電力ケーブル用非架橋絶縁材料としての ポリエチレンブレンドの特性

学生員 田村 弘毅* 非会員 小野 裕永*
正 員 池田 雅昭** 非会員 山本 良美***
正 員 大木 義路*

Properties of Polyethylene Blend as a Non-crosslinked Insulating Material for Power Cable

Hiroki Tamura*, Student Member, Hironaga Ono*, Non-member, Masaaki Ikeda**, Member
Yoshimi Yamamoto***, Non-member, Yoshimichi Ohki*, Member

From viewpoints of environmental protection and reduction in manufacturing cost, it is desirable to use non-crosslinked polyethylene as an insulating material for power cables. A new type polymerized polyethylene using a single-site catalyst has an advantage of its high melting point, but its processability is very poor because of its high viscosity. Therefore, blends of this polyethylene and conventional low-density polyethylene with different blending ratios are examined in this research. As a result, it has become clear that the blend with a blending ratio of 1:1 has an appropriate melting stress and an adequate viscosity at a shear velocity suitable for cable manufacturing. Furthermore, the blend has a superior thermal property and a high dielectric strength for both dc and impulse voltages.

キーワード：ポリエチレン，絶縁材料，絶縁破壊，ブレンド高分子，電力ケーブル

Keywords : polyethylene, insulating material, breakdown, polymer blend, power cable

1. はじめに

低密度ポリエチレン(LDPE)をディクルミルパーオキサイド(DCP)を主とする有機過酸化化合物を用いて架橋することにより得られる架橋ポリエチレン(XLPE)は、電気特性、機械特性が良好であるため、電力ケーブル用絶縁材料として用いられている。ポリエチレンを架橋することにより熱変形特性が改善され、ケーブルの最高使用温度を 90 °C とすることを可能としている。しかし、同時に、架橋による弊害が撤去ケーブルの処理の際に発生している。1991 年において、撤去ケーブルの被覆部は通信用ケーブルも含め年間 8.5 万

トン発生し、そのうちポリエチレンが 1.7 万トンを占める。未架橋ケーブルの絶縁体については再利用が可能であるが、XLPE は熱可塑性を失っているため、溶融処理による再成形ができない。このため、燃料として使用される以外のポリエチレン 1.4 万トンが埋立て、焼却などにより処分されている⁽¹⁾。処分量は今後とも増え続けると思われるため、環境保護の立場から、XLPE に代わる材料の探索を行うことは有意義と考えられる。

ケーブル製造において XLPE の形成工程は、次のようになる。すなわち、①LDPE に酸化防止剤等を溶融ブレンドした後、ヘンシェルミキサー等で有機過酸化化合物を含浸させる。充分含浸させるためには数日間を要する。②含浸したポリエチレンを押し出し機で導体上に被覆する。③架橋管内に通し架橋する。④架橋剤残渣を揮散させるため乾燥する。このように、架橋は多くの工程を要している。電力設備関連の投資が削減されている現状では、製造コスト削減は重要である。この見地からも、非架橋ポリエチレンを使用することは有意義であると思われる。

以上のことから、我々は XLPE を用いない電力ケーブルの絶縁の可能性をシングルサイト系触媒により重合したポリエチレン(以下、SSPE と略す)を用いて検討している。SSPE

* 早稲田大学理工学部電気・情報生命工学科
〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1
Department of Electrical Engineering and Bioscience, Waseda University
3-4-1 Okubo, Shinjuku 169-8555

** 新日本石油化学(株)工務部電気 Gr
〒210-8545 川崎市川崎区浮島町 10-10
Nippon Petrochemicals, Co. Ltd., Kawasaki Operations Center,
Engineering Department, Electrical Equipment Section
10-10 Ukishima, Kawasaki-ku, Kawasaki 210-8545

*** 昭和電工(株)研究開発センター
〒210-0867 川崎市川崎区扇町 5-1
Showa Denko K.K., Corporate R&D Center
5-1 Ogimachi, Kawasaki-ku, Kawasaki 210-0867

は、分子量分布が LDPE に比べ狭いため、押し出し成形性に難がある。本質的には重合触媒の改良を通して分子量分布の制御をおこなうべきであるが、現状では、この技術は確立されていない。よって、今回は SSPE と LDPE のブレンドについて、非架橋ポリエチレン絶縁電力ケーブルが実現できるかに関する基礎的検討をおこなった。

