

掲載内容 (サマリー):

第 11 回国際超電導産業サミット (ISIS-11) 共同コミュニケ

特集: 回転機技術

超電導回転機の応用展開
超電導回転機技術の動向
超電導回転機と静止器とは
超電導発電機基盤技術開発の現状
超電導電動機技術開発の現状

バルク超電導磁石の誕生 Nature 誌への掲載
超電導関連 2-3 月の催し物案内
超電導関連製品ガイド - バルクとその応用 -
新聞ヘッドライン (12/19-1/17)
超電導速報 - 世界の動き (2002 年 12 月)
標準化活動 2 月のトピックス
応用物理学会 超伝導分科会 第 26 回研究会
特許情報
隔月連載記事 - やさしい超電導のおはなし (その 1)
読者の広場(Q&A) - バルク超電導磁石の着磁とはどのようなことでしょうか?

[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。

第11回国際超電導産業サミット (ISIS-11) 共同コミュニケ

第11回国際超電導産業サミットが2002年11月17日～19日、東京で開催された。今次会合では内外から約50名が参加し3日間にわたる議論が行われた。また、サミット参加者全員の合意の下共同コミュニケの取りまとめが、12月末に完了した。今回の会議における議論のエッセンスはコミュニケの中に最もよく反映されていると思われるので、コミュニケの概略を以下に紹介する。

まず、超電導を巡る状況についてである。超電導は当初いわゆる低温超電導体(LTS)を工業的に応用することから始まった。また、高温超電導体が発見され、世界的に超電導技術開発競争が展開されたが、この間超電導技術は着実に進歩してきている。一方、情報通信技術の進歩やその利用範囲の劇的な増加等将来のエネルギー需要は拡大を続けていくが、一方で環境問題に関連した制約もどんどん厳しくなっていく。その意味で超電導技術は時代の要請に応え得る有力技術の1つであることはまちがいが無い。

しかし超電導技術を完全に商業化するためには、個別の市場機会に対応した信頼性の高い超電導製品を妥当な価格で提供しなければならない。さらに超電導製品は、顧客に付加価値を提供するものでなければならない。この点については、超電導を利用した製品分野の拡大になお努力が必要である。

このような状況を踏まえて、ISIS-11の出席者は超電導技術の商業化推進と、予想される障害を克服するための現実的手法に関し、様々な状況について議論した。サミットで議論を交わした超電導技術の応用分野は、HTS電力ケーブル、変圧器、限流器、HTS発電機、HTSモーターと船舶推進システム、MRI/NMRシステム、超電導磁石、フィルターおよびネットワーク素子など、電力とエレクトロニクスの多岐にわたっている。そのなかでも冷凍技術は、超電導のあらゆる応用分野にとって最も重要な支援技術であって、超電導産業の未来にとって不可欠の要素であり、その開発に全力で取り組む必要があるというのがISIS-11の出席者全員の一致した意見であった。

以上を踏まえ、ISIS-11出席者は、以下の点で合意に達した。

- (1)世界の電力需要は着実に増加を続けており、今後も情報通信産業の発展とアジア諸国の経済成長を主な要因として、なお増加を続けるものと考えられる。その一方、貴重な地球環境を保護するためにはエネルギー利用の効率化がますます重要課題となるはずである。こうした問題に対処する上で、超電導技術は実現可能性を備えた最も有望な技術の1つである。
- (2)超電導技術の商業化を加速するためには、有望かつ実行可能な特定の応用分野にマンパワーと投資を集中する必要がある。
- (3)超電導技術の商業化の拡大を実現するためには、超電導業界自らが顧客に対して同技術のメリットを十分に納得させる必要がある。

(4)超電導技術の商業化には標準化が不可欠である。超電導製品を標準化するためには、現在市販されている製品ならびに研究開発段階の製品についての国際的な取り組みが必要である。

(5)国際協力の促進に CCAS、CONNECTUS、ISTEC が果たしてきた役割と貢献については幅広い賛同を得た。さらに出席者から、この3機関による現在の活動の継続を強く促す意見があった。

なお、次回サミットは CONNECTUS がホストとなり欧州で開催されることが合意された。

最後に、筆者の個人的感想を付け加えさせていただく。今次サミットの大きな特徴の1つは冷凍機技術をとりあげたことである。それがなければ超電導体はその機能を発揮できないという意味で冷凍機は最も重要な支援技術である。冷凍機の重要性が今回サミットで改めて認識されたことは意義深いものであったと思う。今後、超電導分野と冷凍機分野の一層の密接な協力関係の下、超電導技術がなお一層発展していくことを期待したい。

(注)共同コミュニケ本文は、<http://www.istec.or.jp/> の「国際会議のご案内」の欄を参照されたい。

(ISTEC 国際部長 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導回転機の実用展開

1. はじめに

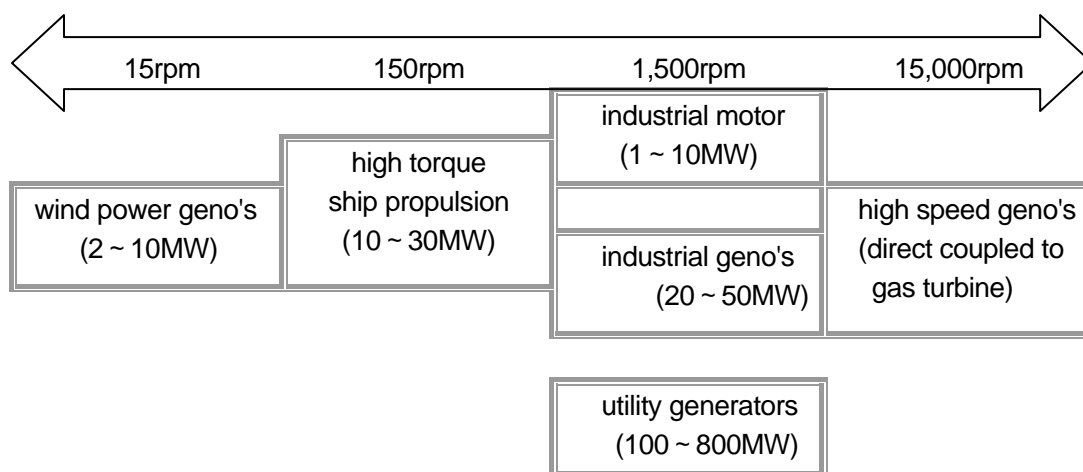
発電機や電動機を中心とした電力機器用超電導回転機に関しては、本特集でそれぞれの専門家が執筆されているので、ここでは簡単に外国における開発の狙いと ISTECS を中心とした活動について報告する。

2. 世界の動き

既に 100 年の歴史を有する通常の発電機や電動機は、制御系をも含めたシステム全体の技術成熟度が極めて高い。あえて超電導回転機を市場に投入するためには超電導化することによる相当な利点がなければ普及はおぼつかない。たとえそれがニッチなマーケットであっても。

事業としての戦略性または国家としての戦略性が明確でないと開発の意味がない。

ドイツのシーメンス社が昨年 400kW の超電導同期電動機を開発した。これはプロト機ではあるが、事業戦略として、超電導化することによる、高効率、小型・軽量、優れた動特性に着目して、図 1 のような市場展開を狙っている。(注 1)



シーメンス社の担当事業部 CEO によると、ターゲットを 2MVA 以上の大型機に絞って、産業プロセス用には高速回転・軽量化の特徴を、また船舶用には低速・高トルクの特徴を活かして事業展開するとのことで、現状の電動機事業では利益が出ない分を上記技術革新で高収益を得ようとの狙いである。CEO は「技術革新は将来の稼ぎを増やすための良薬である」との信念に基づいて長期的視野に立って技術投資をしているという。

一方、国家的技術開発としては、米国 AMSC 社における船舶用高温超電導電動機の開発をあげることができる。ここでは、2003 年夏にテストすることを目途に 5MW、230rpm の電動機を開発中である。また、GE 社と共同して 20MW (?) の高温超電導発電機を開発している。事業戦略的には高効率と低運転コストを特徴とした高温超電導発電機の世界市場が年間 \$1.5B あるとみて 100 ~ 1,200MVA の電力事業用高温超電導発電機の開発を進める計画でいる。利益に直結しないことはやらない、業界で 1 ~ 2 位のシェアを持たないものには手をつけないというあの GE が高温超電導に参入しだしたのである。

3. 国内の現状

一方、国内では7MW機のフェーズ1に引き続き現在NEDOを通じて経済産業省の超電導発電機プロジェクトフェーズ2が進行している。基本的には低温超電導線材を用いて容量拡大の検討を行っている。超電導電動機に関しては、電力用、一般産業用、船舶用を問わず現在のところ国が関与した開発は行われていない。また、メーカーは自前で開発する程の意欲も余裕もないように見える。ユーザーの関心も得られていない。

