

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283

特集：超電導 世界のプロジェクト



Save Earth by Superconductor

本年度、ISTEC Web21 では新たな試みとして、特集“超電導 世界のプロジェクト”の連載を 4 月号から開始しています。

今 5 月号は、中国科学院 電気工学研究所 Xiao 博士と精華大の Han 教授による中国の最新事情です。莫大な人口を抱えて発展する中国の一端が超電導開発にも現われています。

読者のご参考になることを期待します。

ISTEC
山田穰 (和訳)

*なお、本文は、上記両名による寄稿“Recent Progress of Superconducting Technology for Power in China” (原文 http://www.istec.or.jp/web21/pdf/13_05/Extra%20May_pj.pdf に掲載) を ISTEC の責任で翻訳したもので、文中の意見など原著者の見解であります。

「禁；無断転載」

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283

中国における超電導電力応用の最近の進展

(原題 Recent Progress of Superconducting Technology for Power in China)

著者：

中国科学院 電気工学研究所 Liye Xiao

精華大学 Zhenghe Han

中国では電力源の多くは西部、北西部地区にある。一方、多くの電力消費地は南部と東部にある。よって、この電力送配電システム構造から中国は大規模な国家的電力網を必要とする。全ての地域電力網は互いに接続され、国家電力網は国のほとんど全ての地域をカバーする。このため、この電力システムの安定性を保ち、送電ロスを削減することは重要な課題となっている。

超電導技術はこの電力システムの安定性と損失を減らす可能性のあるソリューションとなりうるため、長く中国科学技術省 (MOST) により“超電導 863 プラン”として支援されており、また、中国科学院 (CAS) からも支援されてきた。最近では、国家电网公司与中国南方电网公司*のような電力系統会社も超電導技術に関して多くの関心を払いつつある。

この報告では、超電導材料とその電力システムへの応用の最近の進歩に関して概観し、特に、YBCO、BSCCO テープ線材、鉄系線材、10kV 超電導変電所、超電導直流ケーブル、限流器、SMES に関して述べる。

*訳注：国家电网公司；世界最大の電力送配電会社で、中国南部への送配電を行う中国南方电网公司と共に、中国全土へ送電・変電・配電をしている。以前の国家電力会社が電力機構の「送電分離」で 2002 年に生まれた。別の 5 大発電会社である大唐 (中国大唐集团公司)・中電投 (中国電力投資集团公司)・国電 (中国国電集团公司)・華電 (中国華電集团公司)・華能 (中国華能集团公司) が発電する電力の送電のみを行う。5 つの子会社があり、華北电网公司、東北电网公司、華東电网公司、華中电网公司、西北电网公司である。三峡ダムも華中电网公司が担当する地域にあり、「西電東送」の主要役割を担う。

中国南方电网公司；中国南部へ電力の送電・変電・配電を行う会社で、その他の地域へは国家电网公司が送電を行なう。以前の国家電力会社が電力機構の「送電分離」(中国語：廠網分離) で 2002 年に生まれた。送電のみを行う。範囲は雲南省・貴州省・広西省・広東省・海南省の 5 省。「西電東送」プロジェクトの南方ルートが担当範囲。国家电网公司、広東省、海南省の共同投資会社である。

以上 Wikipedia から抜粋 (<http://ja.wikipedia.org/wiki/>)。

1. 超電導材料

1.1 中国における YBCO、BSCCO 線材の開発

・上海交通大学 (SJTU) による YBCO 薄膜線材のプロジェクトは中国科学技術省 (MOST) に

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283

より支援されている。2010年末に彼らは100 m長で194 A/cm (77 K, 自己磁場) の臨界電流 I_c を持つ線材の作製に成功した。今は、100 m長で300 A/cm級の線材作製も可能である。西北有色金属研究院 (NIN) は、年産30-50 kmの能力を持つNi-W合金RABITSテープの製造ラインを確立した。

・Bi-2223テープは主にInnoST社で年産200 kmの規模で製造されている。標準的な線材の臨界電流 I_c は120 A (77 K, 自己磁場) である。また、InnoST社は絶縁した線材、電流リード用Ag-Au合金シースの線材も供給している。さらに高温超電導電流リード、コイルも色々な顧客に提供している。

