

掲載内容 (サマリー) :

トピックス :

- ISTEC 理事長の交代

特集 : 超電導技術動向報告会報告

- イットリウム系超電導線材開発とその応用—環境とエネルギーへの貢献
 - Y系超電導線材の長尺化と高機能化技術開発の現状と今後
 - Bi系、MgB₂線材開発及びその応用
 - Y系線材による電力機器技術開発の状況
 - Bi系超電導ケーブル実証と今後の期待
 - 超電導デバイスのミックスドシグナル応用
 - 高温超電導 SQUID を用いた先端バイオ・非破壊センシング技術の開発
 - 機器用 Y系線材の加工・評価技術の進展
 - 新超電導体とその関連機能の探索と線材応用
 - 地球環境問題と超電導電力機器関連国際標準化
 - 超電導で叶える低炭素社会
-
- 超電導関連 7- 8月の催し物案内
 - 新聞ヘッドライン (5/19-6/17)
 - 超電導速報—世界の動き (2010年3-5月)
 - 「超電導応用電力機器研究会の報告」報告
 - 隔月連載記事—もっとやさしい「超電導」のおはなし (その4)

[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

〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13

Tel (03) 3536-7283 Fax(03) 3536-7318

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 : ISTEK 理事長の交代

財団法人国際超電導産業技術研究センター
常務理事 田島克己

財団法人 国際超電導産業技術研究センター (ISTEC) は、平成 22 年 6 月 14 日に芝パークホテルで開催した第 46 回通常理事会、第 36 回評議員会において、荒木浩理事長の退任に伴う後任の新理事長として、東京電力株式会社 取締役会長 勝俣恒久氏を満場一致で選任した。



(挨拶する勝俣新理事長(右) と荒木前理事長)

荒木理事長は、平成 12 年 3 月に那須理事長の後任として就任し、理事長職を 10 年余り務め、超電導技術開発の進展、ISTEC の発展等に多大な貢献をされた。理事会終了後、新旧理事長の挨拶が行われ、荒木理事長は、「この 10 年の間に超電導技術の開発が大きく進展し、超電導機器の実用化がある程度見通せるようになったのは感慨無量である。ただし、まだ道半ばであるので、勝俣新理事長のもとで、引き続き技術開発に邁進されるようお願いしたい」との挨拶をされた。また、勝俣新理事長は、「超電導機器の早期実用化に向け努力して参る所存なので、関係する皆様方の引き続きのご支援、ご協力をお願いしたい」との挨拶をされた。

また、本理事会・評議員会では、上記に加え、「平成 21 年度事業報告及び収支決算」等の議案が、原案通り可決された。

なお、議事の終了後、経済産業省の土井研究開発課長より「グリーンイノベーションを巡る研究開発政策の動向」という演題で講演が行われた。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会報告

「イットリウム系超電導線材開発とその応用—環境とエネルギーへの貢献」

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所
所長 塩原 融

我が国は、昨年秋に誕生した民主党政権で、鳩山（前）首相が、条件付きではあるものの 2020 年での CO₂ 削減率を 1990 年比で▲25 %にする旨を国連で演説し、本年 1 月 31 日にはコペンハーゲン合意に基づき、国連気候変動枠組み条約の事務局に中期目標として正式に提出した。また、「環境・エネルギー問題」を喫緊の課題であるとして、「グリーンイノベーションの推進」を政策課題の一つに掲げている。この目標を達成するには、ありとあらゆる技術・手段を総動員して対応する必要がある。「超電導」は、電気抵抗がなく極めて効率的でコンパクトな設計も可能なことから、地球温暖化防止対策の切り札としても期待され、その早期の実用化が求められている。本稿では、「イットリウム系超電導線材開発とその応用」と題し、地球環境問題と超電導技術の貢献を解説する。

科学技術政策担当大臣及び総合科学技術会議により平成 22 年 5 月 21 日に制定された「平成 23 年度科学・技術重要施策アクション・プラン」の中にグリーンイノベーションの主要な課題が設定されており、その中で「超電導送電」は政府全体が戦略的に取り組むべき「課題解決に必要な方策」として、その特徴に応じた導入・展開を図るために、研究開発と普及促進の取り組みが必要と記述されている。

二酸化炭素 (CO₂) は最も重要な人為起源の温室効果ガスであり、全世界で約 500 億トンの総排出量が報告されており、そのうち日本は約 12~13 億トンの CO₂ 排出量で、火力発電が 1/4、自動車 が 1/5 を占めている。2006 年の統計結果によれば、日本の発電に際しての CO₂ 排出原単位は 0.39 kg-CO₂/kWh であり、各種発電電力量の非化石電源比率は約 38 %で、内訳は原子力：28 %、水力：8 %、再生可能エネルギー他が 2 %である。一方、化石電源比率は 61 %で、内訳は石油：11 %、ガス：23 %、石炭：27 %である。電気事業連合会の報告によれば、2020 年度までに、電力業界では、非化石電源比率すなわちゼロエミッション電源比率 50 %の目標達成による電力 CO₂ 排出原単位の低減に期待しているとのことである。

各国の CO₂ 排出原単位は、アメリカ：0.56 kg-CO₂/kWh、イギリス：0.50 kg-CO₂/kWh、ドイツ：0.50 kg-CO₂/kWh、イタリア：0.44 kg-CO₂/kWh、中国：0.86 kg-CO₂/kWh、インド：0.97 kg-CO₂/kWh である。ほぼ同一の非化石電源比率 (39 %) であるドイツと比しても、日本の発電 CO₂ 排出原単位は 0.39 kg-CO₂/kWh と低く、発電効率等の技術が進歩・成熟していることが伺える。この CO₂ 排出原単位に関しては、フランスは原子力発電比率が 79 %と高く、0.08 kg-CO₂/kWh であり、カナダは水力発電比率が 58 %と高く、0.19 kg-CO₂/kWh と報告されている。我が国の温暖化ガス削減目標は、既に成熟してきている技術に対して、さらなる CO₂ 排出削減を課することになる。

また、各国との排出権取引により目標を達成するためのクレジット購入額は、1990 年比 25 % 削減 (2005 年比 30 % 削減) を想定し、2005 年比 15 %分を国内対策で削減し、残り 15 %分をクレジット購入で達成するとした場合、5 年間で約 2 兆~4 兆円 (15~30 ユーロ/t-CO₂) の負担となる。このように我が国が世界へ約束した目標は非常にチャレンジングであり、さらに 2050 年目標に対しては、研究者の叡智を集結してあらゆる可能性を探求する必要があると考えられる。

技術が成熟している我が国の送配電時のロス是非常に少なく、常電導送電では、1980 年頃から 5 %台を推移しており、現状でほぼ限界の 5 %の送配電ロスが報告されている。この送配電ロスを

低減させるためには、革新的技術の導入が不可欠であり、超電導送電ケーブルの導入を目指して研究開発が進められている。試算によると、1500 MVA 級の送電容量に対し、現行の常電導送電では約 740 kW/km の送電損失が報告されているが、交流超電導送電では約 200 kW/km に低減されると見込まれている。同様に変圧器においても効率向上が見込まれている。再生可能エネルギーの導入促進を想定した将来の電力系統は、図 1 に示すように、原子力発電及び火力発電に加えて大規模な太陽光発電サイト（メガソーラー）、風力発電（ウインドファーム）、各家庭での太陽光発電を超電導送配電ケーブル・超電導変圧器・超電導電力貯蔵（SMES）等でリンクさせる超電導電力系統の構築が期待される。

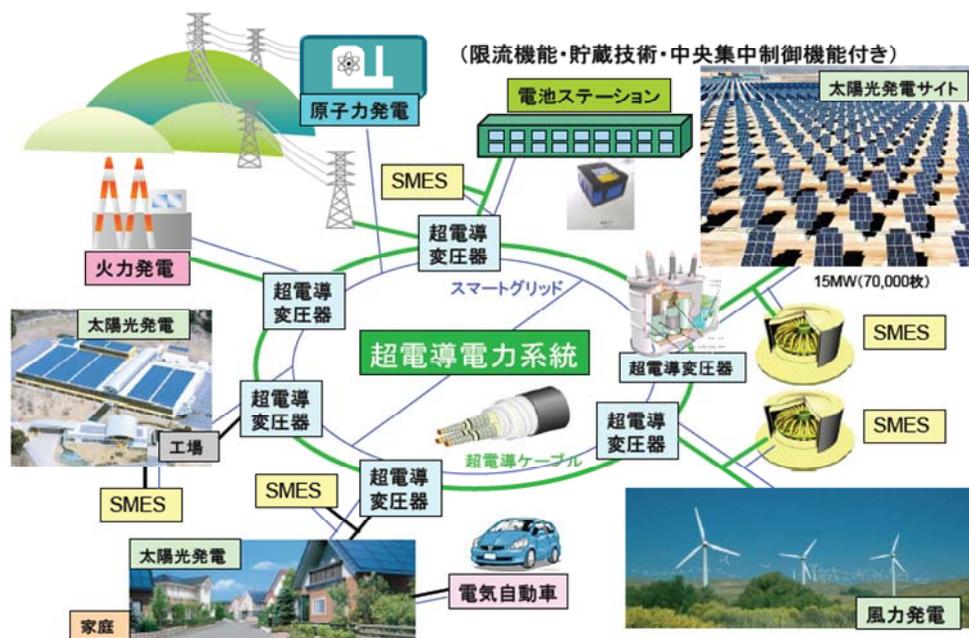


図 1 将来の電力系統概念図

現在、超電導電力機器による都市部への大容量安定供給を目指した、Y 系高温超電導材料を用いた電力貯蔵装置（SMES）、送電ケーブル、変圧器の超電導化の研究開発が進められている。Y 系線材が有する高機械強度、磁界中高臨界電流特性等の特長を活かした、コンパクトで高磁界・高温動作を実現することが可能な SMES の開発を目指している。既に高磁界下でのフープ応力試験で 11 T の外部高磁界中でのコイルの繰り返し試験により、560 MPa の電磁応力耐性を確認するとともに、Y 系線材 4 本の集合導体を用いた約 600 mm φ の実規模コイルを製作し、2 kA を超える大電流通電を実証している。

超電導電力ケーブルの開発は、超電導ケーブル特有の冷却損失も加味した送電ロスを、従来の地中送電線のロスの 1/3 に低減し、CO₂ 削減効果を期待するとともに、コンパクトな形状での大容量送電を可能とする技術が推し進められている。超電導材料を用いた電力機器応用においては、電気抵抗によるジュール損失の大幅な削減は見込めるものの、第 2 種超電導体中の磁束の変動に起因する交流損失の低減が大きな課題である。これまで、交流送電ケーブルの交流損失の低減には、Y 系線材の細線化により、ケーブル断面形状を真円に近付けることが有効であることが実験及びシミュレーションで示され、既に 3 kA 級導体を製造し、0.5 W/m までの交流損失低減に成功している。さらに撚線ケーブルに対して、半径 2 m での曲げ試験で臨界電流特性の劣化がないことも確認している。

超電導変圧器の開発は、重量 1/2、設置面積 2/3、不燃、高効率を目指して進められている。変圧器の超電導化は臨界電流密度の向上により、変圧器本体のコンパクト化は見込めるものの、超電導ケーブルと同様に交流損失の低減なくしては、冷却装置を含めた全システムとしてのコンパクト化、高効率化の達成は困難である。Y系線材は金属基板と YBCO 超電導層の間の酸化物中間層が、絶縁特性を有していることから、超電導層の細線化（溝加工）により、細線化された各素線（フィラメント）が電氣的に絶縁された状態となり、結合損失の低減に加えて交流損失の低減が可能となる。また、細線化された Y 系線材の転位巻き線を含めたコイル化により、コイル形態での交流損失の低減が日本において初めて成功し、超電導変圧器の実現が期待されることとなった。

このように、Y系線材を用いた電力機器の重要な要素技術の開発が進められている。Y系線材は、低コスト、磁界中高臨界電流特性、高機械強度、低交流損失等の高いポテンシャルを有しており、世界中で熾烈な開発競争が繰り広げられている。高温超電導線材の開発はこれまで銀シース線材である Bi-2223 線材の開発で線材長尺化に成功しており、この Bi 系線材を用いた機器開発が進められてきた。最近になって、Y系線材の高性能化・長尺化技術開発が大きく進歩し、図2に示すように、ほぼ同一の断面積（1 mm²）での臨界電流（I_c; A@77 K, s.f.）と長さ（L; m）の積は、ほとんど同程度の 300,000 Am に達してきている。日本では結晶粒の配向を線材に具備させる技術としては、IBAD（Ion Beam Assisted Deposition）法と Clad タイプ RABiTS 基板を用いている。また、中間層及び超電導層は PLD, MOCVD, スパッタ法等の気相法と有機酸塩溶液の塗布・熱分解法による成膜技術の研究開発が進められている。

1987年の YBCO 高温超電導材料の発見後、酸化物高温超電導材料の線材化は世界中で YBCO 材料での研究開発が進められてきている。最近になって、日本では、製造速度（成膜速度）の向上、高臨界電流密度、磁界中高臨界電流特性等が見込める GdBSCO 超電導材料への転換が、気相法成膜で適用されている。

さらなる磁界中高臨界電流特性の向上は、超電導相の厚膜化とともに、人工ピン止め点の導入技術開発として Ba-Zr-O（BZO）系の非超電導相の分散が有望視され、研究開発が精力的に進められている。

