CV ケーブルの長期絶縁特性に関する検討

正員 大 畠 勝 一 (東京電力)

正員 勝 田 銀 造 (東京電力)

正員 岩 田 善 輔 (古河電工)

正員 丸 山 義 雄 (古河電工)

正員 関 井 康 雄 (日立電線)

正員 金 岡 護 (日立電線)

A Study on Long-Term Characteristics of XLPE Cables

Katsuichi Ohata, Member, Ginzo Katsuta, Member (TEPCO), Zensuke Iwata, Member, Yoshio Maruyama, Member (Furukawa Electric Co. Ltd.), Yasuo Sekii, Member, Mamoru Kanaoka, Member (Hitachi Cable, Ltd.)

To study the long-term characteristics of XLPE cables installed in free air and in water, aging tests were conducted under various testing conditions using XLPE cables with both 3.5 mm and 6 mm insulation.

From the Weibull plots of lifetime distribution under the voltage stress E_L being the minimum breakdown strength, the minimum value of time to breakdown t_L under the constant voltage was estimated. The results of accelerated aging tests of XLPE cables installed in free air demonstrated that the $V-t$ characteristics of XLPE cables could not be described by the conventional inverse power's law ($t \propto V^{-n}$) with a single constant life exponent n .

Based on the microscopic observation of sliced insulation of removed XLPE cables, it was concluded that bow-tie trees with longer tree length, observed in cables tested in water, were caused by the moisture from outside, whereas the trees in cables tested in free air were caused by the residual moisture originally existing in the insulation. The breakdown strength of the aged cables tested in water increases through cable drying. It doesn't however recover to the original values.

キーワード：CV ケーブル，破壊特性， $V-t$ 特性，ワイブル分布，浸水課電，ボウタイトリー

1. ま え が き

CV ケーブルの絶縁体である架橋ポリエチレン（以下，XLPEと略記）は，本質的に低損失（ $\epsilon \cdot \tan \delta$ が小さい）で絶縁耐力が高く，電力ケーブル用絶縁体として非常に優れた材料である。この材料の特長を最大限に発揮させるため，CV ケーブルが電力ケーブルとして開発された昭和 30 年代から現在に至るまでケーブル製造技術の改良研究が行われてきた。

CV ケーブルの絶縁性能に影響を及ぼす要因として絶縁体中の残留水分，ボイド，異物および内・外半導

電層の突起などが挙げられるが，これらを除去するため，乾式架橋法の開発，三層同時押出法の採用，混入異物の徹底除去，更には押出し技術の向上が図られてきた。これら製造技術の導入による絶縁性能の飛躍的向上に伴い，CV ケーブルの高電圧化が急速に進み，現在では，発電所構内の引出し線として 500 kV CV ケーブルが使用され⁽¹⁾，また中間接続部を有する 275 kV 送電線路への本格的導入も開発されている。

CV ケーブル技術の次の目標としてはさらなる高性能化および高信頼化が挙げられるが，このためには現用 CV ケーブルの真の特性を把握し，その問題点を明

確にすることが重要である。特に、CV ケーブルでは絶縁特性の経年変化が懸念されることから、長期課電下での絶縁特性の変化、いわゆる $V-t$ 特性の把握が重要である。

このような観点から著者らは、現用の超高圧ケーブルと同一材料、同一製造方式（乾式架橋、三層同時押し出し方式）で製造した 6~22 kV CV ケーブルを用いて数十分~数年にわたる各種の長期試験を行い、CV ケーブルの絶縁特性に関する一連の研究を実施した。

2. 実験方法

〈2・1〉 供試ケーブル 本研究に供試したケーブルは乾式架橋、三層同時押し出し方式で製造した 6.6 kV 38 mm²、22 kV 100 mm² および 22 kV 150 mm² の 3 種の CV ケーブルである。表 1 にケーブル構造を示す。

表 1 ケーブル構造
Table 1. Construction of tested cables.

