

## 掲載内容 (サマリー):

### 特集: 超電導電力機器

超電導電力機器の技術課題  
超電導送電ケーブルの技術開発状況  
超電導変圧器の技術開発状況  
超電導限流器の技術開発状況  
超電導電力制御 SMES の開発状況  
ビル内電力技術動向

超電導関連 6-7月の催し物案内

新聞ヘッドライン (4/19-5/19)

超電導速報 - 世界の動き (2003年4月)

標準化活動 6月のトピックス

2003年春 超電導工学研究所 所長表彰決定 /

第5回 (2003年度) サ・マ・ティン・ウッド賞受賞候補者推薦要項

超電導応用研究会より「低温工学・超電導応用の裾野 - アミューズメントへの適用 -」

隔月連載記事 - やさしい超電導のおはなし (その3)

読者の広場(Q&A) - 超電導電力機器、特に超電導送電ケーブルはどのように冷やすのでしょうか?

[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。

## 超電導電力機器の技術課題

財団法人 電力中央研究所  
狛江研究所  
電気物理部長 秋田 調

超電導電力機器は、従来の銅と鉄による電力機器では実現できない数々の特徴を有しており、従来機器に対する、低損失、小型軽量などの技術的優位性は明確である。一方、我が国の電力系統は規模的には成熟期にあり、かつて研究の中心であった大電力の発生と輸送に超電導電力機器を適用することは必要性が低下してきている。しかし、今後の電力の自由化拡大に伴い、自由化された諸外国で生じている電力系統の裕度の低下に伴う、技術的問題が発生することも予想される。このような問題解決のためにも超電導電力機器はきわめて有効である。

超電導電力ケーブルは、二酸化炭素の排出量を削減でき、かつ管路に敷設することにより送電コストを低減できることから研究開発が進められている。一方、管路敷設でよいため工事期間が短い、従来ケーブルよりも軽量であるため添架によるケーブル敷設が可能などの特徴もある。工事期間が短いことにより、電力需要の動向にあわせ、送電が必要となった時点でケーブルを建設できるという投資繰り延べ効果が高い。また、添架によるケーブル敷設により、これまで送電路として利用できなかったルートが使用できることになり、送電の自由度が高まる。このように、超電導電力ケーブルは自由化された電力系統の機器において重要な特徴を有している。

超電導限流器を電力系統への発電機接続点に使用することにより、これまで短絡電流容量の観点から新規電源が接続できなかった電力系統へ発電所を設置することが可能になり、分散電源による発電の自由度が高まる。このため、今後分散電源の導入が進むと予想される電力系統において超電導限流器が鍵を握る技術となる可能性が高い。

現在、電力系統制御用として系統安定化用および変動負荷補償・周波数調整用 SMES の開発が進められている。また、瞬低対策用の SMES も開発が進められている。これらの機能は、まさに電力系統の裕度の低下に伴う技術的問題解決そのものであり、今後電力系統からの SMES へのニーズはますます高まるものと予想される。

以上のように、超電導電力機器は電力自由化時代を迎え、超電導に起因する機器の特性から、ますます技術的必要性が高まってきている。今後は、このようなニーズに対応した超電導電力機器の特性をのばす技術開発がきわめて重要である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導送電ケーブルの技術開発状況

超電導発電関連機器・材料技術研究組合  
交流機器技術部 ケーブル技術課  
課長 木村昭夫

ここでは2000年よりNEDOから当研究組合が受託した「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」(Super-ACE)プロジェクトにおける「超電導送電ケーブル基盤技術の研究開発」のうち「液体窒素による500m長の導体を冷却する技術の開発」についての開発状況を報告する。

本研究は5カ年計画で液体窒素による500m長の導体を冷却する技術の開発を行うもので、最初の3年間で断熱管のモデルの試作・検討、30m長さのモデル導体そして300m長さの断熱管を工場の生産ラインで試作を行い、そこで収集したデータを基に世界最長の500m長の77kV-1kA級単心ケーブル(超電導線: Bi2223テープ)の製造、試験を実施する。

現在までの開発項目、結果を示す。

### 1) 断熱管モデル

- ・10m長の断熱管を製作し、直線部での熱侵入量(液体窒素温度)0.3W/mを確認した。

### 2) 30m長モデル導体(図1)

- ・ケーブル設計に必要なデータの取得
- ・冷却に伴う熱収縮や熱応力
- ・液体窒素循環の圧力損失

### 3) 300m長断熱管

- ・工場設備による製造確認
- ・真空引き時間、到達真空度、リーク試験の確認
- ・冷却時間、断熱性能の確認

### 4) 導体電気絶縁厚さの考え方の検討

- ・超電導ケーブルの絶縁厚さを決定するため、基本的考え方をまとめた。



図1 30m長モデル導体

## 500m長ケーブル試験

超電導ケーブルの試験は、電力中央研究所横須賀研究所で2004年3月～12月に実施する。布設レイアウトを図2に示す。

試験の目的は極低温冷却技術(真空断熱、熱収縮、寒剤流動)を確立し、5km級超電導ケーブルの成立性を明らかにすることにある。試験項目、内容を定めるに当たっては、試験法の標準化を目指して電気学会に委託して作業を進めている。

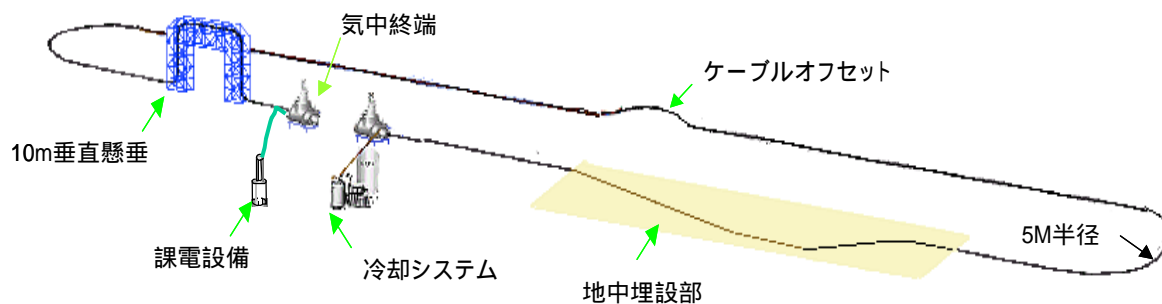


図2 500m 試験レイアウト

この「超電導送電ケーブル基盤技術の研究開発」では今回紹介した 500m 長の導体を冷却する技術開発のほかに

- ・通電容量 3kA、断熱性能 1W/m の大容量導体の開発
- ・超電導フィラメントの周囲に高抵抗バリア層を備えたバリア線材の開発
- ・冷媒として液体窒素中に固体窒素を分散させたスラッシュ窒素の開発等を実施している。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導変圧器の技術開発状況

