

# 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) :

### 特集：超電導電力機器技術の進展

- 古河電工における超電導電力機器技術開発
- 大電流超電導電力ケーブル技術開発の進展
- 「ケーブル関連技術紹介」－66kV 5kA 級珪リウム (Y) 系高温超電導ケーブル
- 高温超電導ケーブルの長期運転試験結果について

- 超電導関連 2014年10月-11月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン (8/20-9/19)
- 世界の動き
- 「電気学会 B 部門大会」報告
- 隔月連載記事「超電導センサ」(その5)
- 連載記事「やさしい電力系統のはなし」(第9回)
- 研究室紹介 名古屋大学エコトピア科学研究所 早川研究室
- 読者の広場「フジサンケイビジネスアイ・先端技術大賞受賞の『ナノ組織制御及び人工欠陥導入次世代超電導線材の開発』とはどんな内容ですか？」

[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

## 特集：超電導電力機器技術の進展

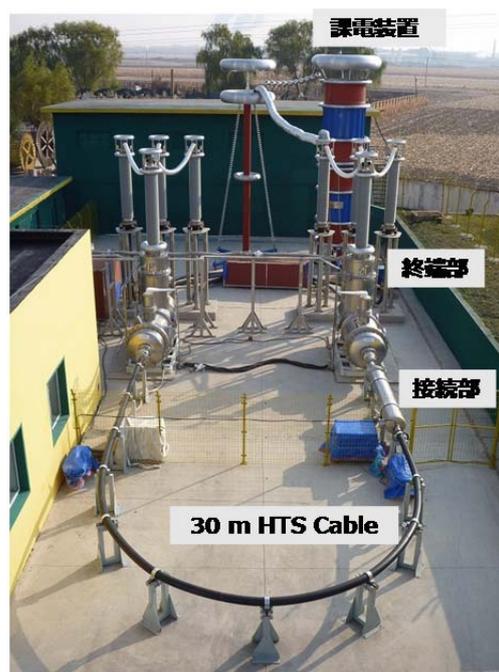
### 「古河電工における超電導電力機器技術開発」

古河電気工業株式会社  
 パワー&システム研究所  
 主幹 向山晋一

イットリウム系超電導線材（2G 線材）の特徴としては、高磁場環境において、高い臨界電流を維持することであり、レア・メタルの使用量も少なく低コストが期待できると考えられている。実際のところ、数年前には、2G 線材の製造会社としては、米国の AMSC 社と Superpower 社だけであったが、現在は国内でフジクラを始め商業販売を始める会社が増えてきた。さらに、性能についても、500 m 級において 400 A/cm を超える線材も取引されていて、その応用研究も盛んになってきた。古河電工においても、高い性能を有する 2G 線材の応用開発として、超電導ケーブルへの適用に加えて電力機器としてのフライホールや風力発電への適用可能性について、検証を進めてきている。

#### 1. 超電導ケーブルの開発

世界最高電圧となる 275kV 3kA 超電導ケーブルの開発<sup>1)</sup>は、最終年度（2013 年度）に中国瀋陽市の瀋陽古河電纜有限公司において、1 か月の長期化通電試験を完了した。このケーブルについては、すでに日本に引き揚げ、残存試験（ケーブルを解体しての健全性確認、課電試験）を実施した。瀋陽古河の設備については、液体窒素を循環する循環設備と、課電および通電するための設備、超電導ケーブルの試験端末が残っており、ケーブル部を中国に持ち込めば試験が実施できる状況にある。実際、本年度からのプロジェクト<sup>2)</sup>では超電導ケーブルの安全性・信頼性評価試験として、短絡試験や断熱管の真空低下など、各種トラブルによる超電導ケーブルの安全性について、その超電導ケーブルの挙動や液体窒素循環システムへの影響など、安全性の検証を実施する予定である。



275kV 3kA 30m 超電導ケーブル試験

#### 2. フライホイールの開発

風力発電や太陽光発電など自然エネルギーを利用した発電においては、自然エネルギーの時間的な不安定性による出力変動や、系統周波数の不安定などの影響が危惧されている。古河電工、鉄道総研、クボテック、ミラプロ、山梨県は、現在次世代超電導フライホイールの開発を進めている<sup>3)</sup>。この超電導フライホイールは、YBCO 超電導バルクと 2G 線材を用いた超電導マグネットの組み合わせで、フライホイールを非接触で浮上させ、高速回転させることができる。これにより、これまでフライホイールの欠点であった軸受での摩擦によるロスと、摩擦による定期的な軸受の交換やメンテナンスを省略することができ、10 tons 級のフライホイールを約 6000 rpm で高速回転させるこ

# 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

とが可能である。このプロジェクトでは、超電導磁気軸受の開発だけでなく、それを組み込んだ 300 kW, 100 kWh 級のフライホイール蓄電装置を開発している。装置完成後、山梨県企業局が持つ米倉山のメガソーラ発電施設にフライホイール蓄電装置を設置して、連系実証試験を行う予定である。

### 3. 超電導風力発電の開発

自然エネルギー発電の代表格である風力発電は、発電コストの低減を図るために、発電量に対する建設コストの割合から、風車の大型化と、風況の良い洋上への拡大がトレンドになっている。特に、10 MW 超級の大型風力発電機は、風車の巨大化ゆえに陸上設置が困難であり、洋上設置が検討されている。古河電工は、産業技術総合研究所と前川製作所と共同で、10 MW 超級の大型風力発電機への超電導の適用性について調査を進めている<sup>4)</sup>。発電機のローターに鉄心と 2G 線材からなる超電導マグネットを適用することで、ナセル内で大きな空間を占める動力ユニットを小型・軽量化する設計が可能となった。今後、調査研究の中で重要な部品となる超電導ローターの課題解決として、実機サイズのレーストラックコイルを 1 ユニット分製作して、冷却試験を予定している。

電力機器の機能として、「電気を送る」、「電気を貯める」、「電気を作る」という 3 つの適用分類があると考えている。これに対応して、順に「超電導ケーブル」、「フライホイール」、「風力発電」を有力な超電導機器応用と考え、古河電工では NEDO をはじめとして共同開発社とともに実用化の開発を進めている。

- 1) NEDO 省エネルギー部の委託事業「リチウム系超電導電力機器技術開発」(平成 20 年度～平成 24 年度)
- 2) NEDO 省エネルギー部の助成事業「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」(平成 26 年度～平成 28 年度)
- 3) NEDO スマートコミュニティ部の助成事業「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」(平成 23 年度～平成 27 年度)
- 4) NEDO 新エネルギー部の委託事業「風力発電高度実用化研究開発事業：10 MW 超級風車の調査研究」(平成 25 年度～平成 26 年度)

[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：超電導電力機器技術の進展

### 「大電流超電導電力ケーブル技術開発の進展」

住友電気工業株式会社  
超電導製品開発部  
増田孝人

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託を受けて、東京電力(株)、住友電気工業(株)、(株)前川製作所が進めてきた「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」において、平成24年10月29日から、超電導ケーブルの電力系統への連系運転を実施して参りましたが、1年以上の実証運転を無事行うことができ、平成25年12月25日に運転を終了致しました。この間、特に大きなトラブルもなく、送電を継続することができ、超電導ケーブルの実系統運転での安定性、信頼性を検証することができました。

運転途中に、超電導ケーブルの特性確認のため、実系統から一旦切り離し、臨界電流測定を実施いたしました。また、運転終了後、同じく特性確認のため、臨界電流測定を行いました。系統接続前の初期値と変わらない結果が得られています。また、運転中は、不定期ですが部分放電測定もを行い、運転期間を通じて部分放電らしき信号の発生は確認されておらず、電気絶縁特性も良好であったと判断しております。

超電導ケーブルの熱的特性については、四季を通じてデータを収集することができていますが、地上に配置され露出している部分は、直射日光により表面温度が大きく上昇し、侵入熱が増える傾向が得られました。この露出部については、遮光塗料を塗るなど対策を施し、その効果を確認しています。尚、表面積の大きい端末部については、この温度上昇によるアウトガスが影響し、真空度が少し悪くなる傾向がありましたが、途中で真空引きを行うことで、元に戻ることも検証できています。

このように、実系統での運転を通じて、ケーブル性能が良好であったことを確認いたしました。今回の運転で、通常運転での安定性を示した訳ですが、実線路に配備され、長期運転を実施した場合、系統での各種のトラブル、事故にも遭遇する可能性があり、その対応について検討しておく必要があります。この事故時における超電導ケーブルの安全性と対策の検討を実施することを目的として、新しく NEDO 助成事業として「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」プロジェクトが、この7月からスタートしました。当社はこの中で、系統短絡事故、地絡事故、外傷事故等での超電導ケーブルの挙動や、周囲への影響を確認するための検証試験の実施、及びそれらへの対策の検討を行う予定です。今後も超電導ケーブルお実用化に向けて取り組んでいきます。

[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

## 特集：超電導電力機器技術の展開

### 「ケーブル関連技術紹介」－66kv 5kA 級イットリウム (Y) 系高温超電導ケーブルー

株式会社フジクラ

新規事業推進センター 超電導事業推進室

主席研究員 渡辺和夫

フジクラの高温超電導ケーブル関連技術を紹介する。フジクラでは Y 系高温超電導線の製法として自社独自のイオンビームアシスト蒸着 (Ion Beam Assisted Deposition:IBAD) 法とパルスレーザー蒸着 (Pulsed Laser Deposition:PLD) 法により精力的に Y 系超電導線の開発を行ってきた。Y 系超電導線材の外観を図 1 に、代表的な製品ラインアップ例を表 1 に示す。現時点での標準品の液体窒素中 (77 K) における臨界電流 ( $I_c$ ) は 10 mm 幅当たり 500 A 以上 (5 mm 幅では 250 A 以上) である。この高  $I_c=600A/cm-w(@77K,s.f.)$  の IBAD-PLD 線材が NEDO プロジェクト (2012 年 4 月～2013 年 2 月) で初めてケーブルに適用され、期待される大電流・低交流損失特性が検証された。設計・試作した 66kV5kA 級 Y 系超電導ケーブル構造を図 2 に示す。導体、シールドの線材は全て 4 mm 幅とし、高  $I_c=240A/4mm-w(@77K,s.f.)$  を有している。通電実証線路の全景を図 3 に示す。ケーブル通電用終端接続部・冷却システム試験設備を有する約 22 m 長の試験線路をフジクラ佐倉事業所内に構築し、交流通電特性を検証した。その結果、導体通電時には超電導シールド層には導体電流の約 98 % の電流が誘導され、設計通りであることが確認された。さらに液体窒素温度 77 K において、5000 A 通電時の交流損失が目標値 2.0 W/m (@5kArms) に対し十分小さいことを確認した。更に、67 K において目標損失値の半減を達成した。