4. ISTECの動き

今まで、ISTECは日・米・欧の超電導産業育成のための国際超電導産業サミット(ISIS)開催の一翼を担ってきたし、国際超電導シンポジウム(ISS)を毎年開催し、超電導の普及・啓蒙・情報交換などに大いなる努力を払ってきた。一方、超電導工学研究所では産業界との連携のもとに次世代線材といわれるY系線材の開発において世界のトップレベルの開発を進めつつある。「材料は使われなければ材料ではない」といわれるように応用展開を視野に入れた開発でないと意味をなさない。高温超電導の電力応用に関する調査は既に行われている。そこで、昨年度は「高温超電導の産業用マグネット応用」に関する調査を行った(注2)。ここでは高温超電導を用いた電動機、電磁ブレーキ、単結晶引き上げ装置、磁気分離装置、磁気浮上式鉄道を対象として、高温超電導線材の利用量、性能、効率・省エネ効果、利便性などについて調査している。この中では、電動機の市場が最も大きいと言う結果である。この結果を受けて、SRLでは今年度「高温超電導電動機実用化動向調査委員会」を発足させ、どうすれば市場に受け入れられるかを検討している。委員会メンバーには、超電導の専門家ではなく、通常の電動機及びその制御システムを専門としている方々にも参加して頂き、従来ともすれば超電導の専門家がその世界の中でしか議論してこなかったものを一気に世の中に曝して極めて厳しい意見のもとで、本当にどの分野にどのような容量のものが超電導としての特徴を出し得るかを議論している。何しろ相手は100年の歴史を有するのである。

これと並行して、実は超電導機器(システム)を専門とされる方に、既存製品の置き換えではなく、超電導の特徴を十分に活かした原理的に新しい機器の発想を出して頂ければ、超電導応用にもっともっと幅が出るように思うのだが。そして、その実現に必要な材料仕様ができれば応用開発に活気がでるのだが。

5. おわりに

現状機器の置き換えもさることながら、ニッチマーケットでも超電導ならではの機器があるのではないかとのご意見もよく聞く。世界の超電導の牽引役の一端を担うISTECも今後益々この方面への努力を払うべきだろうと考えている。読者諸兄のご意見を賜れば幸いである。

(注1): Dag W.A.Willen, NKT Research & Innovation A/S

第11回国際超電導産業サミット(ISIS-11、2002年11月東京 ISTECがホスト役を務めた)にて

(注2): 「高温超電導の産業用マグネット応用に関する調査報告書」

平成14年3月 財団法人 国際超電導産業技術研究センター

(SRL/ISTEC 特別研究員 堀上 徹)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導回転機技術の動向

東京大学大学院 工学系研究科
電気工学専攻
教授 仁田 旦三

電気機器である回転機は、発電機と電動機（モータ）に分類される。超音波を用いた電動機も考案されているが、実用回転機は、磁界と運動（発電機）磁界と電流（モータ）のように磁界を利用している。ここに超電導応用の可能性・有用性・成立性がある。

発電機では、磁界中の導体の運動による電圧発生を基本原理としている。一方、電動機は、磁界中の電流による電磁力や磁界中の透磁率の変化を利用している。前者は、発電機の構造と同じものである。

この磁界発生の電磁石を超電導磁石やバルク超電導体置き換えることや透磁率変化材料としてバルク超電導体を用いることによって、超電導回転機となる。また、発電機における電圧発生導体や電動機の電流導体（これを電機子導体と呼ぶ）に超電導線を用いることも考えられている。

ここで、現用の回転機の超電導化の方式に大まかな技術動向を考えることにする。

また、回転機は供給電源の違いにより、直流機と交流機に分けられる。直流機は、実用上その大半を占める整流子付き直流機と殆ど特殊用途である単極機（homopolar）に分けられる。異極機の超電導化は、アイデアとしては有ったものの明確な技術開発は聞かれない。一方、単極機は、元来それが特殊用途であった理由が、大きな空間に高磁界を発生する必要があるため、銅鉄の電磁石では難しい。空間に高磁界を発生できる超電導磁石の有用性が認められ、特に現用の直流機では製作が困難な大容量の電気推進船用モータとして開発が進められ、その中でも軍用に開発されているようである。このときは、超電導磁石は静止しており、また、電機子電流による磁界の作用（電機子反作用）を抑えることができ、超電導応用としてはその優れた特長を生かすことができるが、回転子である電機子電流の集電に課題を残している。

交流機は、同期機と誘導機に分類される。誘導機は、固定子、回転子共に交流が流れ、超電導線の交流特性改善にその研究開発は依存している。ただし、回転子は低周波交流であるため、例えば、バルク超電導体の磁束フロー状態を利用する超電導誘導機が考案されている。

同期機に関しては、電力系統の発電機として用いられる所謂同期機（固定子に交流が流れ、回転子は電磁石）と回転子の透磁率変化を利用するリラクタンス形やヒステリシス形がある。いずれも固定子の交流周波数に依存した回転数となる。従って、電動機として使用する場合は、インバータと組み合わせて可変速運転をする。前者は、電磁石に超電導マグネットを用い、現用機より小型・高効率機を製作できる上に磁気回路に磁性材料を使用しなくても良いため、電力系統の安定度を向上させる。また、電動機として使用した場合には、インバータ運転を容易にする。低温超電導を用いた超電導発電機の開発は実用化間近まで開発が進んでいる。発電機における高温超電導のメリットは少ないが、電動機に関しては、回転子速度変化が求められ、回転子の温度マージンの関係から高温超電導の利点が大いに発揮でき、その開発が進められている。また、回転子にバルク超電導体を用いれば、その透磁率の変化を利用したリラクタンスモータやその磁気ヒステリシスを利用したヒステリシスモータの開発が進められている。

低温超電導でもメリットのある単極機や大型同期発電機に加え、高温超電導で成立する電動機が期待される。また、高温超電導の特性を生かした更なる回転機応用も期待できる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導回転機と静止器とは

京都大学大学院工学研究科
電気工学専攻
教授 牟田一彌

「電気機器」の「機」は動くもの、「器」は静止したものに对应する用語である。一般に「機」は電氣的エネルギーを機械的エネルギーに変換する「動く」もの(電動機) またはその逆作用を行う「動く」もの(発電機) 一方、「器」は電氣的エネルギーの形態を保ちつつその量と質を換える「静の」ものであるが、「機」と「器」は媒質として磁気エネルギーを介している場合が多い。このように「動く」ことで機能するものが「回転機」、「静の」ままで機能するものが「静止器」と理解される。「回転機」にも多種多様な種類があり、誘導機・同期機・直流機の3種類が主流である。また、「静止器」は主として変圧器を意味する。

さて、これら「電気機器」の実用化の展開過程で、「材料」がキー要素であったと言って良い。「材料」は、構造材料をはじめ導電材料・磁性材料・絶縁材料・冷却材料に大別される。何れをとっても材料技術の進歩は、高電圧化・高電流密度化・高出力密度化・小型軽量化・低損失化・効率向上・長寿命化・耐環境性向上等にそれぞれ単独に、また相互に大きく貢献した。この流れの中で、1911年に発見された「超電導現象」の応用技術は、極めて損失の少ない超電導線材使用の可能性が拓けるにつけ、電気エネルギー発生・利用の割合が圧倒的に大きく成熟された「電気機器」の分野で1960年頃以降、銅を中心とした導電材料からの脱却が模索され始めた。ここに導電材料の緩やかながら進化した。この期から「電気機器」の質的進歩が問われたのである。その際に、「超電導電気機器」の新概念と、その変更に伴う新規の研究開発課題がクローズアップされることになる。

上述の「回転機」の代表格である同期機は元來電磁石を利用することから、これが超電導磁石(超電導界磁巻線)になり、その大きい発生磁界は空隙を大きくとれ、逆に現用機の電機子巻線を納める鉄心部の溝を排除した構造に、一方回転子の界磁巻線の超電導化で従來の回転子鉄心も不要にした構造概念が一般化した。大きい空隙と両巻線部からの鉄心排除は電力系統安定性向上に寄与するリアクタンスを小さくできることになる。勿論、効率向上も達成される。

他方、「静止器」の代表格は変圧器であり、これの一、二次巻線用導電材料を超電導化することで、効率向上が図られる。また、起磁力(電流と巻数の積)が大きく採れ、ターンボルト(一回巻線当りの電圧)設定に依存するが磁気鉄心の断面積を小さくでき、軽量化・小型化も図れる。耐燃性向上等環境負荷低減効果の利点も見られる。

上述のような超電導回転機や超電導静止器において、前者で超電導界磁巻線に直流電流、後者で商用周波数の交流電流が流れる。それぞれに独自の巻線構造の違い、回転と静止状態の違い、直流と交流の違い等から、超電導導体もおのずと質的・構造的に違いが出る。すなわち、両者間の超電導技術には全く違った観点で研究開発する必要性がある。研究開発者にとってフロンティア精神の発露となる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導発電機基盤技術開発の現状

