
掲載内容（サマリー）：

特集：SQUID 及び医用診断技術の動向

- 高温超電導 SQUID の長尺テープ線材評価技術への展開
- SQUID による鉄道用レール診断技術
- MRI による心臓検査技術の進展
- MRI による乳がん診療の現状と将来展望

- 超電導関連 8-9 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（6/20-7/20）
- 超電導速報－世界の動き（2008 年 6 月）
- 特許情報
- 「超伝導の将来ビジョン－30 年後まで語る－」研究会、共同開催報告
- 隔月連載記事－やさしい超電導電力機器のおはなし（その 4）
- 読者の広場(Q&A)－超電導電力ケーブルはどのような研究開発ステップを経て、普及導入されるのでしょうか？

[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

〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13

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

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



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

<http://ringring-keirin.jp>



特集：SQUID 及び医用診断技術の動向「高温超電導 SQUID の長尺テープ線材評価技術への展開」

近年、Y 系の銅酸化物材料を用いた高温超電導線材、いわゆる第 2 世代 (2G) 線材の開発が、日米を始め欧州やアジアの各国で国家プロジェクトにより精力的に進められている。国内では、NEDO の「超電導応用基盤技術開発 (第 II 期)」プロジェクト (平成 15-19 年度) において、300 A (1 cm 幅当たり、77 K、自己磁界中) 以上の臨界電流値 I_c をもつ 500 m 長の線材が開発されると共に、SMES、ケーブル、変圧器といった超電導電力機器の 2020 年頃の実用化・導入・普及を目指した要素技術開発を目的とする NEDO の新規プロジェクトが 6 月にスタートした。

Y 系線材は、厚さ 100 μm 程度の金属テープ基板上に結晶軸をそろえた絶縁体からなる中間層を成長させ、さらに厚さ 2 μm 程度の超電導層をエピタキシャル成長させることで作製される。また、常伝導転移したときの破損や熱的な不安定性を抑制するため、厚さ 10-20 μm 程度の Ag や Cu からなる安定化層が最上部に形成された多層構造をとっている。

さて、超電導線材のケーブルや変圧器への応用には交流損失の低減が大きな課題であり、交流損失を低減するために細線加工が必要となる。例えば、変圧器用のコイルに対しては、レーザー等を利用し、図 1 に示すような金属基板に達する溝加工 (スクライプ加工) を行った線材を用い、巻き方を工夫することにより、交流損失が分割数に反比例し小さくなるのが小規模のモデルコイルで実証されている。

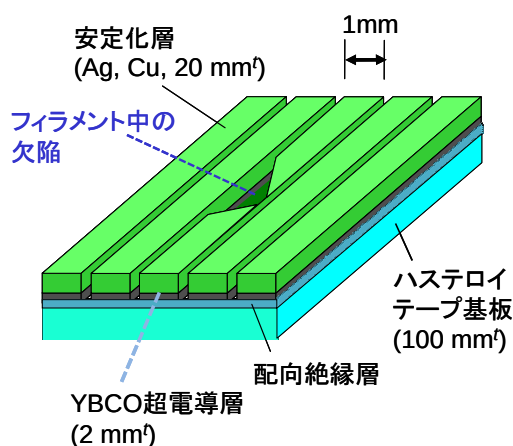


図 1 細線加工を行った Y 系線材の模式図 フィラメント中の欠陥を評価する技術が必要となる

一方、実用化レベルの変圧器では、フィラメント幅 0.5-1 mm 程度に分割加工された単長で 300 m 以上の加工線材が数 10 km 以上必要となるが、このような加工線材を供給するには、線材特性の劣化が起こらないような安定した加工技術の開発に加え、線材特性の長手方向及び幅方向の均一化の技術開発が必要である。例えば、超電導層の欠陥等により I_c の低い微小領域があった場合、1 cm 幅の線材ではほとんど問題にならないが、細線加工することにより I_c の極端に小さなフィラメントができてしまう可能性がある。このような欠陥箇所を高速に評価する技術があれば、線材作製技術や加工技術にフィードバックできるだけでなく、 I_c の低い場所に適当な補修を施すことにより、長尺加工線材の歩留まりの大幅向上が期待できる。

超高感度の磁気センサーである SQUID は、脳磁計や心磁計のような医療応用のみならず、鉱物探査や非破壊検査への応用が期待されている。とりわけ、冷却が容易な高温超電導 SQUID は、航空機車輪の内部クラックや銅細管の微小穴の検出など、種々の製品非破壊検査への適用がこれまで検討されてきた。また、Cu クラッド Nb-Ti 線材の断線箇所の非破壊検査をねらいとした検討の報告もある。これらの検査では、コイルを用い被検体に交流磁場を印加し、内部に誘起された渦電流が欠陥箇所を迂回することにより発生する磁場の微小変化を、差分型の検出コイルをもつ SQUID センサー（グラジオメータ）で検出している。この方法を分割加工線材に適用しようとした場合、2つの大きな課題がある。1 つは分割数に応じたセンサーの多チャンネル化、すなわち空間分解能の向上であり、もう 1 つは厚くて電流の流れやすい Ag 安定化層の下の高感度層の情報をどのようにうまく取り出すかということである。

超電導工学研究所では、これまでの高温超電導単一磁束量子（SFQ）デバイスの開発の中で蓄積した酸化物薄膜積層技術とランプエッジ型ジョセフソン接合作製技術を活用し、5 mm 幅 5 分割加工線材の検査に対応可能な 5 チャンネルのアレイ型グラジオメータセンサー（図 2）を開発した。このセンサーは、従来の高温超電導 SQUID と異なり、アレイの特性均一性に優れると共に、粒界弱結合部を全く含んでいないため、交流磁場中でも安定に動作する。また、図 3 に示すように、Y 系テープ線材をリール・トゥ・リールで動かしながらか冷凍機で T_c 以下に冷却し、SQUID により検査する装置を開発した。超電導状態では、大きな遮蔽電流が超電導層を流れるので、欠陥を高感度に検出することが可能になる。

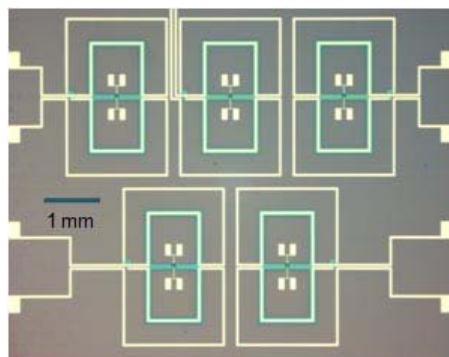


図 2 5 チャンネルのアレイ型 SQUID
グラジオメータセンサー

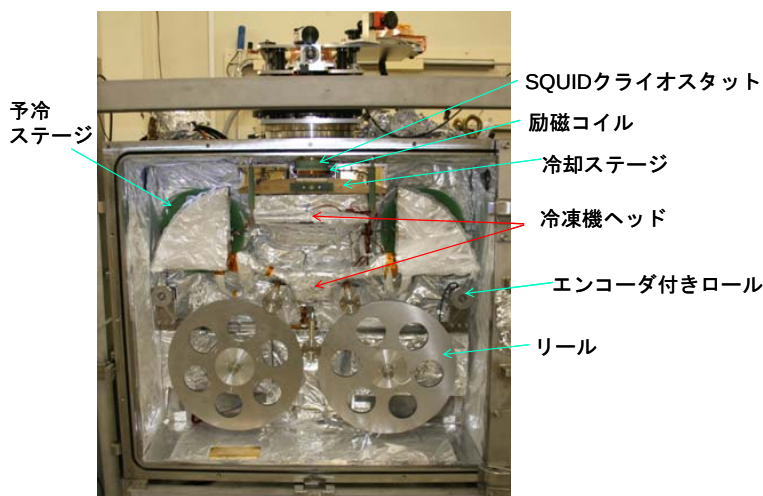


図 3 SQUID を利用したリール・トゥ・リール長尺
線材評価装置

図 4 には、25 m 長の 5 分割線材に対し 3 kHz で 10 μ T に相当する交流磁場を印加し評価した結果の一例を示す。矢印で示したピークが、 I_c の局所的に低い領域に対応した信号である。また、多くの小さな信号が見られる。これは溝加工が不十分で、隣接するフィラメント間にショートがある箇所を示していると考えている。現在の検査速度は線材の冷却効率で 30 m/h 程度に制限されているが、冷却効率を改善することで 100 m/h という実用長尺線材の評価には十分な速度が期待できる。今後は、さらに小さな検出コイルをもつアレイセンサーを試作する共に、SQUID 信号と欠陥の種別や I_c 劣化度合いとの対応を明らかにすることで、実用化・普及レベルの Y 系長尺加工線材の評価技術として確立していく予定である。

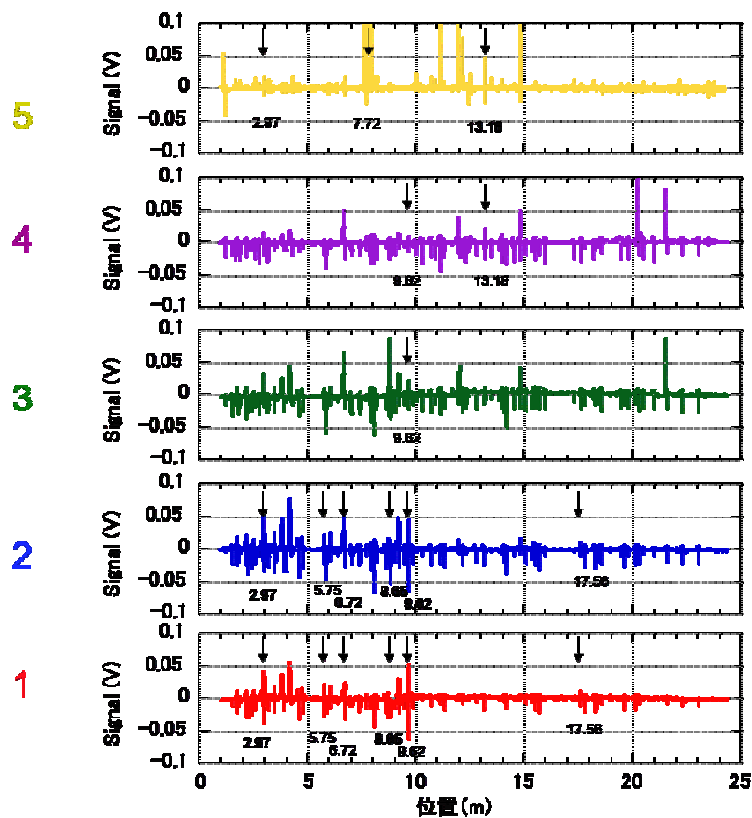


図4 分割加工線材の評価例 25 m 長線材に対する 5 チャンネルセンサーの信号

(SRL/ISTEC デバイス研究開発部長 兼 材料物性研究部長 田辺圭一)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：SQUID及び医用診断技術の動向「SQUIDによる鉄道用レール診断技術」