表 1 Y 系超電導線材の製品ラインアップ例

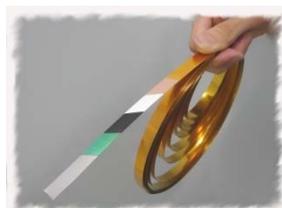
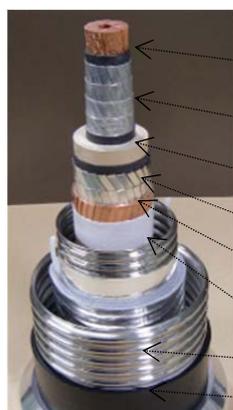


図 1 Y 系線材外観

型番	線材幅 (mm)	厚さ (mm)	金属基板 ( $\mu\text{m}$ )	銅安定化層 ( $\mu\text{m}$ )	臨界電流(A) (@77K, s.f.)
YSC-SC05	5	0.16	75	75	> 250
		0.21	100	100	> 250
FYSC-SC10	10	0.16	75	75	> 500
		0.21	100	100	> 500



項目	仕様
フォーマ	銅より線 20mm $\phi$
超電導導体 ( $I_c=14 \text{ kA}$ )	4層、オール 4mm 幅線材 $I_c=240 \text{ A}/4 \text{ mm-wide}(77 \text{ K, s.f.})$
絶縁体	クラフト紙 (6mm 厚さ)
超電導シールド層 ( $I_c=12.7 \text{ kA}$ )	2層、オール 4mm 幅線材 $I_c=240 \text{ A}/4 \text{ mm-wide}(77 \text{ K, s.f.})$
銅シールド層	銅テープ, 44 mm $\phi$
保護層	不織布, 45 mm $\phi$
断熱管	二重ステンレスコルゲート管 真空断熱方式
防食層	PE 114mm $\phi$

図 2 Y 系超電導ケーブルの外観と構造寸法

# 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

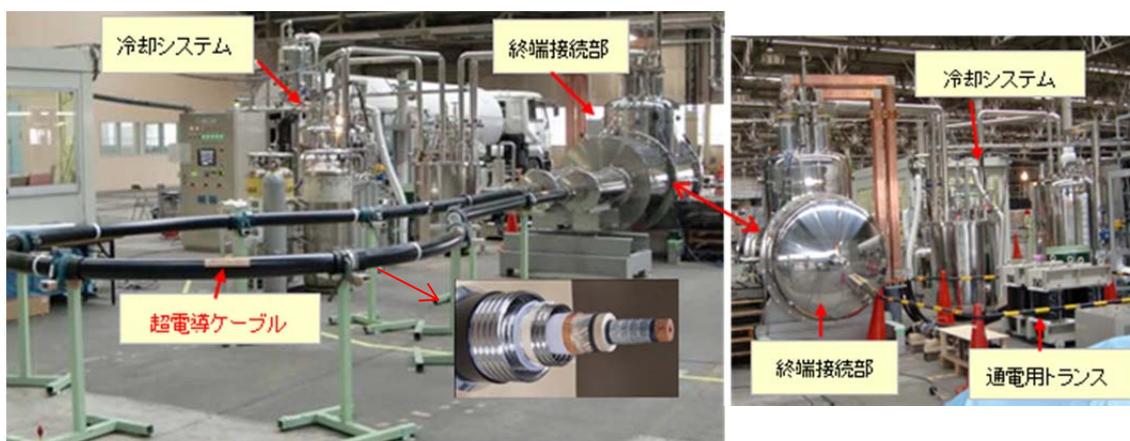


図3 超電導ケーブルの通電実証線路

これらより、液体窒素温度が実用的な 77 K において、目標の大電流化・低損失化に初めて成功した。さらに、高  $I_c$  に伴う負荷率低減により損失低減が可能であることが実証されただけでなく、実線路の冷却システム設計における温度条件設定が可能となった。今後、これらの成果を生かし、超電導ケーブルのメリットである低電圧大電流化（大容量化）と低損失化をさらに進め、ケーブルシステムのコンパクト化が図れるものと期待される。

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）委託事業「リチウム系超電導電力機器技術開発」の一環として実施したものである。

[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

## 特集：超電導電力機器技術の進展

### 「高温超電導ケーブルの長期運転試験結果について」

東京電力株式会社  
技術統括部 技術開発センター  
超電導技術 G 丸山 修

#### 1. プロジェクト概要

東京電力・住友電気工業・前川製作所によって2007-2013年度に実施された新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」では、66 kV-240 m 長の高温超電導ケーブルシステムを東京電力の旭変電所に構築し、国内初の超電導ケーブルを実システムに連系した実証試験が行われた。本試験では、線路設計・建設・運転・保守を含めたシステム全体の運用技術の確立と、負荷変動などの予測不能な系統状態変化に対する超電導ケーブルシステムの安定性を評価した。以下に長期運転試験から得られた特性データを示す。

#### 2. 長期運転試験結果

図1は系統連系期間中の約14ヶ月間に亘る運転状況の推移、表1はその運転実績を示す。超電導性能の健全性等を評価するための定期検査として、2回の計画的な系統切り離しを実施した。当期間を除く系統連系運転の実績日数は400日程度で、送電停止を伴う重大故障はなく、安定した送電を維持できた。また、系統切替等に伴う瞬間的な負荷変動等の擾乱に対しても安定運転が継続された。冷媒温度は運用開始当初は $69 \pm 1$  Kの範囲で制御したが、冷凍機能力の温度依存性や、長距離線路適用時の温度上昇に対する安定性検証のため、最大で $79 \pm 1$  Kの範囲まで変更し、同温度でも支障なく運転できることを確認した。系統連系終了後に残存性能評価を行い、臨界電流値および絶縁性能に低下が無いことを確認した。

一方、超電導ケーブルの断熱管の長期に亘る真空度の維持や冷却システムの大容量化・高効率化が必要であることが確認された。

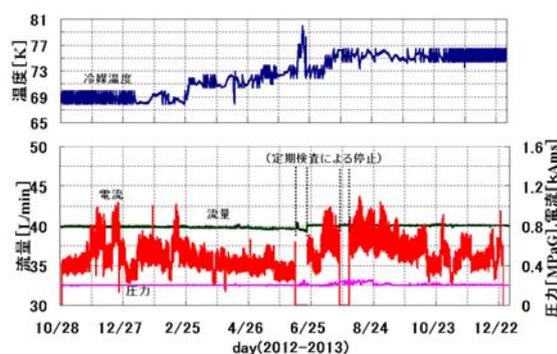


図1 実系統連系運転状況の推移

表1 系統連系期間中の運転実績

項目	内容
実系統接続期間	H24. 10. 29～H25. 12. 25 (約400日間：定期検査期間除く)
定期検査期間	H25. 6. 10～6. 21, H25. 7. 22～7. 31
最大電流	1127 A (H25. 8. 10)
系統電圧	63.9 kV～67.1 kV
通電電流不平衡率	6.9 %程度
シールド電流率	88 %程度
系統切替	50回以上
過負荷	無
インパルス有無	無
事故電流通過	1回

#### 3. 今後の予定

上記の課題や実用化に向け更なる技術向上を図るため、H26年7月よりNEDOの助成事業「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」が開始された。本事業においては、安全性に関する検証試験や大容量・高効率ブレイトン型冷却システムを用いた系統連系試験の再開を予定し

# 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

---

ている。前者は、ケーブル短絡・地絡事故および掘削等による外傷事故の模擬試験により、液体窒素を含めた事故時の超電導ケーブルの挙動や外部環境への影響を評価する予定である。後者は、同冷却システムを2014年度中に旭変電所に設置し、既設超電導ケーブルと連携させた上で、2015年度から長期系統連系運転による性能評価を開始する予定である。

[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 '14/10月-11月の催し物案内

### 10/4

日本物理学会 第19回久保記念シンポジウム「超電導と線形応答」  
学士会館、東京都

[http://www.jps.or.jp/activities/e-bulletin\\_2014/2014-10-04-ino-TS.html](http://www.jps.or.jp/activities/e-bulletin_2014/2014-10-04-ino-TS.html)

### 10/8-10

第11回流動ダイナミクスに関する国際会議  
仙台国際センター

<http://www.ifs.tohoku.ac.jp/icfd2014/index.html>

### 10/31

2014年度第3回関西支部講演会

[http://www.csj.or.jp/kansai/2014/3rd\\_1031.pdf](http://www.csj.or.jp/kansai/2014/3rd_1031.pdf)

### 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「強磁場発生の新しい潮流」  
高山市民文化会館

[http://www.csj.or.jp/event/co-sponsor/2014/jsap\\_1112.pdf](http://www.csj.or.jp/event/co-sponsor/2014/jsap_1112.pdf)

### 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](http://www.csj.or.jp/communication/2014/1st_1117.pdf)

# 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

---

**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>

**11/30-12/3**

International Workshop on Coated Conductor and Applications (CCA2014)

Jeju, Korea

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

(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 (8/20-9/19)

- リニア実験線、有料で体験 時事通信ニュース 8/28
  - 東工大、低温合成で鉄系超電導体新物質、 $T_c$ 異なる3種発見 化学工業日報 8/29
  - 鉄道総研がフォーラム／超電導技術 成果展示も 日刊産業新聞 8/29
  - 量子コンピューター研究 理研の蔡氏ら受賞 江崎玲於奈賞 日本経済新聞 9/03
  - 鉄系超電導 温度37度高く 東工大 アンモニアなど添加 日経産業新聞 9/04
  - 九大、超電導体がスピン流に対して絶縁体になることを解明—新素子開発に道 日刊工業新聞 9/04
  - 大学、最先端研究に力 磁気使い世界最速冷凍 東北大 超電導の原理解明後押し 日本経済新聞 9/06
  - 300メートル級超電導き電ケーブル 鉄道路線で実証試験へ 日刊産業新聞 9/10
  - ヘリカル磁性体 CrAs 加圧下で超伝導出現 科学新聞 9/12
  - 日本メタル経済研究所 調査研究成果報告会 2013年度 超電導ケーブルの現状 日刊産業新聞 9/19
- (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

## 世界の動き (2014年8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

#### 限流器、ケーブルを展示

**STI, Nexans, LS Cable, RWE Deutschland AG (2014年8月25日)**

Superconductor Technologies 社(STI)は、Nexans 社、LS Cable 社、そしてドイツ RWE 社と共に、超電導限流器(SFCL)並びにハイパワー超電導ケーブル(HPSC)を国際大電力システム会議(CIGRE)の STI 社展示ブースで紹介した。

参画企業の目的は、各企業の集積的専門知識を活用し、インフラ、送電、配電産業の開発を行おうとする会社とSFCLとHPSCの価値を共有することである。重要な電力網の計画に関してその意思決定を支援し、将来的なインフラについて市場にアピールし、既存電力システムの最適化とグリッドの安定性と信頼性の向上を図る。