超電導発電機関連機器・材料技術研究組合
発電機技術部
部長 武居 秀実

低温超電導発電機は、経済産業省プロジェクトの一環として新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの受託により、1988年度から12年間に亘り70MW級超電導発電機の開発を実施し、この結果200MW級機的设计製作技術に目処をつけた。更に2000年度から4年間で、経済性を向上するため、超電導発電機基盤技術プロジェクトとして、高密度化、大容量化機器のための基盤開発を実施している。

1. 開発目標

開発は、高密度化については200MW級機を、また大容量化については600MW級機を対象としている。具体的には表1のとおりである。

表1 プロジェクト開発目標

項目		今プロ	前プロ
高密度化 基盤技術	電機子巻線電流密度 *1	140A/cm ²	110A/cm ²
	界磁巻線電流密度 *2	80A/mm ²	60A/mm ²
	出力密度	1.5	1
大容量化 基盤技術	電機子電流	15kA級	6.5kA級
	界磁巻線電流	6kA級	3kA級
	回転子外径	1,100mm	900mm

注) *1：電機子巻線の導体、絶縁物および支持部材物を
含む環状の断面積の平均電流密度

*2：巻線取付軸スロット断面積の平均電流密度

2. 開発状況

開発に於ける個々の要素技術の開発目標を明確にするために第一次基本設計を行い、高密度200MW機、並びに大容量600MW機ともにその実現性の見通しが得られ、検証を要素モデル等で実施しつつある。

具体的には下記のとおりである。

(1) 高密度基盤技術（200MW級機）開発

・界磁巻線

前プロジェクトで実績のあるCu/CuNi/NbTi/の3層構造を持つ線材を更に電流密度を1.5倍に高密度化するよう開発を行っている。

現在のところ各種線材を試作し、開発目標値である臨界電流密度 $J_c=3.3\text{kA/mm}^2$ at 5T, 1.3kA/mm^2 at 8T がほぼ達成できた。

・巻線取付軸

前プロジェクトでは界磁巻線取り付け軸の材料として低温、常温両方で必要強度を確保するために A286 やインコネル等を採用していたが、加工性が悪くコストアップ要因となっていた。今回代替材料を検討した結果 Ni 量を半減した 13Ni 鋼を適用できる見通しが得られた。これにより材料価格面、加工工数の両面での低コスト化が期待できるとともに磁性材料の採用により更に高密度化を達成できる。

・電機子巻線

素線 6 本に対し 2 本の冷却管構成とし、かつ冷却管を 2 分割構造とすることで冷却性能の向上と損失の低減を果たした。コイル断面の温度解析により B 種制限以下に抑えられることが分かった。今後要素モデルにより検証を実施する予定である。

・ティース

従来 FRP から低価格のステンレスに変更し、固有振動等解析結果から問題のないことを確認したが今後要素モデルにより検証する。

・電機子巻線構造

電機子巻線部分モデルを作成し、電機子巻線導体や支持構造の要素モデル開発、各種解析結果の妥当性を検証する。部分モデルの構造は端部は実機相当、直線部は実機の 1/2 とし、通電、加振等の各種試験を予定している。

(2) 大容量基盤技術 (600MA 級機) 開発

・界磁巻線

前プロジェクトで実績のある Cu/CuNi/NbTi/ の 3 層構造を持つ 1.6mm 線材をベースに NbTi 臨界電流密度 J_c を 1.3 倍 (3.3kA/mm^2 at 5T) に高密度化し、且つ線径を 2mm に大径化して定格電流 6000A 級を目標として開発している。現在、製作時の熱処理条件の検討を終え、試作をした結果、目標線径 2mm において目標臨界電流密度をほぼ達成した。また、9 本燃線の大断面の成形燃線導体を試作し、測定した結果交流損失が目標値 200kW/m^3 に十分収まることが確認できた。

・界磁巻線構造

単コイル、並びに直線部分が実機相当の 1/5、断面、端部は実機相当の部分コイルを試作し検証を実施予定である。

・ティース

大容量機では電機子電流が大幅に増加するため、ティースに働く電磁力も増加する。このため、連結構造を持つウェッジを検討し、解析の結果突発短絡時の最大応力が単独ウェッジに比べ約 1/2 になった。

この構造についてもモデルにて検証予定である。

以上開発の現状について述べたが、本プロジェクトは 2003 年度に各種モデル等の検証試験等を実施して基盤技術を確立する。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導電動機技術開発の現状

東海大学
工学部 電気工学専攻
教授 牧 直樹

現用電動機に対してメリットが発揮出来る 1MW 機以上の高温超電導同期電動機の特徴として、効率向上（数%）、小型軽量化（約 2/3）、低騒音化（高調波磁束が小さいため）、インバータ駆動に有利（強力ダンパーにより高調波抑制）、過負荷耐量が大（負荷角が極めて小さいため）、部分負荷時の効率低下がほとんどなし、自起動が可能（ダンパーの利用）、調相運転が可能（無負荷運転時の界磁電流制御により）、などが挙げられる。

さらに、NbTi 線材などの低温超電導体に対して、高温超電導体を適用することにより、冷凍機容量の大幅低減（1/10 以下）、回転子内部真空度の低減（真空引きに代わって吸着剤ですむ）、過渡電流に対するマージンが不要（高温超電導体の短時間過負荷耐量増大のため）が期待出来る。一方、この高温超電導電動機を開発するのに必要な主要技術課題として次項が挙げられる。

- ・高温超電導マグネットの性能向上：高性能導体と巻線・支持・冷却技術の開発および経済性の向上
- ・極低温回転子の構造最適化：極低温回転子への熱浸入量の低減対策による冷凍機容量の減少
- ・回転子内蔵型冷凍機の開発：コンパクト化と信頼性向上
- ・キーコンポーネント・モデル機試作による各種性能と経済性の実証

Bi-2223 を 30K で使用する 10MW 超電導発電機を対象に基本設計を行い、回転子パラメータが特性に及ぼす影響について検討した結果、表 1 の設計例に示すように必要な界磁起磁力と電気装荷並びに電動機重量と発電機効率などが明らかになった。

表 1 10MW 高温超電導電動機の基本設計例

同期リアクタンス[pu]	0.3	界磁巻線の起磁力[MA/極]	0.50
回転子の外直径[m]	0.43	電気装荷[A/cm]	1280
固定子鉄心の積厚[m]	1.03	発電機重量[トン]	13.6
回転子体格[m ³]	0.19	発電機効率[%]	98.9

また、超電導界磁巻線が装着される極低温回転子部への熱浸入量を評価し、低温ダンパを省略し多層断熱材を用いた場合には 35～50[W]、低温ダンパを用いて輻射浸入熱を大幅に抑制した場合には 20～30[W]になることを示し、必要な冷凍機容量を明らかにした。

以上のように、高温超電導電動機は効率向上・重量低減のほかに低騒音化や過負荷・部分負荷特性の向上など魅力あふれるメリットを有するので、早急に開発を立ち上げる必要がある。そのとき、高温超電導マグネットの高性能化・経済性向上と冷凍機のコンパクト化・回転子内蔵化がキー技術となる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

バルク超電導磁石の誕生 Nature 誌への掲載

SRL/ISTEC 第1・3 研究部長
村上雅人

バルク超電導磁石誕生の物語は、2002年「隔月連載記事」に6回の連載を経て、無事ハッピーエンドで完結した。しかし、その物語は画竜点睛を欠いていたのである。実は、連載中には書きたくても書けない事情があったのである。それは低温安定性と呼ばれる超電導磁石の実用化に非常に重要な性質についてである。おそらく、超電導磁石の専門家は、バルク磁石の連載を読んで、安定性は大丈夫なのかと疑問に思っていたはずである。

なぜ、書けなかったかということ、その解決策を Nature へ投稿していたからである。ご存知のように、Nature は事前の情報漏洩を極端に嫌う。めでたく2003年1月30日号への掲載(M. Tomita & M. Murakami: Nature, vol. 421, pp. 517 - 520) が決まったので、大手を奮って書くことができたようになった。

超電導を強い磁石として使おうとすると、宿命として必ず低温不安定性という問題が顔を出す。低温超電導磁石では、超電導状態が突然壊れる「クエンチ」という現象でよく知られている。

高温超電導の場合の不安定性は、その熱伝導率の低さに起因している。バルク磁石を励磁しようとすると、外部から量子化磁束が超電導体内部に侵入していくことになるが、この磁束の運動にもなって必ず発熱が生じる。この熱が外部の冷媒によって、すぐに取り去られれば問題がないが、発熱が続くと、局所的に温度が上昇してしまう。すると、その部分の超電導特性が低下し、磁場がこの超電導の弱い部分になだれのように突入する。英語でも flux avalanche つまり磁束なだれと呼んでいる。

強い磁場下では、この磁束なだれ現象が生ずると、深刻な問題を引き起こす。それは、超電導状態が破れるだけでなく、図1に示すように、局所的かつ急激な磁場変化による大きな電磁力で、超電導磁石自体が破壊してしまうという致命的な問題である。

