

「世界最長 500m 高温超電導ケーブル フィールド試験完了」

財団法人電力中央研究所と古河電気工業株式会社は、超電導発電関連機器・材料研究組合の委託を受けて電力中央研究所 電力技術研究所（神奈川県横須賀市）構内に、世界最長の 500m 高温超電導ケーブル試験設備を布設し、布設検証試験の後、2004 年 4 月より、基本特性試験、定常運転特性、負荷変動試験、過酷・限界特性試験を進めた。

2005 年 3 月には、計画した全ての試験を完了し、将来の高温超電導ケーブルの実用化に向けた基本的な技術の確立に成功した。

なお、この研究は、経済産業省の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) が、超電導発電関連機器・材料技術研究組合 (Super-GM) に委託した「交流超電導電力機器基盤技術の研究」プロジェクトの中で実施したものである。

研究開発の背景

高温超電導ケーブルは都市部の漸増する電力需要に対する送電線の容量不足の解消と、電力の送電損失低減が可能な技術として期待されている。高温超電導ケーブルは、マイナス 196 の液体窒素で冷却することにより超電導状態となり、電流をほとんど抵抗のない状態で流すことができる。

この原理を応用すると、銅線を使った現用の CV ケーブルに比べて、大きな電流を低損失で送ることができる。さらに、コンパクト化できるため、都市部において地中送電用に多数埋設されている 150mm 径の 275kV 用管路にも収納可能であり、布設費用を低減することが期待できる。

このように有利な特徴をもつ超電導ケーブルの性能を検証し、実用段階においては延長数 km となるケーブルのシミュレーション評価を可能とするため、NEDO 殿のプロジェクトの中で古河電工が世界最長となる 500m 超電導ケーブルを開発・製造し、電力中央研究所が古河電工と共同でフィールド試験を実施した。試験は、2004 年 3 月より試験設備の冷却を開始し、同年 4 月よりフィールド試験を開始した。

フィールド試験の概要

図 1 に超電導ケーブルの構造を示す。超電導ケーブルは、ビスマス系の超電導テープをフォーマ（軸芯）に巻き付けて導体としたもので、絶縁層と超電導シールド層をつけたケーブルコアを、液体窒素を流す断熱管の内部に収納している。この超電導ケーブルを、実際のケーブル布設を模擬した試験線路（図 2）として布設した。



図 1 500m 超電導ケーブルの構造
(Super-Ace プロジェクト (NEDO))

フィールド試験線路は、基本的には陸上競技場のトラックに似た形状であるが、各所に実際の布設形態を模擬した箇所を設けている。地中ケーブルを模擬した地中埋設部、河川横断橋梁添架を模擬した 10m 高の高低差部、冷却・昇温時の熱伸縮を吸収するためのオフセット部を含んだ立体的な線路形態である。

冷却システムは、液体窒素を過冷却状態で循環、冷却するシステムである。冷凍機 6 台と循環ポンプによってケーブル末端部の冷却とケーブル部の循環冷却を行う。ケーブルの冷却は 10m 高低差部側の末端から液体窒素を送り出し、地中埋設部側の末端に戻る循環経路である。

