は、同協会が平成 18 年 11 月 20 日から 22 日まで開催した第 75 回 2006 年度秋季低温工学・超電導学会と併催されたものである。

討論会は、まず実行副委員長からの趣旨で開始された。

続いて、同協会の九州・西日本支部の副支部長から、“シリコン・アイランド”と呼ばれる九州・西日本支部におけるセミナー、見学会などの活発な活動状況報告に続いて、次のパネリストによる情報提供がなされた。

- (1) LNG 受入基地の冷熱利用技術、北九州エル・エヌ・ジー（株） 小山勝彦
- (2) クライオポンプの高度化、アルバック・クライオ（株） 寺島充級
- (3) 二重反転ポッド加勢推進方式船の開発、三菱重工業（株） 星野徹二
- (4) 超電導技術による医療診断、九州大学教授、円福敬二
- (5) 磁気分離コンソーシアムの設立とその後、大阪大学教授、西嶋茂宏

九州におけるエネルギー供給の一環として九州電力と新日鉄の共同出資による北九州エル・エヌ・ジー（株）が LNG168 万トンを扱い、52GWh の冷熱発電の実績を有している。また、アルバック・クライオ（株）は、九州一円 1800 台の半導体装置に不可欠なクライオポンプ 2500 台の稼動実績を有しており、すでに脱鉛など RoHS 指令に適合する環境に優しい製品が提供されている旨の報告がなされた。

一方、三菱重工業（株）では 17,000 トン級 CRP ポッド推進方式船（正確には二重反転ポッド加勢推進方式船という）“はまなす”や“すずらん”の紹介がなされた。現在は常電導モータによる電気推進船であるが、将来超電導モータの導入によって一層に効率化が期待できるとのことであった。さらに、新しい生体・診断・医療分野として SQUID を適用した免疫診断装置の開発状況の紹介がなされた。なお、第 1 回パネル討論会以降の成果として、“儲けを生み出す仕組み”として、超電導磁気分離装置関連のコンソーシアムが 2006 年関西地域に設立された旨の報告がなされた。九州地域では、鉄鋼、電力、造船など既存の技術からの派生的なエネルギー産業や先端的機器産業など産業分野の着実な発展と電気推進船や SQUID 免疫診断装置などの新産業分野の萌芽が感じられた。

最後に、同協会超電導学会長のまとめによれば、低温工学協会・超電導学会における基盤強化と活性化活動は目下実施中であり、低温関連産業の育成と発展に向けて、会員各位の積極的な活動に期待したい。

なお、第 3 回特別討論会は、千葉大学において、2007 年春季低温工学・超電導学会の開催期間中に「低温・超電導機器の市場拡大の可能性と技術動向」をテーマとして実施される。

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

高温超電導の謎に迫る (その1)

東京大学
大学院理学系研究科
教授 内田慎一

1. はじめに

高温超電導が Cu 酸化物で発見されたのは、1986 年のことである。すでに 20 年が経過した現在でも、そのメカニズムは解明されておらず、物性物理最大の謎であり続けている。

超電導臨界温度 T_c は 1993 年に 135K (高圧下では 164K) に達したが、その後は上昇を止めてしまっている。 T_c はこれ以上高くなるのか、 T_c を上げるためにはどうすればよいか、手探り状態が続いている。その間 T_c の決定因子、超電導機構解明を目指して、あらゆる物性実験・理論手法が投入され今日に至っている。

2007 年は、 T_c が初めて液体窒素温度 77K を越えた Y 系 Cu 酸化物発見から 20 年目であり、BCS 理論が世に出てから 50 年の節目の年でもある。Kamerlingh Onnes の水銀での超電導発見 (1911 年) から BCS 理論の成立まで 46 年もの歳月を必要としたことを考えると、発見から 20 年しか経っていない高温超電導メカニズムの解明は未だ先のことと思われるかもしれない。しかし、1911 - 1957 と比較すると、高温超電導に対する 20 年間の研究密度は圧倒的に高い。この 20 年間に出版された高温超電導 / Cu 酸化物に関連した論文の数は 100,000 にも達しているという統計もある。¹⁾ 1 日に 10 編もの論文が産み出されている計算になる。研究者の数が桁違いに多いだけでなく、実験手法の多様さ、精度は格段に向上し、今尚進展し続けている。例えば、本稿で度々登場するであろう光電子分光は、BCS 当時実験原理は知られていたものの、物性実験に適用できる程の技術的基盤が無かった。1986 年には、世界各地で軌道放射光施設が稼働して、物性研究に使われ始めていたが、エネルギー分解能は高々 100meV であった。現在は、その精度は 1meV を切るまでに向上している。この飛躍的進展を後押ししたのは高温超電導研究そのものである。