STI社のマーケティング及び製品管理事業部副社長であるAdam Shelton氏は、「超電導線材は、ソリューション全体の重要な要素である。今年後半に開始予定である当社の商用Conductus®線材の量産計画にあたり、我々はSFCL及びHPSCの顧客と緊密に協力し合い、業界要求に見合う性能の最適化と生産能力の向上に努めている。」と述べた。

Source: "Nexans, LS Cable, RWE Deutschland AG and STI Jointly Exhibit Solutions at CIGRE

# 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

2014”

STI Press Release (25 August, 2014)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=1960572&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle_Print&ID=1960572&highlight)

Contact: Cathy Mattison invest@suptech.com

## ▶線材

### 幅 100mm、長さ 1km 線材を年産 750km に

STI (2014年8月7日)

Superconductor Technologies社(STI)は、2014年6月28日締め第2四半期の決算を報告した。同社の2014年度第2四半期の純収益は、主にこれまでのワイヤレス製品で利益を得た2014年第1四半期の38.9万ドルそして2013年第2四半期の55.5万ドルに比べ、7.5万ドルであった。またこの期間にわたり、同社はResonant社への投資で350万ドルの一時的収益を得ていることを認識している。2014年6月28日締め6ヶ月間の総純収益は、2013年上半期の130万ドルに比べて、46.4万ドルであった。

第2そして第3四半期にかけて、同社は世界の11ヶ所に線材を出荷した（6ヶ所は性能評価を行うステージ1の顧客、5ヶ所は商用展開用の模擬装置をテストするステージ2の顧客）。同社の顧客は、超電導限流器、高性能マグネット、電源ケーブル、そして核磁気共鳴装置など、複数のアプリケーションにConductus線材を使用している。11ヶ所への出荷のうち、5ヶ所は新規顧客であった。また、同期間中に5件の新規注文とプロジェクト誓約を受けた。なお、この一年間でConductus線材の出荷は20件に上る。

同社の社長兼最高経営責任者であるJeff Quiram氏は、「特性評価機器のインストールと調整が完了したことにより、長さ1 kmで最大1,000 Aの性能特性が報告されているConductus線材を通電テストできる段階に来ている。」と述べた。現在、同社が目指しているのは、パイロットプラント設備から、1 km生産設備（幅100 mmのConductus線材を年間750 km生産）への移行である。予定していた計画から遅延しているものの、商用量産の開始は依然として第4四半期であり、2015年早期にはフル稼働への引き上げを見込んでいる。

Source: “STI Reports 2014 2Q Results”

STI Press Release (7 August, 2014)

[http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle\\_Print&ID=1956390&highlight](http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=70847&p=irol-newsArticle_Print&ID=1956390&highlight)

Contact: Cathy Mattison invest@suptech.com

## ▶NMR

### ポータブル NMR へ道

Harvard School of Engineering and Applied Sciences (2014年8月4日)

# 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

ハーバード大学工学・応用科学部(SEAS) Gordon McKay 応用物理学教授である Donhee Ham 氏と、同学部の教え子 Dongwan Ha 氏が率いる研究チームは、シュルンベルジェドール研究所（マサチューセッツ州ケンブリッジ市）とテキサス大学（テキサス州オースティン市）の協力を得て、ポータブルな核磁気共鳴(NMR)分光装置を作成した。研究チームが成功したのは、シリコンチップ上に設置する電子分光装置の縮小化である。これをコンパクトな永久磁石と組み合わせることによって、この分光装置は多次元 NMR 分光を実行できる最小のデバイスとなり、Ham 氏は「原子解像度で分子構造を決定できる最も強力な分析ツールの一つ」と述べた。

現在の最先端NMRシステムでは、複雑な分子構造を調べるのに大型超電導磁石を使用する。しかし Ham氏は、「例えば、多くの生化学や有機化学の実験、生産ラインでの品質管理、または化学反応モニタリングなど、多くの状況においてNMRはより小さな分子を対象に使用されている。こういったアプリケーションでは、大型超電導磁石を使用しなくてよいかもかもしれない。」と言及する。永久磁石は超電導磁石に比べて弱いものの、中小サイズの炭化水素や薬剤の混合物、そして生体物質を判別するには十分機能する。熱の影響で起こる永久磁石の安定性への懸念は、統計的手段を用いて距離及びエントロピーを最小化して磁界のドリフトを推定し、調整を図ることにより克服された。

また、Ham氏とHa氏は、他のポータブルな用途においても、この小型分光計チップを大きめの超電導磁石と組み合わせることを検討しており、多数のNMR分光実験を同時に行うことで複雑な分子解析の加速化を図っている。Ham氏は、「これらの安くて小さな分光計チップ百個を超電導磁石のボア内に並行して使用すると、NMR分光の本質的な遅さに対抗することができ、創薬スクリーニングや構造生物学において高性能化へのパラダイムが生み出される可能性がある。一年かかった検査が数日で終了することができるかもしれない。我々はこういった観点での調査を既に始めている。」と述べている。研究チームは、この小型NMR分光計における仮特許の申請を既に済ませ、現在、ハーバード大学技術開発局(OTD)の協力の下、分光技術を活用した次世代機器の実用化開発をめざす企業や創薬に携わる製薬会社と共に、商業化への道を模索している。

コンパクトな永久磁石を備えた NMR システムを特集した研究論文は、Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)に掲載されている。

Source: "Minuscule chips for NMR spectroscopy promise portability, parallelization"

STI Press Release (4 August, 2014)

<http://www.seas.harvard.edu/news/2014/08/minuscule-chips-for-nmr-spectroscopy-promise-portability-parallelization>

Contact: Caroline Perry

## ▶基礎

### 超電導発現の研究へ大型補助金

**Brookhaven National Laboratory (2014年8月12日)**

ブルックヘブン国立研究所の物理学者であり、イエール大学非常勤教授でもある Ivan Bozovic 氏は、ゴードン・アンド・ベティ・ムーア財団より、研究イニシアティブ『量子システムにおける創発現象 (EPIQS)』の一環として、5年間で190万ドルの助成金を授与された。この助成金の目的は、高温

# 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

超電導発現の秘密を解くことであり、特に超電導薄膜の生成と操作の研究、さらにエネルギー損失なしで送電能力を持つ超電導物質の要因探求に力が注がれる。Bozovic氏は、「物質合成技術や試料品質をゆっくりではあるが着実に改善する組織的研究の重要性が認められた。この助成金を受け取ることに非常に感謝している。」と述べた。

原子層を一度に生成し、超電導薄膜を作成することができる特殊な分子線エピタキシー(MBE)装置が、Bozovic氏によって構築され、これまで何百もの科学実験に加え、2,000枚以上の薄膜サンプルが生成されてきた。この原子層の合成技術により、Bozovic氏は一連の成果を出した。物性物理学の先端研究としてこの界面超電導の新しい展開に期待が寄せられる。実験では、超流動体が2つの物質の界面（どちらも超電導ではない）で単原子層に閉じ込められることが実証された。さらに、超電導体から絶縁体へと転移する両サイドに電子対が存在することも確認され、これが高温超電導発現現象に重要な洞察を提供している。

Source: "New Grant to Aid Search for the Secrets of Superconductivity"

BNL Media & Communications Office (12 August, 2014)

<http://www.bnl.gov/newsroom/news.php?a=25024>

Contact: Karen McNulty Walsh

## 鉄系超電導体の超電導と磁性

### ORNL (2014年8月21日)

米国エネルギー省(DOE)のオークリッジ国立研究所(ORNL)とヴァンダービルト大学を拠点とする研究者たちは、鉄系超電導体の超電導と磁性における現在の知識に対し、新たな挑戦に取り組んでいる。これまで、超電導体は通常磁場に反発するため、磁性と超電導は共存できないと考えられていた。しかし、走査型透過電子顕微鏡と電子エネルギー損失分光法を組み合わせ、個々の原子の磁気特性を特徴づける実験法から得た証拠では、局在磁気モーメントの急激な変動は、高い臨界温度と関連し、鉄系超電導体の性能に影響を与えることができると示されたのである。

同研究チームは、4年に及ぶ総括的研究において鉄系超電導体いくつかを分析し、化合物の中で普遍的な傾向があることを明らかにした。彼らは、局在磁気モーメントを決定する原子エネルギー準位の電子の合計数及び分布状況を決定して研究を進め、その結果、電子の数は変わらないが、異なるエネルギー準位での電子の位置と分布が変わるため、磁気モーメントが鉄系超電導体の種によって異なるという結論にたどり着いた。

この研究は一部、DOEの科学ユーザー施設の一つであるナノ物質科学研究センターで行われた。ORNLでの研究は、DOE科学局によって支援され、ヴァンダービルト大学を拠点とするIdrobo氏とZhou氏の研究は、米国立科学財団によって支援された。この研究成果は、「鉄系超電導体の軌道占有と電荷ドーピング」という見出しでAdvanced Materialsに掲載されている。

Source: "ORNL scientists uncover clues to role of magnetism in iron-based superconductors"

ORNL News Release (21 August, 2014)

<http://www.ornl.gov/ornl/news/news-releases/2014/ornl-scientists-uncover-clues-to-role-of-magnetism-in-iron-based-superconductors->

Contact: Morgan McCorkle

[超電導 Web21 トップページ](#)

# 超電導 Web21

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

## 「電気学会 B 部門大会」報告

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

日時 9/10-12  
場所 同志社大学 田辺キャンパス

表記学会に 12 日の午前中だけであるが参加した。この B 門大会での超電導に関する講演は 5 件あり、太田（鉄道総研）の放射電磁波検出による超電導磁気浮上式鉄道用推進コイルの絶縁診断、大屋（住友電工）らの三心一括型高温超電導ケーブルのシールド電流に関する考察、米村（京都大）らの三相同軸変圧器磁気遮蔽型超電導限流器による系統安定度向上に関する実験的、岡崎（国際超電導産業技術研究センター）らのベース電源を目指した風力熱発電の概念紹介、前場（大阪大）らの超伝導低周波配電方式を適用した超伝導コイル電源システムである。前 2 件は発表日が異なり聴講できなかったが後ろ 2 件の聴講および発表を行った。

米村らは変圧器磁気遮蔽型の超電導限流器の発表をした。基本的には三相を同軸に配置した変圧機構造をとり、二次側超電導が先に臨界電流を越えることによってインダクタンス成分が発生する。三相の特性を揃えるために外周になるほど巻き数を減らすなどして工夫している。同軸としたためコンパクトになる一方、三相それぞれは磁氣的に相互に影響しないので三相それぞれの特性における相互の作用も無い。一線地絡事故を模擬した実験でも健全相への影響は無かった。現状ではビスマス線を採用したが、次期検討ではより抵抗が高く限流器に適した Y 系線材を採用する予定である。

