

---

掲載内容（サマリー）：

- 高温超電導 20 周年に思う      ーアメリカ「Woodstock 記念集会」に出席してー  
超電導工学研究所長      田中 昭二
  
- 超電導関連 5-6 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン(3/20-4/19) / 第 9 回（2007 年度）サー・マーティン・ウッド賞  
受賞候補者推薦要項
- 超電導速報ー世界の動き（2007 年 3 月）
- 標準化活動ーIEC 規格、5 件メンテナンス
- 特許情報
- 超伝導科学技術研究会「超伝導で極限を測る」報告
- APS March Meeting 報告
- 隔月連載記事ー高温超電導の謎に迫る（その 3）
- 読者の広場(Q&A)ー高温超電導体は、現在単独でどれだけの高磁界を発生させる事が  
出来るのでしょうか？

[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>



## 高温超電導 20 周年に思う

### ーアメリカ「Woodstock 記念集会」に出席してー

超電導工学研究所

所長 田中 昭二

高温超電導は 1986 年暮れに発見されたが、その衝撃は凄まじく、翌年 1 月末に YBCO 系が発見され液体窒素温度を超えると、世界的フィーバーとなり、止めようのない奔流となっていった。このような状態の下に、米国物理学会は急遽、高温超電導に関する緊急集会を 3 月 15 日に、ニューヨークのヒルトンホテルで開催することになった。1000 人以上収容の大ホールに 1800 人も詰めかけ、会場外に設けられたテレビに約 2000 人が釘付けとなっていた。午後 7 時半から始まった集会が終了したのが翌日の午前 3 時 15 分で、講演数は 51 件であった。

私も招待され、スイスの Muller に次いで 2 番目に報告したが、12 分の講演時間を与えられたのは私を含め数人で、あとは皆 5 分間であった。翌日のニューヨークタイムズがこれを「物理学の Woodstock だ」と報じたので、Woodstock 集会として後世に名を残すことになった。Woodstock とは 1969 年、ベトナム反戦と人権闘争に揺れる米国社会で、「愛と連帯」を謳った大ロックコンサートが開かれた場所で、8 月 15 日から 3 日間、40 万人の若者が集まり、歌い躍り尽くした伝説的集会のことである。

今年は 20 周年記念として 20<sup>th</sup> Anniversary of High Tc Superconductivity Woodstock が 3 月 5 日にデンバーで開催され、私も招待されて出席した。講演者は Bednorz や Chu をはじめ、Woodstock ゆかりの人達 10 名で、当時の思い出を語った。ご丁寧なことに、司会も 20 年前と同じカリフォルニア大の Maple 教授であった。私には主催者から当時の日本の事情について語るよう依頼されたので、その前後の事情を私の研究室の状況を含めて報告した。私の講演にだけ Franco Rasetti Lecture という称号が与えられていたのは名誉なことであった。主催者によると distinguished physicist の講演にみなされるとのことであった。



講演日のデンバー

驚いたのは、Bednorz によると、彼らがスクイッド磁束計を入手しマイスナー効果を確認したのが、1986 年 10 月であり、我々が最初にマイスナー効果を見出したのが、11 月 6 日のことであったから、時間的差は 2 週間程度であったのである。又、有力な理論家が集まり、今後 6 年間で室温に達するかもしれないと予測したとの実話も披露された。



アメリカ「Woodstock 記念集会」で講演中の田中昭二所長

集会は 11 時 15 分から 2 時間で、誰でも出席できるように昼休みの時間が当てられていた。会場も大きなホールで、最初の頃はかなりの人数が出席していた。

20 年前を想起すると、遠い昔のようでもあり、また昨日のようでもある。新超電導物質待望論が再び息を吹き返しているこのごろ、あの熱い思いが再び蘇る日が来ることを祈るばかりである。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導関連 5 月－6 月の催し物案内

### 5/14

関西支部 2007 年度総会ならびに第 1 回講演会・見学会

場所：大阪電気通信大学 寝屋川キャンパス、寝屋川市

主催：低温工学協会 関西支部

問合せ：大松一也 住友電気工業（株）電力エネルギー研究所 超電導研究室

Tel:06-6466-5629、Fax:06-6466-5705、E-mail:ohmatsu-kazuya@sei.co.jp

### 5/16

低温・超電導機器の市場拡大と技術動向

場所：千葉大学（2007 年度春季低温工学・超電導学会 会場）、千葉市

主催：低温工学協会

問合せ：低温工学協会

Tel:03-3818-4539、Fax:03-3818-4573

### 5/17

「液化機研究会 I I」－2007 年度春季低温工学・超電導学会サテライト研究会

場所：千葉大学理学部 2 号館 3F 物理会議室、千葉市

主催：千葉大学理学部極低温室、東京大学物性研究所低温液化室、東京大学教養学部低温サブセンター

申込先：<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/cryogenic/kenkyu/2007/sanka.asp>

問合せ：千葉大学理学部 吉本佐紀 E-mail:yoyoyoshi@office.chiba-u.jp、Tel/Fax:043-290-2875

### 5/21-27

WILGA Conference-XXth Joint Symposium on Photonics and Electronics for Accelerators and High Energy Physics Experiments

場所：Warsaw University of Technology Resort, Poland

主催：IEEE, The Institute of Electrical and Electronics Engineers. INC POLAND SECTION, and The International Society for Optical Engineering POLAND CHAPTER

問合せ：<http://wilga.ise.pw.edu.pl> E-mail: photonics@ise.pw.edu.pl

### 5/28

超電導技術動向報告会－省エネ・省資源社会に向けて

場所：都市センターホテル 3F コスモスホールⅠ、東京

主催：（財）国際産業技術研究センター

問合せ：<http://www.istec.or.jp/event/>

### 6/10-14

ISEC: International Superconductivity Electronics Conference

場所：Washington, DC, USA

問合せ：<http://www.isec07.org/>

### 6/25-29

2007 PAC: 22<sup>nd</sup> Particle Accelerator Conference

場所：Albuquerque, New Mexico, USA

問合せ：<http://pac07.org/>



（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 新聞ヘッドライン(3/20-4/19)

- 欧州新排ガス規制の波紋 苦悩する独自自動車メーカー 3/20 フジサンケイビジネスアイ
- 住友電工、超電導など研究施設 3/20 日経産業新聞
- 核融合燃料研究で 富山大学と基本協定 核融合研 3/22 日経産業新聞
- 小型重粒子線施設 群馬大で着工 “がん治療”都市の核 医療技術者・企業集積へ 3/21 日刊工業新聞
- 陽子線でがん治療 放射線より副作用少なく 手術より体の負担軽く 自己負担約300万円と高額 3/26 朝日新聞
- ヘリウム3割値上げ 半導体向けなど 太陽日酸 来月分から 3/27 日本経済新聞
- 産総研など 500度Cの低温で安定作動する SOFC 用反応器を開発 2012年以降実用化目指す 3/28 日刊工業新聞
- 1センチ角の固体燃料電池 産総研と日本特殊陶業 体積1/4に 3/30 日経産業新聞、日刊工業新聞、フジサンケイビジネスアイ
- 技術で拓くモノづくり新戦略 実用化段階に近づく 次世代エネ 燃料電池 3/30 日刊工業新聞
- 21世紀の選択 エネルギー 新エネルギー3倍増 風力、太陽、バイオマス拡大へ 4/2 読売新聞
- 先端研究施設共用事業 阪大・名大などを採択 文科省 4/2 日刊工業新聞
- 廃水濾過装置を低コスト化 名大が磁性化学吸収剤 高価な超電導磁石不要に 4/2 日刊工業新聞
- 多結晶シリコン増産計画 三菱マテ1000トン上積み 300mmウエハー向け拡大 4/2 日刊工業新聞
- 系統ゼミナール 電力系統 ～発電所から顧客まで～ 貯蔵できない電気届ける設備 4/3 電気新聞
- ビスマス系超電導線材 最大電流量20%向上 住友電工 試験出荷 市販では世界最高 4/4 電気新聞、日刊工業新聞
- 希土類化合物の性質変化 SPring-8使い解明 神戸大など 4/4 日刊工業新聞
- 仏TGV 最速574キロ リニアに迫る 4/4 日本経済新聞、毎日新聞、読売新聞(夕)
- 世界の日本論文引用件数 物理・化学などリード 文科省04年版 サイエンスマップまとめ 4/5 日刊工業新聞、読売新聞
- 仏TGV 世界最速の時速574キロ 「仏方式に関心」 米加洲下院議長 4/5 フジサンケイビジネスアイ
- 原子力機構と米DOE 核融合も協力分野に 旧2機関締結の取り決めに拡大 4/6 電気新聞 日経産業新聞
- 住友電工 超電導強化へ新組織 送電線やモーター 応用研究に特化 4/13 電気新聞
- 風を求めて海に立つ 洋上発電 日本でも一歩 4/17 日本経済新聞(夕)
- “電気的高速道路” 高圧線 電源→消費地 効率よく送電 4/17 電気新聞
- MRIで精度高く がん診断システム イーメディカルが開発 4/17 日経産業新聞
- 世界中の水をきれいに 汚染物質の固まり磁石で除く 異分野との協業を視野に 日本ポリグル

