

# 電力事業部

## Power Cable Division

### 概況

電力事業部は、66kVから500kVまでの超高压地中あるいは海底送電用の電力ケーブルと、その機器部品を取扱っており、電力会社の基幹電力輸送をになう送電システムを構成する製品群を製造、布設している。このようなシステムは非常に高い信頼度を要求されることから、送電システムの設計、製造、検査、施工、保守までを含むシステム全体を納入するケースもあり、地中、海底送電システム全体を総合的に扱うことに大きな特徴がある。

特に海外プロジェクトでは、ケーブル、機器部品の製造のみでなく、設計から土木工事までをも含むフルターンキーによるプロジェクトが多く、その面でも大きな実績を持つ当社は、世界中の電力会社から高い評価を得ている。また、高度な技術を必要とする海底ケーブルの設計、製造、布設においても、多くの国内外のプロジェクトを手がけている。

本事業部で扱う電力ケーブルは、油浸絶縁を用いるOFケーブルと、架橋ポリエチレンを絶縁材料とするCVケーブルに大きく分けられるが、いずれのケーブルについても当社では、500kVという世界最高電圧のシステムの納入実績を有している。

### 1. 製品紹介

#### 1.1 最新鋭のケーブル製造工場

高信頼度を要求される電力ケーブルの最新鋭の製造拠点として、当社は1992年に千葉県富津市に富津工場を建設した。

この工場では、超高压電力ケーブル製造のキーテクノロジーである、クリーン化技術、長尺ケーブル製造技術の最新技術を適用するとともに、最新のコンピュータ技術を用いた品質管理システムを導入し、信頼度の高い超高压電力ケーブルおよび、その接続材料を製造している。

特に超高压CVケーブルの製造には、原材料の製造からケーブル完成にいたるまでを完全にクリーン化したウルトラスーパークリーン材料供給システムを採用し、40 $\mu$ m以上のコンタミネーションフリーの超高压CVケーブルを製造している。この技術を用いて製造された500kVCVケーブルは、東京電力の新京葉豊洲線に納入され、首都圏への電力送電に大きな役割を果たしている。

また、近年超高压地中ケーブル、海底ケーブルでは、



図1 富津工場

### 電力事業部関連年表

1928年	SLケーブル製造開始
1930年	OFケーブル製造開始
1954年	深川に超高压実験室完成
1960年	電源開発、奥只見発電所向け275kVVOFケーブル納入
1962年	アラビア石油向け40kV油浸絶縁海底ケーブル納入
1964年	66kVVCVケーブル製造開始 国内最初の66kVPOFケーブルを佐倉工場に布設
1970年	国内最初の77kVVCVケーブル長距離線路納入(中部電力、鈴鹿線)
1974年	275kVVCVケーブルを開発 東京電力、袖ヶ浦火力向け500kVVOFケーブル納入
1977年	東京電力、妻木変電所向け154kVVCVケーブル納入
1978年	電源開発、北海道本州連系直流250kV海底OFケーブル納入 国内初のコンピュータによるケーブル監視システム納入(九州電力)
1981年	東京電力、玉原揚水発電所向け275kVVCVケーブル納入
1990年	中部電力、知多第二南武平町線 275kVVCV長距離線路納入
1992年	富津工場開設
1993年	東京電力、塩原発電所向け500kVVCVケーブル納入
1994年	サウジアラビア、アラムコ向け69kV長距離海底CVケーブル納入
1995年	直流250kVVCVケーブルの開発終了 カナダ、ハイドロケベック345kVプレハブジョイントの長期試験終了
1996年	東京電力、新京葉豊洲線 500kVVCV長距離線路納入
1998年	関西電力、電源開発 紀伊水道横断直流500kVVOF海底ケーブル納入
2000年	世界初のGPSを利用した故障点評定システムを納入(中部電力) サウジアラビア 380kVVCV長距離線路納入

コストダウン、高信頼度化の観点から長尺化の要求が大きくなっており、富津工場では電力会社のニーズを踏まえ、数十kmの長尺ケーブルを連続で製造できる能力を有している。工場内には図1の工場全景写真に示すように、専用のケーブル出荷埠頭を擁しており、長尺の地中ケーブル、海底ケーブルの出荷に大きな威力を発揮している。このような長尺ケーブル製造技術は、関西電力、電源開

