

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）：

トピックス

- 追悼・北澤宏一先生
- 国際超電導シンポジウム（ISS2014）のお知らせ
- 「IEA-ISS ジョイントセッション 若手賞」開催

- 超電導関連 2014 年 11 月-12 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（9/20-10/19）
- 世界の動き
- 隔月連載記事「高温超伝導電力機器の冷却技術」（その 6）
- 連載記事「やさしい電力系統のはなし」（第 10 回）
- 研究室紹介 京都大学 大学院工学研究科 雨宮研究室
- 読者の広場「新聞で永久磁石などの検査装置に超電導マグネットシステムが使われる、との記事を見ました。この検査装置、超電導マグネットシステムには、どんなメリットがあるのでしょうか？」

[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 Fax 044-850-1613

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

トピックス：追悼・北澤宏一先生

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 所長
田辺圭一

去る 9 月 26 日、(公財) 国際超電導産業技術研究センター (ISTEC) の顧問、また 2012 年より国際超電導シンポジウム (ISS) の組織委員長を務めておられた北澤宏一先生 (東京都市大学学長、東京大学名誉教授) が急逝されました。

北澤先生は、1980 年に ISTEC 副理事長と超電導工学研究所 (SRL) の初代所長を務められた田中昭二先生 (当時は東京大学教授) の要請を受け、東大工学部の応用化学科から物理工学科に移られ、酸化物超電導体の研究を開始されました。そして、1986 年の 9 月にベドノルツとミュラーの銅酸化物 La-Ba-Cu-O の論文に目を留め、指導された学生がマイスナー効果とゼロ抵抗を確認し、これを論文としていち早く発表することで、この物質が高温超電導体であることが世界的に認知されました。その後の同グループにおける精力的な研究と発表、また先生も米国での学会や議会の要請を受けて数々の講演を行われるなどのご活躍により、高温超電導研究開発の世界規模での爆発的な広がり、いわゆる高温超電導フィーバーの立役者の一人となりました。その後、東京大学大学院教授を経て 2002 年に現在の独立行政法人・科学技術振興機構に移られ、専務理事として、そして 2007 年から 2011 年までは理事長として超電導を含む我が国の科学技術の振興と発展に尽力されると同時に、超電導技術の可能性と将来の夢について、我々研究者と社会に向かって常に熱く語りかけておられました。先生のご逝去は、超電導の学会、業界、そして ISTEC、SRL にとっても大きな損失で、残念でなりません。北澤先生のこれまでのご支援に深く感謝すると共に、ご冥福を心よりお祈り申し上げます。

[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

トピックス：国際超電導シンポジウム（ISS2014）のお知らせ

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

部長 岡崎 徹

来る 11 月 25（火）～27（木）、江戸川区タワーホール船堀にて第 27 回国際超電導シンポジウム ISS2014 が行われます。超電導産業技術の研究、開発及び応用の促進と、一般社会への超電導技術の普及・啓蒙を図ることを目的とし、毎年開催される超電導の研究集会としては世界最大級のものであり、海外からも高い評価を受けています。

また、超電導技術による新たな産業の創出やビジネスチャンスの発掘を推進することを目的に企業展示会も併催いたします。さらに、今年度は IEA（International Energy Agency）との共催で若手研究者の未来社会と超電導の関わりに関する討論会や、昨年度に引き続き韓国中学生によるグループ研究発表も行われます。

省エネや再エネの導入推進が必要とされる中、既存技術の制約による限界も明らかになっていきます。その限界を打ち破る可能性を秘めた超電導技術の最新状況を是非ともご参加の上確認頂きたいと思います。

なお、おかげさまで事前登録だけで昨年度近い参加者数となりました。当日登録も受け付けておりますので、万障お繰り合わせの上、参加頂ければと思います。

事前登録は締め切りましたが、参加費などの条件は下記からご覧頂けます。

参加登録 http://www.istec.or.jp/ISS2014/ISS2014_Resistration.html

アクセス http://www.istec.or.jp/ISS2014/Traffic_info_Funabori.pdf

[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

トピックス：「IEA*-ISS ジョイントセッション 若手賞」開催

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

来る ISS2014 では、掲題の新たなセッションが開催されます。ISTEC では、4 月から IEA 超電導委員会 (IEA-HTS**) の事務局として参加し (当所渡辺常務が OA : Office Agency)、活動しています。この中の活動の一環として、今回、若手の方の育成、奨励のために ISS とジョイントで掲題のセッションを設けさせていただきます。

関係の先生方の協力もあり、定員の倍の申し込みがあり、その内 7 人の方の発表を行ないます。テーマは、“私の研究と将来のエネルギー社会への提言”であり、IEA 本委員会議長ほか 5 人の先生方に審査していただき、優勝、準優勝を決めます。通常の研究発表と異なり、各人の研究活動を生かした今後の将来社会に対する意見発表であり、活発な議論が予想されます。ご関心のある方は、ぜひ聴講をお願いいたします。

また、表彰式も ISS のクロージングで行いますので、こちらもご参加下さい。

IEA-HTS-IA -ISS
ジョイントセッション- Young Generation Award-若手賞

IEA-HTS-IA 国際エネルギー機関 高温超電導国際委員会

11月26日(水曜) 9-11時
船堀タワーホール2F 平安の間

11月27日(木曜) 15:45
表彰式(クロージング最後) 5F 大ホール

後日、IEA-HTS-IA, ISTECのHP上に優勝、準優勝論文掲載

ISS2014 2014 November 25-27
セッションテーマ: 将来のエネルギー社会と私の研究
27th International Symposium on Superconductivity

56th IAS-SC
IEA 国際高温超電導委員会

IEA-HTS-IA and ISS Joint Session

* Now we have closed the web submission and registration for this session.
We had many applicants of young generation. Thank you for your cooperation.

This year we will start a new session with help of IEA-HTS-IA (International Energy Agency - High Temperature Superconductivity - Implementing Agreement). IEA-HTS-IA and ISS Joint Special Session for Young Generation which aims to motivate the Youth, under 35 years old (as of 2015 March 31) with the broad aspects of discussion with their opinion of future energy use or application and their research work. We hope for your application.

Qualification of IEA-HTS-IA and ISS Special Session for Young Generation

* less than 35 years old as of 2015.03.31. Please fill in your age at that time on the abstract form.

図 本セッションの日本語版案内 (会議は英語です)。

*IEA (International Energy Agency : 国際エネルギー機関) 1974 年に、OECD の枠内機関として設立された。事務局所在地はパリ。加盟国現在 34 カ国。

**高温超電導の研究開発や普及を促進するための IEA で承認された国際超電導委員会です。日米欧から 9 カ国が参加。

[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

超電導関連 ‘14/11 月－12 月の催し物案内

11/5-7

低温工学・超電導学会秋季大会

福島市 コラッセ福島

<http://www.csj.or.jp/conference/2014a/index.html>

11/8

低温工学・超電導学会 市民公開講座

福島市子どもの夢を育む施設 こむこむ館

<http://www.csj.or.jp/#>

11/10-12

6th International Workshop on Cryogenics Operations

United Kingdom

<http://www.cockcroft.ac.uk/events/cryo-ops/>

11/12

応用物理学会・磁気科学研究会第 3 回講演会「強磁場発生 of 新しい潮流」

高山市民文化会館

http://www.csj.or.jp/event/co-sponsor/2014/jsap_1112.pdf

11/12

講演会 High Temperature Superconductors for Magnets

David C Larbalestier (National High Magnetic Field Laboratory)

京都大学 桂キャンパス 桂ホール

sec@asl.kuee.kyoto-u.ac.jp

11/17

第 1 回低温科学技術交流会

東京大学伊藤国際学術研究センター

http://www.csj.or.jp/communication/2014/1st_1117.pdf

11/24

超電導材料若手研究交流会

東京大学武田ホール

<https://workshop.iee.or.jp/sbtk/cgi-bin/sbtk-showprogram.cgi?workshopid=SBW000032B4>

11/25-27

国際超電導シンポジウム 2014(ISS2014)

東京・タワーホール船堀

<http://www.istec.or.jp/ISS2014/ISS2014.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

11/30-12/3

International Workshop on Coated Conductor and Applications (CCA2014)

Jeju, Korea

<http://www.cca2014.org/>

12/6

熱音響工学講習会

東京農工大 小金井キャンパス

http://www.csj.or.jp/application/2014/conference_1206.pdf

12/11

第 3 回超電導応用研究会シンポジウム

岩谷産業中央研究所

http://www.csj.or.jp/application/2014/3rd_1211.pdf

12/12

低温工学・超電導学会関西支部特別講演会

大阪市立大学文化交流センター

http://www.csj.or.jp/kansai/2014/13th_1212.pdf

12/17

第 5 回冷凍部会（公開）例会／環境・安全委員会ワーキング

川崎重工業 新東京本社

http://www.csj.or.jp/reitob/2014/5th_1217.pdf

(編集局)

[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

新聞ヘッドライン (9/20-10/19)

