

超電導 Web2.1

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

掲載内容（サマリー）：

特集：日本及び各国の国家プロジェクト動向

- 各国の国プロ動向まとめ
- 高温超電導コイル基盤技術開発プロジェクト
- 強磁場コラボトリにおける定常強磁場計画
- 科学技術振興機構の Strategic-イノベーションプログラム
- 新超電導および関連機能物質の探索と産業用超電導線材の応用
- 高温超電導直流送電システムの実証研究（石狩プロジェクト）
- 日本の国プロ-10 MW 超級風車の調査研究（10 MW 超級風車用超電導発電機の要素技術研究開発）

- 超電導関連 2014 年 3 月-4 月の催し物案内
- 新聞ヘッドライン（1/21-2/20）
- 世界の動き
- 再生可能エネルギーと超電導
- 学会・シンポジウム報告-「電気学会研究会：超電導応用電力機器研究会」報告
- 隔月連載記事「高温超伝導電力機器の冷却技術」（その 2）
- 連載記事「やさしい電力系統のはなし」（第 2 回）
- 読者の広場「冷凍機は金属でできているように見えますが、金属は熱をよく伝えるはず
です。冷蔵庫は樹脂でできていますし、熱が逃げていかないのでしょうか？」

[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>



特集：日本及び各国の国家プロジェクト動向

「各国の国プロ動向まとめ」

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

昨年 11 月に山梨県川口湖にて、国際超電導産業サミット-ISIS2013 が開催された。その会議での報告や他の情報から、2013 年 11 月時点での各国の超電導に関する国プロ事業内容を ISTEK として簡潔にまとめたので参考にして頂きたい（下記表-表の上でクリックすると拡大画像が表示されます）。

Web21 編集部

今回の主なトピックスを挙げると、以下の通りである。

米国： 風力応用への検討が増えている。また、長尺が作製しやすい MgB_2 線材の機器検討も出てきた。高磁場応用のコイル開発が始まった。 YBCO 線材を使った最初の大型コイルになると思われる。耐電磁力、クエンチ対策など実用的なシステム設計が検討され、今後の発展に有益な情報が得られる。

EU: EUROTAPES-Pj の線材開発が全欧州の機関を含んで開始された。ただし、長さ、 I_0 などの目標は過去日本、米国で従来やっていたものと比べると、そう高いわけでもない。

世界最長の 1 km の高温超電導ケーブル (AmpaCity-Pj : ドイツの Essen) が終盤にさしかかってきた (最終年 2016 年)。今後有益な情報が発信されると思われる。米国同様、風力応用検討が 4 つも出てきた。

韓国：従来の線材開発 Pj が終了したが、JEJU-Pj での風力、太陽光発電など再生可能エネルギーの実証プロジェクト（500 m の AC, DC ケーブルほか）が続いている。

ロシア：最近、開発が活発化し、急に発表が増えた。ケーブル以外に線材も活発に進められており、ROSATOM を中心にして開発が進められている。
背景に、欧州への電力供給構想もある模様である。

[illegible][illegible]

C	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語の基礎知識	英語
---	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----

超電導 Web2.1

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

日本：大型の MPACC-Pj (イットリウム系超電導電力機器技術開発プロジェクト) が終了し、高温超電導コイル基盤技術開発が新しく始まった (実施者：東芝、三菱、古河、iSTERA ほか)。MRI、加速器など産業用超電導機器に使われるコイル開発を目指す。他方、東北大では、強磁場コラボラトリー計画に沿って、25 T 無冷媒マグネットの開発も始まり、いよいよ商用線材による機器開発が始まる。

*注：なお、中国は ISIS2013 へ参加しておらず、Pj 関係の最新情報もないので、別紙表は昨年 2012 年のデータである。

禁無断転載

[超電導 Web2.1 トップページ](#)

超電導 Web2.1

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

特集：日本及び各国の国家プロジェクト動向

「高温超電導コイル基盤技術開発プロジェクト」

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 線材・パワー応用研究部
部長 和泉輝郎

本事業では、MRI 及び重粒子線加速器の医療機器を対象に高温超電導コイルシステムの実現を図ることを目的としている。本プロジェクトは、経済産業省からの 5 年間の委託事業であり、5 つの開発テーマから構成される。

MRI に関しては、ヘリウムの供給が懸念される中で、ヘリウム使用量を大幅に低減しつつ高分解能を目指して二つのテーマが設定されている。「①高温超電導定磁場コイルシステムの研究開発」では、従来の低温超電導コイルシステムと同等の性能等を目指した 3T-MRI を想定したコイル基盤技術を開発する。一方、「②高磁場コイルシステムの研究開発」では、従来の MRI と比較して更に高解像度化と計測各種の拡大を図った MRI 等に適用できる 10 T 程度までの高磁場を安定かつ均一に発生可能なコイル基盤技術の研究開発を行う。

重粒子線加速器を想定したテーマでは、装置の小型化、低コスト化をターゲットに科学技術用の超大型加速器、産業用回転機等への応用も期待できる高温超電導可変高磁場コイルの研究開発を行う。ここでは、「③シンクロトロン型加速器本体マグネット用コイル」及び「④粒子線ビーム経路部・照射部用コイル」のテーマにおいて、特徴的な可変磁場に対応した高温超電導コイルシステムの研究開発を行う。

これらの①～④のテーマにおいては、高温超電導線材を用いて実規模に近いサイズのコイルシステム技術の確立を目指すのに対し、更なる高性能化及び低コスト化を容易にするため、MRI 及び加速器用コイルに共通する基盤技術を開発する 5 番目のテーマとして「⑤共通基盤技術の研究開発」を実施する。ここでは、超電導線材の性能向上技術及びその線材を利用した高性能コイルの製作技術、液体ヘリウムを使用しないコイル冷却技術、超電導線材・コイル性能評価技術等の研究開発を行う。具体的には、ヘリウムフリーMRI を目指し、3 T 用では液体窒素中での運転を、10 T 用では 30 K 以上での運転を可能にする MRI を目指す。一方、重粒子線加速器、ガントリーとしては、小型・軽量化とともに、高速磁場変動下においても発熱を抑制可能な機器を目指す。開発項目としては、コイル技術開発として、磁化緩和や磁場中 I_c 特性などを評価する「イ）線材及びコイル基礎特性把握（含冷却技術）」と、コイル形状での効果の評価を行う「ロ）コイル化技術開発」を実施する。また、超電導線材技術としては、これまで短尺で得られている世界最高特性を長尺線材で実現する「ハ）磁場中高 I_c 線材長尺化」を実施する。更に、磁場変化運転に対応した「二）超低発熱線材開発（含超低抵抗接続技術・評価技術）」の技術開発も合わせて実施している。ここでは、接続部における発熱抑制も対象として、超低抵抗接続技術の開発も行う。代表的な目標としては、200m-600A/cm@65K, 3T や 1000A/cm@35K, 10T とともに 200 m-分割フィラメント幅 $\leq 500 \mu\text{m}$ - I_c バラツキ 5 %以下等の高い目標値が設定されており、いわゆる第三世代線材の開発を含んでいるものである。

[超電導 Web2.1 トップページ](#)

超電導 Web2.1

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

特集：日本及び各国の国家プロジェクト動向

「強磁場コラボトリにおける定常強磁場計画」

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
准教授 淡路 智

強磁場は、 μs から 100 ms 程度の短時間に高い磁場を発生するパルス強磁場と、分から時間オーダーの長時間の定常強磁場の 2 種類が存在し、当然磁場強度はパルス磁場の方が遙かに高い磁場を発生することが可能である。一方で、定常強磁場はパルスでは困難な測定に威力を発揮し、強磁場を用いた研究は双方が補完しあって実施されている。このため世界的な強磁場施設は、パルス強磁場と定常強磁場が一つの組織として連携することが主流となりつつある。日本では、東北大学金属材料研究所と物質材料研究機構が定常強磁場を、東大物性研と阪大極限センターがパルス強磁場を担ってきた。これを発展させ、定常・パルスの 4 施設が連携をとりネットワーク型の強磁場施設を形成する「強磁場コラボトリ（次世代強磁場施設）計画」（図 1）が、2011 年に日本学術会議が実施した「学術の大型施設計画・大規模研究計画のマスタープラン」として策定されている（<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/ogata/kakoiindex.html>）。現在マスタープランの改訂版「第 22 期学術の大型研究計画に関するマスタープラン（マスタープラン 2014）」を日本学術会議からの「提言」として提出すべく審議中であり、間もなく結果が発表される予定となっている（<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/ogata/>）。紙面の都合もあるので、ここでは超伝導技術が関係する強磁場コラボトリ計画における定常強磁場の部分に関してその概略を紹介する。

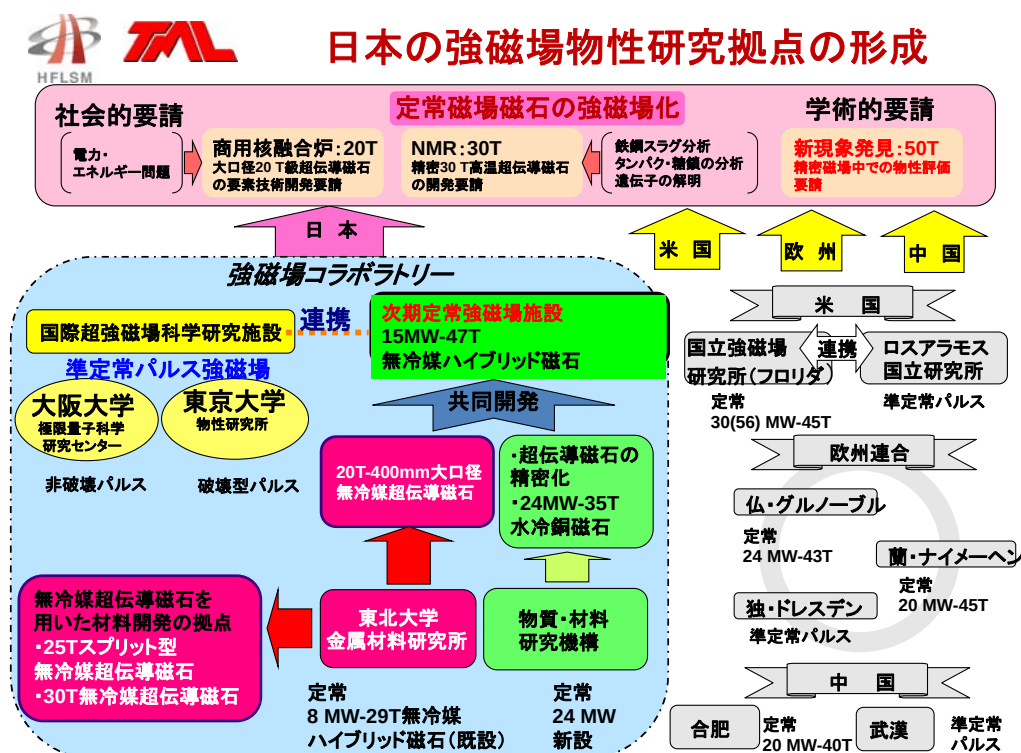


図 1 強磁場コラボトリ計画概要と位置づけ

超電導 Web2.1

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

30 T を越える定常強磁場は、大口径超伝導マグネットに大電力の水冷マグネットを組み合わせたハイブリッドマグネットによって発生する。世界的には、米国国立強磁場研究所 (NHMFL) が 32 MW-45 T ハイブリッドマグネットを有し、フランス、オランダ、中国は、20 MW 電源を導入した 40 - 45 T のハイブリッドマグネットを建設中である。日本は 15 MW-35 T の物材機構、8 MW-30 T の東北大と発生磁場で遅れをとっており、日本でも 40 T を越える強磁場設備の早急な導入が、ユーザーコミュニティ (強磁場フォーラム) から切望されている。これを受け、強磁場コラボラトリ計画では、物材機構と東北大が連携し、50 T 定常強磁場発生を中心とした計画を提案した (図 1)。この計画では、25 T 及び 30 T 無冷媒超伝導マグネットを東北大が開発する。ハイブリッドマグネット用の 20 T 大口径無冷媒超伝導マグネットも東北大が中心となって開発し、物材機構に新たに導入する 24 MW 電源を用いた 30 T 級水冷マグネットと組み合わせて 50 T 級無冷媒ハイブリッドマグネットとする。これに伴って、東北大は 30 T 無冷媒超伝導マグネットを中心とした複数の無冷媒超伝導マグネットにより長時間・高安定強磁場を提供し、物材機構は大電力を利用した 50 T 無冷媒ハイブリッドマグネットに加えて、複数の 30-35 T 級水冷マグネットを導入する計画である。定常強磁場に関するこれらの計画の主要部分は、まだ予算化に至っていないが、先行して 25 T 無冷媒超伝導マグネット開発が 2012 年度の補正予算で東北大に認められ、開発が進められている。この 25 T 無冷媒超伝導マグネットは、その先にある 30 T 無冷媒超伝導マグネットや 20 T 大口径無冷媒超伝導マグネットの R&D としての意味合いも含んでいる。これら、一連の定常強磁場マグネット開発には、高強度 Nb₃Sn 線材・導体技術、Y 系高温超伝導コイル技術、無冷媒マグネット技術など、東北大が培ってきた技術を集約する計画であり、世界的に類を見ない独創的な定常強磁場施設となる予定である。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web2.1

