

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

掲載内容（サマリー）：

- 超電導関連 2013 年 9 月-10 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（7/20-8/19）
- 超電導速報－世界の動き（2013 年 7 月）
- 「IEC-IEEE 合同超電導エレクトロニクス標準化会合」報告
- 「ISEC2013（Digital/SQUID 関連）」報告
- 「ISEC2013（検出器関連）」報告
- 隔月連載記事－風力熱蓄積発電（その 5） - 「風力熱蓄積発電のコスト計算」
- 読者の広場(Q&A)－「日経産業新聞に昭和電線ケーブル、高磁場でも超電導、線材を開発とありましたがどんな所が新しいのでしょうか？」

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web21

〈発行者〉

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター 超電導 Web21 編集局

213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3 丁目 2 番 1 号 KSP A-9

Tel 044-850-1612 Fax044-850-1613

超電導 Web21 トップページ : <http://www.istec.or.jp/web21/web21.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>



超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

超電導関連 ‘13/9 月－10 月の催し物案内

9/2-6

International Conference on Nanoscale Magnetism (ICNM-2013)

Istanbul, Turkey

<http://www.icnm2013.org/>

9/2-3

東北・北海道支部 第 18 回超電導・低温若手セミナー

定山溪 ビューホテル

http://csj.or.jp/tohoku/2013/18th_0902.pdf

9/5-6

九州・西日本支部 若手セミナー

九州工業大学戸畑キャンパス 百周年中村記念館

http://csj.or.jp/kyushu/2013/Jr_Seminor_0905.pdf

9/10-12

日本冷凍空調学会 年次大会

東海大学 高輪キャンパス

<http://nenji.jsrae.or.jp/nenji/>

9/12-13

電気学会 基礎・材料・共通部門大会

横浜国立大学

<http://www2.iee.or.jp/ver2/fms/sys/02-conference/index.html>

9/15-19

EUCAS

Genova, Italy

<http://www.eucas2013.org/>

9/16-20

応用物理学会秋季学術講演会

同志社大学 京田辺キャンパス

<http://www.jsap.or.jp/activities/annualmeetings/index.html>

9/17-19

日本金属学会 秋期講演大会

金沢大学

http://jim.or.jp/MEETINGS/2013_atmn/index.html

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

9/20

ECCOFLOW WORKSHOP

Palma de Mallorca

<http://affccs.grenoble.cnrs.fr/eccoflowworkshop/index.html>

9/20-23

物理学会 秋季大会 素粒子・核物理・宇宙線

高知大学

<http://www.kochi-u.ac.jp/~jps/>

9/25-28

物理学会 秋季大会 物性関係

徳島大学

<http://www.jps2013s-tokushima.jp/>

9/23-27

International Conference on RF superconductivity

Paris, France

<http://www.srf2013.fr/>

9/24-25

電気学会 超電導応用電力機器研究会

東京電力 技術開発研究所

<https://workshop.iee.or.jp/sbtk/cgi-bin/sbtk-showprogram.cgi?workshopid=SBW00002554>

10/2-3

超伝導エレクトロニクス (SCE) 研究専門委員会

東北大学・電気通信研究所 ナノ・スピン総合研究棟 4 階カンファレンスルーム

<http://www.ieice.org/es/sce/jpn/>

10/23-25

7th Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics

Cappadocia, Turkey

<http://www.acasc-tr.org/>

10/28-30

11th EPRI Superconductivity Conference

Houston, USA

<https://custom.cvent.com/0C2B71276B454075AA018365A85CB80E/files/event/53317cc382324286b16d355a85c88cb9/627286ff29604fa4a06f5fbe5b45846d.pdf>

(編集局)

超電導 Web2.1 トップページ

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

新聞ヘッドライン (7/20-8/19)

- 鉄道総合技術研究所、超電導送電で走行実験 7/23 日本経済新聞
- 超電導ケーブルで GO!、世界初、電車走行実験を公開 7/25 日本経済新聞
- 超電導ケーブルで電車走行、5 年後めど導入狙うー鉄道総研が実験公開 7/25 日経産業新聞
- 淡路マテリア、超電導バルク、安価材料で、磁石用、温度・酸素濃度を工夫 7/25 日経産業新聞
- 省エネ 超電導ケーブル 鉄道総研が電車走行実験ー多摩 7/25 東京読売新聞
- 鉄道総研、超電導ケーブル利用の電車走行試験に成功ー送電損失など抑制 7/25 日刊工業新聞
- 鉄道総研、超電導ケーブル走行に成功 7/25 Fujisankei Business i
- ノンドープ超伝導の発現メカニズムを提案 7/26 科学新聞
- 重粒子線照射、超電導で、がん治療向け装置、東芝が部品受注 8/07 日経産業新聞
- 理研と千葉大、絶縁部の厚さ 1/10 の次世代高温超電導ワイヤ開発 8/13 日刊工業新聞
- 長崎総合大が理論予測、零下 35 度で超電導可能、石油の炭素分子活用 8/19 日経産業新聞

(編集局)

[超電導 Web2.1 トップページ](#)

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

超電導速報－世界の動き（2013 年 7 月）

公益財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所

特別研究員 山田 穰



★ 記事のニュース発信地、関連地

▶ 線材



[多国籍スマートグリッド企業に多量の 2G線材を
出荷](#)

Superconductor Technologies Inc. (2013 年 7 月 23 日)

Superconductor Technologies 社(STI) は、Conductus®2G HTS 線材（臨界電流特性 250～400 A/cm 幅）を、多国籍企業 3 社に無事出荷したことを発表した。この線材は、超電導限流器や HTS 高磁場マグネットなど、製品設計の品質検証試験を含むさまざまな用途に使用される。同社のマーケティング及び 製品管理事業部副社長である Adam Shelton 氏は、「これら出荷により、当社の見込み顧客は 2014 年以降の HTS 線材供給の確保に期待を寄せることができ、STI 社にとって重大な節目を迎えたこととなる。当社顧客が今後のスマートグリッドプロジェクトを無事成功させるためには、様々な長さの超電導線材が大量に必要となる。当社の単位生産稼働当たりの線材性能、歩留まり、

