

掲載内容 (サマリー):

特集: 超電導材料技術の進展

Nb3Sn 超電導線材の歪効果技術の進展
Bi-2223 超電導線材の高性能化技術
MgB2 線材の加工技術の展望
REBCO バルク超電導体の実用特性の現状
超電導関連製品ガイド - 超電導線/バルク体関連製品 -

超電導関連 4-5月の催し物案内

新聞ヘッドライン(2/17-3/20)

超電導速報 - 世界の動き (2007年2月)

標準化活動 - 「ニオブ3すず複合超電導導体の残留抵抗比試験方法」制定 -

東京大学シンポジウム「強磁場 MRI - 生命の可視化 - 」報告

隔月連載記事 - 超電導送電事始 (その2)

読者の広場(Q&A) - 超伝導機器に不可欠な冷凍機を長時間使用する場合の留意点はどのようなものでしょうか？

[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。

<http://keirin.jp>



特集：超電導材料技術の進展 「Nb₃Sn 超電導線材の歪効果技術の進展」

東北大学金属材料研究所
西島 元

1. はじめに

筆者らのグループでは、ブロンズ法 Nb₃Sn 超電導線材に室温で繰り返し曲げ歪を与えることで特性を向上させる事前曲げ効果を見だし、¹⁾ この機構解明と応用に関して研究を進めている。本稿では事前曲げ効果についてこれまでに得られた結果と応用研究の現状について紹介する。

2. 事前曲げ効果 (Pre-bending effect)

一般的な Nb₃Sn 線材は、内側に Nb₃Sn、外側に Cu を配置した複合材である。しかしこれだけでは 150 MPa 程度の引張り応力で *I_c* が半分以下に不可逆に劣化する。そこで、機械特性の向上のために、CuNb、Al₂O₃、Ta、Cu-NbTi で補強した強化線材も開発されている。²⁾ 図 1 には CuNb 補強 Nb₃Sn 線材の断面を示す。線材は約 700 °C の超電導化熱処理の後、冷却されると、材料の熱膨張係数が異なるために応力が発生し、Nb₃Sn には圧縮歪が加わる。この残留歪が Nb₃Sn 線材の超電導特性を本来の値よりも低い値に制限していることは良く知られている。図 2 に CuNb 補強 Nb₃Sn 線材の *I_c* の歪依存性を示す。*I_c* が最大になる歪が残留歪に相当する。

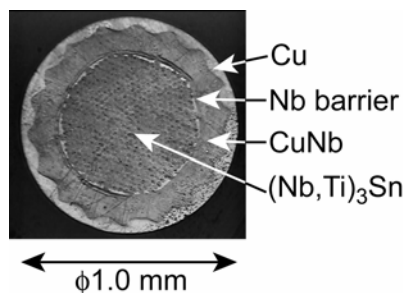


図 1 CuNb 補強 Nb₃Sn 線材

事前曲げ効果の原理はこの残留歪の緩和である。曲げ歪を交互に繰り返し印加することにより、曲げの外側には引張り、内側は圧縮歪が印加される。線材外側の安定化材は塑性変形するが内側の Nb₃Sn は塑性変形せず残留歪は緩和する。中性子回折実験の結果、残留歪は軸方向だけでなく径方向にも緩和していることが明らかになっている。この 3 次元的な歪緩和により、*I_c*-歪曲線が低歪側にシフトするだけでなく、*I_c* の最大値が上昇する。さらに、安定化材の加工硬化により、応力-歪特性にも変化がみられる (図 2 参照)。

一方、曲げではなく引張り応力を印加することで特性を向上させる技術も報告されている。^{3),4)} この場合も *I_c*-曲線は低歪側にシフトする。しかし、この方法は線材に一律な引張り歪を与えるため、線材の構成によっては安定化材だけでなく Nb₃Sn も塑性変形し、劣化する可能性がある。

3. 事前曲げ効果の応用

事前曲げ歪効果の応用として着目したのは React & Wind 法(R&W 法)である。R&W 法のメリットは大型熱処理炉や真空含浸容器が不要なことによる低コスト化である。これに事前曲げ効果を組み合わせれば、低コストで

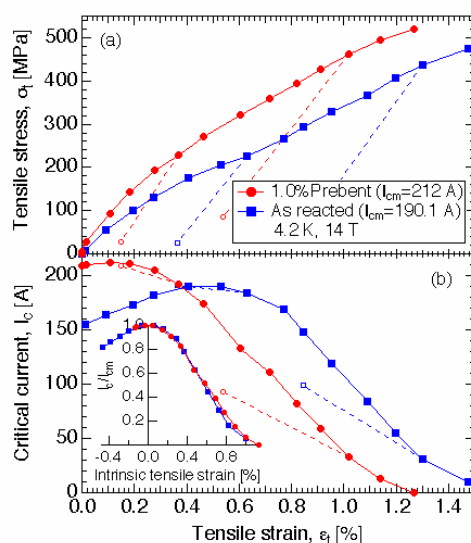


図 2 CuNb 補強 Nb₃Sn 線材の(a)応力-歪特性、および(b)*I_c*-歪特性

高特性のコイル製作が可能になる。この R&W 法に事前曲げ処理を組み合わせた巻線方法を図 3 に示す。プーリーを 10 個使って繰り返し曲げを印加した後に巻線を行い、巻線時にエポキシ樹脂を刷毛塗りすることで含浸する。曲げ歪みの大きさはプーリーの大きさで制御する。

印加事前曲げ歪の大きさを変えて巻線したコイルの 4.2 K での通電結果を短尺試料の I_c と比較すると大きな I_c 向上が見られ、事前曲げ R&W 法の有効性を実証できた。⁵⁾

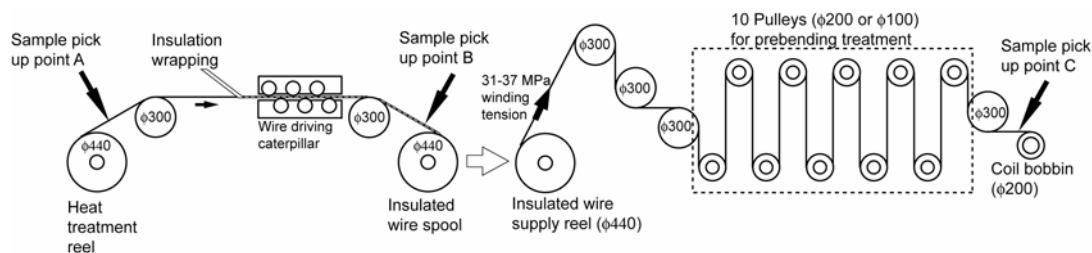


図 3 事前曲げ効果を組み合わせた R&W 法

4. おわりに

事前曲げ効果について、今までに得られた結果の一部と応用研究の現状について紹介した。コイル製作については、現在、実用規模の（磁場を発生できる程度の）コイルを製作しているところであり、近々実証試験を行う。また、もう一つの応用は、撚線化である。通常なら熱処理前に撚線整形されて熱処理される Nb₃Sn 撚線を、熱処理後の素線に事前曲げ処理を施して特性を向上させた後に撚線化する試みである。現在、50 T 級ハイブリッド・マグネット開発に向けて線材および導体の開発を物質・材料研究機構と共同で始めたところである。

参考文献

- 1) Awaji *et al.*, Supercond. Sci. Technol. 16 (2003) 1059
- 2) 例えば, G. Nishijima *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond. 15 (2005) 3442
- 3) 我妻他, 特開昭 60-101811
- 4) S. Ochiai, Cryogenics, 32 (1992) 584
- 5) G. Nishijima *et al.*, Supercond. Sci. Technol. 18 (2006) S261

