



パイプタイプケーブル引替用トリプレックスケーブルの実線路適用

Application of Retrofit XLPE Cable for Existing Circuits

兼田 大樹*
Taiki Kaneda

丹治 義和
Yoshikazu Tanji

安田 英治
Hideharu Yasuda

Sirichom Teerathana

米国の送電網では、1940年代から鋼管入り電力ケーブル（HPFF 又は HPGF）が使われてきた。鋼管には絶縁油やガスが充填されており、老朽化に伴い、鋼管の腐食や漏油が問題化している。HPFF/HPGF ケーブル*1は既に製造企業がない上、都市部の線路では地中に水道・ガス管、通信ケーブルなどが混在することから、鋼管路の除去、新規布設が非常に困難であるため、既設の鋼管路をそのまま活用し、新たに設計されたケーブルシステムに置き換えないといけないという課題があった。本報では米国の既存送電網において、既設 HPGF ケーブルを撤去し、当社が米国・日本で特許を取得しているトリプレックス形架橋ポリエチレン絶縁ポリエチレンシースケーブル（CET ケーブル）の開発・設計を行い、リプレースを完了した成果について報告する。

A large number of high-pressure fluid-filled (HPFF) and high-pressure gas-filled (HPGF) pipe-type cables had formerly been installed in U.S. power transmission lines since 1940s. As the pipe-type cables age, corrosion of the steel pipes and leakage of the dielectric fluid have become a problem. Using technology patented in the U.S. and Japan, Sumitomo Electric Industries, Ltd. designed, delivered, and installed a new high-voltage cross-linked polyethylene (XLPE) triplex cable and its accessories for the existing transmission lines.

キーワード：電力ケーブル、リプレース、パイプタイプケーブル、トリプレックス

1. 緒言

米国の既存送電網では、鋼管路の中に漏油問題が懸念される HPFF/HPGF ケーブルが布設されたパイプタイプケーブルシステムが使用されてきた。老朽化に伴いケーブルの更新が必要であるものの、当該ケーブルは既に製造企業がない上、地中には水道・ガス管、通信ケーブルなども混在し、鋼管路の除去、新規布設が非常に困難であった。

そのような問題がある中、米国の HPGF ケーブル実線路において、当社が米国・日本で特許を取得しているトリプレックス形 CE ケーブル*2を提案し、既設鋼管路を活用するケーブルシステムを設計、開発、現地布設を完了した。

2. 米国プロジェクトの概要

本プロジェクトの対象となった HPGF ケーブル線路は 1973 年から運転されており、線路更新が求められていた。しかし、当該線路は高速道路下に埋設されており、新規管路を布設することが困難であった。そこで既設管路内に新規のトリプレックス形 CE ケーブルを布設するケーブルシステムの開発を行った。そして既設管路内の HPGF ケーブルを撤去し、新規ケーブルを布設し、竣工試験を実施した。

2-1 要求仕様

要求されるケーブルシステムの仕様を表1、また線路構成を図1に示す。

表1 要求仕様

定格電圧	115kV
商用周波数	60Hz
基準衝撃絶縁強度 (BIL)	550kV
導体断面積	2500kcmil
既設 HPGF パイプ	内径：8.125 inch 外径：8.625 inch
線路長	約1300 feet
管路埋設深さ	約35 feet

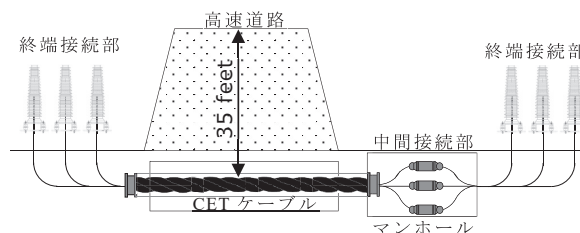


図1 線路構成

2-2 スケジュール

本プロジェクトのスケジュールを表2に示す。

(1) システム設計

顧客要求仕様を満たし、布設可能なケーブルシステムを

表2 プロジェクトスケジュール

	2018												2019												2020					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
(1) システム設計	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																		
(2) 形式試験													■	■	■	■														
(3) ケーブル・付属品製造																														
(4) 現地施工																														☆

