

葛野川発電所向け 500kV CV ケーブルの納入

Installation of 500kV XLPE Cable for Kazunogawa Hydro Power Station

鈴木 章*
Akira Suzuki

中村信二*2
Shinzi Nakamura

松田守晃*3
Moriaki Matsuda

田中 洋*4
Hiroshi Tanaka

塩満正明*5
Masaaki Shiomitsu

平賀清秋*6
Kiyooki Hiraga

足立潔美*5
Kiyomi Adachi

平塚勝義*5
Katsuyoshi Hiratsuka

松田和彦*4
Kazuhiko Matsuda

八木正史*4
Masashi Yagi

須藤彰久*7
Akihisa Sudoh

菅原君二*8
Kunji Sugawara

概要 東京電力(株)葛野川発電所は、完成後、最大出力が160万kWとなる我が国最大級の純揚水発電所であり、現在 期分(40万kW×2台、ケーブル1回線)の新設工事中である。

このうち古河電工(株)は、1,2号機用でEMJ及び水平EBG等新技術を適用した、500kV CVケーブルを平成10年11月、無事故無災害で布設、接続工事を完了し、耐圧試験も終了した。

本線路は、発電所の構内連絡ケーブルとして過去に例を見ない巨長約2300mもの長尺線路で、輸送上の制約から中間に絶縁仕様の接続部 EMJ を設けている。本線路は新京葉豊洲線と基本的な設計思想、施工条件は同一であり、蓄積された技術、技能が反映されている。また発電所の環境に整合した施工については、社内で実規模の実証試験をトレーニングをかねて実施し電気試験を含めすべて問題がないことを確認し、現地施工にこの知見を反映させ完工したものである。

なお本設備は、平成11年12月から営業運転が開始される予定である。

1. はじめに

葛野川発電所は、電力需要想定に対する供給力を確保するため、山梨県大月市七保町に計画され、完成後は我が国最大級の純揚水発電所となる。現在1,2号機(ケーブルは1回線)が建設中であり、今後3,4号機(ケーブル1回線)の建設が予定されている(図1参照)

出力は1号から4号まで40万kW/機で最大出力は160万kWで平成11年12月40万kW、平成12年7月40万kW、その後残り80万kWの運転開始を予定している。

古河電工は、このうち1,2号機用構内連絡ケーブルとして、6組の終端接続箱(水平EBG3組を含む)、3組の押し型モールド中間接続箱(EMJ)を含む500kV 1×1000mm²難燃XLPE(CV)ケーブル約7000mを受注した。古河電工にとって500kVの低減絶縁CVケーブル、EMJ及び水平型EBGを含む線路の納入は、初納入である。

実現に当たっては、ケーブル、中間接続部(EMJ)及び終端接

続部(EBG)については平成元年から基礎研究、開発研究、長尺ケーブルの製造技術、出荷試験技術、施工技術を含めた総合的な信頼性検証(施工品質管理技術)を目的とした長期課通電実証研究、現地検証試験等を実施し現地適用技術の確立が確認された。

研究成果を受け東京電力では、世界初の都内導入長距離大容量の線路である新京葉豊洲線に適用が決定され、平成8年から当社も参画し建設中である。一方葛野川発電所向けとしては、先行の新京葉豊洲線の成果を全面的に反映すると共に現地施工環境に整合した施工条件の検討改良を加え、社内で実規模の試験



図1 発電所位置
Location of power station

- * 東京電力(株)建設部水力電気グループ
- *2 東京電力(株)葛野川水力建設所第二工事事務所電気グループ
- *3 東京電力(株)地中送変電建設所地中送電技術グループ
- *4 電力事業部地中線技術部
- *5 電力事業部電力技術部
- *6 電力事業部電力製造部
- *7 電力事業部第二品質保証部
- *8 電力事業部地中線部

ブル防食層保護装置、絶縁筒保護装置、接地線及びアレスタボンド線の選定を行った。

4. 接続部

4.1 接続部の性能

本線路に納入した接続部(終端接続部, 直線接続部)の性能を表4に示す。

4.2 直線接続部(EMJ)

