
掲載内容（サマリー）：

トピックス：

- 中部電力・九州電力・ISTEC・NEDO
「超電導電力ネットワーク制御技術開発」成果報告会
- 「ISTEC・NEDO－新超電導物質探索に関する調査」成果報告会

特集：超電導材料技術の進展

- 細線化 Y 系線材によるコイルの低交流損失化
- REBCO 線の高磁界特性技術の現状
- Bi-2223 テープ線材の高磁界特性技術の現状
- Bi-2223 線の低交流損失化技術の進展
- ITER 用大電流容量 Nb₃Sn 導体技術の現状

- 超電導関連 4-5 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（2/20-3/19）
- 超電導速報－世界の動き（2008 年 1 月、2 月）
- 隔月連載記事－やさしい超電導電力機器のおはなし（その 2）
- 読者の広場(Q&A)－高温超電導線の適用が有望な超電導機器を教えてください。

[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://ringring-keirin.jp>



トピックス：中部電力・九州電力・ISTEC・NEDO「超電導電力ネットワーク制御技術開発」成果報告会



正田英介プロジェクト SMES 開発方針会議議長挨拶

平成 20 年 3 月 12 日（水）東京都千代田区九段会館で「超電導電力ネットワーク制御技術開発」成果報告会を開催した。本報告会は、経済産業省資源エネルギー庁の政策事業として、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から中部電力株式会社、九州電力株式会社、(財)国際超電導産業技術研究センター（ISTEC）へ委託し実施している「超電導電力ネットワーク制御技術開発」（平成 16～19 年度）で得られた研究成果に関する報告会である。産・学・官および一般の方々を含め 100 名を超える参加があり、熱心な討議が行われた。

講演に先立ち、正田英介プロジェクト SMES 開発方針会議議長の挨拶に続き、来賓の経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 電力基盤整備課の高塚夏樹室長補佐より、超電導技術は、電力エネルギーの効率的な利用に資する技術であり、今回の成果が今後将来の様々な電力機器の技術開発に貢献できるもので、次期研究開発プロジェクトであるイットリウム系超電導電力機器技術開発につながる内容である旨の挨拶があった。

講演は、中部電力（株）の長屋重夫プロジェクトリーダーによる成果の全体概要報告に始まり、システム技術開発結果として、SMES システム検討委員会の主査である東京大学の大崎博之教授より概要説明がなされた。その後、実施者の中部電力（株）平野直樹研究主査から、低コスト大容量電力変換システム、高信頼性極低温冷凍機、高磁場酸化物系 SMES コイルの開発、九州電力（株）林秀美グループ長より高耐電圧伝導冷却電流リードシステムの開発について講演があり、システム構成技術開発目標を達成し、SMES システムの開発に必要な技術を確立したとの報告があった。続いて、実系統連系試験結果について、試験法・評価法検討委員会の主査である明星大学の仁田旦三教授より概要説明がなされた後、中部電力（株）永田達也研究主査から、負荷変動補償試験結果、九州電力（株）刀祢浩一主幹研究員より系統安定化試験結果について講演があり、実系統連系運転試験によるシステム性能検証（負荷変動に対する高速追従性、有効・無効電力の同時制御、負荷遮断に伴う電力動揺抑制効果等）について報告があった。さらに、適用技術標準化研究結果に

ついて、導入効果検討委員会の主査である東京理科大学の内田直之教授より概要説明がなされた後、ISTEC 伊東隆より、SMES と競合技術の適用効果・経済性評価と SMES 試験法について報告があった。

引き続いて、超電導応用基盤技術研究開発プロジェクトリーダーの ISTEC 塩原融 超電導工学研究所副所長より、SMES への次期展開が期待される次世代線材の開発動向について報告があった。

最後に、SMES 技術開発の今後の展開について、早稲田大学の石山敦士教授より、これまでの技術開発成果と実用化に向けた今後の課題・展開について報告があった。

各々の講演に対し、参加者からの活発な質疑・意見があり、今後の技術開発、実用化の推進に、貴重な意見を賜ることができた。

(ISTEC 調査企画部 伊東 隆)



講演風景



質疑応答

[超電導 Web21 トップページ](#)

トピックス：「ISTEC・NEDO—新超電導物質探索に関する調査—成果報告会」報告

ISTEC は、平成 19 年度から 20 年度の 2 カ年にわたり NEDO よりの委託調査研究として、「新超電導物質探索に関する調査」を実施してきた。この調査研究は、現在活発に実用化研究が行われている銅酸化物系高温超電導体を超える特性を有する新超電導物質を見いだすための指針を与える事を最終目標としている。そのための中心的な活動として専門家による委員会を構成し、各種新規超電導体の特性を調査してきた。調査研究を完了するにあたり、成果報告会が去る 2 月 29 日、東京都田町の「女性と仕事の未来館ホール」において開催された。この報告会は NEDO と ISTEC が共同で主催した公開の報告会である。当日は約 100 名の参加者があり、活発な討論が行われた。



パネル討論会の様子

プログラムはまず主催者挨拶、経済産業省鈴木専門職による来賓挨拶、超電導工学研究所田中所長による趣旨説明で始まり、以下調査委員会各委員の発表が続いた。福山委員長（東京理科大）の総論に続き、秋光委員（青山学院大）は一般からの参加者のための超電導の基礎知識から出発し、自身の研究室で発見されたいくつかの超電導体について紹介した。次に内田委員（東京大）は銅酸化物の範囲内でさらに臨界温度を上昇させる可能性について議論した。午前中の最後の発表は前野委員（京都大）によるもので、Ru 酸化物超電導体について、これがスピン 3 重項超電導体であるらしい事を中心に発表が行われた。

午後の前半では佐藤（名古屋大）、北岡（大阪大）、鹿野田（東京大）各委員がそれぞれ特色ある超電導体である Co 酸化物、f 電子系、分子性結晶について紹介した。さらに当初予定されていなかった特別講演として、極く最近公表された Fe 系の超電導体について東工大の細野教授が発表した。この全く新規な超電導物質系においては 32K の臨界温度が報告され話題となっている。発表によれば 50K 程度の臨界温度はかなり確実に実現できそうという事であったが、詳細は明らかにされなかった。

プログラムの最後には福山委員長の司会によるパネル討論会が行われた。ここでは主により高い臨界温度を実現するための方針としてそれぞれの立場から提言が行われた。

銅酸化物系超電導体をしのぐ特性を持つ超電導体を発見する事が容易でない事というま

でもない。しかし本調査研究により現状が整理され、いくつかの方針が分かりやすく提示された事の意義は大きい。また、まだ全貌が明らかではないとは言え、Fe 系という全く新しい物質系の出現は本調査研究を締めくくるにふさわしいニュースであった。

最後に調査研究を担当した者の一人として、支援していただいた NEDO および終始熱心に委員会活動に参加していただいた委員の皆様に感謝したい。

(SRL/ISTEC 材料物性研究部 中尾公一)



講演風景

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導材料技術の進展 「細線化 Y 系線材によるコイルの低交流損失化」

九州電力株式会社 総合研究所
電力貯蔵技術グループ長
林 秀美

超電導線材を変圧器に適用すると、その高電流密度や低損失特性から、巻線や鉄心の断面積を小さくでき、大幅な小型・軽量化が図れるとともに、冷媒は液体窒素を用いるため不燃となる。それらの特長から、超電導変圧器は電力需要増に伴う変圧器増の対応（小型・高効率）、変電所の新設対策が有利（小型化で変電所容量の増）、超電導ケーブルと共存（変電所容量増、限流機能）などの用途が考えられ、都心部を主体とした変電所やビル等での早期実用化が期待されている。そのため、九州大学や当社のグループでは従来から超電導変圧器（Bi 系線材）の開発を進めてきた。一方、最近の Y 系線材は高磁界中での臨界電流が大きく、線材の細線化による低交流損失化及び将来的に低コスト化が図れると考えられるため、当社は上記グループと 18 年度から国プロでの低損失化や大電流化技術等の要素技術開発も取り組んでいる。

今回、Y 系線材による超電導変圧器用巻線のキー技術である低交流損失化技術を実証するために、YAG レーザーを使用して 5 mm 幅 Y 系線材の超電導層を 1 mm 幅に 5 分割に細線化（5 filaments）し、ポリイミドテープ絶縁した細線化線材を用いて、図 1 に示すモデルコイルを作製した。また、5 mm 幅の無分割（non-divided）Y 系線材によるモデルコイルも作製し交流損失の低減効果を比較した。この無分割 Y 系線材および 70 m 長モデルコイルの諸元を表 1 に示す。図 2 に、無分割と 5 分割の Y 系細線化線材による 70 m 長モデルコイルの通電損失特性の比較を示す。交流損失の測定は電気的手法（四端子法、4 probe）と当社等で独自に開発した熱的手法（蒸発法、boil-off）により実施した。両測定の結果はほぼ一致し、5 分割の細線化により通電損失が 5 分の 1 程度の低減を実証した。なお、この結果はメーカーでの測定とも同等であった。

今回の成果により、超電導変圧器の重要な基礎技術が確立でき、超電導変圧器の実用化に向けたステップを着実に踏み出したと考えている。今後も、引き続き変圧器の

表 1 無分割 Y 系線材とモデルコイルの諸元

YBCO tape type	IBAD/PLD
Tape width	5mm
Tape thickness	0.12mm
Critical current at 77K and self field	~65A
Inner diameter of coil	100mm
Height of coil	57mm
Number of coil turns	10
Number of coil layers	19



図 1 Y 系線材のモデルコイル（線材 70 m 長 5 分割）

要素技術である大電流化技術である Y 系線材の多層並列導体による電流均流化と転位技術の開発を進めていく予定である。

なおこの成果は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から受託している「超電導応用基盤技術研究開発プロジェクト」において、(財)国際超電導産業技術研究センター、(株)フジクラ、富士電機システムズ(株)、九州大学及び当社が協力して達成したものである。

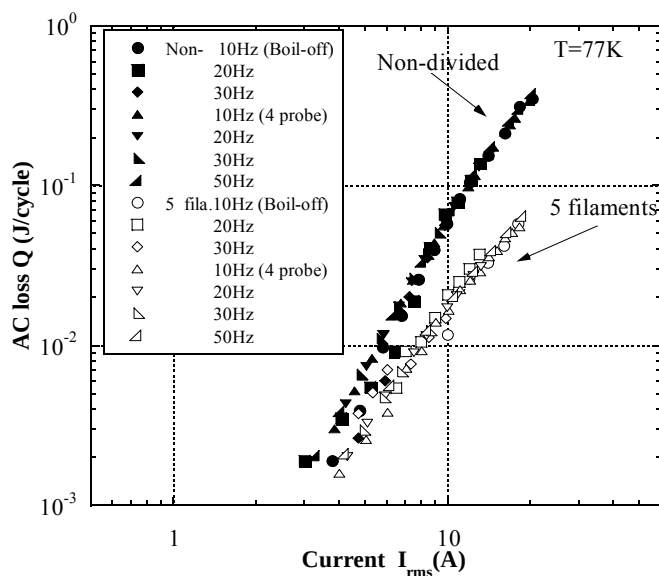


図 2 モデルコイルの交流損失測定結果
(制御の細線化有無による比較)

特集：超電導材料技術の進展 「REBCO 線の高磁界特性技術の現状」

九州工業大学
工学部 物質工学科
教授 松本 要

ナノ組織制御により YBCO 高温超電導体中に結晶欠陥を導入して量子化磁束を強力にピン止めし、高温超電導薄膜の 77 K 近傍における高磁界中の J_c を飛躍的に増大させることを目指した開発が進んでいる。こうして導入された結晶欠陥は人工ピン (Artificial Pinning Center ; APC) と呼ばれる。人工ピン法では、最大の J_c が得られるように結晶欠陥の分布や密度を理論的に設計し、薄膜中に導入することを可能にする。人工ピンとして利用できる結晶欠陥を次元性で分類すると、転位やコラムナ欠陥のような 1 次元人工ピン (線状欠陥)、小傾角粒界の転位列や大きな析出物表面などの 2 次元人工ピン (面状欠陥)、そしてコヒーレンス長と同等かそれ以上のスケールの析出物や異相などの 3 次元人工ピン (粒状欠陥) などがある。

