

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：

- 国際超電導シンポジウム(ISS2015)のお知らせ

特集：超電導電力機器

- 超電導電力ケーブルの安全性と信頼性の向上
- 超高圧超電導電力ケーブル技術開発の進展
- AmpaCity 見学紀行（超電導 Web21 10 月号参照）
- 大容量風力発電用超電導発電機
- Design of 12 MW class HTS Wind Power Generator in Korea

- 超電導関連 2015 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」
- 標準化情報「第 13 回超電導国際標準化に関するシンポジウム(13th Symposium on International Standardization related to Superconductivity)」報告
- 隔月連載記事 ISS2014/ISS-IEA Joint セッション報告
- 隔月連載記事 鉄道と超電導（その 6 ～超電導フライホイール蓄電装置－実証機の製作－～）
- 研究室紹介 大阪大学大学院基礎工学研究科附属極限科学センター 超高圧研究部門（極限物質科学講座）清水研究室
- 読者の広場 「磁気セイルとは何でしょう？」

[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、公益財団法人 JKA 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 国際超電導シンポジウム(ISS2015)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 16 (月)～18 (水)、江戸川区タワーホール船堀にて第 28 回国際超電導シンポジウム ISS2015 を行います。

おかげさまで事前登録だけで昨年度より多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、ご参加頂きたいと思えます。

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。

さらに今年度も 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も行います。

省エネや再エネの導入推進が喫緊の課題とされる中、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えます。

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/ISS2015/registration.html>

アクセス

<http://www.istec.or.jp/conference/2015access.pdf>

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

「超電導電力ケーブルの安全性と信頼性の向上」

住友電気工業株式会社
超電導製品開発部
大屋 正義

超電導ケーブルは、大容量の電力をコンパクトな形状で低損失に送電できる特徴を持ち、世界各国で実用化のための実系統運転試験が行われている。日本では、東京電力旭変電所において、66 kV 級超電導ケーブルの実系統接続運転が行われた。本プロジェクトでは、実形態を想定したケーブル布設を行った後、臨界電流値の測定、DC 課電試験、室温-LN2 温度の繰り返し試験など、各種試験を行った後に実系統に接続し、1 年以上の運転においてケーブル電気特性の健全性を確認するとともに、日負荷変化や系統切替による負荷変動に対してシステム全体としての安定性を確認することができた。一方で、試験中に冷凍機の冷却性能が徐々に低下する傾向が見られ、長期性能の維持が今後の課題となった。また、超電導ケーブル実用化のためには、定常時だけでなく実系統運用時に想定される各種事故に対する安全性も要求される。

このような背景の中、東京電力、住友電気、古河電気、フジクラおよび前川製作所が NEDO から助成を受け、2014 年度より 3 年間の計画で「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」がスタートした。本プロジェクトのテーマは、

- ① 超電導ケーブルの事故時の安全性検証及び対策の検討
- ② さらなる冷凍機の信頼性・効率の向上

であり、①に関しては、超電導ケーブルの事故として短絡電流事故、地絡事故および外傷事故の 3 つを想定し、22 kV、66 kV および 275 kV 級の各電圧レベルにおいて、モデルケーブル等の検証試験を行っている。②に関しては、前川製作所が開発中の 5 kW 級のブレイトン冷凍機を旭変電所へ移設し、実証ケーブルと接続した長期試験を行って信頼性を検証する。検証項目と分担とを表 1 にまとめる。

開発項目・内容			東京電力	住友電気	古河電気	フジクラ	前川製作所
①：超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発							
試験項目・方法検討 試験結果分析・評価			◎	○	○	○	○
試験実施	短絡試験	22 kV		◎			
		66 kV		◎			
		275 kV			◎	○	
	地絡試験	66 kV		◎			
		275 kV			◎	○	
	外傷試験	断熱管真空低下		◎	◎		
液体窒素漏洩試験			◎				
②：高効率・高耐久冷却システムの開発							
侵入熱低減技術の開発				◎	◎		
冷却システムの高効率化技術の開発			◎	◎			◎
冷却システムの設計及び制御技術の高度化							◎
③：早期復旧等の実用性向上のための対策検討			○	◎	○		○

表 1 安全性検証プロジェクトの課題と分担表

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

住友電工が担当する 66 kV 級ケーブルの地絡試験については、試験条件や試験内容を取りまとめ、シートサンプルやケーブルコアサンプルを用いた基礎試験を実施している最中である。国内の 66 kV 系統では、一般に抵抗接地方式が採用されているため、地絡電流は短絡電流と比較して小さく、これまでの実績から最大 1500 A 程度、故障継続時間は最大 2 秒と想定されている。従来ケーブルの地絡試験結果を参考にすると、超電導ケーブルで地絡事故が発生した場合には、断熱管までアークが貫通して液体窒素が外部に漏れたり、アークエネルギーに起因する衝撃波や液体窒素気化により圧力が上昇したりすることが懸念される。このため、基礎試験によって断熱管へのアーク穿孔を防御可能な保護層構造の検討や、発生するアークエネルギーの計測を実施している。今後、基礎データの採取を進め、最終的には 5 m 級のモデルケーブルでの地絡試験をプロジェクト内で実施する予定である。

[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

特集：超電導電力機器

「超高圧超電導電力ケーブル技術開発の進展」

古河電気工業株式会社
研究開発本部 情報通信・エネルギー研究所
向山 晋一

古河電工は、架空送電線の地中化、大容量 POF ケーブルや OF ケーブルの将来の引換をターゲットとした超高圧超電導ケーブルの開発を進めている。電圧階級としては国内の基幹送電システムの主となる 275 kV 級で、送電容量としては架空送電線クラスの 1.5 GW の大容量送電が可能なケーブルである。その最大のメリットは、送電損失の低減であり、第 2 世代の超電導線(REBCO)を用いることで、現用送電線に比べて送電損失を約 1/4 に減らすことが可能となる。この超高圧超電導ケーブルの開発は、NEDO の「イットリウム系超電導電力機器技術開発」(2008～2013)で実施して、最終年度には、中国瀋陽市の瀋陽古河電纜にて長期課通電試験を実施してプロジェクトは完了した。

超電導ケーブルを電力系統へ実適用していくためには、通常時の安定性に加え、不測の事故（地絡・短絡等）時に生じる現象と影響を把握し、その結果を踏まえた安全性・信頼性の検証が必要不可欠である。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、昨年度より NEDO 助成事業として東京電力、古河電工、住友電工、フジクラ、前川製作所で協同して「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」プロジェクトを実施している。この中で、超高圧超電導ケーブルの安全性評価を、当社とフジクラで分担している。

超電導ケーブルにおける重篤な事故としては、ケーブルの地絡事故、短絡事故、断熱管の真空破壊（外傷事故）を想定した。特に、ケーブル内部の絶縁破壊により引き起こされる地絡事故、ケーブル外部の機器等の絶縁破壊により過電流が流れる短絡事故は、超電導ケーブルに最大 63 kA と巨大な電流が瞬時（約 0.6 秒間）流れるため、超電導ケーブルは機械的、圧力的、熱的に耐える必要がある。本実証研究では 275 kV 超電導ケーブルサンプル（図 1）を試作して、事故模擬試験を現在実施している。図 2 は、瀋陽古河の前プロジェクトで設備した試験設備を用いた短絡模擬試験を示している。この液体窒素循環設備を用いて、ケーブルの外傷試験も計画している。

（参考文献：丸山修ら、超電導ケーブルシステムの安全性・信頼性の検討(1)-プロジェクト概要、平成 27 年電気学会電力・エネルギー部門 大会講演論文集）



図 1 275 kV 超電導ケーブル



図 2 瀋陽古河における短絡模擬試験の準備風景

[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

「大容量風力発電用超電導発電機」

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
山崎裕文、古瀬充穂

風力発電は単機出力の大容量化が進んでいる。ウィンドファームの面積が決まっている場合、風の利用効率の点から単機当たりの出力が大きいほど総発電電力量が大きくなること、設置風車の数が少ない方が全体としてのオペレーション・メンテナンスコストが安くなること、などの理由により、風車の大型化が発電コストを低減する方向に働くことが理由である。しかし、大容量化に伴い、風車の回転力を発電機に伝えるドライブトレインの技術的限界が近づいており、次世代の 10 MW 超級の風車においては従来技術の延長ではない革新的ドライブトレイン技術が求められている。