4.2.1 EMJの設計

直線接続部は、先に開発された500kV CV用EMJ³⁾の設計を踏襲した。

(1)設計EL

- ・補強絶縁体 設計EL:AC 27kV/mm, Imp 60kV/mm
- ・外導処理部 設計EL:AC 27.6kV/mm, Imp 57.5kV/mm

(2)異物, ボイド, 突起の有害レベル

絶縁体中の異物, ボイド及び半導電層の突起は、トリー発生の元となる可能性が大きいため、それぞれの許容寸法を算出し管

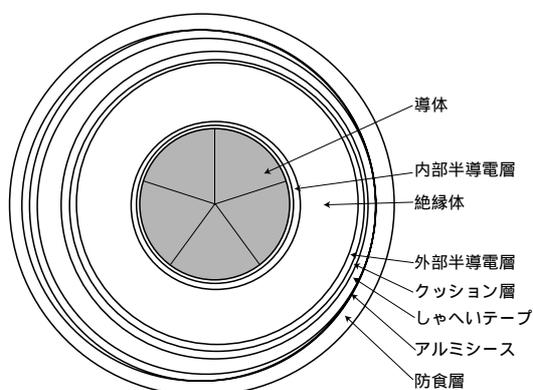


図3 ケーブル断面図
Cross-section of 500kV XLPE 1 x 1000mm²

表3 ケーブルの工場出荷試験成績
Test results of cable at works

項目	規格値	成績
絶縁体出荷耐電圧試験	465kV x 15分	良好
絶縁体出荷部分放電試験	検出感度5pC以下において 出荷耐電圧試験時に検出されないこと	良好
防食層雷インパルス耐電圧試験	-90kV x 3回	良好

表4 接続部の主たる性能

Performance of accessories (EMJ and EBG)

項目	特性値	直線	終端
		接続部 (EMJ)	接続部 (EBG)
商用周波長時間耐電圧	970kV, 1時間		
雷インパルス耐電圧	±1970kV, 3回		
長期性能	AC 475kV, 30日 RT~90, 25サイクル RT~105, 5サイクル		
気密特性	590kPa, 30分(ゲージ圧)	-	
内圧耐荷重特性	440kPa, 30分(ゲージ圧)	-	
ケーブル遮へい層間雷インパルス耐電圧	65kV, 3回, RT, 負極性		
水密特性	98kPaの水圧, 1時間以上		-

理値を次のとおり定めた。

- 金属異物・突起:管理値 100 μ m 以下
- 繊維異物 :管理値 2mm 以下
- ボイド :規格値 25 μ m 以下 (注)

(注) ボイド管理は押し出し工程, 及び架橋工程のプロセス制御で行う。

4.2.2 EMJの構造

本EMJの構造を図4に示す。

4.2.3 施工条件

(1)押し出し条件

予熱時に内導表面, ケーブルベンシリリング部及びケーブル表面の温度がボイド抑制条件を満足するような温度制御を実施する。更に, 押し出し終了時における金型内圧力を管理しボイド抑制を行う。

(2)架橋条件

架橋管内の圧力管理, 及び各部の温度管理を行いボイド抑制を行う。

4.3 ガス中終端接続部(EBG)

4.3.1 EBGの構造

本EBGの構造は、主絶縁にシリコン絶縁油を使用し、遮へい層の電界制御方式として、エポキシベルマウス併用油浸ストロスコーン方式を採用している。本EBGの構造を図5に示す。

また, 当発電所では, 地下発電所におけるケーブル及び機器設置スペースを縮小する方向で設計がなされており, 特徴としてトンネルから水平に引き出されたケーブルを直接機器へ接続するために水平接続が可能な構造のEBGを新たに開発した。構造を図6に示す。

なお, 本書では, 取付け方向によって異なる構造のEBGがあるため, 便宜上前者を正立型, 後者を水平型と称することとする。

4.3.2 水平型 EBG の設計

(1)基本構造

基本構造は, 正立型の構造を踏襲した。

(2)油圧補償

正立型で使用している「内蔵型リザーバタンク」は, 内蔵されるペローズタンクの摺動性能が, ペローズの「たわみ」により阻害されることが懸念されたため, より安全を考慮してセル油槽を用いた「タンク別置」方式とした。

