

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

掲載内容 (サマリー) :

- 世界の動き
- 電気学会全国大会シンポジウム「高温超電導マグネットの実用化に向けて」
- 隔月連載記事「鉄道と超電導 (その3)」6月号にて掲載予定
- 研究室紹介 九州大学 大学院システム情報科学研究院 電気システム工学部門 エネルギー応用システム工学講座 岩熊研究室
- 読者の広場「光でオンオフする超電導トランジスタが出来たそうですが、従来のコンピュータより早く・低消費電力になるのでしょうか？」

[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 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

世界の動き

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



★News sources and related areas in this issue

▶電力応用

限流器で独占契約

Nexans社 (2015年3月12日)

Nexans社、そしてドイツRWE社およびRWE子会社Netzservice社は、超電導電力機器に関するシステム概念をドイツやその他国々で売り出すことで、電力需要の伸びに比べられるよう、費用効果が高く、革新的なソリューションを独占的に販売する契約を締結した。Nexans社とRWE社が交わしたこの契約は、ドイツ経済エネルギー省が資金供給する“AmpaCity”という共通プロジェクトの下で遂行されている。このシステムにより、大規模な高電圧変電所が都心から退去し、よりコンパクトな中電圧システムに置き換えられるため、余分な土地は他の都市開発に有効利用できる。

Nexans社超電導技術部門リーダーである Frank Schmidt氏は、「都市部では土地の資産価値が高いのに加え、エネルギー需要は今後も増加し続ける中、電力輸送の省スペース化、大容量化への移行が避けられない状況である。」と言及している。過去15年以上もの間、Nexans社は関連技術の

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

開発を進め、産業化に取り組んできたため、培われた技術的知識を有効活用し、超電導システム全般の最適化に向けた顧客プロジェクトの進展を目指す。

Netzservice社の社長Klaus Engelbertz氏は、「我々は、超電導システムの概念について、日常使用における実用性と適合性を証明できる革新的技術であるということをこれまで実証してきた。経済的観点から見ても、従来の電力システムの拡張に対して、超電導は真の代替手段であることは明らかである。RWE社とNexans社は、豊かな専門知識と経験を共有することで顧客に適切なソリューションポートフォリオを提供していく。顧客各々の要求に合った事業化可能性調査をはじめ、超電導システム全般に至るまで、顧客が必要とするものは計り知れない。」と述べている。

Source: "RWE and Nexans form exclusive joint agreement to promote the superconductor system concept to supply more energy to densely populated urban areas" (12 March, 2015)

Press Release

http://www.nexans.de/eservice/Germany-en/navigatepub_148782_-34273/RWE_and_Nexans_form_exclusive_joint_agreement.html

Contact: Jutta van Bühl, jutta.van_Buehl@nexans.com

続報：限流器ドイツ電力と系統試験

Siemens (2015年1月31日)

シーメンス社は、地方電力公社Stadwerke Augsburg社の中電圧電力網に、単体の三相抵抗型超電導限流器(SFCL)を初めて設置する予定である。ASSiSTと呼ばれるこのプロジェクトは、ドイツ政府の革新的エネルギー技術およびエネルギー効率(BayINVENT)プログラムの下、バイエルン州経済・メディア・エネルギー・技術省から支援を受けて行われている。

定格電流817Aを有するこの超電導限流器には、AMSC社の2G HTSテープ線材が組み込まれ、Stadwerke Augsburg社電力系統と事業会社との接続を実現させる。そして最大給電15 MWtものエネルギー負荷が、事業会社のグリッドからStadwerke社のグリッドに送り込まれる。開発作業並びに設置は、2015年秋までに完成する予定であり、シーメンス社は、このプロジェクトが正式に終了した後、恒久的な設備として利用されることを目標としている。

通常操作において、短絡を処理する業界標準方式であるSCLRを使用することで、世界中の電力損失は最大1,100 MWtにも上る。シーメンス社は、冷却に必要なエネルギーを考慮しても、超電導限流器を使用することで、これら損失を50 %以上抑えることができるという。

Source: "Siemens to Install SFCL in Augsburg Grid"