超電導ケーブルへの課通電は、CV ケーブルで短絡した末端間に設置したリングトランスにより通電し、試験用変圧器によりケーブルコアと対地間に課電した。

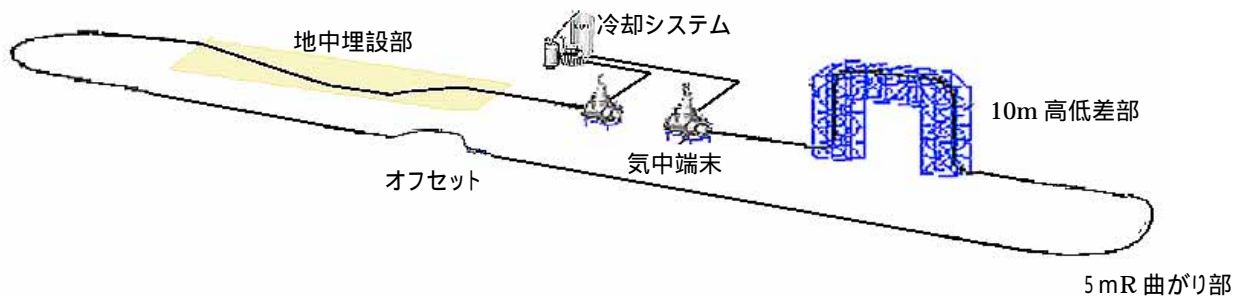


図 2 500m 超電導ケーブル フィールド試験線路

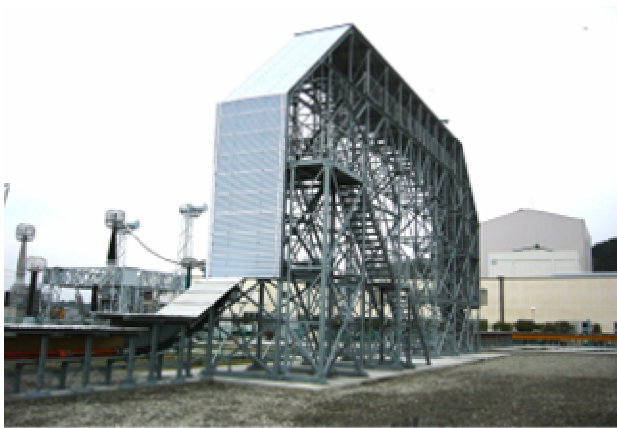


図 2 -附 1 10m 高低差部全景

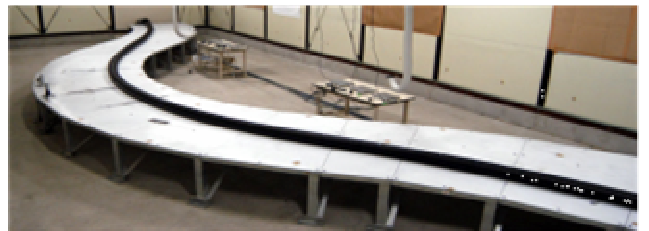


図 2 -附 2 オフセット部外観

フィールド試験項目（実施期間）と結果

(1) 布設検証試験（2003年11月）

500m 超電導ケーブルを試験線路に布設する際に一部を実際の地中管路布設を模擬した従来の布設工法で布設するが、その場合の施工性と施工後ケーブルの健全性を検証する。試験の結果では、従来のCVケーブルと同様な工法で150mm径の管路の中に超電導ケーブル（133mm径）を布設した結果、超電導特性に性能劣化が起きないことを確認した。

(2) 基本特性試験（2004年3月～5月）

冷却・昇温時の熱挙動（冷却特性、熱収縮挙動）、定常冷却での熱侵入量、圧力損失、電気特性（初期耐電圧特性、臨界電流特性、交流損失特性等）を確認する。試験では、ケーブルの電気特性、冷却・昇温時の熱挙動、定常冷却での熱侵入量などの基本特性の測定を行い、設計仕様を満足することを確認した。

その一例として、常温から液体窒素温度に冷却したときには導体部が約0.3%収縮するが、この熱収縮時の応力を緩和するために、ケーブル線路の一部に、図2-附2に示すスネークオフセットを設け、ケーブルが自由に動くことが出来る構成にしている。このオフセット部の挙動は次のようであった。オフセット部の長さは冷却前後において約690mmの収縮を吸収した。これは想定値に合致する値であり、機械応力緩和が十分に機能していることが確認された。また、昇温時には、最終的なケーブルの戻りは490mmに留まった。これは、温度上昇が遅れた地中埋設部側へケーブルが送り出されたためである。

(3) 定常運転試験（2004年12月～2005年1月）

再冷却時の冷却特性の確認および熱履歴を受けたケーブルの健全性を確認する。これには、約1ヶ月間の課通電による電気絶縁性能と冷却システムの健全性を確認した。例えば、再冷却後に測定した臨界電流値と初期冷却後に測定した値と比較すると同一であり、冷却・昇温・冷却の熱ストレスを受けても超電導線材に劣化のないことを確認できた。