項目	ケーブル	A	B-1	B-2	C
公 称 電 圧 (kV)		22	22		6.6
導 体	断面積 (mm ²)	150	100		38
	外 径 (mm)	14.7	12.0		7.3
内部半導電層厚さ (mm)		1.1	1.0		1.0
絶縁体	厚 さ (mm)	6.0	6.0		3.5
	外 径 (mm)	28.9	26.0		16.3
外部半導電層厚さ		0.5	1.0		1.0
シ ー ス 構 造		ビニルシース	ビニルシース 遮水層付き ビニルシース		ビニルシース
ケー ブ ル 外 径 (mm)		40.1	38.4	39.0	24.4

表 2 実験条件
Table 2. Testing conditions.

No.	ケー ブル	実験目的	試験環境	ケーブル温度	長期課電条件		ケーブル長 (m) / 試料数 (本)	破壊試験 (残存試験含む)
					電圧 (kV)	平均電流 (kV/mm)		
1	A	初期性能 (E_L)	気 中	90℃	—	—	10/10	80kV/10分
2	A	水のみ影響 (E_L)	外導直接浸水 (2ヶ月)	水 温 : 70℃	—	—	10/10	+10kV/10 分ステップ
3	A	寿命分布 (t_L)	後は気中課電	課電時 : 90℃	180	30.0	10/7	—
4	B-1	初期性能 (E_L)	気 中	常 温	—	—	8/15	195kV/1時間+30kV/1時間ステップ
5	B-2	寿命分布	気 中	常温~90℃ H. C	300	50.0	8/10	—
6	B-2	寿命分布 (t_L)			245	40.8	20/10	—
7	B-2	寿命分布			200	33.3	20/4	—
8	B-1	寿命分布	外導直接浸水	常温~90℃ H. C	90	15.0	5/12	90kV/10分+10kV/10分ステップ
9	B-1	寿命分布		水温 : 常温~60℃ H. C	75	12.5	5/12	75kV/10分+ 5kV/10分ステップ
10	B-2	遮水層の効果	シース外浸水		75	12.5	5/16	195kV/1時間+30kV/1時間ステップ
11	C	初期性能 (E_L)	気 中	90℃	—	—	5/10	80kV/10分+10kV/10分ステップ
12	C	寿命分布	外導直接浸水	常温~85℃ H. C 水温 50~60℃	55	15.7	340/1	80kV/10分 +10kV/10 分ステップ

〈2・2〉 実験条件 CV ケーブルの長期の絶縁特性を検討する場合、水の影響のない気中課電下での特性のみならず、浸水下での劣化特性も調査することが重要である。

表 2 が今回の長期絶縁特性調査研究の実験条件である。気中課電下での実験では外部からの水の影響を極力なくするため、遮水層付きケーブルを使用した（実験 No. 5, 6, 7）。一方、浸水下での実験ではシースの一部をはぎとった外部半導電層直接浸水実験（以下、外導直接浸水実験と呼ぶ）だけでなく、遮水層の効果を検証するため遮水層付きケーブルのシース外浸水実験（No. 10）も行った。更に、CV ケーブルの絶縁特性に及ぼす水の影響のみを把握するため、無課電下で高温水に浸漬した場合についても検討を加えた（No. 2, 3）。なお、一連の浸水試験では水道水を使用し、また実験 No. 2, 3 では水温を 70℃一定としており、それ以外の長期試験ではヒートサイクルを加えた。

3. CV ケーブルの破壊現象の記述

〈3・1〉 E_L 値での寿命分布 図 1 は、階段昇圧法で実施した通常ケーブルと 70℃の水に 2 箇月浸漬させたケーブルの 90℃における AC 破壊試験結果（実験 No. 1, 2）のワイブルプロットであり、階段昇圧法で得られたデータが、(1) 式で示される位置パラメータ数を含む 3 パラメータワイブル分布で記述できることがわかる。

$$F(E) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{E - E_L}{E_0} \right)^b \right\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $F(E)$: 電界 E までに破壊する確率、 E_0 : 尺度パラメータ、 b : 形状パラメータ

図1 ケーブルの初期 AC 破壊電界分布
Fig.1. Initial AC breakdown strength of XLPE cable.

図2 E_L における寿命分布
Fig.2. Life distribution at minimum breakdown strength.