前場らは、核融合炉の超電導マグネットに向けた超低周波を利用した超電導ケーブルである。超電導交流ケーブルは、交流損の発生により冷却損が大きくなってしまふ。超電導には直流の方が向いているが、直流は電圧を変えにくく、系統的に扱いにくい。また、事故時に遮断しにくい。そこで中間的な特性となる 10 Hz という超低周波を採用するものである。変圧器が大きくなってしまふという欠点があるものの、システムとして有望であろう。

最後に小生の発表のベース電源をめざした風力熱発電の発表について報告する。風力と言う間欠出力電源と、ベース電源とは真逆の特性を持つが、安価な蓄熱を利用することで風力のベース電源化を目指している。直前の発表でも電池の劣化問題が論じられており、タイムリーな発表と受け止められた。現状の出力安定化技術の高コスト問題を打開する物として期待が示された。風力の稼働率向上にも寄与するのでは、などの質問もあり、風力について詳しい人も参加していることがわかった。風速の上限下限も、電氣的に同期を取る必要がないので広がるのでは、とのアドバイスも頂いた。圧力を利用するシステムはどうか、との質問も出たが圧力式は大型化に難があるので温度に拘った、と答えた。

以下、予稿集より内容抜粋

### 超電導関連

大屋（住友電工）は超電導ケーブルの磁気遮蔽について検討している。実証ケーブルシステムの実験結果と良く一致した解析となっている。太田（鉄道総研）はリニアの地上側推進コイルの絶縁診断について発表している。

# 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

---

## 風力発電関連

風力と火力の組み合わせについては、荻本（東京大）らは 2030 年に従来型再エネが大量導入された際には部分負荷運転や石油火力の起動により燃料費は却って増加する、との見通しを出している。真鍋（名古屋大）は電池に加えバイオガス発電を加えることで必要電池容量の削減が可能なことを示した。矢部（電中研）は出力調整幅の大きな火力発電の導入効果を検討した。

## 広域連携・平準化については

小宮山（東京大）は電気自動車を風力変動補償に利用するシステムを示した。金（東京大）は HVDC により北海道から東京まで風力を連携するシステムを提案している。松本（早稲田大）らも広域連携を検討した。辻井（横浜国立大）らは実際の風力データを用いて需給制御のシミュレーションを行っている。桑田（広島大）らは需給制御システムの検討を行っている。吉田（東京電機大）も不安定性を確立論的に解析している。古屋（早稲田大）も確立論的に解析している。大谷（早稲田大）らは風力を解列させる場合の優先順位を検討した。

その他、長嶋（九電）らは離島における再エネ導入の制御を検討した。

[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

## 【隔月連載記事】

### 超電導センサ (その 5) -超電導検出器の計測分析への応用: X線、イオン、中性粒子

産業技術総合研究所

つくばイノベーションアリーナ推進本部

上席イノベーションコーディネータ 大久保雅隆

計測分析機器の性能には、観測対象を電気信号に変換する検出器の性能が大きく影響する。産総研で進めている X 線と分子検出への超電導検出器の応用と、超電導によってはじめて可能になる分析例を紹介する。現在、2 種類の超電導検出器を開発している: 超電導トンネル接合タイプ (Superconducting Tunnel Junction: STJ)<sup>1)</sup>と超電導ストリップタイプ (Superconducting Strip: SS)<sup>2)</sup>。

STJ 検出器は、トンネル型のジョセフソン接合と同じ構造であるが、ジョセフソン効果を使用せず、サブギャップ領域の準粒子トンネル電流の変化から、観測対象の到来時刻と超電導電極に吸収されたエネルギーを測定する。即ち、1 個の光子やイオンのエネルギーを測定できるエネルギー分散分光能力を有している。計測分析では 1 つの接合面積が 100-200  $\mu\text{m}^2$  角と大きいことが、エレクトロニクス応用で用いられる 1  $\mu\text{m}^2$  サイズのジョセフソン接合とは大きく異なる点である。計測分析では、有感面積が大きいことが実用化のために重要な要素となり、cm 程度の検出器サイズがほしいところである。大面積接合を多数配列したアレイ検出器が望まれる。同時に、微小な準粒子電流の変化を測定することと、読み出し系初段のプリアンプとのインピーダンスマッチングの関係から、トンネル接合の漏れ電流は、ジョセフソン効果の応用と比較して、3桁程度小さい必要がある。検出器として動作させるためには、4 K と 0.3 K のサブギャップ電流の比は、 $10^6$  程度 (品質因子) が望ましい。開発開始当初は、100 素子のアレイを作製して希に 10 素子程度がその動作条件を満たすといった状況であったが、プロセス技術の改良により、最近ではルーチン的にほぼ全ての素子が検出器としての動作条件を満たせるようになってきた。現在は、100-500 素子レベルで再現性良く  $10^6$  の品質因子が得られている。この再現性は、従来産総研内に点在していた、超電導デバイス用のクリーンルームを集約したことも一役買っている。Clean Room for Analog-Digital Superconductivity (CRAVITY) という略称の新しいクリーンルームは、2012 年 11 月から運用を開始し、所内外に広く公開している。使用目的を問わないで超電導デバイスを作製できる。<sup>3)</sup>

我々は、STJ を X 線とイオン検出に用いている。X 線検出では放射光施設において、X 線吸収微細構造 (X-ray Absorption Fine Structure : XAFS) 分光に応用している。XAFS は、材料中原子の電子構造や原子周辺の局所配位構造を調べる方法で、半導体、触媒といった機能材料から自動車鉄鋼部品といった構造材料まで広く使われている。STJ 検出器は、従来分析が難しかった材料中の微量軽元素の局所配位構造や化学状態の解析を可能にする。これが可能になるのは、STJ 検出器が、一般的な Si(Li) 半導体 X 線検出器に比べて一桁程度高いエネルギー分解能 ( $\sim 10$  eV) を、軽元素の蛍光 X 線 (K 線) のエネルギー領域 (2 keV 以下) で有しているからである。STJ 検出器は、微量軽元素の弱い蛍光 X 線を、母材に含まれる他の軽元素や重元素の L 線、M 線から分離できる。この分解能を使って、SiC 中の微量窒素の XAFS 測定にはじめて成功した。<sup>4)</sup> さらに、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) で必要とされる先端計測において、イオン加速器と組み合わせて、通常 Na 以上の元素分析に使われる粒子線励起 X 線分析 (Particle Induced X-ray Emission: PIXE) において、微量軽元素 (B, C, N, O) の元素マッピングを実現する予定である。

# 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

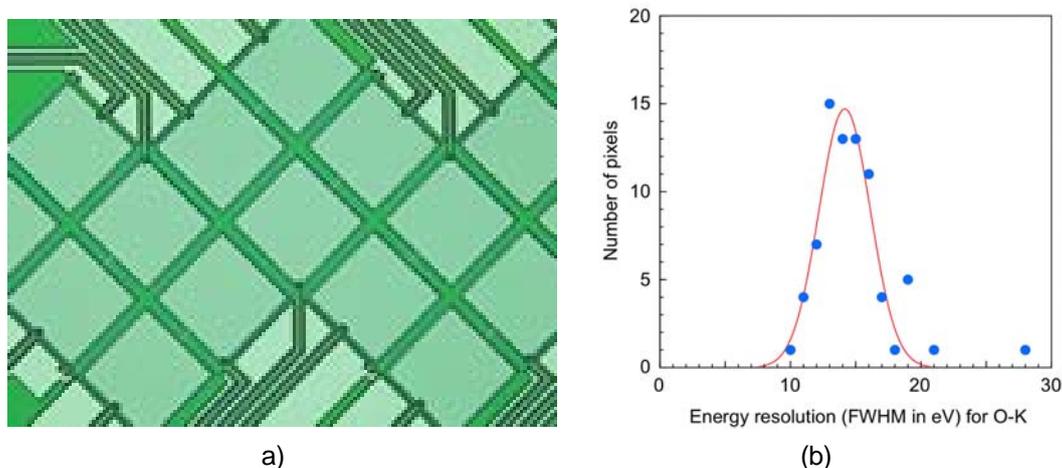


図1 超電導トンネル接合 X線検出器(STJXD)の外観 (200 μm 角のアレイ) (a) と 100 素子のエネルギー分解能分布 (100 μm 角) (b).<sup>4)</sup>

STJ のもう 1 つの応用は、質量分析用の検出器である。質量分析は、物質をイオン化後に数 keV に加速して、質量/電荷数比( $m/z$ )に応じてイオンを分離分析する方法と定義されている。従って、今まで同じ  $m/z$  の異なるイオンは分離できなかった。例えば、 $N_2$  をイオン化すると解離した N が大量に生成されるため、2 価の分子イオン ( $N_2^{2+}$ ,  $m/z=14$ ) は、1 価の原子イオン ( $N^+$ ,  $m/z=14$ ) に隠されて分離した実験例はなかった。STJ 検出器は、数 keV のイオンの運動測定が可能である。2 価イオンは 1 価イオンの 2 倍の運動エネルギーを有していることを利用して、STJ 検出器により、はじめて  $N_2^{2+}$  の分析に成功した。<sup>5)</sup>

2 価イオンは、解離するときに運動エネルギー放出により数 eV のエネルギーをフラグメントに与える。この運動エネルギーは惑星から大気が離脱する限界エネルギーを越える場合があり、惑星科学において 2 価イオンの検出が注目されている。また、STJ の運動エネルギー測定は、従来困難であった質量が異なる中性粒子の分離をはじめて実現し、イオン反応において従来不可能であった反応パスの定量的解析に成功している。<sup>6)</sup>

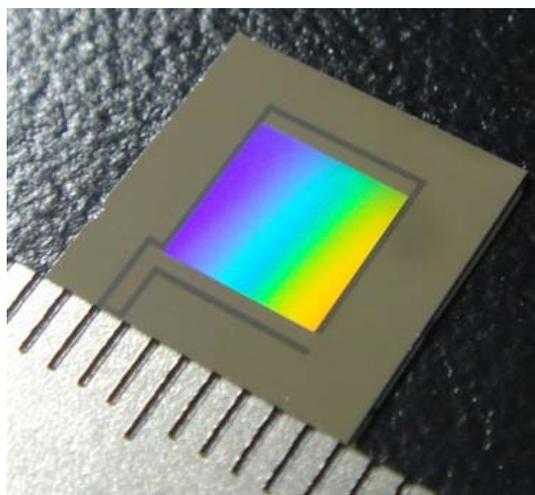


図2 超電導ストリップイオン検出器(SSID)の外観。50 nm 厚、1 μm 幅の Nb ストリップ線を 5 mm に配置してある。可視光の回折により虹色に見える。

