

掲載内容 (サマリー):

特集: 超電導線材

超電導線材のこれまでと今後
Nb 系超電導線材の実用及び開発状況
Bi 系超電導線材の実用状況
Y 系超電導線材の開発状況
PIT 法で作製した MgB_2 線材の臨界磁界
超電導関連製品ガイド - 超電導線材

超電導関連 2 - 3 月の催し物案内
新聞ヘッドライン (12/20-1/20)
超電導速報 - 世界の動き (2003 年 12 月)
標準化活動 - TC90 と電気学会との協力関係始動 -
特許情報
応用物理学学会超伝導分科会主催第 28 回研究会報告
Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics (ACASC) 参加報告
隔月連載記事 - ITER 超電導コイル開発への道のり (その 1)
読者の広場(Q&A) - 酸化物超電導線が高磁界マグネットは作れるのでしょうか?

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

発行者
財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集局
〒105-0004 東京都港区新橋 5-34-3 栄進開発ビル 6F
Tel (03) 3431-4002 Fax(03) 3431-4044
超電導 Web21 トップページ: <http://www.istec.or.jp/Web21/index-J.html>



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

特集：超電導線材 「超電導線材のこれまでと今後」

昨年の超電導関係者のノーベル賞受賞で、超電導が今後も魅力ある技術であることを当事者ながら、あらためて思い知らされた。しかし、魅力的であるだけにその期待も大きく、昨今の不景気をも配慮した実用線材化への明確なシナリオが一層望まれている。この特集号の他の記事で詳細は述べられるが、最近の超電導線材全体について概観し、あらためて今後を考察することは意義が大きいといえる。

近年の線材関係のトピックスをみると、金属系では、(1)NbTi 線での精緻にサイズコントロールされた LHC (CERN の加速器) 用 NbTi 導体(古河電工)、(2)ITER 中心ソレノイドコイル (CS コイル: 46kA、13T、640MJ) の成功。導体 1m あたり 60 トンの電磁力に耐えるインコロイコンジット Nb₃Sn 導体の開発(原研)などがある。また、線材の素材でも高特性化が進められており、より高い臨界電流密度 J_c の得られる Nb₃Sn (東海大) や Nb₃Al(物材機構)、高強度の Nb₃Sn (古河電工) などが最近検討されている。

Bi 系線材では、昨年末、古河電工が横須賀電中研に 500m のケーブルを完成させた。他方、熱処理を改良して高 J_c 化を目指した研究も行われている(住友電工、American Superconductor(AMSC)社)。また、この線材では中国の InnoST 社も急速に特性を上げている(400m 線で 90A の臨界電流。第 1 回アジア低温工学会議(北京 2003 年 12 月))。同様に米国でも Bi 線を用いたケーブルプロジェクトが盛んであるが、依然として低価格化は大きな課題である。また、液体窒素温度(77K)では磁場中の J_c が低く、高磁場応用には使えない。

MgB₂ はごく最近 2001 年に発見された材料であるが、線材化のスピードは速く、10m (SRL) 100m(日立、物材機構)クラスが開発されている。しかし、臨界温度が 38K 程度であるために、主に 4.2K 応用を目標とした特性改善が行われている。最近、物材機構では Nb₃Sn 線を上回る不可逆磁場(4.2K で 23T)をもつ MgB₂ 線を開発している。製法が簡単であり、低コストの可能性が高いので、MgB₂ 線が Nb₃Sn 線に置き換わる可能性は大きいと言える。

さて、YBCO 線材である。ご承知のように、1986 年の高温超電導の発見時代から期待されてきたが、線材としての長尺化が可能な製法の提案(YBCO 結晶粒の 2 軸配向技術、IBAD(フジクラ)、ISD(住友電工)など)が出てきたのは 90 年代前半であった。高度な結晶配向技術を駆使するために開発には時間を要しているが、液体窒素 77K でも磁場中の J_c が高く、応用域も広く、やはり Y 系高温超電導線材が本命といえる。その YBCO 線材であるが、超電導応用基盤開発プロジェクトの後押しを受けて、ここへ来て開発が急速に進み、実用線材化への正念場を迎えつつある。昨年には、フジクラが 100m 級の IBAD 法線材を発表し、SRL は IBAD 法を高速にする Self-Epitaxy PLD-CeO₂(セリア)法を開発し、100m 級の基板を発表した。米国では上記 AMSC 社が低コストの可能性が高い化学溶液法(TFA 法)で 10m 級の線材を開発し、SRL では本方法で 292A の実用レベルの臨界電流 I_c が得られることを示した。実用線材化へ着々と進んでいるが、今後の実証は数十-100m クラスになるので、効率性を重んじた相当の努力が求められている。

YBCO 線材における製法の主役は、基板では IBAD 法、RABiTS 法、超電導層では、PLD 法、TFA 法、CVD 法に絞られてきたが、長尺化に加えて、上記 NbTi、Nb₃Sn 及び Bi 系で紹介した種々の基

礎的な R&D も同時に必要である。例えば、 Nb_3Sn における高 J_c 化、高強度化、低交流ロス化、Bi 系における低コスト化、低コスト化のための製造速度向上などである。YBCO 線材の開発では、100m 級が IBAD 法で達成されたとはいえ、まだ、主役になったとの断定は出来ない。他の製法が上記 R&D で逆転してしまうことも十分ありえる段階である。それだけに、長尺化と短尺における基礎的検討（高 J_c 化、製造速度向上、いずれも低コスト化にむすびつく）を、両睨みで急速に進めていく必要がある。

例えて言えば、各線材の現状は、NbTi 線、 Nb_3Sn 線がしっかり稼ぐことのできる大人とすると、Bi 系線材は応用実証機器にはなるがまだ大学生（バイト位はできる）である。これに対して、YBCO 線 や MgB_2 線はまだ開発要素の大きな中学生と言える。100m 級が見えてきたとは言え、今後、多数の困難が予想されるが、材料開発の成功は、石器時代、青銅器時代、鉄器時代などの名が示すように、これらの材料の開発成功が社会に与えるインパクトは大きく、日本、米国、そして中国で活発に開発を進めている由縁である。

最後に蛇足であるが、最近の中国を訪問した感想を述べたい。中国では、2000 年に設立された InnoST 社が国策ベンチャー会社であるとは言え、Bi 系線材で早くも日米のレベルに追いついてきた。これは、筆者の非常な驚きであり、かつ、反省もさせられた次第である。すなわち、日本の研究者として、常に開発に先んじると同時に、「簡単にまねのできないもの、技術」「明瞭な特許にできる技術」を目指したものでないと意味がないと思いついた次第である。

（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 「Nb系超電導線材の実用及び開発状況」

古河電気工業株式会社
研究開発本部 超電導開発部
三好 一富

Nb系超電導線材の実用と開発状況について、ここでは古河電気工業株式会社の状況を切り口に述べることにする。当社の超電導の歴史は古く、37年ほど前から超電導線材の開発に取り組み、現在ではサプライヤーとして世界トップレベルの技術力と生産力を誇るメーカーに成長した。当社の主な製品群は、NbTi合金超電導線とNb₃Sn金属間化合物超電導線に大別され、これらNb系材料が中心となっている。

NbTi超電導線は、8T以下程度の磁界応用において、コスト的にも超電導特性的にも優れており、磁気共鳴イメージング(MRI)装置用マグネットや半導体引き上げ装置用マグネットなど民生品として広く実用に供され、市場規模も世界で2千億円レベルまでになった。NbTi超電導線の開発は、70年代の熱間押し出技術、80年代の多段時効熱処理技術、90年代のNbTi高均質化技術を経て特性が大きく向上し、5Tでの臨界電流密度(Jc)で3,000A/mm²以上が可能となった。そして、現在では開発の主軸を生産技術に移して、コストダウンや高品質化を通して応用範囲を拡げている。

このような中での最近の当社でのトピックスは、パルス運転対応可能な低損失線の開発を進め、臨界電流特性と共に交流損失特性まで包含した製品設計・製造ができるまでになり、実際にこの線を適用した超電導電力貯蔵装置(SMES)マグネットのプロトタイプへの適用などが実現していることが挙げられる。

一方、Nb₃Sn超電導線は、NbTi超電導線よりも高磁界側や高温側で主に利用されており、特に近年ではNMR装置用マグネットの高磁界側セクションに数多く利用されている。この超電導線の技術開発では、Jcの向上と機械的特性の増強が挙げられる。当社では、ブロンズ法による生産を行っており、高濃度錫ブロンズマトリックスを採用し、かつ適切なNb₃Sn生成熱処理技術を適用することで、Jcを向上させている。例えばITER(国際熱核融合実験炉)向け開発では、12TでのJcが900A/mm²を超えるまでに至っている。

