

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）：

○年頭挨拶	理事長	森 詳介
○年頭所感	経済産業省産業技術環境局長	片瀬 裕文
○2015 年を迎えて	超電導工学研究所長	田辺 圭一

特集：第 27 回国際超電導シンポジウム（ISS2014）/ISS-IEA Joint セッション報告

一分野別トピックスー

- Physics and Chemistry/Vortex Physics
- Wires, Tapes and Characterization
- Films and Junctions/Electronic Devices
- ISS-IEA Joint セッション

- 超電導関連 2015 年 1 月 - 2 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（11/20-12/19）
- 「世界の動き」
- 「Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2014 (ADIPEC)」報告
- 「Coated Conductor for Applications 2014 (CCA2014)」報告
- 隔月連載記事 鉄道と超電導（その 1）
- 連載記事「やさしい電力系統のはなし」（第 12 回-最終回）
- 研究室紹介「東京大学 大学院新領域創成科学研究科 大崎研究室」
- 読者の広場「超電導とは逆の現象の「近藤効果」について、少し詳しく知りたいのですが？」

[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

年 頭 挨 拶

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター

理事長 森 詳 介



年頭にあたり、謹んで新年のご挨拶を申し上げます。

昨年は、消費税増税等により個人消費などに弱さは見られたものの、アベノミクスの「3本の矢」の効果により、企業業績や雇用環境が改善するなど、我が国経済が着実に回復した1年でした。この歩みを確かなものとし、我が国経済の持続的な成長を実現するためには、安全性の確認された原子力発電所の再稼働等により、安定的で経済的なエネルギー供給を実現するとともに、より効率的なエネルギーの供給・利用を可能とする革新技術を開発していくことが重要であると考えております。

中でも超電導は、電気抵抗ゼロ等の省エネ・省資源特性を有し、超電導電力機器への応用等を通じて、環境負荷低減に向けた重要な役割を担うことが期待されています。また、今後、超電導は、コンパクトで強力なマグネットの磁場応用による医療分野での活用や、超高感度磁場センサー（高温 SQUID）などの量子効果を活用した超省エネ・高感度の電子デバイスによる資源探査分野での活用も期待されます。

当公益財団は、1988年の設立以来、我が国における産学官共同の超電導研究所として多くの研究開発等に取り組み、昨年はMRI等の医療用機器への応用に向けた高温超電導コイル基盤技術開発に参画するとともに、高温 SQUID についても、金属資源探査用 SQUITEM の汎用化および石油資源探査や先端バイオ・非破壊センシングへの応用に向けたプロジェクトを着実に進めてまいりました。

こうした活動に加えまして、超電導技術の実用化に対する社会のご期待に引き続きお応えしていくため、当公益財団は、組織のスリム化を含めた一層の業務効率化や経費節減にも取り組んでおります。

本年におきましては、高温超電導コイル基盤技術開発、特に 3G 線材開発に引き続き取り組むとともに、資源探査・非破壊検査や人体・バイオを含めた多用途な SQUID 開発を通じて、高温超電導線

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

材・高温 SQUID の実用化に向けて全力を尽くしてまいり所存です。

皆さまにおかれましては、本年も引き続きご支援、ご協力を賜りますよう、宜しくお願い申し上げます。新しい年が、皆さまにとりまして幸多き一年になるよう祈念いたしまして、年頭のご挨拶とさせていただきます。

[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

年 頭 所 感

経済産業省 産業技術環境局長

片瀬 裕文



平成 27 年の新春を迎え、謹んでお慶びを申し上げます。本年が皆様にとって幸多く、実り豊かな一年となることを心よりお祈り申し上げます。

安倍内閣が発足して 2 年が経ち、有効求人倍率は 22 年ぶりの高水準となり、賃上げ率は過去 15 年で最高水準を記録したほか、企業の経常利益は過去最高水準となるなど、雇用や企業収益を中心に経済の好循環が生まれ始めております。この好循環を日本全体に拡大するためにも、「成長戦略」を力強く実行していくことが重要であり、経済産業省として全力で取り組んでいるところです。

日本は、少子高齢化、資源・エネルギー問題など、大きな挑戦が目の前に迫っています。これは、イノベーションにより、世界に先駆けて新たな成長分野で大きな市場を獲得するチャンスを眼前にしているということでもあります。

昨年 6 月に「日本再興戦略」改訂 2014 が閣議決定されました。日本を「世界で最もイノベーションに適した国」とするために、絶えず革新的な技術シーズが生み出され、そのシーズを円滑に事業化するための仕組み作りが必要だとされ、我が国のイノベーションシステム全体の改革の方針が位置づけられています。今年はそれを踏まえ、様々な施策を実行してまいります。

具体的には、政府全体の公的研究機関に先行し、産業技術総合研究所（産総研）及び新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）において革新的な技術シーズを事業化へと繋げる「橋渡し」の機能強化を進めます。

また、企業が大学や研究機関、他の企業の技術力を活用して研究開発に取り組む「オープンイノベーション」の促進も鍵となります。中堅・中小・ベンチャー企業と産総研のような「橋渡し」機能を持つ公的研究開発機関との共同研究への支援と、オープンイノベーションを優遇する税制措置の拡充を通じて企業行動の変革を促します。

ベンチャー企業は、意志決定のスピードが速く、市場規模に関わらず機動的に事業化を図るなど、大企業とは異なる特性があり、イノベーションの担い手として重要な役割を果たすことが期待されています。ベンチャーキャピタル等からの出資を受けるアーリーステージの研究開発型ベンチャーへの支援や、実用化開発に対する大胆な助成と国内のベンチャーキャピタル育成、海外からのベンチャーキャピタル誘致を総合的に行い、我が国のベンチャーエコシステムを形成します。

このような、イノベーションを生み出す環境整備の取り組みに加えて、国が主体的に研究開発に

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

投資していくことも重要です。国家的・社会的に重要な課題を解決し、次世代の市場の創造のため、健康産業の活性化、革新的エネルギー・環境技術に対する研究開発の推進、次世代ロボットの開発等を重点的に進めてまいります。

以上、日本のさらなる経済発展に向け、経済産業省が積極的に取り組んでいく施策の一端を申し上げます。

本年も皆様の一層の御理解、御支援を賜りますようお願い申し上げます。

[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

2015 年を迎えて

超電導工学研究所
所長 田辺 圭一



謹んで新年のご挨拶を申し上げます。

昨年は、政府の経済政策や円安により輸出企業を中心として景気回復の兆しが見えるなど明るい話題もあった反面、地震、噴火などの災害や豪雨などの異常気象のニュースもありました。2015 年は、大きな災害もなく、また日本の産業競争力強化や内需拡大による好景気の浸透など、より明るい年になることを期待します。国際的には、地球温暖化を防止するための温室効果ガス削減目標の新しい合意を目指す COP の議論が続けられていますが、超電導技術は我が国の産業競争力強化と共に、省エネルギー革新技術の切り札として温室効果ガス削減にも大きく寄与する技術として期待されています。

超電導工学研究所 (SRL) は一昨年、線材・パワー応用研究部が川崎市高津区のかながわサイエンスパーク (KSP) に、物性・デバイス研究部が横浜市港北区に移転し、新しい体制をスタートさせましたが、昨年はそれぞれ国や独立行政法人から受託したプロジェクトの中で大きな成果を上げてきました。

線材・パワー応用研究部は、診断用 MRI 及び癌治療用重粒子線装置への応用を目指したイットリウム系線材のコイル化基盤技術の確立を目的とする経済産業省の「高温超電導コイル基盤技術開発プロジェクト」の中で線材の高性能化など共通基盤技術開発を担当していますが、磁場中で高い臨界電流性能を示す人工ピン入り長尺線材の実現や細線加工技術によりコイル発生磁場の安定性向上への見通しを得るなどの成果を上げました。また、企業や大学受託のプロジェクトの支援のための配向中間層付金属基板作製や線材の加工・評価などの委託業務も積極的に行いました。今年は、経産省プロジェクト中間目標の達成を目指してより精力的に研究開発を進めていきます。

物性・デバイス研究部は、イットリウム系高温超電導薄膜を用いた SQUID (高温 SQUID) 磁気センサーとその応用開発を進めていますが、SQUID 発明 50 周年に当たる昨年は、石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) から金属資源用の電磁探査および磁気探査実用機の開発を目的とする 2 つのプロジェクトを受託すると共に、石油層の革新的なモニタリング技術開発をねらいとしたプロジェクトを継続的に受託し、石油坑井という極限環境での SQUID 応用技術の開発を本格的に開始し、その基盤技術開発で成果が上がりつつあります。また、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の課題の一つである「インフラ維持管理・更新・マネジメント」の中で、SQUID 等の高感度磁気センサーを利用したインフラ非破壊検査技術の開発を科学技術振興機構 (JST) からの助成で 10 月から開始しました。

今年も引き続き、超電導工学研究所のこれまで長年の成果を踏まえて、世界の超電導技術開発の中核となり、超高性能高温超電導線材、SQUID 磁気センサー、及び電力・産業・医療用機器等エネルギー・マグネット・センサー応用を含めた超電導機器応用の分野で、早期実用化を目指し産学官の協力の下、精力的に研究開発を進め成果を上げていく所存です。

本年度もこれまで同様、会員企業各位はじめ、皆様方の一層のご指導・ご支援、ご協力を賜りますよう、宜しくお願い申し上げます。

[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

特集 : ISS2014/ISS-IEA Joint セッション報告

「Physics and Chemistry/Vortex Physics 分野」

東京大学大学院 総合文化研究科
広域科学専攻関連基礎科学系
教授 前田京剛

ISS は実質 1 日半という非常に限られたスロットのなかで、今の研究のトレンドからいくつか話題をピックアップしてプログラムが組まれる。

今回は、特別基調講演に B. Maple 教授をお迎えすることができた。Maple 教授は、いまや夢物語ではなくなった室温超伝導体の探索に向けての重要なポイントについて教授ご自身の見解を講演された。

一般のセッションでは、(1) 新超伝導物質 (2) 新たな測定・評価方法の開発 (3) 粒子線照射による臨界電流の増大 (4) トポロジカル超伝導体 (5) ボルテックス物理の進展 (6) その他のいくつかのトピックに焦点が当てられた。(1) に関しては、二次元構造、反強磁性スピン揺らぎに注目した新物質 (Sefat) やハニカム構造 (Yajima) やジグザグ鎖 (Katayama)、インターカレーションによって c 軸を伸ばし、高臨界温度 T_c を実現したもの (Hosono-Hatanaka-Koike)、(Ca,RE)FeAs₂ 構造を発展させた一連の新物質 (Ogino)、1111 類縁の CaFeAsH_x (Matsuishi)、バルクでは作製不可能な組成の結晶作製も可能にし、結果的に、約 1.5 倍の T_c 上昇を実現した、CaF₂ 上に作成した FeSe_{1-x}Te_x 薄膜 (Maeda) 等が注目された。(2) に関しては、走査磁気顕微鏡のためのオンチップ・ナノ SQUID (Zeldov)、磁場侵入長測定とフラックスフロー測定、モデルによる理論解析を組み合わせた超伝導ギャップの構造を論じる新たな手法 (Maeda) などが報告された。(3) に関しては、TDGL による理論解析を併用して材料の様々な尺度でのデザインを工夫することによる臨界電流の向上 (Kwok)、照射による鉄系超伝導体の臨界電流の変化の研究 (Tamegai)、(4) では、Cu_xBi₂Se₃ のゼロバイアスピークに関する実験報告間の違いの理論的解釈 (Sato)、奇パリティートポロジカル超伝導体におけるスピン分極マヨラナ束縛状態の予言 (Nagai) などが報告され、(5) では、コルビノ配置におけるボルテックスの分子動力学的シミュレーション (Kato)、MoGe コルビノディスクでのモードロッキング実験 (Kawamura) などが報告された。その他の話題としては、高品質 FeSe における STM 実験 (Hanaguri)、酸化物の電気二重層トランジスタに関する研究報告 (Ueno) らが注目された。最後に、アルゴンヌ国立研究所の Kwok 博士が、クロージングセッションで、素晴らしいサマリー・トークをされたことを記しておきたい。

[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

特集 : ISS2014/ISS-IEA Joint セッション報告

「Wires, Tapes and Characterization 分野」

(公財) 国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所 線材・パワー応用研究部
部長補佐/相模原分室長 吉積正晃

線材関連のセッションでは、30 件の口頭発表、約 40 件のポスター発表により活発な議論が行われた。本稿では、それらの中から幾つかのトピックについて紹介する。

まず、初日の Plenary Lecture のセッションでは、九州大学の木須教授により、線材評価技術の開発についての報告があった。同大では SHPM (Scanning Hall Probe Microscopy) 法を用いた線材特性分布の評価技術開発を進めているが、最近 5 T までの磁場中でも評価出来るように改良した装置を導入し、線材全長の磁場中特性評価が可能になったことを報告した。また、面内特性分布データの部分的な利用によるフィラメント分割加工時のフィラメント I_c の予測結果や、統計処理によるバラツキ及び I_c の予測結果などを示し、SHPM による評価の有用性をアピールした。