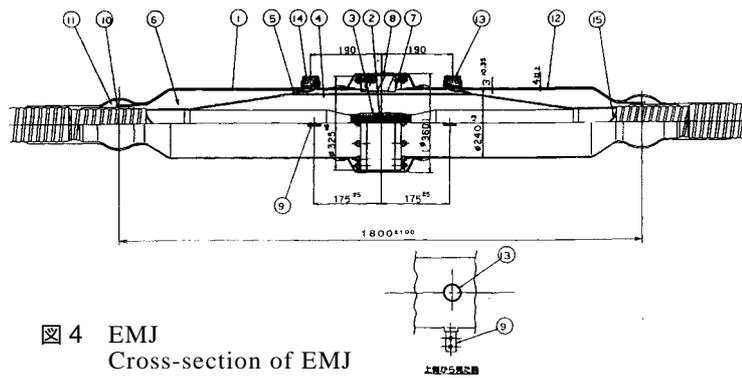
(3)ケーブル「たわみ」対策

本接続部の内部ケーブル全長は, 約3m程度あり, かつ内部絶縁材料の外径と, エポキシ碍管内径に比較的大きなクリアランスがあるため, 内部絶縁材料の自重や熱伸縮により内部ケーブルに「たわみ」が生じ, 内部絶縁材料の歪みによる性能低下が懸念された。

本接続部では, エポキシ樹脂製スパーサーをこのクリアランス部に挿入することにより「たわみ」を抑制する構造を有している。この性能については, 工場内で実施された長期課通電試験(475kV・1ヶ月)にて検証されている。

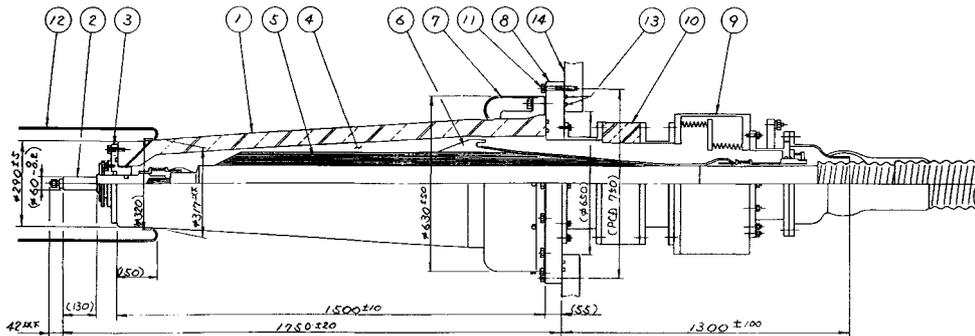
(4)その他

水平で使用するため, 取付金具に注油コネクタを上下に配置する構造を採用した。



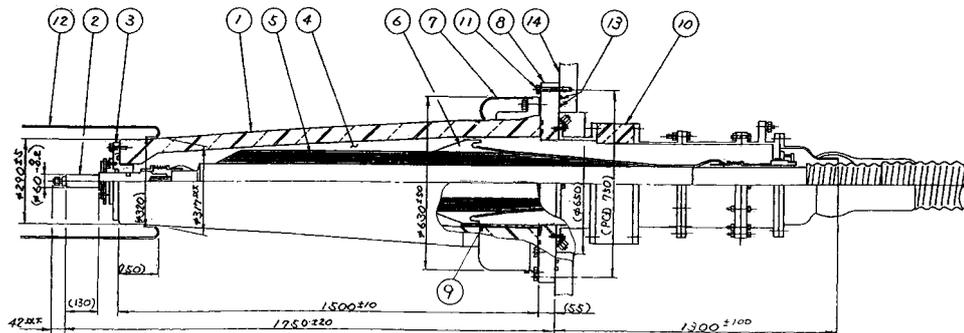
符号	部品名称
1	保護管
2	導体接続管
3	内部半導電層
4	絶縁体
5	外部しゃへい層
6	防水混和物
7	Oリング
8	絶縁筒
9	接地端子座
10	スペーサ
11	エポキシ樹脂混合液ガラステープ
12	防食層
13	注入口
14	Oリング
15	チューブ(点検用)

