

500kV長距離CVケーブル線路 - 東京電力新豊洲線 -

東京電力株式会社 米本典裕・宗田康弘
電力事業部 瀬尾右文*1・熊田佳範*1・山之内 宏*2
伊藤雅彦*3・國村 智*4
材料技術研究所 中村 詳一郎*5
藤倉エネシス株式会社 藤井善之・石井友三

Underground Transmission Project by 500kV XLPE Cable

N. Yonemoto, Y. Muneta, S. Seo, Y. Kumada, H. Yamanouchi,
M. Itoh, S. Kunimura, S. Nakamura, Y. Fujii & T. Ishii

世界初の低減絶縁500kV 2,500mm²アルミ被CVケーブル地中送電線路である東京電力新豊洲線の建設がこのほど完成した。

当社では線路巨長約40km 2回線のうち、ケーブル約20km 1回線分と付属品を納入し、特に1,800mにおよぶケーブルの長尺化によって中間接続数の削減と工期の短縮に寄与した。また、本プロジェクトでは品質管理、布設工法および中間接続に多くの最新技術を適用して線路の信頼性の向上に努めてきた。以下に本プロジェクトの概要を示す。

Underground transmission line applying two circuits of 500kV 2,500mm² aluminum sheathed XLPE cable, named "Shin Toyosu Line" has been constructed with Tokyo Electric Power Company. This is the first XLPE cable line with straight through joint and designed to supply power to Tokyo Met. Completed route length is about 40km, Fujikura has supplied the cable with one circuit of 20km, 51 phases of joint and 3 phases of SF₆ sealing end. The continuous cable length was about 1,800m, it made the number of joints decreased and compressed the construction schedule. In this project, newly developed quality control methods, laying methods, and jointing method for much reliability of transmission line were adopted. This paper presents the outline of the project and up-to-date technologies.

1. ま え が き

当社は、東京電力株式会社 新京葉変電所と新豊洲変電所を約40kmのCVケーブル2回線で結び、世界初の中間接続を含む、500kV長距離CVケーブル線路建設工事において、ケーブル約20km 1回線分と付属品である押出しモールド型中間接続部（以下EMJと略す）およびガス中終端接続部を受注し、1996年より線路建設を進めていたが、このたび、無事その据付工事を終了した。

本線路に納入したケーブルは500kVで初めて低減絶縁厚（従来32mm 27mm）を採用した単心2,500mm²アルミ被CVケーブルである。ケーブル製造では押出し樹脂全量検査装置などの最新技術を適用し、品質管理に万全の体制を敷くとともに、1,800mにもおよぶ長尺ケーブルの採用

に対応するため、工場能力を最大限に発揮して製造を進めてきた。

また中間接続においても最新の検査技術の適用を推進するとともに、施工技術の自動化をはかることによって線路の信頼性の向上、工期短縮に大きく寄与した。

本線路は2000年11月に竣工試験が完了し、都心の電力需要に対する供給力確保の一翼を担うものとして大いに期待されている。

2. 布設ルートの概要

今回施工した新豊洲線500kV CVケーブル線路は、図1および表1に示すように千葉県船橋市の新京葉変電所と東京都江東区豊洲に新設された新豊洲変電所を連系する地中送電線である。線路は巨長約40km2回線の500kV 2,500mm²アルミ被CVケーブルで構成され、このうち当社は新京葉変電所側20kmの1回線分を納入した。

*1 電力技術部

*2 電力技術部主管部員

*3 富津製造部製作課長

*4 富津製造部技術課長

*5 化学材料開発部

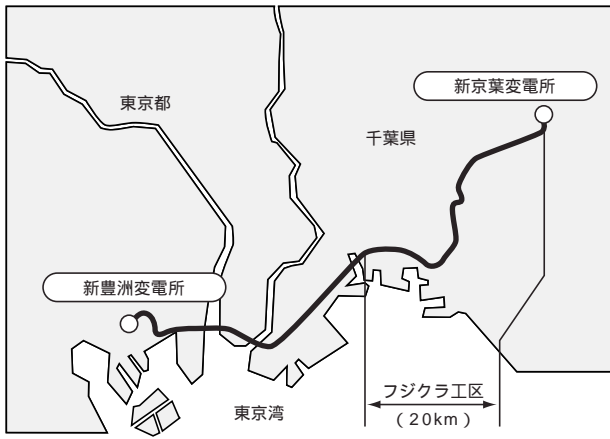


図1 ケーブルルートの概要
Outline of cable route

表1 新豊洲線の概要
Outline of Shin Toyosu line

区 間	新京葉変電所～新豊洲変電所
ケーブル	500kV 2,500mm ² アルミ被CVケーブル
送電容量	900MW/1回線 (将来1,200MW/1回線)
亘 長	約40km (約20km)
回線数	2回線 (1回線)
中間接続部数	240相 (51相)
終端接続部数	12相 (3相)