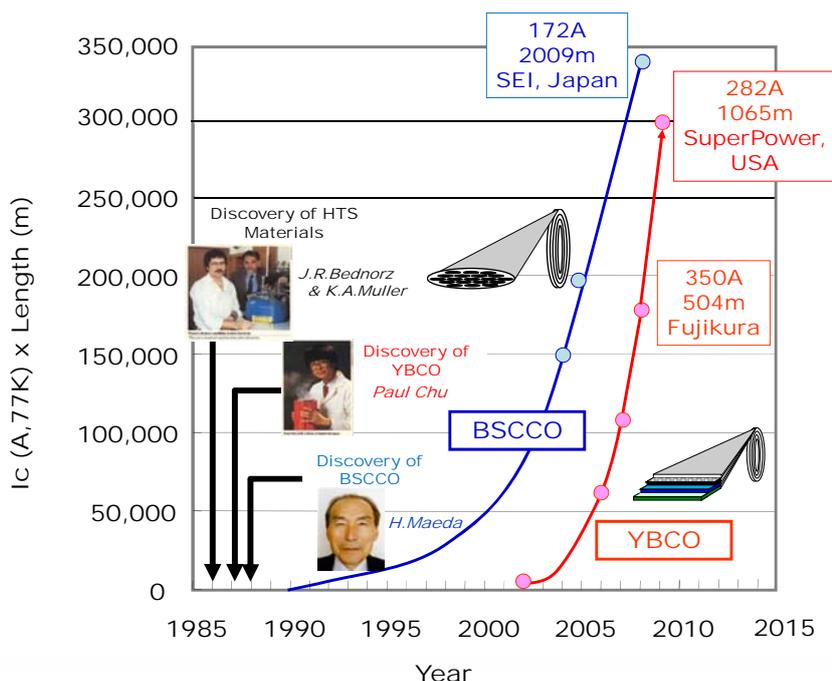


図2 高温超電導線材の開発の進展

Y系線材の特性均一化も研究開発の進歩が著しく、最近では株式会社フジクラが IBAD-MgO/PLD-GdBCO の製造法により、170 m 長の線材で臨界電流の均一度が±1.35%の線材作製に成功している。また、ISTEC-SRL は、TFA-MOD 法による線材作製に対して BZO の人工ピン止め点の分散に成功し、臨界電流特性の印可磁界角度異方性の解消に成功している。

長尺化と高臨界電流を目指した Y系線材作製プロセスの研究開発はこれまで日米で熾烈な競争が繰り広げられている。図3に Y系線材開発の2010年2月の時点での国際比較を示す。米国は線材の長尺化技術(図の横軸)の進歩が著しく、日本では臨界電流(図の縦軸)向上が進んでいる。また、最近になって特筆すべき点は、韓国における線材開発の進歩である。これまで殆ど図中に表示されていなかったレベルの特性-長ささが IBAD-MgO/RCE-YBCO (RCE:反応性共蒸着法) の線材作製プロセスによる 200m/300A の成果が報告され、これまで世界をリードしてきた日本の線材製造技術においても予断が許されない状況にある。

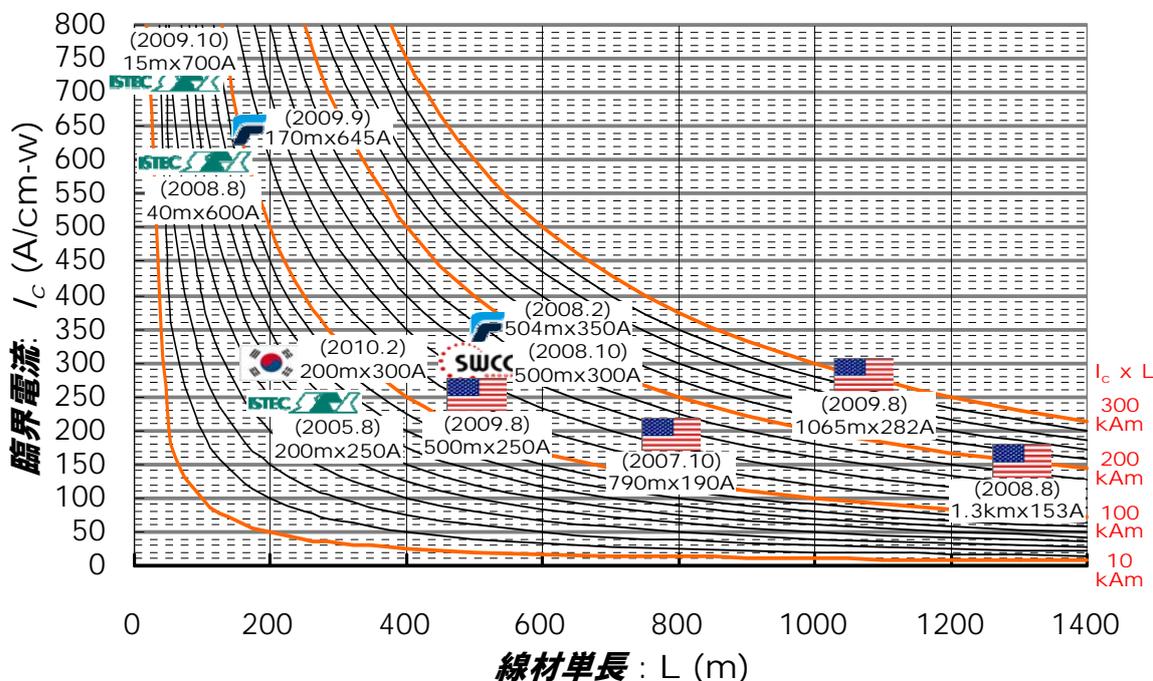


図3 Y系線材開発の国際比較

以上、超電導技術は機器の高効率化、コンパクト化等のメリットにより、地球環境問題である CO₂ 削減に大きく寄与できる技術であるとともに、現状の日本の優位性を維持し、成長戦略分野としても期待されている。今後さらなる技術開発の進展とともに、2020年頃までに、実用化ならびに超電導産業の事業化に繋がるべく、オールジャパン体制での取り組みが重要である。

本稿は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受けて実施している「イットリウム系超電導電力機器技術開発」プロジェクトの成果を一部引用している。

特集：超電導技術動向報告会報告

「Y系超電導線材の長尺化と高機能化技術開発の現状と今後」

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所線材研究開発部

部長 和泉輝郎

Y系超電導線材は、コスト、磁界中特性、機械的強度、低交流損失化などの観点で優れており、日米で激しい開発競争が繰り広げられている。本稿では、超電導技術動向報告会で紹介した日本におけるY系超電導線材開発に関する動向をまとめる。

日本においては、オリジナル技術であるイオンビームアシスト蒸着 (IBAD) 法による結晶粒高配向中間層の上に、配向促進効果のあるセリア層を配し、パルスレーザー蒸着 (PLD) 法や、三弗化酢酸塩を用いた有機酸塩堆積 (TFA-MOD) 法などにより超電導層を形成する技術で、長尺特性向上技術の開発が行われてきた。平成 19 年度末に終了した超電導応用基盤技術開発プロジェクトにおいては、フジクラ及び ISTE C が共同で開発した IBAD/PLD 線材において、500 m 長線材が 350 A/cm 幅を超える I_c 特性を実現している。また、IBAD/TFA-MOD 線材に関しては、昭和電線ケーブルシステムズと ISTE C が開発に携わり、最終的に 500m-310A/cm 幅を得ている。これらは、上記プロジェクトの最終目標値を達成しており、それぞれ当時の世界最高レベルの $I_c \times L$ 値を達成したが、長さに関しては装置的な限界があった。これに対して、平成 21 年度末より開始した希少金属代替材料開発プロジェクト (平成 22 年度末まで) においては、高強度、低損失モータを目指して、超長尺線材作製技術の開発に取り組んでいる。ここでは、装置サイズで制限されていた線材長に関して、1 km 長を超える超長尺線材を実現するために、装置の大型化と共にこれに伴う製造条件の適正化を行なう事になっている。

一方、イットリウム系超電導電力機器技術開発プロジェクト (平成 20~24 年度) においては、上記の超電導応用基盤技術開発プロジェクトの成果を受けて、SMES や電力ケーブル、変圧器など、個別の電力機器に対する必要な機能を付与する高機能化技術開発が行われている。具体的には、共通要素として 3 円/Am 以下の技術コストを実現する極低コスト化技術開発と共に、SMES などの磁界応用に対応した磁界中高特性線材開発や、変圧器や送電ケーブルに対応した低交流損失線材開発が行われている。このほかにも、高強度線材開発、高 J_c 線材開発等の多岐に亘る機能付与技術に対する開発が進められている。代表的な成果としては、IBAD 材料として高速化による低コスト化が可能な MgO を用いた IBAD/PLD 線材開発で、170m-600A/cm 幅の高特性線材の作製に成功している。磁界中の特性向上に関しては、人工ピン止め点の導入が効果的であることがわかっており、BaZrO₃(BZO) を添加した IBAD/PLD 線材において、磁界印加角度に対して等方的な線材が得られている。従来、PLD 膜中の BZO 材料はロッド形状をしており、磁界に対して異方的な振る舞いが一般的であった。最近、この線材に対して、内部組織の三次元観察により、BZO ロッドが中間層直上から広がった構造を有しており、これが等方的な特性の起源であることが明らかになった。また、もうひとつのアプローチとして、厚膜化による磁界中特性向上が図られ、3 μm 厚の厚膜 GdBCO 線材において、3 T の磁界中で 56 A/cm 幅を得ている。一方、TFA-MOD 膜に対しても BZO 人工ピン止め点の導入に成功し、こちらでは球状 BZO 粒を分散することにより、この形状を反映して等方的な磁界中特性を実現している。更に、低交流損失線材開発としては、切断及びスクライブによる細線化技術開発と、幅方向も含めた均一線材作製技術開発が進められている。

上述の通り、Y系超電導線材開発では、長尺線材開発と共に高機能化技術開発が並行開発されており、将来的にはこれらの技術を融合し、より有効な実用線材が実現できるものと期待される。

特集：超電導技術動向報告会報告

「Bi 系、 MgB_2 線材開発及びその応用」

独立行政法人 物質・材料研究機構
超伝導材料センター
センター長 熊倉浩明

ビスマス系酸化物には $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$ (Bi-2212) と $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_y$ (Bi-2223) とがあり、どちらも原料粉末を金属管に充填して加工・熱処理を行うパウダー・イン・チューブ (PIT) 法で多芯線材の開発が進められている。ビスマス系酸化物は系の異方性 (二次元性) が強いために、結晶粒の配向化が比較的容易である。Bi-2212 線材では、熱処理において温度を Bi-2212 の融点の少し上まで上げ、その後ゆっくりと冷却する、いわゆる部分溶融—徐冷熱処理が適用される。一方の Bi-2223 では、機械加工と熱処理とを組み合わせることにより配向させている。Bi-2223 線材では溶融法が適用できないために、Bi-2223 超電導体の充填率は Bi-2212 線材に比べてかなり低かったが、その後加圧熱処理法が開発されて超電導体の充填率が上がり、優れた臨界電流特性が得られるようになってきており、DI-BSCCO (Dynamically Innovative Bi-Sr-Ca-Cu-O) と呼ばれている。

このようにして作製したビスマス系線材は、 ~ 20 K 以下の低温ではその高い上部臨界磁界 H_{c2} (あるいは不可逆磁界 H_{irr}) を反映して、30 テスラ以上の極めて高い磁界まで臨界電流密度 J_c の劣化がほとんどなく、金属系の線材を大幅に凌ぐ優れた特性を示す。したがってビスマス系線材の応用の一つは、低温で使用する高磁界マグネットである。また最近では冷凍機の進歩が目覚しく、 ~ 20 K 程度の温度は簡単に得られるようになってきている。20 K 近傍でマグネットを運転するメリットは、液体ヘリウム冷却に比べて冷却コストを抑制できるだけでなく、線材の比熱が桁違いに大きくなるので、マグネットの安定性が大きく向上することである。このようにして、液体ヘリウム不要の冷凍機冷却マグネットがビスマス系線材のもう一つの有望な応用である。一方でさらに温度が上がると、ビスマス系線材では磁界中の J_c が急激に低下するという難点がある。しかしながら Bi-2223 線材においては、磁界が十分に低い場合は液体窒素温度 (77 K) でも相当大きな超電導電流が流れるために、磁界の影響の少ない送電ケーブルへの応用が真剣に検討され、現在プロトタイプを試作が進められている。

一方の MgB_2 では、高温酸化物超電導体で問題となる結晶粒間の弱結合が存在しないと考えられ、配向化が不要でこの点で実用上有利であると考えられる。現在 PIT 法を中心として線材開発が進められ、キロメートルをはるかに越える長さの多芯線材が開発されつつある。

SiC 添加した線材においては、4.2 K に外挿した H_{c2} は ~ 25 テスラに達し、この値は実用線材である Nb_3Sn 線材の H_{c2} と同等の値である。また 20 K における線材の $H_{c2}(20 K)$ は ~ 11 テスラであり、これは、現在最も広く使用されている Nb-Ti 実用線材の 4.2 K における H_{c2} に匹敵する値である。このことは、現在 4.2 K で実用されている Nb-Ti 線材を MgB_2 線材で置き換え、20 K で運転できる可能性があることを示している。このように MgB_2 線材では 20 K の温度においてもかなり高い H_{c2} が得られることから、 MgB_2 線材の応用の一つとして、液体ヘリウム不要の冷凍機などで冷却する超電導機器が考えられる。最も有望な応用はオープン型の MRI であり、既にプロトタイプを試作も進められている。PIT 法線材においては、20 K において 2 テスラの磁界中で実用レベルの目安とされる 100 kA/cm^2 を越える値が得られており、比較的低い磁界での応用は現状の J_c レベルでも可能であると考えられるが、 J_c は磁界と共に急激に低下し、5 テスラでは 10 kA/cm^2 程度にまで低下してしまう。PIT 法では MgB_2 コアの充填率が 50 % 程度と低く、高い J_c を得るのが中々困難であり、

充填率の向上が望まれるが、その解決方法として、ホットプレス、冷間プレス、Mg 拡散法などが試みられ、 J_c の向上が得られつつある。

以上、Bi系線材と MgB_2 線材の現状について簡単に述べたが、どちらの線材も J_c はまだ十分なレベルにはなく、今後は更なる組織制御による高 J_c 化が必須である。ビスマス系では不純物の低減やc軸配向度の向上が、 MgB_2 では充填率の向上が重要であろう。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会報告

「Y系線材による電力機器技術開発の状況」

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所電力機器研究開発部
部長 藤原 昇

「イットリウム系超電導電力機器技術開発」プロジェクト（平成20年度～24年度）において電力機器（SMES、電力ケーブル、変圧器）の技術開発を行っている。本プロジェクトは5ヵ年計画の内2年目を終え、本年度中間評価を迎えようとしている。今回の技術動向報告では、平成21年度に行った各機器の技術開発およびその成果について報告した。

