



三心一括型超電導ケーブルによる国内初の実系統送電 (高温超電導ケーブル実証プロジェクト)

大 屋 正 義*・稲 垣 芳 宏・豊 谷 和 晃
 伊 藤 秀 樹・斎 藤 高 廣・芦 辺 祐 一
 渡 部 充 彦・湯 村 洋 康・中 西 辰 雄
 広 田 博 史・増 田 孝 人・廣 瀬 正 幸
 大 野 隆 介・下 田 将 大・仲 村 直 子
 矢 口 広 晴・市 川 裕 士・三 村 智 男
 本 庄 昇 一・原 築 志

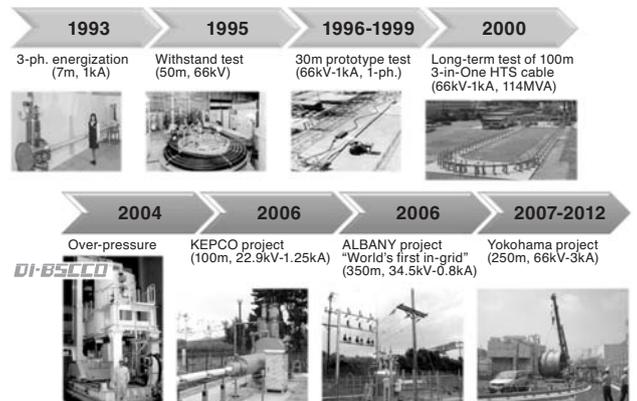
Japan's First Live Power Transmission Using 3-in-One Superconducting Cable (High-Temperature Superconducting Cable Demonstration Project) — by Masayoshi Ohya, Yoshihiro Inagaki, Kazuaki Tatamidani, Hideki Ito, Takahiro Saito, Yuichi Ashibe, Michihiko Watanabe, Hiroyasu Yumura, Tatsuo Nakanishi, Hirofumi Hirota, Takato Masuda, Masayuki Hirose, Ryusuke Ono, Masahiro Shimoda, Naoko Nakamura, Hiroharu Yaguchi, Hiroshi Ichikawa, Tomoo Mimura, Shoichi Honjo and Tsukushi Hara — Japan's first in-grid demonstration of a high-temperature superconducting (HTS) cable system has been started to evaluate its performance, safety and reliability. We developed the cable using the DI-BSCCO® HTS wire, and repeated design changes and element testing to meet required specifications. The performance of the cable was confirmed in the preliminary test using a 30-m HTS cable system and it was then successfully installed in Tokyo Electric Power Corporation's Asahi Substation with associated systems. In October 2012, the cable system was connected to a live power grid and started its operation for a long-term demonstration test.

Keywords: high-temperature superconductors, power cables, in-grid demonstration

1. 緒 言

日本の高圧送電システムは、1970年代の大規模電源開発期から本格的整備が始まり、以降40年にわたって整備されてきた。このなかで、地中電力ケーブルは都市部などへの電力供給設備として広く用いられているが、高度成長期に建設された設備の経年が30年を超え、各種劣化現象により機能低下を起し始めている⁽¹⁾。CVケーブルへのリプレースや需要増を見越した増容量化において新たな管路や洞道の新設が必要な場合、相当な土木費用が発生するため、コンパクトな形状で大容量送電が実現可能な超電導ケーブルの実用化が期待されている⁽²⁾。本報では、「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」において得られた技術面での成果と、国内初の実系統送電試験の進捗状況について報告する。

100m長の超電導ケーブル実用性検証試験を実施した⁽³⁾。この後、2004年の加圧焼成炉 (CT-OP®) の完成による線材性能の飛躍的な向上を経て⁽⁴⁾、2006年に米国Albanyにおいて世界初の実系統送電に成功した^{(5)、(6)}。



2. 超電導ケーブルの開発経緯

住友電工（以下、「当社」と言う）における超電導ケーブルの開発経緯を図1に示す。1991年から東京電力(株)と共同で高温超電導線材の導体化研究を始め、約10年後に

図1 当社における超電導ケーブルの開発

海外で実施されている超電導ケーブルの送電プロジェクトを表1に示すが^{(7)~(9)}、ケーブル単体の成立性や性能検証を主目的とするプロジェクトが多い。早期実用化に向けて、電力会社・ケーブルメーカー・冷却メーカーが一体となり、冷却システムも含めたトータル送電システムとして、線路設計、建設、運転および保守を含めた総合評価を行うことが重要な段階にあり、国内において「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」が開始された^{(10)、(11)}。

表1 海外の主な超電導ケーブル送電プロジェクト

Area	Project	Voltage (kV)	Current (kA)	Length (m)	Note
USA	Albany	34.5	0.8	350	Finished
	Ohio	13.2	3	200	In operation
	LIPA	138	2.4	600	In operation
	Hydra	13.8	4	200	Plan
EU	Denmark	30	0.2	30	Finished
	Amsterdam	50	3	6,000	Plan
	Russia	20	1.4	200	Plan
	Essen	10	2.3	1,000	Plan
China	Yunnan	35	2	33.5	In operation
Korea	GENI	22.9	1.25	410	Plan
	Jeju	154	2.25	1,000	Plan