本連載では、発見当時から、この難問にかかわり、挑戦し続けてきた 1 人として、これまでどのように挑戦が行われてきたか、現在我々の理解がどこまで進んだのか、そしてこれからどのように挑戦を続けていくのかを語り継ぐ。高温超電導は未だエンディングの見えないミステリーシリーズであるともいわれている。その主要な章のタイトルは、1. Cu 酸化物 - 強い斥力 (強電子相関)、2. d 波超電導ギャップ - 巨大なギャップと低い超流動密度、3. 擬ギャップ - 異常な正常状態と正常な超電導状態、4. ストライプ - 超電導の敵か味方か、5. 実空間、運動量空間の役割分担、6. フォノン再燃 - T_c の上限、下限?、となる予定である。

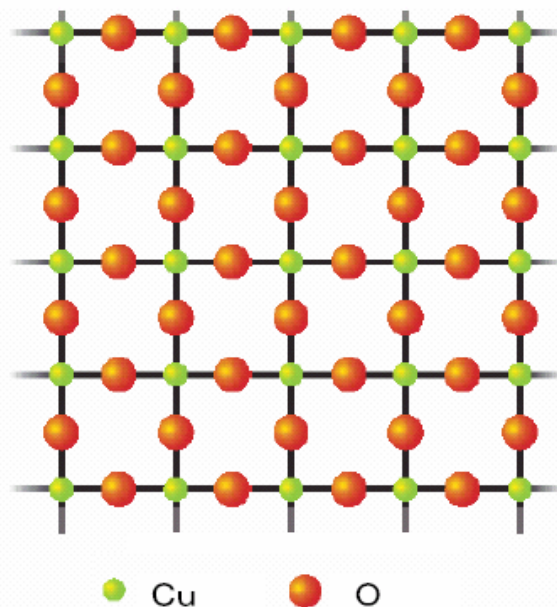
高温超電導の舞台は Cu 原子と酸素原子が作る 2 次元面 (CuO₂ 面、図 1) であり、教科書にあるような正方格子上を電子が運動している。現在では単結晶試料も容易に作製でき、ドーピング量を制御する方法もほぼ確立している。20 年間に蓄積された物性実験データは膨大で、歴史上これ程調べられ、データの集積が行われた物質は他に無い。にも拘らず超電導メカニズムという最も基本的なことが理解できていないというのは科学上の「奇観」とさえいえるであろう。宇宙や生命といった未解明な科学の謎とは対照的に、高温超電導では、我々は対象を手にとることができる。相手は単純な構造を持ち、しかも、煮ようが焼こうが分析にどのような手段も使えるのである。

何故高温超電導機構の解明が難しいのかという質問に対する形式的な答は、Cu 酸化物が 1cm^3 あたり $10^{22} \sim 10^{23}$ という巨大な数の電子を収容しており、それらが強く相互作用しているからということになるであろう。勿論、この世界に存在する物質はすべて同様であり、どのように高度なコンピューターを用いても、電子の振舞いを厳密には理解することができない。しかし、大多数の物質（例えば半導体シリコン）では、電子の運動に対する近似的な扱い（例えば、相互作用が無視できるという）が許されて、それがほぼ完全に物性を説明できるのである。BCS 理論が出るまで低温超電導の解明が難航したのは電子間の引力相互作用の存在と、それが正常な金属状態（フェルミ液体）に壊滅的な打撃を与えることを理解するのに時間がかかったからである。BCS 理論は相互作用を単純化されたモデルで近似的に扱っているにも拘らず、殆どすべての超電導物性を説明してしまうという奇跡的な成功例である。高温超電導研究者あるいは固体物理学者は、この成功例を奇跡とは思わず、物質に対する理解力を過信してきたといえるかもしれない。