- 東京新聞 夕刊 電子の不思議 40 年ぶり解決「近藤効果」東大チームが確認 9/20
- 日刊工業新聞 理研など、超電導回路でパラメトロンを作製 量子ビット高精度読み出しに成功 9/25
- 鉄鋼新聞 物質・材料研、神鋼など 国内最高磁場の発生に成功 核磁気共鳴装置で 9/26
- 鉄鋼新聞 古河電工きょう設立 130 周年 歩みと展望を聞く 古河家 5 代目当主 古河潤之助相談役 10/07
- FujiSankei Business i. 新型車両 省エネ進化目指す 鉄道総研など 超電導材や蓄電池活用 10/13
- 日本経済新聞 朝刊 42 年越しリニア始動 27 年開業へ着工認可 東京―名古屋 40 分 観光・ビジネス、結びつき一段と 10/18
- 日本経済新聞 朝刊 超電導リニア時速 500 キロ 2027 年開業 来年から工事本格化 品川―名古屋、最短 40 分 10/19

(編集局)

[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 9 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



★ 今月のニュース発信地

▶マグネット

超高磁場 MRI

Bruker 社 (2014 年 9 月 17 日)

新しい超高磁場 MRI である BioSpec 210/11 は、Bruker 社の最先端 CryoProbe™ 技術と 21 テスラの磁界強度を持つ。このシステムによって、感度と解像度が向上され、分子や細胞レベルの研究が著しく進展し、さらには前臨床研究での新たな知見が得られる可能性が期待される。

この装置のスキヤナーには、すでにフーリエ変換質量分析で使用され実績を持つ UltraShield™ 冷蔵 USR 磁石 (強度 21 テスラ、大きさ 11 cm) の技術に基づいている。USR 磁石は漂遊磁場を減少させ、さらに同社のアクティブマグネット冷凍技術を搭載することで、寒剤の再補充がほぼ不要となり、停止時間やユーザー側のメンテナンス費用が軽減される。

同社の前臨床イメージング事業部長である Wulf I. Jung 博士は、「21 テスラ MRI で現在提供できる高分解能レベルは、従来のシステムでは不可能であった。当社の超高磁場磁石や当社独自のソフトウェアパッケージに加え、最新の CryoProbe 技術が組み合わせられて、研究の枠を超えて幅広く上質データを活用できることは、大変光栄なことである。」と述べた。

Source: "Bruker's new 21Tesla Ultra-High Field MRI with CryoProbe allows in vivo Investigation to shift from Organ and Tissue Imaging to Cellular and Molecular research"

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

(17 Sep, 2014)

<http://www.bruker.com/news-records/single-view/article/bрукers-new-21tesla-ultra-high-field-mri-with-cryoprobe-allows-in-vivo-investigation-to-shift-fro.html>

Contact: Dr. Thorsten Thiel, Thorsten.thiel@bruker.com

▶電力応用

D-VAR で新たに契約：米、加、英

AMSC 社 (2014 年 9 月 29 日)

AMSC 社は、カナダ、英国、米国で交わされた 3 つの新しい D-VAR®STATCOM の契約を発表した。同社の社長兼最高経営責任者である Daniel P. McGahn 氏は、「当社の D-VAR STATCOM システムにより、再生可能エネルギーを使用する発電所では、安全かつ効率的な送電網への接続が可能になる。またこのシステムは、公益事業が既存電力供給システムの下でグリッドの高効率を目指し、電圧変動から工業施設を保護する機能も果たす。」と述べた。全システムの搬入は、2014 年にかけて行われる予定である。

この D-VAR システムは、動的電圧制御と力率補正を提供し、電力系統における電圧崩壊など、事故波及を防止し安定化を図る。なお、このシステムは、交流電源系等にパワーエレクトロニクス技術を使うフレキシブル交流送電システム (FACT) のデバイスの一つである無効電力補償装置 “STATCOM” として分類される。このシステムから系統に無効電力を出力することで、同時かつ瞬時に過電圧を抑制できるよう設計されている。

D-VAR システムを搭載すれば、安全基準に加え、生成された再生可能エネルギーを効率的に電力網に相互接続することが可能となる。英国に拠点を置く Senvion SE 社 (旧 REpower 社) は、Strathy North ウィンドファームと電力網を接続するために D-VAR システムを使用する。このウィンドファームは現在建設中であり、Senvion MM82 と呼ばれる風力タービン 33 台で構成される予定である。2015 年末までには完全作動可能となる見込みである。米国では、D-VAR システムによって、テキサス州アマリロ市にある Route 66 ウィンドファーム (現在建設中) が、電力市場のテキサス電気信頼性評議会 (ERCOT) により接続される。同社にとって、First Wind (米国を拠点とする独立系風力エネルギー会社) との契約は、これが 2 度目のプロジェクトとなる。このプロジェクトでは、150 MW の再生可能エネルギーの生成を目指す。一方、カナダでは、D-VAR システムが港や鉄道施設の近くに設置され、施設での大型電動モーターの始動で起こるフリッカー障害を緩和させるように設計される。

Source: “AMSC Announces New D-VAR® System Contracts in Canada, United Kingdom, and United States”

(29 Sep, 2014)

<http://ir.amsc.com/releases.cfm>

Contact: Kerry Farrell, kerry.farrell@amsc.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

▶線材

新しい絶縁材料

North Carolina State University (2014 年 9 月 4 日)

ノースカロライナ州立大学で行われた研究では、修飾チタニアは、電流経路を維持しつつ熱を放散させることができるため、超電導磁石の電気絶縁体になり得る可能性が示された。チタニアの化学組成は、依然として機密情報のままであるが、この物質についての開発及び評価は、ケンタッキー州レキシントン市に拠点を置く nGimat 社とノースカロライナ州立大学の共同作業で行われた。同大学の博士研究員であり、今回の研究内容の論文の主執筆者である Sasha Ishmael 博士は、「超電導体内部の電流を変動させることは多くのアプリケーションにとって重要である（交流応用など）が、この変動は内部で熱を発生させる。もし電気絶縁体が余分な熱を放散することができるならば、磁石ははるか安全に作動する。というのは、高温状態では超電導体が破壊するリスクがあるからである。このチタニア系物質は、熱伝導という点において、同等の電気絶縁体よりも最大20倍も優れており、超電導技術用の電気絶縁体として使用するのに、非常に有望な特性を持つ。」と述べている

「粒子加速器をはじめ、高エネルギー物理学の用途に使用することができるかどうかを決定するため、我々は今、この物質における放射線の影響を検査しているところである。」と、論文の上席著者であり、神戸製鋼名誉教授、またノースカロライナ州立大学材料科学工学部の学部長でもある Justin Schwartz 博士は述べている。

論文「高温超電導マグネットに使用されるチタニア (TiO₂) 系電気絶縁体の熱伝導性と誘電特性」は、ジャーナル、Superconductor Science and Technologyのオンライン版で公開されている。

Source: "Titania-Based Material Holds Promise as New Insulator for Superconductors"

(4 Sep, 2014)

<http://news.ncsu.edu/2014/09/schwartz-superconductor-insulator-2014/>

Contact: Dr. Justin Schwartz

▶基礎

二次元物性：新しい超電導の可能性

Joint Quantum Institute (2014 年 9 月 18 日)

真の二次元物体には、新現象につながり得る量子間の相互作用が働く。二次元物質の 2 つの例として、機械的、電気的、さらに光学的に優れた特性を示すグラフェン、そして量子ホール効果やスピンホール効果の観察を可能にする二次元電子ガス (2DEG) が挙げられる。

二次元問題における比較的新しい研究例が、量子共同研究所 (JQI) の新研究員で、メリーランド大学物理学部助教授でもある James Williams 氏の主導で行われている。ここでの目的は、二次元ガスではなく、二次元液体としての遷移金属酸化物 (TMO) の物質表面にある電子の平面集積を調査することである。これら物質にある電子密度は、半導体に見られるものよりも強い相互作用を引き起こす。

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

メリーランド大学に来る前、Williams教授はスタンフォード大学に在任しており、そこで彼の研究チームは、50 nm幅のゲート電極を電解質ゲルで濡らしてできたチタン酸ストロンチウム (STO) で薄いサンプルを作り、テストを行った。目に見えない電極が陰イオンを電離する一方、電解質の陽イオンはSTOの表面に残り、その真下には高密度な二次元電子層を創出する。これらの電子輸送は電界効果トランジスタ (FET) と同様で、覆われた静電気ゲートに電圧を印加することによって制御することができる。

超電導性と同時に強磁性であり、またサンプル中の電子密度を変えれば調整することができるという特性を有するバルクのチタン酸ストロンチウム (一般的なTMO) を最初に発見したのは、Williams教授とスタンフォード及びサンタバーバラにいる彼の同僚であった。低電圧 (1平方センチメートルあたり 8×10^{12} 個未満の電子密度) の状態では、その障壁となる物質は絶縁体のままである。中電圧での電子密度に変えれば、量子トンネル現象につながる。それをより高電圧 (1平方センチメートルあたり 5×10^{13} 個超の電子密度) にすると、小さな伝導帯が現れ、FETで見られるよりはるかに勢いのある超電導電流が自由に流れ出す。