原理証明として筆者らが最初に行ったのは、PLD 法と Y_2O_3 ナノアイランドを利用した基板表面修飾法によるもので、基板上の Y_2O_3 ナノアイランドを起点として YBCO 薄膜中に転位等の 1 次元人工ピンを高密度に導入するものである。ナノアイランドの密度向上に伴い 77 K の磁場中 ($B//c$) の J_c が数倍以上向上することが確認された。ほぼ同時期に、米国グループによってスイッチングターゲット法や混合ターゲット法によって微細粒子を YBCO 薄膜中に導入することが試され、いずれの方法でも純 YBCO 薄膜の数倍に達する J_c が得られた。

これら萌芽的研究の後、多くの人工ピン研究が開始され、最近では $BaZrO_3$ の混合ターゲットを用いて、YBCO 薄膜中に直径 5~10 nm の多数のナノロッドを導入することが盛んに行われている。ナノロッドは c 軸に平行で 1 次元ピンとして作用する。 $BaZrO_3$ ナノロッドにより J_c は 0.7 MA/cm^2 (77 K, 1 T, $B//c$) および 0.1 MA/cm^2 (77 K, 5 T, $B//c$) に達している。ナノロッド形成機構については、まだ完全には理解されていないが材料科学的に大変興味深い。

2 次元人工ピンとしては、半位相界面 (APB) や小傾角粒界からなる結晶粒界によるものがあるが、現状では実施例が少ない。一方、3 次元人工ピンにはいくつかのパターンがあり、ひとつには Y_2O_3 などのナノロッドを形成しない物質と、YBCO を、PLD を用いて同時に蒸着してナノ粒子を YBCO 薄膜中に導入する方法がある。この方法で 10~20 nm 径のナノ粒子を人工ピンとして膜中に高密度に導入できる。また組成をずらした PLD ターゲットを用いる方法もあり、 $Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu_3O_{6+\delta}$ ターゲットで Sm リッチとして成膜することで、膜中に Sm と Ba が置換した濃度ゆらぎが形成され、低 T_c 部分が強い人工ピンとなることも報告されている。なお最近では人工ピンを用いることで、77 K の温度において YBCO 薄膜の不可逆磁界は 10 T 以上になり、かつ 4.2 K で動作する実用 Nb-Ti 線材の J_c を超える値も報告されるようになってきている。これより YBCO や GdBCO などを用いた REBCO 線材に人工ピンを導入することで、77 K において Nb-Ti 線材並みの特性を有した高性能の線材の実現が期待できる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導材料技術の進展 「Bi-2223 テープ線材の高磁界特性技術の現状」

株式会社 神戸製鋼所
長谷隆司、財津享司、濱田 衛

独立行政法人 物質・材料研究機構
崔 世鎔、木吉 司

加圧焼成 (Controlled Over Pressure, CT-OP) 法で作製された Bi-2223 テープ線材を 4.2 K 以下の温度に冷却することにより、23.5 T (水素原子核の共鳴周波数 1 GHz に相当) 以上の磁界でも実用レベルの臨界電流を維持することが期待できる。そのため、この線材を用いて、1 GHz を超える共鳴周波数の核磁気共鳴 (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) マグネットを開発しようというプロジェクトが、科学技術振興機構 (JST) 先端計測分析技術・機器開発事業として進行中である。

独立行政法人 物質・材料研究機構のハイブリッドマグネットを用い、外部磁界を 30 T まで印加して、幅 4.2 mm×厚さ 0.22 mm×長さ 30 mm の短尺試料の 4.2 K における臨界電流を測定した。事前に行った測定では、高磁界中の通電による電磁力のために試料が不可逆的にダメージを受け特性低下が見られた。そこで、ここでは不可逆的なダメージを受けない状態での測定を行うことを主眼として、テープ線材と銅プレートを半田で一体化した試料を測定した。これらの測定では、一定磁界において $B \parallel$ 、 $B \perp$ それぞれの試料の I_c を測定した後、別の磁界に移行して、前の磁界での測定とは逆の試料順序で I_c を測定した。電界基準としては、100 $\mu\text{V/m}$ を用いている。

外部磁界を 0 T → 30 T → 0 T の順序で変化させて、 I_c を測定した結果の内、10 T 以上の磁界領域での結果を図 1 に示す。外部磁界 30 T において、テープ面に外部磁界が平行な場合、垂直な場合でそれぞれ臨界電流 I_c として 293 A、226 A が得られている。これらの臨界電流を Bi-2223 テープ線材の断面積で除した臨界電流密度 J_c として、317 A/mm² と 245 A/mm² が得られ、200 A/mm² 以上という目標を達成できていることが確認できた。

図 1 の 24 T よりも高い磁界領域では、減磁時の臨界電流が励磁時の臨界電流を下回るヒステリシスが見られ、24 T 以下でその大小関係が逆転する現象が生じている。このヒステリシスの再現性を確認するために、同じ断面サイズを有する別のロットから長さ 30 mm の Bi-2223 テープ線材を切

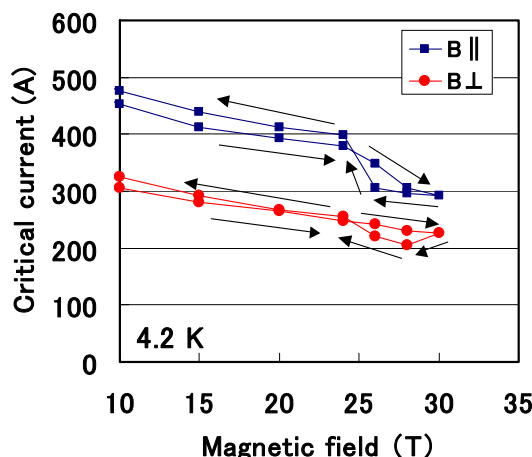


図 1 Bi-2223 テープ線材の臨界電流の外部磁界依存性

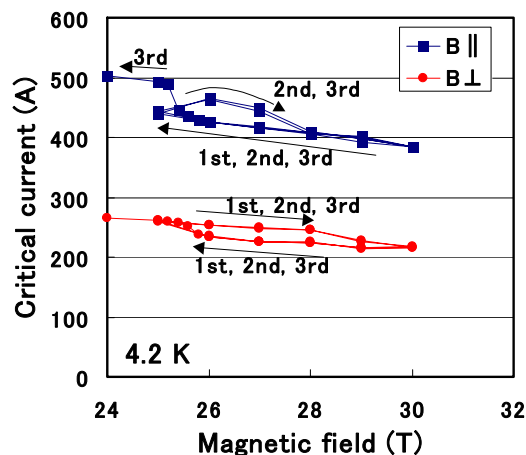


図 2 Bi-2223 テープ線材の I_c - B 特性におけるヒステリシス

り出し、図 1 の試料と同様にしてホルダに取り付け、24 T から 30 T の磁界範囲で減磁と励磁を繰り返しながら臨界電流を測定した。その結果を図 2 に示す。図 2 の 1st は最初に 30 T から 25 T に減磁しながら測定した値、2nd はその後 25 T → 30 T → 25 T と磁界を変化させながら測定した値、3rd はその後もう一度 25 T → 30 T → 24 T と磁界を変化させながら測定した値をそれぞれ示す。図 2 を見ると、図 1 と同様に 25.6 T 以上の高磁界領域で、減磁時の I_c が励磁時に比べて低くなるヒステリシスループを再現性良く描いていることがわかる。3rd では 1st および 2nd と異なり、26 T から 0.2 T 間隔で小刻みに I_c を測定した。それらの I_c は、1st や 2nd とは異なる値を示し、このヒステリシスループが外部磁界変化の履歴に依存することが示唆される。このようなヒステリシスが見られる原因については、Bi-2223 テープ線材を構成する Ag シースが降伏することにより、Bi-2223 コアに大きな応力がかかる可能性などが考えられるが、現段階では明確ではない。

今回の評価結果は、補強用の銅プレートと一体化した試料を対象としたものであり、Bi-2223 テープ線材単独の特性ではない。しかし、今回の結果は、CT-OP 法 Bi-2223 テープ線材の 4.2 K 高磁界中における高いポテンシャルを示している。今後、ステンレステープや真鍮テープなど銅よりも高強度の補強材と一体化させ、さらに Bi-2223 テープ線材自体の臨界電流密度を向上させることにより、単独で高磁界中の電磁力に耐え、且つ 200 A/mm² 程度以上の高い J_c を有する導体も実現可能と考えられる。26 T 以上の磁界領域で観測されたヒステリシスループについても、上記のような補強導体の I_c -B 特性を評価することが、そのメカニズムの解明に役立つものと考えられる。

なお本研究は、先端計測分析技術・機器開発事業「超 1 GHz-NMR システムの開発」の一環として、科学技術振興機構（JST）の委託により実施したものであることを付記する。

特集：超電導材料技術の進展 「Bi-2223 線の低交流損失化技術の進展」

豊橋技術科学大学工学部
電気・電子工学系 助教
稲田亮史

Bi-2223 線材は 77 K において良好な超電導特性を有する km 級の線材量産技術がほぼ確立されているが、ケーブル・変圧器等の交流機器の実用化には、線材の低交流損失技術の確立が必要不可欠である。本稿では、Bi-2223 線材の低交流損失化に向けて、著者の所属する研究室で取り組んでいる研究内容（研究室 HP：<http://www.super.eee.tut.ac.jp>）を紹介する。

交流磁界印加時に超電導体自身が発生する損失（ヒステリシス損失）の低減には超電導体の細分化が有効であるが、単純な多芯化のみを施した線材ではフィラメント同士は電磁氣的に結合してしまい損失低減効果は得られない。フィラメント間結合を抑制し多芯化の効果を得るために、フィラメントに撚り（ツイスト）を施した線材（図 1）の開発を進めている。¹⁾

37 芯ツイスト線の平行磁界下での交流損失の磁界振幅依存性を図 2 に示す。10 mT 以上の磁界範囲においてツイストにより損失が低減されており、ツイスト長 9 mm の試料（T1）で非ツイスト試料（NT）の最大 1/2 程度まで損失値が減少している。また、銀比を高くしてフィラメント同士の直接接触を抑制した試料（T2）において、より顕著な損失低減効果が得られている。しかし、いずれの場合も損失値は完全に多芯化の効果を得られた場合よりもはるかに大きい。これは、純銀母材の抵抗率が低く、フィラメント間を流れる結合電流の抑制が不十分なことに起因する。

フィラメント間横断抵抗を増大させ結合電流の影響を低減するために、フィラメント間への高抵抗バリア層の導入を試みている。²⁾ 酸化物粉末を単芯線に塗布した後で多芯化・細線化を行う方法（塗布法）で作製したバリア線材を図 3 に示す。バリア材として Bi-2223 相との反応性を考慮して Ca_2CuO_3 や SrZrO_3 を採用し、更に Bi2212 粉末を少量混合して加工性の改善を図っている。バリアは概ねフィラメント間に介在しており、バリア導入による通電特性（ J_c ）の劣化も 1 割程度に抑制されている。非バリア線材およびバリア線材の交流損失（50 Hz, 50 mT, 平行磁界下）の比較を図 4 に示す。バリア線材の方が芯数は少なくツイスト長も大きいにも関わらず、損失は大きく低減されている。今