また、Nb₃Sn超電導線は、金属間化合物であることから、歪みに対して超電導特性が影響を受けやすいことが知られている。このためマグネットの高磁界化・大口径化・伝導冷却化にともなって、強い電磁力領域でも使用可能な超電導線の開発が必須となり、当社では東北大金研との共同研究により、Nb₃Sn超電導線の構造を新たに、安定化銅とNbTi強化材を複合させることで、超電導線として必要な安定性を確保しつつ、0.2%耐力を従来の2倍以上の300MPa以上と両立できるようになった。この強化型Nb₃Sn線は、現在東北大金研にて建設中の伝導冷却式ハイブリッドマグネット用導体に採用され、量産タイプとして実用化された。

このようにNb系超電導線材 - NbTiとNb₃Sn超電導線 - は、性能および量産規模ともに現在の超電導マグネット用線材の主力であり、さらに、性能向上に向けて技術開発も続けられており、その応用の裾を拡げ続けている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導線材 「Bi系超電導線材の実用状況」

住友電気工業株式会社
研究開発部門 エネルギー環境技術研究所
超電導研究部長 林 和彦

(1)Bi-2212 線材

Bi系の超電導酸化物のうち T_c が 85K の低温相を用いた Bi-2212 線材の J_c は 20K 以下の低温、高磁界中で高いことが特徴である。0.3mm × 3.5mm、銀比 2.0 のテープ線では、4.2K、自己磁場で 400kA/cm²、30T で 151kA/cm² が報告されている。直径 1.0mm、銀比 2.8 の丸線では、自己磁場で 490kA/cm²、20T では 180kA/cm²、 I_c はそれぞれ、1100A、400A である。

低温高磁界中で特性が高く、大容量化のための集合が容易な丸線ができるという特徴を活かして、SMES 用の高温超電導コイルには、直径 1.0mm の Bi-2212 線を 6 本を撚り合わせた長さ 500m の導体を用いられており、11 個のコイルを積層して、4.2K の液体ヘリウム中で励磁試験が行われ、550A 通電で 560kJ の蓄積エネルギーが報告されている。

(2)BiPb-2223 線材

Pb を添加した T_c が 110K の高温相を用いた BiPb-2223 テープ線の銀比は、従来は 3 程度であったが、近年の開発により銀比 1.5 ~ 2.0 でも 1000m を超える長尺線が開発されるようになり、77K、自己磁場で 100A を越える I_c が得られるようになっている。この結果、各種プロトタイプが試作評価され、一部については既に実用に供されている。

この中で、電流リードは小形超電導シンクロトロン放射光装置に装着され、安定運転と液体ヘリウム消費量の低減という経済的効果が報告され、最近では電流容量 60kA の核融合用大容量リードも開発された。マグネットについては、1 分間で 7 テスラが発生可能であるという高速励磁特性が実証され、化学反応などへの新しい磁気科学分野における研究ツールとしてその特徴を發揮して用いられた。さらに、経済産業省の省エネ補助金を受けて、株式会社東芝、信越半導体株式会社、住友電気工業株式会社の 3 社でシリコン単結晶引上げ用マグネットが共同開発され、実規模のサイズでの評価が成功裏に終わった。このマグネットは、高温超電導マグネットとしては、世界最大の大きさであり、蓄積エネルギーは 1.1MJ に及ぶ。この成功の結果、Bi-2223 超電導線を用いる産業用、医療用、運輸用、電力用などの様々な分野での今後の応用可能性が広がった。

電力応用の分野でも各種プロトタイプが開発されてきた。このうち変圧器は、省エネルギー効果と共に、絶縁材料として油を用いないため不燃性になる特徴があり、軽量化の観点からは車載用途で最も超電導化の効果が顕著と考えられ、開発が進められている。電力ケーブルは、稠密化した大都市でのコンパクトな大電力輸送手段として期待されるもので、高温超電導化することにより、従来の手法である大サイズの洞道(3 ~ 5m 直径)への布設を必要とせず、直径 15cm 程度の管路に収納できるメリットがある。このため、地下空間の有効利用にもつながる効果がある。東京電力株式会社、住友電気工業株式会社は、世界初の 100m 長さ、世界初の三心一括型の 114MVA(66kV, 1kA)電力ケーブルシステムを建設し、約 1 年間に渡り、初期試験、定格課通電試験、負荷変動試験、過負荷試験が実施され、長期の電気性能、冷却性能を実証した。

(3)課題と今後の展望

BiPb-2223 線材では、最近高圧焼結法によってフィラメントの密度が改善され、臨界電流密度だけでなく機械的特性や液体窒素に対する対バルーニング特性が改善することが筆者らによって報告された。BiPb-2223 線材は工業的に生産されている唯一の高温超電導線材であり、性能、コストの改善により実用化が促進されるものと考えられる。

一方、交流用途では交流損失低減はシステムの成立を左右する重要な問題である。Bi-2212 線も BiPb-2223 線も形状は既に多芯線になっているので、超電導フィラメント周りに高抵抗バリア層を形成するなど垂直抵抗率を上げ、ツイストを加えてフィラメント間の電磁気的なカップリングを切ることにより損失を大幅に低減する技術開発も進んでいる。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導線材 「Y系超電導線材の開発状況」

Y系超電導体は、その本質的な特性を發揮させるためには結晶粒の三次元的配向を実現する必要がある。Y系超電導線材の積層構造の中で中間層までにこの配向を付与する技術として大きく二つの方法がある。一つは、特殊な成膜法で中間層を配向させる技術であり、もう一つは金属基板を配向させる技術である。それぞれ、幾つかの手法があるが、前者ではフジクラで開発された IBAD 法が、後者では、RABiT 法が主に研究されている。

日本においては、平成 10 年から国プロで本格的に開発研究が始まり、平成 15 年より新たな構成で精力的に開発が続いている。IBAD 法を基軸にした開発では、IBAD 法による配向 $Gd_2Zr_2O_7$ 中間層上に PLD 法で超電導層を作製した線材で、38A の I_c を有する 100m 長の線材を実現している。また、IBAD 法の課題である高速化に関しては、IBAD 層上にキャップ層として CeO_2 層を導入することにより劇的にプロセス時間短縮が可能であることを見出している。このキャップ層は高速化だけではなく、到達配向度を向上させる効果も確認されている。また、IBAD 中間層上の超電導層の形成技術に関しては PLD 法の他に TFA-MOD 法や MO-CVD 法などが検討されている。TFA-MOD 法では、厚膜化による高 I_c 化技術開発において短尺ながら 291A の高い I_c を実現し、長尺化技術開発においては移動系により 0.25m 線材を作製し、End-to-End 特性で 210A の I_c 特性を確認している。MO-CVD 法では、開発当初ながら短尺で $2MA/cm^2$ を有する線材を 10m/h の高速で作製しており、今後の開発が期待されている。

一方、配向基板を基軸にした開発では、Ni系クラッド材料での開発を進めている他に、配向基板の表面を配向酸化させることにより中間層を形成する SOE 法を開発し、短尺ながら $1MA/cm^2$ を越える J_c を実現している。更に、配向基板上に全ての層を MOD 法で作製する低コストプロセスへの試みが行われ、 CeO_2 に Gd と Nb を添加することによりクラックフリーで金属元素の拡散を抑制した配向中間層の形成に成功している。

欧米でもやはり上述の IBAD 法及び RABiT 法を中心とした開発が進んでいる。米国では、配向基板上に中間層を介して TFA-MOD 法で超電導層を形成する手法により、10m で 184A の I_c を有する長尺線材作製に成功している。また、この線材を用いてケーブルのデモンストレーションも行っており、24本の線材を導体化し、1.25m で直流 4.2kA の通電に成功している。一方、IBAD 法を基軸にした開発では、高速成膜が可能な MgO を用いたプロセス開発が行われており、短尺ながら 423A の高い I_c 特性を得ている。長尺化に関しては MO-CVD 法による超電導層形成技術との組み合わせにより、18m で 111A を得ている。欧州では、IBAD 法と PLD 法により 10m で $223A/cm$ の線材作製に成功している。

上述の通り、日米欧で激しい開発競争が繰り広げられており、五年前に 1m 長であった線材が最近では数十 m から百 m 長線材が得られるようになり、この成果を受けて、線材開発と並行して機器化技術を意識した開発が始まっている。しかしながら、線材としても依然として特性、製造速度、長さの何れも向上が必要であるとともに、コストの低減が今後の課題として挙げられており、早期の解決が望まれるところである。