2. 材料選定方針

電力ケーブルの最高使用温度を 90 °C とし、現状のケーブル製造設備を使用するという条件のもとで材料選定をおこなった。まず、架橋を施さないことにより熱変形特性の悪化が懸念される。このため、融点が高く、絶縁破壊特性が良好な気相法直鎖状低密度 SSPE をベース材料として用いることとした⁽²⁾。通常、架橋ポリエチレンケーブルを製造する際は、約 125 °C において、架橋剤、添加剤を添加した LDPE を導体上に押し出している。本研究では、融点の高い SSPE をベースとして用いるため、現状の設備を使用するためには押し出し温度を 125 °C より高くする必要がある、目標温度を 145 °C とした。この温度で、125 °C での LDPE の流動特性と同等の流動性を得ることを目標とすることとした。

3. 試料

メルトフローレート(MFR)の大きな SSPE と MFR の小さい LDPE をブレンドすることにより、前章の条件を満足させる材料が作製可能かを調べるため、表 1 に示す 2 種の SSPE(以後 S1, S2 と呼ぶ)、現在の電力ケーブル絶縁用として用いられている LDPE(L)、およびこれらのブレンド(B1, B2, B3)を用意した。なお、どの試料も酸化防止剤を含まない。B1, B2, B3 は、ラボプラストミル(東洋精機製)を用い、160 °C で、5 分間 S1 と L をブレンドして作製した。

4. 実験方法

試料の熔融張力はメルトテンションテスト II 型(東洋精機製)により測定した。すなわち、145 °C において孔径 2.1 mm のノズルから一定速度(20 mm/min)のピストンにより押し出された熔融試料を一定速度(100 rpm)で回転しているローラーで引き取るときに発生する応力を測定し熔融張力(g)としている。さらに、キャピラリーレオメーター(東洋精機製

Capirograph-1C)を用い 125 °C, 145 °C で流動特性の評価をおこなった。キャピラリーのバレルの直径は 9.55 mm, ダイの形状は長さ 10 mm, 半径 2 mm, 流入角 90 °である。なお、この測定においては、熔融樹脂を平行な板にはさみ、片方の板を動かすことにより樹脂内部に発生させた速度勾配を 2 枚の板の間隔で除し、せん断速度を求めている。このため、せん断速度の単位は(1/s)となる。また、ゲル浸透クロマトグラフィー(Waters 製 150-C)により分子量分布を測定した。

高次構造は透過型電子顕微鏡(TEM, JEOL 社製 100-CX)にて観察した。この場合、試料をエポキシ樹脂で包埋後、四酸化ルテニウム(RuO₄) 水溶液に室温で 22 時間浸漬し染色し、ウルトラマイクロームで切り出した厚さ 60 nm の超薄切片をグリッド上に捕集して TEM 観察用試料とした。

示差走査熱量分析(DSC)測定は大気雰囲気中で標準試料にアルミナ(Al₂O₃)、容器にアルミニウム(Al)を用い、室温から 150 °C まで 10 K/min の速さで昇温した。次式に従い、DSC スペクトルより試料の融点および結晶化度を求めた。

$$c = \frac{Q}{276.4} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

c は結晶化度 [%], Q は融解熱 [J/g] である。

絶縁破壊電圧は McKeown 電極を使用し、厚さ 50 μm の試料に直流ランプ電圧(500 V/s)および標準波インパルス電圧を印加して測定した。伝導電流は、厚さ 100 μm の試料に直径 20 mm の電極を金蒸着し、測定温度 90 °C で測定した。電流値は電圧印加 30 分後の値を使用した。空間電荷分布測定は、室温で厚さ 100 μm の試料に 0.8 MV/cm の電界を印加し、パルス静電応力法により電圧印加開始直後から 150 分間にわたり 2 秒間隔で測定した。

5. 実験結果および考察

〈5・1〉 成形特性 図 1 に試料の分子量分布を示す。表 1 に示す重量平均分子量 M_w と数平均分子量 M_n の比、 M_w/M_n は、分子量分布の広がり指標となる。この比、および図 1 より明らかなように試料 S1 は、分子量分布が狭く中心ピークが高い。これに試料 L をブレンドすることによりピーク位置は高分子量側にシフトし、ピーク高さは減少する。また、低分子量、高分子量成分がともに増え、分子量分布は広がっていく。

表 1 試料の材質と主な特性の実験値

Table 1. Samples and measured values of their various properties.

