

掲載内容 (サマリー):

特集: 超電導線材技術

線材から拓く超電導応用の未来 - 使われる技術を -
100m 級 Y 系線材の技術進展
高性能 Bi-2223 線材の普及
大容量 Bi-2212 線材の開発
先進 (Nb₃Sn、Nb₃Al、MgB₂) 線材の展望
超電導関連製品ガイド - 超電導線材 -

超電導関連 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 (2005 年 2 月)

標準化活動 - JIS H 7005 (超電導関連用語) 2005 年版改正・発行 -

第 4 回材料研究会「冷媒としての液体水素と各種超電導材料の特性」より

隔月連載記事 - やさしい超電導デジタル応用のおはなし (その 2)

読者の広場(Q&A) - 身近な超電導機器にはどのようなものがあるでしょうか?

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

発行者

財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集局

〒105-0004 東京都港区新橋 5-34-3 栄進開発ビル 6F

Tel (03) 3431-4002 Fax(03) 3431-4044

超電導 Web21 トップページ: <http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.html>



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

特集：超電導線材技術 「線材から拓く超電導応用の未来 - 使われる技術を - 」

今回第一線の研究開発者の方々から紹介頂くのは、いずれも先進的な超電導線材である。世間ではここ 10 年を不景気、リストラによる空白の 10 年と言うらしいが、超電導ことに線材技術は大きな進展を遂げた。筆者が最近携わっている高温超電導線材だけでも、95 年以降、大きな進歩があった。1)Bi 系線材では、量産化が大幅に進み、各種応用機器が検討された、2)Y 系線材ではフジクラ、IGC 社(米国)、SRL において 100m 級のもが開発された(達成日順)、3)新しい MgB_2 が発見され線材化が急速に進んだ。

写真は、これまで実用になった NbTi 線(a)、 Nb_3Sn 線(b)と km 級線材により機器応用が検討中の Bi-2212 線(c)、Bi-2223 線(d)の断面図である。これら実用線材の顔をじっと見ていると、ここ 20-30 年、幾多の研究がなされ、いかに多くの研究者の努力が費やされたかに思いを馳せ、感慨深いものがある。しかしながら、他方、消えていった研究もそれ以上に多い。生き残る技術を開発するのがいかに困難か実感する。最後まで生き残る研究成果、技術はあまりに少なく、先進技術へ挑むことの困難さをあらためて実感するものである。

今回の特集号で執筆いただく先生方はいずれも、こうした状況の中、有益な技術を開発され、将来生き残るであろう線材技術を開発してこられた方々である。線材技術は極めて重要であり、NbTi から Nb_3Sn ができたとき、NMR や核融合用の高磁界コイルが可能になり、Bi 系線材で初めて液体窒素冷却による交流ケーブルが試験できた。長年の開発を見ると、いつも線材技術が超電導の革新をリードしている。上述の線材でもまだまだ技術革新があると思うし、筆者が現在開発している Y 系線材では、機器応用へ向けた最終線材形状などはこれから決まっていく段階である(これが断面写真を載せていない理由でもある)、使われる技術へ向けた選別はこれからである。熾烈な競争の渦中である。今回の特集号の記事に触発されてさらなる発展を促す技術開発と開発者が出てくることを望む。



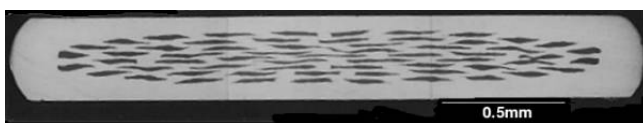
(a) NbTi



(b) Nb_3Sn



(c) Bi2212



(d) Bi2223

写真 a)NbTi 多芯線(明るい所が Cu、暗い所が超電導層の NbTi)、b) Nb_3Sn 多芯線(同 Cu、 Nb_3Sn)、c)Bi-2212 多芯線(同 Ag、Bi-2212)、d)Bi-2223 多芯線(同 Ag、Bi-2223)。丸線はいずれも芯線径が数 μm から数十 μm 、外径が 1mm 程度。

(SRL/ISTEC 名古屋高温超電導線材開発センター長 山田 穰)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導線材技術 「100m 級 Y 系線材の技術進展」

株式会社 フジクラ
材料技術研究所 金属材料開発部
飯島 康裕

Y 系超電導($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO))線材は液体窒素付近の高温域、高磁界中でも高特性を發揮し、既存の超電導材料の中では最も広い使用条件での応用が期待できることから精力的な開発が進められている。粒界弱結合を回避する要請から高度に配向した薄膜テープ線材とする必要があり、平行して複数の方法でプロセス開発が続けられているが、それぞれに一長一短がある。概ね高速合成が可能で低コストと呼ばれる方法ほど使用できる金属基板に限られる等、安定した高特性を得るのが難しい傾向がある。

最も早い時期に我が国で提案された IBAD 法 (Ion-Beam-Assisted Deposition) は、非磁性で高強度な無配向合金テープ上で単結晶的構造の中間層薄膜を高品質に作製するもので、高特性が得られるとともに取り扱いが楽なことから、先行して開発が進んでいる。近年の大型イオンソース技術の発達により、250m 級の高配向 $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 中間層膜が安定して得られるようになったほか、粒径の小さな IBAD 法中間層膜上で PLD 法により自己選択成長が起こって配向性を向上する等の方法が見出されている。現在 500m 長の配向中間層を 5m/h の速度で成膜することを目標に大面積の IBAD 装置の立ち上げが行われている。

YBCO 薄膜の成膜については、線材向け成膜技術として PLD 法を用いた開発が早くから進められている。昨年全長 105m にわたって $I_c=126\text{A}$ 、 $J_c=1.3\text{A}/\text{cm}^2$ の特性が株式会社フジクラにて得られ、 I_c と長さの積として初めて 10^4 以上である 13230Am が達成されるとともに、同クラスの線材による初のソレノイド巻線コイルにおいて液体窒素冷却下の安定な動作が確認された (図 1)。現在さらに高スループットでバラツキを減らすべく、レーザ光スキャン、多ターン基板テープ搬送、輻射加熱成膜機構等を用いた大面積成膜技術の開発が進められている。図 2 に、これまでに報告された Y 系線材の各長さに対する特性の最大値をプロットした図を示す。短尺試料においては米国において多層構造の検討により 1cm 幅あたり 1000A の I_c 値を記録している。他の YBCO 成膜法としては CVD 法、熱蒸着法の開発が進んでいるほか、AMSC 社等で開発されている非真空プロセス (MOD 法) についても進展が見られる。今後は、実用線材としてのピンニング特性向上、安定性やロスの評価とともに、より量産性、コストダウンに着目した生産技術開発が重要となるが、漸く実際の応用を意識したマグネット等の試作・評価を検討する段階に来たと考えられる。



図 1 Y 系線材を用いて製作されたソレノイドコイル

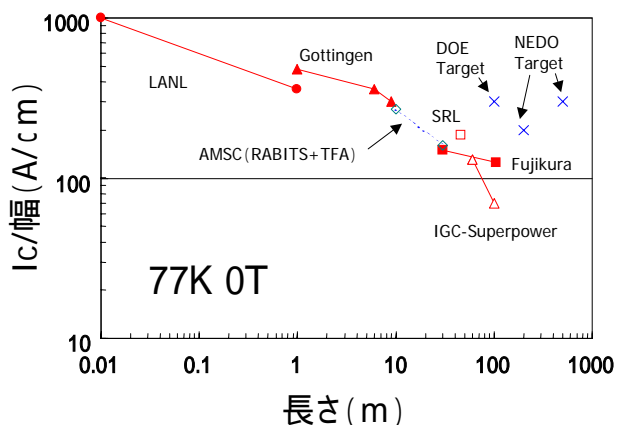


図 2 Y 系線材の各長さに対する I_c 特性の最大値

特集：超電導線材技術 「高性能 Bi-2223 線材の普及」

住友電気工業株式会社
超電導開発室
林 和彦

超電導応用機器は、超電導線材の高電流密度化、長尺化、均質性能を要求する。この観点から最も開発が進んでいるのは、 $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (Bi-2223) 高温超電導線材である。

Bi-2223 超電導線材は、PIT(Powder In Tube)法と呼ばれる方法で製造され、幅 4.1 ~ 4.5mm、厚み 0.20 ~ 0.24mm のテープ状の形状をしている(図 1 参照)。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。