小型・軽量の超電導発電機はまさにこのニーズに応えるものとして期待されている。産総研・古河電工・前川製作所・新潟大学・上智大学・東京大学のグループは、平成 25～26 年に実施した NEDO 風力発電高度実用化研究開発「10 MW 超級風車の調査研究（発電機）」において、10 MW を越える風車のための高信頼性のダイレクトドライブ超電導同期発電機として、独自の超電導コイルモジュールと鉄心を利用した方式を提案し、その実現のために必要な要素技術として、超電導コイルモジュール、高信頼性ターボブレイトン冷凍機、極低温冷媒給排装置の研究開発を行った（図 1）。またこの超電導発電機を搭載したナセルの概念設計を行い、超電導による超大型風車の優位性について明らかにした。

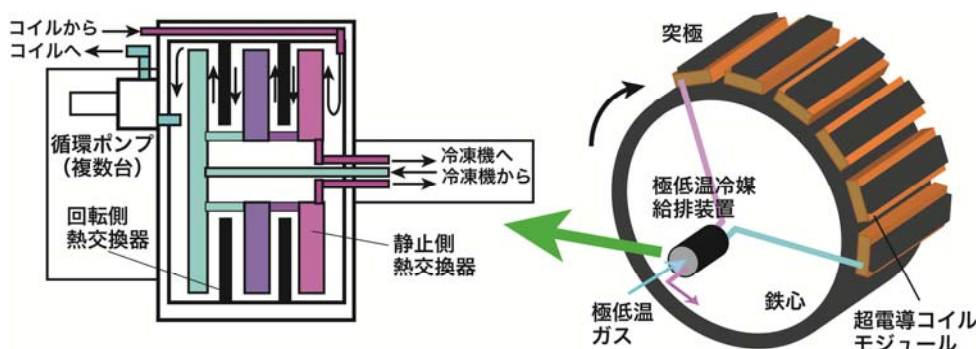


図 1 突極型超電導回転子と超電導コイルモジュール、産総研独自方式極低温冷媒給排装置の概念図

超電導コイルモジュールは、ドーナツ型の真空中断熱容器に納められた REBCO コイルで、20–40 K のヘリウムガス配管により熱伝導で冷却される（図 2）。このコイルモジュールを極とし、多極化により容量スケラブルな発電機を構成できる。また常温にある鉄心を利用することにより超電導線材の使用量を大幅に少なくすることができ、高温超電導線材を使用しながらも発電機のコストを抑えることができる。発電機全体の電気設計は新潟大学の福井聡教授が担

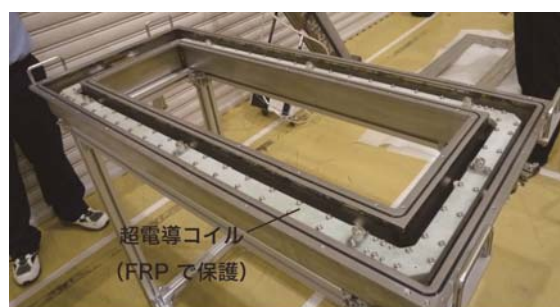


図 2 試作した超電導レーストラックコイルを断熱真空容器中に設置した様子

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

当、超電導コイルモジュール 1 極分を古河電工が製作し、模擬鉄心を組み込んだ通電・励磁試験および侵入熱評価等を行った。その結果、超電導コイルモジュール方式による発電機の実現可能性を実験的に示すことができた。

洋上風力発電で特に要求されるシステムの信頼性とメンテナンスコストの低減にも応えるため、超電導コイルモジュールを冷却するための高信頼性ターボブレイトン冷凍機の開発を、前川製作所が担当した。2 段圧縮機、膨張機一体型圧縮機の 2 種類について設計・製作、回転試験を行い、10 MW 超級のコイルモジュール方式超電導発電機の冷却が可能な実機をナセル内に設置可能なことを確認するとともに、その開発可能性を示した。関連して、ターボ圧縮機・膨張機用超高速モータドライブ技術の研究開発を、東京大学の大崎博之教授が担当した。

回転子の超電導コイルモジュールとターボブレイトン冷凍機のための熱のやりとりのため、静止系から回転系に極低温冷媒を供給する冷媒給排装置が必要となる。産総研は、高圧冷媒の回転シール問題を回避するため、静止系と回転系の間の熱交換器と回転系に設置する冷媒循環ポンプからなる独自システム（図 1）を提案し、循環ポンプの設計・試作による原理検証を行った。

さらに、これらのコンポーネントを組み合わせた超電導発電機を搭載するナセルの概念設計を行い、従来型発電機に対する優位性を示すことによって、10 MW 超級風車用の超電導発電機の実現の見通しを得ることができた。今後は超大型風車へのニーズや他の風車コンポーネント技術開発の進展に合わせ、超電導発電機実用化に向けた小型実証機の開発フェーズに移りたいと考えている。

[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

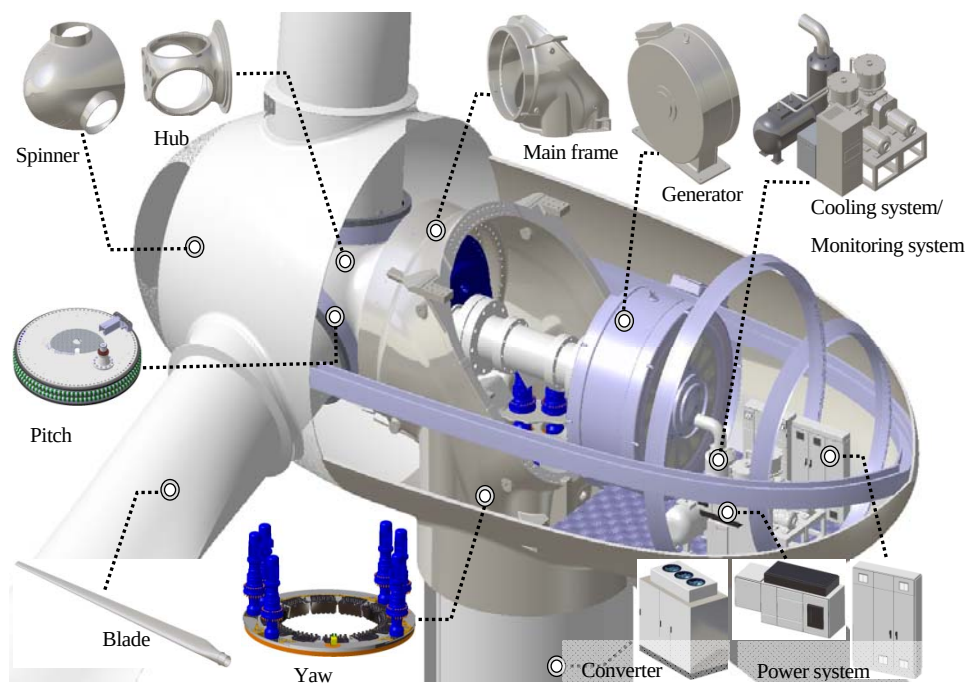
特集：超電導電力機器

Design of 12 MW class HTS Wind Power Generator in Korea

Changwon National University in Korea
Minwon Park

2014 was a record year for the wind power industry as annual installations crossed the 50 GW mark for the first time. Asia was the world's largest regional market for wind energy. The Chinese wind power market almost doubled its capacity from 62 GW in 2011 to reach 114.6 GW by the end of 2014. In Japan, the market saw new installations of 130.4 MW in 2014 to reach a cumulative capacity of 2,788.5 MW. Offshore wind power systems, in particular floating turbines, are technology that promises to achieve even greater capacity and is attractive in Korea and Japan. In Korea, the government had earlier proposed a strategy for offshore wind development with a target of 2.5 GW by 2019.