ところで、本連載でも紹介したように、大きな磁場を発生するためには、超電導バルク磁石の大型化が重要である。しかし、高温超電導体は酸化物であるため、熱伝導率がかなり低い。よって、大型になるほど熱的不安定性が増大するのである。例えば、表面から離れたバルク体内部で発熱が起こっても、その熱をすぐに取り去ることはできない。

実は、脆弱な機械特性とともに熱的不安定性は、バルク超電導磁石が抱える大問題として、海外の研究者から指摘されていたのである。バルク材料開発は世界の中で、日本が圧倒的な優位を誇っている。新しいRE系材料の開発、臨界電流密度、捕捉磁場、その大きさの世界記録もすべて日本で樹立されたし、いまだに日本の研究者が記録更新を続けている。さらに、機械特性問題を解決した樹脂含浸技術も日本が開発してきた。それだけに、日本の成果に海外の研究者がけちを付けるという、いままでの学問にはない面白い対立軸ができていく。

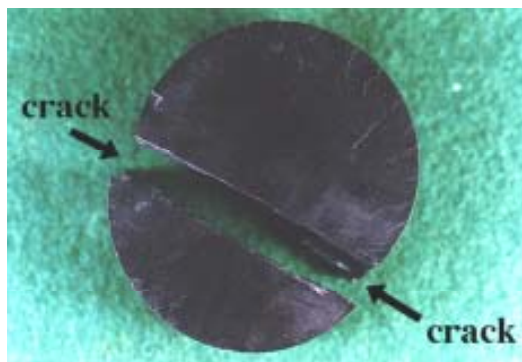


図1 磁場を捕捉させる実験中に、大きな電磁力でバルク体が破壊した例。

しかし、この熱的安定性の問題は、ある工夫をすれば解決できるだろうと個人的には確信していた。それは、バルク体に孔を空けて、金属を導入するという手法である。低温超電導体では、熱的安定性を高めるために、熱伝導率の高い銅やアルミニウムの中に超電導体を埋めるという手法を使っている。バルク磁石は、この逆で、バルク磁石の中に熱伝導率の高い金属を埋めればよいのである。孔は機械加工で簡単に開けることができ、しかも母体にダメージを与えない。

そこで、最初に取り組んだのが、銀の導入であった。バルク体に銀を添加するという手法は、機械特性向上のために一般に行われている。また、銀添加で熱伝導率が向上するという事も知られていた。顕微鏡で組織を観察すると、内部の空孔やクラックに銀が浸透している様子が観察できる。そこで、銀の棒を人工的に設けた孔に挿入して、熱処理を行えば、銀がうまい具合に孔のすみずみまで浸透するだろうと予想していたのである。しかし、予想したように浸透はせず、孔を空けた分、この付近の機械特性が劣化するという問題が生じてしまい、期待した結果が得られないことが分かったのである。

ここで、登場したのが樹脂含浸法である。実は、樹脂のかわりに低融点合金のウッドメタル (Bi-Pb-Sn 合金) を使っても含浸がうまくできるのである。そこで、人工孔を設けたバルク体にウッドメタルを含浸すると、図2のように人工孔を埋めるだけでなく、その孔とつながっているクラックを通じて内部の空孔などの欠陥をも埋めてくれることが分かったのである。これにより、内部の機械特性が飛躍的に向上することになった。さらに、熱伝導率を高めるために、孔にあらかじめ熱伝導率の高いアルミニウム棒を差込んでからウッドメタルで含浸するという手法を採用した。この手法により、バルク体の熱的不安定性も見事に解決し、実用化に十分耐えうるバルク超電導磁石が誕生したのである。

図3は、このような処理を施したバルク Y-Ba-Cu-O 磁石の捕捉磁場である。直径たった 2.6cm の大きさで、なんと 29K で 17T 以上の磁場を捕捉している。しか

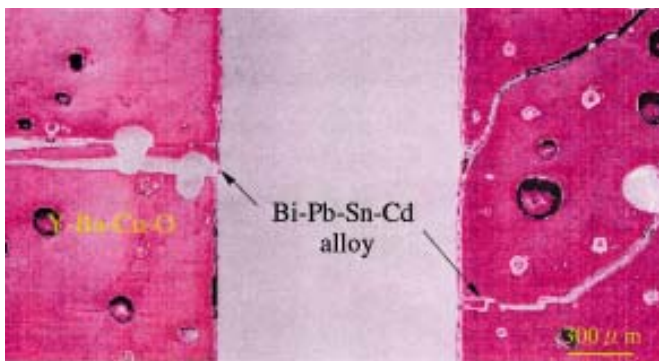


図2 人工孔を通してウッドメタル (Bi-Pb-Sn-Cd) がバルク体内部に浸透している様子。

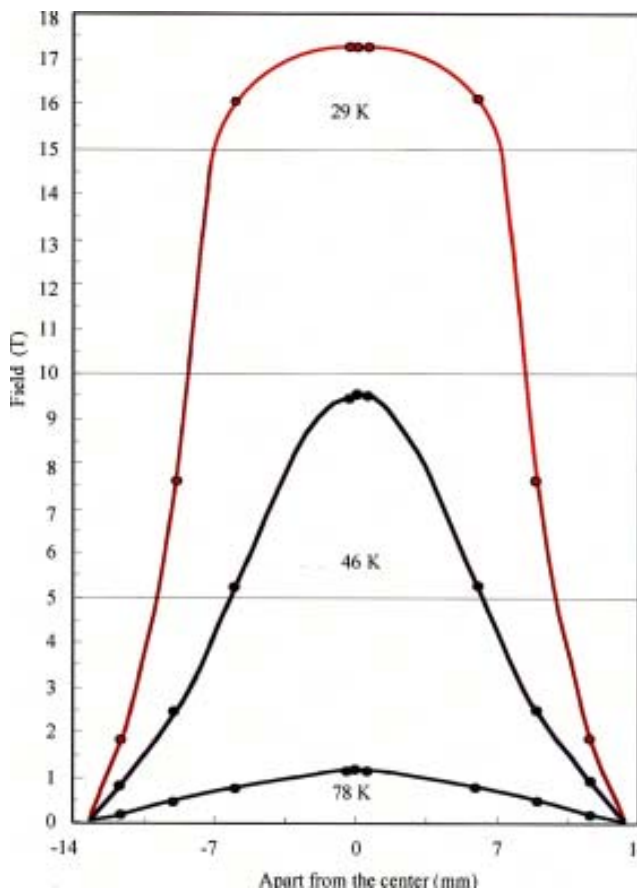


図3 樹脂含浸処理とウッドメタル含浸処理を施した Y-Ba-Cu-O バルク磁石 (2.6cm) の捕捉磁場。29K で 17T を超える磁場を捕捉している。

も、この図から分かるように磁場捕捉能はいまだ飽和していない。単純な試算でも 30T は優に超える。残念なことに、これだけ強い磁場を直流で発生できる施設は世界にも数えるほどしかなく、しかも実験のコストも 100 万円を超えてしまう。このため、30T バルク超電導磁石の実験はできない。

今回の 17T の捕捉磁場実験でも、つくばにある物質材料研究機構の強磁場センターの超電導マグネットをお借りしたくらいである。バルク超電導磁石の能力は、それだけ計り知れないということを示している。

今回の成果は、新しい学問分野の構築につながる可能性がある。バルク超電導磁石を冷凍機の先に着けて励磁すれば、超電導マグネットの狭いボアの中に限られていた超強磁場を自由空間に取り出せることになる。今回の磁石でも、すでに 17T という磁場を発生できることが分かっている。このような強い磁場を自由に持ち運べるという事実は、いままで磁場の影響を見ることのできなかった数多くの現象の実験が可能となる。磁場のエネルギーは、その大きさの 2 乗に比例するため、過去に磁場の効果が小さいと言われている現象においても顕著な効果が現れる可能性が多いにある。新しい磁場科学の創製という観点からも期待したい分野である。

これで、ようやく龍の画に睛（ひとみ）をいれることができた。これが本当のバルク超電導磁石誕生物語の最終章である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 2-3月の催し物案内

2/11-13

Cryocooler Technology Short Course,

場所：Albuquerque, New Mexico.