高 J_c 線材を得るためには、圧延工程では焼成で回復できる程度にクラックの発生を抑え、かつ出来るだけフィラメントを高密度にすること、そしてそのフィラメント密度を低下させずに焼成を行うことが重要である。そこで当社は、2 次焼成プロセスに着目し、圧延時に形成されるクラックの修復と、焼成中における密度低下の問題を 1 度に解消するために、加圧焼成法を適用した。

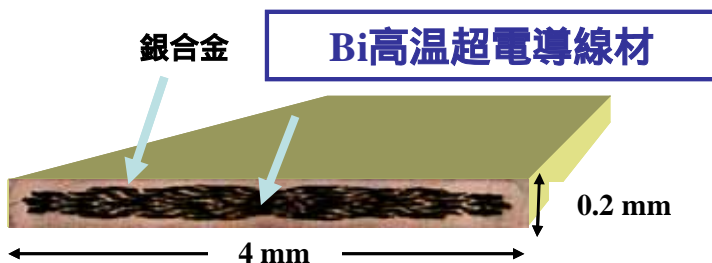


図 1 多芯構造を持つ Bi-2223 線材の断面の模式図

写真 1 に従来の大気圧焼成線と加圧焼成線のフィラメント組織を SEM 観察した結果を示す。フィラメントの相対密度は、従来の大気圧焼成線では約 85%であるのに対して、加圧焼成線ではほぼ 100%に達する。

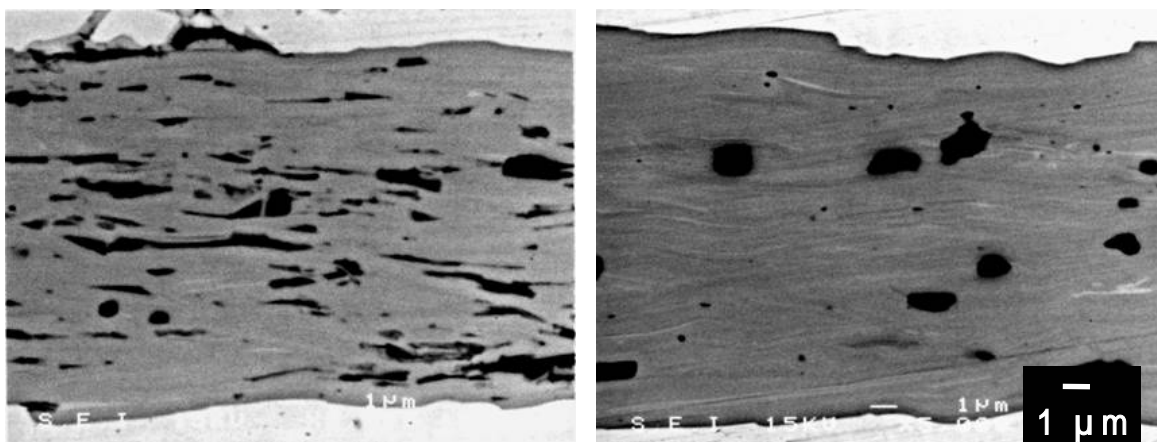


写真 1 焼成後のフィラメントの SEM 像 (左；大気圧焼成、右：加圧焼成)

臨界電流特性 (77K, 0T) は、大気圧焼成では 99A であるのに対して、加圧焼成では約 30% 向上した 130A が得られた。また、加圧焼成することでフィラメント組織が均質化し、歩留良く長尺線材が製作可能になった。最近では、図 2 に示すように 1,500m 級線材の製造も可能になっており、更なる長尺化も検討中である。更に機械的特性においても、図 4 に示すように、従来に比べて 70% 以上改善され、77K では 200MPa 近い引張強度を有し、マグネット応用に対して有用である。高強度タイプ (銀比 2.2) では、300MPa 近い引張強度であり、ステンレスなどの補強無しで作製可能なマグネットの応用範囲が拡大された。さらに、ケーブルや変圧器のように液体窒素中で使用した場合には、大気圧焼成では問題となるバルーニング現象が、加圧焼成によってフィラメントの密度を 100% とすることで液体窒素のフィラメント内部への侵入を完全に防止し、バルーニングの発生を完全に撲滅することに成功した(図 3)。ケーブルなどの液体窒素中で使用される用途では大幅な信頼性向上となる。

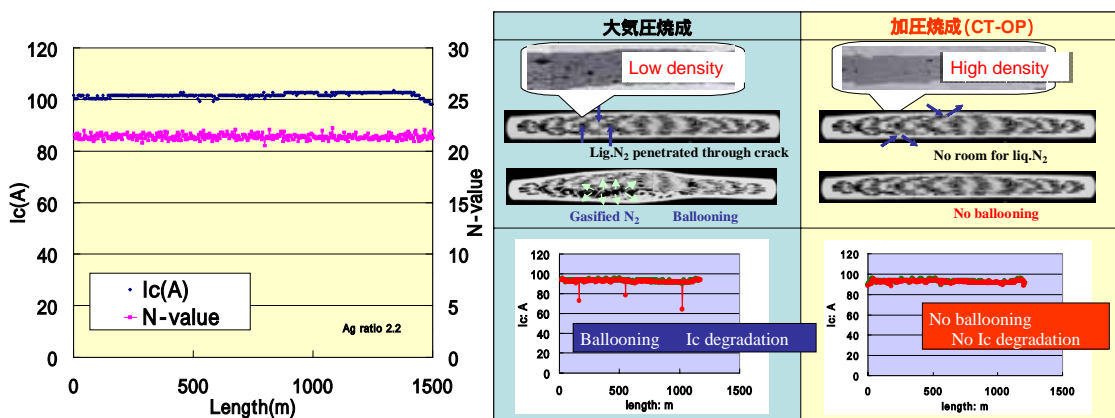


図 2 1500m 長線材の特性例

図 3 加圧焼成によるバルーニングの抑制

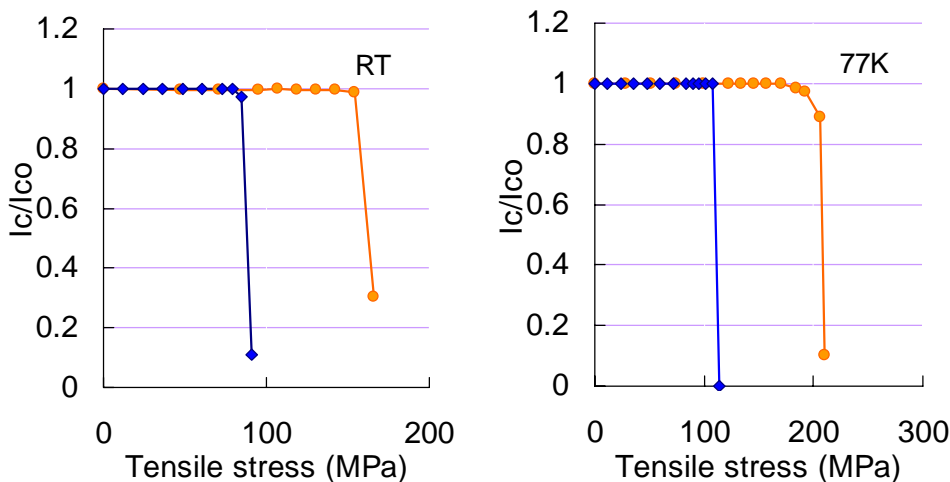


図 4 低銀比線材の Ic の引張応力依存性 (左: 大気圧焼成、右: 加圧焼成)

これらの性能は従来の BSCCO 線材とは本質的に異なり、第 2 世代 BSCCO とも呼ぶべき革新的な線材であると考えられる。(我々は DI-BSCCO (Drastically Innovative BSCCO) と呼んでいる。

加圧焼成法の適用により、高性能な長尺線材が歩留り良く製造可能となり、これまでに各種ケーブル用 (米国 Albany プロジェクト、韓国 KEPRI プロジェクト) に供給されるとともに、世界で初めての实用レベル液体窒素冷却超電導モータの開発成功に寄与している。