鉄道総合技術研究所

浮上式鉄道技術研究部 低温システム研究室

宮崎佳樹

鉄道用レールには、車輪との接触面に白色層（White etching layer）と呼ばれる硬化層が発生する場合がある。白色層付近には微小き裂、シェリングと呼ばれるレール傷が見られる場合があり、これらがレール頭頂面のはく離や、レール破断を引き起こすと考えられている。

<http://www.rtri.or.jp/rd/openpublic/rd45/kouzou/research08/index.html>

白色層については、現在スポット的に硬さ測定、目視確認が実施されているが、連続的に検査する手法がない。このような白色層の連続的な分布情報が得られれば、線区情報と白色層の発生状況の対応を検討する有効な手段となる。

そこで本研究では、白色層の検出手段としてSQUID（超電導量子干渉素子）による非破壊検知手法の検討を、大阪大学の糸崎秀夫教授と共同で進めている。

測定の基本原理は渦電流探傷と同様である。ただし、レールのような磁性体を SQUID で測定しようとすると、レールの残留磁化が大きな直流磁気ノイズとなり、SQUID の動作に影響を与える。そこで、地磁気や残留磁化をキャンセルするノイズ補償回路などを組み合わせることで、レールの測定を可能にしている。図 1 に測定に用いたレールを示す。レール頭頂面にはナイターと呼ばれる腐食剤を塗布し、白色層が浮き出し、肉眼でも観察可能な状態にしてある。測定結果を図 2 に示す。

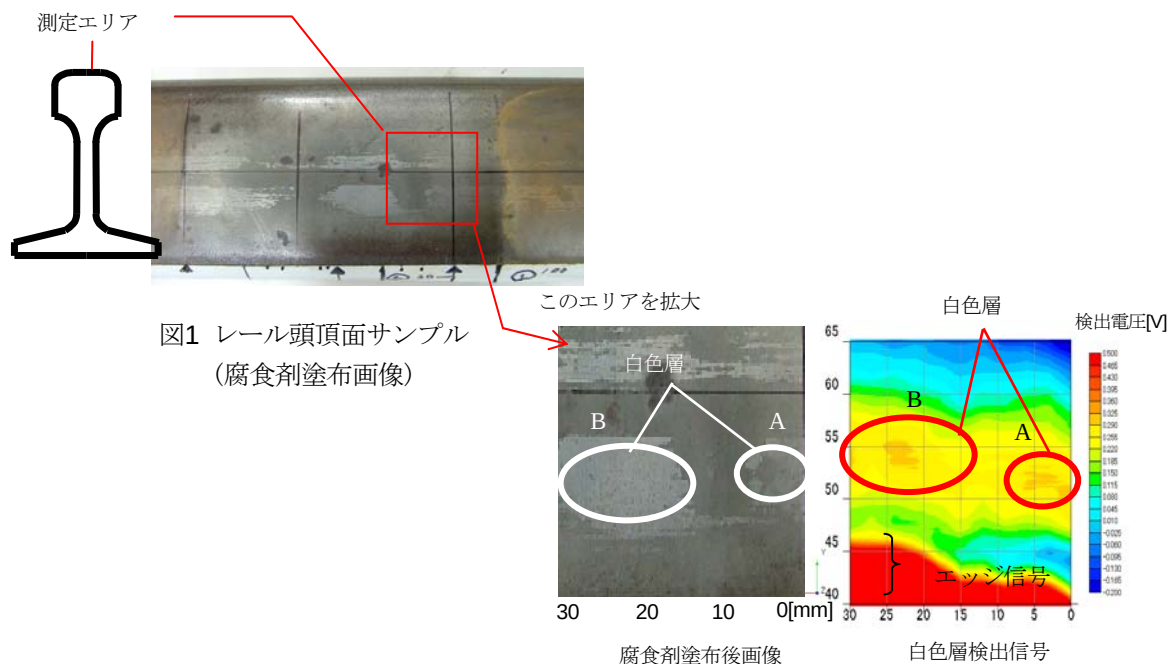


図 2 中に丸枠で示した A、B 部分の白色層箇所と、図 2 の信号強度の強い A、B 部分の整合性は良好であり、白色層分布と測定信号がよく対応していることが確認できた。信号変化は白色層部の組織変化（パーライト⇒マルテンサイト）による物性（透磁率、抵抗率）の変化を検出していると考えられ、SQUID による白色層の検出が可能であることがわかった。今後は、フィールドで白色層の検出が可能な測定装置の開発を進める予定である。

http://www.rtri.or.jp/rd/openpublic/rd77/CS/cs_1.7.html

このような技術により白色層を早期発見することで、より効率的なレール管理ができると考えている。

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：SQUID 及び医用診断技術の動向「MRI による心臓検査技術の進展」

成人病に加え、高齢化に伴う心臓病（心疾患ともいう）の増大は、高齢化社会における診断医療分野では極めて重要である。なぜならば、心臓病に多いとされる狭心症、心筋梗塞など心疾患に起因する死亡が約 30-40 % と高率なためである。今、このような心臓病の検査手段の一つとして MRI が活躍している。MRI は、磁気共鳴断層診断装置（Magnetic Resonance Imaging）の略称である。

狭心症、心筋梗塞などいわゆる虚血性心臓病の検査手段は、放射線被ばくを伴う X 線断層撮影装置（CT）、苦痛を伴う心臓カテーテルなどの侵襲性検査と身体にほとんど負荷を掛けない心電計、心磁計、心臓超音波（心エコー）、MRI などの非侵襲性検査に大別される。これらの検査手段にはそれぞれ得意な検査対象があり、臨床現場では疾患の種類や疾患の進行状況によって複数の手段が併用され、より確度の高い診断がなされている。特に、MRI は、冠動脈の血流低下や心筋梗塞の状態を検査するす非侵襲性手段として、また現行の CT や心臓カテーテルに代わる手段として注目されている。

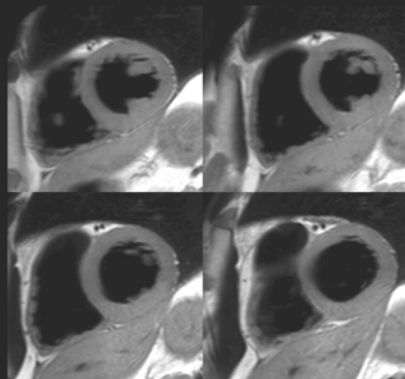
心臓病診断のための MRI 操作技術と臨床データベースは、1.5 T の MRI においてすでに確立されている。最近、更に高磁界の 3 T の MRI でも操作技術はすでに確立されており、臨床情報の蓄積が急ピッチで進められている。特に、この分野は（株）フィリップスエレクトロニクスジャパンがリードしており、写真に示すような鮮明な画像が得られている。また、同社は三重大学と共同で MRI の信号を受診する 32 チャンネルの RF コイルを開発し、検査撮影時間を従来の 3 分の 1 の 3、4 分に短縮した。これによって、これまで受検者に対する看護師から動かないようにと静止状態が強いられた“辛抱の時間”負担を減らすことに成功している。さらには、造影剤技術を極め、CT の場合の 10 分の 1 程度（10 ml 程度）で鮮明な血管画像を得ている。

フィリップスエレクトロニクスジャパンの吉瀬哲マーケティング本部戦略学術企画部長によると、このような卓越した技術は同社の、もともと得意とする循環器技術が背景にあるという。心臓は他の部位に比較して、鮮明な画像を得ることが難しいとされていたが、動いている心臓、呼吸振動、検体の動きなどとタイミングを獲る技術が確立した。一般には、呼吸が落ち着き、かつ心電図における心室や心房の興奮が少ない時間帯（すなわち、R 波ピーク時間帯以外の心臓がほとんど動いていない R-R 時間帯、通常 1 回/秒程度）を狙って基本撮影する。さらに、疾患部位を特定するためには、心電計検査と連携し P、Q、R、S、T、U 波の波間の更に短い特定時間帯（例えば S-T 波間 0.1 秒程度）のタイミングで撮影した画像を合わせる必要がある。また、診断目的によっては、心エコーとの重ね合わせを行う場合もある。

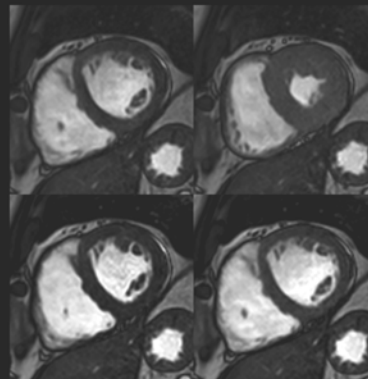
さて、このように MRI を用いた心臓病を検査するハード面での技術は整ったが、このままでは何ら心臓病の検査はできない。すなわち、MRI 本体に MRI の操作技師、造影剤を投与する看護師及び診断できる医師を含めたチームができなければ心臓病の検査はできない。効率的かつ信頼性の高い診断を行うために、フィリップスエレクトロニクスジャパンでは三重大学医学部付属病院に「心臓 MR 教育センター」を日本で初めて開設し、すでに 50 人の MRI 操作技師のトレーニングを実施している。また、MRI 医師のトレーニングにも力を入れており、1 医師あたり 3 日間で 150 病例を履修するトレーニングシステムも持っている。

1.5T Cardiac Imaging

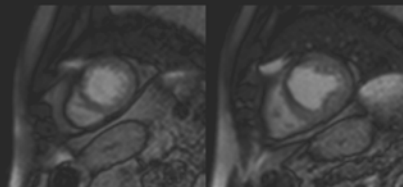
Left:
Multi-Slice Black Blood
Short Axis view
1.4 x 1.9 x 8.0 mm
195ms/slice



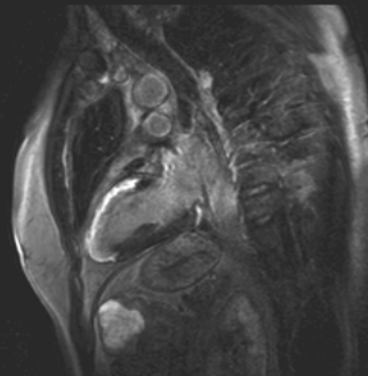
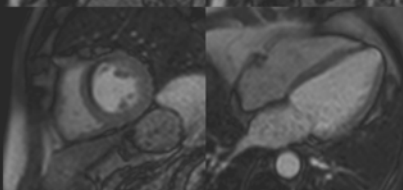
Right:
32 channel SENSE
Cardiac coil
Single Slice Multi Phase
Short Axis view
30 phases
12 sec breath hold