# 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

超電導ストリップイオン検出器(SSID)は、超電導体を膜厚 5-50 nm、幅 1  $\mu\text{m}$  以下程度のナノスケール構造をもつストリップ線から構成される。STJ イオン検出器は、前述のような従来の分析手法の原理的限界を克服することができる。しかしながら、応答時間が $\sim\mu\text{s}$ であり、飛行時間型質量分析で望ましい $\sim\text{ns}$ の応答を実現することが難しかった。我々は、そこで通信波長帯の高速光子検出として注目されていた SS 検出器を使って、はじめてイオン検出に応用した。<sup>7)</sup> この検出器は、超電導ストリップ線を特殊な並列配置にすることにより、cm サイズの有感面積と 1 ns の高速応答を実現できると期待されている。<sup>2)</sup> 図 2 に、5 mm 角の SSID の例を示す。基本的に SSID は、単一イオンのカウンターとして働くが、素子のバイアス条件を変えることにより、検出可能下限エネルギーを変えることができ、イオンの価数識別を行うことができる。<sup>8)</sup> また、動作温度が 0.3 K の STJ に比べて、4 K 以上でも動作するというメリットがある。近年、高温超電導体の  $\text{MgB}_2$  でもイオン検出に成功しており、より高温での動作により、検出システムのサイズの小型化や低価格化が期待される。さらに、SSID と SFQ による時間-デジタル変換回路(TDC)を組み合わせ、イオンの飛行時間をデジタル値に変換することに成功している。<sup>9)</sup> 4 K と室温間に多数の同軸ケーブルを敷設することなく、SSID アレイによる、cm の有感面積と 1 ns の時間分解能、分子量に依存しない 100% の検出感度を達成できると考えられる。

超電導現象を使ったセンサーと検出器の最新動向については、2014年11月4日から8日まで上海で開催される国際ワークショップ(IWSSD2014)<sup>10)</sup>に出席いただきたい。また、同会議では、IEC-IEEE の標準化セッションも設定されており、ユーザーや超電導デバイスの普及のための議論が行われる。

1. M. Ohkubo, S. Shiki, M. Ukibe, G. Fujii, and N. Matsubayashi, IEEE Trans. Appl. Super. **24**, 2400208 (2014).
2. N. Zen, S. Shiki, M. Ukibe, M. Koike, and M. Ohkubo, Appl. Phys. Lett. **104**, 012601 (2014).
3. <https://unit.aist.go.jp/riif/openi/cravity/ja/index.html>
4. M. Ohkubo, S. Shiki, M. Ukibe, N. Matsubayashi, Y. Kitajima, and S. Nagamachi, Sci. Rep. **2**, 831 (2012).
5. S. Shiki, M. Ukibe, Y. Sato, S. Tomita, S. Hayakawa, and M. Ohkubo, J. Mass Spectrom. **43**, 1686 (2008).
6. M. Ohkubo, S. Shiki, M. Ukibe, S. Tomita, and S. Hayakawa, Int. J. Mass Spectrom. **299**, 94 (2011).
7. K. Suzuki, S. Miki, S. Shiki, Z. Wang, and M. Ohkubo, Appl. Phys. Exp. Appl. Phys. Exp. **1**, 031702 (2008).
8. K. Suzuki, M. Ohkubo, M. Ukibe, K. Chiba-Kamoshida, S. Shiki, S. Miki and Z. Wang, Rapid Commun. Mass Spectrom. **24**, 3290 (2010).
9. K. Sano, *et al.*, ASC2014.
10. <http://iwssd2014.csp.escience.cn/dct/page/1>

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9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、今回は電力系統流通設備のうち配電設備の解説をします。  
なお、配電設備 (Distribution System) は需要家と送電設備を仲立ちする設備ですが、機能的には送電設備や変電設備の特徴も有しています。世界的に見ても明確な定義はありませんが、総じて「多数の需要家に直結する比較的低電圧 (5 万 kV 程度以下) の送変電設備」と言えます。

#### ○配電設備が必要な機能

配電設備は需要家と直結する設備であるため以下がポイントです。

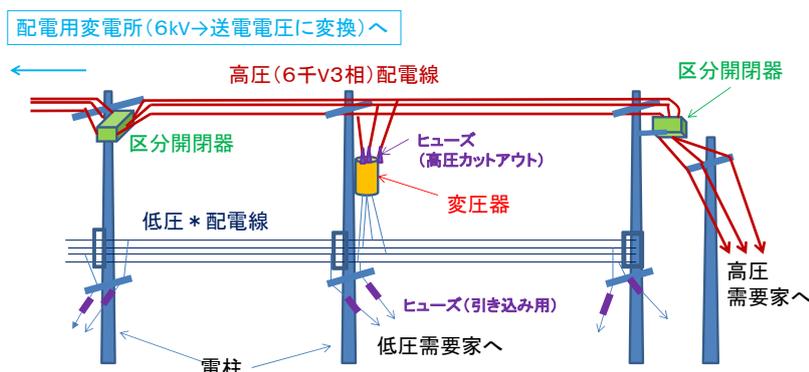
- ①多数ある需要家の種々の変化 (供給、廃止、増設等) への機動的対応
- ②配電設備トラブル (雷事故等) の需要家への影響を限定化
- ③需要家の設備トラブル (設備損壊等) の影響を系統へ極力波及させない
- ④膨大な数の設備を標準化し合理的な保守・運転を実現

#### ①機動的な対応：配電設備の基本構成 (図-82)

需要家のうち、数的に多い家庭や小店舗などの使用電力は数十 kW 以下が圧倒的多数です。この規模に対し低電圧で電気を送っても電流は比較的小さく、また、送電距離も一般的に短いので、送電ロスや電圧低下も小さくなります。具体的には、100～数百 V の低電圧配電供給が行われます。なお、3 相送電すると単相 (1 相) の 1.7 倍の電力が同じ電流・電圧で供給できるため、需要家近傍まで単相・3 相の両電圧が使用可能な設備となっています。

その上位電圧、具体的には数千 V から 2 万 V 程度の高電圧でほぼ電圧設備に並行して高電圧配電設備が設置されます。日本の場合、高電圧配電として 6 千ボルトが広く使われています。比較的大容量の需要家 (50kW～2000kW が主) が高電圧供給され、また低電圧配電系統に対し、(送電系統での) 基幹系統の役割も担います。高電圧配電設備も起動的対応が可能な様、需要家近傍まで設備が設置されています。

架空配電の場合、通常、一番高い場所に、6 千ボルト、その下に 200 ボルト 3 相や 100 ボルト (単相) の電線が電柱を使用して敷設されます。(図-82) なお、雷対策として最上部に架空地線が設置される場合もあります。



\* 100/200V3相4線式 (両電圧が取り出せる) のイメージ (電線4本)

図 82 配電設備の基本構成イメージ：架空配電の例

なお、海外の架空配電も基本形態は同じで、例えば、2 万 V 電線を最上部、その下に 4 百ボルト

# 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

(3相)、2百ボルト(単相や3相)が敷設されます。

地中配電では、高電圧と低電圧ケーブルが歩道下や道路下の管路内等に敷設されます。ケーブル構造は送電ケーブルと基本的には同じです。

低電圧側は変圧器を通して高電圧側と適宜連系されます。この変圧器は、容量が変電所変圧器と比較し小さいため電柱(架空配電)や歩道脇・道路地下等のボックス内(地中配電)に設置されます。なお、地中配電では後述する区分開閉器も併せてボックス内に設置されますが、歩道脇にボックスがあっても気付かない方が多いと思います。

配電系統では機動的に供給しつつ適正な電圧維持することが、需要家電圧を保つ上で重要です。配電系統の電圧調整は、変電所変圧器電圧調整装置による高電圧配電線送り出し電圧調整、配電系統内変圧器電圧調整タップの切り替えて調整されます(ただし、変圧器を停止してタップを切り替えます)。更に、小容量の無効電力調整装置(コンデンサ)や電圧調整装置(Step Voltage Regulator 運転中の調整も可)が必要に応じ電柱等に設置されます。(図-83)

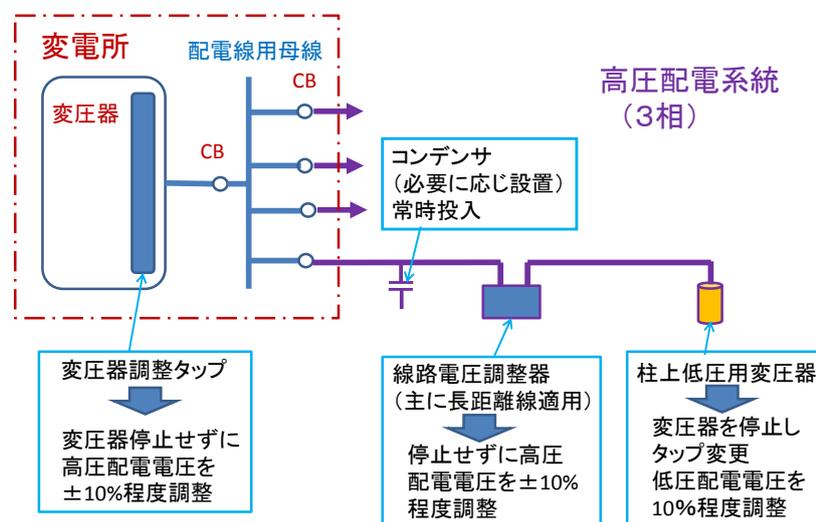


図 83 配電系統の電圧調整

(余談) 配電設備は一般的な解説が難しい

ここまでの解説でも、配電専門家の方から「それは違う！」とのお叱りが出てくるかも知れません。配電設備は、世界的に見ても、例えば同じ国の中でも都市毎に配電会社がありそれぞれの配電方式が異なる等相当個性的？です。日本はその点、各地域比較的似ているとされますが、以下の解説に関しても「そこは違う！」点があるかも知れません。

## ・需要家接続要望への対応義務と供給義務

全面(100%)自由化しても、需要家が電力系統への接続を望んだ場合に接続する義務は配電(設備所有)事業者に残ります。このため、今後も配電系統では、接続要望に対し機動的に対応する努力が求められます。