特集：超電導材料技術の進展 「Bi-2223 超電導線材の高性能化技術」

住友電気工業株式会社
超電導開発室
藤上 純

ビスマス系超電導線の性能はまだまだ向上しそうである。線材の性能はここ数年、着実に進歩し、77K、自己磁場下における I_c (臨界電流) が 200A 超の長尺線材ができるようになってきた。(最新データでは、臨界電流 I_c は 211A、1cm 幅換算で 500 A/cm のものができている。) このビスマス系超電導線の性能向上は CT-OP 法 (controlled over pressure 法) と呼ばれる高圧焼成法の導入に依るところが大きい。この手法は、線材の最終焼成を約 300 気圧の高圧下で温度、酸素分圧を精確にコントロールしながら行う方法であり、これによって密度 100% のポイド (隙間) のないビスマス系超電導線が実現できた。(従来の大気圧焼成線 (BSCCO 線) と区別して、DI-BSCCO 線と呼んでいる。) 従来の大気圧下で焼成した線材では、どうしても製造後にポイドが残る。このポイドは線材の電気的性能および機械的性能を抑える要因である。同時に、線材ロット内、ロット間の性能、再現性の「バラツキのもと」になっていたが、加圧焼成法の導入によって、はじめて、この「バラツキのもと」がなくなった。このことは、「出力特性である I_c に対して、入力特性に当たる各製造プロセスのパラメータ設計が、ノイズ (ポイド) がない理想的な条件下でできるようになった」とも解釈できる。実際に我々は、加圧焼成法導入後に、原料～焼結までの全工程の製造パラメータについて詳細な見直しと改善を行い、結果、出力特性である I_c を 211A までアップさせることができた。また、コストパフォーマンスも、 I_c が 200A 超の長尺線ができたことで、\$100/kAm が視野に入ってきた。ただし、これはゴールではなく、DI-BSCCO 線はまだ改善の余地があると考えている。実際、 $I_c=211A$ の線材の超電導組織には、非超電導相が存在しており、超電導結晶の接合および配向性を阻害している。これらの改善だけでも性能 (I_c) はまだまだ向上すると考えている。また、DI-BSCCO 線の工業的な生産は緒に就いたばかりであり、今後生産量が増えていけば、量産効果等々によって、まだまだコスト的にも改善の余地があり、近い将来、コストパフォーマンスとしては \$50/kAm 以下となると考えている。

以上、ビスマス系超電導線の現状を紹介した。ビスマス系超電導線の性能、コストパフォーマンスの改善は、今も現在進行形である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導材料技術の進展 「MgB₂線材の加工技術の展望」

独立行政法人 物質・材料研究機構
超伝導材料研究センター
戸叶一正

金属系超電導材料として新たに仲間入りした MgB₂ は物性、応用の両面から大きな関心を集めてきた。特に 40K 近くの高い T_c は冷凍機冷却の適用を容易にし、また液体水素中の使用も可能になるため、Nb-Ti、Nb₃Sn では実現不可能であった新たな応用展開が期待できる。さらに、資源的に豊富な 2 元素から構成される単純な系で、しかも化合物として安定であることは製造上の大きなメリットでもある。これらの長所を活かすための線材開発が現在盛んに進められていて着実な進歩が得られている。

現在線材の殆どが PIT(Powder-in-tube)法によって試作されている。PIT 法は Mg と B との混合粉末を金属管に詰めて加工、熱処理する in-situ 法と、予め合成した MgB₂ 粉末を金属管に詰めて加工する ex-situ 法に大別されているが、いずれもプロセスが単純なため長尺化が容易な製造上の大きなメリットを有する。そのため百 m 長はもとより最近では km 長の生産も報告され、またコイル試験も行われるようになった。しかし磁界特性が実用的に十分な段階にはまだ達しておらず、今後もピン止め機構の解明とその知見に基づいた特性改善の努力が続けられていくものと思う。

表 1 MgB₂線材のプロセス

- I. PIT(Powder-in-tube) 法
 - In-situ法
 - Ex-situ法
- II. PIT法以外の試み
 - 1) B ファイバー法
 - Mg気相、Mg液相との反応
 - 2) Coated Conductor法
 - 気相成長 (PLD、HPCVD等)、
 - 電気メッキ、塗布法
 - 3) Modified-PIT法
 - PICT法、Infiltration法、
 - 複合加工法

一方、PIT 法は基本的には粉末同士の焼結反応であるため、本質的に高密度組織が得にくい難点があり、J_c改善のためには組織の緻密化も今後の大きな課題である。そのため表 1 に示したように PIT 法にこだわらない幅広いプロセスの開発も必要である。長尺化を考慮した場合は、複合体界面での拡散反応によって MgB₂ 層を生成できれば理想的である。しかし、MgB₂ の場合、純 Mg が極めて加工性に難点があるため複合体の構成物とすることは難しい。それに対して最近著者たちは、加工性の極めて優れた Mg-Li 合金を用いた複合加工法によって MgB₂ 線材の試作に成功した。図 1(a)は Fe 被覆材と Mg-Li 合金芯の間に B 粉末を充填した複合線材である。加工性は極めて良好で、中間焼鈍なしに大きな減面率で冷間加工可能である。これを熱処理すると図 1(b)に示すように Fe 被覆材内側に MgB₂

層が生成される。Li は MgB_2 相に固溶せず、 MgB_2 母相内に析出物として生成され MgB_2 の超電導特性に悪影響を及ぼさない。 MgB_2 相は拡散反応で生成されるため非常に緻密な組織をもつ。今後、製造条件の適正化を図り、実用化の可能性を検討していく予定である。

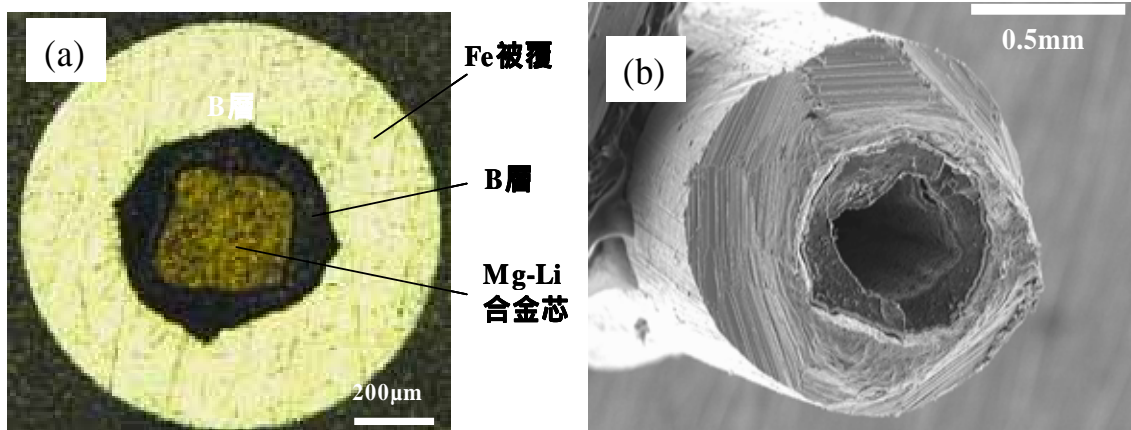


図 1 (a) Fe/B/Mg-Li 複合線材の断面組織写真

(b) 同上線材の熱処理後の走査電顕(SEM)写真

この 5 年間で PIT- MgB_2 線材の性能は著しく向上した。今後はさらなる J_c の向上とともに、多芯化、安定化、導体化など生産技術の確立、機械特性、安定性など実用性能評価などを行い、また PCS や電流リードなどへの試験的な応用が進められていくものと思う。また、今回一例として紹介したように、PIT 法以外の新たなブレークスルーを求めたプロセス開発も同時に進められていくものと予想される。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：超電導材料技術の進展 「REBCO バルク超電導体の実用特性の現状」

バルク超電導体は、RE123 超電導相中に RE211 相等の第 2 相を 30-40%程度微細分散させた複合材料で、熔融成長法により RE123 結晶を大きく成長させた材料である。強磁場を捕捉させて小型で永久磁石の数倍以上も強力な擬似磁石が作製できること、また、磁石と相対させて配置することで安定な非接触浮上が可能であるなどの特徴を有している。これらの特徴を利用した応用に必要な特性は、RE123 結晶が大きくかつ臨界電流密度 (J_c) が高いほど向上する。

ここで、主成分である RE123 超電導相に用いることができる希土類元素 (RE) をイオン半径の大きい順に並べると、La, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Y, Ho, Er, Tm, Yb となる。臨界温度 (T_c) は、RE のイオン半径が大きい程高くなる傾向があり、Gd よりもイオン半径が大きい軽希土類元素 (LRE) では 95K 以上、それ以下では 90-93K 程度が最大と報告されている。LRE は、Ba とのイオン半径が近くなるため、 LRE^{3+} が Ba サイトに置換して、 T_c を低下させてしまう。この置換を抑制するため、低酸素分圧下での熔融成長などの方法が開発されているが、生産性等の理由から、空気中で作製可能な Gd よりも小さい材料しか市販されていない。Gd 系材料は置換量が少ないため、空気中で成長させても 93-94K 程度の T_c を得ることが可能である。また、Er よりも小さい材料は、成長速度が遅いため、特別な理由がない場合以外は用いられない。