個別のセッションに別れて行われた口頭・ポスター発表では、特に線材製造技術の進展に注目すべき報告が見られた。

上海交通大学の Li 教授は中国のプロジェクトにおける線材開発状況について報告し、IBAD-PLD の組み合わせにより 200~300 A/cm-1000 m 長の線材作製が可能になったとのことであった。ピン材料の導入はまだ考えておらず、プロセスの安定化と高 I_c 化を優先しているとのことであったが、中国でも急速に線材作製能力の開発が進んでいることを印象づけた。

SuperPower-古河は、これまで短尺の成果にとどまっていた BZO ナノロッド導入技術の長尺展開に成功したことを報告し、500 m 超の線材作製結果（特性は未評価）を示した。BZO15 %-130 m の線材では 1100A@30K, 3T であったとのことで、安定して長尺でも高い特性が出せる線材が作れるようになったとアピールした。これは既に商品展開もしており、高磁場応用向けとして販売しているとのことであった。

フジクラでは 300-500 m 長線材の 127 本作製による I_c バラツキ、均一性がそれぞれ $\pm 10\%$ 、 $1\sim 5\%$ と高い均一性を示しており、同社の線材が極めて高品質であることをアピールした。コスト面でも近年、Si の製造要請からレーザーの装置コストが下がっており、PLD は価格競争力を十分持てること、線材強度の評価や圧力釜を用いた加速試験による線材安定性の評価、マグネットの運転実績など、同社製線材の応用展開に向けた取り組みを紹介した。

SuperOx は近年線材製造に参入した新興勢力であるが、昨年には 20 km 長の線材を納入し、120A/4mm 幅-1010m (基板のジョイントカ所含む) の線材製造結果を示すなど、線材製造能力の急速な進展を見せつけた。この成果は日本支社で得られたものであり、今後は日本支社製線材の販売も行いながらロシアで大スケール化、Customization を進め、シェア拡大を図るとのことであった。

この他にも米国 STI 社、EU のグループも長尺製造計画を発表し、世界中で Y 系線材の長尺製造・販売が可能な会社が出てきつつあることを痛感した。

Bi 系線材の開発では、住友電工の Kagiya 氏が同社の開発取り組みと成果を紹介し、貼り合わせ技術の進展により線材強度が 485 MPa まで向上し、応用面での制約が減ったことなどを示した。

[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

特集 : ISS2014/ISS-IEA Joint セッション報告

「Films & Junctions/Electronics Devices 分野」

独立行政法人 産業技術総合研究所
ナノエレクトロニクス研究部門 超伝導計測デバイスグループ
上級主任研究員 日高睦夫

「Films & Junctions/Electronics Devices」セッションでは Oral 18 件、Poster 31 件の合わせて 49 件の発表があった。カテゴリー別の内訳を表 1 に示す。発表数の多かった Thin film・Junction と SQUID、Digital から筆者の印象に残った発表の報告を行う。

Thin film では、電中研の Ichinose が鉄系薄膜と基板材料界面の透過電子顕微鏡 (TEM) 観察結果を報告した。基板によっては薄膜との界面で相互拡散が観察されるものがあり、相互拡散が大きいほど薄膜の超伝導特性が劣化するという結果が得られた。この観点から CaF_2 がベストの基板であった。また、 CaF_2 基板と 3 種類の薄膜との界面観察から、 SmFeAs が歪み効果によって最も優れた組み合わせになっていることが示された。名大の Hatano は、MBE による Ca_{122} の結晶成長を行い、その結果の相図へのマッピングを行っ

表 1 カテゴリー別の発表件数

Category	Oral	Poster	Total
Thin film	4	11	15
Junction	2	0	2
SQUID	5	9	14
Digital	4	5	9
Microwave	0	3	3
Detector	2	0	2
Standard	1	3	4

た。Junction では Aalto 大の Pekola が NIS トンネル接合について報告した。NIS 接合のトンネル特性は Photon assisted tunneling によって大きな影響を受けており、Photon をシールドすることにより、サブギャップ電流を大幅に低減できることを示した。NIS 接合は 1 K 以下の極低温温度計や電子冷却などの興味深い応用展開が期待できることが示された。

SQUID では、SIMIT の Zhang が Practical SQUID のコンセプトを紹介した。これは SQUID だけでなく室温エレクトロニクスも含めて、使いやすく安定で信頼性の高い実用上有意義な SQUID システムを目指すものである。一例として、 $\beta_c > 1$ の弱ダンピング SQUID、並列接続バイポーラプリアンプ (PCBA)、カレントフィードバック回路 (CFC) との組み合わせが示された。ISTEC の波頭は、開発中の SQUID 地下資源探索システムと石油モニタリングシステムについて報告した。SQUID 地下資源探索システムは、従来の誘導コイルを用いた方法の限界 750 m をはるかに超える地下 1200 m まで探索可能である。石油モニタリングシステムは、SQUID を用いて地中の CO_2 拡散を観測するものであるが、地下 3000 m に達する直径 4 インチのパイプの中での 70 MPa、250°C の環境下で SQUID を動作させるためのパッケージ開発が鍵とのことであった。

Digital では、超伝導集積回路と磁性膜のハイブリッドを行うことが一つの研究のトレンドとなっている。名大の Kurokawa は磁束量子パラメトロン (QFP) 回路の超伝導リング近傍に磁性膜からなる位相シフターを設けることで、オフセット電流を 0.3 mA 低減することに成功した。横国大の佐野は、単一磁束量子 (SFQ) 回路で作製した時間/デジタル変換器 (TDC) を質量分析器に用いる超伝導ナノワイヤ検出器 (SNSPD) の読出し回路として使用する応用について発表した。これまで

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

別々のチャンバーに格納されていた SFQ-TDC と SNSPD を同一チャンバー内でつなげて動作させる実験に成功したことが報告された。超伝導検出器の読出し回路として SFQ 回路を用いることは、Digital 研究のもう一つのトレンドである。

[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

特集 : ISS2014/ISS-IEA Joint セッション報告

「IEA-HTS-IA*Young Generation Award」

公益財団法人・超電導産業技術研究センター
特別研究員 山田 穰

第 1 回の IEA-HTS-IA*（国際エネルギー機関高温超電導委員会）と ISS によるジョイントセッション、Young Generation Award が開催された。分野の垣根を越えて、若手研究者が英語で発表でき、成長の糧になる場を提供しようということで、35 歳以下の若手研究者を対象にした。初の試みにも関わらず定員の倍の多数の申し込みがあり、急遽発表時間を通常より 30 分拡大してプログラムを組んだ。下記表の通り、ISS の中日の平成 26 年 11 月 26 日（水）の 9 時から 11 時にかけて、選出された各大学、研究所の 7 名の若手研究者により“将来のエネルギー社会と私の研究”というテーマで活発な意見発表がなされた。



写真 1 発表会場当日の様子 IEA-HTS-IA 議長挨拶。他のセッションより 30 分早く開始されたが、多数の参加者で盛況であった。

表 発表者と発表題目（発表 8 分、質疑 5 分）

Session Theme: Future Energy Society and My Research Work			
Presenters			
	Name	Affiliation	Title
1 Japan	Kazuki Sugihara	Nagoya University	Plan of the high efficient electric power system with the next generation superconducting cable
2 Japan	Masashi Katsura	Sophia University	The efficient use of renewable energy sources by ASP and the investigation in the properties of MgB₂ conductor
3 Japan	Yuki Yoshida	Osaka University	My research and Prospect of Future Energy: Study on decontamination and volume reduction of contaminated soil by radioactive substances using magnetic separation
4 Korea	Soon-Mi Choi	Seoul National University	My Perspective of the Superconductor Technology for Future Energy
5 Japan	Saori Shibatani	Osaka University	Removal of iron scale with superconducting magnet high gradient magnetic separation from feed-water in thermal power plant
6 Japan	Shigeyuki Ishida	AIST	Search for new superconductors - Toward room-temperature superconductivity-
7 Japan	Kohei Higashikawa	Kyushu University	Advanced Diagnostics of Superconducting Wires and Tapes for High-performance and Highly-functional Power Applications Supporting Large-scale Introduction of Renewable Energy

内訳は、韓国から 1 名（女性）、日本から 6 名（内女性 1 名）で、名大、阪大、上智大、九大、産総研の全国から参加して頂けた。また、審査員は IEA 高温超電導委員会議長のイタリア RSE の Martini 氏、同副議長の Flükiger 氏、電中研理事秋田氏、東京大下山先生、NEDO の木下氏、ISTEC の渡部常務（IEA 高温超電導委員会 OA 事務局）をお願いした。発表内容は、研究の分野は線材の特性向上、評価、磁気分離の応用、室温超電導ありと多岐にわたったが、将来エネルギーでは人口

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

増と共に大きな課題となる人類のエネルギー消費をどう抑えるかなどを再生可能エネルギーなどへの超電導の利用という観点で皆さん良く考えて発表されていた。全員、発表資料、英語ともに良く検討され、審査員の評判も良かった。質疑応答の場面では、戸惑う場面も見られたが、真摯な態度で応答される様子を会場も熱心に成り行きを見守っていた。

発表日の当日夜は、発表者の労をねぎらって審査員との懇親会も催された。フランクな会話で一層の懇親が深まったようである。これを機会に発表者間、審査員との交流を深めてほしい。

ISS の最終日には、クロージングで優秀者の表彰が行われた。最優秀賞には大阪大学の柴谷沙織氏、優秀賞には九州大学の東川甲平氏が選ばれ、それぞれ Martini 氏、NEDO の島 IEA 高温超電導委員会委員から賞状と賞金授与があった。

今回、第 1 回目ということで準備期間も短かったが、発表者、審査員とも国際的な参加になり、また、ISS 事務局のお蔭で盛大な表彰式も開催でき、事後の関係者からの評判も良かった。“ぜひ、次回も開催してほしい”、“EUCAS でもやれたら…”、“もっと聞きたいので枠を拡大して、パラレルセッションでなくできないか”など前向きな意見が多数聞けた。

国際会議が増えてきたとは言え、若手の方には、英語で口頭発表の場が少なく、こうした場が将来の彼らの成長の一助になれば幸いである。ぜひ、グローバル化に向けた人材、そして将来エネルギーなどの研究者としての共通の課題を考えて行く人材に育って行ってほしい。



写真2 質疑応答の様子

Small Banquet with Presenters and Examiners 2014 Nov. 26th



写真3 発表日当日夜のバンケット終了後の記念撮影：発表者、審査委員、関係者。



写真4 最優秀賞授与の様子（阪大柴谷さん）



写真5 優秀賞授与の様子（九大東川さん）

*IEA-HTS-IA (正式名称は International Energy Agency-High Temperature Superconductivity- International Agreement: 国際エネルギー機関高温超電導実施協定)：超電導技術の電力分野への適用に関して、専門家間の連絡促進、各国の結果の活用、課題への技術協力の推進等を目的とした委員会。OECD 加盟国から 現在、日本、米国、ドイツ、イタリア、スイス、韓国、カナダ、フィンランド、イスラエルの代表およびスポンサー企業：ドイツ (Bruker 社)、イタリア (Columbus 社) が参加している。

[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

超電導関連 ‘15/1 月－2 月の催し物案内

1/8

第 85 回ワークショップ

核融合発電実証に向けて –核融合システムおよび超伝導技術の現状と将来展望–
東京・航空会館

<http://www.sntt.or.jp/~fsst/20150108.html>

1/21

超電導機器研究会

産業技術総合研究所 臨海副都心センター別館

<https://workshop.iee.or.jp/sbtk/cgi-bin/sbtk-howprogram.cgi?workshopid=SBW00003396>

1/22

超伝導エレクトロニクス研究会

東京・機会振興会館

http://www.ieice.org/ken/program/index.php?tgs_regid=03d7430278c0f096d37a2650c9364035fb9a87d019366a08ffa1c57e9db74852&tgid=IEICE-SCE

2/20-2/21

超伝導科学技術研究会 第二回超伝導科学技術セミナー

古川電工健康保険組合 鬼怒川荘

<http://www.sntt.or.jp/~fsst/20150220.html>

2/25

German-Japan Symposium on Wind (and Solar) Thermal Applications

DLR Stuttgart, Germany

<http://www.dlr.de/tt/en/desktopdefault.aspx>

前後に風力・太陽熱研究設備の見学あり。詳細未定 (ISTEC 岡崎までお問い合わせ下さい)

(編集局)

[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

新聞ヘッドライン (11/20-12/19)