ただし、配電事業者に供給義務はありませんので、接続されても需要家が望む電力を受電できない可能性が有るのが100%自由化の「世界」となります。

## ②配電設備トラブルの需要家への影響の限定化

配電設備でトラブルが発生した場合、その影響(停電等)範囲を一定区域に限定するシステムと

# 超電導 Web21

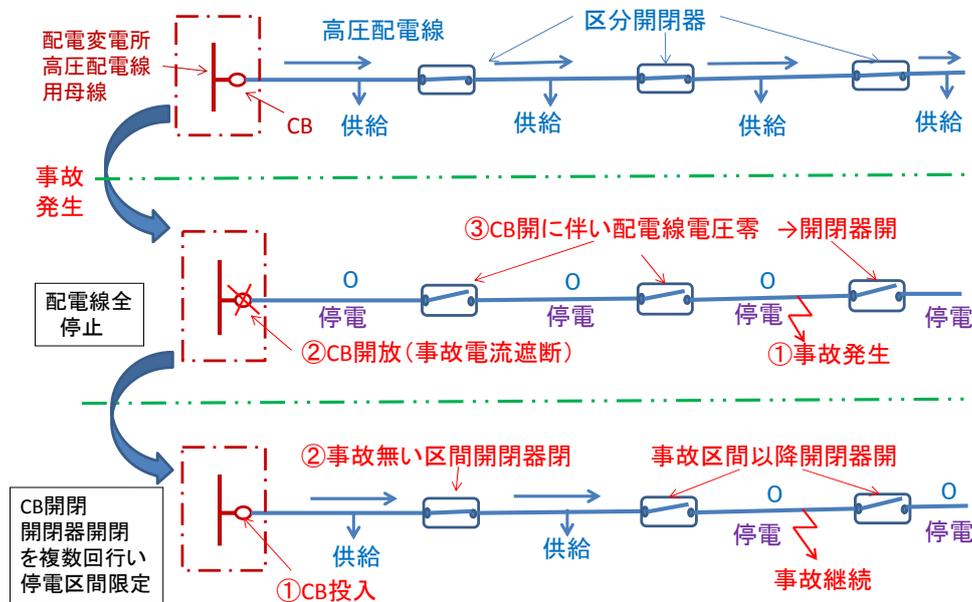
(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

なっています。

高電圧配電線では一定区間毎に区分別閉器が設置されます。架空配電の場合、開閉器は電柱の頂上付近(高電圧線近傍)に配置されています。(図-82) 区分別閉器操作が自動化されている場合、配電線事故時に配電線の無電圧時間検出等を条件に動作し停電区間を限定化させます。(図-84-(1)) また、高電圧配電線同士が区分別閉器を連系し(通常運用時:開放)、停電復旧中に閉じ停電範囲を限定化する構成も適宜採用されています。(図 84-(2)) なお、将来的には、開閉器に電圧・電流センサを内蔵し(センサ内蔵開閉器)、事故区間を瞬時に判断して切り替えが自動的に行われるシステムの導入も検討されています。

低電圧配電設備トラブル時(短絡事故等)、変圧器高電圧側にヒューズが動作し高電圧側に事故は波及しません。また、配電変圧器内部事故時は高圧側ヒューズが動作し事故除去されます。(図-82)

## 84-(1) 故障区間分離方式



## 84-(2) 高圧配電線間連系: → (1)と比較し供給区間限定

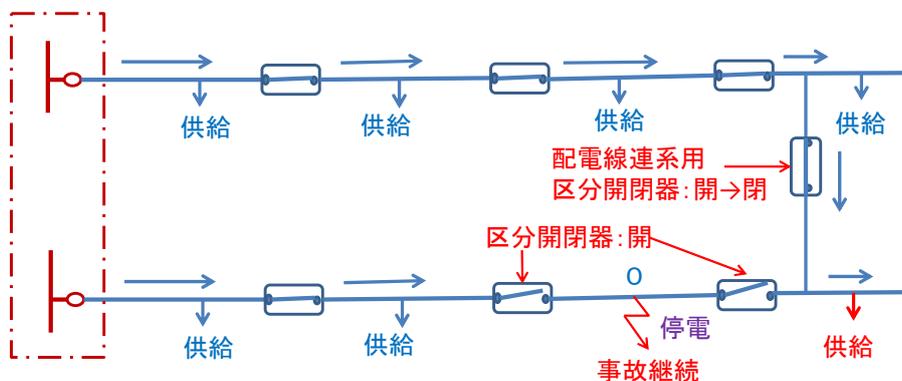


図 84 高電圧配電設備での停電エリア限定化例

# 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

## ・配電システムの信頼度の考え方

配電設備ではトラブル（事故等）が発生後、復旧までの間、ある程度停電することは止むを得ない、が信頼度についての基本的な考え方です。

配電設備は流通設備の一部ですが、送電設備や変電所の N-1 基準（1 設備が停止しても供給確保）と異なる訳です。これは、例えば、配電システムから供給する需要家が小規模低圧の一軒等、需要家側の供給条件がさまざまであったり、例えば、地域状況から電柱が 1 ルートしか確保できない等、配電設備の立地条件の制約があったりと、単純に N-1 基準を適用するのはコストがかかり過ぎ妥当でないためです。また、一般的に、設備の保守・点検、事故復旧も送変電設備と比較し規模が小さいこともあり容易です。

配電設備では、需要密度等を反映しエリアを区分し、そのエリアに対し平均停電時間/軒等に関する指標を設定し実績も評価しながら、設定値を満たすべく必要な場合信頼度対策を実施します。

## ③需要家での設備トラブルの影響を需要家外に波及させない対応

需要家には、自設備のトラブル（設備事故など）が発生した場合、自設備に設置した CB（高圧需要家の場合）やブレーカー（低圧需要家の場合）が動作し配電システム側に事故波及しない構成となっています。（なお、高圧需要家の CB より電源側の引き込みケーブルの事故対応として需要家側で地絡継電装置付高圧気中負荷開閉器や地中線用負荷開閉器の設置が推奨されています。（詳細説明は略））配電設備側でも、高圧需要家近傍では事故電力遮断能力を有する区分開閉器、変圧器低圧側にヒューズを設置し事故が波及しない構成となっています。（図-82）

## ④膨大な数の設備を標準化し保守・運転の標準化

需要家の数（契約口数）は概算で人口×（0.7～0.8）程度ですから、これらに供給する配電設備も膨大な数になります。この場合、個別設備の最適化も念頭に入れつつ標準化を図ることが、設備形成が効率的ですし設備復旧や不良取替え等が円滑に行え、信頼性維持、保守・運転の面でもメリットが得られます。

主に大都市の高需要密度エリアに限られますが、ネットワーク方式と呼ばれる供給方式で配電設備が標準化される場合もあり、需要家はその方式に合わせ受電することになります。（図-85）需要家全体では標準化により経済性等の全体的なメリットを得ますが、個々の需要家にとると希望する配電方式を選べないなど、デメリットを受ける場合もあります。従来、これらのメリット・デメリット評価は、電力会社内で行われていました。同じエリアに複数の配電方式が混在すると、コストが増加し、かつ保守・運用が煩雑化するため、今後も標準化は必要と思いますが、自由化の進展に伴い社会に対し丁寧に説明する責任が増すと思われま

需要家は常時3回線受電：1線路が事故停止しても2回線で供給継続な設備形成

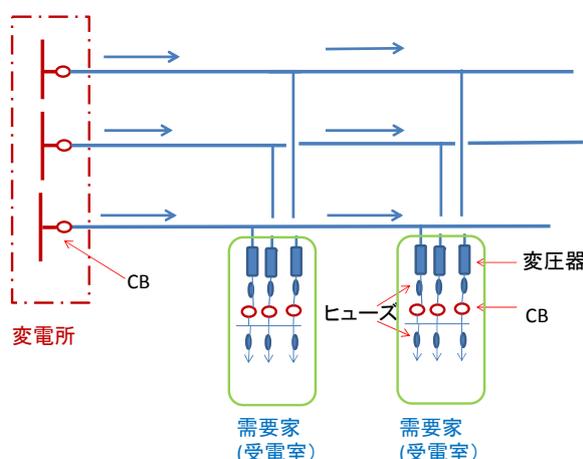


図 85 ネットワーク送電方式の例：スポットネットワーク

# 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

## ・配電系統と特別高圧（特高）

配電系統はどの電圧まで含まれる？ 供給契約等で設定される特別高圧との関係は？ と聞かれることがあります。電気設備の技術基準（電気事業法に基づく基準）は7千Vを境に高圧と特別高圧を分け、一般的に2万V以上で受電する大規模需要家は特別高圧需要家と呼ばれます。規模の大きな需要家は相当高い電圧、例えば、6万V（～7万V）系統に多く接続されます。6万V以上の電力系統は地域供給用変電所が接続されるなど送電系統と考えられます。一方、2万V系統は、日本では大都市部のネットワーク系統など比較的大規模な需要家が集中したエリアの供給系統として形成されるなど配電系統の特徴が濃厚です。なお、欧州都市の2万V系統では地域供給用変電所が接続されるなど送電系統の特徴が強い場合もあります。結論的には、2万V前後が送電系統と配電系統の電圧的な「ボーダーライン」と思います。

## ・配電系統とスマートグリッド

スマートグリッドは、もともと、米国において地域間連系や信頼度レベルの向上を目指し提唱された電力系統全体のスマート化（インフラコストを抑え極力頭脳を活用）を指したものです。日本なら「送電線増強などのコストを極力抑え高効率な全国運用を実現する高度な電力系統システム」と思います。

一方、日本では、自律分散、特に再生可能エネルギーを含んだ発電源と需要を効率的に制御し独立的に運用する電力システム、一般的にマイクログリッドと呼ばれるシステムが、スマートグリッドの主要分野とされているように思われます。マイクログリッドの場合、比較的狭いエリアが想定され、配電電圧で発電から需要に至る電力系統を構成するイメージとなります。（図-86-1）

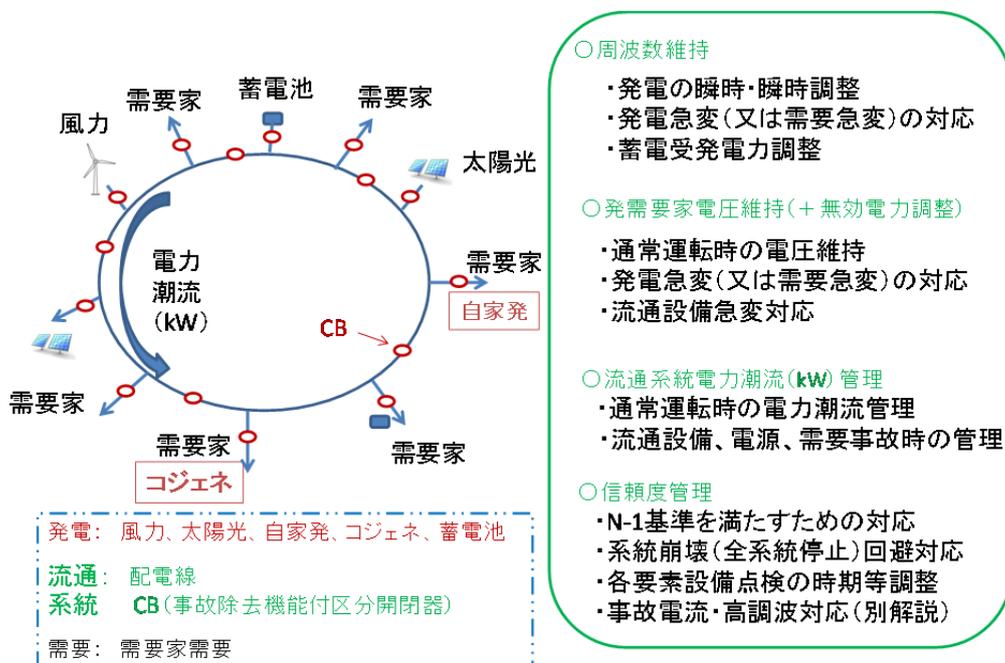


図 86-1 スマートグリッド（マイクログリッド）の系統運用

「配電電圧で電力系統を構成する」と「配電系統（設備）の考え方で電力系統を構成する」は異なります。電力系統では周波数制御、電圧制御、供給信頼度維持等が電源、流通設備、需要が一体となり行われますが、配電系統では、その相当部分を基幹電源や送電系統が分担しているため、電