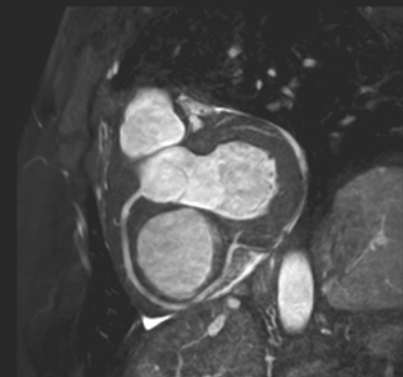
Left:
Perfusion* acquired in 4
slices in patient with
anterior wall infarction
1.8 x 1.7 x 10.0 mm
Scan time 50 sec
Courtesy:
DHZ Berlin, Germany



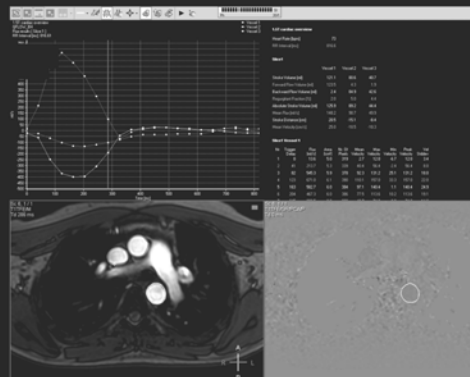
Right:
Delayed Enhancement*
of anterior wall infarction
2 chamber view
1.7 x 1.7 x 5.0 mm
Scan time 13 sec
Courtesy:
DHZ Berlin, Germany



Left:
Coronary Imaging
MIP from free-breathing
3D B-TFE using SENSE
1.0 x 1.0 x 1.5 mm
Scan time 2:55 min



Right:
Q-flow analysis of the
ascending aorta
25 phases in 16 sec
Using the Q-flow post-
processing package



*Limited by U.S. law for
investigational use only

4522 962 23661

画像提供：株式会社フィリップスエレクトロニクスジャパン

このように MRI のような先端超電導機器の普及と高信頼診断のためには、技術的完成度の高い機器を提供するのみでなく、トレーニングされた操作技師、看護師及びトレーニングされた医師のチームシステムをも提供することが必要になっている。

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

特集：SQUID 及び医用診断技術の動向「MRI による乳がん診療の現状と将来展望」

亀田メディカルセンター

乳腺センター

乳腺科部長 戸崎光宏

MRI は乳がん診療で最も信頼のある検査

日本の乳がんは年々増加し続け、罹患率では女性の癌の第 1 位になっている。米国では 8 人に 1 人が乳がんにかかると思われているが、日本も生活スタイルの変化に伴い急激に罹患率が上昇し、近い将来 20 人に 1 名がかかると思われている。そのため乳がん検診が重要視されており、その診断に単純 X 線検査（マンモグラフィ）や超音波検査が用いられている。

一方、MRI の乳がんの検出率はマンモグラフィや超音波検査を圧倒的に凌駕している。乳がん診療のための MRI（乳房 MRI）は造影剤を使用する必要性があり、検診に利用することは不可能であるが、乳がん診療では最も信頼のある検査方法である。このことは欧米では周知の事実であるが、日本では一般市民は勿論、乳腺を専門に扱っている医師ですら知らないことがある。実際に、がんを専門に扱っている病院（がん診療拠点病院）の全国調査の結果から、全体の MRI 検査に対する乳房 MRI の占める割合が平均 2.2 %にすぎないことが判明した。¹⁾

日本は乳房 MRI の後進国

日本は先進国でも最も MRI 台数の多い国の一つであるが、乳房 MRI の利用に関しては全くの後進国である。それは、乳房 MRI に精通している医師がほとんどいなかったことが原因の一つである。その結果、乳房 MRI の代わりに CT を用いたり、マンモグラフィと超音波検査だけで診療をしているのが現状である。当院では世界でも最も乳房 MRI 検査数が多く（月 200-250 件）、乳房 MRI を専門に読影する医師がいるため、MRI だけでしか検出されない早期の乳がんを沢山経験している。MRI の有用性は、MRI を使用しなければ決して理解できない。MRI の正しい利用方法や正確な読影方法を全国の病院に広め、一刻も早く「乳房 MRI の先進国」の仲間入りをしたいと考えている。

さらに今年、欧州から乳房 MRI に関するガイドラインが報告された。その中には、乳房 MRI でしか見つけることができない乳がんが存在するため、乳房 MRI を行いながら組織を採取する手技（MRI ガイド下生検）が必須であることが明記された。²⁾この MRI ガイド下生検も国内では当院でしか行われていない。³⁾当院の成績は海外と同様であり、約 30 %の患者さんから乳がんが発見されている。欧米では必須であると認識されているこの手技を、安全に速やかに広めていかなければならないと考える。

参考文献

- 1) 戸崎光宏, 中村清吾, 角田博子, 他: MR マンモグラフィ実態調査報告.JCR ニュース,164,21-23,2008.
- 2) RM . Mann, CK. Kuhl, K. Kinkel, et al. Breast MRI: guidelines from the European Society of Breast Imaging. Eur Radiol. 2008; [Epub ahead of print].
- 3) M, Tozaki, N, Yamashiro, E. Fukuma, MR-guided vacuum-assisted breast biopsy using a non-titanium needle. Magn Reson Med Sci,6,259-264, 2007.

超電導関連 8-9 月の催し物案内

7/28-8/1

IUMRS-ICEM 2008 Symposium R: Superconductors, Electronics and Magnetic Materials

場所: Hilton Sydney, Sydney, Australia

問合せ:

Symposium R Secretary: Germanas PELECKIS, Tel: +61 2 42215728, Fax: +62 2 42215731,

E-mail: peleckis@uow.edu.au

<http://www.aumrs.com.au/ICEM-08/>

7/31-8/5

7th Conference on Cryocrystals and Quantum Crystals

場所: Wroclaw, Poland

問合せ: <http://apollo.int.pan.wroc.pl/cc2008/>

8/1-5

Physical Phenomena at High Magnetic Fields. VI

場所: Tallinn, Estonia

問合せ: <http://pphmf6.edu.ee/>

8/3-5

Conference on Micro- and Nanocryogenics

場所: Helsinki, Finland

問合せ: <http://tli.tkk.fi/PICO/conference.html>

8/5-6

第 2 回材料研究会/東北・北海道支部合同研究会「実用が見えてきた超伝導技術—物質と応用—」

場所: ウェルサンピア山形 (山形厚生年金休暇センター)、山形市蔵王飯田

問合せ: 山形大学大学院理工学研究科 大嶋重利

TEL/FAX: 0238-26-3286/26-3293 E-mail: ohshima@yz.yamagata-u.ac.jp

8/6-13

25th International Conference on Low Temperature Physics

場所: Leiden, Netherlands

問合せ: <http://www.lt25.nl/>

8/14-17

ULT2008; Frontiers of Low Temperature Physics

場所: London, UK

問合せ: <http://www.ult2008.org/index.html>

8/17-22

Chicago, IL, USA

場所: 2008 Applied Superconductivity Conference

問合せ: <http://www.ascinc.org/>

8/24-29

XXIIIrd ICMRBS, International Conference on Magnetic Resonance in Biological Systems

場所: San Diego, California, USA

問合せ: <http://www.icmrbs2008.org/>

9/4

応用物理学会 特別企画「鉄系新高温超伝導体特別セッション」

場所：中部大学、愛知県春日井市

主催：応用物理学会 超伝導分科会

問合せ：東北大学 金属材料研究所 強磁場超伝導材料研究センター 淡路 智

Tel:022-215-2151、Fax:022-215-2149、e-mail:awaji@imr.tohoku.ac.jp

【会告】

応用物理学会(9/2-5:中部大学)における特別企画「鉄系新高温超伝導体特別セッション」のご案内

鉄系新高温超伝導物質（鉄系ニクタイド高温超伝導物質）が東工大 細野教授のグループにより、本年 2 月に発見され、新しい高温超伝導ファミリーとして研究が活発になっています。応用物理学会、ならびに超伝導分科会では、議論の場の提供し、会員研究者の皆様の研究を支援したいと考え、ポストデッドライン特別セッションを以下のように企画しました。

多くの皆様の参加をお待ちしております。

特別企画「鉄系新高温超伝導体特別セッション」プログラム

9 月 4 日（木）12:20—14:30, 18:30— G 会場(3F-932)

座長：淡路 智（東北大）

12:20—12:25 企画趣旨説明 藤巻 朗（名古屋大）

第 1 部 招待講演「鉄系新高温超伝導体の作成法」

12:25-12:50 JST ERATO-SORST¹, 東工大フロンティア² 神原 陽一^{1,2}, 細野 秀雄²

12:50-13:15 産総研 伊豫 彰

第 2 部 一般講演 座長 藤巻 朗（名古屋大）

13:15-14:30 鉄系ニクタイド高温超伝導に関する一般講演 5 件

第 3 部 「鉄系新高温超伝導体インフォーマルミーティング」

18:30-（終了時間未定） ポストデッドライン一般講演

講演時間は 10 分以内（詳細は応用物理学会ホームページ等でご案内します。）

備考：

1) ポストデッドライン一般講演に関しては、8 月 25 日（水）まで メールで講演を受け付けます。講演時間は今のところ一人 10 分以内を予定しております。講演を希望する方は、淡路(e-mail: awaji@imr.tohoku.ac.jp, tel 022-215-2151)宛に、8 月 25 日までに講演題目と登壇者名をメールにてお送り下さい。ポストデッドライン一般講演は応用物理学会員でなくても受け付けます。講演登録でメールを出した方は、必ず返信メールをご確認下さい。24 時間以上たっても返信が来ない方は、淡路までお問い合わせ下さい。