SMES

電力システムの安定度向上方策として、2GJ級 SMES の技術開発を行っている。

前プロジェクトにおいて行った 2GJ 級 SMES の設計結果から、コイルに加わる最大フープ応力 600 MPa を確認するための試験を行っている。φ250 mm コイルを製作し、11 T マグネット内で通電試験を行った。このコイルにおいて通電電流 214 A、560 MPa までの電磁応力に対する耐性を確認した。引き続き試験を行い中間目標である 600 MPa を達成する。さらに、素線絶縁を施した 4 本の Y 系線材を、積層した集合化導体を用いて φ600 mm 級コイルを製作し（図 1 参照）、2 kA 超の通電特性を確認した。

この他、コイル伝導冷却技術開発においては、冷却系の冷媒フロー設計を進めるとともに、コイル発熱を伝導冷却する技術について目標値である 3 W/m^2 を達成したことを確認した。さらに、SMES システム検討において、Y 系集合導体コイルのクエンチ現象を解析評価する方策として、並列する素線の電流分布を解析する方法について検証を行っている。

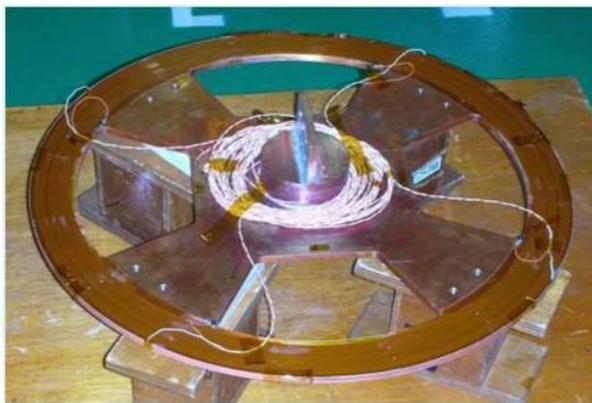


図 1 4本積層導体を用いたφ600 mm級のコイル

電力ケーブル

コンパクトで大容量の送電を可能とする 66kV5kA 大電流ケーブルおよび 275kV3kA 高電圧ケーブルの技術開発を行っている。

大電流ケーブルの開発では、過電流を通電した際の熱特性について検証を行った。過大な電流を

Cu フォーマおよび超電導線材周りのCu メッキ層に流すことにより超電導線材の温度上昇を抑制する。事前のシミュレーション結果に基づき設計を行い、ケーブルの試作・評価を実施した。31.5 kA-2 秒を通电した際、超電導線材の温度上昇は 163 K であり、シミュレーションにほぼ合致する結果であった。この他、実際のケーブルのスパイラルピッチをパラメータとした線材機械特性を検証するため、製造ラインにおいて Y 系線材を一部用いて 10m 3 相一括ケーブルコアの機械試作を行った。(図 2 参照)



図 2 試作した 3 相一括 10m ケーブルコア

一方、高電圧ケーブルの開発では、絶縁材料の評価、終端接続部の開発、交流損失の低減、63 kA-0.6 秒の過電流対策などの技術開発を行った。(図 3 参照) 特に、交流損失については、MOD 法による線材を用いた超電導導体の試作・評価を行った。68.7 K の過冷却下において $I_c=9200$ A、交流損失 $0.235\text{W/m}@3\text{kArms}$ を達成した。(表 1 参照)



図 3 IBAD-MOD 線材による導体

表 1 導体の仕様

導体仕様	Cu フォーマ $\phi 25.5$ mm 2-layer, 46 tapes TFA-MOD YBCO 3 mm
導体 I_c	4700 A (77.3 K) 9200 A (68.7 K)
交流損失@3 kA	0.235 W/m($I_t/I_c=0.46$)

変圧器

コンパクト、高効率かつ不燃を特長とする 66/6kV 20MVA 級配電用変圧器の技術開発を行っている。変圧器巻線技術においては、3 層積層 Y 系線材によりモデルコイルの試作・試験を行った。同モデルコイルの巻線は、各線に流れる電流を均流化するためにコイルの途中で線材を転位させ、過電流に対する巻線の健全性について検証を行った。また、今回の変圧器開発の特徴である限流機能の付加について、限流モデル変圧器の試作・評価を実施した。(図 4 参照) 超電導クエンチ時の巻線に流れる電流挙動を確認するため、一次・二次ともに主巻線に加えて、計測用として補助巻線を

追加した4巻線構造の限流モデル変圧器を構成し、二次側を短絡した状態で、短絡電流の抑制について検証を行った。短絡電流は、一次側の電流値 1200 A の計算結果に対して、43 A (約 1/30) へ限流できることを確認した。

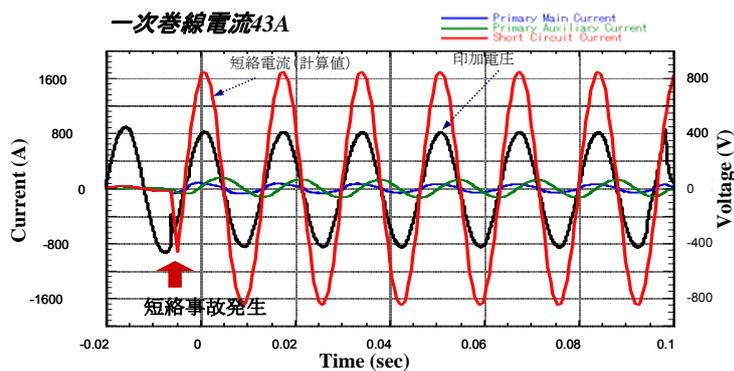
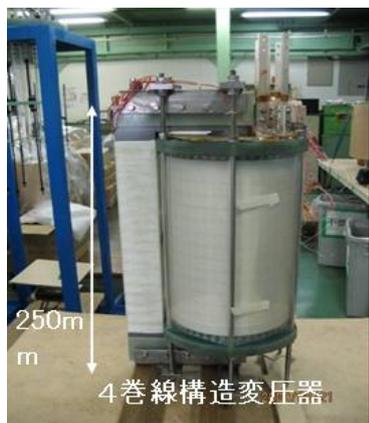


図4 限流モデル変圧器 (左) による試験結果 (右)

謝辞

本稿で紹介した研究成果は、独立行政法人新エネルギー・産業技術開発機構 (NEDO) からの受託によるものです。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会報告

「Bi 系超電導ケーブル実証と今後の期待」

東京電力株式会社
技術開発研究所超電導技術グループ
主任研究員 三村智男

東京電力が推進している Bi 系超電導ケーブル実証プロジェクトの概要・進捗状況ならびに今後への期待について技術開発研究所の原所長から報告がなされた。

報告内容としては、ケーブル開発の意義、東京電力での研究開発内容、Bi 系超電導ケーブル実証プロジェクト内容、超電導ケーブルの実用化といった 4 点から構成される内容であった。

まず、超電導ケーブル開発意義としては、三心一括型構造のケーブルによるコンパクト性や大容量送電、既設管路流用可能等のメリットから建設費削減が可能と想定される点があり、さらに、CO₂削減効果も期待できる点があげられている。具体的に通常の CV ケーブルによる送電と比較した場合、CV ケーブルが必要とする洞道建設費が超電導ケーブルでは管路建設費となり、大幅な建設費の削減が可能となり得る試算結果が示された。

これまで、東京電力は住友電工とケーブルの研究開発を進めてきており、電力中央研究所横須賀研究所において、100 m ケーブルシステムによりケーブルの健全性を確認する試験を 1 年間実施した実績があるものの、電力系統実適用を考慮すれば、より一層の線材性能向上が必要との判断がなされた。

この試験結果を受け、住友電工は Bi 超電導線材の高性能化に取り組み、100 m ケーブル製造時には 50 A (4 mm 幅) の臨界電流値を約 4 倍程度に向上させた。このような線材性能向上に伴って、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の協力を受け、Bi 系超電導ケーブル実証プロジェクトを推進することとなった。

Bi 系超電導ケーブル実証プロジェクトの開発目標は、66 kV、200 MVA 級の三心一括型超電導ケーブルの実現、コンパクトでかつ、交流損失を 1 W/m に抑制する低損失化技術の確立、さらには、事故電流に対するケーブルの健全性の検証がある。プロジェクトは平成 19 年からの 6 カ年計画であり、試験場所は東京電力-旭変電所と決定されている。本年度は冷却システムの検証を経て、2011 年秋から 1 年間の実系統連系試験を実施する予定としている。

ケーブル開発実績のある Bi 系線材を用いた実用レベルの超電導ケーブルシステムを早期に開発し、実系統での長期運転をすることで、ケーブル性能の実証を図り、これと平行し高い線材性能ポテンシャルを有するイットリウム系線材については、より高性能かつ低コストなケーブル開発をターゲットとする棲み分けを行っている。

今後の東京電力としての期待については、洞道建設費を削減することを目的とした湾岸火力発電所からの都内導入系統ケースに加えて、既存の大容量ケーブルの経年化対策としても期待が持たれており、例えば POF (Pipe-type Oil Filled Cable) ケーブルや内部水冷 CV ケーブルのリプレース等が考えられる。超電導ケーブルの実用化のためには、超電導線材や冷却システムのコストダウンの技術開発の解決が不可欠であることから、今後、イットリウム系機器開発プロジェクトとタイアップしながら、これらの解決を図っていくことが重要である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会報告

「超電導デバイスのミックスドシグナル応用」

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所低温デバイス開発室
室長 日高睦夫

自然界にある信号は連続量のアナログ信号である。これに対してコンピュータなどの情報処理装置内の言語は、離散値のデジタル信号である。ミックスドシグナル回路とは、アナログ、デジタル双方を取り扱う回路であり、具体的にはアナログ信号をデジタル信号に変換するアナログ/デジタルコンバータ (ADC)、およびデジタル信号をアナログ信号に変換するデジタル/アナログコンバータ (DAC) がある。

超電導デバイスを用いたミックスドシグナル回路の第一の利点は、超電導回路の高速性を用いることにより、並列化を用いずとも高性能が実現できることにある。半導体ミックスドシグナル回路では、性能を上げるために並列化を多用している。並列化というのは、例えば ADC におけるサンプリング周波数を上げるために測定する位相をずらした複数の ADC を用いて測定を行い、測定結果を重ね合わせることで実効的にサンプリング周波数を増加する手法である。この手法の問題点は、使用する ADC の特性が高い精度で一致していることと、位相制御の確度が高いことが必須であり、これらの条件が満たされない場合は変換された結果が信頼できないものになってしまうことにある。一般にデバイスの速度と並列度が高くなればなるほど、これらの条件を満たすことは難しくなる。

超電導デバイスのもう一つの利点は、超電導に特有な量子効果を用いることによって、より簡単な回路構成ができることである。高速 ADC であるフラッシュ型 ADC は、信号の“1”、“0”を判定するコンパレータと各コンパレータに信号を分配する抵抗ラダー回路で構成される。超電導 ADC では周期的な 2 進数の変化を超電導量子干渉計 (SQUID) の周期性を利用して測定することができるため、 n ビットの ADC を実現するために最低 n 個のコンパレータが必要である。これに対して、周期性を持たない半導体コンパレータでは n ビットの ADC を行うために最低 $2^n - 1$ 個のコンパレータが必要となる。例えば 6 ビットの場合、半導体では 63 個のコンパレータが必要になるのに対して、超電導回路では最低必要なコンパレータは 6 個である。

ISTEC では、NEDO の委託を受けて高速光波形を観測するリアルタイムオシロスコープ用フラッシュ型 ADC を開発しており、並列化無しで半導体 ADC を大きく上回る 34 GS/s のサンプリング速度を達成している。高精度 ADC でも超電導デバイスの優位性は際だっており、米国 HYPRES 社はバンド幅 10 MHz で 14 ビットを越える ADC を冷凍機に実装し 1 ラック化した装置を開発している。また、超電導 DAC は、国家標準に使えるほどの高い精度が特徴であり、ISTEC は産業技術総合研究所と共同で超電導 DAC を用いたパルス駆動型交流電圧標準装置を開発している。

以上説明したように、超電導デバイスは半導体デバイスに比べて遙かに簡単な回路でミックスドシグナル回路が構成できるため、我が国の科学技術を支える極めて信頼性の高い ADC や DAC の実現が期待されている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会報告

「高温超電導 SQUID を用いた先端バイオ・非破壊センシング技術の開発」

九州大学システム情報科学研究院
超伝導センター
教授 円福敬二

科学技術振興機構の「戦略的イノベーション創出推進事業」において、「超電導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出」をテーマとしたプロジェクトが開始された。その中の一つのテーマが、「高温超電導 SQUID を用いた先端バイオ・非破壊センシング技術の開発」であり、九州大学、日立製作所、日立ハイテクノロジーズ、(財)国際超電導産業技術研究センター、岡山大学、豊橋技術科学大学の6機関の共同研究により研究課題を推進していく予定である。SQUID は超高感度な磁気センサとして知られており、その高感度性を用いた、従来に無い高性能性と新機能を有する先端センシングシステムの開発に期待が寄せられている。産業応用への展開を可能とするためには、HTS-SQUID システムの開発が不可欠であるが、作製プロセス等が未熟なため、その潜在的な性能は充分には引き出されていないのが現状である。従って本プロジェクトでは、低温 SQUID に匹敵する高感度性と高い信頼性を持つ HTS-SQUID システムを開発し、産業応用への展開を図ることを目標としている。

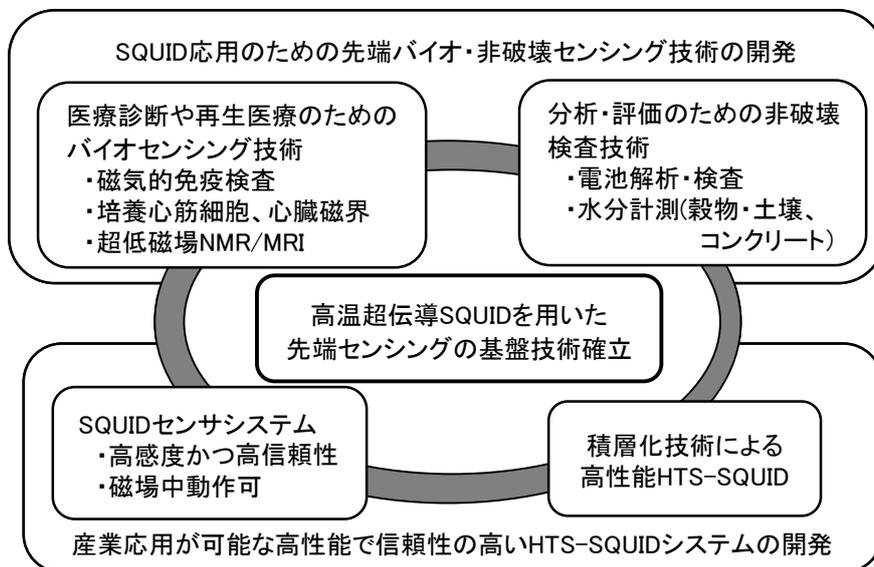


図 研究課題の概要

本プロジェクトの概要を図に示す。目標の一つは、産業応用が可能な高性能で信頼性の高い HTS-SQUID システムの開発である。このために、これまで開発してきた積層化 SQUID を高度化し、高感度で耐磁界特性に優れた HTS-SQUID システムを開発する。また、雑音除去法や磁界補償法などを高度化し、磁界中動作が可能なセンサシステムを開発する。