High Temperature Superconducting (HTS) generators are suitable for the large-scale wind power systems because of their potential for significant reductions in volume and weight and an increased power density compared to conventional generators. Many researchers have tried to develop feasible HTS generator technology. However, any large-scale HTS generator has its own set of problems such as the need for a huge vacuum vessel, and difficulty of repairing and maintaining the HTS coils.

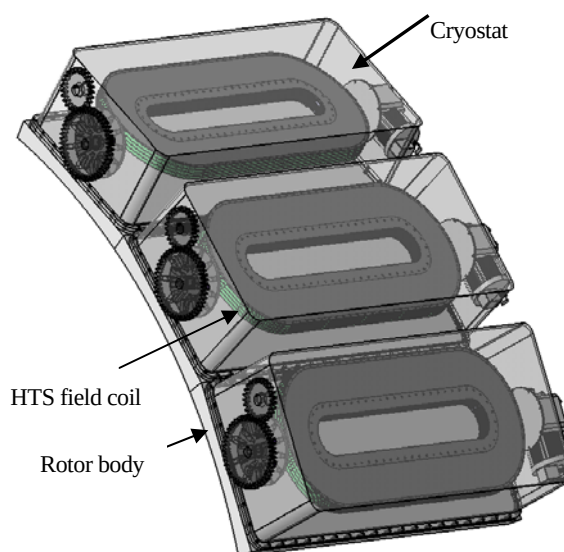


<Basic conceptual design of 12 MW class HTS wind turbine>

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

Research team of Changwon National University in Korea proposed a modularized 12 MW-class HTS generator to solve these problems, and a Flux Pump (FP), which was proposed by RRI(Robinson Research Institute) New Zealand, exciter has been applied to the generator to reduce the heat load due to the excitation current leads. These arise from ohmic losses and thermal conduction bridge between the cryogenic environment and room temperature. The targets for designing a 12 MW HTS generator are a smaller and lighter generator, a shorter total length of HTS wire, and lower inductance of the HTS field coil which affects charging and discharging time of induced DC field current by the FP exciter. Based on the designs of the generator and FP exciter, induced DC current value, together with charging and discharging times, are calculated. As a result, the charging and discharging times of 90 % of saturation value are 4 days and 14.5 days which suggests the FP exciter can be applied to the wind turbine even when it stops and restarts. According to the analysis, the generator weight is approximately half that of a conventional generator. These results can be utilized to design a large-scale wind turbine.



<Modularization of HTS field coil on rotor body>

The HTS generator consists of both rotor parts and stator parts. The rotor components are HTS field coils, modularized cryostats and support structure, and a rotor body. The stator components are comprised of stator teeth, copper stator coils, and a magnetic shield. The materials of the rotor body, cryostat, and stator teeth are made of stainless steel to prevent iron losses. The magnetic shield is silicon laminated steel, which is used to protect electric devices. The modularization of the generator enables a lower cryogenic volume, an easier repair, assembly, and maintenance of the HTS field coil. Specifically, if one HTS field coil fails during operation, other coils are not affected due to physical and electrical isolation. Modularization will be suitable for commercial mass production and will increase the operational availability of HTS generators in the wind turbine.

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

Rated output power is 12.3 MW considering power losses. Line-to-line voltage and rated armature current are 6.6 kV and 1.076 kA, respectively. Rotational speed is 8 rpm, which is compatible with direct-drive wind turbines. And, operating temperature in the modules is 20 K. The double pancake type HTS coils are wound using the coated conductor wire. The HTS wire is 12 mm wide and 0.125 mm thick, including insulation. The stator winding has double-layered, distributed three-phase winding. As a result, the volume and weight of the 12 MW HTS generator, the total length of HTS wire, and inductance per pole are 11.2 m³, 118 tons, 294 km, and 35.7 H, respectively.

3 institutes are involved in this 12 MW wind turbine projects. KIMS(Korean Institute of Material Science) is taking a charge of the flexible shaft for more than 13 MNm and Ulsan University is developing the floating basement for offshore wind turbine. Within the 1st phase for 3 years, this team has to conclude the basic design of 12 MW wind turbine for offshore.

[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 ‘15/10 月－11 月の催し物案内

11/7-6

2015 年第 5 回冷凍部会（公開）例会－国際会議報告会

KKR 沼津はまゆう

http://csj.or.jp/reitob/2015/5th_1106.pdf

11/13

第 3 回関西支部講演会「超電導磁気力応用機器実用化に向けた試み」

大阪大学吹田キャンパス

http://www.csj.or.jp/kansai/2015/3rd_1113.pdf

11/16-18

International Symposium on Superconductivity (ISS2015)

タワーホール船堀、東京

<http://www.istec.or.jp/ISS2015/index.html>

11/17

第 2 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://csj.or.jp/communication/2015/2nd_1117.pdf

11/17-18

International Symposium on Present and Future of Material Sciences

大阪大学豊中キャンパス

<http://thmat8.ess.sci.osaka-u.ac.jp/Meeting2015/>

11/19

第 4 回 CRAVITY シンポジウム

産総研つくば中央共用講堂大会議室

<https://unit.aist.go.jp/neri/ja/event/index.html>

11/22-25

Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics (ACASC2915)

Hangzhou, China

<http://www.doe.zju.edu.cn/ACASC2015/>

11/27

電気三学会関西支部 専門講習会「超電導応用技術」

中央電気倶楽部 513 号室

http://www.iee.jp/kansai/?post_type=custom_event&p=995

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

12/2-4

第 92 回 低温工学・超電導学会研究発表会

姫路商工会議所

<http://csj.or.jp/conference/2015a/index.html>

[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 (9/20-10/19)

- 超電導の新物質発見 超高圧装置で視界広がる 日経産業新聞 10/02
- JST と東京農工大 強力磁石開発に成功 鉄系高温超伝導を応用 日刊産業新聞 10/02
- ITER 用中心ソレノイド・コイル 原子力機構が超電導導体の性能を実証 電気新聞 10/07
- 超電導 送電距離 500 メートルに 中部大が研究成果報告 中日新聞 朝刊 10/07
- 中部大など、世界最長級 500 m の超伝導直流送電に成功 日刊工業新聞 10/08
- 住友電工 データセンターに超電導送電を開始 電子デバイス 産業新聞 10/15
- 日経地球環境技術賞 優秀賞 4 件 鉄道総合技術研究所 ケーブル 送電ロスなくす 日経産業新聞 10/16

(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

What's New in the World of Superconductivity

(Nov., 2015)

초전도 뉴스 -세계의 동향-

超电导新闻 -世界的动向-

chāo diàn dǎo xīnwén - shìjiè de dòngxiàng-

Yutaka Yamada, Principal Research Fellow
Superconductivity Research Laboratory, ISTEK



★News sources and related areas in this issue

▶電力応用

2 ~ 4 kmの超電導ケーブル計画

TenneT社 (2015年9月10日)

TenneT社は、オランダの電力網の一部として、2 ~ 4 kmの地下超電導高電圧ケーブルの設置を計画し、実証試験に適した現場を決定しているところである。初期段階では、窒素冷却に制限があるため、使用可能な超電導ケーブルの長さは4 kmまでとなる。また、超電導ケーブルは高価で、標準の110 kVや150 kVケーブル価格と比べて約3倍もする。しかし、現行の150 kVケーブルは、発生した熱を放散

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

するためには設置する溝の幅は最小12 mが必要となる。熱を発生しないHTSCケーブルを利用すれば、互いに近接して配置することができ、おそらく3 m程度の間隔で十分である。さらに、HTSCケーブルは磁場を発生しない。

小規模であれば、HTSCケーブルは既に他国でも使用されているものの、通常ではグリッド型高電圧系統には使用されていない。2009年には、600 m長HTSCケーブルがニューヨークに設置され、2014年には、ドイツエッセン市の10 kV中電圧線が1 km長尺HTSCケーブルに置き換えられた。TenneT社が手掛ける本プロジェクトは、ケーブルの長さが2～4 kmに及ぶ大規模のものとなる。同社最高経営責任者であるMel Kroon氏は、「本プロジェクトを通して、将来より多くの地下高電圧線を利用する社会に依っていき」と述べた。本プロジェクトは、2019年6月に完成を予定している。