図 4 EMJ
Cross-section of EMJ



符号	部品名称
1	エポキシ樹脂管
2	導体引出棒
3	上部金具
4	絶縁油
5	ストレスコーン
6	ベルマウス
7	下部シールド
8	アダプター
9	リザーバ
10	絶縁筒
11	取付ボルト M20
12	充電側シールド
13	ガスケット
14	ケース及び底板

図 5 正立型 EBG
Cross-section of vertical-EBG



符号	部品名称
1	エポキシ樹脂管
2	導体引出棒
3	上部金具
4	絶縁油
5	ストレスコーン
6	ベルマウス
7	下部シールド
8	アダプター
9	エポキシスペーサ
10	絶縁筒
11	取付ボルト M20
12	充電側シールド
13	ガスケット
14	ケース及び底板

図 6 水平型 EBG
Cross-section of horizontal-EBG

5. ケーブル布設工事

5.1 ドラム輸送

ケーブルドラムは、つば径3.2m、幅8.1m、巻付け長1184m、と大型となり、当社千葉工場より陸上輸送する際には、輸送制限よりつば部を一部着脱式とし、布設拠点となる葛野川発電所 屋外開閉設備)まで運搬した。(写真1参照)

5.2 ケーブル布設

ケーブルの布設は屋外開閉設備~地下発電所間2スパン・6条を行った。布設方式は、ケーブルが超長尺であり布設拠点が屋外開閉設備側の限られたスペースで行うことから、トラバース機構付きケーブル送出装置を使用し、ケーブルたるみを防止するため常時ブレーキを掛けながらホーリングマシンにて延線した。

また、ドラムトラバースについては、ホーリングマシンの許容入線角度以内に入るようタッチローラ及びリミット制御装置を併用しドラム移動制御を掛けながら、安定した布設を行った。(図7、写真2、3参照)

5.3 スネーク布設

ケーブルは、連続傾斜(9%勾配)であることから滑落防止やケーブルの熱伸縮を考慮したスネーク布設方式を採用した。スネーク布設後の状況を写真4に示す。

6. 接続工事

6.1 ガス中終端接続部(EBG)の施工技術

500kV対応技術と、水平型EBGの接続技術を以下に示す。

6.1.1 500kV対応技術

正立型は屋外開閉所、水平型は地下の変圧器室に設置した。施工時期が屋外において梅雨時、地下において他作業による粉塵の発生もあり、施工環境に充分配慮した区画ルームを作成し、組立てを行った。

500kV対応技術として、(a)内部半導電層のモールド部のポイド発生防止(写真5参照)、(b)外部半導電層の端部と絶縁体境界部では表面平滑化、により電気性能の向上を計った。