もう一つの目標は、SQUID を用いた先端バイオ・非破壊技術の開発である。すなわち、医療診断

や再生医療のためのバイオセンシング技術を開発し、免疫検査、培養心筋細胞検出、心磁検出、および超低磁界 NMR/MRI への応用展開を図る。また、エネルギー分野で重要となる電池や農業分野で重要となる水分の分析・評価のための非破壊検査システムを開発する。

これらのプロトタイプの開発・評価を通して、HTS-SQUID センシング機器の基盤技術を確立することを目標としている。超電導システムの実現のためには、産学が連携し、それぞれの特徴を生かして互いに補完しあう共同研究が重要となるが、本プロジェクトにより実りのある共同研究を実施して行きたいと考えている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会報告

「機器用 Y 系線材の加工・評価技術の進展」

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所材料物性バルク研究部
特別研究員 中尾公一

Y 系線材は通常幅 5 mm ないし 10 mm の金属基板上にテープ線材として製造される。表面には安定化のために数 10 ミクロン厚の銀層がつけられている。この形状で完成した Y 系線材と見なされるわけであるが、実際に機器に応用するためには、機器の要請に応じてさらに加工を加えることが必要である。加工の内容としては、安定化層を追加する加工や、絶縁加工、接続や補修など多岐にわたっている。この稿ではその中で特に交流損失低減のための細線化加工およびそのための評価技術の進展について報告する。

超電導体は交流電流や交流磁界により、いわゆる交流損失を発生する。この現象は超電導線材の優位性を損なうので、極力低減しなければならない。交流損失の種類としては、ヒステリシス損、結合損、常電導部分における渦電流損などがある。交流損失の大きさは線材が機器の中でどのような環境におかれるかで決まるので、実際の機器のデザインが決まらない限り正確には評価できないし、交流損失が許容範囲にあるかどうか決められない。ヒステリシス損はほとんどすべての機器において問題になるが、これを低減するためには線材を細線化することが必要である。線材を長手方向に細線化することにより、理想的には全臨界電流値を維持したままヒステリシス損を低減する事ができるはずである。細線化の手法としては元のテープ線材を多数本のフィラメントに切断する方法もあるが、Y 系線材の特徴を生かし、金属基板はそのままに残して、超電導層（及びその上の銀層）のみに“筋”を入れて実質的に細線化する方法も有力である。このやり方をスクライビングと呼んでいる。

Y 系線材の細線化技術は本格的交流機器応用にあたっては必ず必要になるが、世界的にも、まだあまり進展していないのが現状である。その中で超電導工学研究所においては、NEDO プロジェクト「リチウム系超電導電力機器技術開発」の基盤となった前身プロジェクトにおいて、すでに技術開発を開始している。細線化の手法としてはいくつか検討されているが、現段階で最も実用化に近いと考えられているのがレーザー照射と化学エッチングを組み合わせた方法である。この方法を用いて、最終的には 5 mm 幅 100 m 長の線材を 10 分割し、ヒステリシス損を 10 分の 1 に低減することが本プロジェクトの目標である。（現状は、中間目標である 5 mm 幅 50 m 長の線材の 5 分割に成功している）

細線化技術を効率的に開発するためには加工プロセス前後で、均一線材作製技術や長尺線材評価技術もあわせて開発する必要がある。超電導工学研究所では従来から長尺線材の評価法として、ホール素子法、SQUID 法、磁気光学法などを開発してきたが、最近さらに細線化技術開発を支援するために、レーザー走査型形状検査法及び長尺線材交流磁化率測定法を開発して、細線化技術開発の効率化を図っているところである。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会報告

「新超電導体とその関連機能の探索と線材応用」

東京工業大学
フロンティア研究センター・応用セラミックス研究所
教授 細野秀雄

本プロジェクトの背景

鉄は磁性元素の代表例であり、これまで超電導の発現には最悪の相性と信じられていた元素である。その鉄の化合物で、銅酸化物を除くと最高の T_c が得られ、最も磁界に強い特性が見出されている。このような結果を筆者も含め 3 年前に予測できた研究者がいたであろうか？物質の多様性と可能性は我々の想像を遥かに超えるものだと驚嘆せざるを得ない。

超電導は数ある固体の電子物性の中でも最も現象が劇的で明快で、性能が向上すれば産業応用へのインパクトも絶大である。超電導が多くの研究者を魅了し続けるゆえんである。暫く踊り場状態であった超電導の研究は、鉄系の発見を契機に、世界で一斉に活発化しつつある。特に中国のラッシュはすさまじく、高額な超電導の物性測定装置が、日本市場を遥かに超える台数で既に発注されている。「新しい画期的な超電導物質が発見されるとしたら、日本か中国だ」というのは超電導の理論家 M.L. Cohen 博士の有名な予言である。

2008年2月に我々のグループが発表した鉄ニクタイト系超電導体は、これまでに 1500 報もの論文が既にジャーナルに発表になり、世界各国で特別プロジェクトが相次いで発足し、熱いレースが繰り広げられている。 T_c の最高値は 56 K で、これは金属系を抜いて銅酸化物系に次いでいる。特性の優れた超電導物質の発見は、CO₂ 削減などエネルギー・環境課題の解決に大きな貢献ができること、また、今回の発見で、候補物質にタブーが消失し、物質探索の地平線が大きく拓けた。野心に満ち溢れた研究者が

「鉄は熱いうちに打て」のごとく、フロンティアの開拓に参入しつつある。

この鉄系超電導物質は、JST 支援の下で筆者が過去 10 年間集中してきた透明酸化物の機能開拓の研究の過程で発見されたものである(図1)。本命の課題では、透明アモルファス酸化物半導体(TAOS)という室温のスパッターリングで容易に作製でき、しかもアモルファスシリコンよりも1桁高い移動度をもつ物質を創ることができた。TAOSを用いたTFTは3

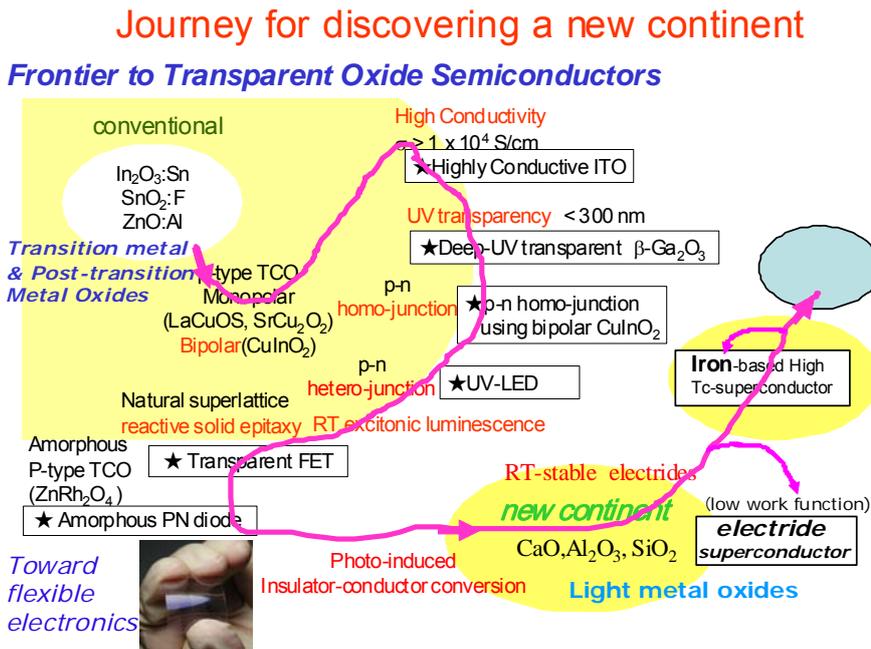


図1 透明酸化物の機能開拓

D-LCD や OLED などこれから立ち上がろうとしている FPD の駆動用のバックプレーンとして、内外の企業群によって、実用化が目前になっている。材料研究には狙いを定めたものだけでなく、思い切った探索の過程で出てくる serendipity や発想を、うまく活かすことがキーだと考えている。

本プロジェクトの目指すものと特徴

設定した目標は以下の通り。

【物質・機能探索】

- a. $T_c > 77\text{ K}$ の新超電導物質の実現
- b. 全く新しい物質的に広がりのある高温超電導物質の発見
- c. 際立った機能の発見
- d. 革新的機能物質の探索ができる若手エースの育成

【線材応用】

- a. 低温で 10^5 A/cm^2 以上の臨界電流密度 (J_c) を示す鉄系及び新超電導物質のメートル長級線材の実現
- b. 鉄系及び新超電導物質薄膜を用いたジョセフソン接合、デバイスの実現

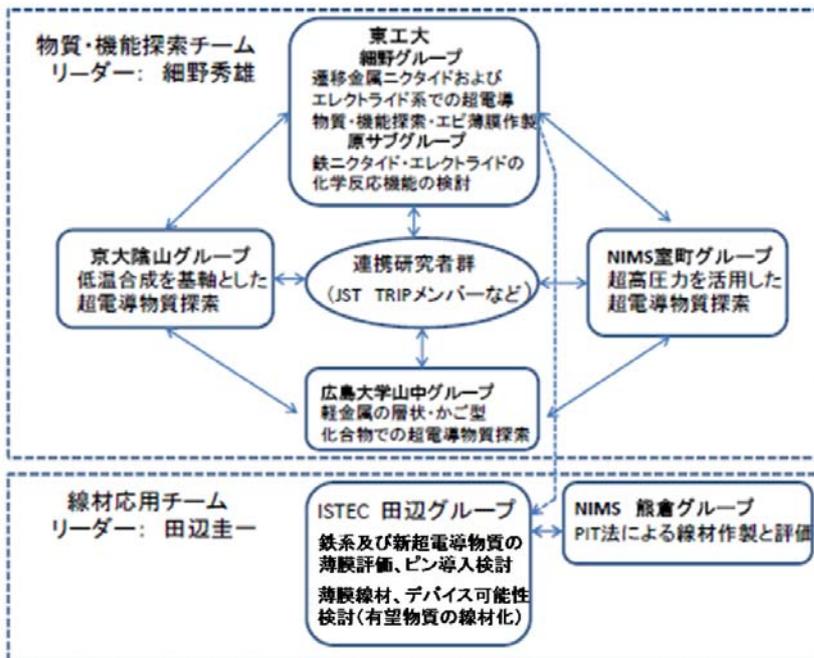


図2 研究体制

秋光先生の超電導物質探索に関する経験則「一生懸命探索すればするほど T_c は下がる」も持ち出すまでもなく、高温超電導物質の探索は、研究者の勘と運動量と執念に頼らざるを得ないのが現状である。そこで、探索チームは、新物質探索で実績のある固体化学のエキスパートをグループリーダー（広島大 山中昭司、NIMS 室町英治、京大 陰山 洋、および東工大 細野）として、チーム編成を行った。物性測定や物性理論と物質探索とは両輪であるが、前者については JST の特別プロジェクト「新規材料による高温超伝導基盤技術 (TRIP)」(研究総括 福山秀敏先生) との連携などで、バランスをとっていきたい。

線材応用については、薄膜線材とデバイスについては、ISTEC (田辺圭一 SRL 副所長) が、PIT 法による線材については、NIMS (熊倉浩明 超伝導材料センター長) が担当する。

物質探索の醍醐味の一つは、目的以外の新機能が見つかり、しかもインパクトが当初よりも大きい場合に遭遇する可能性があることである。未知の物質系や物性のわかっていない物質を数多く調べていくので、柔軟な方針で邁進したいと思っている。

特集：超電導技術動向報告会報告

「地球環境問題と超電導電力機器関連国際標準化」

九州工業大学
大学院情報工学研究院
教授 松下照男

現在、地球環境問題の解決のために世界中で排出する CO₂ の削減が不可欠なものとして叫ばれている。そうした方法の一つが CO₂ の排出を伴わない原子力エネルギーや自然エネルギーの利用であり、もう一つが排出を大幅に削減できる高効率化技術の発展・普及である。超電導技術は電気抵抗がなくなる特性を活かしたもので後者に属するが、前者の自然エネルギーの利用促進にも大きく寄与するという特長を有する。すなわち、太陽光や風力のエネルギーで発電された電力の電圧変換、輸送、蓄積といったことを低損失で実現し、効率よいエネルギー利用を目指すスマートグリッドに不可欠な技術であると言えよう。

現在、国内外で開発されている超電導電力機器として超電導電力ケーブル、超電導変圧器、超電導磁気エネルギー貯蔵装置、限流器、回転機などがある。こうした電力機器が多く製造され、使用されるようになるのは 2020 年代になってからと考えられるが、そうした状況を見越して、超電導電力機器の国際標準化は待ったなしの時期にさしかかっていると見えよう。標準化とは国際的に共通の価値観や原理で商取引を行うためのものであり、メーカーにとって生産性を向上させ、また新規参入を促進し、ユーザーにとって価格低下と利便性向上などのメリットをもたらす。ただし、こうした標準化の効果が市場において発揮されるまでにはスタートから 10 年近くかかることを認識しなければならない。10 年後以降に超電導電力機器の普及が期待される今、標準化が急がれる理由はここにある。

超電導関連技術の標準化は IEC (International Electrotechnical Commission) の 90 番目の技術委員会 (TC90) で取り扱われており、11 カ国が直接関与し、それにオブザーバーとして 15 カ国が参加している。その中で日本は幹事国として、国際標準化の推進に大きく貢献してきている。これまでに作成された国際規格は用語と 13 の試験法規格であり、近い将来、初めての製品規格として電流リードの規格が誕生する予定になっている。そして、現在、もっとも注目されるものが超電導電力ケーブルであるが、CIGRE (国際大電力システム会議) で検討がなされており、2 年後にその報告を待って規格化に着手できる見通しである。なお、超電導電力ケーブルを初めとして様々な超電導電力機器には超電導線が使用されることから、その規格化も急がれる。しかしながら、すでに市場がある金属系超電導線と、今後伸びていくと期待される高温超電導線との間で規格を一本化するかどうかについて、国際的な意見の違いが生まれており、国際化の難しさを語っている。