現在行われている研究の関心は、どのようにして通常電流と超電導電流が、一つの超電導STOパネルから別のパネルへ小さなチャンネルを通して流れるかを見出すという点にある。チャンネル寸法は電子波長と同じなので、量子効果が発生すると予想される。それゆえ超電導STO物質は量子化され、クーパー対の伝導性が $2e^{2h}$ の倍数 (e は電子の電荷、 h はプランク定数) という特定レベルのみで生じる。しかし、ゲート電圧による電流変調からは、 e^{2h} の倍数でも伝導性が生じると示している。高電子密度とその相互作用の組み合わせは、他の物質では観察されていない。小さな通路を通る強制的な量子的振る舞いにより、電子のスピン度合いが変化する新たなタイプの電子輸送が作られているのかもしれない。

電子密度が量子ポイントコンタクトの外側で増すと、その物質は超電導になる。量子ポイントを渡るクーパー対(逆スピンする電子)透過の研究を進める中で、研究者たちは、量子ポイントを渡ったクーパー対の透過が逆スピンする電子を防止するという点を解明した。そこで、どのようにしてクーパー対が量子ポイントを通過することができるのかという点が次に問題となる。現在分かっているのは、この特殊なTMO内にあるクーパー対は、従来の方法では対にならないかもしれないということである。彼らの実験結果は、2014年8月31日にNature Physicsのオンライン版で報告されている。

Source: "Two-dimensional electron liquids/LOOKING FOR NOVEL FORMS OF SUPERCONDUCTIVITY"

(18 Sep, 2014)

<http://jqj.umd.edu/news/two-dimensional-electron-liquids>

Contact: Phillip Schewe, pschewe@umd.edu

超電導探究へ光子の応用

Princeton University (2014 年 9 月 8 日)

プリンストン大学の研究者たちは、物質物理学における根本問題に答えるため、光の結晶化に取り組み始めた。9月8日に掲載されたジャーナル Physical Review X のオンライン版では、同研究チ

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

ームが室温超電導体など特殊材料開発の一環として、光子を所定の位置にロックし、光を結晶に形質転換しようとしていることが報告された。光子は、複数の粒子が連動して動き、遠距離で互いに影響し合う量子力学の法則 ("エンタングルメント"と呼ばれる現象) に従う。

実験ではまず、光子が大きな波を生成する2つの超電導サイト間を容易に移動する。その後しばらくして、光を"凍結"させ、所定の位置に光子を閉じ込める。実験で見られた高速振動は、新しいトラップ動作の証拠である。素粒子の振る舞いをシミュレートする実験装置を作製し、原子の振る舞いについての根本問題の研究に対処しようとしている。

別のアプローチとして、同研究チームは量子の振る舞いを直接シミュレートする機器を構築した。汎用量子コンピュータ実現に向けて重要な問題に答える取り組みである。彼らは、1000億個もの原子を含有する超電導材料でできたシステム構造を作製し、特に"人工原子"として機能できるように操作した。そして光子を含む超電導線材付近にその人工原子を配置した。光子は通常、互いに相互作用しないが、同大学の装置では、光子が粒子のように相互作用する新たな振る舞いを作り出すことができた。現在の装置では、人工原子が超電導線材と対になるサイトはわずか2ヶ所であり、装置と相互作用の数を拡大することで、単一分子から物質全体までより複雑な系をシミュレートすることが可能になると考えられる。同研究チームとしては、将来的には数百のサイトを持つ装置を作り、超流体と絶縁体のような光の新しい相を研究、観察していくことを望んでいる。

Source: "'Solid' light could compute previously unsolvable problems"

(8 Sep, 2014)

<http://www.princeton.edu/engineering/news/archive/?id=13459>

Contact: Martin Mbugua, mmbugua@princeton.edu

[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】

高温超伝導電力機器の冷却技術（その 6）

大陽日酸株式会社

開発・エンジニアリング本部

つくば研究所長 吉田 茂

6.まとめ

これまで、高温超電導電力機器の冷却技術について、その背景や冷凍機開発の必要性、さらには個別の技術について述べてきた。今回は連載の最後となるので、これまでの話のまとめとして、今後の課題や法整備等について述べることとする。

6.1 技術課題と今後の方向

高温超電導電力機器は超電導エレクトロニクス等の他の応用と比して、冷却規模が大きいことが特徴と言える。その多くは、成熟した既存の電力技術と競わなければならないため、どうしても規模の大きさによるメリットが目がいってしまう。しかし、その中でも直流コイル応用や自家用限流器では、冷凍能力1 kW以下の冷却装置で十分な可能性もあると考えられる。その際には既存技術の伝導冷却技術が利用できる。必要冷凍能力が大きくなれば、ヘリウム冷凍機や新規開発のネオン冷凍機を利用することになるが、これらの冷凍機にて生成された低温ガスを真空チャンバー内に設置された電力機器へ導けば、機器自体は伝導による冷却が可能となり、機器の構造が簡単になる。このように既存技術の応用や、既存技術との組合せによる冷却装置の利用は冷却コストを抑える一つの有効な方法と考えられる。

一方、冷却装置において、新たな機器開発が必要なものもある。以前に述べた項目であるが、サブクール液体窒素による冷却では、液体窒素循環ポンプが必要となるが、電力機器冷却用に見合った長期間メンテナンス無しで運転可能な液体窒素ポンプは現時点では市販されていない。このため、冷凍機の進歩に合わせて液体窒素循環ポンプを開発する必要がある。また、メンテナンスフリーを目的としたターボブレイトン冷凍機の現状は、冷凍機効率に課題が残っている。冷凍機は大型になれば、それに応じて効率が良くなるが、未だ満足の行く冷凍機は市販されていない。ターボブレイトン冷凍機の効率を向上させるためには、構成機器である膨張タービンやターボ圧縮機である回転機械の効率向上が欠かせない。もちろん熱交換器の効率が良くなれば冷凍機の効率も上がるが、熱交換器の大型化はコールドボックスが大きくなるので、冷凍機のコンパクト化という市場の要求と合致しない。このあたりは冷凍機のフットプリントと効率の最適妥協点を見極める必要がある。

さて、回転機の効率向上に伴い、どこまで冷凍機の効率は向上できるのであろうか？市販開始された2 kWブレイトン冷凍機の効率（COP）は0.06@80Kであるが、果たしてCOPはどこまで期待できるか。空気分離器のような極めて大きな装置では、既に膨張タービンの効率は90 %に達しているものがある。しかし、高温超電導電力機器冷却用の冷凍能力10 kW程度の冷凍機に用いる回転機では85 %位が限界と思われる。膨張機では低温側への侵入熱が効率の限界を決め、回転速度の遅い圧縮機では作動ガスの漏れ量が効率を決める要因となる。表6-1を見ると、回転機の効率において達成可能な85 %を設定すればCOPが0.1に近づくことが解る。尚、この計算では熱交換器効率を98 %と仮定し、さらに配管の圧力損失やモータの機械損失も考慮している。

超電導 Web2.1

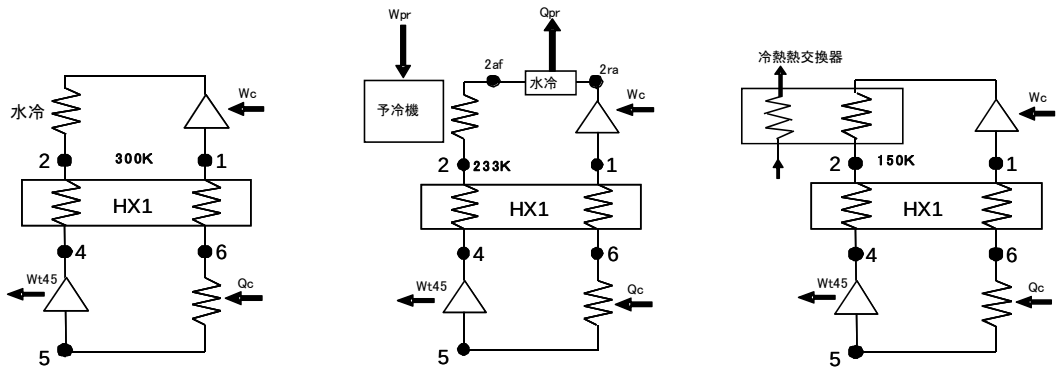
(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

表6-1 回転機の効率による冷凍機COPの予測値

冷凍機運転温度 K	膨張タービン効率 %	圧縮機効率 %	COP
75	70	70	0.055
75	80	80	0.077
75	85	85	0.090

ここで、別の側面から冷凍機効率向上を顧みると、冷凍機の効率に大きく寄与するのがプロセスである。基本的なターボブレイトンは断熱圧縮により高圧を生成しているが、この所望の圧縮比を複数段で行い、見掛け上定温圧縮に近づけば、必要動力を削減することが出来る。しかし、多段を採用することは、それだけ多数の圧縮機が必要ということであり、価格や故障回避の面から不利となるので、妥協案を探ることになる。膨張タービンについても同様で、多段膨張を採用すれば効率の向上が期待できる。但し、プロセスの工夫による効率向上は可能であるが、多段圧縮機の採用と同様に全体のコストパフォーマンスを考えなければならない。