同社は、デルフト工科大学、トウェンテ大学、オランダ科学&サステナビリティ研究開発機構(IWO)、ハン応用科学大学、そしてImtech Marine社研究チームと提携し、ケーブルが満たすべき要件や技術的な局面について調査を進めていく予定である。

また、同社は、陸上電力系統と沖合風力発電所を連系する大規模プロジェクトにおいて、HVDC技術を適用した革新的なWintrack鉄塔も新たに開発した。オランダでは、将来的に沖合風力発電所と連系できるよう、新たな66 kV系統接続の計画が進められている。ここでは、送電システムオペレーター(TSO)によって地下高電圧線建設が行われる。TenneT社は、20 kmに及ぶ380 kVケーブルを構築する初のTSOであり、この分野における更なる可能性に向けて研究を重ねている。

Source: "TenneT to undertake demonstration project for innovative 'super cable'"

(10 Sep, 2015) News

<http://www.tennet.eu/nl/news/article/tennet-to-undertake-demonstration-project-for-innovative-super-cable.html>

Contact: Press Information Department, communicatie@tennet.eu

▶医療応用

900 MHz-NMR 5台受注

Bruker社 (2015年9月17日)

Bruker社は、プロトンの共鳴周波数が900 MHz以上の超高磁場(UHF)核磁気共鳴分光計(NMR)で、5件の注文を受けたことを発表した。これらの受注は、ヨーロッパとブラジルからであり、今後高度な物質研究はもちろん、構造生物学や、不定形タンパク質(IDPs)、膜タンパク質、マクロ分子複合体と相互作用、細胞生物学、そして疾患研究等にNMRが広く利用される。

900 MHzおよび950 MHzシステム、3件は、ブラジル、スイス、英国からの受注。リオデジャネイロ連邦大学(UFRJ)のFabio C. L. Almeida教授は、「共鳴周波数900 MHzを誇るNMRは、ブラジル及びラテンアメリカにおける構造生物学の発展に強い影響をもたらすであろう。」と述べた。

Aeon 1.2 GHzシステムの注文については、2017年後半から2018年にかけて出荷される見通しである。

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

将来1.2 GHzシステムが収益に計上される時期は、高温超電導体(HTS)物質とこれらHTS材料を利用したNMR磁石の更なる進展に委ねられている。

Source: "Bruker Announces Five Ultra-High Field NMR Orders from Europe and Brazil"

(17 Sep, 2015) News

<https://www.bruker.com/nc/news-records/single-view/article/bruker-announces-five-ultra-high-field-nmr-orders-from-europe-and-brazil.html>

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

▶エレクトロニクス

120 kmの量子暗号鍵伝送

Fujitsu (2015年9月28日)

東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構（機構長：荒川泰彦教授）と、富士通研究所および日本電気株式会社(NEC)は共同で、単一光子源を使用することで世界最長となる120 kmの量子暗号鍵伝送に成功したと発表した。

この新方式は、高純度の1.5 μm 帯量子ドット単一光子源と、単一光子源に最適化した光ファイバーQKDシステムという2つの重要な要素で構成される。ここでは光子一つ一つを情報の担い手とすることで、二者間で安全に暗号鍵が共有できる。光パルスを異なる強度で人工的に組み込むことで、量子力学の原理により安全鍵伝送が保証されるのである。

成功に導いたもう一つの理由は、超電導単一光子検出器を用いて単一光子源に最適化したQKDシステムの構築である。1.5 μm 帯に最適化した低損失な干渉系を使用して、実用レベルの単一光子QKDシステムが、東京QKDネットワークで実証された。また、極めて低ノイズの超電導単一光子検出器が使用されている。研究者たちは、QKDシステムの小型化および高速化を進め、2020年以降、主要都市圏で高い安全性を備えた通信の実現を目指す。

Source: "University of Tokyo, Fujitsu, and NEC Succeed in Quantum Key Distribution from Single-Photon Emitter at World-Record Distance of 120 km" (28 Sep, 2015) Press Release

<http://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2015/0928-02.html>

Contact: Dr. Yasuhiko Arakawa, arakawa@iis.u-tokyo.ac.jp

▶基礎

超電導グラフェン

The University of British Columbia (2015年9月8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

インターカレートしたバルクのグラファイトは超電導になることは既に観測されていたが、単層グラフェンでの超電導状態の観測についてはこれまで科学者を悩ませてきた。ブリティッシュコロンビア大学(UBC)の物理学者たち（マックスプランク固体物性研究所の研究者を含む）は、極低温5 Kで超真空状態のまま調製されたリチウム原子でコーティングすることにより、単層グラフェンで超電導状態を初めて観測することに成功した。リチウム原子でのコーティングによって、超電導状態が安定するポイントでグラフェンの電子-フォノン結合が増強されるという。

今回の研究成果は、グラフェンエレクトロニクスとナノスケールの量子デバイスの新時代を約束し、同研究チームは、今後グラフェンを使った超高速トランジスタや、半導体、センサー、そして透明電極の開発につながることを願っている。

Source: "First superconducting graphene created by UBC researchers" (8 Sep, 2015) UBC News
<http://news.ubc.ca/2015/09/08/first-superconducting-graphene-created-by-ubc-researchers/>
Contact: Heather Amos, heather.amos@ubc.ca

[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

標準化活動

「第 13 回超電導国際標準化に関するシンポジウム(13th Symposium on International Standardization related to Superconductivity)」報告

住友電気工業株式会社
超 電導製品開発部 製造グループ
グループ長 藤上 純

応用超電導の国際会議である EUCAS2015 (European Conference on Applied Superconductivity 2015)開催期間中の 2015 年 9 月 6 日に、同じ会議場(Lyon Convention Center, France)で、超電導標準化のシンポジウム(13th Symposium on International Standardization related to Superconductivity)が開催された。開始時間は 19:00 からと、他セッション終了後の遅い時間帯であったにもかかわらず、日本、オーストラリア、ブラジル、中国、イタリア、フランス、米国、計 7 カ国から総勢 20 名が参加して、活発に意見が交わされた。通算で 13 回目となる本シンポジウムでは、IEC/TC90(International Electrotechnical Commission/ Technical Committee 90(Superconductivity))の活動紹介とともに、超電導線材と超電導センサの関係者が同時に会するという事で、それぞれの専門家の方から標準化に関わるトピックスを含む各分野の最新動向を紹介頂いた。

当日は、シンポジウム司会である松下照男氏(九州工業大学)からの開会宣言の後、最近の IEC/TC90 の活動紹介、その後に超電導線材と超電導センサの動向紹介という順序で発表があった。IEC/TC90 の活動紹介としては、TC90 全体の話は TC90 国際幹事(藤上)から報告があり、国際規格(第 2 版)が間もなく発行される超電導用語については TC90/WG1 convener(超電導用語の国際標準化ワーキンググループ委員長)である松下照男氏から報告があった。また、先日発行されたテクニカルレポート・超電導線材の一般ガイダンス(IEC TR 61788-20)、および国際規格・超電導線材測定法の一般ガイダンス(IEC 61788-21)に関しては、TC90/WG13 convener(超電導線材通則の国際標準化ワーキンググループ委員長)である長村光造氏(応用化学研究所)から報告があった。

超電導線材関連の最新動向紹介としては、Pre-standard 活動を行う機関である CIGRE(国際大電力システム会議)の D1. WG38(高温超電導材料および応用機器の最新評価技術を調査するワーキンググループ)メンバーでもある A.Polasek 博士(ブラジル)と、IEC/TC90 議長の C.Bruzek 博士(フランス)から超電導線材の最近の評価技術と応用開発動向について報告があった。プレゼンテーションの中で Polasek 博士は、今後重要となる評価技術として「長尺の高温超電導線材の均一性の評価」を挙げ、その手段として、通電による臨界電流測定(接触法)とともに、磁気的手法での臨界電流測定(非接触法)が必要であることを指摘された。C.Bruzek 博士は、各種超電導材料の特性に応じた期待される応用分野を紹介し、更に臨界電流、残留抵抗比、マトリックス比等、超電導特有の特性に関する線材試験法の標準化については、今後も積極的に TC90 で開発、整備すべきとの考えを示された。