臨界電流密度 (J_c) は、ピン止めセンターのサイズおよび量に依存する。通常、77K、自己磁場の J_c は、Y 系では 3 万 A/cm^2 、Gd 系では 5-6 万 A/cm^2 程度である。Gd 等の LRE を用いることにより LRE/Ba 置換に起因する組成変動のピン止めセンターが導入され、 J_c -B 曲線においてピーク効果を示して高磁場の J_c が向上する。また、事前に極微細に粉碎した原料粉末として用いることで、77K、自己磁場での J_c は、30 万 A/cm^2 台へと大きく改善できるようになった。また、Zn 等を極微量添加することで、ピーク効果を発現させることも可能である。不可逆磁場も組成および組織依存があり、77K において、Y 系で 3-4T、Gd 系では 5T 程である。Nd, Eu, Gd を特別な配合にした組成では、77K の不可逆磁場を 14T 以上まで高めた材料も報告されている。また、40K まで冷却すると、 J_c は約 1 桁上昇する。

捕捉磁場特性は、77K において、Y 系では 0.5-1.0T 程度であり、Gd 系は Y 系よりも高磁場での J_c が高いため、2T 前後の高い捕捉磁場が得られる。また、極微細な 211 相を分散させた約 65mm 径の Gd123 系バルク超電導体においては、77K で 3T、40K で 9T の高い捕捉磁場が得られている。さらに、24mm 径の Y123 系では 29K で 17T を超える高い捕捉磁場が確認されている。以上は、静磁場を印加した状態で試料を冷却し、後に外部磁場を取り除いてバルク超電導体を磁化させた静磁場着磁 (FM) 法による値である。パルス磁場を印加するパルス磁場着磁法に関しては、77K では FM 法とほぼ遜色ない特性が得られているものの、高磁場捕捉については、現時点では、20K で 5.2T が最高であり、まだ改善の余地が残されている。

バルク超電導体の応用性能は、結晶サイズが大きいほど高くなる。一般的な材料は、32mm-60mm 径であるが、近年では、140mm 径を超える大型のバルク体も得られるようになってきた。バルク体を大型化あるいは厚物化することで、捕捉磁場の向上のみならず、磁石との反発力の増大、遠方での磁場強度および磁場勾配の増加などの特徴が得られる。

バルク超電導体は、圧縮応力には強い (圧縮強度は数百 MPa 以上) が、a 軸方向の引張り強度は 10-70MPa と弱くかつバラツキが大きい。このため、バルク超電導体に高磁場を捕捉させて磁石と

した場合、引張り方向に大きなローレンツ力がバルク超電導体に生じて破壊してしまうことがある。そこで、5T 以上の高磁場捕捉のためには、強度向上は不可欠である。強度向上の方法としては、10-20%程度の Ag 添加、リング補強および樹脂含浸補強等があり、これらを組み合わせて用いることで、強度向上およびバラツキ低減が可能である。

また、交流磁場印加によるバルク体の発熱により性能が低下してしまうという問題がある。これは、バルク超電導体の熱伝導が悪いことが理由の一つであり、この対策として、熱伝導率の高い AI をリング材として使用したり、バルク超電導体の c 軸に平行に孔あけ加工を施して、熱伝導率の高いアルミニウム線を挿入した後、低融点金属を真空含浸させた試料を用いることで、試料の温度上昇が抑制でき、捕捉磁場の低下を防ぐことができるようになってきた。

以上の様に、バルク超電導体の性能は格段に向上している。安く安定した材料が提供されるようになれば、応用展開が開けるものと期待される。

(SRL/ISTEC 材料物性研究部 バルク研究開発室 坂井直道)

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連製品ガイド - 超電導線/バルク体関連製品 - (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) 線材部

NMR・MRI 分析器用線材、各種マグネット用線材

Tel:093-391-2836、Fax:093-391-2847 担当：村上幸伸

日立電線株式会社 高機能材料事業本部 電伸部電伸課

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：宮下克己

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：清水

三菱電機株式会社 電力システム製作所 磁気応用先端システム部 超電導技術グループ

PVF 被覆超電導線材

Tel:03-3218-2607

担当：(原子力部原子力営業第二課) 宮田直大

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線材、高強度線材、核融合炉用素線

Tel:093-391-2836、Fax:093-391-2847 担当：村上幸伸

日立電線株式会社 高機能材料事業本部 電伸部電伸課

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：宮下克己

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

担当：清水

三菱電機株式会社 電力システム製作所 磁気応用先端システム部 超電導技術グループ

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:03-3218-2607

担当：(原子力部原子力営業第二課) 宮田直大

Nb₃Al 化合物複合超電導線

日立電線株式会社 高機能材料事業本部 電伸部電伸課

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：宮下克己

ビスマス系銀シース酸化物超電導線

昭和電線ケーブルシステム株式会社 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 青木裕治

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:06-6466-5537、Fax:06-6466-5705 担当：山田雄一
日立電線株式会社 高機能材料事業本部 電伸部電伸課
Tel:029-826-7416、Fax:029-826-1846 担当：宮下克己

バルク体

新日本製鐵株式会社
超電導バルク材料、バルク超電導電流リード等各種サンプル製品、超電導バルク体を用いたコイル
マグネット（開発中）
TEL:0439-80-2713、FAX:0439-80-2746、e-mail: teshima.hidekazu@nsc.co.jp 担当：手嶋英一

（編集局 田中靖三）

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導関連 4月 - 5月の催し物案内

4/9-13

MRS 2007 Spring Meeting

場所：San Francisco, California

主催：Materials Research Society

問合せ：Tel: 724 779.3003, Fax: 724 779.8313, E-mail: Info@mrs.org

4/16-20

Hannover Messe Energy Conference

場所：Hannover, Germany

主催：Deutsche Messe

問合せ：Tel:+49-511/89-0, Fax:+49-511/89-32626, <http://www.messe.de>

4/17

二十歳を迎えた高温超伝導

場所：虎ノ門パストラル

主催：(社)未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会 (独)物質・材料研究開発機構 超伝導材料センター

問合せ：(社)未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会 担当 志村

Tel: 03-3503-4681, Fax: 03-3597-0535, E-mail: fsst@sntt.or.jp

4/22-27

Experimental Nuclear Magnetic Resonance Conference - 48th ENC Conference

場所：Daytona Beach, FL

問合せ：<http://www.enc-conference.org/>

E-mail: enc@enc-conference.org, Tel: 5059989-4573, Fax: 5059989-1073

4/23-26

TTC Meeting (Tesla Technology Collaboration)

場所：Fermi National Accelerator Lab

主催：SMTF and FRA(Fermilab) with Participation of STF(KEK)

問合せ：E-mail: sazama@fnal.gov

4/27

東北・北海道支部 2007 年度総会・講演会「普く知りたい超電導機器開発」・見学会

場所：東北大学金属材料研究所 本多記念館視聴覚室(3階)、仙台市青葉区

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: cshibata@imr.tohoku.ac.jp

5/21-27

WILGA Conference-XXth Joint Symposium on Photonics and Electronics for Accelerators and High Energy Physics Experiments

場所：Warsaw University of Technology Resort, Poland

主催：IEEE, The Institute of Electrical and Electronics Engineers. INC POLAND SECTION, and

The International Society for Optical Engineering POLAND CHAPTER

問合せ：<http://wilga.ise.pw.edu.pl> E-mail: photonics@ise.pw.edu.pl

5/28

超電導技術動向報告会 - 省エネ・省資源社会に向けて

場所：都市センターホテル 3F コスモホール , 東京

主催：(財)国際超電導産業技術研究センター

問合せ：<http://www.istec.or.jp/event/>

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (2/17-3/20)