Superconductor Week (31 January, 2015)

豪州でも低コスト風力 (MgB₂)

University of Wollongong (2014年12月31日)

ウーロンゴン大学(UOW)の研究グループは、Hyper Tech Research社と共同で、直接駆動発電機にMgB₂コイルを使用した沖合洋上風力発電の開発を行っている。この新型タービンは、ギアボックス

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

の必要性は排除され、提案されてきた他の超電導モデルの約3分の1の費用で建設でき、一層の高効率運用が期待される。この超電導技術では、発電機のサイズと重量を40%まで低減できると考えられる。

このプロジェクトは、10 MW級超電導沖合風力タービンシステム(タワー、発電機、タービン翼、およびパワーエレクトロニクス)をAU1500万ドル(1240万ドル)未満で建設することを目的とし、Discovery Early Career Researcher Award (DECRA)プログラムの下、オーストラリア研究会議が資金提供している。

UOW超電導電子材料工学科主幹研究員であるShahriar Hossain氏は、「Hyper Tech社は長年のパートナーであり、我々と好意的に共同研究が進められている。また我々は、韓国基礎科学支援研究院(KBSI)および韓国産業界とも交渉を重ねている。もし政府と産業から支援を受けて事業を進められるなら、5年以内に装置をインストールすることが可能となる。」と述べている。また同氏は、「MgB₂コイルを使用すれば、今後見込まれるメートル当たりAU1~2ドル(0.80~1.6ドル)という製造費は、HTSコイルを使用したときのメートル当たりAU20~25ドル(16~20ドル)とは比べ物にならない。Nb系低温超電導体は候補として良いオプションかもしれないが、価格が高騰している液体ヘリウムなしでは操作することができない」と付け加えた。

UOW研究チームは、発電機を各々AU300万~500万ドル(250万~410万ドル)で販売する計画を立てている。直接駆動方式10 MW級発電機の回転子コイルに必要な超電導線材はおよそ50~200 kmで、線材もしくはテープ線材のサイズ、そして線材のI_c特性によってその長さは異なる。YBCO線材を用いて200 km級導体を試作する時の要件から推定すると、製造費はAU400万~500万ドル(320万~410万ドル)にも上る。Hyper Tech社は、同じ200 kmの長さでMgB₂超電導線材を使用した場合は、その製造費は5年以内で約AU20万~40万ドル(16.4万~32.8万ドル)になると推定する。

Source: "UOW Designing Inexpensive MgB₂ Wind Turbine"
Superconductor Week (31 December, 2014)

▶基礎

発現機構 超電導高磁場を使う

Los Alamos National Laboratory (2015年3月26日)

ロスアラモス国立研究所を拠点とする研究者たちは、90 Tを超える高磁界にドーブ型銅酸化物高温超電導体をさらし、超電導転移温度の修正を図る研究を行っている。これらの物質における高温超電導の発現機構が未解明の状態が続いており、量子揺らぎによって電子間相互作用が強まる量子臨界点で、高温超電導現象が起こるといふ知見を得ることを目指す。

プロジェクトの主任研究員であるBrad Ramshaw氏は、ロスアラモス国立強磁場研究所 (NHMFL) パルス強磁場施設にある世界最高磁場を使用し、「超電導において新しい理論を打ち立てる」ことを目的に研究を続けている。イットリウム・バリウム系銅酸化物(YBa₂Cu₃O_{6+x})のような高温超電導体は、BCS理論では説明できない。そこで、同研究者たちはYBa₂Cu₃O_{6+x}を最適にドーブすることにより、

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

電子が相関し合って動き回ることを発見した。「これは、物質が最適な超電導体である状態では、電子が非常に強く相互作用していることを意味する。」とRamshaw氏は言う。量子臨界点での証明には至っていないが、もし証明されれば、これは超電導のクーパー対形成機構を解明する重要なマイルストーンを達成することになる。同研究チームは、90 Tを超える高磁場の下、ホールドーピングを変化させた時の磁気量子振動を測定し、最高温度に非常に近い転移温度 $T_c \sim 94$ Kでの量子振動の測定に成功した。研究成果では、最適ドープ領域において有効質量が増強されている事が確認され、これは、電子相関の増強と潜在的には量子臨界点の表れと考えられる。同氏は、電荷秩序に起源がある可能性が高いものの、この点での対称性の破れをもたらす原因はまだ突き止められていないとコメントしている。

