直流ケーブル用高分子絶縁材料の開発 (その1)

正員 久保田 武 夫 (東京電力)

正員 吉 藤 直 久 (東京電力)

正員 丹 羽 利 夫 (藤倉電線)

正員 高 橋 享 (藤倉電線)

正員 宮 田 裕 之 (藤倉電線)

Development of New Polymer Insulating Materials for HV DC Cables (Part 1)

Takeo Kubota, Member, Naohisa Yoshifuji, Member (Tokyo Electric Power Company),

Toshio Niwa, Member, Tohru Takahashi, Member, Hiroyuki Miyata, Member (Fujikura Ltd.)

In the field of HV DC cables, oil impregnated paper insulation is widely used. It has generally been found that polymeric type insulation does not provide sufficient reliability for this purpose. This paper relates to the investigation of polymer insulating materials for HV DC cables.

From the results of tests to establish dielectric breakdown strength (E_B) in various types of polymeric materials (using sheet samples), modified HDPE, which was produced by introducing a small amount of polar group into HDPE, was selected as a promising new material. The outstanding DC breakdown characteristics in modified HDPE were assumed to be attributable to the improvement of the materials intrinsic breakdown strength due to the presence of high crystallinity polyethylene, in addition to the control of space charge due to the polar group.

These tests have proved that the excellent E_B of modified HDPE make it suitable to cable insulation applications, particularly as its DC E_B is 1.5~2.0 times as high as that of a conventional XLPE cable.

キーワード: DC ケーブル, 直流破壊, 空間電荷, 高分子絶縁材料, 変性 HDPE

1. ま え が き

高電圧電力ケーブルは、交流ケーブル用としてはメンテナンスの容易さ、防災面から油浸絶縁ケーブルに代わり、架橋ポリエチレン (XLPE) ケーブルに代表されるプラスチック絶縁ケーブルが広く用いられてきている。一方、直流ケーブルとしては直流高電圧に対する信頼性の問題から、油浸絶縁ケーブルが主に用いられており、プラスチック絶縁の超高压直流送電ケーブルは実用化に至っていない。特に直流送電ケーブルは海底長尺ケーブルなどに用いられるケースも多く、油圧の維持の不要なプラスチック絶縁ケーブルのメリットは大きい。

本論文では、高電圧直流ケーブル用高分子絶縁材料

について検討した結果を述べる。既に多くの高分子材料についてその直流破壊特性およびこの特性と深く関係する空間電荷形成特性が調べられており、多数の報告がある。これらの結果を出発点として、絶縁材料のスクリーニング試験を行い、直流破壊特性に極めて優れる直流ケーブル用新種絶縁材料を見いだすに至った。この新種絶縁材料の選定経緯ならびにこの材料により試作したケーブルの直流破壊特性について報告する。

2. 各種ポリマの直流破壊特性

〈2・1〉 供試試料 直流破壊特性に優れる材料としての方向性を見いだすため、第一ステップとして表1に示すグループの試料系を供試試料とした。グルー

表 1 各グループ系のサンプル
Table 1. Sample in each type of group.

グループ	試料名称	試料内容
①	LDPE	d=0.920, MFR=3.2
	HDPE ④	d=0.942, MFR=0.8
	HDPE ⑤	d=0.950, MFR=0.8
	HDPE ⑥	d=0.968, MFR=0.0
②	LDPE/変性LDPE ⑦	100/10 ブレンド量 10 重量部
		100/20 ブレンド量 20 重量部
	LDPE/変性LDPE ⑧	100/10 ブレンド量 10 重量部
		100/20 ブレンド量 20 重量部
	LDPE/PES	100/5 ブレンド量 5 重量部
		100/10 ブレンド量 10 重量部
③	EVA	VA%=3%
	PMMA	ポリメチルメタクリレート
	変性LDPE ⑨	d=0.930

グループ①：ポリエチレン系

グループ②：極性ポリマブレンドLDPE系

グループ③：極性ポリマ系

d：密度 (g/cm³)

MFR：メルトフローレート (g/10分)

