超電導 Web21
Superconductivity

超電導 Web21

財団法人　国際超電導産業技術研究センター　〒135-0062　江東区東雲 1-10-13　Tel: 03-3536-7283　Fax: 03-3536-7318

2010 年 4 月号　　2010 年 4 月 1 日発行

掲載内容（サマリー）：

トピックス：
○最先端研究開発支援プログラムの超電導関連プロジェクト発足

特集：超電導線材技術の展望
○Y 系線材の磁界中高 I_c 技術の進展
○Y 系線材の高速作製・高性能化技術の現状
○Bi 系線材の高 J_c・低損失化技術の進展
○MgB_2 線材のプロセス技術の進展
○核融合用超電導導体技術の動向

○超電導関連 2010 年 4-5 月の催し物案内
○新聞ヘッドライン（2/18-3/18）
○超電導速報―世界の動き（2010 年 2 月）
○科学ゼミナール「新しい高温超伝導物質-鉄ニクタイドの発見と現状」報告
○隔月連載記事－超電導モータの過去・現在・未来（その 2）
○読者の広場(Q&A)－「超電導エレクトロニクス分野における最近の話題を教えて下さい」

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
〒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

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
2010 年 4 月 1 日発行
超電導 Web21
財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

トピックス：最先端研究開発支援プログラムの超電導関連プロジェクト発足

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
副所長　田辺圭一

最先端研究開発支援（**F**unding Program for World-Leading **I**nnovative **R**&D on **S**cience and **T**echnology：FIRST）プログラムは、我が国の研究開発力や国際競争力の強化を図るため、研究者が研究に専念できるサポート体制、多年度にわたる研究資金の柔軟な使用等により研究者最優先の研究開発を進めることを目的に、昨年度の第 1 次補正で予算化がなされた。9 月に総合科学技術会議が、我が国を代表する 30 人の中心研究者と世界のトップを目指す研究課題を決定したが、その中で東京工業大学の細野秀雄教授を中心研究者とし、ISTEC の田辺を共同提案者とするテーマ「新超電導および関連機能物質の探索と産業用超電導線材の応用」が採択された。その後のプログラム総予算額の縮減に伴い、各テーマの研究計画と予算計画について有識者議員が中心となって査定を実施し、内閣府政務三役と有識者議員で各課題の研究費、サポート機関等をこの 3 月 9 日に確定した。

東工大・細野教授は 2008 年に発見された新しい高温超電導体群である鉄系超電導体の発見者として有名であり、透明半導体材料など数多くの新材料の発見とその実用化への取り組みで大きな実績がある。この「新超電導および関連機能物質の探索と産業用超電導線材の応用」は平成 21 年度を含めると 5 年間のプロジェクトで、総予算額は間接経費を含め 32.4 億円の規模である。東京工業大学が本プロジェクトの支援機関としての役割を担う。このプロジェクトでは、細野教授をプロジェクトリーダとし、東工大・細野教授グループ、京大・陰山教授グループ、広島大・山中教授グループ、物質・材料研究機構（NIMS）・室町グループからなる「物質探索チーム」が新しい高温超電導物質を中心とした機能材料の探索を行い、ISTEC の材料物性バルク研究部およびデバイス研究開発部のグループと NIMS・熊倉グループからなる「線材応用チーム」が鉄系物質や「物質探索チーム」が発見した新超電導物質の線材や電子デバイスへの応用可能性を検討し、有望な超電導物質についての線材開発を行うという計画になっている。NIMS・熊倉グループは、Bi 系や MgB_2 などの物質で大きな実績のあるパウダー・イン・チューブ（PIT）法による線材化を検討し、ISTEC はこれら物質の薄膜について磁束ピンニング特性や粒界特性などの評価やデバイス化の検討を行う。さらに、線材化に有望な新物質が見つかった場合には、線材メーカと ISTEC が昨年設立した「産業用超電導線材・機器技術研究組合」がプロジェクトの後半 2 年間で薄膜線材の開発に移行するという計画になっている。

鉄系超電導物質は、現状の T_c は最高でも 55 K と銅酸化物系超電導物質に及ばないが、100 T に達する高い臨界磁界と Y 系銅酸化物に比べ小さな異方性（Γ=2-5）、*s* 波対称性、また母物質が絶縁体ではなく、金属であるなど応用上有利に働く性質をもっている。また、鉄系超電導物質と類似の構造をもつ物質群は数千種類と多く、この中から液体窒素温度（77 K）以上の T_c、小さな異方性、良好な粒界特性をもち、かつ有害元素を含まず産業応用上有利な新高温超電導物質が発見される可能性は十分にあると考えられる。本プロジェクトでは、線材化、薄膜化・デバイス化などの応用技術開発を現状の鉄系超電導物質からまずスタートし、この物質群に特有の基盤技術を蓄積しながら、有望な新超電導物質が物資探索チームで発見され次第、本格的な線材、デバイス開発等に迅速に移行できるような開発計画・体制をとることにより、材料基本特許から応用基本特許などの知財を押さえ、世界をリードしていくことが期待される。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

特集：超電導線材技術の展望
「Y 系線材の磁界中高 I_c 技術の進展」

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所線材研究開発部
部長補佐　吉積正晃

Y 系線材の応用は、モーター、変圧器、SMES、NMR など、多くの磁界中応用が考えられており、実用上の観点から、磁界中での高 I_c 化が強く求められている。磁界中での高 I_c 化の手法としては、重イオン照射などによる欠陥や、BZO などの非超電導相を人工ピン止め点として超電導相中に導入する事による磁界中 J_c 特性の向上が有効である。本稿では、これら人工ピン止め点導入法における最近のプロセス開発の進展の状況を概説する。

長尺線材の開発において世界の先頭を走っている米国 SuperPower 社は、MOCVD 法による YGdBCO 線材の開発を行っているが、これに BZO をナノロッドとして導入する事により磁界中特性の改善を試み、短尺特性では I_c^{min}＝186 A/cm＠77 K,1 T を得ると共に、50 m 長の長尺線材においてその前後端で I_c^{min} が 50 A/cm 以上@77 K,1 T を得ている。

PLD 法においては、米国 LANL により、様々な材料およびそれらの組み合わせが試され、BZO ナノロッド導入層、Y_2O_3 ナノドット導入層のコンビネーションにより J_c^{max}／J_c^{min} の比が最小となる条件を見いだしたが、J_c^{min} の絶対値としては BZO ナノロッド導入のみの膜が最高値を示し、I_c^{min} の昨年 8 月時点の最高値は 234 A/cm@75 K,1 T との事であった。この時、自己磁界での I_c は 75 K ではあるが 1006 A/cm を示し、自己磁界でも非常に高い特性を示した。日本のフジクラ社においても、長尺線材の高特性化が行われ、90 m 長の長尺 GdBCO 線材が 77 K,3 T で 40 A を超える特性が得られている。

MOD 法による線材作製では、ISTEC による BZO ナノドット導入法が最も高い I_c 特性を示しており、これまでに 77 K,1 T で I_c^{min}＝115 A/cm（760 A/cm＠sf）を得ている。米国 AMSC 社においては、RE 混晶系である YDyBCO を用いて 78 A＠75 K,1 T の特性を得ており、現在更なる特性向上を目指して BZO ナノ粒子導入を検討中である。

上記の人工ピン導入法に加えて、ユニークな試みとして紹介しておきたいのが、米国 ORNL により行われている、基板の改良である。これは、二層分離する MOD 材料を塗布・焼成する事により基板の表面改質を行い、ナノロッドに代表されるピン止め点の位置と分布を制御しようというものである。

磁界中 I_c 特性は、特性の測定磁界が研究機関によって異なるため、単純な比較が難しいが、ピンのサイズや密度によって効果的な磁界や温度が異なる事が分かってきており、今後はそれぞれの研究機関により、目指す応用環境に対して評価を行うようになっていくと考えられるため、更に比較検討が難しい状況になると考えられる。最適な人工ピン導入法も異なる可能性があるため、様々な機会に内外の情報収集を行い、開発状況を参考にしながら、効率的な研究開発を進めていく事が重要であると思われる。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2010 年 4 月 1 日発行
財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

特集：超電導線材技術の展望

「Y 系線材の高速作製・高性能化技術の現状」

株式会社フジクラ
超電導プロジェクト室
グループ長　飯島康裕

Y 系超電導線材においては材料学的要請から一貫して高度に配向制御を施した薄いテープ構造線材とするコンセプトが踏襲されているが、この構成では通常各種電線・ファイバーで用いられている押し出し、伸線等の塑性加工プロセスが無効であり、いかに高性能・低コストを保って長尺量産技術を確立するかが実用プロセス実現へのハードルとされてきた。これまで気相蒸着又は固相塗布焼成に基づくいくつかの製法が併行して検討されてきたが、長期にわたる国家プロジェクト投資並びに各種真空技術の進歩によって量産プロセスとして成立する段階に到達しつつあり、近年日米の企業によりそれぞれ別の製法にて事業化が開始されるに至っている。