2) 14:45-18:30 は同会場で超伝導分科、11.1 基礎物性の一般講演が予定されています。

9/11-13

第 36 回日本磁気共鳴医学会大会

場所：北海道、旭川市

問合せ：<http://www2.convention.co.jp/jsmrm36/index.html>

9/19-20

低温工学協会 東北・北海道支部第 13 回超伝導・低温若手セミナー「ここまで進んだ超伝導(1)―交流―」

場所：たざわこ芸術村 温泉ゆぼぼ、秋田県仙北市

問合せ：秋田県立大学システム科学技術学部 二村宗男

e-mail: futamura@akita-pu.ac.jp TEL: 0184-27-2112 FAX: 0184-27-2188

9/24-26

低温工学協会 関西支部 第 24 回低温工学基礎技術講習会

場所：9/24、9/25―大阪大学工学部（吹田市）及び神戸大学海洋科学部（神戸市）

9/26―大阪府立大学文化交流センター（大阪市、大阪駅前第 2 ビル 6 階

問合せ（申し込み）：低温工学協会関西支部事務局（大阪大学低温センター内）

FAX: 06-6879-7986 E-mail: jcryo-kansai-kousyu2008@su.ltc.osaka-u.ac.jp

（編集局）



[超電導 Web21 トップページ](#)

新聞ヘッドライン (6/20-7/20)

- CPU 放熱材 熱伝導率を 5 倍に 水島合金鉄と JFE 開発 6/20 日経産業新聞
- MRI 使った手術 脳腫瘍を最大限切除 6/20 読売新聞
- 地球の内部構造は? 超高压、手のひらで再現 6/22 日本経済新聞
- 電気事業における温暖化対策 地球規模の視点で技術革新へ 6/24 電気新聞
- 四国電力高知支店 超低温の世界を体験 環境月間 親子サイエンス教室 6/24 電気新聞
- 発電方式、燃料で異なる排出量 LNG+コンバインドが最少に 7/1 電気新聞
- 高温超電導 新材料、大電流に対応 イットリウム系並み 米強磁場研が確認 7/2 日経産業新聞
- SUMCO 伊万里工場 新型電磁鑄造炉を採用 太陽電池用ウエハー 大規模増産を下支え 7/2 電気新聞
- 化石燃料エネ利用の革新技術 IGCC など実用化へ試験着々と 7/8 電気新聞
- HP や超電導ケーブル・・・ 低炭素技術ずらり 日本の最先端 世界へ発信 7/11 電気新聞
- リニア案観戦 “出発難航” 建設費計算できず ルート・駅位置など課題山積 自治体と調整の壁 7/12 フジサンケイビジネスアイ
- 鉄道新時代 「エネルギー」「環境」で有利 高速化技術 欧米が関心 7/13 読売新聞
- 超電導エネ貯蔵研が発表会 SMES の実用化へ 7/14 電気新聞
- 低位発熱量と高位発熱量 発電燃料で異なる利用できない“熱” 7/15 電気新聞
- クリーンベンチャー21 球状太陽電池で新工場 15 億円投資 生産能力 3 倍に 7/16 日経産業新聞
- 核融合研究開発体制 着実な進展、評価 原子力委専門部会 報告書案固める 7/17 電気新聞
- ナノチューブで超電導材 青学大など、ホウ素利用 7/17 日経産業新聞
- ニュートリノ解明 新段階 故・戸塚洋二さんの研究 裏付け進む 強い信念 危機克服 欧州でも検証 7/18 朝日新聞
- 手術に威力発揮 認知症予防に光 進む診断技術 胎児の笑顔 動画で観察 7/19 読売新聞(夕)
- 世界を引っばる 日本の素粒子研究 ニュートリノ 残された謎 宇宙の始まりに迫った故戸塚氏 7/20 日本経済新聞

(編集局)



[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導速報—世界の動き（2008 年 6 月）

電力

Zenergy Power plc（2008 年 6 月 5 日）

Zenergy Power plc は、1 ペンス新規株 10,417 株のオプションが社内で行使されたと発表した。AIM 株式市場で 2008 年 6 月 11 日を目途にこの新規株の取引ができるようすでに申請が行われた。この新規株は、従来の通常株と同格なものとして扱われる。今回の申請が認められれば、同社の議決権付の発行済み株式総数は 44,038,221 株となる。

出典:

"Issue of equity and total voting rights"

Zenergy Power plc press release (June 5, 2008)

http://www.zenergypower.com/images/press_releases/2008-06-05-issue-of-equity-and-tvr.pdf

American Superconductor Corporation（2008 年 6 月 6 日）

American Superconductor Corporation は、IEC 級（高風速型）2-MW 風力発電機の設計を台湾に本拠を置く世界 3 位のモーターメーカー TECO Electric & Machinery Co., Ltd. (TECO) にライセンスした。TECO 社は約 30 社の子会社を持っており、その活動はアジア、欧州、米国に及んでいる。2007 年後半 AMSC 社とテキサスに本拠を置く TECO-Westinghouse 社はオフショア型の 10-MW ダイレクトドライブ風力発電機向け HTS 関連技術開発のためのジョイントベンチャーを立ち上げた。しかし、今回のライセンスは従来型の風力発電機にしか適用されない。数百万ドルの前渡し金のほか、AMSC 社は TECO 社が製造する風力発電機に対するロイヤルティを受け取る。また、AMSC 社は TECO 社が製造するすべての風力発電機向けの電気システム、主要電気コンポーネントの販売特権（right-of-first-refusal）を持つ。TECO 社は台湾及び中国本土で FC-2000 風力発電機を製造、販売する権利を購入した。TECO 社は 2009 年から 2-MW 風力発電機の生産を開始する予定である。

出典:

"AMSC Licenses Wind Turbine Technology to TECO Electric & Machinery Co., Ltd."

American Superconductor Corporation press release (June 6, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1163258&highlight

American Superconductor Corporation（2008 年 6 月 10 日）

American Superconductor Corporation (AMSC) は、中国北京の Sinovel Wind Corporation Limited から 4 億 5 千万ドル相当の 1.5-MW 風力発電機用コア電気部品の追加注文を受けた。出荷は 2009 年 1 月に始まり、契約が終了する 2011 年 12 月まで順次出荷量を増やしていく。契約中に記載されているコア電気部品には、AMSC 社が特許を持つ PowerModule™ 電力変換機等が含まれる。AMSC 社創立者で最高責任者 Greg Yurek は次のように述べた。「本契約に記載されているコア電気部品は、総計で 10-GW 以上の風力発電システムに組み込まれるもので、この発電量は 2007 年末の中国における総風力発電量の 2 倍に相当する。」

出典:

"AMSC Receives \$450 Million Follow-on Order from China's Sinovel Wind"

American Superconductor Corporation press release (June 10, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1164065&highlight

European High Temperature Superconductors GmbH & Co. KG (2008 年 6 月 12 日)

Bruker Corporation の先端超電導部門に属する European High Temperature Superconductors GmbH & Co.(EHTS)は、Adelwitz Technologiezentrum 社(ATZ, ドイツ)とともにドイツ連邦経済技術省から EHTS 社が保有する YBCO 線材技術を基礎とした商用線材開発のための 3 年間の研究プロジェクトの助成を受けることとなった。プロジェクト総額は 300 万ドル。うち、助成額は 74 万ドル。プロジェクト総額にたいする EHTS 社負担額 150 万ドルの半分である。2020 年までにエネルギー消費及び炭素排出を大幅に低減させるというドイツ及び欧州の目標を達成するためのドイツ連邦政府技術イニシアティブの枠内で資金助成が行われる。このプロジェクトは、幅広い要求条件下で高い信頼性を持って動作し、機械的ストレスや電気的事故に対し従来にはない耐性を持つ銅-HTS ハイブリッド超電導体に焦点を当てたものである。EHTS 社と ATZ 社は、2005 年以来この分野での協力を行ってきており、銅シャントを持つ次世代線材開発では、500 A/cm 幅の超電導線等いくつかの重要成果を挙げてきている。

出典:

“European High Temperature Superconductors (EHTS) Receives Research Grant from German Government for Advanced Copper-HTS Conductors”

European High Temperature Superconductors GmbH & Co. press release (June 12, 2008)

http://www.bruker-ehts.com/fileadmin/Press_Release/2008/EHTS-BMWGrant-D.pdf

SuperPower, Inc. (2008 年 6 月 13 日)

SuperPower, Inc.は、ニューヨーク州オルバニーの National Grid 社の地下グリッドに 350-m の HTS 配電ケーブルを設置（・運転）した Albany Cable Project が成功裏に完了したと発表した。米国エネルギー省及びニューヨーク州 Energy Research and Development Authority (NYSERDA)の資金援助によるこの実証プロジェクトは 2001 年に始まり、実際のグリッドに初めて HTS ケーブルを組み込むというものであった。SuperPower, Inc の総支配人 Arthur P. Kazanjian は次のように述べた。「我々はこのプロジェクトがどの面から見ても大成功であったことをうれしく思っている。我々はプロジェクトの全ての目的を達し、多くの世界で初めてのことを実証することができた。国内で初めて実際のグリッドに HTS ケーブルを組み込んだことに加え、1 つの HTS システムの中でケーブルとケーブルを初めてジョイントし、HTS ケーブルを繋いだり、切断したりして見せた。Schenectady で SuperPower 社が製造した Y 系線材を使った 30-m ケーブルを設置、通電し、Y 系線材を初めて実際のグリッドで使って見せることができたことをことのほか嬉しく思っている。」National Grid 社の地域マネージャー William Flaherty は次のように述べた。「National Grid 社にとって重要なことはこのプロジェクトが技術の信頼性を実証したことである。ケーブルのグリッド組み込み時になんらの困難もなかったし、全体のケーブル設置も顧客によく理解されている。このシステムは過酷な電力会社の基準にも適合しており、我々は HTS 技術のさらなる発展に期待している。今回、事故電流も含め実際の運用条件の下でケーブルが使用された。ケーブルや冷凍システムに由来する運転上の問題や故障、停電は一切起こらなかった。今回、Y 系線材が BSCCO 線材を置き換えることが可能であることが実証できた。Y 系線材は従来の銅線と同等のコストパフォーマンスが(将来)期待できる。」Albany Cable Project は SuperPower 社によって運営され、Sumitomo Electric Industries, Linde 社 (前 BOC), National Grid 社が参加した。

出典:

“SuperPower successfully concludes Albany HTS Cable Project demonstrating the world's first integration of high-temperature superconducting wire on live power grid”

SuperPower, Inc. press release (June 13, 2008)

<http://www.superpower-inc.com/news.php?n=154>

American Superconductor Corporation and Siemens AG (2008 年 6 月 25 日)

American Superconductor Corporation (AMSC), Nexans 社, Air Liquide 社, Long Island Power Authority (LIPA)及び米国エネルギー省 (DOE) は、ニューヨーク州 Long Island の商用グリッドへの世界で初めての HTS 送電ケーブル運転開始を祝った。600 m、138-kV、3 相のシステムは 2008 年 4 月 22 日に電力投入が行われ、LIPA の配電網で順調に稼働している。フル運転状態で、このケーブルシステムは 574 MW の送電が可能であり、一般家庭 300,000 戸の電力需要をまかなうことができる。ケーブルは Nexan 社が設計、製作を行い、その中心部は AMSC 社の HTS 線材からなり、Air Liquide 社は液体窒素冷凍システムを製作した。