**Source: "Using magnetic fields to understand high-temperature superconductivity"
(26 March, 2015) Press Release**

<http://www.lanl.gov/discover/news-release-archive/2015/March/03.26-high-temperature-superconductivity.php>

Contact: Nancy Ambrosiano, nwa@lanl.gov

▶経営・決算

STI社決算 顧客数31件に

Superconductor Technologies社 (2015年3月11日)

Superconductor Technologies社 (STI社) は、2014年12月31日締め第4四半期および通年の業績を報告した。STI社社長兼最高経営責任者であるJeff Quiram氏は、「2014年度は、線材性能、顧客開発、そして大容量製造設備の展開において、重要な節目を迎えた年であった。これら重要な成果によって、当社は、顧客と締結した商業契約を無事に遂行していく上で必要となる顧客認証登録を履行し、今後数ヶ月間にわたって商業規模のConductus®線材を製造できる体制が整えられた。」と述べた。

同社の2014年度第4四半期の純収益は、同年度第3四半期の8.6万ドル、また2013年度第4四半期の15万ドルに比べ、8.2万ドルとなった。これら全期間の収益は、主にレガシーワイヤレス製品からの貢献である。2014年度第4四半期の純損失は、同年度第3四半期の240万ドル、2013年度第4四半期の390万ドルに比べ、280万ドルとなった。また、2014年度総純収益は、2013年度の170万ドルに対し、63.2万ドルとなり、総純損失は、2013年度の1220万ドルに対し、830万ドルとなった。現金及び現金同等物の残高は、2014年12月31日時点で120万ドルであった。

第4四半期中、同社は顧客9件にConductus線材を出荷している(新規顧客4件、既存顧客5件)。そのうち6件は線材特性および性能をテストするステージ1評価の顧客で、3件は商用展開用模擬装置をさらに厳密にテストするステージ2の顧客である。ライブテスト環境でConductus線材の大量使用を目標とする超電導ハイパワー送電ケーブルの実証プロジェクトの一環として、同社は、2015年3月初めに電流密度500 Aを有するConductus線材を出荷することに成功した。グローバル電気機器メーカーは、電力会社に超電導限流器(SFCL)を販売し始めている。パイロット生産から本格生産へ移行することで、同社は、価格、性能、そして供給・可用性と言ったHTS線材市場が今日直面する課題に対処することができる。また、2014年にかけて同社の顧客数は15から31に倍増し、顧客基盤の拡大に成功してい

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

る。

Source: "STI Reports 2014 Fourth Quarter and Year-End Results"

(11 March, 2015) Press Release

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=2024521>

Contact: Cathy Mattison or Kirsten Chapman, invest@suptech.com

[超電導 Web21 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

電気学会全国大会シンポジウム『高温超電導マグネットの実用化に向けて』

電気学会超電導機器技術委員会
山本俊二 (三菱電機)

平成 27 年電気学会全国大会シンポジウムが、2015 年 3 月 24 日、13:00-17:00、東京都市大学で開催された。

主催は、電気学会超電導機器技術委員会 (山本俊二委員長:三菱電機)、協賛は、低温工学・超電導学会 (佐藤謙一会長:住友電工)。

電気学会超電導機器技術委員会では、超電導技術の実用化に向けた世界の動きをウォッチ、技術委員会内に調査専門委員会を複数個設置し、様々な観点で、超電導技術の進展を調査している。また、技術委員会としても、超電導技術の実用化について今後の動向を議論すると共に、委員会として社会にどのようなことを発信すべきかにつき、様々に議論している。例年、その活動を、シンポジウムとして公開しており、今回もその一環として実施したものである。

