

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 :

- 第3回定例評議員会の開催

特集 : 冷凍・冷熱技術

- ここまで進んだブレイトン冷凍機
- 高温超電導ケーブル冷却システムの実証試験結果

- 超電導関連 2014年7月-8月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン (5/19-6/20)
- 世界の動き
- 再生可能エネルギーと超電導
- 隔月連載記事「高温超伝導電力機器の冷却技術」(その4)
- 連載記事「やさしい電力系統のはなし」(第6回)
- 研究室紹介 (東北大学 金属材料研究所 強磁場超伝導材料研究センター 渡辺研究室)
- 読者の広場「ダブルペロブスカイト型ビスマス酸化物超電導体はなに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 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：第3回定例評議員会の開催

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター
専務理事 清川 寛

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター (ISTEC) は、第3回定例評議員会を6月11日(水)15時から、KSPホテル707号室で開催し、平成25年度事業報告、平成25年度決算について全員一致で承認しました。またこの定例評議員会で任期切れとなる役員の選任等を行いました。役員については、森理事長始め殆どの役員が再任されましたが、塩原理事(前・超電導工学研究所所長)については田辺理事(現・超電導工学研究所所長)が代わって選任されました。

[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

特集：冷凍・冷熱技術

「ここまで進んだブレイトン冷凍機」

大陽日酸株式会社 つくば研究所
超電導プロジェクト
奈良範久

高温超電導電力機器は省エネルギー電力技術の切り札の一つと考えられているが、ここに来て超電導ケーブルや超電導限流器は実用化研究の最終段階に入りつつある。このような状況に於いて、高温超電導電力機器の冷却に適した冷凍機が必須となっている。高温超電導電力機器用の冷凍機では、①超電導安定維持に必要な冷却温度制御と冷却能力、②長期連続運転が可能な高い信頼性、③高い冷却効率（省ランニングコスト）、④コンパクト化（設置の省スペース化）、⑤設備コストの低減などの項目が求められている。

ところで、高温超電導電力機器全般の冷却温度は 20 K から 80 K と考えられているが、超電導ケーブルの分野では、70 K 運転で 5~10 kW が必要とされている。現在市販されている小型冷凍機は冷却能力が 80 K 運転で 1 kW 程度であり、またその構造上摺動部を有しており、通常年 1 回程度のメンテナンスを必要としている。一方、深冷空気分離装置やヘリウム液化機等の極低温大型冷凍機では耐久性に実績のある非接触な軸受けを備えた膨張タービンが採用されているが、冷凍能力の面でもあまりにも過大である。そこで高温超電導電力機器冷却に適した冷凍機を目指し、ネオンガスを作動ガスとしたターボブレイトンネオン冷凍機を先の NEDO「イットリウム系超電導電力機器技術開発プロジェクト」に於いて開発・試作した。

当該試作冷凍機を用いた冷却システムは、コールドボックス、ターボ圧縮機、液体窒素サブクール熱交換ユニットにより構成されていたが、その後これらを一つのベース上に配置したパッケージ冷凍機として製品化を行った。特筆すべきことは、サブクール熱交換器をコールドボックス内に収納することにより、サブクール熱交換ユニットを削減したことである。図 1 に、昨年販売を開始した 2 kW ターボブレイトンネオン冷凍機の 3D イメージを示す。中央のコールドボックスの中に主熱交換器とサブクール熱交換器が内蔵されており、コールドボックスの上部に膨張タービンが設置されている。ネオンを圧縮するためのターボ圧縮機はコールドボック

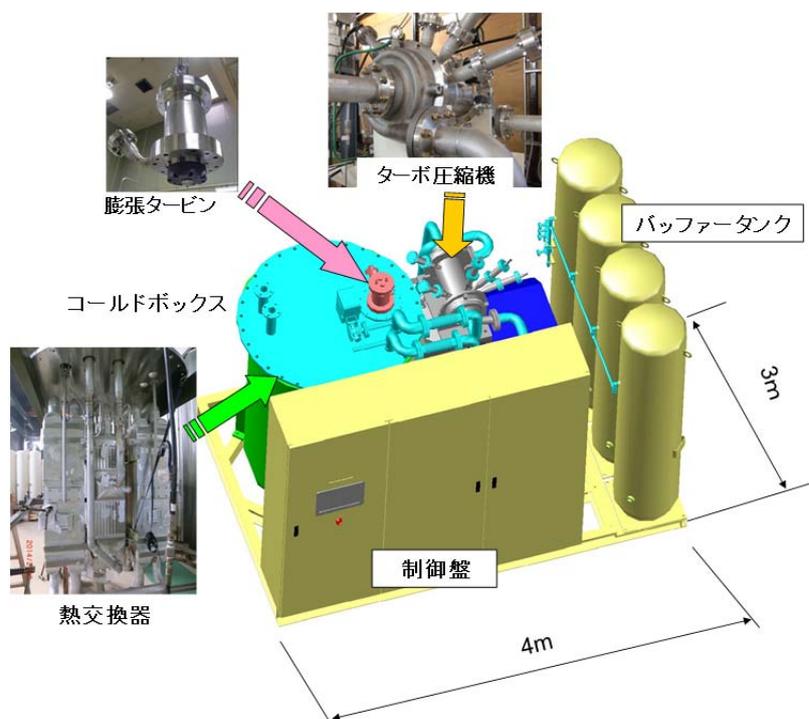


図 1 2kW ターボブレイトンネオン冷凍機

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

スの横に設置されている。試作機と同様にターボ圧縮機、膨張タービンには摺動部を有さない磁気軸受を採用し、メンテナンスフリーを実現している。また、サブクール液体窒素温度をフィードバックし、ターボ圧縮機の回転数を変えることにより、冷凍機の冷凍能力制御が可能となっている。更に、本装置はネオンガス貯蔵用バッファータンク、制御盤等の周辺機器を含めてコンパクトにパッケージ化しており、そのまま輸送し設置が可能である。

高温超電導電力機器の実証研究が実系統規模になるにしたがって、より冷凍能力の大きい冷凍機が求められてきており、各所にて5kW~20kW級の試作機開発が行われている。図2は当社で開発中の10kW級冷凍機の構想図である。横置きのコールドボックスの中に主熱交換器が内蔵されており、コールドボックスの上部にタービン・コンプレッサーが据え付けられている。ネオンガスバッファータンクと制御盤も共通のコモンベースに設置される。今年度中に、10kW冷凍機試作機の性能試験が予定されている。

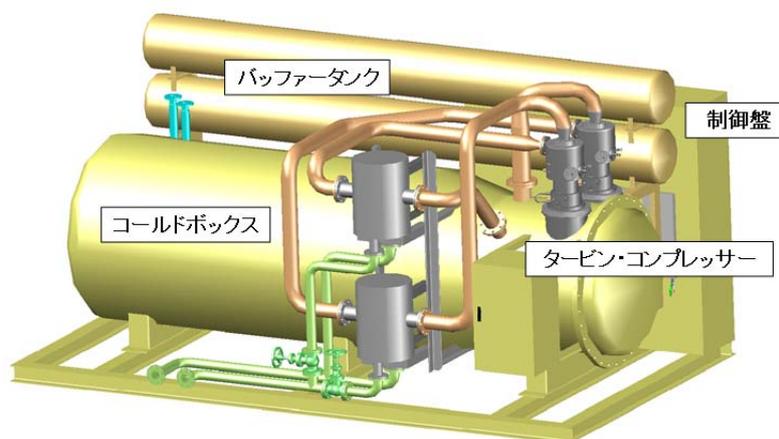


図2 10 kW ターボブレイトンネオン冷凍機 (構想図)

[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

特集：冷凍・冷熱技術

「高温超電導ケーブル冷却システムの実証試験結果」

株式会社前川製作所 技術研究所
副主任研究員 仲村直子

NEDO「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」では、2012年10月29日に高温超電導ケーブルシステムの実系統運転を開始し、2013年12月25日に1年以上続いた実証試験を無事に終えた。実証試験中の冷却システムに大きなトラブルはなく、将来の高温超電導ケーブル実用化に向けた実績と有用な知見を得ることが出来たので、ここでは試験結果の概略を紹介する。



図1 高温超電導ケーブル実証試験用冷却システム

高温超電導ケーブルの冷却システム（図1）は、冷凍機、循環ポンプ、圧力制御機構付きリザーバタンクで構成し、高温超電導ケーブルの均一な冷却と電気絶縁性を考慮してサブクール状態に維持された液体窒素を循環して高温超電導ケーブルを冷却した。各機器の選定は実績を優先させ、冷凍機には1 kW級スターリング冷凍機、循環ポンプには遠心型をそれぞれ採用し、高温超電導ケーブルの熱損失の変動や冗長を考慮して冷凍機6台、循環ポンプ2台を用いた。試験場の東京電力旭変電所での高温超電導ケーブルシステムは無人運転とし、液体窒素や各機器の運転状態の遠隔監視や、変電所監視センターおよびプロジェクト実施者に警報発報の連絡が入る体制とした。

サブクール状態の液体窒素を循環するため、リザーバタンク内圧力の調整と冷凍機の台数制御によるケーブル供給温度の自動制御を行った。本システムの無人運転には、サブクール液体窒素を完全閉サイクルで循環させ、無補給にて運用する必要がある。本実証試験では、高温超電導ケーブルの季節、日間の熱損失の変動や液体窒素温度の69 Kから75 Kまでの段階的な変更に対してサブクール状態を維持し、液体窒素を無補給で運用することが出来た。一方、実系統運転開始3ヶ月後から冷凍機の冷凍能力低下の傾向が見られ、調査の結果、冷凍機の真空槽への作動ガスリーク等が主な原因であることが分かった。定期的な真空引きを行い、ある程度の冷凍能力の維持は可能であっ

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

たが、8000時間前後での冷凍機のメンテナンスは必須であり、高温超電導ケーブルの実用化に向けて長時間にわたる冷凍機性能の維持やメンテナンス間隔の延長は解決すべき最大の課題であることを確認した。実証試験と並行して実施した5 kW級ブレイトン冷凍機(図2)の開発では、高効率化(COP0.1)が第一の目標ではあるが、一般的な産業用冷凍機と同等以上の信頼性も重要な目標としてメンテナンス間隔・作業性を考慮した機器設計を行った。



図2 旭変電所での実証試験を予定している5 kW級ブレイトン冷凍機

本プロジェクトは2014年2月に終了し、現在は次期プロジェクトにて5 kW級ブレイトン冷凍機の旭変電所での1年以上の実証試験を計画している。ブレイトン冷凍機の実証試験の成功が電力系統への高温超電導ケーブルの適用にも繋がるため、ぜひとも成功させたいと考えている。

[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

超電導関連 ‘14/7月－8月の催し物案内

7/7-9

International Workshop on Low Temperature Electronics
Grenoble, France
<http://www.wolte2014.org/>

7/7-11

ICEC/ICMC International Cryogenic Engineering Conference & International Cryogenic Materials Conference 2014-05-23 Twente, Netherlands
<http://www.icec25-icmc2014.org/index.html>

7/9-11

2014 ESAS Summer School
Oxford, UK
<http://school.esas.org/>

7/22

新しい超伝導体のホットな話題、最新の理解
全日通霞ヶ関
<http://www.sntt.or.jp/~fsst/20140722.html>

7/24

液体水素冷却 MgB₂ 超電導線の開発と応用に関するフォーラム
JST 東京本館
http://www.csj.or.jp/event/2014/MgB2_0724.pdf

7/25

九州・西日本支部研究会／第1回材料研究会
福岡市・電気ビル本館
http://www.csj.or.jp/kyushu/2014/1st_0725.pdf

7/31-8/4

Advanced Topics in Magnetism and Superconductivity
Bariloche, Argentina
http://fisica.cab.cnea.gov.ar/atoms2014/index.php/P%C3%A1gina_principal