熊本に工場 4/18 日刊工業新聞

○ITER 協定、国会承認 日本批准 早ければ 7 月発効へ 4/18 電気新聞

○MRI の磁気遮断 鹿島、「防壁」性能高める技術 狭い場所にも設置可能 4/18 日経産業新聞

○超電導で電流抑制 東京電機大 電力供給を安定化 4/19 日経産業新聞

○欧米の医療機器各社 MRI、3 テスラ時代到来? 国内、一気に普及も 4/19 日経産業新聞

### 第 9 回 (2007 年度) サー・マーティン・ウッド賞受賞候補者推薦要項

1. 趣旨 凝縮系科学に係わる若手研究者に対して研究のインセンティブ、モチベーションを与えます。
2. 対象分野 広い意味の凝縮系科学 (例: 凝縮系物理学、無機・有機固体化学、材料科学、表面・界面科学)
3. 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(2007 年 4 月 1 日現在) の若手研究者。国籍は問わない。
4. 賞の内容 受賞は毎年 1 件ないし 2 件とし、受賞者には賞状、賞金 50 万円と英国のいくつかの大学への講演旅行の機会が与えられます。
5. 推薦依頼先 関係専門分野の有識者、関連諸学会
6. 推薦件数 各推薦者(研究室)、推薦団体からそれぞれ一件とします。
7. 推薦方法 所定の推薦用紙に必要事項をご記入の上、締切期日までに到着するよう右記事務局にお送り下さい。  
自薦も受け付けます。自薦、他薦共に、候補者の業績内容を最も良く理解していると考えられ、当方より問い合わせ照会のできる 2 名の方(推薦者以外の方)の氏名、所属、肩書き、連絡先を記入して下さい。
8. 締切期日 2007 年 8 月 1 日(水)
9. 選考 サー・マーティン・ウッド賞選考委員会にて審査、選考します。
10. 決定 2007 年 9 月の予定です。
11. 賞の贈呈 2007 年 11 月に英国大使館で行う予定です。
12. 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・インストゥ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: 03-5245-3261 FAX: 03-5245-4466 E-mail: msf@oxinst.co.jp <http://www.msforum.jp>



## 超電導速報—世界の動き（2007 年 3 月）

### 電力

#### American Superconductor Corporation（2007 年 3 月 7 日）

American Superconductor Corporation (AMSC)は、Power Quality Systems, Inc. (PQS)と同社買収のための完全合併契約に調印した。PQS 社は、同社特許のサイリスタスイッチ技術をベースとした Static VAR Compensators (SVCs)を生産している。SVCs は、送電・給電グリッドの信頼性向上、工場向け電力品質改善を図る装置である。PQS 社のサイリスタスイッチを用いて、AMSC 社は低いイニシャルコストのみならず、従来製品に比べ、消費電力が低く、低メンテナンスコストで、設置面積の小さい SVC システムを提供していく予定である。AMSC 社の創立者で最高責任者である Greg Yurek は次のように述べた。「PQS 社の今日までの販売実績は地方政府、協力関係にある電力、小さな工場に限られていた。AMSC 社は、その世界的な販売網と大電力会社との商売上の関係を利用して、PQS 社の製品販売をより大きな成長へと繋げていく考えである。さらに、PQS 社製品と AMSC 社の制御システム技術や配電グリッドの専門知識と結びつけ、電力会社から大型 SVC の受注をより効率的に増やしていけるであろう。米国だけでも、大型 SVC の考えられる市場としては年約 1 億ドル程度であり、電力が国内の配電インフラ増強に目を向けていけば、市場は急速に成長していくと考えている。」全株取得の総額は約 380 万ドルで、売買は 2007 年 4 月に完了予定。Windtec 社と PQS 社の買収により、AMSC 社パワエレシステム事業部は 2007 年度 3 月期には約 2,500 万ドル、2008 年度 3 月期には 5,500 万ドルの収入が見込まれる。

出典:

“AMSC Strengthens Utility, Industrial and Wind Energy Product Offerings with Acquisition of Power Quality Systems, Inc.”

American Superconductor Corporation press release (March 7, 2007)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=971175&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=971175&highlight)

#### Trithor（2007 年 3 月 12 日）

電気エネルギー変換のシステム及びソリューション開発会社である Converteam Group SAS 社と Zenergy Power plc は、HTS 発電機を共同して開発、製造し、世界の風力発電及び小規模水力発電市場で販売する 5 年契約を締結した。この契約は排他的で、他社は参加できない。この合意の一環として、Zenergy 社は HTS 線材及びコイルの独占的供給会社となって、当該応用分野での Converteam 社商用製品向け供給を行う。この協力関係は Converteam 社と Zenergy 社の長期にわたる関係に基づくもので、HTS 技術にとって最大かつ最も商業的可能性のあるオフショア風力発電に期待が大きい両社にとって非常に大きなビジネス機会である。Converteam 社は現在、英国通産省の資金援助の下で進められている 8-MW 風力発電機の設計を主導しており、そこには Zenergy 社の超電導技術も活用されている。2006 年 10 月、Zenergy 社及び Converteam 社は、EU 資金を活用した E.ON Wasserkraft GmbH のドイツ、ババリアダムにおける世界で初めて設置された超電導発電機の開発にも関与しており、小型水力発電部門ですでに大きな成果を出している。両社はこの超電導発電機の成果が、超電導技術が再生可能エネルギーに大きな経済的利益をさらに増大させることができる大きな説得材料になると考えている。

出典:

“Exclusive Co-operation Agreement for wind and small hydropower applications between Converteam Group SAS and Zenergy Power plc”

Trithor press release (March 12, 2007)

<http://www.trithor.com/pdf/press-en/2007-03-12-Convertteam-Zen-TT.pdf>

#### **American Superconductor Corporation (2007 年 3 月 13 日)**

American Superconductor Corporation (AMSC)の完全子会社である Windtec™社は、中国北京の Sinovel Wind Corporation Limited と数百万ドル規模の風力発電システム共同開発契約を締結した。また、AMSC 社は今後 Sinovel 社に優先的に電気部品を販売する権利を持ち、引き続きビジネスを行う大きな機会が与えられている。この契約は、2005 年以來の Windtec 社と Sinovel 社とのビジネスを大きく拡大するものである。なお、Sinovel 社はこれまで 785 基の 1.5 MW 風力発電機を発注している。新たな契約の下、両社は共同で 3~5 MW 発電機の設計、製作を行う。また、Sinovel 社はこれを世界市場で販売していく。Sinovel 社は、本契約の下で開発された大型陸上及び海上タービンの知的所有権を持つことになっている。同社は 2009 年に 3 MW 発電機を、2010 年に 5 MW 発電機の生産を計画している。2006 年末時点で、Sinovel 社は（中国）国内風力発電システムに関し 10 億ドル以上に上る契約に調印している。その顧客の 1 社である China Huaneng 社は、2020 年までに中国の風力発電能力拡大のため 3,600 万ドルが支出されるものと考えている。

出典:

"AMSC Signs Multi-Million-Dollar Contract to Develop Higher Power Wind Energy Systems for Chinese Market"

American Superconductor Corporation press release (March 13, 2007)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=973175&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=973175&highlight)