現在 Y 系線材はいずれも幅が 4～5 mm、断面積が 0.5～1 mm^2 程度であることが多いが、超電導層の厚さは 1～2 μm 程度であることが多く断面あたり超電導層の占める割合はほぼ 2～3 %以下である。素線の通電性能はこの超電導層の厚さに依存するが、近年、気相合成法の一つであるパルスレーザ蒸着法（PLD 法）において成膜温度管理に優れるホットウォール法の開発に成功し、4～6 μm 程度までの高性能膜が再現性よく作製可能となってきた [1)]。この結果、77 K 自己磁界において 1 cm 幅の短尺サンプルで I_c 値は 1000 A 強に到達し、同じく 170 m の長尺サンプルで 645 A、基板に垂直な 3 T の磁界下においては 40 A 以上が得られるに至り、50 K, 5 T 程度の高温磁界環境を想定しても 300 A を超える線材の長尺化が視野に入りつつある。また、この成膜温度管理技術の進歩は長手方向の均一性を大きく改善させており、前述したホットウォール PLD 法では 100 m 全長にわたって 2 %以内のバラツキに収まる試料が再現よく得られるに至った [2)]。頻繁な条件出しを行わずに一定の操作によって長尺超電導膜の均一成膜が可能となってきたことは、工業的プロセスとして成立するための大きな必要条件がクリアされつつあると言える。

かつて Y 系線材においては超電導層を成膜する前の中間層が比較的厚く、この工程の製造線速がコスト上大きな課題となっていたが、近年この部分を薄くする技術が大きく進歩し、現在は律速となってはいない。中でも高強度の金属基板を用いることが可能な IBAD 法中間層においては、10 nm 程度の厚さの MgO を配向層として用いることにより、数百 m/h の線速で高度に配向した基板を構成出来るようになっている [3)]。一方の超電導層工程においては、近年のレーザ光源の性能向上で原料の蒸発速度が向上したほか、製品への材料の蒸着収率が 60 %近くまで向上しており、PLD 法の製造線速が急速に向上している。既に単位幅あたり I_c 値 300 A/cm（77 K、自己磁界）の線材であれば、5 mm 幅の線材に換算してほぼ 100 m/h を越え、米国で開発が進んだ CVD 法と並び気相合成による超電導膜の製法は量産レベルの線速の得られるプロセスとなりつつある [2)]。超電導層の厚さに反比例して製造線速が遅くなるため、性能とコストはトレードオフの関係にあるものの、たとえば RE-123 系材料の中で若干臨界温度が高い Gd-123 膜を用いるなど、近年の材料・プロセス双方の進歩によって J_c 値そのものが年々高くなっており、まだ暫くの間性能の底上げが続くと考えられる。求められる使用環境・性能･価格は用途により様々であるが、より高温・磁界中での高性能化という要求は消えることはなく､今後もコストと性能の双方を視野に入れた開発の継続が必要である。

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

参考文献:

1) K. Kakimoto *et.al*.:"High-speed deposition of high-quality RE123 films by PLD system with hot-wall heating", in Supercond. Sci.Tech.,vol.1, 23 (2010)

2) M. Igarashi *et al*.: "High-speed deposition of RE123 film with large current capacity by hot-wall type PLD system", to be published in Physica C.

3) S. Hanyu *et.al*.:"Fabrication of km-length IBAD-MgO substrates at a production rate of km h−1" , in Supercond. Sci.Tech.,vol.1, 23 (2010)

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2010 年 4 月 1 日発行
財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

特集：超電導線材技術の展望

「Bi 系線材の高 J_C・低損失化技術の進展」

住友電気工業株式会社
材料技術研究開発本部/超電導・エネルギー技術開発部
林 和彦

1. 臨界電流向上の推移

$(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_y$ (Bi2223) 高温超電導線材は、原料粉末を金属パイプに充填して複合加工し、内部の粉末を焼結する PIT(Powder In Tube) 法と呼ばれる方法で製造され、幅約 4.3 mm、厚さ約 0.23 mm のテープ状の形状をしている。可とう性を付与するため、セラミックである超電導フィラメントは銀や銀合金で覆われた多芯構造をしている。

図 1 に Bi 系線材の臨界電流向上の経緯を示す。1995 年までの初期の段階で銀と複合加工する PIT 法の基本プロセスが確立され 1 km 級の線材が試作された。この間、製造プロセスの最適化が進んで臨界電流特性も徐々に向上し、標準サイズで液体窒素温度、自己磁界下で 100 A に到達したが、線材化が大きく進展したのは加圧焼結法の開発によってであった。加圧焼結法により局所的な欠陥が大幅に低減するなど製造歩留りが向上し、臨界電流、機械強度も改善されるなど、Bi 系線材が工業製品と呼べるレベルに到達した。その後も各製造プロセスの改善、製造条件の最適化が進み、短尺試料では臨界電流（77.3 K、自己磁界下）が 236 A に到達し、量産レベルの km 級長尺線材では、200 A に到達。160～180 A の線材が工業レベルで供給可能になっている。長尺線材の指標である、I_c（4 mm 幅）×L（長さ）は、172 A×2,009 m=345,548 Am に到達した。

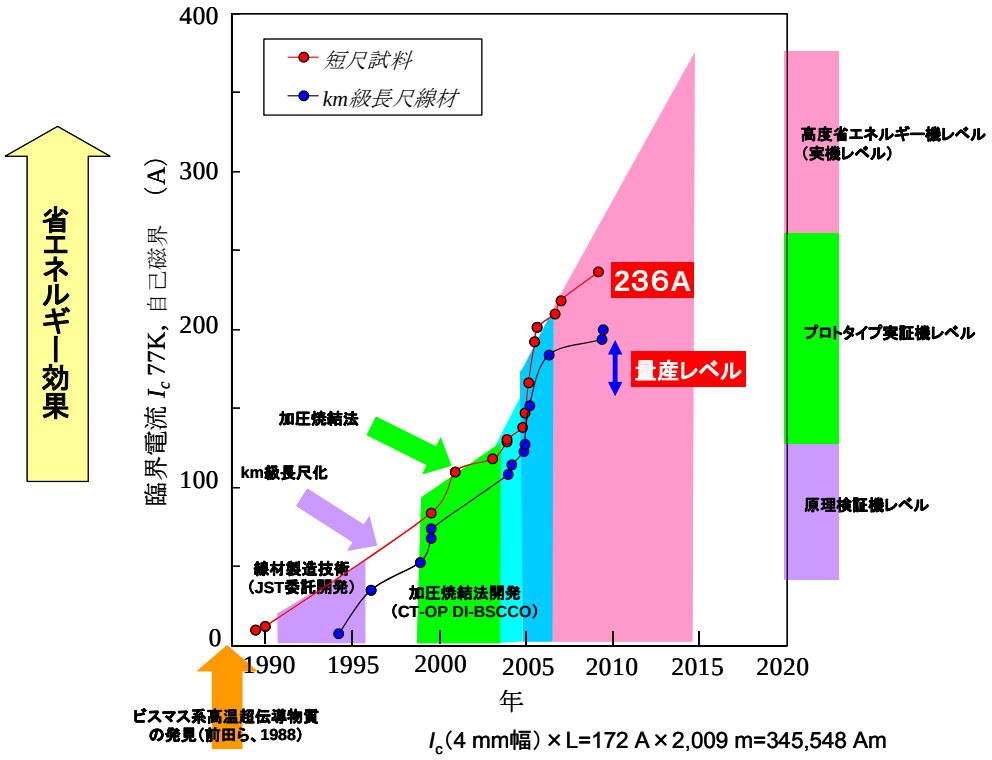

図1 ビスマス系高温超電導線の性能向上

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

2. 今後の性能向上見通し

これまでの臨界電流特性の向上は主として、結晶配向の改善によることが明らかになっている。図 2 に Spring-8 の高輝度放射光を用いて透過光で評価した配向度と臨界電流特性の関係を示す。Spring-8 を用いることで銀被覆を剥ぐことなく、非破壊でかつ線材全体の平均的な配向度を評価できる。200 A 級線材においても（200）反射の半値幅は 12.4°（テープ面からの平均的なずれ角は半値幅の半分の 6.2°）であり。まだ改善の余地がある。

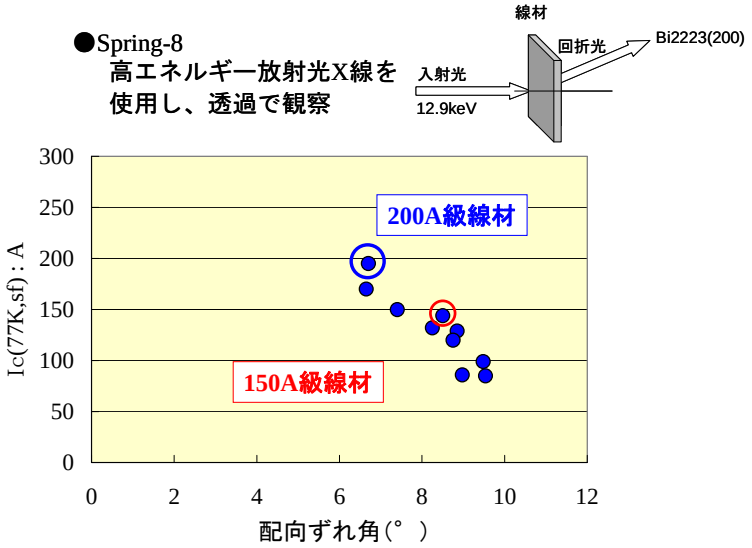

図2　結晶配向度と臨界電流特性の関係

図 3 にホール素子を用いて評価した臨界電流密度の幅方向分布を示す [1)]。この方法は線材に通電して形成される磁界の分布をホール素子で計測し、電流分布に逆算するものである。実験では通電電流の関係で 90 K、自己磁界で測定を行い、a) に臨界電流通電時の自己磁界分布、b) に自己磁界分布から逆算したシート電流分布、c) にシート電流分布と超電導フィラメント断面積分布から算出した線材幅方向の臨界電流密度分布を示す。線材中央で約 450 A/mm^2 のピークを持つ臨界電流密度分布が得られた。77.3 K では約 2 倍の 900 A/cm^2 の臨界電流密度のピーク値を有すると考えられ、この臨界電流密度が線材幅方向に均一に分布すると仮定すれば、臨界電流値は 340 A となり、現状の異相の含有量、Bi2223 相の配向度でも 300 A 級の臨界電流に到達できると考えられる。