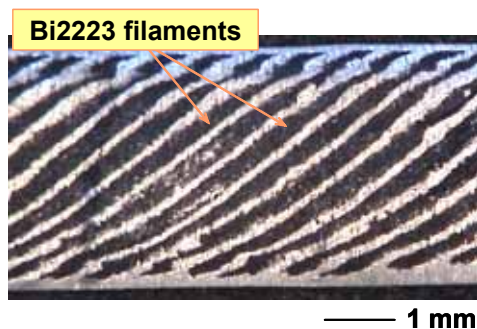


図 1 ツイスト線材（線材幅広面）

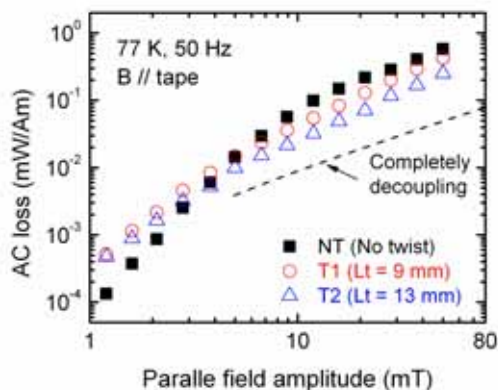


図 2 ツイストによる平行磁界損失の低減

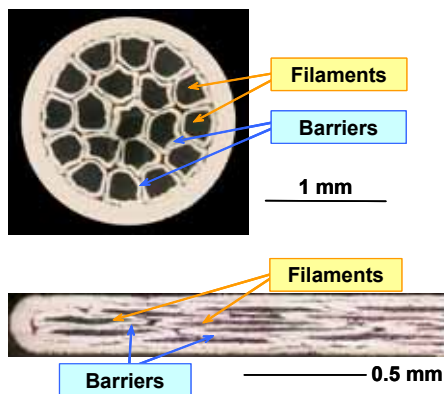


図 3 粉末塗布法で作製したバリア線材（上）細線加工後、（下）完成試料

後の研究の進展により、バリア層の連続性の改善と共に芯数（フィラメント寸法）およびツイスト長を適正化することで、更に大幅な損失低減が期待される。

一方、塗布法では長尺化した際に線長全域に渡るバリア層の均質性の確保が課題である。延性に優れた金属（Cu, Ni 等）の状態ではバリア層を導入し、成型加工後に金属層を酸化させて高抵抗層とする方法（内部酸化法）によるバリア線材の開発も進めている。^{3),4)}

線材幅広面に対して垂直な交流磁界下における損失値は、線材の形状異方性と反磁界効果のため平行磁界下よりも一桁以上大きく、変圧器巻線等への応用に向けてその低減が必須とされている。垂直磁界下においてフィラメント間結合を切るには平行磁界の場合よりも厳しい条件（短いツイスト長）が要求される。形状効果による損失低減（図 5）だけではなく、数 mm 長の短いツイスト構造を実現するためにも線幅のスリム化は必須である。先述した高抵抗バリア導入との複合を念頭に置き、スリム線材の交流性能向上に向けた研究を進めている。⁵⁾

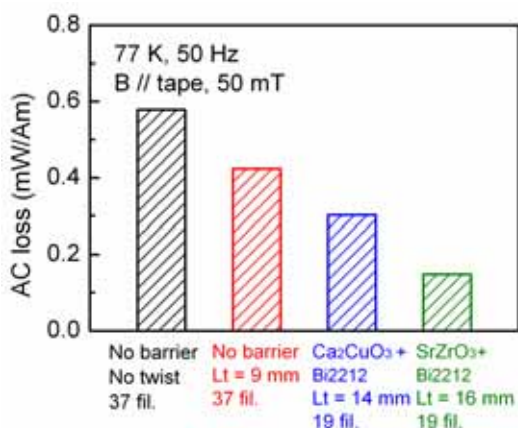


図 4 バリアの有無による平行磁界損失の比較

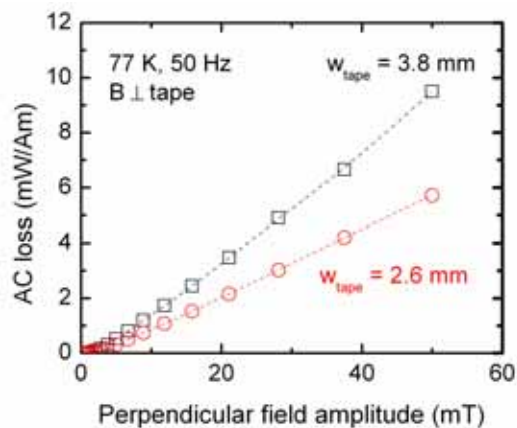


図 5 線幅のスリム化による垂直磁界損失の低減

本稿で紹介した研究の一部は、科学研究費補助金（No. 17206026, No. 17760233）および東電記念科学技術研究所研究助成の支援により実施された。

参考文献

- 1) 安並 他, “Bi2223 多芯ツイスト線材の交流損失特性の評価,” 平成 19 年電気関係学会東海支部連合大会 O-292.
- 2) R. Inada *et al.*, “Fabrication and characterization of Bi2223/Ag tapes with interfilamentary oxide barriers for reducing AC losses” Presented at EUCAS 2007.
- 3) Y. Nakamura *et al.*, “Fabrication of high resistive barrier through metal oxidation method for the reduction of AC losses in Bi2223 tapes,” *Physica C* 445-448 (2006) 726-729.
- 4) 塩入 他, “金属内部酸化法による Ag 合金シースバリア線材の作製と評価,” 第 77 回 2007 年秋季低温工学・超電導学会講演概要集 p.66.
- 5) 稲田 他, “線幅の異なる Bi2223 多芯ツイスト線材の作製と交流損失特性,” 第 76 回 2007 年春季低温工学・超電導学会講演概要集 p.103.

特集：超電導材料技術の進展 「ITER 用大電流容量 Nb₃Sn 導体技術の現状」

日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門
ITER 超伝導磁石開発グループ

布谷嘉彦

日本、欧州連合（EU）、ロシア、米国、中国、韓国、およびインドの 7 極は、2006 年 10 月に調印した「ITER 協定」の批准手続きを進め、昨年 10 月に発行した。これにより、ITER 計画を実施する ITER 国際核融合エネルギー機構（ITER 機構）が正式に発足した。同時に、文部科学省は日本原子力研究開発機構（原子力機構）を ITER 協定に基づく活動を行う国内機関に指定し、これにより ITER の建設へ向けた作業が本格的に開始された。¹⁾

ITER 本体建設費として約 5,000 億円が予定されており、建設費の 1/4 が超電導コイルである。超電導コイルは、トロイダル磁界（TF）コイル、ポロイダル磁界（PF）コイル、中心ソレノイドコイル（CS）から構成されており、TF コイルと CS は Nb₃Sn 導体を用いている。ITER 機構と原子力機構は昨年 11 月に「TF コイル導体の調達取り決め」を締結し、日本担当分（25 %）の TF コイル用 Nb₃Sn 導体の調達に向けた作業を開始した。つづいて、欧州とロシアも同様な締結を行っている。

TF コイル導体は Nb₃Sn 素線 900 本と銅線 522 本を 5 段階で撚った撚線を SUS316LN 製の金属管に挿入したケーブル・イン・コンジット導体である。TF コイル導体の運転条件は、導体内最大磁界 11.8 T、定格電流は 68 kA である。Table1 に TF コイル導体と素線の主要緒元を、Fig. 1 に TF コイル導体の構成図を示す。

Table 1 Major parameters of conductor for ITER TF coils

Superconducting material	Nb ₃ Sn
Strand diameter	0.82 mm
Cu/no-Cu in Nb ₃ Sn strand	1
Thickness of Cr plating	2 μm
Cabling pattern	((2SC+1Cu)x3x5x5+core)x6 Cu core: 3x4
Number of Nb ₃ Sn strands	900
Number of Cu strands	522
Local void fraction	29-33%
Inner diameter of jacket	40.5 mm
Thickness of jacket	1.6 mm
Central spiral tube	7mm(outer diameter), 9mm (inner diameter)
jacket material	316LN

原子力機構は、これまでに、実際の TF 導体製作工程を模擬して、新しく開発した超電導素線を用いて長さ約 3.5m の導体サンプルを製作した。導体サンプルは 2 本の導体を並行にして組合せ、片端を電氣的に接続し、他方から電流を供給する構造である。導体サンプルはスイス・ローザンヌ

工科大学の試験装置（SULTAN）を用いて、TF コイル導体の定格磁界、電流での電流分岐開始温度（Tcs）の測定試験を行った。試験の結果、TF コイル運転条件において Tcs が 6 K 以上あり、設計基準を満たす性能を有することが確認された。²⁾

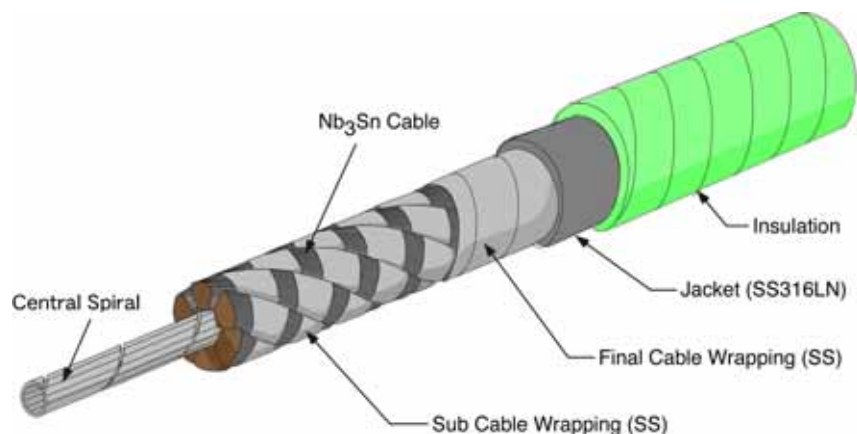


Fig.1 Nb₃Sn cable-in-conduit type conductor with spiral for ITER TF coils

開発した Nb₃Sn 素線については、ひずみに対する超電導性能の変化について、異なる磁界（10 ～13 T）および温度（4.2 K～Tcs まで）で詳細に測定し、サンプル性能評価の詳細解析に用いた。³⁾

また、実際の TF コイルでは導体の単長が約 760 m あり、長尺の導体製作技術 について技術開発を行なった。即ち、約 10 m のジャケットを長尺化するための突合せ溶接技術、撚線を金属管に引き込む技術、および引き込んだ後に規定の導体直径まで金属管を縮径加工（コンパクション）する技術が重要となる。原子力機構では、コンパクション装置を製作し、ジャケットを試作すると共に撚線をスムーズに引き込めるよう内面にビードが突出しない溶接技術を開発するなど、長尺導体製作に必要な技術を確立した。⁴⁾

この様に ITER TF コイル用 Nb₃Sn 導体の技術開発はほぼ終了し、実際に使用する導体の製作を 3 月に開始している。

参考文献

- 1) ITER Organization home page, <http://www.iter.org/>
- 2) Y. Takahashi, *et al.* "Performance of Japanese Nb₃Sn Conductors for ITER Toroidal Field Coils", to be published in IEE Trans. Appl. Super. Cond. (presented at ASC2007).
- 3) Y. Nunoya, *et al.* "Characterization of ITER Nb₃Sn strand under strain applied conditions", to be published in IEE Trans. Appl. Super. Cond. (presented at ASC2007).
- 4) K.Hamada, *et al.*, "Development of Jacketing Technologies for ITER CS and TF Conductor", Advanced in Cryogenic Eng. (Materials) Vol.54, p.76 (2008).