グループ①はポリエチレン (PE) 系であり、現在電力ケーブル用絶縁材料として広く用いられている架橋ポリエチレン (XLPE) のベースポリマである低密度ポリエチレン (LDPE) を比較用として PE の結晶化度の効果を知るため、密度の異なる 3 種の高密度ポリエチレン (HDPE) を試料とした。グループ②および③は極性ポリマブレンド LDPE および極性ポリマ単独の試料系である。極性ポリマが直流特性に影響を及ぼす例としてはエチレン酢酸ビニル共重合体 (EVA) や、アイオノマをブレンドした XLPE で直流破壊特性の向上や電荷注入の抑制効果が報告されている⁽¹⁾⁽²⁾。

また、ポリエステル (PES) では電荷注入の抑制効果が顕著であるとの報告もある⁽³⁾。グループ②および③はこれらの報告を参考として選んだものである。グループ②の変性 LDPE ⑦および⑧は LDPE の側鎖に酸変性基を導入したものであり、④と⑥では変性基の種類が異なる。EVA は酢酸ビニル含有量 (VA%) 3% のものを用い、PES は芳香族系ポリエステルを用いた。

なお、直流破壊特性には添加剤、充てん剤が大きい影響を及ぼすと考えられるが、高分子材料の素材としての特性を明確にするため、本試料系の対象外とした。

〈2・2〉試験方法 絶縁破壊試験試料は、図 1 に示す形状で 180°C で熱プレス成型したりセス状シート試料を用いた。電極有効部に相当するリセス部は、径 10 mm φ、厚さ 200~300 μm であり、導電塗料を塗布後、塗料中の溶媒を除くために 60°C で 24 時間乾燥し、試料とした。試験はシリコン油中で室温お

図 1 シート試料の絶縁破壊試験方法
Fig. 1. Breakdown test method for sheet sample.

図 2 各試料の Imp. および DC E_b の温度特性
Fig. 2. Temperature dependence of Imp. and DC E_b in each sample.

よび 90°C の温度で行った。

破壊試験の電圧種はインパルス (Imp.), DC, DC 極性反転であり、次の印加条件とした。

- (i) Imp.(+) (1×40 μs)：予想破壊値 70%スタート, 5 kV/3 回ステップアップ
- (ii) DC(+): 2 kV/s, 連続昇圧
- (iii) DC 極性反転：予想破壊値 70%スタート, ±5 kV/10 min ステップアップ

DC 破壊はフィルムまたはシート状の試料形状では昇圧速度の影響は小さいとされているので⁽⁴⁾、連続昇圧による短時間破壊とした。また、直流では空間電荷の形成が破壊値に影響を及ぼすので、この影響が大きく現れると考えられる DC 極性反転試験も実施し、この場合、空間電荷の形成時間も考慮する必要があるので比較的長時間 (10 分) の電圧印加を行った。

絶縁破壊強度 (E_b) は、試料数 10 個の平均より求めた。

〈2・3〉結果と考察 図 2 に各試料の Imp. および DC の E_b の温度特性を示す。試料種によらず DC

では Imp. に比べ高温 (90°C) での E_B の低下が顕著である。Imp. はポリマの固有破壊強度が比較的反映していると考えられるのに対し、DC ではこれに空間電荷効果が加わる。すなわち、電極近傍にホモ空間電荷が形成されれば電極近傍の電界は緩和されるが、バルクの電界は強調され、ヘテロ空間電荷の形成ではこの逆となる。本試料系のように、シート状の薄い試料では破壊の起点が電極であるか、バルクであるかは判別できないが、通常には試料作成上から電極近傍に欠陥が形成されやすく、破壊の起点は電極と考えられるので、特に室温における $DC\ E_B > Imp.\ E_B$ のケースが多く認められるのは電極近傍のホモ空間電荷による電界緩和効果と推定される。このような電極前面の空間電荷効果が、破壊値に影響を与えることについては、多くの報告がなされている⁽⁵⁾。

一方、 $DC\ E_B < Imp.\ E_B$ (特に高温で多く認められる) となるのは、電圧の印加時間効果のほかに空間電

荷効果としてヘテロ空間電荷が形成された場合、ならびにホモ空間電荷であっても、電荷注入が顕著であればバルクの電界が強調され、バルクからの破壊も考えられる。

以上のように、 $DC\ E_B$ と $Imp.\ E_B$ の単純な比較では直流破壊に及ぼす空間電荷の影響は明瞭にできないが、DC 極性反転 E_B との比較により、その影響をより明瞭にできると考えられる。上述のように DC ではポリマ種によらず高温破壊値の低下が顕著であり、高温破壊値がケーブルの絶縁設計を支配すると考えられるので、以後 E_B は主に 90°C で評価した。