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

そして線材の長さは、2013 年前半にかけて飛躍的に改善している。我々は、商業的大量生産に至らなければならない分野において、当社の線材性能がこれからも改善し続けることを期待している。超電導デバイスの商業化に取り組む戦略的顧客からの要件に応じて、当社 2013 年度生産高を慎重に合わせることで、2014 年には Conductus[®]線材を商業的に大量生産し、市場導入するという計画に向けて順調に推進されていると言える。現時点では、今後数ヶ月に亘る同社の線材生産能力は、既に購入注文済みの新しいスマートグリッドのアプリケーション用に割り当てられている。」と述べた。また、同社は、生産能力が高まるにつれ、2014 年の Conductus[®]線材の完全商業化に向けた準備として、電力部門の工業企業とのビジネスを確保したいと考えている。

Source: "Superconductor Technologies Delivers on Conductus[®] 2G HTS Wire Orders"

Superconductor Technologies Inc. press release (July 23, 2013)

URL:

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle_Print&ID=1839874&highlight

Contact: Mike Beaumont, mbeaumont@suptech.com

▶産業応用

TOSHIBA

Leading Innovation >>>

放医研から世界初の超電導磁石回転ガントリー照射シ

テムを受注

Toshiba Corporation (2013 年 8 月 2 日)

株式会社東芝は、独立行政法人放射線医学総合研究所（放医研）から、重粒子線がん治療装置に導入する超電導磁石を搭載した世界初の回転ガントリー照射システムの製作を受注した。このシステムは、現在、放医研が千葉県に建設中の新しい放射線治療室に、2015 年 3 月に設置される。重粒子線治療は、炭素イオンを光の速さの約 70 %まで加速してがん細胞に照射する放射線治療である。この治療法は、陽子線治療と比べて 2～3 倍効率的にがん細胞を殺傷するため、放射線被曝を減少させることができる。また、エネルギーピークの深さが制御できるので、標的部位付近の健康な組織への露出を防止することができる。

同社が請け負っているのは、ビーム輸送系機器、回転ガントリー、そして放射線治療システムに必要なその他機器の提供である。回転ガントリーは、患者を中心に 360 度回転し、患者が自分の位置を変えずに任意の方向から照射することができるため、患者自身のからだへの負担並びに処理時間を軽減することができる。回転ガントリーは現在、陽子線治療装置に使用されているものの、炭素イオンを用いる重粒子線治療装置に必要とされる回転ガントリーは非常に大型となるのが課題である。それゆえ、この既存のガントリーの小型化設計が、装置を実用化する上で必要である。同社は、イオンビームを屈曲させるために超電導磁石を、そしてビームを集束させるために超電導四重極磁石を使用し、はるかに小型化した回転ガントリーを設計することに成功した。これらの磁石は高電流密度を持ち、より小さい半径内でビームを屈曲する高磁場を発生させることができる。電力消費の低減に加え、超電導磁石の使用により、従来の磁石で設計したものとは比べ、その重量 (50 %)

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

とサイズ (25 メートルから 13 メートル) も軽減することができた。

同社はこれまでも、放医研へ重粒子線照射システムを納品しているほか、横浜市の神奈川県立がんセンターからも、粒子加速器を含む重粒子線治療装置を一括受注している。今後も同社は、現在の医療画像診断事業を含めたヘルスケア関連事業に取り組み、潜在的なコアビジネスとして、将来的に促進していくことを計画している。

Source: "Toshiba Selected by Japan's NIRS to Supply World's First Rotating Gantry with Superconducting Magnets for Carbon Ion Radiotherapy"

Toshiba Corporation press release (August 2, 2013)

URL: http://www.toshiba.co.jp/about/press/2013_08/pr0201.htm

<http://www.businesswire.com/news/home/20130801006999/en/Toshiba-Selected-Japans-NIRS-Supply-Worlds-Rotating>

Contact: Atsushi Ido, Corporate Communications Office, Toshiba Corporation

<http://www.toshiba.co.jp/contact/media.htm>

▶加速器



LHC用の新しい超電導Nb₃Snマグネット開発成功

功：高磁場で高性能化

Fermilab (2013 年 7 月 11 日)

米国 LHC 加速器研究プログラム (LARP) では、CERN の大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) の新しいビーム集束系開発において、重要な役割を果たすと言われる強力な超電導四重極マグネットのテストを無事終了させた。他の主要装置の性能向上を図りながら、これから約 10 年間かけてこの新しいビーム集束系が施行される予定であり、LHC が当初の設計許容を 10 倍以上も超える高エネルギー衝突を作り出せるようになる。この新しい四重極の高磁場磁石は、高性能超電導体 (ニオブスズ[Nb₃Sn]) で構成され、高磁場で動作するように設計されている。

ヒッグス粒子の発見により、LHC の主な目標の一つが満たされたものの、その正確な測定法については、超対称性、暗黒物質、また余剰次元などの新たな物理学探究と共に、未だ解明されないままである。現在 LHC で使用されている四重極マグネットの性能は、LHC での大掛かりな物理学プログラムに必要とされるレベルを大きく下回ると予想され、それゆえ、LARP では、LHC 高輝度化プロジェクトの一環として、今後 10 年間で集束マグネットを交換し、CERN のプロジェクトを支援することを主目標の一つとしている。この新しいマグネットには、相互作用点で陽子ビームを集束し、高磁場での動作はもちろん、広範囲な温度領域と強烈な放射線に耐える応力が必要とされる。ニオブチタンでは、これらの要件を満たすことができないため、引張にもろく壊れやすいものの、高磁場動作ができて広範囲な温度領域を持つ Nb₃Sn 線材 (Oxford Superconducting Technology 社が製造) を使って新しいマグネットが作られる。この脆弱な導線は、大きな力によって損傷を受け、クエンチにつながる恐れがあるので、加速器用磁石は、破壊的で損傷を与えそうな出来事に耐えら

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

れるよう設計されなければならない。そのため、LARP では、水加圧された空気袋とインターフェレンスキーを使用して室温でプリテンション加工した厚いアルミニウムシェル基盤の機械的支持構造を導入している。この構造設計(米国エネルギー省の General Accelerator Development プログラムの下、Berkeley 国立研究所が開発)は、伝統的なカラーベースの型締方式と比較され、LARP の長いレーストラック型四重極の形状で長さ 4 m まで拡張される。また、機械的設計法は、全コイルを配置できる能力を取り入れることで更に改良された。