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

特集：日本及び各国の国家プロジェクト動向

「科学技術振興機構の Strategic-イノベーションプログラム」

科学技術振興機構・プログラムオフィサー
佐藤謙一

科学技術振興機構（JST）の”戦略的イノベーション創出推進プログラム“の”研究開発テーマとして 2009 年度にスタートした「超伝導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出」では五つのチームによる研究開発が進行中である。このプログラムの特徴は、①産学連携の複数の研究開発チームによる研究開発で、②長期一貫（最長 10 年）した研究開発を支援し、③研究開発チーム間の情報共有等を通じて、コンソーシアム形式による研究開発の相乗効果を最大限引き出すようプログラム運営を行うことである。参画機関は合計で 29 機関である。研究開発期間は、ステージⅢまでのステージに分けられ、各ステージでは中間評価により、次のステージへと進む。「産業創出の礎となる技術」を確立し、研究開発期間終了後、確立された産業創出の礎となる技術を基に実用化に向けた研究開発が継続され、その技術の普及によって新産業が創出されることを JST は期待している。

現在進行中の五つのチームによる研究開発課題を図 1 に示す。医療¹⁾・船舶²⁾・癌治療³⁾・高度計測⁴⁾・鉄道⁵⁾に関わり、いずれも我々の日常生活に関係深い課題である。

スタートして 5 年が経過し、それぞれの研究開発課題では順調に研究開発が進んでおり、また中間評価を実施し、次の研究開発ステージへと進んでいる。2012 年度までの成果を表 1 に示す。新しい超電導産業の創出が期待される。

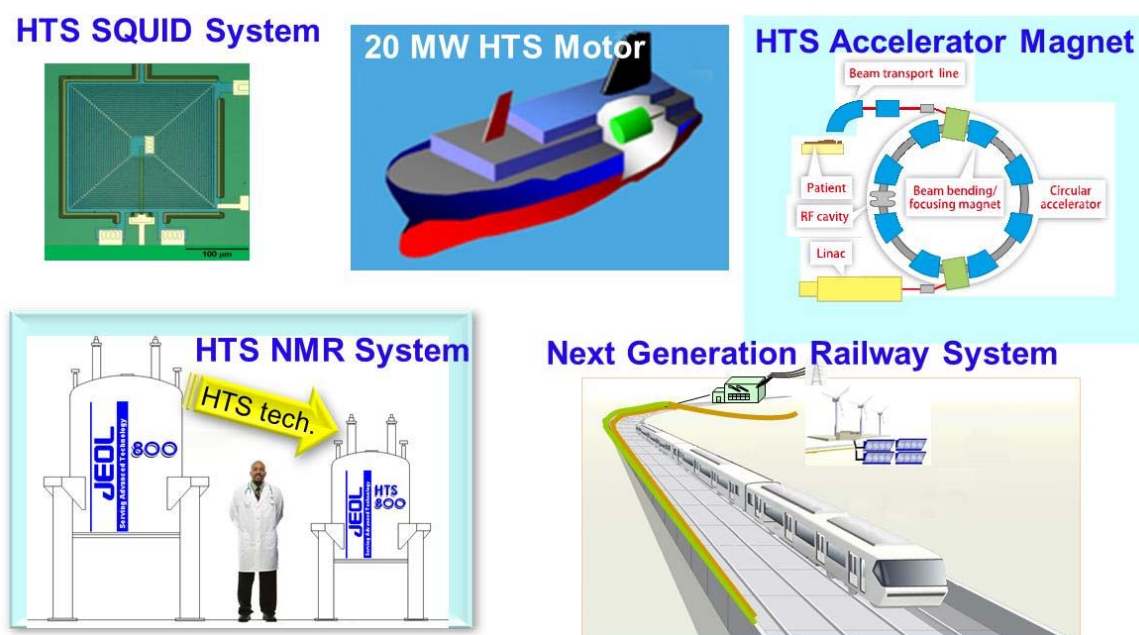


図 1 「超伝導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出」

超電導 Web2.1

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

表 1 「超伝導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出」成果

項目		合計件数
特許出願		19
発表	国内	233
	外国	129
論文	和文	24
	英文	64
広報		21

参考文献

- 1) 圓福敬二, 神鳥明彦, 安達成司, 塚田啓二, 田中三郎: 低温工学 48(2013)4.
- 2) 柳本俊之, 塚本修巳, 梅本勝弥, 林和彦, 加藤武志, 和泉充, 高尾智明, 福井聡, 藤本康孝: 低温工学 48(2013)12.
- 3) 雨宮尚之, 来栖努, 荻津透, 野田耕司, 森義治, 吉本政弘: 低温工学 48(2013)23.
- 4) 末松浩人, 田中良二, 高橋雅人, 前田秀明, 大嶋重利, 柳澤吉紀, 中込秀樹, 濱田衛, 松本真治, 木吉司: 低温工学 48(2013)31.
- 5) 富田優, 北口仁, 大崎博之, 下山淳一, 木須隆暢, 波多聰, 雨宮尚之, 為ヶ井強, 増田孝人, 玉田紀治: 低温工学 48(2013)39.

[超電導 Web2.1 トップページ](#)

超電導 Web2.1

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

特集：日本及び各国の国家プロジェクト動向

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
副所長 田辺圭一

新超電導および関連機能物質の探索と産業用超電導線材の応用【独立行政法人日本学術振興会 (JSPS) 補助；H21～25FY】

本プロジェクトは、日本学術振興会 (JSPS) の補助事業である「最先端研究開発支援プログラム (FIRSTプログラム)」に採択された30テーマの一つであり、中心研究者の細野秀雄 東京工業大学教授をリーダーとしている。この中で、東京工業大学 (細野グループ、原サブグループ)、物質材料研究機構 (室町グループ)、広島大学 (山中グループ)、京都大学 (影山グループ)、岡山大学 (野原グループ) からなる物質・機能探索チームが新物質探索を担当し、ISTEC (田辺グループ) と物質材料研究機構 (熊倉グループ) が線材応用チームとして、鉄系超電導材料および物質・機能探索チームが発見した有望な新超電導物質の薄膜線材やパウダー・イン・チューブ (PIT) 線材の開発を担当している。

物質探索においては、高く困難な目標である T_c が 77 K 以上の新超電導物質の発見には至っていないが、H23年夏の間評価段階で20以上の新母物質を発見するなど、世界をリードする成果が得られている。また、鉄系超電導材料に対しH-イオン置換による電子ドーピングというオリジナルな手法が確立され、超電導発現領域の全貌が明らかになるなど、超電導発現機構解明に繋がる成果が得られている。新機能に関しては、C12A7 ($12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$) エレクトライド材料に遷移金属を担持することにより、アンモニア合成触媒として優れた機能が得られることが見出され、実用化を目指した新しいプロジェクトに繋がっている。

線材開発に関しては、異方性の小さな122系の鉄系超電導材料に注目し、PLD法により、単結晶及び2軸配向IBAD-MgO付金属基板上に自己磁場中で 1 MA/cm^2 を超える高 J_c を有する薄膜の作製に成功すると共に、銅酸化物材料に比べ有利な粒界特性をもつこと、薄膜中に分散させたナノ粒子が強いピン止め中心として働き、磁場中 J_c が大幅に上昇することが見出されている。PIT線材では、プロセス改良により J_c が最近大幅に上昇し、4.2 K、10 Tにおいて実用レベルの 10^5 A/cm^2 に迫る値が得られている。最終目標のメートル長級の高 J_c 線材の実現を目指した研究開発が続けられている。

次世代 SQUITEM 機器開発・SQUID 磁力計開発【石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) 委託；H21～24FY】

本研究開発は、JOGMEC が所有する高温 SQUID 磁気センサを利用した電磁探査装置 (SQUITEM 1号機及び2号機) よりも地下深部についての取得データ精度が高く、可搬性・操作性に優れた装置 (SQUITEM 3号機) の開発を行うものである。平成 21 年 5 月から平成 22 年 6 月までの期間で試作機、平成 22 年 9 月から平成 24 年 2 月までの期間で実機の開発を行い、平成 24 年度にはオーストラリアの鉱山地区で性能実証試験を行った。ISTEC がノイズレベルの低い薄膜積層型の高温 SQUID 素子を含む SQUID 磁力計の開発、三井金属資源開発 (MINDECO) がシステムの制御とデータ収集・解析を行う受信機の開発を担当した。SQUITEM3号機は、総重量 26 kg と SQUITEM2

超電導 Web2.1

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

号機に比べ大幅に軽量化されると共に、1 桁高いスルーレート（磁場変化追従性能）と深部探査性能をもつことが実証された。



SQUITEM3 号機実機

次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発(金属資源探査技術の研究開発)金属資源探査のための **SQUID 磁場偏差計開発**【石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）委託；H21～26FY】

本研究開発の目的は、高温超電導量子干渉素子（SQUID）を用いた金属資源探査用の磁場偏差計の実現である。これは、H21-23年度に同じJOGMEC委託によりISTECと三井金属資源開発（MINDECO）が開発を担当した高温SQUID磁力計を用いた電磁探査装置実用機（SQUITEM3）と異なり、地磁気偏差の異常を検知することによる金属資源探査への適用をねらいとしたものである。高感度に地磁気偏差を計測するためには、SQUID素子の磁場感度の向上と共に、2つの検出コイルの間隔（ベースライン長）を長くする必要がある。本研究開発を担当するISTECでは、Y系超電導線材を検出コイルに用いたベースライン長が数10 cmの一体化型の高温SQUID磁場偏差計や、2つ以上の高温SQUID素子を用い、その検出信号の差分を取ることで磁場偏差を計測する電気差分方式の磁場偏差計等の開発を進め、最終的に移動しながらの地磁気偏差の計測が可能なコンパクトな磁場偏差計実用機の実現を目指している。

高感度磁気センサ(SQUID)を用いた広域電磁検層システムの開発【JOGMEC 委託;H24 FY～】

本研究開発は、石油貯留層特性解析や石油増進回収法（EOR）モニタリングへ適用が進められている坑井を利用した電磁探査法に関し、低周波でも高感度な高温超電導磁気センサ（SQUID）を利用することで、坑井近傍のみならずより広域の比抵抗値の分布や変化量の評価や鋼管ケーシングを通した電磁検層を可能とする革新的な新技術の実現をねらいとしている。H24 年度は、「石油・天然ガス開発分野における革新的技術研究テーマ」公募の中で ISTEC と MINDECO が基礎検討を行い、その結果を基に H25 年度は「平成 25 年度技術ソリューション事業（技術開発・実証プロセス）」

超電導 Web2.1

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

(1 号技術開発)」の中で、広域電磁検層システム実現に必要な要素技術として、坑井中 1000 m 深度でデータ取得が可能な SQUID 磁力計要素技術（クライオスタット内蔵耐圧耐熱容器、SQUID 遠距離制御、データ収集技術等）、解析及び送受信システム要素技術（測定、解析方法、送受信システムの概念設計等）の開発が行われており、数年後の国内実証用試作システムの実現を目指している。