発向けのDC500kV海底OFケーブル50kmをジョイントなしで製造するという世界でも類を見ないプロジェクトに結実しており、世界の電力会社から高い評価を得ている。

最新のコンピュータ技術を駆使した電力ケーブル品質管理システムは、クオリス (QUALIS) システムと名づけられ、製造ケーブルの品質データをリアルタイムで解析し、高信頼度の電力ケーブルの製造に大きな役割を果たしている。

1.2 超高压CVケーブル

当社の送電用の高電圧CVケーブル製造は、1964年の66kV CVケーブルの製造から始まり、高電圧CVケーブルのトップランナーとして、154kV、275kV、500kVの電圧階級において、常に世界のトップを切って、実用化の道を開いて来ている。表1にそれぞれの電圧階級における最初の納入線路を示す。また、図2に示すように、66kV以上のCVケーブルの納入長はすでに7,600kmとなり、初納入の1964年以来無事故で運転されている。

表1 各電圧階級におけるCVケーブル初回納入線路

納入年	納入先	布設場所	電圧 (kV)	サイズ (mm <sup>2</sup> )	ケーブル長 (約km)
1977	東京電力	妻木変電所	154	200	0.3
1981	東京電力	玉原発電所	275	800	3.7
				600	4.1
1992	東京電力	塩原発電所	500	1,400	1.5

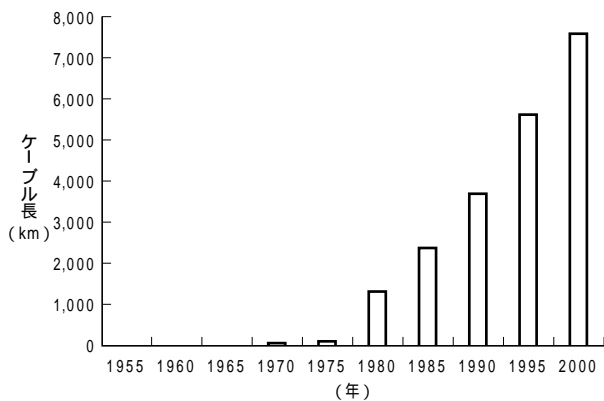


図2 66kV以上CVケーブルの納入長

当社の高電圧CVケーブルは、当社が独自に開発した、架橋、冷却媒体に電気特性の優れたシリコン油を使用するFZCV方式で製造されており、優れた電気特性のケーブルの製造を可能にしている。この技術は1979年にワイヤアソシエーションにおいて優秀賞を得ている。

現在の当社の超高压CVケーブルは、このような当社独自の製造技術に最新のクリーン化技術を適用した、下記のような特徴をもつウルトラスーパークリーン材料供給システムを適用し、高信頼度の超高压CVケーブルを製造している。

- (1) 特殊なフィルタリング技術によりコンタミネーションを完全に除去する。
- (2) 工場ラインの完全無塵化によりコンタミネーションを混入させない。
- (3) 特殊な押出温度のコントロール方式、材料移送方式によりコンタミネーションを発生させない。

当社のこのような高信頼度技術は国内外の電力会社の評価を得ており、表2に示す多くの超高压CVケーブルプロジェクトを納入している。このようなプロジェクトの



図3 500kV CVケーブルの構造

表2 275kV以上主要CVケーブルプロジェクト一覧

納入年	納入先	布設場所	電圧 (kV)	サイズ (mm <sup>2</sup> )	ケーブル長 (約km)
1990	中部電力	知多第二南武平町線	275	2,500	32.0
1992	東京電力	横浜港北線	275	2,500	43.5
1992	東京電力	葛南世田谷線	275	1,400	66.7
1995	関西電力	山特線	275	600	3.4
1995	中部電力	東海松ヶ枝線	275	2,500	13.9
1996	東京電力	新京葉豊洲線	500	2,500	59.8
1996	中部電力	海部松ヶ枝線	275	2,500	26.6
1997	東京電力	新豊洲永代橋線	275	1,400	46.0
2000	SAUDI ELECTRIC CO., WEST	AL-JAMIA S/S	380	2,500	31.9
2000	関西電力	神鋼灘浜火力線	275	2,500	13.1
2000	東京電力	川崎火力大田線	275	2,500	33.3