タ, E_L : 位置パラメータ (最低破壊電界)

図1によれば, それぞれのケーブルの E_L 値は, 37.0 kV/mm, 29.3 kV/mm である。浸水有試料の破壊値は浸水無試料の80%に低下しており, 水の浸入だけでも CV ケーブルの絶縁耐力が低下することを示している。

次に, 浸水下での短時間寿命分布を求めるため, 10分ステップの階段昇圧法で求めた浸水有試料の E_L 値, 30 kV/mm (課電電圧: 180 kV, 実験 No.3) で寿命試験を行った。図2は, この結果を(2)式に示す寿命に関する3パラメータワイブル分布で解析したものであり, 最低破壊時間を意味する位置パラメータ t_L として, $t_L=27$ 分が得られた。

$$F(t)=1-\exp\left\{-\left(\frac{t-t_L}{t_0}\right)^a\right\} \quad \cdots \cdots \cdots (2)$$

ここで, $F(t)$: 時間 t までに破壊する確率,
 t_0 : 尺度パラメータ, a : 形状パラメータ,
 t_L : 位置パラメータ (最低破壊時間)

〈3・2〉 t_L 値の意義 一般に CV ケーブルの AC 電圧に対する E_L 値は時間 T ごとに昇圧 (階段昇圧) して破壊電界を調べ, 何らかのパラメータ推定法 (図上推定, 最小自乗法, 最尤法⁽²⁾) で求められる。こ

図3 E_L における寿命分布
Fig.3. Life distribution at minimum breakdown strength.

のとき, 前述の t_L 値がどのような意義をもつかを検討する。

E_L 値は時間 T ごとの階段昇圧法で得られた破壊データから求められるが, すべての試料は破壊の一つ前のステップの電界に対しては T 時間耐えたわけであるから, 一定電界として E_L 値を印加して破壊時間の確率分布を求めた場合, 破壊までの時間がステップ時間 T より短い確率は極めて小さいと考えられる。このことが t_L の存在を予想させる根拠である。

図2において, 10分ステップの階段昇圧法により求めた E_L 値における寿命分布から, パラメータ推定により $t_L=27$ 分が求めた。これはステップ時間以上の t_L 値が存在するという予想に対して, 妥当な結果である。また試料 B を用いて, 室温で1時間ステップの階段昇圧試験での E_L を求め⁽³⁾, この E_L 値で寿命試験を行った結果 (実験 No.6) が図3であるが, この場合にも $t_L=1$ 時間が推定できる。寿命分布の50%値に対して, t_L 値が小さい[試料 A で 10.4% [$t(50\%)=260$ 分, $t_L=27$ 分], 試料 B で 14.3% [$t(50\%)=17$ 時間, $t_L=1$ 時間]] こと, 形状パラメータ a が小さいこと (試料 A で $a=1.03$, 試料 B で $a=0.80$) から t_L の推定誤差が出やすいなどの要素はあるものの, これらの実験結果は t_L の存在を示唆するものである。なお, t_L は印加された電圧下で, 破壊の起点となる弱点部 (異物, ボイド, 突起, 水分, 絶縁体欠陥, 水トリー, ボウタイトリーなど) から電気トリーが発生し, 破壊するまでの最低時間を意味するものと考えられる。

t_L の効用について更に若干の考察を行ってみる。

ストレス V と時間 t で, 累積破壊確率 F をワイブル分布で表現する場合には, 一定電圧 V の条件下での変数 t の分布と考えるべきであるとし, 広瀬は(3)式を提唱している⁽⁴⁾。

$$F(t|V)=1-\exp(-Ct^aV^b) \quad \cdots \cdots \cdots (3)$$

図 4 t , E で表現した累積確率
Fig. 4. Breakdown probability described by t and E .

a , b : 形状パラメータ, C : 定数

この式においては, t と V は互いに独立な 2 変数でないことに注意するべきである。また, ここで求めようとしている V - t 特性の n 乗則に対しては, a が電圧によらず一定であれば, 寿命の平均値 t_m と, ストレスの間に (4) 式の関係が成立するとしている⁽⁴⁾。

$$t_m V^n = \text{const} \dots\dots\dots (4)$$

ただし $n = b/a$ (寿命指数)