設計、顧客へ提案し、承認を得た。

(2) 形式試験

ケーブルと機器を組み合わせ、実線路を模擬したケーブルシステムを構築し、米国規格 AEIC^{※3}に準拠した形式試験を実施し、実系統に適用可能な性能を確認した。

(3) ケーブル・付属品製造

米国規格 AEICに準拠した工場出荷試験を行い出荷した。

(4) 現地施工

2020年1月から施工を着工し、電力ケーブルの布設に加え、電力ケーブル用温度測定システムを設置し、計画通りの同年3月15日に完工を果たし、顧客にて同年5月15日から運転が行われ、本プロジェクトを無事完了した。

(2) トリプレックス構造

電力ケーブル、アルミパイプ及びECCは撚り合わされており、運転時における温度上昇によるケーブルの熱膨張は、撚り合わせが緩むことで吸収されるため、中間接続部や終端接続部への伸び出し、軸力を抑えることができる(図2)。

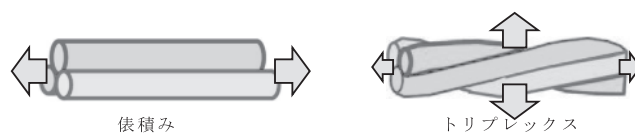


図2 依積みとトリプレックス構造

3. ケーブルシステム構成主要設備

3-1 トリプレックス形CETケーブル

トリプレックス形CETケーブルの構造を写真1に示す。これは電力ケーブル3本とアルミパイプ3本と中心に接地線(ECC) 1本を撚り合わせて構成される。

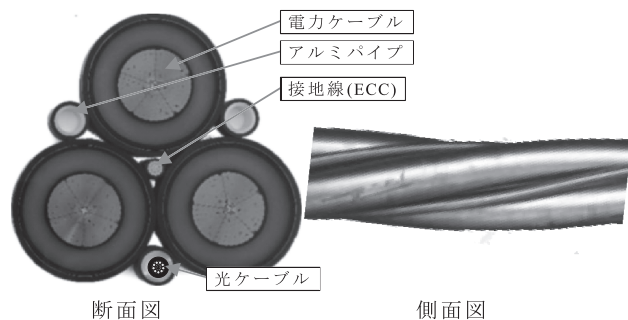


写真1 CETケーブルの構造

(1) 電流容量の大容量化・耐短絡電流

電力ケーブルは遮水テープを用いる場合、一般的にワイヤーシールドを使って短絡電流許容量を満たす。当社が保有する特許にて、銅ラミネート遮水層、アルミパイプ及び、ECCに短絡電流を分流させ容量を満たし、ワイヤーシールドを省くことで、導体サイズを最大化、大容量を確保できるようにした。

(3) アルミパイプ

中空のアルミパイプを複合、光ケーブルを挿入することにより、光ケーブルを圧損することがなく温度監視が可能となる方式を採用している。

3-2 中間接続部

電力ケーブル線路は通常、マンホール内で中間接続部(写真2)を使って、ケーブルを接続して形成される。電力ケーブルはトリプレックス構造であるため、軸力の低減及び、管路へのケーブル伸び出しを抑えられるので、オフセット部を設けず、マンホール寸法を縮小することが可能である。またアルミパイプを接地、固定する支持具が備わっている。



写真2 中間接続部

3-3 終端接続部

終端接続部は表1の仕様を満たすとともに、IEEE693に規定される引張試験及び片持ち梁曲げ試験(cantilever)

を実施し（写真3）、耐震性能として十分な機械的強度を有することを確認した。また中間接続部と同様にアルミパイプを接地、固定する支持具を備えている。

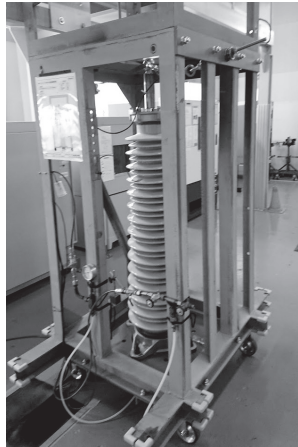


写真3 IEEE693試験

3-4 温度監視システム

本プロジェクトには当社製の光ファイバ温度分布計測装置 オープサーモ[®]FTR3000を採用した。この装置は一般的にDTS (Distributed Temperature Sensing System) と呼ばれ、光ファイバ全長に亘って温度分布が計測できることから、電力ケーブルなど長距離・大規模設備の監視に適用されている。装置の外観と原理図を図3に示し、FTR3000の主な仕様を表3に示す。