超電導関連 4- 5 月の催し物案内

4/6-9

ICCR'2008: International Conference on Cryogenics & Refrigeration

場所: Shanghai, China

問合せ: <http://www.sjtuirc.sjtu.edu.cn/ICCR2008/home.htm>

4/15

超伝導技術の発展と広がりーヘリウム液化 100 年を記念してー

場所: 虎ノ門パストラル 東京都

主催: (社) 未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会

Tel: 03-3503-4681、Fax: 03-3597-0535、

E-mail: fsst@sntt.or.jp

4/18

低温工学 東北・北海道支部 2008 年度講演会「イットリウム系酸化物超伝導体の渦糸相転移」

場所: 東北大学金属材料研究所 本多記念館視聴覚室 (3 階) 仙台市

主催: 低温工学協会 東北・北海道支部

問合せ: 東北大学金属材料研究所

中谷幸子、Tel: 022-215-214

Fax: 022-215-2149

E-mail: nakaya@imr.tohoku.ac.jp

4/22-25

10th Cryogenics 2008 – IIR International Conference

場所: Praha, Czech Republic

問合せ: <http://www.icaris.info/Cryogenics2008/>

5/4-8

INTERMAG2008/03/20

場所: Madrid, Spain

問合せ: <http://www.intermagconference.com/intermag2008/index.htm>

5/19

超電導技術動向報告会

場所: 都市センターホテル 3F コスモホールI 東京都

主催: (財) 国際超電導産業技術研究センター

問合せ: <http://www.istec.or.jp/event/>

5/21

第 20 回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム (SEAD20)

場所: ベップ国際コンベンションセンター ボーコンプラザ(B-CONPLAZA)

主催: 日本 AEM 学会、大分大学、大分県

問合せ: 第 20 回「電磁力関連のダイナミックス」シンポジウム事務局 戸高 孝、槌田雄二、大分大学工学部 電気電子工学科



田中昭二博士 超電導工学研究所名誉所長に就任！

(財) 国際超電導産業技術研究センター副理事長兼超電導工学研究所所長の田中昭二博士は、両職を退任し、平成 20 年 4 月 1 日付けで超電導工学研究所名誉所長に就任することになった。

E-mail: sead20@cc.oita-u.ac.jp <http://www.mag.eee.oita-u.ac.jp/sead20/>

5/29-30

第 25 回希土類討論会

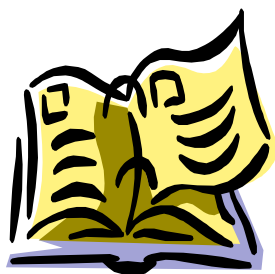
場所：ラフォーホール船堀 東京都 江戸川区

問合せ：日本希土類学会事務局

Tel: 06-6879-7352、Fax: 06-6879-7354 E-mail: kidorui@chem.eng.soaka-u.ac.jp

<http://kidorui.chem.eng.osaka-u.ac.jp>

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (2/20- 3/19)

- 21 世紀の気鋭 有機物の超電導体 構造を解明、「常識」覆す 2/21 日経産業新聞
- 夢の 線材実現の日まで フジクラの超電導材料研究 2/22 電気新聞
- 理研、ゲノム研究を再編 総合研究センター廃止 基盤を整備 今後の課題 58 年以来の大組織改革 2/22 朝日新聞
- MRI 造影剤 性能を 10 倍に 京大開発「体にやさしく」 2/23 フジサンケイビジネスアイ
- 高感度 MRI 造影剤 低投与で患者負担軽減 京大が開発 2/25 日刊工業新聞、日経産業新聞
- 日本の知力 経験で磨く「大局観」 羽生善治氏 2/25 読売新聞
- 「電気工学」活性化へ パワーアカデミー創設 電事連 初年度に 1 億拠出 2/25 電気新聞
- 目指す「燃料電池の発電所」J パワー、100 kW 超で運転成功 石炭ガス化と合わせ火力代替に 2/25 日刊工業新聞
- 新高温超電導物質 JSA が共同研究 日本初の実用化支援 2/26 日経産業新聞
- 系統ゼミナール 英国が失敗から学んだもの「長期相対取引」重視の市場へ 2/26 電気新聞
- 色素増感太陽電池 常温生産でコスト半減 10 年度にも量産 2/27 電気新聞
- 核融合関連技術 日本、カザフ・EU と 共同で開発 資源外交 2/28 日本経済新聞 (タ)
- リニアはモグラ超特急 自己負担建設の JR 東海 採算を優先 2/29 日経産業新聞
- 原子力委 原子力技術を 3 分類 ロードマップで骨子 2/29 電気新聞
- 乳がん検査に「MR マンモ」 治療方針決定に威力 X 線使わず安全/乳管内細かく解析 3/1 フジサンケイビジネスアイ
- 中性子検出器 超電導活用し小型化 大阪府立大など 計測時間も短縮 3/3 日経産業新聞
- 研究開発に 48 億円 昭和電線、3 年間で 超電導線材などに重点 3/3 日経産業新聞
- 系統ゼミナール PJM「パワープール」供給力確保にルールを設定 3/4 電気新聞
- 中性子を安全発生 原子力機構、装置を開発 核融合研究を促進 3/5 日経産業新聞
- 子供もスムーズにMRI検査 神戸の病院に納入 3/6 日刊工業新聞
- 原子力機構 「核融合中性子源」利用部材 国内製作に成功 3/6 電気新聞
- 日仏運営委 ITER研究開発拠点 六ヶ所にスパコン導入検討を前倒し 3/6 電気新聞
- リニア中央新幹線 始発は品川か東京 JR東海社長 表明 3/6 毎日新聞
- 夢の新幹線 25年開業へ リニアモーター車両 東京～名古屋40分で結ぶ 3/10 フジサンケイビジネスアイ
- 系統ゼミナール 送電ルート利用にルール設定 「運用容量」は4要因で決まる 3/11 電気新聞
- 液体水素で新工場 千葉・市原 岩谷産業、来年6月操業 3/13 フジサンケイビジネスアイ
- 電気二重層キャパシタ 10年度、売り上げ3倍へ 指月電機 新エネ向けなど拡販 3/13 電気新聞
- 高まるニーズ モジュール研究に追い風 低温排熱を電力に変換 3/14 電気新聞
- 長期戦略の欠如 偏る配分 狭まる「すそ野」地方の大学 教員が自腹 3/16 読売新聞
- 超電導技術1 新たなステージへ ビスマス系線材開発に拍車 量産スタート、商用化へ前進 3/17 電気新聞
- 第3の超伝導物質 超伝導フィーバー再び? 「室温」へ広がる選択肢 3/17 朝日新聞
- 電気・熱・CO₂を温室栽培利用 トリジェネ実証へ 関電など六ヶ所村で 3/17 電気新聞
- 超電導技術2 新たなステージへ 国内初、実系統でケーブル実験 運転制御技術確立を目指す 3/18 電気新聞
- IHI 船舶推進用高温超電導モーター 09年度から販売開始 3/18 電気新聞、日経産業新聞、フ

ジサンケイビジネスアイ

○系統ゼミナール 日本の混雑管理は連系線のみ 割り当ては間接オークション 3/18 電気新聞

○超電導技術3 新たなステージへ 商用化へ必要不可欠な冷凍機、小型化とCOP向上が課題 3/19 電気新聞

○物材機構 セラミックス強度向上へのカギ観察 3/19 フジサンケイビジネスアイ、日経産業新聞

○エコマインド 太陽光発電が電力を支える日 3/19 フジサンケイビジネスアイ

○テラヘルツ波で検査 食品の混入農薬や危険物 阪大、電波の乱れ利用 3/19 日経産業新聞

○電気二重層キャパシタ ハイブリッド型を試作 三菱電機 適用製品、幅広がる 3/19 電気新聞

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き (2008 年 1 月、2 月)

電力

Universitat Autònoma de Barcelona (2007 年 12 月 18 日)

スペインの Universitat Autònoma de Barcelona は、Institute of Material Science of Barcelona 及び Nexans と共同で、同大学のリサーチパーク及び物理学科の研究者が、スペインの電力会社 ENDESA から NOVARE 賞を受賞したと発表した。50 万ユーロの賞金は、SUPERCABLE プロジェクトにおける 30-m, 20 kV BSCCO ケーブル及びターミネーションの開発に充てられる。ケーブルは、電流 3200 Arms、送電電力 110 MVA の能力を持つ。ケーブルの製造は 2010 年までに完了の予定。このプロジェクトでは、YBCO 超電導体の開発も行われる。通称 SUPERCABLE はスペインで初めて設置される超電導ケーブルである。

出典:

“CSIC and UAB will build the most advanced superconductor cable for electricity network”

Universitat Autònoma de Barcelona press release (December 18, 2007)

<http://www.uab.es/servlet/Satellite?c=Page&cid=1096476786473¬iciaid=1197958947063&pageName=UAB%2FPage%2FTemplatePlanaDivsNoticiesdetail>

Oak Ridge National Laboratory (2008 年 1 月 9 日)

Oak Ridge National Laboratory (ORNL)は、SuperPower Inc.が同研究所の開発した超電導線材の低コストプロセス技術使用のためのライセンス契約に調印したと発表した。この契約は米国 DOE がエネルギー技術の研究開発を行い、これを国立研究所から世界市場に移転するための事業の一環として締結されたものである。このライセンスにより SuperPower 社は通常の商用薄膜プロセスにより高速製造可能な ORNL の LaMnO バッファを使うことができる。同社副社長兼首席技師長 Venkat Selvamamickam は次のように述べた。「SuperPower 社は ORNL のバッファ技術を次世代線材の製造プロセスに取り入れることに成功している。このライセンス契約により、SuperPower 社は ORNL の将来の亘っての次世代 HTS 線材技術の進歩から得られる成果についても商業的利用ができるようになるであろう。」

出典:

“ORNL, SuperPower Inc. Sign High Temperature Superconducting Wire Agreement”

Oak Ridge National Laboratory press release (January 9, 2008)

http://www.ornl.gov/info/press_releases/get_press_release.cfm?ReleaseNumber=mr20080109-00

Zenergy Power plc (2008 年 1 月 14 日)

Zenergy Power plc は、低コスト次世代 HTS 材料及び線材商用製造プロセスに関する重要特許の許可を受けた。この特許は次世代線材製造中に発生するフッ化物を除去しコスト低減を図るとともに、環境にも優しい Zenergy 社特有のプロセスを保護するものであり、同社の長期競争優位性を確保する上で非常に重要な意味を持つ。商業上の観点からも、この特許は現在進行している Converteam SAS や ThyssenKrupp VDM GmbH との再生可能エネルギー発電機や次世代線材を使ったコンポーネントの開発を長期的に保護するものとなる。

出典:

“Core Patent for Low Cost 2G HTS Wire Production”

Zenergy Power plc press release (January 14, 2008)

<http://www.trithor.com/pdf/press-en/2008-01-14-Core-Patent-2G.pdf>

Zenergy Power plc (2008 年 1 月 22 日)

Zenergy Power plc は、1 株あたり 1 ペンスの通常株式 73,119 新規株のストックオプションを行使した。(ストックオプション行使の) 適用は AIM 株式取引所で取引が認められている新規通常株式に対して行われたもの。この新規株式は Zenergy 社の既存の通常株式と同等に扱われる。この新規株式を含め、Zenergy 社が発行した議決権付の株式は 44,020,931 株となる。

出典:

“Issue of equity and total voting rights”

Zenergy Power plc press release (January 22, 2008)

<http://www.trithor.com/pdf/press-en/2008-01-22-Options-Exercise.pdf>

BCC Research (2008 年 1 月 23 日)

BCC Research 社は、「Utility Power Storage Technologies (EGY056A)」を発行した。その中で、電気エネルギー貯蔵装置の世界市場は 2008 年に 26 億ドルになると予測している。また、この数字は 2013 年には 38 億ドルになると見込まれ、年成長率は 8.0%となる。報告書の中では市場の構成についても明確にしており、SMES を含むコアアプリケーションが 2008 年に 19 億ドル、2013 年までに 27 億ドル、電力グリッドの制御及びインターフェースとして必要な電力変換装置が 2008 年に 7.11 億ドル、2013 年までに 11 億ドルとしている。燃料の高騰、電力需要の増加、環境に対する関心の高まりが電力網におけるエネルギー貯蔵に対する関心を高めるものと説明している。再生可能エネルギー発電がこの技術の恩恵を受けるのみならず、米国における数多くの立法措置もこの成長する産業に大きな影響を与えるものと考えられる。

出典:

“Global Market for Electric Energy Storage Worth \$3.8 Billion by 2013”

BCC Research press release (January 23, 2008)