高温超電導線材 第二世代 量産にメド 米スーパーパワー 日本企業と競合激化へ 2/19 日経産業新聞
ITER 協定 27日にも閣議決定 国会審議経て正式参加 2/22 電気新聞
引かれ合う++プラス電気 京大教授ら実証 超電導への応用に期待 2/22 朝日新聞
携帯型で手術室にも 高温超電導磁石 日立・阪大など開発 10キロ以下に がん治療応用を進める 2/28 日経産業新聞
電磁力でアルミ接合 神鋼 溶接せず工程半減 2/28 日経産業新聞
高温超電導 産業化迫る 上 技術力、日本企業がリード 船用モーターなど有望 3/6 日経産業新聞
実用化探る高温超電導ケーブル 送電実験、米で本格化 昨夏から七万世帯に供給 今夏から次世代型も 3/6 朝日新聞(夕)
宇宙の謎に迫る 地下の巨大磁石 スイス・仏国境に 3/6 朝日新聞(夕)
高温超電導 産業化迫る 中 長い線材開発、最大の課題 利点伝える活動不可欠 3/7 日経産業新聞
高温超電導 産業化迫る 下 チュー・ヒューストン大教授に聞く 省エネ・環境へ応用期待 日本企業の技術力に注目 3/8 日経産業新聞
地熱エネルギー活用 CO₂削減に有効 低い熱源でもOK バイナリー発電注目 3/8 読売新聞
輸送インフラ未整備 気体燃料の特性を活かして 水素エネルギーの課題 3/8 フジサンケイビジネスアイ
資源争奪 失われた情報収集力 メジャーと競争不利に 3/9 読売新聞
グリーン調達 変わるものづくり RoHS 6物質使えば死活問題 3/13 日刊工業新聞
核融合 ITER、BA進展受け 研究者の確保 急務に 現状100人 10年後は700人必要 3/14 電気新聞
中部電力が化学実験イベント 浮いた?走ったよ! 手作りリニア 親子50組挑戦 3/15 電気新聞
インフルエンザ 1秒で感染判定 阪大が新技術 鼻水を光で分析 3/16 日本経済新聞
エコ・パワー 下水汚泥発電に進出 2年後メド 大都市圏で運転 3/16 日経産業新聞
富士製薬、注射剤を強化 薬入注射器 生産能力倍増 MRI用血管造影剤に参入 富山工場にライン新設 3/16 日経産業新聞
電気伝導率の高いCNT 簡易合成法を発見 物材機構 3/16 日刊工業新聞、日経産業新聞
燃料電池1兆円産業に 2020年度1兆2799億円と予測 富士経済は報告書 3/16 日刊工業新聞
ジメチルエーテルから水素 低温で90%抽出成功 原子力熱源に 東芝、システム確立へ 3/16 日刊工業新聞
核融合最先端研究は? 自然科学機構 21日にシンポ 3/16 フジサンケイビジネスアイ
SUMCO、純利益3.5倍 前期720億円 300ミリウエハー伸びる 買収も寄与、30円増配 3/16 日本経済新聞
イットリウム系線材量産技術 高温超電導普及に前進 昭和電線HD フッ化水素ガス素早い排出実現 3/19 日経産業新聞
リニア実現に意欲 東京 - 大阪 1時間 JR 東海 葛西会長 3/19 読売新聞
超電導デバイス利用 大容量 LAN 安定動作成功 NEDO、ISTEC が世界初 100テラビット級超電導ルーター 2015年製品化目指す 消費電力大幅低減 3/20 電気新聞、日刊工業新聞、日経産業新聞、フジサンケイビジネスアイ

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報 世界の動き (2007年2月)

電力

American Superconductor Corporation (2007年2月1日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は2006年12月31日に終了する第3四半期の収支を発表した。当期収入は、前年同期1,350万ドルに対し950万ドルに減少した。当期の純損失は、前年同期の750万ドルに対し、当期は950万ドルであった。第3四半期の結果は事前に予想されたものであり、DOEからの支払いの遅延と海軍発注の36.5-MWモーターの遅れに起因している。AMSC社は第3四半期末で負債はなく、現金、現金等価物、短期投資の総計が4,160万ドルであった。同社は、2007年度通年では収入5,000~5,200万ドル、損失2,900~3,200万ドルとの従来の予想に変更はないとしている。2006年12月31日の時点で、AMSC社の受注残(契約を含む)は4,320万ドルである。この受注残は、Windtec™社の買収により6,500万ドルとなる。第4四半期に予定している新規受注を加味すると、年度末2007年3月31日時点での受注残は約7,000万ドルに達する見込みである。この内6,000万ドルは2008年度に現金化される予定である。

出典:

“AMSC Reports Third Quarter Fiscal 2007 Financial Results”

American Superconductor Corporation press release (February 1, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=956807&highlight

American Superconductor Corporation (2007年2月6日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、オーストラリアのHallet風力発電所から20 M-VARのダイナミックVAR (D-VAR)を受注した。現在の設備が完成すれば、Hallet風力発電所はオーストラリア最大の風力発電規模を有することとなる。即ち、54,000世帯にゼロ・エミッション電力を供給できるようになる。この注文はSuzlon Energy Australia Pty. Ltd. (SEA)を通じてなされた。このD-VARは2007年後半にSEA社に出荷される予定。装置は変電所に設置され風力発電所とパワーグリッドを繋ぐことになる。風力発電所は2008年早期に運転開始予定。AMSC社電力担当上席役員Chuck Stankiewiczは次のように述べた。「Suzlon社を通じたこの注文は、わが社の国際的な地位と風力タービンメーカーとの強い関係を示すものである。Suzlon社は、10億ドルの年間売り上げを誇り、従業員は7,500人を超える。同社は速やかにアジア・太平洋地域の風力発電市場に確固たる地位を築いてきた。我々はこの重要なプロジェクトに参加できて嬉しく思っており、Suzlon社との今後拡大するビジネスに期待している。」

出典:

“AMSC Receives D-VAR(R) Order from Suzlon Energy for Australian Wind Farm”

American Superconductor Corporation press release (February 6, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=958988&highlight

American Superconductor Corporation (2007年2月13日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、現代重工業がAMSC社の344S超電導線材を用いた限流器で世界記録となる性能を実現することに成功したと発表した。韓国に本拠を置く現代重工業は、延世大学と共同で2004年後半に限流器の開発に着手した。以来、AMSC社の超電導線材によるコイル用いて、8.3 MVAの容量を持つ13.2-kV/630-A限流器の開発を進めてきた。限流器は13.2kVで作動した。この電圧は22.9kV級3相電力機器に相当し、限流器としては世界記録であ

る。この限流器は韓国電気技術研究所(KERI)で 2006 年 12 月に試験が行われ、交流 143kV に耐えることが実証された。これは、プロジェクト目標の 50kV の 3 倍に相当する。現代重工業主任研究員 Bok-Yeol Seok は次のように述べた。「我々は、近い将来限流器が大きな（商業上の）機会を提供するものと考えており、この市場を積極的に追求していく。我々は、この開発を今後とも継続していく考えであり、送電電圧レベルの 154-kV 限流器ばかりでなく、配電システム向け 30~60kV 限流器の開発にも目を向けていく。」韓国の限流器プログラムは、科学技術省から、Development of Advanced Power Systems by Applied Superconductivity Technologies (DAPAS)プログラムを通じて資金が供給されている。現代重工業は、AMSC 社の 344S 超電導線材を使った限流器を開発しているメーカー 8 社のうちの 1 社である。

出典:

“AMSC's 344S Superconductors Utilized by Hyundai Heavy Industries to Successfully Develop Commercial Grade Fault Current Limiter”

American Superconductor Corporation press release (February 13, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=962312&highlight

National Institute of Standards and Technology (2007年2月15日)

National Institute of Standards and Technology (NIST)は、高温超電導体の最大電流が小さな機械ひずみで可逆的に大幅に低下すると報告した。特に、1%の加圧ひずみで 3 種類の YBCO の臨界電流が 40%低下した。これは、実用高温超電導体で初めて観測された可逆的ひずみ効果である。この効果は、特に電力機器のような超電導システムの設計に重要な知見である。この効果を織り込むことは、多くの大規模装置の成功に大きく寄与することになる。この結果は Applied Physics Letters (January 31, 2007)オンライン版に掲載された。NIST は現在磁場がこのひずみ効果にいかに関与するかを調べている。

出典:

“Strain has major effect on high-temp superconductors”

National Institute of Standards and Technology press release (February 15, 2007)

http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tb2007_0215.htm#htc

SuperPower, Inc. (2007年2月27日)

SuperPower Inc.は、国防総省海軍研究所と次世代線材をベースとした HTS 発電機の開発プログラム第 2 フェーズの契約を締結した。この 18 ヶ月の契約は総額 300 万ドルである。この契約の下、Baldor Electric 社の子会社 Reliance Electric 社、General Dynamics 社 Electric Boat 事業部、Oak Ridge National Laboratory, the Naval Surface Warfare Center Carderock Division 及び 海軍研究所とパートナーシップを組んで、SuperPower 社は 10.6-MW HTS 発電機の概念設計を完成させ、また、36.5-MW 級 HTS 発電機のリスク評価を行う。