1.2 鉄系超電導線材、テープ

最近、中国科学院、電気工学研究所 (IEE) のYanwei Ma博士のグループは、パウダー・イン・チューブ法による鉄系超電導線材の製法を初めて開発した。これは、Pb添加 $Sr_{1-x}K_xFe_2As_2$ (Sr122) と鉄シースを使い、圧延してc軸配向を得る方法である。彼らは、冷間圧延条件の最適化とSn添加により高特性の配向Sr122テープを得た。これらは共に結晶粒間の結合性を改善する。図1に示すように、4.2 Kでは臨界電流密度 J_c の磁場依存性は非常に小さく、 J_c は10 Tで 1.7×10^4 A/cm²、14 Tで 1.4×10^4 A/cm² の高い値を示した。これらの値はこれまで報告された鉄系超電導線材の中で最も高く、実用時に要求される J_c レベルに近づいている。

ごく最近、ニクタイト系単心線材に使われる技術を用いて、先述のMaのグループは、Ag/Feクラッドの7芯の $Sr_{1-x}K_xFe_2As_2$ 多心線材、テープを作製した。この線材は4.2 K、自己磁場で 2.1×10^4 A/cm² の高い J_c を示し、高磁場での磁場依存性も非常に小さかった (Appl. Phys. Lett. 102 (2013) 082602)。これらの結果は、鉄系超電導体の高磁場応用への強い潜在能力を明確に示した。

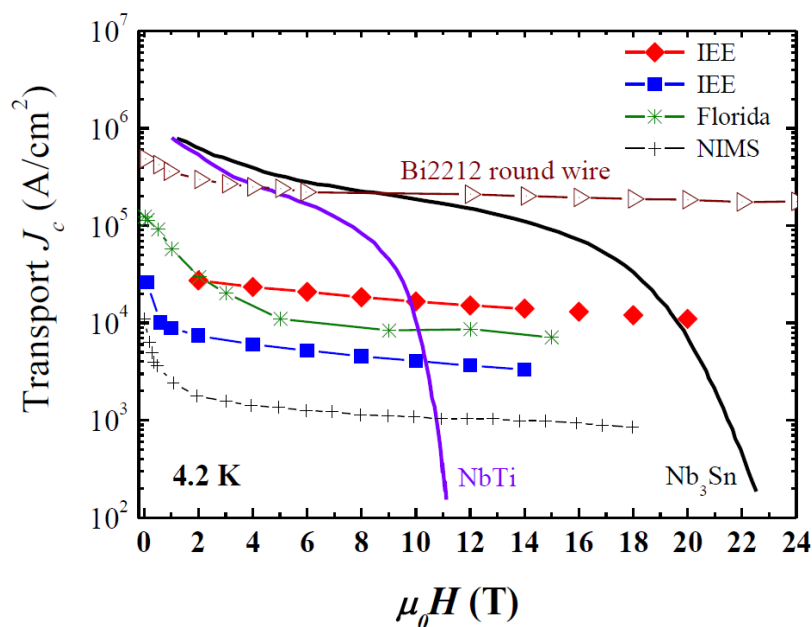


図1 配向性Sr122線材の4.2 Kにおける臨界電流密度 J_c と印加磁場の関係。他の鉄系、Bi2212系、従来のNb系超電導線材も比較のため併記した。

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283

2 電力系統における超電導技術

2.1 10 kV 超電導変電所 [1]

本プロジェクトはこの10年間、電気工学研究所が支援してきた。この超電導変電所は、3相75 m 長 10kV/1.5kA 高温超電導ケーブル、3相10kV/1.5kA 超電導限流器、3相 10kV/0.4kV高温超電導変圧器（容量630 kVA）と1MJ/500kVAのSMESを組み合わせたものである。これらは、2004-2008年に変電所または配電系統で試験されたが、甘粛省の白銀市工業団地（Baiyin Industrial Park of Gansu Province）に全超電導変電所として集結された。全景を図2に示す。

2011年2月初旬から始まった検証試験結果から、この配電系の事故や超電導電力機器の電氣的短絡はいずれもなかった。冷凍機・冷却系の事故は、変圧器のクライオスタットの交換、液体窒素ポンプで復帰できる。この超電導変電所の運転により、SMESが電力供給の信頼性と質を大きく改善できることが実証された。



図2 超電導変電所の様子

2.2 360 m/10 kA 超電導直流電力ケーブル [2]

超電導の直流電力送電への可能性を実証するため、電気工学研究所は2007年に10 kAの高温超電導直流ケーブルの開発を開始した。10 kAの大電流通電テストのため、アルミ製造会社（訳注：アルミ精錬は大電流を使う）である中孚实业（中孚（の作り）実業）（Zhongfu Group）で実証試験を行っている。