今後は、有力な超電導電力機器の規格化を目指して調査研究を行いながら、規格化の有意義さを各国に粘り強く働きかけるとともに、タイミングを計って規格化の提案を出していかなければならない。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導技術動向報告会報告

「超電導で叶える低炭素社会」

独立行政法人 科学技術振興機構
理事長 北澤宏一

国の長期計画にはいくつか段階別の目標が必要である。低炭素社会の実現には化石燃料からの脱却とエネルギーの国産比率向上を目指して 30年、50年の計画となる。超電導は日本の計画に長期にわたる彩りを添え、ゴールのイメージを高める。

日本は 1970-80 年代、製造業がプロセスの徹底的省エネ化を行った。このため現在も、GDP あたりの炭酸ガス排出量において日本は世界最少レベルにある。この技術によって日本は世界の炭酸ガス排出削減に大きな貢献を果たすことができる。欧州は、製造業というよりもリサイクルや家庭の省エネ努力が日本より進んでいる。また、再生可能エネルギーの受入が進んでいる。

一方、20%ずつという世界最大の炭酸ガス排出量の状態にある米中も、遅ればせながらグリーンイノベーションへの道を走り始めた。ねらいとしては、省エネ・新エネ技術において欧州や日本を一気に凌駕する徹底した技術開発投資を行い、風力エネルギーにおいても 2000 万 kW 単位の開発計画（山峡ダムの電力会社）などを持つほどである。

我が国は先行する欧州、守旧派から先頭グループへのイメージチェンジをねらう米中との狭間で揺れ動いていたが、新成長戦略が明らかになるにつれて各省の計画が新しい世界情勢にあわせたものになっていくものと期待する。

超電導はこのような情勢の中で、大型風力発電機や船舶用動力の効率アップ、電力都市幹線ケーブルの地中埋設化などへの適応が検討される状況となっている。このためには交流損失などの基盤技術の確立と、冷却を含む信頼性の向上が必要である。

しかしながら、超電導最大の特色はやはり抵抗が完全にゼロということである。その特色は 1000 km を超える超長距離になるほど発揮される。風力や太陽光など、自然エネルギーの最大の問題は昼と夜、風のあるなしに左右されることであり、地球規模で電力の融通ができるようになったときに本質的な解決が図られる。その意味で超電導グローバル電力網（GENESIS）計画、サハラ・ソーラーブリーダー計画などのゴールを目指して、グリーンイノベーションとしての超電導技術の進展が望まれる。

一方、現在、地球の地磁気喪失が話題となっている。地磁気がなくなると地球表面には電荷を帯びた宇宙線が届くようになり、人類は生きていくことができなくなるとされる。赤道周辺を巻く超電導永久電流ループはこの危険から人類を救うことができる。技術的には、かなり大変ではあるが、世代を超える努力により可能と言える規模である。未来に向けて、日本の先端技術に投資していく必要がある。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 7-8月の催し物案内

6/29-7/1

DOE 2010 Superconductivity Peer Review

場所：Norfolk, VA, USA

問合せ：<http://www.htspeerreview.com/index.html>

7/2

超電導エネルギー貯蔵研究会「第22回超電導電力貯蔵研究発表会」

場所：東海大学校友会館 霞ヶ関ビル 35階

問合せ：<http://www.rasmes.com/>

7/9

日本真空協会関西支部&日本表面科学会関西支部合同セミナー2010 「CO₂削減に必須の水素自動車・水素社会実現に向けたインフラ開発」

場所：神戸大学百年記念館 六甲ホール

問合せ：<http://www.sssj.org/Kansai/goudou100709.html>

7/16

第1回超電導応用研究会シンポジウムのご案内「コンセンサス標準と超電導国際規格」

場所：住友電気工業(株) 大阪製作所 研究講堂

問合せ：http://www.csj.or.jp/application/2010/1st_0716.pdf

7/19-23

ICEC 23-ICMC 2010 : International Cryogenic Engineering Conference & International Cryogenic Materials Conference

場所：Wroclaw, Poland

問合せ：<http://www.icec-icmc.wroc.pl>

7/23

2010年度第2回関西支部講演会・見学会のご案内「超電導応用機器開発・製造の最前線」

場所：株式会社 神戸製鋼所 神戸総合技術研究所 4号館 2F 大会議室

問合せ：http://www.csj.or.jp/kansai/2010/2nd_0723.pdf

8/1-6

2010 Applied Superconductivity Conference

場所：Washington, DC, USA

問合せ：<http://www.ascinc.org/>

8/30-31

東北・北海道支部第15回超伝導・低温若手セミナー テーマ：ここまで進んだ超伝導(3)

場所：洞爺湖温泉洞爺パークホテル天翔

問合せ：http://www.csj.or.jp/tohoku/2010/15th_Jr_Seminer_0830.pdf

第12回(2010年度)サー・マーティン・ウッド賞受賞候補者推薦要項

1. 趣旨 凝縮系科学に係わる若手研究者に対して研究のインセンティブ、モチベーションを与えます。
2. 対象分野 広い意味の凝縮系科学(例:凝縮系物理学、無機・有機固体化学、材料科学、表面・界面科学)
3. 候補者 日本における研究機関で、凝縮系科学における優れた業績をあげた40歳以下(2010年4月1日現在)の若手研究者。国籍は問わない。
4. 賞の内容 受賞は原則として毎年1件とし、受賞者には賞状、賞金50万円と英国のいくつかの大学への講演旅行の機会が与えられます。
5. 推薦依頼先 関係専門分野の有識者、関連諸学会
6. 推薦件数 各推薦者から一件とします。
7. 推薦方法 所定の推薦用紙に必要事項をご記入の上、下記事務局にお送り下さい。自薦も受け付けております。自薦、他薦共に、候補者の業績内容を最も良く理解していると考えられ、当方より問い合わせ照会のできる2名の方(推薦者以外の方)の氏名、所属、肩書き、連絡先を記入して下さい。
8. 締切期日 **2010年8月1日(日)消印有効**
9. 選考 サー・マーティン・ウッド賞選考委員会にて審査、選考します。
10. 決定 2010年9月の予定です。
11. 賞の贈呈 2010年11月に英国大使館で行う予定です。
12. 推薦書提出先及び連絡先
〒135-0047 東京都江東区富岡2-11-6 オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社内
ミレニアム・サイエンス・フォーラム事務局 <http://www.msforum.jp/>
TEL:03-5245-3871 FAX:03-5245-4466 E-mail: msf@oxinst.com

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (5/19-6/17)

- 経済省、公益 50 法人見直し 事業仕分け第 2 弾後半戦 徹底して無駄排除 産業界への影響懸念 5/19 日刊工業新聞
- エネ革新技術 工程表見直し着手 経産省 風力など追加検討 5/19 電気新聞
- 洋上風力発電 東電など銚子市沖で実証 5/19 Fuji Sankei Business i.
- 東電が洋上風力発電 実験 NEDO と国内初 5/20 日本経済新聞
- 電線 海外生産拡大に傾注 5/20 日刊工業新聞
- 面心立方型セシウム添加 C60 高圧下、35 K で超電導 英ダーラム大など確認 5/20 日刊工業新聞
- 東電 千葉で洋上風力発電 2000 キロワット、NEDO と実験 5/20 日経産業新聞
- フラーレン 超電導の条件 解明 高輝度研や理研 電子の状態から判断 5/20 日経産業新聞
- 陽子線治療装置 入射器、磁石使わず 三菱電、ビーム高品質に 5/20 日経産業新聞
- 風力発電、国内寒風 騒音問題・政府支援は不透明 日本風力開発 タイ進出 海外に主軸移す 開発撤回の動きも 5/20 日経産業新聞
- 国際標準化を後押し 自動車・先端医療など 7 分野 政府の知的推進計画 専門家育成も急ぐ 5/21 日経産業新聞
- 地球温暖化対策で膨らむ 電力 5/21 日刊工業新聞
- 次世代送電網・エネ分野の研究 日立・カナダ州政府 協力 CO₂ 地下貯留など実験 5/22 日本経済新聞
- 次世代送電網の制御技術 東大・東芝など実験 経産省主導 20 億円投入 5/22 日本経済新聞
- 環境事業 1000 億円規模に 日立 カナダ州政府と協力合意 5/22 Fuji Sankei Business i.
- 科学技術政策 司令塔を一本化 政府、6 本部統合へ 予算重複防ぐ 5/23 日本経済新聞
- 競輪補助事業「廃止」仕分け 5/24 読売新聞 夕刊
- 次世代送配電網 産学で基礎技術確立 東電など 28 法人が実証 系統、需要双方で検討 5/24 電気新聞
- 国際標準化獲得で産業競争力強化 知的戦略本部が「推進計画 2010」策定 エネ制御・次世代自動車など技術・規格 5/24 日刊工業新聞
- 途上国への技術支援 削減計画に反映 経産省が温暖化対策メカニズム 得意な発電技術移転 CDM の問題点 5/24 Fuji Sankei Business i.
- 公営ギャンブル「見直す」 枝野氏 問題点洗い出しへ 事業仕分け 12 事業を「廃止」 5/25 朝日新聞
- ISTEC 最新の成果 11 件報告 超電導技術動向報告会開く 5/25 電気新聞
- 経産省 グリーン関連が柱 産業技術で中期方針 5/25 電気新聞
- 電線工業会 新会長に吉田氏選任 最優先課題に” 法令順守” 5/25 電気新聞
- 温暖化対策 革新促す 経産省が「技術戦略マップ」 二次電池追加 5/25 日刊工業新聞
- 競輪補助金を廃止 刷新会議 事業仕分け 産業界への影響懸念 5/25 日刊工業新聞
- 洋上風力発電が本格化普及の突破口となるか 5/25 Fuji Sankei Business i.
- 技術革新で経済成長 経産省が産業技術政策骨子 5/26 日刊工業新聞
- 東北 2 県に風力新設 北本連係はバックアップ敷設 Jパワー 設備・送電網増強 5/26 日刊工業新聞
- 「競輪補助金」見直し 機械振興補助存続の道探る 5/26 日刊工業新聞
- 天下り公益法人の金にメス 民間対象、官僚後ろ向き 37 事業「廃止」実効性は「？」 仕分け

第2弾終了 5/26 読売新聞

- 風力発電の団体統合 162社、普及策拡大働きかけ 5/27 日経産業新聞
- 次世代送電網 日立、大崎電気と連携 通信・メーター技術 融合 5/27 日本経済新聞
- 経産省 洋上風力の可能性調査 大規模発電向け 民間後押し 5/27 Fuji Sankei Business i.
- NEDO エネ貯蔵技術で協定 米アルゴンヌ国立研と 蓄電池の連携加速 5/27 日刊工業新聞
- 東電・東大 洋上風力発電研究 千葉に観測タワー 来年度 沖合で竣工法など調査 5/27 日刊工業新聞
- 商機 スマートグリッド 企業続々 期待が先行 16兆円負担誰が 5/27 朝日新聞
- 次世代送配電システム 検討会が初会合 テーマ別、2WG 設置 5/28 電気新聞
- 総合科技会議 環境・医療で雇用創出 科学政策の基本方針案 最先端研究支援プロ課題 一般・専門向け2シンポ 5/28 日刊工業新聞
- 電力網の安定化議論 経産省、本格導入へ検討会 5/28 日刊工業新聞
- 風力特許乱用で米GEを提訴 三菱重工 5/29 日経産業新聞
- 無駄あぶり出し 道半ば 政権の目玉 事業仕分け終了 政治主導を実現 参院選対策の影 財源捻出期待外れ 骨抜きのみ 復活も 5/30 朝日新聞
- CO₂「輸入」日本2位 製造国・地域での排出量 5/30 毎日新聞
- 投資・環境で協力強化 日中韓首脳が共同文書 FTA、壁は高く 5/30 日本経済新聞
- 熱発電モジュール 300度Cの高温に対応 産総研など開発 5/31 日刊工業新聞
- 生産増、目標149兆円 経産省ビジョン 5分野を強化 5/31 朝日新聞
- インフラ輸出 環境など5分野 10年で149兆円市場創出 経産省成長戦略案 雇用258万人増 5/31 日本経済新聞
- 洋上風力 英13兆円旋風 巨大市場誕生 重電系が照準 海洋エネルギー最前線 6/01 Fuji Sankei Business i.
- 影薄い日本勢 受注出遅れ 6/01 Fuji Sankei Business i.
- 競争力強化で雇用258万人 2020年までに 産業構造ビジョン決定 6/02 読売新聞
- 新幹線、神奈川に新駅 JR東海 27年のリニア開通後 通勤利用にらむ 6/02 日本経済新聞
- 経産省 149兆円の市場を創出 産業構造ビジョンまとめ 6/02 電気新聞
- 新幹線に新駅 神奈川で検討 JR東海、リニア控え 6/03 朝日新聞
- 産業ビジョン公表 6/04 日本経済新聞
- 製品基準の共通化 議論 自由貿易圏へ布石 6/04 日本経済新聞
- 再生エネ 巨大市場続々 大規模化で基幹電力へ 6/04 日経産業新聞
- 三菱重工 環境・エネに重点 受注、14年に7割増めざす 6/04 日本経済新聞
- リニア新幹線「直線」有力 山梨が国に要望、長野反対せず 6/05 読売新聞
- リニア新幹線 長野「直線」も許容 ルート選定 従来姿勢から転換 6/05 毎日新聞
- リニア直線 異論出ず 長野、小委に結論委ねる 6/05 朝日新聞
- 経産省 30年の削減目標提示 エネ基本計画 90年比3割減 6/07 電気新聞
- 原子力機構 磁気で超電導を制御 通常に比べ100万倍安定 6/07 電気新聞
- 岩谷産業がヘリウムガス輸入 カタールから権益を取得 6/08 Fuji Sankei Business i.
- 原子力機構・東北大・IBM 磁気で超電導制御 量子コンピューターに道 6/08 日刊工業新聞
- 温暖化基本法案 廃案へ 「25%削減」仕切り直しに 6/08 毎日新聞