出典:

“SuperPower Receives \$3 Million Office of Naval Research Contract For Further Development of a High-Temperature Superconducting Generator for Application to the Navy's All Electric Ship Program”

SuperPower, Inc. press release (February 27, 2007)

American Superconductor Corporation (2007年2月28日)

American Superconductor Corporation (AMSC)は、北アイルランド及びテキサス州の風力発電会社から D-VAR®電圧制御システムの新規発注を受けた。北アイルランドの風力発電所は、AMC 社

の D-VAR ソリューションを使った英国で 8 番目の発電所である。英国は 2010 年までに発電電力の 10%を再生可能エネルギーにしようとしており、この数は増加していくものと期待されている。一方、テキサス州は米国で 2006 年に新規設置された風力発電容量のほぼ 1/3 を占めている。この新規受注を含めれば、D-VAR 及び PowerModule™ソリューションは全世界風力発電のうち 2,900MW 以上に上り、12ヶ月前の ASMC 社ソリューション実績の 3 倍になる。D-VAR だけでも、全世界 5 力国、25 の風力発電所で使用され、また、使用されることになる。

出典:

“AMSC Continues Sales Growth in Wind Energy Market with Domestic and International D-VAR® Orders”

American Superconductor Corporation press release (February 28, 2007)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=968236&highlight

マグネット

Northwestern University (2007年2月11日)

Northwestern University は、Bi-2212 が 30-Tesla マグネットの製作に適していることを見出した。もしそのようなマグネットができれば、世界で最も強力なマグネットとなる。現在手に入る医療及び研究用 MRI 用途の LTS 超電導マグネットは最大でも約 21T 程度である。Northwestern University は、12K 以下まで冷やすことにより、Bi - 2212 を使って 30T マグネットに必要な安定性を達成することができることを実証した。この結果は Nature Physics (February 11)オンライン号に掲載された。

出典:

“Physicists set 'speed limit' for future superconducting magnet”

Northwestern University press release (February 11, 2007)

<http://www.northwestern.edu/newscenter/stories/2007/02/halperin.html>

エレクトロニクス

D-Wave Systems, Inc. (2007年2月13日)

カナダの企業である D-Wave Systems, Inc. は世界初の商用量子コンピューターの公開デモを行った。量子計算は、デジタル計算機の能力を超える NP 問題 (データや変数の量が多すぎて、デジタル計算機では合理的な時間内に解が得られない問題) への応用が期待されている。さらに、量子 (計算) 技術は、量子コンピューターのみが正確に解を与える問題を解くことができ、これにより、計算機の応用範囲を拡大することができる。しかし、D-Wave 社の新計算機は従来の計算機の補完を意図したものであって、これを置き換えるものではないとしている。量子コンピューターは、古典物理ではなく量子物理を基礎とした新たなタイプのアナログ・プロセッサを使っている。D-wave 社は現在の処理プロセスや技術をベースとしたスケーラブル (複数個使うことにより規模の拡大可能な) プロセッサを使用しようと考えている。詳細は www.dwavesys.com に掲載されている。

出典:

“World's First Commercial Quantum Computer Demonstrated”

D-Wave Systems, Inc. press release (February 13, 2007)

<http://www.dwavesys.com/index.php?mact=News,cntnt01,detail,0&cntnt01articleid=4&cntnt01origid=15&cntnt01returnid=21>

通信

ISCO International, Inc. (2007年2月22日)

ISCO International, Inc.は、2006年度第4四半期及び通年の収支を発表した。当期及び通年の収入は大幅に増加、それぞれ380万ドル(前年同期250万ドル)、1,500万ドル(前年1,000万ドル)であった。当期及び通年の損失は、それぞれ130万ドル(前年同期110万ドル)、440万ドル(前年300万ドル)であった。年度末の在庫は50万ドル以下である。同社最高責任者 John Thode は次のように述べた。「我々は年度後半にキャッシュフローがブレークイーブンになるという結果を達成し、同時に将来のわが社の収入源となると考えられる分野に大きな投資を行ったところである。特に今年完成予定の全デジタル干渉防止装置に注目している。これは、現在の製品よりも大きく、深く市場に展開可能なものであり、これをもってわが社の事業転換が図れるものと考えている。」

出典:

“ISCO International Reports Financial Results for the Fourth Quarter and Full Year 2006”

ISCO International Inc. press release (February 22, 2007)

<http://www.b2i.us/profiles/investor/ResLibrary.asp?ResLibraryID=18956&f=1&BzID=826&Category=135&Nav=1&LangID=1&s=0>

基礎

Carnegie Institution of Washington (2007年2月26日)

Carnegie Institution の Geophysical Laboratory は、香港大学と共同で、圧力と酸素同位体の添加が高温超電導体の電子的性質に同じような影響を及ぼすことを見出した。研究グループは、これら物質の格子によるフォノンが超電導現象にとって本質的ではないかとしている。グループリーダーの Xiao-Jia Chen は次のように述べた。「この研究の中で、我々は酸素 16 を同位体酸素 18 で置き換えることにより転移温度が変化することを見出した。これは同位体効果として知られているものである。同位体の異なる質量が格子振動を変化させ、その結果、抵抗なしに物質中を走る電子ペアを生成する結合力を変化させる。我々の発見のより面白い点は、高温超電導体の結晶格子に圧力を加えることにより転移温度に同様な効果をもたらすということである。我々は、高温超電導体の転移温度に対し、同位体と圧力が同じ効果を持つことを明らかにした。」研究グループはさらに、同位体の添加量と同位体効果の定量的関係及び異なる高温超電導体間での効果の違いを決定した。同時に、最適ドーピング状態の各種物質で、その電子構造を変化させることにより超電導特性にどのような影響を与えるかも調べた。全体として、この結果は無圧力及び加圧状態の高温超電導体における同位体効果の統一描像を与えるものである。この結果は、Proceedings of the National Academy of Sciences (February 26 - March 2)オンライン版に掲載された。DOE Office of Basic Energy Science and the National Nuclear Security Administration 及び香港大学研究資金委員会がこの研究を支援した。

出典:

“New insights into high-temperature superconductors”

Carnegie Institution of Washington press release (February 26, 2007)

http://www.carnegieinstitution.org/news_releases/news_2007_0226.html

(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 7312: 2007「ニオブ3すず複合超電導導体の残留抵抗比試験方法」制定 -

財団法人 日本規格協会, JSA と財団法人 国際超電導産業技術研究センター, ISTECC は、日本工業標準調査会の制定審議を受け、平成 19 年 2 月 20 日、JIS H 7312: 2007「超電導 - 残留抵抗比試験方法 - ニオブ3すず複合超電導導体の残留抵抗比」を発行した。

なお、この JIS 規格は、IEC 61788-11: 2003* に対応整合したもので、IEC/TC90 超電導委員会のもとに設置した JIS 原案作成委員会（委員長 長村光造）で原案作成されたものである。

* IEC 61788-11: 2003, Superconductivity - Part 11: Superconductivity - Residual resistance ratio measurement - Residual resistance ratio of Nb₃Sn composite superconductors

この規格は、序文、適用範囲、引用規格、用語及び定義、要求事項、装置、試料、測定、試験方法の精確さ及び安定度、試験報告、附属書 A（参考）及び解説から構成されている。

- 適用範囲 -

この規格は、ニオブ3すず複合超電導導体の残留抵抗比を求めるための試験方法について規定する。この試験方法は、く（矩）形又は円形の断面で一体的な構造をもち、残留抵抗比が 350 未満、総断面積が 3mm² 未満、且つ、反応熱処理を行った超電導導体に適用する。試料はできるだけ真っ直ぐなものが望ましいが、そうでない場合は、試料を熱処理後の形に保ったまま測定するように注意する。すべての測定は、磁界を加えないでおこなう。

この規格の本体に規定する方法を主試験方法とし、参考として、その他の方法を、まとめて附属書 A に示す。

- 残留抵抗比、RRR の定義 -

室温の抵抗と超電導転移直上での抵抗との比
すなわち、

$$RRR = R_1 / R_2$$

ここで、

R₁ : 室温 293K における抵抗

R₂ : 超電導転移直上での抵抗

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

[超電導 Web21 トップページ](#)