8/6-13

27th International conference on Low temperature Physics
Buenos Aires, Argentina
<http://lt27.df.uba.ar/>

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

8/4

非常用エネルギー供給源としての携帯型スターリングエンジン

東京・日本機械学会

<http://www.jsme.or.jp/event/detail.php?id=2960>

8/10-15

2014 Applied Superconductivity Conference

Charlotte, USA

<http://ascinc.org/>

8/10-15

第15回国際伝熱会議 IHTC-15

京都・国立京都国際会館

<http://www.ihtc-15.org/>

8/25

低温技術講習会「77K 小型冷凍機を作ろう」

つくば 桜地区

http://www.csj.or.jp/reitob/2014/summercamp_0825.pdf

(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 (5/19-6/20)

- 仏の国際熱核融合実験炉、東芝、超電導コイル受注総額 470 億円 日本経済新聞 5/21
- 住友電工が電設展で環境対応製品を展示 太陽光用ケーブルなど 電気新聞 5/27
- 電線 3 社と東京電力など 超電導送電の安全性検証へ NEDO が助成 鉄鋼新聞 5/27
- 電設工業展 太陽光発関連や省施工など充実 日刊産業新聞 5/29
- 「磁場中の高温超伝導現象」全体像解明 科学新聞 5/30
- 電線工業会が総会 新会長に松本氏を選任 新しい製品を積極的に出す 電気新聞 6/06
- 松本電線工業会新会長 主力電線分野の再生不可欠 鉄鋼新聞 6/06
- [The Current・国際ニュースの深層] 直流超電導送電 電気新聞 6/09
- 古河電工が超電導ケーブルを開発 マグネット主要部品向けに 電気新聞 6/13
- 古河電工、東北大と超伝導ケーブル開発 ゆがみ防止を実現 量産、東芝に 7.8 キロ納入 日刊産業新聞 6/13
- 古河電工と東北大 新超電導線材を製品化 金属系、東芝向けに納入 鉄鋼新聞 6/13
- 古河電工ー東北大、熱処理後にコイル巻き可能な超電導ケーブル製品化 化学工業日報 6/13
- トポロジカル超伝導体の渦糸に出現 スピン偏極マヨラナ粒子解明 科学新聞 6/20

[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

世界の動き (2014年5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

▶電力応用

AmpaCity 1km のケーブル試験開始

Nexans and RWE (2014年5月5日)

先週 (2014年4月30日)、RWE社はエッセン市の電力網に世界最長の超電導ケーブルを正式に組み入れ、初めての実運用を開始した。エッセン市中心部にある2ヶ所の変電所を結ぶ長さ1kmに及ぶケーブルを敷設し始めてから1年、都心部の将来を支えるエネルギー供給のため、今まさにそのフィールドテストが始まろうとしている。効率的且つ省スペース型の本特殊技術は、従来のケーブルの5倍以上もの電力を、ほぼ損失無しで送ることができる。

AmpaCityと呼ぶこの試験プロジェクトは、RWE社とプロジェクトパートナーであるNexans社(ケーブル製造及び超電導短絡電流限流器の設計を手がける企業)が投資した1,350万ユーロに加え、ドイツ連邦経済技術省(BMWi)からの助成金590万ユーロによって可能となった。

Hannelore Kraft首相は、「今日はRWE社にとって、ノルトライン-ヴェストファーレン州のエッセン市にとって、更にはドイツのエネルギー変革時代において素晴らしい一日である。今日、超電導技術を利用した世界初の実践テストを迎えた。伝統的なエネルギー都市であるエッセン市がこのAmpaCityプロジェクトに関わり、積極的にプロジェクトをサポートすることを、私自身特に嬉しく思っている。」と述べた。

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

エッセン市の市長 Reinhard Paß 氏は、「次世代に多大なる利益を生む技術という意味で、ここエッセン市に真の基盤が設けられたことは、エッセン市と市民にとって誇りである。AmpaCity プロジェクトは既に、ルール地方における変革の象徴となっている。」と付け加えた。

RWE 社最高経営責任者である Peter Terium 氏は、「AmpaCity は、当社が多大なエネルギーと情熱を注ぎ取り組んでいるプロジェクトであり、極めて優れた革新的プロジェクトとして位置づけられている。開発努力、発明の才能、そして信頼性の高いパートナーシップさえあればエネルギーシステムの変革ができるというわけではない。それに課せられる困難にうまく対処できる健全且つ有能な企業が必要なのである。エッセン市で、我々はそれを見事に実証している。」と、式典で強調した。「今日、世界中の科学者や研究者がエッセンに大きな関心を寄せ、注目していることは間違いない。エッセン市、そしてプロジェクトパートナーと共に、我々は今、先駆的な試験プロジェクトを独自のスケールで実用化しようとしている。超電導ケーブルの導入が成功すれば、2年間の試験運用が開始される。このことは大変光栄なことである。」と RWE ドイツ社の最高経営責任者 Arndt Neuhaus 氏は語った。

「AmpaCity プロジェクトにより、RWE 社は再び新技術領域への実用化工程を明確にしようとしている。我々は、ケーブルの敷設と洗練された技術的部品を組み立てることで、貴重な経験をすることができた。そして今、このフィールド試験がどのように進んでいくのかを見定めることに注力している。」と RWE ドイツ社の技術委員会メンバー Joachim Schneider 博士は述べた。

Nexans ドイツ社代表取締役である Christof Barklage 氏は、「10年以上に亘る超電導技術の研究開発と AmpaCity プロジェクトを経て、我々はパートナーである RWE 社と共に、超電導が経済的に理に適うことを実証できる。」と述べた。また、Nexans 社超電導事業部長である Frank Schmidt 氏は、「エッセン市は模範都市であることに誇りを持つべきである。エッセン市と同様な電力網とそれに伴う問題は、大都市（ドイツ国外でも）が持つ徴候であり、超電導を用いることは模範的な解決になると言える。このプロジェクトは、超電導を利用したエネルギー資源の商業化に向けて、画期的なマイルストーンとなった。」と付け加えた。

エッセン市では、この 1 万ボルトの超電導ケーブルが、従来の 11 万ボルトの送電線に取って代わる。これは変電所の数を減らし、都市郊外に変電所を移動させることを意図し、他の用途に運用できる場所が都心部に確保されることを意味する。

Source: "World premiere in Essen: RWE integrates superconductor cable for the first time into existing power grid"

Nexans Press Release (5 May, 2014)

http://www.nexans.com/Corporate/2014/1405_Nexans_AmpaCity_GB.pdf

Contact: Angéline Afanoukoe Angeline.afanoukoe@nexans.com

超電導マグネットシステムの商用化

AML Superconductivity and Magnetics (2014年5月5日)

AML Superconductivity and Magnetics 社とアルゴンヌ国立研究所は、世界で最も洗練された超電導磁石システムのひとつが画期的な信頼性試験に合格し、広範な商用アプリケーションへの適応性を実証したことを発表した。これは、AML 社が最近成功を収めている一連のテストの中でも最新のもので、発電および配電、高度な医療処置、電動輸送、そして排水処理など、影響力の高いアプリケーション分野において、超電導が「主流な技術」となることを加速させる。

AML 社の社長 Mark Senti 氏は、「テストされたマグネットシステムは、ヨーロッパで行われる国際

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

科学プロジェクトで使用するためのものであるが、その基本設計は、様々な超電導磁石と製造技術、そしてこれまでにない磁場特性を用いたものである。現在この設計は、大幅に小型・軽量化した超効率的なモーター、発電機、オール電化推進システムを含む回転機の基盤技術製品でより広範に使用されることが確認されている。」と述べた。さらに、「アプリケーションの開発サービスと応用分野を特定分野の技術ライセンス契約を優良企業に提供することで、我々は数十億ドルという大規模市場で超電導応用を急速に普及させることができる。また、他方、これは人類にとって最も差し迫った課題のいくつかを対処することもなる。」と付け加えた。

アルゴンヌ国立研究所の優れた特別研究員として名高い Jerry Nolen 氏は、フロリダ州タラハシーにある国立強磁場研究所で行われた複雑で厳格なこの認定試験を監督し、「このテストでは磁気性能の基準を再定義し、超電導技術の進展において待望の躍進を見せることができた。」と述べた。

AML 社最高技術責任者である Rainer Meinke 博士は、洗練された磁石技術を生み出した同社独自の作製工程の作成を任されている。その手法は、同社独自の素材と革新的なコイル構成を組み合わせ、超電導システムが絶えず抱え続ける課題を克服するというものである。Meinke 博士は、「当社の磁石技術は、これまでにない磁場特性を示すだけでなく、広範に商業化されるために必要な信頼性も提供できる。」と主張した。

Source: "AML Passes Superconductivity Mainstreaming Test" AML Superconductivity and Magnetics Press Release (5 May, 2014)

URL:

<http://amlsuperconductivity.com/aml-clears-final-hurdle-toward-broad-commercialization-of-superconductivity-advanced-magnet-system-passes-critical-reliability-test/>

Contact: info@amls.com

▶基礎

鉄系超電導体の発現

DOE/Oak Ridge National Laboratory (2014年5月5日)

オークリッジ国立研究所の科学者によって、物質内にある超電導相の発現を制御する方法が初めて明確に理解された。科学者たちは、重要な基礎知識に加え、超電導分野の進捗において新たな段階に至った可能性を示している。

Physical Review Letters に掲載された論文で焦点となったのは、カルシウム・鉄・ヒ素化合物の単結晶が、加圧処理にも似た、慎重に制御された合成法によって、構造的、熱力学的、そして輸送的特性が変化するということである。この発見にあたって研究者たちは、これらの変化がどのようにして物質内にある電子の特定集団並びに配列を位置づけるフェルミ面を様変わりさせるかということに注目した。

研究チームの指揮をとる米国エネルギー省オークリッジ国立研究所 Athena Safa-Sefat 氏は、「フェルミ面とは、超電導を含め、基本的には物質内にある特定の特性を生じさせるための"遺伝子コード"である。」と述べた。さらに、「我々は、単結晶の形ではこの物質の異なる位相を作り、その構造や性質を測定することができる。一方、我々に残されたことは、なぜこの物質の特定の構造相では超電導性を誘導することができないのかを説明するフェルミ面の痕跡である。」と述べた。

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

オークリッジ国立研究所で博士研究員として研究に取り組み、この論文の主執筆者である **Krzysztof Gofryk** 氏は、構造と磁気の相互作用がどのようにしてフェルミ面、ひいては電子的性質に影響を与えたのかを紹介している。同氏は、「カルシウム・鉄・ヒ素化合物では、構造転移時においては大きなフェルミ面改質となるため、バルク超電導状態は生じない。こういった研究は、この物質の多岐に亘る位相図や超電導の原因を理解するのに重要な進歩を示すものである。」と述べた。

Source: "ORNL paper examines clues for superconductivity in an iron-based material"

ORNL News (5 May, 2014)

<http://www.ornl.gov/ornl/news/news-releases/2014/ornl-paper-examines-clues-for-superconductivity-in-an-iron-based-material>

Contact: Ron Walli

銅系超電導体の謎

Brookhaven National Laboratory and Cornell University (2014年5月8日)