また、全体プロセスの面から考慮すれば、圧縮温度が低温であるほど省動力が出来る。そこで図6-1のように基本ブレイトンサイクルの他にフロン冷凍機を予備冷却に用いたプロセス、およびLNGの冷熱を利用した低温圧縮プロセスを考えてみた。表6-2では、将来の予測値ということもあり、表6-1の計算に比べ、種々の損失が改善された値を計算に用いている。このため、基本ブレイトンサイクルにおいても、表6-1より良い数値を示す結果となっている。ここでは、数値の絶対値よりも各サイクルのCOPの違いに注目して欲しい。低温圧縮技術を用いればCOPはかなり改善されることを示している。このように低温圧縮技術は冷凍機の効率向上に関して有効な技術であり、低温ターボ圧縮機の開発・高性能化は魅力的な研究開発テーマである。



A) 基本ブレイトンサイクル B) 予冷機付きブレイトンサイクル C) 冷熱利用ブレイトンサイクル

図6-1 ブレイトンサイクルフロー図

表6-2 低温圧縮ブレイトンサイクル予測COP

サイクル	運転温度 (K)	膨張タービン効率 (%)	圧縮機効率 (%)	COP
A	80	80	80	0.098
B	80	80	80	0.135
C	80	70	65	0.160

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

6.2 法規制の緩和

冷却装置の改良については、機器類の効率向上のみならず、法規制緩和によるソフト面の充実も重要である。現在の冷凍機の多くは、高圧ガス保安法の規制対象となっている。基本的に高圧ガス製造設備は特定の検査を受けるが、冷凍機の範疇であれば、若干緩やかな規制となる。しかし、冷凍機において、高温超電導電力機器の冷却温度で利用できるガス種はヘリウムしかない。ヘリウムと同様な不活性ガス種であるアルゴン、ネオンは冷凍機に規定されていないので、これらのガス種を用いた冷凍機は、一般に高圧ガス設備となってしまう。

一方、超電導ケーブルや超電導変圧器は、その用途から電気事業法の規制を受けるとの解釈があるが、基本となるのは高圧ガス保安法であり、電気事業法では高圧ガス保安法に準拠するという項目も少なくない。高圧ガス保安法では、毎日の装置点検及び運転員の常駐が義務づけられており、法律そのままであれば、無人運転が出来ない事になる。実際の変電所では無人のところも多く、超電導電力機器導入の妨げになることが危惧される。

また、高圧ガス保安法と海外法規との整合性も重要と考える。高圧ガス保安法は国内の高圧ガスに関する事故を抑制・撲滅するための規制であるが、海外の規制基準との違いを良く理解しなければならない。いまや、各企業にとって海外進出が不可欠な状況であり、当然、超電導技術も輸出対象の一つとなろう。その際、国内法規と海外法規の温度差による仕様の差異は海外での競争力を失うことになりかねない。

ところで、高圧ガス法規制の緩和は、装置製作側の都合だけでは認められない。論理的な安全説明と実際の長期に亘る無事故証明が必要となる。この意味でも、数多くの実証試験を無事故にて行い、実績を積むことが超電導電力機器普及の実効策となる。既に各所にて超電導電力機器の法規制について議論が始まっていると聞いている。是非、最新の注意を払いながら行方を見守って行きたい。

6.3 冷却装置の将来への期待

冷却装置に必要な項目は、操作性、信頼性、耐久性、安全性、高効率、安価等色々あるが、これらの項目について自身が感じることを以下に挙げる。

まず、超電導電力機器の普及には、冷却装置の存在が気にならないようにすること。冷却装置の運転には専門知識がいらない簡単な操作性が要求される。特に自動クールダウンを始め、各段階での自動運転モードの充実が不可欠となる。また、冷却装置の遠隔監視や遠隔制御も必要である。将来の超電導電力機器が無人運転を行われること考えれば、少なくとも遠隔監視機能は必要であり、さらに専門家による遠隔制御も将来の課題である。冷却装置の操作簡便性を追求する一方で、故障診断や緊急対応等の専門知識を要する操作は必ず必要となる。現場にて対応不可能な処置には専門家が必要となるが、専門家の現場派遣には相当な日数が掛かると思われる。そこで、冷却装置の遠隔監視や遠隔制御機能を利用した速やかな応急対応や処置が期待される。

冷却装置では少なからず高圧ガスを扱うことになるので、この面からの安全性も重要である。高圧ガスに関係する装置では、運転時の安全確保だけでなく、装置の運転停止時における安全性の確保も重要と考える。この点については、前段落でも述べたが高圧ガス関連法規との整合性に注意を払わねばならない。

耐久性については、新規開発のターボブレイトン冷凍機のメンテナンス間隔は3年以上が期待できる。磁気軸受けを採用した冷凍機では、基本的に機械的メンテナンスは不必要となる。しかし、装置に使用している電子部品の寿命や故障を考えることにより、メンテナンス間隔が決定される。メンテナンス間隔はこうして決定できるが、その一方で信頼性の面からいうと、平均故障間隔のデータがないことは事実である。今後、各地でのフィールド試験により実データの蓄積が望まれる。

効率については、まず液体窒素温度域で安定的に COP0.1 を出せるような技術進歩が当面の目標である。また、価格については冷却装置の生産台数と直結すると考えられる。冷却装置の低コスト

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

化が先か超電導電力機器の普及が先か？回答困難な命題ではあるが、超電導電力機器の普及に併走して冷却装置の価格低下が当然もたらされるべきである。現実的には数 kW クラスの冷凍機では、当面は \$ 200/Watt が目標と考えられる。

最後に近づいてきたところで、これまで長年冷却屋として思ってきたことを記す。超電導機器には必ず冷却という操作が付いてくるが、冷却は決して主役ではない。しかし、必要不可欠な要素に間違いない。超電導機器では、エンドユーザに冷却を感じさせない、又は想像させないような超電導機器システムを組み上げることが理想である。そのためには、超電導機器専門家と冷却専門家との非常に親密な関係が必要であり、新たな超電導機器の構想段階からの協働作業が肝心である。超電導専門家と冷却専門家、さらには電気/機械システム専門家それぞれの主張をどのように巧みに装置に組み込んで行くかが今後のキーポイントと考えられる。多くの研究者・技術者達の弛まぬ研鑽と惜しみない努力により、必ずや超電導社会が実現することを信じている。

[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 10 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、今回は需要家設備の解説をします。

電力系統はそもそも需要家が電気を使うために使用される設備ですが、需要家設備は電力系統の一部でもあります。今回は、電力系統との関連を中心に需要家電設備と合わせて関連する事項も解説します。

○需要家設備の基本構成 (図-89)

低電圧 (100~400V) で電力を受ける需要家の場合、需要端に電力量計を設置し、次に分電盤が置かれアンペアブレーカー (もしくは幹線ブレーカー) + 漏電遮断器 + 配線用ブレーカーで需要家内を保護するのが一般的だと思います。ちなみに、分電盤は、変電所の母線 (第 8 回) の様に電気の交差点となっています。

高電圧 (6 千 V) や特別高圧 (7000 V 以上) の需要家の場合、遮断器 (CB) (負荷開閉器の場合も)、取引用計量装置 (Voltage Current Transformer) が設置され、それから先の設備はそれぞれの必要性に沿った形態となります。変圧器を設置し設備に適した電圧に変換し、母線を設けて (6 千 V 等では VCT 以下の設備がキュービクルと呼ばれるボックスに一括設置) 構内に配電するのが一般的な構成です。なお、受電電圧や変圧器台数により、図-89-(2)とは構成が幾分違う場合もあります。

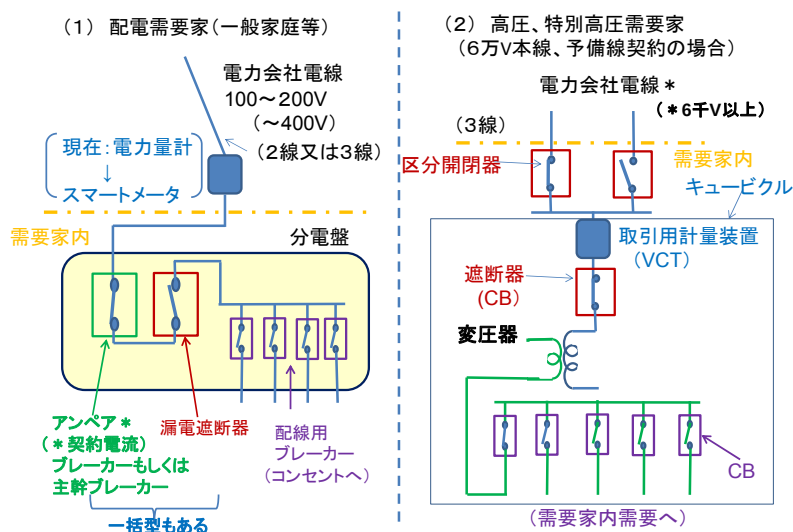


図 89 需要家電力系統関連設備の基本構成

○需要家設備の必要な機能

電力系統では、系統に繋がるとお互いに影響を及ぼし合い、特にお隣さん同士の影響は強くなります (第 3 回参照)。このため、需要家も電力系統に繋がり電気を使用する時に配慮が必要となります。この点は同じネットワークシステムでも通信系統とは異なります。