(SRL/ISTEC 線材研究開発部 和泉輝郎)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導線材 「PIT法で作製した MgB₂線材の臨界磁界」

物質・材料研究機構
超伝導材料研究センター
熊倉浩明

MgB₂超電導体の利点としては、T_cが高いことのほかに、高温酸化物超電導体で問題となるような結晶粒間の弱結合が存在しないことがあげられる。従って結晶粒の配向化が不要であり、このために比較的簡単な線材作製法が適用でき、製造コストを低く押さえることが期待できる。また原材料の価格が低いことも魅力の一つである。このため、MgB₂の線材化研究が世界的に活発に行われている。われわれのグループでも、パウダー・イン・チューブ(PIT)法によってMgB₂の線材化研究を進めているが、今回 SiC 添加した MgB₂線材が Nb₃Sn なみの高い臨界磁界を有することがわかった。

線材は、Mg と B の混合粉末を金属管に充填して加工、熱処理をする、PIT 法のなかでも in situ 法と呼ばれる方法で作製した。ただし、我々の方法は通常の Mg 粉末の代わりに MgH₂粉末を原料に用いるものであり、MgH₂粉末を用いることで MgB₂生成の反応がより速やかに進み、高い臨界電流密度 J_c が得られる。MgH₂粉末を市販の B 粉末と混合して金属管(純鉄)に充填し、冷間にてテープに加工した。なお出発混合粉末には 5-10 原子%の SiC 微粉末を添加している。この SiC 微粉末の添加は、以前にオーストラリア Wollongong 大の Dou 教授らのグループが試みて、J_cの改善に効果があると発表していたものである。テープ加工後アルゴン雰囲気中において、600-650 で1時間の熱処理を行った。この熱処理温度は、通常の MgB₂線材の熱処理温度である 800-900 よりもかなり低いが、熱処理温度を 600-650 まで下げることで、T_cが若干低くなるものの、より高い J_c が得られる。さらにこのような低温、短時間の熱処理は、線材製造コストの面でも有利であると考えられる。

作製した線材の J_c を 4.2K、磁界中で評価した。評価は物質・材料機構の強磁場ステーションに設置されているハイブリッドマグネットを用いて行った。SiC を添加したテープにおいては、10T において 20,000A/cm² を越える値が得られ、この値は MgB₂線材としては世界最高レベルである。また J_c が 10A/cm² となる磁界で不可逆磁界 B_{irr} を定義すると、無添加線材では B_{irr} が 17T であるが、10 原子%の SiC 添加により B_{irr} が 23T にまで向上した。この 23T の B_{irr} は、ブロンズ法による市販の Nb₃Sn 線材の上部臨界磁界 B_{c2} に匹敵する値である。磁界はテープ面に平行にかけているが、本テープにおいては MgB₂ 結晶の方位はランダムなので、印加磁界の向きによる B_{irr} の異方性はないと考えられる。単結晶においては、4.2K における B_{c2} が B//a,b 面で約 14T、B//c 軸では 3T 強と報告されているので、今回得られた無添加テープ、SiC 添加テープともに、B_{irr} は単結晶の B_{c2} よりもかなり高い。この理由として、熱処理温度が 600-650 と低いために我々の MgB₂ の結晶性が完全ではなく、T_c は ~33K と単結晶等に比べてかなり低いことが挙げられる。すなわち、それだけ MgB₂ には多くの欠陥が導入されており、これらの欠陥によって B_{c2} が上がり、その結果として B_{irr} が高くなったと考えられる。このように、MgB₂ では熱処理温度によって B_{c2} や B_{irr} が変化すると考えられ、従来の Nb₃Sn などに比べて B_{irr} や B_{c2} の制御が容易であると考えられる。すでに薄膜では 40T を越える B_{c2} が報告されていることから、線材の B_{irr} ももっと上昇すると期待できる。

[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 - (会社は五十音順表示)

[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)

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 研究開発部

核融合・加速器用導体、パルス磁界用導体
Tel:029-826-7444、Fax:029-823-2144

担当：酒井 修二

古河電気工業株式会社 交通・公共営業部
超電導製品営業課

Tel:03-3286-3161、Fax:03-3286-3686

担当：吉川、清水

金属カンパニー日光伸銅工場 超電導製品部
Tel:0288-54-0504、Fax:0288-54-2216

担当：三好

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

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)

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 研究開発部

高磁界マグネット用導体、核融合用導体
Tel:029-826-7444、Fax:029-823-2144

担当：酒井 修二

古河電気工業株式会社 交通・公共営業部
超電導製品営業課

Tel:03-3286-3161、Fax:03-3286-3686

担当：吉川、清水

金属カンパニー日光伸銅工場 超電導製品部
Tel:0288-54-0504、Fax:0288-54-2216

担当：三好

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

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 研究開発部

高磁界マグネット用導体、核融合用導体

Tel:029-826-7444、Fax:029-823-2144

担当：酒井 修二

[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、銀シース Bi-2223 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:06-6466-5634、Fax:06-6466-5705

担当：林和彦

日立電線株式会社 伸銅事業本部 研究開発部

Tel:029-826-7444、Fax:029-823-2144

担当：酒井 修二

(編集局 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 2 - 3月の催し物案内

2/2-3

Nb 基超伝導材料の進展に関する国際ワークショップ

場所:(独)物質・材料研究機構、千現地区
(つくば市)

主催:(独)物質・材料研究機構 超伝導材料研究センター

Website:<http://www.nims-workshop.com/>

2/10-13

ICMC 2004 Topical Workshop - Materials Processing, Microstructures and Critical Current of Superconductors

場所: Wollongong, NSW, Australia

主催: Institute for Superconducting and Electronic Materials

e-mail: james_cook@uow.edu.au

Website:<http://www.uow.edu.au/eng/research/SEM/conference/conference.htm>

2/13

超伝導科学技術研究会第58回ワークショップ
「超電導応用と冷凍・冷却技術」

場所: 産業技術総合研究所 臨海副都心センター会議室(4階)

主催:(社)未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会、(社)低温工学協会 超電導応用研究会、同冷凍部会

e-mail: fsst@sntt.or.jp

2/16-20

The 18th APCTP Winter Workshop on Strongly Correlated Electron Systems

場所: Phenix Park, Korea

主催: Asia Pacific Center for Theoretical Physics

e-mail: silee@postech.ac.kr

2/18

新超伝導金属材料研究会ワークショップ

「超伝導 MgB₂ 材料開発 - 実用化に向けた取り組み - 」

場所: アルカディア市ヶ谷(私学会館)

赤城(5階)

主催:(社)未踏科学技術協会 新超伝導金属材料研究会

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

3/3

第4回材料研究会「超電導磁気分離システム開発の現状と今後の展望」

場所: 大阪大学附属図書館吹田分館

視聴覚ホール

主催:(社)低温工学協会 材料研究会

e-mail: matsu@highc.mtl.kyoto-u.ac.jp

3/11

ISTEC「超電導電力貯蔵システム技術開発」報告会

場所: 九段會館(東京)

主催: ISTEC

Fax: 03-3431-4044

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

3/22-26

APS March Meeting

場所: Montreal, Canada

主催: American Physical Society

3/29-4/1

ICC13(13th International Cryocooler Conference)

場所: Wyndham New Orleans-Canal Place, New Orleans, Louisiana, USA

Website:<http://www.cryocooler.org/>

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (12/20-1/20)