a) 通電時の磁束密度分布　　b) シート電流密度分布　　c) 臨界電流密度の線材幅方向分布

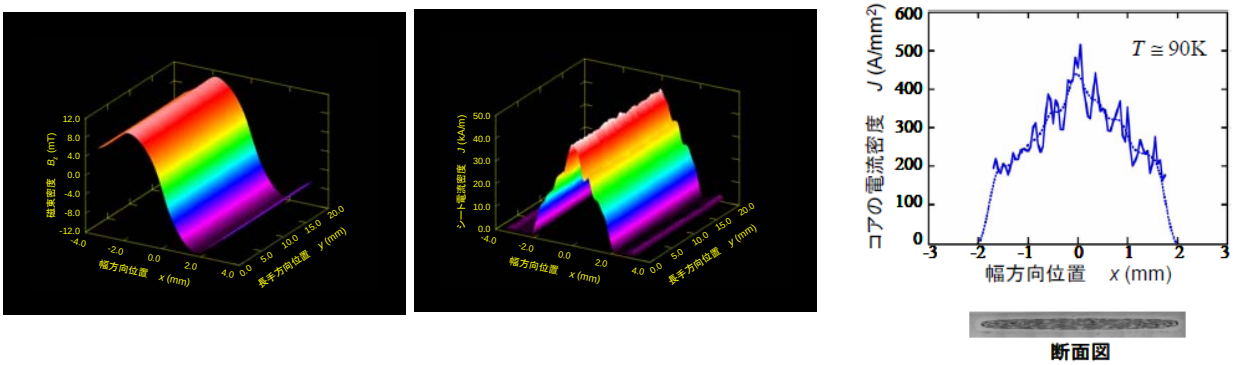

図3　臨界電流密度の線材幅方向分布

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

参考文献:

1) Y. Honda, K. Higashikawa, M. Inoue, T. Kiss, N. Ayai, M. Kikuchi, K. Hayashi and K. Sato : "Study on current distribution in DI-BSCCO tape based on the scanning Hall probe magnetic microscopy", submitted to Physica C (proc. the ISS 2009)

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
2010 年 4 月 1 日発行
超電導 Web21
財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

特集：超電導線材技術の展望

「MgB_2 線材のプロセス技術の進展」

物質・材料研究機構（NIMS）
超伝導材料センター
リサーチアドバイザー　戸叶一正

MgB_2 は Nb-Ti や Nb_3Sn よりもはるかに高い臨界温度（T_c～39 K）をもつため、冷凍機冷却による 20-30 K の温度領域での応用が有望視されている。発見から既に 9 年が経過したが、長尺化が容易であるということから未だに PIT(Powder-in-tube) 法が線材化技術の主流となっている。外国では既に Columbus 社（イタリア）[1)]や Hyper Tech 社（米国）が数 Km の実用的な長さの線材を商用ベースで生産しており、MRI などの応用機器への線材の供給を行っている。PIT 線材の最大の課題は、磁界特性の改善と充填密度の向上であろう。前者については B サイトの C 置換が有効で、SiC をはじめ非常に数多くの添加物が試みられているが、実用にはさらなる改善が必要である。PIT 線材のもう一つの問題は充填密度の低さである。粉末法の宿命という以外に反応時の収縮という本質的な問題も含み、解決を難しくしている。これを改善するために高圧印可 [2)]なども試みられているが、長尺化を考えた場合には新たな発想に基づくプロセス開発も必要である。

高密度化という観点からは PIT 法を改良した拡散法（例えば内部 Mg 拡散（IMD）法 [3)]（図 1））が最近注目を浴びている。混合粉末でなく B と Mg をそれぞれの層に分離してその間に拡散反応をおこさせるのが特徴で、長尺化が可能であるうえに、高密度の MgB_2 層が生成されるため臨界電流密度も PIT 線材を凌ぐ高い値が得られている。図 2 には PIT 線材および IMD 線材の代表的な臨界電流密度（J_c）―磁界（H）特性を示した。今後は PIT 線材を中心とした応用機器への線材供給、新たなプロセス開発、磁界特性の本質的な改良などを平行して進めていく必要がある。

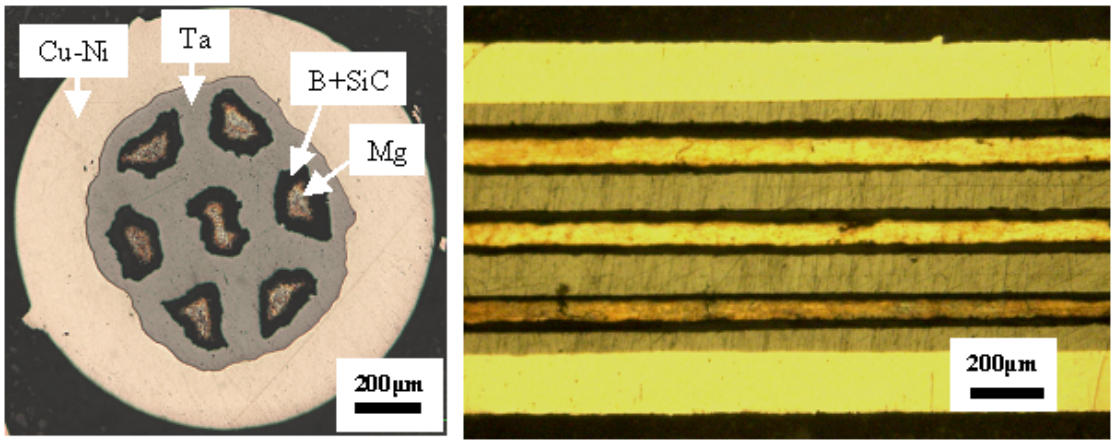

図 1　内部 Mg 拡散 (IM D) 法によって作製した MgB_2 線材の横断面および縦断面（熱処理前）[3)]

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

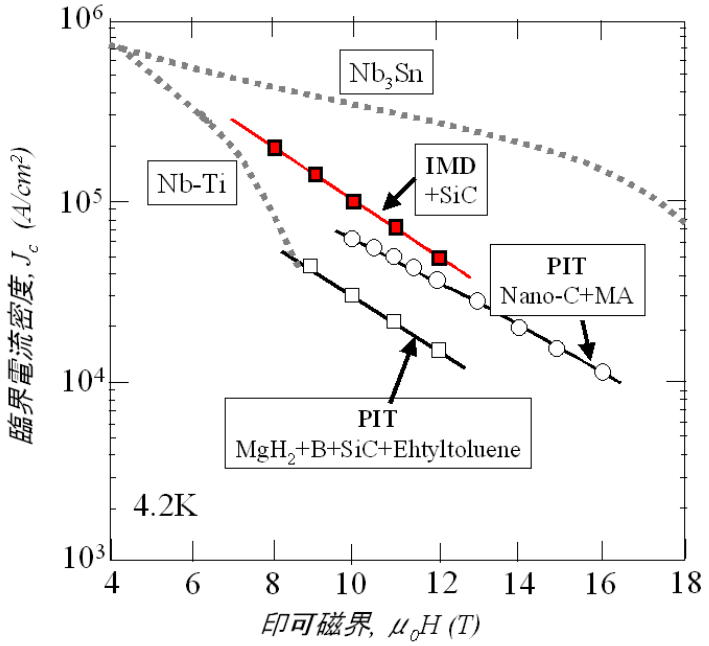

図 2 代表的な PIT 線材[4),5)] および IMD 線材[3)] の臨界電流密度(J_c) —磁界(H) 曲線。
比較のために Nb-Ti、Nb_3Sn 実用線材の曲線も示してある

参考文献:

1) G. Grasso *et al,* Abstracts of 22nd International Symposium on Superconductivity (ISS2009) (November 2009, Tsukuba Japan) p.119.
2) 山田ら、2009 年度春季低温工学・超電導学会講演概要集（2009 年 5 月、早稲田大学）p.193.
3) K..Togano *et al,* Supercond. Sci. Technol.22(2009)015003.
4) H. Yamada *et al,* Supercond. Sci. Technol. 20(2007) L30.
5) W. Heasler *et al,* Supercond. Sci. Technol. 21(2008) 062001.