なお, (3), (4) 式では位置パラメータが省略されている。

ストレスとして電界を用いて, 電界(E)・時間(t)・破壊確率(F)を 3 軸とする三次元図形を考えると, 各電界, 時間 (ステップ時間) に対して t_L , E_L が存在する図 4 が描けるであろう。図で E_L , t_L が存在するのは, $F=0$ または $F=\epsilon$ ($\epsilon \ll 1$) の平面との交線 S 上にある。いま, 各電界における t_L が求められ, 使用運転電界 E_r での t_L , すなわち t_r が推定でき, これが期待寿命を上回ることがわかれば, 運転中の破壊が皆無となるケーブル設計が可能となり, 絶縁設計上極めて有効である。

4. 長期絶縁特性

〈4・1〉 気中課電下での寿命特性 図 5 は気中布設における一定電界課電下 (実験 No. 5, 6, 7) での破壊までの時間 (寿命) のワイブルプロットである。ここでは, 平均寿命に対して t_L が非常に小さいと推定されること, t_L 値を言及できるほどデータ数が多いことから, オリジナルデータを直線で近似しており, 前章で述べた t_L 値を考慮していない。この結果によれば, 形状パラメータ a は課電電圧と共に変化している。すなわち, 課電電界 $E=50.0 \text{ kV/mm}$ では $a=0.52$, $E=40.8 \text{ kV/mm}$ では $a=0.8$ と, 高電界下では $a < 1$ となっており, 破壊が初期故障型 (瞬

図 5 気中課電下での寿命分布
Fig. 5. Lifetime distribution of XLPE cable installed in free air.

図 6 気中課電下での V - t 特性
Fig. 6. V - t characteristics of XLPE cable installed in free air.

時故障率減少型) であること, 電界が低くなるに従い a 値は大きくなり, $E=33.3 \text{ kV/mm}$ では $a \approx 1$ と偶発型の破壊であることを示唆している。このことは, 本実験条件下での破壊がケーブル絶縁体中に存在していた何らかの初期欠陥に起因するものであり, 課電による蓄積摩耗劣化によるものでないことを示唆している。

一方, 図 6 は図 5 の寿命分布を V - t 特性 ($\ln E$ vs. $\ln t$) として整理したものであり, 図中の直線は寿命分布における 50% 値を結んだものである。また, 図中にはそれぞれの傾きから求まる寿命指数, n の値も記載している。この結果によれば, CV ケーブルの気中課電下での V - t 特性は一つの直線では表せず, n 値は低電界で大きくなり, 劣化に対するしきい値の存在を示唆している。また, $E=30 \text{ kV/mm}$ 付近でも $n > 20$ であり, 現行 CV ケーブルの絶縁設計で一般に使用されている値⁽⁵⁾, $n=9$ よりかなり大きな値である。

〈4・2〉 浸水課電下での寿命特性 図 7 は外導直接浸水課電試験 (実験 No. 8, 9) で得られた寿命分布である。本実験では, 12 サンプル中 6 サンプルが破壊した時点で寿命試験を打切った。

図 7 外導直接浸水課電下での寿命分布
Fig. 7. Lifetime distribution of XLPE cable without jacket in water.

図 7 において、寿命のオリジナルデータ ($t_L=0$) のワイブルプロットは上に凸型の曲線となっており、明らかに寿命の最低値、 t_L の存在を示唆している。図中には、オリジナルデータから t_L 値を引いた ($t-t_L$) のワイブルプロットも併記している。

この場合、 t_L は外導直接浸水において、水がケーブル絶縁特性に影響を与えるまでの潜伏時間と考えられ、絶縁体材料、絶縁体厚さ、温度、電界などに依存すると考えられる。今回の実験では図 7 に示したように t_L 値は電界によらず一定 ($t_L=1,100$ 時間、 $a=1.6$) となったが、現在 $E=10$ kV/mm での実験も行っており、この結果が得られれば t_L の電界依存性については更に明確になる。

一方、形状パラメータ a は t_L を考慮した場合でも $a=1.6$ であり、またオリジナルデータを直線で近似すると $a=2.3\sim 7$ となり、破壊が明らかに摩耗劣化型であり、外導直接浸水課電下での破壊要因が、前述の気中課電下の場合と異なっていることを示している。