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

①自設備事故で他人に迷惑をかけないための機能

需要家内でのトラブルが起きると電力系統に種々の影響をもたらします。(図-90)。このため、需要家で系統に影響を与えるトラブル（事故）が発生したら速やかに電力系統から切り離される必要があります。このため、電力系統との接続にブレーカーを設置し需要家構内事故時には電力系統側の保護装置が動作する前に高速開放させます。なお、事故で大電流が流れる際の状況は、送電線雷事故での瞬時電圧低下発生時と同じです。(第6回解説参照)

— 6万V系統短絡(A-B-C相接触)の場合 —

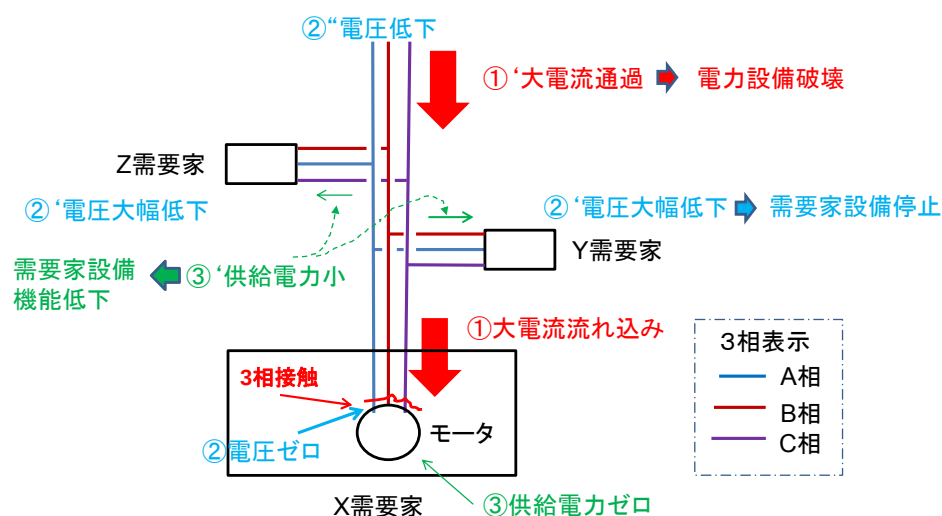


図 90 需要家内トラブルの電力系統への影響イメージ

低電圧需要家（一般家庭など）では契約電流を超えると動作するアンペアブレーカーと漏電などの小さな事故電流でも持続的に流れて火災や人災に至らない様動作させる漏電遮断器で一般的に対応します。需要家内の一部の電気回路で大電流が流れると配線用ブレーカーが動作します。(図-89-(1))

一方、高電圧以上の需要家内トラブルには遮断器（CB）が動作します。(図-89-(2)) なお、高压需要家ではCBの代わりにヒューズの場合もあります。

ブレーカー（又はCB）が動作すると電力系統から電気が来ませんからトラブルを継続させるエネルギーもなくなり、通常は需要家内の影響拡大も防げます。ただし、電気事故で火災が発生した場合、ブレーカーが動作しエネルギー供給がなくなっても火は消えない場合もあります。

なお、一般家庭で、地震で家が損壊した場合等の時、電力系統側の原因で停電し設備復旧後の再供給時に建物内で起因する火災の可能性が皆無ではありませんから、避難する場合は念のためブレーカー開放することをお勧めします。

②普段の電気使用で他人に迷惑をかけないために

需要家電圧が電気の使い方でも異常に変動する場合、近傍の系統電圧も変動し、お隣さんや更に「ご近所さん」影響が広がり電気が使いづらくなります（ひどい場合は使えなくなる）。いわば、電気の「雑音」です。このような電圧変動には、商用周波数（50 又は 60 Hz）電圧がゆっくり（周期が数秒以上）変動する場合と更に短い周期で電圧変動する場合があります。短い周期の変動でも、数秒以内の比較的高い周波数（10 Hz 程度以下）は電圧フリッカーと呼ばれ照明のちらつきなどの影響を及ぼします。商用周波数以上の非常に短い電圧変動は高調波電圧（発生原因から通常、商用周波

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

数の整数倍) と呼ばれます。(図-91) これらの電圧発生が大きい場合は、抑制装置の需要家設置が必要です。

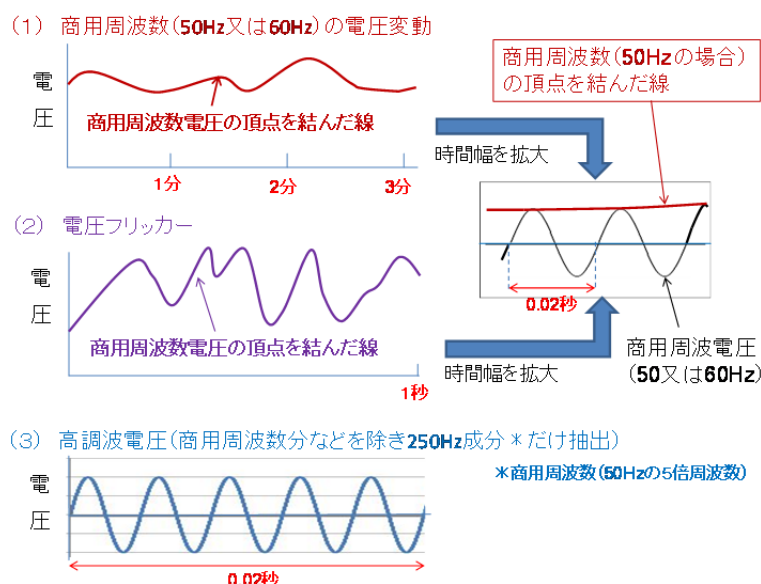


図 91 電圧変動のイメージ

なお、高調波電圧は、インバータを使用する機器(高調波抑制対策をしていない場合)が増える増加するため、高調波抑制対策付きインバータ機器の設置が望まれます。なお、高圧以上の比較的大規模な需要家は「高調波抑制対策ガイドライン」(経済産業省制定)に沿い必要な場合に対策を講じます。(専門的になるため解説は省きます。なお、高調波電圧は、通常、「電圧変動」に含みませんが今回は説明の都合上含めました。)

(余談) 高調波現象は難しい

電力システムでの高調波現象を検討する時は、高調波発生原因設備を高調波発生電流源(いわば高調波発生発電機)として解析します。需要設備を発電機と考えるのは、直感的にしっくりしないのですが良く解析できます。(ただし、対策はなかなか難しいのですが。)一方、送電線などは高調波に対する電気特性が商用周波数での特性と違うため、模擬の仕方が変わります。結果として得られる高調波電圧・電流の様相は商用周波数とは全く異なります。このため、検討は結果が妥当かどうかの確認を含め大変です。(検討が不要な)高調波の少ない電力システムになればと願います。

電力システム解析では、商用周波数(50又は60Hz)、高調波(250~300Hz以上)でシミュレーション方法を変えますが、このように物理現象では周波数領域の設定が大切な場合があります。いくら詳細に模擬しても解析する現象の周波数領域に合った模擬でないと高性能コンピュータを駆使しても正しい答が出ません。ちなみに、地震や津波現象も広い周波数領域、ゆっくりした揺れから細かい揺れまで含んでいることを(3.11以降いわきで)実感しましたがー？

③発電機を運転する需要家の機能

需要家が発電設備を運転すると、自分の需要を賄うだけでも外部の電力システムに影響を与えます。(図-92) このため、発電機の電圧・無効電力維持力や事故対応機能等の条件を満たす必要があり、「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」(経済産業省制定)が定められています。(解説は省略)

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

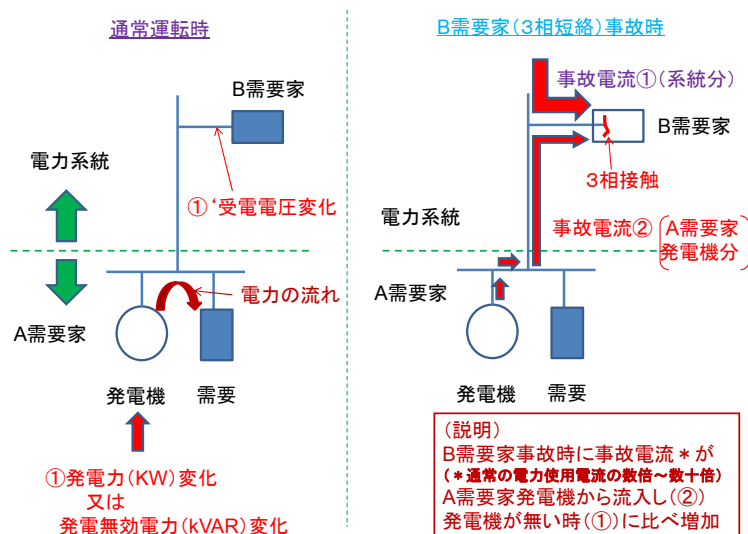


図 92 需要家発電機の電力系統への影響例

○需要家の供給契約と電力系統運用

需要家は電力会社や他の事業者と供給契約（電気を購入する契約）を結びます。通常、契約電力（kW）内で電気を使えば問題無い訳ですが、その契約内容の一部分、特に、需要規模が大きい需要家の場合、電力系統運用へ影響を与えます。（以下の④、⑤、⑥）