核融合炉 日仏譲らず 建設地決定もつれる 12/21 読売新聞、毎日新聞
超電導電線 最長の500メートル敷設 電中研、来春から実証試験 12/22 日経産業新聞
磁場で魚の成長促進 名大、養殖業などに利用 12/22 日経産業新聞
核融合実験炉 建設地、合意できず 来年2月再び会合 中口、仏を支持 12/22 朝日新聞、読売新聞、日本工業新聞
コスト割高で日本批判 熱核融合実験炉 建設地めぐり欧州 来年2月に決着へ データ分析施設分離も 打開策探る文科省 12/24 朝日新聞
古河電工が高温超電導ケーブル 世界最長の500メートル 電中研と来春共同実証 12/26 電気新聞
風力周波数対策 変動緩和に連系線利用 総合工ネ調新工ネ部会 小委再開で議論へ 12/26 電気新聞
原子力委 「明るい兆し見えた」藤原委員長らが退任へ 12/26 電気新聞
磁石だけで鉄球浮く「アーンショウの定理」覆る可能性も 岩手高校グループ 世界初の更改実験成功 12/26 日本工業新聞
「地上の太陽」照る？曇る？ 国際熱核融合実験炉 危険少なめ、資源無尽蔵 実用化遠く、巨額の負担 12/27 毎日新聞
核融合実験炉誘致 結論持ち越し 日本、優位確保決め手なく 中国説得に賭ける 12/29 日本経済新聞
住友重機械 PET用サイクロトロン 需要増で量産に磨き 12/30 日経産業新聞
ITER 建設地選び難航 国際分業へ 2月に最終決定 1/6 日本工業新聞
ナノチューブ、向きそろえ配合 樹脂の導電性10倍 1/7 日経産業新聞
極低温液体の扱いに最適 耐寒用手袋&エプロン発売 アイシス 1/7 日刊工業新聞
ITER 建設地選定 日本支持求め 中・韓・ロ訪問 河村文科相 1/7 日刊工業新聞
ナノ粒子でがん新療法 細胞と結合、磁場で発熱 日本化薬と名大開発へ 1/8 日経産業新聞
「磁気誘導」活用 高品質・低コストの無線ヘッドホン 米アウラ・コミュニケーションが製品化 1/9 日経産業新聞
ITER 誘致で 日本支持表明 米エネルギー省長官 1/9 日刊工業新聞、朝日新聞
ITER 建設地選定大詰め 日本XEU実力伯仲、問われる外交力 1/9 電気新聞
熱核融合実験炉の六ヶ所村誘致 電気代、EU並み抑制 政府方針 1/12 日本経済新聞
米エネ長官、日本支持 ITER 誘致 中国への説得も あらゆる働きかけを 1/13 電気新聞
ITER 建設地、日本の場合 欧州が独自推進も 仏首相 1/14 日本工業新聞
米 科学技術「20年計画」超スパコン/熱核融合実験炉/基礎研究・・・ 1/15 読売新聞
宇宙探査 資金・技術に壁 米が開発計画 世論の支持は半数 1/15 朝日新聞(夕)、1/16 日本経済新聞
中国、リニア採用せず 北京・上海間 レールで高速鉄道 1/16 朝日新聞、日本工業新聞
熱核融合実験炉 ロシアが妥協案 仏に本体 1/16 毎日新聞(夕)



[超電導 Web21 トップページ](#)

【ビジネストレンド】超電導速報 世界の動き (2003年12月)

電力

Los Alamos National Laboratory (2003年12月3日)

Los Alamos National Laboratory の研究者は、HIP(Hot Isostatic Press)技術により、 MgB_2 ワイヤーの電流を著しく増加させることが出来ると報告した。 MgB_2 ワイヤーは低コスト超電導材料として利用できるポテンシャルを持っており、MRI や発電機のような応用機器のコストを低下できる可能性を秘めている。HIP 技術を利用すれば MgB_2 ワイヤーの空隙を少なくすることができ、従来のアニール法に比べ 45%電流密度を増加させることができる。電流を増加させることができれば、ワイヤーのサイズを小さくすることができ、その結果、MRI 磁石に使用されるワイヤーのコストを \$3-10/kAm から \$1-2/kAm にまで低下させることが出来る可能性がある。さらに Los Alamos のグループは、25K の運転温度で 1T の磁場発生が可能なプロトタイプの MgB_2 コイルを作製した。25K は商用の冷凍機でそれほどのコストをかけずに到達可能な温度である。この結果はボストンで開催される MRS 会合で報告される。本研究は、エネルギー省の発送電課の支援を得て実施された。

(出典)

“A hot time for cold superconductors”

Los Alamos National Laboratory and the US Department of Energy press release (December 3, 2003)

<http://www.lanl.gov/worldview/news/releases/archive/03-156.shtml>

American Superconductor Corporation (2003年12月4日)

American Superconductor Corporation (AMSC)社長 Greg Yurek は、ロンドンの Institution of Electrical Engineers (IEE)から 2003 年 Viscount Nuffield 銀メダルを受賞するとともに IEE フェローに選ばれた。Viscount Nuffield 銀メダルは製造業に最も功績のあった者に贈られる。受賞理由は、HTS 製品における世界的な産業、技術面でのリーダーシップ及び世界で最初に HTS ワイヤー量産設備を立ち上げたことによる。Yurek は受賞記念講演を行う予定。講演の内容は、<http://www.amsuper.com> に掲載。

(出典)

“American Superconductor Honored For Manufacturing Breakthroughs In High Temperature Superconductor Products”

American Superconductor Corporation press release (December 4, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/10335061601735.html>

American Superconductor Corporation (2003年12月15日)

American Superconductor Corporation (AMSC)の SuperVARTMシンクロナス・コンデンサーが、第5回 Platts Global Energy Awards 年会で「2003年における最も有望なプレ・コマーシャル技術」として表彰された。Global Energy Awards は、McGraw-Hill 社の子会社である Business Week が授与する賞。American Superconductor Corporation 社長 Greg Yurek は、「2003年の北アメリカ及びヨーロッパの停電により送電グリッド安定性の重要さが皆に再認識された。我々は11月に第1号の SuperVARTMを Tennessee Valley Authority に出荷したところであるが、他の事業者からもダイナミックにグリッドの電圧を安定化させることにより停電を防止するためのロバストなソリューションとして SuperVARTMシンクロナス・コンデンサーに多大の関心が寄せられている。」と語った。

(出典)

"Platts Global Energy Names American Superconductor's Transmission Grid Stabilization Product "Most Promising Pre-Commercial Technology" of 2003"

American Superconductor Corporation press release (December 15, 2003)

<http://www.amsuper.com/html/newsEvents/news/106785329856.html>

Intermagnetics General Corporation (2003年12月18日)

Intermagnetics General Corporation (IMGC)の第2四半期の純収入は、前年同期370万ドルに比べ21%増の440万ドルであった。なお、これは一過性の100万ドルの出費を除いたものである。この収入増加は主として、通常の売上及びMRIの継続した好調な売上の他、機器部門の増収・増益に負っている。第2四半期の純売上は、前年同期3,670万ドルに対し、3,990万ドルへと増加した。IMGC社のキャッシュ・ポジションは1億ドルを記録し、さらに強化された。IMGCの子会社であるSuperPowerの収入は、97万7千ドルであり、前年同期に比べ倍増している。

(出典)

"Intermagnetics Q2 Net Income Climbs to \$4.4 Million"

Intermagnetics General Corporation press release (December 18, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=10215&storyId=100177>

MRI

Toshiba America Medical Systems (2003年12月1日)

Toshiba America Medical Systems (TAMS)は、同社のUltraオープン型MRIの新しい改良システムを北米Radiological Society年会で発表した。新しいパルス・シークエンスとシリコン・グラフィックス社のワークステーションが付加され、正確さが更に向上するとともに、効率も15~20%改善される。Ultraの有力な傾斜磁場技術により、より進んだ診断能力を備えるとともに、通常は閉鎖型MRIでしか得られない強磁場を可能とし、このためオープン型でありながら解像度が高い。Ultraは冷媒を用いない超電導磁石設計となっており、現在市販されているものの中で最も強力な全身用オープン型MRIである。このシステムは同一の診断機能を維持しつつ、他のオープン型MRIに比べ5倍高速、他の強磁場型MRIに比べても250%高速な撮像が可能である。

(出典)

"TOSHIBA'S ULTRA™ OPEN MRI SYSTEM ENHANCES PROCEDURAL ACCURACY AND PRODUCTIVITY"

Toshiba America Medical Systems press release

(December 1, 2003)

<http://216.23.181.196/news/pressreleases/120103-457.htm>

Intermagnetics General Corporation (2003年12月18日)

Intermagnetics General Corporation (IMGC)とInvivo Corporationは、IMGCがInvivoの全発行済み株式を1株当たり22ドルで取得するオールキャッシュ取引合意書に署名したと発表した。公開株式買付けは、10営業日継続され、2004年1月半ばに終了する。IMGCはInvivoの営業が本年度中も順当に利益を上げていき、2005年度には更に大きな利益が得られるものと期待している。InvivoはMRIシステム向けモニターシステムの製造、マーケティングを行う会社である。

(出典)

“Intermagetics Agrees to Acquire Invivo Corporation for \$22 Per Share”

Intermagetics General Corporation press release (December 18, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=10215&storyId=100161>

通信

Superconductor Technologies Inc. (2003年12月4日)

Superconductor Technologies Inc. (STI)の SuperLink™ Rx 850 が、最近の一連のフィールド・テストで無線ネットワークの品質を格段に向上させることを証明した。12のネットワークで、ドロップ・コールが30%改善し、ブロック・コール(通話不能状態)が26%改善した。これらドロップ・コール及びブロック・コールはネットワークの性能を評価する上で最も重要なパラメータである。また、いくつかのネットワークでは同時に中規模サイズの都市の3つの基地局が交差する地域でも通話時間が25%増加するなどの改善が見られた。フィールド・テストは、都市部及び郊外地域で多くの通信事業者によって実施された。全てのネットワークで、そこでどのような装置が使われているか、どんな技術が用いられているかに関わらず顕著な改善が認められた。フィールド・テスト終了後大部分の通信事業者は STI 製品を購入した。