E-mail : greg.stenzoski@conted.gatech.edu

2/13

第4回材料研究会/関西支部第4回講演会「大型核融合装置用超伝導コイルシステムの材料」

場所：核融合科学研究所（土岐市）

<http://akahoshi.nims.go.jp/jcryo/>

（主催：低温工学協会）

2/22-3/6

International Workshop on Physics and Technology of Thin Films

場所：Physics Department, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

E-mail : moshfegh@sina.sharif.edu

2/24-26

General information concerning the meeting of TC90: SUPERCONDUCTIVITY

場所：VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (TU-Vienna)

Freihaus, Wiedner Hauptstrasse 8, A-1040 VIENNA / AUSTRIA

Tel: int + 43 1 588 01 - 0

<http://www.tuwien.ac.at>

(主催：INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC),
AUSTRIAN ELECTROTECHNICAL COMMITTEE (OEK))



INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

3/3-5

2nd Workshop on Mechano-Electromagnetic Property of Composite Superconductors (MEM03)

場所：Kyoto International Conference Hall (KICH), Kyoto, Japan

（連絡：長村光造 京都大学教授、Tel : 075-753-5434、Fax : 075-753-5486、

E-mail: osamura@hightc.mtl.kyoto-u.ac.jp)

<http://www.mtl.kyoto-u.ac.jp/groups/osamura-g/MEM03/index.html>

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連製品ガイド - バルクとその応用 -

[合成粉]

- ・同和鉱業株式会社 FTP 事業部 超電導材料グループ
Tel:03-3201-1086、Fax:03-3201-1036、担当:中村、Bi 系

[バルク材料]

多結晶体 (ターゲット材他)

- ・同和鉱業株式会社 FTP 事業部 超電導材料グループ
Tel:03-3201-1086、Fax:03-3201-1036、担当:中村、Y 系、Bi 系
- 溶融体 (単一ドメイン結晶体)
- ・新日本製鉄株式会社 先端技術研究所 新材料研究部 超電導グループ
Tel:0439-80-2714、Fax:0439-80-2746、e-mail:hirano@re.nsc.co.jp
酸化物系担当、商標: QMG

- ・同和鉱業株式会社 FTP 事業部 超電導材料グループ
Tel:03-3201-1086、Fax:03-3201-1036、担当:中村、RE 系
厚膜

- ・同和鉱業株式会社 FTP 事業部 超電導材料グループ
Tel:03-3201-1086、Fax:03-3201-1036、担当:中村、Bi 系

[バルク材料の応用製品及びシステム]

磁気シールド

- ・同和鉱業株式会社 FTP 事業部 超電導材料グループ
Tel:03-3201-1086、Fax:03-3201-1036、担当:中村、和田、Y 系、Bi 系
- 電流リード
- ・新日本製鉄株式会社 先端技術研究所 新材料研究部 超電導グループ
Tel:0439-80-2714、Fax:0439-80-2746、e-mail:hirano@re.nsc.co.jp
酸化物系

バルク超電導磁石を用いた磁場発生 (自由空間に 3 T) 装置

- ・アイシン精機株式会社
販売担当: 大久保、Tel:0566-24-8865、Fax:0566-24-8859
開発担当: 岡、Tel:0566-24-8423、Fax:0566-24-9391
- ・株式会社イムラ材料開発研究所
担当: 伊藤、Tel:0566-24-9382、Fax:0566-24-9370

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (12/19-1/17)

材料科学に関する学理および応用の研究に取り組む 東北大学 金属材料研究所 新物質合成などで世界的成果 金属材料の基礎的研究の発展に大きく貢献 12/19 日刊工業新聞

海外向けブランド確立へ新会社設立 日本システム企画 12/20 日刊工業新聞

原子間力顕微鏡 分解能、STM 並みに 東大 2 層目の原子まで観察 原子構造決定に威力 12/20 日刊工業新聞

中国にリニアを 独、トップ外交 追加財政支援提案も 景気低迷のドイツ 中国市場に熱い視線 首相が訪中 31 日に試乗 日本などレ - ル式優位 巻き返し狙う 12/29 日本経済新聞

「超電導」使い 送電ロス半減 2005 年度にも国内で実用化 1/4 夕刊読売新聞

全元素で超伝導を 阪大チーム 世界初の達成すでに 7 種 「水素」で限界に挑戦 1/4 夕刊朝日新聞

超電導材料中の「磁束量子」 制御手法を開発 理研 1/6 日本経済新聞

最新鋭の MRI GE 横河が納入 関西で初めて 1/8 日経産業新聞

超電導センサーで測定 関電 送電線検査装置を開発 1/9 日刊工業新聞

科学・学術審が報告書 ITER に重点を 核融合炉の早期実現めざす 1/9 日本工業新聞

心臓疾患 高温超電導使い検査 日立、高感度の小型装置 1/10 日経産業新聞

ITER 建設地、今夏にも決定 国際共同チーム 来月、候補地で報告書 建設でステージアップ データ蓄積目指す 選定に 4 条件提案が前提 フランスもアクセス難 交渉いよいよ本番 首脳レベルの場へ 1/10 日刊工業新聞

核融合研究で 5 施設廃止提言 文科省審議会 1/13 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 (2002年12月)

電力

nkt cables and Southwire Company (2002年12月6日)

nkt cables (Denmark)と Southwire Company (USA)は、超電導ケーブルシステムを開発、製造するジョイント・ベンチャーを設立した。これは両社が 1988 年から続けてきた技術協力の結果生まれたもの。ULTERA 社に関する合意書は 2002 年 12 月 6 日調印された。両社の出資比率は 50:50。「稼動中のものとしては世界で 2 つしかない HTS 電力伝送システムを開発し、nkt cables と Southwire Company は世界の先端を歩んでいる。この協力関係を通じ技術力を大幅に伸ばし、また手元のリソースも大幅に増加した。これにより技術力とリソースの最も効率的な利用が可能となった。」と Southwire 社長 Stuart Thorn は語った。ULTERA 社の最初のプロジェクトは、オハイオ州コロバス American Electric Power 社のパイロット・プロジェクト向け 300m 超電導ケーブルシステムの開発、製造、据付である。このプロジェクトは、米国エネルギー省が資金の半分を負担し、残りを nkt cables と Southwire Company で折半して負担することになっている。2つの異なるケーブル設計が現在比較検討されている。この新しいケーブルシステムは 2005 年にオハイオ州の電力グリッドで稼動する予定である。また、ULTERA 社は同様な欧州での超電導プロジェクトへの参加に向け欧州の電力会社との協力関係を探っている。デンマーク技術大学電気工学科及びオークリッジ国立研究所との協力関係は今後も継続する。

(出典)

“nkt cables and Southwire, USA, establish a joint venture for superconducting cables”

nkt cables Press Release (December 6, 2002)

<http://www.nktcables.com/>

“SOUTHWIRE, NKT CABLES JOIN FORCES TO PRODUCE SUPERCONDUCTING POWER CABLE”

Southwire Company (December 6, 2002)

<http://www.southwire.com/news/120602.htm>

American Superconductor Corporation (2002年12月10日、17日)

American Superconductor Corporation は、HTS 技術の商業化に関する最近の特に注目すべき記事、報告についてプレス・リリースとして公表した。

- (1) Alan S. Brown が執筆した IEEE Spectrum (“American Superconductor Wins Key Patent”, Dec. 9, 2002)の記事において、HTS 産業界で特許が重要であるとして、市場が現実のものになっていくにつれ、特許上有利な会社がいかに強力を解説している。
- (2) ASC 社長 Greg Yurek のインタビュー記事が The Wall Street Transcript (Dec. 9, 2002; <http://www.amsuper.com/press/2002/WallStreet.PDF> 参照)に掲載された。インタビューの中で Yurek は 2003 年の目標及び短期、長期の同社の戦略を概説した。
- (3) Steve Miller が執筆した Boston Globe の記事(“After 15 Years, Superconductors Finally Heat Up” Dec.17,2002)は 1987 年から現在までの HTS の歴史を解説している。
(http://www.boston.com/dailyglobe2/351/science/After_15_years_superconductors_finally_heat_up+.shtml)
- (4) ASC 社は、マサチューセッツ州デブン HTS 線材工場の最初の製品の製造に関して重要な目標をクリアーしたと発表した。Yurek 社長は、「我々はこの工場によって顧客ニーズに対応

できるようになり大変うれしい。この工場は当分世界の HTS 線材の主要供給元であり続けるだろう。」と述べた。

- (5) ASC 社 John Howe が執筆した Public Utilities Fortnightly("It's the Grid, Stupid!", October issue)の記事は、新しいグリッド技術が連邦エネルギー規制委員会(FERC)の商用設計基準(Standard Market Design)の達成をいかに支援しうるかを議論している。記事では、商用設計基準を概説しているほか、非常にインピーダンスの小さなケーブル技術 (HTS ケーブル等)、フレキシブルな交流電送システム (D-SMES, D-VAR 等) 等がより信頼性が高く、安定した電力伝送グリッドを構築していく上でどのように使われるのかを述べている。

(出典)

"Superconductors in the News"

American Superconductor Corporation Press Releases (December 10 and 17, 2002)

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

Intermagnetics General Corporation (2002年12月12日)