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web2.1

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

特集：日本及び各国の国家プロジェクト動向

「高温超電導直流送電システムの実証研究（石狩プロジェクト）」

学校法人 中部大学
超伝導・持続可能エネルギー研究センター
教授 筑本知子

本実証研究は、経済産業省の委託研究 平成 24 年度「高温超電導直流送電システムの実証研究」により開始されたもので、高温超電導直流送電システムを北海道石狩湾新港地域に設置し、実系統等から直流での電力需要を有するデータセンター等に対して、実際に課通電試験を行うことで、技術的、制度的な課題の抽出を行うことを目的としている。

設置する試作システムの概要を表 1 にまとめるが、回線 1 で、太陽電池等ローカルな直流電源と接続して直流電源との接続及び通電安定性を検証し、また、回線 2 では、既存の送配電交流系統に接続して公共道路沿いに長尺ルートで構築するという二つの異なるモデルを検証することで、将来の実用化に向けたトータルシステムとして各種の技術的、制度的な課題を抽出、整理を行う。

技術的には将来の長尺ルートの敷設を念頭におき、以下の項目を実証する。

1. 世界初の複数箇所のケーブル接続と冷却時の熱収縮対策の実証。
2. 長尺ケーブル線路では必須となる大容量冷凍機をケーブル用冷却システムに使用し、長距離冷却が可能であることを実証。
3. ケーブルシステムの冷却効率向上のため、低熱侵入および低圧力損失特性が、現時点で期待される直管タイプ断熱管の長尺特性を実証。

この他、国内初の超電導ケーブルの公道地下埋設、電気事業法での扱い等、今後の安全性規制ルールを決める際の先例となるため、事業化のための制度的な課題を抽出することができると期待される。

表 1 試作システムの概要

設置場所		北海道・石狩湾新港地域
送電方式		直流
送電ケーブル		高温超電導ケーブル (BSCCO 線材 (住友電工製))
回線 1	送電距離	約 500 m (中間接続部あり)
	発電設備	太陽電池等の直流電源
	需要施設	さくらインターネット株式会社 石狩データセンター
	送電ケーブルの送電容量	50 MW 程度
回線 2	送電距離	約 2 km (中間接続部あり)
	計画送電元 (発電設備)	商用交流電源
	計画送電先	直流負荷等
	送電ケーブルの送電容量	50 MW 程度

超電導 Web2.1

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

この実証研究は、当初は千代田化工、中部大学、住友電工、さくらインターネットの四社のコンソーシアム方式でスタートし、平成 26 年 1 月 20 日にこの 4 社により石狩超電導・直流送電システム技術研究組合（略称:I-SPOT）が設立され、以降は技術研究組合を中心に実施されることになっている。なお、各社の役割分担をおおまかに分けると千代田化工は主に冷却設備配管の製作、中部大学は設計に関わる事前検討試験の他、端末や断熱二重管の設計、住友電工はケーブル製造及び敷設（中間接続部含む）、さくらインターネットは太陽電池からの直流電力供給システム、データセンターへの接続システムを担当している。

平成 26 年 3 月現在試作システムの基本設計と回線 1 に関する各部品の製作はほぼ完了しており、5 月頃から本格的に敷設工事が開始される見込みで、平成 26 年度末までに回線 1 については、竣工試験および試運転を完了、回線 2 については、試作システムの敷設の完了を予定している。

[超電導 Web2.1 トップページ](#)

超電導 Web2.1

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

特集：日本及び各国の国家プロジェクト動向

「日本の国プロ— 10 MW 超級風車の調査研究 (10 MW 超級風車用超電導発電機の要素技術研究開発)」

独立行政法人 産業技術総合研究所
エネルギー技術研究部門 超電導技術グループ長
山崎裕文

自然エネルギー導入量の飛躍的拡大は、我が国が取り組むべき最重要課題の一つであり、風力発電に関しては、発電サイトの総発電容量を増大させ発電コストの低減をもたらす風車の大型化と洋上への拡大が大きなトレンドとなっている。このため、NEDO 新エネルギー部では、風力発電高度実用化研究開発事業の中で「10 MW 超級風車の調査研究 (平成 25～26 年度)」を実施することになった。本研究開発テーマは「風車全体の概念設計」と「次世代発電機」の 2 つに大別され、産総研・古河電工 (新潟大学・上智大学)・前川製作所 (東京大学) のチームは、後者のカテゴリで 10 MW 超級風車用超電導発電機を製作するための要素技術の研究開発を行う。

風車用発電機の大容量化に伴って増速器 (ギア・ボックス) が技術的限界に達すると見られることから増速機を用いないダイレクト・ドライブ方式が有望視されているが、現用技術の延長では大容量化に伴う体格・重量の増大やコスト増が大きな問題として懸念されている¹⁾。高電流密度・高磁界を特長とする超電導技術を利用することで小型軽量の大容量発電機を製作できることが最近の設計研究で示されており²⁾、それが実現すれば、洋上風力発電の普及拡大を大きく促進することが期待される。大型風車用超電導発電機の電磁設計を行ったところ、空心コイル方式 (回転子のみ超電導) で発電機の超小型軽量化が可能であるが、高価な高温超電導線材を大量に使用するため、10 MW 級発電機に期待される 3～4 億円というコストの実現は困難であることが分かった。回転子に鉄心利用超電導コイルを用いても従来型発電機の半分程度に軽量化できるため³⁾、近い将来の線材価格を前提にして、線材利用量が 1 桁程度小さい鉄心利用方式を採用することにした。そして、鉄心 (インナーヨーク) 全体を冷却することは困難であるので、鉄心の各突極の回りに配置される超電導コイルのみを冷却するコイルモジュール方式 (図) を採用する。

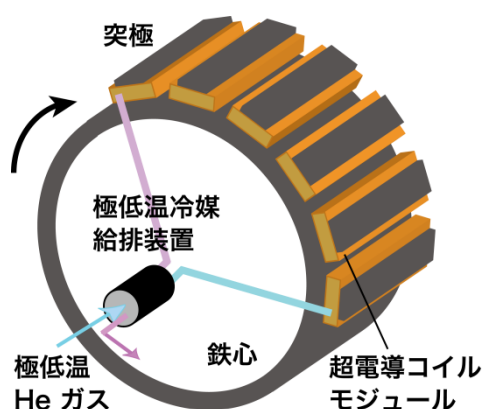


図 突極型超電導回転子と極低温冷媒給排装置の概念図

超電導 Web2.1

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

本調査研究では、鉄心利用超電導発電機を製作するための重要な要素技術である 3 つのキーコンポーネント：(1) 超電導コイルモジュール、(2) 高信頼性極低温冷凍機、(3) 超電導回転子用冷媒給排装置について研究開発を行う。さらに、上記 3 つのキーコンポーネントの研究開発成果を活用し、コスト試算も含めた発電機全体の評価を行って、10 MW 超級風車に用いる超電導発電機の実現可能性を実証する。

参考文献：

- 1) 野澤哲夫：日経エレクトロニクス, 1110 号, pp. 63–71 (2013).
- 2) 福井 聡：低温工学, 47 巻 6 号, pp. 362–369 (2012).
- 3) Y. Terao, M. Sekino and H. Ohsaki: IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 23, p. 5200904 (2013).

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web2.1

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

超電導関連 ‘14/3 月－4 月の催し物案内

3/2-4

超伝導ウィンターセミナー SIS2014-02-26

長野（ラフォーレ志賀）

http://www.csj.or.jp/communication/2013/sis_0302.pdf

3/7

第 4 回超電導応用研究会／第 2 回 HTS 冷却システム検討会シンポジウム

住友電気工業 大阪製作所

http://www.csj.or.jp/application/2013/4th_0307.pdf

3/10

多ピクセル超伝導検出器で探る材料、核物質、宇宙の謎

全日通霞ヶ関ビル

<http://www.sntt.or.jp/~fsst/20140310.html>

3/12

第二回 CRAVITY シンポジウム

産業技術総合研究所つくば

http://www.csj.or.jp/communication/2013/cravity_2nd_0312.pdf

3/11-12

Industrieverband Supraleitung – iv supra

Beethovenhalle, Bonn

<http://www.ivsupra.de/>

3/17

磁場が明らかにする科学現象と材料創世

早稲田大学先端科学健康医療融合研究機構

<http://www.magnetics.jp/seminar/topical/195.html>

3/17-20

応用物理学会春季学術講演会

青山学院大学相模原キャンパス

<http://www.jsap.or.jp/index.html>

3/20

渋谷カフェ「超伝導でノーベル賞をもらった人たち」

東京都市大学・渋谷サテライトクラス

<https://www.sciencecommunication.jp/evmpelnkb-1008/>

超電導 Web2.1

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

3/25

International Symposium on DC Superconducting Power Transmission Line in Chubu University,
Japan
中部大学

3/27-30

物理学会
東海大学湘南キャンパス
<http://www.jps.or.jp/activities/meetings/future.html>

4/1-5

2013 MRS Spring Meeting & Exhibit
San Fransisco, USA
<http://www.mrs.org/spring2013/>

4/15

第 40 回シンポジウム/第 17 回超電導科学技術賞授賞式
タワーホール船堀
<http://www.sntt.or.jp/~fsst/20140415.html>

4/17,18

マイクロ波超伝導／マイクロ波一般 研究会
機械振興会館
<http://www.ieice.org/es/sce/jpn/>

[超電導 Web21 トップページ](#)

超電導 Web2.1

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

新聞ヘッドライン (1/20-2/20)

- 〈解〉超電導磁石 大阪読売新聞朝刊 1/20
- 超電導コイル、世界最大級、原子力機構、核融合実験装置向け 日経産業新聞 1/23
- 超伝導技術 鉄道・船・EV…日本勢が先行 パワーに加え省エネ効果も 日経ヴェリタス 2/02
- 千代田化工など、超電導送電、事業化へ 技術研究組合を設立 日経産業新聞 2/06
- 14 年・トップが語る 住友電気工業 松本正義社長 大阪読売新聞 朝刊 2/09
- 科学の扉 マイナス水素の力 できるか新素材・室温超伝導 朝日新聞 朝刊 2/10
- 古河電工 スペインの超電導現状分析 NEDO から調査受託 鉄鋼新聞 2/14
- 「国際標準」日本が発信 統一規格ない分野、国が後押し 朝日新聞 2/20

(編集局)

[超電導 Web21 トップページ](#)

世界の動き (2013 年 12 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

▶医療機器

超低磁場 MRI 用の部材開発

National Institute of Standards and Technology (2013 年 12 月 6 日)

米国標準技術研究所 (NIST) は、超低磁場磁気共鳴画像 (ULF-MRI) として知られる実験用医療画像処理の校正に利用される試作ファントム*を開発した。NIST では既に、ULF-MRI システム校正用の実験ファントム 2 体の設計、構築、そして実証試験が完了している。具体的には、ULF-MRI システムの性能を定量的に評価し、画像処理技術の検証を行い、さらには様々な実験および臨床 MRI スキャナを経て、直接的に比較分析できるようになる。ULF-MRI は、一部の MRI スキャンの組織コントラストを高め、特に従来の MRI を用いて識別が困難とされる前立腺腫瘍を可視化するのに有用である。ULF-MRI はこれまでも、実験的に脳の画像化、そして空港での液体物検査のために使用されてきた。従来の MRI よりもはるかに低磁場(マイクロテスラの範囲)で作動する ULF-MRI 機器は、単純設計で軽量、その上通常の MRI スキャナよりも安価である。このような低磁場で作動するには、高感度磁力計として働く超電導量子干渉素子 (SQUID) が必要となるため、脳磁気図検査などのように、ULF-MRI と SQUID を利用した他の画像処理技術を結合させることが有利とされている。

超電導 Web2.1

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

Source:

“NIST calibration tools to encourage use of novel medical imaging technique”

National Institute of Standards and Technology press release (December 6, 2013)

URL: <http://www.nist.gov/pml/electromagnetics/ulf-120313.cfm>

Contact: Laura Ost, laura.ost@nist.gov

*ファントム：MRI 造影用、CT 測定用、X 線撮影用など、医療画像のデータ解析や各種医療機器の性能評価に使われる人体近似性の高い PVA 素材で作られた様々な部位（肝臓、心臓、胃、眼球、脂肪、脳脊髄、皮膚等）、形状、用途に応じた部材。