注) () 内は当社の納入数量

3. ケーブルの絶縁設計

新豊洲線に適用した500kV CVケーブルの構造は、アルミ被CVケーブル (CAZVケーブル) である。CVケーブルの絶縁設計は、商用周波電圧および雷インパルス電圧に対する設計耐電圧値 V_{AC} 、 V_{Imp} を設定し、(1)式により必要絶縁厚 t_{AC} 、 t_{Imp} を求め、大きい方の値を採用する¹⁾。またケーブル絶縁厚はケーブル自体の電気特性を満足するとともに、中間接続部であるEMJの外導処理部についても同様に満足する必要がある。

$$t_{AC} = V_{AC} / E_{L(AC)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$t_{Imp} = V_{Imp} / E_{L(Imp)}$$

ここに、

$$V_{AC} = 550 / \sqrt{3} \times K_1 \times K_2 \times K_3 = 970kV \quad \dots\dots\dots (2)$$

- K_1 : 商用周波電圧に対する温度係数 (= 1.2)
- K_2 : 商用周波電圧に対する劣化係数 (= 2.3, 1時間と30年の換算係数, 寿命指数 $n = 15$)
- K_3 : 商用周波電圧に対する不確定要素に対する裕度 (= 1.1)

$$V_{Imp} = LIWV(1425) \times K_1 ' \times K_2 ' \times K_3 ' = 1,960kV \quad \dots\dots\dots (3)$$

- $K_1 '$: 雷インパルス電圧に対する温度係数 (= 1.25)
- $K_2 '$: 雷インパルス電圧に対する劣化係数 (= 1.0)
- $K_3 '$: 雷インパルス電圧に対する不確定要素に対する裕度 (= 1.1)

統計的最低破壊電界 E_L は、架橋方式を水蒸気架橋から

乾式架橋に変更して有害なポイドをなくすことができたこと、特に当社ではシリコン油を架橋および冷却媒体として使用しており、CVケーブルに有害とされる水を排除した完全乾式架橋を実現していること、さらに材料および製造ラインの異物管理の強化、スクリーンメッシュの細密化等、製造技術の進歩にともなって向上してきた。

新豊洲線向けケーブルの絶縁厚低減を確立するに当たっては、500kV CVケーブルと同一レジン、同一製造方式で製造したモデルケーブルの破壊試験データを評価することによって、ケーブルの性能を支配している欠陥が、

表2 ケーブルおよびEMJの設計 E_L 値ならびに必要な絶縁厚
Design stress for cable and EMJ and required insulation thickness

項 目	E_L (kV/mm)		絶縁厚 (mm)	
	AC	Imp	AC	Imp
ケーブル: E_{CL} ¹	40	80	25	25
EMJ外導処理部: E_{minL} ²	27.6	57.5	27	26

- 1: 平均ストレス評価
- 2: 外導上のストレス



図2 500kV CVケーブル
Photograph of 500kV XLPE cable

表3 納入ケーブル構造表
Construction of 500kV XLPE cable

公称電圧		kV	500
導 体	公称断面積	mm ²	2,500
	形 状	-	分割圧縮円形
	外 径	mm	61.2
内部半導電層厚さ		約mm	2.5
絶縁体厚さ		mm	最小27.0
絶縁体外径		mm	120.2
外部半導電層厚さ		約mm	1.0
クッション層厚さ		約mm	3.0
波付きアルミ被厚さ		約mm	3.2
防食層厚さ		mm	6.0
仕上がり外径		約mm	162
概算重量		約kg/m	41

異物，半導電突起であることを明らかにすることで劣化係数として $n = 15$ を採用することができた²⁾。また(1)式における設計電界 E_L は，上記モデルケーブルおよびEMJの破壊試験データのワイブル分布解析から推定される最新の統計的最低破壊強度 E_L を採用した。

表2は500kV CVケーブルおよびEMJの設計電界と必要絶縁厚をまとめたものである。表2に示すとおり，ケーブル絶縁厚はEMJ外導処理部の $E_{L(AC)}$ より27mmを採用することができた。これは従来の絶縁厚32mmに対して大幅に低減を果たしたもので，外導処理部界面の平滑化と，架橋温度特性の改良によってもたらされた。¹⁾この絶縁厚の低減はケーブルのコンパクト化，軽量化に大きく寄与するものである。新豊洲線に納入したケーブル構造を図2および表3に示す。