④（随時）需給調整契約

電力系統では、需給（kW）バランスが崩れ周波数が維持されないと電力供給全体が停止します。（第1回解説参照）このため、発電増余力がなく、需要が上回り周波数低下が大きくなる（と想定される）場合、需要が削減されます。発展途上国では、（日本でも3.11で悪名が定着した）輪番停電等で強制的に削減されることも多いですが、先進国等では、極力、需要家と事前に需要削減契約を結び、周波数低下時（又は低下が想定される時）に需要が削減されます。日本では需要を削減する契約は需給調整契約と呼ばれますが、時間を予め指定せず緊急事態に対応できる契約は「随時需給調整契約」と呼ばれます。

従来、契約による需要削減策はDSM（Demand Side Management）と呼ばれ、需給バランス維持手段であるとともに、将来の電力需要増加を抑制し電源新設量を減らすことにも使われました。電力自由化の進展とともに、電源設備量や需要量は「基本的に市場で決まる」とされ、一方、随時調整契約など緊急対応可能な需要削減策が、系統運用者の緊急的な停電回避対策とされつつあります。この様なコンセプトの変化もあるのでしょうか、最近ではDSMにかわりDR（Demand Response）と呼ばれます。

（余談）随時調整契約量の確保と市場原理

系統全体の悪影響が及ぶ周波数低下原因は、発電設備の大規模停止、送電設備の大規模停止、需要の異常増加（猛暑等）等種々あります。一方、随時調整契約は需要削減時間や削減回数が定められ、更に実際需要削減されるとその後契約解除が生じるなど（→いざ、削減すると需要家への影響が想定以上に大きく契約を解消）、自由に契約実施できません。このため、電力系統運用者とすれば契約量は多いほど安心です。一方、契約を増すには金銭的な魅力（インセンティブ）を増す必要があります。このように調整契約量には「需要と供給」の関係があり、市場原理で決定されるべき

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

との意見もあります。

ところで、電力系統運用者は払うお金がありませんから、電力系統運用者は電力系統利用者に「つけ」を回し調整契約を買います。この際、量と値段を気にせずに買うと、後々に「余計なものを買った、私は払わない!」と言われる可能性があります。(系統運用者のジレンマ→図-93) このため、単純に市場原理だけでうまく「おさまる」(需要と供給が均衡する)のは難しいと思います。

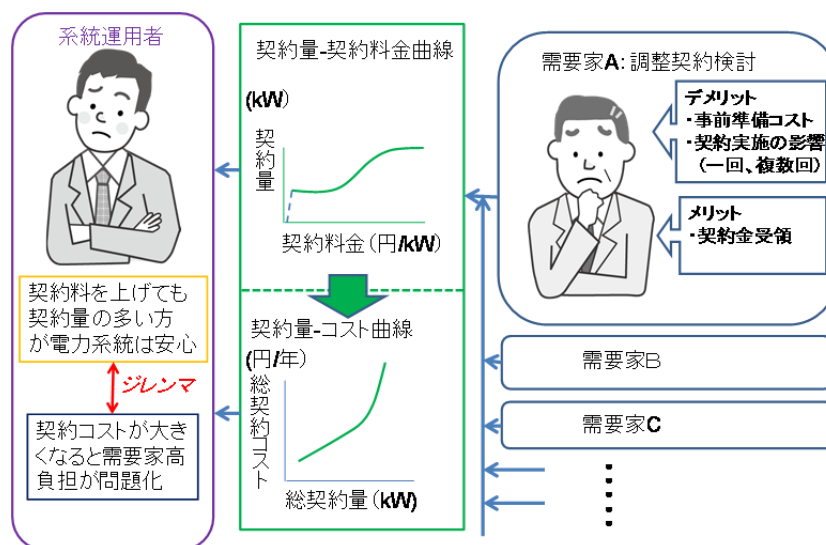


図 93 (随時) 需給調整契約量と契約コストのジレンマ (葛藤)

つけを回される電力系統利用者は、一般的に全需要家ですが、調整契約量をどの程度確保しそのコストを負担するかについて、需要家全員で「その程度ならいいよ」と言う必要があります。これは「国の防衛負担」、(国全体が脅かされる) 緊急事態に備えるコストを(国民全員が負担する)税金でどの程度使うかを国民が決めると似ています。ちなみに、電力系統ではこの様な緊急時に対しどう備えるか、はセキュリティー (Security) の課題と呼ばれますが (第 6 回の流通設備のセキュリティーと同じ考え方)、セキュリティーは安全保障と訳せ、防衛 (National Security) と考え方が通じる面があります。

防衛 (設備量と負担費用) レベルは市場原理で決まりませんが、同様に調整契約量も市場原理だけでは決まらないと思います。

今後はスマートメータ (後述) 等の活用も考慮し、より多くの需要家を対象に社会全体が参加する随時需給調整契約の仕組みをつくりつつ、必要契約量と負担限度について (防衛費と同様) 広く需要家の合意形成ができればと思います。(ただ、日本人は防衛問題を含め安全保障議論を敬遠しがちですが――)

⑤本線・予備線契約

送電系統 (日本では 6 万 V 以上) は信頼性として N-1 基準が採用され、通常、送電線 1 回線停止でも送電は継続されます。(第 7,8 回) 送電系統に接続する大規模需要家は、本線・予備線契約すると送電系統の信頼性が活用できますし、系統運用者等から見ると流通設備の点検等が容易になります。(図-94)

このため、本線・予備線契約は比較的安価な契約料金が設定され、推奨されています。一方、需要家の受電 CB (又は開閉器) が 2 台必要となるなどコストが増加するため、契約しない需要家も

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

いますが、できれば本線・予備線契約していただければと思います。

なお、配電系統は、N-1 基準（設備が 1 停止となっても供給継続できるシステム）に必ずしも対応していませんが（ネットワーク方式は除きます：第 9 回参照）、高圧（6 kV）配電系統などでは、電線設備を二重化している場合があり、配電系統点検等の容易化などから高圧需要家等に本線・予備線契約を推奨する場合があります。

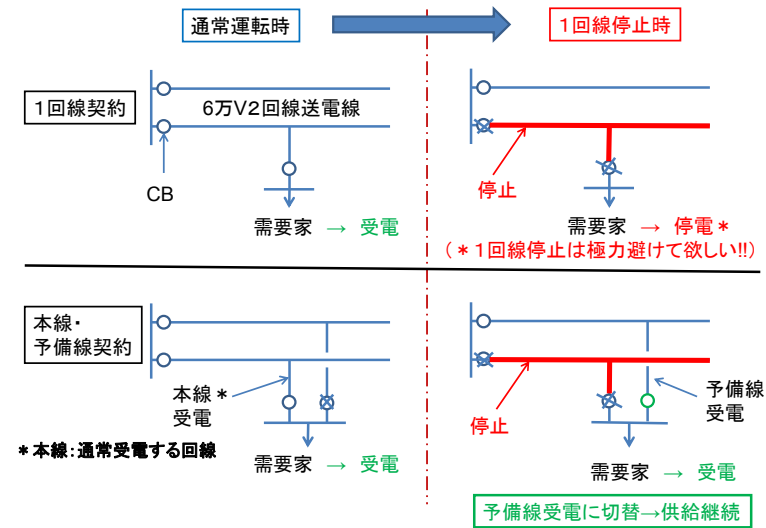


図 94 本線・予備線契約と系統運用例（→1 回線停止時に受電可能）

⑥力率割引・割り増し

比較的規模の大きい需要家の供給契約では、需要の力率に応じて基本料金（毎月定額支払料金）が割り増し・割引されます。力率が小さいと電力設備に流れる無効電力成分が大きくなるので一般的に好ましくないことを反映した仕組みです。しかしながら、無効電力は 2 種類（進相、遅相）あり、発生要因や発生量はいろいろで、電力系統ではそのバランス維持が重要です（図-95）。このため、この仕組みの妥当性を（そろそろ）検証しても良いと思います。