超電導発電関連機器・材料技術研究組合  
交流機器技術部 静止機器技術課  
担当課長 岩館和二

ここでは、経済産業省の革新的温暖化対策技術プログラムの一環として、2000年より NEDO から受託した「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」(Super-ACE) プロジェクトにおける「交流超電導マグネットの研究開発」について開発状況を報告する。

本研究では、応用機器として三相 66kV~77kV/6.9kV-10MVA 級変圧器を想定し、その基盤技術の課題として 主に(1)66kV~77kV 級の高電圧化、(2)800A 級の大電流化および交流損失低減化に取り組み、冷却技術では冷却システムの基本設計まで行った。これまでの 3 年間で各要素技術の研究開発を行い、各々要素モデルにて検証し、個々の技術を確立できた。以下に成果概要を示す。

高電圧化では、サブクール液体窒素(66K)環境における電気絶縁特性を把握するため、ブッシング、モデルコイルによる絶縁試験を実施した。ブッシングでは、通常の変圧器に使われているレジン含浸型コンデンサブッシングがサブクール液体窒素環境で使用可能か検証するため、66、77kV 級の電気学会電気規格調査会(JEC)規格に準拠した AC 耐電圧試験(140kV、160kV 印加)、及び雷インパルス試験(350kV、400kV 印加)を実施し絶縁破壊がないことを確認した。また、コイルでは、電位振動解析、電界解析等を実施した上で巻線構造を模擬したモデルコイル(全7種類、各々5~10 サンプル)を用いて絶縁破壊試験を実施した。これらにより 66kV~77kV 級の機器設計に必要な絶縁特性を把握した。

大電流化では、1kA 級電流リードの低熱侵入化と 6.9kV/500A 級巻線の導体構成の最適化に取り組んだ。巻線の大電流化には現状の Bi2223 テープ線材を多並列化し転位構成が必要である。多並列化状態における交流損失を把握するため、測定装置を設計・製作し冷媒温度(66K、77K)や転位数をパラメータにして交流損失を測定し、多並列化に伴う付加的な損失は発生しないことを確認した。この後、500A 級のモデルコイル(20 並列導体)を作製し、通電特性、電流分配特性等を評価した(写真 1)。さらに短時間過負荷模擬試験まで実施し、500A 級巻線構成技術を確立した。電流リードでは、これまでの伝導冷却方式に真空断熱層を設けることで侵入熱を約 12%低減できた。

冷却技術では、冷却システムの検討に先立って三相 66kV/6.9kV-10MVA 超電導変圧器の概念設計を行い、磁界解析等と上で述べた交流損失特性を基に運転温度 66K 及び 77K における損失を算定し、想定される侵入熱も含め必要な冷却能力を見積もった。温度 66K での交流損失は約 2kW 程度であり、侵入熱を含めても 3kW 程度の冷却能力があれば十分であることが分かった。この結果を踏まえ冷却システムを検討し、サブクール液体窒素冷却方式(66K)を選定し、基本設計まで完了した。

今年度から、これまで要素モデルで検証した成果を集大成し、三相 66kV/6.9kV-10MVA の部分モデルとして单相 66kV/6.9kV-2MVA 級超電導変圧器を設計・製作し、性能評価試験を通して超電導変圧器の技術成立性を検証する予定である。

写真1 大電流モデルコイル



[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導限流器の技術開発状況

超電導発電関連機器・材料技術研究組合  
交流機器技術部 静止機器技術課  
課長 井上邦章

限流器を電力系統に適用することにより、電力供給の信頼性や電力品質が向上するが、これに加えて、近年導入が本格化してきた分散電源の新・増設の影響による配電線の短絡電流増大の対策として、超電導限流器を変電所に設置すれば、既設の遮断器や配電線路を取り替えずに済み、費用対効果が大いことが注目されている。

高温超電導限流器技術に関連した国家プロジェクトとしては、経済産業省(METI)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)から超電導発電関連機器・材料技術研究組合(Super-GM)が受託した「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」(Super-ACE)プロジェクトが、H12年度から5年計画で行われている。ここでは、この中で進められている高温超電導限流器の基盤技術開発研究の進捗について報告する。

SN 転移抵抗型の超電導薄膜限流器の研究開発は、限流素子薄膜の面積化による大容量化、多並列化・多直列化による大電流化・高電圧化技術の確立をめざしている。

産業技術総合研究所が塗布熱分解法(MOD 法)により、面積化に挑戦している。10cm×30cm のサファイア基板(中間層 CeO<sub>2</sub>)上へ YBCO 薄膜を成膜して、全面超電導膜化に成功、Jc 値の最高 1.9MA/cm<sup>2</sup>(誘電法)の結果を得ている。

Super-ACE プロジェクトでは、薄膜作製技術開発としては、パルスレーザー蒸着法(PLD 法)を採用し、小面積ながら、Jc 値の最高 3.3MA/cm<sup>2</sup>(通電法)の結果を得ている。また、大電流化技術としては、素子内と素子間の偏流を抑制できる素子配列として多角形状配置を提案し、幅 1cm の超電導膜を多角形配置した 6 並列素子を製作し、連続通電特性を検証した結果、380Arms の連続通電が可能であり、幅 5mm 6 角並列で 100V の場合、4.7kA を 1/23 以下に限流出来ることを確認した。高電圧化技術としては、YBCO 薄膜に窒化アルミ基板上に作製した金属薄膜を並列抵抗体として配する構造により印加可能電圧を向上させた素子を用い、40 枚直列接続した限流モジュールを作製し、配電系統の電圧である 6.6kV 級の限流試験に成功した。ピーク電圧 11.9kV に耐え、3.5kA の短絡電流を 1/6 以下に抑制出来ている。

この他に、高電圧系統への適用をめざし、Bi 系の超電導テープ線材の巻線を用いた、整流器型限流器用リアクトルの研究開発も行っており、現在 66kV/700A 級のパルスモデルコイルの設計製作を行っている。最終的には 66kV/125A モデルコイルが 6 並列で配置されるが、今までにクライオ、およびユニットコイルを 3 個製作し、並列接続で 375A の通電に成功している。

海外の開発状況としては、欧州では、Bi 系抵抗型限流器としては ABB 社が 8kV/800A 級を開発・試験しており、ロールスロイス社も 11kV 系統にて限流試験に成功している。また、Y 系薄膜抵抗型限流器としては、シーメンス社が 7.2kV/100A 級を試作している。

米国では、金属系ではあるが、GA 社の 12.5kV 級/1.2kA のリアクトル型の開発が挙げられる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導電力制御 SMES の開発状況

中部電力株式会社  
技術開発本部電力技術研究所電力 Gr.  
超電導・新素材チームリーダー 研究主査  
長屋 重夫

超電導技術は、大電流を効率よくコンパクトに扱うことが出来る。このため、電力分野においては、発電、送変電、貯蔵と幅広い応用が可能であり、将来の電力を支える次世代技術として期待されている。

過去、電力における技術開発は、将来の需要の増加に対応した設備増強を効果的に行うため、新技術の開発にチャレンジし、これを実現してきたが、超電導技術は実用化のインパクトが非常に大きく、従来の電力技術を大きく塗り替える革新技術となる。