4. ケーブルの製造

送電線路建設の工期短縮を目的として，ケーブル長尺化による中間接続数の削減をはかるため，新豊洲線においては最長区間で1,800mを越える長尺ケーブルを納入した。製造に当たっては，その性能支配因子である欠陥(異物，ポイド，突起)を制御するため，表4に示す品質管理手法を用いて製造された。特に異物についてはスクリーンメッシュの細密化によって絶縁体中の最大欠陥を制御するとともに，スクリーンメッシュ通過直後の樹脂を光学的に検査する全量樹脂検査装置を設置し，全押し樹脂内に管理値以上の異物混入がないことを確実に検査，保証した。またケーブルの長尺化に対しては，絶縁体押し架橋工程における製造設備の精密制御によって，絶縁体の長時間連続押し架橋を実現した。

5. ケーブル輸送・敷設

新豊洲線では1,800mを越える長尺ケーブルを採用し，ドラム寸法はつば径4.25m x 外幅8.55m，ケーブルを含めた総重量は92.5トンと陸上輸送ができないため，ケーブルは東京湾に面した富津工場専用の岸壁より海上輸送された。船橋市 日の出埠頭に水切りされたケーブルは，本工事専用に建設されたケーブル敷設基地より洞道内へ輸送，敷設された，ケーブル輸送，敷設に当たっては納入メーカーの協力の下，低摩擦管工法，洞道内ケーブル搬送工法の新工法が開発された。このうち当社では，低摩擦管工

表4 500kV CVケーブルの欠陥管理項目と品質保証方法
Defect control items and quality control method for 500kV XLPE cable

管理項目		保証方法
異物	管理手法	スクリーンメッシュによるフィルタリングの強化
	検査手法	全量樹脂検査，サンプルスライス検査
ポイド	管理手法	架橋時のプロセス管理(温度，圧力などの製造条件)
	検査手法	サンプルスライス検査
突起	管理手法	スクリーンメッシュによるフィルタリング強化
	検査手法	サンプルスライス検査



図3 ケーブル引き入れ状況(1)
Photograph of cable laying

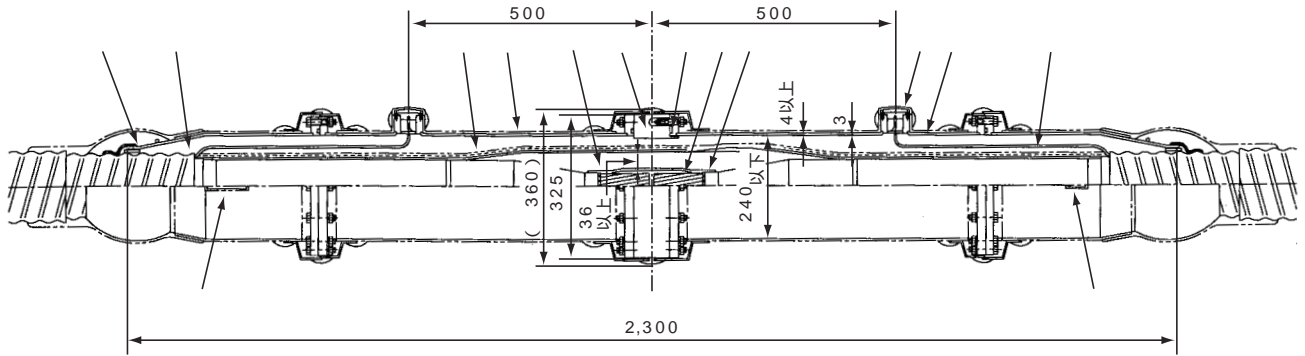


図4 ケーブル引き入れ状況(2)
Photograph of cable laying

法という新工法を担当した。これは，シリコン油を含浸させた摩擦係数の低い管路を利用することで，引入れ速度の向上をはかるものである。また洞道内ケーブル搬送工法は駆動装置(ツインプーリ，磁気ベルト)により，ケーブルを載せた搬送台車を前方へ送り出し，洞道内のレール上を走行させるもので，これらの新工法の適用によって，ケーブルの引入れ速度は，従来工法の4倍を越える25m/minにおよび，引入れ日数の短縮に貢献している。ケーブル引入れ状況を図3，図4に示す。