米国エネルギー省 (DOE) ブルックヘブン国立研究所とコーネル大学の科学者たちが率いる研究チームは、独自の技術を駆使し、絶縁体から神秘的な擬ギャップ相を経て最終的に本格的な超電導体になる物質内の電子について、詳細に亘って特性を明らかにする研究を行った。2014年5月9日出版の **Science** では、物質の電子にある二つの異なる特性変化 (擬ギャップ相内にある特定電子のエキゾチック且つ周期的な静的配列の消失、そして物質内の全電子が突然自由に動き回ることができるようになる能力) につながりがあるという結果が説明されている。この発見により、「ストライプ」または「密度波」などと呼ばれる周期的配列が電子の流れを制限し、擬ギャップ相にある最大の超電導性を妨げるという見解が一層強化されることとなった。

論文の主執筆者で、ブルックヘブン国立研究所にある米国エネルギー省超電導発現研究センターの上級物理学者兼所長、そしてコーネル大学及びスコットランドにあるセント・アンドリューズ大学の教授でもある **J.C. Seamus Davis** 氏は、「密度波の消失とそれに関連した結晶に局在するナノスケールの歪みを、無制限の超電導に必要な自由に動き回る電子を出現させるということに直接結びつけたのは、この実験が初めてである。」と述べた。さらに、「これらの測定により、この物質が神秘的な擬ギャップ状態では、なぜその電子が自由に動きにくいのかということがついに判明した。」と付け加えた。

こういった情報は、今後、科学者たちがより好条件で超電導を実現する方法を設計する上で役立つ可能性がある。希望としては、高効率な発電と送電、そして現在より何千倍もの速さで動くコンピューターなど、実生活における省エネ・アプリケーションに向けて作動温度を上昇させる方法を見つけることである。

Source: "Scientists Find Solution to Two Long-Standing Mysteries of Cuprate High-Temperature Superconductivity" Brookhaven National Laboratory Newsroom (8 May 2014)

URL: <http://www.bnl.gov/newsroom/news.php?a=11637>

Contact: Karen McNulty Walsh, kmcnulty@bnl.gov

量子もつれ (Quantum Entanglement)

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

D-Wave System (2014年5月30日)

D-Wave 社の市販されている量子コンピューターにおいて、量子もつれ (Quantum Entanglement) の存在を確認する画期的証拠を提示した研究が発表された。この研究成果は、作動中の量子コンピューターに不可欠な要素である量子もつれを証明するものである。この“もつれ”とは、量子状態である粒子(または量子ビット)の集合体が互いに結び付く状態のことである。

D-Wave 社最高経営責任者である Vern Brownell 氏は、「PRX (PhysRevX) で発表された研究は、D-Wave 社にとって、そして量子コンピューター科学において重要な節目となる大きな進歩である。これらの発見は、当社の技術が生んだ量子特性のさらなる証拠を提供するものである。」と述べた。PRX の論文では、8 量子ビットのユニットセルがもつれるという証拠が、4 段階に亘って次のように示されている。(a) 2つのエネルギー面の反発交差の実演、(b) 標準的量子もつれの算定に伴うシステムの密度行列の一部復元、(c) 一定集団とシステムのエネルギースペクトルを用いた量子もつれの証拠の算定、(d) 基底状態の量子もつれを判定する高感度計測。

これらの発見は、同社のプロセッサ内での量子もつれが、量子アニーリング法の最も重要な段階で起こったことを示している。同社は、空間量子もつれの度合いについて追加研究を行い、量子アルゴリズムの計算上の利点もさらに探求していくつもりである。発表された研究論文は、PRX のウェブサイトの <https://journals.aps.org/prx/abstract/10.1103/PhysRevX.4.021041> で閲覧することができる。

Source: “Latest Research Validates Quantum Entanglement in D-Wave Systems” D-wave Press Release (30 May, 2014)

URL:

<http://www.dwavesys.com/press-releases/latest-research-validates-quantum-entanglement-d-wave-systems>

Contact: for media inquiries, media@dwavesys.com

▶経営・決算 ▶線材

2014 第1四半期決算と線材出荷状況

Superconductor Technologies Inc. (2014年5月8日)

Superconductor Technologies 社 (STI) は、2014年3月29日締め2014年度第1四半期の業績を発表した。STI 社の社長兼最高経営責任者である Jeff Quiram 氏は、「2014年度第1四半期では、当社が目指す Conductus®線材の商業化に取り組む中、重要な進歩を遂げることができた。」と述べた。さらに、「我々は、当社のパイロット生産製造システムの設計容量 100%において、センチメートル幅当たり 500 A という長尺中の最小臨界電流を 77 K で達成することができた。我々は、実証済みであるこの高性能・高収率を組み合わせた製品によって、コスト・リーダーシップ戦略という立場から超電導線材を量産できるようになることを期待している。」と述べた。

第1四半期において、9社(性能評価を行うステージ1の顧客6社と、商用展開用模擬装置をテストするステージ2の顧客3社)からの受注に関して、既に出荷が行われた。今四半期は、新規顧客

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

5 社に出荷し、購入発注は引き続き順調に拡張している。同社は、1 km 級線材を生産する新たな Reactive Co-Evaporation Cyclic Deposition and Reaction (RCE-CDR) 装置がまもなく運用されることを期待し、第3四半期には商用として十分な量の Conductus 線材が生産可能となるように現在計画中である。また、2014 年末までにこの RCE-CDR 装置の最大年間生産能力を 750 km に引き上げる計画も立てている。

2014 年 3 月 29 日時点、同社の現金及び現金同等物残高は 780 万ドル。これには、2014 年度第 1 四半期中に行使した未処理ワラント債 150 万ドルで生じた 380 万ドルの現金収入が含まれている。

Source: "Superconductor Technologies Reports 2014 First Quarter Results" STI Press Release (8 May, 2014)

URL:<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irof-newsArticle&ID=1928621&highlight>

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

再生可能エネルギーと超電導

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

福島沖風力発電所：超大型 7 MW 機の状況

昨年 11 月に、プロジェクトの前半部分に予定されていた 2 MW の発電設備と変電設備が運転を開始したが、後半部分の、世界でも最大級の 7 MW 洋上風力発電設備の建設も着々と進んでいる¹⁻³⁾。

これらは、2015 年度までの 5 年計画「福島復興・浮体式ウインドファーム実証研究事業」の後半第 2 期で、7 MW の 1 基目になる V 字型の浮体部分が長崎県の造船所で完成し、長崎港内を曳航中の様子が見られる²⁾。また風車部分-直径 167 メートルの風車、発電設備を洋上に係留するアンカー・チェーンなどが製造中で、海底ケーブルの敷設工事を 6 月中旬に開始し、接続は 8 月下旬に完了。浮体部分と合わせて 12 月から組立が始まる。情報¹⁾によれば、来年初めにも洋上で発電を開始するとのことである。

7 MW の発電設備は 1 基を三菱重工業が、もう 1 基をジャパン マリンユナイテッドが建造している。

さらに、世界の他所でも 8 MW 商用機の開発が進んでおり、2020 年代には 10 MW 級の発電設備が主流になるのではとの予測もある³⁾。

Source:

- 1) <http://www.fukushima-forward.jp/pdf/pamphlet.pdf>
- 2) <http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1406/16/news021.html>
- 3) <http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1403/20/news016.html>

スペイン最新再生可能エネ情報：連携少なくとも比率 50 %以上

スペインからの 2014 年度最新情報によると、再生可能エネルギーの発電量が全体の 52.7 % に達した模様である¹⁾。

Red Eléctrica de España (REE) 社 (スペインで全国の系統電力の運用を担当する企業) の 2014 年 1~5 月の発電量の実績値発表によれば、2014 年 1~5 月の発電量のうち、再生可能エネルギーによる発電量が 52.7 % に達したとのこと。風力 (24.5 %)、水力 (21.8 %)、太陽光 (2.9 %)、太陽熱 (1.7 %) などである。

下記 IT メディアの分析²⁾によれば、高比率を達成できた理由として、スペインの例で特徴的なのは、a) 高精度の出力の予測技術 (「SIPREÓLICO」風力発電所の発電量予測システム: 48 時間先までの電力量を 1 時間単位で予測可能。予測精度は、1 時間後で 1 % 以内、24 時間後でも 4 % 以下。) 及び b) REE の中央給電センター「CECRE」の運用であるという。CECRE は出力 10 MW 以上の風力発電所と通信回線で結合され、上記予測に基づいて、水力発電やコンバインドサイクルガスタービン発電などの調整力を計算、系統のバランスを保つ能力と権限を備えている。これにより、スペインでは一日に 40 % の風力発電時でもうまく乗り切ったという。また、電気を貯めて調整する

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

蓄電池の利用もあまりないという²⁾。

スペインの電力は、3000 億 kWh 程度で東京電力と似ている。また、外国との連携量も、東電の他社連携量に近く大いに参考になる。日本でもこうした欧州の現状を精査して大いに活用すべきであろう。

注：特に、一部、下記 2) の情報からの転載。

Source:

- 1) <http://www.ree.es/en/balance-diario/peninsula/2014/05/31>
- 2) <http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1406/20/news038.html>

「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」

東電、北電、東大ほかが再生可能エネ予測技術を開発

6月12日、NEDOからの受託で、東電他14法人が再生可能エネルギーの電力系統への大量導入を見据え、電力品質や系統運用上の技術的な課題とその解決策を明らかにするために、平成26年6月から平成31年3月までの5年間で、掲題の事業を実施することに決まった。具体的には、

- ・風力発電の急激な出力変動の予測技術や抑制技術を開発
- ・需給運用の基本的な手法を確立
- ・需給シミュレーションシステムを開発

などを行う。これらにより、特に風力発電を予測・制御・運用することが可能な電源とし、連系拡大を目指すとしている(東電 HP¹⁾)。さらに、島嶼地域において実際の電力系統を使った実証試験を行い、気象条件によって出力が変動する風力発電の予測と制御、さらに地域の電力需給シミュレーションシステムを開発する予定である。2018年度までの5年間をかけて、東日本地域の再生可能エネルギー拡大に備える。

政府予算は2014年度に40億円の予算が割り当てられている²⁾。大いに期待したい。

Source:

- 1) http://www.tepco.co.jp/cc/press/2014/1237492_5851.html
- 2) http://www.meti.go.jp/main/yosangaisan/fy2014/pdf/04_2.pdf

経産省 平成26年度概算要求の概要/資源・エネルギー関係概算要求 主要事業概要集、p3

[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

【隔月連載記事】

高温超伝導電力機器の冷却技術（その4）

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

4. 減圧式（オープンサイクル）冷却システム

話が前後する感はあるが、ここから具体的冷却システムの話を始め。まずは、高温超電導（HTS）機器の実験等によく用いられているオープンサイクル冷却システムについて述べる。

第1章で述べたように、HTS機器を液体窒素にて冷却する際に、液体窒素温度が低いほうがより超電導機器の高性能を引き出せること、また耐電圧の面からもサブクール液体窒素が有利なので、65~70 K程度の温度、且つ大気圧以上の圧力が保持されたサブクール液体窒素を冷媒として利用することが考えられている。このようなサブクール液体窒素を生成するための方式として液体窒素の減圧を利用する方法がある。