高温超電導の実用化については、従来の超電導機器よりも、高い温度で運転できることから、その扱いの容易さや経済性に関心が集まっており、実用化への期待が高い。既に、一部、超電導ケーブルやパワーリードは実用化されており、マグネット全般への広がりが期待されている。このような状況下で、今回、『高温超電導マグネットの実用化に向けて』と題したシンポジウムを開催し、関心ある関係者との議論の場を提供させていただいた。

講演は、「基礎全般」「国内大型 PJ」「実用化の世界の動向」という 3 つの大枠から構成。高温超電導マグネット開発、および高温超電導線材開発の両者につき、現状、課題、今後の方向につきまず講演。続いて、国内の多くの機関が関与している高温超電導プロジェクトについて、機器開発の最新状況を報告。最後に超電導機器の実用化という観点から、海外の超大型プロジェクトの今後の方向性、超電導実用化の観点で考えなければならない視点について報告した。

講演は、①「高温超電導マグネットの現状と課題、および今後の動向 (基調講演)」(理化学研究所:前田秀明)、②「高温超電導線材の現状と課題、および今後の展望」(熊倉浩明:物質・材料研究機構)、③「医療用超電導マグネットの現状と今後の展望」(横山彰一:三菱電機)、④「高磁場 MRI 用高温超電導マグネットの開発」(戸坂泰造:東芝)、⑤「欧州における超大型加速器計画 FCC の進展」(荻津透:高エネルギー加速器研究機構)、⑥「中国など海外における超電導マグネットの商用化の拡大」(西嶋茂宏:大阪大学) から構成。座長は、①前半、石山敦士:早稲田大学、②後半、山本俊二:三菱電機、として進めた。

高温超電導マグネット化に対する技術の進展と課題、主な高温超電導線材の開発動向、これをうけての、国家プロジェクトの進展具合、更には超大型加速器の世界では必須となっている超電導技術、汎用機器への超電導技術の発展性など、基礎から応用まで、一部金属超電導技術も含めながら、幅広い報告を行い、60 名の参加者各位から、多くの議論が行われた。

[超電導 Web21 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

研究室紹介

「九州大学 大学院システム情報科学研究院 電気システム工学部門 エネルギー応用システム工学講座 岩熊研究室」

九州大学 大学院システム情報科学研究院 電気システム工学部門
教授 岩熊成卓

(九州大学 超伝導システム科学研究センター 機器工学部門 併任)

研究室メンバー (2015年4月現在)

岩熊成卓教授 (筆者)、吉田幸市技術職員、秘書 1 名、学生：社会人博士課程 2 名、博士後期課程 1 名、博士前期課程 7 名、卒論生 3 名が在籍しています。

我々の研究室は、わかりやすく言うと旧電気工学科の電気機器講座に相当し、同時に超伝導センターの超伝導機器講座を担っています。筆者は電子工学科電子物性講座の出身ですが、30年にわたる変遷の末、今に至っています。研究室では、主に、酸化物超伝導線材・導体の電磁特性、特に磁化・交流損失特性の評価・解明と低交流損失化、さらにこれらの超伝導機器・システムへの応用研究を行っています。

線材特性評価では、図 1 に示すような鞍型ピックアップコイルについて、2年がかりでその最適形状を探索し、試料となる超伝導線材をピックアップコイル中心部に挿入すれば、試料線材の形状、積層枚数、磁界印加角度、温度に依存せず、磁化・交流損失の絶対値が観測可能になっています。これを用いて、線材の実使用環境（温度、磁界振幅・印加角度）を模擬して、種々の超伝導線材の磁化・交流損失特性を定量的に評価し、機器開発に活用しています。代表的測定例を図 2、図 3 に示しています。図 2 に示す磁化曲線からは I_c - B 特性も算出できます。