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2010 年 4 月 1 日発行

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

特集：超電導線材技術の展望
「核融合用超電導導体技術の動向」

大学共同利用機関法人自然科学研究機構
核融合科学研究所
柳 長門

以下では、核融合実験装置のマグネットにおける超電導導体の技術動向について概略をまとめるとともに、将来の原型炉や商業炉を想定した場合に、高温超電導（HTS）導体を適用することの可能性について、現状の議論を紹介する。

核融合は、環境負荷が小さく燃料が地上に豊富に存在する次世代エネルギー源として、早期の実現が期待されている。現在、日本、欧州、米国、ロシア、中国、韓国、インドの 7 極の国際協力によって、トカマク型の熱核融合実験炉 ITER の建設が南フランスのカダラッシュにおいて行われており、2019 年の運転開始に向けて各コンポーネントの調達作業が始まっている。ITER の超電導マグネットシステムは、最大経験磁場 13 T、最大通電電流 68 kA、蓄積磁気エネルギーが 40 GJ におよび、従来のシステムを大幅に越える規模となる。すべてのコイルにおいて巻線導体には、安定性が高く交流損失の小さいケーブル・イン・コンジット（CIC）導体が用いられ、供給温度 4.5 K の超臨界ヘリウムで冷却される計画となっている。このうち、経験磁界の高いトロイダル磁場（TF）コイル（11.8 T）と中心ソレノイド（CS）コイル（13 T）には Nb_3Sn 線材が用いられるが、全量で約 540 トンの線材が製造される計画のうち、日本の分担は約半分となる。すでに線材（素線）の製造は軌道に乗っており、高い臨界電流密度（12 T, 4.2 K において、ブロンズ法で 720 A/mm^2 以上、内部拡散法で 833 A/mm^2 以上）、および、低い履歴損失（±3 T の磁界変化で 500 mJ/cc 以下）の仕様を満足する線材が安定して製造されるところまで技術が確立してきている。また、撚線工程やジャケッティング工程を経た最終導体の製造も始まっている。一方、ポロイダル磁界（PF）コイルについては、最高磁界が 6 T レベルであり、約 250 トンの NbTi 素線が用いられる計画となっている。

ITER 計画と平行してさらに強力かつ迅速に核融合開発を進めるため、「幅広いアプローチ」（BA）計画も日欧協力として策定されており、そのひとつとして、JT-60SA 装置を日本原子力研究開発機構に建設するプロジェクトが進行している。JT-60SA は、ITER より磁気エネルギーや重量で一桁小型であり、フレキシビリティの高いサテライト・トカマクとして 2016 年に運転が開始される予定である。この装置の TF コイルには当初 Nb_3Al 線材を適用することも検討されたが、仕様の最適化によって最大磁界が 6 T レベルとなったため、平衡磁界（EF）コイルと同様に NbTi 線材が用いられる。これには、CERN の LHC 仕様の線材が採用され、交流損失を低減するため 2 μm の Ni メッキが施される。一方、CS コイルは約 9 T の最大磁界であり、ITER の仕様に準じた Nb_3Sn 導体が採用される。現在、CS および EF 導体の製造が始まっているとともに、核融合科学研究所（NIFS）においてサンプル導体の特性確認試験も行われている。

一方、トカマクとは違う閉じ込め方式の磁界核融合も想定され、中でもヘリカル方式はプラズマ中に巨大な電流を印加する必要がないため、安定かつエネルギー効率の高い炉にできると期待されている。特に、NIFS では、大型ヘリカル装置 LHD プロジェクトが順調に進行しており、この成果を受けて、ヘリカル型核融合炉 FFHR の概念設計も進展している。この FFHR、

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

あるいは、トカマク型の核融合原型炉を 2030 年代に実現することが核融合研究に課せられた大きな課題であるが、その超電導マグネットには ITER と同等、あるいは、それを越える容量の超電導導体が要求される。これに対する現在の基本案としては、Nb_3Sn あるいは Nb_3Al 線材を用いた CIC 導体を ITER の技術の延長として用いることが考えられている。ただし、原型炉が成功した後に、2040 年代から商業炉を量産体制で展開することまで考えるならば、複雑な巻線構造や配管構造を緩和するために、間接冷却方式のマグネットを採用できれば魅力的である。そこで、CIC 導体の代わりに低温超電導線材をアルミニウム合金製のジャケットに収納したようなソリッド導体を作ることも考えられる。この場合、リアクト＆ワインドで巻線できることもメリットとなる。併せて、低温超電導線材としては、低放射化材料である V_3Ga 線材等を用いることも想定できる。

これに対して、近年の急速な技術進展を受けて、高温超電導（HTS）導体を採用することも十分に考えられるようになってきた。HTS 導体を用いると、クエンチの心配の極めて少ない安定なコイルの実現が期待されるともに、高い運転温度によって冷却に必要な還流電力が軽減され、エネルギー効率の高い炉として成立させることができると考えられる。代表的な導体設計としては、Y 系のテープ線材を単純に積層したり、転位構造を入れて Roebel 型導体にしたりする案が考えられている。あるいは、Bi-2212 の丸線や細く切った Y 系線材を束ねてツイストして CIC 導体を構成する案もある。現時点では、特に線材の製造コストが大きな問題となるが、近い将来、電力機器応用等に対して線材が量産されるようになることを想定すると、大幅なコストダウンが実現する可能性にも期待が持てる。そうした状況になれば、特注ベースのみで製造されると想定される低温超電導線材よりも、むしろ低コストで HTS 線材が供給される可能性も出てくるため、HTS 導体を現在の低温 CIC 導体に対抗できるものとして位置付けることも可能になると予測される。併せて、冷却パワーのランニングコストを抑えることで建設コストの上昇分を許容するという考え方も成り立つ。また、運転温度が高ければ（例えば 60 K 以上）、80 K 輻射シールドを炉構造から省略できたり、補助コイルなどについてはプラズマに近い真空容器側から固体絶縁で支持を取ったりなど、従来の低温超電導マグネットでは想定できないような革新的な発想の転換もあり得る。さらには、冷媒にヘリウム以外のガス（例えば、ネオンや水素）を用いることや、冷却に必要なパワーのマージンを利用することで、巨大なコイルをセグメントごとに製作し、現地で導体間の接続をすることによって組み上げる方法なども原理的には考えられる。当然ながら、これらのイノーベイティブな構想を実現するためには、今後、具体的かつ慎重な R&D が多数要求されるわけであるが、現在、すでに 10 kA 級のスケールダウン導体の試験等も開始されており、ヒータ試験によって低温 CIC 導体よりも格段に高い安定性等も確認されつつある。さらに、現状の導体サンプルには幅 1 cm あたりの臨界電流が 200 A（77 K、自己磁界）程度の Y 系線材が組み合わせて使われているが、最新の短尺線材で観測されている臨界電流の最高性能（1 cm あたりで 1 kA 近辺）を当てはめるならば、現在考えられる 10 kA 級導体の基本構造をそのままに、100 kA 級導体としてスケールアップすることなども想定の範囲内になると言える。現時点における以上のような状況をもとに、今後の HTS 線材の特性のさらなる向上と合わせると、2020 年代以降に核融合原型炉や商業炉を作る際には、大規模マグネットに HTS 大電流導体を適用することに期待が持てる。併せて、HTS 線材における耐放射線特性の同定や向上など、核融合炉用マグネットの開発の立場から線材開発に対する要望なども提言していく必要がある。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

超電導関連 2010 年 4 月- 5 月の催し物案内

4/13
第 36 回シンポジウム／第 14 回超伝導科学技術賞授賞式
テーマ：「超伝導 2010―超伝導の新たな可能性へ―」
場所：タワーホール船堀　小ホール
問合せ：http://www.sntt.or.jp/~fsst/20100413.html

4/25-4/30
ICSM2010　(International Conference on Superconductivity and Magnetism 2010)
場所：Antalya, Turkey
問合せ：www.icsm2010.org

4/26-29
Cryogenics 2010: 11th Cryogenics 2010, IIR International Conference
場所：Bratislava, Slovakia
問合せ：http://www.icaris.cz/conf/Cryogenics2010/

4/27-4/28
第 27 回希土類討論会
場所：北九州国際会議場　中小会議室日本
主催：希土類学会
問合せ：http://www.kidorui.org/discussion.html

5/12-5/14
2010 年春季低温工学超伝導学会
場所：川崎産業振興会館
主催：低温工学会
問合せ：http://www.csj.or.jp/conference/2010s/index.html

5/17-5/20
ICC-16(The 16th International Cryocooler Conference)
場所：Atlanta, GA, USA
問合せ：http://www.cryocooler.org

5/24
超電導技術動向報告会 2010
場所：都市センターホテル３F　コスモホール I
主催：財団法人　国際超電導産業技術研究センター
問合せ：http://www.istec.or.jp/event