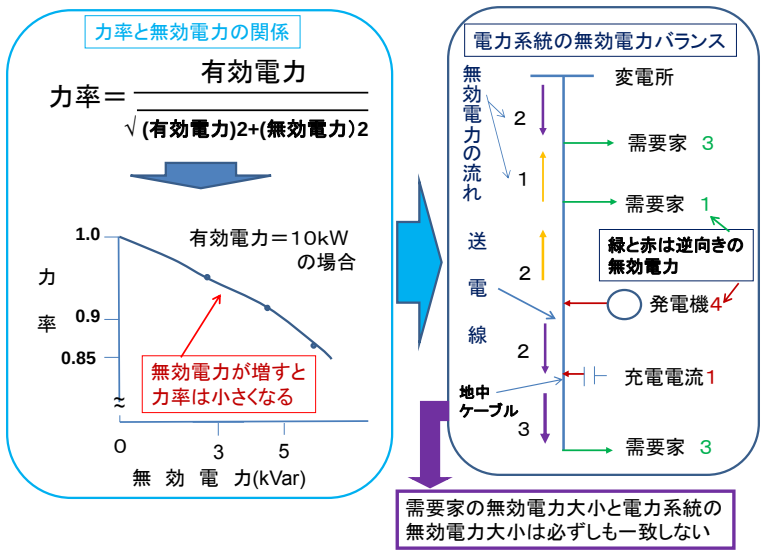


図 95 需要家力率と電力系統の無効電力バランス

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

需要家と電力系統と関連が深い部分を解説しました。他にも種々ありますが電気工事店や専門家（大規模需要家は、電気主任技術者がいます）にお任せするのが無難です。

(余談) 家庭用コンセントはなぜいろいろある

国による家庭用電気コンセントの違いがときたま話題になりますが、基本的に（技術的には全く無関係とも言えませんが）電力系統と無関係に決まっています。海外の電力系統関係者と話しても（特にヨーロッパでの違いが大きいですが）、「理由は良くわからない」との答が返ってきます。

○これからの需要家： スマートメータと需要家設置再生可能エネルギー電源

日本ではスマートメータがこれから全家庭に設置されますし、分散電源の導入も太陽光発電等が更に拡大すると思われます。これに伴い、需要家と電力系統の関係が従来と変わると想定されます。

・スマートメータ

スマートメータは、電気計量業務を効率化することが主要な役割の一つですが、電力系統運用面から見ると、導入に伴い需要家と系統運用者が双方向で電力使用量等の情報のやりとりが可能となるのが大きな変化です。(図-96) 需要家が系統運用者から情報を受けても、需要家（人間）が常に（＋すぐに）対応するのは難しいと思います。このため、受けた情報を「上手に扱う機能」が必須ですが、家庭なら HEMS (Home Energy Management System)、商業系は B (Business) EMS、工場は F (Factory) EMS が担うと考えられます。(以下、EMS と総称)

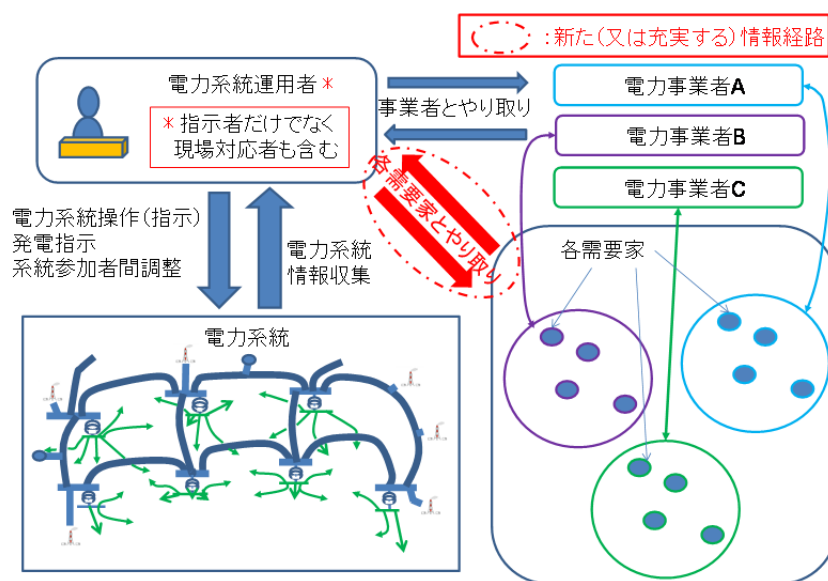


図 96 電力系統運用者と需要家間の情報双方向化イメージ

EMS は既に製品化され今後も進化するでしょう。系統運用者からの情報に「上手に対応する機能」が充実すれば、電力系統セキュリティ向上や電力系統運用効率化が図れると思います。特に、電力分野が 100 %自由化すると「供給責任を最終的に担う者」はいなくなりますから（系統運用者に努力義務は課せられますが；今後の回で説明）、電力系統につながる需要家も安定供給を維持する役目を分担するのが合理的だと思います。(図-97) この分野は、各方面で種々の研究・開発が進められていますので、関心を持っていただければと思います。

EMS とスマートメータで上手な電力系統運用実現を期待します。

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

なお、特に家庭では、HEMS が発展し分電盤が「家庭の変電所」(変電所の機能は第 8 回参照)になれば面白いでしょう。

—従来は系統運用者(電力会社)が「安定供給維持のため」概ね一方的に実施—

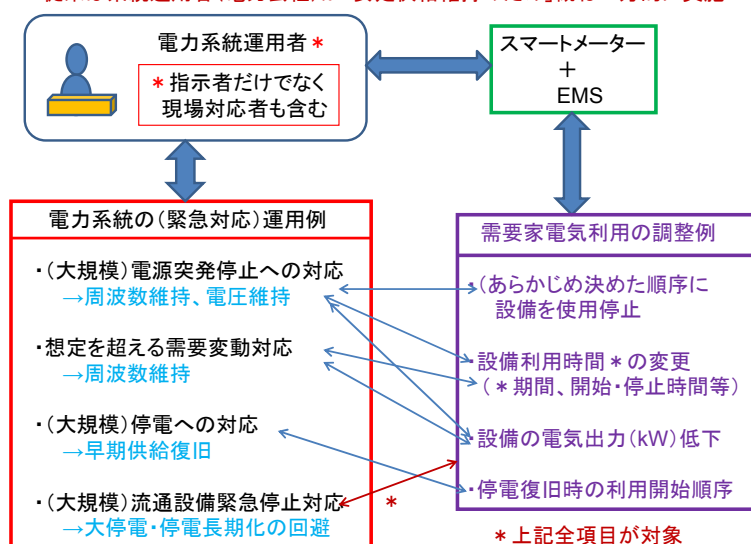


図 97 スマートメータを活用した電力系統（双方向）運用イメージ

(余談) 電気使用状況は個人情報！？→スマートメータ情報の取り扱い

電気の使用状況は個人情報とされるようです。系統運用者にとり、需要家個々の電気使用量は本来不要ですが、個々の需要家需要が系統運用者の情報（+電力市場情報等も含む）にどう反応し電力系統への程度影響するかが知りたい点です。このニーズをうまく解決できる技術手段が望まれますが、例えば、需要家 EMS が需要中身を明示せず電気利用トータルの反応量（又は推定値）を通知するなどが、個人的には思い浮かびます。

この程度でも個人情報保護面で問題かも知れませんが、個人情報保護と個人情報から得られる社会的メリットのバランス維持が折り合えればと思います。

・需要家の再生可能エネルギー電源

電源は発電するとともに電力系統を維持し、一方、需要家はその恩恵を受け対価を電源に払うのが従来の基本的な電力システムの考え方です。(多数の) 需要家にある程度の容量の電源が設置される場合、「電力系統を維持することに貢献」するなら電源と見るのが良いと思います。

この点、出力調整ができない再生可能エネルギーの場合、電源容量が大きくても需要（電気を生み出すマイナス需要）と見るのが良い、が私の整理です。メガソーラーも需要と考えた方が良いでしょう。例えば、太陽光の場合、冬のピーク需要は夕刻ですが電源として機能しませんし。

(図-98)

(なお、この考え方は第 5 回の「修正需要」の項参照)

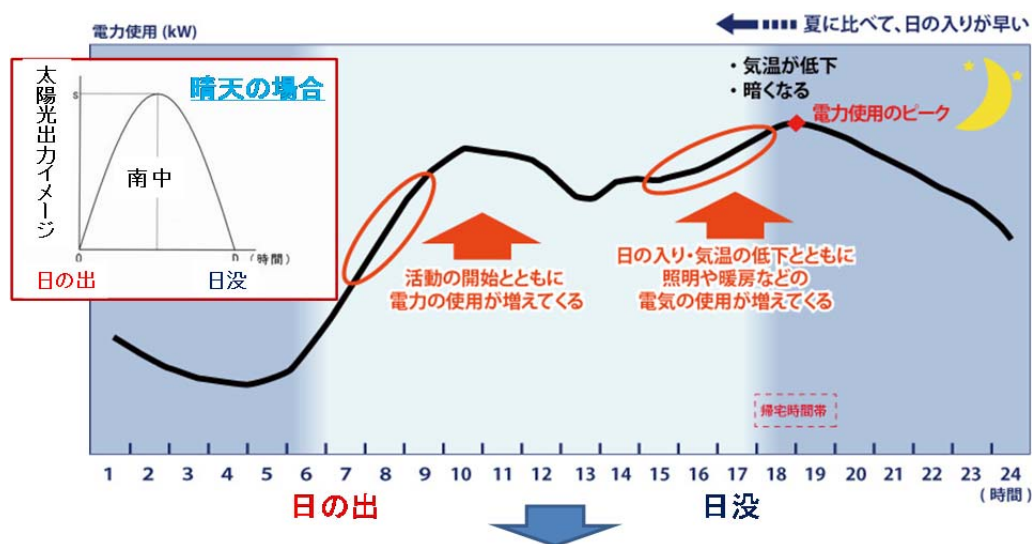
再生可能エネルギー電源を「マイナス需要」と考えると、需要家へ設置すると、需要の変動が拡大（マイナスからプラスまで変動）することになり、系統運用者にとっては扱いにくさが増すことになります。