また、PCS 向け SuperLink Rx 1900 のフィールド・テストでは、大都市部で50%以上のデータ転送スピードの改善が見られるなど、目覚ましい結果が得られた。このデータ転送スピードの向上はシステムの感度の向上によるものであり、通常の半分の信号強度でも信号検知が可能なものである。
(出典)

“Field Trials With STI's Flagship SuperLink Rx Products Show Dramatic Improvements in Network Quality”

Superconductor Technologies Inc. (December 4, 2003)

<http://ir.thomsonfn.com/InvestorRelations/PubNewsStory.aspx?partner=5951&storyId=99308>

ISCO International, Inc. (2003年12月5日)

ISCO International, Inc.は、新たな RF²™製品の最初の販売状況について発表した。いくつかのサイトでの連結試験結果によりネットワークの改善が見られたことがこの売上に直接繋がった。1ヶ月のテスト期間中、ISCOのRF²™はドロップ・コールを50%減少させた。製品はHTSユニットのように高価なソリューションの一部の費用をさげば購入でき、かつ同等の性能が期待できる。2004年には多くの関心が寄せられるものと考えている。

(出典)

“ISCO INTERNATIONAL ANNOUNCES COMMERCIAL SALES OF RF²™”

ISCO International Inc, press release (December 5, 2003)

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

ISCO International, Inc. (2003年12月26日)

ISCO International は、最新の会社の活動状況を発表した。4半期の収入は夏に低い水準に低下したが再度増加して今期はほぼこれまでの最高レベルに達する見通しであり、よい決算ができるものと予想している。これに加えてISCOの法律事務所に対する負債の200万ドルもISCO株100万株との交換により解消された。第4四半期には大手CDMAキャリアーとの調達契約にも調印し、他のキャリアーからの引き合いも多くきている。2004年にも引き続き顧客層の拡大は続いていくものと期待される。

(出典)

“ISCO International Announces Fourth Quarter Update”

ISCO International, Inc. press release (December 26, 2003)

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

(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 2月のトピックス

- TC90 と電気学会との協力関係始動 -

IEC/TC90 超電導委員会（国内審議委員会、委員長 齊藤茂樹 / ISTE C 専務理事）は、平成 16 年 1 月 9 日財団法人電気学会に対して超電導電力機器に係わる標準化活動協力申請を実施し、国内における標準化活動に協力する旨了承された。この協力関係は、IEC/ISO の専門業務用指針（Directives, Part 1）に定められている、所謂、国際的リエゾン協定に順ずるもので、今後の超電導標準化活動に対する強力な技術的バックボーンとして期待される。なお、IEC/TC90 は、VAMAS（Versailles Project on Advanced Materials and Standards）との間で 1995 年リエゾン協定を締結済みである。

上記 IEC/ISO の専門業務用指針（Directives, Part 1）に定められているリエゾンには、IEC 内の TC 間のリエゾン、ISO と IEC 間のリエゾン及び他機関とのリエゾンの 3 種類がある。今回の電気学会への協力申し入れは、これらには適合しないが、項に順ずる申し入れとなる。すなわち、IEC/TC90 超電導委員会は、電気学会を TC と類似又は関連分野で作業している、又は関心のある他の国際機関、又は広範な基盤を持つ地域機関に準じる機関として認定し、国際的リエゾンに準じる標準化協力を申し入れた。

電気学会には「超電導機器の導入効果と試験方法調査特別委員会」が平成 12 年度から平成 16 年度までの 5 年計画で設置されている。この特別委員会は、超電導電力ケーブル、超電導限流器、超電導変圧器に関する試験方法、技術動向、導入効果について調査・研究することを目的としている。また、同特別委員会は、国家プロジェクト「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」を実施中の超電導発電機関連機器・材料技術研究組合（Super-GM）と連携し、多くの成果を上げている。その代表的なものとして、平成 15 年 3 月電気学会から「平成 14 年度委託業務成果報告 交流超電導電力機器基盤技術研究開発 トータルシステム等の研究 導入効果等の調査 平成 14 年度成果報告書」が著されている。

IEC/TC90 超電導国内委員会では、超電導電力機器に係わる標準化活動の一環として、超電導電力ケーブル試験方法通則、超電導限流器試験方法通則、超電導変圧器試験方法通則、SMES 用低温超電導導体規格、超電導発電機用低温超電導規格等の規格素案の作成に着手しており、今回の協力申し合わせを背景として電気学会の関連成果が効率的に反映される。

（ISTEC 標準部長 田中靖三）

[超電導 Web21 トップページ](#)

特許情報

平成 15 年度第 3 四半期の公開特許

平成 15 年 10 月 - 12 月に公開された ISTEK 出願の特許をお知らせします。詳しい内容は特許庁のホームページ内の特許電子図書館等の特許データベースをご利用下さい。

1) 特開 2003-282981 「ジョセフソン接合素子およびその製造方法」:

本発明は、界面改質型ジョセフソン接合を高歩留まりで作製する方法を提供するものである。基板上に第 1 超電導層形成、絶縁層形成、所定位置の前記絶縁層除去および第 2 超電導層形成を順次行う工程において、第 2 超電導層形成を 2 ステップに分割して行うことを特徴とする。第 1 のステップは、均質な接合界面を形成するのに適した比較的低い成膜速度で成膜し、第 2 のステップは、超電導特性の優れた所定厚さの超電導層が得られるように比較的高速で成膜する。本発明により、臨界電流のばらつき (1σ) が 8% 以下の高均質なジョセフソン接合素子が得られる。

2) 特開 2003-283324 「超電導接合線路」:

従来のジョセフソン接合線路 (JTL) 回路を急峻な磁束量子パルス (信号パルス) を発生する酸化物系接合回路に適用した場合、信号パルスの後縁に振動波が残り高速動作を阻害する。本発明は、超電導接合と超電導線のインダクタによる構成を基本とする超電導接合線路にあって、インダクタの任意の場所と接地間に抵抗を接続する。この回路構成を用いると、インダクタと抵抗の積分作用により急峻なパルスを減衰させることができ、高速性を向上できる。

3) 特開 2003-300726 「テープ状酸化物超電導体及びその製造方法」:

本発明は、RE 系酸化物超電導体の構成金属元素を含んだ有機金属酸塩を原料とする MOD 法に関するものである。近年、MOD 法により比較的容易に高臨界電流密度が得られるようになったが、多層塗布などの厚膜化にともない臨界電流密度は著しく劣化する。本発明では再外層を除く前駆体の仮焼温度を最外層のそれよりも低くするとともに雰囲気ガスの最適化を施すことにより、特性劣化することなく前駆体作製を複数回繰り返すことが可能になり、膜厚 (μm) \times 臨界電流密度 (MA/cm^2) 0.8 の高特性の酸化物超電導厚膜が得られる。

4) 特開 2003-347610 「酸化物超電導薄膜の熱処理方法」:

本発明は、超高速動作を実現する超電導電子デバイス用の絶縁基板に超電導薄膜を積層した酸化物超電導薄膜積層基板に関するものである。誘電率の小さな MgO 絶縁基板上に、物理蒸着法などにより YBCO 薄膜を成膜した場合、MgO-YBCO 界面の格子不整合に由来した超電導層表面の凹凸生成が避けられない。本発明は、超電導膜を成膜後、酸素 100% の雰囲気中で常温から 350 - 500 ^\circ C へ 1 分以内に急速加熱することにより、前記の表面平滑度を 2 分の 1 以下に削減するものである。

5) 特開 2003-347611 「超電導膜の製造方法」:

超電導電子デバイス用には、絶縁体単結晶基板の両面に超電導薄膜を持つ基板が必要である。従来法では、基板の片面に YBCO 膜を成膜した片面成膜基板を反転して基板ホルダーに載せ、加熱をしながら残りの片面の YBCO 膜を形成していたが、片面成膜基板の加熱時に、絶縁体と YBCO 膜の熱膨張率の差に起因して基板の反りが発生し、基板面上に温度ムラが生じ均質な YBCO 膜が得られない。本発明は、同じ基板構造と熱履歴をもつ片面成膜基板を基板ホルダー上に配置し、その上に両面成膜する片面成膜基板を重ねて成膜することにより、成膜温度における基板ホルダーと 2 枚の片面成膜基板の密着度を改善し均質な YBCO 膜を得るものである。