東京大学シンポジウム「強磁場 MRI - 生命の可視化 - 」報告

東京大学大学院
新領域創成科学研究科
教授 和田 仁

2007年2月20日、新領域創成科学研究科と医学系研究科の共同主催によるシンポジウム“強磁場 MRI - 生命の可視化 - ”が、東京大学医学部教育研究棟 14 階鉄門講堂において開催された。後援は文部科学省と(社)未踏科学技術協会である。以下にその概要を報告する(敬称略)。

(1) 9:30 - 10:15 基調講演「fMRIの展開」

講演：濱野生命科学研究財団小川脳機能研究所 小川誠二

司会：理化学研究所 脳科学総合研究センター 田中啓治

講演者は、BOLD効果によるMRIコントラストを世界で初めて示したことで知られる。BOLD効果は今日広く脳機能解析の研究に利用されているfMRIの基本原則であり、ヘモグロビンの酸化と還元状態での水の緩和の差を計測し、特に脳が活動したときの血流動態の内静脈側の変化を捉える。この効果を発見したときの状況と、それをミネソタ大学のUgurbil教授とともに初めてヒトで実証できたときの喜びが語られた。最後に、BOLDから始まったfMRIが現在はさらに発展し、拡散計測法を応用した脳神経と血流動態の評価などの研究が国際的に進んでいることが指摘された。

(2) 10:15 - 11:00 基調講演「科学技術基本計画と先端医科学研究」

講演：文部科学省研究振興局研究振興戦略官 篠崎資志

司会：東京大学新領域創成科学研究科 大矢禎一

講演者はバイオ分野の研究施策担当者である。第1期から第3期までの科学技術基本計画の性格や目的などに関して丁寧な解説が行われた。政府がどのような分野にどのような方針で重点的に投資してきたか、今後投資しようとしているかが示され、競争原理導入の中で、予算が多少伸びるとしてもゼロサムに近い状況が予想されると説明された。講演者からはMRIに係わるキーワードとして、分子イメージングが挙げられるとともに、MRIに関連すると思われる予算制度も幾つか示唆された。

(3) 11:00 - 11:45 強磁場MRIの機器、施設開発について

講演：東京大学新領域創成科学研究科 和田 仁

司会：(独)物質・材料研究機構強磁場共用ステーション 木吉 司

講演者は、本シンポジウムの背景となる、(社)未踏科学技術協会の調査研究「強磁場MRI 少子高齢化社会への対応」の報告書の内容を紹介した。ハードウェアとしてのMRIで最も重要な超電導磁石、とくに、大型の超電導磁石の開発に関するわが国の高い技術ポテンシャルが、リニアモーターカー、核融合、加速器、単結晶製造などを例として解説された。さらに、調査報告書で提案されている代謝用11.7テスラMRIなどは超大型装置であることから、研究効率上から共同利用型施設(MRIコンプレックス)として集中整備することが妥当であるとされた。また、強磁場MRIを核としてヒトの統合的理解を含む新しい学術・技術分野が形成される可能性が示されるとともに、欧米の研究開発や超電導市場の動向を踏まえて、わが国も早急に強磁場MRI研究開発に着手する必要性が述べられた(関連するフランスの計画がポスターセッションで展示された)。

(4) 11:45 - 12:30 脳科学の進歩と強磁場 MRI

講演：東京大学医学系研究科 宮下保司

司会：京都大学医学研究科 福山秀直

脳科学の様々な分野に MRI が応用され、急速な進歩を遂げている。構造画像解析により、脳機能疾患の診断が可能になりつつあり、また機能画像を用いた脳活動測定により、高次認知機能と脳領域の関係が明らかにされつつある。講演者は記憶に関する例を挙げた。記憶していることは認識でき、聞か、時間をかければ思い出すことができる。しかし、即座には思い出せないような内容を思い出そうと考えている状況で、脳のどの領域がどのように機能しているかを明らかにしたい場合には、現在の MRI は分解能が十分ではなく、強磁場化が必要である。一方、強磁場 MRI が実現すれば、画像解像度が向上するといった点だけにとどまらず、従来行われてきた個体間の平均を解析することから個体差を主眼とする解析へのパラダイムシフトがもたらされるという期待を示した。

(5) 13:30 - 14:45 ポスターセッション

(6) 15:00 - 15:30 三大疾病・生活習慣病と超高磁場 MRI

講演：東京大学医学系研究科 大友 邦

司会：東京大学医学系研究科 山内敏正

^{13}C , ^{31}P の MRspectroscopy(MRS)により、2 型糖尿病症例では骨格筋でグリコーゲンの取り込み低下が原因となってグリコーゲン産出が低下していること、加齢に伴ってミトコンドリアでの酸化的リン酸化が低下しインスリン抵抗性が増すことなどが明らかになった。また、イメージングでは造影剤不要の MRangiography(MRA)、動脈硬化のプラークイメージングなどが注目されている。強磁場の MRI に関して、講演者は次のような期待を述べた。強磁場において MRS の分解能が向上し、生体機能の解析、生体内に存在する常磁性物質を probe とする分子イメージングが実現すれば、三大疾病・生活習慣病の予防・早期発見・早期治療に有効であろう。

(7) 15:30 - 16:15 がんと強磁場 MRI

講演：国立がんセンター東病院 藤井博史

司会：滋賀医科大学 犬伏俊郎

がんは日本人の死因の第一位を占める最重要疾患であり、高齢化社会では特に問題となる。このため早期に有効な診断、治療技術を開発する必要がある。強磁場 MRI をがん診療への応用できるようになると、高分解能の MR 顕微鏡画像などを用いた病巣の広がり診断、MRS を用いた代謝診断（化学療法、放射線治療の効果判定あるいは効果予測）、画像ガイド下治療（脳内神経線維の走行の画像化による低侵襲脳腫瘍治療、温度画像による温度モニター下の集束超音波を用いた熱凝固治療など）に成果が期待できる。

(8) 16:15 - 17:00 高次認知メカニズムの解明における脳計測の意味：認知科学の立場から

講演：東京大学総合文化研究科 植田一博

司会：国立環境研究所化学環境領域 三森文行

講演者は、心理実験と脳計測（現在は光トポグラフィー）を組み合わせることで人の熟達化プロセスを研究している。具体的な例として、珠算式暗算と速読が紹介された。特殊な能力を持つヒトの脳が実際にそのような作業をしているときにどのように働いているかという点がとくに興味深い。講演者によれば、熟達者の脳計測には実験環境が極めて重要であり、拘束性が高い現状の fMRI では限界がある。拘束性の低い、すなわち、実験刺激を通常の心理実験と同じような座った状態で与えながら計測できる、新しい高感度の fMRI が必要性である。

(9) 17:00 - 17:30 MRI による言語学・教育学への展開

講演：東京大学総合文化研究科 酒井邦嘉

司会：(独)放射線医学総合研究所分子イメージングセンター 池平博夫

MRI による基礎研究を通して、人間の言語機能が詳しく調べられるようになってきた。講演者は、言語の科学的解釈から始めて、各種言語の違いと共通性についてその背景を概説し、脳科学が言語学や教育学と真の学際融合を可能にすることについて説明した。また、実験データとして、英語動詞の過去形を学習している際の文法中枢の活動が、個人の学習の到達度を示すことを紹介した。強磁場 MRI に対しては、言語の学習レベルと脳機能との関連を調べる手段としての期待を述べた。

まとめ

脳機能解析のために強磁場 MRI を利用したいという要請は非常に強い。他の動物には見られないヒト特有の高次脳機能と脳部位との関係や、脳における各種情報の連合処理機能を明らかにするために、感度、分解能が向上する強磁場における fMRI が脳機能解析の非常に有効な計測手段となるという期待である。また、オープンな fMRI があれば、認知科学研究およびその成果の教育への還元が飛躍的に発展する可能性があることも述べられた。

現在、病気の診断に利用されている 3 テスラ以下の MRI では、NMR スペクトル解析や、軽水素(プロトン)以外の多核種 NMR を用いたイメージングを十分に利用することができない。強磁場 MRI でこれらが利用できると、その効果は微細な形態画像が得られるだけではない。微量であるため現在は十分に計測できない組織内のアミノ酸、糖の NMR スペクトルが解析できるだけでなく、治療や診断に利用するために対外から投与された薬剤の体内分布とその代謝過程を捉えることができる。その結果、脳だけでなくさまざまな臓器の診断、あるいはがん、生活習慣病、アルツハイマー病などの病態診断に関して特に大きな期待が示された。