一方、超電導センサと検出器の標準化に関しては、一連の標準化のガイドとなる一般ガイダンスの開発が TC90/WG14(超電導センサおよび検出器の国際標準化ワーキンググループ)と IEEE(米国電気電子学会)の協力関係のもとで、CDV(投票用委員会原案)発行に向けて標準化活動が進めら

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

れている。今回のシンポジウムでは、超電導センサ関連の最新動向紹介として、IEEE メンバーである R.Fagaly 博士（米国）と C.Foley 博士（オーストラリア）から、SQUID(Superconducting QUantum Interference Device)の応用例の報告とともに、SQUID の試験規格の開発プロセスについてのアイデアが示された。SQUID については、非破壊検査、地球物理学、生体磁気学、テレコミュニケーション等、幅広い分野で活用されていることが Fagaly 博士から紹介された。また、C.Foley 博士より、試験法の規格開発の一環として高温超電導 SQUID のラウンドロビンテスト実施が提案された。（その後の TC90/WG14 の会合にて、規格化のために検討が必要な項目を明らかにするために、米国、ヨーロッパ、アジアの複数の機関が参画してラウンドロビンテストを実施することで合意したもよう）

筆者自身は、このシンポジウムを通して、今後、超電導関連の国際規格を開発する際には、CIGRE、IEEE 等、外部団体との協力関係が益々重要となっていくことを再認識できた。超電導の国際標準化にとって有意義な会合であったと思います。

[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

【隔月連載記事】ISS2014/ISS-IEA Joint セッション報告 (その 5 - 優秀賞)

「夢を語れた IEA-HTS-IA and ISS joint session」

国立大学法人 九州大学

大学院システム情報科学研究院 電気システム工学部門

准教授 東川甲平

2014 年の春ごろ、ISS2014 において IEA-HTS-IA and ISS joint session なるものが開催されるという話を伺いました。開設された Web サイトの情報によると、35 歳以下の若手研究者を対象とし、自身の研究と将来のエネルギー社会への見解を発表するものであり、半分以上は後者について言及すべきということでした。学生時代は、超伝導技術はなんとすばらしいのだろうと目を輝かせていましたが、年を重ねるごとに、高温超伝導応用のためには、これを解決しなければならない、これではコストが高すぎる、と思考が縮小してストレスを抱えていたので、原点に立ち返って大きな夢を語る良い機会だと思い、本セッションに申し込みました。

題目は「Advanced Diagnostics of Superconducting Wires and Tapes for High-performance and Highly-functional Power Applications Supporting Large-scale Introduction of Renewable Energy」としました。私は、大学院で「電気エネルギー環境工学基礎特論」という講義を担当しています。この中で、化石燃料に頼ってきたエネルギー社会と今後の再生可能エネルギーの導入拡大を取り扱うのですが、特に我が国では定量的な観点まで含めれば、消費電力の大半を再生可能エネルギーでまかなうことは、風土（国土がせまい、陸上の風況が安定しない）や電力系統（逆潮流による過電圧や出力変動による周波数変動など）の観点から簡単ではなく、例えば原子力の利用はやむを得ないと考えるようになる学生も多いようで、よく知れば知るほど私も含めて、専門外の一般の方とは価値観がずれてしまうこともあります。一方、本当に全ての電力消費を再生可能エネルギーでまかなうことができれば、その事に関して異を唱える方はいないのではないかと思います。上述の題目は、自分が行っている研究はこのような夢につながるのだ、と自分に言い聞かせるために設定したところもあります。

例えば、図 1 に示すように、大変有名な図があります^[1]。全世界の電力需要を太陽電池パネルで賄おうとした場合、サハラ砂漠のごく一部で済むというという主張です。もちろん途方もない面積ですが、地球上の各地に過ぎている私たちの電力需要を、地球の表面積からみればごくわずかな領域で賄えるというのは、大変夢のある話です。しかしながら、電力の需要が多い地域と砂漠のような太陽光発電に適した土地はしばしば遠く離れており、長距離の電力輸送が不可欠となります。また、電力需要と発電量は短い時間のスケールでは一致することも少なく、電力の貯蔵が本質的に重要となりま

All Energies Supplied from Renewable Energies (PV, WT, etc.) will be possible in principle

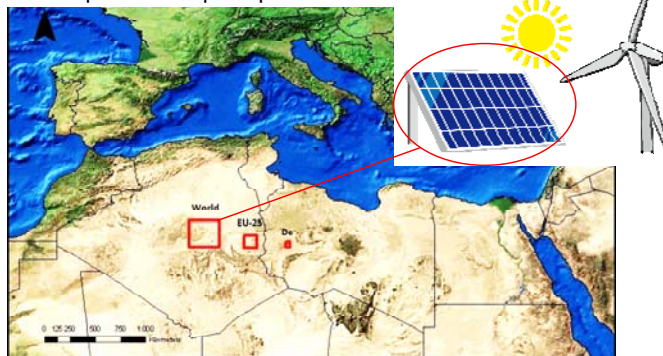


図 1 電力消費のすべてを太陽光発電で賄う場合に必要な土地の大きさ^[1]

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

す。この長距離送電と電力貯蔵というキーワードから、おのずと超伝導技術の利用が思い浮かびます。

そこで、図 2 に具体的なコンセプトを示しています。鍵となるのは、送電は直流とし、地球規模でループを有する電力網とすることです。交流損失の観点からすれば、超伝導ケーブルによる電力輸送を直流とすることが好ましいのはもちろんですが、電力の源が太陽光発電あるいは風力発電などであることを想定すると、電力変換の観点からでも直流であっても差し支えないはずです。ただし、本当の狙いは、このような直流電流でループと形成することにより、電力網に電力を貯蔵できることにあります。例えば、100 kA の電流

が地球を 1 周すれば、テラジュールオーダーにもなります。さらに、磁性体に素線をツイストさせたような超伝導ケーブルであれば、ペタジュール以上のエネルギーの貯蔵も夢ではありません。すなわち、再生可能エネルギーの大量導入に向けて鍵となる長距離送電と電力貯蔵は同時に達成され、世界各地で発電された電力をため池にためていき、そのため池からいつでもどこでも電力を消費できるというような、大変自由度の高い電力エネルギー社会が実現します。

これに関連して「モンゴルー日本電力技術交流会」に参加しました。モンゴルにはサハラ砂漠に次ぐ日照量を誇るゴビ砂漠があり、我が国との連携による大規模太陽光発電の計画もあります^[2]。また、サハラ砂漠よりは距離が比較的に近いために、本当に海外由来の再生可能エネルギーを我が国で利用することになれば、モンゴルは一つの大きな候補になります。このような観点から、本交流会に参加しました。先方は、モンゴル科学技術大学(MUST)や各種送配電会社のメンバーから構成されており、日本からは、東京大学・九州大学・九州工業大学・宇都宮大学・同志社大学・工学院大学・東京電機大学から参加しました。特に、日本からの参加者には、電力送配電システムやスマートグリッドの国際標準化に尽力されている大変著名な先生方が含まれており、超伝導が専門ではなく、電力エネルギー分野の最前線で活躍されている先生方と意見交換を行いたかったことも、本イベント参加の大きな動機となっています。

ウランバートルの MUST を訪問した後、先方のメンバーとともに小さなバスで、セミナー会場の Delgerkhaan に向かいました。その道中の写真を図 3 に示していますが、大変な晴天の中このような広大な土地が延々と続いており、まさに大規模な太陽光発電に向いていると実感しました。また、図 4 の旗のなびき具合からも分かりますが、風況も大変良好である印象を持ちました。セミナーには、日本人 8 名の他に、30 名程度のモンゴルの方の参加が有り、私が発表している際の写真を図 5 に示しています。英語を話せるモンゴルの方は少ないようで、隣の先生が英語からモンゴル語に翻訳してくださっています。自身の研究やその構想について紹介しましたが、大変興味深く聴いて頂けたという手応えを感じました。特に、モンゴルで発電した電力を超伝導ケーブルで日本に運ぶという夢を語った際には、もちろんサービス半分でしょうが大変盛り上がっていました。