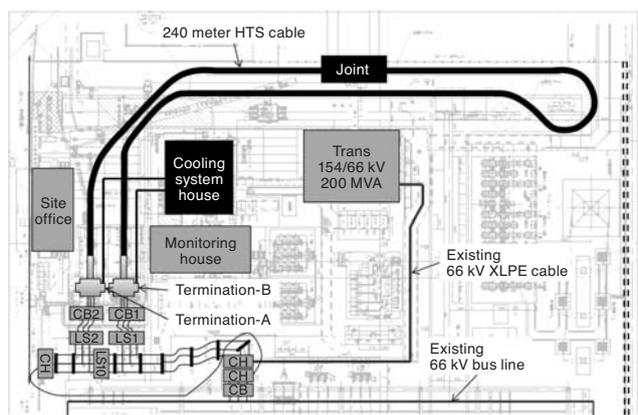


図2 実証ケーブルシステムのレイアウト

表2 実証ケーブルの要求仕様

Items	Specifications
Rated capacity	230 MVA (66 kV, 2 kA)
Maximum current	2.75 kA
AC loss	1 W/m/ph @2 kA
Withstand voltage	AC 90 kV for 3 hours, Imp ± 385 kV 3 repetitions
Fault current	① No degradation against the F.C. of 31.5 kA, 2 sec. ② The rated capacity can be transmitted immediately after F.C. of 10 kA, 2 sec.

3. 高温超電導ケーブル実証プロジェクトの概要

本プロジェクトでは、東京電力(株)、(株)前川製作所、当社の3社で超電導ケーブルシステムを実系統に連系した実証試験を行い、トータルシステムとしての性能評価に加え、安全性や信頼性等を総合的に評価することを目的としている。

3-1 システムレイアウト 実証ケーブルシステムの構成を図2に示す。送電線路を構成する機器として、長さ240mのケーブルの途中には中間接続部を、両端には終端接続部を設け、両終端接続部に冷却システムを接続する。布設場所の制限により、半径5mのU字曲がり部を含んだ特殊なレイアウトであるが、曲がり部がケーブル性能に及ぼす影響を評価することが可能である。

3-2 要求仕様 実証ケーブルの要求仕様を表2にまとめる。

(1) 定格容量

本線路の定格容量は200MVA (66kV、1.75kA)であり、過負荷対応時には最大2.63kAの電流が流れる。このため、ケーブルの定格容量は230MVA (66kV、2kA)とし、2.75kAを連続通電可能な仕様とした。

(2) 交流損失特性

交流損失1W/m/ph@2kA以下を実証ケーブルの仕様と

した。なお、超電導ケーブルの冷却に必要な電力も考慮した送電損失を既存ケーブルの1/2以下とする交流損失は1W/m/ph@3kAであり、プロジェクトの最終目標として取り組んでいる。

(3) 耐電圧特性

66kV級のOFケーブル規格(JEC-3401)に準拠して決定した。

(4) 耐短絡電流特性

本変電所における系統解析結果から、①事故後に送電が継続されないケースでは最大「20kA、2秒」に対してダメージがないこと、②送電が継続されるケース(もらい事故)では最大「10kA、2秒」に対して送電が継続可能なことが要求される⁽¹²⁾。①については、66kV級遮断器で規定されている最大電流「31.5kA、2秒」にも対応可能なことを仕様とした。

3-3 スケジュール 実証プロジェクトのスケジュールを表3に示す。当初は6年計画であったが、2011年の大震災の影響により、1年遅れで実証試験を開始する計画に変更された。

(1) 要素開発(2007-2008)

ケーブル、中間接続部および終端接続部等の各コンポー

表3 実証プロジェクトのスケジュール

	FY 2007	FY 2008	FY 2009	FY 2010	FY 2011	FY 2012	FY 2013
Cable system development	Design & Preliminary tests		Pre-performance test with 30m system				
In-grid demonstration	Analysis of grid condition Decision of test method		Wire and Cable manufacturing		Install Construction	Completion test	In-grid operation
			Cooling system manufacturing	Pre-performance test of cooling system			

ネットについて設計検討ならびに交流損失測定や短絡試験等の要素試験を実施し、各仕様を満たすことを確認した⁽¹³⁾。

(2) 検証試験 (2009-2011)

ケーブルと機器を組み合わせた 30m ケーブルシステムの特性評価と検証試験⁽¹³⁾、⁽¹⁴⁾、および冷却システムの単体性能評価試験を実施し⁽¹⁵⁾、実系統に適用可能な性能を確認した。

(3) 実証試験 (2012-2013)

実証試験用ケーブルシステムおよび冷却システムを構築し、両システムを接続した状態での基礎データを採取した。その後、実系統に連系した長期実証試験を 2012 年 10 月に開始した。

4. ケーブルシステム構成主要設備

4-1 超電導ケーブル 三心一括型超電導ケーブルの構造を写真1に示す。銅撚り線フォーマの外側に、超電導導体層、絶縁層、超電導シールド層、銅シールドを同軸上に巻付けてケーブルコアを構成する。二重ステンレスコルゲート管の間には多層断熱層を設け、高真空に維持することで高い断熱性能を得る⁽¹⁶⁾。