超電導線材は、機器として使用されて初めて価値を生み出す。機器としては線材のみならず冷却や絶縁など周辺要素技術の開発が必須であり、DI-BSCCO が今後の機器、システム開発に貢献し、高温超電導技術が使える技術として一日も早く認知されるように線材メーカーとしての使命を果たしてゆく所存である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導線材技術 「大容量 Bi-2212 線材の開発」

昭和電線電纜株式会社
技術開発センター 超電導プロジェクト
長谷川隆代

Bi-2212 は、Bi-2223 に比べて T_c が低いものの、超電導体の生成に溶融 - 凝固プロセスを使うことからフィラメント形状にとらわれることなく高い J_c を得ることができること、これによって丸線形状が可能になるなどの特長を持つ。このため、従来の金属系の超電導線材と同様な撚り線が可能であり、大容量化を行うには大きなメリットとなる。昭和電線では、中部電力殿と共同で Bi-2212 丸線材を用いた大容量導体の開発を行ってきた。使用する素線は図 1 に示されたような断面構造を持っており、0.81mm の場合は 427 本、1.0mm の場合は 889 本と均一な溶融 - 凝固反応を起こし、高い J_c を得るためにフィラメント数、形状を適正化させている。これによって、4.2K 中では高磁界中においても高い特性を保つ超電導丸線を作製することができる。この素線を NiCr の中心補強線の周囲に 6 個撚り合わせた 500m 級の導体は 2500A 級の導体として中部電力殿が開発した 1MVA 級瞬低補償用酸化銅 SMES コイルに使われている。



図 1 Bi-2212 丸線の断面

更に通電容量の大きい導体として開発されたものが図 2、3 に示すようなラザフォード型圧縮成型導体である。この導体は 0.81mm (427 芯) の素線を 30 本撚り合わせ圧縮加工を施したものである。この導体は、4.2K での通電試験の結果、自己磁界中で 10kA を越える通電が可能であることが確認されており、5T 中においてもこの約 1/2 の通電が可能であることがわかった。この撚り線は、撚り線条件の最適化を行った結果、現在数百 m 単位で作製することが可能になっており、焼成長を 200m にした場合においても、過冷却液体窒素中の全長検査でほぼ均一な特性を有していることを確認している。

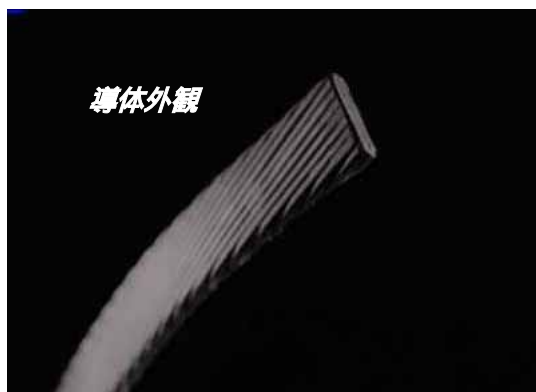


図 2 ラザフォード型圧縮成型撚り線の外観

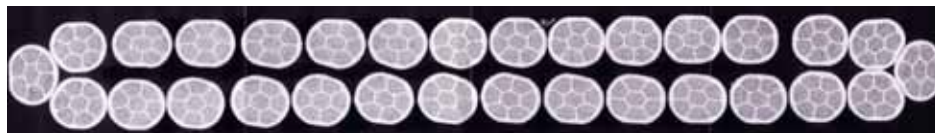


図 3 ラザフォード型圧縮成型撚り線の断面

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導線材技術 「先進 (Nb₃Sn、Nb₃Al、MgB₂) 線材の展望」

物質・材料研究機構
超伝導材料研究センター
熊倉 浩明

超電導線材の分野においては、いわゆる高温酸化物超電導体を使った線材開発が活発に行われ、目覚ましい成果を上げている。その影に隠れがちではあるが、従来の金属系線材の分野においても着実な進歩が見られ、具体的な応用を志向した研究開発が活発化している。本稿では、金属系線材のうち、Nb₃Sn と Nb₃Al 線材、それに最近の MgB₂ 線材について最近の研究動向を簡単に紹介したい。

まず Nb₃Sn では、Cu-Sn 固溶体 (ブロンズ) と Nb の拡散反応で Nb₃Sn を生成するブロンズ法によって実用化が達成され、Nb-Ti では不可能な 10T 以上を発生するマグネットの線材として用いられてきたが、最近では、ブロンズの濃度を限界の 16%にまで高めることで J_c が顕著に増大し、高 J_c 特性、高 n 値、超電導接続性が優先される高磁界 NMR マグネットに利用されている。一方 Cu マトリックス中に、Nb フィラメントのほかに、Sn をそのまま断面構成材とする内部 Sn 拡散法は、ブロンズ法に比べて交流損失性では劣るものの、Sn 含有量を高めることが可能になってより高い J_c が実現できるため、盛んに研究されている。最近では、次世代加速器の高 J_c 仕様を満足するさらに進んだ改良が、米国 Oxford Instruments 社によりなされている。すなわち、Cu の割合を極力下げることにより、4.2K、12T で 30 万 A/cm² の高い non-Cu J_c を得ることに成功した。また、内部 Sn 拡散法の弱点でもあった量産性についても、Sn の代わりにダミー塩を使用した 200kg の大型マルチピレットを熱間押し出しし、その後ダミー塩を Sn に置換する方式で改善した。今後は、RRR の向上、フラックスジャンプの抑制および耐歪み特性の改善などの研究が重要となろう。

Nb₃Al では、Nb₃Sn に比べて上部臨界磁界が高いこと、並びに耐歪み特性が優れている点が大きな利点である。線材化法としては、Nb/Al の多芯複合前駆体を急加熱・急冷却して bcc の過飽和固溶体とし、その後の熱処理で Nb₃Al に変態させる Rapid-Heating, Quenching and Transformation (RHQT)法が注目される。この方法では、化学量論組成に近く、かつ微細な組織が得られるので高磁界で優れた臨界電流特性が得られるという特長がある。Nb₃Al 線材の応用としては次世代加速器・核融合炉や高磁界 NMR 等が上げられる。加速器用線材では、米国が DOE の予算で開発を進めており、最近日本でも、KEK が中心となって研究開発が進められている。加速器用 Nb₃Al 線材の研究課題としては、まず第一に長尺化が上げられる。すでに 2600m の Nb/Al 前駆体線材が作製されているが、今後はさらに長尺の前駆体線材をめざすとともに、このような長尺線材の急熱・急冷処理を可能とする装置の作製や処理技術の確立が必要となる。また、線材の安定化技術の確立も重要である。これには Nb 被覆 Ag ロッドを内部に分散した内部安定化法や、銅のイオンプレーティング/電気メッキ法などが考えられる。さらには、フラックスジャンプに対する対策や、12-15T 領域での non-Cu J_c の向上をめざした変態処理条件の最適化、等が重要となろう。

一方の MgB₂ はまだ発見から 3 年しか経っておらず、現在のところ、いわゆるパウダー・イン・チューブ法によって線材化の研究が活発に行われているが、その研究レベルは Nb₃Al などに比べてもまだ初歩的な段階にある。それでも長さについては、すでに 1000m 級の線材も作製されており、長尺化が容易というこれまでの期待を裏切っていない。ただし、長尺線の J_c はまだかなり低いレ

ベルである。 $B_{c2}(B_{irr})$ については、600°C 前後の比較的低い熱処理によって 20K で 10T 前後の、4.2K における Nb-Ti 実用線材に迫る値が得られており、大きな期待を抱かせる。ただし、 J_c の磁界依存性が大きく、 J_c は磁界とともに急激に低下するのが難点である。このような MgB_2 線材の J-B 特性を改善する方法として、種々の不純物添加が試みられているが、その中では微細な SiC 添加が最も効果的であり、この SiC 添加によって、20K では 3T で 6 万 A/cm^2 の J_c が得られている。これらの値はまだ実用レベルには達していないが、発見当初に比べると大幅に J_c が改善されており、今後の進展に期待がもたれる。今後はピン止めセンターの導入が必要となるが、薄膜等のデータから有効なピン止め点として結晶粒界が示唆されており、 Nb_3Sn や Nb_3Al と同様に結晶粒の微細化が一つの研究の方向となる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連製品ガイド - 超電導線材 - (社名五十音順表示)

[Nb-Ti 合金複合超電導線]

ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー株式会社 (JASTEC) 線材事業部

NMR 分析器用線材、物性マグネット用線材

Tel:093-391-2836、Fax:093-391-2847

担当：村上幸伸

日立電線株式会社 伸銅事業本部 SCW プロジェクトグループ

核融合・加速器用導体、パルス磁界用導体

Tel:029-826-7416、Fax:029-826-1846

担当：鈴木洋一

古河電気工業株式会社 金属カンパニー第二営業部超電導製品課

高エネルギー加速器用導体、変動磁界用導体、各種銅安定化 Nb-Ti 導体

Tel:03-3286-3161、Fax:03-3286-3663

担当：吉川、清水

三菱電機株式会社

PVF 被覆超電導線材、ポリイミド被覆平角線材など

Tel:0427-79-5564、Fax:0427-79-5673

[Nb₃Sn 化合物複合超電導線]

ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー株式会社 (JASTEC) 線材事業部

NMR 分析器用線材、高磁界マグネット用導体

Tel:093-391-2836、Fax:093-391-2847

担当：村上幸伸

日立電線株式会社 伸銅事業本部 SCW プロジェクトグループ

高磁界マグネット用導体、核融合用導体

Tel:029-826-7416、Fax:029-826-1846

担当：鈴木洋一

古河電気工業株式会社 金属カンパニー第二営業部超電導製品課

NMR 分析器用線材、高磁界マグネット用導体、核融合炉用 CICC 素線

Tel:03-3286-3161、Fax:03-3286-3663

三菱電機株式会社

核融合炉用低ヒステリシス損失素線、直流用高臨界電流密度素線

Tel:0427-79-5564、Fax:0427-79-5673

[Nb₃Al 化合物複合超電導線]

日立電線株式会社 伸銅事業本部 SCW プロジェクトグループ

高磁界マグネット用導体、核融合用導体

Tel:029-826-7416、Fax:029-826-1846

担当：鈴木洋一

[ビスマス系銀シース酸化物超電導線]

昭和電線電纜株式会社 技術開発センター 超電導プロジェクト

銀シース Bi-2212 線材、電流リード

Tel:042-773-7163、Fax:042-773-7291

担当：長谷川隆代

住友電気工業株式会社 超電導開発室

銀シース Bi-2223 テープ

Tel:06-6466-7900、Fax:06-6466-5705

担当：林和彦

日立電線株式会社 伸銅事業本部 SCW プロジェクトグループ

Tel:029-826-7416、Fax:029-826-1846

担当：鈴木洋一

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 4-5月の催し物案内

3/28-4/1

2005 MRS Spring Meeting

場所：San Francisco, CA, USA

主催：Materials Research Society

問合せ：Materials Research Society、TEL:724-779-3003、FAX:724-779-8313

<http://www.mrs.org/meetings/spring2005/>

4/8

第1回超電導応用研究会シンポジウム「液体水素と超電導応用」

場所：産業技術総合研究所 臨海副都心センター会議室（東京都）

主催：低温工学協会 超電導応用研究会

問合せ：産業技術総合研究所 淵野修一郎 TEL:029-861-5819、FAX:029-861-5822、

e-mail:fuchino@aist.go.jp

4/15

東北・北海道支部 2005年度総会・講演会「超伝導材料技術開発の現状」

場所：東北大学金属材料研究所 本田記念館視聴覚室（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 渡辺和雄 TEL:022-215-2147、FAX:022-215-2149、

e-mail:kwata@imr.tohoku.ac.jp

5/16-20

PAC05 : 2005 Particle Accelerator Conference

場所：Knoxville, Tennessee, USA

問合せ：<http://www.sns.gov/pac05/>

5/18

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構受託事業

「フライホイール電力貯蔵用超電導軸受技術研究開発」成果報告会

場所：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 大会議室

主催：財団法人 国際超電導産業技術研究センター

問合せ：超電導工学研究所 企画本部 市原

TEL : 03-3536-5703、FAX : 03-3536-5717、e-mail : ichihara@istec.or.jp

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

5/30

超電導技術動向報告会

場所：都市センターホテル 3F コスモスホールI（東京都）

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>

5/31-6/2

春季低温工学・超電導学会

場所：東京大学 山上会館及び大講堂（安田講堂）（東京都文京区）

主催：低温工学協会

問合せ：<http://csj.or.jp/jcryo/conference2.html>

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (2/18-3/18)

放射線診療 日米比較 最新材料阻む認可の壁 2/18 読売新聞
放射線診療 日米比較 画像診断医 少ない日本 2/19 読売新聞
清水建設、マイクログリッドで実験 ピーク時電力量 ランニングコスト 3割削減 2/22 電気新聞
東大チームが発表 英語ペラペラ 脳は省エネ 2/23 読売新聞
創薬の新技术に注目 NMR、Spring8 利用し、たんぱく質解析 2/24 日刊工業新聞
「送電途中で年460億キロワット時失う」電力各地に自給網 化石燃料節減めざす 2/27 朝日新聞
マイクロ波自動車 宇宙太陽発電で車が走る 3/1 日刊工業新聞
リチウム専用超小型 MRI 手のみ撮影 低コスト 筑波大など 早期診断に道 3/2 日経産業新聞
新粒子発見 宇宙創生解明の手がかり? 3/2 読売新聞
東大と中国科学院 低温超電導電子を初観測 最高分解能の分光器開発 3/3 日刊工業新聞、日経産業新聞
一瞬の光によって絶縁性 有機物を永続的な金属に 有機デバイス発展に道 3/3 日刊工業新聞
Spring-8の挑戦II 原子振動で超電導の機構を探る 物質科学の最前線 3/4 日刊工業新聞
リニモ営業開始 3/7 読売新聞、朝日新聞
ITER 誘致 政治決着を日本に要求 欧州委員 3/7 電気新聞
テラヘルツ波で2次元断層像 阪大 動く物体も実時間で 工業計測への応用期待 3/8 日刊工業新聞
究極のクリーンエネルギー 水素の実力は? 「きちんと使えば怖くない」3/12 朝日新聞(夕)
水素ガス漏れただちに発見 テクニリンク 超小型センサー試作 3/12 日刊工業新聞
リニア基礎技術確立 国交省 コスト低減が課題 3/12 日刊工業新聞
いまは化石燃料頼りだが つぎの主役 燃料電池 グリーン水素が目標 3/13 朝日新聞
最強の加速器で多様な実験 J-PARCの完成予想 巨大顕微鏡、原子を観察 3/13 日本経済新聞
つくば不思議散歩 重い工具が宙に浮かぶ 3/13 日本経済新聞
アルツハイマー病 MRIで早期発見 理研など動物実験で確認 3/14 日本経済新聞(夕)、読売新聞(夕) 3/15 日刊工業新聞、日経産業新聞
東電記念科技研 研究助成5件を選定 超電導向け冷却法など 3/14 電気新聞
自由化欧米モデル 発送電分離、国際標準化に慎重論 電中研 識者見解まとめ 3/15 電気新聞
JR東海 超電導リニア館完成 立体映像で超高速体感 3/15 日刊工業新聞、毎日新聞
開発進むリニアカー 東京-大阪1時間が現実味 3/15 フジサンケイ ビジネスアイ
日本のとるべき原子力政策を聞く 自民電源立地等推進調査会長 大島理森氏 ITER 政治決着は尚早 3/16 電気新聞
GE 横河 MR、磁場強度倍に 撮影時間短く患者負担減 3/17 日経産業新聞
磁気で体外から誘導 カプセル型内視鏡 3/17 日経産業新聞
重イオン発生装置でビーム強度を大幅に更新 がん治療・半導体製造に応用 プラズマ状態で直接入射 3/17 日刊工業新聞、3/18 電気新聞、日経産業新聞
超電導線材コイル利用 東芝が限流器 耐久電圧66キロボルト 3/18 日刊工業新聞

[超電導 Web21 トップページ](#)

【ビジネストレンド】超電導速報 世界の動き (2005年2月)

電力

American Superconductor Corporation (2005年2月3日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は2004年12月31日に終了する第3四半期の収支を公表した。当期収入は、前年同期比約89%増の2,320万ドルに達し、これは、(四半期収入として)同社の新記録である。純損失は、前年同期の650万ドルに対し、当期は250万ドルであった。当期に、370万ドルの受注、新規契約締結があり、受注残は3,690万ドルに達している。また、その内1,300~1,500万ドルは、第4四半期に現金化されるものと予想される。第3四半期末時点で、キャッシュ等価物も含めたキャッシュ及び長短期投資額の総額が4,550万ドルであり、長期借入金はない。AMSCは、本年度の収入を5,800~6,100万ドル、純損失は、1,600~1,800万ドル程度になるものと予想している。