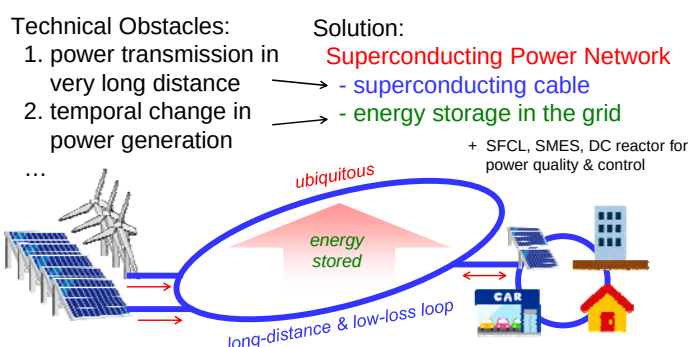


図 2 再生可能エネルギーの大量導入の鍵となる長距離送電と大規模電力貯蔵を可能とする直流超伝導電力ネットワーク

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



図3 ウランバートルからセミナー会場への移動途中の風景 (1): 晴天のなか広大な土地が限りなく続いており、大規模太陽光発電に向いている印象



図4 ウランバートルからセミナー会場への移動途中の風景 (2): 風況よし

ただし、現在のモンゴルの状況は、電力網の増強を当面の課題としており、日本で実績のある超高压送電の技術が欲しいような段階であり、それに比べると実績の乏しい超伝導技術は、現実的な選択肢というよりは、やはり夢としてとらえられています。従って、手放して良い反応を頂けます。一方、日本からの参加者の方は、超伝導電力応用が実用段階に入っていることを知れば知るほど、現実的な疑問を投げかけてくださいます。例えば、直流のループからどのように電力を取り出すのか、事故が起きた際の遮断ができないのではないか、そんなに長いものを冷却できるのか、政治的に国境をまたいで大丈夫か、などです。ですから、本当にこのような国で超伝導技術の導入がかなうとすれば、やはりまずは自身の国で、超伝導を専門としない方々を巻き込んで理解と実績を積み上げ、上記の高压送電システムあるいは新幹線のように、確立したインフラとして輸出するという形が現実的であると思います。従って、このような活動を通じて、自国側での理解を深めると同時に、相手国との信頼関係を維持することができていれば、超伝導電力インフラの輸出という形で大変大きな実を結ぶのではないかと改めて意識しました。

私の主な研究テーマは、長尺線材を含む超伝導線材の臨界電流特性評価^[3]、モデル化した特性による機器設計^[4]、電力系統へ導入効果の検討^[5]です。これらの研究は上記の夢に向かって励んでいるのだ、ということを感じさせてくれた本セッションは、私にとって大変貴重な機会でした。自身の研究をうまく関連づけた将来像について本当に流暢な英語で発表されていた発表者の方々の中で賞を頂けたのは、私が最年長であったお情けではないかと思うほどでしたが、上記の観点から、もし賞がもらえなかったとしても、私は本セッションに参加できて本当に良かったと胸を張って言えると思います。本セッションが是非とも末永く続くことを祈念いたします。

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5 モンゴルー日本電力技術交流会での発表の様子

参考文献:

- [1] Figure by <http://en.wikipedia.org/wiki/Desertec>. Data by the German Center of Aerospace (DLR) (2005).
- [2] Japanese Business Alliance for Smart Energy World Wide (2012).
- [3] K. Higashikawa, K. Katahira, M. Inoue, T. Kiss, Y. Shingai, M. Konishi, K. Ohmatsu, T. Machi, M. Yoshizumi, T. Izumi, Y. Shiohara: "Nondestructive Diagnostics of Narrow Coated Conductors for Electric Power Applications," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 24, no. 3 (2014) pp. 6600704.
- [4] K. Higashikawa, T. Nakamura, K. Shikimachi, N. Hirano, S. Nagaya, T. Kiss, M. Inoue: "Conceptual Design of HTS Coil for SMES Using YBCO Coated Conductor," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 17, no. 2 (2007) pp. 1990-1993.
- [5] K. Higashikawa, S. Urasaki, M. Inoue, M. Tomita, T. Kiss: "Hardware-in-the-loop Simulation of Superconducting Devices for DC Electric Railway Systems Based on Real-time Digital Simulator," to be presented at MT-24.

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】鉄道と超電導（その 6）

～超電導フライホイール蓄電装置－実証機の製作－～

公益財団法人 鉄道総合技術研究所

浮上式鉄道技術研究部 山下 知久

車両制御技術研究部 水素・エネルギー 長谷川 均

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

今回は 3 月に掲載した「超電導フライホイール蓄電装置」の実証機が完成したため、この概要と超電導磁気軸受の詳細について報告したい。

超電導フライホイール蓄電装置

現在、鉄道総研では、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業により系統安定化用蓄電装置をクボテック株式会社、古河電気工業株式会社、株式会社ミラプロ、山梨県企業局と共同で開発している。蓄電媒体としては、寿命、コスト、蓄積エネルギー容量、出力等を勘案してフライホイールを選択した。フライホイール蓄電装置は、電力を回転エネルギーに変換して蓄エネルギーを行うもので、電気化学的な反応を使用しない。このため、二次電池等で課題となっている化学的な劣化を生じない等のメリットがある。さらに、蓄電装置に要求される性能として、出力（単位 kW）と蓄積エネルギー容量（単位 kWh）の 2 つの指標があるが、フライホイール蓄電装置は、これらを独立に設計することが可能である。例えば、高出力であるが低容量であるとか、大容量であるが低出力であるといった装置を実現することができる。この特徴は設備容量を最適化する上で有利であり、蓄電池のように高出力を得るために余分な容量を設置するといった無駄を省くことができる。フライホイール蓄電装置の蓄積エネルギー容量は、フライホイール本体である回転体の質量に、また回転速度の二乗に比例して大きくなる。このため、大容量の装置にするためには、高速で回転する重量物を損失なく支持する必要がある。すなわち回転体を支持する軸受に耐久性と低損失が求められる。我々はこの条件を満たすものとして超電導磁気軸受に注目した。超電導磁気軸受は、非接触で支持することが可能であり、摩耗や摩擦がなく、回転に伴う損失が発生しない。また、回転軸、固定子双方に超電導を使用することで、他の磁気軸受では困難なほどの大きな浮上力を発生することができる。

もっとも、超電導状態を維持するための冷凍機の動力が必要となるが、スケールメリットが期待できるため、大容量の蓄エネルギー装置としては全体として損失が小さいものとなりうる。

フライホイール本体も、高速回転に伴う遠心力に耐えられるような工夫と万が一破損した場合の安全性を考慮して、円形螺旋織物技術を使用した炭素繊維強化プラスチックで製作し内蔵した。

この事業では、山梨県米倉山太陽光発電所に蓄電装置を設置し、電力平滑化の実証試験を行う。実証試験は 1 MW 級太陽光発電設備に、出力 300 kW、容量 100 kWh のフライホイール蓄電装置を接続し、季節変動や天候、系統条件の違いなどを加味しながら、連続運転を実施する。

開発の経緯

実証試験機の開発は平成 24 年度にフィージビリティスタディーを実施し、後述するような実証

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

試験機のコンセプトを決定し、平成 25 年度より各要素の開発試作を開始した。平成 26 年度末には、工場にて組立完了が終了し、超電導磁気軸受による非接触支持に成功し低速回転を行った。平成 27 年度初より、米倉山太陽光発電所への設置工事を行って、9 月 3 日に各界の要人ご参列のもと試験開始式典を挙行了。(表 1)

表 1 フライホイール蓄電装置開発工程

	H24 年度	H25 年度	H26 年度	H27 年度
概念設計	→			
要素開発		→		
部品製作		→	→	
組立			→	
工場試験			→	
現地設置				→
実証試験				→

実証機の概要

プロジェクト開始から実証試験完了までの期間があまり取れないことなどから、今回の実証機については、超電導磁気軸受及び CFRP ローターの開発に注力することとした。このため、ラジアル方向の補助軸受に関しては、従来の制御型磁気軸受を使用し、発電電動機についても産業用汎用機を流用したものとした。発電電動機は汎用の永久磁石型同期機であり気中で運転するため、真空槽と発電電動機の間にはトルク伝達と気密を両立させる必要があり、このシール部には磁性流体シールを採用した。