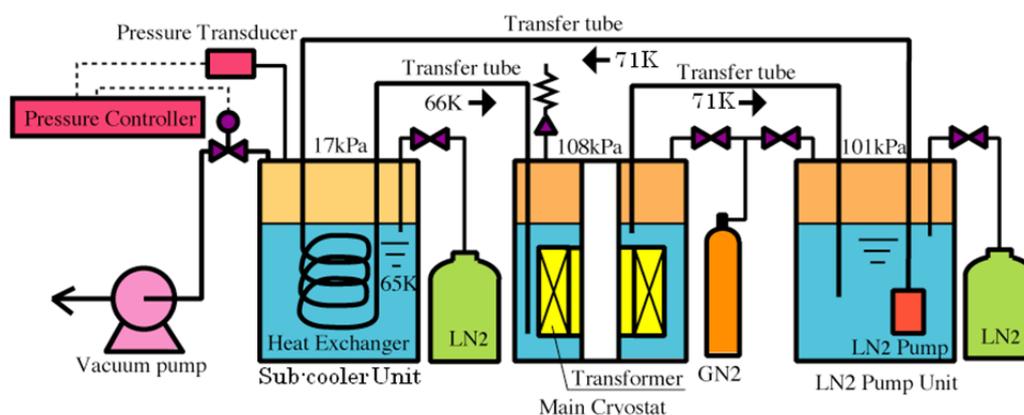


図 4-1 オープンサイクルフロー



図 4-2 オープンサイクル冷却システム



図 4-3 サブクール熱交換器

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 4-1 にオープンサイクルフロー図の一例を示す。図ではサブクーラーユニット (Sub-cooler Unit) 内の液体窒素を真空ポンプで排気減圧し、65 K 程度の飽和液体窒素を生成する。その液体窒素浴の中に浸漬された熱交換器内に所定の圧力で圧送された液体窒素が流れ、周辺の飽和液体窒素と熱交換され、65~70 K で大気圧以上を保持したサブクール液体窒素が生成される。通常、生成されるサブクール液体窒素は液体窒素ポンプで冷却システム内を加圧循環される。

図 4-2 には冷凍能力約 150 W の実験用オープンサイクル冷却システム (バッチタイプ) の写真と、図 4-3 にはサブクーラーユニットの熱交換器の写真を示す。

4.1 サブクーラーユニットと排気ポンプ (真空ポンプ)

サブクーラーユニットは冷却システムの冷熱を発生させる機器である。断熱容器内には 65~70 K 程度の飽和液体窒素が満たされ、且つサブクール液体窒素を生成するための熱交換器 (サブクーラー) が設置されている。加圧液体窒素はサブクーラー内を流れながら、その外側の飽和液体窒素と熱交換を行い、その温度を下げて行く。容器内の飽和液体窒素は外部に設置された排気ポンプ (真空ポンプ) にて所定の圧力に排気減圧され、任意の温度 (65~70 K) に保たれている。本方式ではサブクール液体窒素を生成するための冷熱は全て飽和液体窒素の蒸発潜熱で賄われることになる。すなわち排気ポンプの排気量 (飽和液体窒素の蒸発量) が冷却システムの冷凍能力を決定することになる。図 4-1 はバッチ式の一例であり、サブクーラー内の液体窒素が枯渇すれば、冷却システムを一時停止し、サブクーラーユニットに液体窒素を再度供給しなければならない。そこで、オープンサイクルを連続運転するためには、サブクールユニット内に逐次液体窒素を外部から供給し続けることになる。図 4-4 に連続オープンサイクルの模式図を示す。液体窒素タンク (CE) から逐次液体窒素がサブクーラーに注入されるが、液体窒素タンクとサブクーラーの間に気液分離器が設置されている。もし、窒素ガスが混入すればその分だけ排気ポンプへの負荷が大きくなってしまうため、液体のみがサブクーラーに注入されるように工夫している。この時、排気ポンプの排気能力は、既定の冷凍能力に加えて、新規に供給される暖かい (77 K より高い温度の) 液体窒素を所定の温度まで冷却するための冷凍能力も必要となる。排気ポンプの排気能力は、これも考慮して選定しなければならない。

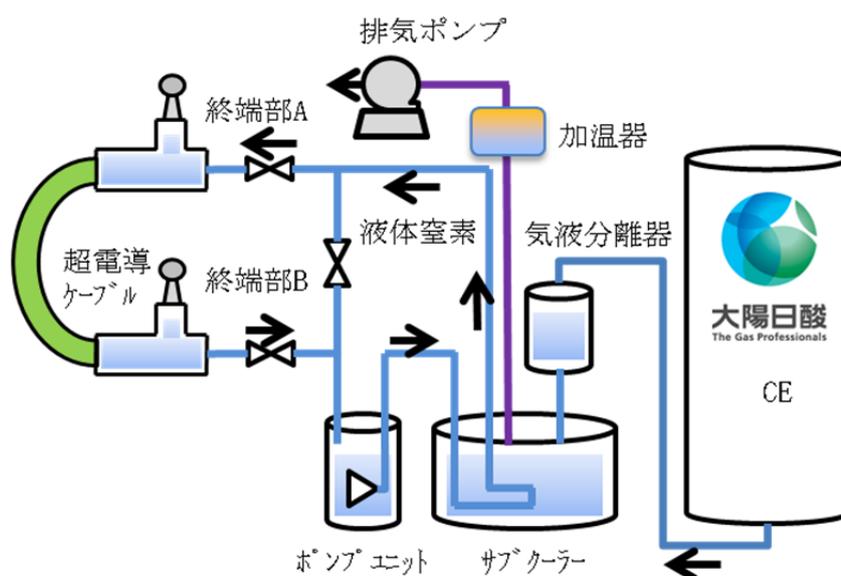


図 4-4 連続式オープンサイクルフロー

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

1) 排気ポンプの選定

サブクーラーユニットでは、飽和状態（例えば、液温65 K、蒸気圧17 kPa）において、少なくとも熱負荷Q W（冷凍能力）の熱を奪い続けなければならない。この排熱作業は飽和液体窒素の蒸発潜熱で賄われる。さらに、排気ポンプは低温下で排気されるべき窒素ガス体積流量を常温（300 K）に換算した体積で排気する必要がある。排気ポンプは、常温にて動作するからである。したがって、サブクーラーユニットと排気ポンプの間に加熱器を挿入して、排気ポンプに届くまでに排気窒素ガスが常温に昇温される。このときの最低必要排気量(S)は、(式4-1)で計算される。

$$S = \frac{Q}{LH \times \rho^*} \quad (\text{式4-1})$$

ここで、

S : 排気量 (m³/sec)

Q : 熱負荷量 (冷凍能力) (W)

LH : 液体窒素の潜熱 at 65 K (2.133 x 10⁵ J/kg)

ρ^* : 窒素ガスの密度 at 17kPa, 300K (0.1960 kg/m³)

当然、排気系を設計するうえでは配管と加熱器のコンダクタンスも考慮する必要がある。最終的には余裕のある排気ポンプを選定し、コントロール弁によりサブクーラーユニットの圧力を制御しながらの排気運転となる。

2) サブクーラー熱交換器

サブクーラーユニットのもっとも重要な機器が熱交換器である。ここでの熱交換量がシステムの冷凍能力となるからである。熱交換器の外側、すなわち飽和液体窒素と熱交換器壁との熱伝達は沸騰熱伝達であり、熱交換器内側ではサブクール液体窒素と熱交換器壁との対流熱伝達となる。図4-2に熱交換器の一例を示してあるが、図の熱交換器は銅パイプをコイル状に加工した熱交換器となっている。簡単であるが、71 Kのサブクール液体窒素が66 Kに冷却される熱交換器設計法の一例を記す。

まず、熱交換器の外側では飽和液体窒素の沸騰熱伝達が行われるので、以下に示すRoshsenowの式を用いて熱伝達係数 α_o (W/m²K) を求めることができる

$$\frac{\alpha_o}{\lambda} \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_L - \rho_V)}} = \frac{Pr^{-0.7}}{C} \left[\frac{\alpha_o \Delta T_o}{LH \rho_V \nu_L} \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_L - \rho_V)}} \right]^{0.67} \left(\frac{\rho_V}{\rho_L} \right)^{0.67} \quad (\text{式4-2})$$

ここで、(式4-2)のパラメーターとして

ΔT_o : 熱交換器外壁温度と飽和液体窒素 (65 K) との温度差

LH : 液体窒素の潜熱 at 65 K (2.133 x 10⁵ J/kg)

ρ_V : 窒素ガスの密度 at 65 K (0.911 kg/m³)

ρ_L : 液体窒素の密度 at 65 K (860.8 kg/m³)

λ : 液体窒素の熱伝導率 (14.9 W/m K)

σ : 液体窒素の表面張力 (0.116 N/m)

ν_L : 液体窒素の動粘性係数 at 65 K (2.98 x 10⁻⁷ m²/s)

Pr : 飽和液体窒素のPrandtl 数 at 65 K (3.435)

C : 定数 (0.008)

g : 重力加速度 (9.8 m/sec²)

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

一方、熱交換器内側は強制対流熱伝達が行われるので、以下のColburn の式を用いて熱交換器内側熱伝達係数 α_i が計算できる

$$\alpha_i = \frac{4M jh C_p}{\pi D^2 Pr^{0.67}} \quad (\text{式4-3})$$

$$jh = 0.023 Re^{-0.2} [1 + 3.5 (D + Dh)] \quad (\text{式4-4})$$

ここで jh は Colburn の係数、

Colburn の式の計算に必要なパラメーターは以下の通りである。

M : サブクール液体窒素の循環量 (kg/sec)

T_m : 管内対数平均温度 (68.5 K)

ΔT_i : 管内対数平均温度と熱交換器内壁温との温度差

μL : 液体窒素(68.5K, 1atm) の粘性係数 (0.2179 x 10⁻³ Pa sec)

C_p : 液体窒素(68.5K, 1atm) の比熱 (2031 J/kg K)

Pr : 液体窒素(68.5K, 1atm) の Prandtl 数 (3.047)

D : 管の内径 (9.53 x 10⁻³ m)

D_h : コイルの径 (250 x 10⁻³ m)

Re : レイノルズ数

熱交換器内を流れるサブクール液体窒素の循環量は冷凍能力とユニット内への液体窒素入口・出口温度 (本事例では 71 K、66 K) により決定される。

さて、飽和液体窒素 (65 K) とサブクール液体窒素の対数平均温度 (68.5 K) との温度差は 3.5 K であるから、

$$\Delta T_o + \Delta T_i = 3.5 \quad (\text{式4-5})$$

熱交換器管壁の内外で熱通過量は同じなので

$$\alpha_o \Delta T_o = \alpha_i \Delta T_i \quad (\text{式4-6})$$

(式4-1) から (式4-6) を連立して解くと、熱交換器の内外壁と液体窒素温度差 (ΔT_o 、 ΔT_i) が求められる。その結果、外壁の温度差 (ΔT_o) が 0.9 K、内壁での温度差 (ΔT_i) が 2.6 K と計算された。熱交換器管内での熱伝達に大きな温度差を必要としている事が解る。そこで、流速を増やして強制対流熱伝達を促進させることも考えられるが、その場合管内流の圧力損失が増大してしまうので、双方を考慮して配管サイズを決めることが肝要である。

4.2 ポンプユニットと圧力調整機構

ポンプユニットにはサブクール液体窒素を循環させるための液体窒素ポンプが収納されている。前章にて述べたように、サブクール液体窒素の循環量は冷凍能力と許容温度差とで決定される。これを基本にポンプを選定するわけだが、その他考慮すべき項目は、揚程と背圧等がある。以前にも液体窒素ポンプの種類等について簡単に述べたが、選択肢はそう多くない。遠心ポンプでは揚程と流量を確保するためには、回転数を上げる必要があるが、流体と羽車間に生じる流体摩擦損失が大きくなっていく。これによりモータ入力の多くは熱となり液体窒素への熱負荷が増加してしまう。必要な流量と揚程を精査し、この観点から循環ポンプを選定しなければならない。

また、冷却システム系内を適切な圧力で維持するために、図中には示されていないが圧力調整機構を備えている。系のベース圧力がサブクール液体窒素の過冷却度を決定するので、系内での窒素気泡発生を抑制するための重要な機器である。尚、圧力調整機構としては、外部からの窒素ガス導入や電気