BCS 理論の基礎となった実験は同位体効果である。超電導体を構成している元素の1つをその同位体で置換したとき、原子の質量変化に対応して格子振動（フォノン）の周波数が変わり、それに伴って超電導 T_c も変化するという発見である。超電導のフォノンの関与、そして引力の起源にヒントを与えるものであった。その BCS 理論を最終的に証明したのがトンネル接合の実験である。金属/絶縁体/超電導体の接合を流れるトンネル電流の電圧に対する特性 (dI/dV , d^2I/dV^2) に電子間の引力を媒介するフォノンが現われ、そこから電子とフォノンの結合の強さを定量的に決定し、更には T_c までも予測できるのである。「超電導 Web21」2006年10月号で紹介したように、発見後20年目にして、ようやく同様な実験を精度良く行うことができるようになった。そのために原子スケールの空間分解能をもつ走査型トンネル顕微分光 (STM) を必要としたのであるが、低温超電導体におけるトンネル接合特性の場合と同じように、高温超電導体でもフォノンが見えたのである。²⁾

では、これで決まりかということそうはならないのが高温超電導なのである。トンネル特性で見たのがフォノンだという根拠は、そのエネルギー（超電導ギャップから測った位置）が酸素の同位体 (^{18}O) 置換で変化するからである。しかし、フォノンは変化しても、超電導ギャップの大きさや T_c は殆ど変わらない。その意味では低温超電導体の同位体効果と同列のものではない。一方、他の実験から同位体置換で変化するのは超流動密度（単位体積当りのクーパー対の数）であることがわかっている（図2）。確かに同位体置換は超電導特性（超流動密度はロンドン長と呼ばれる磁場侵入長と結びついている）に影響を与えている。では、どのようにフォノンエネルギーの変化と超流動密度の変化が関係しているのであろう？マイクロなプローブである STM は超流動密度に関しては、現在のところ沈黙せざるをえない。

高温超電導は万事この調子である。これまでにいくつか「決定的な実験事実 - smoking gun」と



銅(Cu)と酸素(O)がつくる2次元面

図1 銅と酸素が作る CuO_2 次元面。銅原子が正方格子を形成している。

言われたものがあった。例えば、高温超電導体の T_c が非磁性不純物 Zn の導入によって劇的減少をすること（不純物効果、図2）また「擬ギャップ」に関連していることであるが、正常状態は金属伝導を示しているのにスピン磁気励起にエネルギーギャップ（スピングャップ）が観測されることなどである。前者は「正に d 波クーパ対の形成を示すもので、スピンゆらぎを媒介とする引力でクーパ対が形成されていることを証明する」とされ、後者は「電子の電荷とスピンの分離している証拠」とされたのであるが、実験が進展するにつれ、そんな単純なものではないということが明らかになった。未だに、Zn 不純物効果、擬ギャップに対する明確な説明、イメージは与えられていない。