6. 接続技術³⁾

新豊洲線の中間接続部として採用されたEMJは，ケー



No.	名称	No.	名称	No.	名称	No.	名称
	保護管		しゃへい層		クロスボンド用端子座		テフロンチューブ
	導体接続管		防水混和物		スペーサ		防水混和物注入口
	内部半導電層		Oリング		防食層		
	絶縁体		絶縁筒		保護装置用端子座		

単位：mm

図5 押し出しモールドジョイントの構造
Construction of extrusion type mold joint

ブルと同一の品質管理のもとで製造された架橋剤入りポリエチレンを原材料とし、施工現場で小型押し出し機を用いて金型内に材料樹脂を押し出し、ケーブルと補強絶縁体を一体成形する工法によって製造される(図5)。現場施工で製造する特徴を除くとケーブルと同じ工法であり、EMJの性能を支配する欠陥もケーブルと同じ性能支配因子(異物、ポイド、突起)であるので、品質管理手法もケーブルと同じ考え方で管理を行った。新豊洲線において採用されたEMJの新技术としては、施工面では自動ペンシリング機の導入による信頼性の向上および施工時間短縮、また検査精度向上の面ではマイクロフォーカスX線検査装置とイメージングプレートを組合せた高精度のX線検査技術および全量樹脂検査装置がある。これらの最新技術を用いて新豊洲線のEMJは製造された。

7. 部分放電試験⁴⁾

新豊洲線においては「交流過電圧に対する保証」および「初期故障の原因となる欠陥のスクリーニング」を目的として部分放電試験条件を決定している。表5に部分放電試験条件を示す。

表5に示した対象欠陥を十分スクリーニング可能な条件として、1.1E (352kV) × 1時間 + 1.0E (318kV) × 168時間という、過去に例のない各相当たり7日間におよぶ部分放電の連続測定を行い、線路の健全性を確認した。ケーブル線路の部分放電測定の基本原理を図6に示す。当社の部分放電測定システムでは、外部ノイズの影響の少ない数MHz～数10MHzの高周波成分を検出する。部分放電測定システム概要図を図7に示す。検出電極と検出インピーダンスにより検出された部分放電信号とノイズキャンセル用アンテナ信号は、光伝送システムにより2～40MHzの周波数帯で親局まで伝送される。伝送された信号は同調

表5 部分放電試験条件
Field test conditions

対象欠陥	外傷性欠陥	1.0E × 82h
	スジ状ポイド	1.0E × 3h
	扁平・外導界面ポイド	1.1E × 1h
	水ポイドトンネル	1.0E × 168h
部分放電試験条件		1.1E (352kV) × 1h + 1.0E (318kV) × 168h

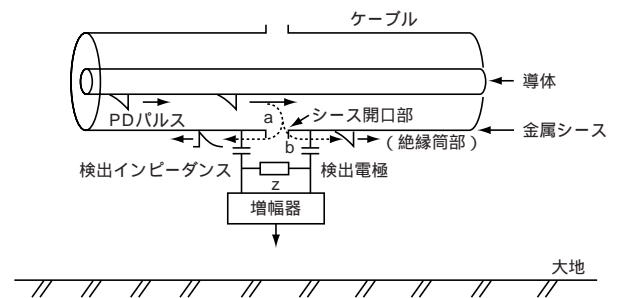


図6 ケーブル線路の部分放電検出原理
Principle of partial discharge detection

増幅器に入力され、現場のノイズ状況に合わせた周波数で同調増幅されて、部分放電解析装置で処理される。

本システムの特徴を次に示す。

- (1) 親局で同調周波数の変更が可能のため、作業性の向上 およびノイズ状況の変動に対し迅速に対応可能。
- (2) 部分放電発生箇所的位置標定が可能。標定精度はケーブルスパンの0.5%程度。
- (3) 部分放電信号の周波数スペクトル解析が親局で可能。
- (4) 遠方監視装置により遠隔地での測定状況の把握が可能。
- (5) 相切換え装置により、親局からの指令で任意の測定相に切換え可能。