- 電子スピン制御 超電導アルミで 原研や東北大 6/08 日経産業新聞
- 中性子多い放射性同位元素 新たに 45 種類発見 理研など 6/09 日刊工業新聞
- 30年エネ需給 CO₂排出原単位半減 総合エネ調まとめ 6/09 電気新聞
- 次世代送配電網を解説 体験型の展示館開設へ 韓国電力 6/09 電気新聞
- 2030年にCO₂ 30%削減 90年比 経産省試算 基本計画推進なら 6/09 日本経済新聞
- 新しい医療機器開発・審査短縮へ 日米共同で臨床試験 第1弾 循環器分野の2品目 6/09 朝日新聞
- 室温ガス30%減可能 エネ庁 2030年 計画原案で試算 6/09 日刊工業新聞
- 海外技術 「重い電子」の謎 6/09 日刊工業新聞
- 電力業界 ゼロエミ7割に反対 エネ基本計画 数字合わせ懸念 6/10 電気新聞
- エネ基本計画で温度差 電力業界 責任押しつけを警戒 経産省 「中立的な試算」強調 稼働率9割前提 過剰演出を懸念 6/11 電気新聞
- 菅首相 所信表明 「環境」「福祉」成長の柱に 対アジア インフラ輸出支援 「具体性欠く」指摘も 6/12 朝日新聞
- スマートグリッド 動き出す実証プロ 系統最適化 けん引役は大学 太陽光大量導入後にらむ 6/14 日刊工業新聞
- 住友電工のWinD Lab 異分野の研究 1ヶ所で 6/14 日経産業新聞
- 川重、太陽熱発電に参入 ガスタービンと併用プラント 効率、8割向上 6/14 日本経済新聞
- 次世代送配電網、関心高く スマートメーターリング インターロップ セミナー各地で盛んに 6/14 電気新聞
- 次世代送電網 海外受注へ支援機構 経産省検討 官民で出融資400億円超 6/14 日本経済新聞
- 韓国造船重機大手 風力発電機 相次ぎ新工場 現代重工や大宇造船 受注体制整う 6/14 日本経済新聞 夕刊
- エネルギー権益 確保急務 日本の低い自給率に警鐘 09年度 エネルギー白書 6/15 日本経済新聞
- 2030年 蓄電池寿命1.5倍に 経産省 技術戦略マップ策定 6/15 日刊工業新聞
- 太陽光、風力の導入推進を提言 エネルギー白書 6/15 毎日新聞
- 基礎研究に警鐘 科学技術白書「多様性損失」 6/15 毎日新聞 夕刊
- 風力部品、新興国開拓急ぐ 頼みの国内メーカー生産低迷 「次世代」受注へコスト減課題 6/15 日本経済新聞
- 次世代送配電網実証が始動 産学28者で研究開発 6/15 電気新聞
- 被覆劣化評価など6件 JECTEC 成果報告会開く 6/15 電気新聞
- 物性物理学にも夢を 湯浅新治さん(41) 産業技術総合研究所 ナオスピンエレクトロニクス研究センター長 6/15 毎日新聞
- 燃料電池車500百万円 トヨタ 2015年発売目指す コスト1億円から大幅減 6/16 読売新聞
- ジャワ島送電事業に協力 Jパワーなど日本連合 円借款活用 6/16 Fuji Sankei Business i.
- 温暖化法案 見直し求める声 産業界 廃案にも安堵感なく 6/16 Fuji Sankei Business i.
- 次世代電力網、10テーマ共有 経産省 広範な業種、議論深める 電力・重電・IT・車・住宅 6/16 日刊工業新聞
- 次世代送配電網 ビジョン共有カギ 関連フォーラムが報告書 6/16 電気新聞
- 新成長戦略 外資のアジア拠点誘致 来年度から 補助金や税優遇 法人税率「主要国並に下

げ」 6/17 日本経済新聞

○スマートグリッド 中核に 日本では電力主導の色彩 6/17 日経産業新聞

○米での次世代送電網実証 東芝など 19 社参加 NEDO 6/17 日経産業新聞

○NEDO 米・次世代送配電網実証 委託先、東芝など 19 社 6/17 電気新聞

○新理事長に勝俣氏選任 ISTECS 通常理事会 超電導実用化に意欲 6/17 電気新聞

○次世代電力網 米で実証 NEDO 総事業費 30 億円 委託先を決定 6/17 日刊工業新聞

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き (2010年3-5月)

財団法人国際超電導産業技術研究センター
国際部

部長 津田井昭彦

表彰

Industrial Research Ltd. (2010年3月9日)

ニュージーランド Industrial Research Ltd. の 2 人の研究者、Bob Buckley 及び Jeff Tallon が、同国における高付加価値産業としての高温超電導体技術開発の功績で初の総理大臣科学賞を受賞した。その賞金は 50 万ニュージーランドドルであり、内 40 万ニュージーランドドルは Industrial Research Ltd. の今後の高温超電導技術開発に使われる。受賞者の 1 人 Buckley は次のように述べた。「今回の受賞は、科学がニュージーランドの将来の経済発展に寄与することが認められたことを意味する。我々がなした成果を誇りに思うと同時に、今後 10 年で HTS 技術が世界市場にインパクトを与え始め、それにより今回の成果が実際に利益をもたらすことが明らかになるであろう。」

出典:

“IRL scientists scoop PM’s Science Prize”

Industrial Research Ltd. press release (March 9, 2010)

<http://www.irl.cri.nz/newsroom/media-release/irl-scientists-scoop-pms-science-prize>

Nexans (2010年4月1日)

Nexans は、その超電導限流器により初の Energy Master Award 2010 を受賞した。この超電導限流器をドイツの発電プラント内部電源へ適用したという実績により、「革新技術利用」というカテゴリで受賞した。Nexans の今回の受賞については、スマートグリッドや CO₂ 分離という領域へ限流器が採用される可能性があることもその理由の 1 つである。今回の受賞は一般の人々によるオンライン投票により最終的に決定された。Nexans Superconductors 社専務 Joachim Bock は次のように述べた。「我々の限流器の利用がこれほど大きな関心を集め、多くの人々が我々の製品に投票してくれたことは大変嬉しいことである。」

出典:

“Nexans wins Energy Master Award 2010 for its Superconducting Current Limiter”

Nexans press release (April 1, 2010)

http://www.nexans.com/eservice/Corporate-en/navigatepub_142482_-25031/Nexans_wins_Energy_Master_Award_2010_for_its_Super.html

Superconductor Technologies Inc. (2010年5月18日)

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、その特許が革新的かつ市場を変革する可能性のあるものと認められ「MICO—Bright Lights Innovation Award」を受賞した。この賞は MDB Capital Group 初の Bright Lights 会議で授与されたもので、同会議では米国特許が与えられた 1,600 の中小企業で上位に位置づけられた企業のうち最も革新的な 50 社が紹介される。STI 社社長で CEO の Jeff Quiram は次のように述べた。「知的財産と HTS 積層プロセスを基礎にこれを量産技術へと繋げ、魅力的な世界市場へと参入するという我々の戦略は着実に前進している。我々は今回の MICO 賞受

賞を名誉なことと思っている。今回の受賞は我々の特許力が認められたためである。」

出典:

“STI Receives MICO Innovation Award at MDB’s Bright Lights Intellectual Property Conference”
Superconductor Technologies Inc. press release (May 18, 2010)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1428213&highlight>

電力

American Superconductor Corporation (2010年4月1日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、Vestas Australian Wind Technology Pty Ltd. から大型の D-VAR グリッド接続システムを受注した。このシステムは 24 基の D-VAR モジュールとこれに付随する外部スマートスイッチ制御コンデンサーバンク及び AMSC 固有技術の制御装置から構成される。今回の受注は AMSC 社がこれまで受注したグリッド接続システムの中で最大のものである。Vestas 社は、西オーストラリアで建設が行われている 206 MW 風力発電所を地域グリッドに接続するために求められる要件を満たすためにこのシステムを適用する考え。その出荷は 12 ヶ月以内に行われる予定。AMSC 社海外販売・事業開発担当副社長 Timothy Poor は次のように述べた。「オーストラリアは、電力グリッドに接続される風力発電所に対しダイナミック電圧制御を求めた最初の国々の 1 つである。他の国々も、世界で建設されている実用風力発電所や太陽光発電所から送り出される電力をより効果的に制御するため、今後同様に厳格なダイナミック電圧制御を要求するようになるであろうと我々は考えている。そのような状況になれば、我々にとっての市場はさらに拡大することになる。」今回 Vestas 社から発注を受けた D-VAR システムは、オーストラリアに設置される AMSC 社 8 台目のシステムである。これにより、AMSC 社のシステムを通じ 600 MW の風力発電電力がオーストラリアの電力グリッドに供給されることになる。これはオーストラリアの総風力発電量の 1/3 以上である。

出典:

“AMSC Receives Its Largest Grid Interconnection System Order to Date”

American Superconductor Corporation press release (April 1, 2010)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1408854&highlight

American Superconductor Corporation (2010年4月6日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、インド Ghodawat Energy Pvt. Ltd. から風力発電用電気制御システム 1 式、2,000 万ドル以上の発注を受けた。その出荷は、今年半ばに始まり、2013 年末に完了する予定。今回の受注は、風力発電機用電気制御部品又はシステムに関し最近 12 ヶ月で AMSC 社が受けた 6 番目のものである。Ghodawat Energy 社は、AMSC 社子会社の AMSC Windtec™ 社が設計ライセンスした 2 重連結誘導風力発電機の製造を既に開始している。AMSC 社創業者で CEO の Greg Y urek は次のように述べた。「インドでは風力発電はそのエネルギー構成の中でその比率を今後とも増していくものと考えられている。Ghodawat Energy 社は、発電塔の製造、風力発電機の開発、そして現在は完全な風力発電システムの製造及び建設事業に投資を行っている。これまでの産業上の経験や AMSC 社からの既存技術の導入により、同社は市場の勝者となり得る位置にいるものと確信している。」Ghodawat Energy 社は、最近年間生産量 500 MW 相当の風力発電機製造工場を完成させた。

出典:

“AMSC Receives \$20 Million Order for Wind Turbine Electrical Control Systems from India’s

Ghodawat Energy Pvt. Ltd.”

American Superconductor Corporation press release (April 6, 2010)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1409747&highlight

SuperPower (2010年4月6日)

SuperPower 社と University of Houston は、SuperPower 社が Y 系線材分野での開発を継続するために必要な特許をライセンスするための契約を締結した。1 番目の契約では両者が「Sponsored Research Agreement (SRA)」の下で現在進めている Y 系線材開発に関わるものである。2 番目の契約では、1987 年同大学の Paul Chu が発見した高温超電導体に関する物質の組成基礎特許について取り決められている。SuperPower 社総支配人 Arthur P. Kazanjian は次のように述べた。「過去数年間、我が社は線材開発を Texas Center for Superconductivity 及び University of Houston と協力して進めてきた。今回の“Sponsored Research Portfolio License Agreement”及び“Chu Patent License Agreement”により、我が社は本分野での知的所有権を使って幅広い領域で利用可能な世界レベルの Y 系線材開発をさらに継続して進めることができる。」2009 年 SuperPower 社は製造部門から開発部門を分離し、開発部門の 5 名の研究者及びエンジニアは University of Houston の Venkat Selvamanickam の指揮の下に開発を継続している。また、製造部門及び本社は Schenectady に留まっている。

出典:

“SuperPower and the University of Houston Sign High-temperature Superconductor Wire Licensing Agreements”

SuperPower press release (April 6, 2010)

<http://www.superpower-inc.com/content/superpower-and-university-houston-sign-high-temperature-superconductor-wire-licensing-agreem>

Zenergy Power plc (2010年4月14日)

Zenergy Power plc は、低コスト Y 系線材製造に必要な高速インクジェットプロセスの開発に成功した。最近 Honeywell Specialty Materials を材料供給事業者として認定しており、今回の成果により研究開発段階は終了することになる。2010 年後半に ThyssenKrupp VDM GmbH からの金属基板が工業レベルで OK になれば、Zenergy 社は Y 系線材の実用生産を開始する予定である。新しい高速インクジェットプロセスにより金属基板への材料塗布が高速化され（プロセス時間の低減と生産量の増加が図られる）、大幅なコスト低減を図ることができる。また、材料塗布の再現性が増し（品質改善とスクラップ量の低減、ひいては低コストで生産量が増加する）、より幅広い基板に再現性高く材料を塗布することができるため生産量が大幅に増えることが期待できる。このプロセスが量産プロセスとなれば、低コスト超電導線材の生産ができるため、超電導線材が既存の銅線材に比べて安価なものとなるであろう。

出典:

“2G Development Milestone Ink Jet Processing and Continuous Wire Processing”

Zenergy Power plc press release (April 14, 2010)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2010/2010-04-14-2G-Development-Milestone.pdf

Nexans (2010年4月19日)

Nexans, Endesa S.A. (スペインの電力会社) 及び ICMAB-CSIC Institute for Materials Sciences は、世界記録を打ち立てた Endesa 社の Supercable 計画が成功裏に終了したと発表した。2009 年

12月、単相、中間電圧ケーブル（24 kV）に実験室の条件下で 3,200 A の電流が流れた。これは既存の世界の中間電圧ケーブルより約 10 % 高い値である。24 時間の負荷サイクル試験において、通常電圧の 2 倍の電圧を印加して、8 時間を 1 サイクルとして定格電流を流した。このケーブルは、変動負荷や基準値を超える電圧の印加といった試験手順に定められた各種条件をクリアした。このプロジェクトの参加機関は、次の段階として 30-m 長の実証用ケーブルを、ターミネーションや冷凍機器とともに電力グリッドに接続することを計画している。

出典:

“Superconducting medium voltage cable from Nexans conducts record current:3,200 amperes during load cycle tests”

Nexans press release (April 19, 2010)

http://www.nexans.com/eservice/Corporate-en/navigatepub_142482_-25272/Superconducting_medium_voltage_cable_from_Nexans_c.html