世界初の冷凍機ヘリウム再液化 900 MHz-NMR

Bruker Corporation (2013 年 12 月 11 日)

Bruker 社は、カリフォルニア大学サンディエゴ校（UCSD）に、画期的な冷凍システム付きの世界初コンパクト型一階建て NMR 磁石、Ascend™ Aeon 900 MHz 磁石を成功裏に設置した。Aeon 磁石には、高度な“ヘリウム再液化”冷凍技術が含まれており、これによって液体ヘリウムを寒剤として定期的に補充することが不要となる。この冷凍システムを利用することによって、長期に亘ってユーザー側でのメンテナンスフリーが実現し、本質的にヘリウム消費を無くすることが可能となる。また、超電導体や接合技術、そして新しい磁石設計の進捗の結果、さらに小型化した Ascend Aeon 磁石は、従来の 900 MHz 磁石が必要とする二階建て研究所とは異なり、一階建て研究所でインストールすることができる。この新しい磁石の開発は、潜在的なヘリウム不足やヘリウム原価の値上がり懸念に対して、直接的な役割を示すものである。この磁石は、タンパク質分子の画像処理のため、UCSD バイオメディカル技術研究センターで使用されることになっている。

Source:

“Bruker Corporation Announces Successful Installation of World’s First Compact 900 MHz Actively Refrigerated Magnet for NMR Spectroscopy”

Bruker Corporation press release (December 11, 2013)

URL: <http://ir.bruker.com/phoenix.zhtml?c=121496&p=irol-newsArticle&ID=1883824&highlight>

Contact: Dr. Thorsten Thiel, Director of Marketing Communications, thorsten.thiel@bruker.com

▶マグネット

UNIVERSITY OF TWENTE. 核融合用超電導導体の開発

University of Twente (2013 年 12 月 14 日)

トゥウェンテ大学の超電導研究グループは、クリーンで無尽蔵とも言えるエネルギーを作り出す核融合炉実現に向けて、必要不可欠な革新的技術開発について報告した。この新開発で最も重要な要素は、巧妙かつ堅牢な超電導ケーブルシステムの開発であり、超高温で熱エネルギーを発生するプラズマを融合炉の炉心で制御する強磁場（13 T）を生成する際に必要とされる。この新しいケーブ

超電導 Web2.1

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

ルは、撚り線工程に巧妙な手法を使い、加熱の影響を受けにくくしたため、プラズマを制御する可能性が大いに高まる。全高 13 m のコイル 6 本に巻回してできた手首ほどの太さのケーブルは、厚さ 0.8 mm で織り合わされた線材で作られている。まず、超電導ニオブ・スズでできた 2 本の線材が 1 本の銅線で束ねられ、不意に超電導状態が突然崩れた際に起こる加熱に対して、ケーブルが耐えられるようにする。次いで、これら第一段階の線材 3 本が互いに撚り合わされ、必要な厚さに達するまで撚り線工程を継続する。

第一撚り線段階でのピッチを増やすだけでもケーブルは巨大な機械的応力に耐え、強力な歪みを防ぐ能力が備わるため、連続撚り線工程でのピッチと（次の撚り線間との）相互割合は、ケーブル性能に極めて重要であると言える。驚くべきことに、この新しい“ピッチ割合”により、線材間の電流量が大幅に低減し、ケーブルの加熱が抑制され、超電導状態が持続できる結果となった。

Source:

“Breakthrough: One Step Closer to Nuclear Fusion Power Station”

University of Twente press release (December 14, 2013)

URL:

<http://www.utwente.nl/en/newsevents/2013/12/136596/breakthrough-one-step-closer-to-nuclear-fusion-power-station>

Contact: Hinke Barry-Mulder, h.mulder-1@utwente.nl

▶経営・決算

超電導 AmpaCity プロジェクトで表彰される

Nexans (2013 年 12 月 20 日)

ドイツ第 2 位の大手電力会社である RWE*は、技術革新における権威あるサプライヤー賞を Nexans 社に授与した。この賞は、ドイツのエッセン市内に超電導電力ケーブルを導入するという AmpaCity プロジェクトの一環での Nexans 社の努力が讃えられたものである。この導入では、送電中の超電導能力とその低損失を実証するため、全長 1 km に及ぶ 10 kV 級超電導ケーブルが使用される。このケーブルは、HTS テープで製造される世界最長の三相同軸型超電導ケーブルであり、液体窒素を利用して冷却される。Nexans 社製造の超電導限流器と組み合わせて使用されれば、新しい 40-MW 級リンク（連動装置）が、従来の 110 kV 装置に置き換えられ、将来、都市部での高圧変電所がどのようにして取り除かれていくかを把握できることになる。

Source:

“RWE presents Nexans with 2013 Supplier Award for Innovation for AmpaCity superconductor project”

Nexans press release (December 20, 2013)

URL : http://www.nexans.com/Corporate/2013/131220-Nexans_RWE_Innovation_Award_GB.pdf
http://www.nexans.lt/eservice/Sweden-en/navigatepub_153087_-33356_236_40_3120/RWE_presents_Nexans_with_2013_Supplier_Award_for_I.html

超電導 Web2.1

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

Contact: Eva Wallin, eva.wallin@nexans.com

Angéline Afanoukoe, Angeline.afanoukoe@nexans.com

* Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG、ライン・ヴェストファーレン電力会社はドイツ・エッセンに本社を置く大手エネルギー会社。E.ON に次ぐドイツ第二位の電力会社で、世界で電力・ガス・水道会社の大型買収を進め、世界有数の公益会社。

= 業界各社トップの考え

2014 年が始まり、各社トップの事業への姿勢が発表されている (MSN 産経ニュース¹⁾)。ここでは、超電導および世界の動きに関係する部分を拾った。各社の参考にしていただきたい。2014.1.26 [始動・躍動 2014 年] MSN 産経ニュース¹⁾

「強豪ヨーロッパのシェアを奪回していく」、住友電工・松本正義社長²⁾

○ 現在の電力ケーブル市場をどうみているか

「15 年ほど前に需要が低迷し、業界では再編が進んだが、今後は世界で再生可能エネルギーへの移行が進み、電力ケーブルの需要が増えてくる。…中略…強豪であるヨーロッパ企業のシェアを奪回していく」

○ 世界で唯一量産化に成功している超電導線の需要は

「海外ではドイツ*とロシアでわれわれの超電導材料を使った実験をしている。ドイツは北海沿岸の風力発電による電力を南部の工業地帯に送る地中ケーブル向けだ。ロシアは極寒のシベリアを開発するのに、架空電線では凍る可能性があるため、地中に電線を通す実験をしている」

*編集部注：参考 上記 Nexans ニュース

○ レドックスフローと呼ばれる大型蓄電池の状況は

「昨年、再生可能エネルギーの導入を進めている米カリフォルニア州が 2020 年までに 3 大電力会社に対して 1300 メガワットの蓄電池を備えることを義務化した法案が成立し、注目している。国内でも（オフィスビルのバックアップ電源として）建設会社などから引き合いがある。…後略」

編集部注）やはり再生可能エネ分野を中心に回る。ケーブルはもちろん、レドックスフローと同種のエネルギー蓄積装置として超電導にも SMES がある。超電導も再生可能エネ分野で大きな役割を果たせると思われる。

会長になったら「私がリニア新幹線を担当する」、JR 東海・山田佳臣社長³⁾

○ 平成 26 年度にはリニア中央新幹線が着工する

「夏の早いころに具体的な工事の準備にかかれればと思っている。…後略」

○ 関西では東京一名古屋間と大阪までの同時開業を求める声が高まっている

「大阪まではわれわれも早くしたいとは思っているが、事業費の負担を考えると慎重にならざるを

超電導 Web2.1

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

えない。…後略」

編集部注) 営業開始は 2027 年であるが、超電導リニアが工事段階から動きだせば、多くのマスコミに取り上げられ、高温超電導もそのたびに注目される。現状はリニアの超電導コイルは、金属系 NbTi 超電導線であるが、高温超電導による可能性が高まることを期待したい。

「電力自由化はチャンス」大阪ガス・尾崎裕社長⁴⁾

○ 電力事業の営業利益を上方修正するなど好調だ

「前略 電力自由化の到来は、ビジネスチャンスとなる。今後の電力事業を考えると、首都圏は最も成長する市場。新たなエネルギービジネスをやるには魅力的だ」

「(首都圏への電力供給をにらみ) 国内の発電設備を増強する。…中略… 小ぶりの発電所もつくれないか、立地場所を物色している」

○ 電力事業での収益目標は

「自由化とは競争。電気料金が下がっていくことを意味する。本格参入したからといって、大きな収益が上がると考えるのは楽観的過ぎる。長期的な目標を設定し一定規模のマーケットを取っていく」

○ 液化天然ガス (LNG) 調達価格の低減に向けた取り組みは

「LNG の年間取扱量のうち、15 %を自社権益にしようと掲げているが、30 %を新たな目標としたい。平成 29 年度に米国からの LNG 輸入が始まり、今の市況ならガス価格の低下は期待できるが…後略」

編集部注) 昨今のエネルギー需給体制の大きな変化のなか、超電導を使った提案も生かせるチャンスが出てくる。超電導が先進技術としてだけでなく、コスト低減に役立てば導入が加速される。米国のシェールガスほか、再生可能エネルギーなど多様なエネルギー源の動きは、超電導の応用にも大きな影響を与える。

Source:

- 1) http://sankei.jp.msn.com/west/west_life/topics/west_life-21661-t1.htm
- 2) http://sankei.jp.msn.com/west/west_economy/news/140126/wec14012610000003-n1.htm
- 3) http://sankei.jp.msn.com/west/west_economy/news/140126/wec14012611010004-n1.htm
- 4) http://sankei.jp.msn.com/west/west_economy/news/140112/wec14011211000002-n1.htm

= フジクラ、イットリウム系高温超電導関連のグローバルサイトを開設

フジクラは、世界に向けてイットリウム (Y) 系高温超電導関連の最新情報を発信するため、下記のグローバルサイトを開設した。Y 系高温超電導線材のビジネス拡大に向けた超電導線材の量産体制拡大、関連ビジネスの拡大を図っていく。

<http://www.fujikura.com/solutions/superconductingwire/>

超電導 Web2.1

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

http://www.fujikura.co.jp/f-news/2038369_4018.html

= 米国の超電導リニア構想：首相訪米時提案

= 米国リニア導入促進議員団山梨現地視察

毎日新聞によれば¹⁾⁻³⁾、昨年 2 月の安倍晋三首相－オバマ米大統領のワシントン会談で、米国に超電導リニア新幹線を導入する構想について、国際協力銀行を通じて大型融資（(下記 2 の) 総工費約 1 兆円の内、5000 億円規模）する意向を伝えていた。

米国のリニア新幹線構想の路線案は、

1. ワシントン－ニューヨーク－ボストン間（約 730 キロ）
 2. ワシントン－ボルティモア間（約 60 キロ）を早期開業区間
- 現在、この区間は約 1 時間かかるが、リニアを導入すると 15 分程度

首相は昨年 9 月の訪米時に講演した際も、「まずはボルティモアとワシントンをつないでしまおう」とアピール。ワシントン－ボルティモア間は大幅に短いため、14 年中に計画が具体化すれば、27 年開業予定のリニア中央新幹線より早く実現し、世界初になる。他方、日本にとっては、リニア技術が海外で採用されれば、国内関連産業の活性化およびリニア導入コストを引き下げるメリットもある。

なお、過去日本政府の対外融資では、オーストラリアの液化天然ガス（LNG）事業（12 年末）への 4250 億円（1 ドル 85 円換算）が最大とのことで、今回はそれを超え、政府の期待の大きさ、意気込みがわかる。