この新しいマグネットは、超流動ヘリウムで動作するように設計されているが、現在の集束マグネットよりビーム口径が大きく (現在の 70 mm に対して 120 mm)、磁場強度は、現在の 8 テラスを超える 12 テラスに到達することができる。さらにこのマグネットは、相互作用点でビームを集束するのに必要とされる正確な磁場パターンの偏差を最小にし、磁場強度が完全に上昇するまでの間、高磁場を維持するよう設計されている。これら多くの要件を満たすため、LARP では、誘導電流を最小化するよう設計されたケーブルを新たに取り入れ、コイル製作、組立、そして磁気励起の全段階で正確な配置を確保した (Berkeley 国立研究所がコイル巻線を、Fermi 研究所が必需部品の設計と調達を実施)。本 HQ02 開発を指揮した Berkeley 研究所の GianLuca Sabbi 氏は、「このマグネットは、設計上、磁場勾配に素早く到達することができ、勾配率効果の感度が低い。このような結果を生み出したのは、全ての共同研究所で尽力する多くの科学者、エンジニア、技術者の専門知識と献身的な努力のおかげである。」と述べた。

Source: "Successful test of new U.S. magnet puts Large Hadron Collider on track for major upgrade"
Fermilab press release (July 11, 2013)

URL: http://www.fnal.gov/pub/presspass/press_releases/2013/LHC-New-Magnets-20130711.html

Media contact: Kurt Riesselmann, Fermilab Office of Communication, media@fnal.gov

Science contact: Eric Prebys, prebys@fnal.gov

[超電導 Web2.1 トップページ](#)

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

「IEC-IEEE 合同超電導エレクトロニクス標準化会合」報告

産業技術総合研究所
計測フロンティア研究部門
研究部門長 大久保 雅隆

IEC/TC90 では、超電導エレクトロニクスの標準化について長年議論してきており、今年 IEC に標準化提案を行う予定となっている。今までの取り組みについては、昨年開催された IWSSD の議事録論文を参照されたい^{1),2)}。IEC 以外の電気関係標準化団体として IEEE があり、昨年、超電導エレクトロニクスに関する標準化について議論をはじめたとの情報があった。IEEE 側の長である CSIRO (オーストラリア) の Cathy Foley 博士と議論を重ね、ISEC2013³⁾直前の 2013 年 7 月 7 日に同じ会場である MIT 横のハイアット リージェンシーで、IEC-IEEE の合同標準化会議を開催することとなった。

合同会議の参加者総数は 18 名であった。IEC 側からの出席は、臨時グループメンバーに加えて IEC と IEEE の両方に参画している Lance Cooley (フェルミラボ) の 4 名であった。IEEE 側からは 11 名で、1 名はインターネットを通じての参加であった。その他に、ドイツの PTB と IPHT から 4 名の参加があった。IEEE 側は、Council on Superconductivity の会長や前会長など、有力なメンバーが参加していた。IEEE 側が検討を開始したのは極最近である。出席者数が多いことは、IEEE 後援国際会議との併設であったこともあるが、その関心の高さを物語っている。IEC の方は、日本国内委員会で検討を開始したのは 2005 年からであるが、超電導センサと検出器に関するワーキンググループ設置に関して検討する臨時グループ(ad-hoc 4 group)の設置が認められたのは、2010 年のシアトル IEC 総会における IEC-TC90 会合である。

合同会合の主な議題は、以下の通りである。

1. IEC-IEEE 協力ガイドラインの紹介 (C. Foley)
2. IEC-TC90 超電導センサ グループの活動報告 (大久保雅隆)
3. SQUID 磁力計の応用と標準 (田中三郎、大久保と C. Foley が代理で報告)
4. ポートランドでの IEEE 会合報告 (C. Foley)
5. 標準化プロセスの手続 (C. Foley、大久保雅隆)
6. 新グループをつくるための IEC NWIP について (議論)

IEC-IEEE 協力ガイドラインは、主に以下の 3 つを示している: 1. 既存 IEEE 標準をそのまま IEC 標準にすることができる、2. 新標準を検討するときには双方で検討し、合意すれば合同 WG を設置できる、3. 標準は IEC-IEEE ダブルロゴを付することができる。SQUID 標準化の報告を行う予定であった田中教授 (豊橋技術科学大学) は、サンフランシスコ空港でのアジアナ航空事故のため乗り継ぎが不可能となり欠席となった。そのため、大久保と C. Foley が発表資料を紹介した。今回の会合の重要な合意事項は以下の通りである。

1. IEC-IEEE ダブルロゴの超電導センサと検出器標準 (超電導エレクトロニクス) 策定のために、合同 WG を提案する。
2. 双方からコンビナーを出す。
3. IEC NWIP に記述するための用語とデバイス試験方法について IEEE 側の要請をまとめて、IEC 側に提出する。

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

4. IEEE は PAR(IEC NWIP に対応)提出を行う。

次回以降の会合については、9 月の EUCAS (IEEE のみ)、ASC2014、オンライン会合の可能性を考えている。

参考文献：

1. M. Ohkubo, "Introduction to IEC Standardization for Superconducting Sensors and Detectors," Prog. Supercond. 14, 106-109 (2012)/
http://ocean.kisti.re.kr/is/mv/showPDF_ocean.jsp?pYear=2012&koi=KISTI1.1003%2FJNL.JAKO201209857785508&sp=106&CN1=JAKO201209857785508&poid=kss1&kojic=CJDHBL&sVnc=v14n2&sFree
2. 大久保雅隆、"標準化情報 8 月のトピックス," 超電導 Web21, 2011 年 9 月 1 日/
http://www.istec.or.jp/web21/pdf/11_09/J6.pdf
3. 大久保雅隆, "International Superconductive Electronics Conference (ISEC2013)報告," 超電導 Web21 本号

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

「International Superconductive Electronics Conference - ISEC2013 (Digital/SQUID 関連)」報告

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所
副所長 田辺圭一

超電導エレクトロニクス応用のみにフォーカスした国際会議として 1987 年に始まり今回 14 回目となる International Superconductive Electronics Conference (ISEC) が、21 カ国から 189 名の参加者を迎え、7 月 7 日－11 日に米国の MIT に隣接する Hyatt Regency Cambridge で開催された。5 件の基調講演、14 件の招待講演を含む発表件数は 174 件で、内訳としては Digital 及び Mixed signal 関連が 44 件、SQUID 関連が 38 件、検出器関連が 32 件と多く、量子情報関連の発表 14 件、マイクロ波関連 11 件、その他が材料、接合、プロセス関連の発表であった。また、SQUID 研究で功績のあった英国 Strathclyde 大の Donaldson 教授の追悼セッションが 10 日に行われた。