表 2 に各試料グループの 90°C での E_B を DC 極性反転の結果を含めて示す。グループ①の LDPE と HDPE の比較では、Imp., DC とともに結晶化度の大きい HDPE が高い E_B を示すが、HDPE では DC 極性反転の低下率が大きい。HDPE では後述のように、空間電荷の形成が顕著であり、極性反転低下率の大きい一因と考えられる。なお、ポリエチレンでは球晶径と E_B に相関があるとする報告もあるが⁽⁶⁾、本試料系の球晶径を透過型電子顕微鏡で観察した結果では、LDPE → 1.5~5 μm , HDPE ④ → 1~2 μm , HDPE ⑤ → 2~3 μm , HDPE ⑥ → 7~14 μm であり、 E_B との相関は認められない。球晶径が 10 μm 程度以下の小さい領域では球晶境界は破壊の弱点にはならないと考えられる。

グループ②の極性ポリマブレンド LDPE 系ではいずれの試料も $Imp.\ E_B$ の差は小さいが、DC および DC 極性反転では変性 LDPE ⑥ブレンド > LDPE 単独 ≈ 変性 LDPE ④ブレンド > PES ブレンドの順であり、特に変性 LDPE ⑥ブレンドでは極性反転低下率も小さく、空間電荷の抑制効果が考えられる。なお、ブレンド系の走査型電子顕微鏡によるマイクロ分散の状態を図 3 に示すが、分散状態は前記 E_B の順序とも一致しており、LDPE との相溶性が悪く、相分離

表 2 各試料の 90°C の E_B
Table 2. E_B in each sample (90°C).

グループ 試 料		E (kV/mm)			DC極性反転	
		Imp.	DC	DC極性反転		
①	LDPE	240	180	155	0.86	
	HDPE ㉔	295	255	180	0.70	
	HDPE ㉕	320	330	200	0.61	
	HDPE ㉖	310	280	210	0.75	
②	LDPE/	100/10	245	185	155	0.84
	変性LDPE ㉔	100/20	245	190	150	0.79
	LDPE/	100/10	260	200	200	1.0
	変性LDPE ㉖	100/20	250	195	200	1.0
	LDPE/PES	100/5	265	130	110	0.85
		100/10	215	130	100	0.77
③	EVA	305	275	180	0.58	
	PMMA	345	285	125	0.44	
	変性LDPE ㉕	270	350	300	0.86	

グループ①：ポリエチレン系

グループ②：極性ポリマブレンド LDPE 系

グループ③：極性ポリマー系

図 3 ポリマブレンド LDPE の走査型電子顕微鏡写真

Fig. 3. SEM photography of polymer blend LDPE.

分散の状況が顕著である PES ブレンドでは DC E_B の低下も大きい。相分離界面が空間電荷のトラップ箇所となることも推定され、分散状態が直流破壊に影響することも考えられる。

グループ③の試料系(極性ポリマ)では、Imp., DC ともに高い E_B を示すが、DC 極性反転は EVA, PMMA で低下率が大きいのにに対し、変性 LDPE ⑧の低下率は小さい。一般に極性基は空間電荷のトラップ源として考えられることが多く⁽⁷⁾, EVA, PMMA の極性反転低下率の大きい原因と推定されるが、変性 LDPE ⑧のように極性基の種類により空間電荷の抑制に有効に作用すると考えられる。

各種高分子の評価結果から、次節では PE に対する変性基⑧ (以後、単に変性基と呼ぶ) の効果について、詳細な検討を行った。

3. 変性ポリエチレンの直流破壊特性

〈3・1〉 供試試料および試験方法 PE に対する変性基の効果として、表 3 に示す試料により次の 3 通りに対する効果を調べた。

(1) 変性 LDPE の LDPE および HDPE に対するブレンド効果

(2) 変性 PE のベース PE の密度の効果

(3) 変性基量の効果

PE の基本的な機械特性、熱特性は結晶化度に大きく支配されるが、変性 PE の変性基量は標準変性で 1 重量%未満の少量であり、上記特性に及ぼす影響はほとんどない。