(4) 負荷変動試験（2004年10月～12月）

系統の日負荷変動を考慮した電流変動と瞬時に0～100%となる急激な電流変動を与えたときのケーブルおよび冷却システムの追従性能を確認する。負荷変動試験は2種類の電流パターンで各1週間連続で課通電を実施した。一つのパターンは、実系統の日負荷変動を模擬して、電流を徐々に上昇させ、その後定値に維持し、次いで徐々に降下させるという変動であり、もう一方のパターンは、冷却システムにとって最も過酷と考えられる急峻な変動で、瞬時に電流を上昇させ、その後定値に維持した後、瞬時に電流を降下するという変動である。結果の一例としては、実系統の日負荷変動を模擬した試験では、電流上昇時での冷却の追従に若干のオーバーシュートが見られたが、3時間程度で安定状態に落ち着いている。

(5) 過酷・限界性能試験（2005年1月～2月）

停電や故障を想定した冷凍機、液体窒素ポンプ停止時の課通電継続時間（限界時間）の見極め、定格電流を越えた交流損失急増領域での部分放電発生の確認、定格電圧以上に電圧を上昇させた

時に部分放電が発生する限界電圧を確認停電や故障を想定して、冷却システムが停止した状態での運転や、ケーブルの定格を越えて電流を流す過酷条件での運転を行い、ケーブルにダメージが無いことを確認する。

試験では、課通電継続の限界時間を見極めるために温度、圧力、部分放電の発生を指標に、冷凍機の故障を想定して冷凍機を停止し、定格の課通電を継続した結果、初期の平均液体窒素温度が絶対温度 73 度（マイナス 200 ）で液体窒素流量が毎分 30 リットルの条件下で、3 時間 30 分で圧力が限界に達した。

フィールド試験で得られた成果の意義

本フィールド試験の結果、超電導ケーブルが全長に渡り健全であることを確認し、さらに過酷・限界試験などの各種試験に耐えて信頼性が高いことを確認した。また、一連の試験により、超電導ケーブルの設計、試験法、布設施工法、運用に対して実用化に資する大きな成果が得られた。

現在、米国、韓国、中国等で超電導送電ケーブルの開発が進行中である。それらの計画に先行して超電導ケーブルの実用化に向けた種々のデータを入手できたことは意義が大きいと考える。

以上

用語解説

(1) 「交流超電導電力機器基盤技術の研究」プロジェクト：

経済産業省の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)が超電導発電関連機器・材料技術研究組合(Super-GM)に委託して、2000 年度より 5 ヶ年計画でスタートしたプロジェクト。電力輸送設備を構成する主要な交流電力機器(ケーブル、限流器、変圧器)を超電導化することで飛躍的な経済性と環境性の向上を目指しており、そのための基盤技術の開発を実施する。本プロジェクトには、古河電工、電力中央研究所の他に、東京電力、関西電力、中部電力、東芝、三菱電機、住友電工、フジクラ、日立電線、前川製作所、JFCC の他、多数の大学が参加している。

(2) 高温超電導ケーブル：

超電導ケーブルは、液体窒素温度(マイナス 196)で超電導状態となる高温超電導線材を導体を使用することにより、送電ロスを大幅に減らすことができ、現用の送電用ケーブルと比較して、軽量かつコンパクトで大容量の送電が可能となる。そのため、既存のケーブルを超電導ケーブルに置き換えることで、地下ケーブルトンネルを増やすことなく、送電容量を上げられることができ、また送電容量当たりのコストの削減が可能となる。高温超電導ケーブルの構造は、フォーマと呼ばれる芯にテープ状のビスマス系超電導線材(3)を多数本螺旋上に巻きつけ、更にその上に、電気絶縁層、超電導シールド層、保護層を設けることでケーブルコアを形成しており、そのケーブルコアを断熱管の中に収納したものである。

(3) ビスマス系超電導線材：

ビスマス、ストロンチウム、カルシウム、銅等からなる酸化物超電導材料を銀パイプに充填して伸線し、この線を多数本束ねてさらに伸線を行い、圧延と熱処理を繰り返してテープ状にした超電導線材で、液体窒素温度(マイナス 196)で超電導状態となる。