なお、本シンポジウムには MRI 関連の以下の企業が協力した：Japan Superconductor Technology(株)、高島製作所(株)、(株)日立メディコ、シーメンス旭メディック(株)、バリアンテクノロジーズジャパンリミテッド、GE 横河メディカルシステム(株)、(株)フィリップスメディカルシステムズ、東芝メディカルシステム(株)、ブルカー・バイオスピン(株)、第一製薬(株)。また、シンポジウム参加者数は登録者が 241 名であった(学内 66 名、他大学・研究機関 73 名、一般 15 名、企業 87 名)。

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

超電導送電事始（その2）

住友電気工業株式会社
電力・エネルギー研究所
主幹 廣瀬正幸

2. 「餅は餅屋」ケーブル基本技術の重要性

超電導線材が開発されれば超電導ケーブルができると思われがちであるが、超電導線材は超電導ケーブル固有の必要性能を有する必要がある、超電導ケーブルシステムは超電導線材の性能、特徴を有効に引き出す必要がある。従って、超電導線材の開発と超電導ケーブルシステムとしての開発とのマッチングが実用化にとって重要である。また、超電導ケーブルシステムの実用化においては、電力ケーブルの特殊性を良く理解し、これまでに培われた既存ケーブル技術、実績、経験などの知見を活用しつつ超電導ケーブル固有技術の開発を進めなくてはならないことから、超電導ケーブルの開発は既存ケーブルの歴史の重みを実感する取り組みとも言えよう。

2.1 電力ケーブル技術の特殊性

電力ケーブル製造の特徴の一つに長尺製造が挙げられる。一般的な多くの製品は、欠陥部、不良部を除去されることで管理され、その不良確率の低減が進められる。一方、電力ケーブルの場合、長尺品の中の1箇所でも不良箇所が存在すると製品全体が不良となることから、その品質管理には欠陥部の撲滅を目指した一般製品には類を見ない高度な管理レベルが要求される。また、電力ケーブルはエネルギー供給の基幹を構成する製品であり、かつ、交換そのものが容易でないこと、30年を超える寿命が要求されること等、電力ケーブルに求められる要求品質は極めて高い。もちろんこれまでに設備事故が皆無であることは無く、これまでの長期間に亘る実績や経験が設計や製造面にフィードバックされる等、事故率を下げるための様々な努力により現状の電力ケーブルの高信頼性が実現している。尚、万が一事故が発生した場合を想定した運用が、電力会社において検討、実施されていることは言うまでも無い。

このような電力ケーブルとして設計～製造～施工～運用に亘り培かわられて形成されたDNAが超電導ケーブルにも引き継がれることで、既存電力ケーブルと同等またはそれ以上の機能を有する超電導ケーブルシステムを実現することができる。

超電導ケーブルシステムを構成する要素技術を図1に

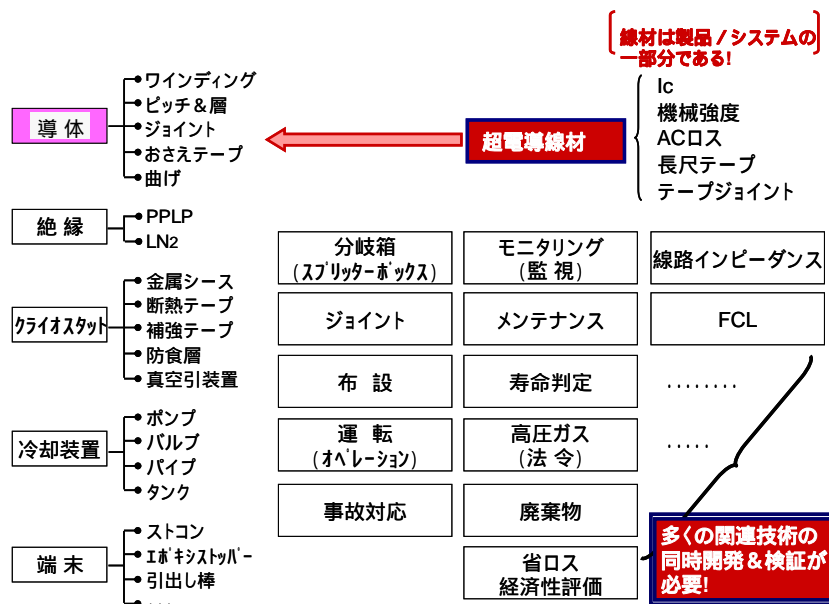


図1 超電導ケーブルシステム構成要素

まとめて示す。これらの要素は、超電導ケーブル本体およびそれに付帯する構成機器、超電導ケーブルシステムの布設、施工、保守・運用に必要な技術、経済性や環境に対する評価技術、超電導ケーブルシステムを導入することによる系統への影響など、多岐多様な技術分野で構成されており超電導線材や超電導導体に直接関係する要素はその一部に過ぎない。

一方、電力ケーブルの基盤技術は一朝一夕に構築されたものではなく、永年の経験、実績が現状の高信頼性の糧となっている。図2に示すCVケーブルの事例では、電力ケーブルは極めて低い絶縁破壊発生率であるとともに、10年以上経過した劣化型の故障(22kV)および初期故障的な故障(66kV)とに分類され、寿命評価に加え、初期故障を如何に撲滅するかが新規製品の市場導入時に重要であり、実運用の過程で更に高信頼性が確立していった経緯が電気学会技術報告等にまとめられている。¹⁾ 超電導ケーブルは非劣化型のケーブルと考えられているものの、その適用用途が大容量であることから、超電導ケーブルの信頼性は現状ケーブルと同等以上の高レベルが要求されることとなり、既存ケーブルで確立されている高信頼性を超電導ケーブルシステムでも実証するデモンストレーション試験は非常に重要で、その意義は大きい。むろん、適用線路(仕様)や適用目的、運用形態によって実証レベルが変わることもあり、内外で複数の試験が実施あるいは計画されている。(超電導ケーブルの寿命評価を含む信頼性は「超電導送電事始」に掲載の予定)

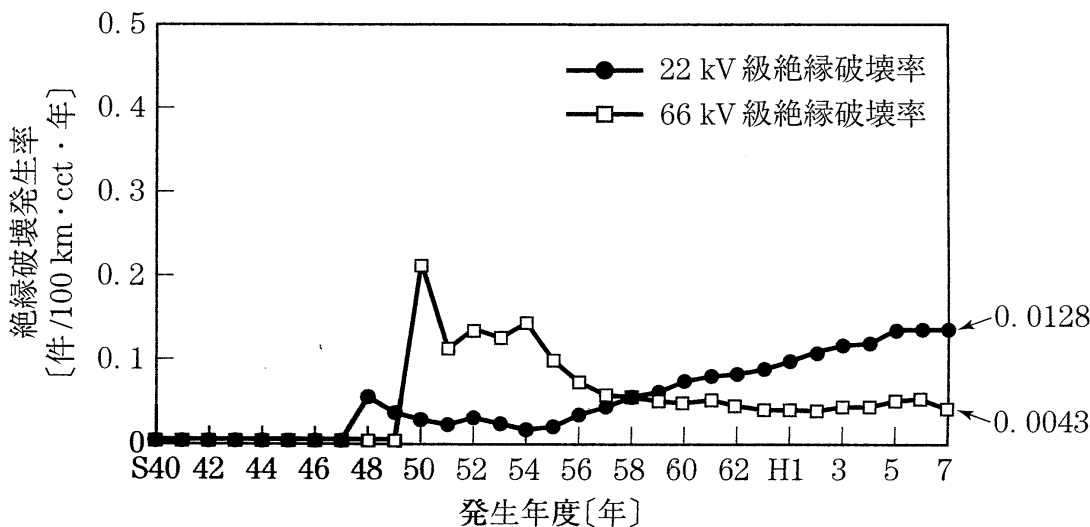


図2. 22kV、66kV級ケーブル部絶縁破壊発生率¹⁾

2.2 住友電工の取り組み

住友電工では1990年以降超電導ケーブルの開発を進め、構成要素個別の検討・開発からシステムとしての検証まで、堅実かつ着実に実用化に向けての検討を行ってきた。これらの長年に亘る開発成果と既存ケーブルで培った経験・実績を融合し、現在の実用線路検証に至っている。