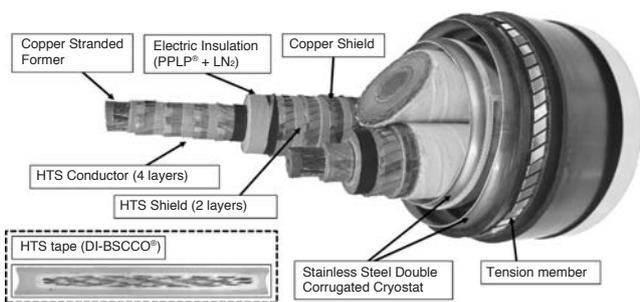


写真1 三心一括型超電導ケーブルの構造

(1) 大容量・低損失化

2種類 DI-BSCCO®線材 (大電流型 TypeHT、低損失型 TypeACT)⁽¹⁷⁾ を組み合わせた Hybrid 構造を超電導導体層に採用した。磁場の大きな導体外層に TypeACT 線を用いて効果的に損失を低減し、損失目標 1W/m/ph@2kA の達成と、3kA の大電流通電に成功した⁽¹³⁾。

(2) 耐短絡電流

銅フォーマと銅シールド層に短絡電流を分流させて超電導層の温度上昇を抑制する構造を採用した。数値シミュレーションにより銅層の必要最小断面積を決定し、サンプル試験で仕様を満たすことを確認するとともに⁽¹³⁾、30m ケーブル検証試験でも短絡電流条件を模した評価を行った⁽¹⁸⁾。

(3) 電気絶縁

電気絶縁層は、PPLP® (Polypropylene laminated paper) に液体窒素を含浸させた複合構造である。絶縁厚 6mm で要求仕様を満たすことを 30m ケーブル検証試験において確認したが⁽¹⁹⁾、過去の長期課電試験の実績等を考慮し、実証ケーブルの絶縁層は 7mm 厚とした。

(4) 三心撚り

ケーブル小径化のため、冷却時に発生する 0.3% の熱収縮を吸収する三心コア緩み⁽²⁰⁾ は設けず、発生する約 3ton の張力は両端末で把持する設計を適用した。超電導線材の銅合金補強により機械強度が飛躍的に向上したことで⁽²¹⁾、本方式が実現可能となった。サンプル試験において、三心コア両端を固定して冷却しても性能が低下しないことは確認済みである。

(5) テンションメンバ

三心コアと断熱管は機械的には独立しており、布設時には許容張力の小さいコルゲート断熱管に張力を印加できないため、断熱管の外側に SUS テープで構成したテンションメンバを付加した⁽²²⁾。布設ルートを考慮して算出した布設張力予想値 2ton に対して、ボールローラー押し込みによる張力低下を考慮して、テンションメンバの設計値は 2ton とした。

4-2 中間接続部 電力ケーブル線路は、通常、マンホール内でケーブルを接続して形成される。66kV 級線路の標準マンホール (約 7m 長) 内で施工可能な三心一括型中間接続部の構造を図3に示す。通常のケーブルとは異なり、超電導ケーブルではオフセット部を設ける必要がないため、マンホールへの収納が可能である。

本中間接続部は表2の仕様を満たすとともに⁽¹³⁾、冷却時にケーブルに発生する張力 3ton 以上の引張応力 4ton、さらに圧縮応力 0.5ton を印加しても、良好な性能を有することを確認した。

4-3 終端接続部 三心一括型終端接続部の構造を

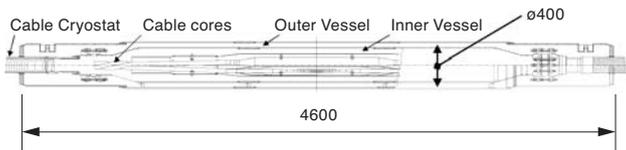


図3 三心一括型中間接続部の構造

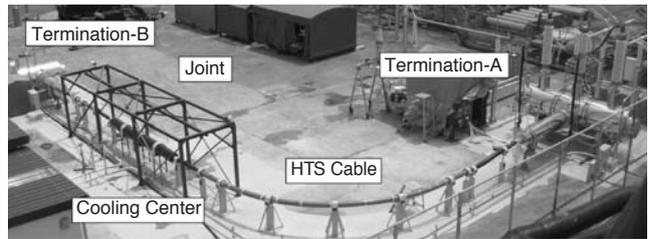


写真2 30mケーブル検証システム

図4に示す。ケーブルコアはFRP固定治具を介して容器本体に引き留め、高電圧部はブッシング内の電流リードを通じて常温部に取り出す。なお、耐塩対策として、標準よりも大きなB1452碍子(66kV級)を採用した。

本終端接続部は表2の仕様を満たすとともに⁽¹³⁾、ケーブル部と異なりシールド層がない箇所が発生する短絡電流電磁力に対して十分な機械的強度を有することを確認した。

径5mの90度曲がり部と中間接続部を、両端に終端接続部を設けた。中間接続部は、7m長のマンホールを模擬したスペースで組立てられた。本ケーブルシステムを冷却システム(1kW級冷凍機2台等)に接続して性能を検証した結果を表4に示す⁽¹⁹⁾。

(1) 第1クール(定格性能確認試験)

臨界電流(Ic)測定、定格通電試験、耐電圧試験等で良好な結果を得た後、30日間の長期課通電試験(電圧は30年間運用に相当する加速試験条件)を完了した⁽¹⁹⁾。

(2) 第2クール(ヒートサイクル試験)