(SRL/ISTEC 開発研究部長 中里克雄)

[超電導 Web21 トップページ](#)

応用物理学会超伝導分科会主催第 28 回研究会報告

進化するフラクソニクス～磁束量子の物理、SFQ デジタルから量子コンピュータまで～

株式会社 東芝
研究開発センター
橋本 龍典

応用物理学会超伝導分科会では、年 2 回の研究会、春季・秋季学会講演会開催期間中のシンポジウム等をタイムリーに企画開催するとともに、機関誌“超伝導ニュース”(年 4 回)を発行し、超電導関連情報を発信している。

去る平成 15 年 12 月 11 日(木)に、機械振興会館(東京)において『進化するフラクソニクス』という題名で『磁束』を用いたエレクトロニクスをテーマとした第 28 回研究会が開催され、約 70 名が参加した。磁束量子の物理から、NEDO プロジェクトで開発が行われている単一磁束量子(SFQ)を用いたデジタル回路、そして最近大きな注目を集めている量子コンピュータまで、第一線で活躍されている研究者の方々より分かりやすい講演がなされた。今回の研究会で講演された最先端技術の内容を以下に簡単に紹介する。



前田(東大)は、磁束量子の物理に関して概説した上で、高温超電導体における磁束運動によるエネルギー散逸について述べ、未解決な粘性のメカニズムについて言及した。

斗内(阪大)は、フェムト秒光パルスを用いた光磁束量子生成について解説、これを用いて超電導膜に書き込んだ磁束量子を配列した文字“SUPER”を観測した結果を紹介した。

立木(物材機構)は、intrinsic Josephson 接合を用いた、従来に比べ出力の大きなテラヘルツ発振器の設計について紹介、地球シミュレータを用いた電場の計算結果も報告した。

藤巻(名大)は、SFQ デジタルの基礎と課題を分かりやすく説明した。SFQ 技術開発は着々と進められ、その実力は集積規模 10000JJ(今年度中)、動作周波数 20-50GHz と紹介した。

萬(SRL)は、ハイエンドルータのスイッチカードおよび論理制御部は、半導体回路の並列化では高性能化できず、これを SFQ 回路で構成することでボトルネック解消ができることを説明した。今後 3 年以内にスイッチモジュールのデモを目指している。

北川(阪大)は、Shor の素因数分解のアルゴリズムを基本に、量子コンピュータでは、どうして計算時間が速くなるかをハードウェア構成も含めて分かりやすく解説した。

仙場(NTT)は、NTT における半導体量子ドットから超電導 SQUID までの広範な量子ビット研究のアクティビティを紹介すると共に、3 接合 SQUID における量子状態の単事象観測や多光子吸収過程観測などの最近の結果について報告した。

蔡(NEC)は、種々の超電導量子ビットの特徴や課題について解説すると共に、最近世界で初めて動作に成功した CNOT ゲートを含む電荷型量子ビット研究の最先端について紹介した。

吉川(横国大)は、超電導量子ビットの状態操作を行うためのインターフェイス回路としての SFQ 回路の可能性と課題について報告した。

早川(名大)は、フラクソニクスの展望として、今回の研究会を総括し、『Fluxon を用いた単なる置き換えではない新しい技術の創出』が重要と締めくくった。

尚、本研究会の OHP 集は“超伝導ニュース”第 56 号に掲載予定です。次回研究会やシンポジウムの案内は、分科会 HP (<http://annex.jsap.or.jp/support/division/super/>) をご覧下さい。

[超電導 Web21 トップページ](#)

Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics (ACASC) 参加報告

京都大学 大学院工学研究科
教授 長村光造

本会議は2003年12月15、16日にかけて、北京国際空港からタクシーで1時間ほど西北に行ったところにある小湯山という有名な温泉保養地にある Jiuhua Mountain Village (九華山荘) ホテルで開催された。今回は中国の参加により、韓国、日本の3ヶ国の出席者によるものとなった。主催者の発表によれば、参加人員は全体で106名、日本から22名、韓国から19名であり、12件の招待講演、32件の一般講演、54件のポスター発表が行われた。内容的には大規模応用と電力応用に42件、クライオジニクスに8件、超電導材料に40件、小規模およびエレクトロニクス応用に6件とのことであったが、中国側のキャンセルが多かったことと、それらの代替講演が行われたので、実際の統計は多少変動すると思われる。

初日の招待講演では横浜国大の塚本氏による日本における超電導電力応用、とくに NEDO プロジェクトの概要、韓国からは KIMM の D. -Y. Koh 氏が韓国機械研究所を中心とした低温発生技術と超電導機器への応用の状況、中国 IEE の L. Xiao 氏は FCL、SMES、ケーブル、変圧器等の開発現状、C. Park 氏は韓国における coated conductor の研究拠点である KAERI、KIMM、ソウル大、KAIST、KERI での研究成果、SRL の山田氏は NEDO プロジェクトとしての長尺 YBCO テープの開発状況、中国 NIN の P. Zhang 氏は Bi-2223 相形成のメカニズムやポストアニーリング等の Bi-2223 テープの実用化に重要な課題について夫々報告を行った。これらは会議の内容の一部であるが、各国の代表的な研究・技術開発の成果を発表しあうことは互いの国情、研究組織、技術開発の発展について認識しあう場としてそれなりに意義があると感じられた。

Bi-2223 テープの研究は西安の西北有色金属研究院、北京有色金属研総院等で以前から開発研究が行われ 100m 級のテープが作られていたが、やはり 2000 年以降の Innova の出現で本格的な商用化の道筋がつけられたと考えられる。精華大学や InnoST を合わせて多くの若い研究者が開発研究に従事しており、今回 Z. Han 氏が報告した長さ 400m、臨界電流 85A の実力は、すぐに世界トップクラスに仲間入りする前兆を示したものだといえるだろう。2010 年には上海で万国博が開催される予定で、それに間に合うようにある地区の高圧電線を地中化し、一部に超電導ケーブルを敷設する計画があり、その総予算は 800 億元とのことであった。今回は会議に出席して、とくに中国の活気と意欲に触れる機会でもあった。

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

ITER 超電導コイル開発への道のり（その1）

日本アドバンスト・テクノロジー株式会社
安藤俊就

1. はじめに

ITER(国際熱核融合実験炉)(図1に本体部を示す)の建設がいよいよ開始される段階にきた。新聞やテレビ等のマスコミにおいてもその成り行き(建設場所の選定、建設費の各国分担等)が報道されるようになり、一般の人々にも ITER への感心がもたれるようになった。ITER 計画は 1985 年に行われた米ソの首脳(レーガン、ゴルバチョフ)会談で提唱され、米国、ソ連(後にロシア)、日本、EU の 4 極での国際協力によって、これまで 18 年間に渡りその実現性について検討され建設開始を待つばかりとなった。建設には中国と韓国が参加することになり、今後 ITER は 6 極で進められることになる。本計画は完全な国際協力で進められる点でこれまでにない大型プロジェクトである。これまでも、宇宙開発、高エネルギー物理の研究等においても国際協力の下で進められている大型プロジェクトがあるが、国際宇宙ステーション計画においては米国が、LHC(大型ハドロン衝突型加速器)計画においては EU が、立案し、運営面での決定権を有し、他の参加国は協力する形となっている。参加国が均等な関係で運営を行う ITER 計画は国際協力における新たな試みとなる点でも興味ある計画である。

この ITER においては、超電導コイルが炉の構成物の上で最も重要な部分の一つとなっている。超電導コイルの製作費は全建設費の 26.6%を、本体部においては 50.2%を占めることになる(図2)。本コイルは、これまで製作された超電導コイルに比べ非常に大きく、大量の超電導線材が使用され