#### **American Superconductor Corporation (2007 年 3 月 21 日)**

American Superconductor Corporation (AMSC)の完全子会社である Windtec™社は、中国北京の Sinovel Wind Corporation Limited から 1.5 MW 風力発電機 150 基の追加発注を受けた。総額は 800 万ドル以上。AMSC 社は年度末(2008 年 3 月)までに 150 基を出荷する予定。2005 年後半から、Windtec 社は Sinovel 社から 1.5 MW 風力発電機を 900 基以上受注している。AMSC 社の創立者で同社最高責任者 Greg Yurek は次のように述べた。「Sinovel 社はあっという間に中国最大かつ最も尊敬を集める風力発電機メーカーの 1 社に昇り詰めた。Sinovel 社は 1.5 MW 風力発電機を生産能力を拡大してきており、その間我々は同社との関係を強化してきた。ほんの 18 ヶ月の間に我々は Sinovel 社からほぼ 5,000 万ドルの電気システムを受注している。」2006 年には Sinovel 社は約 100 基の 1.5 MW 風力発電機を生産している。同社は 2007 年には 500 基、2008 年には 800 基、2010 年には 1,000 基に生産能力を拡大することを計画している。

出典:

"AMSC Receives \$8 Million Order from Sinovel for Additional 1.5 Megawatt Wind Turbine Electrical Systems"

American Superconductor Corporation press release (March 21, 2007)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=975990&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=975990&highlight)

#### **American Superconductor Corporation (2007 年 3 月 28 日)**

American Superconductor Corporation (AMSC)は、フィラデルフィアの Northrop Grumman 工場において 36.5 MW 船舶用モーターの受け入れ試験を行い、良好な結果を得た。試験終了は米国海軍のモーター受け入れに向けた最終開発マイルストーンである。モーターは米国海軍研究所との契約の下に設計、開発、製造が行われた。この中で、AMSC 社はモーターコイル、冷却システム及び制御システムの製造を行い、他のモーター部品の製造及び組み立ては下請けに出された。AMSC 社



の創立者で同社最高責任者 Greg Yurek は次のように述べた。「HTS モーターでのアウトソーシングモデルは、非常に有効であった。我々はこのアウトソーシングモデルを将来の HTS モーター、シンクロナスコンデンサー、工業モーター、発電機の製造にも適用していく考えである。地理的な観点から（それが有利な場合は）、我々は HTS モーターの設計、知的財産を我々のコイルを使って製品を製造する顧客に提供していく考えである。」36.5 MW モーターは、全負荷試験のためまさに米国海軍に出荷されようとしている。Yurek はさらに、次のように述べた。「36.5 MW HTS モーター受け入れ工場試験の成功により、Naval Sea Systems Command (NAVSEA)と別途契約している軍艦搭載用 HTS モーターへの完成に進むことができるほか、DDG 1000 及び CG (X)戦闘艦向けモーター、発電機調達契約に向けた入札参加への道も開ける。我々は、本プログラムの成功が大型船舶や商用船舶への HTS モーターへの道に繋がっているものと確信している。」

出典:

“AMSC Successfully Completes Factory Acceptance Testing of 36.5 Megawatt High Temperature Superconductor Propulsion Motor for U.S. Navy”

American Superconductor Corporation press release (March 28, 2007)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=978900&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=978900&highlight)

#### American Superconductor Corporation (2007 年 3 月 29 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、HTS 製品を生産段階へ移行させ、利益率を向上させるための機構改革を行った。この中には人員削減、工場統合、工程合理化が含まれる。これら改革により年間の費用が 400 万ドル節減できるものと期待される。同社は、前年度に比して現金支出を半分にしたいと考えている。その結果、AMSC 社は EBITDAS（税引き前利益の 1 種）がプラスになるものと考えている。さらに、同社のビジネス単位は 2 つに分割される。AMSC Superconductors と AMSC Power Systems である。AMSC Superconductors は、以前の AMSC Wires 部門と SuperMachines 部門を統合したもので、HTS 線材、コイルの製造、モーターや FCL を含む HTS 製品の設計と開発、HTS 製品の設計ライセンス、大型 HTS プロジェクトのマネジメントを担当する。一方、AMSC Power Systems は電力、産業、風力発電向けパワエレシステムの生産、Windtec™を通じたエネルギーシステムの設計ライセンスを担当する。AMSC 社の創立者で同社最高責任者 Greg Yurek はこの事業再編について次のように述べた。「AMSC 社は HTS モーターについて多くの技術、特許、ノウハウを持っている。HTS モーターは我々が製造し試験を行って、それを実証してきた技術である。大型のモーター、発電機、シンクロナスコンデンサー、工業モーター、風力発電機を製造するのに必要なインフラに投資することは我々の計画にはなかったことである。その代わりに、アウトソーシングを利用してきたのである。さらに前進するに当たって、AMSC Superconductors は HTS モーター設計をこれらシステムが製造可能な会社ライセンスする計画である。また、わが社はこれら他社からライセンスフィーやコンサルタントフィーを受け取る。また同時にライセンシーへの HTS 線材やコイルの販売を通じて利益を得る。今や HTS モーターやシンクロナスコンデンサーはほぼ完成の域にあり、超電導関連の操業を最先端の Devens 工場（マサチューセッツ）に統合するよい機会である。これらの統合等により HTS 製品の商業化を進め、同時にわが社の利益率を向上させていく考えである。」

出典:

“AMSC Realigns Operations to Accelerate Drive to Profitability”

American Superconductor Corporation press release (March 29, 2007)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=979322&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=979322&highlight)

## 材料

### Superconductive Components Inc. (2007 年 3 月 7 日)

ISCO International, Inc. は、第 4 四半期、及び通年の収支を発表した。同社の全純収入は、前年同期 1,147,377 ドルに対し、当期は 3,622,238 ドルであった。増額の主たる理由は光学関係の売り上げ増によるもの。粗利益は、前年同期 279,364 ドルに対し、当期は 765,724 ドル。前年度の 60 万ドルに対し、2006 年度末の受注残は 140 万ドル。同社最高責任者 Dan Rooney は次のように述べた。「我々は第 4 四半期の収入が新記録であったこと、粗利益及び利益が改善したことを大変喜んでいる。これらの結果は 2005 年度に比べ 2006 年度通年の大幅改善に大きく寄与している。2006 年度に大きく弾みがついたので、2007 年度はさらなる好業績に繋がるであろう。」2006 年度通年での総収入は前年度の 3,457,182 ドルに比べ 133% 増の 8,045,792 ドルであった。また、製品販売は、前年の 3,167,743 ドルに比して、153% 増の 8,003,700 ドル。これは、主として光学関連売り上げ及び薄型電池関連の売り上げ増によるものである。2006 年度の粗利益率は 94% で、総額 1,788,244 ドル。これに対し前年度の粗利益は 919,861 ドルであった。

出典:

“Superconductive Components, Inc. Reports Record Fourth Quarter 2006 and Full-Year Results”  
Superconductive Components, Inc. press release (March 7, 2007)

<http://www.sciengineeredmaterials.com/investors/ne/earnings/scc46.htm>

## 医療

### University of Houston (2007 年 3 月 6 日)

University of Houston と University College of London は、ナノテクノロジーと HTS SQUID 技術をベースとした先端磁気センサーを組み合わせた新たな診断手法を開発した。開発されたプローブを使えば、既存の方法より、より正確で、よりコストパフォーマンスがよく、より安全に乳癌を含む各種癌の位置の特定、治療が可能となる。このプローブは、手術の際に患部またはその周辺の注入された磁気ナノパーティクルを追跡することができる超高感度磁気センサーである。両大学の研究者はすでに概念実証デバイスを作成した。診断手法については、ロンドンの University College 病院での女性の乳癌手術の臨床試験で機能の確認が行われる予定。2007 年末以前に、日本及び欧州でさらに臨床実験が行われる。研究者は、この技術を市場に出すためすでに医療デバイスの Endomagetics Inc 社を設立して、これに所要の特許使用許諾を与えた。2008 年には生産開始の予定。

出典:

“Probe to detect spread of breast cancer co-developed by UH scientist”

University of Houston press release (March 6, 2007)

[http://www.uh.edu/admin/media/nr/2007/03march/030507abrazdeikis\\_bcprobe.html](http://www.uh.edu/admin/media/nr/2007/03march/030507abrazdeikis_bcprobe.html)

### Varian Medical Systems (2007 年 3 月 22 日)

世界で最初の商用医療用超電導サイクロトロンを用いた治療がスイスの Paul Scherrer Institute (PSI) で始まった。この施設では、各種癌の陽子による治療が（非常に正確な患部への照射を通じ）実施できる。Varian Medical Systems 社子会社の Accel 社が、この施設の心臓部ともいべきサイクロトロンを製造した。このサイクロトロンは非常に効率的で信頼性が高く、エネルギー消費も大きくない。また、点照射のようないくつかの新しい治療が行え、3 次元の自由度の中で効率的な陽