表 2 に実証機の仕様を、図 1 に実証機の概要と担当した事業者を示す。

図 2 には、工場組立時の CFRP ローター組込作業の様子を、図 3 に装置全体の外観を示す。

表 2 実証用フライホイール蓄電装置仕様

項目	値
入出力	300 kW
発電機出力	330 kW
定格電圧	直流 600 V
蓄積エネルギー	100 kWh
運転回転数	3,000 ~ 6,000 min ⁻¹
CFRP ローター	直径 2 m 質量 3,200 kg
軸受	スラスト 超電導磁気軸受 ラジアル 制御磁気軸受

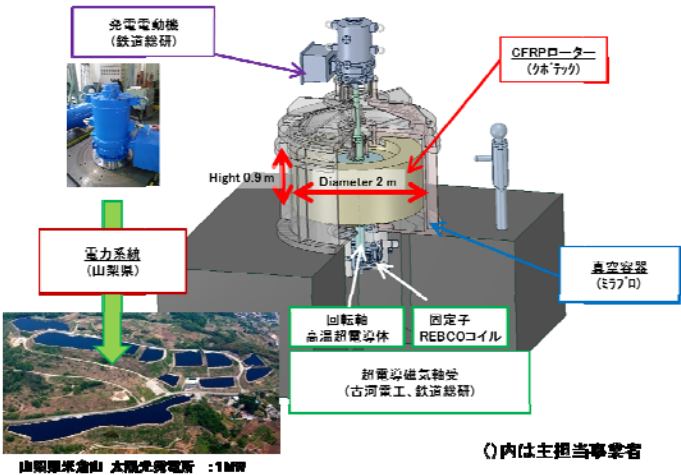


図 1 実証機の概要

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



図2 CFRP ローター組込の様子



図3 装置全体外観

超電導磁気軸受

今回のフライホイール蓄電装置開発の中心と言える超電導磁気軸受について詳細を述べる。図4に今回開発した超電導磁気軸受の構造と支持力（回転子の浮上力）を示す。回転子の超電導バルク体はシルクハットを逆さにしたような形状であり、固定子の超電導コイルから発生する磁束を排除することでスラスト方向の全荷重と、ある程度の案内方向荷重を支持することができる。固定子の超電導コイルは5ダブルパンケーキ形状となっており、外部の電源装置から電流リードを通じて常時通電するようになっている。図より、コイル電流が80 A程度で目標値のフライホイール荷重を支持する十分な力が発生できることが分かる。

超電導コイルは冷凍機からの伝導冷却により冷却されるが、回転子については、希薄ヘリウムガス（圧力数 Pa）が軸受容器内に充填されており、分子伝導と輻射により冷却される。回転子の損失としては、ガスが希薄であるため風損はほとんど発生しない。

回転子が定常状態で、固定子の中心を振動なく回転している場合は、風損のみが損失となる。しかし、フライホイールのアンバランスやトルク変動によって回転子に振動が生じると磁束密度分布に変動が発生するため、近傍に金属等の良導体が存在すると、渦電流損失が起こることがあり得る。特に低温部分では金属の導電率が非常に高く大きな渦電流が発生し、少ない発熱でも冷凍機から見ると大きな動力でないと除去できない問題がある。

磁束変動による渦電流損失を無くするためには、構成部材に樹脂やセラミックなどの絶縁物を使用すればよい。本磁気軸受も極力、金属をしないように作られているが、超電導コイルが伝導冷却方式であるため、どうしても冷却経路については、熱伝導の良い金属（銅）を使用せざるを得ない。すなわち熱伝導率は高く、電気導電率は低い構造材を使用しなければならないという二律背反の課題がある。

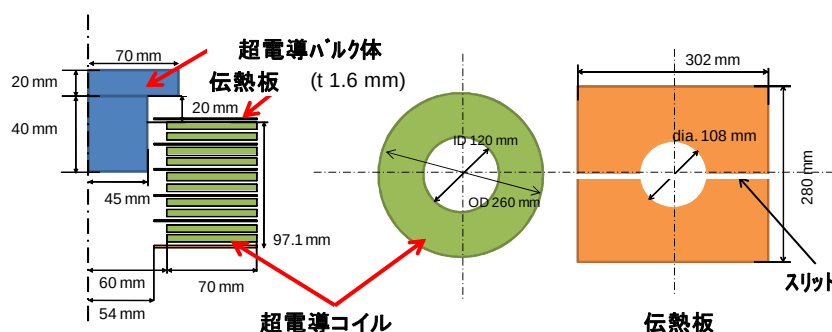


図4 超電導磁気軸受の構造

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

今回はこの異なった特性を両立させるために、すだれ状の金属を樹脂によってモールドした構造の素材を開発し、超電導コイルの伝熱板として採用した。渦電流は、導体を細分化することにより減少すると考えられるが、磁場の分布や変動周波数により差異がある。あらかじめ導体の細分化の効果を検証するために、動磁場解析を行った。図 5 に導体の分割と渦電流損失の関係を示す。図を見ると分割数を多くしていくと、いったん渦電流損失が増えるが、その後は減少し、ある程度細分化されると顕著な減少が見られないことが分かる。細分化により占積率も下がってしまうことを考慮すると今回の場合は 100 分割以上あればよいことが分かる。

図 6 に実際に製作した超電導コイル伝熱板の外観を示す。

このような形状、構造をもった材質の場合、熱的、機械強度的に異方性を持ってしまう。特に伝熱板として使用する場合には、銅線の長手方向には熱抵抗が小さく、線と直角方向には熱抵抗が大きくなることが予測される。そこで、すだれ状の板を数枚積層し、積層間の線方向を変えることが考えられる。例えば、奇数枚目を 0° 偶数枚目を 90° にすることで、渦電流損失の増加無しに、熱伝導の等方性を確保することができる。

図 7 に製作した伝熱板の等価熱伝導率の測定結果を示す。今回の超電導コイルの使用温度領域が 30 ~ 50 K で設計しており、この領域では、100 W/(m・K) 以上あり、金属単体よりは小さな値であるが、伝導冷却に供する伝熱板としては十分な値である。

このような特殊な伝熱板を使用することで、損失低減と熱伝導の確保を両立することができ、実証試験用超電導磁気軸受が完成した。

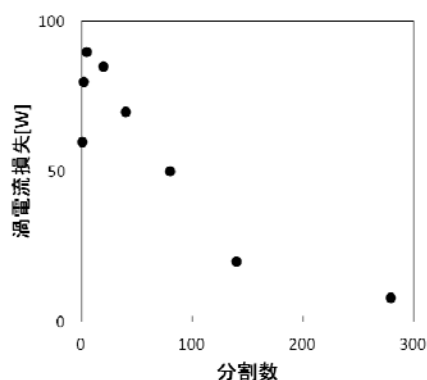


図 5 導体分割と渦電流損失

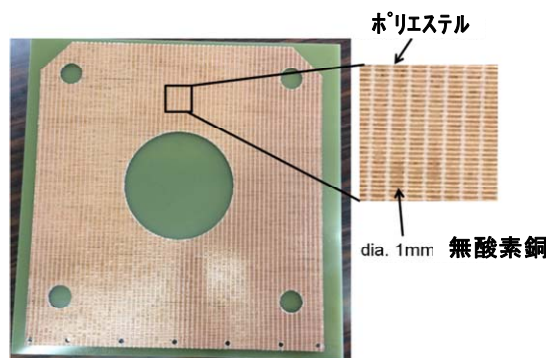


図6 超電導コイル伝熱板の外観

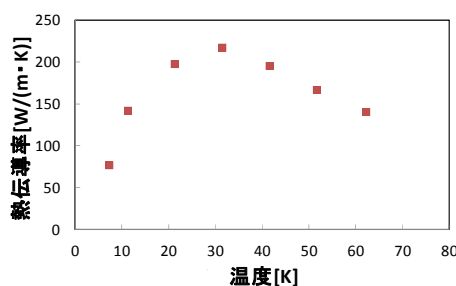


図 7 超電導コイル伝熱板の熱伝導率

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

「大阪大学大学院基礎工学研究科附属極限科学センター 超高压研究部門（極限物質科学講座）清水研究室」

High Pressure Division (Material Science at Extreme Conditions)
KYOKUGEN, Center for Science and Technology under Extreme Conditions,
Graduate School of Engineering Science, Osaka University
Katsuya SHIMIZU