絶縁破壊試験方法は〈2・2〉節と同様であり、温度は 90°C とした。

〈3・2〉 結果と考察 図 4 に LDPE と HDPE に対する変性 LDPE のブレンド効果を示す。LDPE とのブレンドでは、ブレンド量による Imp. E_B の変化は小さいが、DC および DC 極性反転 E_B はブレンド量が増大すると顕著に向上する。HDPE とのブレンドでは DC および DC 極性反転 E_B は LDPE とのブレ

ンドより更に顕著な向上となっている。前述のように μ s オーダの破壊である Imp. E_B は PE の結晶化度など、固体構造からくる材料の固有破壊強度を比較反映し、特に高温領域では LDPE より融点の高い HDPE のほうが微結晶の部分融解も少なく高結晶性を維持するため、固有破壊強度は高いと考えられる。HDPE に変性 LDPE をブレンドすることによって、HDPE 単独あるいは変性 LDPE 単独よりも更に高い DC および DC 極性反転 E_B を示すことは、高結晶性による固有破壊強度の向上と変性基による空間電荷の制御の相乗効果と推定される。

そこで次に、変性 PE のベース PE の密度 (結晶化度) を変えてその E_B を評価した。結果を図 5 に示す。密度の増加 (結晶化度の増加) と共に DC および Imp. E_B は向上するが、密度 0.94 g/cm³ 以上で飽和する傾向となっている。密度 0.94~0.96 g/cm³ の変性

図 4 LDPE および HDPE に対する変性 LDPE のブレンド効果

Fig. 4. Blend effect of modified LDPE for LDPE and HDPE.

図 5 変性ポリエチレンの密度と E_B
Fig. 5. E_B in modified polyethylene with different density.

表 3 変性 PE の試料系
Table 3. Sample of modified PE.

目的	試料内容	備考
PE (LDPE&HDPE) に対するブレンド効果	LDPE/変性LDPE = 100/10, 100/20, 100/40	変性LDPE d=0.93
	HDPE B/変性LDPE = 100/10, 100/20	標準変性量
密度の異なる変性PE	変性PEの密度(d:g/cm³) = 0.92, 0.93, 0.94, 0.95, 0.96	標準変性量
変性基量の効果	変性基量 = 0, 1/2, 1, 2, 4	標準変性量 = 1

図 6 変性 HDPE の変性基量と E_B
Fig. 6. Amount of modified group vs. E_B in modified HDPE.

図 7 変性 HDPE の直流特性発現機構
Fig. 7. Mechanism of excellent DC characteristics in modified HDPE.

HDPE ではいずれの電圧種 (Imp., DC, DC 極性反転) に対してもこれまで検討した試料系の中で最高の E_B を示しており、特に DC および DC 極性反転では同図中に併記した XLPE の約 2 倍の高い値となっている。

密度 0.95 g/cm^3 の変性 HDPE について変性基量に対する E_B を図 6 に示す。Imp. E_B の変性基量に対する変化は小さいが、DC および DC 極性反転は変性基量と共に向上し、標準変性量以上では飽和する傾向である。

以上の変性ポリエチレンの直流破壊特性の試験結果から、直流ケーブル新種高分子絶縁材料の候補として、変性 HDPE (密度 0.95 g/cm^3 , 標準変性量) の選択に至った。また、この変性 HDPE の優れた直流絶縁破壊特性の発現は、高結晶性による破壊強度の向上と、次章で示すように変性基の導入による空間電荷の制御の効果と考えられ、図 7 のように解釈できると思われる。

4. 空間電荷特性の評価

変性 HDPE の直流破壊特性と空間電荷特性の関係を調べるために、XLPE との比較ならびに変性の効

図 8 TSC および TSSP 測定回路
Fig. 8. Measuring circuit of TSC and TSSP.