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

ヒータの加熱により圧力を維持する装置が考案されている。

4.3 大型オープンサイクル冷却システムの事例

オープンサイクル冷却システムは、大規模なHTSケーブル実証試験用にも使用されている。図4-5に実際にHTSケーブルフィールド試験に使用された連続式オープンサイクルの写真を示す。本実験装置は韓国電力のIchoen（利川）変電所に設置された冷却システムである。被冷却体であるHTSケーブル仕様は、3相交流 22.9 kV / 50 MVA 長さ410mであり、冷却システムの能力は69 K で7 kW となっている。オープンサイクルは常に液体窒素を消費するので、実験中（約20カ月）は毎日タンクローリー車が液体窒素を運び込んでいたそうである。

(つづく)



図 4-5 韓国電力利川変電所 HTS ケーブルシステム (韓国電力 Yang 氏提供)

[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

【連載記事】

やさしい電力系統のはなし (第6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、今回から電力系統の流通設備の解説をします。
流通設備は通常、送電設備、変電設備、配電設備に分類されます。まず全体イメージを説明します。

○流通設備の基本構成

流通設備では「電圧」が設備の特徴を示すポイントとなります。このため、以下では電圧に焦点を絞り説明します。

一般家庭が電圧 100 V、契約電流 40 A (私の契約) で使う場合の電力 (kW) は、最大 $100 \times 40 = 4000$ W (ワット) → 4 kW 程度となります。

4 軒集まると 16 kW、この規模を短い距離なら 20 kW 発電機 1 台で送電する場合、電圧 100 V の電線 1 本の流通設備で十分でしょう。(図-48)

さて、1 万軒集まると 40 万 A、4 万 kW (実際は不等率のため少なくなる：第 4 回参照)、発電設備は 4 万 kW 1 台 (日本でよく使用されている大型発電機 100 万 kW 程度に比べれば小さい発電機)、4 軒で 1 本の電線として合計 2500 本を 1 台の発電機へ結べば、図-48 の系統を拡大した形となります。(図-49) 単純ですが、発電所の周りの 100 V 線設備の設置場所確保、発電所から離れた需要との送電ロスなど種々の課題が生じます。そこで、ある地点で 100 V 線をまとめ電圧 1 万 V に変換し (電圧 100 倍、電流 1/100)、100 V・2500 本の線を 1 万 V・25 本にまとめ更に途中で 1 万 V 送電線のある程度まとめて発電所周りの電線を減らします。(図-50) 実際、この形態の流通設備は離島等で見られます。さて、25 本を減らすため電圧を途中で 5 万 V に変換し (電圧 5 倍、電流 1/5) に変換し線を 5 本にまとめるとすっきりします。(図-51) 「すっきり感じる」のは合理的なためですが、個人的な趣味でない証拠に、世界中の流通

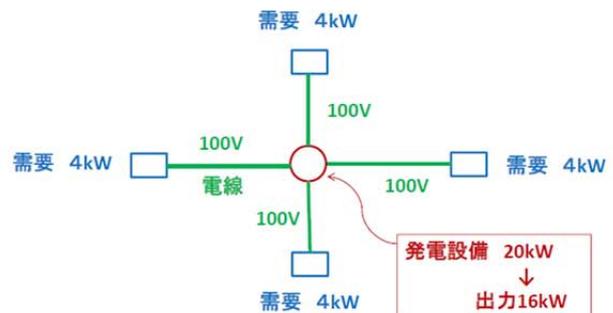


図 48 小さな電力系統

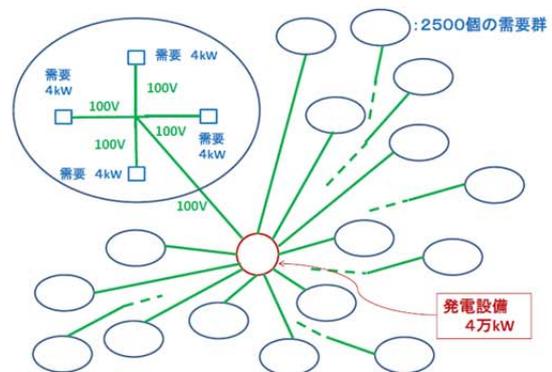


図 49 小さな電力系統をそのまま拡大した系統

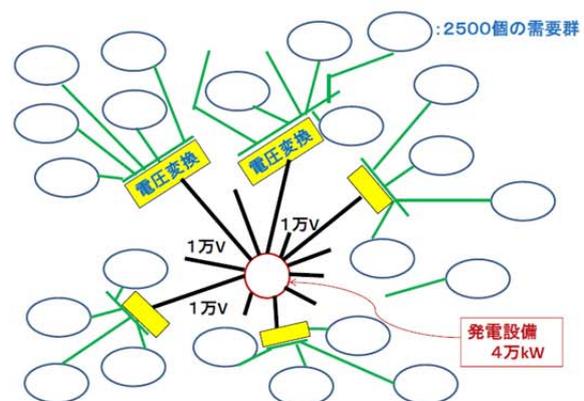


図 50 高い電圧 (1 万 V) を活用した電力系統イメージ

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

設備の基本はこの形です。電圧が 1000 V 以下のレベルでは電圧変換率は数十倍、数万 V 程度での変換は 5 から 10 倍程度、更に高い電圧レベルでは 2—3 倍程度が採用されます。変換率は、需要家の契約電流や電力、需要家電圧 (100 V、200 V、400 V、更に高い場合もあります)、ひとまとまりの需要の大きさ、電源の大きさ等で変わります。使用電圧は概ね国毎に決まっていますが、古い線の電圧は、「技術的にこれ以上高い電圧技術がなかった」等で決められたなど、例外的に異なる電圧が使用されている場合があります。

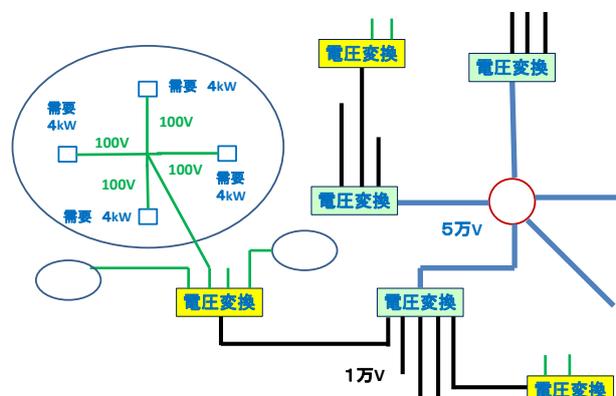


図 51 電力流通設備の基本モデル

(世界中の) 電力技術者は図-51 の電力系統構成が「心地良く」感じるのですが、その理由は次のとおりです。

- ・小規模の需要（家庭など）に対し、低い電圧レベルを採用し、いろいろ状況変化（引越しや新築等）に対し簡単・効率的に変更できる。
- ・発電所周辺が電線のクモの巣状態にならず、例えば、発電力増強が計画された場合、電線を新たに作る余地を確保できる。
- ・設備数を減らせるので保守・点検が容易で効率的に行える。

実際の電力系統では数百万軒以上の大小需要家に電気が供給されますから、更に高い電圧を使いまとめます。ちなみに、交流の世界最高電圧は 100 万 V で日本がその分野で高い技術力を持っています。

(余談) あらかじめお詫びしておきますが――

以上の説明では、交流電圧の単相、3 相を区別していません（第 1 回参照）。このため、技術者の方から「ご指摘」があると想定します。個人的には、電力流通設備のイメージの説明としては「悪くない」し、厳密にすると複雑になりすぎますから、申し訳ありませんが、(今後も含め) この様な「説明の単純化」をしたいと思います。ちなみに、私が電気の授業で試験問題を作るなら「前の説明の誤りを指摘し正しく直せ」とします。お時間のある方は是非チャレンジ下さい！

需要家と直接繋げる電力系統設備を配電設備、高い電圧で電気をまとめて送るとともに（大型）発電設備をつなげる設備を送電設備、電圧を変換する設備は変電設備と呼ばれます。なお、変電設備のうち低電圧変換を担う小容量変圧器は電柱などに設置されるので配電設備に含まれます。高電圧変換は広い場所が必要なため、そのエリアを変電所と呼びます。なお、発電所で電圧も変換しますが通常発電所の一部とします。なお、配電設備に分散型発電設備（再生可能エネルギーや自家発電設備など）が繋がりますが、配電設備の項で解説します。

では、流通設備の中から、まず、送電設備の解説を始めます。

○送電設備の機能と役割

送電設備は配電設備と比較して高い電圧の設備です。この「高い」電圧のレベルは、国により異なりますが、概ね、5 万 V 以上と考えて良いでしょう。

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

送電設備は、発電設備と需要を高電圧で結びつけるのが基本的な役割ですが、発電設備の位置や出力、需要の位置や量、必要な信頼性が重要要素となります。送電設備は通過する地域住民にとり迷惑設備 (NIMBY (Not In My Back Yard → 私の近所は困る! 設備と呼ばれます) と一般的に見られますので、設備作りの調査開始から完成までに長時間を要します。(10年以上かかる場合もあります) また、一旦作ると変更が難しいことも多いため、完成後の長期的な見通し(数十年)のもと機能発揮することを目指して設置されます。

機能のイメージ説明のため、具体例、発電設備 50 万 kW (10 万 kW×5 台)、需要は 40 万 kW を想定し (設備率: $50/40=1.25$) で解説します。

ここでは、交流流通設備を念頭に考えます。

需要が発電から 50 km 程度離れた所に集中し長期に亘り殆ど増加しない見通しを前提とした送電設備例を図-52-1 に示します。一方、需要が同じ場所で相当急速に 2 倍程度に増加するのに対応した送電設備例を図-52-2 に示しますが、需要増に対応するため高い電圧 (30 万 V) 設備を最初から作っています。なお、高電圧 (30 万 V) 化が可能な設備とし、最初は低い電圧 (15 万 V) で運転、必要時期に変圧器を置き高電圧化 (図-52-2) する場合があります。発電と需要間の送電距離が 400 km の例を図-52-3 に示します。同じ需要量、発電力でも安定性確保や送電ロス削減のため送電電圧を高く (50 万 V) します。なお、送電設備での信頼性を維持するため、一送電設備停止 (1 回線停止) で停電とならない 2 回線としました。

これだけなら設備形成検討は簡単ですが、実際には、発電設備の位置、需要の位置、それらの間の距離、その増加具合は種々想定されますし、更には他電力系統との連系の進み方等が複雑にからんできます。主な想定要素を図-53 に示しますが、想定次第で送電設備構成が大きく変わる場合もあります。これらの要素は時間の経過と共に変化していきますし、結局、全てを網羅した検討は不可能です。図-53 の 19 要素を前提に、仮に各要素 4 パターンに限定しても、組み合わせは、 $4^{19} \approx 2700$ 億パターンとなってしまいます。この

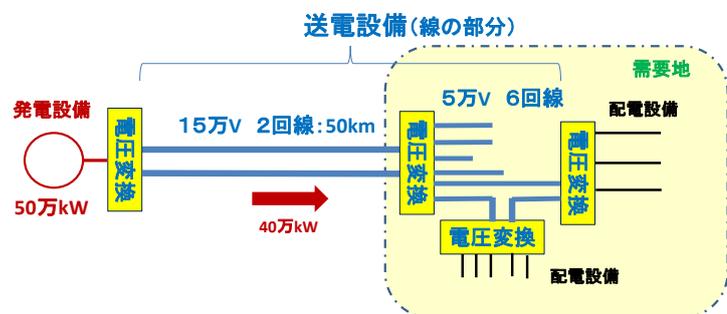


図 52-1 こじんまりした送電設備系統 (需要増加が少)