表3 275kV以上CVケーブル用EMJ納入実績

納入年	納入先	布設場所	電 圧 (kV)	サイズ (mm <sup>2</sup> )	数 量 (組)
1990	中部電力	知多第二南武平町線	275	2,500	66
1992	東京電力	横浜港北線	275	2,500	66
1992	東京電力	葛南世田谷線	275	1,400	81
1995	中部電力	東海松ヶ枝線	275	2,500	6
1996	東京電力	新京葉豊洲線	500	2,500	51
1996	中部電力	海部松ヶ枝線	275	2,500	12
1997	東京電力	新豊洲永代橋線	275	1,400	45

中でも、世界最高電圧と特筆すべき東京電力の新京葉豊洲線500kV CVケーブルの構造を図3に示す。

当社はこのようなケーブル製造技術に加え、ケーブル用の機器部品においても高い技術を有しており、接続部品ではケーブルと同じ絶縁材料を、現地で押出して架橋する押出モールドジョイント (EMJ) を500kVまでの超高压CVケーブルにおいて多く納入している。表3に275kV以上のCVケーブルのEMJの納入実績を示す。

275kV以上のCVケーブルでは、EMJの施工時間の大幅な短縮を目指し、あらかじめ工場で製造、試験した材料を現地で組み立てるプレハブジョイントが使用されている。当社では345kV CVケーブル用プレハブジョイントの長期課通電試験を、カナダのハイドロケベックの試験場

で実施済みであり、そのすぐれた特性に対して型式認定を得ている。表4にハイドロケベックで実施した長期課通電試験の概要を示す。このようなプレハブジョイントの高い技術は、世界の客先から高い評価を得ており、サウジアラビアの電力会社よりプレハブジョイント50相を含む380kV 2,500mm<sup>2</sup> CVケーブル巨長約5.3kmを受注、2001年4月の完工を目指している。

上記のジョイントは275kV以上の超高压CVケーブルを中心に使用されているが、近年66kV～230kVの適用を目指して施工の簡便性を追求したゴムブロック型のワンピースジョイントのニーズが、国内外の電力会社から高まってきている。当社はこの面でもいち早く技術開発に取り組み、66kV～110kVのワンピースジョイントを国内外の電力会社に納入している。図4に110kVワンピースジョイントの写真を示す。

1.3 超高压OFケーブル

当社の油浸絶縁ケーブルの歴史は、1928年のSLケーブルの製造開始、1930年のOFケーブルの製造開始に遡ることができる。以来70年以上にわたって、高信頼度のOFケーブルを製造し続けてきており、その納入長は図5に示すように5,000kmに達している。OFケーブルの歴史は高電圧化と大容量化の歴史であり、当社はこのようなOFケーブルの歴史の中でも技術開発のトップランナーとして、多くの大型プロジェクトに参加し、1960年には初の275kV OFケーブルを電源開発の奥只見発電所に、1974年には初の500kV OFケーブルを東京電力の袖ヶ浦火力発電所に納入した。

OFケーブルは、近年のCVケーブルの高電圧化の流れ

表4 ハイドロケベック長期試験概要

線路構成	ケーブル	345kV 1,000mm <sup>2</sup> CAZE	
	付属品	プレハブジョイント	1組
		ガス中終端部	2組
気中終端部	2組		
試験条件	初期性能試験	tan 測定試験	400kV (95 )
		商用周波耐電圧試験	400kV × 15分
	長期課通電試験	課電電圧	345kV
		試験時間	6,000時間
		ヒートサイクル	8時間ON (95 ) 16時間OFF
	残存性能試験	tan 測定試験	400kV (95 )
		雷インパルス耐電圧試験	±1,300kV × 10回 (95 )
		開閉インパルス耐電圧試験	±900kV × 10回 (95 )
		商用周波耐電圧試験	450kV × 1時間