お祝いは 2008 年 6 月 25 日、第 1 フェーズの完了と第 2 フェーズ着手を記念して行われたもの。第 2 フェーズではこの HTS ケーブルシステムが変更され、その一部が AMSC 社の Y 系線材である 344 線材を使った 600-m 長のケーブルに置き換えられる。この (第 2 フェーズの) 新たなケーブルシステムには Secure Super Grids™技術が組み入れられる。これは Y 系線材、電力ケーブル及び制御系からなり、送配電に混乱をもたらす恐れのある電力擾乱の際にも、グリッドを通じて大量の電力が送れるようなシステムレベルのソリューションである。このプロジェクトでは容易に補修可能なクライオスタット、ケーブル接続技術、低コスト、高信頼性、高効率冷凍システムの開発も行われる。エネルギー省は、400 万ドルの資金援助を行う予定。また、重要なプロジェクトマイルストーンが達成されれば、追加で 500 万ドルの資金援助が期待でき、その場合さらに 2.5 年延長してプロジェクト遂行が可能となる。

出典:

“Commissioning of World's First Superconductor Power Transmission Cable System Celebrated”
American Superconductor Corporation press release (June 25, 2008)

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=86422&p=irol-newsArticle_Print&ID=1169245&highlight

“Successful commissioning of the world's first transmission voltage superconductor cable in Long Island”

Nexans press release (June 25, 2008)

http://www.nexans.com/eservice/Corporate-en/navigatepub_142482_-16915_297_2579/Paris_June_25_2008_Successful_commissioning_of_the.html

基礎

Johns Hopkins University (2008 年 6 月 4 日)

Johns Hopkins University は、中国の研究者と協力して、室温超電導にも繋がる可能性のある新たな理論モデルを示唆する鉄基高温超電導体の新たないくつかの特性を明確にした。研究チームは超電導ギャップ、超電導体の温度変化を測定し、対生成機構が従来の銅系高温超電導体とは異なっていることを見出した。驚いたことに、この結果は高温超電導分野で新たに提案された理論とは両立せず、新たな理論が必要であることを示している。研究結果は、Nature6 月 4 日号に掲載された。

出典:

“New superconductors present new mysteries, possibilities”

Johns Hopkins University press release (June 4, 2008)

<http://www.jhu.edu/news/home08/jun08/supercon.html>

Ames Laboratory (2008 年 6 月 5 日)

Ames Laborator は、超電導状態の鉛における磁区のパブル状の配列が石鹸の泡ないしは泡だった

ミルクと類似していること発見した。ミクロスコピックには全く異なった機構であるにも関わらず、超電導体中に磁場によって作られた（磁区の）泡のパターンと従来知られている多面体の泡との類似性から、その可逆性のおかげもあって、この超電導体中の泡をモデルとして一般の泡を研究することも可能となる。1 つの類似性は、泡が大きくなったり、しぼんだり、消滅したりするときの粗大化のプロセスである。食器用洗剤の泡で一杯のシンクで起こるプロセスのように、磁場の増加により超電導体中の泡に同様のプロセスが生じる。超電導体中の泡は、泡が大きくなったりしぼんだりする速度を規定する John von Neumann 則に従っている。Ames Laboratory の主任研究員 Ruslan Prozorov は次のように述べた。「泡の振る舞いを規定するいくつかの統計論的法則が存在する。そして、我々は超電導体中の泡がこれらの法則を満たすことを見出した。現在我々は超電導体中の泡についての知見を他の泡や、泡と類似の複雑なシステムに適用することができる。」超電導体中の泡を観察することにより、長い間信じられていた泡を支配する 2 つの法則の間の関係が実は成り立たっていないことを明らかにした。その法則とは、最も生じやすい多面体形状は、泡が大きくなるか、小さくなるかを決定付ける面の数と関係しているというものである。Prozorov は次のように述べている。「我々は、この関係はただの偶然であることを見出した。最も安定な泡の形状と最もよく生じる泡の面の数には厳密な意味で関連はない。超電導体中の泡は、どのような面の数であっても磁場の増加とともに大きくなった。この知見は一般的な泡の研究に大きな寄与をもたらすものである。この結果は Nature Physics 4 月号に掲載された。

出典:

“A supra new kind of froth”

Ames Laboratory press release (June 5, 2008)

<http://www.external.ameslab.gov/final/News/2008rel/suprafroth.html>

University of British Columbia (2008 年 6 月 23 日)

University of British Columbia (カナダ、バンクーバー)は、過去 20 年間不可能と思われてきた高温超電導体表面の電子数を制御する技術を開発した。研究チームは、非常に薄い（カリウム）層の電子数を連続的に操作できるような手法を使って酸化物超電導体の表面にカリウム原子を積層した。物理担当準教授 Andrea Damascelli は次のように述べた。「非常に薄い層と超電導体表面は他の部分と性質が非常に異なっている。電子は再配列し、それを調べることは不可能であった。ところが、最近、この現象は非常にチャレンジングであり超電導研究の大きな進歩の鍵となることが明らかになってきた。」この新たな手法により、表面や界面が材料の物理的性質を支配している高温超電導体や他の材料の系統的な研究が可能となるであろう。この手法の詳細は Nature Physics に掲載された。

出典:

“UBC physicists develop ‘impossible’ technique to study and develop superconductors”

University of British Columbia press release (June 23, 2008)

<http://www.publicaffairs.ubc.ca/media/releases/2008/mr-08-084.html>

(ISTEC 国際部長 津田井昭彦)

超電導 Web21 トップページ

特許情報

◆平成 20 年度第 1 四半期の公開特許

平成 20 年 4 月～6 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データベースをご利用下さい。

1) 特開 2008-78639 「ジョセフソン接合素子、その形成方法、および超電導接合回路」:

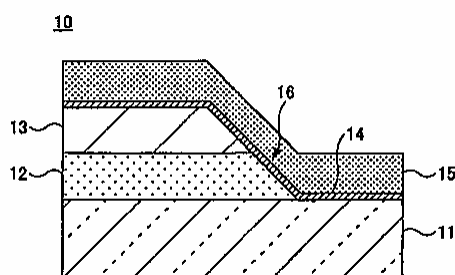
本発明は、ジョセフソン接合素子、その形成方法および超電導接合回路に関し、 $I_c R_n$ 積（臨界電流と常温時の抵抗の積）を向上することを目的とする。

ジョセフソン接合のデバイスへの応用を考える場合、システムコスト削減の面から高温で高速動作、および高感度なジョセフソン接合素子が必須となる。そのためにはより大きな $I_c R_n$ 積を有するジョセフソン接合素子が望まれるが、文献では十分な $I_c R_n$ 積が得られていない。

本発明のジョセフソン接合素子は、基板 11 上に形成された下部電極層 12 と、絶縁膜 13 と、下部電極層 12 の一端に形成された斜面を覆うバリア層 14 と、バリア層 14 を覆う上部電極層 15 を有し、超電導接合部 16 が形成される。上部および下部電極層（15 および 12）は $(RE)_1(AE)_2Cu_3O_y$ を主成分とする酸化物超電導材料からなり、バリア層 14 は元素 RE、AE、Cu および O を含む材料からなり、この材料中のカチオンのうち Cu 含有量が 35 から 55 原子%、かつ RE 含有量が 12 から 30 原子%の範囲に設定され、かつ上下電極層とは組成が異なる。

注：RE：Y、La、Pr、Nd、Sm、Gd、Dy、Ho、Er、Tm、Yb および Lu のうち少なくとも 1 種
AE：Ba、Sr および Ca のうち少なくとも 1 種

本発明の第 1 の実施の形態に係るジョセフソン複合素子の断面図



(SRL/ISTEC 企画部長代理 永野一郎)

[超電導 Web21 トップページ](#)

「超伝導の将来ビジョンー30 年後まで語るー」研究会、共同開催報告

低温工学協会材料研究会、応用物理学会超伝導分科会及び未踏科学技術協会超伝導科学研究会は、「超伝導の将来ビジョンー30 年後まで語るー」と題した研究会を 2008 年 6 月 30 日東京大学山上会館大会議室にて共催し、約 170 名の参加のもとで成功裏に終了した。

まず、物質・材料研究機構の熊倉浩明氏による趣旨説明がなされた。この研究会では、超電導に係わる 2 つロードマップを前提に、金属系超電導材料、高温超電導材料、室温超電導材料及びこれらの超電導応用技術が、地球環境エネルギー並びに高度情報高齢化社会の問題解決や発展のために 30 年後どう係わりを持つべきかを具体的に論じてほしいと言うものであった。

つぎに、超伝導アカデミックロードマップに基づく 30 年後のビジョンが明らかにされた。まず、2006 年から 2007 年に策定された超伝導アカデミックロードマップが下山淳一氏（東京大学）から報告され、ポスト化石燃料並びに高度情報社会時代に対応するためにはヘリウムフリーの高温超電導材料が決め手になるとした。北澤宏一氏（科学技術振興機構）は、地球視点での超電導応用の価値と題して、これまで人類が推進してきた技術革新と経済成長のメカニズム並びにこれらによる備蓄を背景として我が国の国際競争力に自信をもって地球規模で超電導応用を推進してほしいと述べた。また、多数の新超電導物質の発見者である秋光 純氏（青山学院大学）からは、 MgB_2 の発見に至った経緯や、新物質研究のためには現在の延長線にないような試行錯誤が必要との経験則が紹介された。さらに、内田慎一氏（東京大学）は、高温超電導機構解明の次ぎに見えるものと題して、従来の BCS 理論、銅系酸化物超電導相と擬ギャップ相の係わり、鉄砒素系新超電導物質と銅系酸化物超電導物質との相違点、及び室温超電導物質の探索には生命原理に類似した複雑系アプローチが不可欠との提案がなされた。