果の観点から、

- (i) XLPE
- (ii) 変性 HDPE
- (iii) HDPE (変性 HDPE のベース HDPE)

の 3 試料を対象として、その空間電荷を熱刺激電流 (TSC) および熱刺激表面電位 (TSSP) により測定した。

〈4・1〉 試験方法 図 8 に示す日野らの開発したコレクティング電圧 TSC 法、温度こう配 TSSP 法⁽⁸⁾⁽⁹⁾と同様の方法により空間電荷量およびその種類、極性を評価した。試料は熱プレスによる $200 \mu\text{m}$ 厚シート (破壊試験用シート試料と同程度の厚さ) であり、金蒸着電極 (面積 12.6 cm^2) を設けた。ポーリング温度は破壊試験温度と同じ 90°C とし、ポーリング電圧 (V_p) として 10 kV/mm , 30 kV/mm の直流電圧を 10 分間印加後、 7°C/min の昇温速度で TSC および TSSP を測定した。

〈4・2〉 結果と考察 TSC チャートの一例を図 9 に示す。各試料には低温側と高温側、すなわち、XLPE では 60°C と 100°C 、変性 HDPE と HDPE では $75\sim 80^\circ\text{C}$ と $110\sim 120^\circ\text{C}$ にそれぞれ TSC ピークが観測される。コレクティング電圧 (V_c) を変化させた TSC より、TSC ピークの電荷の種別および注入電荷量を求めることができる⁽⁸⁾。変性 HDPE の $V_p = 30 \text{ kV/mm}$ でのそれぞれのピークの V_c 依存性の例を図 10 に示すが、このパターンから低温側のピークはイオンであり、高温側のピークは電極からの注入電荷となる。また、注入電荷量は $I_1 + I_2$ に比例する量として求めることができる。同様の測定により、図 9 のいずれの試料の場合も低温側はイオン性空間電荷、高温側は電極からの注入電荷による空間電荷であった。また、温度こう配 TSSP 法によりそれぞれの空間電荷の極性を調べると、イオン性空間電荷は 10 kV/mm , 30 kV/mm とともに正極性であり、注入電荷は

図 9 TSC チャート例
Fig. 9. Example of TSC chart.

変性 HDPE, $V_p=30$ kV/mm
図 10 TSC ピークのコレクティング電圧 (V_c) 依存性
Fig. 10. Collecting voltage dependence of TSC peak.

図 11 I_1+I_2 のポーリング電圧 (V_p) 依存性
Fig. 11. Poling voltage dependence of $I_1 + I_2$.

10 kV/mm はすべて正極性(正孔)であるが、30 kV/mm では変性 HDPE のみ負極性(電子)となった。なお、XLPE についてはほぼ同様の測定条件で既に報告された結果があるが⁽⁹⁾、上記と同様の結果を与えている。

図 9 より、変性 HDPE では XLPE, HDPE に比べ V_p の増加によるイオン性空間電荷の増加がわずかであることがわかる。また、注入電荷の I_1+I_2 は図 11 に示すように XLPE, HDPE が V_p と共に増加するのに対し、変性 HDPE では正極性から負極性に変化し、その量は減少している。ここでイオン性空間電荷はヘテロ空間電荷として、電極からの注入電荷はホモ空間電荷として作用すると考えられる。従って、変性 HDPE では高電界側でイオン性空間電荷と電極からの注入電荷の相殺現象などが生じてることも考えられ、総空間電荷量の抑制が推定される。このような高電界下での空間電荷形成の抑制が変性 HDPE の直流破壊特性の向上の一因と考えられる。

ただし、破壊電界に近い更に高電界あるいは空間電荷の絶縁厚効果として、ケーブル絶縁厚レベルでも同様の現象となるかどうかは今後の課題であり、現在検討中である。

5. 変性 HDPE の材料物性およびケーブル絶縁破壊特性

〈5・1〉 変性 HDPE の材料一般物性 変性 HDPE のケーブル絶縁材料としての一般物性を XLPE と比較して表 4 に示す。変性 HDPE の極性基変性量は 1 重量%未満の微量であることから、誘電特性、絶縁抵抗に与える影響はほとんどない。また、機械特性、熱特性は HDPE をベースとする絶縁体であるため、曲げ強さが XLPE の約 2.5 倍となるが、融点 (130°C) 以下での熱変形、熱膨張係数、熱伝導率の熱的性質は XLPE より有利な物性値を与える。

〈5・2〉 変性 HDPE 絶縁ケーブルの絶縁破壊特性 直流ケーブル用新種絶縁材料として見いだされた変

表 4 変性 HDPE の材料物性
Table 4. Material properties of modified HDPE.