加えて、自由化をはじめ最近の電力を取り巻く環境変化を受けて、電力における技術開発も、より幅広い視点とニーズ変化に柔軟かつ迅速に対応した開発が求められているが、現在、超電導電力貯蔵装置(SMES)の開発が、その代表的な一例となりつつある。

SMES は当初、電力需要の増加に対応した負荷平準化用の電力貯蔵技術として開発に着手した。これは、年々増加したピーク需要に対して、機能的には需要地近傍にミニ揚水発電所を分散配置させ対応する、このようなコンセプトは、SMES の持つ高い貯蔵効率から期待されたものであるが、SMES の特徴を考えた場合、蓄電池等の他の貯蔵技術と大きく異なる点は、貯蔵している電力を秒単位の短時間に放出でき、また繰り返しの充放電の劣化に強いという点にある。この特徴は、電力系統の制御用システムとしては、系統安定化や変動負荷補償等に最適なシステムとなる。

また近年の IT 化を支える半導体や液晶などのハイテク工場では、高品質の電力を必要とし、特に瞬時電圧低下に対しての早急な対策が求められている。ここで、現在の日本の電力供給の信頼性を考慮すれば、1秒前後の補償が出来れば、ほぼ完全に対応が可能となる。

瞬時電圧低下補償は瞬間的な出力、つまり kW のシステムであり、システムの価値は kW あたりのコストと、瞬時電圧低下により発生する被害コストから決定される。SMES はエネルギー貯蔵部分がコイルであり、補償動作に必要な貯蔵量だけでシステムを構成できるが、蓄電池などの場合は、全体の貯蔵エネルギーを秒単位では充放電出来ないために、どうしても貯蔵部分が大きくなり、コスト的にも不利となる。このため、超電導の電力機器の多くが、コスト面で代替え技術との競争力が課題となるのに対して、瞬時電圧低下補償用 SMES は、コスト、機能、両面で非常に有利な機器となる。

現在、当社管内の最新鋭液晶工場で、出力 5MW の瞬時電圧低下補償 SMES の実フィールド試験の準備を進めており、7月から運転に入る予定である。

SMES は過去、貯蔵効率の高さから負荷平準化に向けて開発が始まり、その特徴から系統制御装置として、更には瞬時電圧低下補償装置として、ニーズの変化を取り入れ、柔軟かつ戦略的な研究開発を行うことによって、長年の夢であった電力機器としての実用化が始まろうとしている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

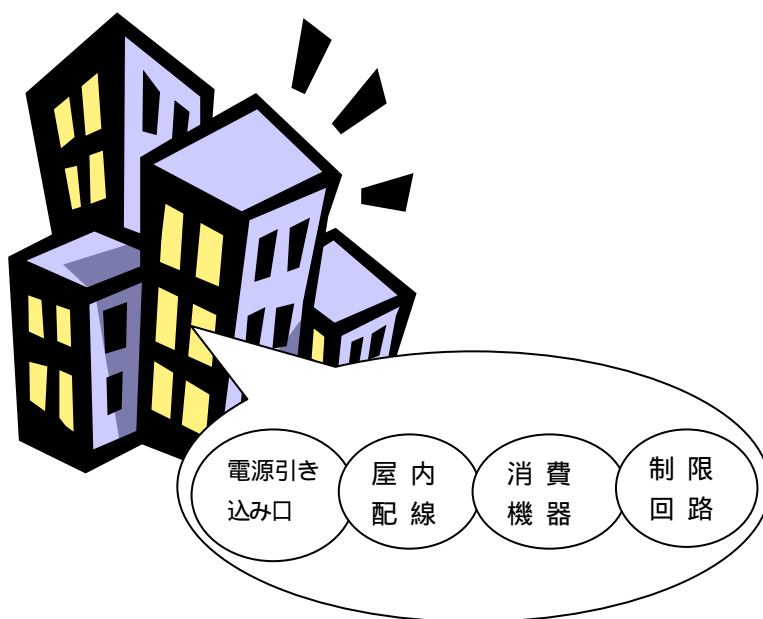
## ビル内電力技術動向

(財)国際超電導産業技術研究センター(ISTEC)の動向調査委員会では、NTT の環境エネルギー並びに、パワーエレクトロニクス、配電技術等の専門家の協力のもとで、2002 年度 NEDO 委託により「大型ビル電力供給低温システム」をテーマとして、直流超電導給電システムに関する検討を行った。その第1次調査結果として、直流超電導ケーブルなど超電導電力機器適用の可能性が示唆された。

この動向調査研究の背景として、一昨年より東京理科大学正田教授を委員長として(株)NTT ファシリティーズが事務局となり、「IT 時代における電源システムの DC 化」という委員会での検討がなされていた。また、ISTEC の過去の調査において通信トラフィック数の増加傾向から今後データセンターの建設がますます増加していくという予測を行っていたことに加え、2002 年の9月11日付け日経産業新聞にタイトル「環境効率向上 - NTT に壁 - 」同サブタイトル「省電力進まず」という記事もこれらの調査・検討の重要性を認識させる背景となっている。

この新聞記事における環境効率とは、売上高を二酸化炭素排出量で割った値である。CO<sub>2</sub>の排出量を抑え、売上高が伸びれば環境効率向上は進んだことになる。NTT によると、将来の見通しとしては現在の効率を維持することがやっとということのようである。環境効率を悪化させる要因として、ブロードバンド通信や携帯電話のように世代交代が激しい事業が拡大すると、過渡期に複数の設備を並行して運用する必要があり、運用の効率が落ちる。定額制サービスの拡大により利用の有無にかかわらず接続したままにする契約者が増えている。ADSL 事業者のルーター等の通信機器を電話局で預かるサービスのため、NTT の機器を省電力型に切り替えるだけでは電力消費量は減らない。この3つが効率向上を阻む要因としている。

実際、NTT はサーバーやルーターなどの機器類を直流電源仕様に切り替える作業を進めている。従来のシステムは商用電源からサーバーの CPU に達するまで交流 直流を3回変換し、これが電力ロスの主因となっていた。もともとサーバーの CPU は直流であり、機器の仕様をそろえて、直流電源装置と組み合わせれば、交流から直流への変換は1回で済み、電力ロスを大幅に減らすことができる。一方、直流給電となると電圧階級が48V 程度と低くなるため、必然的に大電流通電ということになり、超電導の得意とするところなのである。





かかる背景のもとで進めた検討の結果、直流給電は交流給電に比べ、技術的な課題はあるものの、システム信頼度が一桁程度高い、給電効率が20%程度高い、設置スペースが小さい、拡張性がよい(無停電で電源容量を増加)、クリーンエネルギーとの親和性がよい(燃料電池等)などの結果が得られた。さらに、超電導ケーブルを適用することにより、さらなる3%程度の省エネ化が期待できるとともに省スペース化も図られることが明らかになった。3%という値は現状の超電導技術を適用して得られる値で、今後、常電導部から超電導部への熱の侵入量をさらに抑える方法が開発されれば省エネ量はさらに大きくなる。