図4 110kV CVケーブル用ワンピースジョイント

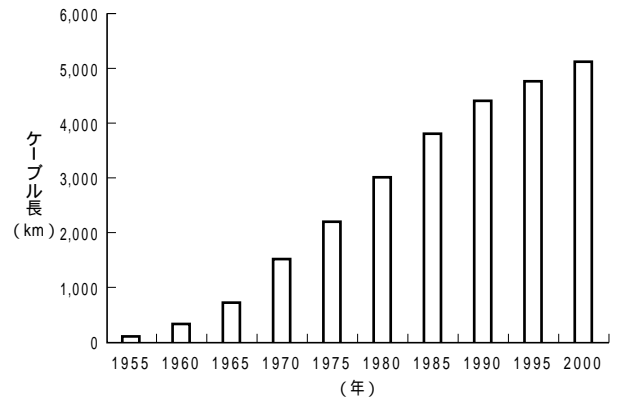


図5 66kV以上OFケーブルの納入長

表5 最近の400kV以上OFケーブル受注実績

納入年	納入先	布設場所	電圧(kV)	サイズ(mm <sup>2</sup> )	送電容量(MW)	絶縁紙種類	納入長(約km)
1993	電源開発	本四連系線	500	2,500	1,200	半合成紙	10.6
1996	東京電力	柏崎刈羽原子力発電所6号機	500	2,500	1,450	半合成紙	4.7
1996	Power Grid	シンガポール	400	2,000	1,000	半合成紙	4.3
1997	関西電力	高浜原子力発電所	500	600	86	クラフト紙	0.58
1998	Power Grid	シンガポール	400	2,000	1,000	半合成紙	28.5
1998	関西電力, 電源開発	紀伊水道	DC500	3,000	2,800	半合成紙	46.5
1999	電源開発	本四連系線	500	2,500	1,200	半合成紙	8.1
2000	Power Grid	シンガポール	400	2,000	1,200	半合成紙	19.2

表6 400kV以上OFケーブル用ストップジョイント納入実績

納入年	納入先	布設場所	電圧(kV)	数量(組)
1993	電源開発	本四連系線	500	3
1996	Power Grid	シンガポール	400	6
1998	関西電力, 電源開発	紀伊水道	DC500	4
1999	電源開発	本四連系線	500	3
2000	Power Grid	シンガポール	400	6

の中で、その使用が400kV～500kV系統中心となってきているが、そのような状況のなかでも、当社は多くのプロジェクトを受注している。表5に最近当社が納入した国内外の400kV～500kV OFプロジェクトを示す。OFケーブルの最近の技術として、ポリプロピレンと絶縁紙をラミネートし、絶縁紙の電気特性を改善した半合成紙を使用したOFケーブルが開発されており、表5に示す多くのプロジェクトでもこの技術が適用されている。

当社はパイプ内に油浸絶縁コアを布設し、15kg/cm<sup>2</sup>程度の高油圧で運転を行う、パイプタイプケーブル(POFケーブル)においても優れた技術を有しており、国内外の電力会社に約360kmのケーブルを納入している。POF

表7 阿南紀北連系線の概要

区間	自：阿南変換所(徳島県阿南市) 至：由良開閉所(和歌山県日高郡由良町)
電圧	直流±500kV(当初 直流±250kV)
回線数	双極1回線(本線2条, 帰線2条)
亘長	48.9km(海底:46.5km, 陸上:2.4km)
水深	最大 75m
送電容量	2,800MW/回線(当初 1,400MW/回線)

表8 最近の主な海底ケーブル納入実績

納入年	納入先	布設場所	ケーブル種類	電圧(kV)	線心数	サイズ(mm <sup>2</sup> )	納入長(約km)
1990	Louisiana, Power & Light	アメリカ合衆国	海底CV	115	単心	850kCM	3,600フィート
1992	中国電力	土庄線	海底CV(光複合)	66	3心	500	2.0
1992	電源開発	北本連系線	海底OF(光複合)	DC250	単心	600	12.5
1993	ARAMCO	サウジアラビア	海底CV	69	3心	1,000kCM	27.6
1996	N.P.C.	フィリピン	海底OF	DC350	単心	1,000	22.4
1997	T.N.B.	マレーシア	海底OF	132	3心	630	28.0
1998	関西電力, 電源開発	紀伊水道	海底OF(光複合)	DC500	単心	3,000	46.5
2000	N.P.C.	フィリピン	海底OF	138	単心	300	34.8