AMSCは、163,000mのBSCO線材を当期出荷するという記録を達成した。これは、前四半期及び前々四半期の出荷量を加えたものにほぼ等しく、前年度の出荷量を上回っている。同社最高責任者Greg Yurekは、「Bi系-HTS線材を市場に投入したという事実、及び次世代線材開発の面で今年度に達成した成果をもとに、我々は次世代線材への移行を加速するとの決断を行った。我々は、次世代線材がコマーシャルベースで市場に出た暁には、現在及び将来の顧客が次世代線材を使った製品を速やかに採用するのではないかと考えている。」と語った。

(出典)

“American Superconductor Reports Fiscal 2005 Third Quarter and Nine-Month Results”

American Superconductor Corporation press release (February 3, 2005)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=670058&highlight

American Superconductor Corporation and Siemens AG (2005年2月8日)

American Superconductor Corporation (AMSC)及びSiemens AGは、AMSCの次世代HTS線材及びSiemensの限流器設計をベースとしたHTS限流器の商品化開発・検討のための戦略的アライアンスを組むと発表した。このアライアンスを組む前に、両社は欧州、カナダ、米国の電力会社から各種データを入手し、その情報を元に特定の顧客のニーズをつかみ、FCLデモ装置に向けてのロードマップを作成した。このアライアンスにより、両社の以前の仕事や手持ちの技術財産を市場に出すことができる。この合意の元で、Siemensは限流器の性能仕様を明確にし、American Superconductor Corporationは、その仕様に適合するよう標準の次世代HTS線材最適化を図る。次世代HTS線材のSiemens向けの出荷は、2005年中に行われる。

(出典)

“American Superconductor and Siemens Form Strategic Alliance to Develop and Commercialize Advanced Grid Reliability Technology”

American Superconductor Corporation press release (February 8, 2005)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=671609&highlight

SuperPower, Inc.(2005年2月8日)

Intermagnetics General Corporationの子会社であるSuperPower, Inc.の2名の研究者が、西ニューヨーク知的所有権法協会2005年優秀発明賞を受賞した。上級研究員Xing Yuan及び主管技術員Drew W. Hazeltonが、SuperPower社のマトリクス型限流器に関する仕事により受賞した。Yuanは、1996年にIGCに入社し、現在はMCFLの技術設計チームのリーダーの任にある。Hazelton

は 1980 年 IGC に入社、超電導部品を含む色々なプログラムのマネージメントを行ってきた。発明賞の選考基準は、創造性、経済的価値、問題解決の困難さ、社会全体への貢献の度合い、その分野での発明の重要性及び発明者の活躍度である。

(出典)

“SUPERPOWER INVENTORS RECEIVE 2005 ‘INVENTOR OF THE YEAR’ AWARD”

SuperPower, Inc. press release (February 8, 2005)

http://www.igc.com/news_events/news_story.asp?id=152

Trithor (2005年2月10日)

ドイツ、日本、ニュージーランド、米国からの 20 の会社や機関が、超電導製品やエネルギー技術、送電、輸送技術、センサー技術、エレクトロニクス分野の革新的サービスをハノーバー・フェア (2005年4月11~15日) において展示を行う。ハノーバー・フェアは工業技術に関する世界のショウケースとも言える大展示会である。「超電導」は、研究開発パビリオンの 3 大中心テーマのうちの 1 つであり、超電導の様々な応用がハイライトを浴びることになる。磁気浮上列車の可動モデルや世界最大の HTS 限流器等が展示される予定。Trithor は、超電導線材、超電導モーター・コイル、ケーブル断面等の各種超電導部品類を展示する計画である。

(出典)

“Superconductivity in the Spotlight of Hannover FairHall 2—International Group Pavilion to Demonstrate Applications”

Trithor press release (February 10, 2005)

http://www.trithor.de/pdf/2005-02TrithorHannovermesse_ENG.pdf

Intermagnetics General Corporation (2005年2月15日)

Intermagnetics General Corporation (IMGC)は、以前発表した4,920万ドル及び税金精算金を代金とする子会社Polycold SystemsのHelix Technology Corporationへの売却を完了した。この売却は税引き前で約4,000万ドルの価値に相当すると見込まれる。Polycold Systemsの売却は、IMGCの計画的な事業売却の一環であり、その目的は財務、マネージメントを医用デバイスに集中することである。同社最高責任者Glenn H. Epsteinは、「この売却による収入は、昨年のInvivo及びMRI Devicesの買収に関連する長期借入金の返済に充てることができ、借入金を大幅に減らすことができる。また、Invivo及びMRI Devicesの買収は、医療デバイス市場におけるIGCの地位を強化するものである。」と述べた。

(出典)

“Intermagnetics Completes Sale of Polycold Subsidiary”

Intermagnetics General Corporation press release (February 15, 2005)

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=88261&p=irol-newsArticle&ID=675336&highlight>

American Superconductor Corporation (2005年2月23日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、カナダ・アルバータ州のケトルス風力発電所に設置予定のD-VAR電圧調整システムを新たに受注したと発表した。これで8箇所の風力発電所がAMSCのD-VARシステムを選択したことになる。2006年に完成すれば、この風力発電所は、35のVESTAS社の風力発電機を保有し、63MWの排ガス・ゼロ発電を行うことができるようになる。AMSCのD-VARシステムは、アルバータ送電グリッドへの接続点において全ての風力発電所に対し電圧をダイナミックに制御し、風速に変動があっても安定した電圧を維持する。全部で8箇所の風力発電所は、AMSC社の高性能D-VAR電圧制御技術を利用しており、610MWの電力を生み出すことができる。これは、300,000世帯の電力需要を満たすのに十分な電力である。

(出典)

"American Superconductor Receives New D-VAR(R) Order for Connection of Canadian Wind Farm with Electric Transmission Grid"

American Superconductor Corporation press release (February 23, 2005)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=677853&highlight

American Superconductor Corporation (2005年2月24日)

American Superconductor Corporation (AMSC) は、1株当たり10.5ドルで一般株400万株を一般向けに売り出した。募集は2005年3月1日に締め切られる。これによる収入は3,960万ドル程度になると見込まれている。AMSCは、この収入を運転資金及び一般経費として使う予定。その用途には、次世代HTS線材製造ラインのスケール・アップも含まれる。

(出典)

"American Superconductor Announces Pricing of Public Offering of \$42,000,000 of Common Stock"

American Superconductor Corporation press release (February 24, 2005)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=678486&highlight

エレクトロニクス

HYPRES, Inc.(2005年2月7日)

HYPRES, Inc.は、米国国防省と220万ドル委託契約を締結した。目的は、将来の軍用無線通信用の新たなデジタルRF線形化技術の開発である。この契約(海軍SBIR第2フェーズ及び陸軍SBIR第2フェーズ)により、HYPRESは超電導マイクロエレクトロニクス技術を使って、業界初のブロードバンド・アプリケーション向けRFデジタル線形化回路を開発、製造する。RF線形化は、高出力アンプの効率を大幅に改善することが期待されており、これにより、多チャンネル・ワイドバンド通信で低出力の場合に通信性能を改善することができる。2つの契約は、以前発表されたミサイル防衛局のRF線形化プロジェクト(HYPRESとロチェスター大学が担当)とも関連があるものである。

(出典)

"Recent DoD Contract Wins Pave Way For HYPRES To Develop New RF Linearization Technology For All JTRS Frequencies"

HYPRES, Inc. press release (February 7, 2005)

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

通信

ISCO International, Inc. and Superconductor Technologies Inc. (2005年2月4、7日)

控訴裁判所は、ISCO International Inc.及びSuperconductor Technologies Inc. (STI) のISCO社がSTI社に起こした'215特許侵害訴訟に関する2003年の判決(陪審員陪席)及び裁判所決定に関する控訴に対し判決を下した。控訴裁判所は、ISCOの米国特許"Cryoelectronically Cooled Receiver Front End for Mobile Communications System"が正当性に欠け、これには拘束されないという陪審員の判断を認めた。控訴裁判所は、また、STIの不当競争であるという訴えを退けた予審の結果を支持した。この決定の結果、両社とも相手方に対する支払い義務はなくなった。