<http://www.bccresearch.com/pressroom/REGY056A.htm>

American Superconductor Corporation (2008 年 1 月 24 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、米国国家安全保安省と HYDRA プロジェクトに関する契約を締結した。国家安全保安省は総額 3,900 万ドルプロジェクトの予算のうち 2,500 万ドルを供与する。国家安全保安省はすでにここ 8 ヶ月間の仕事に対し 380 万ドルを AMSC 社とそのパートナーに支出している。このプロジェクトは、2007 年 5 月に始まったが、Consolidated Edison 社のマンハッタン配電ネットワークへの AMSC 社の Secure Super Grids 技術の開発・展開に主眼を置いている。AMSC が知的財産を保有する Secure Super Grids 技術は、システムレベルのスマートグリッド・ソリューションであり、HTS ケーブル (AMSC 社の特許である 344 超電導線材を使用) と事故電流を抑止しつつ、従来の 10 倍以上の送電を可能とする補助制御装置を用いる。大都市地域において複数の送電パスを確保しシステムレジダンダンシーを持っている。このような特徴があるため、悪天候、電力網事故、悪意ある破壊行為によって個別の回路が機能不全を起こした場合であっても、電力網全体として十全の機能を保持しうる。AMSC 社とそのパートナーは、2007 年 5 月の HYDRA プロジェクトの開始以来、スケジュール通りのマイルストーンをこなしてきている。次のマイルストーンは 2008 年末に完了することが予定されている 50-m 長の HTS ケーブルの製造である。フルスケールの 300-m 長 HTS 電力ケーブルシステムは Con Edison 社のマンハッタンの 2 箇所の変電所を結ぶ予定であり、据付、運転を 2010 年に予定している。約 150,000m の 344 超電導線がこのシステムには必要である。AMSC 創立者で最高責任者 Greg Yurek は次のように述べた。

「我々の Secure Super Grids ソリューションに対する市場の反応はすばらしいものがある。」さらに続けて、「世界の電力会社はボトルネックをなくし電力網中のサージを直ちに抑制する方法を求めており、我々の Secure Super Grids 技術はこれらを同時に解決するものである。Con Edison 社が我が社保有の特許技術の最初の採用企業であり、HYDRA プロジェクトが世界各都市で期待される Secure Super Grid 採用の第 1 号となる。」

出典:

“American Superconductor Received Department of Homeland Security Contract for Project HYDRA”

American Superconductor Corporation press release (January 24, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1099521&highlight

Zenergy Power plc (2008 年 1 月 24 日)

Zenergy Power plc は、商用水力発電所に HTS 水力発電機を製造、設置する現在進行中のプロジェクトについての最新情報を発表した。以前、Zenergy 社は、ドイツ最大の水力発電事業者である E.ON Wasserkraft GmbH (E.ON-WK) が Zenergy 社の独自 HTS 技術である 1.25-MW HTS 水力発電機の設置を計画していると発表したところである。E.ON-WK 社は今回 Zenergy 社に対して、HTS 水力発電機出力を 1.7-MW にグレードアップしたいと通告してきた。E.ON-WK は、また、新しい HTS 発電機を駆動するため、既存のタービンを高容量モデルに置き換えることを計画している。さらに、E.ON-WK はこのアップグレードした HTS 発電機を水力発電所の‘pole position’発電機として使っている。即ち、この発電機は 3000 以上の家庭への電力供給のベースロードを担うものとして使うことを考えている。E.ON-WK 電気部門長 Ulrich Fuchs は次のように述べた。「Zenergy 社の技術は、従来より小さな発電機でありながら、高出力であり、また、グリッドオペレーションにおいても安定性がよいという新たな発電機に向けた道を切り開くものである。我々は、このような形で超電導材料を利用する最初の電力事業者となることを誇りに思っているし、その性能を評価することを楽しみにしている。」

HTS 発電機を発電所の‘pole position’装置として使用すると決定は、Kema Nederland B.V.の電力安定度解析の結果を見て下された。Kema 社は、HTS 発電機が多くの利点を持ち、既存の電力網に組み込んだときに複雑な要求を処理するのに非常に適していることを見出した。HTS 発電機は効率が高く、既存の施設に組み込んだときに、既存のダムでの発電量を増やすことができ、環境負荷を増やすことなくよりクリーンな電力を生み出すことができる。Zenergy 社は、この発電容量の増加（という決定）が HTS 材料による発電、電力変換エコノミーの改善をもたらす大きなインパクトの証左であると考えている。

出典:

“Commercial Upgrade and Grid Qualification of World’s First HTS Hydro-Generator”

Zenergy Power plc press release (January 24, 2008)

<http://www.trithor.com/pdf/press-en/2008-01-24-EON-upgrade.pdf>

American Superconductor Corporation (2008 年 1 月 29 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、300 万ドルを超える風力発電機向けコアコンポーネント及びシステムの受注を 2 社から受けたと発表した。中国の CSR Zhuzhou Electric Locomotive Research Institute (CSR-ZELRI)及びカナダの AAER, Inc.である。CSR-ZELRI は 20 基を追加で、AAER 社は最初の 1.5-MW 風力発電機用に 10 基の電力システムを注文した。AMSC 社の創立者で最高責任者の Greg Yurek は次のように述べた。「これら注文は、AMSC Windtec の独自技術が新しい風力発電機メーカーの事業立ち上げと、動きの激しい市場において速やかに事業展開

を促す能力を持つことを示すものである。ZELRI が追加発注し、AAER 社が最初の注文を出してきたことでも明らかなように、我々の顧客が世界のゼロエミッション風力発電機の増大する需要を満たすためにその生産を増強してきている。」これらの発注を含め、AMSC 社の技術が世界風力発電約 6.5 GW を今後とも支援していくことになる。

出典:

“AMSC Receives Orders for Wind Turbine Electrical Systems from Customers in Canada and China”

American Superconductor Corporation press release (January 29, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1101176&highlight

American Superconductor Corporation (2008 年 1 月 31 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は 2007 年 12 月 31 日に終了する第 2 四半期の収支を発表した。当期収入は前年同期 950 万ドルに対し、記録となる 245%増の 3,260 万ドルであった。粗利益率は前年同期がマイナス 21.1%であったのに対し、当期はこれも記録となる 28.7%を達成した。当期純損失は、マサチューセッツ州工場の統合によるリストラ及び償却費用 290 万ドルを含め、730 万ドルであった。一方、前年同期の純損失は 950 万ドル。2007 年 12 月 31 日現在で、AMSC 社の現金、現金等価資産、現金化可能な有価証券は併せて 21 億 780 万ドルである。第 3 四半期末時点での受注残は 1 億 6,800 万ドル。この中には 1 月の HYDRA プロジェクト関連の 2,500 万ドルを超える契約、最近注文を受けた風力発電機向けコンポーネント及びシステムは含まれない。2007 年度通年予想である年間収入 1 億 500 万ドル～1 億 1,000 万ドル、年間純損失 2,700～2,900 万ドル（の目標に向けては）予定通り進んでいる。

出典:

“AMSC Reports Third-Quarter Fiscal 2007 Financial Results”

American Superconductor Corporation press release (January 31, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1102544&highlight

NYSERDA (2008 年 2 月 4 日)

ニューヨーク州の Energy Research and Development Authority (NYSERDA)は、約 600 万ドルの資金を電力効率及び送電能力改善のための新規技術について 14 の事業者に供与することとした。（他からの補助、）事業者の自己負担等も含め、事業総額は 6,000 万ドルである。

これらプログラムの中で、HYDRA プロジェクト（マンハッタン地区に設置予定の FCL 機能を持つ超電導ケーブル開発のための 3,750 万ドル）が最大のものである。電力会社の Consolidated Edison 社は国家安全保障省、American Superconductor Corporation とパートナーを組んでケーブル技術開発を行う。NYSERDA はこのプロジェクトに 100 万ドルを供与するが、この技術が Albany や Buffalo のダウンタウンの電力ネットワークにも適用可能であると考えている。

2 番目に大きなプロジェクトは、高電圧送電ケーブルで使われる超電導 FCL プロトタイプ（の開発）である。SuperPower 社がその設計、製造、試験をリードする。この FCL により、州全域での配電システムの信頼性向上が期待される。Sumitomo Electric Industries, Linde Gas, American Electric Power 及び Oak Ridge National Laboratory がこのプロジェクトに参加する。NYSERDA は 50 万ドルの資金をこの計画のため供与する。

出典:

“NYSERDA Awards \$6 million in Power Delivery R&D Projects; Efficient, Reliable Electric Grid, Reduced Emissions Are Goals”

NYSERDA press release (February 4, 2008)

http://www.nyserda.org/Press_Releases/2008/PressRelease20080402.asp

American Superconductor Corporation (2008 年 2 月 12 日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、Entergy Mississippi Inc.及び海外の電力会社から D-VAR®無効電力補償ソリューションの注文を受けた。D-VAR (Dynamic VAR)システムは、静的補償装置、別名"STATCOMs,"と呼ばれ、交流電力グリッドにおけるパワーエレクトロニクスの FACTS (Flexible AC-Transmission System)ファミリーの中の 1 つである。D-VAR ソリューションは、電圧変動を検知し、電力グリッドに進んだ位相または遅れた位相の無効電力を注入することにより、これを補償する。AMSC 社は全世界で 60 基の STATCOM 装置を受注しており、他の STATCOM メーカー（の受注）を超える。全世界 20 社以上の電力会社が AMSC 社の STATCOM システムの顧客である。

出典:

"AMSC Receives Orders for Its D-VAR ("STATCOM") Solution from Two Electric Utilities"

American Superconductor Corporation press release (February 12, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1107126&highlight

U.S. Department of Energy and SuperPower, Inc. (2008 年 2 月 21 日)

DOE と SuperPower, Inc.は、350-m HTS ケーブルをニューヨーク州オルバニーの Riverside 変電所と Menands 変電所の間の National Grid 電力システムに再度連結したと発表した。このケーブルには SuperPower 社の次世代線材を組み込んだ新たな 30 m の電力ケーブルが組み込まれている。これは次世代線材を組み込んだケーブルの世界で初めてのグリッド中での実証試験である。このケーブル再連結の結果、2,700 万ドル HTS ケーブルプロジェクト・フェーズ 2 におけるケーブル敷設、通電に成功した。このプロジェクトは DOE 及びニューヨーク州 Energy Research and Development Authority (NYSERDA)から資金供与を受けている。DOE 送電、信頼性担当次官 Kevin Kolevar は次のように述べた。「高温超電導は、我々の電力インフラの近代化、家庭、職場、産業への安定した安価な電力供給の保障という点で重要な役割を果たすポテンシャルがあることを繰り返し実証してきたところである。国内電力需要は増加を続け、我々の経済や生活にとって極めて重要な信頼性の高い電力サービスを提供し続けるようにとの電力会社に対する圧力もまた一層強くなってきている。NYSERDA 会長兼最高執行責任者 Paul D. Tonko は次のように述べた。「NYSERDA は、ニューヨーク州、米国内、全世界での高品質な電力への絶え間ない要求の高まりに対する強い関心を背景として、これに対応できる重要な新技術の実証及びその成功を支援できて嬉しく思っている。」

なお、SuperPower 社は、Royal Philips Electronics 社が SuperPower 社におけるこれまでの仕事を継続することにコミットし、SuperPower 社は Philips の組織内に留まることになったと発表した。

出典:

"SuperPower Completes World's 1st Integration of 2G HTS Wire on Live Power Grid – Philips to continue support of SuperPower's development and commercialization of advanced HTS technology"

SuperPower, Inc. press release (February 21, 2008)

<http://www.superpower-inc.com/news.php?n=147>

"U.S. Department of Energy and SuperPower, Inc. Increase Energy Efficiency in Nation's Electric Grid"

U.S. Department of Energy press release (February 21, 2008)

<http://www.energy.gov/news/5992.htm>

冷凍機

Oxford Instruments (2007 年 1 月 11 日、22 日)

液体ヘリウムの価格上昇、不安定な供給に対応して、Oxford Instruments 社は極低温ソリューションに関連した 2 つの現状報告を行った。第 1 に、Harvard University では再液化機能を持つ新たな極低温システムを検討している。Harvard のグループは、Oxford Instruments の Kelvinox®MX ダイリユーション冷凍機を組み込んだ Integra™ AC クライオスタットと 14 T 超電導マグネットを使っている。ヘリウムを再液化することにより、液体ヘリウムに使用量を減らし、その結果として研究コストの低減を図っている。Oxford Instruments の主席技師 Paul Noonan は次のように述べた。「研究室で得られた結果は、我々が予測していたよりも良好である。Integra™AC の液体ヘリウム消費は、超低温でのダイリユーション冷凍機と併せてゼロであり、システムはなお冷凍能力に余裕がある。超電導マグネットを運転した状態でも、永久電流モードでヘリウム消費はほぼゼロである。」ヘリウム消費が完全にゼロというわけにはいかないが、このシステムを使えば通常のクライオスタットを使った場合の 6%以下のヘリウム消費ですみ、時間、運転コスト、稼働時間が大いに節約される。