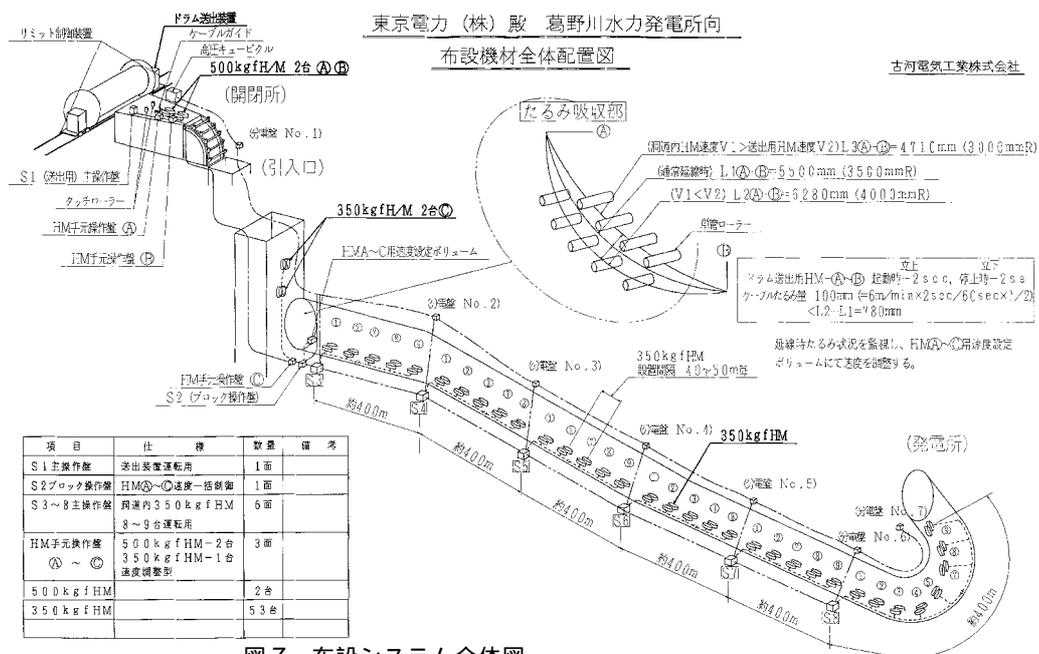


図7 布設システム全体図
Systematic diagram of cable laying equipment



写真1 ケーブルドラム輸送
Cable drum transportation



写真3 洞道内ケーブル布設
Cable laying at tunnel



写真2 地上部ケーブル布設
Cable laying on ground



写真4 洞道内スネーク布設
Cable snaking at tunnel

6.1.2 水平EBGの施工技術

水平EBGの場合、正立EBGと比し、碍管(350kg)のケーブルへの挿入方式、碍管挿入時のケーブルのたれ防止、及びそのときの異物の付着防止が重要な課題であった。

これらの実施のために、位置決めが精密かつスムーズに行え、上から吊る作業を一切無くすことにより異物の発生・混入を未然に防止した組立てを実施できた。その具体的内容を写真6に示す。

(1)調整台車の開発

接続作業時に、碍管を確実に差し込むため、微調整 上下・左

右・回転)が容易にできる調整台車を開発した。

(2) 導体保持治具の使用

導体保持治具を導体引出し棒に取り付けて接続することで、碍管組立時のケーブルのたれを防止した。

(3) 組立てガイド棒の使用

取付底板に組立てガイド棒を取付け、下部取付け金具のボルト穴と合わせながら組み立てることでスムーズに行えた。

6.2 中間接続部(EMJ)の施工技術

500kV 対応技術と、葛野川発電所対応技術を以下に示す。500kV EMJは、現在、新京葉豊洲線で施工中であり、基本工法

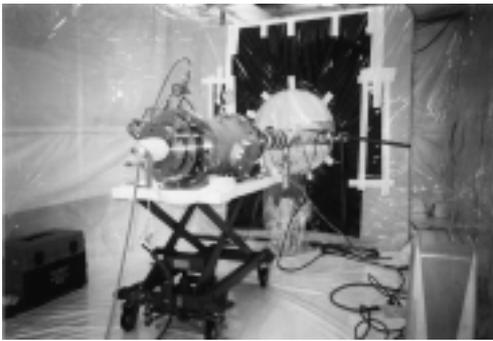


写真5 モールド作業
Molding

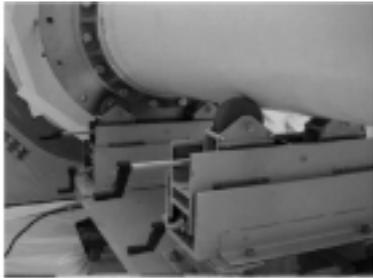


写真6 水平 EBG の施工技術
Installation technologies for horizontal EBG

は同じであるが、導体サイズが新京葉の 2500mm² に対し、1000mm² と細いことで施工条件等の再確認を行った。また、工場現場を模擬した作業環境で施工確認を行い、その後、実線路の組立てを行った。

6.2.1 500kV 対応技術

施工環境は、異物管理を徹底し、クリーンルームの高レベル化を計り、更に、異物の排除を目的とした検査装置を開発し、適用した。写真7、8に装置外観を示す。

(1) 全量異物樹脂検査装置の開発

押し出し樹脂をレーザで走査し、異物検出をする装置を開発した。これにより、押し出し樹脂の健全性の確認を可能にした。

(2) IP用撮影装置の開発

X線フィルムの代わりにIP(Imaging Plate)を使用することで、高感度・自動画像判定を行った。IP用撮影装置を開発することで、撮影条件の安定化・効率化を可能にした。