システムを一旦昇温した後に再度冷却し、電気・機械・熱的特性に変化がないことを確認した。

(3) 第3~5クール(限界性能確認試験)

過負荷通電試験で2.75kAの電流を安定に流せることを確認した。また、短絡電流模擬試験で「20kA、2秒」相当以上の過電流に対してケーブルにダメージがなく、運転中の冷却システムに異常が発生しないことを確認した⁽¹⁸⁾。本試験結果を反映して、長尺システムに短絡電流が流れた場合の温度・圧力をシミュレートする過渡解析コードを産業技術総合研究所と開発中である⁽²³⁾。

(4) 残存性能試験

全ての試験が完了した後にケーブルシステムの解体調査を行うとともに、ケーブルの臨界電流測定、耐電圧試験(AC90kV×3時間、Imp±385kV×3回)および構造調査を実施して良好な結果を得た。

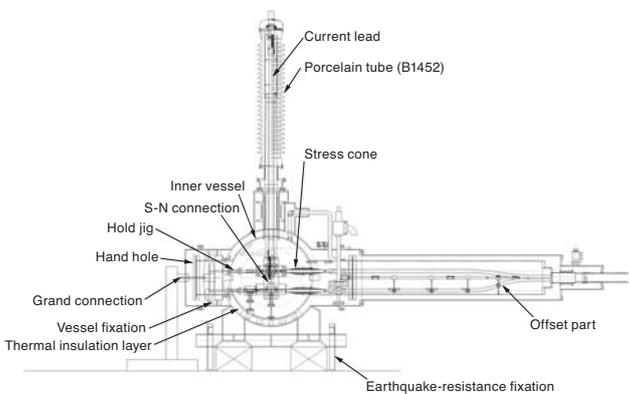


図4 三心一括型終端接続部の構造

5. 30mケーブル検証試験

要求仕様を満たすことを確認したケーブルおよび機器を組み合わせ、30mケーブル検証システムを構築した。

写真2に検証システムの構成を示す。ケーブル途中に半

表4 検証試験結果

Test items	Results	
Pressurized test	No leakage up to 0.6 MPaG at RT	
Current tests	Ic measurement (conductor)	5.4 kA at 77 K, As designed in consideration of magnetic field
	Current loading test	Nominal current of 2 kA for 8 hours, over-current of 2.75 kA for 8 hours, successful
Voltage tests	AC withstand voltage test	AC 76 kV for 10 min, successful
	DC withstand voltage test	DC 152 kV for 10 min, successful
Long term voltage and loading test	At AC 51 kV, and 2kA with 8 hours on and 16 hours off, for 1 month, successful	
Thermal cycle test between RT and LN2 temperature	No degradation of Ic, current or voltage performance in 5 repeated thermal cycles	
Short-circuit current test	No degradation of Ic after 10 kA for 18 seconds	

6. 線路建設

6-1 ケーブル製造・出荷試験 約100km長のDI-BSCCO®線材を用いて製造した270m長の実証ケーブルは、表5に示す出荷試験に合格し、2本(78mおよび160m)に切り分けられ、断熱管内の真空引きを十分実施した後に窒素ガスに置換して出荷した⁽²⁴⁾。

表5 実証ケーブル出荷試験結果

Test items	Results	Comments
Critical current measurement at 77 K	Conductor: 6.9 kA Shield: 7.3 kA	As designed
AC loss measurement	0.9 W/m/phase at 2kA, 50Hz	As designed
Cable bending test	No <i>I_c</i> degradation with 2.7 m \varnothing bending	2.7 m < 18 D (D: cable dia.)
Withstand voltage tests	No breakdown and no PD signal at AC 90 kV for 3 hours No breakdown at <i>I_{mp}</i> \pm 385 kV, 3 repetitions	Refer to Japanese standard (JEC 3401, 2006)
Cable pulling and contracting tests	No <i>I_c</i> degradation at 5 tons tension and 0.5 tons compressive force	3 tons corresponds to 0.3 % strain

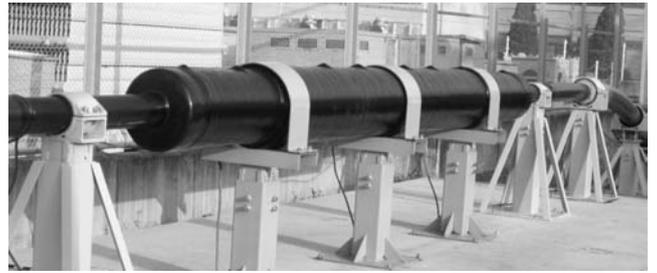


写真3 中間接続部



写真4 終端接続部

6-2 ケーブル布設 2本のケーブルは、中間接続部からそれぞれA端末側およびB端末側の管路に引き込んだ。ケーブル長が長く、曲がり部が多いB端末側ケーブル布設時の張力変化を図5に示す。最大張力は設計値2tonに対して1.3tonであり、ケーブルテンションメンバの設計許容値内であった⁽²²⁾。