項 目		条 件	変性HDPE	XLPE
電 気 特 性	密度(g/cm ³)	20°C	0.95	0.92
	融点(°C)	—	130	105
	誘電率	—	2.3	2.3
		R.T	0.05	0.03
		90°C	0.04	0.03
	絶縁抵抗 (Ω·cm)	50°C	10kV/mm 9.0×10 ¹⁰	1.3×10 ¹⁰
			50kV/mm 8.2×10 ¹⁰	1.3×10 ¹⁵
		90°C	10kV/mm 4.0×10 ¹⁴	1.8×10 ¹⁴
			50kV/mm 5.4×10 ¹³	3.4×10 ¹³
	引張強さ(kg/mm ²)	20°C	2.8	2.5
機 械 特 性	引張伸び(%)	20°C	520	580
	引張残率 (%)		110	110
		加熟		
	老化後 伸び残率 (%)	120°C×60日	130	105
	曲げ強さ(kg/mm ²)	20°C	3.8	1.5
熱 特 性	加熱変形(%)	120°C	5.8	38
	線膨張係数 (°C ⁻¹)	25°C	1.4×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻⁴
		90°C	7.3×10 ⁻⁴	1.0×10 ⁻³
		熱伝導率 (W/m·°C)	20~35°C 0.45	0.36
		60~75°C 0.42	0.35	
		85~100°C 0.38	0.32	

性 HDPE について HDPE を比較用としてケーブルを試作し、その絶縁破壊特性を評価した。ケーブルは導体断面積 60 mm²、絶縁厚さ 3.5 mm、内部および外部半導電層同時押出しの 3 層構造のものである。ケーブルの絶縁破壊試験は次の条件で行い、試料数 5 点の平均より絶縁破壊強度 (E_B) を求めた。

- (i) Imp. (-) : 予想破壊値 70% スタート, 20 kV/3 回ステップアップ
- (ii) DC (-) : 予想破壊値 70% スタート, 20 kV/10 分ステップアップ
- (iii) DC+逆極性 Imp. 重量 : DC = -100 kV, Imp. = 予想破壊値 70% スタート, 20 kV/3 回ステップアップ
- (iv) DC 極性反転 : 予想破壊値 70% スタート ±20 kV/10 分 3 回ステップアップ

図 12 に 90°C での各電圧種に対するケーブル E_B を示す。XLPE ケーブルの E_B については多数の報告データがあるが、本試作ケーブルと同程度の絶縁厚ケーブルでの報告値^{(10)~(13)}を、同図中に併せて示した。変性 HDPE, HDPE の Imp. E_B は XLPE より向上した値であり、DC および DC 極性反転 E_B については変性 HDPE が HDPE, XLPE より大きく向上している。このことは第 3 章で示したシート試験で得られた結果と一致しており、特に変性 HDPE の DC および

図 12 各種電圧に対するケーブルの E_B
Fig. 12. E_B in cable for each kind of voltage.

図 13 変性 HDPE ケーブルの DC E_B の温度特性
Fig. 13. Temperature dependence of DC E_B in modified HDPE cable.

DC 極性反転は XLPE の 1.5~2 倍の極めて優れた値である。また、図 13 に DC E_B の温度特性を XLPE ケーブルおよび直流 OF ケーブルの報告値^{(10)~(13)}と比較して示すが、変性 HDPE は温度特性においても優れた特性を示すことがわかる。

以上のことから、シート試料で検証された変性 HDPE の素材としての直流破壊特性がケーブル状に適用した場合にも発揮されていることが確認された。

6. む す び

直流ケーブル用新種高分子絶縁材料として以下の検討過程により、HDPE に少量の極性基を導入した変性 HDPE を見いだすに至った。

- (1) ポリエチレン (PE) 系、極性ポリマブレンド LDPE 系、極性ポリマ系の絶縁破壊強度 (E_B) の評価から、Imp. E_B は結晶化度の高い HDPE, DC E_B