ケーブルはパイプ内の油を冷却循環することにより、大容量送電が可能となる長所を有しており、電力需要の密度の高い過密都市部の地中送電に適している。また、当社はこのような高油圧運転を行う、POFケーブルの加圧、循環システムの運転に不可欠なポンピングプラントの国内唯一の製造メーカーとして、多くの納入実績を有している。

OFケーブル用の機器部品技術についても、CVケーブルと同様に高い技術を有しており、ケーブルとともに多くのプロジェクトにおいて超高压ケーブル用ジョイント、終端接続を納入している。OFケーブルのジョイント技術では、ケーブルの油圧システムを切り離す機能を有するストップジョイントの技術が、高度な設計、製造技術を必要とし、この面でも当社は多くの実績を有している。表6に当社のストップジョイントの納入実績を示す。

#### 1.4 海底ケーブル

海底ケーブルは、ケーブル製造技術とともに、多くのノウハウの蓄積が必要なケーブル布設技術とが一体となって、プロジェクトの実施が可能なケーブルシステムである。当社は、1962年のアラビア石油向け40kV油浸絶縁海底ケーブルの納入以来、全世界の大型海底ケーブルに参画して多くの実績を有しており、配電ケーブルを含めるとその納入長は約1,600kmとなる。

このような当社の海底ケーブルの歴史の中でも特筆すべきは、関西電力、電源開発に1998年に納入したDC500kV海底OFケーブル50km(阿南紀北連系線)である。このプロジェクトは、表7に示すように送電容量、電圧、ケーブル長すべてにおいて世界最大規模であり、当社の海底ケーブル技術の集大成といえるプロジェクトで



ある。

上記プロジェクトのほか、当社は国内外において多くの海底ケーブルプロジェクトを手がけており、表8に最近当社が納入した大型の海底ケーブルプロジェクトの概要を示す。

1.5 直流ケーブル

直流ケーブルは、50～100km以上の長距離送電において経済的なメリットがでると言われており、国土の狭い国内では、前述した阿南紀北連系線、北海道本州連系線の2プロジェクトが実用化しているだけである。しかし、海外では多国間の電力連系線として多くの直流送電ケーブルの実績もあり、今後のプロジェクトも計画されている。

当社では、このような世界の直流ケーブルのニーズを踏まえ、直流ケーブルの開発を継続しており、油浸絶縁ケーブルでは、粘度の高い油を含浸するMIND (Mass Impregnated Non Drain) ケーブルをDC500kVまで開発



図6 DC250kV海底CVケーブルの構造

表9 DC250kV VCVケーブル開発試験結果

線路構成		ケーブル	DC250kV 800mm <sup>2</sup> 海底CVケーブル
		同径接続部	1組
		ガス中終端部	2組
試験条件		コイル取り試験	コイル取り直径 8m コイル取り回数 2回
		長期課通電試験 8時間ON 16時間OFF	ステップ1 +500kV × 30日
			ステップ2 -500kV × 30日
			ステップ3(極性反転) ±375kV × 10日
			ステップ4 -500kV × 30日
			ステップ5(極性反転) ±375kV × 10日
			ステップ6 +500kV × 90日
		残存性能試験	雷インパルス耐電圧試験 ±845kV × 各3回
			DC耐電圧試験 -975kV × 3時間

済みである。50km程度以上の長距離では、両端から印加する油圧がケーブル中央部まで伝播しないため、油圧保持が必要なOFケーブルの適用が難しく、上記MINDケーブルがヨーロッパで実用化されている。

このような長距離の直流送電においては、多くが海底ケーブルとなり、油を使用せず環境にやさしいCVケーブルは最適な材料と考えられる。しかし、CVケーブルは直流電圧に対して、空間電荷によるケーブル中の電界歪が問題となり、直流CVケーブルは実用化していなかった。当社では、直流ケーブルの材料として従来のCVケーブル材料を改良し、空間電荷の発生を大幅に改善した材料を開発して、DC250kV CVケーブルを開発済みであり、その技術をベースにDC500kV CVケーブルも開発済である。図6に開発済みのDC250kV CVケーブルの構造を、表9に開発試験のデータを示す。