子分布や陽子ビーム強度変調が実現できる。Varian 社新規事業担当役員 Lester Boeh は次のように述べた。「これは我々の陽子治療ビジネスにとっても、また、欧州の癌患者にとっても画期的な出来事である。Varian/Accel の超電導サイクロトロンは、最も正確、効果的、かつ効率的な陽子治療を現実のものとした。我々は治療が PSI で行われていることを嬉しく思っている。」

出典:

"New Varian/Accel Superconducting Cyclotron Enables Year-Round Proton Treatments at Leading European Research Institute"

Varian Medical Systems press release (March 22, 2007)

<http://varian.mediaroom.com/index.php?s=home&item=510>

## 通信

### ISCO International, Inc. (2007 年 3 月 23 日)

ISCO International Inc.は、フロリダ州オーランドで開催される CTIA Wireless 2007 に、同社のデジタル Adaptive Notch Filter platform (dANF)を含め、各種新製品及びその応用製品を展示すると発表した。dANF は CTIA Wireless の "Emerging Technology Awards"スペースに展示される。当該スペースは最も先進的な無線製品及びその応用製品が展示されるエリアである。dANF は、ネットワーク容量低下の原因となる動的干渉を低減することができるアダプティブ干渉検知技術を盛り込んだコストパフォーマンスのよいソリューションである。CDMA や UMTS が AWS and 850/900 MHz 帯域を使用するようになり、独特の干渉問題が生じている。dANF プラットフォームはこれら CDMA や UMTS をより柔軟に、かつ最小の損失で使えるようにするものである。

出典:

"ISCO INTERNATIONAL TO SHOWCASE NEW RF SOLUTIONS AT CTIA WIRELESS 2007"

ISCO International Inc. press release (March 23, 2007)

<http://www.iscointl.com/news.htm>

## 基礎

### Cornell University (2007 年 3 月 5 日)

Cornell University は、Université de Sherbrooke (Canada)、東京大学、京都大学、産総研と協力してどのように超電導の発現が抑制されるのか調べた。超電導発現抑制を理解することは、超電導の高温化を図る上で重要である。トンネル電子顕微鏡及びトンネルアシンメトリ画像により低ホールドープ銅酸化物を調べ、Cu-O-Cu ボンドの電子構造に大きな変化があり、これが結晶中にランダムに分布することを見出した。また、研究者たちは、結晶格子 4 ユニット分離れて、電子が欠乏している長方形の大きな領域を発見した。すなわち、銅酸化物におけるナノストライプ状態を初めて直接観察したといってよさそうである。このナノストライプは結晶格子と並んだ状態ではあるが、その分布はランダムである。研究グループは、材料中のホールの数を増加させるとナノストライプが他の実験でも見られるような秩序だったストライプへと繋がっていくのではないかと考えている。研究者たちは、アシンメトリ画像を用いてストライプ形成が見られる高ドープ材料を調べ、酸素に存在するホールがストライプを形成しているのかどうかを調べる予定である。最大の課題は、ホールが局在して（ストライプ）パターンを形成し、超電導をいかに抑制しているかを理解することである。この研究は米国物理学会年会で発表され、Science3 月 9 日号のカバーストーリーとして掲

載された。

出典:

"Imaging 'gridlock' in high-temperature superconductors" by Bill Steele (Cornell Chronicle)

Cornell University press release (March 5, 2007)

<http://www.news.cornell.edu/stories/March07/superconductor.gridlock.ws.html>

#### Argonne National Laboratory (2007 年 3 月 20 日)

Argonne National Laboratory は、University of Tennessee 及び Brigham Young University と共同で電子ドープ超電導体がわずかな構造変化で超電導が発現したりしなかったりすることを見出した。 $\text{Pr}_{1-x}\text{LaCe}_x\text{CuO}_4$ (日本の電力中央研究所で作成された試料)を加熱し、以前には見つけていなかったわずかな材料中のミクロな欠陥を修復することができた。研究グループは、Argonne の光子ソースで発生した X 線を使って銅原子の位置を測定した。また同時に National Institute for Standards and Technology Center の中性子研究施設で中性子による酸素原子の位置測定を行い、これらのデータを総合して結晶の微妙な欠陥状態を見つけ出すことができた。これら測定の結果、熱処理により銅原子及び酸素原子の位置がわずかに変化し、完全構造状態、ひいては超電導状態へと移り変わることを明らかにした。この変化は可逆的であり、欠陥状態から完全状態へと相互に移り変わることができ、これにより超電導状態が発生したり消滅したりする。研究結果は Nature Materials オンライン版に掲載された。米国エネルギー省 Office of Basic Energy Science、米国 National Science Foundation 及び日本学術振興会がこの研究の資金援助を行った。

出典:

"New research reveal subtlety of superconductivity"

Argonne National Laboratory press release (March 20, 2007)

[http://www.anl.gov/Media\\_Center/News/2007/news070320.html](http://www.anl.gov/Media_Center/News/2007/news070320.html)

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

【標準化情報】

－IEC、超電導関連規格 5 件を改正・発行－

IEC、International Electrotechnical Commission/国際電気標準会議は、現行の超電導関連規格 14 件について順次メンテナンスを実施しており、2006 年に次の 5 件を改正・発行した。

- ◇ IEC 61788-1-Ed. 2.0: 2006-11 Superconductivity-Part 1: Critical current measurement-DC critical current of Cu/Nb-Ti composite superconductors\*\*
- ◇ IEC 61788-2-Ed. 2.0: 2006-11 Superconductivity-Part 2: Critical current measurement-DC critical current of Nb<sub>3</sub>Sn composite superconductors\*\*
- ◇ IEC 61788-3-Ed. 2.0: 2006-4 Superconductivity-Part 3: Critical current measurement-DC critical current of Ag- sheathed Bi-2212 and Bi-2223 oxide superconductors\*
- ◇ IEC 61788-7-Ed. 2.0: 2006-10 Superconductivity-Part 7: Electronic characteristic measurements -Surface resistance of superconductors at microwave frequencies\*\*
- ◇ IEC 61788-10-Ed. 2.0: 2006-8 Superconductivity-Part 10: Critical temperature measurement -Critical temperature of Nb-Ti, Nb<sub>3</sub>Sn, and Bi-system oxide composite superconductors by a resistance method\*

\*: Maintenance result date on 2009

\*\* : Maintenance result date on 2010

これらの規格は、2004 年米国アルゴンヌにて開催された第 9 回 IEC/TC90（超電導）国際会議から実質的なメンテナンスが開始され、2006 年京都にて開催された第 10 回 IEC/TC90 国際会議において承認審議されたものである。

それぞれの主な改正内容は、次の通りである。

- ◇ IEC 61788-1-Ed.2.0：タイトルを変更し、適用範囲を三層構造線も含めた一般的な Nb-Ti 複合超電導線に拡張するなどの改正。
- ◇ IEC 61788-2-Ed.2.0：2 マンドレル法に 1 マンドレル法（規定）を追加するなどの改正。
- ◇ IEC 61788-3-Ed.2.0：技術的な細部見直し、編集上の訂正などの改正。
- ◇ IEC 61788-7-Ed.2.0：技術的な記述構成、モードチャートの拡充、サファイア円柱寸法表記拡充などの改正。
- ◇ IEC 61788-10-Ed.2.0：タイトルを変更し、適用範囲を一般的な超電導線に拡張するなどの改正。

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)



## 特許情報

### ◆平成 18 年度第 4 四半期の公開特許

平成 19 年 1 月～3 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 2007-12582 「RE 系酸化物超電導線材の接合方法」：

本発明は、RE 系酸化物超電導線材の接合方法に関するものである。酸化物超電導線材の機器応用においては、酸化物超電導線材と酸化物超電導線材あるいは金属導体部材との接合部の接続抵抗の低減が課題である。本発明では、金属材料で被覆されている RE 系酸化物超電導線材と線材同士あるいは金属導体とを、(i) 酸化性雰囲気中で、(ii) 接合部の金属表面を直接重ねた接合面に熱エネルギーを付与するとともに圧力を付加して接合面を接合する。本接合方法は極めて簡便な方法にもかかわらず、付与する温度は酸化物超電導線材から酸素が離脱する温度より低い温度を採用できるため、超電導線材の優れた輸送特性を損なうことなく、かつ、接合後の酸素アニールなどの処理が不要で、しかも、再現性よく低抵抗の接合部を形成することが可能である。