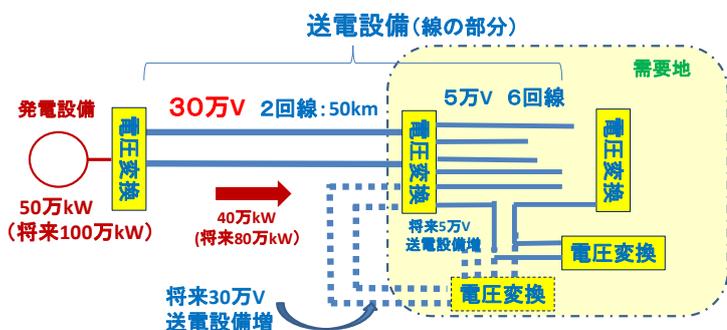


図 52-2 こじんまりした送電設備系統 (同じ地域で需要急大增)

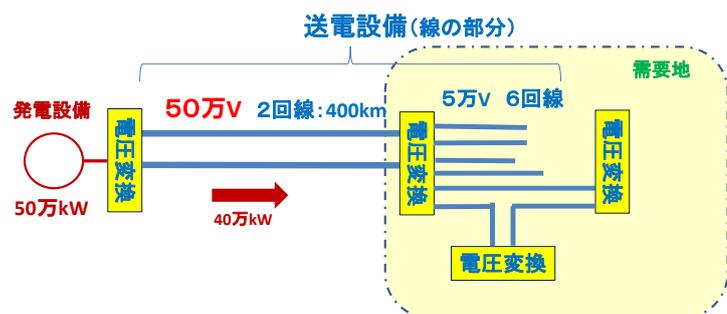


図 52-3 発電と需要が離れている送電設備系統

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

ため、代表パターンを決め、3~4 の特徴的な送電系統構成を設定し、それらに対し要素を様々に変えて検討・経済性の評価等を行います。なお、経済性評価は、時間をかけて送電設備投資は行われていきますから、現在価値換算評価(第5回参照)を行います。このような検討プロセスを辿っても、全てを網羅できなません。このため、完全な正解は得られていないと認識し常に見直しを加えていきます。(Rolling Planning と呼ばれます)。この様な課題では、そもそも検討要素が常に変動するので、例え大型計算機を使っても正解は得られず、最終的には、熟練技術者が経験とセンスに基づき「良さそうな設備形成」を絞り込んでいきます。(別回で説明)

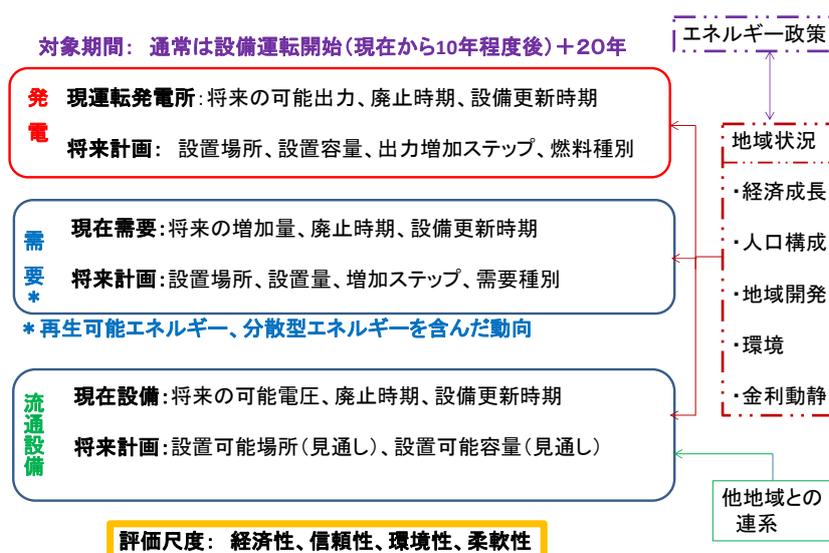


図 53 送電設備計画の検討要素

(余談) 正解がない問題に答えを出すのは難しい

この業務に携わった時、「一人前になるには10年かかる」と言われました。実際経験から、その程度の期間は必要な(熟練)技術と感じます。将来想定には、常に不確実な部分がありますが、どの程度の変化にまで対応力を持たせるかは非常に難しい判断です。海外技術者と「不確実な将来に対しより良い電力系統を構築する方法はないか?」が話題となったのですが、「そんなものはない!」が結論でした。なお、議論の中で Minimum Regret 法: 想定と違った場合に Regret (後悔) が最小 (Minimum) となる案を選ぶ方法が“それなりに使えるのでは?”とされました。ただ、この手法、例えば、趣旨は違いますが「今の家内を選んだ結婚人生は Minimum Regret か」と考えてみると、そもそも何を Regret とするかで評価が相当違う!との結論に至りました。読者の皆様も自分の人生を振り返り評価してみてもいいかもしれません。

○基幹流通設備(系統)と地方供給設備(系統)

送電設備は、一度設置すると数十年使用され、その間にも使用法は変化します。設備変更は簡単ではないので、ある程度、様々な状況に対応可能な構成を目指す場合、電力系統の一部送電電圧を高く設定し電気を安定的に流れやすくしておく、道路で言えば車線の多い高速道路を作っておくとの考え方があります。(図-54)ここで「高い電圧」は電力系統規模(電源や需要量(kW))で決まりますが、一般的に30万V程度(日本では27万5千V)以上です。また、使用電線もロスが少なく大電流を流せる比較的太いものとします。この様な設備は、基幹送電設備(系統)(Bulk Power Transmission system)と呼ばれ世界的な用いられているコンセプトです。こぢんまりした電力系統

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

で長く対応できる場合は不要ですが、電力システムの規模があるエリア内で 100 万 kW を超えての成長が想定される場合、基幹流通設備形成を考慮すべきと思います。

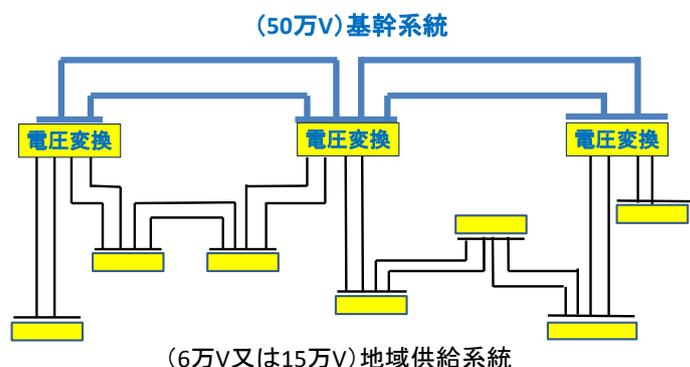


図 54 基幹系統と地域供給系統

ところで、基幹流通系統と配電設備系統間の送電電圧設備は地方供給設備（系統）と呼ばれます。なお、「地方供給」と言うと、狭い範囲の供給イメージを持たれるかも知れませんが、欧米では数百 km 以上に亘る場合もあります。

なお、大容量電源（数十万 kW 以上が目安）を長距離（数百 km 程度以上が目安）送電する場合、高電圧送電が必要な場合がありますが、同じ高電圧でも基幹流通設備と役割が違うため、電源流通設備（系統）と呼ばれる場合があります。この点で、前の図-52-3 の 50 万 V 設備は電源系統と呼ばれます。

○送電設備の信頼度：N-1 基準の考え方

流通設備の信頼性をチェックする際、N-1 基準と呼ばれる考え方が用いられます。例えば、設備形成を検討する際、送電線 1 設備が停止した場合に電気が問題なく送られるかを（総）チェックします。（図-55） この場合、マイナス 1 とは、一設備が突然停止することを意味します。

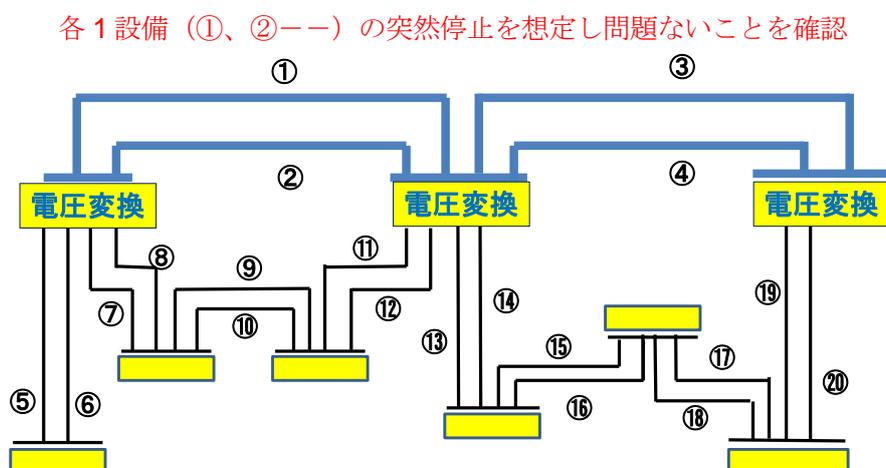


図 55 N-1 基準

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

(余談) N-1 基準と冗長性基準 (N+1、N+2 基準) の違い！？

N-1 基準と別に「最低限必要な設備に対し、その設備が止まった時を考え 1 設備余分に置く (2 設備余分の場合もあります)」との考え方があります。これは「冗長性を確保する」との考え方です。この場合、1 設備余分にすることを N+1、2 設備は N+2 等と呼ばれます。この考え方は、かなり一般的で、電力設備の N-1 基準を最初に聞いた時は違う呼び方なので奇異に感じました。電力設備は、冗長性検討の前提となる最低限必要な設備が、検討要素が多すぎてそもそも分からないとの実態を踏まえた N-1 基準は、冗長性と考え方が違うと実務経験を通じ次第に納得していきました。

さて、チェックして「問題あり」となるのは以下の場合です。

- ① 発電設備の電力を全て送ると、電流が容量を超えたり電圧が大幅に低下
- ② 需要へ電力を全て送ると、電流が容量を越えたり電圧が大幅に低下
- ③ 電力系統が部分的または全体的に不安定となり、電力系統維持が不可能となる可能性発生
勿論、想定した条件の中で、送電設備が全て稼働中 (N-0 と呼ばれる場合もあります) も当然①~③を満たす必要があります。

専門的には、①、②はアデカシー (Adequacy)、③はセキュリティー (Security) チェック条件と呼ばれます。

仮に問題ありとなれば設備設定を改善します。

ところで、日本の送電線は、3 相送電線 2 線路 (回線) を 1 本の鉄塔で送りますが (第 1 回解説)、「1 設備停止」を「送電線 1 回線停止」とするか、鉄塔を 1 設備と考え「2 回線停止」を 1 設備停止とするかで「問題のあり・なし」が変わります。日本では、1 回線停止を 1 設備停止としますが、2 回線停止も「ルート断停止」と定義し、「1 設備停止に順ずる扱い」とされています。特に停止した場合の影響が大きい基幹送電線でチェックされます。信頼度は地域実態の差により国毎に違います。(日本については電力系統利用協議会 (ESCJ) ルール参照)

(余談) N-1 基準は地域実態で異なる

米国では、山火事が多い地帯で、〇〇km 以内に設置される送電線は 1 設備とする、との定義が採用されます。例えば、「3 km 以内」となれば、3 km 内に送電線が 3 回線あれば、3 回線停止 = 1 設備停止です。この考え方に「なるほど」とは思いましたが、日本は米国ほど山火事が少なく状況が違うとも感じました。ただ、今後、日本が乾燥化すればこの考え方が必要かも知れません。(日本で山火事のニュースがあると気になります。) また、国によっては、2 回線送電線ルート断を 1 設備停止と考えた方が良い送電システムもあります。(別途説明予定) ちなみに、発展途上国の技術者から「電力系統の信頼性の考え方を教えて欲しい」と要望されたときは、「日本に沿った考え方で、機械的に貴国に当てはめるのは危険」と前置きし紹介しました。日本国内でも、北方と南方では、例えば、雪による送電設備停止に関する基準が異なります。この様に信頼度は地域性を考える必要があり、安易な標準化することは危険です。