埋設ケーブルでは周囲の土壌や埋設環境により場所ごとに温度が異なり、設計では考慮されない高温箇所（以下、ホットスポット）が存在する可能性がある。このホットスポットにより導体温度が規定値を超え、絶縁体の劣化が急激に進行しケーブル期待寿命以前に絶縁破壊に至ることもある。オープサーモはケーブル全長の温度を分布測定することによりこれらホットスポットを未然に検出し、ケーブルの健全運用に役立てることができる。

温度測定用の光ファイバは、電力ケーブル布設後にトリプレックスケーブルのアルミパイプに挿入する。アルミパイプは進行方向に向かってらせん状に旋回しており、ウインチ引きではパイプ内面の摩擦が大きく布設が困難であることから、空送装置により圧送布設することとした（図4）。

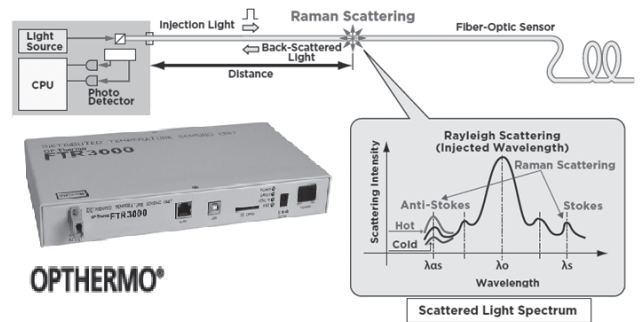


図3 温度監視システム概要

表3 オープサーモFTR3000仕様

項目	仕様
最大測定距離	2km
サンプリング間隔	1m
温度精度 (標準偏差)	1.0℃以下
測定時間	8秒～
応答距離	1.5m
適合光ファイバ	マルチモード (GI 50/125)
寸法	300 (W) × 160 (D) × 37 (H) mm
質量	3kg

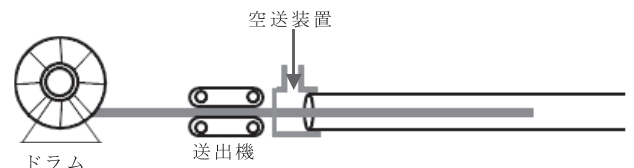


図4 空送装置

4. ケーブルシステム形式試験

実証試験として米国規格 AEIC CS9-15に基づいた形式試験（表4）を実施した。図5に検証システムの構成を示す。線路に8インチ鋼管を設け、実物と同じ寸法の模擬マンホールに中間接続部を、線路両端に終端接続部を設けた。

表4 形式試験項目

No.	試験名	試験内容
1	曲げ試験	ケーブルに25×(d+D)3回ずつ曲げを加える
2	部分放電測定	1.75U ₀ (117kV) 10秒 →1.5U ₀ (100kV), 5pC
3	誘電正接測定	1.0U ₀ (67kV), 105-110℃, Max.0.001
4	ヒートサイクル試験	2U ₀ (133kV), HC: 20回
5	部分放電測定	1.75U ₀ (117kV) 10秒 →1.5U ₀ (100kV), 5pC
6	雷インパルス試験	±550kV ± 10回
7	商用耐圧試験	2.5U ₀ (166kV) 15分
8	解体調査	異常のないこと

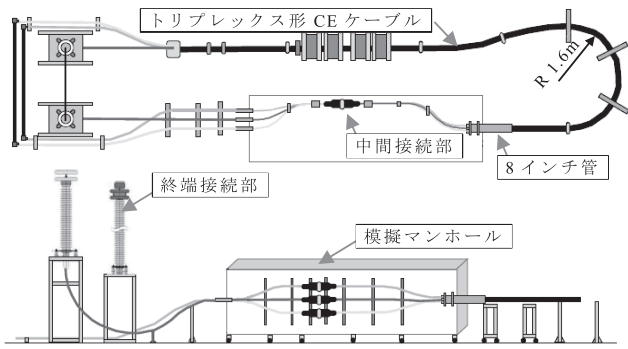


図5 形式試験システム構成

(1) 定格性能確認試験

現地布設の影響を模擬した曲げ試験を実施したケーブルシステムにおいて、部分放電測定・誘電正接測定を行い、良好を確認した。

(2) ヒートサイクル試験

ケーブルの許容運転温度 (90℃) よりも高い温度の限界許容温度 (105℃) の負荷をケーブル線路に与え、20日間の長期課通電試験 (AC133kV) を完了した。

(3) 残存性能確認試験

部分放電測定、耐電圧試験 (Imp ±550kV × 10回、AC166kV × 15分) を実施し、ケーブル、終端接続部及び中間接続部を解体し、異常がないことを確認した。