Sample	Material	Blending ratio	Density (g/cm ³)	MFR (g/10min)	Melting stress (g)	M_w/M_n	Melting Point (°C)	Crystallinity (%)
S1	SSPE	————	0.931	3.5	1.8	3.17	125.4	36.7
S2	SSPE	————	0.918	0.8	————	————	————	————
L	LDPE	————	0.919	1.0	25	6.38	112.2	25.5
B1	Blend of S1 and L	S1 (80 wt%) +L (20 wt%)	0.929	2.1	18	3.72	125.7	35.5
B2	Blend of S1 and L	S1 (50 wt%) +L (50 wt%)	0.926	1.5	32	4.67	124.4	32.2
B3	Blend of S1 and L	S1 (20 wt%) +L (80 wt%)	0.922	1.2	40	5.77	125.8	30.4

SSPE : polyethylene polymerized with a single-site catalyst, LDPE : low-density polyethylene
 M_w : weight-average molecular weight, M_n : number-average molecular weight

図1 分子量分布 (W : 重量, M : 分子量)

Fig. 1. Molecular weight distribution (W : Weight, M : Molecular Weight).

図2 145 °Cにおける粘度—せん断速度特性

Fig. 2. Viscosity as a function of shear rate measured at 145 °C.

表1には、各試料の145 °Cにおける溶融張力も示した。S1は線状(リニア)ポリエチレンであるため、溶融張力がLよりも一桁小さく、従来のケーブル成形法で必要とされる値に達しておらず、少なくともL程度の溶融張力が必要である。このため、S1に溶融張力の高いLをブレンドすることにより、溶融張力が改善されることを期待したわけであるが、表1に示すように、B2、B3では十分な値となっている。このように、溶融張力の面から、B2、B3が適切なブレンド組成と判断した。

次に、流動性について調べた。図2に、145 °Cにおける各試料の粘度のせん断速度依存性を示す。比較のため、125 °CにおけるLの特性も併せて示す。密度とMFRがほぼ等しいS2とLの両者で、145 °Cにおける測定結果を比較する。低せん断速度では粘度はMFRによって決まるため、MFRがほぼ等しいS2とLはほぼ同じ粘度となっている。しかし、せん断速度が増すにつれ、Lの粘度は大きく低下するのに対し、S2では低下の度合いは小さい。ケーブル製造時のせん断速度領域である50-100 s^{-1} では、S2の粘度は145 °CのLのみならず125 °CのLに比べても明らかに大きく、押し出しにくいことがわかる。一方、せん断速度50-100 s^{-1} においてS1の粘度は、Lより小さいが、溶融張力が小さいため、いわゆる「樹脂ダレ」が起りケーブルへの成形は

図3 DSC 曲線

Fig. 3. DSC spectra.

できない。Lの場合、 M_w/M_n の比および図1からわかるように分子量分布が広く、非ニュートン性が大きい。このため、高せん断速度領域では粘度は大きく低下する。これに対しS1、S2では、分子量分布が狭く、組成分布が均一であるため、非ニュートン性が小さく、粘度のせん断速度依存性がLより小さくなったと考えられる⁽³⁾。

S1、S2に対し、B2ではケーブル製造時のせん断速度領域でLと同様な粘度となっており、良好な特性である。表1に示すように、分子量分布の広いLのブレンド比に正に相関してB1-B3の分子量分布は広がる。またLのブレンドにより長鎖分岐が導入されるので非ニュートン性が大きくなる。これにより、粘度が低下し流動特性が改善され、B2はケーブル成形に適した粘度になったと考えられる。

〈5・2〉 熱的特性および高次構造

図3にDSC曲線を示す。表1に、式(1)より求めた各試料の結晶化度とDSCのピーク値より求めた融点を示す。結晶化度はブレンド比にほぼ線形に依存していることがわかる。また、Lにくらべ線状ポリエチレンであるS1は10 °C以上高い融点を有している。ブレンド試料はS1の配合比に関係なくB1、B2、B3でほとんど同じ融点で、S1と同等の値となった。また、いずれのブレンド比でもL相当の低融点成分はわずかしき現れなかった。少量でもS1はLの結晶化に影響を与え、S1とLは一体となって結晶を形成している可能性が推察される。