信頼度の考え方は、他設備を含めて別途あらためて説明しますので、ここでは特に N-1 基準 (の言葉) を覚えて下さい。

○送電設備の特徴

以下では送電線設備の特徴を紹介します。

○交流架空送電設備 (Alternate Current Over-Head Line)

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

日本で良くみかけるのは、第1回でも紹介した2回線送電線です。なお、比較的低い電圧(6万V)では同じ電圧の回線が更に多く(3回線以上)同じ鉄塔で送られる場合もあります。(多回線鉄塔) 以下では、送電線の設備概要を説明します。

— 架空地線 (図-56-①)

一番上に2本の線があり架空地線と呼ばれ、地面と同じ電圧(零)となっていて雷を引き寄せる効果があり、送電線へ雷が直撃するのを減らします。ただし鉄塔へ直撃するのは減らせません。

— 碍子 (図-56-②)

鉄塔と電気が通る線は碍子を通して連結されます。碍子には例えば、50万V送電線であれば $50 \times \sqrt{2} \sqrt{3} \rightarrow 50 \times 0.8 = 40$ 万Vの電圧がかかります。(√2等の説明省略→0.8を覚えて下さい) 高電圧になるほど碍子の個数を増やして高い電圧に耐える様にします。碍子が10個以上つながっていれば前述の基幹送電線と考えて下さい。

— 電線 (図-56-③)

電線は、重さに耐える部分(電線の中側)と電気を流す部分(表面側)に分かれます。電気を流す部分、流し易いアルミや銅が使われ、中側は強い力に耐える鋼などが使われます。

なお、交流電気は、電線の表面の方が流れ易いので、中側を電気の通しにくい鋼としても送電ロスが増えません。

ところで、ロスが増えると送電線での発熱が増え、電線の温度が上昇し電線の金属特性が維持できなくなります。この限界が熱(で決まる)容量と呼ばれ、太い電線ほど表面側の面積が増え、熱容量が増加します。

送電線の電線を見ると高電圧送電線(碍子の数が多い)は、線が2本以上となっています。電線の電圧が高くなると電線表面から空間へ向けて電流が流れ易くなり、送電ロスや(じりじり言う)雑音が増加するのですが、線を増すと減らせるためこの様な線(複導体と呼ばれます)とします。

(余談) 某国の送電線は電線で大胆なコストダウンをしたが――

相当過去に遡りますが、某国で非常に高い電圧の送電線の電線線種を細く、また数を減らした(多分、相当コストダウンになったでしょう)のですが、いざ運転を始めたら、送電ロスが大きくなったため電圧を下げて送電能力を低下させ運転したとのこと。「安物買いの銭失い」との警句がありますが、コストダウンも安易に行くと火傷します。

— 鉄塔 (図-56-④)

鉄塔は、日本では2回線鉄塔が比較的多いですが、世界を見れば1回線鉄塔が概ね標準的です。(図-57) 日本は用地確保が困難、急峻な山地が多い(高い鉄塔として

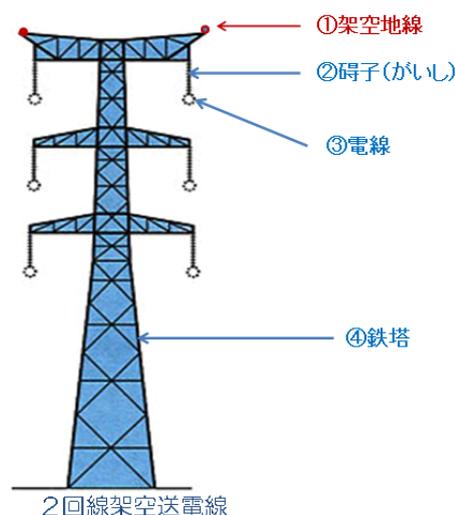


図 56 交流架空送電設備の特徴

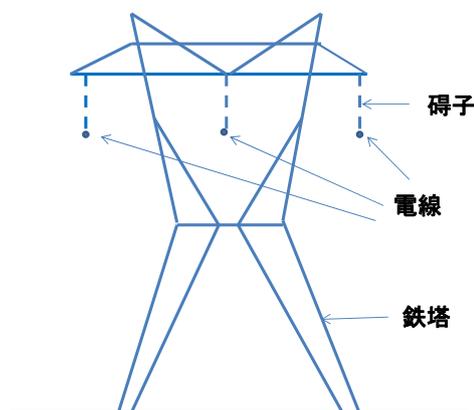


図 57 1回線送電線概形

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

谷超える) ためです。なお、海外でも河川を高い鉄塔で横断する場合等には 2 回線鉄塔が使われます。海外の場合、1 回線鉄塔は相当低く建設し、電線下の木も伐採していることが多いようです。欧米上空の飛行機から下を見ると、道ではない長く白い線（大抵直線で、木を伐採しているので白く見えます）が見えますが、高電圧送電線が通っていると思ってください。

(余談) 1 回線鉄塔 vs 2 回線鉄塔！

海外技術者と議論すると、2 回線鉄塔は信頼度面で脆弱だ！との意見が出ます。日本と外国と比較して、1 回線を平行して 2 回線建設するのが主の海外と日本の 2 回線主体の送電系統で信頼度に差が出ていませんから、これも「慣れ」の問題だと思います。

ただし、2 回線鉄塔でもルート断停止にいたる事故の頻度を減らすことで信頼度が落ちない様配慮した事故除去用制御システム（保護リレーシステム）等が日本では用いられていますから、それらを含めた評価が必要なことは承知しておく必要があります。（これらは別の回で紹介します）

架空送電設備と雷

架空送電設備は常に雷に晒されますが、雷には非常に大きなエネルギーのものがああり、送電設備へ落ちると非常に高い電圧を発生させます。これに耐える設備とすると鉄塔が巨大化しますし、そもそも雷エネルギーの最大レベルがどの程度か分からないので巨大化の効果も分かりません。このため、雷に対しては次の考え方で送電設備を作ります。(耐雷設計と言います)

雷エネルギーの最大値は分かりませんが、いろいろな雷エネルギーの大きさの確率的な分布はある程度分かります。このため、ある程度以上の強い雷で高い電圧が発生した場合、設備はショートする（事故になる）が、頻繁にショートが発生しない（数学的には期待値（ある雷電流でショートする確率×その雷電流が発生する確率）を一定以下とする）設備を作ります。

電線への雷除けに架空地線が張られますが、雷による送電設備でショートする様相には 2 種類あり、鉄塔に雷が落ちたほんの瞬間の高電圧でショートする「逆フラッシュオーバー」は架空地線で除けられません。(図-58) 雷は、1000 分の 1 秒位の短い現象ですが（冬の雷は長く続く傾向 → 冬の雷と夏の雷は特徴が違います）雷で一旦ショートすると、その後は発電機から供給されるエネルギーで大きな電流が流れ続けます。これが事故電流と呼ばれ、雷電流の数分の一以下の大きさですが、普段の電流より遥かに大きく、流れ続けると設備が壊れます。このため、ブレーカー（遮断器）を動作させ事故電流を止めます。なお、遮断までの 0.1 秒程度電力系統電圧が大幅に低下し、(雷事故による) 瞬時電圧低下と呼ばれます。(図-59) 事故電流は殆ど無効電力成分ですが電力系統の有効電力の流れを普段とは大きく変え様々な影響が出ます。

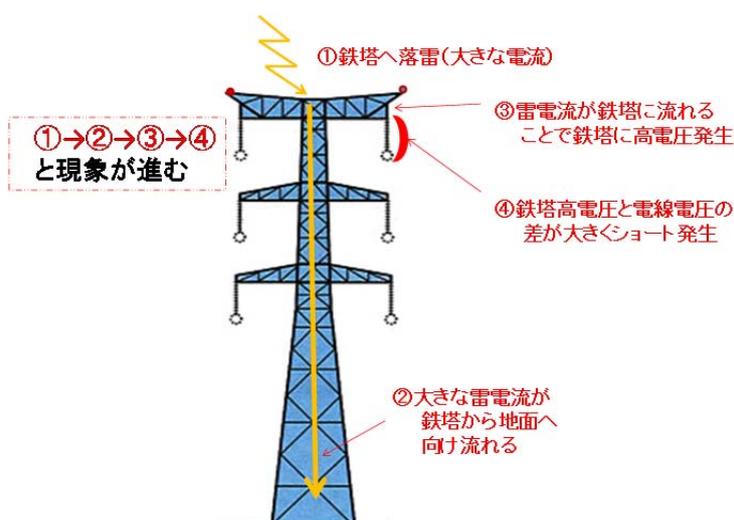


図 58 雷による送電鉄塔での逆フラッシュオーバー

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

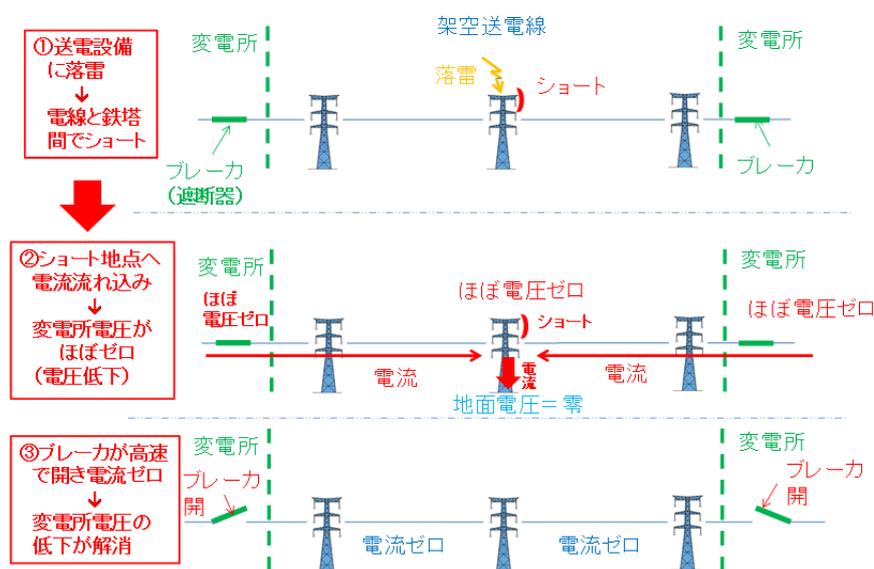


図 59 雷事故による瞬時電圧低下の発生様相

ところで、雷でショートし事故電流が一時的に流れても、架空送電設備は壊れない設計となっています。すなわち、送電設備は「事故は起きる（のはやむなしとする）が直ぐまた使える能力を持たせる」との思想で設計されています。

(余談) 電力技術者は大きな自然の力には逆らわない

自然の力（ここでは雷）はすごいので「敢然と立ち向かう」のではなく、上手にやりすごす、が雷に対する架空送電設備の世界共通の設計思想です。自然の力に敬意を払う日本人にはじっくり考える考え方と思っています。最近、巨大津波への対応が話題となりますが、「立ち向かう」ことにむやみに力を注ぐのではなく、「上手にやり過ごす知恵」を出せれば、と感じます。

○直流架空送電設備

直流の送電設備は基本的には交流送電設備と同じ構成となります。

ただし、直流はプラス（又はマイナス）電圧と零電圧があれば良く、零電圧は地面を使うと考えれば、1本の電線だけで構成できます。ただ、この場合、地面に電流が流れるため、地域の設備（例えば水道管）に影響が出るため、零電圧でも電流を流す線を設ける場合があります。