- 科学新聞 ボース・アインシュタイン凝縮に最も近い超伝導状態発見 11/21
- 鉄鋼新聞 古河産業 次世代超電導線材 医療向け拡販目指す 11/27
- 鉄鋼新聞 フジクラ 新超電導線材を開発 設計変更で耐久性向上 11/28
- 鉄鋼新聞 昭和電線ケーブルシステム 次世代超電導線 一貫生産技術を開発 自前で中間層製造、高性能化 11/28
- 化学工業日報 東レエンジ 超電導線材装置に参入 20 年めどに量産機開発 12/01
- 鉄鋼新聞 次世代超電導線材の生産能力 フジクラが増強 12/03
- 産経新聞 速報ニュース 次世代発電「核融合炉」 日仏で施設建設が本格化 5 年後に実験もコスト課題 12/04
- 化学工業日報 東大など、鉄系高温超電導体の発現機構解明 既存理論と一致 12/08
- 日経産業新聞 極低温を効率実現、京大と東大、金属など、電圧操作で 12/09
- 日刊工業新聞 物材機構など、「ジョセフソン接合」量産 超伝導デバイス実現に一步 12/11
- 日刊産業新聞 NEDO スペイン超電導導入分析で公募 12/15
- 科学新聞 高温超伝導担う電子 異常な秩序状態形成 12/19

[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

世界の動き (2014 年 11 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



★News sources and related areas in this issue

▶電力応用

済州島超電導ケーブル試験開始

LS C&S 社 (2014 年 11 月 19 日)

LS Cable & System社は、済州島にある同社の超電導ケーブルシステムセンターで、80 kV直流高温超電導ケーブルの実証試験を開始した。向こう6ヶ月に亘って実施される計画である。

同社の社長兼最高経営責任者であるJa-Eun Koo氏は、「超電導ケーブルは、もはや‘夢のケーブル’ではない。数千億ウォン規模に及ぶ関連プロジェクトが、韓国のみならず米国や中国など約10カ国で展開されている。引き続き技術開発や海外市場参入を促進することにより、当社は、高効率で環境に優しいエネルギー産業の発展に貢献していくつもりである。」と述べた。

超電導ケーブルは、交流電流を直流に変換しない場合でも、電力損失なしで長距離送電するのに利用できる。さらに、電力需要が増加傾向にある中、地下ケーブルを敷設するスペースがケーブルトンネルや導管で密集した環境においても、超電導ケーブルは機能的により優れた特性を備えている。既存設備を引き続き有効利用し、単に既存の送電線を超電導ケーブルに置き換えることで大容量送電が可能となる。例えば、発電所から大都市圏への電力供給には、従来5ヶ所の変電所が必要とされるが、

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

超電導ケーブルを使用することにより、変電所は1ヶ所に削減できる。また、地下ケーブルトンネルは60 %以上縮小できる。

他に超電導ケーブル技術を専門とする会社として、フランスのNexans社、そして日本の住友電工などがある。

Source: "LS Cable & System to start demonstration of power transmission DC cable 10X capacity" (19 Nov, 2014) Press Release

http://m.lscns.com/info/info8_read.asp?idx=2953

Contact: Press Relations D.H.Gem realgem@lscns.com

低コスト MgB_2 線による風力発電機

University of Wollongong (2014年11月27日)

ウーロンゴン大学 (UOW) の研究者たちは、この5年以内にオーストラリアの沖合に設置できる次世代洋上風力タービンの技術開発を進めている。UOW超電導電子材料工学科の材料科学者である Shahriar Hossain博士は、オーストラリアには35,000 km以上の海岸線があり、2050年までに温室効果ガス排出量を80 %削減という目標達成に向けて、沖合洋上風力発電を建設する余地は十分あると述べている。新型のタービンは、既存システムの3分の1の費用で建設でき、1000倍も効率的な運用が期待される。

また、同氏は、現在使用されている沖合風力タービンの建設費はそれぞれ1,500万ドルかかり、その重量から導入場所への移動に困難を伴い、複雑なギアボックスのせいで多くのメンテナンスの必要性も指摘している。UOWにある彼の研究チームが設計したシステムにはギアボックスがなく、また、二ホウ化マグネシウム (MgB_2) 超電導コイルを使用するため、重量とサイズを40 %まで低減することができる。彼らが開発しているのは、非常に安価で製造が容易な MgB_2 超電導コイルである。損失を抑えて風力エネルギーを電力に変換することで、製造費と維持費が3分の2削減することができる。

既存の技術では、風力タービンで発電するのに最大200 kmのコイルが必要とされ、製造費に300万~500万ドルかかると推定される。同じ長さの MgB_2 超電導コイルの費用は約18万ドルで、規模の経済によりこの費用は更に削減できるかもしれない。米国の業界パートナーであるHyper Tech Research社は、 MgB_2 コイルの製造費は2015年までにメートル当たり1ドル程度になると予想している。

Source: "LOW COST, SUPER EFFICIENT OFFSHORE WIND TURBINES FOR A CLEAN ENERGY FUTURE" (27 Nov, 2014) Media Releases

http://media.uow.edu.au/releases/UOW184359.html?ssSourceSiteId=UOW_Main

Contact: Elise Pitt epitt@uow.edu.au

▶線材

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

ISS2014 で高性能を発表

STI社 (2014年11月18日)

Superconductor Technologies社 (STI社) のConductus®線材は、77 Kで自己磁場中730 A/cmという臨界電流特性を示し、広範囲にわたる動作温度と磁場のもと、より高い磁場中で優れた特性を発揮する。これらの試験結果は、東京で11月25日から27日まで開催される第27回国際超電導シンポジウム (ISS) で発表される予定である。

STI社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、「ISSは、新規または既存の顧客と会い、業界をリードする企業とのビジネス関係を強化する理想的な会議である。顧客による性能評価テストでは、Conductus線材の性能特性に非常に大きな改善が実証された。ISSは、これら試験結果を報告できる素晴らしい機会である。」と述べた。同氏はまた、「電力機器の寿命を延ばし、電力システムでのシステム損失を低下させる可能性を持つ超電導限流器や超電導ケーブルなどの多様なアプリケーションにおいて、Conductus線材は、厳しい導入要件を満たすべく優れた性能特性を発揮し続ける。」と付け加えた。商業化を実現させるには、業界では高温超電導線材の性能を実用的なレベルまで高め、高温超電導線材開発の経済性が向上することが要求される中、同氏は、2014年以降に生産性向上を掲げる同社が商業化に向かって順調に事業展開できるものと確信している。

Source: "STI Achieves 30% Improvement in Conductus Wire Performance"

(18 Nov, 2014) Press Release

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle&ID=1990556>

Contact: Cathy Mattison or Kirsten Chapman Invest@suptech.com

商用 1km 線材への取組

STI 社 (2014 年 11 月 4 日)

Superconductor Technologies社 (STI社) は、長さ1 kmのRCEシステム (RCE-1000) の最終組み立てが完了したことを報告した。RCE-1000は必要な設計仕様を全て満たし、Conductus®線材の商業化に向けて稼働できる段階に入り、現在、ソフトウェアのテスト並びにプロセス開発に注力している。

STI社の社長兼最高経営責任者であるJeff Quiram氏は、「当社のRCE-1000、SDP、およびIBAD装置が稼働できるようになり、我々はConductus線材を商業規模で生産できる段階に至った。」と述べた。同氏のコメントによれば、同社のパイロットプラントの生産能力には限界があり、これまで顧客が行ってきた線材性能評価及び品質認定が制限されてきた。しかし業界の焦点が超電導製品の商品化となった現在、その需要は高まってきている。2014年度第3四半期にかけて、同社は新規顧客4ヶ所と既存顧客6ヶ所へConductus線材を出荷した (7ヶ所は性能評価を行うステージ1の顧客、3ヶ所は商用展開用の模擬装置を厳密にテストするステージ2の顧客)。追加注文がこのまま供給を上回り続け、2014年後半以降、商用RCE-1000が可用性を高めることで、生産制限が緩和される見通しである。

Source: "STI Preparing for Commercial Production of Conductus Superconducting Wire"

(4 Nov, 2014) Press Release

http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle_Print&ID=1985226

Contact: Cathy Mattison or Kirsten Chapman Invest@suptech.com

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

▶デバイス

グーグルと量子コンピュータ開発

UC Santa Barbara (2014年11月12日)

カリフォルニア大学サンタバーバラ校 (UCSB) にあるマルティニス研究所の元博士研究員であり、現在はグーグル社の量子エレクトロニクス・エンジニアである Pedram Roushan 氏は、数名の同僚研究員とともに量子シミュレーションに必要な量子ビットを研究している。今年の初め、John M. Martinis 氏が UCSB ラボで率いるメンバー数名と共にグーグル社に参加し、UCSB でサテライトオフィスを設立したのが始まりだった。汎用量子コンピュータの開発と並行して、同研究チームは、量子シミュレーションに必要な不可欠な構成要素である新しい量子ビットの構造研究に取り組み、2量子ビット制御に必要な7つの原則パラメータをより良く理解することに成功した。

超電導量子ビットは、化学から凝縮物質に至るまで様々な分野における具体的な問題に対処することができる。Roushan 氏は、「量子シミュレーション上の諸問題に対して、通常、量子ビットをより高精度で制御する技術が求められる。」と述べた。量子ビットは古典コンピュータのビットとは異なり、0か1のいずれかの値はもちろん、同時に0と1の両方の値を重ね合わせることができるため、多くの相互作用を制御することができる。彼らの研究を例えて言うなら、2つの量子ビットはある会話に関わっている人々という想定で、そのコミュニケーションの場所、話の内容、ボリューム、トーン、アクセントなど、あらゆる側面を制御できるというのが、研究で行われた中身である。彼らの研究では、完全な2量子ビット制御を実証するために、形状や空間の数学的研究であるトポロジーを使い、ガウス・ボネの定理(幾何学的な物体表面上の全曲率に関する定理)の量子版を実証することに成功した。Roushan 氏は、物体表面(ここでは電界)の曲率を測定することで、その表面の内側に何があるか(ここでは電荷)が推論できると説明した。

彼らの研究の新規性は、動きによって湾曲を感知するというボストン大学提案の独創的方法を利用して、曲率をどのように測定したのかという点にある。これも、ローレンツ力の法則(磁場中の荷電粒子は空間で曲がり、直線経路から偏向して進む法則)を用いて例えることができる。量子システムでは、球体曲線の経線に沿って偏向角が測定され、その地点での局所的な曲率が推定されると研究チームは確認した。

Roushan 氏は、「量子コンピューティング技術は、ある意味まだ初期の段階で、どんなプラットフォームでどんな構造を開発する必要があるのか明確にされていない。しかし、将来本格的な量子コンピュータを実現する上で、我々の研究成果は、量子ビット間の結合に非常に重要である。」と述べた。

この研究は、アメリカ国立科学財団 (NSF)、国家情報長官室、そして諜報先端研究プロジェクト活動局によって支援され、研究用デバイスの製作は、国立ナノテクインフラネットワーク (NSF から資金提供) とナノテククリーンルーム施設の一部とされている UCSB ナノ製造施設で行われた。研究成果は、Nature 誌に掲載されている。

Source: "A Piece of the Quantum Puzzle - UCSB physicists demonstrate the high level of controllability needed to explore ideas in quantum simulations" (12 Nov, 2014) Press Release

<http://www.news.ucsb.edu/2014/014489/piece-quantum-puzzle>

Contact: Julie cohen Julie.cohen@ucsb.edu

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

「Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2014 (ADIPEC)」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
物性・デバイス研究部
主管研究員 塚本 晃

報告者らは高温超電導 SQUID を用いた資源探査装置の開発を進めており、その関連で石油分野の国際会議である Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2014 (ADIPEC) に参加したので報告する。ADIPEC は毎年 UAE のアブダビで開催されており、講演だけでなく石油関連技術の大規模な展示会も行われている。今年は丁度 30 回目となっており、展示参加者を含めると 65,000 人以上の参加者（学会は 6,500 人）と見積もられている。発表は 10 会場のパラレルセッションと e ポスター（コーヒーブレイク中にモニターで説明する）を合わせて、400 件以上の発表が行われた。

表に発表機関ごとの発表件数を示す。54 件と断トツに発表件数が多い ADCO（Abu Dhabi Company for Onshore Oil Operations、アブダビ陸上油田開発公社）は、ADNOC（Abu Dhabi National Oil Company、アブダビ国営石油会社）傘下の石油採掘会社である。発表件数が 20 前後に多くの企業が並んでいるが、その内、ADMA-OPCO（Abu Dhabi Marine Operating Company）、ZADCO（Zakum Development Company）、Petroleum Institute も ADNOC 傘下の石油会社、ADGAS、GASCO は ADNOC 傘下のガス会社である。Halliburton と Schlumberger は国際サービスカンパニーである。Eni（イタリア）、Total（フランス）、Shell（オランダ）、BP（イギリス）、ExxonMobil（アメリカ）はいわゆる石油メジャーである。また、saudi ARAMCO と Kuwait Oil Company はサウジアラビアとクワートの国営石油会社である。日本からは INPEX（国際石油開発帝石）が 3 件、JOGMEC が 2 件、新日鐵住金、東大、信州大が 1 件ずつ発表した。

表 発表件数の比較（発表者の所属で集計）

ADCO	54	ADNOC	5
Halliburton	22	Maevsk Oil	5
Eni	21	Petrofac	4
Schlumberger	20	ExxonMobil	4
ZADCO	20	Weatherfield	3
ADMA-OPCO	20	INPEX(日本)	3
saudi ARAMCO	20	OXY	3
Total	17	KFUPM	3
Shell	16	OMV	3
ADGAS	13	Covenant Univ.	3
Petroleum Institute	9	JOGMEC(日本)	2
BP	8	(他に 13 企業)	2
GASCO	8	新日鐵住金	1
Statoil	8	東大	1
Kuwait Oil Company	8	信州大	1
Baker Hughes	7	(他に 58 企業)	1