図4に3種類のポリエチレンより一種ずつ選んだ代表例として、L、S1、B2のTEM写真を示す。Lでは、二本の破線の間にラメラの向きが揃ったリボン状の結晶が見られる。しかし、図4には示さなかった試料も含めてL以外の試料では明瞭なリボン状の結晶は見られず、規則的な構造は部分的にしか見られない。すなわち、すべてのブレンド試料がS1と似通った高次構造を形成していることがわかった。

〈5・3〉 電気特性

破壊電界を図5に示す。室温では直流電圧およびインパルス電圧印加の両者において、LとS1のブレンド比50/50のB2の破壊値が最大であり、絶縁破壊特性においてもB2が優れていることがわかった。図6に、各試料の伝導電流値の電界依存性を示す。伝導電流値は、

(a) L

(b) S1

(c) B2

図4 TEM写真

Fig. 4. TEM images.

B1<B2<B3<S1<Lの順に大きくなっている。すなわち、ブレンドポリマーB1とB2は、絶縁材料として重要な低い導電率を有している。

ここまでの本研究をまとめると、本研究に用いたブレンドポリマー、中でもB2は、既に良好な電気絶縁材料であることがわかっているS1⁽²⁾と似通った高次構造を有しており、また融点に代表される熱的特性も良好であり、さらに成形特性および電気特性に優れ、架橋ポリエチレンに替る非架橋電力ケーブル用絶縁材料として有望であることがわかった。

〈5・4〉 絶縁破壊機構 図7に室温にて直流8kVを印加してから85秒経過した時点における試料B3の空間電荷分布を示す。このような空間電荷分布の経時変化を調べたところ、陽極近傍において電圧印加開始直後には負のヘテロ電荷が蓄積しているが、その後、徐々に負のヘテロ電荷は小さくなることがわかった。このような変化はすべての試料で観測された。この陽極直前の空間電荷の時間変化が

(a) dc

(b) Impulse

図5 絶縁破壊値の比較

Fig. 5. Comparison of dielectric strength.

図6 電流-電界特性 (90 °C)

Fig. 6. Conduction current measured in each sample at 90 °C.

最も著しかったため、この電荷に注目し、各試料における陽極直前の電荷の時間変化を比較した結果を図8に示す。負のヘテロ電荷のピーク値は、B2<S1<B1<B3<Lの順で大きくなっている。また、電荷がピークに達するまでの時間はB2>S1>B1>B3>Lの順で短くなっている。これらは室温での直流電圧印加下での絶縁破壊値の順序B2>B1>S1>B3>Lとほぼ同一となっている。また、上記ヘテロ電荷のピーク値及びピークに達する時間の順序を、室温でのインパルス電圧印加下の絶縁破壊値の順序と比較しても、ほぼ同様のことが成り立つ。ヘテロ電荷のピーク位置、試料内のヘテロ電荷の総量には試料間の差はほとんど見られ

図7 試料 B3 の空間電荷分布(室温)

Fig. 7. Space charge distribution in sample B3 at room temperature.

図8 陽極直前電荷の時間変化(室温)

Fig. 8. Variation of charge density before the anode with time observed at room temperature.

なかった。上述の関係は陽極直前の負のヘテロ電荷による陽極電界の増大が絶縁破壊を引き起こしていることを示唆している。

これら負のヘテロ電荷の発生源と絶縁破壊機構について以下のような考察を行った。電圧印加前には試料内には目立った空間電荷は観測されず、また、図7に示されるように試料内の正負電荷の量はほぼ等しいので、試料内に現れた電荷は元々試料内に均一に分布していたと考えられる。したがって、これらの電荷の平均移動距離は試料厚の1/2であることができる。この時、電荷の見かけの移動度 μ は、

$$\mu = \frac{d}{2E \cdot t} \quad (2)$$

ここで、 E : 印加電界 (0.8 MV/cm), d : 試料の厚さ, t : キャリアが移動した時間(ヘテロ電荷が最大となる時間)である。

となる。(2)式より求めた移動度を表2に示す。

アセトフェノン拡散させた LDPE 中のイオンの移動度は $3 \times 10^{-11} \sim 3 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ とされており⁽⁴⁾、表2に示された数値は LDPE 中のイオンの移動度として妥当な値である。よって、陽極直前に現れる電荷はイオンによるもので

あると考えられる。

以上のことより、イオン伝導の式を用い、直流絶縁破壊試験と同様の 500 V/s の速度で印加電圧を昇圧したときに、陽極直前の負のヘテロ電荷が最大となる時間の推定を行った。実験の条件より、次のことが仮定できる。