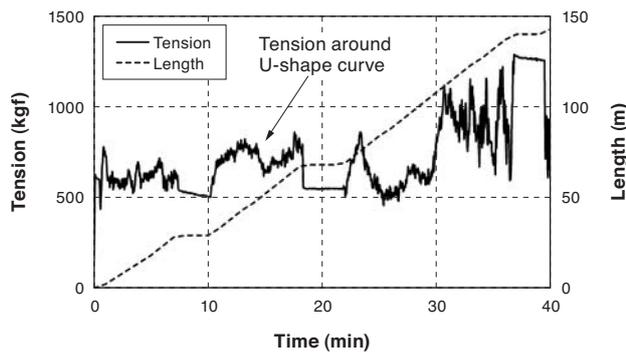


図5 B端末側ケーブルの引込張力の推移

6-3 中間接続部・終端接続部組立 従来の電力ケーブルと同様に、ケーブルは現地で長さ調節(切断)して機器を組立てた。断熱管真空層は、機器の組立期間において再度再真空引きを行った。中間接続部の完成状況を写真3に、終端接続部の完成状況を写真4に示す。

6-4 冷却システム組立 冷却システムの概要を図6、設置状況を写真5に示す。システムは冷凍機、循環ポンプ、リザーバタンク等から構成され、冷凍機は1kW級スターリング冷凍機6台を2台×3並列で配置し、ポンプ2台も並列に配置した⁽²⁵⁾。本方式採用により、各設備の直列・並列配置の得失を検討し、運転継続状態での冷凍機とポンプのメンテナンスあるいは故障時の対応可否などを検証した。なお、本冷却システムの一部は、ケーブル熱負荷を模擬したヒーターを組み込んで事前検証試験を実施し⁽¹⁵⁾、性能確認後に出荷、現地にて再度組み立てた。

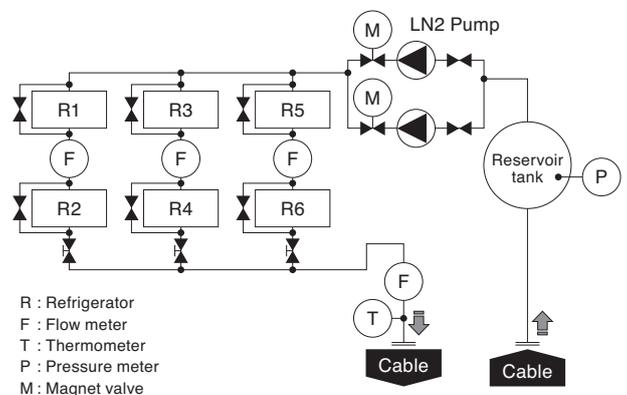


図6 冷却システム概要



写真5 冷却システム

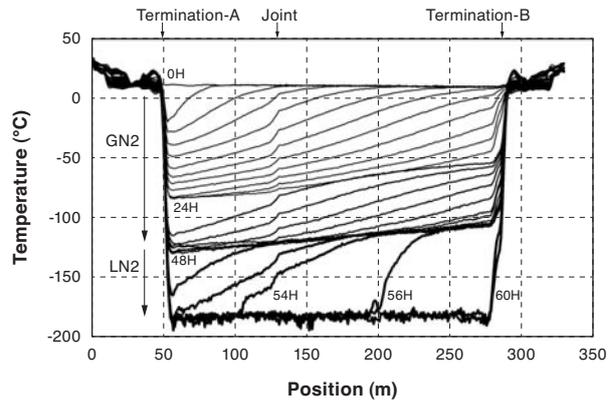


図7 初期冷却時の温度分布推移

7. 運用前確認試験

ケーブルシステムおよび冷却システムの完成後、実系統接続前に実施した主な運用前確認試験を表6に示す。これらの試験によって、トータルシステムとしての特性が良好であり、性能が仕様を満たすことが確認された。

表6 運用前確認試験内容

検証項目		主な実施内容
システム機能検証	初期冷却特性	ケーブル単体初期冷却方法の検証 循環冷却立上げ方法の検証
	ケーブル特性	臨界電流値測定 DC耐電圧試験 熱損失測定 繰返し冷却の影響検証
	冷却システム特性	冷凍機・冷凍能力の実測 循環ポンプ特性の実測 複数台制御試験
運転性制御性	温度・圧力制御	温度制御特性試験 圧力制御特性試験
	無人運転	遠隔監視システムの構築・機能検証
信頼性	予備機切替	故障機から予備機への自動切替え 機能検証
	安定運転	長時間定常運転確認
保守性	メンテナンス方法	運転状態での冷凍機・ポンプ等の メンテナンス方法検証

7-1 初期冷却

(1) 初期冷却方法

冷却に要する時間を短縮するため、下記手順に沿ってケーブルシステムと冷却システムを分離並行して冷却を行った。ケーブル温度分布の推移を図7に示す。本工程に要した日数は約3日であり、短時間で安定的な初期冷却手法を確立した。

①各部の温度、圧力および終端接続部荷重等を監視しながら、A端末側から-100°Cおよび-150°Cの窒素ガスを段階的に注入し、システム全体を冷却した。

②全体の温度勾配が十分小さくなった時点で液体窒素を注入し、最終的にシステム全体を液体窒素温度(約-200°C)に冷却した。

③両システムの圧力が極力バランスした状態で接続し、循環ポンプ及び冷凍機を順次起動して、システム全体の循環冷却モードに移行した。

(2) 発生荷重

終端接続部で確認された冷却時の荷重は3~4tonであり、予想値(3心コアおよび断熱管内管の0.3%収縮を想定した計算値)3.5tonと同等であることが確認された。後述する臨界電流測定において超電導特性の健全性も確認されており、三心緩みなし構造のケーブルを両端固定した状態で冷却するシステム方式が実現可能であることが検証された。本成果により、ケーブル用途や線路条件に応じて「三心緩み構造」と「緩みなし構造」を選択できる技術が確立した。