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

講演では主に EOR 技術を中心に聴講した。EOR は Enhanced Oil Recovery の略で石油増進回収と訳されている。油層に井戸を掘った時に岩盤の圧力で自然に吹き出してくる石油は埋蔵量の 2 割程度しかない。EOR のセッションでは回収率を改善するために、水で石油を押し出す water flooding 技術と 3 次回収と呼ばれる石油と良く混ざり、miscible 状態にすることで粘性を下げ石油を押し出しやすくする miscible flooding 技術の講演が多数行われた。JOGMEC のプロジェクトでターゲットにしている CO₂-EOR は最も注目されている miscible flooding 技術といわれており、新しいこれからの技術と思っていたが、Oxy などの石油探査探掘会社はすでに mature technology と呼んでおり、20 年以上前から行われていることを知り驚いた。しかしながら、油田の性状は個々に大きく異なっており、水や CO₂ を注入する技術が完成していても、回収率を改善するためには個別に検討が必要なのである。また、注入してから生産井に達するまでの時間は数年から 10 年の時間を要し、その間はひたすら水が生産されるだけと聞き驚いた。どの程度回収可能なのか、どれくらいの期間水だけを生産しなければならないのかを知るためにも、現在油層がどのような状態かをモニタリングする技術は重要である。しかしながら、地震探査のデータを示した講演はいくつかあったが、モニタリング技術に関する発表は見られなかった。

展示は東京ビッグサイトと同規模の広大な会場で行われた。石油メジャーやサービスカンパニー、アブダビの企業などの大手企業だけでなく、バルブなどの部品から作業着や作業靴のメーカー、脚立のメーカーなど様々な企業が出展していた。また、イタリア、ドイツ、中国、イギリスなど 20 カ国では国が主導して主に中小企業を各国のパビリオンに集めて自国企業のアピールを行っていた。JOGMEC でも日本パビリオンを検討したそうだが今回は見送られたとのこと。

JOGMEC の展示ブース (図 1) では、JOGMEC の委託で開発を進めている技術が 10 件程度展示されており、その一つが高温超電導 SQUID を利用した広域電磁検層技術であった。これは EOR で CO₂ を油層に圧入した時に、油層がどこに移動したかをモニタリングするシステムである。1 km 程度離れた 2 つの井戸に励磁コイルと SQUID をそれぞれ配置し、コイルの周囲に発生させた誘導電流から発生する磁場を SQUID で計測することで井戸間の比抵抗構造を推定することができる (図 2)。地下のモニタリング精度を向上させることができれば効率よい石油生産につながるため、産油国の石油会社などから注目を集めることができた。SQUID を使用した EOR モニタリング技術の開発に成功すれば、エネルギーの安定供給に貢献できると期待している。



図 1 JOGMEC ブースでの集合写真

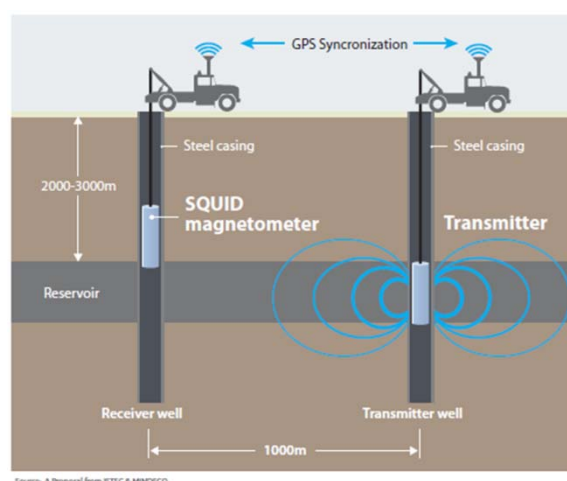


図 2 高温超電導 SQUID 広域電磁検層システム

[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

「Coated Conductor for Applications 2014 (CCA2014)」報告

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 超電導工学研究所
線材・パワー応用研究部
部長補佐/相模原分室長 吉積正晃

2014 年 12 月 1 日～3 日にかけて韓国済州島の Jeju Grand Hotel で CCA2014 が開催された。CCA とは、Coated Conductor for Applications の略であり、Y 系超電導線材とその応用に関わる研究者が一堂に会して議論を行うことを特徴とした会議である。欧州、アジア、米国の持ち回りで開催されており、今回はアジアの担当として韓国で行われ、11 カ国から 148 名が参加した。非常に中身の濃い学会であったが、紙幅の関係で注目の発表についてのみの報告となることをご容赦頂きたい。

4 件行われた Plenary Lecture の中では、Florida State Univ. の Dr. Pamidi による、米国におけるプロジェクトの動向概説を紹介したい。新しい情報として、amsc 社が FCL ケーブルで 2014 年からシカゴでグリッド試験を始めているとのことであった。また、Florida State Univ. では、Navy のサポートによって He-gas 冷却のケーブルの開発を始めている。

応用に関するセッションでは、限流器、ケーブル、風力発電など、韓国で実施されているプロジェクトでの開発内容の報告が続いた。

KEPCO の Dr.Hwang は、その中の一つである DC80kV の開発状況を説明した。韓国のケーブル PJ は 2011-14 に Incheon で行った、AC22.9kV 120kVA 100m のフィールドテストを経て、2011-15 の DC80kV 500MVA 500m と 2014-17 AC154kV 600MVA 1km のテストを済州島で実施中である。DC80kV については既にインストールが終了し運転を始めているとのことであった。来年には、AC154kV-1km も完成し、世界で最大のテスト施設になると紹介していた。学会終了後に、この施設の見学会があり、ここでも関連の説明があった。ここで、特記すべきは、ケーブルの層数は一層で構成されており、 I_c は現状のテープで十分でコスト低減が必要であるとのことであった。AC154kV テストでは、2.2 kA の設計で線材は 170 km が必要になるとのこと。線材メーカーはまだ決めておらず、テープのテスト結果と価格によって決定するとのことであった。AC154kV の次のフェーズは、商売を考えておりシステムとしてアメリカ、インドと契約する予定とのことであった。



左：超電導ケーブル実地試験サイト管理棟



右：超電導 DC ケーブルとその接続部

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

韓国の Changwon 大学の Dr. Park は、12 MW の風力発電のデザイン研究に関する説明を行った。3 週間前に立ち上がった新たな国家プロジェクトにより、幾つかの段階を経て 2025 までに 3 MW 風力発電機のテスト及び 12 MW の試作を目指し、軽量化を目的とした開発を行う。ここでも線材価格が問題であり、\$5/m100A@77K が必要とのことであったが使用環境との関係を質問すると、ギャップ磁場 5 T、最大磁場 7-8 T で 20 K 運転でのコスト条件と同一で \$5/m100A@20K,7-8T になるとのことであった。

また、今回初めての試みとして、標準化に関わるセッションが設けられた。NIMS の Dr. Nishijima、NHMFL の Dr. Weijers など数人のプレゼンターから関連した報告がなされた。

Y 系超電導線材の開発に関するセッションでの特筆すべき報告は BrookhavenNL の Dr. Li から紹介された MOD 膜への重粒子線照射によるピン導入型の磁場中特性向上技術である。様々な粒子の照射を試験し、3 MeV で Au⁴⁺の照射が効果的であった。特に MOD 膜への効果が大きく、磁場中特性の 2 倍の向上に成功している。BNL に連続照射施設を有しており、コスト増より効果が大きいいため、コストの問題はないと紹介していた。欠陥の形状は、ロッドではないとのことで、癌治療と同様に線量集中性が高い特性を利用していると思われる。また、今年の 8 月から DOE のプロジェクトが更新され、4 年間続けるとのことであった。

また、Long CC Processing のセッションでは、5 つのメーカーからの発表と、コスト分析やユーザーからの要望などが報告された。Siemens の Dr. Arndt は、様々な応用に関して必要事項を整理して、最終的に応用サイドから今線材に求める事項として、依然として高 I_c 特性であり、指標としては kA 級が必要であるとのことであった。また、重要な課題として、剥離問題を挙げていた。

線材メーカーからの発表としては、しばらく線材開発から遠ざかっていた THEVA 社が再び戻ってきており、生産ラインを導入し、来年 1 月からの稼働を計画しているとのことであった。SuNAM 社の Dr. Moon は、同社のプロセスの安定化技術として生産ラインの“Vision Inspection System”を紹介し、これによって安定した特性が得られるようになり歩留りが向上した。現在は、300m/day(60km/year) の生産能力で歩留まりは 70 % まで向上したとのことであった。このセッションで最も注目すべき発表は、Houston Univ. の Dr. Selvamanickam からのもので、これまで行ってきた Zr 添加量の増大に関して、これまでの 15 % から 25 % まで向上させ更なる磁場中特性の向上に成功したとのことであった。代表値としては、 $I_c(\text{min.})=1700\text{A}/12\text{mmw}@30\text{K},3\text{T}$ である。また、厚膜化も試みており、2.2 μm の膜に 20 % の Zr を添加し、 $I_c(\text{min.})=2742\text{ A}/\text{cmw}@30\text{K},3\text{T}$ を得たとのことである。この値は、EuBCO+BHO の 2730 A/cm_w とほぼ同等であり、短尺では同レベルの技術レベルである。一方で、長尺化に関しては、ISS で報告された 15 % 添加線材で 1100A/cm_w@65K,3T で EuBCO+BHO の 2090 A/cm_w が依然優位である。

2 日目の夜には、線材と応用でのコンセンサスをとることを目的としたランプセッションが行われた、パネラーは以下の通り。Prusseit (THEVA)、Moon (SuNAM)、Selvamanickam (HU)、Izumi (ISTEC)、Arndt (Siemens)、Usoskin (Bruker)、Ryu (LS-Cable)、Hwang (KEPCO)、Larbalestier (NHMFL)。各パネラーによる 5 分ずつの発表の後パネルディスカッションを行った。この中で注目すべき内容は、Larbalestier がこれまでの低温特性一辺倒の立場ではなく、液体窒素温度での利用を提案したことである。NbTi のコストおよび性能 ($J_e=1500\text{A}/\text{mm}^2@5\text{T}$) を 77 K で凌駕することを目指すべきで、大いに期待しているとした上で、線材特性評価の指標として、低磁場から高磁場まで皆が使える表を提案した。例としての提案であったが、 $I_c@77\text{K},\text{sf}$ 、 $F_p^{\text{max}}@77\text{K},\text{B}/I_c$ 、 $J_e^{\text{min}}@77\text{K},5\text{T}$ 、 $H_{\text{irr}}@77\text{K},H/I_c$ 、厚み、の 5 項目を線材側の皆が付けて発表すれば、比較検討がし

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

やすいとの応用側からの提案は、線材側にとっても重要なものであると思われる。今後、定着していくことを期待したい。

次回は 2 年後に米国で行われる。

[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

【隔月連載記事】

鉄道と超電導 (その 1)

～浮上式鉄道用高温超電導磁石の開発～

公益財団法人 鉄道総合技術研究所
浮上式鉄道技術研究部 部長 長嶋 賢

鉄道に超電導技術を適用する試みは複数ある。鉄道総研で研究テーマ化された内容だけでも、超電導磁気浮上式鉄道（超電導リニア）、超電導き電ケーブル、車両用高温超電導主変圧器、超電導磁気軸受を用いたフライホイール、SQUID によるレールの非破壊検査等がある。今回の連載では、この中からいくつかのテーマについて、鉄道総研の直接の担当者が分担して最新の研究開発状況を紹介することとしたい。

今回は副題の通り、鉄道総研における「浮上式鉄道用高温超電導磁石の開発」状況について紹介する。超電導磁気浮上式鉄道（超電導リニア）の全体概要に関しては本誌 2011 年度の隔月連載記事「やさしい超電導リニアモーターカーのお話」で筆者が紹介したので、バックナンバー (<http://www.istec.or.jp/web21/series/series2011-2.pdf>) の方をご覧頂きたい。

超電導技術を用いる磁気浮上式鉄道

超電導技術を用いる磁気浮上式鉄道で、実用に最も近いものは日本の JR 方式といえるが、基礎的な研究は世界各国で行われている。2014 年 10 月、ブラジルのリオデジャネイロで開催されたマグレブ国際会議