1. 研究室の構成

スタッフ：清水克哉（教授）、加賀山朋子（准教授）、坂田雅文（特任講師）、石河孝洋（特任助教）、中本有紀（技術専門職員）、中西章尊、榮永茉莉（特任研究員）、塚越亜紀（事務補佐員）、角谷均、村上睦明、鈴木直、三宅和正（招聘教授）、海老原孝雄（招聘准教授）
学生：博士後期課程 1 名、博士前期課程 7 名、学部 4 年生 7 名

2. 研究室研究課題

「複合極限状態の生成とその下での物性研究」をテーマに、従来の極低温実験に超高压を世界に先駆けて導入し、現在では世界的にも類を見ない複合極限環境を実現しています。超高压発生にダイヤモンドアンビルセルを用い、250 万気圧を超える圧力を発生することができます。さらに絶対温度 0.01 度まで冷却可能な希釈冷凍機に装着して超高压・極低温の環境が作り出されます。

このような環境下で研究を行う対象は様々ですが、特に力を入れているのがシンプルな系の極限環境下の物性研究です。例えば、超高压下ではすべての物質は金属になるとも考えられています。その実験的検証をめざす中で、最も単純なシステムといえる水素の金属化は物性物理研究者の長年の夢として永く研究されてきました。理論的に室温超伝導が予言されていることも金属水素の大きな魅力です。しかし実験的に固体水素の金属状態は達成されていません。水素を目指しつつ、その類似物質の研究を進めてきました。たとえば水素分子と同じ等核 2 原子分子に注目して、ハロゲンのヨウ素と臭素、さらに酸素の金属化と超伝導を発見しています。また金属水素化合物は水素を多く含んでおり、高密度にするといわばその金属のかごの中で水素が圧縮されて、単体の場合より低い圧力で金属化することも期待されています。実際、極最近には硫化水素を加圧してこのような状態を作り出して、室温に迫る(203 K)超伝導を観測したとする報告がされています。我々も協力してその結晶構造の解明や同様な物質における再現実験に注力しています。また一方で、木星などの巨惑星の内部には金属（流体）水素が多量に存在してそれが大きな惑星磁場を発生させていると考えられています。この金属流体水素に迫る実験研究も行っており、流体ながら水素の金属状態に迫りつつあります。このように、低温だけではなく高温にも範囲を広げた、複合極限の生成と物性研究が研究室の課題であり、図に当研究室で生成可能な温度と圧力を示しました。

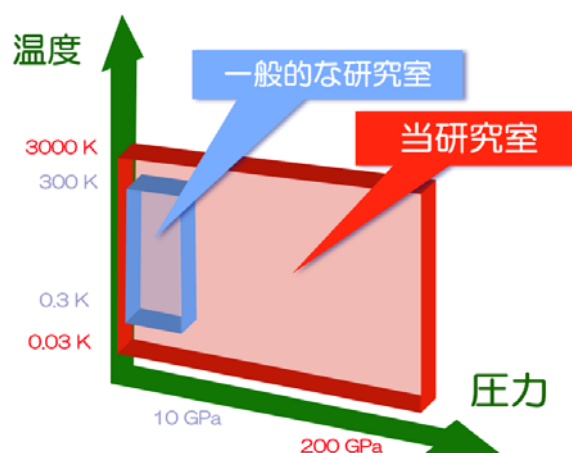


図 当研究室の守備範囲（赤）

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

研究対象はもちろん単体元素だけではなく、酸化物高温超伝導体や強相関電子系化合物など、新しい機構の超伝導の研究や、高圧力を用いた物質合成にも取り組んでいます。このような物質群での研究を行うためには、高圧力下でも常圧力下での実験と遜色ない十分な測定精度をもつ技術開発も研究開発の大きな柱として開発研究に努めています。また複合測定—比熱測定、磁気測定、NMR、X 線回折等の物性測定を組み合わせた同時測定—の開発も行っています。

複合極限環境下の物質研究は未だ発展途上にあるといえます。何でも押して（圧力をかけて）より多彩な物質の姿をみていきたいと考えています。

[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

読者の広場

Q&A

Q. 磁気セイルとは何でしょう？

A: 超伝導コイルを用いた宇宙推進：磁気セイルと磁気プラズマセイル

地球磁気圏を逃れて惑星空間に出ると、高速のプラズマ流である太陽風が吹き荒れています。この太陽風を宇宙機の作る人工的な磁場で受け止めることができれば、太陽風の運動エネルギーをもとに宇宙機の推進力を得ることができます。こうしたシステムは、図1のように、磁場を帆（セイル）として太陽風を受け止める様子から「磁気セイル」と呼ばれていますが、未完の宇宙推進システムです。

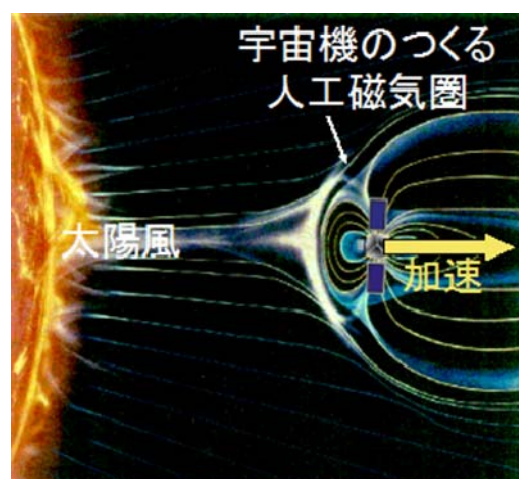


図1 磁気セイル推進のイメージ原理

磁気セイルによって宇宙機に必要な推進力を得るためには、非常に大きく強い磁場が必要ですが、宇宙機に搭載可能な超伝導磁石のサイズと性能には限界があります。このため、図のように電磁石の作る磁場（帆）をプラズマ噴射によって大きく広げて推進力を得る「磁気プラズマセイル(MPS)」がWinglee博士によって考案されました。

JAXA では国内の研究者と協力しながら、磁気セイル・MPS の理論解析と原理検証実験を進めています。帆を膨らませるためのエネルギーと比較して太陽風に押されるエネルギーははるかに大きい場合、MPS のエネルギー効率是非常に高くなり、単位電力当たりの推進力は従来のイオンエンジンより1桁も大きくなるでしょう。MPS は、太陽から遠ざかる向きの加速しかできないなどの制約はありますが、これが実現すれば、木星や土星などの外惑星到着に必要な時間が大幅に短縮されるだけでなく、太陽系外への短期ミッションが可能になると期待されています。

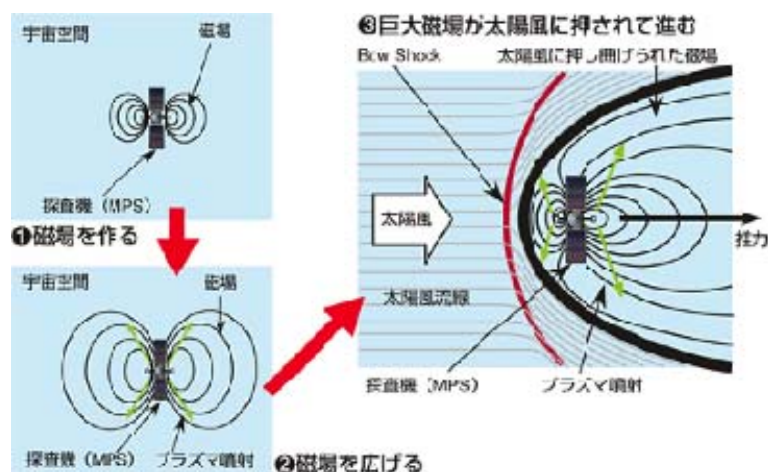


図2 磁気プラズマセイル

回答者：国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 船木一幸 様