また、これに呼応して米国議員団が昨年末に JR 東海のリニア試験場現地を訪れ視察したこともニューヨークタイムズ紙で報じられている⁴⁾。彼らは元ニューヨーク市長（2007 まで）の George E. Pataki 氏ほかで、ワシントンにある The Northeast Maglev, LCC⁵⁾（ワシントン－ニューヨーク間（北東回廊*））を結ぶマグレブ建設促進のための会社（2010 年設立）の顧問団である。彼らは、実際に超電導による走行を体感し、米国東部心臓部を結ぶ北東回廊*鉄道ライン建設の意向を強めた。実現すれば、長時間混雑して走っているワシントン－ニューヨーク間の鉄道 Amtrak 社の Acela による移動時間が 1 時間程度に短縮され、飛行機の手続きを含む所用時間に比べても大幅に短く、多いに魅力的である。

*北東回廊（NorthEast Corridor）：アムトラック（Amtrak、全米旅客鉄道公社）の高速列車「アセラ・エクスプレス（Acela Express）」が、同区間を最高速度 240km/h、全線約 7 時間⁶⁾で走っている。

Source:

1)毎日新聞 2014 年 01 月 05 日

2) <http://mainichi.jp/select/news/20140105k0000m010070000c.html>

3) <http://sp.mainichi.jp/shimen/news/m20140105ddm001020118000c.html>

4) The New York Times, Nov. 13, 2013, “Japan Pitches Its High-Speed Train With an Offer to Finance”

超電導 Web2.1

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

- 4) <http://northeastmaglev.com/> 超電導リニアの快適性、安全性が PR されている。
 5) <http://www.railplanet.net/archives/2189>

= 豊橋技大の SQUID 式超低磁場 NMR/MRI 技術の開発

豊橋技大では、SQUID 式超低磁場 NMR/MRI 技術を開発している (Superconductor Week 誌の最近号¹⁾)。これは愛知県の”知の拠点”プロジェクトのプロジェクト 2 “食の安心・安全技術開発”プロジェクトの一環である。先端計測技術を用いて、高精度・迅速・安価の食品中の有害化学物質、固形異物、細菌等を検出するのが目的であるが、豊橋技大の廿日出好准教授は、高温超電導の YBCO SQUID により食物検査のための超低磁場 MRI を開発している。

NMR/MRI は通常数 T 以上の高磁場中で計測されるが、これを数 μ T ~ 数 10μ T の超低磁場で行うことができれば、装置の大幅な小型化や低コスト化が実現する。また金属等がある場合でも計測が可能となる。同大では、高温超伝導 SQUID と数 10μ T の超低磁場を用いた SQUID 式超低磁場 NMR/MRI 装置の開発を行なっている。これまでに水分を主な対象とし、プロトンの NMR 信号の取得、1 次および 2 次元 MRI の撮影に成功している。このような簡易で低コストな NMR/MRI は食品検査や非破壊検査に応用が可能であり、食品中異物検査への応用を目指している。

Source:

1) Superconductor Week 27(22), 2013 Dec.17, p3.

= 世界最大級超伝導コイル搬入、直径 10.5 m 那珂核融合研

世界最大級の超伝導コイル (直径 10.5 メートル、重さ 32 トン) が、日本原子力研究開発機構那珂核融合研究所 (那珂市向山) に 1 月 22 日搬入された。臨界プラズマ試験装置「JT-60SA」のプラズマの形状を制御するためのものである。超電導コイルは、強力な磁場により核融合炉の真空容器内のプラズマの形状を制御する。ほぼ球形の真空容器を囲むように間隔を開けて上下に 6 個重ねて設置される。

JT-60SA は日本など 6 カ国と欧州が連携し、フランスに建設中の国際熱核融合実験炉 (ITER) の関連施設。2013 年 1 月に組み立て作業が始まり、今年 4 月からはこの日のコイルを上回る直径 12 メートルのコイルを製作し、19 年 3 月の本体稼働の予定である。

Source:

茨城新聞 2014 年 1 月 23 日 (木)

http://ibarakinews.jp/news/news.php?f_jun=13903978788307

<http://www.youtube.com/watch?v=hMZxJ3fZ59A>

[超電導 Web2.1 トップページ](#)

超電導 Web2.1

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

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

欧州の超電導大型風力

本誌 2013 年 11 月号でも既報の通り、欧州において Tecnolia 社、カールスルーヘ研他 9 機関が参加して超電導大型風力の開発を進めている。

内容の概略は、

- ・軽い MgB_2 線材を使った 10 MW 機
- ・要素試験：モジュラー式回転クライオスタットの冷却系開発
- ・要素試験：500 kW 級のモデルコイル
- ・概念設計：10 MW 機
- ・期間 : 4 年 (2013-2016)

最近の情報によれば¹⁾、予算は 5.1 億円であるが、今年度すでに 500 kW モデル機の設計を終わり、2015 年中場までに 10 MW 機の設計を行う予定である。

コストに関しては、同社によれば、 MgB_2 線では問題ではないとのこと。この風力の装置では 41 \$/kAm (動作環境 20 K, 1.8 T) の値段が必要であるが、すでに市販 MgB_2 線ではこれをクリアしている。今回の装置では、 $I_c=100 \text{ A/mm}^2$ 、長さ 500 m、均一度 95 %が必要であり、曲げ径限界は 150 mm である。

今回の MgB_2 による超電導発電機はすでに従来の常電導の永久磁石式発電機のコストレベルに入っている。しかも、非常に軽い (Mg も B も比重が軽い。他方永久磁石の元素は非常に重い)。彼らによれば、冷却も今回の冷凍機冷却式を使うことで信頼性が高くなり、コストも永久磁石式と同等レベルになるという。

Source:

1) Superconductor Week 27(23), 2013 Dec.28, p1.

洋上風力のコスト実績まとまる：経産省

上記例のように超電導を使った風力の検討が欧州ほか米国、日本で進んでいる。超電導は特に大型化に威力を発揮し、福島沖合 7 MW 機などで知られる大型洋上風力に効果がある。しかしながら、これまで洋上風力に関しては運転実績がないため、コスト報告例がなかったが、最近、経産省から、実際の国内の洋上風力の実績に基づくコスト試算がでた¹⁾。風力発電の超電導化を検討するためにも重要な情報であるので要旨を報告する。

今回の実績調査から、洋上風力の FIT 価格が高めに設定されるであろう。高価格帯が可能な設備投資になれば、その際には新技術を導入するチャンスも増えると思われる (ただし、買い取り終了の 20 年後には他電源と争える価格帯にできなくてはならない)。

超電導 Web2.1

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

結果：詳細は下記に示す。

運転実績値（銚子沖、北九州沖）

資本費（設備ほか）	139 万円/kW	153.9 万円/kW
運転維持費	3.7 万円/kW/年	6.2 万円/kW/年

事業化コスト低減努力で、それぞれ 54-79 万円/kW、1.5～3.0 万円/kW/年* になった。

NEDO 調査報告によると、陸上実績²⁾のシステム価格が 20-35 万円/kW であるので、洋上実績はその 4-7.5 倍、事業化努力でその 2 倍から 3 倍程度となる。

時間当たりの運転維持費は、銚子沖の設備利用率 30 %を使って上記*から計算すると、5.7～11.4 円/kWhになる。これは、他電源と比べて大いに競争力がある。

背景：最近始まった固定価格買取制度により、再生可能エネルギーの大幅な導入がなされている。買い取り価格に関しては、太陽光、風力、地熱など電源別に、電気の調達価格が設定されているが、このうち、風力では、既に事業化されている陸上風力の実績をもとにしていた。当然、洋上に作る洋上風力ではコストが高く、本来の制度主旨である導入促進のためには、買い取り価格にも差をつけることが考えうる。

調査方法：日本でも着床式洋上風力の銚子沖、北九州沖の運転実績が出てきた。よって、具体的なコスト検討ができる見通しが立ったため、経産省が主宰し外部有識者からなる研究会で各種実証事業のデータ、コスト動向等の整理を行なった。今冬開催される調達価格等算定委員会に諮り、来年度の調達価格に反映される。

（経産省 HP から¹⁾）

新聞などで報道されているように、FIT 価格に新たに洋上風力分が設定される可能性が高い。現行では、洋上、陸上の区別なく、一律従来の陸上風力の実績による 22 円/kWh の価格のみが設定されている。今回、洋上の実績が出てきたので、来年度の買い取り価格には洋上風力の FIT 価格が（すなわち、高めに）設定されると思われる。

FIT 価格での買い取りは 20 年続き、その間に業界でのコストダウン努力が続き（太陽光の分野で実際に起きているように）買い取り価格もさがり、最終的には他電源と争える価格帯*になることが期待されている。

*注意：電力料金は、「再生可能エネルギー発電促進賦課金」および「太陽光発電促進付加金」、さらに消費税を加えたものになる。

**** 経産省からの洋上風力コストの調査結果 ****

2014 年 1 月 7 日発表の経産省調査資料¹⁾による。

① 洋上実績

- ・費用実績調査方法：1) 銚子沖洋上風力 2.4MW 機から、2) 北九州沖 2MW 機から事業者へヒアリング

- ・費用実態結果：

超電導 Web2.1

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

- 1) 銚子 2.4 MW 機 資本費* 33.5 億円 (139 万円/kW)
 運転維持費 0.9 億円/年 (3.7 万円/kW/年)
- 2) 北九州 2 MW 機 資本費* 30.4 億円 (153.9 万円/kW)
 運転維持費 1.2 億円/年 (6.2 万円/kW/年)

*資本費は、調査、設計、設備、工事を含む。

- ・設備利用率 1) 銚子 29.7 % (2013/1 月~10 月)、2) 北九州 19.2 % (同 6 月~10 月)

注：好風況時の冬まで調査継続。

*陸上風車での実績は 20 %。特に銚子沖は 1.5 倍で洋上の効果が大。

② 20~50 基のウィンドファームを想定した試算

上記実績から大規模化効果で安くできるか検討したもの。

試算結果 資本費*107 万円 (銚子)、112 万円/kW (北九州)、
 運転維持費 3.1 万円 (銚子)、2.3 万円 (北九州) /kW/年

③ 事業化段階における費用検討 (効率的に事業をした場合)

いくつか立地条件で試算

1. 条件が良い海域で、かつ、商用化実績のある安価な基礎構造のケース
 資本費 54~59 万円/kW、運転維持費 1.5~3.0 万円/kW/年。

2. 沖合で大型風車、かつ高価な基礎構造のケース
 資本費 75 万円、79 万円/kW、運転維持費 2.1 万円、2.3 万円/kW/年

*専門家の間では、この 1 と 2 の間が有望とされた

**** NEDO による従来の調査結果²⁾ ****

	システム価格(万円/kW)		発電コスト(円/kWh)	
陸上(日本/世界)	20-35/	11-26	9.9-17.3/	3.2-12.8
洋上(日本/世界)	28.3-70/	36-56	9.4-23.1/	8.0-15.2

Source:

1) <http://www.meti.go.jp/press/2013/01/20140107001/20140107001.html>

2) NEDO 再生エネルギー白書 第 3 章 p10

超電導 Web2.1 トップページ

超電導 Web2.1

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

「電気学会研究会：超電導応用電力機器研究会」報告

公益財団法人 国際超電導産業技術研究センター
事務局長 渡辺 勉

日時： 2014 年 1 月 30 日午後 31 日午前・午後（31 日午後は鉄道総研見学）
開催場所： 成蹊大学 14 号館 401 号会議室

電気学会の超電導応用電力機器研究会（委員長 山本俊二（三菱電機））が主催する「超電導応用ならびに材料関連技術」をテーマとした研究会（IEEE 協賛）に参加・聴講した。以下にその概要を報告する。

○全体構成

「線材およびコイル化技術」、「機器応用技術」の二部要からなり全 13 編の発表が行われた。参加者は約 30 名、大学、メーカー等などであった。

○線材およびコイル化技術

全 7 編のうち 6 編がコイル関連、1 編が線材である。筆者分類としてはメーカー単独が 1 編、大学編、メーカー・大学合同が 1 編となっている。いずれも着実な検証を行いながら評価を行っており、このような研究が引き続き深く広く継続され超電導技術の基盤強化が図られることが期待される内容であった。

○機器応用技術

全 6 編のうち、機器全体を見通した総括的な評価関連が 2 編、個別機器応用が 4 編である。筆者分類としては、メーカー 1 編、研究機関 1 編、大学 2 編、メーカー・大学合同 1 編、大学・研究機関合同 1 編となっている。