(http://www.maglev2014.com.br/MagLev_2014_Conference_-_Rio_de_Janeiro_-_Home.html) の会期にあわせて、高温超電導バルク体を車両に搭載し、永久磁石軌道の上を浮上走行するタイプの磁気浮上式鉄道のデモ走行が、リオデジャネイロ連邦大学構内で実施された。大学内の 2 つの建物を結ぶ短距離のもので、速度も低速であるが、このシステムを開発関係者は「マグレブコブラ」と呼んでいる (<http://www.maglevcobra.coppe.ufrj.br/index.html>)。2014 年 5 月には、これとほぼ同様の浮上方式に真空チューブを組合せたシステムで時速 2900km/h を目指すとする発表が中国でなされた (<http://english.swjtu.edu.cn/public/viewNews.aspx?ID=154>)。このバルク体を用いる浮上方式は、バルク体のピン止め力を用いて安定浮上するので、車両の停止時にも浮上できることや、永久磁石軌道がうまく出来ていれば浮上走行に伴う磁気ドラッグが少ない等のメリットがある。しかし、バルク体と永久磁石の組合せで使用する限り、浮上力密度に限界が有るため、列車を浮上させるためには多くの超電導バルク体が必要である。また、永久磁石で軌道を構成することはインフラ側のコスト増の要因となるだけで無く、保守も難しくなるなどのデメリットも考えられる。

一方、JR 方式の超電導磁気浮上式鉄道は、車載超電導磁石では電気抵抗の損失なく数百 kA の大起磁力を確保し、地上コイルへの通電電流は数 kA だけに限定することによって通電にともなう損失を小さくでき、あわせてインフラコストも低減できる仕組みとなっている。したがって JR 方式の超電導磁気浮上式鉄道システムでは車載超電導磁石は非常に重要なパーツであり、その高性能化と小型軽量化、また高信頼性化がこれまで成功裡に進められてきた。この流れの中で将来を考えると、高温超電導磁石は当然、選択肢の一つとなってくる。これまで、鉄道総研としてはこのような考えの元、2005 年から国土交通省の国庫補助金を受けて、高温超電導磁石の開発を進めてきた。特に高磁場中での特性に優れた次世代高温超電導線材（イットリウム系線材）を選定してこれを車載

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

超電導磁石に適用する開発を進めてきたので、以下でこれまでの経緯を説明する。

鉄道総研における高温超電導磁石の開発

鉄道総研で最初に製作した高温超電導磁石は実コイルの 1/4 サイズのレーストラックコイルを内蔵した図 1 の超電導磁石である。<http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0001/2011/0001003424.pdf>。これは冷凍機が無い超電導磁石である。と言っても初期冷却は必要なので、はじめに冷却装置を磁石に接続し、低温のヘリウムガスを内部の配管に流して、20 K 近くまで冷却する。その後、冷却装置を切り離すと、クライオスタット（超電導コイルの容器）の断熱効果と高温超電導コイル自身の持つ熱容量により、50 K 以下の温度を 8 時間以上維持できるものである。また、最大磁場はコイル温度 50 K の時に 1 T と実機の磁場の 1/5 の磁場を発生できる。低温部に機械式スイッチ（図 1 右の黒いハンドルが操作部）も備えており、超電導コイルに通電した後でスイッチを閉じれば電源から切り離しても磁場を出し続けることができる。コイルを製作する時に次世代線材特有の問題で線材に若干ダメージがあったためか磁場減衰が予想より大きかったが、現在この問題は技術的に克服したので、実機サイズのコイルを製作すれば、コイル自体のインダクタンスが大きいこともあいまって磁場減衰は大幅に低減することができる見通しを得た。一方、上記で低温維持時間を 8 時間としているが、実機サイズのコイルを製作すればスケール効果により低温維持時間が 1 日（24 時間）を上回ることが推算できる。そうすると夜間に車両基地で磁石を冷却し、日中は冷凍機無しで超電導磁石を運用することも考えられ、超電導磁石の重量や車上電源容量の大幅な低減が可能となる。

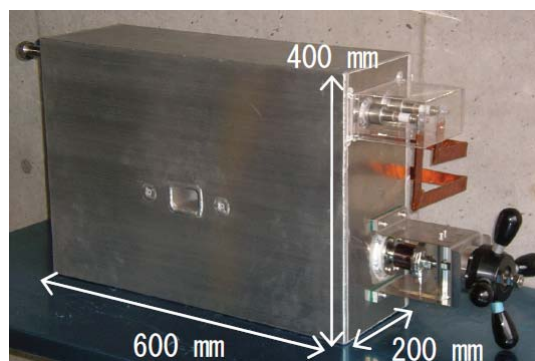


図 1 冷凍機無しで超電導状態を長時間維持する高温超電導磁石

次に試作したのが図 2 の磁石である。これは単段 GM 冷凍機で 45 K まで冷却すると実機並の 5 T の磁場を発生できる

<http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0001/2013/0001003707.pdf>。冷却温度が上がったことで輻射熱シールド板が省略でき、クライオスタットの構造も簡素になった。また、冷凍機も簡単な構造で効率の高いものが使えるようになった。コイル自体は内径 50 mm、外径 130 mm と非常に小径だが、巻線断面の電流密度は低温超電導線材を使用している実機コイルに近い。この磁石の試験結果から、従来の 4.2 K で動作するいわゆる低温超電導コイルに近い寸法と重量で、45 K で動作する高温超電導コイルが構成できることが明らかになった。

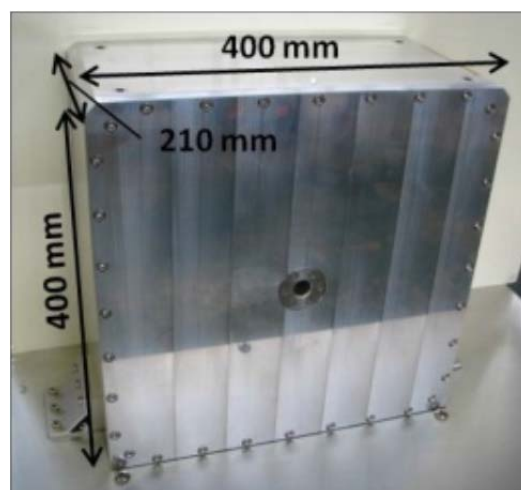


図 2 冷却系を簡素化した 5T 級高温超電導磁石

図 3 は実機大高温超電導コイルの熱シミュレータである

<http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0001/2014/0001003849.pdf>。超電導コイルと並行して開発を進めていたパルス管冷凍機で所定の性能を満足するものが完成した（「並列パルス管冷凍機を用い

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

「た車載超電導磁石冷却システムの開発」, 低温工学, Vol.48, No.7, pp.377-381, 2013) ので、これを組み込んだ装置である。実機同様の断熱構造と実スケールの熱特性評価用レーストラックコイル（熱的な特性が次世代高温超電導コイルと同様なダミーコイル）を有し、実機大高温超電導コイルの熱特性をあらかじめ把握すると同時に冷却構成の最適化を図るための熱的なシミュレーション実験ができる。その際、コイルの温度分布を効率的に測定するために鉄道総研で開発した光ファイバ温度センサ (<http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0001/2014/0001003850.pdf>) も用いる予定である。さらに実機大高温超電導レーストラックコイルが完成した際にはこの装置に組み込んで冷却性能や通電性能の確認試験をすることもできるように設計されている。



図3 実機大高温超電導コイルの熱シミュレータ

鉄道総研では次世代高温超電導線材に最適な巻線構造や製造方法を独自に考案し、このアイデアに基づいた実機大高温超電導レーストラックコイル専用の巻線機も導入した。来年度はいよいよ本格的に実機大コイルの製作に着手する予定である。コイルが完成した際には、熱シミュレータで冷却試験、通電試験を行った後、走行時を模擬した、超電導コイルの加振試験も計画している。

また、超電導磁石単体のハードウェア的な開発だけではなく、この高温超電導磁石を適用した場合の車両運動はどうなるのか、地上コイルへの影響はどうなるのか等、システム運用時の問題についての検討をはじめたところである。基本的にはどちらに対しても高温超電導磁石の導入は良い効果を及ぼすことを期待しているが、鉄道総研がリニア開発当初から培ってきた知見を活かして、高温超電導磁石の導入効果をシステム規模で多角的、かつ定量的に評価していく予定である。

なお、今回紹介した研究開発は一部、国土交通省の国庫補助金を受けて実施したことを付記する。

[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

【連載記事】

やさしい電力系統のはなし (第 12 回-最終回)

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター
常務理事 渡辺 勉

さて、これまで電力系統の特徴、構成する設備、発生・直面するさまざまな様相と対応する考え方や仕組みの概要を 1 年にわたり紹介してきました。

今回、最終回として電力系統全体の俯瞰していただくため、「電力全面自由化と電力系統」、「日本と国際連系」について解説します。今回も従前の解説とやや重複しますがご容赦下さい。

○電力全面自由化と電力系統

・全面自由化のイメージ

国の方針によると 2016 年に全面自由化(全需要家対象)を予定しています。「全面自由化」では、全ての需要家(一般家庭も含む)が日本国内の電力事業者を選べます。ただし、電力事業者も需要家を「選ぶ」自由がありますから両者が言わば「交渉・合意」し契約を結びます。これが、市場原理に基づく「自由化の説明」ですが、電力系統では需要家数が膨大なため一々交渉せず、各電力事業者のメニュー(電力商品)を見て需要家が申し込む、その際、電力「商品」が売り切れなら「ご容赦」(お断り)になることもあると思います。(欧米の例)

・電力系統のプールのな特徴と全面自由化

電力系統での発電と需要の関係は(水の)プールから水を出し入れするイメージです(第 2 回)、この際、プールの水面は常に一定に維持する必要があり(周波数維持の必要性)、水の出し入れを時々刻々一致させる必要があります。(kW バランスの維持(第 1 回))これを念頭に以下の解説をお読み下さい。

・影響は「騒ぐほどのことは無い」とも言える

さて、需要家 2 軒(A,B)、供給事業者(発電設備所有者とします) 2 軒(X,Y)の単純な電力系統を考えます。(図-99) さて、A は X から供給を受け、B は Y から供給を受けていましたが(図-99-(1))、競争の結果、B も X から受けることとなりました。(図-99-(2)) なお、X はこの際、供給力として Y から電力を買うとします。(この様な取引を卸電力取引と言います)

さて、X と Y の競争で電力系統は何か変わるでしょうか、答えは「何も変わらない」です。なお、不思議に思うかも知れませんが、電力では卸取引をしても電気の流れは電力取引で決まる流れ(Contract Path)と一致しません。

(余談) 自由化しても何も変わらないの!?

前記は極端な例ですが、日本に先んじて全面自由化された欧州の系統運用者と意見交換した際、全面自由化しても系統状況は大して変わらないと述べていたのが印象的でした。前記のとおり需要家が電力事業者を変えても卸電力取引が「活発!」であれば、発電設備の運転状況は大きく変化しないと実感していたためと思われます。ちなみに、Contract path ですが、自由化当初は「契約したとおりに電気が流れないのはおかしい!と真剣に怒っていた方がいたのを思い出します。」「市場の原理」より「物理法則」の方が強い!のです)

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

なお、更に、発電設備の運転が大きく変わって流通設備に悪影響を与えないため、「マストラン (Must-run) 電源*」制度が、通常導入されます。(*電力系統の安定運用維持のため系統運用者が指示した出力を維持し運転する電源を設定すること)

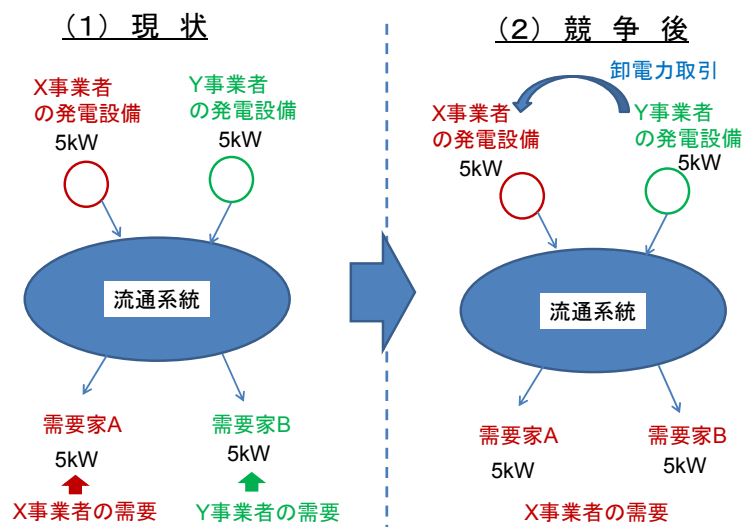


図 99 単純化した電力系統での「競争」例：事業者間競争

・しかし電源の発電の仕方が多様となり系統運用に影響を与える

実際には、電力系統も新しい電源ができたり、需要が増減したり変化しますから、「何も変わらない」とはなりません。簡単な例で見てみます。(図-100)

前記系統で Z という電源が新規参入しました。ここで読者の方は神様なので「Z 電源は X,Y より燃料費が安い」ことを知っている、とします。(実際は「市場」ですから、「手の内 (電力商品の価格等)」は事業者本人しか分かりません。)

Z 電源は競争力があるので卸電力市場で、X,Y 事業者に半量ずつ供給する場合 (図 100-(1)) と X 事業者との競争に打ち勝った場合 (図 100-(2)) を考えます。両ケース共 Z 電源出力は同じですが、電源 X、Y の出力は異なります。