# 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

圧制御、供給信頼度維持等の一部を担っています。(第1回～今回の説明参照) (図-86-2) なお、図-86では違いを実感していただくため、やや極端に比較しています。

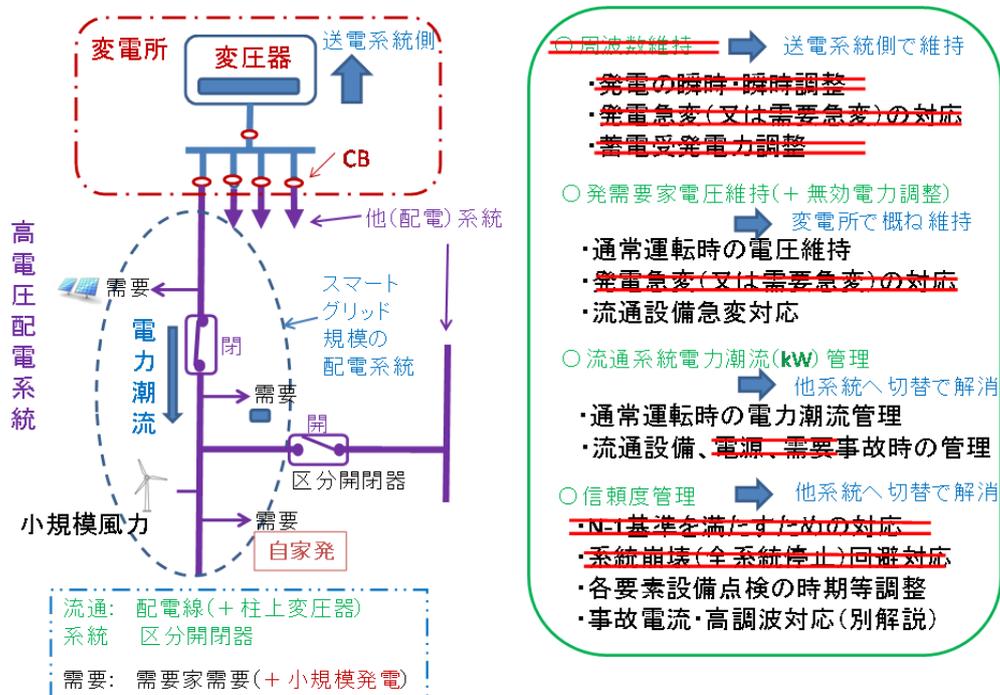


図 86-2 配電系統 (設備) の運用 (分散電源が比較的小さい場合)

マイクログリッドは、電力系統を低電圧かつ送電距離を短く構成できる、コンパクトな制御し易いなどが有利ですが、規模の優位性（ある程度、設備を大型化した方が、単位コスト（kW コストや kWh コスト）が小さくなる）や最適点への電源配置等による総合効率性発揮等は従来系統の方が実現し易い等の不利な面もあると想定されます。いづれにしても、スマートグリッド技術が進歩することで、従来の電力系統構成の考え方が融合した、より合理的で競争力のある電力系統コンセプトの実現が望まれます。

## ・配電系統とスマートメータ

スマートメータが導入されると、低圧需要家を含め個々需要家の使用電力量、電圧、電流データが把握できます。これらのデータの適切な活用で、膨大な配電設備状況が相当的確に把握されることが期待されます。従来、需要家（特に低圧需要家）の使用電力量を月毎の検針結果で把握したのに比べ大きな進歩で、例えば、次のような波及効果が期待されます。

- ・配電系統の電力流通状況（電圧を含む）の把握
- ・停電状況（停電状況、停電範囲、復旧状況等）の把握
- ・電圧維持等についての必要対応策のタイムリーな検討

なお、活用可能なデータは多数の需要家の時々刻々の数値ですから膨大ですから、所謂「ビッグデータ」処理技術の活用を含めチャレンジングな技術開発が必要になると思います。

## ・配電系統と再生可能エネルギー

発電力が変動する再生可能エネルギーが配電系統に大量に設置されると、消費量が変動する需要

# 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

と合わせり独特の変動を生み出し、配電系統へ、ひいては他の需要家へ影響を与えます。従来も自家発電等の電源が配電系統に存在しましたが、「自分の需要を賄う発電をする」がメインでした。このため、通常、電力の流れは高い電圧の送電系統から受けた電力を、配電系統を通し需要家に配るとの配電系統の機能は電源がない場合と概ね共通していました。一方、再生可能エネルギーが配電系統へ多数（大量に）導入されると基本的な機能を含め影響が生じてきます。

## ・配電系統のパラダイムシフト：送電系統化

電源から電力を需要地域に送るのは送電系統の重要な役割ですが、再生可能エネルギーの設置量が増えると、（基幹）送電系統の枠割を配電系統が担うようになると想定されます。送電系統では、電力の流れは発電と需要の地域毎のバランスで決まりかなり複雑な様相となりますが、配電系統でも同様に複雑化すると想定されます。（図-87）

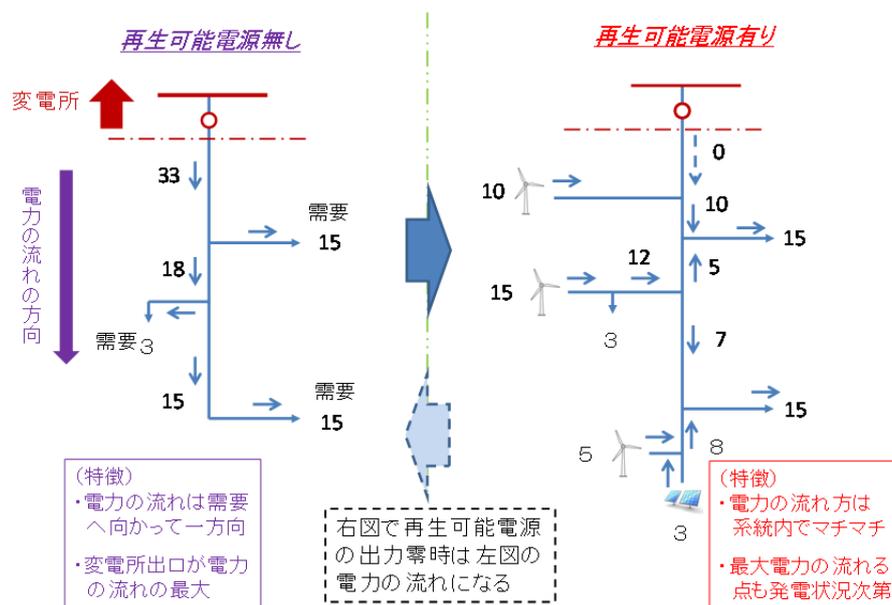


図 87 再生可能電源増加と配電系統電力（kW）の流れの特徴

## ・配電機能の充実：送電系統機能の充実、ただし低コスト・標準化が必要

送電系統化に伴い、配電系統でも電気の流れや電圧の状況を細密に把握・推定する必要性が高くなると想定されます。この点、センサ内蔵開閉器やスマートメータの設置は朗報です。送電系統での変電所の役割（刻々の状況計測）がある程度できますから、送電系統同様、配電系統での電力の流れ（潮流）等を踏まえた配電系統運用が行えると想定されます。なお、潮流状況に応じ現在よりきめ細かい電圧調整も必要になると想定されます。

更に、配電系統運用時に、送電系統と同様、適宜電源の協力も図る必要があると思います。（送電系統で必要な発送一体運用です（第8回参照））なお、需要家等に設置が想定される蓄電池は、基本的に送電系統の揚水発電と同じ機能ですから、揚水発電運用技術を生かした運用が行われればと思います。