図 8 は外導直接浸水課電下での $V-t$ 特性である。外導直接浸水では、上述したように明らかに t_L 値の存在が示唆されるため、図 8 では t_L 値を考慮している。この場合、寿命指数 n として、 $n=7.6$ が得られた。また、試料 C を用いて行った外導直接浸水課電実験 (No. 12) では、図 9 に示すように $n=10$ が得られた。この結果は、浸水課電下ではわずかな試験条件の違い、ケーブルの違いなどによって寿命指数が変化することを示唆している。

ところで、遮水層の効果を証するための実験 No. 10 では課電時間が既に 27,000 時間以上経過しているが、この間一度の破壊も生じておらず、また後述するように長期試験中に定期的に実施した残存性能試験でも初期値と同等な良好な性能であった。この結果は、遮水層の顕著な効果を示すものと考えている。

図 8 浸水課電下での $V-(t-t_L)$ 特性
Fig. 8. $V-(t-t_L)$ characteristics of XLPE cable installed in water.

図 9 浸水課電下での $V-t$ 特性 (実験 No. 12)
Fig. 9. $V-t$ characteristics of XLPE cable installed in water (Test-No. 12).

5. 絶縁性能に及ぼす水分とボウタイトリーの影響

〈5・1〉 長期試験条件と水分およびボウタイトリー

一連の $V-t$ 特性実験での破壊点近傍および試験終了後のサンプルについて、ボウタイトリーの発生状況の観察および水分量の測定を行った。ボウタイトリー発生状況はケーブル絶縁体を 0.5 mm にスライスカットし、メチレンブルーで染色後、光学顕微鏡で観察した。また、水分量は微量水分測定装置 (三菱化成製、VA-05) によって測定した。

図 10 は各条件下で長期課電を実施したケーブルに発生したボウタイトリーの $N-l$ 分布 (N : 発生数、 l : 長さ) のばらつきの幅を示すものであり⁽⁶⁾、表 3 は絶縁体中の水分量を示すものである。

気中課電とシース外浸水課電を行った遮水層付きケーブルのボウタイトリーの発生量は課電電圧、課電時間が大幅に異なっているにもかかわらず、ほぼ同等の $N-l$ 分布を示した。また、これらのケーブルの水分量は初期値とほぼ等しく、浸水課電を行った場合 (実験 No. 10) でも遮水層の効果によって外部から水の浸入がなかったことを示している。従って、ここで発生したボウタイトリーは、製造時に絶縁体中に存在す

図 10 長期試験後のボウタイトリーの $N-l$ 分布

Fig. 10. Density of bow-tie trees in aged XLPE cables.

表 3 各試験条件での水分測定結果

Table 3. Moisture content of removed cable under various conditions.

実験条件	試験時間	水分量 (ppm)
初期値	0	80~105
気中課電 (No.7) $E=33.3 \text{ kV/mm}$	592	75~135
外導直接浸水 (No.8) $E=15.0 \text{ kV/mm}$	1,355	120~175
外導直接浸水 (No.9) $E=12.5 \text{ kV/mm}$	2,652	160~200
シース外浸水 (No.10) $E=12.5 \text{ kV/mm}$	9,187	70~125
	16,778	80~125

る微量の水分によるものであると考えられる。図 11 は長期課電中の水の浸入の有無という観点からボウタイトリーの発生量の経時変化を整理したものである。外部から水の浸入のない条件では比較的短時間で量、大きさ共に飽和することがわかる。従って、図 10 の気中およびシース外浸水遮水層有ケーブルでの $N-l$ 分布がほぼ等しかったことは、ボウタイトリーの成長が飽和レベルに達しており、そのレベルが課電電圧、課電時間に依存しないことを示すものと考えられる。

一方、外導直接浸水課電ケーブルのボウタイトリーの $N-l$ 分布は、 $50 \mu\text{m}$ 以下では気中課電ケーブルとほぼ等しい傾向の分布をもっているが、ある程度以上

図 11 長期課電試験におけるボウタイトリー発生量の時間依存性

Fig. 11. Time dependence of bow-tie trees in aged XLPE cables.

表 4 長期課電後の AC 残存破壊性能

Table 4. Residual AC breakdown strength in aged XLPE cable.