は少量の酸変性基を導入した変性 PE が優れた値を示した。

(2) (1)の結果より、変性 PE のベース PE の効果について調べた結果、ベース PE の結晶化度が高いほど Imp. および DC E_B が向上し、変性 HDPE が最も高い絶縁破壊特性を示した。

(3) 結晶化度が高いことによる固有破壊強度の向上および空間電荷の評価結果より、変性基による空間電荷の制御効果が変性 HDPE の直流破壊特性の向上理由として推定された。

(4) 変性 HDPE のケーブル試料(絶縁厚 3.5 mm) による評価結果においても、Imp., DC とともに良好な絶縁破壊特性を示し、特に DC, DC 極性反転では XLPE ケーブルの 1.5~2.0 倍の極めて高い E_B となり、変性 HDPE の材料としての優れた特性がケーブルに適用した場合にも発揮されることが確認された。

変性 HDPE ケーブルの直流破壊特性の発現機構については、まだ不明な点が多く、現在更に検討中である。また、ケーブル実用化に向けての直流破壊特性の絶縁厚さ効果、直流長期特性ほか、諸特性の結果をまとめて次報で述べる予定である。

(平成 3 年 6 月 27 日受付)

文 献

- (1) 権・岩本・日野: 電気学会絶縁材料研資, EIM 85-123 (昭 60)
- (2) H. Fukagawa, Y. Nitta & Y. Sekii: JICABLE '84, BIII-2, p. 283 (1984)
- (3) T. Tanaka: IEEE PES Summer meeting, A76, p. 464 (1976)
- (4) 菊池・二宮・宮内: 古河電工時報, No. 57, 83 (昭 50)
- (5) 電気学会技報 (II 部), No. 304, 16 (平元)
- (6) S. N. Kolesov: IEEE Trans. Elect. Insulation, EI-15, 382 (1980)
- (7) 矢作: 電学誌, 95, 425 (昭 50-5)
- (8) 日野・山下: 電学論 A, 95, 79 (昭 50)
- (9) 岩本・加藤・鞠・日野: 同上 A, 105, 255 (昭 60-5)
- (10) 今城, 他: 電中研報告, 177086 (昭 53)
- (11) 電気学会技術報告 (I 部), No. 128 (昭 54)
- (12) 峰村, 他: 昭 63 電気学会全大, 1326; 1327
- (13) P. Michel & L. Michel: JICABLE '87, B2-2, p. 111 (1978)

久保田 武 夫 (正員)

昭和 20 年 3 月 19 日生。38 年 3 月新潟県立柏崎工業高等学校電気科卒業。同年 4 月東京電力(株)入社。現在、技術開発本部開発研究所大容量送電研究室主任

研究員。この間、主として基幹系統地中送電線路の設計・建設および電力ケーブルに関する研究開発に従事。

吉 藤 直 久 (正員)

昭和 37 年 4 月 20 日生。60 年 3 月青山学院大学理工学部電気電子工学科卒業。同年 4 月東京電力(株)入社。現在、技術開発本部開発研究所大容量送電研究室副主任。この間、主として地中送電線路の設計・建設および電力ケーブルに関する研究開発に従事。平成 2 年電気学会論文発表賞 B 受賞。

丹 羽 利 夫 (正員)

昭和 18 年 12 月 21 日生。43 年 3 月広島大学大学院理学研究科修士課程修了。同年 4 月藤倉電線(株)入社。主として、超高圧電力ケーブル絶縁材料の研究に従事し、現在、研究開発本部基盤材料研究所化学機能材料開発部長。高分子学会会員。

高 橋 享 (正員)

昭和 49 年 3 月北海道大学大学院理学研究科修士課程修了。同年 4 月藤倉電線(株)入社。現在、基盤材料研究所化学機能材料開発部主任研究員。主として、高電圧電力ケーブルの絶縁材料の研究開発に従事。

宮 田 裕 之 (正員)

昭和 32 年 6 月 29 日生。56 年 3 月神戸大学工学部工業化学科卒業。平成元年 5 月より藤倉電線(株)化学機能材料開発部に勤務。主として、直流ケーブル用絶縁材料に関する研究に従事。