(i) 電流密度 j は、次式で表される。

$$j = 2neav \cdot \exp\left(-\frac{U}{kT}\right) \cdot \sinh\left(\frac{eEa}{2kT}\right) \quad (3)$$

ここで、 n : キャリア密度, v : イオン振動数, E : 印加電界, a : イオン跳躍距離, k : ボルツマン定数, T : 温度, U : 活性化エネルギーである。

(ii) 電圧上昇速度 α は一定であり、試料にかかる電界 E は、時間 t の関数として、

$$E = \alpha t / d \quad (4)$$

と表される。 d は、試料の厚さである。

(iii) 電流密度 j は、電荷の移動速度 v と、電荷密度 ρ により

$$j = \rho v \quad (5)$$

と表される。少なくとも陽極直前の電界が、最大となるまでは、 ρ は一定と仮定する。

上の仮定に加えて、印加電圧が異なっても試料内のイオンの移動距離は試料の厚さの 1/2 という一定値をとると仮定していること、および、空間電荷測定時に使用した試料の厚さ (100 μm) が、直流絶縁破壊試験の時に使用した試料の厚さ (50 μm) の 2 倍であることにより、(6)式が成り立つ。

$$\int_0^{\tau_1} v_1 \cdot dt = 2 \int_0^{\tau_2} v_2 \cdot dt \quad (6)$$

ここで、 v_1 : 空間電荷測定時のキャリアの移動速度, v_2 : 500 V/s の速さで昇圧したときのキャリアの移動速度, τ_1 : 空間電荷測定時に負のヘテロ電荷が最大となるまでの時間, τ_2 : 500 V/s で昇圧したときにヘテロ電荷が最大となるまでの時間である。

仮定(iii)より、

$$j_1 \tau_1 = 2 \int_0^{\tau_2} j_2 \cdot dt \quad (7)$$

となる。(3)式を上式に代入し、 τ_2 を求めると、

$$\tau_2 = \frac{d}{K\alpha} \cdot \cosh^{-1} \left(\frac{K\alpha}{2d} \cdot \tau_1 \sinh(KE_1) + 1 \right) \quad (8)$$

となる。ただし、 $ea/2kT = K$ とした。

上式に、 $d=5 \times 10^{-5} \text{ m}$, $E_1=8 \times 10^7 \text{ V/m}$, $\alpha=500 \text{ V/s}$, $T=300 \text{ K}$, $k=8.6 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$, $e=1 \text{ e}$, $a=1.53 \times 10^{-10} \text{ m}$ と τ_1 の値を代入して、 τ_2 を計算した。ただし、イオン跳躍距離 a は -C-C-結合間距離として仮定した。

この計算値 τ_2 を、実験において絶縁破壊までに必要とした時間 τ_2' と比較し表2に示す。表2より τ_2 , τ_2' はほぼ一致しており、室温での絶縁破壊は陽極直前に蓄積したヘテロ電荷が最大となった時に、陽極側より生じているという考えに一つの妥当性を与えている。

また、90 $^{\circ}\text{C}$ では直流電圧・インパルス電圧とも S1 のブレンド比が 80 % の B1 において、破壊値が最大となっている。

表2 各試料におけるキャリアの見かけの移動度
と絶縁破壊までに必要とする時間の推定値と
実測値の比較

Table 2. Effective mobility μ of carriers in each sample and comparison between the estimated time and the observed time necessary to cause breakdown.

No.	Mobility μ [cm ² /V·s]	τ_2 [s]	τ_2' [s]
S1	2.5×10^{-11}	42.0	51.3
L	4.3×10^{-11}	33.0	45.4
B1	2.6×10^{-11}	41.5	52.0
B2	1.1×10^{-11}	59.3	58.5
B3	2.8×10^{-11}	40.2	46.0

図6によれば、伝導電流値はB1とB2で小さい。室温以上の絶縁破壊においては純熱破壊機構が支配的であると報告されている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。もし破壊機構が熱的であれば、導電率が低い試料では電流値が小さくなり、それによって絶縁破壊値が高くなることは当然である。さらに、熱的な破壊機構では、ある限界温度に達すれば、破壊が生じると仮定しているが、融点に代表される熱的特性が良好な試料において、絶縁破壊値は高くなると考えられる。図3に示すDSC曲線より、B1、B2は、S1と同等の高い融点を持つことから絶縁破壊値が高くなったと思われる。