布設条件	長期課電特性		残存 AC 破壊 (kV/mm)
	E (kV/mm)	t (h)	
外導直接浸水 (実験 No.9)	12.5	3,692	15.8 20.0
シース外浸水 (遮水層付き) (実験 No.10)	12.5	4,786	42.5~52.5
		9,187	42.5~57.5
		16,778	47.5~57.5

の大きになると分布は大きく変化する。表 3 から明らかなように、これらのケーブルの水分量は初期値に比較して増大しており、この外部から浸入してきた水がサイズの大きなボウタイトリーの発生を増大させる要因になっていると考えられる。また、ボウタイトリーの経時変化は図 11 からわかるように、課電時間と共に増大する傾向を示している。

〈5・2〉 浸水劣化ケーブルの絶縁性能 同一課電ストレスで、外部から水の浸入の有無の条件での残存 AC 破壊値を表 4 に示す。外部から水の浸入のなかった遮水層付きケーブル (実験 No. 10) の残存 AC 破壊値は課電時間によらず、初期性能 ($E_{50}=58 \text{ kV/mm}$) とほぼ同等であった。この結果および〈4・1〉節で記述した気中課電下での寿命分布が初期故障型あるいは偶発型であったという結果から、ケーブル中に存在する微量の水分に起因して発生するボウタイトリーは、本試験に供試した絶縁性能レベルのケーブルの絶縁破壊性能にはほとんど影響を及ぼさないものと推察される。

一方、外部からの水の浸入のある条件で課電したケーブル (実験 No. 9) については、初期の AC 破壊値に

図 12 浸水課電劣化ケーブルの残存 AC 破壊性能

Fig. 12. Residual AC breakdown properties in aged XLPE cable installed in water.

比較して明らかにその性能が低下している。外部から水の浸入のある条件下で課電したものは、水の浸入のないものに比較してボウタイトリーのサイズが長くなっており、絶縁体中の水分量も増大している。〈3・1〉節で記述したように、絶縁体が吸水しただけで AC 破壊値は 20% 程度低下する⁽⁷⁾。そこで、浸水下で課電劣化させたケーブルの残存 AC 破壊性能、およびこのケーブルから水を飛散させたものの破壊性能を調査し、浸水課電劣化について検討を加えた。

図 12 は、ケーブル C で行った実験 No. 12 の長期試験後の撤去ケーブルで行った実験結果である。浸水課電後の水の除去は絶縁体の結晶変化にあまり影響のないように 60°C で 24 時間以上乾燥した。図 12 によれば浸水課電により残存 AC 破壊値はかなり低下するが、水を飛散させるとその性能はある程度回復する。しかし、初期値に比較して 10% 程度低い値である。ボウタイトリーは微小なボイドから構成されており、浸水下ではこのボイド中に水が充満していると推定される。乾燥によりこの水が除かれ AC 破壊値が向上するのであろう。一方、浸水課電劣化したケーブルの破壊性能が、水を除去しても初期のレベルまでに回復しないのは、性能低下の原因が単に絶縁体中に水が浸入したというだけでなく、絶縁体自身に非可逆的な劣化が生じていることを示唆しており、この原因としてボウタイトリーを構成しているマイクロボイドがそのまま残っていること、ボウタイトリー部の絶縁体が酸化に代表される化学的な劣化を受けていること、などが考えられる⁽⁸⁾。

6. む す び

最断の製造技術で製造した 6~22 kV CV ケーブルを用い、長期絶縁特性に関する一連の実験を実施し

た。得られた結果を要約すると次のとおりである。

(1) 階段昇圧法で得られた破壊データから得られた E_L 値を印加したときの破壊時間分布を求めた。結果の解析から、最低破壊時間、 t_L が存在することを見いだした。

(2) 気中課電下での $V-t$ 特性は低電界側で寿命指数 n が大きくなり、劣化に対するしきい値の存在を示唆する。

(3) 寿命分布の形状パラメータ a は試験環境あるいは課電電圧によって異なり、高電界下 ($E=33\sim50$ kV/mm) の気中課電での破壊は初期故障型あるいは偶発型であり、一方、低電界下 ($E=12\sim15$ kV/mm) の外導直接浸水課電では劣化型である。

(4) 気中課電サンプルと外導直接浸水課電サンプルではボウタイトリーの発生状況が異なる。これは外部からの水の浸入の有無による。

(5) 浸水劣化したケーブルを乾燥すると絶縁性能は回復するものの、未劣化ケーブルレベルまでは回復しない。これはボウタイトリーを構成しているマイクロボイドの存在および化学的な劣化によると推定される。