Digital 関連では、名大・藤巻教授が基調講演で、JST プロジェクトによる RDP プロセッサの開発や、超低消費電力 SFQ 回路や検出器アレイ読み出し用の SFQ 回路の開発など日本の活動状況を紹介した。超電導デジタル回路は、高速性よりも超低消費電力性に着目した研究開発が主流になってきている。直流電流で駆動する従来の SFQ 回路はバイアス抵抗による電力消費が少なからずあったが、交流電流で駆動し、消費電力を 3,4 桁低減できる RQL (Reciprocal Quantum Logic) や AQFP (Adiabatic Quantum-Flux -Parametron Logic) などの論理回路がそれぞれ米国、日本で提案されており、本会議でもその集積度向上の取り組みが報告された。また、超電導コンピュータ実現に向けての大きな課題の一つである高速大規模メモリに関しては、従来のジョセフソン/CMOS ハイブリッドメモリ、ジョセフソン RAM の改良の報告に加え、磁性体バリアを有するジョセフソン接合の不揮発メモリ応用を目指した取り組みが、米国 Michigan 大、NIST、Hypres 社などのグループから紹介された。

超電導量子ビット (qubit) を用いた量子コンピュータの開発に関しては米国が先行している。本会議では IBM 社が招待講演で電荷 qubit の一種の transmon の構造や材料の改善によりコヒーレンス時間が 100 μ s 程度まで伸び、誤動作確率の低い回路が構成できる見通しについて報告すると共に、カナダの D-Wave 社がスピン系の量子状態のシミュレーション用プロセッサの開発について報告した。D-Wave 社は、その性能は明らかでないが、100 個以上の flux qubit を集積し、SFQ 回路で制御を行うプロトタイプをすでに開発している。

検出器関連では、米国 NIST の Irwin 氏が基調講演で超電導光子検出器の宇宙の起源や構造解明への応用、 γ 線検出によるプルトニウムの同位体解析などセキュリティ応用の最近の進展について紹介した。また、量子効率の大幅な改善など、最近の進展が著しい超電導ナノワイヤ単一光子検出器の医療、セキュリティ分野への応用の取り組みが、英 Glasgow 大の Hadfield 教授より、超電導トンネル接合検出器を利用した質量と電荷量が識別可能な質量分析への応用について産総研の大久保氏より報告された。多チャンネル検出器の読み出し用 SFQ 回路の開発も盛んで、ドイツ KIT や Hypres 社、横国大等から報告があった。

SQUID 応用関連では、フィンランド Aalto 大の Ilmoniemi 教授が、EU プロジェクトにおける脳磁計測 (MEG) と超低周波 (ULF) MRI の複合化を目指した研究について紹介したが、ULF-MRI については高空間分解能化やデータ取得の高速化など多くの課題が残されている。一方、SQUID を利用した磁性ナノ粒子付きバイオマーカーの磁気緩和計測と ULF-MRI の併用により、早期ガン細

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

胞を検出する試みが LANL から報告された。また、ドイツの IPHT グループは、サブミクロンサイズの Nb 接合を用いた超高感度かつ磁場耐性の高い SQUID マグネトメータの開発について報告した。高温 SQUID 関連では、ステップエッジ接合に対し、微細構造の改善や、FIB を利用した接合幅縮小により接合抵抗や $I_c R_n$ 積を向上させる試みが、豪 CSIRO 研や独 Juelich 研から報告された。マルチターン入力コイルをフリップチップ結合させたマグネトメータでは、 $10 \text{ fT/Hz}^{1/2}$ 以下の低い磁場ノイズが Juelich 研と Chalmers 大（スウェーデン）で得られているのが注目された。

次回の ISEC は 2015 年に名古屋で開催される予定である。



ISEC2013 の講演風景（発表は産総研・大久保氏）

[超電導 Web2.1 トップページ](#)

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

「International Superconductive Electronics Conference-ISEC2013 (検出器関連)」 報告

産業技術総合研究所
計測フロンティア研究部門
研究部門長 大久保 雅隆

標記国際会議が、2013 年 7 月 7 日から 11 日までの 5 日間、米国ケンブリッジで開催された。議長は Hypres 社の Oleg Mukhanov で、IEEE Council on Superconductivity の後援となり、IEEE 会員には参加費の優遇があった (IEEE 会員は\$925, 非会員は\$975)。会場は、ケンブリッジにある MIT キャンパス横のハイアットリージェンシーであった。

183 の発表申込があり、拒絶されたのは 5 件であった。発表の内訳は、招待講演が 19 件、口頭が 27 件、ポスターが 126 件であった。取消が 6 件ほどあったかと思われる。参加費が高額であったためか、参加者数は 189 人で通常よりは少ないようであった。

初日最初に、名古屋大学の藤巻教授が「日本における超電導デジタル研究の動向」と題して、プレナリー講演を行った。その他のプレナリーは、K. Irwin「宇宙論とセキュリティーのための超電導検出器」、Risto Ilmoniemi「ハイブリッド脳磁計と MRI」、Richard Harris「SFQ: 電圧のための量子ものさし」、Irfan Siddiqi「超電導量子ビットの制御」であった。分野別の発表数は以下であり、伝統的に SQUID に関する発表が多い。最近、「超電導検出器と読み出し回路」に関する発表が増えている。一例は、超電導をナノ構造にして光子の高速検出を行う超電導ストリップ検出器 (Superconducting Strip Detector) であり、検出器の専門会議である LTD-15 (2013 年パサデナ開催) より、ISEC での報告の方が多いと思われる。このタイプの超電導検出器の名称は混乱が見られ、様々な名称で呼ばれており、ルール作りが必要である。光子検出の場合には、Superconducting Strip Photon Detector (SSPD) とする案がある (IEC-TC90 の臨時グループにて検討している)。SSPD は、動作温度が 4 K と高いため、0.3 K 以下で動作する他の LTD と比べて実験が容易であり、応用も通信分野であり研究人口が増えている。

分野別発表数

digital circuits.....	27
memory	7
mixed signal circuits & systems	8
quantum information	15
RF & microwaves	11
SQUID	41
superconducting detectors and readout ...	32
spintronics	6
novel devices	15
materials & fabrication	10