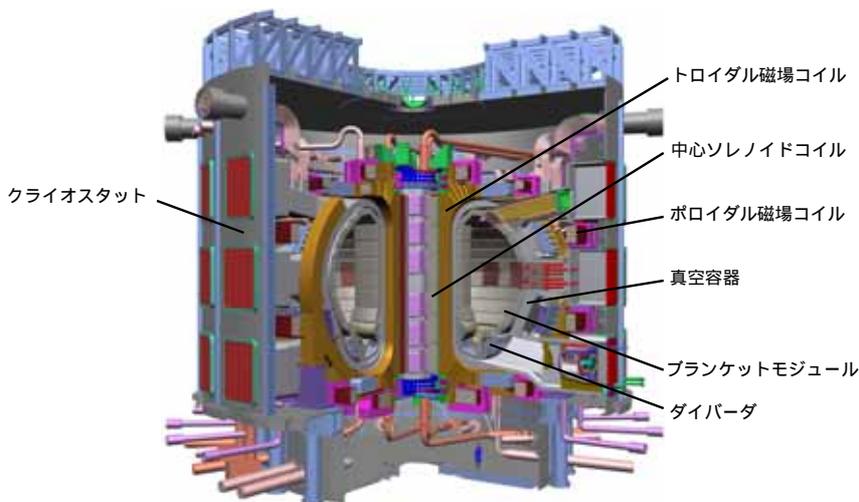


図1 ITER 本体部の鳥瞰図

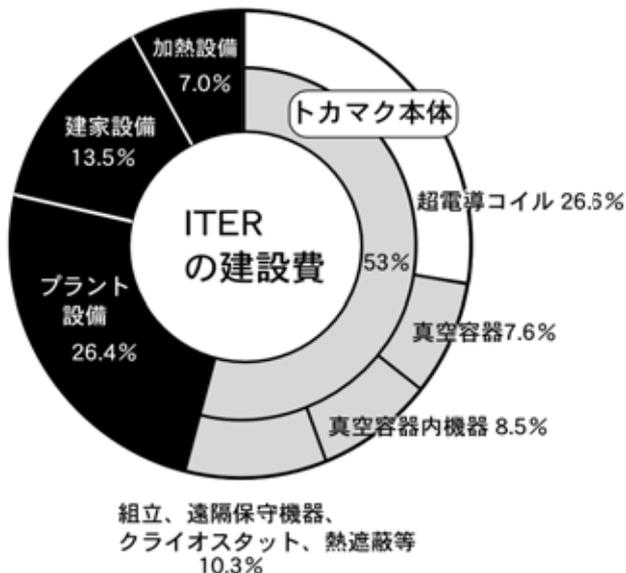


図2 ITER の建設費に占める超電導コイルの割合

るとともに、その設計・製作には新たな技術が必要とされたため、その開発に多くの時間と費用が費やされてきた。¹⁾ 本稿では ITER の超電導コイルの設計の完成に至るまでの道のりを紹介する。最初に ITER 超電導コイルの概要を説明し、次に ITER の核融合炉開発上での役割を、最後に核融合用超電導コイル開発研究の進展の中での ITER の超電導コイルの設計を記述する。

2. ITER の超電導コイルの概要

2.1 超電導コイルの種類

ITER では、トロイダル磁場 (TF) コイル、ポロイダル磁場 (PF) コイル、中心ソレノイド (CS) コイル、不整磁場補正 (CC) コイルの 4 種類の超電導コイルが必要とされる。TF コイルはドーナツ型のプラズマを閉じ込めるための磁場を発生するコイルで、18 個の D 型のユニット・コイルからなり、それらはプラズマを囲むように配置される。18 個のコイルは直列接続され、直流通電により定常的に運転される。PF コイルはプラズマの位置制御を行うための磁場を発生するコイルで 6 個の円型のユニット・コイルからなり、ドーナツ型のプラズマと同軸に TF コイルの外側に配置される。6 個の PF コイルはそれぞれの電源に接続され、それぞれ異なる電流波形でパルス的に運転される。CS コイルは電磁誘導によりプラズマを生成・加熱するためのコイルで、6 個の円型のユニット・コイルからなり、炉心の中心に配置される。6 個のコイルは PF コイルと同様にそれぞれ異なる電流波形でパルス的に運転される。CC コイルは TF コイルで発生する不整磁場を補正するためのコイルで、18 個のコイルからなり、TF コイルと PF コイルの間に配置される。それぞれ独立した電源から電流が供給される。これらのコイ

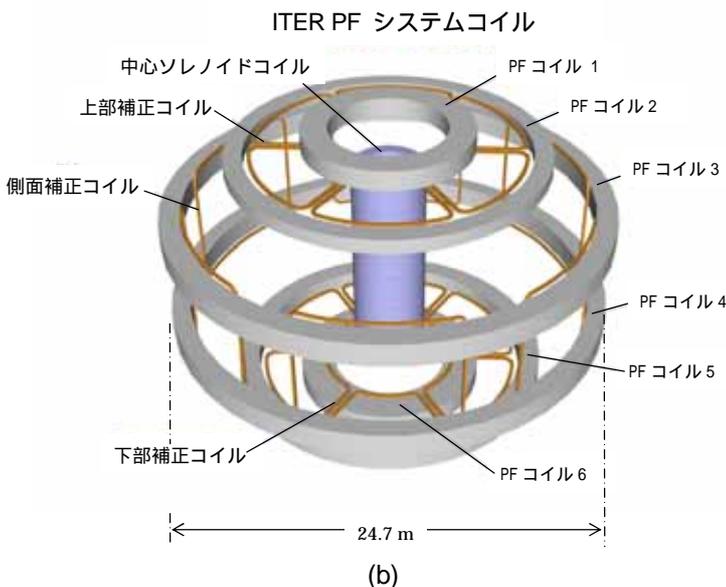
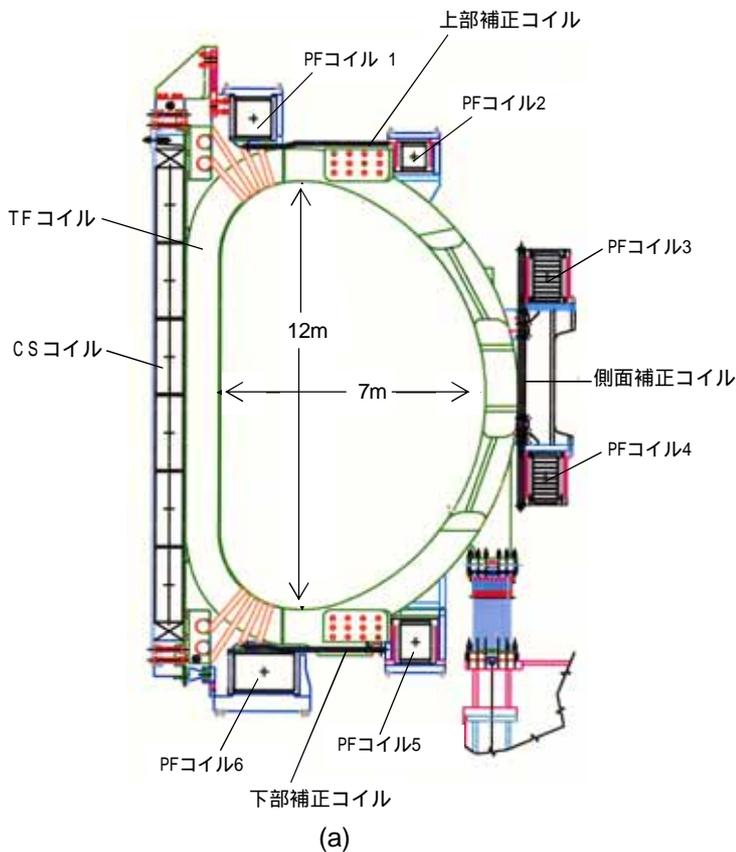


図3 ITER 超電導コイルの TF コイル(a)と各コイルの配置(b)

ルの構造と配置を図3に示す。また、各コイルの諸元を表1に示す。これらの諸元はこれまで製作された超電導コイルに較べて非常に大きく、また、特性的にも機械的・熱的に厳しい条件を満たす高度の設計技術をもって製作される必要があることを示す。

2.2 これまでに製作された超電導コイルとの比較

超電導コイルの規模を示す指標の一つとしてよく用いられるのがコイルの磁気蓄積エネルギーである。図4に示すようにITERのTFコイルは11.8Tの最大磁場で41GJの蓄積エネルギーを保持する。これは、これまでの最大であるLCT(大型コイル事業)コイルの50倍以上である。LCTはIEAの下で核融合炉用超電導コイルとして米国、日本、EU、スイスの共同開発で製作された6個のコイルからなる模擬TFコイルである。また、コイルに加わる電磁力の大きさを表す向心力もこれまでの25倍の約7GNである。このようにこれまでの実績を大幅に大型化した超電導コイルに挑戦することになる。また、CSコイルも13Tの最大磁場で約6.9GJの蓄積エネルギーである。しかも、CSコイルはパルス励磁される。図5はこれまでに製作されたパルス・コイルでの磁気蓄積エネルギーと励磁速度の関係を示す。この図に示された励磁速度は台形波形励磁運転された場合の立ち上げ時の速度である。CSコイルは非常に複雑な電流波形で運転される。図5においてはその励磁速度を実効的速度として0.4T/sとプロットされている。CSコイルの磁気エネルギーはITERのR&Dの一環として製作したCSモデル・コイル以前のコイルと比較すると800倍以上の大きさである。また、PFコイルの巻線の直径は24.7mでLHD(大型ヘリカル装置)の約2倍である。