（編集局）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

新聞ヘッドライン（2/18-3/18）

○風力発電　世界で3割増　昨年、中国・インドけん引　新設、原発30基分　2/18　日本経済新聞
○糸状「編む」太陽電池　衣料などに応用　2/18　日経産業新聞
○環境相、正式に公表　温対法案行程表 2 /18　電気新聞
○エネルギー基計画　改定に向けてヒア開始　2/19　電気新聞
○レーザー核融合で中性子　浜松ホトニクス　次世代発電に道　2 /19　日刊工業新聞
○新興国のインフラ受注　次世代エネルギー開発　競争力強化へ官民協力　2/20　日本経済新聞
○科学基本計画素案　環境・健康に重点　政府研究投資　GDP比1 %に上げ　2 /21　日本経済新聞
○元売り、相次ぎ発電事業　風力・天然ガス利用　石油に代わる新エネ育成　2 /22　日刊工業新聞
○エネルギーの近未来　スマートグリッドが創る新ビジネス　地方の風、都市で活用　2/22　日刊工業新聞
○鉄道技術で標準化組織　鉄道総研「安全」「環境」を規格化　環太平洋各国と連携　2/22　日刊工業新聞
○世界最大級の洋上風力発電　三菱重工　英で計画参加へ　2/22　読売新聞
○次世代送電網　地域限定で電力自給　TDKなど　秋田で来月実証実験　2/22　日本経済新聞
○強く相互作用する電子集団を対象に新しい科学・技術の開拓　十倉好紀　2/23　日刊工業新聞
○キャパシター市場形成　グリーンデバイス最前線　2/23　日刊工業新聞
○中国電・NEC　分散型電源を統合制御　スマートグリッドの基盤に　2/23　日刊工業新聞
○総合科技会議　基礎研究強化など4本柱　第4期計画の骨子案提示　2/24　日刊工業新聞
○スマートグリッド　東電　戦略チームで工程表　配電網全域に光網　検討　2 /24　日刊工業新聞
○リニアルートや駅も議題に　きょう整備計画諮問　2/24　毎日新聞
○米国発　巨大ガス資源開発　シェールガス急速に普及　エネ安定調達へ　追い風　2/24　日刊工業新聞
○米、温暖化対策　足踏み　規制強化は年度以降に　対策法案も見直し議論　2/24　日本経済新聞
○次世代送電網　米GEが日本参入　専用電力計　富士電機と合弁 2 /25　日本経済新聞
○超電導サミット　実用化へ情報を共有 2 /25　電気新聞
○超高圧域でもNMR測定　東大の研究グループが装置開発　2/26　科学新聞
○富士電機が重点投資　スマートグリッド　米GEと連携　2/26　日経産業新聞
○温暖化対策　政府内にズレ　法案、理念が先行　調整は難航　2 /26　日本経済新聞
○三菱重工　洋上発電に本格参入　風車開発に英41億円補助　2 /27　読売新聞
○温暖化対策法案　業界9団体反対　2 /27　毎日新聞
○早大・東芝など　拡張型の配電網構築　スマートグリッドの要素技術　短期・低価格で整備可能　3/01　日刊工業新聞
○がん粒子線治療装置　日立、精度上げ需要開拓　4施設目、名古屋に　3/01　日経産業新聞
○電気自動社の規格争い　電力と車、変わる力関係　3/01　日本経済新聞
○電気自動車充電器　トヨタ、普及団体参加　仕様標準化、国際規格狙う　3/02　日本経済新聞
○変圧器輸送の最前線　主脚ブロック一体に　鉄心起立作業を省略　AEパワー　3/02　電気新聞
○東京海洋大　東電など　電池船の建造に着手　急速充電システム利用　3/02　電気新聞
○超電導直流送電　長さ200 mで実験成功　中部大 3 /03　日刊工業新聞
○レアメタル、北米で権益　政府が相次ぎ獲得　希土類やリチウム　環境車電池向けに　3/03　日本経済新聞

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

○再生エネルギー買いとり 15年後、最大1.4兆円 政府試算 3/04 毎日新聞
○リニア 国の審議開始 採算を疑問視、慎重論も ルート調整先送りか 3/04 朝日新聞
○芳香族で有機超電導体 岡山大など発見 転移温度は20 K 3/04 日刊工業新聞
○”強磁性と超伝導”ミクロレベルで共存 京大、名古屋大、東北大の研究グループ 核四重極共鳴用いて明らかに 3/05 科学新聞
○電気自動車の国際標準を狙うEU 3/0 5 日本経済新聞
○リニア開業遅れる公算 景気低迷で予定見直し 3 /06 読売新聞
○次世代電力網、米で実証実験 日本30社とNEDO 来年秋にも州政府など共同で 3/08 読売新聞
○ビスマス系超電導線材 臨界電流200アンペアに向上 住友電工 電車など用途開拓 3/08 日刊工業新聞
○大型変圧器向け巻き線 生産能力3倍に増強 日立電線子会社 3/09 電気新聞
○太陽熱発電の攻防 独シーメンスが先行 高効率 新エネルギー源に 3/09 日本経済新聞
○先端研究助成 1000億円の配分公表 山中教授らに50億円 3/10 日本経済新聞
○世界トップ級30人に研究費 総合科技会議 山中京大教授に50億円 3/10 日刊工業新聞
○太陽熱発電の攻防 日本、世界標準に名乗り ビームダウン型で欧米勢を追う 3/10 日本経済新聞
○加速器の規模・数、欧米が優位 世界の巨大加速器 3 /10 日本経済新聞 夕刊
○米、新エネ技術へ支援拡大 バイオ燃料研究などに360億円 伸びぬVC投資 政府「脱石油」後押し 3/11 日本経済新聞
○絶縁体で電気信号伝達 夢の8割省エネ 東北大研究所 実験に成功 3/11 毎日新聞
○スマートグリッド標準化 前進 5月にも官民で実証開始 3/11 Fuji Sankei Business i.
○通信・電力の最新技術融合 東電・新日本石など5社と東工大 「チーム日本」で事業化狙う 3/11 日本経済新聞 夕刊
○温室ガス総量規制が軸 基本法案 原発推進を明記 きょう閣議決定 3/12 読売新聞
○次世代送電網対応メーター 東電が実証実験 10月開始 13年度導入を検討 3/12 日本経済新聞
○中国、送電網に50兆円 風力や太陽光 次世代技術で促進 日米企業に商機 3/13 日本経済新聞
○EV充電 日独規格争い 国際標準めざし 国内勢結集 欧州市場で先手狙う 3 /16 朝日新聞
○超電導素子 強磁性絶縁体で制御 産総究 量子状態出現を確認 3 /16 日刊工業新聞
○日本発、世界規格へ結束 電気自動車充電器 官民一丸、国際手動権狙う トヨタや東電158社・団体で協議会 3 /16 日本経済新聞
○EV普及、東電チャージ 自動車4社と「充電器」協議会 送電網の整備 投資負担が課題 3 /16 日経産業新聞
○世界最強磁場でナノサイズ観察 東北大など新顕微鏡 高温超電導材料開発に活用 3/16 日経産業新聞
○超電導利用の高性能素子 制御の新手法発見 産総研 量子計算機にも応用も 3/16 日経産業新聞
○酸化物半導体pn接合ダイオード 一酸化スズ使い開発 伝導性の制御に成功 東工大 CMOSに応用 3/17 日刊工業新聞
○送電関連機器、成長分野に 国内規格、「ガラパゴス化」懸念 3/17 日経産業新聞
○科技予算の競走的資金 統一ルール検討 総合科技会議 11年度分から 3 /17 日経産業新聞
○次世代送電網向け変圧器 自動制御、年内に販売 高岳製作所 年内まず東電向け 3/17 日経産業新聞
○温暖化対策法案 「供給10 %」中身が焦点 再生可能エネ巡る攻防 3/17 電気新聞
○経産省 先進エネ実証 全国20地域が応募 電力、ガスも参加 対象に予算集中投入 3 /18

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

電気新聞
○ITER加速器用　高純度セラミックリング　優れた絶縁性能確認 3 /18　電気新聞
○巨大望遠鏡建設など43計画提言　日本学術会議がマスタープラン　3/18　日刊工業新聞
○NBI加速器実現へ　大口径リング　絶縁性能を実証　原子力機構など　3/18　日刊工業新聞
○不満残した温暖化対策法案　排出量取引　議論足らず　3/18　日本経済新聞

（編集局）

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

超電導速報―世界の動き（2010 年 2 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

Zenergy Power plc（2010 年 2 月 11 日）

Zenergy Power plc とそのパートナーである Bültmann Gmb H は、ドイツ連邦政府及びドイツ産業連盟から待望の「気候変動抑止のための革新技術賞」を受賞した。この受賞は世界初の産業規模の超電導ビレット加熱装置の環境保護への寄与が認められたもの。この加熱装置は金属産業で商用利用されているもので、電力の大幅な節約を図ることにより炭素排出量を抑制するとともに運転コストを引き下げることができるというもの。この加熱装置の第 1 号機はアルミ工場に設置されたが、既に消費電力を 50 %抑制し、生産性を 25 %向上させている。ドイツ環境保護協会は、この新しい超電導ビレット加熱装置によりドイツの 2 基の石炭火力発電所に相当する CO_2 排出量の抑制が可能であると見積もっている。現在までに、全ヨーロッパで 5 台の加熱装置が販売された。
出典:
“Environmental Award”
Zenergy Power plc press release (February 11, 2010)
http://www.zenergypower.com/images/Presse/IKU-Environmental-Award-2010.pdf