5. 現地布設

5-1 既設 HPGF ケーブルの撤去

既設 HPGF ケーブルを全て撤去し (写真4)、パイプ内部を清掃した。新規ケーブルの布設検証のため、テストピースをパイプ内に引き通し、また Smart Pig^{*5} を使用してパイプの劣化状況を調査し、ケーブル布設に問題がないことを確認した。



写真4 既設ケーブル撤去

5-2 ケーブル輸送

電力ケーブルは直径4.2m × 幅3.5mの大型ドラムに巻かれており、現地では電線に干渉しないルートを選択し、夜間に工事現場へ輸送した (写真5)。



写真5 ドラム輸送

5-3 ケーブル布設

布設区間の傾斜を考慮し、ケーブルは終端接続部からマンホール方向へ引き入れることとした。周囲の架空線、他回線、建物が隣接しており、ドラム配置・移動方法を検討し、布設用パスラインを構築した (写真6)。約5m長のケーブルを試験的にパイプ内に引き入れ、問題がないことを確認した後、本線の布設を行った。



写真6 ケーブル布設

5-4 中間接続部組立

中間接続部の支持部の設計や資材は米国 Professional Engineering Stamp^{*6} を取得しており、マンホール内で中間接続部の組立を行った。完成状況を写真7に示す。

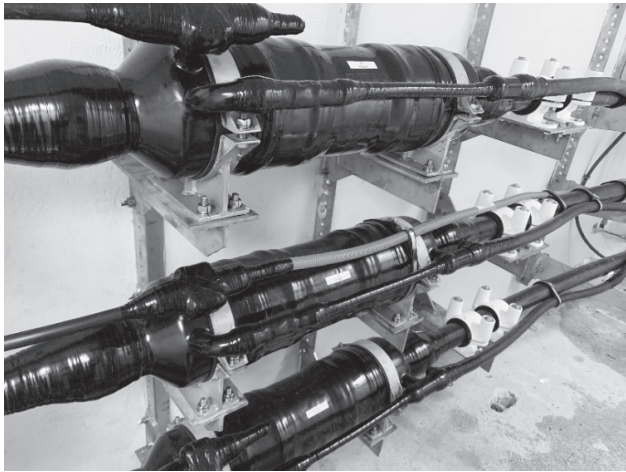


写真7 中間接続部

5-5 終端接続部組立

オープンピットを終端接続部の架台下に設けることで、立上がり管を使用せず、トリプレックスケーブルを分岐し、終端接続部を施工した。完成状況を写真8に示す。既設線路では鋼管の腐食防止のためにカソーディックプロテクション (CP) が設けられていた。今回のリプレース後でもCPが機能するように系統設計を行っており、将来ケーブルの入替があった場合も、鋼管を有効活用できるようになっている。



写真8 終端接続部

5-6 光ケーブルの空送

トリプレックス形CETケーブルの布設後、空送装置を使ってアルミパイプ内に光ケーブルを引き入れた(写真9)。

5-7 温度監視システム構築

温度監視システム装置は終端接続部が設置される敷地内にある管理室に設置し、光ケーブルを引き込み接続した

(写真10)。温度監視ソフトウェア上で注意報・警報の2レベルの警報設定が可能であり、設計上の許容温度をベースに設定した。

オーピサーモの温度分布グラフを図6に示す。光ケーブルのルートは変電所制御室を出発し、近端ケーブル端末、ケーブル部、中間接続マンホール、遠端ケーブル端末となっている。ケーブル端末箇所には温度校正用の光ケーブル束を設置している。図の温度分布は昼間と夜間のグラフを重ねたものであるが、気中の温度校正束の温度が変化している以外は、埋設箇所は温度が変化していないことがわかる。高速道路下は温度が高くなっているが、これはアスファルトの影響である。また、ルート上に懸念される特異点(ホットスポット)はなかった。

今後ケーブルが運用開始されると通電による発熱により徐々に土壌温度が上昇する。通電後の温度分布と通電前の温度分布を比較することで、温度上昇の特異点が発見でき、土壌環境改善や通電電流制御などの対策にも活用できる。