今まで述べた超電導ケーブルの適用は液体窒素温度で運転することを前提にしているが、ひとたびビル内に液体窒素環境が整えば、超電導限流器や超電導トランス、超電導電力貯蔵装置などの導入も容易になり、全体としての小型・軽量化も図れることになる。また、電力変換器に用いられているパワーエレクトロニクスも低温環境では通電損失を減少させることができるので、全体としての効率は飛躍的に向上することが期待できる。しかし、パワーエレクトロニクスの低温特性に関する研究も含め、超電導直流給電の調査・研究はまだ緒についたばかりである。

米国のITバブルが崩壊したとはいえ今後情報通信量が増え続けることは確かなようである。直流給電方式は今後現実のものとなっていくであろうし、その次には超電導直流給電という図式を実現すべくさらなる検討を進めていきたい。

(SRL/ISTEC 特別研究員 堀上 徹)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 超電導関連 6 - 7 月の催し物案内

### 6/3

超電導技術動向報告会 - 急加速した超電導技術

場所：都市センターホテル 3F コスモスホールII

(主催：(財)国際超電導産業技術研究センター)

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

### 6/24

超伝導科学技術研究会 第29回シンポジウム - 脚光をあびる超伝導のフロンティア

場所：早稲田大学国際会議場井深大記念ホール

(主催：未踏科学技術協会超伝導技術研究会)

e-mail:fsst@sntt.or.jp

<http://www.sntt.or.jp/fsst/>

### 6/30-7/2

PASREG2003-4th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials

場所：Jena, Germany

e-mail:habisreuther@ipht-jena.de

### 7/7-11

International Superconducting Electronics Conference

場所：Sydney, Australia

<http://www.tip.csiro.au/ISEC2003/>

### 7/7-16

Advanced Studies on Superconducting Engineering Euro Summer School

場所：Budapest, Hungary

e-mail:secretary@supertech.vgt.bme.hu

### 7/20-23

The 7th International Symposium on Research in High Magnetic Fields(RHMF 2003)

場所：Toulouse, France

e-mail:rhmf@cict.fr.

### 7/28-31

IWCC11/The 11th International Workshop on Critical Currents in Superconductor

場所：日本大学文理学部百年記念館 東京(世田谷区)

(主催：日本大学文理学部)

e-mail:otabe@csc.kyutech.ac.jp

<http://iwcc2.s26.xrea.com/>

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 新聞ヘッドライン (4/19-5/19)

新型リニア 500 キロ試乗会 山梨の実験線 4/19 毎日新聞  
常識覆す量子コンピューター 見えない世界が高速計算 新型計算機構想 量子力学を応用  
4/20 日本経済新聞  
24兆円の焦点 超電導 - 電力を回転体に貯蔵 摩擦なくロス100分の1 4/21 日本工業新聞  
リニア 越えた! 試乗時速500キロ 越せぬ・・・実用化に壁 4/21 読売新聞  
“すき間”の科学 半導体・超電導の研究 広島大 熱電冷却素子開発に道 4/22 日刊工業新聞  
24兆円の焦点 超電導 - 落雷事故から工場を守る 「瞬低」時の誤動作を解消 4/23 日本工業新聞  
24兆円の焦点 超電導 - 安定と効率 永遠の課題克服へ 送電ロス、CO<sub>2</sub>30%削減、60万キロワット級大容量化 4/24 日本工業新聞  
100メートルの超電導線材 JR東海・日立 リニア利用へ前進 4/25 日経産業新聞、日本工業新聞  
24兆円の焦点 超電導 - 半導体とは“けた違い”超高速・省エネデバイス 4/25 日本工業新聞  
高温超伝導体仕組みを解明 ホウ素電子に秘密 東北大グループ 5/1 朝日新聞、毎日新聞、読売新聞、日経産業新聞、日本工業新聞、日刊工業新聞  
光る研究室 青山学院大学 理工学部秋光研究室 超電導物質探索 人数よりアイデアが重要  
5/1 日本工業新聞  
医用画像装置 急速に進化するCT、MRI 各社、開発競争し烈に 5/1 日刊工業新聞  
ITER EUの誘致候補地一本化 11月にズレ込み 5/2 日刊工業新聞  
光る研究室 青山学院大学 理工学部秋光研究室 超電導物質探索 協道に意外な大発見も  
5/2 日本工業新聞  
電気学会表彰 功績賞に原島氏 業績賞は野嶋氏ら5氏に 5/6 電気新聞  
技術移転情報 磁石や送電線向き超電導のワイヤー、超電導回転子 5/8 日経産業新聞  
ITER 候補地選定に遅れ 政府間協議が延期 5/8 電気新聞  
世界最大級の超電導薄膜 産総研が開発 5/9 日本経済新聞、日経産業新聞、日本工業新聞  
細田科技相 経団連と意見交換 ITER誘致など説明 5/9 電気新聞  
自由化時代の原子力を考える ITER計画 候補地選定作業に遅れ 6極間協議が難航 役割分担で調整を 5/12 電気新聞  
宇宙実験衛星 26日に帰還へ 超電導体を製造 5/13 日経産業新聞  
4Kの冷却温度 極低温冷凍機 住友重機械が国産初 5/14 日本工業新聞、5/16 日経産業新聞  
柔軟かつ戦略的な技術開発 中部電力 代表的な自社開発技術から 超電導電力貯蔵システム  
7月からフィールド試験 瞬低の影響から工場を守る 無停電電源装置 電気二重層キャパシタ適用 5/19 電気新聞



[超電導 Web21 トップページ](#)

【ビジネストレンド】超電導速報 世界の動き (2003年4月)

電力

**Nexans (2003年4月17日)**

Nexans は、中国最初の HTS ケーブル製造事業者である Innopower Superconductor Cable Co., Ltd が製造する HTS ケーブル向け真空可塑性エンベロープ CRYOFLEX を供給することになった。これは、中国で最初の HTS パワーケーブル・プロジェクト向けである。30m 長さ、3 相、35kV の HTS ケーブルが、2004 年春に昆明の雲南電力会社のパワー・グリッドに設置される予定。

(出典)

“Innopower chooses Nexans technology for China’s first High Temperature Superconducting power cable project”

Nexans (April 17, 2003)

[http://www.nexans.com/dyn/site.php3?page\\_id=18](http://www.nexans.com/dyn/site.php3?page_id=18)