総括的な評価関連発表として、山本委員長から超電導機器技術が従来の電力技術の発展と連携しつつ発展をしてきたこと、それらの技術が MRI や加速器等の電力外の機器へ展開されていること、このような複合的な技術展開で新しい世界が発展できることが実証的に紹介されていた。

また、産業技術総合研究所山口氏から、「超電導応用分野における SiC 電力機器の魅力」との次世代電力用半導体として注目されている SiC と超電導を連携させる技術視点での報告が行われた。

個別機器では、限流器、汚染土壌分離応用、プラスチック分別応用、磁気浮上応用に関する研究報告があり、種々の分野での適応可能性について研究が行われていることが示された。

[超電導 Web2.1 トップページ](#)

【隔月連載記事】

高温超伝導電力機器の冷却技術 (その 2)

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

2. 冷凍サイクルと冷凍機による液体窒素の冷却

ここまで、冷凍機の現状と必要性を述べてきたが、ここでは冷凍機のサイクルについて考察してみたい。尚、今回の考察対象は、スターリングサイクルとブレイトンサイクルに絞って行う。効率（動作係数、COP）の側面から見るとスターリングサイクルは最も高効率なサイクルなので、ブレイトンサイクルとの比較を試みた。

理想的なスターリングサイクルは原理的にカルノーサイクルと同等な効率を持つので、通常スターリング冷凍機の効率はブレイトン冷凍機の効率より勝っている。しかし、高温超電導体の冷却を考える場合、冷却システムとしての冷凍効率を考慮する必要がある。ここでは冷媒となる液体窒素の冷凍機による冷却を考える。即ち冷凍機と液体窒素の熱交換を含んだ冷凍効率を考察する。ターボブレイトン冷凍機とスターリング冷凍機を利用した場合、それぞれのサブクール液体窒素との熱交換の概略図を図 2-1 に示す。

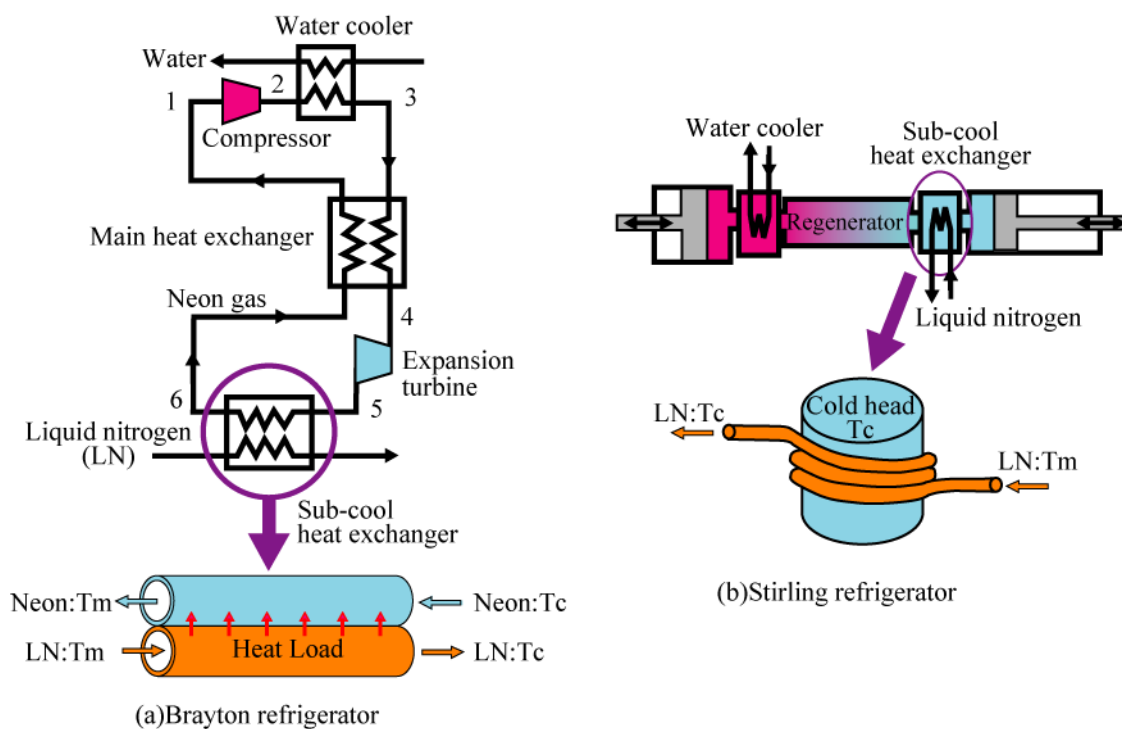


図 2-1 冷凍機の種類と液体窒素の冷却方法

超電導 Web2.1

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

冷凍機にて液体窒素を冷却するサブクール熱交換器の役目は、高温超電導機器を冷却してサブクール熱交換器に戻ってきた温度 T_m のサブクール液体窒素を所定の温度 T_c まで冷却し、高温超電導機器へ再循環させることである。ブレイトン冷凍機の場合、流体どうしの向流熱交換器を利用し、理論的（理想的）にはサブクール液体窒素の入口温度 T_m と同じ温度まで熱交換できる。また、冷凍機の最低到達温度もサブクール液体窒素の冷却温度 T_c と等しくすることが可能である。つまり、冷凍機の作動ガスは、 T_c から T_m まで変化しながらサブクール液体窒素との熱交換を行うことができる。

一方、スターリング冷凍機では、コールドヘッドが等温膨張により吸熱を行うので、コールドヘッド温度は常に冷却温度 T_c となる。

ここで各冷凍機の理論的なサイクルにおける効率（COP）について整理する。各冷凍機の冷凍サイクルを T-S 線図で表したものを図 2-2 に示す。

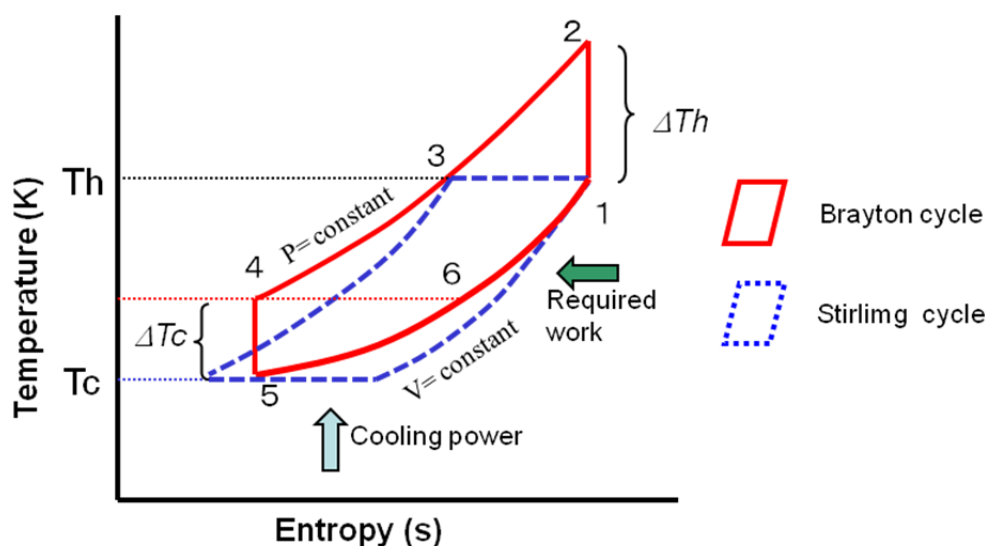


図 2-2 冷凍機サイクル

ブレイトン冷凍機は常温のガスを 1 から 2 の状態まで（以下、各番号の位置は図 2-1 を参照）ターボ圧縮機で断熱圧縮する。アフタークーラで 3 の状態まで冷却され主熱交換器で 4 の状態まで定圧的に変化する。膨張タービンでの断熱膨張により 4 から 5 へ温度が降下し、ここからサブクール液体窒素との熱交換により 5 から 6 へと温度上昇（定圧）する。一方、スターリング冷凍機では状態 1 から 3 の状態へ等温圧縮された作動ガスが内部の蓄冷材で温度 T_c まで定容的に冷やされ、等温膨張によってサブクール液体窒素との熱交換が行われる。

ここで作動ガスは理想気体とし、サブクール液体窒素と理想的な熱交換により、ブレイトン冷凍機の最低到達温度とスターリング冷凍機コールドヘッドの温度を図 2-2 のように仮定した場合の冷却システムの COP を計算してみる。

ブレイトン冷凍機の冷凍能力(Q_{cb})と投入動力(W_b)は断熱仕事の関係から（式 2-1）と（式 2-2）が導かれる。

$$Q_{cb} = C_p \cdot \Delta T_c \quad (\text{式 2-1})$$

超電導 Web2.1

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

$$Wb = Cp \cdot \Delta Th - Cp \cdot \Delta Tc \quad (\text{式 2-2})$$

上記の記号は以下のように定義する。

Qcb : 冷凍能力、Wb : 投入動力、Cp : 定圧比熱、

ΔTc : 断熱膨張における温度降下

ΔTh : 断熱圧縮における温度上昇

また、断熱膨張仕事は全て回生されると仮定している。

ここで、 ΔTh と ΔTc は断熱圧縮の関係から (式 2-3) と (式 2-4) となる。

$$\Delta Tc = Tc \left(\gamma^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right) \quad (\text{式 2-3})$$

$$\Delta Th = Th \left(\gamma^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right) \quad (\text{式 2-4})$$

Tc: 膨張タービン入口温度 ; Th: ターボ圧縮機入口温度

γ : 圧力比 ; κ : 比熱比

したがって、ブレイトン冷凍機の COP は理論的に (式 2-5) の COPb となる。

$$COPb = Qcb / Wb = Tc / (Th - Tc) \quad (\text{式 2-5})$$

一方、スターリング冷凍機の理論的 COP は式(2-6) の COPs として定義される。

$$COPs = Tc / (Th - Tc) \quad (\text{式 2-6})$$

ゆえに、

$$COPb = COPs \quad (\text{式 2-7})$$

上述のようにサブクール液体窒素を冷却する場合、条件次第ではブレイトン冷凍機とスターリング冷凍機ともに理論的には同一の COP を持つこととなる。実際の冷却システムでは、冷凍機の構成要素やサブクール熱交換器の性能によりシステム全体の効率が左右される。

スターリング冷凍機では比較的小さなコールドヘッドの伝熱面で液体窒素を冷却するため、大容量の冷凍能力が要求される場合、十分な伝熱面積を確保することが困難となり、コールドヘッドの温度をサブクール液体窒素の出口温度 Tc よりもかなり低い温度まで冷却する必要がある。そのため、冷却システム全体の効率を低下させてしまうことがある。ターボブレイトン冷凍機においては、高効率な小型プレートフィン熱交換器が利用できるため、この点に於いては有利である。一方、本来冷凍機自体の効率はスターリング冷凍機が高いこと、またブレイトン冷凍機で理想状況を構築するにはサブクール液体窒素循環量と冷凍機動作ガス循環量の調和を取らなければならない事があり、冷凍サイクルの優越は付け難い。

超電導 Web2.1

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

話は前後してしまうが、ここで冷媒として用いられる液体窒素について再び触れておく。液体窒素の大きな潜熱（198 J/g）や大きな比熱（約 2000 J/kg・K）については以前も述べてきたが、液体窒素を扱う上でもう一つの重要なことは固化への注意である。図 2-3 に各種冷媒の相図を示す。液体窒素三重点は 63.15 K、12.53 kPa であり、圧力が数 MPa まで融解線がほぼ垂直に延びている。即ち、高温超電導体の冷却に際して、液体窒素は約 63 K で固化してしまうのである。さらに、液体窒素は液体相の温度幅が他の冷媒に比べて狭い事が図 2-3 から解る。（ヘリウムは大気圧では固化しない冷媒である）液体窒素を冷媒として利用する場合は、大気圧以上のサブクール状態にて使用すれば液相の温度幅は広がり、固化の危惧は多少薄れる。しかし、液体温度が上昇することになるので、高温超電導機器冷却から考えると不利になる。従って、出来る限り低い温度（63 K に近い温度）で液体窒素をハンドリングする技術が一つのキーとなる。今回は液体窒素の循環を考えているから窒素の固化を避けなければならないが、場合によっては窒素の氷を積極的に冷媒として利用しようとする考えも提案されている。