写真9 光ケーブル布設

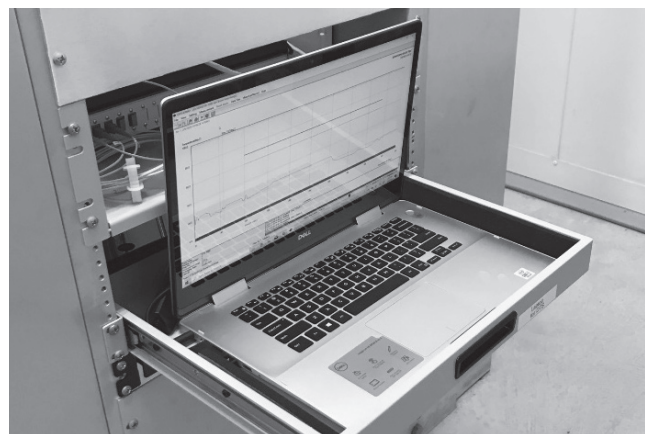


写真10 温度監視システム

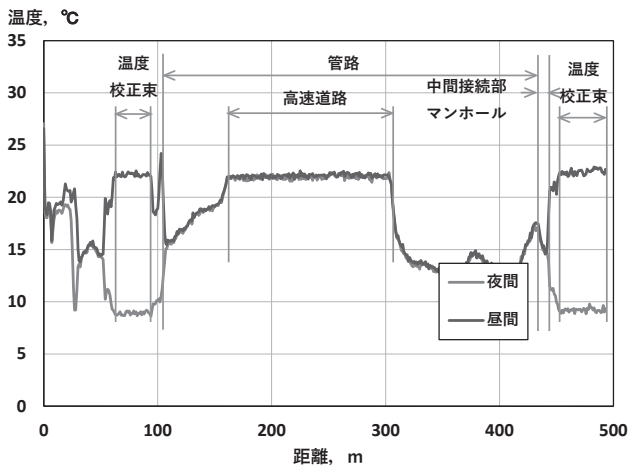


図6 温度分布グラフ

6. 竣工試験

ケーブル布設及びすべての機器の組立終了後、電力ケーブル線路については防食耐電圧試験、交流耐電圧試験 (1.7U₀, 113kV × 1時間) 及び、部分放電測定 (0.8U₀, 1.0U₀, 1.7U₀) を実施した。温度監視システムについては光ロス測定試験、動作確認試験を行った。以上の試験について、すべて満足する結果を得て、2020年3月15日に竣工試験を完了した。現地試験状況を写真11に示す。



写真11 竣工試験

7. 結 言

HPGFケーブルのリプレースとして、トリプレックス形CETケーブルを実線路へ初めて適用するプロジェクトを開始した。実システムで要求される性能を有するケーブルシステムの開発を進め、形式試験によって、その性能を確認した。そして現地でケーブルの布設、機器の施工を完了し、

2020年3月15日に現地竣工試験を完了させた。本線路は5月15日より異常発生することなく、運転を開始した。

本線路は合計で6回線あり、本プロジェクトではその内の1回線のリプレースを行った。2021年には2回線のリプレースを予定している。

HPFF/HPGFケーブルは年々劣化が進み、リプレースは今後更に需要が増すと考えられ、顧客の注目を集めている。今後はトリプレックス形CETケーブルのさらなる高性能化、コンパクト化、低コスト化の適用を目指して取り組んでいきたい。

用語集

※1 HPFF/HPGFケーブル

High Pressure Fluid Filled又はHigh Pressure Gas Filled cable：絶縁紙を絶縁体としたケーブルを鋼管内に引き入れ、鋼管内に絶縁油又はガスを充填したケーブル。

※2 CEケーブル

Cross linked polyethylene insulated, polyethylene sheathed cable：架橋ポリエチレンを絶縁体とし、外側に遮水層とポリエチレン防食層を設けたケーブル。

※3 AEIC規格

Association of Edison Illuminating Companies：米国AEICが発行する電力ケーブルに適用される規格。

※4 オーピサーモ

オーピサーモ及びOPTHERMOは住友電気工業(株)の商標登録です。*FTR3000は型番です。またOPTHERMOは英文の概要にあります。

※5 Smart Pig

管内を通過させて内部のメンテナンスや清掃を行うための機械のこと。管内を移動しながら内部損傷状態の検査を実施する。

※6 Professional Engineering Stamp

国/各州からライセンスを受けたエンジニアにより承認受けることで、技術の確実性を示すことができる。

執筆者

兼田 大樹* : 電力プロジェクト事業部 主査



丹治 義和 : 機器事業部 主査



安田 英治 : 電力エンジニアリング事業部



Sirichom Teerathana : 電力プロジェクト事業部



*主執筆者