(3) 絶縁層への液体窒素浸漬状態把握

冷却過程においてケーブルの静電容量Cおよび誘電正接 $\tan \delta$ の測定を行い、PPLP[®]絶縁層への液体窒素含浸状況を観測した。静電容量Cは、温度低下とともに一度極小値をとった後、最終的に0.8 μ F/km(予想値0.78 μ F/km)の一定値を示し、PPLP[®]絶縁層に液体窒素が含浸されたことを確認した。また、誘電正接 $\tan \delta$ も冷却とともに極大値をとった後に0.078%で一定となることを確認した。

7-2 冷却システム制御試験

(1) 温度制御試験

冷凍機のON/OFF制御により、ケーブルシステム入口温度を 69 ± 1 Kの範囲に制御する試験を行った結果を図8に示す。一定サイクルで冷凍機の運転台数が切り替わり、入口温度を所定の範囲に制御できることを確認した。

(2) 圧力制御試験

リザーバタンク内の液体窒素を侵入熱で蒸発させて加圧源とする自然加圧を主方式、タンク内のヒーターを用いて加圧するヒーター加圧を予備方式として採用した。圧力の低下を模擬した試験を行った結果、自動で設定圧力に復

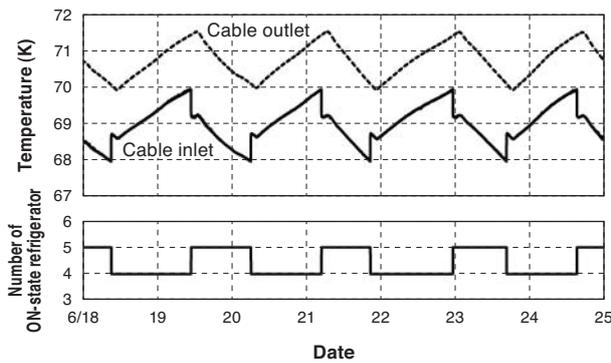


図8 温度制御試験結果

帰し、その後安定した圧力を維持できることを確認した。

(3) メンテナンス検証

循環冷却を維持した状態で冷凍機や循環ポンプを交換する手法を検証した。交換中に圧力や流量に異常はなく、交換前後の昇温・冷却も含めて約2日間で交換可能なことを確認した。

ケーブルシステムと冷却システムを接続した状態で安定に冷却状態を維持できることを確認し、各種ケーブル特性の確認試験に移行した。

7-3 熱負荷測定試験（無負荷） ケーブルのレイアウトにはU字曲がり部に代表される曲線部が多く、三心コア緩みなしに起因した張力も加わり、側圧による断熱管侵入熱の増加が予想される。通常の布設ルートは大半が直線であるため本影響は小さいが、今回は曲がり部における侵入熱増加の影響も検証した。

断熱管サンプル試験により得られた側圧と侵入熱の相関結果から算出したシステム全体の熱負荷予想値2.2kWに対して、システム出入口の温度差から算出した実負荷は2.4kWであり、ほぼ一致することが確認された。曲がり部における侵入熱増加は、布設ルートによっては今後の課題となる。

7-4 臨界電流測定 超電導導体層の健全性を確認するために臨界電流（Ic）測定を実施した。

(1) 測定方法

長尺線路では、1コアの両端に電源を接続して通電するのは困難であることから、実用化時を想定した「2コア往復通電方式」を検証した^{(26)、(27)}。図9に示すように、3コアのうち2コアの超電導導体層（図8ではW相とR相）に往復通電し、各相の発生電圧を測定した。

(2) 予想波形

往復通電時に、両端末内部で三相短絡された超電導シールド層には導体層通電電流（実線矢印）とは逆向きの遮蔽電流（破線矢印）が誘導するが、誘導率は交流通電時と比較して小さいためコア外部への漏れ磁場が発生する。予め、使用した線材のIc値と磁場特性を用いて過渡回路シミュレーションを行った結果、使用線材のIc総和6.8kAに対し

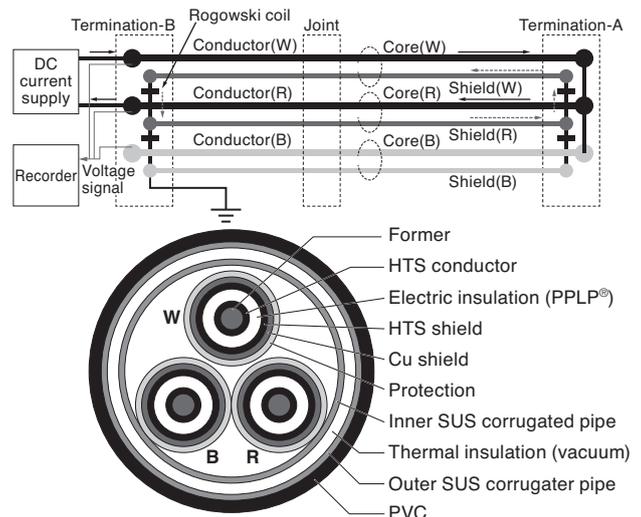


図9 臨界電流測定回路

てケーブルIc予想値は6.5kAであり、その予想I-V波形を図10に破線で示す。

(3) 測定結果

ケーブル部平均温度77.3Kにおいて測定した各相の電圧波形を図10に示す。三相ともにIc値は6.4kAであり、予想波形とほぼ一致し、超電導導体層の健全性が確認された。本試験を含め、計3回の冷却試験（ヒートサイクル有り）において測定を実施し、性能が良好に維持されていることを確認した。