以上のイメージを図-88 に示します。これらを総合的に運用するためには、自動的に判断・操作するシステムも必要でしょう。

この課題を、既存の膨大な配電設備の形態や運用方法を基本的に踏襲しつつ解決する訳ですが、送電・配電技術者の一致協力を実現すると思います。

# 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

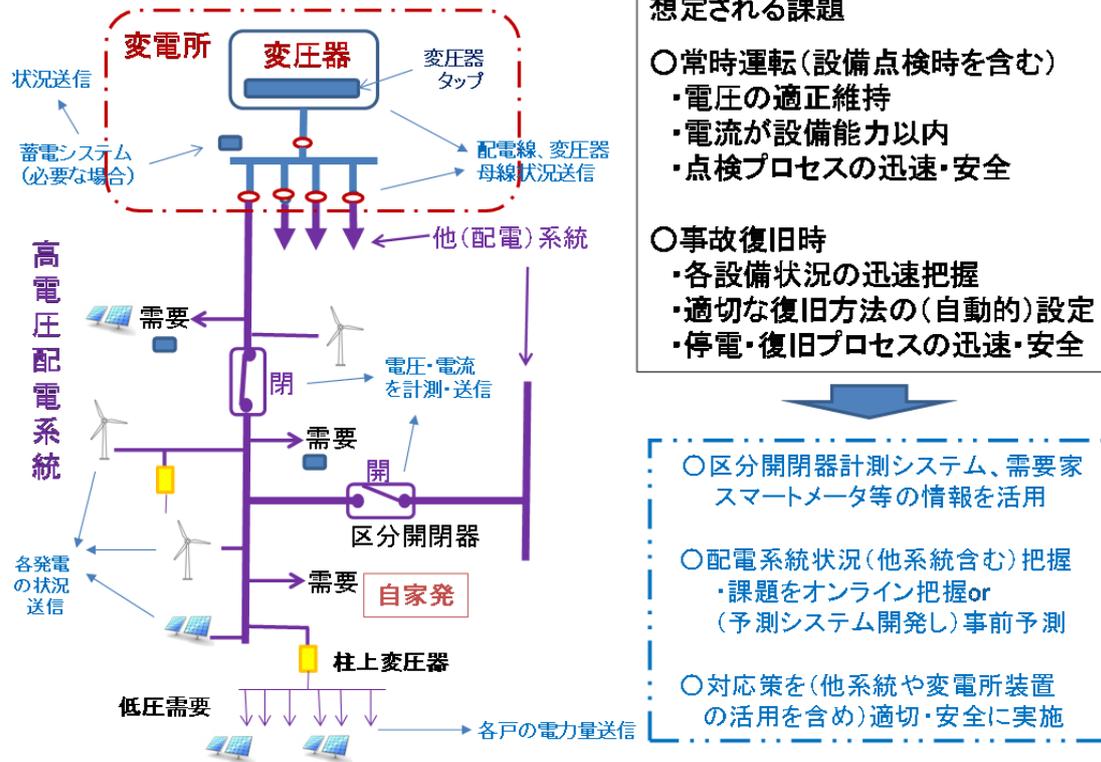


図 88 再生可能電源増加に対応する配電システムのイメージ

配電設備の解説は以上とします。  
 次回は需要家設備を電力系統との関連を中心に解説します。

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」

名古屋大学 エコトピア科学研究所  
グリーンシステム部門 早川研究室  
教授 早川直樹

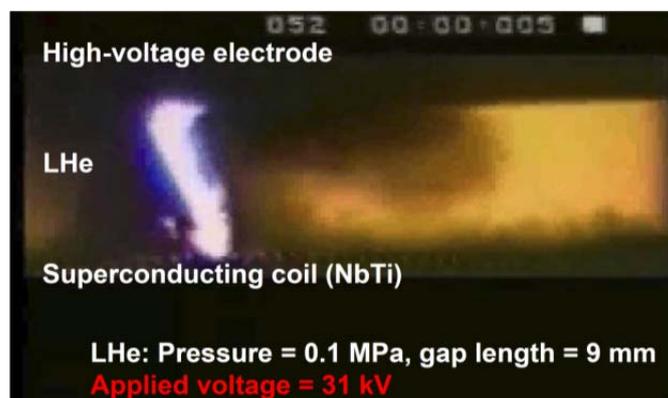
### 研究室メンバー (2014年9月現在) (<http://www.hayakawalab.nuee.nagoya-u.ac.jp/>)

早川直樹教授 (筆者)、花井正広客員教授、小島寛樹准教授 (工学研究科電子情報システム専攻)、秘書1名、学生：博士後期課程3名、博士前期課程13名、卒研究生4名が在籍しています。

早川研究室では、環境調和型電気エネルギーシステムの構築に向けて、電気エネルギー流通 (送電・変電・配電) システムの効率化・環境負荷低減に関する研究を行っています。次世代の高機能型電気エネルギーシステムを実現する革新技術の中でも、損失を小さくでき、電流密度を大きくすることができる超電導技術は、極めて重要な位置を占めると考え、本研究室では、電力機器・システム技術、高電圧・電気絶縁技術と並び、超電導応用電力技術を研究の柱の一つとしています。

超電導応用電力機器の中でも、超電導体が過電流通電時に抵抗を発生する特性を利用した限流器は、電力システム構成・運用の考え方を大きく変える機器として期待されています。一方で、限流器、ケーブル、変圧器などの機器単体としての開発だけでなく、それらが導入された電力システムを想定して、限流機器と電力システムとの協調 (限流協調) を考慮した機器・システム開発が必要です。特に、超電導電力システム全体としての効率向上を目指すためには、機器の複合化、機能統合に関する技術開発も重要となってきます。本研究室では超電導変圧器と超電導限流器を複合化した超電導限流変圧器 (Superconducting Fault Current Limiting Transformer : SFCLT) や、超電導ケーブルに限流機能を統合した超電導限流ケーブル (Superconducting Fault Current Limiting Cable : SFCLC) の実現に向けた研究に、機器開発とシステム解析の両面から取り組んでいます。

また、超電導応用電力技術の共通基盤となる極低温電気絶縁についても、極低温液体および固体絶縁物との複合絶縁系に関して、放電・絶縁破壊の物理メカニズムに立脚した技術開発を行っています。特に、上記の SFCLT や SFCLC を含む抵抗型の超電導限流器においては、電界ストレス下に限流による熱的ストレスが過渡的に印加される、いわゆる動的電気絶縁が絶縁設計上極めて重要となります。本研究室では現在、この動的電気絶縁の重要性に着目し、その基礎的特性の解明から、動的電気絶縁における設計基盤技術の確立を目指しています。



液体ヘリウム中における動的絶縁破壊

[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** : 先月号のトピックスにあった「フジサンケイビジネスアイ・先端技術大賞受賞の『ナノ組織制御及び人工欠陥導入次世代超電導線材の開発』とはどんな内容ですか？」

**A** : 今回の受賞は、電力・医療機器応用に向けた磁場中高臨界電流を有するイットリウム系超電導 (YBCO) 線材の開発を目的に、成蹊大学が基礎研究、公益財団法人国際超電導産業技術センター (以下 ISTE) が長尺化に向けた研究開発、そして昭和電線ケーブルシステム株式会社 (以下 SWCC) が長尺線材製造に取り組み、産学連携により世界最高磁場中臨界電流達成や世界初電流リード製品化が認められたものと考えています<sup>1,2)</sup>。

風力発電機 (~5 T (テスラ))、超電導電力貯蔵装置 (SMES; ~10 T)、高性能磁気共鳴画像診断 (MRI; ~5 T) 装置などの磁場応用に YBCO 線材を用いるためには、①磁場下での高い臨界電流密度 ( $J_c$ )、②低コスト化、③長尺化、④機器化などの課題が存在します。①: YBCO などの第 2 種超電導体に電流を流して電磁石として用いる場合には、磁場と電流の関係によりローレンツ力が量子化磁束に加わり、運動するために磁場中  $J_c$  が低下します。そこで、磁束の運動抑制のためにナノサイズの磁束ピン止め点導入が必要となります。②: 長尺 YBCO 線材作製法として、これまでパルスレーザー蒸着 (PLD) 法、有機金属気相成長 (MOCVD) 法、トリフルオロ酢酸を用いた有機金属堆積 (TFA-MOD) 法などの研究が行われています。その中でも、TFA-MOD 法は、真空装置を必要とせず、高材料収率により低コスト化が期待されていますが、更なる低コスト化が求められます。③: これまで MOD 法では Reel-to-Reel 式や Batch 式において長尺化に向けて、線材の長手方向、幅方向の均一性などが課題となっていました。④: これまで磁場中高臨界電流を有する長尺 YBCO 線材化が困難であったため、磁場応用機器化はほとんど行われていない。

①に関しては、2008 年に TFA-MOD 法による YBCO 薄膜の成長様式を生かし、磁束ピン止め点として  $\text{BaZrO}_3$  (BZO) ナノ粒子を選択し、YBCO 線材への導入技術 (図 1(a) 参照) を開発しました (United State Patent: US 8,326,368 B2, 特許第 5270176 号)。この技術をもとに成蹊大学では、更なる高特性に向けた高密度化、均一分散化、厚膜化などの基礎研究において成果を挙げてきました。②に関しては、ISTEC が中心となり BZO 導入溶液の Reel-to-Reel 式溶液塗布プロセス、仮焼成・本焼成プロセスの開発に取り組み、高速製造化、高特性化により低コスト化に成功してきました。③に関しては、①、②の成果をもとに Batch 式を用いて SWCC が 130 m 長を超える長尺 TFA-MOD-BZO 導入 YBCO 線材を作製し (図 1(b) 参照)、液体窒素温度、3 T 下において TFA-MOD 長尺線材としては世界最高の磁場中臨界電流を達成しました<sup>3,4)</sup>。④に関しては、機器開発ではないものの、③で作製に成功した長尺 TFA-MOD-BZO 導入 YBCO 線材を用いて超電導電流リード (図 1(c) 参照) の製造に成功しました<sup>3,4)</sup>。

以上のように 10 年以上の研究開発、見事な産学官連携の末、基礎研究から製造・販売とつながり、今回の受賞<sup>5)</sup>につながったと考えております。今後は、更なる線材の高特性化、低コスト化及び長尺化に取り組み、機器開発までつながる研究を行っていきたいと考えております。

今回の受賞内容に関する詳しい内容につきましては、

「<http://www.fbi-award.jp/sentan/jusyoku/2014/7.pdf>」をご覧ください。

# 超電導 Web21

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

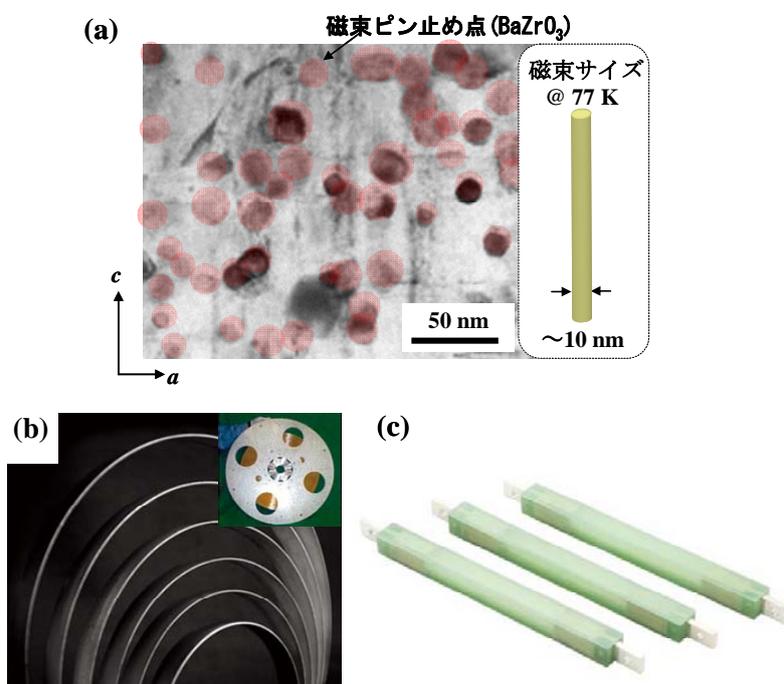


図 1 (a) 成蹊大学・ISTEC-SRL で開発された磁束ピン止め点導入イットリウム系線材の微細構造。  
 (b) SWCC で作製された 124 m YGdBCO+APC 線材(nPAD-YBCO<sup>®</sup>) と  
 (c) それを用いて製造した超電導電流リード。

## 参考：

1. <http://www.fbi-award.jp/sentan/news/20140731.html>
2. <http://www.fbi-award.jp/sentan/jusyuu/2014/7.pdf>
3. [http://www.swcc.co.jp/news/pdf/130619\\_PRESS\\_RELEASE.pdf](http://www.swcc.co.jp/news/pdf/130619_PRESS_RELEASE.pdf)
4. [http://www.istec.or.jp/web21/pdf/13\\_09/all.pdf](http://www.istec.or.jp/web21/pdf/13_09/all.pdf)
5. <http://www.istec.or.jp/web21/web21-2014.html>

回答者：成蹊大学大学院 理工学研究科 准教授 三浦正志 様

[超電導 Web21 トップページ](#)