組織

University of Houston（2010 年 2 月 3 日）

University of Houston は、テキサス新技術基金 (ETF) から Research Superiority Award を受けた。この資金はテキサス超電導センターに応用研究所を設立し、超電導及び関連分野の研究者を採用するために活用される。資金は、5 年間で総額 350 万ドル。テキサス超電導センター応用研究所は、産業界、スピンオフ企業との協力関係を促進し、また、ライセンス契約を結ぶことにより、同センターで開発された HTS 材料や他の先端材料を商業利用に結び付けていく。当初は、エネルギー分野での超電導線材の改善と応用に注力していく計画であり、その活動は SuperPower 社と連携して進められる。また、テキサス超電導センター応用研究所はバイオ医療（画像診断やナノ医薬）の分野への HTS 応用開発のため産業界と協力してきたいとしている。
出典:
“UH Superconductivity Center Receives Texas Emerging Technology Fund Award”
University of Houston press release (February 3, 2010)
http://www.uh.edu/news-events/stories/2010articles/Feb2010/0203ETF.php

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

展示会

Superconductor Technologies Inc.（2010 年 2 月 18 日）

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、ワシントンで 2010 年 3 月 1～3 日に開催される Advanced Research Projects Agency – Energy (ARPA-E) の「エネルギー革新サミット」において、次世代 HTS 線材製造に関する最近の進展状況を展示する。この催しでは、ARPA-E からの補助を勝ち取り、又は、最終選考に残った企業等が紹介されるとともに、次世代のクリーンエネルギー技術が展示される。STI 社社長で CEO の Jeff Quiram は次のように述べた。「我々は、米国のエネルギー経済を変革しようとしている他の企業や研究機関とともにこの展示会に参加できることを喜んでいる。GE Global Research や Los Alamos National Laboratory とともに我々が提案した次世代 HTS 線材の商用プロセス開発が、約 3,700 件の応募の中から最終選考に残った 300 件のテーマの 1 つとなった。」STI 社は、より効率的で、スケーラブルな HTS 線材の製造プロセスの開発を鋭意進めている。現在、同社の線材は初期長製造の段階にあるが、様々な商業応用向けの HTS 線材の性能向上に努めている。

出典:
"STI to Exhibit Advancements in 2G HTS Wire Production at the ARPA-E Energy Innovation Summit March 1-3"
Superconductor Technologies Inc. press release (February 18, 2010)
http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1392355&highlight

電力

American Superconductor Corporation（2010 年 2 月 1 日）

American Superconductor Corporation (AMSC) は、約 7,000 万ドルの風力発電機用電気制御システムの注文を受けた。これは、中国 Shenyang Blower Works Co., Ltd. (SBW) からの初めての発注。この制御システムは 2-MW の 2 連誘導風力発電機に組み込まれるもので、この風力発電機は SBW 社が AMSC 社子会社の AMSC Wind tec 社と共同で開発を進めている。AMSC 社創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「今回の電気制御システムの大型受注は、Shenyang Blower Works 社が活発な中国風力発電市場におけるキープレーヤであることを示すものである。同社は今年後半から量産に着手することを計画しており、この新規事業が長期的な大きなポテンシャルを持つものであると考えている。AMSC 社は、世界一級の風力発電機エンジニアリング技術、顧客サービス、電気制御技術及びその製品を梃子に SBW 社の各段階における事業活動を支援していく考えである。」今回の受注は、AMSC 社がこれまで受注したものの中で最大の受注である。AMSC 社は、今回の電気制御システムの出荷を 2010 年後半に開始し、2013 年前半に全ての出荷を完了する予定である。

出典:
"AMSC Receives $70 Million Order for Wind Turbine Electrical Control Systems from China's Shenyang Blower Works"
American Superconductor Corporation press release (February 1, 2010)
http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1381108&highlight

American Superconductor Corporation（2010 年 2 月 2 日）

American Superconductor Corporation (AMSC) は 2009 年 12 月 31 日に終了する第 3 四半期の収

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

支を発表した。当期収入は、前年同期 4,130 万ドルに対し 8,070 万ドルへと 95 % 増加した。粗利益率も、前年同期の 23.2 %から 37.5 %に増加した。一般会計基準による当期利益は 520 万ドル（前年同期は 780 万ドルの赤字）であり、（従来の）一般会計基準によらない当期利益は 910 万ドル（前年同期は 490 万ドルの赤字）である。2009 年 12 月 31 日現在で、同社は現金、現金等価物、市販債権、拘束性現金併せて 1 億 1,280 万ドルを保有している。なお、2010 年 1 月 31 日時点ではこれが、1 億 3,500 万ドルに増加している。第 3 四半期末時点での受注残は約 5 億 4,600 万ドル。AMSC 社創立者で CEO の Greg Yurek は次のように述べた。「我々は、この第 3 四半期について予想を上回る収支結果を発表することができた。これは、風力関連の収入が増加を続け、また、我が社のコスト管理により最終収益をかさ上げすることができたためである。風力発電関連の顧客の数社は既に量産を行っており、他の顧客の多くも今後 12 ヶ月で生産を開始する見込みである。新たな電力グリッド向けの注文も継続してなされており、2010 年度以降の更なる成長への基礎固めができた。」

第 3 四半期の記録的な収支結果を受け、AMSC 社は通年収入見通しを 3 億～3 億 1,000 万ドルから 3 億 1,200 万ドル～3 億 1,500 万ドルに、純利益（一般会計基準）を 1,100～1,300 万ドルから 1,400～1,500 万ドルに改定した。なお、一般会計基準によらない純利益は 2,700～2,900 万ドルから 2,950～3,050 万ドルに改定された。AMSC 社は、2010 年度も成長が継続するものと考えており、総収入は 4 億ドル強、一般会計基準によらない純利益は 5,400 万ドル強と予想している。

出典:
"AMSC Reports Third Quarter Fiscal Year 2009 Financial Results"
American Superconductor Corporation press release (February 2, 2010)
http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1381655&highlight

American Superconductor Corporation (2010 年 2 月 25 日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、Massachusetts Inst itute of Technology の「Technology Review (TR50)」において 50 の最も革新的な企業の内の 1 社として取り上げられた。「Technology Review」がこのようなリストを掲載したのは今回が初めて。この選定の対象となるには、その企業が重要な発明や技術ブレークスルーを果たしており、その革新的な商品に関わる事業やマーケットがうまく成長していなければならない。今回の AMSC 社の選定に関し、「Technology Review」誌編集長 David Rotman は次のように述べた。「American Superconductor 社の革新的なケーブルは電力グリッドの近代化を支援するものであり、遠隔地で作り出された再生可能な風力や太陽エネルギーをずっと利用しやすくするものである。同社の超電導ケーブルは我が国の電力インフラの改善のため重要な役割を担うであろう。」「TR50」のリストに登場する他の企業には Apple, DuPont, First Solar, GE, IBM, ニッサン等が挙げられる。

出典:
"AMSC Named one of the World's 50 Most Innovative Companies"
American Superconductor Corporation press release (February 25, 2010)
http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1395387&highlight

University of Wisconsin-Madison（2010 年 2 月 28 日）

University of Wisconsin-Madison の研究グループは、National High Magnetic Field Laboratory 及び University of Michigan と共同で以前のものに比べ 500 倍の電流容量のポテンシャルを持つニクタイド薄膜の作製のための画期的手法を開発した。研究グループは、バリウムチタネート又はストロンチウムチタネートによる薄膜テンプレートを作製した。このテンプレートは金属と酸化物をその成分として持ち、酸化物基板と超電導薄膜のインターフェースとして機能する。このテンプレートは超電導相の核生成層として、また、伝導層と絶縁層の間のバリアー層として機能し、超電導薄膜

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

がより理想に近い状態で成長させることができる。得られたニクタイドの単結晶薄膜は基礎的な各種メカニズムに関する研究の進歩に寄与するものと期待される。また、このテンプレートの成長手法は金属薄膜を酸化物絶縁体基板上に成長させる必要のある他の応用にも活用できると思われる。研究グループの手法とその結果は、Nature Materials オンライン誌に掲載された。
出典:
"Template engineering demonstrates possibilities of new superconducting material"
University of Wisconsin-Madison press release (February 28, 2010)
http://www.news.wisc.edu/17741

MRI

Luvata（2010 年 2 月 11 日）

Luvata は、Commissariat à l'énergie atomique (CEA) Saclay と全身用 MRI（Iseult project）向け NbTI 超電導線材供給を目的とした総額 650 万ドルの契約を締結した。後日 1,000 万ドルの追加発注の可能性があり、この契約にはそのためのオプション条項が付けられている。Luvata は 2 種類の超電導線材が必要であるこの「Iseult プロジェクト」向けの独占線材供給者となる見込み。この MRI には、主コイル向け 158 km のケーブル・イン・チャンネル超電導材及びシールドコイル向け 60 km のワイアー・イン・チャンネル超電導材が使用される。この MRI の磁界強度は 11.75 T の予定。Iseult プロジェクト・マネージャーの Franck Lethimonnier は次のように述べた。「この非常に強力な 11.75-T 全身用 MRI により、技術的制約からこれまで不可能であった全身の、組織構造の明瞭な観察が可能となる他、現在の低磁界では見えない細かい部分を見ることができるようになる。CEA 及び産業パートナーの研究開発が進めば、最終的にはこの MRI は現在の MRI では検知できない病巣の早期検知や治療が可能になるであろう。我々はこの MRI が将来の幅広い先端医療分野での基盤となることを期待している。」
出典:
"Luvata wins $6.5 million contract from CEA Saclay"
Luvata press release (February 11, 2010)
http://www.luvata.com/en/News-Room/Press-Releases/Luvata-wins-6-5-million-contract-from-CEA-Saclay/

通信

Superconductor Technologies Inc.（2010 年 2 月 25 日）

Superconductor Technologies Inc. (STI) は、2009 年 12 月 31 日に終了する第 4 四半期の収支を発表した。第 3 四半期純収入は、前年同期 130 万ドルに対し、当期は 220 万ドル。当期純製品売り上げは、前年同期 686,000 ドルに対し、130 万ドルであった。政府契約その他契約による収入は前年同期 592,000 ドルに対し、当期は 896,000 ドル。当期の純損失は、前年同期の 380 万ドルに対し、当期は 350 万ドルであった。

2009 年通年の全収入は、前年 1,130 万ドルに対し、今年は 1,080 万ドル。売り上げは、前年の 680 万ドルに対し、今年は 720 万ドルであった。2009 年の政府契約その他契約による収入は、前年の 450 万ドルに対し、今年は 360 万ドル。純損失は、前年の 1,270 万ドルに対し、今年は 1,300 万ドルであった。2009 年 12 月 31 日時点で、STI 社の現金、現金等価資産は合わせて 1,040 万ド

© ISTEC 2010 All rights reserved.