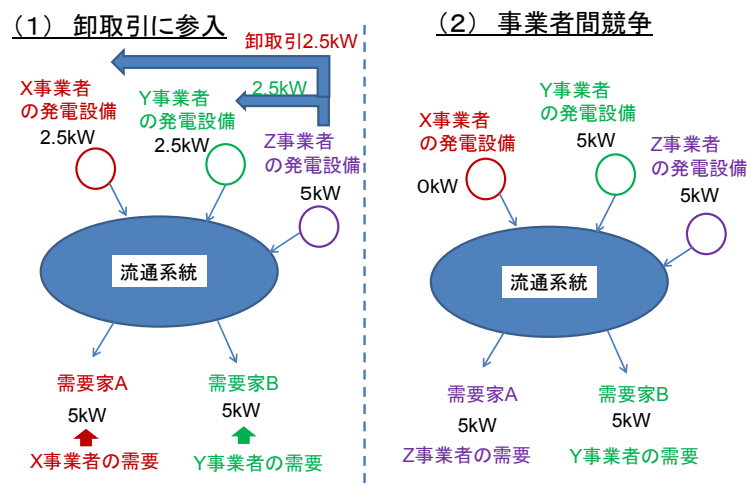


図 100 単純化した電力系統での「競争」：新規電源参入

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

一方、Z 電源の燃料費が高騰すると、Z 電源の出力ゼロや半量となる場合も有り得ます。これに伴い X、Y 電源の出力が変わります。なお、他の商品と同様、燃料費（＝原料費）が高騰しても（コストダウン努力などでのし）直ぐに販売価格を上げないかも知れませんが、Z 電源出力については、Z 電源事業者の経営判断次第の面が有ると思います。需要が同じでも電源の運転出力の分布（X、Y、Z の割合）が異なると電力系統の（技術的な）様相が変わります。結局、系統運用者は、どの様に電源が運転されるか事前に想定することが難しい中で対応することになります。余りに振れると困るので、前述のマストラン電源を設定し出力を系統運用者側にとって好ましい出力に設定させる場合があります。

なお、日本の場合、発電出力計画を 1 年前等から系統運用者に提出するルールとなっていますが、競争に負ければいつでも発電出力は変更されますのでこのルールによって状況が改善する訳では有りません。

なお、気づかれたかも知れませんが、自由化範囲の拡大は、見かけ上「需要家側の変化」ですが、電力系統面から見ると「（範囲の拡大に伴う）電源側の変化（ここでは運転の仕方）」の影響が課題になります。（なお、自由化で需要の形態が変わる！と言われますが、欧米の状況を見ると実感しません。）

・更に流通系統を考慮すると発電の仕方が多様となる

①自由化時の電源運用方式に二種類ありそれが流通系統へ影響する

さて、流通系統（送変電配電系統）を考慮すると、電源 X、Y、Z の「位置」が重要となってきます。X と Z が近傍にあるとします。（図-101） そのまま X と Z がフル発電すると送電線（C）の容量を超えます。ところで、X,Y,Z がフルに発電する（15 kW）と需要（10 kW）を上回り周波数が維持できませんから全てフルで発電することは有りません。

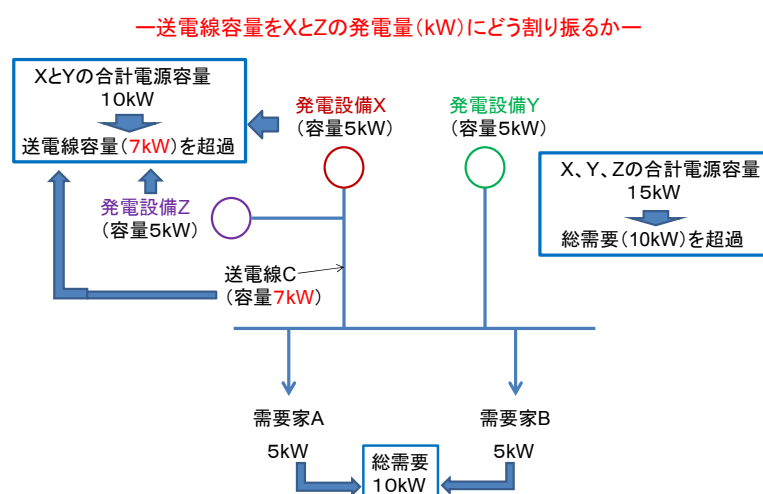


図 101 流通系統が関係する「競争」：送電線容量確保

さて、3 電源の中では Z 電源が強い競争力があると仮定します。Z 電源はフル発電することになり（5 kW）残る X と Y の合計で 5 kW 送電すると需要（10 kW）とバランスします。X が Y より競争力があるとします。すると Z がフル発電ですから、送電容量の限界まで X が発電します（2 kW）。残る分（3 kW）を Y が発電することになります。（図-102）これが「競争力のあるものから発電と

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

送電容量を割り当てていく」やり方で、自由化前の電力会社が基本的に採用していた方式（その際は競争力＝燃料費）ですが、多分、電力会社内の人間も「方式」と言うほど意識していなかったと思います。なお、このやり方を「メリット・オーダー」と言う場合があります。

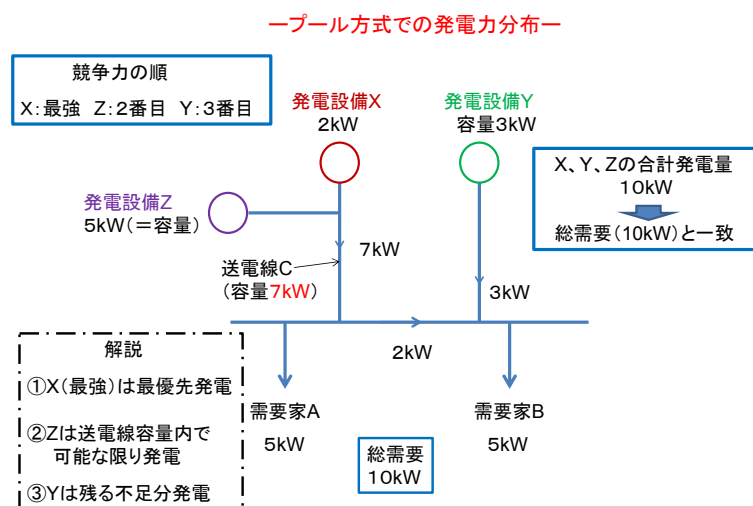


図 102 流通系統が関係する「競争」：送電線容量確保

さて、自由化後は、そもそもの「競争力」が、各事業者の事情により複雑となります。例えば、X 電源は A 需要家が出资している電源で X 電源を運転することが X 事業者から購入する前提とすると、逆に X 電源で発電すれば必ず A に売れることになるので（燃料費に関わらず）競争力が強いとも言えます。

・電源運用決定方式Ⅰ：プール方式

それらも反映し電源運用を自由化前の電力会社が採用していた安価な順に割り当てる方式（プール方式）があります。この場合、先ほど述べた X 電源は、発電費ゼロで系統運用者に申告し、「安い」ことを証明？し発電する権利を得るとともに流通設備の使用権も得ます。なお、実際に X 電源と需要家 (A) が売買する発電単価はゼロ円ではなく別に定められています。（この様な発電と需要の結びつきは CFD (Contract for Difference: 差額契約) とよばれる契約で担保します。）この方式では、X 事業者の電源から需要へ電源を送っているとの考え方でなく、X 事業者と契約している需要が存在する電源から（実質的に）優先的に発電させると言う考え方です。

・電源運用決定方式Ⅱ：バランシンググループ方式

もうひとつの電源運用の考え方は、発電 X は需要 A に電気を送っている、発電 Y は需要 B に送っている、発電 Z が入ってきて発電 X が送電容量を譲る（＝出力を減らす）と発電 X は需要 A に対し発電力が足らなくなる、新事業者 (Z) あくまでも既存事業者(X,Y)の事業継続を脅かさない範囲で参入すべきである、との考え方です。この場合、Z は 2kW までの電源を設置するのは OK ですが、それ以上の容量の電源を設置したいのなら、送電線を増強すべきとなります。（図-103）この方式は、自由化前の電力会社間の連系統運用に採用されていました。

なお、「発電 X は需要 Y に送っている」との考え方はバランシンググループ方式（昔は TPA (Third Party Access) 方式）と呼ばれます。

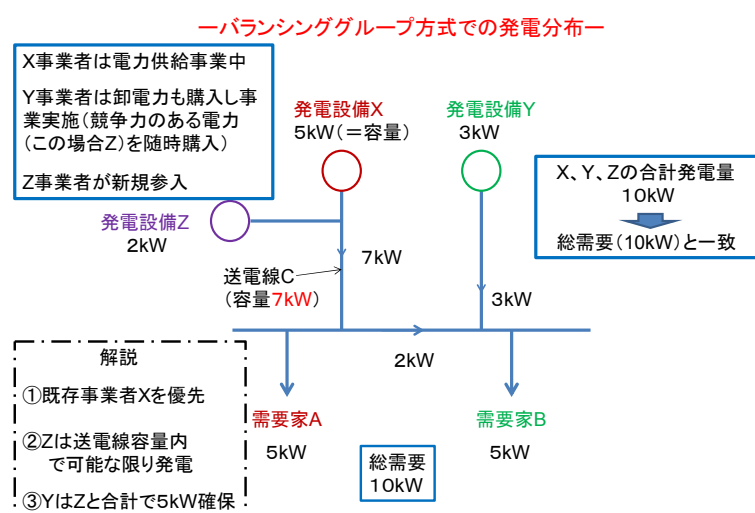
ところで、新規参入者 (Z) が発電できる 2 kW（＝送電容量—使用することが決まっている容量）

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

を空き容量 (Available Transmission Capacity) と呼びます。なお、「使用することが決まっている容量」には非常時に使うための非常時使用容量等が含まれます。(説明は専門的になるため省略)

空き容量の考え方では、例えば、Z 電源の競争力が X 電源より遥かに上回っていても送電線増強までは実質的に参入できないことが問題だと思います。発電容量が 5 kW なら競争力が有っても、2 kW に減らすと競争力が無くなることは十分考えられます。X 電源が退場すれば送電線増強を待たずに 5 kW で参入できるのですが……。日本の自由化制度はバランシンググループの考え方が基本ですが、この様に幾つかの課題がありますから不断に検証すべきだと思います。(なお、種々の代案が提案されていますが、「帯に短し、たすきに長し」の感がありますので、「斬新なアイデア」が出てくればと思います。)



両方式で発電出力の様相が異なることを確認いただければと思います。(図-102 と図-103) この様に自由化に伴う電源運用方式と流通システムの運用は密接にかかわることになります。

(余談) 新陳代謝をどう図るかが難しい

自由化してもプール方式では自由化前に発電事業者と長期契約を結んでいると CFD 契約条項を付加すれば強い「競争力」を得ます。バランシンググループ方式でも自由化前から送電線を利用していた事業者が優先使用权を得ます。(First-Come—First-Served 要は「早い者勝ち」) 結局、既事業者に有利な傾向となります。逆に言えば新規参入事業者には厳しい方式となります。両方式に致命的な欠点はありませんが、既存事業者を優遇し過ぎると、電力産業の新陳代謝を阻み、結局、電力事業全体の老朽化・斜陽化へ進むのが心配です。一方、既存事業者には「しっかり供給面で対応してもらいたい」のも人情？です。

ただし、以前、元気な老人は使い道があると紹介しましたが (第 4 回)、元気があっても老人がいつまでものさばる (=若者が台頭しない) のは問題、なのは確かです。なかなか悩ましいところと感じます。

②混雑 (Congestion) 管理の導入

さて、X、Y 電力事業者が参入している流通システムで設備点検があり送電容量 (14 kW) が半分 (7 kW) に減ったとします。(図-104) さて、この場合、X 電源、Y 電源の出力を減らす必要があります。この場合 X と Y の減らし方が課題となります。(課題①)、次に出力減らすと (この場合合計 3 kW)、

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

発電力合計 (7 kW) が需要 (10 kW) より小さくなります。これには予備発電力 (第 3 回) を起動し対応できますが、例えば、予備発電コストが高い場合発電コストが増えます。この増分を誰が負担するかが問題となります (課題②) この例で、この二つの問題を解決することを混雑管理と呼びます。(実電力系統では相当複雑な例が出てきます) 電車のラッシュアワー時、アルバイトが尻押しして混雑解消に活躍？するのは違います。自由化前、この調整を「電源の持ち替え」と呼んでいましたが (全国共通ではないかも?)、「混雑管理」との呼び変えにはしっくりしないものがありました。