本試験を通じて、超電導ケーブルが実用化された際のIc測定方法が確立された。

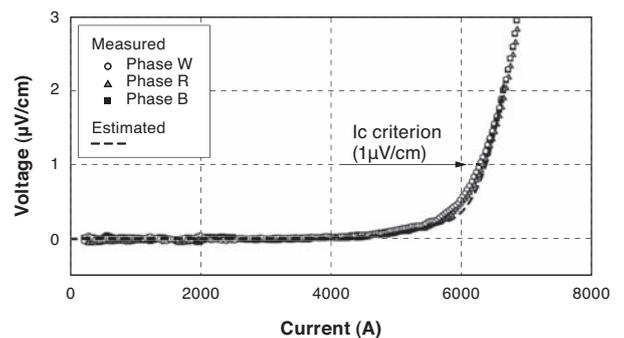


図10 臨界電流測定結果

7-5 直流耐電圧試験 ケーブル全長の絶縁性能の確認を目的とした直流耐電圧試験の条件は、電技解釈14条にもとづき、151.8kV（＝系統最大電圧69kV×裕度1.1×2）、10分間とした。冷却試験毎に耐電圧試験を実施し、いずれも良好な結果を得た。

8. 運用試験

本ケーブルシステムの運用前確認試験の結果は良好であり、仕様を満たすことが確認された。本結果を受けて現地竣工試験が行われ、2012年10月29日15時22分に、国内で初めて高温超電導ケーブルシステムが実系統線路へ接続された。1911年の超電導現象の発見から100年、1988年のBi系高温超電導体の発見から25年目における歴史的な瞬間である。

本ケーブルシステムでは、現地運転状況の遠隔モニタが可能であり、現地無人運転体制に移行後、遠隔監視を行いながら実系統線路での運用を継続している。今後、約1年間におよぶ長期送電試験を行い、超電導ケーブルシステムの信頼性・安定性の実証を行うとともに、実系統における運転方法やメンテナンス方法の検討を行い、実用化に向けた課題を抽出する。

9. 結 言

超電導ケーブルは、大容量電力ケーブルのリプレースや増容量化に有効な技術として期待されている。単なる技術開発ではなく、実用化を視野に入れたフェーズとして「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」を開始した。これまでに、実系統で要求される性能を有する超電導ケーブルの要素技術開発を進め、30mケーブルシステム検証試験によりその性能を確認した。その後、実証試験向け超電導ケーブルの製造、冷却システムの単体性能試験を完了し、超電導ケーブル送電システムを建設、現地竣工試験を経て、2012年10月29日に実系統への接続を完了し、実線路実証試験を開始した。

超電導ケーブル構成機器については、さらなる高性能化、コンパクト化、低コスト化を図る必要がある一方、本試験を通じて、超電導ケーブルシステムが現状の電力システムに適用可能であることを証明するとともに、実線路に要求される運用・保守技術を評価する本プロジェクトの意義は大きい。来る「環境・エネルギー調和型社会」に超電導送電技



写真6 竣工セレモニーの様子 (2012年10月29日)

術が貢献できるよう、早期実用化に向けて取り組んでいきたい。

本研究の一部は、「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」として、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) との共同研究にて実施したものである。

用語集

※1 CVケーブル

Cross linked polyethylene Vinyl cable : 架橋ポリエチレンを絶縁体とし、外側に遮蔽層と防食層を設けた乾式ケーブル。

※2 洞 道

地中に構築する暗きょ (トンネル)。床上あるいは棚上にケーブルを布設する。

※3 管 路

主に地中に埋設されて活用される、ケーブルを収容するための管状の部材。ケーブルの引き入れや引き抜きを容易にし、布設後は外傷防止の役目を果たす。

※4 交流損失

超電導線材・導体に発生する損失。直流通電時には抵抗がゼロであるため、損失は発生しないが、交流通電 (交流磁界) を行なった場合には、ヒステリシス損失、渦電流損失、結合損失などの損失が発生する。これらの損失をまとめて交流損失と呼んでいる。

※5 短絡事故

送電ケーブルの相間が導通して起こる事故。

※6 もらい事故

保護リレーによる保護区間外で短絡事故が起きた場合で、短絡事故電流が流れた直後も課通電のある場合の系統事故。

参 考 文 献

- (1) 戸谷、「最近の電力ケーブル技術の動向について」、電学論B, vol.126, no.4, pp.396-399 (2006)
- (2) 廣瀬 他、「高温超電導の実製品化検討」、SEIテクニカルレビュー第168号 (March 2006)
- (3) 増田 他、「66kV級3心一括型高温超電導ケーブルの開発」、SEIテクニカルレビュー第159号 (September 2001)
- (4) 加藤 他、「革新的ビスマス系高温超電導線 (DI-BSCCO) の開発」、SEIテクニカルレビュー第168号 (March 2006)