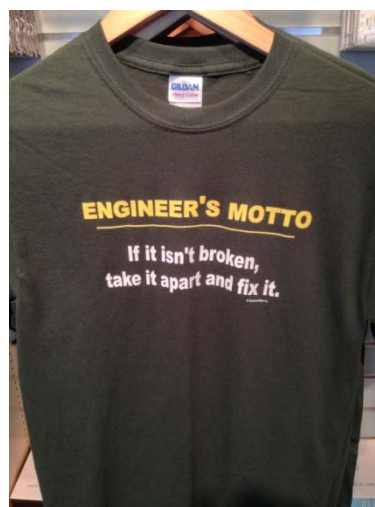
私は、2 年前に国際諮問委員の要請を受け、ISEC に係わらせて頂くようになった。今回、招待講演の機会を与えられ、「イオン電荷敏感質量分析のための超電導トンネル接合検出器」について報告した。ISEC は LTD よりエレクトロニクス分野であり、かつ電気標準についても関心が高い。会

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

議の直前に IEC-IEEE の合同標準化会議を、IEC 側として私、IEEE 側として CSIRO の Cathy Foley が共同で主催した（別途報告）。次回 ISEC は名古屋、次々回はナポリで開催予定である。

写真は、会場横の MIT キャンパスの写真である。風変わりなビルが多くある。デザインの好みは分かれそうである。もう一つの写真は、技術者集団である MIT のモットーである（MIT 博物館）。"If it isn't broken, take it apart and fix it."とあり、"isn't"なのがモットーというより技術者のさがであろうか。



[超電導 Web2.1 トップページ](#)

【隔月連載記事】

風力熱蓄積発電（その 5） - 「風力熱蓄積発電のコスト計算」

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター
普及啓発／国際部長 岡崎 徹

1. はじめに

不安定な風力など再生可能エネルギーを大量導入しても電力系統の安定性は保たねばならない。近年はこの観点から風力導入に関する議論が盛んになっているが、経済性を無視しては進められない。今回は両方の観点から従来型風力、電池付き風力、風力熱蓄積発電について検討した結果を紹介する。

2. 経済性検討のための前提条件

2.1 風力発電の系統導入に関する実態

風力のコスト要因を述べる前に現状を明らかにする。不安定な風力発電を系統に大量導入する場合の先行例を海外の公的機関の統計データ、という確実なデータを元にして電気学会にて報告し、Web21 の 3 月号でも紹介した。一部再掲するとデンマークでは風力発電が必要電力量の 20 % を賄うと言われる。しかし火力発電所は減るどころか 20 % も増強している¹⁾。一方この期間における電力需要はほとんど変わっていない。同様にスペインは 10 年間に 25 GW の風力発電を導入したが同時に 25GW の新鋭火力を稼働させた²⁾。この期間に電力需要は 35 % 増加したが、この伸びは火力の増設分と同じで、再エネも含めた全発電設備は 70 % 増加した。

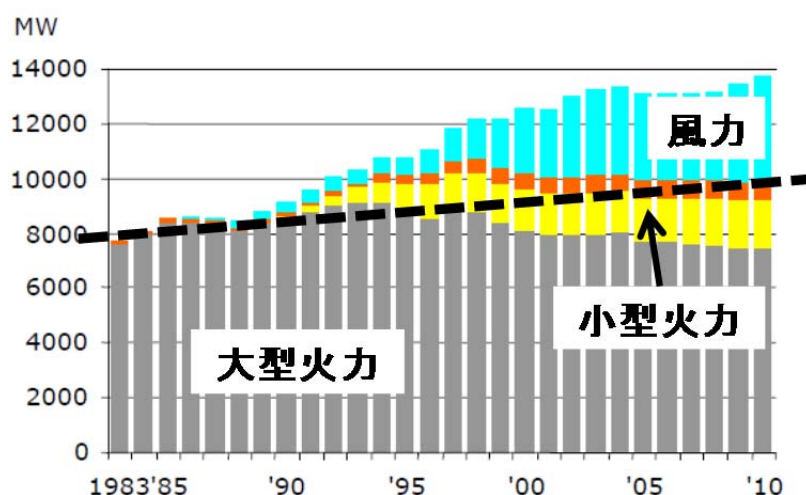


図 1 デンマークの発電設備推移¹⁾。この間に電力消費量はほとんど増加していない。

2.2 従来型風力の系統導入コスト要因

以上の様に風力を大量導入するためには火力の増強が必要である。風力がほとんどの電力需要を賄っている時間もあるが、ほぼゼロになり既存発電設備で全ての電力需要を賄っている時間もある。

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

急には起動できない火力など既存発電設備は常に待機し、火力の設備償却は進み化石燃料も消費し発電コストに追加される。また頻繁な起動/停止/待機運転は燃費の悪化を招く。さらに広域での発電量平準化を狙い系統の強化も必要になる。よって風力発電のコストは次も考慮に入れるべきである。

- (1) 火力発電の設備償却 (風力の稼働中)
- (2) 火力発電の燃費悪化 (8 %程度、Hoogwijk M らの報告³⁾)
- (3) 系統強化 (風力発電コストの 6 %程度、DENA⁴⁾)
- (4) 発電停止 (20～30 %、Hoogwijk M ら³⁾)

この内(4) の発電停止については、全国的に風況が良く、需要が少ない場合には電力を『出荷できない』ためである。深夜に強風が吹いても需要が無ければ捨てざるを得ない。この発電停止は 20～30 %程度となると推定されている^{3),5)}。火力不規則運転に伴う保守費の増加については情報が得られなかった。また短時間変動に対して SVC (Static Var Compensator) 等が必要になる場合もあるが、その程度は不明であった。これら不明点は経済性検討に算入しなかった。

風力発電本体については、基本データは施工実績が多く公開資料も得やすい欧州の資料を元にし、故障停止時間が短く投資回収の見通しが付けやすいダイレクトドライブ型を想定した。土地代は考慮していないが輸送・建設費は含まれている。

2.3 風力+電池導入の場合のコスト要因

前記の様に風力発電所だけでは火力発電所を減らすことは出来ず、ある意味で二酸化炭素削減には逆行する部分もある。これに対して電池設備を導入し、風力発電の出口で安定化して火力増設などを不要とする案がある。電池には将来的に革新的な低コスト化の期待があるので、実勢コストより安い 4 万円/kWh を仮定した。システムのには風力に電池とインバータなどを装備する電池盤を併設するだけの至極シンプルな構成になる。