**American Superconductor Corporation and Nexans (2003年4月23日)**

米国エネルギー省は、American Superconductor Corporation (AMSC) を Long Island Power Authority (LIPA) の送電グリッドに設置される総額 3000 万ドル HTS 送電ケーブル・プロジェクトの主契約者に選定した。このプロジェクトでは、世界で初めて実際の送電電圧で商用グリッドにおいて HTS ケーブルが使用される。610m 長さ、600MW、138kV の送電線が既設の地下溝に設置され、30 万世帯に電力を送ることができるようになる。AMSC が製造した線材を Nexans がケーブルに仕上げる。ケーブルは Nexans 製の極低温真空可塑性エンベロープに収納される。Air Liquide は冷凍機器を供給する他、ケーブルの極低温関連システムを管理する。所要資金 3000 万ドルの内、エネルギー省が 1500 万ドルを、民間企業が 1500 万ドルを負担する。ケーブルは 2005 年末に運転が可能になる予定。ケーブルは初期運転の後、商用グリッドで継続的に使用されることになる。このプロジェクトはエネルギー省の資金援助により今年から着手される 3 つの新ケーブル・プロジェクトの内の 1 つである。

(出典)

“American Superconductor Selected by Department of Energy to Lead \$30 Million Superconductor Cable Project for Long Island Power Authority”

American Superconductor Corporation press release (April 23, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/105104812341.html>

“Nexans to manufacture superconductor cable for US Department of Energy’s \$30 million project on Long Island”

Nexans press release (April 23, 2003)

[http://www.nexans.com/dyn/site.php3?page\\_id=18](http://www.nexans.com/dyn/site.php3?page_id=18)

**American Superconductor Corporation (2003年4月24日)**

American Superconductor 社は、ローバスタな電力電送システムの重要性を説く Consumer Energy Council of America (CECA) の報告書に支持を表明した。「Positioning the Consumer for the Future: A Roadmap to an Optimal Electric Power System」と題されたこの報告書は、1 年間の公共政策フォーラムの結果を纏めたものである。報告書は、米国において電力の競争的市場への移行がなぜ困難なのか、また、なぜ時間がかかるのかを説明している。同時に、報告書は超電導や他の進んだグリッド技術が、米国電力インフラが将来の消費者の需要を満たす上で大きな比重を占めるとも述べている。

(出典)

“American Superconductor Welcomes New Report on Electric Industry Restructuring from the Consumer

Energy Council of America”

American Superconductor Corporation press release (April 24, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/105119090041.html>

## Electric Power Research Institute (2003年4月30日)

米国エネルギー省は、将来の電力伝送インフラに関する様々な入り組んだ問題に関して意見を述べるために民間 公共機関によって組織された Consortium for Electric Infrastructure to Support a Digital Society (CEIDS)に加わった。この組織の主たる目的は、将来の電力伝送システムがデジタル社会において増加していくであろう電力需要を満たすことを確かなものにするることである。これに参加することにより、エネルギー省は民間と協力しながら連邦財政支出の効率を高めたいとしている。この組織には、エネルギーや技術開発組織のみならず電力会社からも代表が参加している。この組織の最初のプロジェクトは、電力伝送システムのオープン・アーキテクチャーの初期設計である。GE Global Research のリーダーシップの下に行われる 18 ヶ月、数百万ドルのプロジェクトにより、将来のスマート・グリッドに必要な通信・情報機器の設計に向けたフレームワーク作りが行われる。CEIDS に関する詳細な情報は <http://www.e2i.org/ceids> で得られる。

(出典)

“DOE Joins Electricity Innovation Institute Partnership to Redesign the Nation's Power Delivery System”  
Electric Power Research Institute press release (April 30, 2003)

[http://www.epri.com/corporate/discover\\_epri/news/2003releases/043003\\_doe.html](http://www.epri.com/corporate/discover_epri/news/2003releases/043003_doe.html)

## 材料

### Superconductive Components, Inc. (2003年4月4日)

Superconductive Components, Inc は、2002年12月31日に終了する3ヶ月及び1年間の収支を発表した。1年間の収入は19.2%減の296万ドル。前年は366万ドルであった。製品販売は対前年比で16.8%減、契約収入は38.7%減である。利益についても2002年は収入比で20.9%。2001年は32.8%であった。同社ではこの2002年の結果には失望しているが、昨今の市場の状況にもかかわらず、キャッシュ・フローには変化がないとしている。

(出典)

“Superconductive Components, Inc. Reports Fourth Quarter and Year 2002 Results”

Superconductive Components, Inc. press release (April 4, 2003)

<http://www.prnewswire.com/news/index.shtml>

## 通信

### ISCO International, Inc., and Superconductor Technologies Inc. (2003年4月3日)

ISCO International が Superconductor Technologies Inc. (STI) とその完全子会社である Conductus Inc. に対して起こしていた特許侵害訴訟の評決があった。ISCO の「Cryoelectronically Cooled Receiver Front End for Mobile Radio Systems」特許(215特許)は無効であり効力を持たず、従って STI の Superfilter® は ISCO の特許を侵害していないとして、陪審員は一致して STI を勝訴とした。また、陪審員は ISCO 側の不当な対応により蒙った被害の補償として ISCO から STI への 387 万ドルの支払いを求めた。STI 社長 M. Peter Thomas は、「215 特許が無効であるというのは従来から確信しており、今回の評決は大変うれしい。今後通常のビジネスに戻ることができる。」と述べた。ISCO 側はこの評決にショックを受けており、今後評決を覆すことを目指した法的手続きを進めていきたいとしている。

(出典)

“ISCO International Announces Jury Verdict in Patent Infringement Trial against Superconductor Technologies, Inc.”

ISCO International, Inc. press release (April 3, 2003)

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

“Superconductor Technologies Inc. Wins Court Ruling on '215 Patent Infringement Lawsuit”

Superconductor Technologies Inc. press release (April 3, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJfKEQUA LSTO&product=MzgwU1ZJPVakWQEQUALSTOEQUALSTO&storyId=84807>

#### HYPRES, Inc. (2003年4月7日)

HYPRES, Inc.は、多バンド、複合機能受信機用高性能デジタル・チャネライザーの開発契約を米国国防省と締結した。契約額は約 130 万ドルであり、同社の超高速、超低損失超電導マイクロエレクトロニクス技術を応用した AD 変換器ファミリーの開発を行う。このチャネライザーは高周波信号を直接元のデジタル信号に復調できるもので、分解能が高く、ダイナミック・レンジも広い。このデバイスは、システムパフォーマンスの低下を招くアナログ・デバイスのない、通信、レーダー等に適した全デジタル化システムの主要コンポーネントとなる。

(出典)

“HYPRES Awarded Contract to Develop Digital Channelizer”

HYPRES, Inc. press release (April 7, 2003)

[http://www.hypres.com/pages/new/bnew\\_files/pr\\_channelizer.htm](http://www.hypres.com/pages/new/bnew_files/pr_channelizer.htm)