1.6 システム商品

電力ケーブルシステムは高度の信頼性を要求されることから、そのシステムの状態を監視する技術に対するニーズも高く、当事業部ではそのような製品も取り扱っている。特に、送電容量が大きく、高信頼度が要求される275kV以上の超高压ケーブルは、洞道布設が大半であり、洞道の異常の有無をモニタする洞道監視システムの必要性が高い。当社では、最新のセンサ技術、情報伝送技術を用いた洞道監視システムを開発済みであり、多くの電力会社にそのようなシステムを納入している。図7に2000年に中部電力に納入したシステムの例を示す。

これらの監視システムとして、当社ではケーブルの事故点を瞬時に判定する事故点検出システム、ケーブルの長手方向の温度分布を連続的に監視するDTS (Distributed Temperature Sensor) システム等を開発、製品化している。特にケーブルの事故点検出システムでは、GPS (Global Positioning System) 衛星を利用した経済的なシステムを開発し、FLAGの名称で製品化して、国内外の電力会社より高い評価を得ている。FLAGシステムの概要を図8に示す。

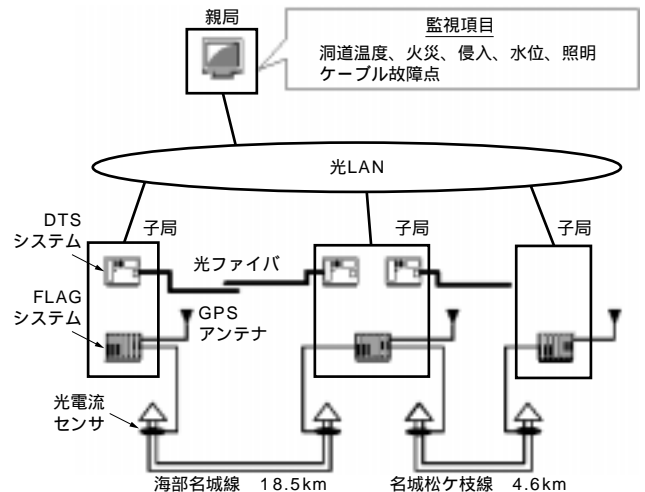


図7 275kV海部松ケ枝線洞道監視システム

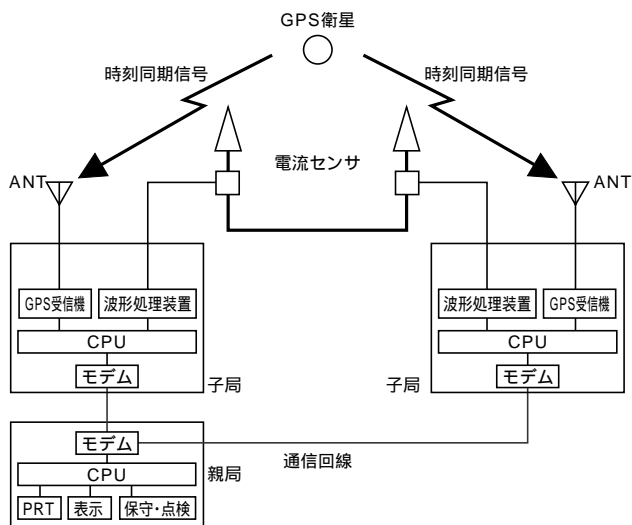


図8 FLAGシステム

## 2. 今後の展望

電力ケーブルマーケットは、電力会社に対する電力料金の引き下げ要求、電力規制緩和の流れの影響を強く受け、マーケットの縮小、それにとまなう競争の激化と、コストダウンに対する強い要求という状況にある。特にコストダウンに対する要求は、国内のみならず、韓国、中国等発展途上国が市場に参入しつつある海外マーケットでも顕著であり、電力ケーブルシステムに要求される高い信頼度を保ちつつ、如何にコストダウンを達成するかが、今後の大きな技術課題と考えている。

また、電力会社は既存設備の有効利用との観点から、効率的な設備の保守技術の開発に期待しており、この方面のニーズは高い。特に1970年代半ばより使用が急増したCVケーブルは、今後数年以内に設計寿命の30年を経過すると考えられ、CVケーブルの劣化判定技術の開発が必要と考えている。

そのほか、今後マーケットの拡大する分野として、多国間連系線等に適用が予想される長距離直流ケーブル、環境問題の高まりとともに適用拡大が予想されるエコ技術の電力ケーブルへの適用等が考えられる。