米国上院議員 Charles Schumer は、New Energy New York という名称の新たなコンソーシアムについての発表を行った。このコンソーシアムは、州都地域の代替エネルギー、再生可能エネルギー関連企業の支援を行う。州都地域には 20 以上のハイテク代替エネルギー関連企業がある。Schumer 議員は、「代替エネルギーは州都地域におけるシリコンバレーのマイクロチップである。この地域の企業は新エネルギーのフロントランナーであり、米国が外国へのエネルギー依存を減少させていくにつれて大きなビジネスチャンスが生まれるものと思う。」と言う。代替エネルギー関連会社によるコンソーシアムを設立することによって一層緊密な協力関係が生まれ、またこの地域におけるクリーンエネルギー技術に対する顧客の注目度を上げるためのマーケットへのアプローチも協調して行うことができるようになる。このコンソーシアムの長はオルバニー大学エネルギー環境技術部門を率いている Pradeep Haldar が就任の予定。この新しいコンソーシアムから利益を受けるであろう企業の 1 つが、HTS ケーブルを製造している IGC 子会社の SuperPower である。

(出典)

"SCHUMER FORMS NEW CAPITAL REGION CONSORTIUM TO LEAD U.S. DRIVE FOR ENERGY INDEPENDENCE"

Intermagnetics General Corporation Press Release (December 12, 2002)

http://www.igc.com/news_events/news_story.asp?id=76

Intermagnetics General Corporation (2003年1月7日)

Intermagnetics General Corporation は第 2 四半期の収入が一過性のものを除き 370 万ドルであったと発表した。前年同期の収入は 360 万ドル。一過性のものを含めると、第 2 四半期の収入は、前年同期の 1,040 万ドルに対し 270 万ドル。同期の純販売額は 3,670 万ドルで、前年同期は 3,900 万ドル(2002 年度中に償却された 400 万ドルを含む)。2003 年度第 2 四半期の一過性の費用には、Ultralife Batteries, Inc.の持ち株売却に関連する費用 100 万ドルが含まれる。この費用については、長期間の商売上の訴訟に関わる有利な和解により得られる 100 万ドルで概ねバランスすると思われる。IGC の最も業績のよいのは機器セクターであるが、MRI 部門も MRI システム向けの 3T 磁石需要の増大により好調である。MRI 関連の販売額は前年同期 2,970 万ドルに比べ 5%増の 3,310 万ドルに達した。エネルギー技術セクターは電力伝送、配電をターゲットとした HTS 材料、デバイスの商業化を目指して健闘している。SuperPower は、1m を超える線材で 315 amp-meter の特性を実現して 2002 年の目標値を超える性能を達成した。さらに、SuperPower は住友電工と共同でニューヨーク州オルバニーの Niagara Mohawk 配電所に設置される予定の 250 万ドル、350m 長の電力ケーブル

開発を進めている。

(出典)

“Intermagetics Reports Q2 Eps \$0.22 Vs. \$0.21, Excluding One-Time Items In Both Periods”

Intermagetics General Corporation Press Release (January 7, 2003)

http://www.igc.com/news_events/news_story.asp?id=80

MRI

Toshiba America Medical Systems (2002年12月1日)

Toshiba America Medical Systems (TAMS)は、新しいオープンタイプのMRIを北米 Radiological Society の年会及び総会で紹介した。Ultra と名付けられたシステムは傾斜磁場技術をベースに先端の診断能力を提供し、また従来閉鎖型強磁場MRIでしか実現できなかった高い分解能を持つ。鮮明な画像に加え、高速スキャン、開放的空間により患者にとってもMRI技術者にとっても非常に使い勝手がよく快適である。Ultraの傾斜磁場技術により磁場傾斜25mT/m、業界最高のスルー・レート100T/m/sを実現した。このスルー・レートにより現在のオープンシステムの5倍、同等の強磁場システムの2.5倍の高速化を可能にした。Ultraシステムを使うことにより、神経機能や心血管をはじめとして神経系統、全身、筋肉骨格などの診断を行うことができる。

また、TAMSは強磁場MRIスキャナーEXCELART™シリーズのデモンストレーションや現在開発中のウルトラ・ショートボア強磁場MRIの紹介を行った。新しいEXCELARTシリーズには、EXCELART AG (傾斜磁場, 30 mT/m; スルーレート, 50 T/m/s)、EXCELART XG (傾斜磁場, 30 mT/m; スルーレート, 130 T/m/s)が含まれる。またこのシリーズの中には、SPEEDER・テクノロジー(東芝が特許を持つ高速イメージングのための平行撮像技術)を特徴とし、頭及び体撮像のためのアレイ・コイルを備えたEXCELART AG/S (SPIN Edition)とEXCELART XG/S (SPIN Edition)が含まれる。EXCELARTシステムは、静謐でショートボアの1.5T MRIであり、患者が最大限快適であるよう65.6cmの広い開口部を持つ。東芝が現在開発中の1.5T-ウルトラショートボア強磁場MRIは業界トップの短尺磁石(1.4m)が組み込まれる。その強磁場と高性能コンピュータープラットフォームにより大型品と同等の性能と画像品質を実現できる。

(出典)

“TOSHIBA EXPANDS CLINICAL CAPABILITIES OF PATIENT-FRIENDLY OPEN MRI WITH INTRODUCTION OF ULTRA”

Toshiba America Medical Systems Press Release (December 1, 2002)

<http://216.23.181.196/news/pressreleases/120102-433.htm>

“TOSHIBA'S HIGH-FIELD MAGNETIC RESONANCE IMAGING SYSTEMS EMPHASIZE PATIENT COMFORT AND ADVANCED APPLICATIONS”

Toshiba America Medical Systems Press Release (December 1, 2002)

<http://216.23.181.196/news/pressreleases/120102-430.htm>

通信

Superconductor Technologies Inc. (2002年12月3日)

Superconductor Technologies Inc. (STI)は、通信機器運用者が帯域外からの干渉が基地局にどのような影響を与えるかをシミュレートする解析ツールを開発した。基地局受信機用干渉効果シミュ

レーターとして知られるこのツールは運用者が干渉を回避するための色々なソリューションの効果のシミュレートが可能にする。このシミュレーターを使うことにより、自己のネットワークに最適な干渉回避ソリューションを正確に設計することができ、ネットワーク効率の最適化と経費の節約が図れる。STIは、2002CDMA Americas Congress（米国サンディエゴ）でこのシミュレーターと SuperFilter（これにより帯域外からの干渉が除去できる。）のデモンストレーションを行った。

（出典）

“Superconductor Technologies Inc. Develops 'Interference Impact Simulator' To Help Address Problem of Out-Of-Band Interference”

Superconductor Technologies Inc. Press Release (December 3, 2002)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJfKEQUALSTO&product=MzgwU1ZJPVakWQEQALSTOEQUALSTO&storyId=76719>

Superconductor Technologies Inc. (2002年12月17日、23日)

12月23日、Superconductor Technologies Inc. (STI)は Conductus との合併を完了し、合併に必要な2,000万ドルの株式発行引き受けの受け付け（equity private placement）を終了した。合併は両社が各々同時に12月17日に開催した株主総会で承認された。また、NASDAQの12月17日の取引終了後、Conductus 株式の取引は停止された。新会社は STI の名称を保持し、Conductus は STI の完全子会社となる。合併合意に基づき、Conductus 株式保有者は旧株1株当たり新会社株式0.6株を受け取ることができる。更に、21,096,954の新規株が private placement により1株当たり0.95ドルの価格で発行された。また、投資家は5年間の株式引き受け権（5,274,240株、1株1.19ドル）を与えられた。

（出典）

“Stockholders of Superconductor Technologies Inc. and Conductus, Inc. Approve Merger”

Superconductor Technologies Inc. Press Release (December 17, 2002)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJfKEQUALSTO&product=MzgwU1ZJPVakWQEQALSTOEQUALSTO&storyId=77904>

“Superconductor Technologies Inc. Completes Merger With Conductus and Closes \$20 Million Private Placement”

Superconductor Technologies Inc. Press Release (December 23, 2002)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJfKEQUALSTO&product=MzgwU1ZJPVakWQEQALSTOEQUALSTO&storyId=78161>

（ISTEC 国際部 津田井 昭彦）

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 2月のトピックス

- 第8回 IEC/TC90 超電導標準化国際会議迫る -

国際電気標準会議(IEC: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION)とオーストリア電気技術委員会(OEK: AUSTRIAN ELECTROTECHNICAL COMMITTEE)は、来る2月24日から26日の3日間オーストリアのウィーン科学技術大学において、第8回 IEC/TC90 超電導標準化国際会議(General information concerning the meeting of TC90: SUPERCONDUCTIVITY)を開催する。この会議には、日本から京都大学教授長村光造をはじめ8名が派遣される。

会議開催の詳細を次に示す。

会議名：General information concerning the meeting of TC90: SUPERCONDUCTIVITY

場所：VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (TU-Vienna)

Freihaus

Wiedner Hauptstrasse 8

A-1040 VIENNA / AUSTRIA

Tel: int + 43 1 588 01 - 0

Web: <http://www.tuwien.ac.at>

主催：INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC),
AUSTRIAN ELECTROTECHNICAL COMMITTEE (OEK)