(出典)

“ISCO INTERNATIONAL ANNOUNCES COURT RULINGS IN PATENT LITIGATION APPEAL PROCESS”

ISCO International Inc. press release (February 4, 2005)

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

“Superconductor Technologies Inc. Receives Affirmative Ruling on '215 Patent Infringement Lawsuit”

Superconductor Technologies Inc. press release (February 7, 2005)

<http://phx.corporate-ir.net/staging/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=670879&highlight>

ISCO International, Inc. (2005年2月10日)

ISCO International, Inc. 及びその資金提供者は2005年4月1日であった借入金の返済期限を延長することに合意した。延長された期限は2006年4月1日。ISCOの新しい最高責任者 John Thode は、「借入金の期限延長交渉が成功したことは喜ばしいことである。このことは、ISCOのこれまでの顕著な実績と将来の可能性を反映したものだと思う。」と述べた。

Source:

“ISCO INTERNATIONAL REPORTS ELECTION OF JOHN THODE TO BOARD OF DIRECTORS AND CREDIT LINE EXTENSION”

ISCO International, Inc. press release (February 10, 2005)

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

ISCO International, Inc. (2005年2月17日)

ISCO International, Inc.は、第4四半期及び通年の収支を発表した。同社の収入は、4半期ベースで65万ドル(前年同期130万ドル)、通年ベースで260万ドル(前年320万ドル)であった。4半期、1年とも締めは2004年12月31日。同社の損失は、4半期ベースで200万ドル(前年同期319,000ドル)、通年ベースで700万ドル(前年720万ドル)であった。ISCOの2005年第1四半期に出荷が予定されている受注残が250万ドルある。これら発注の大部分が無線通信ネットワークにおける第3世代データ・サービスがらみである。

(出典)

“ISCO INTERNATIONAL REPORTS FOURTH QUARTER AND FULL YEAR 2004 RESULTS; RECORD BACKLOG ENTERING 2005; AND INVESTOR CONFERENCE CALL ON FEBRUARY 25TH AT 4PM EASTERN”

ISCO International, Inc. press release (February 17, 2005)

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

ISCO International, Inc. (2005年2月25日)

ISCO International, Inc.は、2005年第1四半期の収入を300万ドル程度と予測している。同社最高責任者 John Thode は、「次の週までには、2005年第1四半期の出荷は、2004年通年と同規模になる。我々は、第1四半期が終わるまでにこの数字はもっと多くなるだろうと思っている。予想通り、顧客のプロジェクト計画に関連して第2四半期に向けても発注は継続している。」と述べた。

(出典)

“ISCO INTERNATIONAL REPORTS \$3 MILLION FIRST QUARTER 2005 REVENUE FORECAST; BACKLOG FOR SECOND QUARTER BUILDING”

ISCO International, Inc. press release (February 25, 2005)

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

量子計算機

National Institute of Standards and Technology(2005年2月24日)

National Institute of Standards and Technology (NIST)及び University of California, Santa Barbara (UCSB)の研究者は、ジョセフソン接合から構成される超電導デバイスの特性を明らかにした。このデバイスは、特別な相互依存状態に置かれ、デバイスが作り出す波形が原子の中の量子状態の間の遷移に対応する振動を模擬するものである。この実験は、将来の超強力量子計算機におけるメモリーや演算用の、超電導材料を使った人工原子の利用に向けた重要な1歩である。これまで超電導Qビット(量子計算機において、現在の計算機の1、0に対応するもの)は、隣接Qビットに不要な乱れが生じるのを避けるため1度に1回の測定しか行えなかった。NISTの実験では、2つの結合した人工原子の量子特性が事実上同時に測定できるということを示したものである。このように、人工原子の特性を"entanglement"として知られる状態と等価な状態に置くことができ、量子計算機における論理ゲートを構成することができる。Qビットとして本物の原子を使う研究者はもっと先へ進んでいるが、超電導回路は容易に加工できること、お互いの結合も容易であること、既存の集積回路の技術につなげやすいこと、半導体加工技術を使って大量に生産できることといった利点がある。NIST研究者のRay Simmondsは、「量子計算機が実用になるか否かにかかわらず、この結果は、量子世界を電気システムとして設計し、制御し、計測するための新たな道を切り開くものである。我々は、過去には直接観測されたこともなかった未知の個々のナノスケール量子システムを既に検知した。この発見は、ナノ技術のこれまで考えもしなかった前進につながる可能性も秘めている。」と語った。この結果は、2月25日のScienceに掲載の予定。

(出典)

"NIST-UCSB Scientists Entice Superconducting Devices To Act Like Pairs Of Atoms"

National Institute of Standards and Technology press release (February 24, 2005)

http://www.nist.gov/public_affairs/releases/qubits.htm

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

[超電導 Web21 トップページ](#)

標準化活動 4月のトピックス

- JIS H 7005 (超電導関連用語) 2005年版改正・発行 -

財団法人日本規格協会は、日本工業標準調査会の審議結果を受けて、平成17年3月20日付けでつぎの超電導関連JIS規格を改正・発行した。

名称：超電導関連用語
規格番号：JIS H 7005：2005

制定日：平成17年3月20日

発行：財団法人日本規格協会

規格の構成：規格本体；序文、適用範囲、引用規格、用語及び定義、解説、五十音順索引、アルファベット順索引

改訂用語の概要：本規格は、初版超電導関連用語規格JIS H 7005:1991の改正版である超電導関連用語規格JIS H 7005:1999をさらに改正したものである。今回の主な改正点は、つぎの3項である。

- (1) IEC 60050-815:2000版への整合対応
- (2) 高温超電導体関連などに係わる新規用語の追加
- (3) IEC 60050-815:2000版のメンテナンスに係わる訂正

規格原案作成：JIS原案作成委員会（委員長：長村光造京都大学教授）のもとにJIS原案作成WG1（主査：小川陸郎函館工業高等専門学校教授）を設置して実施された。

対応国際規格：IEC 60050-815:2000 International Electrotechnical Vocabulary – Part815: Superconductivity

なお、JIS規格の入手は、財団法人日本規格協会（〒107-8440東京都港区赤坂4丁目1-24 TEL:03-3583-8071、FAX:03-3582-3372）のWeb store (<http://www.jsa.or.jp>)へ直接ご用命ください。

（ISTEC 標準部長 田中靖三）

[超電導 Web21 トップページ](#)

第4回材料研究会「冷媒としての液体水素と各種超電導材料の特性」より

低温工学協会は、2005年3月7日に「冷媒としての液体水素と各種超電導材料の特性」をテーマとした第4回材料研究会を開催した。研究会は岩谷瓦斯(株)尼崎工場で開催され、講師を含め40名が参加した。

研究会に先立ち、岩谷瓦斯(株)倉重力也常務取締役から、同社における液体水素事業の将来構想が紹介された。同社の事業計画は、現在の尼崎工場における液体水素の製造能力約550L/h(工学的に利用可能な冷熱エネルギー、エクセルギーとして年間2,700万kcal)の10倍以上の製造能力6,000L/h(エクセルギーとして年間28,000万kcal)を持つ堺工場を平成17年4月に操業開始するというものであった。

まず、液体水素プラントの見学会が実施された。岩谷瓦斯(株)尼崎工場では隣のダイソウ(株)尼崎工場から食塩水の電気分解によって生成される水素を買受け、1次精製水素(純度4N 露点-80)を圧縮水素ガス(35MPa)として一般工業用に販売している。さらに、この1次精製ガスをさらに6N以上に精製後液体窒素で予冷し、冷凍機で液体水素を製造している。構内には1基5万Lの定置式液体水素貯槽4基、長距離輸送用12,000L級液体水素ローリー数台、2,000L級液体水素コンテナなどを保有していた。