2 番目は、Oxford Instruments が、Chalmers University of Technology(Göteborg, Sweden)の革新的新型 Cryofree®ダイリユーション冷凍機の例を報告している。TritonDR™として知られるこのシステムは、超低温に到達する代替手段を使ったクローズド・サイクル冷凍機である。TritonDR は全自動で、使い方も簡単である。冷凍には 24 時間もあれば十分である。Chalmers の研究者は、この装置は「冷凍恐怖症」から研究者を救ってくれるとしている。「冷凍恐怖症」とは、冷媒等のプロジェクト費用（が多額に上るため）その研究申請のときに起こる恐怖症であり、上記装置を使うことにより、他の極低温を使わない研究提案にも対抗できるようになる。TritonDR はこれまで、35 mK での運転に成功している。この装置は、ナノテク、電気工学、材料科学の分野ですでに使われており、Oxford Instruments は TritonDR が以前であれば許容されなかったであろう超低温研究を可能にする技術になるものと考えている。

出典: “

Rising cost of liquid Helium prompts new ways of doing research”

Oxford Instruments press release (January 11, 2007)

<http://www.oxinst.com/wps/wcm/connect/Oxford+Instruments/Internet/Press/Current+News/Rising+cost+of+liquid+Helium+prompts+new+ways+of+doing+research>

“New technology levels the playing field for cryogenic research proposals and opens doors to new Ultra Low Temperature applications”

Oxford Instruments press release (January 22, 2007)

<http://www.oxinst.com/wps/wcm/connect/Oxford+Instruments/Internet/Press/Current+News/New+technology+levels+the+playing+field+for+cryogenic+research+proposals+and+opens+doors+to+new+Ultra+Low+Temperature+applications>.

センサー

Science and Technology Facilities Council, U.K. (2008 年 2 月 21 日)

Royal Observatory Edinburgh の Science and Technology Facility Council's UK Astronomy Technology Center (UK ATC)は、同施設で製作した内で最も大型で複雑な装置を出荷した。これは、SCUBA-2 として知られる大型カメラで、ハワイの 4,267-mete の山頂にある James Clerk Maxwell

Telescope へ送り出されたものである。SCUBA-2 カメラは、宇宙の非常に冷たい塵から放出されるサブミリ放射を検知する。この塵は銀河、恒星、衛星の形成初期に関連するもので、これまでほぼ検知不能であった。これらの非常に低レベルの熱を検知するため、カメラにはこれまで製造された中で最も高感度な熱検知器である超電導ディテクターが使われている。米国 NIST 及びエディンバラ大学 Scottish Microelectronics Centre は共同で検知器の設計、製作を行ってきた。センター教授 Ian Robson は次のように述べた。「SCUBA-2 は驚異的成果である。これは英国天文学者が試みた最も複雑なプロジェクトの 1 つである。そして、驚くべき成果が期待できるものでもある。エディンバラにおける 7 年間の製作の結果、大きなマージンを持つ世界で最も強力なサブミリカメラが天文学研究の新たなフロンティアを切り開くことになる。」

出典:

“Edinburgh astronomers deliver ‘origins’ camera”

Science and Technology Facilities Council press release (February 21, 2008)

<http://www.roe.ac.uk/roe/support/pr/pressreleases/080221-scuba2/>

量子計算機

D-Wave Systems, Inc. (2008 年 1 月 31 日)

D-Wave Systems は、1,700 万ドルの Series C ラウンド資金調達を完了した。この資金調達ラウンドは、International Investment and Underwriting (IIU; Dublin, Ireland) が主幹事となり、D-Wave 社の既存の投資家からも強力な支援を受けた。D-Wave 社は、この資金を使って、製品開発、運用、ビジネス開拓を展開していく。D-Wave 社は、従来型コンピュータで実行されるアプリケーション・プログラムの高速化を支援するため世界的にオンラインで利用可能なコプロセッサとして量子計算機を展開していく考えである。これらアプリケーションには、最適化問題、パターン・マッチング、機械学習、条件付検索のようなものが含まれるものと考えられる。量子計算機は、2009 年早期には、利用可能となる見込み。

出典:

“D-Wave Secures \$17 Million Financing Led by International Investment and Underwriters”

D-Wave Systems press release (January 31, 2008)

<http://www.dwavesys.com/index.php?mact=News,cntnt01,detail,0&cntnt01articleid=10&cntnt01origid=15&cntnt01returnid=21>

エレクトロニクス

HYPRES, Inc. (2008 年 2 月 28 日)

Hypres Inc は、2007 年度（2007 年 1 月～12 月）は同社の 20 余年の歴史の中で最も素晴らしい年に数えられると発表した。2007 年に、Hypres 社は All Digital Receiver の性能実証に成功し、これを 2 セット、米国陸軍及び空軍に出荷した。同社は、また、新しい軍及び民間との契約で 1,000 万ドルを確保し、主要役員を経営陣に加えた。

Hypres 社の最大の成果は、衛星通信のための All Digital Receiver の機能実証の成功であり、これにより、超電導 Digital-RF™ (の機能が実用上問題ないこと)を確認した。Xバンド All Digital Receiver は、通信衛星 XTAR からの中心周波数 7.68 GHz （世界記録と思われる）の広帯域信号のデジタル化に使われた。

高分解能、ローパスADコンバーターを組み込んだプロトタイプ 2 号機も、機能実証の後、米空軍に出荷された。これは、2005 年に米国海軍研究所に納められた以前のプロトタイプの改良版である。新しいプロトタイプは、25-GHz のサンプルレート（1 号機に比べ 2 倍高速）を持ち、デジタル回路も 2 倍複雑である。このプロトタイプ機は 0 – 1.75 GHz の信号をデジタル化するために使われており、以前には検知できなかったような信号を捕らえる可能性について検討が進められている。Hypres 社研究開発担当役員 Deep Gupta は次のように述べた。「20 GHz までの高周波を直接デジタル化する能力を持った All Digital Receiver 製品群は、通常フロントエンド受信機に組み込まれている高価で大型なアナログ部品の大部分をなくしてしまえる可能性を持っている。All Digital Receiver (ADR) 製品群に最近加えられた Ka/EHF-band ADR は、20.2-21.2 GHz 域の信号をデジタル化することができる。このような高機能超電導部品、システムを組み込む技術を保有している我々は、特に衛星通信応用のマルチバンド、マルチチャンネル Digital-RFTM 受信機アーキテクチャーの実現に向けて非常に良い立場にあるといえる。

また、2007 年には Hypres 社はいくつかの Small Business Innovation Research (SBIR)、国防総省の研究開発契及び SELEX Communications 社や Finmeccanica 社との契約を獲得している。SELEX Communications 社との契約では、Hypres は同社が開発を進めているソフトウェア無線向け高性能マルチチャンネル広帯域受信を可能とする All Digital Receiver の開発を行う。これら契約は総額で 1,000 万ドルに上る。

出典:

“Digital-RF™ Live Demos, Numerous Contract, And Key Executive Additions Highlight Outstanding Year For Hypres”

Hypres Inc. press release (February 28, 2008)

http://www.hypres.com/pages/new/bnew_files/pr_hypres_2007_pr_final.pdf

NMR

National Institute of Standards and Technology (2008 年 2 月 19 日)

National Institute of Standards and Technology (NIST) とカリフォルニア大学は超高感度小型センサーを開発した。このセンサーは、新型マイクロチップを流れるわずかな流体中の物質からの NMR 信号を検知できる。この NMR チップは薬品開発向けスクリーニング装置のような高感度化学分析装置として幅広い応用分野が期待できる。プロトタイプ素子は、小さな流体チャンネルと NIST センサーを取り付けたシリコンチップに水道水を流し、その中の原子核からの磁気信号を検知した。多孔体のようなソフトマテリアル内部を流れる微量な流体やガスを検知するためのリモート NMR 技術が開発された。これは、工業プロセスや石油探査への応用が期待される。このチップは（通常の）NMR にも使える。これは原子磁力計の 1 種と考えられる。大型冷凍機や銅コイル、大型超電導マグネットによる強力磁場を必要とする SQUIDS と異なり、小型で高感度な NIST センサーはマイクロチップ素子中で使うには理想的な素子である。このプロトタイプは、Proceedings of the National Academy of Sciences. で報告されている。

出典:

“‘NMR on a chip’ features NIST magnetic mini-sensor”

National Institute of Standards and Technology press release (February 19, 2008)

http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tb2008_0219.htm#nmr

Bruker BioSciences Corporation (2008 年 2 月 25 日)

Bruker BioSciences Corporation は、株主が圧倒的多数で Bruker BioSpin グループ企業の買収を承認したと発表した。株主は社名を‘Bruker Corporation’と変更するための定款の変更についても承認した。Bruker BioSciences 最高責任者 Frank Laukien は次のように述べた。「我々は Bruker BioSpin グループ買収について社外株主から承認と委任を受け嬉しく思っている。この買収は 2 月に完了する予定である。Bruker BioSpin グループは、Bruker BioSciences 社の補完的な事業を行っており、この買収により市場が拡大し、Bruker ブランドの名声が高まり、利益率やキャッシュフローの改善が期待できる。」

出典:

“Bruker BioSciences Non-Affiliated Shareholders Overwhelmingly Approve Acquisition of Bruker BioSpin Group”

Bruker BioSciences Corporation press release (February 25, 2008)

<http://www.bruker.com/index.php?id=2005>

加速器

CERN (2008 年 1 月 22 日)

CERN は、Large Hadron Collider (LHC) の今年夏後半の運転開始に向け、Compact Muon Solenoid (CMS) 検知装置の最終構成要素が地下トンネルに据え付けられたと発表した。CMS 検知装置は地上で製作され地下に据え付けられるこの種のものとしては最初の装置であり、その完成は 8 年間の長期プロジェクトのハイライトである。地上での装置製作は、並行的に検知素子を製作すると同時に、トンネル掘削したり、据え付け前に各種試験が行えるなど時間の節約が図れるという利点がある。CMS 検知装置は 28 カ国、180 研究機関、2,500 名の研究者が世界的規模で協力を行った結果完成した。

出典:

“CERN celebrates the lowering of its final detector element”

CERN press release (January 22, 2008) CERN Copyright

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2008/PR01.08E.html>

CERN (2008 年 2 月 29 日)

CERN における ATLAS システムに関し、最後の大型ディテクター部品が（トンネル）に下ろされた。ATLAS ミューオン分光計は、46 m 長、25 m 高さ、25 m 幅で、重量が 7000 トンである。これは世界最大の汎用粒子検出装置で、1 億個の検出器を持ち、CERN の Large Hadron Collider (LHC) において陽子—陽子衝突で発生した粒子の測定に使われる予定。地下トンネルへの設置は 2003 年に開始され、それぞれの構成要素がミリ単位の正確さで組み立てられる。スモール・ウィールズとして知られる構成要素のうちの 1 つである最後の部品の取り付けにより、10 年以上にわたる、開発、計画、建設は完了する。ATLAS 計画には 37 の地域、国の 167 機関から 2100 人の研究者、技術者が参加した。

出典:

“ATLAS completes world’s largest jigsaw puzzle”

CERN press release (February 29, 2008)

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2008/PR02.08E.html>

基礎

National Science Foundation (2008 年 1 月 25 日)