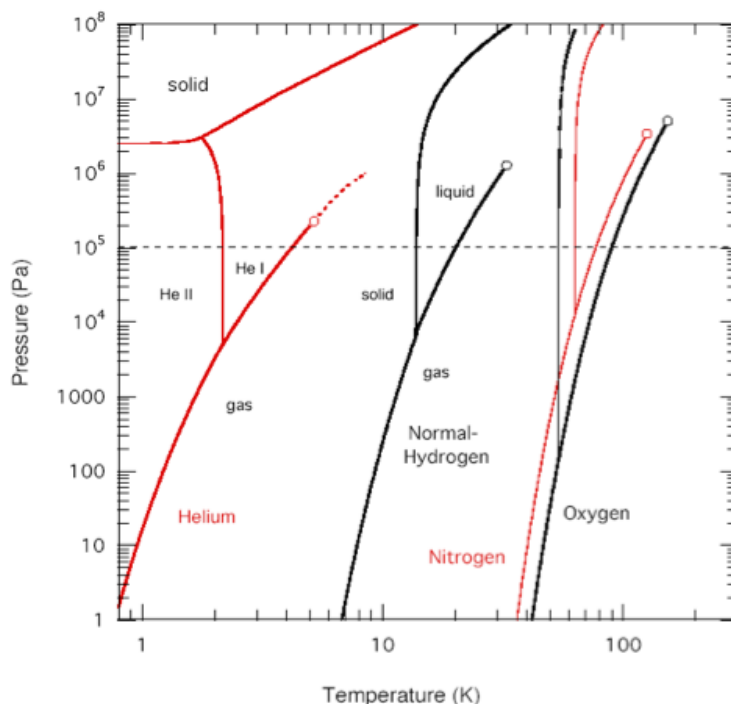


図 2-3 各種冷媒の相図

[超電導 Web21 トップページ](#)

【連載記事】

やさしい電力系統のはなし (第 2 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

前回にひきつづき電気の基本的な特徴を解説します。

3. 電気とプール (貯水池) イメージ

さて、電力系統を理解するため再び水のイメージに戻ります。

有る貯水地に、A、B、C、D と 4 本の川が流れ込んでいるとします。さて、Y さんが、この貯水池から水を使用する時、A の水だけ買うことは可能でしょうか。(図-8) どう考えてもこの図の場合不可能です。このためには、A から直接、Y さんに水を引き込むことが必要で、理屈上可能ですが相当非効率になるでしょう。電気では、ABCD を発電所、貯水池を流通系統、Y さんは Y 需要家と考えると基本的なイメージが合います。この様に「個々の発電と個々の需要が直接結び付かない特徴」を電力系統のプールモデルと呼びます。

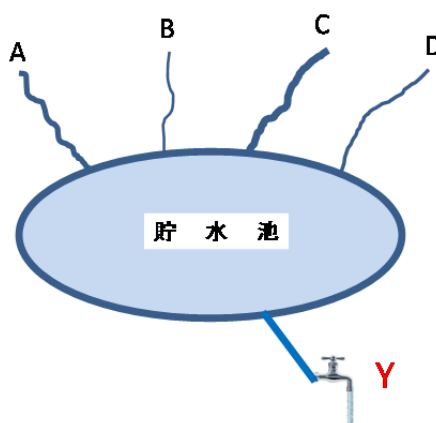


図 8 貯水池のイメージ

電力系統と良く比較される「通信系統」では、この様に送る側の要素が混じり合って受ける側に混じると混線になってしまいます。このため、送る側を決めてその情報だけを目指す相手に確実に送ることが重要になります。通信と電力の違い理解する際には、この点が特に大切だと思います。

ただ、最近の電力系統の考え方であるスマートグリッドには、通信系統に近いコンセプト、すなわち、発電と需要を 1 対 1 に継ぎ合わせる形態があります。実現可能なアイデアですが広範な実用化には経済性等の課題がありそうです。

なお、水のプールでは流れ込んだ水が自由に混ざり合いますが、電気のプールでは送電線や変電所を通して混ざります。送電線や変電所は「川」に見立てることができますが、流せる量には限界がありプールのように完全自由に混ざり合うことはできません。川をどんどん造りつなげてゆけば自由に流れやすくなっていきますが、川を造るコストが増加しますし造る地域での「造ることへの了解」を得るのも難しくなってくるでしょう。このため、電気のプールは「自由さに限界のあるプール」と言えるでしょう。

超電導 Web2.1

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

<余談>「プールイメージ」の好き嫌い

日本には、「電気のプールイメージ」を好まない電力技術者がいます。

これは、「プール」と言うほど、電力流通系統で自由な混ざり合いが実現しないことを理解しているからだと思います。

この「プールとの違いへのこだわり」は正しいので、電気のプールの側面を議論する時は、考え方の前提等について意志疎通をじっくり図る必要があります。筆者の場合は相手のスタンスを確認しつつ、電力系統のプールの要素、非プールの要素を慎重に選びながら説明し、議論が不毛にならないように気をつけています。

なお、ヨーロッパ (EU) へ行くと、「欧州統合」のコンセプトを浸透させるためか?、(欧州) 電力系統のプールイメージが強調されます。要するにプールイメージ大好き! と感じます。ただ、欧州の系統運用者と (内輪の) 議論をすると「欧州系統もプールと呼べるほど容易に運転できる電力系統ではない」とのつぶやきも聞こえてきます。(別項で欧州系統も説明します)

4. 電気とロス (損失)

このシリーズは、超電導 WEB 記事の一環ですので、ここからは、超電導でも良く話題になるロスについて解説します。

○まず、ロスを水のイメージで考える。→ 抵抗ロス、漏洩ロス

(抵抗ロス)

川に流れる水は、川底の石や砂の抵抗を受けます。「抵抗を受ける」と、そこでエネルギーを失うことになります。

(漏洩ロス)

川を流れる水は川底から一部水が漏れて行きます。このために水のエネルギーが一部失われます。

電気を流す場合も、同じ様に抵抗ロスと漏洩ロスが発生します。電力系統では、このうち、抵抗ロスが大きな部分を占めます。抵抗ロスは電流が大きくなると増加します。超電導では、電流が大きくなっても抵抗ロスをゼロにできるので注目されています。ただし、電気でも漏洩ロスがあり、電圧が高くなる程増加します。なお、超電導でも漏洩ロスは発生します。

このようなロスは交流・直流共に発生するのですが、交流では、更に無効電力を生み出す電流が漏洩する際にこの電流に併せて抵抗ロスが発生します。無効電力はエネルギーがゼロなのでその漏洩電流自体でロスは生じませんが、電流が流れる際に抵抗を受け抵抗ロスが発生します。(図-9) この無効電力漏洩電流と漏洩ロスは、特に地中ケーブル送電する際に比較的大きい影響を生じます。

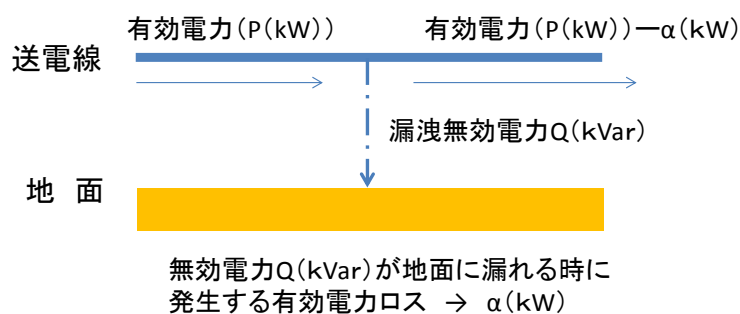


図 9 無効電力漏洩による送電ロス

超電導 Web2.1

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

○水のイメージでは捉えきれないロスが存在

- ・ 交流の電気は、変圧器を使用して電圧を高くしたり低くしたりします。この際にロス（励磁電流ロス）が発生します。
- ・ 周波数を変換するとき周波数変換ロスが発生します。なお、直流を交流に変換するのも周波数変換ですから変換ロスを生じます。
ところで、直流だけで設備を形成すると変圧器は使いませんが、電圧を高くしたり低くしたりする必要が有る場合、変換器を使用するので、やはり変換ロスが生じます。
- ・ 電気を流す設備でロスが発生すると大部分は熱に変わります。この熱で設備が過熱すると設備が傷みます。これを避けるため冷却設備が必要に応じ設置されその運転にエネルギーが消費されます。これも送電ロスにカウントされ冷却ロスと呼ばれます。超電導の場合、現状では、零下 170℃ 程度まで冷却する必要がありますので、冷却ロスが比較的大きくこの削減が重要な課題となります。

以上述べたロスは、電力エネルギーを発電から需要に送る際に発生しますので送電ロスと呼ばれます。（なお、冷却ロスが除外される場合もあります）なお、日本電力系統の送電ロスは使用電力量の 5~10 %です。送電ロス低減をどの様に考慮し電力系統を形成するかについては、別途説明します。

<余談> 発展途上国の送電ロスは 30 %!?

筆者が若かりし頃、発展途上国の送電ロス（30 %程度も「ざら」です）を下げるためにどうするか！との議論をフランスのベテラン技術者としました。彼は「まず、現地へ行き需要家メータを見なければ」と主張したのですが、恥ずかしながら、当時、彼の真意が全く理解できませんでした。

送電ロスは全発電電力量－（マイナス）全需要家使用電力量で計算されます。この際、「使用電力量」は需要家が電気料金を支払う電力量で計算されます。ところで、展途上国では、需要家の（不正な）努力？で使用電力量が過小になるようメータに細工がされることがあります（盗電とも呼ばれます）。更に、電力会社の都合で検針（需要家メータを見に行く）が大変なため、実際の使用量と異なる（通常は小さい側）電力量を「みなし使用電力量」とすることもあります。これらが使用電力量を歪め（小さくし）送電ロスが大きくなる原因となります。（図-10）

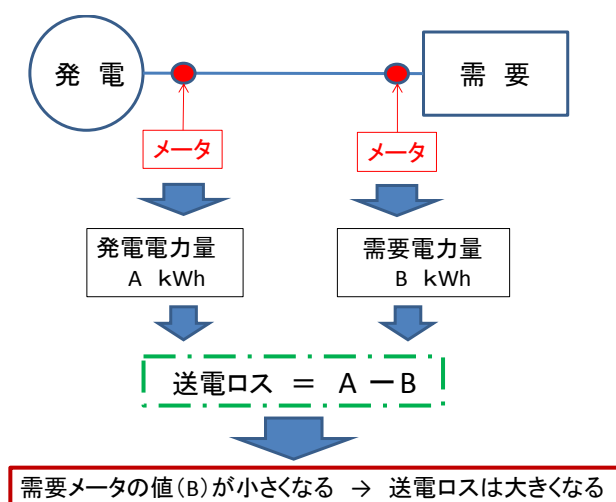


図 10 メータと送電ロス

超電導 Web2.1

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

個人的な経験では、送電ロスが 15 %を超える！場合、このように技術的には解決できないロス (Non-Technical Loss) が相当含まれる to 想定しています。

なお、発展途上国では、送電ロスが技術的に「やむなく」大きくなる場合もあります。一般的に発電力が不足気味ですので、対策として需要家への供給電圧を下げ需要を減らし発電能力に合わせます。欧米ではこれをブラウンアウト（電圧を下げた電灯を薄暗くするイメージで、ブラックアウト（停電）と対比し使用されます）と称して、系統運用者が緊急時の需要削減策として実施されますが、発展途上国では、日常的に電圧を下げて運用するので、電力系統に流れる電流が需要の減少による電流減少を上回って増えてしまい送電ロスが増加するのです。

この様に、送電ロスの大小を日本と比較する場合、ロスとは必ずしも直接関係しない電力事情をよく観察する必要があると思います。

〇ロス評価は、電力系統全体、更に社会全体を考えながら検討する

・発電設備への影響を考える

話を単純にするため、発電は全て風力（燃料費ゼロ）、蓄電池もあり需要に対し十分な供給力があるとしします。

この場合、送電ロスが大と小の場合で何が違って来るかを考えます。送電ロスが大きい場合と小さい場合と比較し風力設備の稼働率が変化します。ただし、風がエネルギー源ですと燃料費の増減は生じません。