2.4 風力熱蓄積発電のコスト要因

このシステムではタワー頂部に発電機ではなく発熱機を設置する。Web21 の 1 月号「発熱機」でも述べたように発熱機は単なる電磁ブレーキで、誘導モータ構造を流用しても発電機より使用材料が数分の 1 と少なくなる。一方で保温や放熱構造が必要となるため発電機比 1/2 のコストになるとした。軽量化に伴う建設費・輸送費削減も期待出来るが今回は考慮していない。熱蓄積に関しては電池に比べて 1/20 の 2 千円/kWh とした⁶⁾。蒸気タービン発電コストには一般的な数値を採用した。この中にはボイラ、排煙処理など風力熱蓄積発電では不要なコストも含まれているが、これらは熱媒循環システムと等価とした。タービン効率については海外社の熱媒油循環式太陽熱発電所 (運転温度 370°C) の 38 %を参考に決定した。従来型風力、電池付き風力も含めて用いた数値のまとめを表 1 に示す。表中、kW-t は熱の状態であることを示す。

表 1 試算に用いた数値

	Component	Cost	Efficiency
	Tower / Blade	90M¥/2 MW	-
Wind	Electric Generator - 15rpm	40M¥/2 MW	93%
	AC/DC, DC/AC	20k¥/kW	95%
	Battery	40k¥/kWh	83%
WHP	Heat Generator	20M¥/2 MW	96%
	Thermal Storage	2k¥/kWh-t	93%
	Steam Turbine	100k¥/kW	38%
	Electric Generator - 3600rpm		96%

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

2.5 風入力の変定

風況と需要は一致せず、また地域・季節によっても異なる。そのため安定化出力に必要な蓄電量、あるいは蓄熱量の算出は難しい。そこで 1 日の内 30 % 時間だけ定格発電を行い、残りの時間は全く稼働しない状況で系統に 24 時間一定出力する、という条件を設定した。火力併設の場合と風力熱蓄積発電のエネルギー流れと計算式を図 2 に示す。電池付き風力の場合は風力熱蓄積発電と若干異なる計算式となる。

重要な点は、それぞれのエネルギー変換の際の効率に加えて設備コストを考慮し、最終的なエネルギーコスト (¥/kWh) を計算した点である。いかに効率が良い装置であっても高価な設備であれば意味が無い。

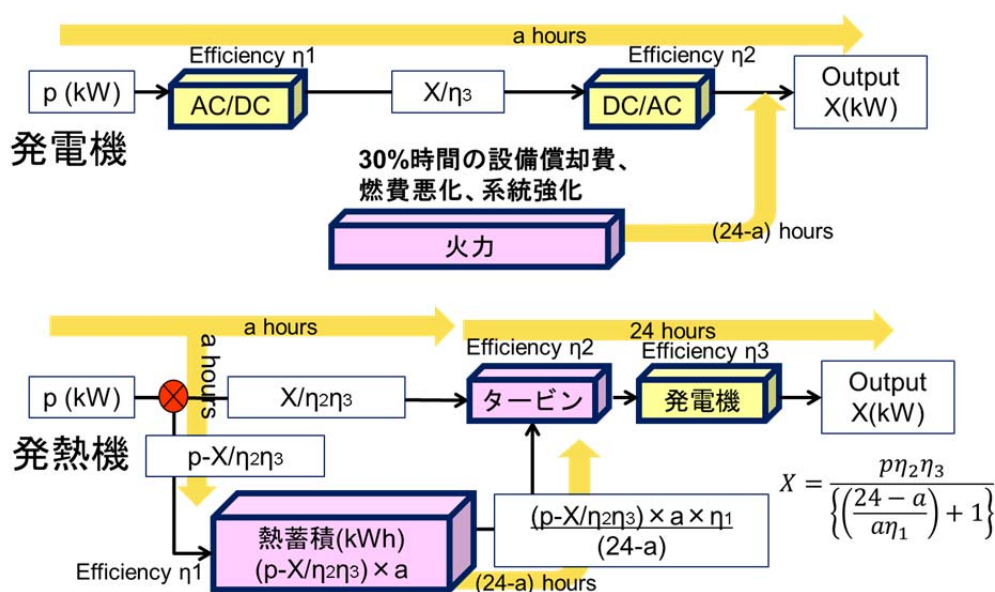


図 2 エネルギーの流れ。設備コストも考慮して発電コストを計算

3. 発電コスト計算結果

計算結果を図 3 に示す。左端の風力発電基本データは円高の際に換算したので日本の通念よりかなり安い発電コストになっている。ただそれでも中国の実勢コストより高い⁷⁾。

この風力発電コストに潜在コスト (Hidden Cost) を加えると、ほぼ元の発電コストの倍になる。米国 NPO でも同様な結果の試算を行っている⁸⁾。右端の風力熱蓄積発電コストと比べると同等で有るが、さらに二酸化炭素税や将来の燃料調達リスクを加えると風力熱蓄積発電の方が安価なエネルギー源となる。さらに風力熱蓄積発電は種々の最適化余地が有る。必要エネルギー蓄積時間が倍になったとしても熱蓄積コストが小さいため総コストに影響が少ない。

電池付きシステムは 3 つの中で最も高価なエネルギーコストになった。電池コストが政府のグリーン成長戦略での目標値 23,000 円/kWh となると、奇しくも風力や風力熱蓄積発電の発電コストと同等になるが、さらなる長時間蓄積には難がありそうである。電池の大量導入を行うにはこの目標値を達成できるかどうかの一つの指標であろう。ただし電池には瞬発力があるため、kWh が要求される使用目的でなく、kW が要求される瞬時電力系統安定性 (アンシラリーサービス) などの目的にも期待される。