American Superconductor Corporation (2010年4月21日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、韓国 Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. (HHI) から電力制御システム 30 基の追加発注を受けた。このシステムは AMSC 子会社の AMSC Windtec™ が設計した 1.65-MW 風力発電機に使用される予定。AMSC 社は、2010年6月30日までに出荷を完了させる予定。AMSC 社創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「Hyundai Heavy Industries Co., Ltd は、強力な事業計画と完璧な実行力を備えており、今後活発な国際エネルギー事業を推進していくものと思われる。今回最大規模の発注を受けたが、これは同社の 1.65 MW 風力発電機が世界市場を強力に牽引していることを示す証拠であると言える。我が社は、同社との戦略アライアンスが今後とも継続、発展していくものと考えている。」Hyundai Heavy Industries Co., Ltd は、すでに韓国内、米国、パキスタンから 1.65 MW 風力発電機の発注を受けている。

出典:

“AMSC Receives Follow-on Wind Turbine Power Electronics Order from Hyundai Heavy Industries”
American Superconductor Corporation press release (April 21, 2010)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1415517&highlight

American Superconductor Corporation (2010年5月13日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は 2010年3月31日に終了する第4四半期及び 2009年度通年の収支を発表した。第4四半期の収入は、前年同期 6,120 万ドルに対し 43 % の 8,760 万ドルであった。粗利益率も、前年同期の 32.6 % から 37.8 % に増加した。利益は、前年同期の 130 万ドルに対し、当期は 490 万ドルであった。なお、一般会計原則に則らない従来の計算方法によれば、利益は前年同期が 410 万ドルに対し、当期は 840 万ドルとなる。

2009年度通年では、収入は前年の 1億8,280 万ドルに対し、73 % 増の 3億1,600 万ドル。粗利益率は前年の 28.4 % に対し 2009年度は 36.4 %。通年利益は、前年の 310 万ドルに対し、2009年度は 1,620 万ドルであった。なお、一般会計原則に則らない従来の計算方法によれば、利益は前年が 1,660 万ドルに対し、当年は 3,170 万ドルとなる。

AMSC 社創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「我が社は、第4四半期に収入、粗利益率とも最高記録を達成し、予想外に大きな利益を生み出した。また、大型風力発電機や電力グリッド応用製品も好調な状態で第4四半期を終えることができた。2010年度に入り、年度収入予想額の約 90 % 相当額の受注残を抱えており、今後とも年率 30 % 以上の成長が見込めるとの自信を深めている。我々は、2010年度も更に生産性を高めていく。今後の力強い収入増加の予測とともに、その生産性の向上により、一般会計原則に則らない従来の計算方法ベースでの利益換算で最低でも

年 70% の成長を図って行きたいと考えている。我が社は将来の継続した成長のために積極的に投資を行っていく考えであり、先に述べた利益の増加はそのためのキャッシュフローの増加を約束するものである。」

2010年3月31日時点で、AMSC社は、現金、現金等価物、流通証券、拘束性現金併せて1億5,510万ドルを保有、その受注残は5億8,800万ドルに達している。また、受注残5億8,800万ドルの内、3億8,000万ドルが2010年に現金化される見込み。

出典:

“AMSC Reports Fourth Quarter and Full Year Fiscal 2009”

American Superconductor Corporation press release (May 13, 2010)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1426357&highlight

American Superconductor Corporation (2010年5月17日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、中国 Sinovel Wind Group Co. Ltd. から同社の 1.5-MW 風力発電機向けに総額約 4 億 4,500 万ドル相当の電気部品の発注を受けた。今回の発注は多年度に亘る契約。部品の出荷は 2011 年早期に始まり、その期間は 30 ヶ月。AMSC 社は現在、2011 年早々に終了する多年度契約の下、Sinovel 社に電気部品の出荷を行っている。AMSC 社創業者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「我々は、Sinovel 社との戦略ビジネスアライアンスの延長を誇りに思っている。同社は風力発電機技術ではリーダー的存在であることは明白である。2006 年の生産開始以来、Sinovel 社の成長は世界の他のいかなる風力発電機メーカーよりも速い。今回の受注により、Sinovel 社の SL1500 (1.5-MW 風力発電機のブランド名) 生産を今後とも支援していく。同時に、Sinovel 社は中国のオフショア発電機として設置、運転され、また、陸上用としてもマーケティングが行われている 3-MW 風力発電機の生産拡大も計画している。更に、Sinovel 社は 2010 年末には 5-MW プロト機の設置も予定している。これら、AMSC Windtec (TM) の設計を基に Sinovel が開発した高出力発電機にも、AMSC 社の電力エレクトロニクスが使われている。」

出典:

“AMSC Receives \$445 Million Multi-Year Order From Sinovel Wind”

American Superconductor Corporation press release (May 17, 2010)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1427558&highlight

American Superconductor Corporation (2010年5月25日)

American Superconductor Corporation (AMSC) と中国の Sinovel Wind Group Co. Ltd. は、従来の機種に加え、新たに陸上及びオフショア風力発電機をも含む戦略パートナーシップの延長を発表した。この契約の下、AMSC 社子会社の AMSC Windtec™ は、今後 Sinovel 社が市場投入し世界市場で販売する計画の、数メガワット級の各種風力発電機の設計と共同開発を行う。これら風力発電機の量産は、2012 年末に開始予定。また、Sinovel 社はこれら風力発電機用コア電気部品を AMSC 社から購入する。現在、マーケットシェアでは、Sinovel 社は中国では最大、世界でも第 3 番目に大きな風力発電機メーカーである。

出典:

“AMSC and Sinovel Expand Strategic Partnership”

American Superconductor Corporation press release (May 25, 2010)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1430702&highlight

医療

Medical College of Wisconsin (2010年4月5日)

Medical College of Wisconsin (ミルウォーキー), Children's Hospital of Wisconsin (ミルウォーキー), University of Wisconsin-Madison 及び Hope Children's Hospital (Chicago) の協力の下、胎児の心臓からの磁気信号を測定し、稀なケースではあるが致命的な胎児の心臓の不整脈を調べるための超高感度 SQUID を実用化した。今後の課題は、米国の小児心臓外科医と産科医が更にデータを収集して、患者にとって最適の治療オプションを提供できるようにすることである。その検査自身は安全で非侵襲的であり、わずか1時間程度かかるだけである。SQUID 検出器はすでに300人以上の患者の不整脈の検査に使われた実績がある。開発チームは、現在、より小型の SQUID 検出器、外界からの磁気干渉を抑止する磁気シールド及び装置運搬用のトラックから構成される移動検査装置の製作を計画している。移動型装置は1年以内に試験が行えるようにと考えている。

出典:

“Ultrasensitive detector pinholes big problem in tiny fetal heart”

Medical College of Wisconsin press release (April 5, 2010)

<http://www.med.wisc.edu/news-events/news/ultrasensitive-detector-pinpoints-big-problems-in-tiny-fetal-hearts/26976>

TechPrecision Corporation (2010年5月24日)

大型、高精度金属加工メーカーの TechPrecision Corporation は、顧客の1社である Still River Systems, Inc.が世界で最も小型の陽子治療加速器1号機から治療用ビームを取り出すことに成功したと発表した。今回の成功により、セントルイスの Siteman Cancer Center (Barnes-Jewish Hospital 及び Washington University School of Medicine) に設置された Still River Systems 社の Monarch250 陽子線治療システムが実稼動に向け1歩前進することになる。Still River Systems 社は、この加速器により、超電導技術によりもたらされる利点を活用して既存装置を代替する費用対効果の高い陽子治療システムを提供し、陽子治療が幅広く利用されるようにと考えている。TechPrecision 社子会社の Rancor, Inc.は、Still River Systems 社と共同で Monarch250 陽子線治療システムの効率的な生産プロセスの開発を進めてきており、同社との間でキー部品製造・供給に関する独占契約を締結している。この治療システムの FDA 認可が得られれば、この契約により今後3年間の間に Rancor 社は約3,000万ドルの収入が見込める。

出典:

“TechPrecision Corporation Announces Achievement of Important Product Manufacturing Milestone by Still River Systems, Inc.”

TechPrecision Corporation press release (May 24, 2010)

http://www.techprecision.com/press_releases.html

量子エレクトロニクス

National Institute of Standards and Technology (2010年4月15日)

National Institute of Standards and Technology の研究グループは、光ファイバー中を伝わる個々の光子を約99%の効率でカウントできる単一光子検出器を開発した。この検出器により、通信の安全性確保、量子計算、光子測定といった分野での進歩が期待できる。この検出器は超電導体を超高感度サーモメーターとして使っている。検出器に入射する個々の光子は(超電導体の)温度を上

げ、その抵抗をわずかに上昇させる。検出器はこの抵抗上昇により光子が存在することを検知する。この方法により非常に弱い光を精度高く測定できる。研究チームは現在、現行技術が使いものにならないことから、検出能力測定のための評価技術の開発を行っている。

出典:

“NIST detector counts photons with 99 percent efficiency”

National Institute of Standards and Technology press release (April 15, 2010)

http://www.nist.gov/eel/optoelectronics/detector_041310.cfm

National Institute of Standards and Technology (2010年4月28日)

National Institute of Standards and Technology の研究グループは、超電導回路中の量子 Q-bit と量子バスを結合するスイッチを開発した。この制御デバイスは、高周波 SQUID で構成され、量子 Q-bit と量子バスの信号のやり取りを 100 MHz からほぼ 0 Hz の範囲で同調させることができる。このデバイスを用いれば、複雑なネットワーク中の複数の回路要素の間の信号のやり取りを柔軟に制御できるため、実際の量子計算機の開発の進歩に寄与することが期待される。他の研究グループがこれまで 2 ないし 3 個の超電導 Q-bit を結合したスイッチのデモンストレーションを行った実績はあるが、この NIST のスイッチは量子 Q-bit と量子バスの間での個々のマイクロ波光子のやり取りを制御して、長時間にわたって乱れない量子状態を作り出すことができる初めてのデバイスである。この研究グループの結果は Physical Review Letters に掲載された。

出典:

“NIST develops ‘dimmer switch’ for superconducting quantum computing”

National Institute of Standards and Technology press release (April 28, 2010)

http://www.nist.gov/eel/quantum/qubit_042710.cfm

通信

Superconductor Technologies Inc. (2010年5月4日)

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、2010年4月3日に終了する第1四半期の収支を発表した。第1四半期純収入は、前年同期 170 万ドルに対し、当期は 340 万ドルに増加した。ネットの製品売り上げは、前年同期 110 万ドルに対し、当期は 240 万ドルであった。政府契約やその他契約による収入は前年同期 546,000 ドルに対し、当期は 110 万ドル。純損失は、前年同期の 350 万ドルに対し、当期は 250 万ドルであった。STI 社社長兼 CEO、Jeff Quiram は次のように述べた。「我が社の第1四半期の収入は 340 万ドルであり、2009 年同期の倍以上になった。これは、前年に比べ事業環境が好転したことを反映している。顧客も継続してネットワーク性能向上の注力しているところであり、我々は第1四半期末での受注残（の増加）を心強く思っている。これに加え、我々の Y 系線材開発計画も順調に進んでいる。これまで 1 m 長線材の製造に成功しており、現在、Y 系線材の積層装置の設計を完了しようとしている段階にある。この積層装置を使えば 50 m 長 Y 系線材の製造が可能になる。我々は最初の生産ロードマップを既に作り上げており、Y 系線材製造施設の建設に向け準備を進めているところである。」2010年4月3日時点で、STI 社の現金、現金等価資産、受注残は合わせて 850 万ドルである。

出典:

“Superconductor Technologies Inc. Reports First Quarter 2010 Results”

Superconductor Technologies Inc. press release (May 4, 2010)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1421772&highlight>

加速器

Bruker Energy & Supercon Technologies Inc. (2010年4月5日)

Bruker Energy & Supercon Technologies Inc. (BEST) は、Brazilian Synchrotron Light Laboratory (LNLS) とターンキー式ビームライン設置に関し 240 万ドルの契約を締結した。この新しいビームラインは高性能 X 線吸収、回折実験に使われる。BEST 社シンクロトロン・ビームライン事業部長 Wolfgang Diete は次のように述べた。「我々は Brazilian Synchrotron Light Laboratory が我が社の技術経験や世界の他のシンクロトロン施設に優れた性能を持つ先端機器を約束通り出荷するという評判を買って BEST 社を選んでくれたことを誇りに思っている。今回のプロジェクトは Brazilian Synchrotron Light Laboratory やそのユーザーにとって重要であるばかりでなく、我が社にとっても重要なものである。ブラジルでは科学研究のためのシンクロトロン放射の需要が増加しており、次世代シンクロトロン施設の計画策定を始めている。我々は、将来プロジェクトにおいても我が社の顧客になるであろう Brazilian Synchrotron Light Laboratory と良好なパートナーシップを構築していきたいと考えている。」

出典:

“Bruker Energy & Supercon Technologies Awarded Contract by Brazilian Synchrotron Facility for Turn-Key Beamline”

Bruker Energy & Supercon Technologies Inc. press release (April 5, 2010)

<http://www.bruker-est.com/pr100405.html>

RI Research Instruments (2010年4月21日)

Bruker Energy & Supercon Technologies Inc. (BEST) が株式の過半を保有する子会社 RI Research Instruments 社は、米国エネルギー省 Brookhaven National Laboratory (BNL) とターンキー式の 200-MeV 電子注入線型加速器の設置について 770 万ドルの契約を締結した。この加速器は次世代 National Synchrotron Light Source (NSLS-II) として活用される。この契約には、加速器の設計、製造、組み立て、配送、据付、運転開始までの作業が含まれる。BNL への出荷は 2012 年 1 月を予定している。NSLS-II 自体の建設は 2015 年に完了予定であり、完成すれば現在の NSLS よりも 1 万倍以上強力な X 線を発生させることが可能になる。RI Research Instruments 社専務 Michael Peiniger は次のように述べた。「今回の契約は今後の我が社の世界市場における線型電子加速器及び粒子加速関連製品事業の継続にとって重要なものである。これまで、同様な線型電子加速器をスイス、イギリス、オーストラリア、ドイツに出荷した実績があり、また、台湾及びオランダ向けの製品を準備している最中である。BNL が世界最高性能を持つこととなることが見込まれる NSLS-II プロジェクトに我が社を選んでくれたことを嬉しく思っている。」

出典:

“BEST Subsidiary RI Research Instruments Awarded \$7.7M Linear Accelerator Contract from DOE Brookhaven National Laboratory”

RI Research Instruments press release (April 21, 2010)

<http://www.bruker-est.com/pr100421.html>

基礎

Rice University (2010年5月28日)