6.2.2 葛野川発電所対応技術

ケーブル布設トンネルは、地下発電所への換気路としても使われているため、常に風速3~4m/sの風が吹いている。また、9%勾配の傾斜地であり、この中で、安定した環境を作ることが必要であった。更に、組立て時期が夏期であったため、雷、台風による停電を考慮した対策をとった。

(1) 防風対策

塩ビシートで覆い、外壁を作り、その中にクリーンルームを作成した。風上では、構造を舟形にし、風圧力を分散させ、防災シートでこの部分を覆い、裾すそ部分を目張りすること

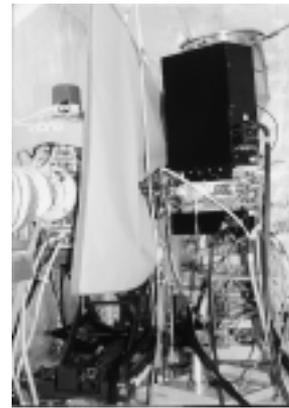


写真7 全量異物樹脂検査装置
Inspection system for foreign inclusions in polyethylene



写真8 IP用撮影装置
IP inspection system

で、風の巻き込み・侵入を防止した。その結果、外部環境に影響されない安定した、クリーンルームが作成できた。

(2) 傾斜対策

接続を水平で行える足場を作成することで、9%勾配の傾斜地による影響を無くした。

(3) 停電対策

雷、台風による停電対策として自動起動の発電機を据え付けた。

7. 試験

7.1 試験条件

高周波同調方式を適用した部分放電測定試験を、日時を変えて2回実施した。1回目は、絶縁耐力試験時に各相ごとに1.1E/10分間の試験を実施した。2回目は、試充電試験時に三相一括のうえ試充電電圧/3.5時間の試験を実施した。

7.2 測定回路

測定点近傍へローカルステーション(屋外EBG測定用・EMJ測定用・発電所側EBG測定用)を設置のうえ、測定信号を光変換して、マスターステーション(葛野川水力発電所坑内)にて、一括監視を行った。(図8参照)

各絶縁接続部表面に取り付けた箔電極から、1~50MHzの全周波数帯域をマスターステーションまで光伝送することでノイズ識別、測定周波数の変更等が容易に行えるとともに、光双方向通信によるマスターステーションからの測定相切り替え、模擬パルス注入を実施できる回路とした。