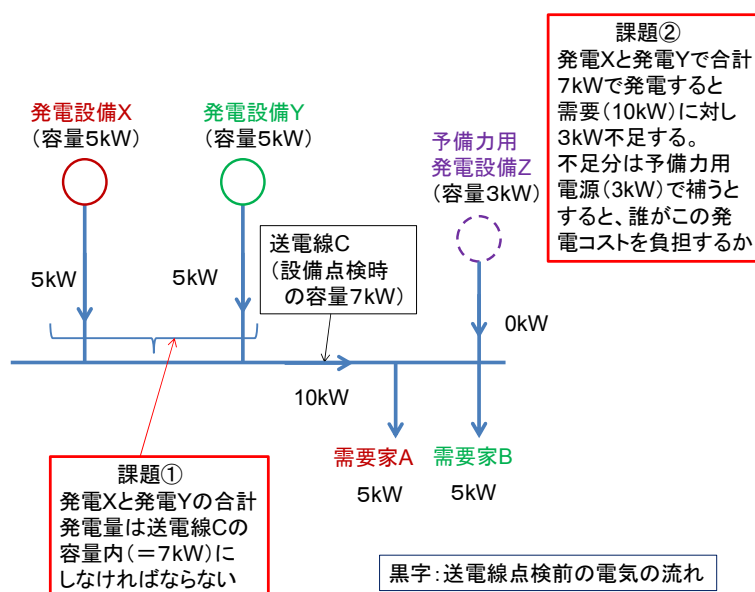


図 104 混雑管理の課題

電力系統の混雑管理は、それぞれの事業者の利害がからむため透明性が重要となり、系統運用者や発電事業者が守るべき電力系統ルールが定められます。(日本の場合、電力系統利用協議会 (ESCJ) が関連ルールを管理しており、27 年 4 月以降、広域的運用推進機関が引き継ぐ) ただし、実電力系統での複雑な状況に対応するため、系統運用者や流通設備管理者へ実務的な負担が増えます。なお、混雑管理関連を詳細に紹介すると 1 冊の本になりますから、ご興味のある方は独自に調査いただき、ここでは課題イメージだけを紹介します。

以上の他にも全面自由化に伴う課題はあり全面自由化への慎重意見は出てくるのですが、全面自由化を否定する論拠にはならないと思います。

○全面自由化と発送分離 (発電部門—流通部門分離) 問題

・「発送分離が電力系統を不安定にする」は間違い

3 つの発送電一体会社 (X、Y、Z) が連系されているとします。(図-105) ここで X と Z が Y との競争に勝ち X と Z から Y 地域の需要家に電力が送られることになったとします。(図-106) Y 地域は実質的に流通部門だけの会社になります。安定供給のために発送一体が必要条件ならば、「Y の流通部門は X 又は Z と会社合併しなければ安定供給できない！」となります。が、技術的には証明できません。ただし「安定供給を維持するには適切な対応を取るのが前提」なのは確かです。

図-105 では、Y 地域は Y の発送一体会社で周波数一定制御していた筈ですが、Y に電源がなくな

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

っても周波数が維持できるように、X や Z で周波数制御する形態に移行すると想定されます。(図-107) すなわち Y 地域以外を含めた一体的な周波数制御が必須と想定されます。(周波数については第 1 回参照) 実際、米国の一部地域では、自由化後、周波数制御地域が見直されました。(PJM 系統)

実際はこの様な状況が一足飛びに移行しませんから、Y と X、Z 間連系線の運用方式変更から進められると思います。ちなみに、この様な状況に応じ円滑に連系線運用方式を見直すのも広域的運用推進機関の役割になると思います。

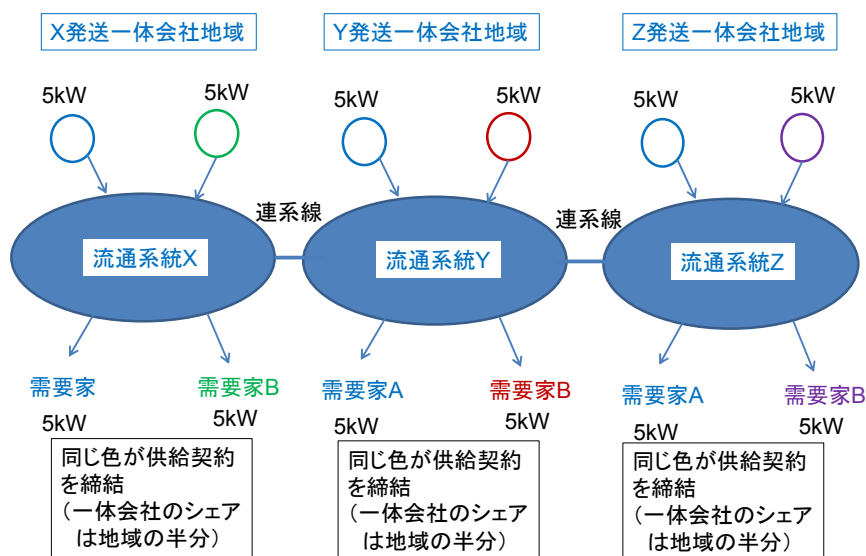


図 105 3つの発送一体会社の連系系統

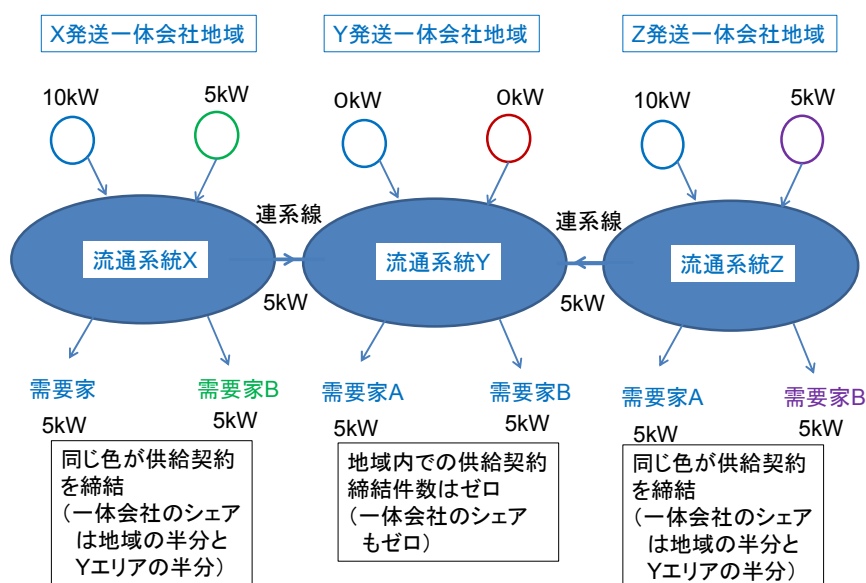


図 106 3つの発送一体会社の連系系統：Y系統発電ゼロ

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

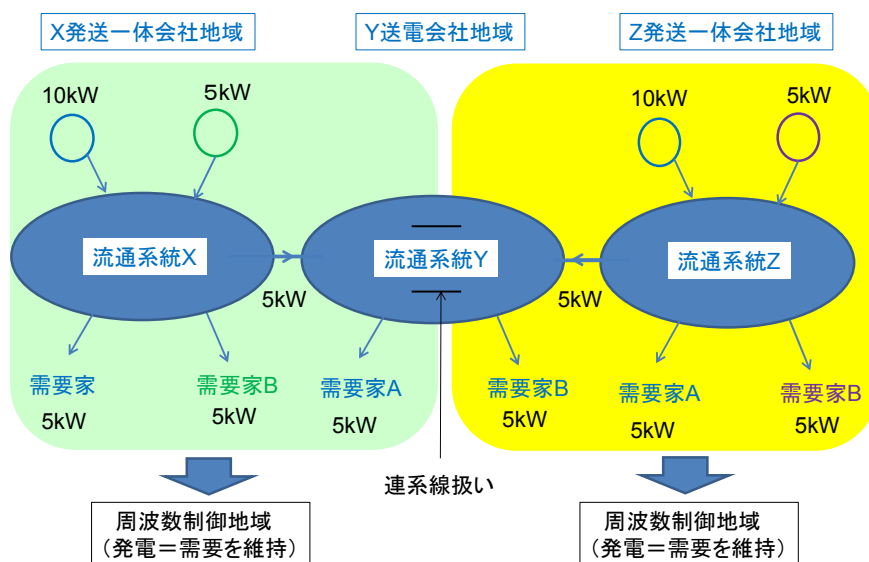


図 107 図 106 系統の周波数運用例：

- 緑色エリア、黄色エリアで周波数を制御（Y 送電会社のエリアと不一致） -

・「発送一体運用がなくなると電力系統が安定運用に懸念」は正しい

さて、最初の単純モデルに戻ります。(図-99(1)) ここで X 事業者は十分利益も出たので事業をやめることにし、発電設備 X は解体し良品部分を海外に輸出すると決定しました、と想定します。この電力系統では、予備力を需要の 30 %有していたとします。これらを全て活用しても需要(10 kW)に対し発電力(8 kW)ですから周波数は維持できませんから、需要抑制が必要です。この様な際、需要抑制を円滑にするためにスマートメータを活用し不便さをできるだけ少なくして対応する、が一つの考え方です。つまり、供給が足りなければ需要を減らせば良いとの市場原理を貫く考え方です。(この主張も「根強い」です)

ところで、「事業をやめる」ことを事前に系統運用者に知らせれば、例えば、Y 事業者が発電機の出力を増大する運転の相談等ができるでしょう。ただし日本の場合、燃料確保の問題がありますからかなり事前の相談が必要です。当然、Y 事業者は「X 事業者が止めると言う重要情報」を相対事前知ることになります。更に、どうしても供給力確保が難しい時は、X の解体を待たせしばらく運転してもらうことも相談事項となると思います。この相談も海外輸出業者との関係、X 事業者の新たな燃料調達などかなり事前に相談する必要があります。

私の「発送一体運用」は、この様に電力事業者は、(需要家に電気を安定的に送るよう努力する責務を持つ) 流通部門とよく整合をとり、電力系統安定供給の一旦を担っていると考えて行動する(発電する)ことを指します。

第3回にカリフォルニアの「発電機インフルエンザ集団感染事件?」を紹介しましたが、これなどは発送一体運用がなされなかった悪例だと思います。電力事業は、全面自由化されても発送一体運用、すなわち、電力事業の公益性を踏まえた相互協力は不可欠と考えます。

これを実現するには、電力系統に関連する各部門、各企業間の適切な情報共有や連携組織の役割が重要だと思います。(広域的運用推進機関がこの役割を積極的に果たすことを期待しています)

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

(余談) 発電一体イメージは東京の地下鉄運用

東京周辺をご存知の方は、郊外から JR や私鉄が都心の地下鉄に乗り入れ、また違う私鉄や JR で郊外に出ていく運用が「見事に」なされているのに気づくと思います。基本的に各鉄道事業に資本関係はありませんし、場合によっては競合関係でもありますが、一体運用のメリット（お客様を目的地に運ぶ利便性など公益性の実現のための協力）を実現していると感じます。

電力系統も、エネルギーを発電設備、流通設備を通して需要家に運ぶのが事業の基本目的ですから、一体運用で合理的に目的が実現されるのが良いと思います。私鉄や JR で問題が起きると地下鉄運用が影響する様に、発電で問題が起きると流通系統へ影響を与えます。どちらも密接な連携が不可欠だと思います。（鉄道と電気では話が違う！と言う方もおられるでしょうが――。）

なお、個人的には、全面自由化より（発電出力が需要と整合しにくい種類の）再生エネルギー大量導入の方が、電力系統技術者にとってチャレンジングな課題と思います。（他の回をご参照下さい）

○日本の国際連系

国際連系とは、国同士が流通設備系統で繋がり電気のやりとりができる状況にすることです。

国際連系の基本原則は以下にまとめられるでしょう。

- ①連系した場合でも、自国の安定運用を優先する
- ②連系に要する建設コスト分担は、連系する部分は半々それ以外の部分は各国で負担する（図-108）
- ③連系で得られるメリットを相手国に請求しない
- ①～③はなかなか超えるのが難しいハードルで、実際は以下の要素が加わることが多いように思います。
- ④政治的判断で連系すると決めたら「つべこべ言わず」連系する
- ④' 政治的判断で連系しないと決めたら「どんなにメリットがあっても」連系しない。

なお、④の場合でも、検討の結果、所要コストが大きすぎるとして中止する（or たなざらしにする）場合もあります。

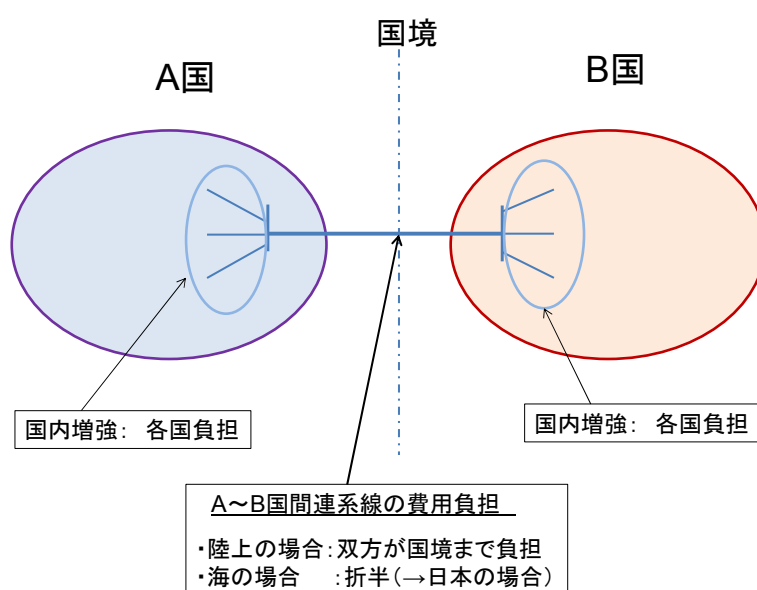


図 108 国際連系線の費用分担イメージ

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

日本の場合、①～③から連系先は韓国ないしロシアが現実的と思います。中国は海底送電距離が長すぎメリットは得られないでしょう。(北朝鮮、韓国を通して間接的に連系するのが現実的) なお、韓国、ロシアについては、④' が結構障害になる気がしますが、ここでは考えないことにします。以下で国際連係を具体的に考える際の小生なりのポイントを紹介します。