Rice University, Zhejiang University (中国), University of California at Los Angeles (UCLA), Los

Alamos National Laboratory 及び State University of New York at Buffalo (SUNY-Buffalo) の共同研究グループは、ニクタイトの量子的振る舞いに関し新たなエビデンスを発表した。この結果は高温超電導メカニズムに1つの知見を与えるものである。Rice University 研究者の Qimiao Si は次のように述べた。「ニクタイトのような相関電子系においては、電子は競合する力にさらされる。電子は遍歴性を持つ一方で、お互いに反発しあうという性質のため特殊な配列をとることを強いられる。今回の研究では、競合する力がお互いにとって替わる臨界点を探るという観点から、これらの力の比率を変えるという実験を行った。」格子中の原子距離を増加させて運動エネルギーを減少させた時に何が起こるかを調べるため、研究グループは鉄ニクタイトと同様の層構造を持ち、より大きな鉄原子間距離を持つ鉄オキシカルコゲナイドを調べた。実験の結果、研究グループの理論予測が裏付けられ、鉄格子のわずかな伸びが系を Mott 絶縁体にするということが確認できた。この結果は、鉄ニクタイト親物質が Mott 局在の直前状態にあることを示す証拠となる。研究グループの今回の結果は Physical Review Letters に掲載された。

出典:

“Zeroing in on quantum effects”

Rice University press release (May 28, 2010)

<http://www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=14345>

[超電導 Web21 トップページ](#)

「超電導応用電力機器研究会」報告

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所 電力機器研究開発部
部長代理 五所嘉宏

平成22年6月10日、11日の2日間に亘って、超電導応用電力機器研究会が九州電力株式会社の総合研究所（福岡市）で開催され、2日間累計で約60名が参加した。

本研究会は、電気学会の主催で年2回開催されているものであり、今回は「超電導応用ならびに材料関連技術」をテーマとして24件の発表があったので、その概要について報告する。

前述のとおり、メインテーマは「超電導応用ならびに材料関連技術」であるが、今回の研究会は7つのサブテーマ（①線材および導体技術、②限流器および電力ケーブル、③Y系ケーブル、④風力発電、⑤磁気分離およびサイクロトロン、⑥SMES、⑦変圧器）に応じて、2日間のカリキュラムが構成されていた。また24件の発表は、大学の先生方や企業の研究者からのものも含まれていたが、半数以上は学生たちによるものであり、若き研究者の発表スキル向上も本研究会の狙いの1つになっているようである。

発表された個々の件名は、線材の臨界電流特性や電磁現象等に関する評価、国プロで実施中のY系電力機器開発（SMES、ケーブル、変圧器）及び高温超電導ケーブル実証プロジェクトに関する最新の進捗状況、超電導技術の応用分野としての次世代超電導サイクロトロンや超電導風力発電の開発状況など、要素技術から実用化技術までの多種多様な内容であり、超電導技術開発の縮図を垣間見た感がある。

これらの発表に対する質疑応答も活発に行われ、実用化段階における系統連系時の電気的特性の問題点、シミュレーション結果から推定した事故時ケーブルの温度特性の妥当性、コストや信頼性等に関する既存技術との得失比較、今後の克服すべき課題などについて傍聴者から質問があり、それぞれの発表者が具体的な事例も交えながら適切に説明していた。

最後に閉会の挨拶に立った濱島委員長（東北大学）からは、24件の発表者に対する労い及び熱心な討議に対する感謝に加え、特に若手研究者に対する本研究会への積極的な参画の要請があり、次回以降の研究会における若手研究者のさらなる活躍に対する期待の言葉で締めくくられた。

なお、次回の研究会は、年明けに住友電気工業株式会社（大阪市）を舞台として開催される旨が紹介された。



研究会の様子

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

もっとやさしい「超電導」のおはなし (その4)

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所材料物性研究部
特別研究員 中尾公一

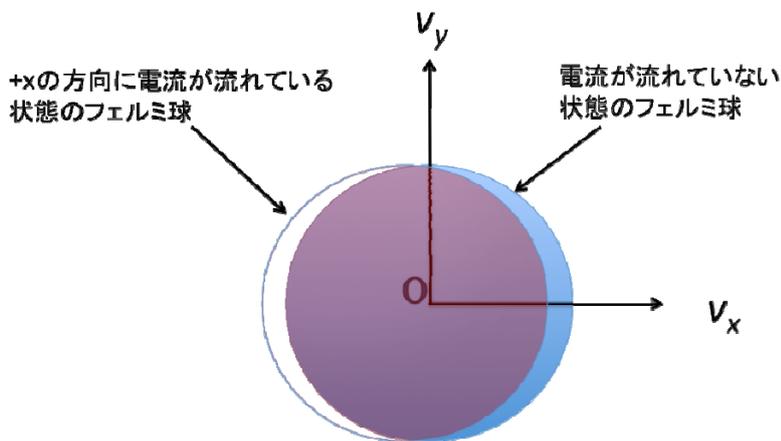
前回は、超電導状態では運動量空間で原点を中心にして対称の位置にある一電子状態同士がペアを組み、さらにそれらの状態がある規則性を持って量子力学的な意味で重ね合わされていること。その理由はそのような状態をとることによって、電子間に引力が働くときには全体のエネルギーが最も小さくなるから、ということの説明をしました。超電導状態でそのような特殊な電子の状態が実現しているのは、あくまでその状態で全体のエネルギーが最も小さくなるという理由によるのですが、その結果として超電導状態はいくつかの特異な性質を持つこととなります。今回はそれらについてお話ししたいと思います。

1. 電気抵抗の消滅

超電導体における最も特徴的な性質はなんと言っても電気抵抗の消滅、即ち電圧をかけなくても電流が流せるようになることです。超電導という名前の由来がこの現象から来ていますし、超電導体の有用性の多くがこの性質によっています。従って、超電導体ではなぜ電気抵抗がゼロになるのですかという質問を受けることがよくあるのですが、この当然な質問は答えるのが意外に難しいのです。そのためにはまず、常電導状態ではなぜ電気抵抗があるのかという問題から出発する必要があります。(注1)

1.1 常電導体における電気抵抗の機構

常電導状態の性質は運動量空間を使うとよく説明されるのでした。運動量空間内のそれぞれの点はある速度を持って運動している一電子の状態を表しています。原点を中心とする球内の状態が占められており、外部の状態が空席になっている状態（中心が原点にあるフェルミ球）では、すべての電子の運動がそれぞれ相殺し合って全体としては電子の流れ、即ち電流はありません。ただし個々の電子はかなりの高速で動いています。この状態にたとえばx方向に電場を印加するとどういふ変化が起こるのでしょうか。電子は負の電荷を持っていますから電場の方向と逆向きに力を受けます。そのために個々の電子の運動の方向が-xの方向に変化しようとしています。このことを運動量空間で説明すると、全体として運動量空間内のフェルミ球が少し-x方向に移動することになります。すると電子の運動が全体として相殺されず、その分だけ-x方向の運動が残ります。即ち+x



の方向に電流が流れることとなります。そのとき全運動量エネルギーは多少大きくなります

さて電子は真空中を動いているわけではなく、伝導電子を失って差し引き正の電荷を持つことになった原子が並んでできている固体の中を動いています。従って、すぐにも原子にぶつかりそうです。しかし実は量子力学の世界では電子は波のような性質も持っており、原子が規則正しく並んでいる限りは、原子に邪魔されずに、あたかも真空中を進むかのように運動することができるのです。しかしこれはあくまで原子が規則正しく並んでいる時の話です。実際には原子は多少振動しています。そのため原子の配置の規則正しさが失われ、電子の運動も乱され、真空中を進むかのように運動することができなくなります。運動量空間の各点は一定の速度で動いている状態に対応していますから、電子は運動量空間の一点に長時間とどまることはできず、別の点で表される状態に飛び移ることになります(注2)。電子の状態間の飛び移りはパウリの原理を破らない範囲でランダムに起こりますが、確率的にはエネルギーの高い状態から低い状態への変化が起こりやすいので、上で考えた、フェルミ球が少しシフトした状態は電場を印加し続けられない限り、やがて元の中心の位置に戻ってしまいます。つまり電場を加え続けられない限り、一定の電流は維持できないのです。言い換えると電気抵抗があることとなります。それでは超電導体では何が違ってくるのでしょうか。

1.2 超電導状態におけるエネルギーギャップの存在

超電導現象においては「エネルギーギャップ」という言葉が重要なキーワードになっています。この節ではエネルギーギャップの意味を少し丁寧に説明したいと思います。エネルギーギャップは常電導状態では存在しません。ギャップがないということは連続的だと言うことです。そこでまず、常電導状態においてエネルギーが連続的であるということの意味を説明します。

常電導状態での性質は運動量空間を使ってうまく説明できるということは、何度もお話ししました。運動量空間の各点はそれぞれ異なる一電子の状態を表しています。運動量空間ではたくさんの点が密集しています。したがって隣り合った点が表す状態のエネルギーの大きさの差はわずかです。今、常電導状態でも最もエネルギーの低い状態、つまりフェルミ面の内側の状態がすべて占められており、フェルミ面の外側がすべて空席になっている状態を考えます。フェルミ面のすぐ下にある電子をフェルミ面のすぐ上の空席の状態に移動させてみます。今考えた二つの一電子状態は近接していますからそれぞれのエネルギーはほとんど同じです。従って移動の前後で全電子状態のエネルギーもほとんど同じです。このように、常電導状態の全電子エネルギーは最も低い値から始まって、遥かに高い値まで、事実上すべての値を連続的にとる事ができるのです。このことをエネルギーギャップがないと表現します。これは極めて自然なことと思われませんが、超電導状態では以上の議論が成立しないのです。

超電導状態では電子間に引力があり、全電子がある規則性を持った状態をとることにより、この引力によるポテンシャルエネルギーの大幅な低下を実現し、運動量エネルギーに関しては多少大きくなるにもかかわらず、全エネルギーの減少が実現されているのです。またこの現象は協力現象であり、すべての電子がすべての電子の影響を受けて全エネルギーの低下が実現しているのです。この状況は運動量空間では表しにくいのですが、強いて描写すれば、運動量空間の点滅に規則性があり、特に原点を中心に対称な位置にある二つの点は常に同時に点滅しているのです。ここでどれか一つの電子をこの規則的な点滅から逸脱させ、別の点に移したとします。超電導状態ではフェルミ球の外側の状態も一部確率的に占められており、内側の状態も一部確率的に空席になっていたことを考えると、運動量エネルギーだけに関しては、この操作により大きくなるどころかむしろ小さくすることも可能です。しかしポテンシャルエネルギーに関してはどうでしょうか。問題は超電導状態におけるポテンシャルエネルギーの低下はあくまで協力現象であることです。そのため一個の電子が規則的な点滅から逸脱したことは、その一個の電子のエネルギーが増加することを意味するだけではなく、他のすべての電子のエネルギーにも影響を与えるのです。わずか一個の電子を超電

導状態から逸脱させることにより、その影響が全電子に及び、全体のエネルギーとしてはかなり大きな増大が起ってしまうのです。そのため超電導状態を一部壊そうとするといきなりエネルギーが大きくなってしまいます。この事情を超電導状態にはエネルギーギャップがあると表現しています。

1.3 超電導状態における電気抵抗の消滅

いよいよ超電導状態でなぜ電気抵抗がないかの説明に取りかかることができます。まず超電導電流が流れている状態はどのようなものでしょうか。常電導状態で電流が流れている状態はフェルミ球が全体としてシフトしたような状態だという話をしました。これは超電導状態についても同じです。全体が規則的に点滅している状態を全体として運動量空間の中でシフトさせると超電導電流が流れている状態が実現されます。その状態では原点を中心として対称な位置にある点が同時に点滅するのではなく、原点から少しシフトした点を中心として対称な位置にある点が同時に点滅することになります。全体としては運動量エネルギーが少し大きくなりますが、それでも立派な超電導状態なのです。

常電導状態の場合フェルミ球がシフトした状態は電場をかけ続けないと、電子の散乱のためにやがてもとの電流が流れていない状態に戻ってしまうのでした。超電導体の場合も潜在的には電子を散乱させる機構はあります。しかし電子を散乱させることは、その電子を超電導状態の規則性から逸脱させることになります。その結果エネルギーがエネルギーギャップの分だけ大きくなってしまいます。エネルギーは全体として保存されなければなりませんから、その分のエネルギーはどこからか注入する必要があります。そのエネルギー源がない場合は超電導電流が流れている状態は変化したくとも変化のしようがなく、その状態にとどまり続けるしかないのです。つまり電流は流れ続け、電気抵抗はないことになります。

超電導電流が流れている状態（原点からずれた点を中心とする超電導状態）は電流が流れていない状態（原点を中心とする超電導状態）より全体として大きなエネルギーを持っています。それなら後者の方がより安定なので、前者が自然と後者に移り変わるといっておこなうのでしょうか。これは原理的にはあり得ます。ただしこの変化が、固体を作っている原子の振動による電子の散乱によって起こる可能性はほとんどゼロです。その変化を起こすためにはすべての電子を同時に都合良く散乱させる必要があり、そんなことは確率的にあり得ないからです。

超電導状態といっても無限に大きな電流を流せるわけではありません。流れている電流があまりに大きいときは運動エネルギーの増加が大きすぎ、ポテンシャルエネルギーの低下の効果が及ばなくなるため超電導状態は壊れてしまいます。そのため超電導体が抵抗ゼロで流すことのできる電流値には限界があります。この電流値を対破壊電流と呼んでいます。

（注 1）常電導状態ではなぜ電気抵抗があるのかという質問を受けることはほとんどありません。あるいは導体中で電子が動くときには摩擦力のようなものが働くので常に力（電場）をかけていないと一定の電流を保てないのです、というような説明で簡単に納得してもらえます。これは日常生活で、動いている物体は力を加え続けられない限り、スケートリンクのような滑りやすい場所でさえ、いずれ摩擦のために止まってしまう、という事実を経験しているので納得しやすいのだと思います。かといって、それではなぜ摩擦があるのですかという質問に答えられる人は少ないとおもいます。納得できるかできないかの違いは、単に慣れているかどうかにかすぎないのかもしれない。

（注 2）電子が散乱されないで自由に運動できる時間は温度に大きく依存しますが、室温では 10 のマイナス 14 乗秒程度の、通常の感覚で言うと非常に短い時間です。