#### 2) 特開 2007-27636 「超電導記憶セル」：

本発明は、超電導ランダムアクセスメモリの構成に関するものである。従来、単極性の選択信号で動作し、比較的平易な回路構成であるが動作マージンの小さい方式や、回路構成は複雑であるが正負両極の選択信号で動作し、大きな動作マージンを持つ方式のものが提案されている。本発明では、読出し時の半選択状態に対しても動作マージンが大きく、かつ単極性の選択信号で動作可能なメモリ回路の構成を提供する。その構成は、書き込みゲートと第 1 のジョセフソン接合を含む第 1 の超電導ループと、第 1 のジョセフソン接合を含む第 2 の超電導ループと、第 2 の超電導ループに磁氣的に結合するように配置された読み出しゲートと、第 1 の超電導ループに磁氣的に結合するように配置された制御配線とから構成され、第 1 の超電導ループの全インダクタンス値と書き込みゲートの超電導臨界電流値の積が単一磁束量子  $\Phi_0$  以上になるように設定され、第 2 の超電導ループの全インダクタンス値と第 1 のジョセフソン接合の超電導臨界電流値の積が単一磁束量子  $\Phi_0$  以下になるように設定されたことを特徴とする。

#### 3) 特開 2007-70177 「酸化物超電導材料の製造方法およびその前駆体支持用基材」：

本発明は、前駆体を部分溶融法で熱処理し超電導体を形成する RE123 系酸化物超電導バルク体の製法に関するものである。この製法では、熱処理中、前駆体を支持する支持基材が必要となる。通常、熱処理中に、超電導体へ基材からの不純物混入により特性低下が起きたり、部分溶融した前駆体と支持基材の熱膨張率差によりクラックが発生したりすることを考慮して、支持基材の材料が選択されている。さらに、バルクの大型化に当たっては、長時間の熱処理となるため、支持基材と前駆体の間に介在物を挿入するなどの提案もあるが、7cm を超える大型バルクの作製はできない。本発明では、部分溶融法において、支持基材の表面を、RE' 化合物 (RE' は RE 以外の希土類元素)、Ba 化合物、Cu 化合物またはこれらの複合化合物からなる粉末と RE''<sub>2</sub>BaCuO<sub>5</sub> (RE'' は RE 以外の希土類元素) の粒状粒子の混合物からなるようにし、かつ、基材と前駆体が直接接触する部分に生成する (RE', RE'') - Ba - Cu - O 系超電導相の結晶生成温度が、前駆体から生成する RE - Ba - Cu - O 系超電導相の結晶生成温度よりも低くなるように RE', RE'' を選択したことを特徴とする。これにより、従来よりも大型で、クラッ

クの無いバルク超電導材料を安定に製造することが可能となった。

**4) 特開 2007-71659 「連続型磁束観察装置および方法」：**

本発明は、長尺の超電導線材の超電導特性の不連続性評価のための連続型磁束観察装置に関するものである。磁束観察手段として面内磁化型磁気光学膜（MO 膜）を用い、超電導線材を間欠的に搬送する線材供給部と線材巻取り部、超電導線材を保持する線材保持部、超電導線材のテープ面に垂直方向に磁界を発生する電磁マグネット、MO 膜を超電導線材の表面に着脱する MO 膜ホルダ、MO 膜に直線偏光光を照射する照明光学系、MO 膜による偏光分布を観察する撮像部と、超電導線材を観察位置で一定温度に設定するため線材保持部を温度制御する冷凍機とから構成することを特徴としている。この発明により、一定温度下の試料の高分解能磁束密度分布を長手方向に連続して効率的に測定することができるようになった。

**5) 特開 2007-74120 「超電導回路」：**

超電導回路は、低消費電力で 10GHz を超える高速で動作することが特長である。このような高速動作には、室温で生成したが外部クロックでは実現できないジッタの少ない高周波クロックを必要とする。従来も、外部から入力した正弦波信号を周波数通倍回路やジョセフソン接合伝送線路（JTL）整形回路などが用いられていたが、十分精度の高い等間隔パルスは得られなかった。本発明では、超電導ループ内に閾値が異なる第 1 のジョセフソン接合と第 2 のジョセフソン接合とを設け、一方の接合で単一磁束量子をプリセットし他方の接合で単一磁束量子をリセットする。この際、第 1 のジョセフソン接合と第 2 のジョセフソン接合の閾値を異ならせることで、各ジョセフソン接合が正弦波入力の 1 周期に一回だけスイッチして単一磁束量子を発生するような超電導ループを 2 個用いた。周波数通倍は、正弦波信号が入力する第 1 の入力トランスの 2 次側インダクタに結合された第 1 の超電導ループと逆位相正弦波信号が入力する第 2 の入力トランスの 2 次側インダクタに結合された第 2 の超電導ループを設け、第 1 の超電導ループからの単一磁束量子パルスと第 2 の超電導ループからの単一磁束量子パルスとを重畳する。この本発明により、20GHz を超えるクロック信号の生成が可能になった。

（SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄）

## (社) 未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会第 66 回ワークショップ 「超伝導で極限を測る」報告

3月7日に御茶ノ水の化学会館において、「超伝導で極限を測る」というテーマで未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会第66回ワークショップが開催された。超電導体を用いた計測器は他の追随を許さない高い性能が特徴である。代表的な超電導計測器である超電導検出器とSQUIDそれぞれについて、研究のトレンドを紹介する発表と一つの応用の詳細を報告する発表が1件ずつあった。また、国家標準になっている超電導電圧標準とその技術のベンチャー展開についての報告、ADコンバータなどのアナログとデジタルが混合したミックスドシグナル処理技術の計測への展開可能性の報告があった。会場は定員60人ほどの大きさであったが、ほぼ満員であり、活発な質疑が行われた。

超電導検出器の測定原理とトレンドが高橋(東大)から紹介された。超電導トンネル接合素子(STJ)は、クーパー対の破壊により生じた電子のトンネル電流を検出するためマイクロ秒オーダーの非常に高速な応答が特徴である。超電導転移領域を利用した温度計と電熱フィードバックを組み合わせた超電導転移端型マイクロカロリメータ(ETF-TES)は、極めて優れたエネルギー分解能と高計数率を実現しており、現在の主流である。蛍光X線分析やX線天体観測への応用が期待されている。課題はどちらも検出面積が小さいことであり、アレイ化による検出面積増大が研究されている。

満田(宇宙研)からTESを用いた宇宙観測の話があった。現在の宇宙を構成する物質・エネルギーのうち元素など普通の物質はわずか4%に過ぎず、しかもその普通の物質の90%およびダークマターと呼ばれる宇宙の23%を占める物質は、X線によってのみ観測可能である、というスケールの大きな話であった。宇宙研では、これらのX線観測に用いるためにアレイ化した超電導検出器を開発しており、将来は衛星に乗せて観測を行うとのことであった。

東海林(産総研)からジョセフソン接合を使った電圧標準の測定原理と研究のトレンドの話があった。直流電圧標準はNb/AlOx/Nb接合アレイによるものが実際に国家標準として使用されている。現在の研究の中心はデジタルボルトメータの直線性評価や交流電圧実効値の高精度測定を目的としたプログラマブル・ジョセフソン電圧標準と呼ばれる新しい方式に移ってきている。東海林のところでは、窒化ニオブを使ったより使いやすい電圧標準のベンチャーを立ち上げている。また、日本の電圧国家標準のチップは米国Hypres社製を使用しており、このようなチップは国内で供給すべきではないかという問題提起があった。

SQUIDのトレンドは円福(九大)から紹介があった。SQUIDは他の技術では実現できない超高感度の磁束計として知られており、医療・バイオ応用、材料検査・評価応用、電子計測応用、磁気探査などのセンサシステムとして研究開発がなされている。これらの応用のうち脳磁界計測などのより高い感度が必要とされる応用には金属超電導体(Nb)が用いられ、可搬性や操作性を重視する応用には酸化物超電導体が用いられている。