この会議前半24日から25日までの2日間ワーキンググループ(WG)会議が開催され、つぎの審議並びにWG3,4,5,6,7,8 関連現行 IEC 規格のメンテナンスについて討論がなされる。

WG4：Nb₃Sn 複合超電導導体の残留抵抗比試験方法の FDIS 投票結果

WG9：ピックアップコイル法による交流損失試験方法の FDIS 対応

WG9：磁力計法による交流損失試験方法の FDIS 対応

WG10：バルク超電導体の捕捉磁束密度試験方法の CDV 経過と今後の審議日程

また、26日に開催される本会議ではアメリカ標準技術研究所 NIST の L.Goodrich 議長のもとで、つぎの報告並びに審議がなされる予定である。

各 WG の審議経過報告

審議中4案件の対応審議

TC90 標準化戦略の見直し

活動報告(わが国の標準化活動、NMC 活動、JFCA 活動、VAMAS 活動、分科会活動)

今後の活動計画(メンテナンスチームの発足、製品規格等新規業務提案項目)

次回第9回 IEC/TC90 超電導標準化国際会議開催日程

(ISTEC 標準部 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

応用物理学会 超伝導分科会 第26回研究会

「高温超伝導体発見から15年：プロローグから現在までを振り返って」と銘打った研究会が、2002年12月12-13日の二日間にわたって、NTT厚木研究センターにて開催された。1986年の発見から15年を経て、研究者の世代交代が必然的に進んでいる。これまでの膨大な研究成果のうち、若い世代に受け継がれていくべき骨太な（robustな）実験事実は何だったのだろうか。これまでの15年を総括し、今後の超電導研究の進む方向を若い世代とともに模索することが研究会の主旨であった。初日；物質編、二日目；物理編というプログラムが組まれた。

物質編では、まず戸叶（物材機構）によって高温超電導体の発見前の状況について発表があった。Tcの違いはあるものの、物質探索においては現在と変わらぬ取組みが脈々と続けられていたことが語られた。岸尾（東大）は高温超電導体発見当時の状況を、貴重なウッドストック（1987年の米国物理学会）のビデオを交えて紹介した。次いで筆者、下山（東大）、山本（SRL）が高温超電導体の結晶構造、ブロック層概念、酸素不定比性、多結晶試料合成等について固体化学の立場から説明した。高Tc物質探索は1993年のHg系発見以来停滞しており、安易な延長線上に新たなブレークスルーは無いように思われた。田中（山梨大）と内藤（NTT）からはそれぞれ単結晶育成と薄膜作製に関する発表があった。薄膜合成ではバルク試料の実力を凌駕する特性を有する試料作製が可能になってきていることが紹介された。

物理編では、骨太な実験事実とともに現在の争点までが語られた。超電導発現機構の解明は現在もなお渾沌とした状況にあり収束していないことが伺えた。野原（東大）は高温超電導の舞台であるCuO₂面の強相関を、寺崎（早大）は電気/磁気/熱的特性についてのこれまでの知見を総括した。田島（SRL）、永崎（産総研）、山田（京大）はそれぞれ光学応答、光電子分光、中性子散乱について語った。試料の高品質化と分析技術の進歩によって超電導物質の詳細な情報がどんどん明らかになってきている。特にSTMとARPESの高度化には目を見張るものがあり、次々と新たな知見が報告されている。新井（高エネ研）、津田（東理大）は同位体効果とトンネル測定 of 立場から電子格子相互作用の重要性を指摘した。前田（東大）は臨界磁場・磁場侵入長について、鈴木（京大）は固有ジョセフソン効果について解説した。物理編に関しては、リファインされた新たな情報が次々と提供される勢いに、それらを全て矛盾なく説明する理論やモデルの構築が追いついていないように思われた。

（SRL/ISTEC 第6研究部 安達成司）

[超電導 Web21 トップページ](#)

特許情報

注目の MgB₂ 特許

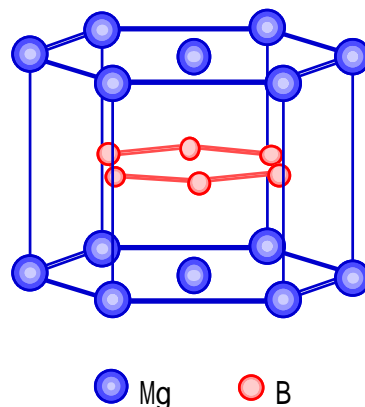
平成 13 年 1 月に、青山学院大学秋光教授グループの発見で話題となった新超電導材料 MgB₂ の特許が公開されましたので、簡単に紹介します。

「マグネシウムとホウ素からなる金属間化合物超伝導体及びその金属間化合物を含有する合金超伝導体並びにこれらの製造方法」特開 2002-211916 (平成 13 年 1 月 9 日出願)

本特許は、超電導転移温度が高い金属間化合物超電導体と、超電導転移温度が高く、かつ、展性、延性に優れた合金超電導体を提供することと、再現性がよく、製造コストが低い、これらの超電導体の製造方法を提供することを目的としている。

その材料はマグネシウム(Mg)とホウ素(B)とからなる、化学組成式 MgB₂ で表され、かつ、六方晶 AB₂ 型結晶構造を持った、全く新規な金属間化合物超電導体であり、その超電導転移温度(T_c)は従来の金属系超電導材料の中では最も高い 39K を有している。さらに、この金属間化合物を含有する合金は、展性、延性に優れた、超電導転移温度(T_c)39K を有する合金超電導体となる。

その製造方法は、Mg と B の混合粉末を原料とし、真空中または不活性ガス中で加熱成形あるいは加圧加熱成形する。原料混合粉末の化学組成比 Mg:B=1:2 の場合は金属間化合物超電導体となり、Mg:B=1-x:2+y, (0<x<1, -2<y<0 及び 0<y<2) の場合には合金超電導体となる。



六方晶 AB₂ 型結晶構造

(SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄)

[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1)

SRL/ISTEC 第1・3研究部長
村上雅人

本連載の趣旨は、超電導現象をできるだけ分かりやすく解説することにある。しかし、「やさしい」超電導の「おはなし」などできないというのが、いつわらざる本音である。超電導現象を完全に理解するには量子力学という難解な学問に頼らざるを得ない。この入り口の量子力学を理解することさえやっかいなのであるから、超電導など到底理解不能というのが多くの方の実感であろう。

といっても、それであきらめていたのでは、いつまで経っても超電導が一般には普及しない。超電導は、21世紀人類にとって必要不可欠な科学技術と標榜しながら、それを解説しないのでは説明責任を果たしたことはない。そこで、超電導の核心に迫るとはいかないまでも、そのイメージが沸く程度までは、この連載シリーズで「やさしく」をモットーにがんばりたいと思う。

ところで、超電導とはいったいどんな現象なのであろうか。その第一の特徴は、電気抵抗ゼロである。そこで、まずこの話からはじめよう。

1. 電気抵抗ゼロを確かめる

超電導の大きな魅力は電気抵抗がゼロになることである。しかし、ゼロかどうかを証明するのはそれほど簡単ではない。例えば、電気抵抗をテスターなどで測定して、表示がゼロになったからと言って、本当にゼロとは結論できないからである。例えば、測定装置の感度を $0.0000000001(10^{-10})$

まで上げたとしても、金属の電気抵抗が $0.00000000001(10^{-11})$ であったとすれば、装置はゼロと表示してしまう。それではと感度を 10^{-12} まで上げたとしても、 10^{-13} 以下の測定ができないのである。つまり、測定装置に頼る限り、電気抵抗ゼロを証明することは不可能なのである。

それでは、どうやって電気抵抗ゼロを確かめればよいのであろうか。これには、次のような方法が使われる。まず、超電導物質でリングをつくり、そこに電流を流す。電極をつけて直接電流を流す手法もあるが、電磁誘導によって電流を流す方法もある。

いったん、超電導リングに電流が流れれば、電気抵抗がゼロであれば、電流は永久に流れ続けるはずである。しかし、流れている電流の抵抗を測ったのでは、測定装置の限界が再び問題になる。それでは、どうやって電流が流れていることを確かめるか。それには、磁場を検出するのである。

導体に電流が流れていれば、必ず磁場が発生する。エルステッドが発見した法則である。超電導電流も例外ではない。よって、電気抵抗を測定するかわりに、超電導リングに流れている電流が発生している磁場の大きさを測定すれば、磁場の変化で電流が減衰したかどうかを確認できる。

過去の実験では、なんと2年以上もの間電流(磁場)が減衰しないことが確かめられている。もちろん、これでも実験的に電気抵抗ゼロを完全に確かめたということにはならない。厳密には電気抵抗が 10^{-23} 以下ということを確認したに過ぎないからである。しかし、これだけ長い間、電流がまったく減衰しないのであれば、電気抵抗がゼロということをも認めてもよいというのが一般的な考えである。