・国民への納得性

連系には数千億円は要しますから経済的な納得性が重要となります。たとえば、CO₂削減に貢献するためとしてもその経済的な評価が必要になるでしょう。

(いろいろな機関で出される「連系構想の提言」はこの評価面の検討が弱い or 甘いと感じます)

・地域住民への納得性

国際連系する場合、日本の電力系統規模(2 億 kW 程度)を考えると、ある程度の大容量(日本では百万 kW(原発 1 基分のイメージ)以上)で連系することになると思います。そうすると連系線以外の国内電力系統増強が必要となる可能性が高くなります。この際、例えば、新送電線が必要となると設置地域の了解が必要です。この場合、国の方針(国際連系)と地域の意思との調和が相当難しい課題と想定されます。(防衛問題(基地)と似た構図)欧州ではこの部分が(国内連系を含め)容易に解決できない課題となっています。日本でも、例えば、ロシアから北海道北端方面で国際連系しても、需要地帯は関東方面でそこまで送電すると考えるとこの問題は相当大変と思われる。

・電気料金(託送料金)への反映

国際連系によって利益を得るのは一般的に需要家(消費者)です。日本では、消費が集中する大都市地域が主に恩恵を受けると思います。一方、国際連系に伴う流通設備増強分の送電料金(託送料金)増は、通常、全国民が負担します。これについて納得を得るのは一仕事でしょうし、場合によっては所要コストの分担の工夫?の議論も想定されます。その際は、広域的運用推進機関が全国的な視点から技術的に評価するのが良いと思います。

全体的に日本の国際連系について否定的なトーンに読めるかも知れませんが、世界では「日常的」に検討されており毛嫌いしなくてもよいと思います。

(余談) ソビエト崩壊と欧州の国際連系

1990 年代初頭に東欧でソビエト支配が崩壊したのに伴い東欧・西欧間電力系統の交流連系実現機運が盛り上がりました。ソビエト時代から直流設備で連系されており、「直流設備増強でも良いのでは?」と思ったのですが、欧州の電力系統技術者によれば「これは政治的な意思だ!」とのことで 1990 年代後半に実現させました。(どの程度メリットがあったのか良く判りませんが)

その頃、個人的に国際大電力システム会議(CIGRE)に関与しており、それらの動きを目の当たりにしたのですが、殆ど「熱に浮かされていた」のが印象的でした。一方、国ではありませんが(日本より大きい)米国テキサス州は、「頑なに」他州との交流系統連系を拒んでいます。(直流連系のみ)

これらは、上記④、④' の具体例と思います。

以上で 1 年間の連載を終了致します。稚拙な文章で「わかりにくい電力系統のはなし」となったところも多かったと思いますが、電力系統理解に少しでもお役に立てれば幸いです。

お読みいただきましたこと感謝申し上げます。

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

研究室紹介

「東京大学 大学院新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 大崎研究室」
The University of Tokyo, Graduate School of Frontier Sciences,
Department of Advanced Energy, Ohsaki Laboratory

東京大学 大学院新領域創成科学研究科
先端エネルギー工学専攻
教授 大崎博之

研究室的概要

電気エネルギーの効率的利用と先進的電磁界応用システムの実現を目指し、超電導体などの先端材料を活用して、優れた特性を有する電気機器およびシステムの研究を進めています。電磁現象解析や機器設計、これらの実験的検証、およびシステム検討、フィージビリティ研究などを行い、その対象は、電力・エネルギー分野から交通輸送、産業応用、医用分野などに広がっています。

最近の主な研究内容

a. 電力・エネルギー分野への応用

再生可能エネルギーの導入拡大へ向け、洋上風力発電などへの適用が期待される 10 MW 級大型風力発電機の検討を行っています。大トルク、超低速回転を特徴とするこのような発電機について、従来技術では達成が極めて困難な軽量・コンパクト構造を目指し、三次元有限要素法を使った電磁界解析に基づく特性評価および発電機概念設計を進め、永久磁石型も含め、各種発電機設計の比較、評価を行ってきました。また、電力系統に連系された超電導風力発電機について、風車やシャフト等の機械的構造や、励磁装置や電力変換装置等の電気機器との相互作用も含めて、発電機の定常および過渡解析を各種条件下で実施し、過渡トルクや交流損失などの解析的な評価も行ってきました。この他、電力系統における事故電流を抑制するための超電導限流器、超電導技術に基づくエネルギー貯蔵システムなどの設計研究、特性解析、モデル実験なども行ってきました。

b. 交通輸送・産業応用分野への応用

超電導磁気浮上鉄道用の高温超電導マグネットの設計や、鉄道の電力供給システムに超電導ケーブルを適用することによるシステム損失低減や変電所数削減の可能性等について検討しています。電車で電力を供給する鉄道変電所の間を、超電導ケーブルによって相互に接続する方式を基本適用形態とし、解析対象の路線を電気回路モデルによって記述して、MATLAB-Simulink により解析しています。電車の駆動特性や空力特性もモデルに取り入れ、超電導電力ケーブルへの熱負荷および冷凍効率等も仮定して、システム全体での省エネルギー化の可能性を評価しました。これまでの結果から、超電導ケーブルの導入が回生ブレーキの利用効率向上、損失の低減、変電所数の削減あるいは保守低減などに有効であることが示されています。また、超電導ケーブル導入時の鉄道電力システムにおける短絡事故電流を評価し、その抑制方法などについても検討を進めています。

c. 超電導体の電磁現象

機器に使用される超電導体中の電磁現象を明らかにするために、有限要素法などに基づく電磁界・熱伝導場・電気回路等の連成解析ツールを開発し、そのツールや市販のソフトウェアを使って様々な数値解析を行ってきました。例えば、RE 系バルク超電導体を回転機や MRI、NMR 等へ適用

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

することの可能性を探ったり、あるいは RE 系線材や抵抗型限流器の電磁的および熱的特性の解析などを行ったりしてきました。また、RE 系超電導線材を、磁界の空間的均一性と時間的安定性が要求される超電導コイルで使用する場合に問題となる遮蔽電流の影響を実験的に調べてきました。

連絡先

〒277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 東京大学新領域基盤棟 307

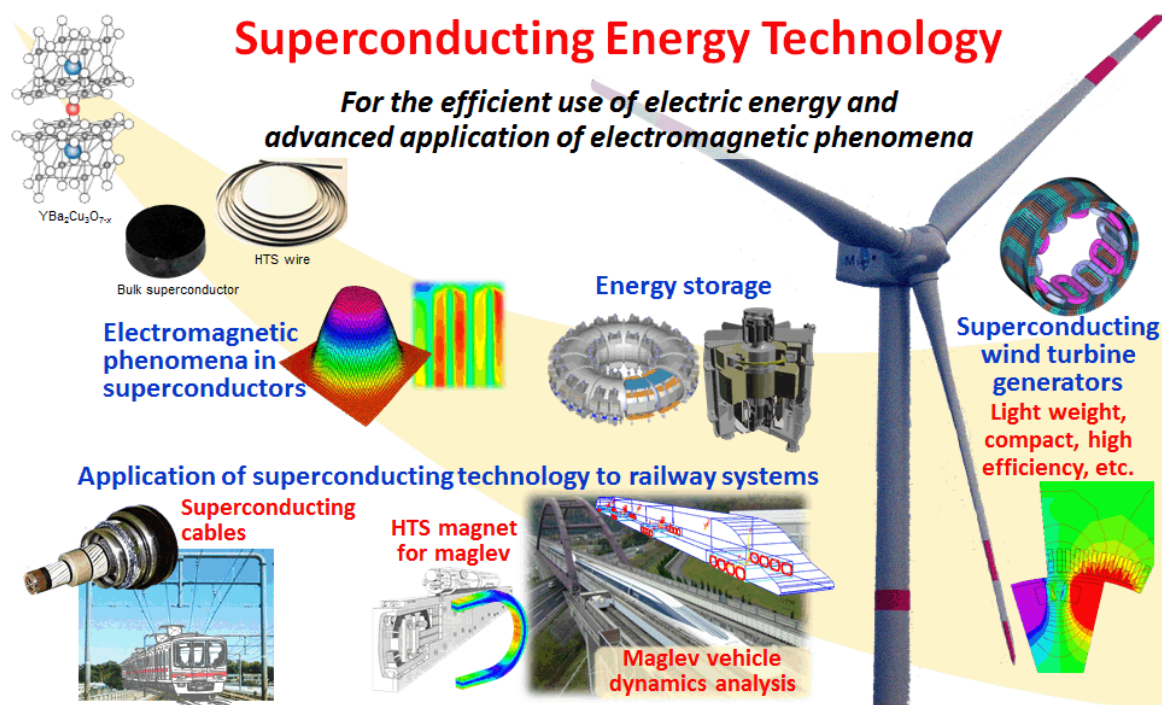
東京大学 大学院新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻

教授 大崎 博之

Tel.: 04-7136-5527, FAX: 04-7136-3830,

e-mail: ohsaki@k.u-tokyo.ac.jp

<http://www.ohsaki.k.u-tokyo.ac.jp>



超電導エネルギー工学 ～電磁エネルギー機器の高性能化～

自薦・他薦を問わずこのコーナーで紹介できる研究室を募集しています。
企業や国研の研究室でも構いません。

ご連絡先: web21@istec.or.jp

[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：超電導とは逆の現象の「近藤効果」について、少し詳しく知りたいのですが？

A：近藤効果は、局在スピンとそれを取り囲む多数の伝導電子との間の相互作用によって局在スピンの遮蔽される現象です。理論的にはその大半が解明され、現象論としても多くが既に知られています。しかし、近藤状態の微視的な性質を目に見える形にして示し、そこから多体相関の本質に迫ったり新しい現象を導いたりすることは、重要な課題として現在も引き継がれています。15 年程前に、半導体量子ドット中の単一電子スピン（＝単一の局在スピン）が電極の伝導電子との相互作用によって近藤効果をもたらすことが確認されたことが契機となり、局在エネルギー準位、電極との結合による準位の広がり、準位の縮退などのパラメータを自在に制御して電気伝導に反映させる実験が行われるようになりました。その結果、単一の局在スピンを単位とする近藤効果の微視的な描像や、それが電気伝導に与える影響が次々と明らかにされてきました。最近では、量子ドットに超伝導電極を取り付けた実験により、近藤効果と超伝導の競合、共存現象なども微視的視点から明らかにされています。

しかし、近藤効果の最も基本的な性質である「近藤の位相シフト」は、その予言から 40 年にも渡って未検証のまま残されていました。これは、単一局在スピンの近藤状態によって散乱される電子の波動関数の位相が 90 度ずれる現象であり、共鳴的なスピンの遮蔽という近藤効果の微視的な性質を最も強く反映したものです。その検証には固体電子の精密且つ信頼性の高い位相測定技術が必要で、世界中の研究者がその技術的困難の克服を試みたにも関わらず、成功しませんでした。私たちは、電子波の位相情報を取り出す二重スリット実験が後方散乱を受けると破綻することをヒントに、後方散乱の影響を確実に排除できる 2 経路干渉計を独自に開発しました。そして、干渉計の中に量子ドットを埋め込んで近藤状態をつくり出し、その散乱位相を測定することによって「近藤の位相シフト」の検証実験を初めて成功させました。実験では、位相シフトの大きさが局在エネルギー準位やその準位の広がりなどの関数として変化し、近藤状態で 90 度に固定される詳細な振る舞いが、驚くほど高い精度で得られています。

近藤効果の微視的性質に関する研究は、今後は、近藤効果に他の量子結合を組み合わせた複合系へと更に広がっていくと思われます。新規超電導物質の発見に直接繋がるかどうかは現時点ではわかりませんが、単一量子単位で状態を精密に制御する研究を通じて、それに必要な新しい視点を提供することは可能かもしれません。今回の研究は、そのヒントを与える物理量として、電気伝導度だけでなく、波動関数の位相を観測することを可能にしたもので、その意義は大きいと考えています。

参考：<http://www.t.u-tokyo.ac.jp/epage/release/2014/20140922003.html>

回答者：東京大学大学院工学系研究科 講師 山本倫久 様、教授 樽茶清悟 様

[超電導 Web21 トップページ](#)