これへの対応としては、蓄電池等での貯蔵で変動を減らすことが一案ですが、前述の EMS を活用し修正需要として平坦化するように制御し、それでも電力系統での対応が難しい場合、出力(kW)抑制が合理的だと思います。再生可能エネルギー電源は元来利用率が低いですから(15~30%)程度、

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

一時的に抑制しても発電エネルギー量 (kWh) への影響は小さいと想定されますし、例えば、スマートメータを活用し輪番に抑制する等し、個々の発電設備の抑制量 (kWh) が偏らない様にする工夫ことも考えられます。



家庭用需要に限れば更に極端な「ニコぶ」(昼が小さくなる)カーブとなる

図 98 冬の電力需要変化（東京電力ホームページから）

なお、電圧維持や無効電力制御も発電設備の重要な系統維持機能ですから、スマートメータと連動しつつ家庭設置電源でも適切な制御を実施されることが必要と思います。これらを含めて発電制御装置、EMS、スマートメータ（系統運用者からの要請）を一元制御する技術開発が望まれます。

(余談) 太陽光発電と（もともとの）家庭需要は相性が良くないけれど

家庭用需要 (kW) が最大となるのは年間を通じて夕刻ですから、お昼付近に最大出力となる太陽光発電との相性はあまり良く有りません。特に冬の寒い日で雪が降る場合は太陽光発電が全く期待できず最悪です。(最近では、夏冬の最大電力に余り差がありませんから、冬の最大需要対応が課題です) 逆に春・秋のそもそも需要が小さい時に空が綺麗に晴れて出力最大になり発電が多すぎることも有ります。と言う訳で太陽光と家庭需要の間の相性はあまり良くない、と感じます。

ところで、世の中の夫婦を見ると、どう見ても相性はあまり良くなさそうに見えても結構仲良く長続きされている場合がある様に思います。夫婦それぞれ秘訣はあると思いますが（個人的にも知りたいところです）、結局、ここぞと言う時に相手と上手に妥協しているのではと想像します。

今の世の中、太陽光発電の「わがまま」を精一杯聞くのが前提との雰囲気が強い気がしますが、良い関係が長続きするには、「上手な妥協点を探す」のが秘訣だと思います。このため、例えば、太陽光発電が大きすぎる時は出力を抑制すべき（→太陽光発電が少し妥協する）と考える訳です。

次回は、電力系統設備とその運用を壊さないための仕組みを紹介します。

[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」

京都大学 大学院工学研究科
電気工学専攻 雨宮研究室
教授 雨宮尚之

研究室メンバー (2014 年 10 月現在)

雨宮尚之教授 (筆者)、中村武恒准教授、研究員・秘書・技術補佐員、学生：博士前期課程 10 名、卒研究生 5 名から構成されています。

雨宮研究室では、現在、高温超伝導の粒子加速器用電磁石への応用、超伝導線ならびに超伝導集合導体の交流損失、高温超伝導誘導同期モータと呼ばれるユニークな超伝導モータの三つを中心に、超伝導応用とその基盤技術の研究を進めています。

大空間への高磁場発生は超伝導技術なしには実現できず、超伝導応用の歴史を振り返っても、MRI、高エネルギー物理学研究用加速器、核融合など、超伝導電磁石は超伝導応用の中心でした。近年、高温超伝導を電磁石に応用する研究が活発になってきていますが、筆者は 2007 年ごろより、粒子線がん治療用の加速器に高温超伝導電磁石を適用し、装置の小型化と省エネ化をはかる研究を進めています。JST の S-イノベの枠組みの中でメーカ・国立研究機関と共同で基盤技術の研究開発を推進しているほか、経済産業省のプロジェクトにも参画しています。さらに、将来の高エネルギー物理学研究用加速器への応用を目指した研究にも着手しています。

超伝導を電気機器に応用しようとする場合、どうしても交流で使いたいという場面が存在します。筆者の研究室が横浜国立大学にあった時代から、筆者は、超伝導の交流応用の研究に取り組み、特に、交流損失の発生メカニズムである電磁現象の計算機シミュレーションにおいては当該分野をリードする研究を進めてきました。京都大学に研究室を移してから、超伝導送電ケーブルの低交流損失化の研究をメーカと協力して進めてきたほか、高温超伝導 Roebel ケーブルという薄膜線材の集合導体の交流損失の研究をニュージーランドの Victoria University of Wellington と共同で進めています。

超伝導技術と回転機技術の融合によって、高効率化や高出力化、あるいは安定回転などの面で、従来の回転機の限界を打破する新しい回転機 (モータや発電機) の実現が期待できます。われわれの研究室では、中村准教授の発想による高温超伝導誘導同期モータ (HTS-ISM) と呼ばれる、従来の誘導モータと同期モータの「いいとこどり」をしたユニークなモータの研究を進めています。このモータには様々な応用先が考えられますが、最近では特に、自動車を始めとする輸送用機器への応用を中心として、NEDO や JST 等の支援も受け、産学連携で、精力的に研究開発を進めています。



交流損失測定システム



20 kW 級プロトタイプ高温超伝導モータ

[超電導 Web2.1 トップページ](#)

超電導 Web2.1

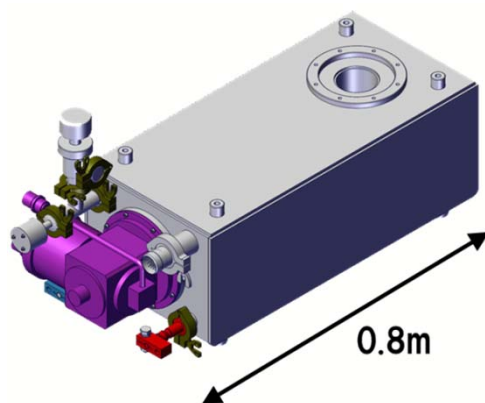
(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

読者の広場

Q&A

Q: 新聞で永久磁石などの検査装置に超電導マグネットシステムが使われる、との記事を見ました。この検査装置、超電導マグネットシステムには、どんなメリットがあるのでしょうか？

A: 今回開発した冷凍機冷却型超電導マグネットシステム本体¹⁾は、DI-BSCCO 線を用い、質量を 100 kg と従来システム本体の 1/4 まで軽量化し、寸法も奥行 0.8 m、幅 0.3 m、高さ 0.3 m と、同様に 1/5 まで小型化したものです。また本システムは、永久磁石の検査工程の磁化特性測定等への適用を視野に入れて開発したシステムですが、B-H カーブトレサ、振動試料型磁力計 (VSM)、ハードディスク検査装置等のほか、磁場中熱処理炉等の製造装置への適用も可能です。



冷凍機冷却型超電導マグネットシステム本体

尚、本システムは、従来システムで既に実現済の磁場励減磁速度 5 T/30 秒から 6 T/30 秒へと約 20 %増加という更なる高速化を実現しています。更に、振動源である冷凍機を一時停止した状態でも 6 T/30 秒の高速励減磁パターンを実現可能です。これらにより、高精度の磁化特性測定を実現することに加え、従来の金属系超電導線材を使用したマグネットと比較して、大幅な測定時間短縮を実現できるものです。

検査装置では、例えば、BH カーブトレサ²⁾、振動試料型磁力計(VSM)³⁾でご使用して頂いています。BH カーブトレサでは、①鉄心の磁氣的飽和による異常減衰がなく高保持力磁石の測定が可能、②渦電流の影響が少なく大型磁石の測定が可能、③パルス磁場における磁気余効の影響がない、などのメリットが挙げられています。振動試料型磁力計(VSM)では、①従来比 20 倍の高速測定、②例えば 0.5mm cube の小試料を高精度に測定可能、③磁界発生部の小型化、などを特徴として挙げられています。

【超電導マグネットシステムの概要】

型名	DI-BSCCO-MS 6T-70
磁場強度	±6T
室温ボア径	Φ70mm
励減磁速度	6T/30sec.
運転電流	250A
インダクタンス	約 1H
磁場均一度	0.3%/10mmDSV
寸法	0.8m×0.3m×0.3m
質量	約 100kg

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

参考：

1. http://www.sei.co.jp/super/magnet_coil/index.html
2. http://www.j-ndk.co.jp/product/jikisokutei/bh_curve_tracer.html#sub_03
3. <http://www.toeikogyo.co.jp/products/sei-01/vsm-5hsc.html>

回答者：住友電気工業株式会社 超電導製品開発部 応用開発部 部長 加藤武志 様

[超電導 Web2.1 トップページ](#)