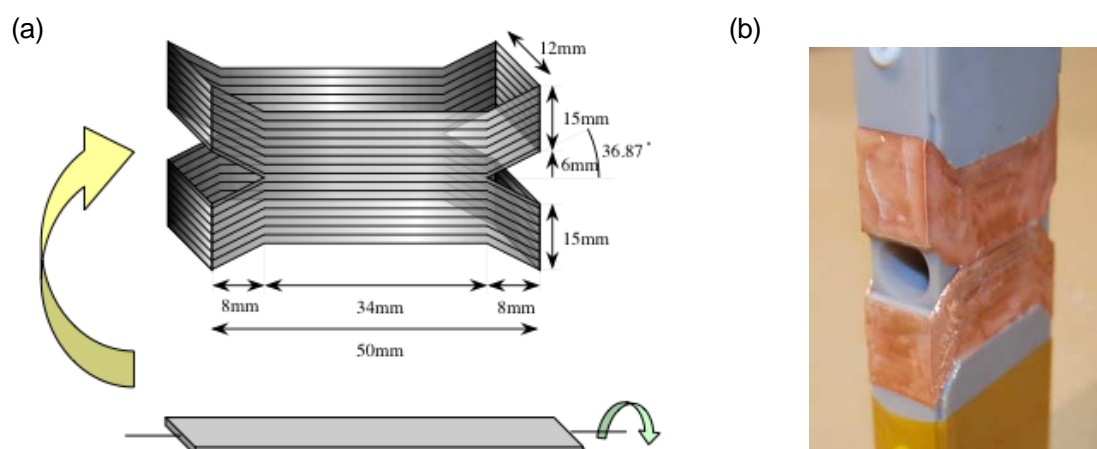


図 1 鞍型ピックアップコイルの(a)鳥瞰図と(b)写真

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

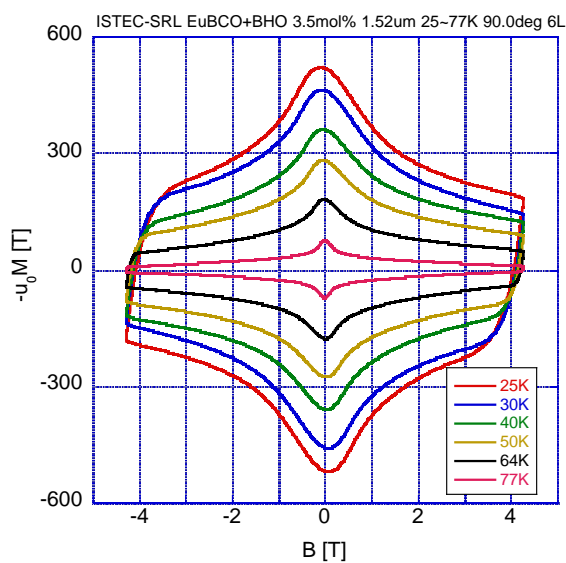


図2 EuBCO 線材の磁化曲線

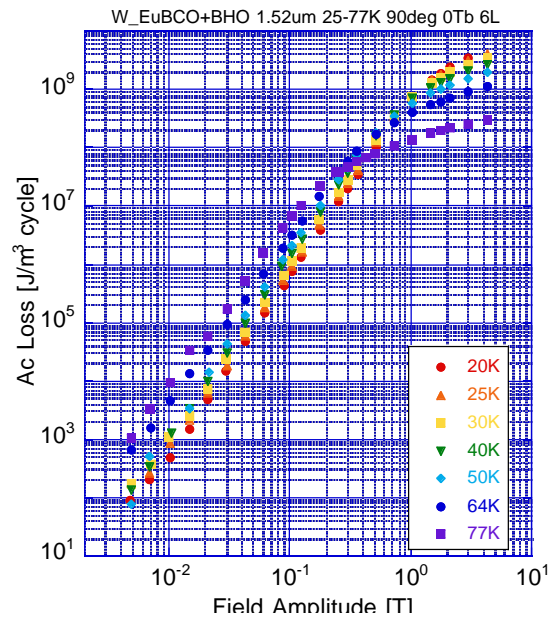


図3 EuBCO 線材の垂直磁界中での交流損失の磁界振幅依存性

また、酸化物超伝導線材は結晶成長・配向性の観点から扁平なテープ形状をしており、従来の金属系低温超伝導線材に対する低交流損失化のための極細多芯化の手法は適用できません。我々は、REBCO 線材について、図4に示すようなスクライビング加工によるマルチフィラメント化と特殊巻線の組合せにより巻線形状での交流損失低減に世界に先駆けて成功し、これを NEDO プロジェクトにおいて図5に示す3φ-66/6.9kV-2MVA 液体窒素冷却超伝導変圧器の開発にも適用しました。