- (5) 湯村 他、「長尺三心一括型高温超電導ケーブルによる世界初の実線路建設と商用運転（米国 ALBANY プロジェクト）」、SEI テクニカルレビュー 第170号 (January 2007)
- (6) 湯村 他、「高温超電導ケーブルの実線路への適用（米国 ALBANY プロジェクト）」、SEI テクニカルレビュー 第174号 (January 2009)
- (7) J. F. Maguire, et. al., "Installation and testing results of Long Island transmission level HTS cable," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol.19, pp.1692-1697 (2009)
- (8) P. Tixado, "Development of superconducting power devices in Europe," Physica C, vol.470, pp.971-979 (2010)
- (9) S. Lee, et. al., "Modeling of a 22.9 kV 50 MVA superconducting power cable based on PSCAD/EMTDC for application to the Icheon substation in Korea," Physica C, vol.471, pp.1283-1289 (2011)
- (10) T. Masuda, et. al., "A new HTS cable project in Japan," IEEE transactions on Applied Superconductivity, vol. 19, pp.1735-1739 (2009)
- (11) S. Honjo, et. al., "Status of superconducting cable demonstration project in Japan," IEEE transactions on Applied Superconductivity, vol. 21, pp.967-971 (2011)
- (12) 鬼頭 他、「高温超電導ケーブル実証プロジェクトー短絡電流による影響検討ー」、電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集、No.266 (2008)
- (13) 大屋 他、「日本初の超電導ケーブルによる実線路実証プロジェクト（高温超電導ケーブル実証プロジェクト）」、SEI テクニカルレビュー 第176号 (January 2010)
- (14) T. Masuda, et. al., "Test results of a 30 m HTS cable for Yokohama project," IEEE transactions on Applied Superconductivity, vol. 21, pp.1030-1033 (2011)
- (15) 大野 他、「超電導ケーブル用冷却システムの単体運転」、2010年度秋期低温工学・超電導学会講演概要集、pp.72
- (16) 増田 他、「Albany プロジェクト向け超電導ケーブルの開発」、電学論B、vol.126、no.8、pp.827-833 (2006)
- (17) N. Ayai, et. al., "Progress in performance of DI-BSCCO family," Physica C, vol.468, pp.1747-1752 (2008)
- (18) 大屋 他、「高温超電導ケーブル実証プロジェクトー30m ケーブルシステム検証試験結果ー」、電気学会超電導応用電力機器研究会資料、ASC-11-002 (2011)
- (19) 大屋 他、「高温超電導ケーブル実証プロジェクトー30m ケーブルシステム検証試験結果ー」、電気学会超電導応用電力機器研究会資料、ASC-10-024 (2010)
- (20) M. Watanabe, et. al., "Thermo-mechanical properties of a 66 kV superconducting power cable system", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol.13, pp.1956-1959 (2003)
- (21) 菊池 他、「新製品 DI-BSCCO の開発」、SEI テクニカルレビュー 第172号 (January 2008)
- (22) 稲垣 他、「高温超電導ケーブル実証プロジェクトの進捗状況」、電気学会超電導応用電力機器研究会資料、ASC-12-003 (2012)
- (23) M. Furuse, et. al., "Stability analysis of HTS power cable with fault currents", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol.21, pp.1021-1024 (2011)
- (24) 畳谷 他、「高温超電導ケーブル実証プロジェクトー実証試験向け超電導ケーブル製造ー」、電気学会超電導応用電力機器研究会資料、ASC-11-029 (2011)
- (25) 池内 他、「超電導ケーブル用冷却システムの構築」、2010年度春期低温工学・超電導学会講演概要集、pp.100
- (26) 大屋 他、「長尺三心一括型超電導ケーブルの臨界電流測定（1）ー数値解析ー」、電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集、No.317 (2011)
- (27) 大屋 他、「長尺三心一括型超電導ケーブルの臨界電流測定（2）ー実験結果ー」、電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集、No.318 (2011)

執筆者

大屋 正義* : 超電導製品開発部 主査
博士（エネルギー科学）



稲垣 芳宏 : 超電導製品開発部
畳谷 和晃 : 超電導製品開発部
伊藤 秀樹 : 超電導製品開発部 主査
斎藤 高廣 : 超電導製品開発部 主査
芦辺 祐一 : 超電導製品開発部 主査
渡部 充彦 : 超電導製品開発部 主査
湯村 洋康 : 超電導製品開発部 主査
中西 辰雄 : 超電導製品開発部 主幹
広田 博史 : 超電導製品開発部 グループ長
増田 孝人 : 超電導製品開発部 主幹
廣瀬 正幸 : 超電導製品開発部 主幹
大野 隆介 : ㈱前川製作所 技術研究所 主任
下田 将大 : ㈱前川製作所 技術研究所
仲村 直子 : ㈱前川製作所 技術研究所 主任
矢口 広晴 : ㈱前川製作所 技術研究所 課長
市川 裕士 : 東京電力(株) 技術開発研究所 主任
三村 智男 : 東京電力(株) 技術開発研究所 主幹
本庄 昇一 : 東京電力(株) 技術開発研究所 マネージャー
原 築志 : 公益財団法人東電記念財団

*主執筆者