Cornell University の学際チームは、Li と Be が高压化で安定な Li-Be 合金となり、超電導になると発表した。計算機による理論予想では、Li-Be 合金の中でそれぞれの比率が 1 対 1 のものは超電導の応用面で大きなポテンシャルを持つとされている。(理論計算から得られた) 予想外の知見として、強く加圧された 3 次元 Li-Be 合金中に、2 次元電子ガス層の存在が上げられる。ダイヤモンド合成に必要な圧力より 5 – 10 倍大きな圧力下では、Li と Be 層が絞られて Li の外殻電子が Be 層の近傍に絞り出されて、2 次元電子ガス層を形成する。これらの Li-Be 合金が確実に超電導になるか否かは不明ではあるが、そのような物質を合成して、試験を行うことは比較的単純である。このプロジェクトは、National Science Foundation の無機化学・生化学・有機化学プログラムによる支援を受けており、高压化での金属の興味ある特徴を引き出すことを期待して実施されているものである。研究結果は、Nature 1 月 24 日号に掲載された。

出典:

“Lithium and beryllium no longer ‘lack chemistry’”

National Science Foundation press release (January 25, 2008)

http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=111031&org=NSF&from=news

Massachusetts Institute of Technology (2008 年 2 月 12 日)

Massachusetts Institute of Technology (MIT) では、物質の状態を記述する理論を書き直すことになるかも知れない驚くべき発見をした。即ち、(完全に) 超電導状態となる直前に超電導である物質が存在する。研究グループは、超電導物質における不純物周辺の電子状態を見るため、擬ギャップ状態の性質を走査型トンネル電子顕微鏡を使って調べた。その結果、物質は超電導状態のときのみならず、擬ギャップ状態のときにも不純物散乱があることを見出した。この結果は、擬ギャップが超電導の前駆状態であるとういことに疑問を投げかけるものであり、むしろ擬ギャップ状態と超電導状態は共存することを示唆している。擬ギャップ状態と超電導状態とを走査型トンネル電子顕微鏡を使って比較するというこの方法は、物理研究者がある種の物質が比較的高い温度で超電導状態になりうるのかを理解する助けとなる可能性を持っている。研究結果は、Nature Physics 2 月号に掲載予定。

出典:

“MIT reveals superconducting surprise”

Massachusetts Institute of Technology press release (February 12, 2008)

<http://web.mit.edu/newsoffice/2008/superconducting-0212.html>

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

やさしい超電導電力機器のおはなし (その 2)

横浜国立大学
大学院工学研究院
名誉教授 塚本修巳

某日某所で、大手商社の経営に携わっている役員の叔父さんと、メーカーの研究所で高温超電導機器開発に携わっている甥との間で超電導応用のことが話題になりました。その続きで、超電導電力ケーブルが今回のテーマです。

2.1 はじめに

叔父：君の話を聞いて、電力システムに超電導技術を導入することによって、設備の用地問題、住民問題に対応しつつ省エネルギーが実現できる。さらに、近年非常に重要になってきた電力の信頼性、品質の向上にも役立つことなど多くのメリットがありそうだということは理解できてきた。そこで、個別の機器について、もう少し具体的に話をしたい。また、海外でも開発研究が盛んと聞いたので海外の状況も聞かせてもらえるとありがたいのだが。

甥：承知しました。個別の機器の話しに入ると少し技術的な話が入っているのですがいいですか。

叔父：まあやむを得ないだろう。

甥：超電導電力ケーブルの話からしましょう。現在最も多くの国で研究開発が行われている HTS 応用機器で、現在実用化一步手前というところでしょうか。

2.2 従来型ケーブルの問題点

甥：現在、大都市の人口密集地帯での大きな電力需要をまかなうために、地下に掘られた洞道（トンネル）内に敷設された電力ケーブルが用いられています。図 1 の写真は洞道内の写真ですが、この洞道は直径 4 m から大きいものでは 5 m 以上になります。大都市部ではこのような洞道は多くの主要幹線道路の地下に掘られています。洞道に入っている電力ケーブルは銅の導体を用いており、ケーブルに電流を流すとジュール熱が発生します。洞道内で発生した熱が周りの土を伝わってやがては外気に逃げるのですが、この熱の伝わり方はあまり良くないため、ジュール熱が発生しすぎると洞道内の温度が上昇します。そうするとケーブルの温度が上昇し、ケーブルの抵抗が増すため、ますますジュール発熱が大きく



図 1 送電ケーブル用洞道

なってしまいます。このため、1 つの洞道で送れる電力の量は制限されます。従って、電力需要の増大に伴って輸送する電力量を増すためには洞道の数を増やす必要があります。1 つの洞道に電力ケーブルをいっぱい押し込んでもジュール発熱が増すだけです。洞道 1 つあたりの輸送電力量を増すことはできません。都心部での洞道の新設は工事のための交通渋滞を引き起こすとともに、多大な費用がかかりますのでおいそれと洞道の新設というわけにはいきません。このため、電力需要が増大する都心部への電力供給が追いつかなくなる可能性があり、対応が迫られています。

2.3 高温超電導 (HTS) ケーブルのメリット

甥 : HTS を電力ケーブルに応用すると、ケーブルの発熱がほとんどない状態で大きな電流を流すことができるので、小さいケーブルの断面積で大きな電力を送ることができます。図 2 には今用いられている電力ケーブルを用いて 100 万 kW の電力（一般家庭の数 10 万戸分の消費電力に相当）を送る場合と、同じ電力を HTS ケーブルで送る場合とで、ケーブルの大きさの比較がしてあります。

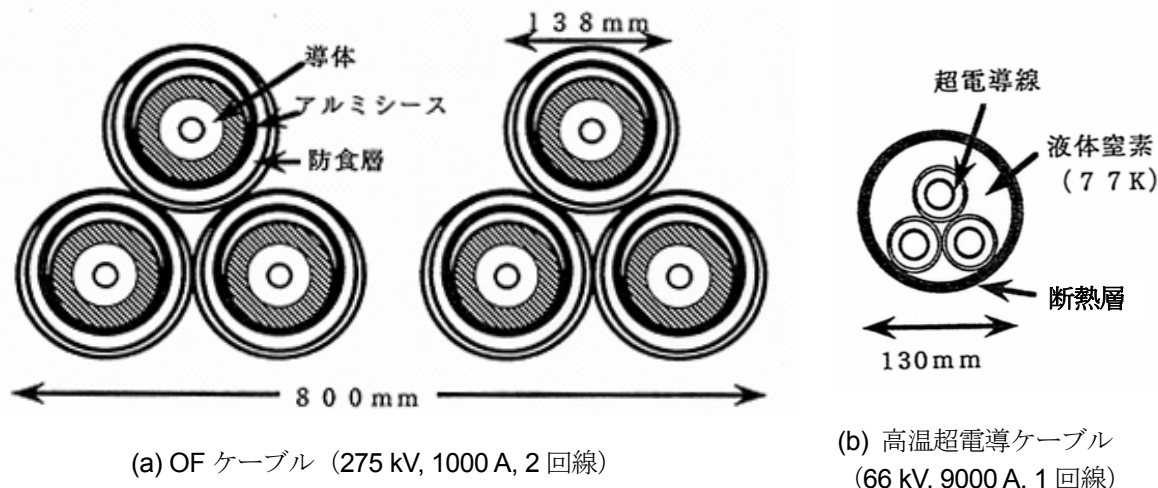


図 2 容量 100 万 kW の従来型ケーブルと同等容量の HTS ケーブルの断面比較

図中でケーブルが 3 本セットになっているのは大電力を送るには位相がそれぞれ 120 度ずつずれている 3 相の電流を流して送るためです。従来型のケーブルですと、2 線路が必要で、その設置幅は 1 m 近くなるのに対して、HTS ケーブルでは外径が 13 cm 程度に収めることが可能と考えられています。HTS ケーブルの圧倒的なコンパクトさが分かります。これにより、図 1 に示したような洞道を作らなくても、図 3 に示したような管路に HTS ケーブル敷設することにより大電力を送ることができるのです。このような管路はたとえば道路の脇や、鉄道線路脇におくことができ、さらには橋梁に沿わせることができます。したがって、送電ルート選択の自由度が大きく広がり、線路の建設コストも大幅に削減できます。諸外国では図 4 に示すような電力ケーブルを直接地下に埋設すること（直埋）が良く行われていますが、HTS ケーブルもこのような敷設も可能で、大電力を送るこ

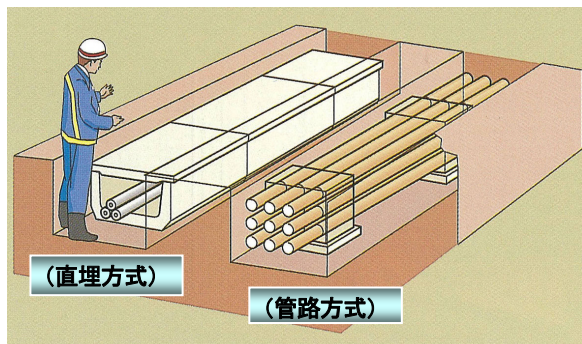


図 3 管路方式 (図の右側の方式)

とができます。また、大電流を損失少なく送れるので、すでに前回に話しましたように従来型ケーブルのように電圧を上げなくても良く、送電系統の電圧階級を簡単化することができます。

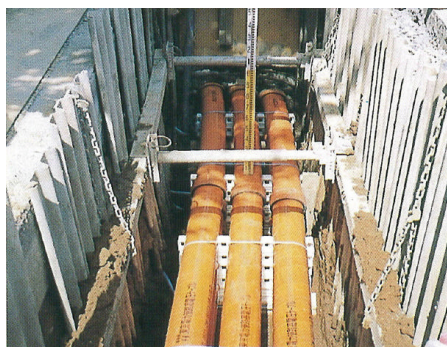


図 4 直埋方式の電力ケーブル

これらの HTS ケーブルのメリットをまとめたものが図 5 です。

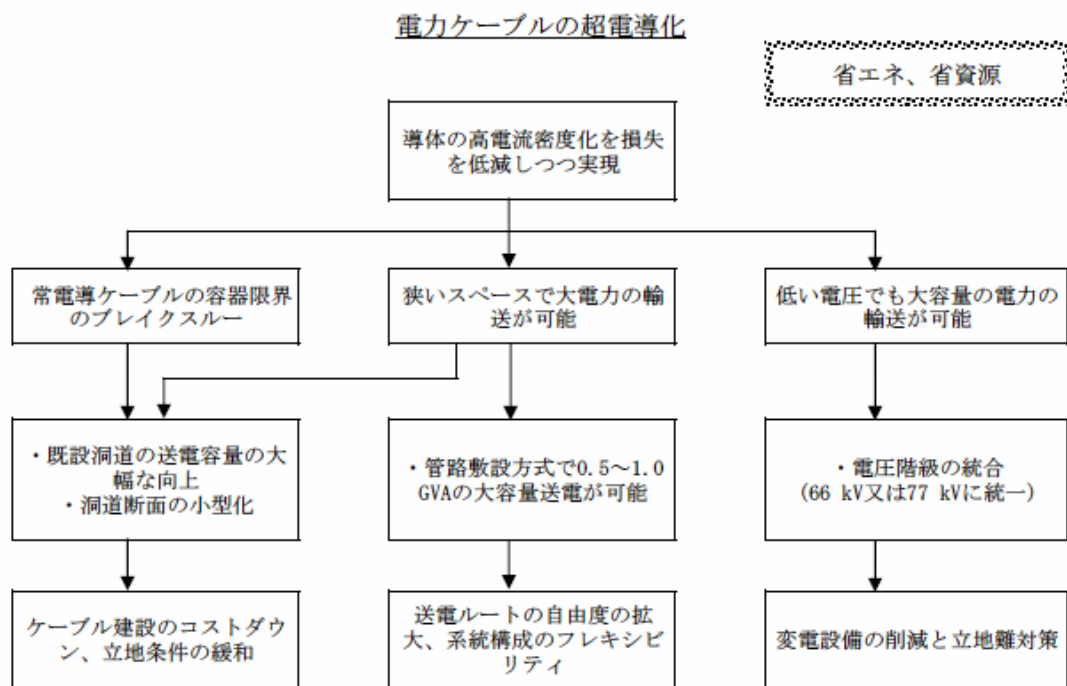


図 5 HTS ケーブルのメリット

2.4 HTS ケーブルの構造とシステムの構成

叔父：ちょっと待ってくれ。HTS ケーブルが狭いスペースでも大電力が送れるということだが、ケーブルを超電導に保つために少なくとも液体窒素温度レベルに保つ必要があるだろう。どうやって長い距離をそのような極低温に保つのかね？また、極低温冷凍装置も必要であろう？その装置を置く場所はどうなるのかね。