6. まとめ

環境保護および製造コスト削減の視点から架橋しないポリエチレンを電力ケーブルの絶縁材料として用いる可能性について検討した。その結果、融点の高いシングルサイト系触媒重合ポリエチレン(S1)と粘度が小さく押し出し特性の良好な低密度ポリエチレン(L)を1:1の割合でブレンドした試料(B2)は、成形特性や融点に代表される熱的特性が良好であり、さらに、室温及び90℃において高い絶縁破壊電界を示し、非架橋絶縁材料として有望であることがわかった。また、陽極直前に蓄積した負のヘテロ電荷により陽極の電界が強調されることにより室温での絶縁破壊が引き起こされた可能性を指摘した。

(平成16年2月2日受付, 平成16年4月19日再受付)

文 献

- (1) 井上一樹・中喜代巳・菊地紀洋・菊地 照:「架橋ポリエチレンの熱可塑性によるマテリアルリサイクル」, 工業材料, Vol.48, No.3, pp.25, 26 (2000)
- (2) M. Araoka, H. Yoneda, and Y. Ohki: "Dielectric Breakdown of New Type Polymerized Polyethylene Using a Single-Site Catalyst", IEEE DEI, Vol.6, No.3, pp.326-330 (1999)
- (3) 曾我和雄: 新世代ポリマーの創製とメタロセン触媒, p.36, 103, シーエムシー (1993)
- (4) H. Matsumura, Y. Murakami, Y. Muramoto, N. Hozumi, M. Nagao, and S. Mitsumoto: "Carrier Mobility in Polyethylene Soaked in Acetophenone", The Papers of Technical Meeting, IEE Japan, DEI-00-56, pp.27-31 (2000) (in Japanese)
松村弘美・村上義信・村本祐二・徳積直裕・長尾雅行・光本真一:「アセトフェノンを拡散させたポリエチレン中のキャリア移動度」, 電気学会研資, DEI-00-56, pp.27-31 (2000)

- (5) 固体絶縁材料の電気伝導と絶縁破壊調査専門委員会:「高分子絶縁材料の絶縁破壊現象」, 電気学会技術報告, II部, No.304, pp.8-10 (1989)
- (6) T. Mori, Banmongkol Channarong, T. Mizutani, M. Ishioka, and I. Ishino: "High-field Conduction and Breakdown against Physical and Chemical Properties for Low Density Polyethylene Films: I. Effects of Film Density", T.IEE Japan, Vol.117-A, No.3, pp.305-310 (1997-3) (in Japanese)
森 竜雄・バンモンコン チャナロン・水谷照吉・石岡 貢・石野 巖:「高温領域における高電界特性とLDPEの物性 I. フィルム密度からの再検討」, 電学論 A, 117, 3, pp.305-310 (1997-3)

田 村 弘 毅

(学生員) 1978年9月21日生。2002年3月早稲田大学理工学部電気電子情報工学科卒業。同年4月同大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程入学, 現在に至る。

小 野 裕 永

(非会員) 2000年3月早稲田大学理工学部電気電子情報工学科卒業。同年4月同大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程進学。2002年3月同大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年4月トヨタ自動車(株)入社。

池 田 雅 昭

(正員) 1959年5月28日生。88年3月早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。工学博士。87年4月, 早稲田大学理工学部助手。88年4月, 日本石油化学(株)入社。95年10月日本ポリオレフィン(株)出向。研究開発センター所属, 主席研究員。02年7月新日本石油化学復帰。工務部電気課参事。電力設備の絶縁診断に従事。89年電気学会学術振興賞論文賞受賞。94年電気学会論文発表賞受賞。

山 本 良 美

(非会員) 1992年3月奈良女子大学大学院家政学研究科修了。92年4月, 昭和電工(株)入社。95年10月, 日本ポリオレフィン(株)出向。研究開発センター所属。主として, ケーブル絶縁材料開発に従事。03年9月, 昭和電工(株)復帰。研究開発センター所属。現在, 触媒開発に従事。

大 木 義 路

(正員) 1950年12月21日生。78年早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。76年4月同大学理工学部助手, 以降, 講師, 助教授を経て, 現在, 同教授。工学博士。理化学研究所客員研究員。有機および無機誘電体材料の物性の研究に従事。89年および97年電気学会論文賞, 95年矢崎学術賞, 2002年IEEE Forster賞など受賞。IEEE フェロー。