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

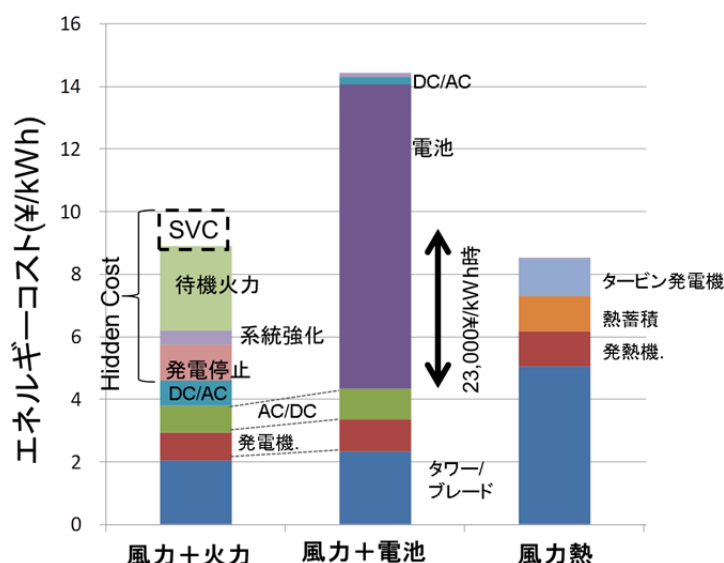


図3 安定電力供給する際の発電コスト

4. 風力発電にヒータを組み合わせたシステムとの比較

4.1 ヒータ式との差異

以上の様に風力熱蓄積発電は安い熱蓄積を利用することで安定発電を経済的に実現できる。熱蓄積を採用するアイデアは近年増加してきており、例えば発電機とヒータ・熱蓄積を組み合わせた国際特許が ABB 社から出願されている⁹⁾。他にも東芝社は太陽熱発電と組み合わせた開発案件（7 億円弱）を淡路島で進めており¹⁰⁾、アップル社はデータセンター向けに特許出願をしている¹¹⁾。ここでは ABB 社のヒータ式との差異を検討した。

ヒータ式のエネルギーの流れは図 4 の上、風力熱蓄積発電は図 4 の下の様になる。配管・断熱コストが 52 千円/kW 以下であればヒータ式風力発電より風力熱蓄積発電の方が有利になることがわかる。参考までに 200 kW のヒータでは図 5 の様な物が市販されている¹²⁾。

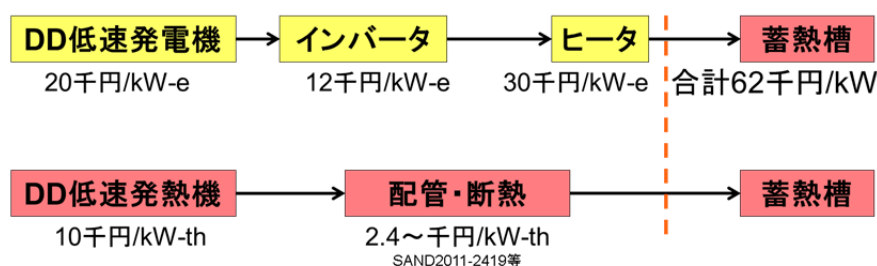


図4 ヒータ式（上段）と風力熱蓄積発電（下段）のエネルギー流れ（DD はダイレクトドライブを表す）

次にこの配管・断熱・循環系のコストを推定した。タワー型太陽熱発電所の解析例では 470 MW（熱）級にて 2.4 千円/kW⁶⁾である。一方風力はタワーあたり最大でも 5 MW 程度であるのでこの数

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

値はそのまま引用できない。熱機械の経験則として同じ構成であれば容量に対して設備コストは 0.6 乗～0.7 乗、単位出力では-0.4 乗～-0.3 乗で変化する。これをグラフ化すると図 6 の様になる。

風力タワーあたり 1 MW より大きくなると風力熱蓄積発電が有利になる。太陽熱発電との組み合わせや火力のプレヒート、再加熱に用いる等を考えると風力熱蓄積発電の方がもっと小さなレベルでも有利になる可能性はある。一方、ヒータ式は発電部と発熱部の距離を大きく取りやすいので様々な状況にも対応できる。



図 5 200 kW ヒータの例

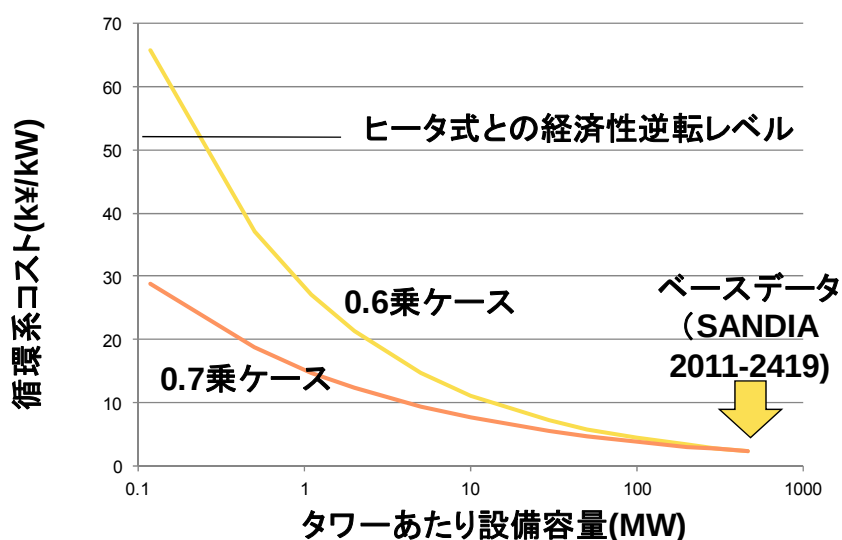


図 6 風力熱蓄積発電の循環系コスト推定

4.2 風力発熱発電

風力熱蓄積発電ではエネルギーを熱に変換するため、効率が良くないという欠点がある（が設備コストは安い）。しかし発熱機に誘導発電機を採用すると、ベクトル制御により発熱機にも発電機にも無段階で調整できるため電力も取り出せる（図 7）。ただし従来の誘導発電機の構造を維持する必要があり単純構造化できず、双方向インバータも必要となる。発電機のジュール損は熱エネルギーとして回収できるため高電流密度化による小型軽量化は可能である。設備費増と売電収入増とのバランスを検討する必要がある。