#### Superconductor Technologies Inc. (2003年4月30日)

Superconductor Technologies Inc. (STI)は、2003年3月29日に終了する四半期の収支について発表した。前に発表された予想の通り、同社の第1四半期の収入は760万ドルであった(前年同期460万ドル)。製品純販売額も増加、2003年第1四半期は510万ドルであった(前年同期370万ドル)。また政府契約収入は250万ドル(前年同期909,000ドル)。訴訟費用(400万ドル)も含め、第1四半期の純損失は830万ドル(前年同期640万ドル)。訴訟費用は第2四半期には大きく減少する見込み。収支に関して同社社長 M. Peter Thomas は、「STIは本年第4四半期までに利益創出を目指す。第1四半期については各方面で前進した。第1に売上目標を達成し、さらに大手通信業者を新規顧客として獲得した。第2に製造効率向上を達成し、次の期の黒字化を見通せるようになった。訴訟費用及び Conductus 買収のために費用は要したものの、2002年には経費節約の効果も出てきた。なお、臨時のこれら費用は前年第1四半期比での研究開発費用の増加とみなしている。これらの要因をならせば、運転費用は前年同期とほぼ同じと考えてよい。」と語った。同社は、米国以外にもメキシコ、ブラジル、中国等の地域の国際的な顧客獲得も目指していく。

(出典)

“Superconductor Technologies Inc. Announces First Quarter Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (April 30, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=Mzg0TIRrMU1RPT1QJfKEQUA LSTO&product=MzgwU1ZJPVakWQEQUALSTOEQUALSTO&storyId=86517>

(ISTEC 国際部 津田井 昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 6月のトピックス

- コメント用審議文書,DC,発信とメンテナンス作業開始 -

IEC/TC90 (超電導) は、コメント用審議文書、DC(Document for Comments)、を 2003 年 5 月 9 日 IEC/TC90 の P-メンバー各国宛に発信し、実質的な現行 IEC 規格のメンテナンス作業を開始した。

今回、メンテナンスの対象とした IEC (国際電気標準会議) 規格、メンテナンス期限並びに対応するワーキンググループ、WG は、つぎに示す通りである。なお、対象 IEC 規格のうち IEC61788-5 及び IEC61788-12 に対するコメント提案はなされていない。また、同 DC には、WG4 及び WG7 のコンビーナの募集と各 WG への専門家の新規登録要請もなされている。

IEC	Title	期限	WG
IEC 61788-1,Ed.1.0	Superconductivity - Part 1: Critical current measurement - DC critical current of Cu/Nb-Ti composite superconductors	2006	2
IEC 61788-2,Ed.1.0	Superconductivity - Part 2: Critical current measurement - DC critical current of Nb <sub>3</sub> Sn composite superconductors	2006	7
IEC 61788-3,Ed.1.0	Superconductivity - Part 3: Critical current measurement - DC critical current of Ag-sheathed Bi-2212 and Bi-2223 oxide superconductors	2006	3
IEC 61788-4,Ed.1.0	Superconductivity - Part 4: Residual resistance ratio measurement - Residual resistance ratio of Nb-Ti composite superconductors	2006	4
IEC 61788-7,Ed.1.0	Superconductivity - Part 7: Electronic characteristic measurements - Surface resistance of superconductors at microwave frequencies	2006	8
IEC 61788-5,Ed.1.0	Superconductivity - Part 5: Matrix to superconductor volume ratio measurement - Copper to superconductor volume ratio of Cu/Nb-Ti composite superconductors	2005	6
IEC 61788-6,Ed.1.0	Superconductivity - Part 6: Mechanical properties measurement - Room temperature tensile test of Cu/Nb-Ti composite superconductors	2007	5
IEC61788-10.Ed.1.0	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	2007	11
IEC 61788-11,Ed.1.0	Superconductivity - Part 11: Residual resistance ratio measurement - Residual resistance ratio of Nb <sub>3</sub> Sn composite superconductors	2007	4
IEC 61788-12.Ed.1.0	Superconductivity - Part 12: Matrix to superconductor volume ratio measurement - Copper to non-copper volume ratio of Nb <sub>3</sub> Sn composite superconductors	2007	6

(ISTEC 標準部 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 2003年春 超電導工学研究所 所長表彰決定

超電導工学研究所では、春と秋の年2回、所内の表彰を実施しているが、2003年春の表彰が5月27日に執り行われた。所長賞のテーマ、表彰者は下記のとおり。なお、今回、特別功労賞として1テーマ表彰された。

### 【所長賞（2テーマ）】

「中間層 CeO<sub>2</sub> を用いた YBCO 線材作製の高速化に関する研究」

室賀 岳海、岩井 博幸、渡部 智則、宮田 成紀、山田 穰

「SFQ 高速回路設計手法の開発とそれを用いた 2×2 スイッチの 50GHz 動作実証」

亀田 義男、萬 伸一

### 【特別功労賞（1テーマ）】

「微小重力下における超電導体製造実験の成功」

坂井 直道、井上 和朗、石原 大治、山田 俊雄

(ISTEC 総務部 安住 光弘)

## 第5回 (2003年度) サ・マ・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、凝縮系科学に係わる若手研究者にインセンティブ、モチベーションを与えるため、1999年3月に“サ・マ・ティン・ウッド賞”を創設致しました。下記の要項により、第5回サ・マ・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（例：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(2003年4月1日現在)の若手研究者1~2名。国籍は問わない。

応募書類は応募した年を含め3年間有効であり、応募の翌年及び翌々年もその年度の4月1日時点で40歳を越えていなければ自動的に審査の対象となる。

但し、応募後の新しい業績を加えて翌年度以降に改めて応募することも認められる。

賞の内容： 賞状、賞金50万円と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： 2003年8月1日（金）

申込方法： 詳細は下記事務局までお問い合わせ、またはホームページをご参照下さい。

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： 2003年9月の予定 賞の贈呈： 2003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：03-5245-4472 E-mail：msf@oxinst.co.jp

<http://www.msforum.jp/>

[超電導 Web21 トップページ](#)



## 超電導応用研究会より

### 「低温工学・超電導応用の裾野 - アミューズメントへの適用 - 」

低温工学協会超電導学会超電導応用研究会は、平成 15 年 4 月 16 日独立行政法人産業技術総合研究所臨界副都心センター第 1 会議室にて、平成 15 年度第 1 回シンポジウムを開催した。掲題のテーマによるこのシンポジウムは、5 種類のアミューズメント実演を交えた 4 つの講演と総合討論会で構成されており盛会であった。

「超電導体の浮上」と「超電導コースター」の紹介が実演を交えて高エネルギー加速器研究機構の細山謙二氏によってなされた。これらは、同研究機構一般公開の一環として 20 年以上の歴史を有しており、“低温・超電導を見せる - 体験する”をモットーとして小中学生を対象に定期的（例年 9 月敬老の日）に実施されているとのこと。「超電導体の浮上」は、液体窒素温度に冷やした(株)新日本製鐵製 YBCO バルクを強力な 4 個の永久磁石の上に 20mm 浮かせるものであった。「超電導コースター」は、液体窒素温度に冷やした YBCO バルクを装着したスチロール製車体が鉄板の上に数ミリ間隔で敷き詰められた 6 列の永久磁石軌道上を走行するものであった。軌道が急降下、宙返り、斜面、曲線など遊園地のジットコースターさながらに縮小設計されており、見学者が車体を軌道に直接挿入できるように工夫されていた。