一方、線を二本使う場合、プラスマイナスの電圧をかけると2倍の電力を送ることができます。この場合、プラスマイナス両電圧を使っていれば地面に電流が流れないのですが、一方を止めると地面に流れてしまうため、プラスマイナス2線に加えて、地面に流さないための電線を付け加える（帰路線）場合があります。

直流設備の電流の流れ方を図-60に示しますので、ご参考にして下さい。なお、交流は3相送電では、電流が3相合わせてゼロとなるため帰路は不要です。

基幹流通設備ではこの形態が多いです。（図-61）なお、地面に電流が流れても影響がない地域では帰路線は不要ですが、架空地線（雷対策）と兼ねて設置する場合も多いようです。

直流送電線はこれで1セットですから、鉄塔構成はシンプルです。このため、同じ電力を流す機能で比較すると直流送電設備は交流送電設備より通常安価となります。ただし、流通設備全体としての経済性は直流変換設備等を含め考える必要があります。なお、例えば、50万V直流電圧設備

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

では、碍子にかかる電圧は 50 万 V で、交流 50 万 V の $\sqrt{2}/\sqrt{3} \times 50$ 万 V とは違いますし、直流は電線内部も流れやすいなど、幾つか交流と違う特徴があります。

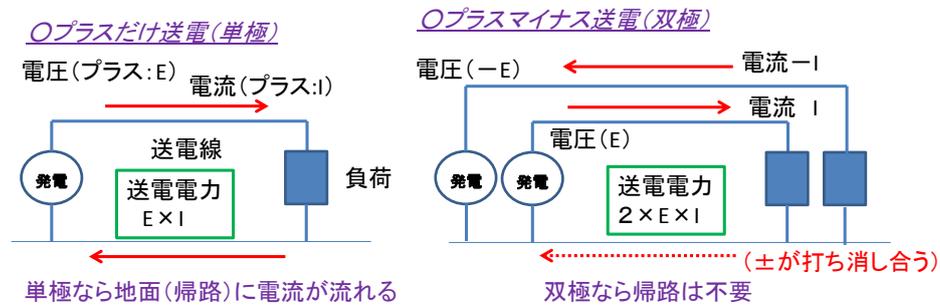


図 60 直流送電設備の電流の流れ方

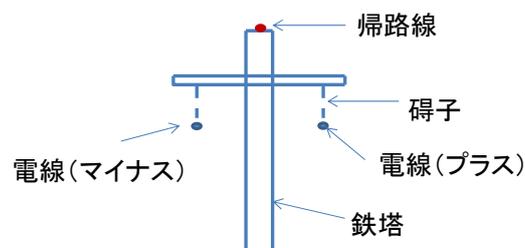


図 61 直流送電設備(双極(±))

今回はここまでとし、次回は送電設備のうち地中送電設備を説明し、その後、変電設備への解説を進めていきます。

[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

「研究室紹介」

東北大学 金属材料研究所
付属強磁場超伝導材料研究センター 渡辺研究室
准教授 木村尚次郎

研究室メンバー (2014年7月現在)

渡辺和雄教授 (センター長)、淡路智准教授、木村尚次郎准教授 (筆者)、高橋弘紀助教、小黒英俊助教、技術職員 2 名、研究支援員 1 名、秘書 2 名、学生：博士後期課程 3 名、博士前期課程 4 名、卒研究生 3 名から構成されています。

本センターは、1981年に核融合開発研究の一翼を担うため東北大学金属材料研究所に開設された超伝導材料開発施設を前身とする強磁場研究施設です。1986年に、超伝導マグネットと水冷常伝導マグネットを組み合わせることで、それぞれ単独では発生できない極めて強い磁場の発生が可能なハイブリッドマグネットを建設し、当時世界最高となる 31.1 テスラの定常磁場を実現して以来、本センターは世界五大定常強磁場施設の一つに数えられ現在に至っています。さらに 90 年代には、高温超伝導電流リードの導入により、メンテナンスや運転コストの面で従来大きな負荷となっていた液体ヘリウムの使用を必要としない、無冷媒超伝導マグネットの実用化に世界で初めて成功しています。この無冷媒超伝導マグネットは、広汎な研究対象への強磁場利用の普及に大きく貢献し、化学・材料プロセスから生命現象にわたる多様な物質・現象に対する磁場効果を研究する新たな学際分野を切り拓きました。現在では、無冷媒超伝導マグネットを用いたハイブリッドマグネットの開発により 30 テスラ級の磁場が手軽に長時間利用できるようになり、本センターではこれらのマグネットに電気炉や冷凍機、圧力セルを挿入することによって、1200°C の高温、20 mK の極低温、あるいは 15 GPa の高圧と強磁場を組み合わせた複合極限環境を実現しています。また光ファイバーを用いて、強磁場中で近赤外から紫外領域の光学実験を行う測定系を構築するなど、多彩な実験が可能となっています。

本センターは全国から強磁場ユーザーを積極的に受け入れており、超伝導体の基礎・応用研究、磁性等の固体物性、結晶成長及び化学・生物学的現象に対する磁場効果、強磁場工学など多岐にわたる約 60~80 件の共同利用研究を毎年遂行しています。先般の東日本大震災では、主要設備であるハイブリッドマグネットが運転不能になるなど大きな影響を被りましたが、現在、その修繕と更新がほぼ完了し、リニューアルされたよりよい強磁場環境のもと研究活動を推進しています。

現在、各国で強磁場科学の重要性が再認識され、欧米、中国において大型施設の建設・整備による大規模な強化が相次いでなされています。この現状を鑑み、最近、我が国でも次世代強磁場施設の整備計画が策定され、日本学術会議の「学術の大型施設計画・大規模研究計画のマスタープラン」に取り上げられることとなりました。その一環として、本センターに 25 T 無冷媒型超伝導マグネットの建設予算が認められ、2015年3月の完成に向けて新研究棟の建築とマグネット開発が進められています。更にこの整備計画では、日本の優れた超伝導線材技術を駆使した省エネルギー型の 50 テスラ級定常強磁場施設の建設が掲げられており、その遂行に本センターは主要な役割を担うこととなります。全国の強磁場研究者の悲願である次世代定常強磁場施設建設に皆様のご理解とご協力をいただければ幸いです。

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



28 T 無冷媒ハイブリッドマグネット

[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

読者の広場

Q&A

Q : 「ダブルペロブスカイト型ビスマス酸化物超電導体はなにが新しいのでしょうか？」

A : 【単純ペロブスカイト型構造の二倍周期をもつ結晶構造。水熱法での低温合成でナトリウムを構成元素に含む。】

BaBiO₃ を母相とする超電導体は、酸化物超電導体の中で銅系に次ぐ超電導体転移温度 (~30 K) を持つ材料として知られています。1975 年に A. W. Sleight らはバリウムサイトに鉛を置換した BaPb_{1-x}Bi_xO₃ の約 13 K で超電導転移を報告し¹⁾、1988 年には L. F. Mattheiss らと R. J. Cava *et al.* らが、バリウムサイトにカリウムを置換した Ba_{1-x}K_xBiO₃ (BKBO) が、最高で約 30 K の超電導体であることを発見しました^{2,3)}。これらのビスマス系の超電導体は銅系酸化物超電導体の二次元構造とは異なり、異方性を持たない特徴があります。これらの超電導体はペロブスカイト型構造をとります (図 1a)。

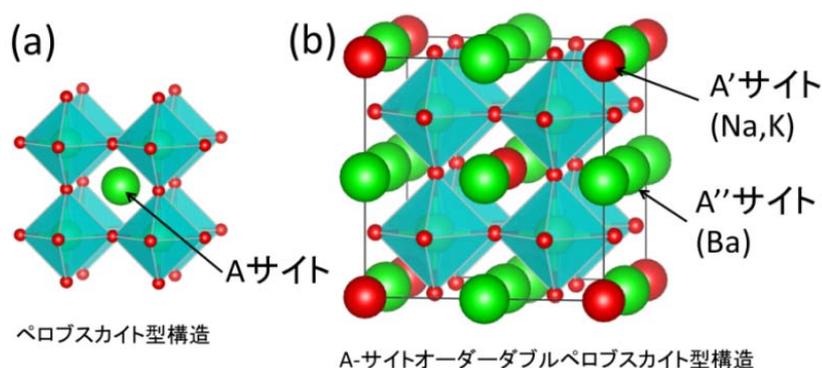


図1 ペロブスカイトは一種類のAサイトを持つが、A-サイトオーダーダブルペロブスカイト構造ではAサイトがA'とA''サイトの二種類のサイトを持つことで、二倍の周期構造を持つ。本研究で発見された超伝導体では、A'サイトにはナトリウムとカリウム、A''サイトにはバリウムが占有している。

我々は、人工水晶などの合成に用いられている水熱反応を用いることでナトリウム、カリウム、バリウム、ビスマス、酸素で構成されるペロブスカイト化合物を 220°C で合成し、超電導転移を最高 27 K で確認しました (図 2)⁴⁾。この物質は BKBO の構成元素にナトリウムを加えた化合物です。BKBO はペロブスカイト型構造を取るのに対し、本物質は A-サイトオーダーダブルペロブスカイト型構造と呼ばれる、より長周期の結晶構造をもつことがわかりました。この構造中では、ABO₃ で表されるペロブスカイト型酸化物の A サイトが、バリウムを占めるサイトとナトリウム又はカリウムが占めるサイトの二種類になり、通常のペロブスカイト型構造の二倍の周期性を持ちます (図 1b)。

この長期の周期性を持つ A-サイトオーダーダブルペロブスカイト型構造が、超電導特性にどのように影響を与えるかは明らかになっていません。しかし、この長周期構造はこれまでの単純ペロブスカイト型構造よりも構造設計の自由度が高く、[磁気抵抗効果](#)や[負の熱膨張](#)など多彩な機能を示すことから注目を浴びています。本研究で見つかった化合物は、A-サイトオーダーダブルペロブスカイト型構造で初めての超電導体です。この新しい設計の自由度を生かしたダブルペロブスカイト型構造新規超電導体の探索を続けています。

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

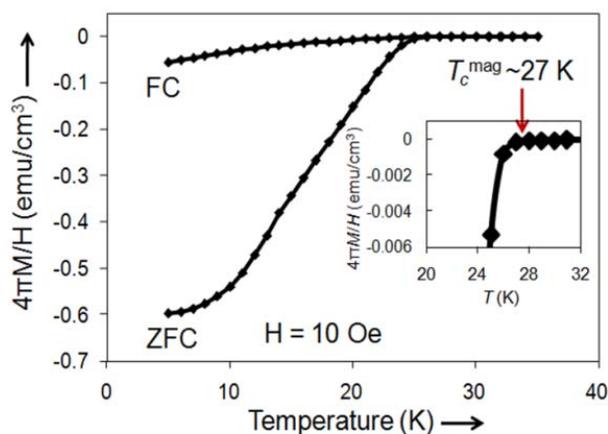


図2 水熱法により合成されたA-サイトオーダーダブルペロブスカイト型超伝導体の磁化率曲線。

参考文献：

- 1) A. W. Sleight *et al.* Solid State Commun. 17 (1975), 27.
- 2) L. F. Mattheiss *et al.*, Phys. Rev. B 37 (1998) 3745 .
- 3) R. J. Cava *et al.*, Nature 332 (1988) 814.
- 4) M. H. K. Rubel *et al.* Angew. Chem. Int. Ed. 126 (2014) 3673.

回答者：山梨大学大学院 医学工学総合研究部 附属クリスタル科学研究センター
三浦 章 様、Rubel M.K. Mirza 様、武井貴弘 様、熊田伸弘 様

[超電導 Web21 トップページ](#)