午後、鈴木俊吾氏（経済産業省製造産業局ナノテクノロジー・材料戦略係長）から、超電導技術戦略マップの説明がなされた。一般の技術戦略マップは導入シナリオ、技術マップ及び技術ロードマップの 3 段構成になっている。超電導技術マップは、同様な構成で 2006 年度に初版が発行され、2020 年の 2 兆 2 千円の超電導世界市場の実現に向けた経済産業省における超電導関連の諸施策の礎になっている旨の報告がなされた。また、本庄昇一氏（東京電力株式会社）は、超電導の送電技術への展開と題して、東京電力管内における年平均 0.8% の電力需要の増大や諸外国における技術実証の実態を背景に POF や OF ケーブルの代替手段として超電導ケーブルを位置づけ、平成 19 年度から「高温超電導ケーブル実証」プロジェクトが実施されているとの報告がなされた。かかる技術進展も踏まえ、我が国は超電導ケーブル技術を推進するとの決意が述べられた。木吉 司氏（物質・材料研究機構）は、30 年後の超電導磁石と題して、高磁界超電導磁石の実現には低コストかつ小型化がキーワードになることが明らかにされた。特に、1~1.3 T の高磁界磁石の設計において超電導線に付加されるフープ力が支配的になるため、高強度超電導線の開発に加え磁気レンズなど新しい超電導磁石設計技術の開発に期待したいとした。一方、超電導エレクトロニクスの分野では、藤巻 朗氏（名古屋大学）は、20 年前に不可能とさえ言われていた 100 GHz のマイクロプロセッサ、超電導メモリー及びモバイル超電導機器が SFQ 回路等の技術開発により何れも



ご講演中の鈴木俊吾氏

可能な段階に到達した経緯もあり、30 年後のコミュニケーションツールや高度センサー手段として超電導エレクトロニクスは間違いなく発展するとの力強い報告がなされた。

休憩を挟み、西嶋茂宏氏（大阪大学）は、30 年後の超電導医療・環境応用—超電導磁石を利用した磁気力制御機器—と題して、磁気力誘導薬剤配送システム（MDDS）における誘導実験と創薬に重要な役割となる薬剤集積実験の技術進展状況の報告がなされた。また、超電導磁気分離技術が単結晶シリコンウェハー切出に伴うシリコン粉末の回収や単結晶切断に伴うダイヤモンド砥粒の再生などに適用されつつあることが明らかにされた。長谷川 満氏（三菱電機株式会社）は、核融合を目指す超電導技術の展開と題して、現在実施中の ITER プロジェクトに続く原型炉に適合する超電導線及び超電導コイルの考え方が明らかにされた。2050 年代の実用炉実現を目途として逆算すると、その前段となる原型炉の仕様決定は 2015 年となり、これまでに超電導線の選定が必要になる。現時点における候補超電導線は Nb_3Al 線及び Nb_3Sn 線であるが、技術開発に許される時間はさらに短い。また、超電導コイル技術に関しても、ITER 建設に併行して、2015 年頃までに技術見通しを立てるなど、いずれも極めて厳しいスケジュール設定であることが明らかにされた。上條弘貴氏（鉄道総合技術研究所）は、鉄道用超電導応用と題して、超電導磁気浮上式鉄道に向けた技術開発に併行して新幹線や在来線向けに誘導型超電導モーター、小型軽量型超電導主変圧器並びに鉄道用超電導フライホイール技術に注目しているとの報告がなされた。特に、4 MW 級超電導主変圧器においては原理検証はできたものの、実用技術水準に到達するためには超電導線の交流損失を現状の 1/5 に低減する技術開発の必要性が明らかにされた。



研究会会場の様子

最後に、田中靖三（国際超電導産業技術研究センター）によるこの研究会のまとめがなされた。その中で、1925 年長岡半太郎博士によって初めて日本に“超電導”が紹介されたこと、アカデミック領域における新超電導物質創成と産業領域における酸化物超電導体の応用に期待したいこと、及び超電導技術戦略マップに示された 2020 年の社会像は最終ゴールではなく、更なる応用分野の展開のためには基礎、応用、開発及び地域が一体となったオープンイノベーションのマインドの浸透に期待するとのコメントがなされた。

（編集局）

[超電導 Web21 トップページ](#)

【隔月連載記事】

やさしい超電導電力機器のおはなし (その 4)

横浜国立大学
大学院工学研究院
名誉教授 塚本修巳

某日某所で、大手商社の経営に携わっている役員の叔父さんと、メーカーの研究所で高温超電導機器開発に携わっている甥との間で超電導応用のことが話題になりました。その続きで、超電導電力エネルギー貯蔵が今回のテーマです。

4.1 はじめに

甥：今回は超電導を使った電力エネルギー貯蔵の話をしてしましょう。

叔父：電気を貯めるならいろいろ方法があるだろう。まず電池、ハイブリッド車や、近いうちに市販されるといわれている電気自動車には相当の容量の電池が積まれている。最近では電池のいいものができるから、電池を大規模に使えばかなりの量の電力が貯蔵できるのではないかね。深夜電力を使いヒートポンプで温水を貯めるエコキュート、また、深夜電力を使って冷凍機を運転し、冷水または水をシャーベット状にして冷熱を貯めておいて昼間の空調に使うという方法がある。これなどは、電気の最終利用形態に注目して間接的に電気を貯めるという発想だよね。つまり、電気を貯めるのにわざわざ超電導を持ち出さなくていいのではないか。

甥：なるほど。ところで、どうしてエコキュートなど知っているのですか？

叔父：最近ではビルの CO₂ 排出の削減、さらに空調経費の節減など我社でもやかましく言っており、そのために、いろいろ調べさせているからだよ。

甥：確かに、給湯や冷熱利用を考えた場合は電気を貯めて使うよりは最終利用形態で貯めたほうが効率はいいです。しかし、電気はいろいろな効用があり、やはり電気として貯める必要は大きいです。電気を貯めるといってもいろいろな状況があって、貯める電気の量が小規模の場合、電池は適しています。最近では優れた性能を持つ充電可能な電池（2 次電池）が開発されてきており、その適用できる範囲も広がってきています。しかし、電池は電気エネルギーを化学エネルギーに変換して貯めるもので、一般に、電池は放電のときは問題がないのですが、急速な充電には問題があります。また、充電の管理をきちんとしないと電池の寿命が損なわれます。さらに、充放電回数が多くなると電池の寿命がなくなり、その場合、電池を廃棄せねばならず廃棄物処理の問題が出てきます。一方、大規模の電力を貯める方法として揚水発電所があります。揚水発電というのは山の上と麓に貯水池を作っておいて、夜に水力発電機をポンプとして運転し、麓の貯水池から山の上の貯水池に水を汲み上げておき、昼間の電気が必要なときに上の貯水池の水を下に流し発電するものです。わが国においては大規模電力貯蔵としてはこの揚水発電しかありません。しかし、揚水発電は効率が悪く、揚水に要した電力の高々 70% 程度しか発電出力になりません。

叔父：それでは発電というより、電力消費ではないかね。

甥：そうなのです。しかし、他に大規模の電力を貯める方法がないからしょうがないのです。近年もっと効率のよい方法がいろいろと提案されています。これから説明する超電導マグネットを応用した超電導磁気エネルギー貯蔵装置（SMES: Superconducting Magnetic Energy Storage）もその 1 つですが、揚水発電の代替になるほどの大きな電力エネルギーを蓄えるものが開発されるのはかなり先です。

現在、実用化されているか、実用化が近い中小規模の主な電力貯蔵装置について、その運用特性を表 1 に示してあります。参考のため揚水発電の運用特性も示してあります。なお、この表にある数値は目安で、また、2 次電池の運用特性は電池の種類により異なってきますので、代表的なものについてのみ示してあります。2 次電池方式のほか、キャパシタ方式は、コンデンサー方式とも言いますが、近年非常に大きな貯蔵能力をもつ電気 2 重層キャパシタが開発され、それを応用した電力貯蔵技術が急速に進んできています。また、SMES や超電導を応用した非接触磁気ベアリングを用いたフライホイール方式のような、超電導技術を応用した貯蔵装置にもかなりの期待が寄せられています。これら 2 次電池方式以外の方式は、一般に、2 次電池方式に比べて充放電サイクル寿命が長く、また、電力貯蔵効率(入れた電力量に対する取り出せる電力量の比)も優れています。キャパシタ方式と SMES およびフライホイール方式は応用分野でかなり競合すると考えられます。しかし、SMES は一度に大きな電流を流すことができますし、フライホイール型は非接触磁気ベアリングを用いれば、少ない損失でフライホイールを高速回転できますので、蓄積エネルギー密度が大ききできるという利点があります。従って、それぞれの利点を生かせる分野での応用が期待されています。

表 1 主な電力貯蔵技術の比較 (数値は目安)

方式	2次電池	キャパシタ	SMES	フライホイール	揚水発電
規模(MWh)	～5	～5	～5	～5	100～10,000
貯蔵時のエネルギー形態	化学エネルギー	電界エネルギー	磁気エネルギー	運動エネルギー	位置エネルギー
エネルギー密度(kWh/m ³)	40～400程度	10程度	3程度	約200 (超電導軸軸受け使用)	～3
貯蔵効率	65～80%	85%～	90%～	80%～	70%
最大貯蔵時間	分～日単位	日	日	分・時単位	日・週単位
起動・停止時間	瞬時	瞬時	瞬時	瞬時	数分
信頼性(運転実績)	実績あり	一部実績あり	一部実績あり	一部で実績あり	多くの実績あり
寿命(充放電サイクル数または年)	～3000 (電池種類による、リチウムイオン、NAS電池など)	>100,000 (期待値)	>100,000 (期待値)	20年程度	40年以上

それでは、超電導技術を応用した電力貯蔵装置についてもう少し詳しく説明しましょう。

4.2 SMES

甥： コイルに電流を流せば磁界が発生し、磁界が発生した空間に磁気エネルギーが蓄えられます。コイルの形状と線の巻き数で決まるインダクタンスという値を L として、コイルに流す電流を I とすればコイルに蓄えられる磁気エネルギーの大きさは $0.5 \cdot L I^2$ で与えられ、 L が大きいほど、 I が大きい

ほどその 2 乗に比例して蓄積エネルギーは大きくなります。 L の値はコイルの大きさが大きいほど、線の巻き数が多いほど大きくなります。すなわち、コイルの作る磁界の大きさは電流の大きさと線の巻き数に比例するので、磁界が大きいほどその 2 乗に比例し、コイルの作る磁界空間が大きいほどそれに比例して蓄積エネルギーが大きくなります。コイルを超電導線で作り、電流を流しておいてコイルを超電導的に短絡すれば電気が流れ続け電気エネルギーが蓄えられるのです。銅線でできたコイルでも磁気エネルギーは貯められるのですが、銅線の抵抗によるジュール発熱が大きすぎ、蓄えられたエネルギーは数秒で熱エネルギーとしてなくなってしまいます。ですから、ジュール熱を発生しない超電導線を用いなければ意味がないのです。