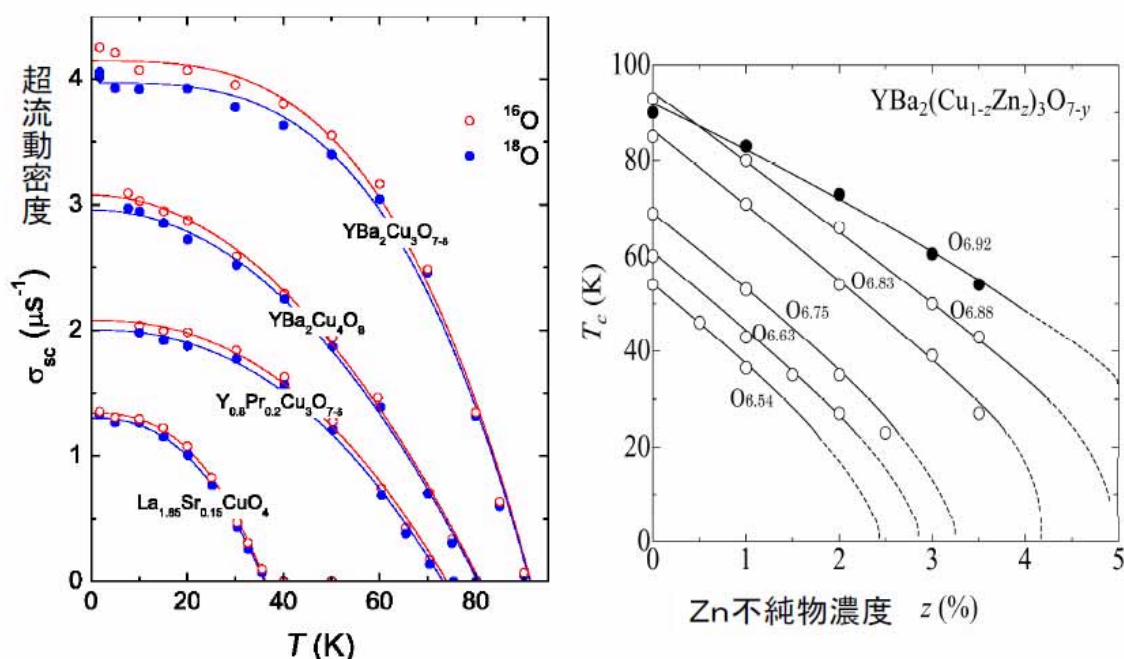


図2 高温超電導体の「同位体効果」。左の図は、 ^{16}O 、 ^{18}O 酸素同位体置換による文字通りの同位体効果。 T_c の高い物質あるいは最適ドーピングの物質では、同位体置換で T_c は変化しないが、超流動密度が減少している。 T_c の低い、アンダードーピング物質では T_c 、超流動密度両者とも減少する。右の図は、Zn 不純物の導入による T_c の著しい減少を示している。これを「高温超電導体の同位体効果」とみるとみる人もいる。

参考文献

- 1) A. Barth and W. Marx, cond-mat / 0609114 (2006).
- 2) J. Lee et al., Nature **442** (2006) 546-550.

読者の広場

Q&A

Q：将来の通信技術にソフトウェア無線が有望と聞きますが、どのようなものでしょうか？

A：現在、携帯電話、PHS、無線 LAN など無線システムの多くはデジタル無線になっており、多くの処理で ソフトウェア を使っています。しかしながら現在のシステムでは、ハードウェア を変更することなしに別の方式に対応する、などということはできません。ソフトウェア無線 とは、これら出力や周波数帯、変調方式などが異なるさまざまな無線通信手段を、1 台の無線機のソフトウェアの書き換えだけで対応させる技術のことです。また、このような技術を可能とする無線機のことをソフトウェア無線機と呼びます。

例えば今の携帯電話について考えてみましょう。現在第 2 世代と第 3 世代の携帯電話が使われていますが、第 2 世代の端末や基地局は第 3 世代用に使ったり、又その逆はできません。同世代の携帯電話でも会社によって方式や電波の周波数が違うため互換性が全くなく、それぞれ独立に開発されていました。しかしながらソフトウェア無線機が一台あれば、ソフトウェアの リロード によってどの世代でもどの会社の電話でも使うことが可能になります。例えばさらに効率のよい変調方式が開発された場合、ソフトウェアの アップグレード だけでその方式に対応できるようになります。電話がつながりにくい場所などでは、その環境に応じた通信方式を ダウンロード することにより、最適な通信状態にすることができます。などなど、ソフトウェア無線の究極は何にでも使えるユニバーサルな無線機なのです。

このような便利な無線機を実現するためには、幅広い周波数帯を、強い信号も微弱な信号も一気に取り込み、処理することのできる高性能のハードウェアが必要になります。中でも重要な部品として、電波のアナログ信号をデジタル信号に変換するアナログ・デジタルコンバータ(AD コンバータ)と、様々なデジタル処理を高速でできるデジタルプロセッサの開発が必須です。近年半導体回路の発展は目覚しく、このような高度な処理が高速でできるようになりつつありますが、ソフトウェア無線の実現のためにはまだまだ不十分な点もあります。そこで、国内では超電導工学研究所や名古屋大学で、超電導回路を使った超高速の AD コンバータやデジタルプロセッサの開発が行われています。米国でも、超電導回路を開発・販売しているベンチャー企業のハイプレス社(Hypres Inc.)という会社が、こちらは軍からの委託を受けて開発しています。

近い将来この夢のような技術が開発されれば、無線通信がますます便利になっていくことでしょう。

回答者：SRL/ISTEC デバイス研究開発部 吉田 晃

[超電導 Web21 トップページ](#)