ル、受注残が 795,000 ドルであった。

第 4 四半期の収入は第 3 四半期よりも低かったが、これは主として通信事業者が財布を引き締めたためである。しかし、STI 社は 2010 年の（基地局）性能改善プロジェクト向けに新規の注文を受けており、年末の受注残の増加に繋がっている。

出典:
"Superconductor Technologies Inc. Reports 2009 Fourth Quarter and Year-end Results"
Superconductor Technologies Inc. press release (February 25, 2010)
http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1395357&highlight

基礎

Oak Ridge National Laboratory（2010 年 2 月 2 日）

Oak Ridge National Laboratory の Spallation Neutron Source (SNS)と High Flux Isotope Reactor (HFIR) の研究グループは、Rutherford Appleton Laboratory (英国) の ISIS Facility と協力して中性子散乱実験を行い、超電導が磁気的性質と関連しているとした場合、銅系高温超電導体と鉄系高温超電導体の（超電導）メカニズムは同じであることを示す結果を得た。鉄系高温超電導体の電子対には磁気的相互作用が関与していると考えられ、これが電子を結合する「のり」の役割を果たすと見られている。この相互作用の鍵と考えられるスピン励起を観察するため、研究グループは鉄、テルル、セレンからなる化合物単結晶に対し「time-of-flight 中性子散乱」測定を行った。ORNL 主任研究員 Mark Lumsden は次のように述べた。「銅酸化物との比較で、スピン励起がどのような作用を及ぼすかを示す最適の実験である。」今回の結果は Nature Physics に掲載された。

出典:
"New neutron studies support magnetism's role in superconductors"
Oak Ridge National Laboratory press release (February 2, 2010)
http://www.ornl.gov/info/press_releases/get_press_release.cfm?ReleaseNumber=mr20100202-00

Brown University（2010 年 2 月 23 日）

Brown University とフランス、グルノーブルの National Magnetic Field Laboratory の研究グループは、超電導体中の磁性と共存する電子中で生じている量子レベルの現象を初めて明確にした。研究グループは、超電導体(CeCoIn5) 中の電子はある条件下で奇妙な揺らいだ磁気的な波を形成し、外部磁界を強めると揺らぎが消滅することを見出した。言い換えれば、電子が作る磁石は繰り返しのある波状のパターンを形成し、これは超電導によって引き起こされる。さらに、この波はある条件下で揺らぐ。この発見は、量子レベルでの磁性と超電導性との関係の明確化や超電導磁石の研究の進展に寄与することが期待される。研究結果は Physical Review Letters に掲載された。

出典:
"Brown physicist discovers odd, fluctuating magnetic waves"
Brown University press release (February 23, 2010)
http://news.brown.edu/pressreleases/2010/02/mitrovic

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2010 年 4 月 1 日発行

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

科学ゼミナール「新しい高温超伝導物質-鉄ニクタイドの発見と現状」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
主任研究員　本間久雄

渋谷　電力館

2 月 13 日に渋谷の電力館において東京工業大学フロンティア研究センター細野教授を講師に Fe 系超電導材料についてのセミナーが開催された。細野教授は建築材料研究の過程で Fe 系超電導材料を発見し、注目されている。

2008 年 JACS に発表した Fe 系超電導材料に関する論文は、2 年足らずの間に 1,000 件を超える程引用されており、その業績の凄さを物語っている。

超電導の歴史と現状、Fe 系超電導の発見の経緯、Fe 系超電導の特性と将来性についての発表があった。

【超電導発見の歴史と現状】

来年はカメリンオンネスが水銀の超電導を発見して丁度 100 年になる。金属系では臨界温度 T_c が 30 K 以上に上がらないだろうといわれていたところに 2000 年に MgB_2 が、2008 年に Fe 系が発見された。

一方、Fe 系の開発状況は、昔の 1 年分を 1 ヵ月で開発するといった物凄いスピードで進歩している。その進歩を表すものとして、2008 年 2 月の時点で臨界温度が 26 K であったものが 2 年足らずの間に 56 K と Cu 系を除くと一番高い臨界温度まで来ていることや、種類も各国で活発に開発が進められていて 50 種が発見されていることがある。

最近の研究成果は、これまで出来なかったジョセフソン接合に成功したことである。

【Fe 系超電導の発見の経緯】

細野教授は、3 大建築材料として、セメント、ガラス、Fe について研究していた。

まず、セメントに関して、構造を籠形状にして面を共有化することにより電子が自由に往来でき、0.22 K で超電導特性（Mn 程度の通電特性）を示すことを発見し、超電導に関わるようになった。

次にガラスで透明なトランジスタを作製し、その特性を良くするために構成材料の一部元素を Fe、Ni に置換してその特性を調べたところ超電導特性を示すことを発見した。この当時一般に磁性体である Fe 系は超電導にならないと考えられていた。なぜなら、Fe は原子最外周の電子 4 個が内部自由度を示すスピンという特性が全て同じで、スピンの異なる 2 個の電子で構成されるクーパー対（電子が超電導となるために必要な状態）を作れないと考えられていたからである。したがって、Fe 系材料で超電導を構成するこの発見は非常に画期的なものであった。

【Fe 系超電導の特性と将来性】

電子ドープと構造面に関する発表があった。

電子ドープに関しては、LaFeAsO の例でドープ材料を工夫することで臨界温度が 26 K まで上昇する。構造面では結晶構造や圧力の影響についての説明があり、ドープ材料の工夫で 26 K まで上

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

昇した臨界温度を加圧することで更に 43 K まで引き上げることができる。

また、Fe 系での薄膜線材に関しても試作され始めており、臨界電流密度としても最近は 10^7 オーダーと Cu 系と遜色がないところまで特性が出てきている。

Fe 系超電導材料の将来性については、Cu 系との特性比較として次の点が挙げられる。Fe 系は臨界磁界が 300 T と Cu 系の 200 T より大きく、NMR 等の高磁界で使用される機器の更なる性能向上が見込める。更に Cu 系は斜方晶であり、通電特性を出す為には結晶方位のコントロールが不可欠であるが、Fe 系は正方晶で異方性が小さく、結晶方位を気にする必要が少ない。また、Cu 系は Cu を他の材料に置換すると超電導にならないが、Fe 系は不純物に強く、例えば Co に置換しても超電導性が消えない。したがって、非常に作り易い材料といえる。

Fe 系の超電導材料は Cu 系に比べ、高磁界での臨界電流を確保でき、線材としても不純物や結晶方位に鈍感で作り易いことから超電導材料として非常に将来が期待される材料であり、今後の動向に注目すべきものである。

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

超電導 Web21
Superconductivity
超電導 Web21
2010 年 4 月 1 日発行

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

【隔月連載記事】

超電導モータの過去・現在・未来（その 2）

京都大学大学院
工学研究科電気工学専攻
准教授　中村武恒

回転機は、機械エネルギーを電気エネルギーに変換する発電機と、その逆変換の電動機（モータ）に分けられる。発電機とモータのエネルギー変換は、基本原理としては可逆過程として理解される。モータは、産業の米と呼ばれるほど広範な分野において使用されており、その容量も分数馬力モータから数十 MW 級機まで多岐に及ぶ。変換される機械力としては、回転力、直線力、振動他様々な形態があるが、本稿では一般的な回転力について説明する。モータのエネルギー変換には、マイクロマシンのような超小型機を除けば、エネルギー密度の観点から専ら磁界と電流の相互作用が利用される [1), 2)]。従って、超低損失大電流輸送と高磁界発生を可能とする超電導材料の回転機への適用は、極めて自然な研究開発の流れである。

回転機の超電導化については、古くは 1960 年代頃から開始される [3)]。勿論、当時は低温超電導線材を適用したものが検討され、液体ヘリウム冷却を前提としている（なお、低温超電導バルク体の形状は熱安定性の問題から成立しないため、線材として適用した場合のみが検討対象であった）。ただし、低温超電導発電機に関しては国内外で大規模プロジェクトを含めて研究開発が実施されたが、モータに関しては単極機と呼ばれる特殊な直流機 [4)]以外、あまり大きな研究開発は実施されていない。単極直流機は、特殊回転機ではあるが、回転に応じて導体に流れる電流を強制的（機械的）に切り替える整流器を必要とせず、また超電導界磁巻線が非回転構造ということもあり、電気推進船などを指向した研究開発が国内外で進められた [5)]。しかしながら、大電流集電法に問題があり、その後の進展は見られていない。一方、同期モータとしては、例えば佐賀大学が界磁に金属系低温超電導線材を適用したものを開発しているが [6)]、この種の低温モータについても検討例は多くない。