岩谷瓦斯岩下博信氏により水素事業の意義、液体水素の特性と取扱いについての講演がなされた。水素事業は、圧縮水素ガス事業に加え、これまでの工業用石炭、石油、天然ガスといった化石エネルギー社会を脱しうるクリーンで低CO₂排出の水素エネルギー社会に向けてすでに展開し始めている。この水素エネルギー社会の実現のためには、大きな5つの課題がある。すなわち、(1)2030年の水素需要380億m³に対応するための製造能力を10倍以上に増大、(2)全国8,000ヶ所以上の水素ステーションへの効率的な水素の供給、(3)2030年頃の水素コストを40円/m³に低減、(4)水素の定常的な用途と将来的な用途開発及び(5)水素ガス及び液体水素の安全技術の開発とのことである。これらのうち(1)は堺工場操業で解決、(2)は液体水素搬送で環境負荷80%削減、(3)は水素源を電気分解水素から液化天然ガスの変更に解決、(4)は液体水素の冷熱利用、ロケット推進液体燃料、超電導機器の冷却などを開発中、(5)には法令順守啓蒙に加え自主的な保安活動の継続が不可欠のことであった。

この後、液体水素温度(20.4K)近傍のBi系線材、MgB₂線材及び特性に関する講演が、それぞれ加藤武志(住友電工) 熊倉浩明(物質・材料研究機構)及び木須隆暢(九州大学)によってなされた。Bi系線材の77Kにおける特性はCT-OP法を適用することによって、自己磁界での臨界電流を約2倍にできる見通しが得られた。この結果、20Kに冷却すれば4Tにおいても従来の250倍以上に特性向上が期待でき、各種超電導機器への応用が期待できるとのこと。In-situ法によるMgB₂線材ではSiCを分散添加することによって不可逆磁界B_{irr}はNbTi線材と同等になったものの、20Kで利用するためには更なる臨界電流向上、長尺化技術、安定化技術などの課題が残されているとのこと。Y系テープ線材は、すでにNbTi線材の4.2K運転における同等基本特性が20Kで達成されているものの、長尺化技術、低交流損失化、超電導機器実証技術などの課題が残されているとのことであった。

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

やさしい超電導デジタル応用のおはなし (その 2)

SRL/ISTEC

デバイス研究開発部 低温デバイス開発室

室長 日高睦夫

その 2: ネットワークルータ 2

超電導工学研究所に勤める健くんには文香さんという婚約者がいる。文香さんは将来夫となる人の仕事を理解しようと色々勉強しているが、どうもわからないことが多い。特に健くんが研究している SFQ (単一磁束量子) 回路というものが何の役に立つのかさっぱりわからない。そこで健くんは SFQ 回路が何の役に立つのか聞いてみることにした。

スループットとレイテンシ

文香: 今日、この前の続きね。確か SFQ 回路を使うとどうしてスイッチカードの性能が上がるのかということからだったよね。

健: そうだね。簡単に言ってしまうと、SFQ 回路は半導体回路よりパケットを高速に処理できる、ということなんだけど。

文香: ニヶ月待って、たったそれだけ。何かもうちょっと、今日は勉強したなって気になるように教えてくれない。

健: それじゃ今日は SFQ 回路の本質にせまる話をしてあげるね。まず、回路の処理スピードを表す時にスループットとレイテンシという言葉を使うんだけど、知ってる。

文香: スループットというのは、「ルータの処理できるデータ量」ってこの前聞いたけど、そのこと。

健: まあ、そうだね。この前の話はルータのシステムとしての処理量のことだったけど、一定時間に回路が処理できるデータ量もスループットと言うんだよ。

文香: でもレイテンシというのは、私の人生の中では一度も聞いたことのない単語ね。

健: そうだろうね。普段使わない言葉だからね。レイテンシというのは、ある回路にデータが入ってから出てくるまでの時間のことだよ。

文香: でも、データが入ってから出てくるまでの時間が短かったら処理できるデータ量も当然大きくなるんだから、同じことじゃないの。

健: それが同じじゃないんだな。10 人の人が一列に並んでバケツリレーをする場合を考えてみよう。ある人がバケツをもらってから隣の人にバケツを渡すのに 1 秒かかるとすると、最初の人バケツを取ってから最後の人バケツを出すまで 10 秒かかるね。これがレイテンシなんだ。この時スループットは 10 秒に 1 個だね。一度に運ぶバケツが 1 個だけだったら、スループットとレイテンシは確かに同じことを見方を変えて言っているだけだけど、バケツの数を増やして、1 個目のバケツが真ん中に来たときにもう 1 個を運び始めたらどうなる。

文香: 10 秒間にバケツ 2 個ってということ。

健: そうそう。スループットは 2 倍になるだろ。こんな風にバケツの数を増やしていけば、スループットは最大 10 秒に 10 個まで増やせるわけだ。

文香: そうか。でもレイテンシが同じでもスループットが高いと、休みなしに働かなければならぬいからバケツを運ぶ人は大変ね。

健：そうだね。半導体回路ではバケツを増やすにはレジスタというメモリを回路の中に入れ込む必要があるんだけど、半導体のレジスタは普通の論理ゲートと比べると、大きくて、スピードが遅いという欠点があるんだ。だから、半導体回路ではスループットをむやみに上げようとしても、思ったほど上がらないし、レイテンシが許せないほど大きくなるという問題があるんで、普通は論理ゲート 10 個に 1 個くらいの割合でレジスタを使っているんだよ。これに対して、論理ゲート自身がメモリの機能を持っていることが SFQ 回路の大きな特徴の一つなんだ。だから、レジスタなんか使わなくてもいいから、レイテンシを変えずに思いっきりスループットを高くできるんだよ。

文香：そうか。SFQ 回路は働き者なんだ。

健：変な納得してるね。ここで大事なことは、スループットが高いということは、次々に結果が出てくるわけで、データの処理量が大きいということだよ。スイッチカードのデータ処理量が大きいと、より大容量のルータが構成できるということはこの前説明したよね。

文香：うん。覚えてる。それでルータではスループットっていうことが大事なのね。

SFQ スイッチと半導体スイッチのクロックレート

健：半導体回路も SFQ 回路もクロックという周期的に発生されるタイミングパルスに合わせてすべての処理を行っているんだけど、クロックごとに処理は進んでいくので、このクロックが速いとスループットは大きくなるんだよ。パソコンの商業でペンティアム* 3.4GHz (ギガヘルツ) とか言うだろ、あれがクロックの速さ、クロックレートだよ。ヘルツは周波数の単位で 1 秒間に何回クロックが発生するかを表していて 3.4GHz は 1 秒間に 34 億回クロックが発生するという意味だよ。スイッチみたいな回路だと、1Hz で 1 ビットのデータが処理されていくと考えるとわかりやすいね。

文香：意味は知らなかったけど、クロックなら聞いたことがあるわ。

健：超電導工学研究所でクロックレート 40GHz の SFQ スイッチ動作実験に成功しているんだ。将来的には 160GHz のクロックレートも十分可能だよ。ところが、半導体スイッチのクロックレートは数百 MHz、それも低い方の 400MHz くらいが今のところ最高なんだ。ちなみに、GHz は MHz の 1000 倍だからね。

文香：ちょっと待ってよ。今ペンティアム 3.4GHz って言ったばかりじゃない。ペンティアムは半導体でしょう。

健：確かにね。でも、ペンティアムはプロセッサだろ。スイッチはちょっと事情が違うんだ。

文香：どう違うのよ。

健：ペンティアムの 3.4GHz というのは、プロセッサの一部が 3.4GHz のローカルクロックで動いているだけで全体がこのクロックレートで動いているわけではないんだ。全体を動かしているグローバルクロックは数百 MHz とされているよ。それにプロセッサは稼働率が 0.2 くらいの回路なので、クロックレートを上げても、それによる消費電力増加の影響が比較的小さくてすむんだ。これに対して、スイッチは一部だけを速く動かしても意味がなくて、速くするならグローバルクロックを上げる必要が有るんだよ。もう一つ、スイッチは稼働率がほぼ 1 の回路なので、クロックレートを上げると消費電力増加が深刻になるという問題もあるよ。

文香：それで半導体スイッチのクロックレートはそんなに大きくないのね。SFQ スイッチは半導体スイッチより 100 倍くらいクロックレートが大きいんだ。

*ペンティアム：Intel 社のマイクロプロセッサ

並列展開とその問題点

健：ルータに入ってくるパケットのデータレートは通信側で決まっています、大容量のものは現在 10Gbps が使われているよ。10Gbps というのは、1 秒間に 10G ビットのデータがルータに入ってくるということだけど、半導体スイッチのクロックレートが 400MHz だとすると、1 秒間に 400M ビットつまり 0.4G ビットしかデータを処理できないということになるね。これじゃ処理量が足りないからどう思うと思う。