甥：良い質問ですね。HTS ケーブルの冷却技術の開発は重要な課題です。超電導ケーブルは図 6 に示したように 2 重の可撓性のあるステンレススチール管の間に断熱材を入れて真空にした構造のク

クライオチューブと呼ばれる管に、超電導体でできたケーブルコアを入れた構造になっています。このクライオチューブとケーブルコアとの隙間に液体窒素を循環させて、ケーブルコアの超電導状態を保ちます。断熱材としてはスーパーインシュレーターと呼ばれるものが用いられ、これを真空中に保てば 1 cm 程度の厚さで十分クライオチューブの内部を液体窒素温度に保つことができます。このような長尺の断熱技術はかなり開発が進んでおり、一本の長さ数 km ケーブルの冷却は可能と考えられています。ケーブルの液体窒素温度領域に外部から侵入する熱とケーブルコアに交流電流を流すと発生する損失（交流損失といいます）は液体窒素を循環させて冷却します。さらに、常温の外部導体と超電導ケーブルコアを接続するターミナル部分でも熱損失があり、これも循環液体窒素で冷却します。これらの熱を吸収した液体窒素はケーブルの出口では温度が高くなっており、冷凍機により冷やし再びケーブルの入り口から送り込みます。液体窒素温度領域の冷凍機の効率はあまり良くなく、液体窒素温度領域での 1 W の損失を冷却するには 20～30 W の電力を必要とします。

したがって、ケーブルシステムの効率を良くするには、極力液体窒素領域への熱侵入を抑え、冷凍機の効率を高め、ケーブルコアに発生する交流損失を少なくする必要があります。特に、効率が良くかつ保守の手間のかからない高信頼の冷凍機を開発することと、交流損失の抑制が、現在、超電導ケーブルの研究開発の重要課題となっています。確かに冷凍機は実際のケーブルシステムでは数 km 間隔で置く必要がありますが、その体積はあまり大きくなく設置場所に大変困るということはないと考えられます。従来の洞道でも、内部の温度上昇を抑えるために冷却水パイプを洞道中に設け、そこに水を循環させることが行われております。冷却水を冷やすための装置はかなり大きく、これに比べると液体窒素冷凍機は小さいと考えられます。

叔父：ところで、交流損失ということだが超電導は抵抗が零なのだから交流を流しても損失はゼロなのではないか。

甥：確かに超電導は直流電流を流したときには抵抗が零です。しかし、ちょっと話は難しくなるけれど、超電導体内部の電流分布は電流の方向が変わると変わり、交流電流を流すと履歴現象が起きて損失が発生します。交流損失は通電電流が大きくなると急激に大きくなるため、ケーブルの容量が大きくなるにつれて、交流損失の問題は深刻になります。Bi 銀シース線材と比較し、Y 系薄膜導体はケーブルコアの構造をうまくすると交流損失を大きく減らすことができるので、Y 系線材ケーブルの開発への期待が大きいのです。

甥：ところで、ケーブルコアの構造について言い忘れました。図 6 を見てもらうとわかるように、クライオチューブの中に 3 相電流を流すために 3 本のケーブルコアが入っています。ケーブルコアの構造は通電電流を流すための HTS テープで構成された通電部があって、それを取り巻くように



図 63 心一括型 HTS ケーブル（住友電工・東京電力提供）

絶縁層を間に挟んで HTS テープが配置されています。これはシールド層と呼ばれ、通電部が作る磁界を遮蔽し、ケーブルコアの外側には磁界を出さないようになっています。このような工夫により 1 本のクライオチューブの中に 3 本のケーブルコアを入れても交流損失を大きくしないで 3 相交流電流が流せるのです。また、超電導ケーブルはこのような構造を持っているので、ケーブル外部には磁界が漏れず、電磁的な障害をなくすことができます。

2.5 国内外での開発状況

叔父：日本を初め諸外国でも開発が盛んということだが様子はどうか。

甥：表 1 には世界の主な超電導ケーブルプロジェクトの概要が示してあります。表には少し技術的に細かい内容が入っていますが、これが分からなくても世界の開発状況は分かると思います。現在通電試験済みでもっとも長いものは、単相のケーブルですが日本で開発された 500 m 長のもので、我国の長尺超電導ケーブルプロジェクトでは Bi 系銀シース線材が用いられていますが、より一層の低交流損失化、高電流容量化を目指し、Y 系導体を用いたケーブルの開発研究も進められています。

表 1. 主な世界の超電導電力ケーブルプロジェクト
(2007 年末現在)

No.	国名	プロジェクト実施者/電力業者/場所	電圧/電流/長さ	線材供給/ケーブル製造者	開発状況	超電導材料/低温絶縁(CD), 室温絶縁(WD)/構造
1	日本	Super Ace / 東電 / 電中研横須賀 中電 関電	1 φ 77kV / 1.0kA / 500m	古河 / 古河	2005年3月 終了	Bi2223 / CD / 単心
2	日本	住友 / 東電 / 未定 東電	3 φ 66kV / 3kA / 200~300m	住友 / 住友	2012年3月 終了予定	Bi2223 / CD / 3心一括
3	中国	Innopower / 雲南電力 / 昆明	3 φ 35kV / 2kA / 33.5m	Innost / 上海ケーブル他	運用中	Bi2223 / WD / 単心
4	中国	中国科学アカデミー / Chang Tonケーブル / 慶州	3 φ 15kV / 1.5kA / 75m	AMSC / Chang Ton Cable社	2006年終了	Bi2223 / WD / 単心
5	韓国	DAPAS / KEPCO /	3 φ 22.9kV / 1.2kA / 30m	AMSC / LG Cable	運用中	Bi2223 / CD / 3心一括
6	韓国	KEPRI / KEPCO / Kochang	3 φ 22.9kV / 1.2kA / 100m	住友電工 / 住友電圧	運用中	Bi2223 / CD / 3心一括
7	アメリカ	Super Power / Niagara-Mohawk / Albany	3 φ 34.5kV / 0.8kA / 350m	住友・SuperPower / 住友	Bi系運用済 Y系設置中	Bi2223-YBCO / CD / 3心一括
8	アメリカ	AMSC / Long Island電力局 / Long Island	3 φ 138kV / 2.4kA / 660m	AMSC / Nexans	2007未運用 開始予定 次期	Bi2223 / CD / 単心 YBCO/CD/単心(Bi2223の 置き換え)
9	アメリカ	Ultera / アメリカ電力社 / Columbus	3 φ 13.5kV / 3kA / 200m	AMSC / Ultera	運用中	Bi2223 / CD / 3相同軸
10	アメリカ	South wire / Entergy / New Orleans	3 φ 13kV / 60MVA / 1.1マイル	未 / NKT	次期	Bi2223 / CD / 3相同軸
11	アメリカ	Dep of Homeland Security / Con Edison / Manhattan	3 φ 13kV / 4kA	AMSC / 未	次期	Bi2223 / CD / 3相同軸

海外における HTS ケーブルの開発は、米国、中国、韓国で盛んです。特に米国での開発努力は注目すべきものがあり、現在、3 件のプロジェクトが進行中です。アルバニーのプロジェクトでは全長 350 m のうち 320 m は Bi 系銀シース線材を用い 30 m は Y 系線材を用いています。すでに Bi 系ケーブルの部分は 7000 時間の通電試験が行われ、現在、Y 系ケーブル部分の接続が終わり、近

いうちに全長での試験が実施される予定です。ロングアイランドのプロジェクトでは単心ケーブルを 3 本並べるもので、定格電圧が 138 kV と他のケーブルのほぼ倍以上と高く、送電容量も 560 MVA と他のものより格段に大きいです。コロンバスのプロジェクトは 3 相導体を同軸状に配置した独特のケーブル構造をしており、3 kA と大きな電流値が特長です。これらのプロジェクトではいずれも実際に電力系統に連系して試験が行われているか、もしくはその予定です。中国のプロジェクトでもケーブルを実系統につなぎ試験をしていますし、日本でも現行のプロジェクトで開発されるケーブルは実系統に導入して試験が行われる予定です。このように超電導ケーブルは実用化に向かって着実に開発が進められています。

叔父：ということはまだ設備とし実用に供されている HTS ケーブルはないということだな。それからヨーロッパはどうなっているのかね？

甥：まずヨーロッパの状況に関してですが、一時世界をリードするくらい HTS ケーブルの開発に熱心でしたが、その後は低調になりました。しかし最近、日米の成功例に刺激され、また復活する兆しがあります。

確かに、まだ実用の設備として HTS ケーブルが導入されているところはどこにもありません。ご承知のように、電力システムは社会生活の重要なインフラで、電力の供給に支障があれば大きな社会的な影響があります。したがって、電力システムに新開発の機器を導入するにあたっては、一般的に言えることですが、機器の信頼性、運用性などを慎重に評価する必要があり、ステップバイステップの開発が必要です。アメリカの次期プロジェクトでは開発されたケーブルは実用設備として組み込まれる予定となっています。その意味で現在は実用化一步手前ということです。

数年後には HTS ケーブルの実用化が始まると期待されています。

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：高温超電導線の適用が有望な超電導機器を教えてください。

A：高温、低温に限らず超電導線の適用先については、2005 年度に経済産業省と NEDO が共同で作成した、「超電導分野における技術戦略マップ」に詳しく書かれている。その中では、超電導が 2020 年の時点でのどのような分野でどのような形で使われているかも予想して書かれているので参考にして下さい。ここでは、最近話題になっている超電導機器を取り上げる。

平成 20 年 3 月 18 日付けの「電気新聞」に「IHI 船舶推進用高温超電導モーター 09 年度から販売開始」という記事が出た。実現すれば最も早い高温超電導線の適用である。超電導モーターは、低速回転で非常に強い回転力を出すことができるので、船の推進用に使う目的で欧米でも活発に開発が進められている。

最近の情報では、米国でヘリウムガスの枯渇が 2016 年頃にくるのではないかと予測しており、金属系超電導線を用いた医療用 MRI を液体ヘリウムで冷却している現状から高温超電導線を用いて液体窒素温度で冷却することが考えられている。従って今から 10 年以内に高温超電導線を用いた MRI が世界中で使われることになると予想される。

産業応用としては、環境問題との関係から汚水浄化装置としての超電導システムの実現が期待されている。これは超電導の強い磁気力を利用して水中の不純物を取り除くもので、既に製紙工場で 1 台稼動している。これには金属系超電導線が使われているが、これも近いうちに高温超電導線を使った装置に置き換わることが期待されている。

3 月 17 日の朝日新聞の「科学」欄に、「超伝導フィーバー再び？」という見出しで、「極低温で物質の電気抵抗がゼロになる超伝導現象。室温で実用化できれば、冷却装置がいらないリニアモーターカーや、電力ロスのない電力網が実現し、経済・環境面に大きな貢献が見込める」という記事が掲載された。室温で超電導が実現しなくても、リニアモーターカーについては、昨年暮れに JR 東海が 2025 年には東京-名古屋間を営業運転すると発表した。これには高温超電導線が使われるか、低温超電導線になるかは分からないが、いずれの超電導線を使うにしろ実現すれば画期的なことである。

また、電力ロスのない電力網については、既に経済産業省が NEDO を通じて高温超電導ケーブルの変電所内での実験を目指したプロジェクトが 19 年度より開始されており、それとは別に来年度からはさらに高性能な高温超電導線を使ったケーブル開発のプロジェクトが始まろうとしている。超電導電力送電ケーブルは高温超電導線ではなくては実現しないものの一つで、電力需要の増大への対応、及び CO₂ 排出量削減の観点から最近特に脚光を浴びてきている。米国や韓国でも国のプロジェクトとして活発に開発が進められている。

このように、室温超電導が発見されなくとも、20 年前に発見された高温超電導の実用化機運が最近特に高まってきたようである。

回答者：社団法人低温工学協会
副会長 堀上 徹 様

[超電導 Web21 トップページ](#)