2. 超電導の起源をもとめて

超電導現象は1911年にオランダのカマリン オンネスによって発見された。オンネスは、気鋭の低温物理学者で、最も難しいとされていたヘリウム(He)ガスの液化に1908年に成功する。そし

て、液体ヘリウムを使って、いろいろな低温実験に着手する。

当時、絶対零度まで温度を下げたら、金属の電気抵抗がどうなるかということが論争になっていた。絶対温度の単位名にもなっているケルビン卿は、絶対零度では電子さえも凍って動けなくなるから、電気抵抗は無限大になると予想していた。これに対し、ドルーデやオンネスらは、電子の運動を妨げるものがなくなるので、電気抵抗はゼロに近づいていくと予測していたのである。

そこで、オンネスは液体ヘリウムを利用して、温度を下げながら水銀(Hg)の電気抵抗を測定した。この水銀を測定したという偶然も面白い。オンネスは金や銀などでも実験していたが、これら金属は超電導にはならない。1911年は明治44年である。精錬技術がそれほど発達していなかった時代である。オンネスはしっかりしたデータを得るためには、できるだけ純度の高い金属を使う必要があると考えたのである。そこで、高純度化が比較的容易なHgを選んだのである。

オンネスがHgの電気抵抗の温度変化を測定すると、突然4K付近で電気抵抗が不連続的に低下し、ほぼゼロとなった。優秀な実験家であったオンネスは、何か実験のまちがいであろうと繰り返し実験し、再現性を確認する。ただし、ここでも電気抵抗がゼロとは結論を出さずに、電気抵抗が 10^{-5} 以下になったと表記している。その後、Hgの純度を変えるなどして、数多くの実験を行い、この現象がHgが有する基本特性であることを確認する。そして、Hgが超電導状態という電気抵抗がゼロの新しい状態に遷移したと宣言するのである。

この発見は、当時の物理界に新風を巻き起こすものであった。なぜなら、19世紀後半にはニュートン力学ですべての物理現象が説明できると考えられており、新しいテーマなど何もないと思われていたからである。ところが、オンネスの超電導の発見は、従来の古典的な物理では説明できない何か新しい物理が誕生しつつあるという予感を多くのひとに与えたのである。実際に、超電導の機構説明は量子力学という20世紀の新しい物理学によって行われることになる。

超電導において、なぜ電気抵抗がゼロになるのかを理解するためには、そもそも電気抵抗の原因が何なのかを知る必要がある。ご存知のように、電流は、金属内の電子の流れであり、その流れのじゃまをするのが電気抵抗のもととなる。つまり、金属内で電子の運動をさまたげるものが何なのかを探さなければならない。この原因がいったい何なのかをつきとめることも多くの研究者を悩ませた問題であった。

3. 奇妙なオームの法則

金属に電流を流すと、その電流の大きさ(I)と、電気抵抗(R)と、電圧(V)の間にはオームの法則と呼ばれる関係が成り立つことが知られている。

$$V = IR$$

この法則は実に単純で美しい。これら諸量が、かくも簡単な式で関係づけられるという事実は、電気を応用する側にとっては、非常にありがたい。何しろ、計算が簡単である。ある金属に100(V)の電圧をかけて、電流が10(A)流れたら、その電気抵抗はたちどころに10()ということが分かる。

ところが、ニュートンの運動方程式に沿って考えると、この法則はまことに奇妙な法則なのである。電流というのは、電子の流れである。ここで、電圧をかけるという操作は、金属内で電位差を発生させることである。いわば、高低差をつけて水の流れを誘導させる操作と同じものである。つまり、金属に電圧をかけると、電子は常に一定の大きさの力を受けることになる。電子の電荷をeとし、電圧にともなう電位差をEとすると、電子に働く力は

$$F = eE$$

となる。

つまり、電圧を加えると、電子には常に一定の力Fが働くことになる。すると、ニュートン力学に従えば、電子は

$$F = ma = m \frac{dv}{dt}$$

という運動方程式に従って、等加速度運動をすることになる。ここで、 m は電子の質量であり、 a は加速度、 v は速度、 t は時間である。

ところが、オームの法則をみると、電圧を加え続けても、電流は時間に関係なく常に一定である。電流の定義は、ある単位時間に、単位面積あたりどれだけの電荷（つまり電子の数： n ）が通過するかというものであるから

$$I = nev$$

となって電子の速度に比例するはずである。

つまり、オームの法則は、電子は常に力を受けているにも関わらず、等加速度運動ではなく、等速度運動を続けていることを示している。

多くの研究者は、この問題に悩まされた。結論として、金属内では電子の運動を妨げるものが存在し、図1に示すように、電子が電圧で加速されても、それはすぐに何かに衝突して減速させられると考えた。このため、ミクロには電子が加速度運動をしていますが、電子の速度を平均すると、見かけ上は一定に見えるという結論に達したのである。もちろん、電子が衝突する相手こそが電気抵抗のもとである。そして、驚くことに、電気抵抗の原因となるものが、電気抵抗を消す超電導をも支配していたのである。この続きは次回にゆずる。

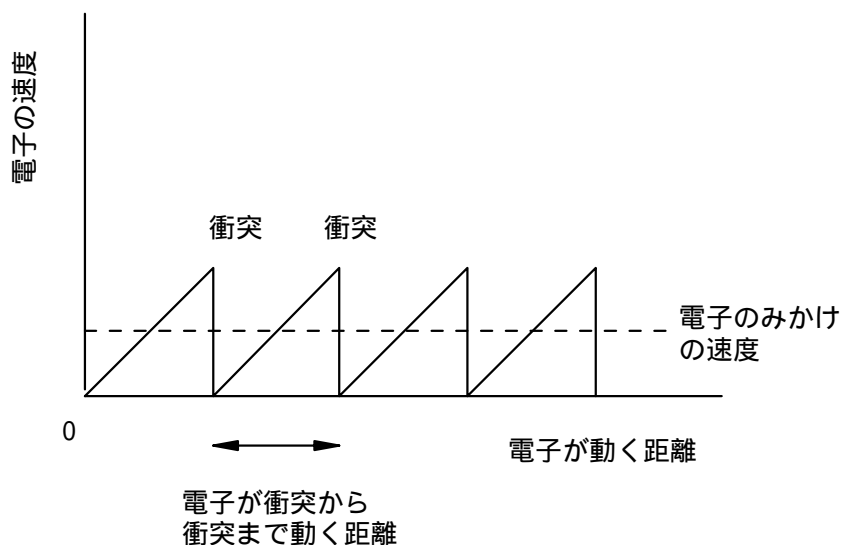


図1 オームの法則の説明。電子は電圧によって加速されるが、すぐに電気抵抗のもとになるものに衝突し減速させられる。ふたたび加速されるが、また衝突して減速する。この過程を繰り返すと、平均すれば電子の速度は一定のように見える。

読者の広場

Q&A

Q: バルク超電導磁石の着磁とはどのようなことでしょうか？

A:

RE123系バルク超電導体(以下、バルク体)は磁束ピン止め力が強く、強磁場を捕捉させることにより強力な擬似磁石が作製できることから、非常に期待されています。ここで、このバルク体に磁場を捕捉させることを“着磁”と呼んでいます。着磁の方法にはいくつかの方法が考案されていますが、基本的には、磁場中冷却法とゼロ磁場冷却法といった手法があります。

磁場中冷却法はその名の通り、常電導状態のバルク体に磁場を印加した状態で超電導となる温度まで冷却し、その後、外部磁場を取り除くことにより、磁場をバルク体に捕捉させます。この方法では、バルク体の能力を最大限に生かした量の磁場を捕捉することが可能です。ただし静的な磁場を与えてやる必要があるため、強い磁場を捕捉させるためには、それだけ大掛かりな設備が必要となります。

一方、バルク体を冷却した後に外部から磁場を印加するのが、ゼロ磁場冷却法です。この場合、超電導状態となったバルク体に磁場を印加すると、強いピン止め力のため、磁場をバルク体の中へ入れまいとする力が働くため、これに優るだけの強い磁場を与えるなどの工夫が必要です。印加する磁場としては、静磁場あるいはパルス磁場が利用されています。ここで、特にパルス磁場着磁は、着磁部の小型化および in-situ での着磁が可能となるなどの利点を有しているため、有効な手段として期待されています。パルス着磁は、バルク体を超電導状態まで冷却した後、その外周に巻いたコイルにパルス電流を流すことにより、パルス磁場を発生させその磁場を捕捉させます。この方法には、同じ磁場で数回パルス着磁を行うマルチパルス法、温度を下げながらパルス着磁を行うステップクーリング法、パルス磁場を少しずつ小さくしながら着磁を行う IMRA 法などが報告されています。パルス着磁では、着磁時の急激な磁束密度の変化に起因する発熱による捕捉磁場の低下などの課題があり改良が進められています。

(SRL/ISTEC 第3研究部 坂井直道)

[超電導 Web21 トップページ](#)