今後、データの蓄積による、より精度の高い特性把握と共に、ここで得られた知見に対する、より詳細な物理的考察を行う予定である。

最後に、本研究の遂行にあたり、御助言、御指導をいただいた東京大学工学部 河野照哉教授に感謝の意を表します。

(平成 3 年 8 月 27 日受付)

文 献

- (1) K. Ogawa, et al.: "The World's First Use of 500 kV XLPE Insulated Aluminium Sheathed Power Cables at the Shimogo and Imaichi Power Stations", IEEE 1989 Summer Meeting, 89 SM 643-8 PWRD
- (2) 唐崎・佐々木・田中・足立・藤沢: 「ワイプルパラメータ推定と CV ケーブル絶縁破壊値の評価」, 電気学会 22 回絶縁材料シンポジウム, II-6 (平成)
- (3) 唐崎・石橋・金岡・関井: 「CV ケーブルの $V-t$ 特性」, 電気学会絶縁材料研究, EIM-88-26 (昭 63)
- (4) 広瀬: 「長時間 $V-t$ 特性における最適数学モデル選定と寿命推定の統計的方法」, 電学論 A, 107, 185 (昭 62-4)
- (5) 特高架橋ポリエチレン高電圧試験法専門委員会: 「特別高圧架橋ポリエチレンケーブル及び接続部の高電圧試験法」, 電気協同研究, 34-1 (昭 53)
- (6) 唐崎・佐々木・金岡・関井: 「CV ケーブルの $V-t$ 特性 (その 4)」, 電気学会絶縁材料研究, EIM-89-66 (平成)
- (7) T. Tabata, T. Fukuda & Z. Iwata: "Investigations of Water Effects on Degradation of Cross-linked Polyethylene Insulated Conductors", IEEE 1971 Summer Meeting, PAS-91, No. 4, 1361
- (8) 武藤・木村・入江: 「ポリマーブレンドによる水トリー防止効果」, 電気学会絶縁材料研究, EIM-88-39 (昭 63)

大 畠 勝 一 (正員)

昭和19年8月9日生。42年3月群馬大学電気工学科卒業。同年4月東京電力(株)入社。現在、多摩支店工務部部長。主として、地中送電線路の設計、建設、保守業務に従事し、工務部地中線課長を経て、現在に至る。

丸 山 義 雄 (正員)

昭和21年3月8日生。46年3月東京大学大学院修士課程修了。同年4月古河電気工業(株)入社。現在、千葉研究所絶縁システム研究室勤務。主として、プラスチック絶縁ケーブルおよび高電圧測定の研究開発に従事。

勝 田 銀 造 (正員)

昭和30年8月30日生。53年3月東京電機大学電気工学科卒業。同年4月東京電力(株)入社。現在、工務部地中線課副長。主として、地中送電線路の設計、建設、保守業務に従事し、現在に至る。

関 井 康 雄 (正員)

昭和11年9月8日生。40年3月東京大学大学院修士課程修了。同年4月日立電線(株)入社。現在、パワーシステム研究所第1部部長。工学博士。主として、架橋ポリエチレンケーブルの絶縁劣化研究、超高圧架橋ポリエチレンケーブルならびに接続部の開発研究に従事。42年電気学会論文賞受賞。電子情報通信学会、IEEE 会員。

岩 田 善 輔 (正員)

昭和19年10月5日生。43年3月東京大学工学部電気工学科卒業。同年4月古河電気工業(株)入社。現在、研究開発本部千葉研究所所長。主として、CVケーブルの絶縁劣化、極低温ケーブルをはじめとする大容量超高圧電力ケーブルおよび付属品の研究開発に従事。51年、平成元年電気学会進歩賞受賞。平成元年、2年度電気学会東京支部評議員。電気学会電力エネルギー部門特別委員会委員。CIGRE WG 21-09, IEEE, 低温工学協会会員。

金 岡 護 (正員)

昭和22年3月29日生。49年3月神戸大学大学院修士課程修了。同年4月日立電線(株)入社。現在、パワーシステム研究所第1部主任研究員。主として、架橋ポリエチレンケーブルの開発研究に従事。