では、この状況で送電ロスを減らすインセンティブがあるでしょうか。

結論的には、ロスが多くなっても需要に対する供給力が不足しない程度であれば社会全体で問題は生じず、ロス減少インセンティブは小さいと思います。（皆さんも考えてみて下さい）なお、燃料代ゼロは極端な例ですが、燃料代が安い場合も、送電ロスを減らすインセンティブは小さいと思います。

ところで、このように燃料代の安い発電力が余っている電力系統に対し、電力系統を繋げたいとのニーズが燃料代の高い電力系統から出てくる場合があります。この場合、電力系統が繋がると、安い燃料代の電力を燃料代の高い電力利用者にできるだけ多く供給し利益を得たいとのインセンティブが生じます。送電ロスを減らせばより多く利益がえられますから。

以上は単純化した例ですが、送電ロスを考える場合、その地域や連系する地域の電力系統の発電設備の状況が関係するとお考え下さい。

<余談> ノルウェーでは送電ロスへの関心が薄かった

若かりし頃、ノルウェーの系統技術者と意見交換したとき、送電ロスへの関心の薄いことが大変印象に残りました。ノルウェーは大水力発電国で電力は殆ど水力で賄っています。水力は燃料費がゼロです。前述の理論？を元に考えると「関心が薄くて当たりまえ」となりますから、後々自分なりに納得したものです。ただ、その後、電力自由化が進展し、電力輸出に熱心ですから、送電ロス低減に取り組んでいるかも知れません。

・発電設備、蓄電設備、エネルギー源を総合した効率を考える

①送電ロスが大きくても発電設備効率向上でおつりがくることもある

筆者の経験から、送電ロスは 5-10 %、大きくても 15 %程度ですから、極端な差は生じません。

（超長距離送電の場合はもっと大きな値になることがあります）一方、発電設備効率では、利用技術によって 10~20 %の差が生じます。トータルの燃料消費量（特に化石燃料の場合）を考

超電導 Web2.1

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

えると、送電ロスに要する燃料量が増えても高効率発電設備を導入して燃料量を減らす方が全体として効率性が向上する場合が想定されます。

②電気エネルギーにしてからエネルギーを溜めるとロスが大きい

一般的に、電気を貯めると、次に電気エネルギーとして取り出すときに相当量のエネルギー損が生じます。

揚水（電気エネルギーを水の位置エネルギーに変換して貯める「いわば」蓄電設備です）で 30 % 程度、蓄電池（電気エネルギーを化学エネルギーに変換）で 20~30 % 程度が失われます。（蓄電ロスの発生）

一方、貯蔵しないで、送電ロスが生じても遠方の電力系統に送電し使用すれば蓄電ロスがなくなり効率的な場合があります。

遠方でない場合でも、例えば、スマートグリッドで、グリッド内で発電と需要をマッチさせるため蓄電池を置くのではなく、送電ロスを負担しても他所で使う方が合理的な場合もあると想定されます。

③エネルギー利用の総合効率を考える

例えば、天然ガスをエネルギー源とする場合、「コジェネ」と「発電所から電気を通して」の 2 方法が考えられます。これについては、電力会社とガス会社間で論争されています。この際、電力での利用では、送電ロスがガスでは発生しない効率低下要因としてクローズアップされました。電力会社側は、ヒートポンプの成績計数（COP）は 1 を超える（1 の電気エネルギーで 1 以上の熱エネルギーを移動できる）等を例示し対抗しています。ガスコジェネも燃料を送付するので、保守を含めて関連するエネルギーが使われると思います。エネルギーの使われ方を含め総合的に見て、効率性が比較されればと思います。

<余談> 電力、ガスのどちらに軍配を上げるか

筆者は、冬場の就寝時湯たんぽを愛用しています。多分、電力会社、ガス会社双方にとってあまりおいしくない需要家ではと推察します。

このように、エネルギー利用は、理性的な判断だけでなく感性的に対応する部分がありますから、それにも訴えるメリットを打ち出しながら、健全な競争を通じて全体的な効率性（省エネを含む）が向上すればと願っています。

○エネルギーロスではないけれど―― → 交流特有の無効電力ロス

交流を送電線や変圧器に流すと、無効電力を流す作用が生じるため、電流と電圧とのずれが大きくなり送電できる有効電力（エネルギー）が減少します。

ずれが大きくなると、流す電流の無効電力分が大きくなるのですが、この「増えた」無効電力を無効電力ロスと呼びます。無効電力ロスが生じる場合には、対策を講じないと送電可能なエネルギーは減少しますが、エネルギー自体は消失しません。

この作用を引き起こす要素をリアクタンス（リアクティブパワー（無効電力）を引き起こす要素と言う意味）と呼び、直流では生じません。

直感的に理解しにくいのですがコンピュータで的確に解析でき、制御する技術もあります。ただし、制御する場合はコストを要しますので、直流の方がこの面で経済的に有利になります。次回以降、無効電力制御も説明します。

<余談> 長距離送電で直流が有利と言われるのは無効電力ロスのため？

超電導 Web2.1

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

交流の場合、送電線は距離が長くなる程リアクタンスが大きくなり、無効電力ロスが生じエネルギーが送りにくくなります。一方、直流は無効電力ロスが無いので送電が容易です。このため、長距離では直流が有利と言われます。

ただし、ヨーロッパでは、西のスペインから東欧まで交流で繋がり数千キロに亘り交流電力送電が可能です。これは途中で無効電力制御が行われるためです。ここでは触れませんが、無効電力制御と電圧制御は「一体の関係」にあり、電圧を制御すると無効電力も制御できます。ヨーロッパで長距離に亘り交流送電が可能なのは、途中のエリア毎に電圧が適切に制御されるためです。なお、欧州の系統運用者と話すと「制御の協調」が十分でなく、送電量を増やすのはなかなか容易でないようです。

なお、日本の有識者の中に「交流で長距離送電するとロスで送れない」とおっしゃられる方がおられますが正しくありません。直流でも同様にロスが発生しますから交流と直流を送電ロスで優劣を比較するのにあまり大きな意味はないと思います。

また、電力技術者の中で、交流系統では「相角度」が一定以上になると送電できないのに対し、直流系統では「相角度」は生じないので送電能力が交流を上回る、とする方がいます。交流系統では無効電力ロスが発生するために、電気を送ると電圧にずれが生じ、このずれを相角度と呼びますが、この相角度が大きくなると送電できないと言われます。実は、「無効電力を適切に制御できれば」相角度により送電ができなくなる状況は実際の交流系統では生じません。

ちなみに、大学の教科書では「無効電力が適切に制御できない」ことを前提に、相角度が 90 度以上で電力を送れないと教わります。私自身、少ない記憶容量の中でそれなりにしっかり暗記したのですが、電力会社入社後、相角度が 90 度以上でも（無効電力が制御されているために）送電できることを電力系統シミュレーションで確認した時は大いに感激したものです。

結局、「一般的に長距離送電で直流が有利！」との論調も、具体的な電力系統の条件を踏まえ比較・検討し確認することが大切だと思います。

（どの世界の話でも、「一般的には〇〇〇〇です」とする論調がありますが、ある程度眉につばをつけて、その論調が「正しいとする根拠」を確かめることが必要かと思います）

今回はロスの話を少し長めに解説し、更に無効電力ロスが交流系統に与える影響にも少し触れました。やや難しかったと思いますが、ロスは電力エネルギーシステムの特徴を良く現わしますので、少し詳しく解説しました。

次回以降も具体的な設備説明などで、折に触れてロスの説明を加えながら、電力系統の特徴を理解する手助けができればと考えています。

次回から、電力系統設備を解説してゆきます。その中で、適宜、今回ののはなしの深堀りや他の電力系統の技術的な特徴にも触れていきます。

まず、今回は電力系統全体の設備構成からはじめ、発電設備へと話を進めていきます。なお、ご要望に柔軟に対応し解説の構成も変えていきます。

[超電導 Web2.1 トップページ](#)

超電導 Web2.1

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

読者の広場

Q&A

Q:「冷凍機は金属でできているように見えますが、金属は熱をよく伝えるはずですが。冷蔵庫は樹脂でできていますし、冷凍機からは熱が逃げていかないのでしょうか？」

A: 冷蔵庫に使用されている冷媒ガス圧縮機は金属でできているため、ご質問にある冷凍機は冷凍機に付帯する保冷容器のことと推測します。さらに、超電導機器（コイルやケーブルなど）を液体窒素温度レベル以下に冷却・保持するための保冷容器（低温工学の分野ではクライオスタットと呼ばれます）を対象に回答させていただきます。

一般に、家庭用冷蔵庫（冷凍庫は除く）の内部温度はおよそ 4°C 、マグロの冷凍保存倉庫ではおよそ -60°C が最低温度となります。一方、超電導機器では液体ヘリウム温度 (-269°C) から液体窒素温度 (-196°C) といった非常に低い温度（極低温）が一般的となります。すなわち、クライオスタットの外部（大気温度）と内部の温度差は $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 以上となり、家庭用冷蔵庫やマグロの冷凍保存倉庫と比較すると、温度差は非常に大きくなります。

また、樹脂は金属に比べて熱膨張係数が大きく、機械的強度は劣るため、クライオスタット内部を液体窒素や液体ヘリウム温度まで冷却すると、この大きな温度差によって熱収縮による応力が作用し、樹脂製のクライオスタットではちょっとした衝撃によって割れが生じる恐れがあります。

ご質問にあるように、金属は樹脂に比べて熱伝導率（熱の伝え易さ）が大きいので、熱が逃げていきやすくなります。そのため、低温用の金属製クライオスタットでは熱侵入（低温では熱が逃げるといっても熱が入ってくる）ができるだけ小さくなるように、真空断熱構造が採用されています。

熱伝導率は温度によってある程度変化します。ここでは室温での金属と樹脂を比較してみましょう。金属の熱伝導率（例えば SUS304 ステンレス鋼）は $16\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ 、樹脂（硬質ウレタンフォーム）は $0.018\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ で、樹脂の熱侵入は金属の約 $1/1000$ 倍となります。真空断熱は、熱伝導率が小さい粉末（例えばパーライト）を内部充填し、その空間を真空にした粉末真空断熱と、内部に何も充填せずに空間を真空にした単純真空断熱に大別されます。パーライト粉末真空断熱の熱伝導率はおよそ $2\times 10^{-4}\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ 、熱侵入は樹脂の $1/100$ 倍となります。一方、内部に何も充填しない単純真空断熱では熱伝導による熱侵入は理論上、ゼロとなりますが、輻射による熱侵入があるため、空間にスーパーインシュレーションと呼ばれる多層断熱材（アルミ蒸着ポリエステルフィルムにポリエステルのネットや不織布を層状に重ねたもの）を重ね巻きすることで輻射熱の影響を小さくしています。これを熱伝導率に換算すると $2\times 10^{-5}\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ となり、樹脂の $1/1000$ 倍とさらに小さくなります。人工衛星などもこのスーパーインシュレーションで太陽からの輻射熱を防いでいます。

つまり、金属でも真空断熱にすることで樹脂よりもはるかに熱侵入を小さくすることができるという訳です。ただし、このような極低温で使用されるクライオスタットは必ずしも金属製という訳ではありません。例えば、FRP（繊維強化プラスチック）は液体窒素温度でもクライオスタットに利用されています。「リットリウム系超電導電力機器技術開発」プロジェクト（超電導 Web2.1 2011 年 11 月号 15 ページ参照）で紹介されている超電導変圧器では、変圧器を収納するクライオスタットは FRP で製作されています。金属製クライオスタットでは変圧器コイルに電流が流れると電磁誘導効果によって金属内に渦電流が流れてジュール熱が発生するため、渦電流が流れない FRP を

超電導 Web2.1

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

採用し、しかも真空断熱構造としています。真空にすることで生じる応力や冷却によって生じる熱応力によってクライオスタットが壊れないように高度な 3 次元熱応力シミュレーション解析を行い、強度的に問題がないように配慮されています。

回答者：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 弘川昌樹 様

[超電導 Web21 トップページ](#)