2012年9月に、河南中孚实业（Henan Zhongfu Group）社内に成功裡に電力ケーブルを設置することができた。ケーブルの曲げ特性・性能試験に関して、超電導ケーブルの敷設時に、ケーブルは9回の曲げが想定・設計されており、そのうち3か所は垂直方向の曲げ、6か所は水平方向の曲げであり、最少曲げ半径は3 mである。このケーブルは、変電所とアルミ電解工場をつなぐブスバーであるが、従来の電力ケーブルとともに工場の電力供給に使われている。敷設されたケーブルの全景を図3に示す。

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283



図3 敷設後の 10 kA 高温超電導直流ケーブル全景 (訳注: 写真中央水平部ライン)

2.3 220 kV/800 A 超電導限流器 [3]

最近、鉄心飽和型超電導限流器 (FCL) が中国の Innopower 超電導電力ケーブル社で開発された。2011 年の工場テスト後、5 つに分解され、天津石各荘変電所 (Shigezhuang substation of Tianjin) に送られた。2012 年の第 1 四半期にこの機器の受け入れ試験が実行された。図 4 に搬入据え付け後の限流器を示す。この受け入れ試験は天津電力会社 (Tianjing Power Company) により行われた。その結果、分解輸送、再組立て、据え付け後も、その機能が確認された。その性能と信頼性を試験するため、この限流器の実系統試験が進められている。



図4 天津の石各荘変電所の 220kV/800A 超電導限流器

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283

2.4 1MJ/500kVA高温超電導SMES [4, 5]

SMESがBSCCOテープで作製され4.2 Kで運転された。このSMESコイルは44個のダブルパンケーキコイルからなり、その中の両端のコイルは1本のテープで巻かれ、他の38個は2本のテープを共巻したものである。異方性を考慮して、両端の3個のコイルは他の残りのコイルと同じ臨界電流を持つように、並列に励磁した。この SMESは、甘肅省白銀市 (Baiyin City, Gansu Province) の10 kV超電導変電所に移動する前に、北京の門頭溝区変電所 (Beijing Mentougou Substation) で試験された。この試験により、電力品質がSMESにより効果的に改善できた。例えば、系統電流の変動歪は5.13 %から1.33 %と大幅に低減された。

2.5 1 MW高温超電導モータ

1 MW高温超電導モータ (図5) は武漢研究所海洋電気推進科 (Wuhan Institute of Marine Electric Propulsion) によりBi-2223テープで作製された。このモータは500 rpmで回転する4極の高温超電導同期モータである。



図5 1 MW高温超電導モータ

3. まとめ

超電導電力技術は中国の電力システムの安定性、効率化に貢献できる可能性のある技術であることから、中国科学技術省や中国科学院と電力会社により研究開発が支援されている。これまで数年間に亘り、中国では BSCCO テープ、YBCO テープ、鉄系超電導線材などの高温超電導材料の研究開発に大きな進展があり、また、超電導変電所、直流ケーブル、限流器、SMES、モータなどの製造、実証試験が成功裡に進んでいる。

超電導 Web21

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-10-13 Tel: 03-3536-7283

参考文献：

- [1] Xiao L.Y., Dai S.T. and Lin L.Z. *et al* (2012), Development of the World's First Superconducting Power Substation, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.22, 5000104.
- [2] Xiao L.Y., Dai S.T. and Lin L.Z. *et al* (2012), Development of a 10kA HTS DC Power Cable, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 22, 5800404.
- [3] Xin Y., Gong W. Z., Cui J.B. *et al* (2013), Factory and Field Tests of a 220 kV/300 MVA Statured Iron-Core Superconducting Fault Current Limiter, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 23, 5602305 (to be published).
- [4] Xiao L.Y., Wang Z.K., Dai S.T., Zhang J.Y., Zhang D., Gao Z.Y., Song N.H., Zhang F.Y., Xu X. and Lin L.Z. (2008), Fabrication and Tests of a 1MJ HTS Magnet for SMES, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 18, 770-773
- [5] Dai S.T., Xiao L.Y., Wang Z.K., Guo W.Y., Zhang J.Y., Zhang, D. Gao Z.Y., Song N.H., Zhang Z.F., Zhu Z.Q., Zhang F.Y., Xu X., Qiu Q.Q., and Lin L.Z. (2012), Development and Demonstration of a 1MJ High T_c SMES, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 22, 5700304

[超電導 Web21 トップページ](#)