図4 スクライビング線材 (上) と特殊巻線工程



図5 3φ-66/6.9kV-2MVA-液体窒素冷却超伝導変圧器システム

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

超電導線材を実際に電気機器巻線やマグネットに適用する際には、機器仕様もしくはマグネット保護の観点から大電流容量化が必要になります。また大電流容量導体化に際し、素線レベルから交流損失を増やさないことも要求されます、しかし、扁平なテープ形状をしている酸化物超電導線材に、従来の金属系低温超電導線材に対する撚線導体化の手法は適用できません。そこで、我々は、図6に示すような転位並列導体構造を酸化物超電導線材の大電流容量化に導入しました。実際に24本並列導体を変圧器テスト巻線に巻き、交流2kA通電にも成功しています。磁界の均一性が要求される超電導コイルには、各層の上端・下端のみで転位を施す層間転位の手法も開発しています。

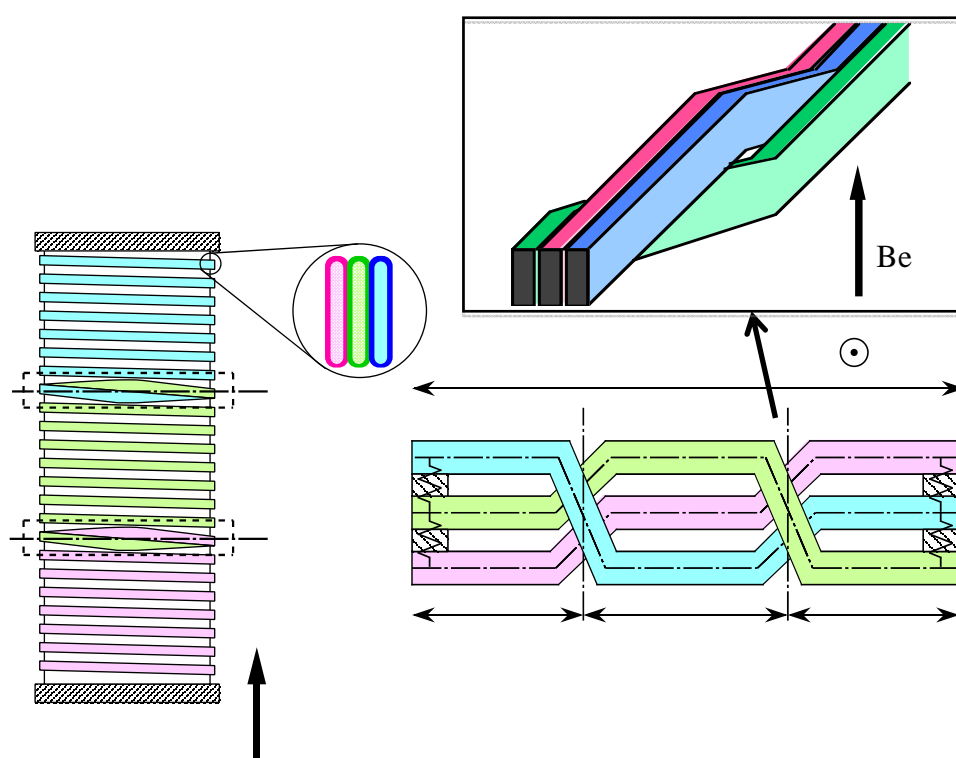


図6 転位並列導体構造の模式図

最近では、JSTの支援を得て、上記スクライビング加工によるマルチフィラメント線材を回転機の電機子に適用した全超電導回転機の研究開発も開始しました。また、AMEDのプロジェクトでは、MRI用直流マグネットにスクライビング線材を適用し、テープ面に垂直に印加される磁界成分によって誘起される遮蔽電流による擾乱磁界を速やかに減衰させる手法の開発にも取り組んでいます。