石山(早大)から金属超電導体SQUIDを用いた小動物生体磁気計測の紹介があった。遺伝子工学的技術によって作製された疾患モデル小動物の中でマウスは最も早く全ゲノム配列が解明されたため、他種類の疾患モデルが生み出され利用されている。マウスは体重が約20gでラットなどの他の実験動物に比べて非常に小さく、マウスの脳・心機能の非侵襲的検査にはSQUIDが不可欠である。石山のグループは、リフトオフ距離を0.7mmに短縮することにより、極めて空間分解能が高いマウス用計測システムを開発した。これを用いて様々の疾患マウスの心磁図計測に成功している。

超電導デバイスが持つアナログ処理の優位性と高速デジタル処理を融合したミックスドデジタル処理の計測への応用について鈴木(SRL)が報告を行った。具体的には超電導/半導体ハイブリッドADコンバータと高温超電導サンプラである。ADコンバータはNb系プロセスで作製され、サンプリン

グ周波数18GHzにおいて帯域9MHzで14bit値の分解能が得られている。この値は世界最高であり、今後様々な計測への応用が期待できる。サンプラは高速波形を計測する装置であり、小型冷凍機を用いて非常にコンパクトなシステムができあがっている。この装置を用いて50GHzの波形測定に成功している。

(SRL/ISTEC 低温デバイス開発室 日高睦夫)

[超電導 Web21 トップページ](#)



## American Physical Society March Meeting (APS2007) 報告

2007 年 3 月 5 日から 9 日にかけて米国コロラド州の州都デンバーで、米国物理学会（APS）会議が開催された。デンバーはロッキー山脈のふもとに位置し、米国でもひととき風光明媚な都市に数えられる。自治体としての成立は 1858 年 11 月 22 日にさかのぼる。当時金が発見され、いわゆる「グレート・コロラド・ゴールド・ラッシュ」が起きて、探鉱者の一団によって自治体が設立されたのである。

米国物理学会は、物理学者の会議として世界最大規模、特に権威ある会議として名高い。今年は、現代物理学のあらゆる領域を網羅した 6,500 本あまりの論文がコロラド・コンベンション・センターに寄せられた。

超電導がらみでは「新規超電導体」「理論」「合成」「物理特性」「超電導体の特性」などについて、40 ほどのセッションが行われた。

会期初日には、高温超電導（high  $T_c$ ）の発見 20 周年を祝す特別セッションが催された。講演をおこなったのは、G. Bednorz（IBM チューリッヒ）、C. W. Chu（ヒューストン大学、香港科学技術大学）、B. Maple、D. Scalapino（カリフォルニア大学）、P. Grant、R. Cava（プリンストン大学）、M. Cohen、A. Kapitulnik、J. M. Tarascon、D. Finnemore（エイムズ研究所）の各氏である。各氏とも、当時の取り組みや同僚とのやり取りなどをまじえ、うちとけた調子で高温超電導発見の歴史について語った。講演者の多くは、高温超電導の確認をめぐる 1986 年に東京大学グループ（田中昭二、北澤宏一）の果たした役割を高く評価し、事実上このグループの成果をきっかけにして世界中で高温超電導ブームが始まったと見ている。この特別セッションで田中昭二所長（超電導工学研究所、国際超電導産業技術研究センター）はフランコ・ラゼッティ氏（1901～2001）に関する特別講演をおこない、また日本における高温超電導の黎明期について簡単に述べた。特別セッションの締めくくりとして、高温超電導の発見に関するパネル討論会がおこなわれた。

「新規超電導体 1～7」と題する 7 つの集中セッションで、近年超電導体であることが明らかになった新しい材料の成果が報告された。具体的には（1）重フェルミオン（ $eCoIn_5$ ）、（2）ナトリウム・コバルト（ $Na_xCoO_2 \cdot yH_2O$ ）、（3）ルテニウム銅酸化物、（4）ホウ化物、（5）ホウ素ドーピング・ダイヤモンド、（6） $\beta$  型パイロクロア酸化物（ $KOs_2O_6$ ）、（7）高圧下における金属（イットリウム [Y]、カルシウム [Ca]）の超電導性、（8）グラファイト層間化合物、（9）カーボン・ナノワイヤーにおける誘起超電導、（10）グラフェン超電導体と有機超電導体などである。新たに発見された超電導体の中でも、物理学者の大きな注目を浴びているのはニホウ化マグネシウム（ $MgB_2$ ）である。いまや超電導研究の焦点は、純粋化合物から化学置換化合物へと移っている。とりわけ注目されているのが、 $MgB_2$  における炭素ドーピング効果である。臨界磁場が最大 70 テスラまで劇的に増進した要因は、炭素ドーピング効果にある。またワイヤーと薄膜の実用化で大きな鍵を握っているのも炭素ドーピング効果である。

「電流と渦力学」と題するセッションでは、ロスアラモス国立研究所のチームが、（1）臨界電流の密度分布、（2）臨界電流の限界値の試験、（3）角度と磁場（最大 50 テスラ）との函数としての不可逆線の研究、（4）不規則性が Y-123 膜に及ぼす影響という報告を行った。オークリッジ国立研究所のチームが示した成果は主として、IBAD 基板上で  $BaZrO_3$  をドーピングして形成した Nd-123 薄膜の蒸着特性および磁気特性に関するものであった。

特に関心の高かったセッションのひとつに「超電導をめぐる基礎研究の必要性」がある。このセッションでは、（1）新規超電導体の設計、新規超電導材料への取り組み（イリノイ大学、J. Eckstein 氏）、（2）先進超電導体の設計メカニズムの理解（カリフォルニア大学、W. Pickett 氏）、（3）ボルトテックス物質の構造と力学（アルゴンヌ国立研究所、W-K. Kwok 氏）の報告がなされた。セッションの最後には A. Malozemoff 氏（American Superconductors 社）が超電導の将来的な大規模な実用化と、超電導で配電網を一新する計画とについて講演した。



「超電導体の合成」と題するセッションでは、高圧技法と薄膜蒸着技法とを使ったさまざまな合成手法に関する報告が大半を占めた。他方、STM、ARPES、光学、ラマンなど、各種の分光技術で超電導体の特性を明らかにする研究についてはほとんど発表がなかった。会期の最後 2 日間には「超電導体の理論」と題するセッションがいくつか催され、フォノン媒介機構が論じられたほか、高温超電導状態になるときのスピン不均一性と電荷不均一性の影響をめぐってとみに増えている疑問点が論じられた。

今回の米国物理学会では、並行して科学機器の展示会もおこなわれ、主要な科学機器メーカーから、新規材料の合成や特性評価に新機軸を盛り込んだ製品が出展された。



スクリーン左から北澤、田中、内田、高木

日本における高温超電導の黎明期について語る田中昭二所長（超電導工学研究所、国際超電導産業技術研究センター）。東京大学時代の同僚（北澤宏一、内田慎一、高木英典）を紹介している。

（SRL/ISTEC 材料物性研究部 セルゲイリー）

## 【隔月連載記事】

### 高温超電導の謎に迫る（その 3）

東京大学  
大学院理学系研究科  
教授 内田慎一

#### 3. 擬ギャップの謎

第 3 回で、特に擬ギャップを取り上げるのは、その起源が未だ分かっていないことと、多くの研究者が、擬ギャップが異常な正常状態を出現させる要因であるとともに高温超電導ミステリーの中核をなしていると考えているからである。「ギャップ」とは半導体や超電導体でみられる電子のエネルギーギャップのことである。半導体のギャップと超電導ギャップとでは質的に大きな違いがあるが（「超電導 Web21」2001 年）、外からの力に抗してその状態を保持・安定化させているエネルギーであるという点では共通である。

高温超電導ミステリーでいう「擬ギャップ」とは、超電導あるいは他の秩序状態に関連した「ギャップ」である。「ギャップ」は結晶全体に及ぶ長距離の秩序形成を支えるエネルギーとなる。「擬」という字は、長距離にわたる秩序形成に至らず、秩序が局所的（短距離）にしか発達していないという意味合いをもたせている。当初、「擬ギャップ」は超電導の前駆的な現象に付随するものという意味で使われていた。超電導の前駆現象は低温超電導体でも観測され「超電導ゆらぎ」と呼ばれている。これは、電子対は形成されているものの、その位相が長距離に亘っては揃っていない状態である。しかし「ゆらぎ」が観測されるのは  $T_c$  の極く近くだけで、「擬ギャップ」という言葉が使われることはない。