昔、アメリカで揚水発電の代替として SMES が提案されていたときは後樂園球場くらいの大きさのコイルが想定されていました。コイルに電流を流すと磁界と電流の相互作用で線に電磁力が加わりますが、大規模の SMES ではこの電磁力が非常に大きくなります。1 テスラ（テスラは磁界の強さの単位で、1 テスラは地磁気の約 1 万倍）あたりほぼ 4 気圧（ 1 cm^2 あたり 4 kg の大きさの力）の電磁力が働きます。電磁力は磁界の強さの 2 乗に比例するので 5 テスラの磁界を発生する SMES は 100 気圧の圧力容器に相当すると考えられます。従って、SMES は、この莫大な電磁力に耐えるための機械的補強材料の選定やコイル設計が重要です。後樂園規模のコイルでは機械的補強が大変で、岩盤に穴を掘りそこに SMES コイルをいれ電磁力を岩盤で補強するというものでした。しかし、このような揚水発電所代替規模の SMES は、蓄積エネルギー効率がかなりよくなるとしても、日本では適当な岩盤が存在する場所が限られ、さらに、開発に巨額な資金が必要であることから、具体的な開発については、今は先送りになっています。その一方、SMES に蓄えてある磁気エネルギーは電気エネルギーと同質であるので、瞬時に電力の出し入れが可能であるという特長が着目され、より規模の小さい SMES の応用分野が開けてきました。

叔父：ところで、SMES の電流は直流的であるのに通常の電力として使うのは交流で、しかも SMES に蓄えられているエネルギーの大きさが変われば電流の大きさも変わる。エネルギーの蓄積量によって、電流が変わったり、電圧が変わったりするのでは役に立たないのではないか。

甥：いい質問ですね。図 1 は SMES システムの構成図が示してあります。超電導コイルは超電導状態を保つために低温容器に入れてあります。電力系統と超電導コイルの間には交流直流変換器があり、コイルに流れる直流と電力系統の 3 相交流の変換をするとともに、交流側の電圧、電流の大きさの制御を行っています。SMES システムではこのような交流直流の変換を行い電力系統と連系させる機能は重要で、この部分のスペースはコイルより大きな部分を占めており、コスト的にも冷凍機を含むコイルシステムと同等のレベルになっています。

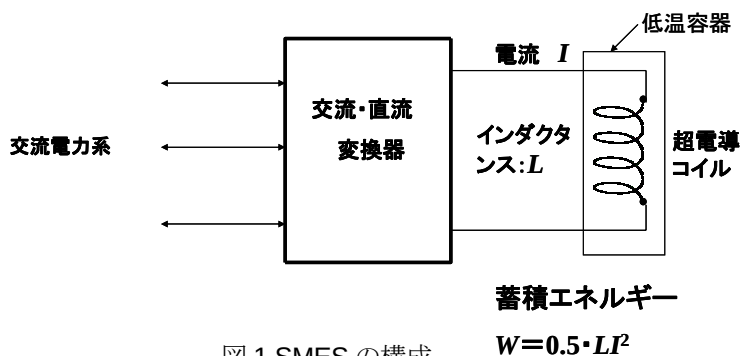


図 1 SMES の構成

図 2 は、3 つの目的機能の異なる中小規模の SMES の導入形態を示したものです。まず、発電所のそばにある系統安定化用 SMES は、SMES により動揺に応じて電力の出し入れを行い系統を安定化させることができます。また、電力系統の上位にある周波数安定化用 SMES は、系統の周波数が

動揺したとき、電力の出し入れを制御して周波数動揺を抑制します。さらに、負荷側にある負荷変動補償用 SMES は、工場内や鉄道での大きな負荷変動を吸収して、電力系統の動揺を抑制するためのものです。

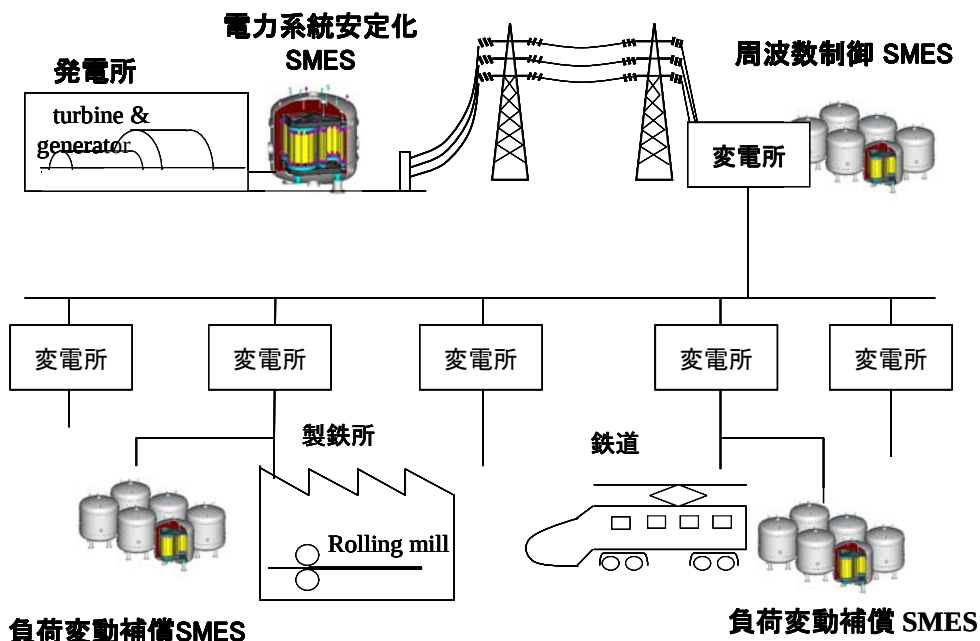


図 2 SMES の導入形態（中部電力提供）

SMES の開発の現状ですが、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のプロジェクトでは SMES を銅製品工場に設置し、工場内の大きな負荷変動を吸収し、系統側の電力変動を抑制するプロジェクトが行われ、その有用性が検証されました。この他に、電圧変動に敏感な工程を持つ工場、たとえばテレビ用の液晶パネルや半導体工場などでは、系統側の落雷などによる瞬時的な電圧低下に対しても製造ラインが停止して大きな損害が発生するので、系統の瞬時的な電圧低下を補償するためにも SMES（これを瞬低用 SMES とも呼ぶ）が利用されています。図 3 は NbTi 線を用いた液体ヘリウム冷却 SMES をテレビ用の液晶パネル工場に導入した例を示したものです。すでに落雷による系統側の瞬時電圧低下を補償し、工程の停止を防いだ実績があります。このような半導体工場、液晶パネル工場ではわずかに数サイクルの電圧低下でも工程は停止して、数億円の被害が出る可能性もあり、従って、数回の瞬時電圧低下

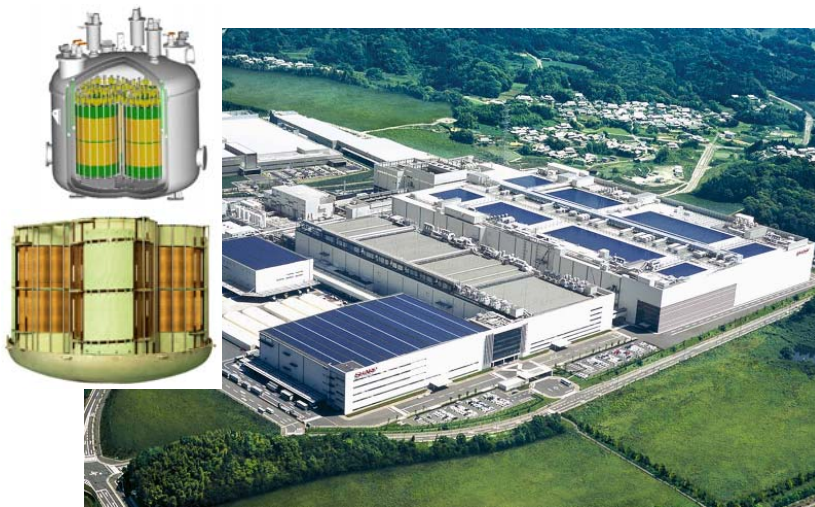


図 3 カラー液晶パネル工場に導入された SMES
（シャープ亀山工場，中部電力）

による被害を防ぐことができれば、十分 SMES 導入費を正当化することができます。また、アメリカではトレーラに小規模の SMES システムを積み込んだ装置も市場に出ています。

以上のような実フィールドで用いられている SMES は皆 NbTi 低温超電導線が用いられており液体ヘリウムにより冷却されています。しかし実際に運用してみると、ヘリウム液化機の運転が大きな負担となっており、本格的な実用化には高温超電導線を用いた SMES の開発に期待が寄せられています。高温超電導を用いることにより、SMES コイルの運転温度を高くできるので冷凍機の負担を軽減し、さらに NbTi 線より高い磁界が発生できるため、同じ蓄積エネルギーでもコイルを大幅に小さくできるなどの大きなメリットがあります。このため、NEDO のプロジェクトとして Y 系線材を用いた SMES の開発プロジェクトが始まっています。このプロジェクトによって本格的な SMES の実用化への道が開かれるものと期待されています。

4.3 フライホイールエネルギー貯蔵装置

甥：フライホイールエネルギー貯蔵装置は、フライホイール（はずみ車）に電動発電機（電力を加えればモータとして動作し、回転力を加えれば発電する回転機）をつなぎ、電力を貯めるときはモータ動作でフライホイールの回転速度を増やし、電力を必要とするときはフライホイールの勢いで発電させる装置です。すなわち電力を機械エネルギーとして貯蔵するものです。貯蔵効率を高くするためには、フライホイールの回転エネルギーの減衰を少なくする必要があります。フライホイールと電動発電機を真空中に入れ空気抵抗を無くするとともに、回転部の軸受けの損失を極力少なくする必要があります。軸受けとして機械的な接触部分を持たないものがあれば理想的です。そこで、高温超電導体の塊（バルクといいます）と永久磁石を組み合わせる事により、非接触の軸受けを実現できるので、これを応用することが考えられました。高温超電導体が発見されたときに、盛んにデモンストレーション実験として液体窒素で冷やされたバルクの上に永久磁石が浮いている様子が示されましたし、お相撲さんが乗っても浮いているほど強力な浮上力があることが写真などで示されていました。