なお、全低温超電導モータの開発についても、筆者の知る限りこれまで行われていない。ただし、発電機に関しては、Alsthom Atrantic 社（仏）他による 18 kVA 級機 [7)]、横浜国立大学の 30 kVA 級機 [8)]、佐賀大学のブラシレス励磁機を適用した全超電導発電機の開発例 [9)]がある。佐賀大学のグループは、磁束ポンプブラシレス励磁系を導入した全超電導発電機を開発し、世界初となる出力試験に成功した（但し、駆動モータの容量限界もあり最大出力は約 3 kW ；出力試験に成功した発電機は、牟田一弥先生（京都大学名誉教授、佐賀大学名誉教授）に寄贈頂き、現在京都大学の筆者の実験室に置かれている）[9)]。

1986 年の高温超電導体の発見を契機に、様々な電力応用機器の高温超電導化が実用化の期待と共に検討開始された。回転機についても同様であるが、当時は長尺線材の作製技術が成熟しておらず、Super-GM の発電機研究開発プロジェクト（1988 年度～1999 年度）[10)]が精力的に進められていたこともあり、高温超電導フィーバーの中でもモータ開発の機運はあまり高くなかったようである。その中で、高温超電導体の高い比熱により初めて実現されるバルク形状を利用したソリッドモータの研究開発が、小規模ながら始められたのでは無いかと考えられる。次回は、高温超電導バルク回転機に焦点を当て、材料開発技術の進展と合わせて説明する。

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

参考文献:

1) 野中作太郎, 「電気機器 (I)」, 森北出版 (1973) p. 7
2) 坂本哲三, 「電気機器の電気力学と制御」, 森北出版 (2007) pp. 111-124
3) 牟田一弥, 星野勉, "電動機の超電導化について",低温工学, vol. 24, no. 1 (1989) pp. 13-20
4) 例えば, A.D. Appleton, "Development of Engineering Applications of Superconductivity at IRD", Cryogenics, vol. 22 (1982) p. 435
5) 岡田隆夫, 大西和夫, 仁田旦三, 白井康之, 「大学課程 電気機器 (2) （改訂 2 版）」, オーム社出版局 (2004) pp. 155-156
6) T. Hoshino, I. Mua *et al*., "Current Status of Superconducting Synchronous Motor in Saga University", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 32, no. 4 (1996) pp. 2373-2376
7) P. Tixador *et al.*, "Experimental Behavior of a Fully Superconducting Machine", Proceedings of ICEM92, Manchester, UK (1992) pp. 1117-1121
8) O. Tsukamoto *et al*., "Development and Electrical Test of a 30 kVA Class Fully Superconducting Generator", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 30, no. 4 (1994) pp. 2308-2311
9) 築地浩, 牟田一弥 他, "磁束ポンプをもつブラシレス全超電導発電機の負荷特性実験",電気学会論文誌 D, vol. 116, no. 11 (1996) pp. 183-189
10) 超電導発電機の動特性調査専門委員会, "超電導発電機システムの動特性",電気学会技術報告, 第 639 号 (1997)

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

読者の広場

Q&A

Q :「超電導エレクトロニクス分野における最近の話題を教えて下さい」

A : 超電導エレクトロニクス分野には非常に多くの応用範囲があります。どんなことができるかについては、以前の Web21 に解説していますので、それを参考にしてください [1)]。ここでは、超電導エレクトロニクス分野で最近どのような技術が進歩し、話題になっているかについて述べます。

一言でいえば、いろいろなセンサ（検出器）の進展があげられます。超電導センサには多くの種類があります。非常に微弱な磁界を検出する SQUID（超電導量子干渉素子）、電磁波センサ、光センサなどです。これらの話題をいくつか取り上げてみましょう。

まず、SQUID です。これ自体たいへん多くの分野に応用されます。医療分野（脳磁気計測、心臓磁気計測、脊髄・末梢神経磁気計測、免疫診断）、鉱物資源探査、非破壊欠陥検査などです。これらのうち、脳からの微弱な磁界検出は、外部の磁界を遮蔽する磁気シールド室内でしかこれまで実現できませんでした。しかし、磁気シールド室の設置は場所的にも費用面でも大きな制約になります。日立製作所は磁気センサの検出コイルを工夫することにより、磁気シールド室内ではなく、通常の環境の中で脳磁界が計測できるようにしました [2)]。画期的なことです。

高温超電導体を用いた SQUID はこれまで簡単な構造のものしか作れませんでした。ISTEC では、高速デジタル回路用に開発した集積回路技術を用いて、複雑な構造の SQUID が作れるようになりました。具体的には、検出コイルも同一チップ上に集積化したものです。非常に安定で、これまでの SQUID に比べると、磁束トラップなどの影響が大幅に少なくなりました [3)]。この集積回路技術で作った SQUID は、非破壊検査や鉱物資源探査など多くの分野に使われ始めており、高温超電導 SQUID の応用範囲が画期的に広がってきました。さらにその応用を広げるものとして、JST（科学技術振興機構）のプロジェクト「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」が始まりました [4)]。これは、JST が 2009 年度事業として開始した「戦略的イノベーション創出推進事業（S-イノベ）」プロジェクトの一つとして採択されたものです。最長 10 年のプロジェクトです。

電磁波センサも周波数帯に応じていろいろな応用があります。チリのアタカマ山地に建設が進められている、日米欧共同の ALMA プロジェクト [5)]にも電磁波センサが多数使われます。最大直径 18.5 km の地域に、直径 12 m と 7 m のパラボラアンテナを 66 台以上並べて干渉計方式の電波望遠鏡を構成し、宇宙の起源をさぐろうとする壮大なプロジェクトです。望遠鏡の心臓部に超電導 SIS ミキサとよばれるセンサが使われます。10 種類の異なる周波数の電波で宇宙を見ます。30 GHz から 950 GHz までの周波数を 10 個のバンドに分けて受信機が開発されています。日本の国立天文台はそのうちの 3 つのバンド（バンド 4: 125-163 GHz、バンド 6: 211-275 GHz、バンド 10: 787 - 950 GHz）を担当しています。このうち最も実現が困難であったバンド 10 の受信機が最近完成し、2012 年の観測開始に向けて大きく進展しました [6)]。

テラヘルツ波の応用については以前の Web21 に書きました [7)]。最近ドイツのユーリッヒ研究所は、空港でペットボトルに入った液体の種類を見分けるシステムを試作しました [8)]。液体により吸収する電磁波の周波数が異なることを利用して液体の種類を見分けています。

以前の Web21 で TES（超電導転移端センサ）とは何かということを述べました [9)]。この TES を用いたシステムも進歩しています。エスアイアイ･ナノテクノロジーは電子顕微鏡に TES を組み込むことにより、シリコンやタングステンなどの原子が空間的にどのように分布しているかを可視化

© ISTEC 2010 All rights reserved.

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283 Fax: 03-3536-7318

することに成功しています[10)]。

産業技術総合研究所では、200 nm 幅の微細 Nb 配線の SSLD（超電導ストリップ線路検出器）を作りました。これを用いて、これまで数時間要していた生体高分子（分子数：数十万）の質量分析を数分間でできるようにしています[11)]。

光センサも大きく進歩しました。わずか一個の光子に相当する非常に微弱な光を検出するシステムもいろいろな研究機関によって実現されています。NICT（情報通信機構）では SSPD（超電導単一光子検出器）とよばれるセンサを用いて、量子暗号通信の受信機を実現しています[12)]。

このほかにもまだ多くの優れた成果が得られています。さまざまな分野で超電導センサを使った応用が開始され始めました。今後のさらなる進展が期待されます。

参考文献：

1) http://www.istec.or.jp/Web21/PDF/Series/2004-Hasuo.pdf
2) http://www.jsap.or.jp/pressrelease/pdf/JSAP090901-2-2.pdf
3) http://www.istec.or.jp/Operation/LateNews/Press080326-J.html
4) http://www.istec.or.jp/Web21/PDF/10_3/J2.pdf
5) http://www.nro.nao.ac.jp/alma/J/index.html
6) http://www.nro.nao.ac.jp/alma/J/pressRelease/090612.html
7) http://www.istec.or.jp/Web21/PDF/q-pdf/902J12.pdf
8) Yuri Divin, *et al.*, “Hilbert Spectroscopy Based on the ac Josephson Effect for Liquid Identification”, EUCAS2009, HSZ304
9) http://www.istec.or.jp/Web21/PDF/q-pdf/811J11.pdf
10) 田中啓一、小田原成計、“超電導マイクロカロリーメータを用いた X 線分析装置”、電気学会誌、130 巻 3 号、2010 年、p.150
11) 大久保雅隆、“超電導なのストリップライン検出器の生体高分子質量分析への応用”、電気学会誌、130 巻 3 号、2010 年、p.155
12) http://www.nict.go.jp/publication/NICT-News/0901/04.html

回答者：SRL/ISTEC 特別研究員 蓮尾信也

超電導 Web21 トップページ

© ISTEC 2010 All rights reserved.