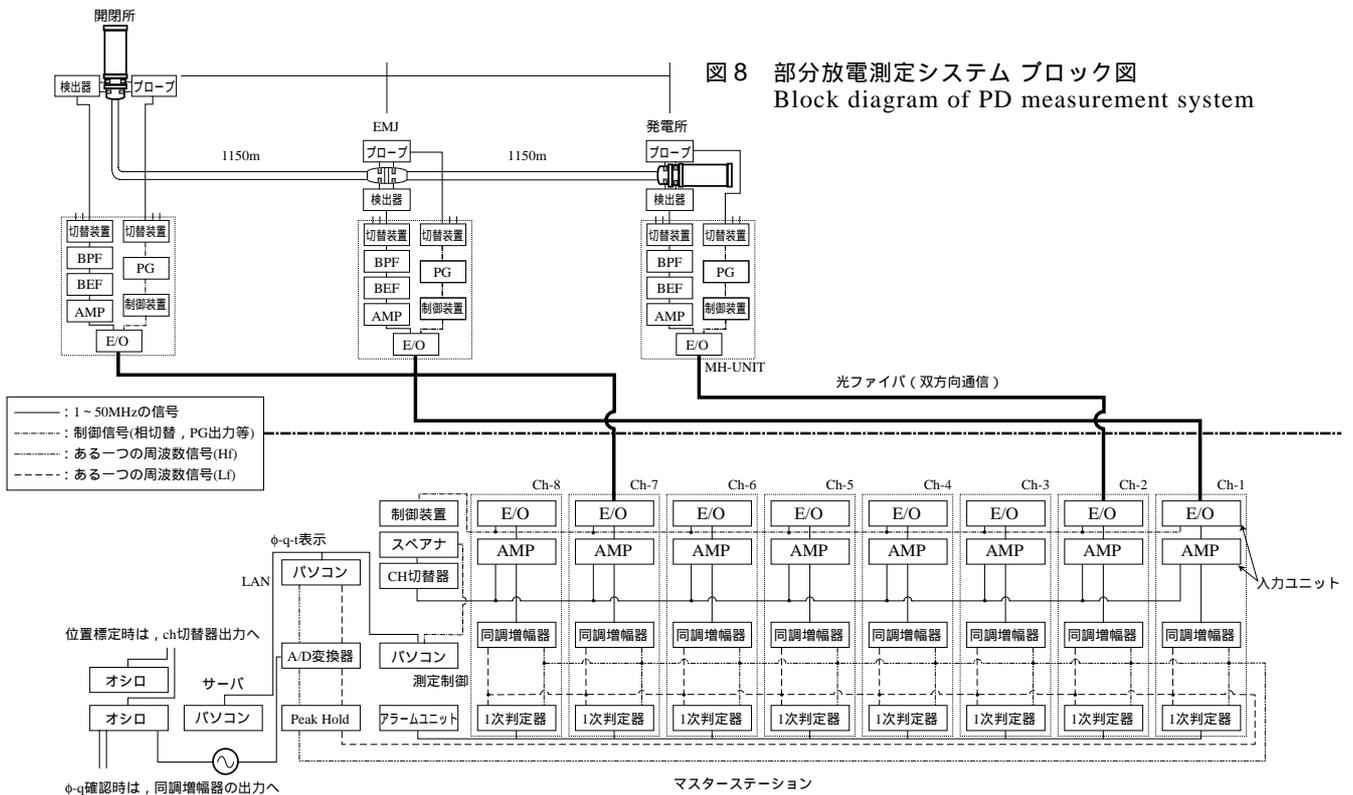


表5 部分放電試験 測定周波数及び検出感度
Measurement frequency and detect sensitivity of PD test

1回目	屋外EBG		
	黒相	赤相	白相
測定周波数	20.0	21.0	21.5
検出感度	1.8	1.8	1.6

1回目	EMJ		
	黒相	赤相	白相
測定周波数	23.1	23.2	23.1
検出感度	1.9	2.1	2.6

1回目	発電所側EBG		
	黒相	赤相	白相
測定周波数	21.2	23.2	21.2
検出感度	1.0	0.9	0.9

2回目	三相一括		
	開閉所	EMJ	発電所
測定周波数	21.5	23.1	24.4
検出感度	6.5	4.3	2.4

7.3 試験結果

葛野川発電所1号500kV CVケーブル測定結果は1回目及び2回目ともに良好であった。おのおのの測定周波数 MHz 及び検出感度(pC)を表5に示す。

8. おわりに

葛野川発電所向け500kV CVケーブルの現地据付け工事は平成10年11月無事故無災害で完了した。

500kV CVが基礎研究から実用化迄約10年経過し、本年12月に営業運転が開始される予定である。今後、現在併行実施されている新京葉豊洲線の施工には、これらの成果を十分反映するとともに、今後予定されている基幹系統の地中送電線路への適用拡大を期待したい。

最後に本線路の建設に当たり御指導、御協力頂いた東京電力(株)殿及び社内関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 田中, 田中, 野田, 佐久間, 品川, 中野, 木村, 藤井, 大宮, 田辺: 「CVケーブルの技術進歩(その3)~長距離線路用500kV CVケーブル及び接続部の開発~」, 古河電工時報, 第97号(平成7年)
- 2) 神永, 市原, 神野, 田辺, 福永, 金岡, 竹鼻: 「500kV CVケーブルの開発」, 電気学会論文誌B, 平成8年3月号(平成8年)
- 3) 神永, 市原, 神野, 井上, 藤井, 山口, 丹: 「500kV CVケーブル用EMJの開発」, 電気学会論文誌B, 平成8年3月号(平成8年)