超電導ケーブルは、既存ケーブルと同様に、「電圧」を印加するための「絶縁」と、「電流」を流す「導体」とで構成され、製造、布設、施工、運用に至る全履歴を対象とした電氣的、熱的、機械的評価をケーブル状態で行う必要があり、少なくとも30~50m級ケーブルとしての基礎的評価は重要である。また、2004年に実現した加圧焼成技術によるピスマス系超電導線材の電氣的、機械的性能向上および長尺安定製造は、超電導ケーブルシステムの早期実用化に大きく貢献すると考えられ、線材開発と超電導ケーブル開発の連携が超電導ケーブル実用化および超電導線材の用途拡大にとって極めて重要でかつ有効である。(加圧焼成技術については「超電導送電事始」に掲載の予定)

すなわち、ケーブルとしての評価を可能にする長尺超電導線材の早期実現とその高性能化、その線材を適用した超電導ケーブル(システム)の実線路を想定した開発・検証、そして何よりも、超電導ケーブルシステムの実用化により21世紀の環境社会に貢献するという使命(信念)が超電導ケーブルシステムの早期実用化にとって重要であると考えられる。米国での超電導ケーブルによる世界初の地中送電が、その一助となれば嬉しいところではあるが、今後、解決すべき課題、検証すべき性能をより明確化し、超電導線材の高性能化、低価格化とともに、より一層ケーブルシステムとしての完成度を高めてゆかなければならない。これまでが超電導ケーブルシステムが実現できることを示す開発であったのに対し、これからは「使える、使っていただける」製品(システム)への開発・実証に軸足を移してゆくことになると考えられる。

今回は「引いても駄目なら押してみな」と題し、発想を変えて取り組んだ超電導線材および超電導ケーブル技術をトピックス的に紹介する予定です。

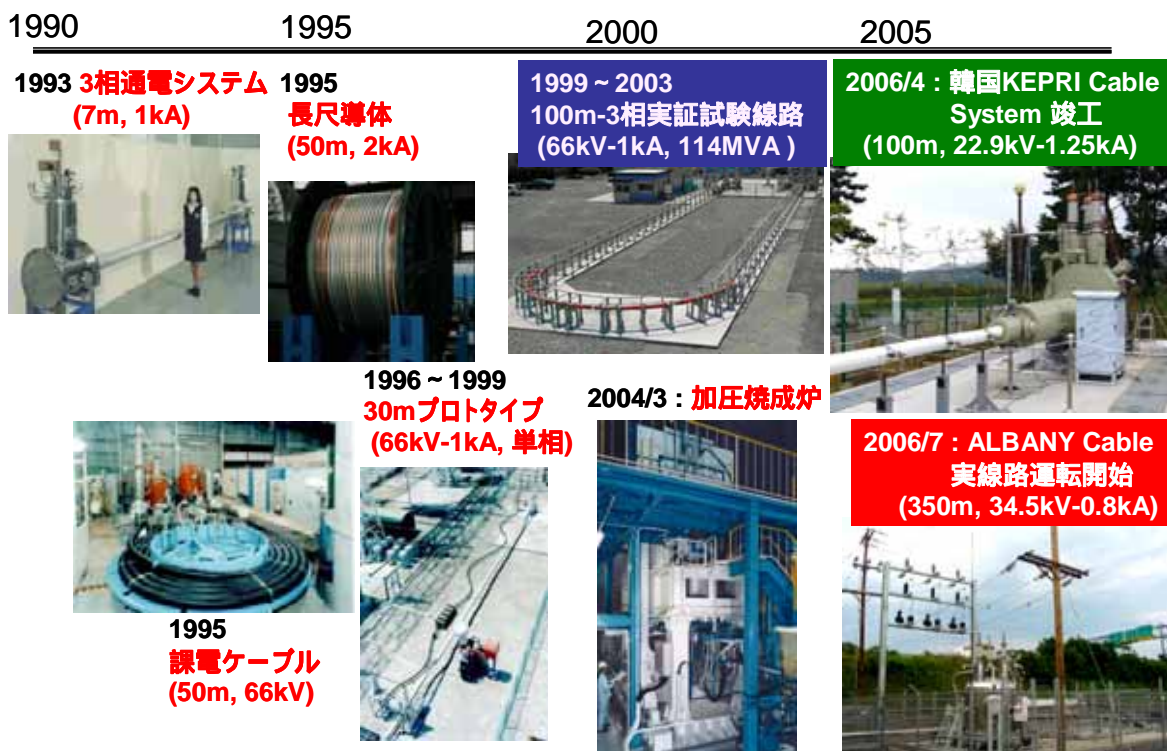


図3. 住友電工の超電導ケーブル開発の流れ

参考文献

- 1) 電気学会：特別高圧CVケーブル絶縁劣化形態と絶縁診断技術の動向、電気学会技術報告第668号（1998年2月）

読者の広場

Q&A

Q : 「超伝導機器に不可欠な冷凍機を長時間使用する場合の留意点はどのようなものでしょうか？」

A : 最近では超伝導システムの冷却というと小型冷凍機による冷却システムがよく取り上げられますが、小型冷凍機による冷却は冷凍能力の点で自ずと限界があります。特にハイブリッドマグネット、加速器のような早い励磁を求められる超伝導機器は、通電電流が大きいこともあり、通常大型冷凍機が使われます。大型冷凍機も最近では自動化が進み、スイッチ一つで起動できて、ヘリウム液化温度まで自動的に冷却できるものもあるようです。しかし、圧縮機、タービンなどの回転機器があり、制御すべきパルプも多いので適切な保守が不可欠になります。

大型冷凍機は通常長時間にわたり運転されます。冷却対象もさまざまですから液化機とは違ったさまざまな問題が出てきます。液化機では精製された純ガスが使われます。冷凍機の場合もちろん最初に十分クリーニングされてから冷却運転に入りますから基本的には同じ純度のヘリウムが使われますが、長期運転を続ける内に、マグネットシステムに含まれるさまざまな不純物がコールドボックスの低温部に蓄積されてくるのが特徴です。この不純物の発生源は、場合によってはマグネットの巻枠の構成材料である FRP であったり、マグネットの含浸材であるエポキシだったりします。特に新規のマグネットを導入した後は、それに含まれる不純物が枯れるまで長い時間を要します。

不純物の中で一番厄介なのは水素です。ヘリウムは、冷却回路の中で最後にジュールトムソン弁で膨張して液化します。膨張する直前のジュールトムソン弁の前の温度は 9 K 近辺です。窒素温度でも固化しなかった水素はここまで潜り込んでジュールトムソン弁で固化し、蓄積します。すなわち、長時間運転を続けジュールトムソン弁の開度を調整しないと、一定の冷却性能を維持できなくなり、最悪のケースでは閉塞してしまいます。冷凍機を停止すると、温度が上がるとともにジュールトムソン弁の閉塞は解消しますが、そこに蓄積された水素は再び系内に拡散し、次の冷却運転で再びジュールトムソン弁に集まってきます。これを取り除くためには、冷凍機を停止した後、コールドボックスの中に残されたヘリウムガスごとパージするしかありません。

回転機の中でも圧縮機はよくメンテナンスすればめったに壊れるものではありません。ただし、オーバーホール等に相当費用がかかるのが難点です。最近ではメンテナンス費用の削減を狙って海外の製品を採用するケースも多いようです。

冷凍機の心臓部はタービンです。液化機として使う場合も冷凍機として使う場合も高速回転するこの部品のトラブルは重大事故の代表でした。ただし、最近では制御シーケンスがよくなってきているので、常時予備を用意して置かなければならないほど危ういものでもなくなってきました。問題はむしろローテクにも見えるタービン制御クーラー部です。経年劣化により水漏れを起こすことがあります。冷却水の水質にもよりますが、長時間の運転で伝熱管に腐食、エロージョンなどが発生する場合があります。

時間とともに故障箇所も変化してきます。最初の 15,000 時間までは初期不良と思われる不具合が多く発生します。この後 50,000 時間までは、運転・保守に熟達し、管理技術が向上してくれば不具合件数を減少させることができます。しかし 50,000 時間を越えると、経年変化によると思わ

れる故障が制御回路を中心に多くなります。これに迅速に対応するために、故障事例を整理したデータベースを整備するなどの方策がとられているところもあります。これにより点検整備を効率的に確実にいき、故障箇所を予測して必要な予備品を用意することができます。

小型冷凍機も同様ですが、何万時間もノーメンテナンスで動く冷蔵庫の域に達するのはまだまだ先の話のようです。

回答者： 独立行政法人 物質・材料研究機構
強磁場研究センター
佐藤 明男 様

[超電導 Web21 トップページ](#)