「超電導サーフィン」の紹介が山口大学の津田理氏によってなされた。“未来遊具”と銘打ったこの企画は、平成 13 年 7 月 14 日から 9 月 30 日まで開催された「山口きらら博 - 元気館」に出展したもので、58 万人が実際に見たもののビデオ紹介であった。「超電導サーフィン」は、液体窒素温度に冷やした(株)新日本製鐵製 YBCO バルクを内蔵したスチロール製サーファーが 2 個の組み合わせ銅製浮上コイルの上で制御されて浮遊するものであった。

「模型スターリングエンジン」の紹介が元産業技術総合研究所の川田正国氏によってなされた。まず、一端を加熱された L 字型ガラス管とガラス球を用いた「模型ディスプレイサー」を用いたスターリングの動作原理を実演した。続いて実演されたのは、すでに 60 台の製作実績と 38 名の実習実績を誇る精巧な「模型スターリングエンジン」であった。装置の頭部をハンドバーナーで加熱すると、カムのピストン運動が開始し、直径 50mm の 2 個の動輪を 2500 回転以上高速で回転させる迫力あるものであった。

「超電導ウェーブ・ボード・コースター」と「超電導浮上迷路盤」の実演と紹介が福島高専の鈴木晴彦氏によってなされた。これらのアミューズメント実演は、養護教育における感覚訓練機器開発の一環として福島県内の養護施設や小学校と連携して進められている事業である。

いずれの機器も参加型（ゲームタイプ）をモットーとしており、達成度が数字で表示できるように工夫されている。たとえば、「超電導ウェーブ・ボード・コースター」では 1 秒の壁を破って走行できるかどうかを競いながら、感覚訓練が行えるようになっていた。

（編集局 田中靖三）

[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3)

超電導工学研究所  
芝浦工業大学  
村上雅人

1. 電気抵抗の正体

超電導において電気抵抗が完全にゼロになることを理解するためには、そもそも電気抵抗の原因がいったい何なのかを知る必要がある。前回(「超電導 Web21」2003年4月号)は、その本質が、金属を構成している原子の骨格、すなわち格子の熱振動であることを説明した。このため、金属の電気抵抗は温度上昇とともに大きくなるという共通した特徴を持っている。

それでは、熱振動のない絶対零度では電気抵抗がゼロになるのであろうか。残念ながら、絶対零度でも電気抵抗がゼロになることはない。それは、運動している自由電子が負の電荷を持っており、金属の格子が正の電荷に帯電していることに原因がある。正電荷の格子の中を負電荷の電子が移動すると、両者にクーロン相互作用が働く。これを電子格子相互作用と呼んでいる。つまり、負の電子が移動してくると、クーロン引力によってそのまわりの格子が歪む。この変位(歪み)によって格子が振動する。実際に、この振動を目で見ることはできないので、仮想振動(virtual phonon)と呼ばれている。いずれ、負の電子と正の格子がお互いに影響を及ぼしあうことは自明であろう。このため、図1に示すように、絶対零度であっても、電子の運動は格子にじまされることになる。つまり、電気抵抗はゼロとはならないのである。

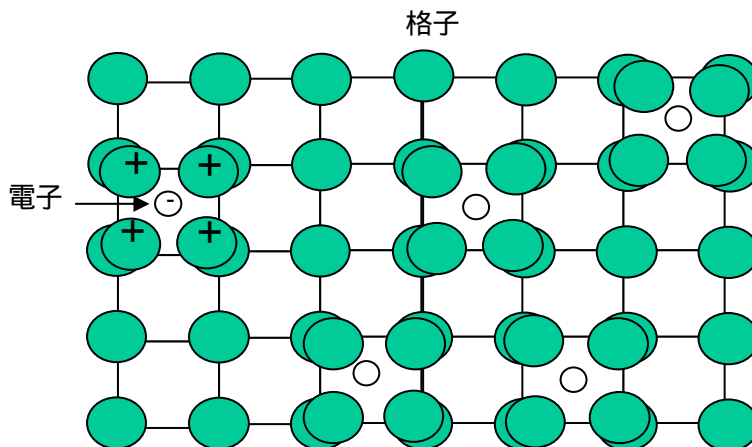


図1 絶対零度において格子振動がない状態においても、負に帯電した電子が正に帯電した格子の中を運動すると、クーロン引力が働くため、電子と格子の間に相互作用が存在する。このため、電子は格子の中を自由に運動することができない。

2. 電気抵抗ゼロ解明への道

金属中での電子の運動をじゃまするものが、格子の振動であるとするれば、電子と格子の間に相互作用が存在する限り電気抵抗をゼロにすることはできない。正電荷と負電荷にクーロン力が働くという事実は、物理の基本法則であるから、その相互作用を無くすることはできない。よって電気抵抗をゼロにすることも不可能ということになる。これでは、根本から電気抵抗ゼロは無理ということになる。これが電気抵抗ゼロを説明しようとする多くの研究者を悩ませた問題である。

それでは、どのように対処したらよいのであろうか。実は、いままでの議論は、電子1個の運動

だけに注目したものである。よって、複数の電子の相互作用を考慮に入れると、結果的に電気抵抗がゼロになる特殊な条件が存在するかもしれない。こう多くのひとが考えるようになった。というよりは、電気抵抗ゼロという状態が実際に存在するのであれば、そう考えない限り矛盾が生じる。

ところが、物理には「3体問題 (three body problem) は解けない」という宿命がある。3個以上の物体間の相互作用を解析的に求めることはできない。よって、複数の電子の運動を数学的に記述することは不可能なのである。これでは、超電導機構の解明はあきらめざるを得ないのであろうか。

### 3. マイスナー効果の発見

超電導状態を考えるうえで、重要なもうひとつの特徴が 1933 年に発見された。それは、超電導状態が本質的に磁場を嫌うという性質の発見である。

まず、超電導状態になった超電導物質に外部磁場を加えると、磁場の超電導体への侵入が阻止される。この現象は、電磁誘導と電気抵抗ゼロによって説明できる。電気を通す物質 ( 導体 ) のまわりの磁場が変化すると電流が誘導される。この現象を電磁誘導と呼んでいる。電磁誘導は非常に重要な物理法則である。われわれの生活に不可欠な電気は、発電所で電磁誘導によってつくられている。また、携帯電話などの、無線通信の信号を受け取るアンテナの機能にも電磁誘導がつかわれている。現代生活の根幹をなす物理法則と言っても過言ではない。

この電磁誘導には面白い性質があり、誘導される電流は外部磁場の変化を妨げる向きに流れる。これをレンツの法則 ( Lenz's law ) と呼んでいる。よって、導体に永久磁石を近づけると、磁石が近づくとを妨げるように電流が誘導される。例えば N 極を近づけようとする、物質の表面に N 極をつくるような向きに電流が誘導されるのである。