超電導 Web2.1

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

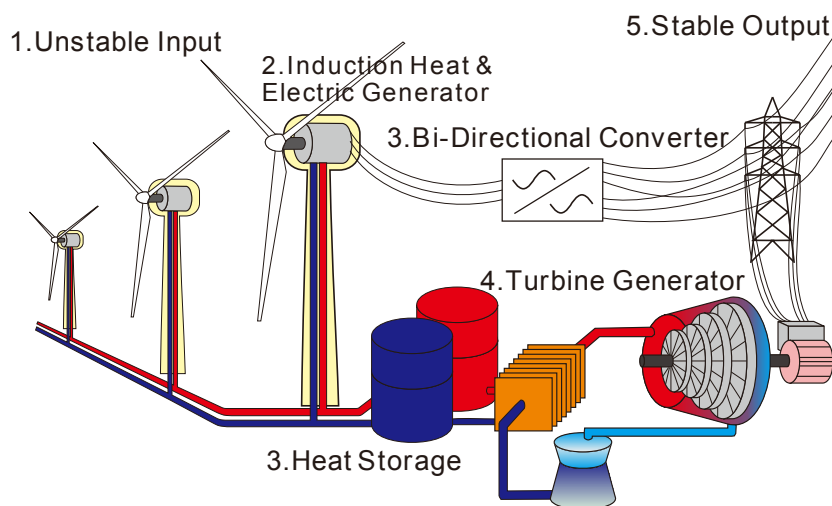


図 7 誘導発電機を制御により発熱/発電の両方に使うシステム

参考文献：

- (1) <http://www.ens.dk/en>
- (2) http://www.ree.es/ingles/sistema_electrico/series_estadisticas.asp
- (3) Hoogwijk M, Detlef Vuuren, Bert Vries. Wim Turkenburg: “Exploring the impact on cost and electricity production of high penetration levels of intermittent electricity in OECD Europe and the USA, results for wind energy.”, Energy (2006-9)
- (4) dena: “dena Grid Study II – Integration of Renewable Energy Sources in the German Power Supply System from 2015–2020 with an Outlook to 2025”, German Energy Agency (2011-4)
- (5) Lisa Göransson and Filip Johnsson: “Large Scale Integration of Wind Power in Thermal Power Systems”, Wind Power, ISBN 978-953-7619-81-7, pp.479-498 (2010-6)
- <http://www.ishihara-heater.com>
- (6) SANDIA REPORT “SAND2011-2419”, Printed April 2011
- (7) <http://time-az.com/main/detail/34635>
- (8) <http://www.atinstitute.org/wp-content/uploads/2012/12/Hidden-Cost.pdf>
- (9) ABB 社国際出願 EP1 577 548 A1, 2007
- (10) US2012/0326445 A1, Dec.27, 2012
- (11) http://www.toshiba.co.jp/about/press/2012_09/pr_j1102.htm
- (12) <http://www.ishihara-heater.com>

超電導 Web2.1 トップページ

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

読者の広場

Q&A

Q:「日経産業新聞に昭和電線ケーブル、高磁場でも超電導、線材を開発とありましたがどんな所が新しいのでしょうか？」

A: これまで、昭和電線ケーブルシステム株式会社（以下 昭和電線）と公益財団法人国際超電導産業技術研究センター（以下 ISTECC）は、低コストイットリウム系超電導線材の実用化を目指し、特性向上ならびに、長尺化プロセスを共同で開発してまいりました。

しかし、この線材の機器応用を考えた場合、高磁場中での特性をさらに向上させる必要がありました。その手段として、イットリウム系超電導線材においても、ニオブチタン線材に採用されているように、超電導体にピンニングセンター^{*}を人工的に導入し、磁場中における特性劣化を抑える方法を採用いたしました。

今回開発を行ったイットリウム系超電導線材は、ナノ粒子（ BaZrO_3 ：バリウムジルコニウム酸化物）を超電導体内に微細に分散させることにより、ピンニングセンターとしたもので、2009 年に ISTECC により開発された技術であります。昭和電線は、その技術の移管を受け、独自の量産方式である、電熱バッチ式一括熱処理プロセスに改良を加え、今回の成果を得るに至りました。今回の「ナノ粒子分散型人工ピンニングセンター」導入技術を用い、高磁場中での臨界電流特性が大幅に改善された長尺線材を開発した点が新しいところとなります。

図 1 に示しましたように、イットリウム系超電導体（層）の中にナノレベルの非超電導物質を微細分散させて磁場中の特性劣化を防ぐ技術で、原料溶液にナノ粒子のもととなる元素（ジルコニウム塩）を混合し、熱処理により BaZrO_3 粒子を超電導体内に均一分散させるものです。これまで、長尺線材において実現することは非常に難しいとされてきました。今回の成果は溶液塗布熱分解法によるイットリウム系超電導線材において、世界で初めて長尺線材への人工ピンニングセンターの導入に成功し、高特性を有するイットリウム系超電導線材の開発に成功したものです。臨界電流密度は、液体窒素中、3 テスラ（30,000 ガウス）下において、 $200,000 \text{ A/cm}^2$ でした。その時の臨界電流値は線材 1 cm 幅あたり 50 A を超え、溶液塗布熱分解法で作製した長尺線材（130 m 長）としては世界最高値となりました。また、異方性についても改善され、磁場の印加角度による特性の劣化について改善されました。

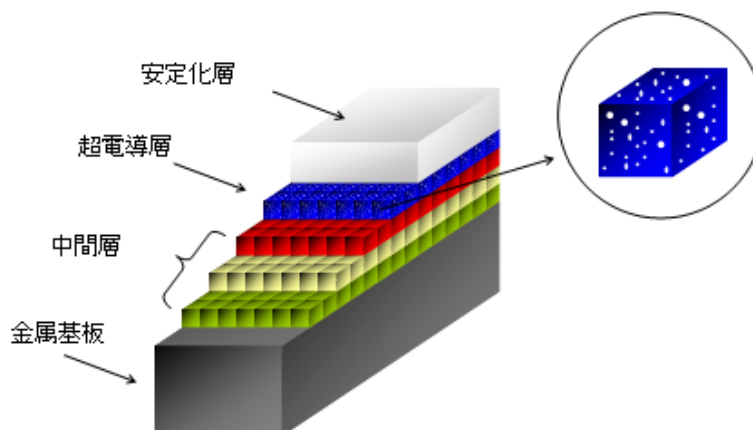


図 1 人工ピンニングセンター導入型イットリウム系超電導線材の構造図

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

今回の成果により、高磁場中で運転される機器（超電導変圧器、MRI、NMR、リニアモーターカー、産業用汎用モータなど）への応用に可能性を広げることができました。さらに詳しい内容につきましては、「http://www.swcc.co.jp/news/pdf/130619_PRESS_RELEASE.pdf」を御覧ください。

回答者：昭和電線ケーブルシステム株式会社 技術開発センター
超電導線材開発グループ グループ長 小泉 勉 様

*編集部注：正確ではありませんが理解のために。

高磁場になると超電導体に磁束が侵入します。この時電流を流すと、磁束にローレンツ力が働き、磁束が動く事で発熱して、暖まる事で超電導電流を流せなくなります。磁束ピン止め点（ピンニングセンター）を導入すれば磁束が動かなくなり 高磁場中 においても超電導電流が流せます。

[超電導 Web21 トップページ](#)