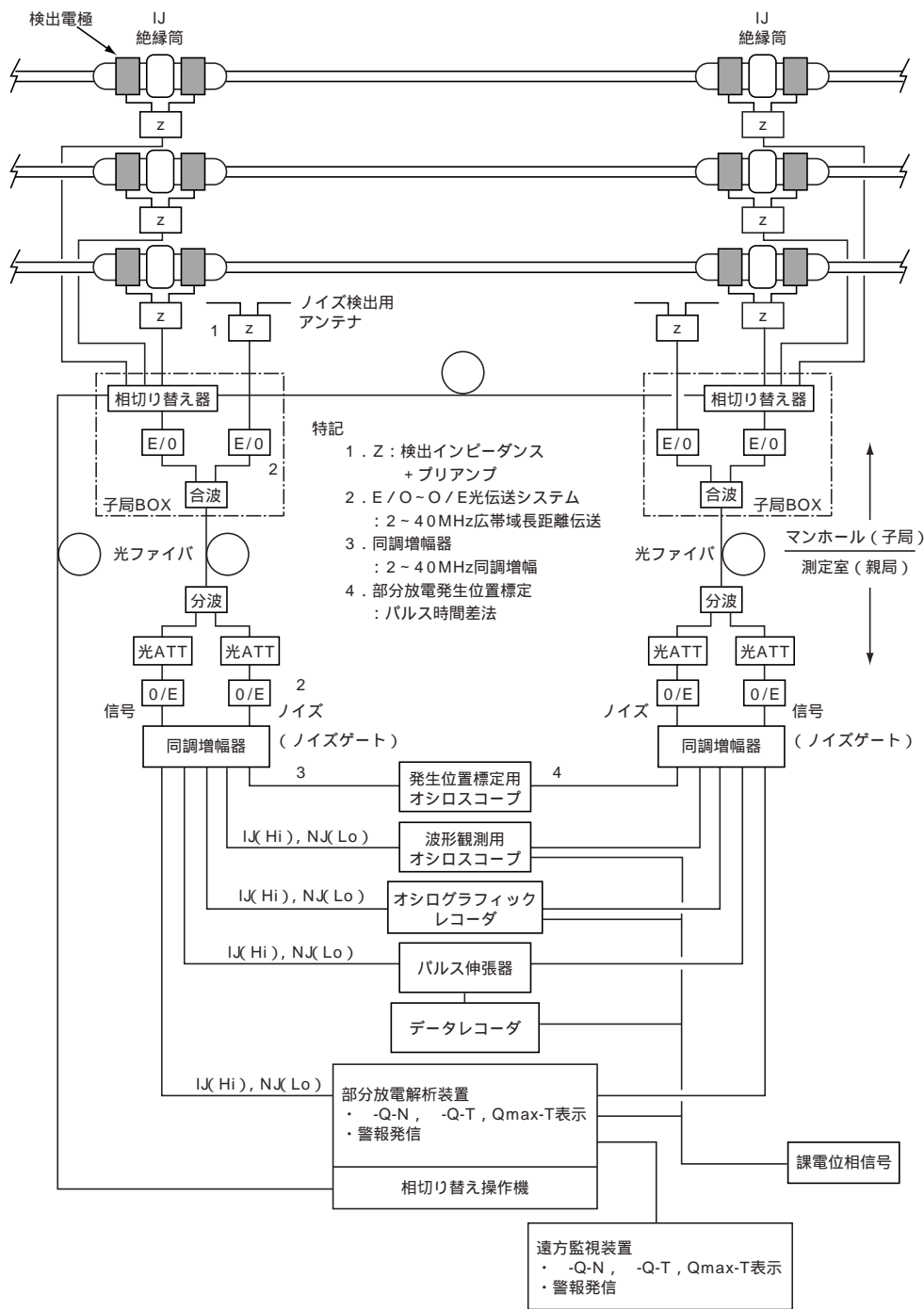


図7 部分放電測定システム概要図
Partial discharge measuring system

8.むすび

参考文献

世界初となる500kV長距離CVケーブル線路である東京電力新豊洲線において、当社は線路の信頼性向上のため、新開発された製造・検査・建設技術を適用しながら建設を推進し、2000年11月に無事、竣工試験が終了した。今回適用された各種の新技术は今後の超高压地中送電線路の建設に採用され、送電線路の信頼性向上に寄与するものと期待される。

- 1) 府川, 川井, 岡野ほか: 500kV CVケーブルおよび接続部の開発, フジクラ技報, 第88号, p5, 1995
- 2) 久保田, 高橋ほか: 500kV CVケーブルの基礎特性, フジクラ技報, 第84号, p139, 1993
- 3) 府川, 川井, 岡野ほか: 500kV CVケーブルおよび接続部の開発(その2), フジクラ技報, 第92号, p33, 1997
- 4) 高橋, 菊田, 中村ほか: 超高压CVケーブル線路の部分放電測定, フジクラ技報, 第94号, p50, 1998