高温超電導の異常さは、前駆現象と思われる状態が  $T_c$  よりかなり高い温度（擬ギャップ温度  $T^*$ ）で観測されることにある（図 1）。例えば、 $T_c=60K$  のアンダードーピング YBCO での  $T^*$  は  $200K$  以上にもなる。低温超電導体と同じ超電導ゆらぎとすると、高温で観測される理由は、電子対密度（超流動密度） $\rho_s$  が小さいことと電子状態の 2 次元性に帰することができるであろう（前者は量子力学的ゆらぎ、後者は熱力学的ゆらぎを増長させる）。しかしながら、 $T^*$  はゆらぎにしては高過ぎ、また実際、超電導ゆらぎと考えられる現象、例えば熱磁気現象の 1 つであるネルンスト（Nernst）効果や反磁性磁化率の増大、が観測されるのは  $T^*$  よりもかなり低い温度である。<sup>1)</sup>

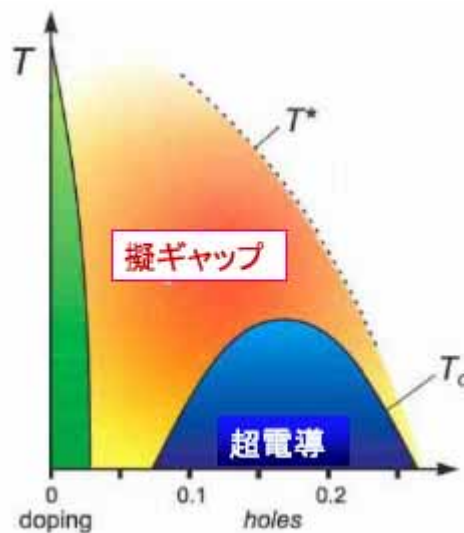


図 1 電子相図中の擬ギャップが現われる領域

RVB 理論が提唱する前駆現象は、従来の「ゆらぎ」とは違い奇想的である。電子の持つ電荷とスピンのうち、先ずスピンが  $T^*$  で対をつくると考えるのである。Cu イオンのスピン間に働く強い反強磁性相互作用 ( $J \sim 1500K$ ) が対形成の仲立ちをするので  $T^*$  は高くなる。この対形成によりスピン励起にエネルギーギャップができるので（これが RVB 状態と呼ばれるものである）、擬ギャップはスピングャップということになる。スピン対に先導されて電荷の方も  $T_c$  で対をつくり超電導が実現するというシナリオである。

歴史的に、酸化物超電導体で「擬ギャップ」が観測されたのは  $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$  ( $T_c=12\text{K}$ ) である。<sup>2)</sup> この物質の擬ギャップは、超電導と競合する電荷密度波(CDW)の短距離秩序に伴うもので、超電導ギャップとは全くの別物である。Cu 酸化物においても、最近、超電導秩序とは別の秩序に関係することを示唆する実験結果が出てきており、論争が巻き起こっている。これまでに発見された「擬ギャップ」現象の特徴を時系列で並べてみると：

- 1) NMR や中性子散乱においてスピン励起のギャップ（スピンギャップ）がアンダードープ域の高温超電導体で観測された（1989 年）。 $T_c$  から  $T^*$  までの温度領域で電気伝導は金属的であり、電荷の励起にはギャップがない。RVB 理論の予想に近い結果である。
- 2)  $\text{CuO}_2$  面内の電気伝導は金属的であり、電荷の励起にギャップはないが、面間（c 軸方向）の電気伝導は半導体的でギャップが観測される（1992 年、図 2）。
- 3) 角度分解光電子分光（ARPES）により、「擬ギャップ状態」では、運動量空間の特定の場所（アンチノード）でギャップが開いており、別の場所（ノード）ではギャップがゼロになっていることがわかった（1995 年、図 3）。ARPES は電子の励起を見るので、スピンだけでなく電荷にも、運動量空間の限られた領域ではあるが、ギャップが開いていることを意味している。ギャップの運動量依存性から、擬ギャップは超電導ギャップと類似の d 波的運動量依存性をもつことがわかる。c 軸電気伝導は運動量空間のアンチノード近くの領域で決まるので、2) で述べた電気伝導の対照的な振る舞いが理解できる。

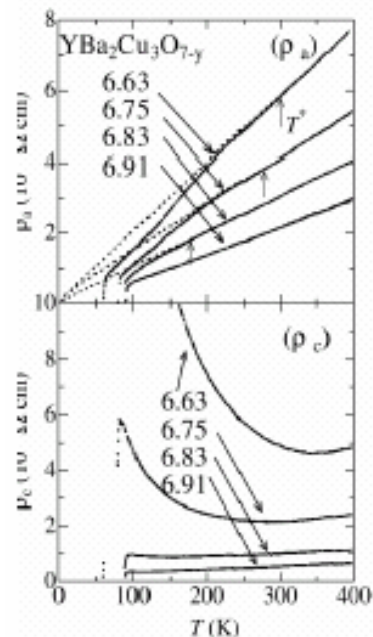


図 2 面内( $\rho_a$ )、c 軸電気抵抗率( $\rho_c$ )の温度依存性

- 4) STM/STS では、 $T_c$  の上の正常状態だけではなく、 $T_c$  以下の超電導状態でも、 $\text{CuO}_2$  面の一部（ナノメートルスケールの領域）に擬ギャップが観測された（2002 年、図 4）。<sup>3)</sup> 超電導秩序が局部的に壊れた磁束の芯近くでも擬ギャップが出現する。これらの擬ギャップ領域では、チェッカーボード状の「電荷秩序」が観測される（2005 年）。<sup>4)</sup> 同様な「電荷秩序」は超電導を外れた稀薄ドーピング域（スピンガラス相と呼ばれる）でも観測されるので（図 1）、STM 観測結果からは、超電導とは別の秩序を表わして

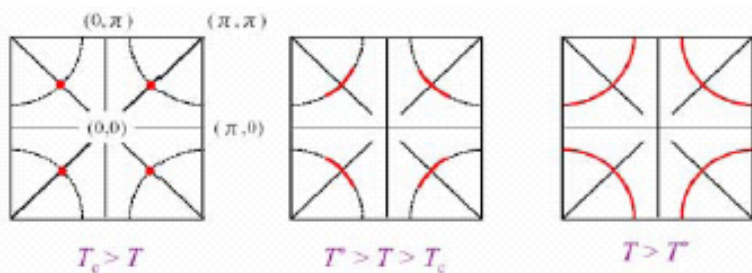


図 3 擬ギャップ及び d 波超電導状態でギャップが観測される運動量空間の場所（黒い破線）。赤で示した線上、あるいは点でギャップはゼロになっている。

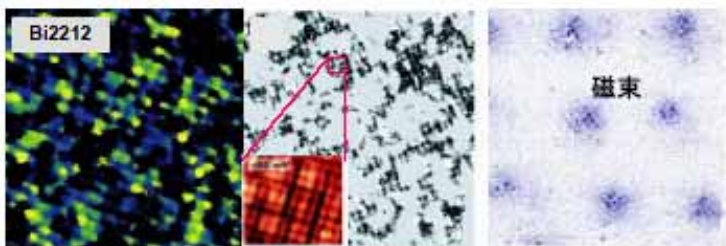


図 4  $\text{CuO}_2$  面上の一部で擬ギャップが STM/STS で観測される（左図、暗い領域）。その領域ではチェッカーボード状の「電荷」パターンが見られる（中図）。磁場をかけたとき、磁束の近くで似たようなパターンが見える（右図）。



るように見える。擬ギャップの大きさも、超電導ギャップの大きさに比べかなり大きいということもわかってきた。STM や ARPES は試料表面の電子状態を調べるプローブであり、実験は殆んどの場合 Bi 系超電導体 (Bi2212) に対して行われているので、3)、4) の結果が結晶表面だけに現われる特殊な状態を見たもので、擬ギャップ状態の真の姿を捉えているのかという疑問があった。しかし、現在では、この疑問はほぼ解消している。擬ギャップは、ドーピングされた  $\text{CuO}_2$  面で実現する複数の状態のうちの 1 つであり、「擬ギャップ相」と呼ぶべきものとなる。その正体として、空間的にゆらいだストライプ秩序 (電子液晶とも呼ばれている)、電子対が整列して結晶化したもの (電子対結晶) など様々な候補があげられているが決め手となる証拠が未だにない。