一方、ITERに使用される超電導線材の量は、TFコイルとCSコイルに対してNb₃Sn/銅複合線が約650ton、PFコイルとCCコイルに対してNbTi/銅複合線が約300tonである。この量はLHCの粒子加速リングに使用するダイポール・コイル、クオドラポール・コイル等に使用されるNbTi線の1,200ton²⁾にほぼ匹敵する。LHCではすべてがNbTi線材であるのに対してITERではNb₃Sn線材が大量に使用される。そのNb₃Sn線材の量は、これまでに製造されたNb₃Sn線材の量よりも多い。0.9GHzのNMRでは、約1.4tonのNb₃Sn線材が使用される。³⁾したがって、ITERでは、0.9GHzのNMRの約500個分を製作するに必要な量のNb₃Sn線材が使用されることになる。

表1 ITER 超電導コイルの諸元

TF コイル	
コイルの寸法 (D型)	幅 9 m, 高さ 13.6 m
コイルの数	18
蓄積エネルギー/全コイル	41 GJ
起磁力/全コイル	164 MAT
定格電流値	68 kA
最大磁場	11.8 T
向心力/全コイル	7.3 GN
拡張力/コイル	205 MN
CS コイル	
コイルの寸法	外径 4.2 m, 高さ 12.4 m
起磁力/全コイル	134 MAT
最大電流	41.5 kA
最大磁場	13 T
PF コイル	
コイルの数	6
最大外直径	24.6 m
起磁力/全コイル	61.1 MA
最大電流値	45 kA
CC コイル	
コイルの数	16
起磁力/全コイル	7.5 kA
コイルの重量 (構造部も含む)	
TF コイル	5,362 ton
CS コイル	1,041 ton
PF コイル	2,595 ton
CC コイル	80 ton
全コイル	9,078 ton
超電導線材の重量	
Nb ₃ Sn/銅複合線材	650 ton
NbTi/銅複合線材	300 ton
全線材重量	950 ton

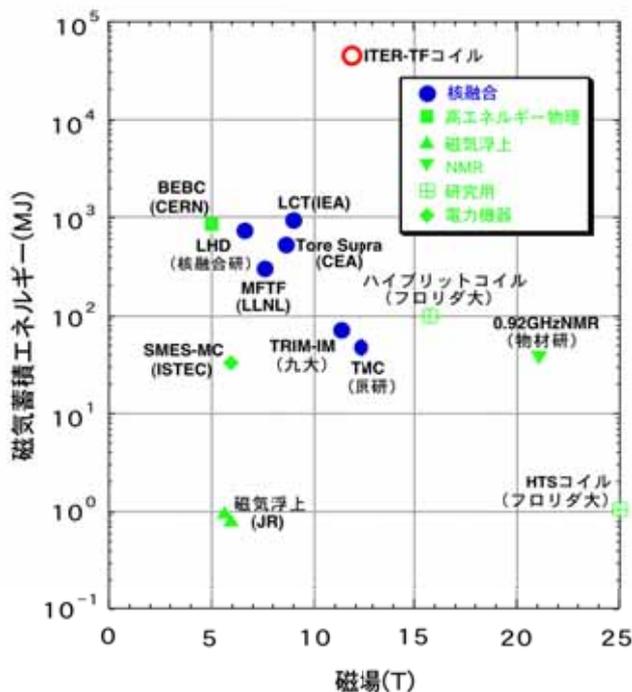


図4 これまで製作された超電導コイルの蓄積エネルギーと磁場

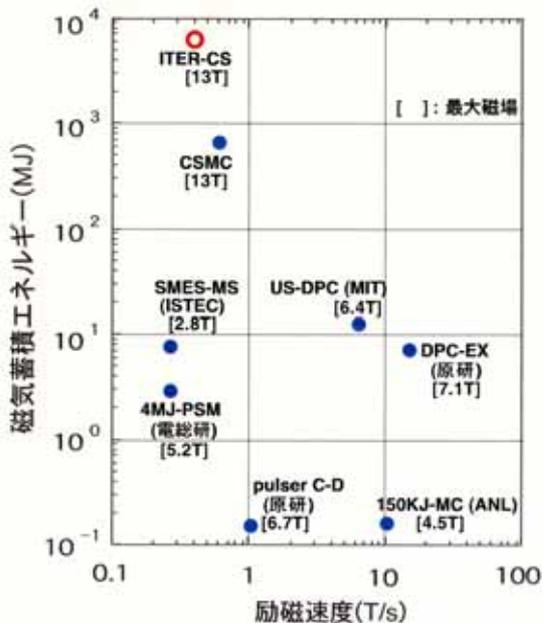


図5 これまで製作された超電導コイルの蓄積エネルギーと励磁速度

参考文献

- 1) 森 雅博ら：日本原子力学会誌 44 (2002) 16-89
- 2) 目黒信一郎：私信
- 3) H. Wada and T. Kiyoshi : IEEE Trans. Appl. Superconduct., vol. 10 (2000) 715-717

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q： 酸化物超電導線で高磁界マグネットは作れるのでしょうか？

A： 質問に答える前に、まず、質問の中にある磁界について説明しておきましょう。

私たちの身の回りにはおもちゃの馬蹄形磁石、磁気健康バンド、磁気ネックレス、掲示板に使われているキャップマグネットなどの磁界の強さをご存知ですか。これらは、永久磁石と呼ばれるもので、鉄、ニッケル又はコバルト並びにネオジウムなどの特殊な元素からできています。その磁界の強さは、ガウスという磁界の強さを示す単位で表しますと、500 ガウスから 5,000 ガウスです。この強さは、私たちがハイキングに行ってお世話になる方位磁針に感じる地球磁気(地磁気：約 0.5 ガウス)の凡そ数千から 1 万倍に相当すると想像してください。

私たちの身の回りには、もう一種類この地磁気よりも強い磁界を発生できるものがあります。それは、コイル状の銅線に電流を流す電磁石です。この電磁石の磁界の強さは、ネオジウム系などの高級永久磁石に匹敵する約 5,000 ガウス(0.5 テスラ*)の磁界を発生することができます。また、同じ電磁石でも鉄心に銅線を巻き、通電中のジュール熱を水で冷却する電磁石では 1.5 テスラから 2 テスラの磁界が発生できます。さらに、鉄心のない特殊な銅コイル構造を採用し、経済性を度外視して大量の水で冷却しながら大電流を流す電磁石は、30 テスラの高磁界を発生することができ、いろいろな材料の高磁界特性の研究開発に使われています。

* テスラも磁界の強さを示す単位で、1 テスラは 10,000 ガウスに相当します。

さて、超電導線を用いた電磁石は、超電導マグネットと呼ばれており、電気抵抗がゼロであるため大電流が流れてもジュール発熱がなく経済的に高磁界を発生することができます。その代表的なものとして、ニオブ系超電導線を用いた超電導マグネットがあります。たとえば、日本の独立行政法人物質・材料研究機構強磁場研究センターに設置されているニオブ系超電導マグネットでは 21.6 テスラの高磁界を発生することができます。しかし、ニオブ系超電導線ではこの水準以上の高磁界では実質的な大電流を流せなくなり、発生する磁界も頭打ちになっています。一方、質問にある酸化物超電導線を用いますと、ニオブ系超電導線よりも高磁界で大電流が流せるため、より高磁界を発生する超電導マグネットが製作できます。すでに、アメリカ合衆国フロリダにある国立強磁場研究所(NHMFL)では、20 テスラが発生できるニオブ系超電導マグネットの内側に単独で 5 テスラの磁界を発生できるビスマス系(Bi-2212)酸化物超電導マグネットを装着した世界最強 25 テスラの高磁界超電導マグネットが昨年(2003年8月23日)完成しています。

このような高磁界超電導マグネットは、適用先のひとつとして現在ゲノムの構造解析や新薬の合成に不可欠な NMR スペクトロメータに多く使われています。NMR スペクトロメータの当面の目標は、プロトンの共鳴周波数である 1GHz を達成するために、23.5 テスラの高磁界かつその変動が 100 年間で 0.3%以下という長時間安定して動作する超電導マグネットを製作することです。このとてつもない高磁界かつ高安定な超電導マグネットの製作を目指して、ビスマス系酸化物超電導線の改良、新しいイットリウム系酸化物超電導線技術の開発、酸化物超電導マグネット運転技術の開発などが意欲的に進められており、その進展に大きな期待が寄せられています。

(超電導 Web21 編集部)

[超電導 Web21 トップページ](#)