文香：困ったわね。ゴメンナサイって言って、許してもらおう。

健：誰も許してくれないから。こういう時には、入ってきたデータを並列展開するんだ。

文香：並列展開って？

健：10Gbps のデータを 25 本の 400Mbps データに分けてしまうんだよ。こうすれば、400MHz のスイッチでも処理できるだろう。

文香：かしこいわね。これで問題解決じゃない。

健：ところが、そうでもないんだな。データを 25 本に分けるということは、それを処理する回路が単純に考えて 25 倍必要になるということだろ。それに、25 本に分ける回路や処理された結果をまた 1 本にまとめるための回路も必要になるだろ。しかも、一つのスイッチカードにつながったポートは何十本とあるんだ。半導体スイッチではこういう処理をしているために、回路量が増えすぎて回路が出す熱の影響で回路がうまく動作しなくなってしまうことが大きな問題なんだ。

文香：発熱が問題だったら、回路を少し離して置けばいいんじゃないの。

健：いい所突いてくるね。実は半導体スイッチでもそういうことやっていて、大きなボードの上にたくさんの LSI を置いてスイッチカードを作っているんだ。でも、一つのチップ内では回路と回路をつなぐ配線は比較的自由にできるけど、チップとボードを高速につなぐピンの数はそんなにたくさん取れないんだ。おまけに、並列化で回路が複雑になってしまっているから、必要な配線をつなぐことが段々難しくなっているんだ。これをピンネックというんだけどね。それにチップとチップの間の距離が開いてくると、400MHz といってもその速さでデータを隣のチップに伝えるのは大変なんだ。半導体の配線は長距離の伝送に弱いからね。

文香：なんだか大変ね。

健：そうなんだ。並列展開は集積度が高い半導体ならではの方法なんだけど、発熱の問題とピンネックの問題から増大するネットワークからの要求に応えることが難しくなっているんだ。通信速度はこれから 40Gbps の時代に移っていくと言われているけど、そうなったらますます困ったことになるね。

SFQ スイッチが高性能な理由

文香：それで、SFQ 使ったらどうなるの。

健：さっきも言ったように、SFQ 技術を使ったスイッチは今でも 40GHz で動作することが確認されているんだ。これを使えば、10Gbps ポート 4 本からのデータをまとめて SFQ スイッチの一つの入力に入れることができるから、回路量は逆に減らすことができるんだ。半導体の場合とえらい違いだろ。SFQ 回路はもともと低消費電力だけど、回路量が少ないから、ますます低消費電力だし、回路も簡単になるからピンネックにも強いんだ。それに将来通信速度が 40Gbps、160Gbps とかになっても、クロックがそれについて行くことができるからね。

文香：SFQ のスループットが大きいという特徴、つまり一定時間の間にたくさんのデータを処理することができるという特徴が、流れ込んでくる大量のデータを次々に処理しなくてはならないネットワークルータにとっても向いているというわけね。だから SFQ にはまだまだ余力があるので、将来の通信量増大にも対応できるってわけね。

健：素晴らしい。それが分かってくれたら、言うことなしだね。

文香：ほめてくれて、ありがとう。

健：これは 40GHz クロックでの動作が確認された 4 入力、4 出力 (4x4) SFQ スイッチの写真なんだけど (図 1)、5mm 角のチップに乗っている小さな回路だろ。しかも、5mm 角をめいっぱい使っているわけじゃなくて結構スカスカだろ。このスカスカの回路でもスループットは 160Gbps あるんだ。今一番大きな半導体ルータシステムでもスイッチのスループットは 640Gbps だよ。これは、一辺が数十センチあるような大きなボード数枚で構成されているんだ。もちろん半導体のスイッチカードには制御回路なんかも含まれているんで単純に比較はできないけど、SFQ スイッチも半導体スイッチ並みの大きさにすれば、とんでもない性能のものができるとわかるだろ。

文香：へえ～、SFQ スイッチってこんなにちっちゃいのにすごいんだ。

健：すごい性能がびっくりするほど簡単な回路で実現できるってことが、SFQ 回路の魅力であり、その魅力の秘密が高いスループットにあるってことをわかってくれれば、一生懸命説明してきた甲斐があったよ。スイッチに関してはもうちょっと話があるんだけど、大分長くなっちゃったから続きはまた今度ね。

文香：健君もそれまでスループットを上げてしっかり働いてね。

健：.....

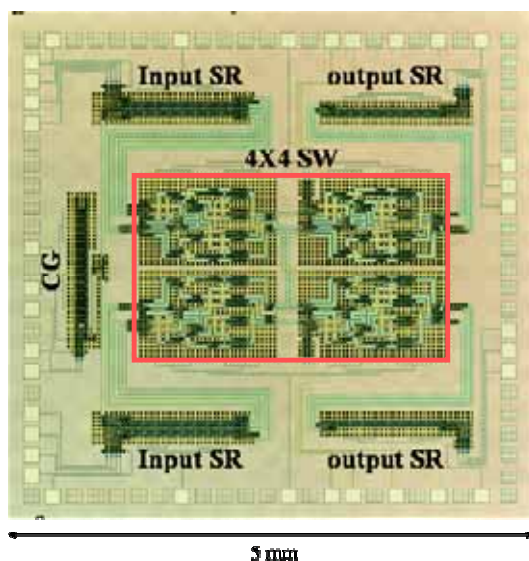


図 1 SRL で開発した SFQ4x4 スイッチのチップ写真
赤い囲みの中がスイッチ回路、それ以外はテスト用回路

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：身近な超電導機器にはどのようなものがあるでしょうか？

A：学校や自宅はもちろんのこと、電車、駅、公園など私たちの身の回りを見渡しましても、超電導機器は見当たりません。しかし、もし病院やいま開催中の愛知万国博覧会に行けば、超電導機器に巡り合うことができます。

健康なひとには無縁かもしれませんが、健康に少し不安があるひとが某病院でMRI診断を受けたというお話を聞いたことがあると思います。主要な病院には代表的な超電導機器であるMRI診断装置が設置されており、がんや悪性腫瘍などの早期診断に役立っています。MRI診断装置には、被験者を乗せたベッドごと案内されるトンネル状の超電導マグネットという装置が必ず組み込まれています。この超電導マグネットの磁界の強さは強力で、エレキバンの10倍から15倍の10,000ガウスから15,000ガウスです。このような強力な磁石が必要なわけを説明しましょう。がんや腫瘍組織の水の含有量は健全な組織とは微妙に違うことが臨床学的にわかっています。したがって、がんや腫瘍組織の近傍を輪切りにした断層写真があれば、健全な組織と対比してがんや悪性腫瘍を診断できます。しかし、この微妙な水（正確には水を構成する水素原子核）の分布や量を鮮明な映像として診断するためには、強力な超電導マグネットが不可欠なのです。磁界の強さが弱いと、異常組織と健全組織との識別ができなくなり、がんや悪性腫瘍の早期診断ができません。

もう、愛知万博には行かれませんか。企業パビリオンのJR東海超電導リニア館を訪ねますと、超電導リニアモーターカーの実物の見学とバーチャル画像体験をすることができます。展示されている1車両には4基の超電導マグネットが搭載されています。展示されている超電導リニアモーターカーは、山梨県の都留にある山梨実験線から出張してきているものです。山梨実験線における走行実験では、すでに世界最高の時速581kmを記録しています。超電導リニアモーターカーに適用されている超電導マグネットの磁界の強さは、エレキバンの強さの約50倍の50,000ガウスです。余談ですが、万博会場へのアクセス鉄道として走行している愛称「リニモ」という乗り物がありますが、「リニモ」は超電導リニアモーターカーではありません。この乗り物の原理は超電導リニアモーターカーと同じで、万博会場内のような近距離を往来する時速50km程度の乗り物です。

この他にも私たちの身の回りには、まもなく新しい超電導機器がお目見えしようとしています。たとえば、SQUIDという微弱な磁気センサーを組み込んだ心電図に代わる心磁計や胎児診断装置、強力バルク超電導磁石を組み込んだ湖沼のアオコなどを除去してくれる超電導磁気浄水装置などがあります。

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)