叔父：それはよく覚えている。ところで、2 つの永久磁石のたとえば N 極同士を向かい合わせれば反発力が働くけれどそれではだめなのかね？

甥：確かに永久磁石同士でも反発力は働くのですが、実際にやってみるとわかりますが、永久磁石同士では安定に浮上する状態は作れません。高温超電導バルクと永久磁石の場合ではバルクに永久磁石を押し付けていくと反発力があるのですが、押し付けた位置で永久磁石を離すと永久磁石はほぼその位置に宙に浮いたまま安定に留まり、そこからずらそうとすると元に戻るような力が働きます。このような状況は永久磁石同士ではできません。この磁気力を応用すると、磁石と回転体が接触しない非接触軸受ができます。電磁石を用いて永久磁石を内蔵した回転体が少し浮き上がった状態（浮き上がって隙間ギャップがないと回転体が電磁石に接触し、莫大な摩擦熱が発生し回転体は止まってしまいます。）が、維持できるように電磁石の電流を制御します。この方式はフライホイールなど能動制御型磁気軸受として既に実用されています。このようにフライホイール全体を浮上した状態に保つには、小型の場合は別として浮上に必要な電力が無視できないくらい大きくなります。従って、ジュール熱を発生しない超電導バルク又は超電導マグネットと永久磁石を用いた軸受けが、高速回転するフライホイール用として適していると考えられています。

図 4 には NEDO のプロジェクトで開発された高温超電導バルクと永久磁石で構成された軸方向の軸受けを持つフライホイールエネルギー貯蔵装置の構造が示してあります。軸の横ブレを抑えるために銅コイルと鉄心で構成された能動制御型非接触軸受を用い、炭素繊維強化プラスチックでできたフライホイールを 1 分間に 1 万数千回転で回し、10 kWh のエネルギー（1 kW の電力を 1 時間維持できるエネルギー）を蓄積するものです。

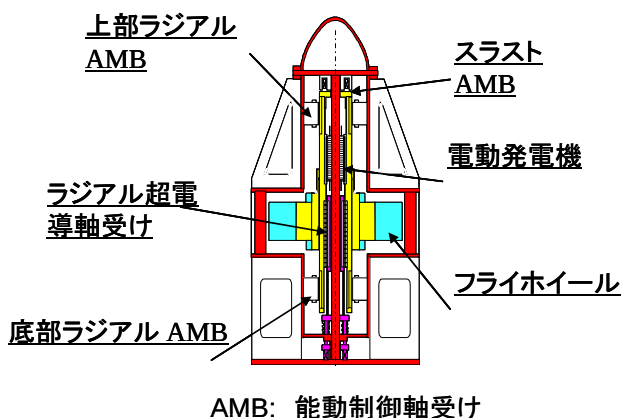


図 4 超電導バルク/永久磁石軸受け型フライホイールエネルギー貯蔵装置の構造 (NEDO, ISTE, IHI)

叔父:ところでフライホイールの材料は鉛とか重い材料のほうが大きなエネルギーを貯められると思うのだが、なぜ軽い炭素繊維強化プラスチックがフライホイールに用いられるのかね?

甥:確かに回転数が同じなら重い材料のほうがフライホイールに蓄えられるエネルギーは大きくなります。回転体の蓄積エネルギーは回転数の 2 乗に比例し、フライホイールの材料の密度に比例します。従って、エネルギーを多く貯めるためには回転数を大きくするほうが有利です。しかし、回転数を増すと遠心力も回転数の 2 乗に比例して増えますので、回転数を上げると鉛では、鉄でさえもそうですが遠心力でフライホイールがすぐ壊れてしまいます。従って、これらの材料はエネルギー密度の高い高回転フライホイール用としては適しておらず、比強度 (材料の密度に対する強度の比) が非常に大きい炭素繊維強化プラスチックがよいのです。ただし高価になってしまいます。

フライホイールの回転数が非常に高くなると回転バランスをとるのが難しくなり安定に回転維持するのが難しくなります。そこで、回転数を低く抑えフライホイールの材料もスチール系のものにして、装置のコスト低減を図ったものがやはり NEDO のプロジェクトで最近開発されました。装置の構成図を図 5 に示してあります。この装置は鉄道の減速時のエネルギー回生及び産業への応用を目指したものです。この装置ではフライホイールの重量が大きくなるため、大きな浮上力が必要で、このために図 5 に示すような超電導のリングと鉄心で構成された超電導軸受けが用いられました。これは超電導リングの電流によって発生した磁界により、回転子と固定子の鉄心間に働くフライホイール回転軸方向の大き

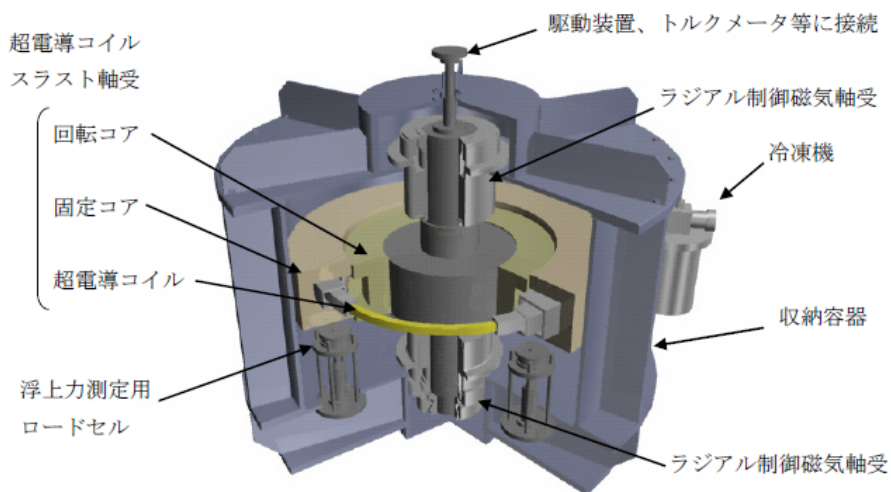


図 5 低温超電導軸受けを用いたフライホイールエネルギー貯蔵装置構成図 (NEDO、JR 東海)

な吸引力を利用したものです。この軸受けだけでは安定な非接触回転はできないので、安定化のために能動制御型非接触軸受が用いられます。この装置で、重さ 25 トンのフライホイールを 1 分間に 2 千回転で回し、50 kWh の電力の貯蔵を実証しました。現在は実用化に向けて、引き続き性能評価試験が行われております。

4.4 まとめ

叔父：電力エネルギーの蓄積にも超電導技術が大いに役立つことがわかった。これらの開発成果を生かし早く実用的な装置が市場に出てくることを祈っている。

甥：わが国における超電導技術を応用した電力エネルギー蓄積装置の技術は世界的にも高く評価されており、今までの国の支援により開発された成果を踏まえ今後民間の努力により開発が進められ、早い機会に実用機が世に出てくることが望まれます。

[超電導 Web21 トップページ](#)

読者の広場

Q&A

Q：「超電導電力ケーブルはどのような研究開発ステップを経て、普及導入されるのでしょうか？」

A：超電導線材を用いた電力機器を開発するためには、線材性能が必要です。たとえば、Bi 線材においては、臨界電流値が 100 A を超え、単一長が 500 m を超えるようになった頃から、電力機器の開発が活発化してきました。一方、Y 系線材も、平成 19 年度末に、臨界電流値 300 A、単一長 500 m を超える線材が開発されており、電力機器への適用が期待されています。

研究開発から普及導入に至るプロセスをステップごとに考えていきます。

要素技術開発

超電導電力ケーブルとしての技術成立性を検証するため、ケーブルとしての導体化技術、ケーブル間を接続する中間接続技術などの基本的な項目に加え、電力ネットワークに組み込んだ場合に想定される事故電流を通じても機能が損なわれないことを検証します。

重要な技術開発

超電導電力ケーブルとして既存ケーブルに比べ優位性を検証するため、低損失・効率向上化技術、コンパクト化技術、冷却を含めた熱的挙動解析技術、常電導との接続技術などが必要になります。さらに、ケーブルシステム設計開発を行います。

システム検証～実用化技術開発

超電導電力ケーブルとしての成立性を検証するため、設計開発したケーブルシステムを作製し、長期間（数ヶ月）の課通電試験など各種試験を行います。あわせて、長期信頼性、保守性、コストダウンなどの検証を行います。既存のケーブルに比べ、信頼性、コストに優れた電力ケーブルを開発することによって普及導入を目指します。

現在、世界各国、各地域で活発に実施されている超電導電力ケーブルの研究開発ステップは、各国の諸々の状況によって異なりますが、Bi 線材によるケーブルは実用化技術開発の段階、Y 系線材によるケーブルは重要な技術開発～システム検証の段階にさしかかっていると考えられます。

普及導入に向けた研究開発ステップと技術課題

ステップ	技術成立性 要素技術開発	重要な 技術開発	システム 検証	実用化 技術開発	普及 導入
技術課題	導体化技術 中間接続技術 耐過電流検証 など	低損失化技術 コンパクト化 冷却技術開発 システム設計 など	システム成立性 検証	長期信頼性 保守性 コストダウン 技術仕様	

実用化技術開発から普及導入段階における技術仕様について、もう少し解説を加えます。

我が国において電力機器を電力システムで使用するためには、「電気設備の技術基準」等の諸法規を遵守すること、JIS 等の機器としての規格を満足することが要求されます。超電導電力ケーブルもこれら法規・規格を満足することによって実システムに導入することが可能です。

電力システムの交流回路で使用する架橋ポリエチレンケーブル(以下 CV ケーブル)の規格について一例を紹介します。CV ケーブルには、JEC（電気学会 電気規格調査会標準規格）-3408-1997「特別高圧（11 kV～275 kV）架橋ポリエチレンケーブルおよび接続部の高電圧試験法」があります。学識経験者、製品メーカー、ユーザなどが中心となって標準的な高電圧による試験方法の規格を取り決めたものです。この中に、「開発試験」、「形式試験」を行うことが記載されています。「開発試験」は、開発品の設計・製造および施工方法が、実用可能であることを実証するために行うものであり、開発品が実使用時に想定される熱機械的挙動（ヒートサイクル）の下で、所定の商用周波電圧に対する寿命を有することを 0.5 年以上の長期課通電試験によって検証することとしています。このほかにも、系統上に発生する過電圧に耐えることを確認するために、雷インパルス耐電圧試験と商用周波耐電圧試験を行うこととしています。「形式試験」は、形式製品の設計・製造および施工方法を認定するために行うものです。

このように CV ケーブルの高電圧試験については、ステップごとに試験規格があり、こうした規格をよりどころとして開発を進めています。

一方、超電導電力ケーブルは導入実績が無く、このような規格が制定されていません。したがって研究開発を進める超電導電力ケーブルについては、設計・製造・試験方法・試験条件などの技術仕様について、学識経験者、製品メーカー、ユーザなどによる検討を経て決定していく必要があります。また、グローバルな市場に超電導電力ケーブルを普及導入するためには、地域規格や規定の上位に位置づけられる IEC（国際電気標準会議）規格の整備も必要になります。

回答者：SRL-ISTEC 電力機器研究開発部長 藤原 昇

[超電導 Web21 トップページ](#)