それでは、電磁誘導を超電導にあてはめてみよう。超電導体に磁石を近づけると、磁石を近づけまいとする向きに電流が誘導される。この誘導された電流は電気抵抗がゼロであるから常に流れ続ける。よって、超電導体に磁場を印加すると、ちょうどその磁場を打ち消す向きに電流が流れ続けるから、超電導体内に磁場は侵入できないということになる ( 図 2(a)

(b)参照)。しかし、これでは大発見とは言えない。電磁誘導と「電気抵抗ゼロ」という性質によって説明できるからである。ところが、超電導には別な顔があったのである。

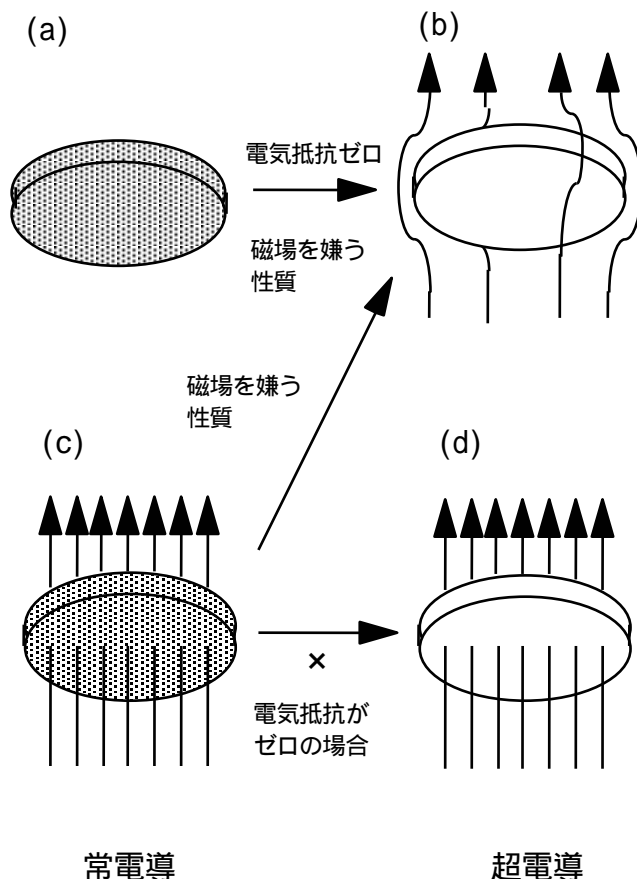


図2 マイスナー効果。常電導状態で磁場を印加した状態で冷却すると、(b)のように超電導体内から磁場が排除される。もし、電磁誘導と電気抵抗ゼロであれば、(d)のように超電導体内に磁場がとどまるはずである。この効果の発見により、超電導は常電導とは異なる、まったく新しい状態であることが明らかとなった。

超電導体に室温で磁石を載せた状態で冷やして、超電導になったらどうなるであろうか。この場合は、磁場の変化はないから、電磁誘導も生じないので、何の変化もないはずである(図 2(c) (d) 参照)。そして、磁石を超電導体の上から離そうとすると、この場合は、磁場が変化するので、それを妨げる向きに電流が誘導されるはずである。

ところが、冷やして超電導状態になっただけで、超電導体内の磁場が外に排除されることが分かったのである(図 2(c) (b))。この現象は、発見者の名にちなんで、マイスナー-オクセンフェルド効果あるいは、単にマイスナー効果と呼ばれている。マイスナー効果は、その経緯に関係なく、超電導は常にひとつの平衡状態にあるということを示している。

この超電導の特徴の発見は、超電導機構を解明しようとしている人達に大きなヒントを与えた。それは、超電導が、単に電気抵抗がゼロになるという現象ではなく、普通の状態(これを常電導状態と呼んでいる)とは全く異なる新しい熱力学的な平衡状態にあるということを示しているからである。つまり、水が低温で氷に変化するように、超電導状態は一種の相変態によって生じる現象であることが分かったのである。

[超電導 Web21 トップページ](#)

## 読者の広場

### Q&A

**Q:** 超電導電力機器、特に超電導送電ケーブルはどのように冷やすのでしょうか？

**A:** 超電導電力機器を冷やす方法は大きく分けて次の3つに分けられます。

1. 被冷却体(超電導電力機器)を液体ヘリウムや液体窒素のような極低温冷媒が貯まった容器の中にジャブ漬けにして冷やす方法で、液体の蒸発潜熱を利用します(冷媒の温度は一定)。
2. 冷媒を被冷却体の中に循環させて熱を容器の外に奪い去ることにより冷やす方法で、この場合は冷媒の顕熱を利用します(冷媒の温度は上昇)。
3. 冷凍機の冷却部を直接、被冷却体に接触させて冷やす方法。

1.の方法の場合、冷媒は大気圧飽和液体を利用する限り運転温度は決まっていますが、その大きな蒸発潜熱を利用することができます。また、減圧等により飽和蒸気圧を変えることにより、飽和温度を変えることもある程度の範囲で可能です。

2.の方法の場合、奪い取れる熱は冷媒の流量と温度差(温度上昇分)に比例します。従って、被冷却体の温度を余り上げないためには(温度が上がると、超電導体の臨界電流は減少してしまいます)たくさんの冷媒を流す必要があります。

超電導送電ケーブルは長い線上の構造であり、損失熱も侵入熱も長さ方向に均一に分布していますので、1.の冷却方法だと巨大な容器と大量の冷媒が必要ですし、3.の方法だと大量の冷凍機を長手方向に一定間隔で設置しなければなりません。したがって、経済性、スペース、効率の観点から2.の方法を採用するのが最も有効だと思われます。ただし、2.の冷却方法においても、温度上昇した冷媒から熱を取り去るための冷凍機や冷媒を循環するためのポンプが置けるスペースが限られています(現在のところ約5km間隔を想定)。また、超電導ケーブルのように長い距離に冷媒を大量に流すと圧力損失の問題が生じてきます。圧力損失は流量の二乗と長さに比例します。もちろん冷媒を押し出す圧力を高くしてやればいいわけですが、機械的強度の問題もありますので、幾らでも高くするわけにはいきません(現在のところ10-15気圧を想定)。したがって、冷媒の圧力損失を少なくするために、まず冷媒は気液二相流(液体の中に気泡が存在)にならないようにする必要があります。例えば液体中に3割の気体があると圧力損失は液体だけの場合に比べて10倍になってしまいます。このため、液が二相流にならないようにサブクール状態(冷媒の飽和圧力に相当する飽和温度以下にすることで、液体窒素の場合は1気圧で77K以下)にします。もちろん、奪い去らなければならない熱が少なければ、冷媒を多く流す必要もなく、圧力損失は減ります。従って超電導送電ケーブルの実用化には損失熱や侵入熱を低減させる事が不可欠となります。

**回答者:** 産業技術総合研究所

電力エネルギー研究部門 超電導応用グループ  
グループ長 淵野 修一郎

[超電導 Web21 トップページ](#)