「擬ギャップ相」は超電導秩序が形成される前、あるいは超電導秩序が弱められた場所に出現していることがわかった。この意味では、La 系物質のストライプ秩序と同様、超電導秩序と敵対する電子秩序であり、またその電荷秩序のパターンからストライプ秩序と「擬ギャップ相」とは密接な関係にあると想像できる。一方、ストライプ秩序に比べると「擬ギャップ」は超電導秩序との相性のはるかに良い。上述のように、超電導ギャップと同じ d 波ギャップである。また、磁束芯の近くやドーピング量の少ない (アンダードーピング) 領域の超電導状態で  $\text{CuO}_2$  面に「擬ギャップ相」が顔を出す。超電導にとっては必ずしも破壊的な存在ではなく、両者は共存して高い  $T_c$  を保持しているように見える。 $\text{CuO}_2$  面を 3 枚以上もつ多層系 (例えば  $\text{HgBaCa}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$ ) では、内側の  $\text{CuO}_2$  面は正孔濃度が低く「擬ギャップ相」になっていると考えられる (図 5)。外側の超電導  $\text{CuO}_2$  面との共存状況が 100K を越える  $T_c$  を可能にしているという考え方もある。

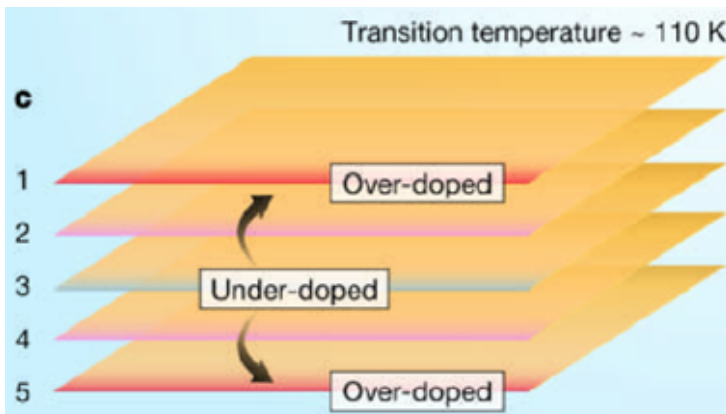


図 5 多層系においては、外側の 2 枚の  $\text{CuO}_2$  面で超電導秩序が発達し、内側に行く程、「擬ギャップ相」が優勢になる。

超電導とストライプが「水と油」の関係にあるとすれば、超電導と「擬ギャップ相」は「水と蒸気」の関係といえるかもしれない。しかし、 $\text{CuO}_2$  面で超電導領域と擬ギャップ領域とがミクロに相分離しているわけでもなさそうである。極く最近の STM や ARPES の実験から、両者は  $\text{CuO}_2$  面上に均一に分布し共存しているのではないかと考えられるようになってきた。「水と蒸気」というより「超臨界水」と呼ばれる状態に近いように見える。超臨界水という工業的に注目されている「水」は、 $374^\circ\text{C}$ 、220 気圧 (臨界点という) 以上の高温高压で実現する液体とも気体とも区別のつかない状態である。臨界点近くの超臨界水は、僅かな圧力変化で水にも水蒸気にも変化させることができる。あたかも、磁場 (磁束) によって「擬ギャップ相」が誘起されるようにである。超臨界水は高温の熱力学状態であるが、超電導は量子力学が支配する状態である。2 つの異なった相が均一に共存するなどということは熱力学的にありえないが、量子力学の世界では、例えば電子が粒子と波の 2 面性をもつように、可能であると考えられている。このような「量子臨界現象」として超電導を捉える考え方は、最近発見された Co 酸化物や p 波クーペー対が形成されている Ru 酸化物、そして「重い電子系」と呼ばれる一連の強相関電子系が示す超電導に適用されている。では、何故 Cu 酸化物が圧倒的に高い  $T_c$  をもつのであろうか？ これについて次回触れてみようと思う。



#### 参考文献

- 1) Z. A. Xu *et al.*, Nature 406 (2000) 486-488. 及び  
Yayu Wang *et al.*, Phys. Rev. Lett. 95 (2005) 247002.
- 2) S. Tajima *et al.*, Phys. Rev. B 32 (1985) 6302-6311.
- 3) K. M. Lang *et al.*, Nature 415 (2002) 412-416.
- 4) K. McElroy *et al.*, Phys. Rev. Lett. 94 (2005) 197005.

## 読者の広場 Q&A

Q: 「高温超電導体は、現在単独でどれだけの高磁界を発生させる事ができるのでしょうか？」

A:

現在、高温超電導体単独で発生できた最高磁界は 17 テスラ（17 万ガウス）であり、従来の低温超電導体単独で発生できた最高磁界 21 テスラに迫りつつあります。

高温超電導体を用いて高磁界を発生させる方法には、図に示すように 2 つの方法があります。すなわち、①バルク（塊状）超電導体に外部からの磁束を着磁（磁束を捕捉）させて超電導磁石にする方法です。もう一つは、②超電導線コイルに外部から電流を流して超電導マグネットにする方法です。

①の超電導磁石では、イットリウム系酸化物超電導体が最高記録を保有しています。この超電導磁石は、直径 24mm の Y-123 を 29K（マイナス 244 度）の低温で着磁したもので、バルク超電導体に捕捉された磁束密度として 17 テスラの最高磁界を超電導工学研究所が記録しています。

Nature(2003 Jan.)

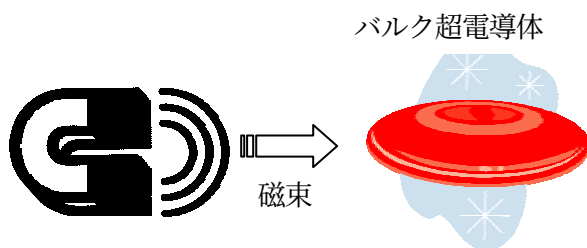
この種の超電導磁石の高磁界化は、直径が大きく、かつ均質なバルク超電導体の開発と機械的に強靱なバルク超電導体の製作技術開発が必要です。現在、直径 140mm のバルク超電導体もすでに開発されており、最高磁界達成の記録更新が期待されます。

一方、②の超電導マグネットでは、2 種類の高温超電導線を用いた技術開発がなされています。

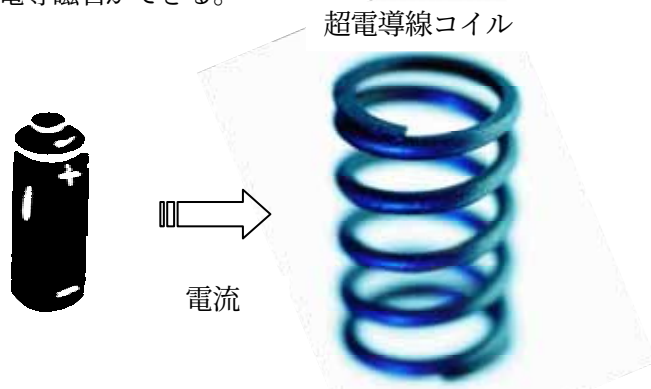
一つは、希土類（ガドリニウム）系酸化物超電導線（テープ状超電導線）60m をコイル状にしたものです。この超電導コイルでは、77K（マイナス 196 度）に冷やして電流を流すと 0.48 テスラですが、さらに 4.2K（マイナス 268 度）まで冷やして電流を流すと 5.7 テスラの磁界を超電導工学研究所が記録しています。もう一つは、ビスマス系酸化物超電導線（テープ状超電導線）をコイル状にしたものです。学会（2006.11）この超電導コイルでは、20 センチメートルの空間に 20K（マイナス 253 度）で 8.1 テスラの高磁界を住友電気工業（株）が記録しています。プレス(2007.2)

この種の超電導マグネットの高磁界化は、コイルの巻数の増大と流す電流を大きくすることが必要です。コイルの巻数の増大には、超電導線を長く製造する技術開発が必要です。また、電流を大きくするためには、線断面当たりの電流密度を向上するために不可欠な高温超電導体の極めて高度な結晶制御技術を必要とします。これ等の技術は近年急速に進展しており、高温超電導線を用いた超電導マグネットの高磁界化にも大きな期待が寄せられています。

（編集局）



バルク超電導体に磁束を着磁（捕捉）させると、超電導磁石ができる。



超電導コイルに電流を流すと、超電導マグネットができる。