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:「光でオンオフする超電導トランジスタが出来たそうですが、従来のコンピュータより早く・低消費電力になるのでしょうか？」

A: 近年、スマートフォンやコンピュータを始めとする多くの電子機器の基盤技術として電界効果トランジスタ(FET)が用いられています。半導体の伝導度変化を利用した従来の FET に対して、超伝導状態をスイッチすることが可能な超伝導 FET は、より省電力かつ高速に情報を処理できるとされる量子コンピューティングの実現に繋がることも期待されています^{1),2)}。

今回作製したのは、外部電源では無く光照射によって ON・OFF が可能な FET です³⁾。図 1 に示すように、これまでの FET では、外部電源を用いてゲート電極へ電圧を印加し、物質に電荷を蓄積させることで電気抵抗を制御していました。一方で、今回開発した FET は紫外光の照射によってスピロピランと呼ばれる分子からなる有機薄膜を分極させることで物質に電荷を蓄積させ、また一方で、可視光の照射によって分極を消去して電荷を取り除くことが出来る仕組みになっています。この手法のもう一つの重要なポイントは、分子の光化学反応を利用しているため極低温でも超伝導状態のスイッチが可能であるという点です(超伝導 FET の実現には極低温動作が不可欠ですが、現在報告されている手法には極低温動作が不可能なものも多く含まれています)。

このように、超伝導 FET それ自体はコンピュータの高速化、低消費電力に寄与する可能性を持っていますが、今回の研究成果は、「分子の分極を利用して電荷を蓄積させることで、絶縁体を超伝導体へスイッチさせることが出来る」という新しい方法論の開発であり、物質中における超伝導スイッチの物理的なメカニズム自体は従来のものと大きく変わりません。従って、現時点では、この成果自体が直接現行のコンピュータの高速化・低消費電力化に大きく寄与できるとは考えていません。むしろ、「外部電源が不要である」、「遠隔で操作が可能である」、「極低温環境でも動作が可能である」などの特性を生かして、従来の超伝導エレクトロニクスには無い新しいイノベーションに繋がる基盤技術となることを期待しています。

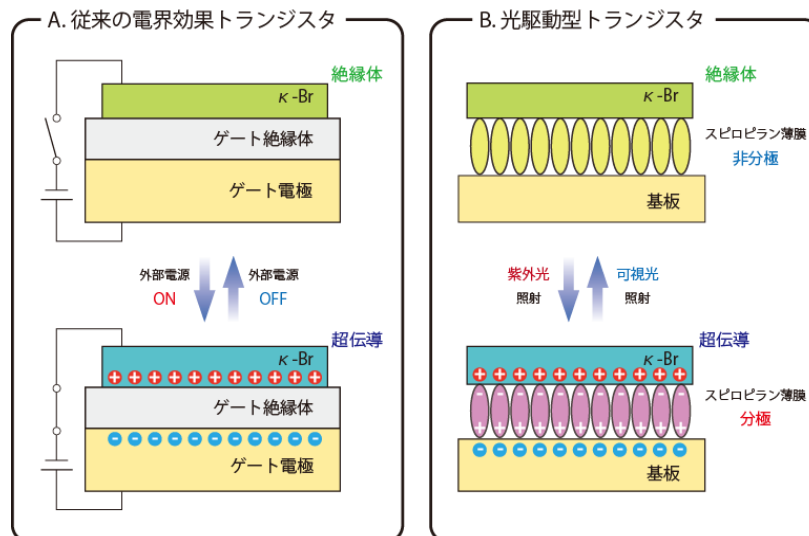


図 1 : 従来の電界効果トランジスタ(A)と光駆動型トランジスタ(B)の模式図

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

参考：

- 1) 蔡兆申, 超電導 Web21, 「超電導量子コンピュータの実現に向けて」 (2002).
- 2) M. H. Devoret and R. J. Schoelkopf, Science, 339, 1169 (2013).
- 3) M. Suda, R. Kato and H. M. Yamamoto, Science 347, 743 (2015).

回答者：分子科学研究所 協奏分子システム研究センター 助教 須田理行 様

[超電導 Web21 トップページ](#)