ポリエチレン中の空間電荷分布形成に与える架橋剤分解残渣の影響

正員 平井直志 (早稲田大学)

非会員 南亮太郎 (早稲田大学)

正員 大木義路 (早稲田大学)

正員 岡下稔 (昭和電線電纜)

正員 前野恭 (通信総合研究所)

Effects of Byproducts of Dicumyl Peroxide on Space Charge Formation in Polyethylene

Naoshi Hirai, Member, Ryotaro Minami, Non-member, Yoshimichi Ohki, Member (Waseda University), Minoru Okashita, Member (Showa Electric Wire and Cable), Takashi Maeno, Member (Communications Research Laboratory)

In the bulk of crosslinked polyethylene insulated cables, there remain chemicals such as acetophenone, α -methylstyrene, and cumylalcohol. We have examined the effects of these remaining chemicals on the space charge evolution in low-density polyethylene (LDPE). A two-layered specimen consisting of a non-treated sheet and a sheet soaked into the chemical was examined. As an important conclusion obtained, it becomes clear that cumylalcohol traps charge carriers at the surface of LDPE, while neither acetophenone nor α -methylstyrene has this effect. The latter two chemicals assist carrier transport. It seems that the hydroxyl group of cumylalcohol has an important role to the carrier trapping in the LDPE in which cumylalcohol is present.

キーワード：空間電荷、クミルアルコール、二層誘電体、ポリエチレン、電力ケーブル

1. はじめに

交流送電用として広く用いられている架橋ポリエチレン (XLPE) ケーブルが、直流長距離送電には使用されていない理由の一つとして、直流電界下では空間電荷が蓄積しやすいことがあげられる。空間電荷を発生させる要因の一つとして架橋剤であるジクミルパーオキシド (DCP) の分解残渣が考えられている。架橋剤分解残渣のうちアセトフェノンがポリエチレンの空間電荷形成に及ぼす影響については種々の検討がなされている^{(1)~(12)}。本報告では、やはり架橋剤分解残渣の一つであるクミルアルコールについてポリエチレンの空間電荷形成に与える影響を調べた。さらに、アセトフェノン、 α -メチルスチレンに関する筆者らの以前の報告^{(8)~(9)}と合わせて、DCP が分解して生じる全ての残渣、すなわちアセトフェノン、 α -メチルスチレンおよびクミルアルコールがポリエチレンの空間電荷形成に与える影響を総合的に検討する。

2. 試料および実験方法

試料及び実験方法は、架橋剤分解残渣としてクミルアル

コールを用いた以外は極力前報⁽⁸⁾と同一とした。クミルアルコールは市販品 (東京化成工業 TCI-P0213、純度 97 %) を用いた。クミルアルコールは融点が 23 °C^{(13)~(16)}とやや高いため、50 °C または 80 °C に保ちその中に厚さ 100 または 200 μm の低密度ポリエチレン (LDPE) シートを浸した。パルス静電応力 (PEA) 法⁽¹⁷⁾による空間電荷分布の測定および直流漏れ電流測定の詳細については前報⁽⁸⁾に記した。

3. 実験結果

図 1 に 50 °C でクミルアルコールに浸漬させた厚さ 100 μm の LDPE シートについて、クミルアルコール中に含まれる O-H 結合による 3372 cm^{-1} 付近と C-O 伸縮による 1174 cm^{-1} 付近の赤外吸収強度が浸漬時間に対してどのように変化するかを示す。また 50 °C と 80 °C でクミルアルコール中に浸漬したときの試料の重量変化を電子天秤により測定し、図 2 に示した。赤外吸収強度及び重量変化の両者とも浸漬時間 15 分までは急速に立ち上がり、その後飽和している。この結果より実験においては、余裕を見て浸漬時間は 2 時間と定めた。

図1 ポリエチレンフィルムのクミルアルコール浸漬時間と FT-IR 吸収強度の関係

Fig.1. Relation between the soaking time in cumylalcohol and FT-IR absorption (circle: O-H bond, square: C-O bond).

図2 50 °Cおよび 80 °Cでクミルアルコールに浸漬したポリエチレンの重量変化

Fig.2. Relation between the soaking time in cumylalcohol and the weight increase in LDPE sheets soaked at 50 °C and 80 °C.

つぎに、浸漬温度 50 °C あるいは 80 °C においてクミルアルコール中に浸漬させた LDPE フィルムと未浸漬フィルムを重ね合わせた二層誘電体試料に、5 kV の直流電圧を印加し空間電荷を測定した。計測は電圧印加直後より 2 秒間隔で行ったが、本論文には代表的なデータのみを示す。図 3、4 はそれぞれ浸漬温度 50 °C、80 °C の結果であり、両図とも (a) は浸漬フィルム (図中の s-LDPE) が陰極側、(b) は浸漬フィルムが陽極側である。図 3(a)、4(a) において、電圧印加時間が長くなるにつれて浸漬フィルムと未浸漬フィルム (n-LDPE) の界面に正電荷が蓄積し、浸漬フィルムと陰極の界面においては負電荷が確認できる。図 3(b)、4(b) においては、浸漬フィルムと未浸漬フィルムの界面に負電荷が蓄積し、浸漬フィルムと陽極との界面において正電荷が確認できる。なお、図中に示した矢印については次章 (4. 考察) において説明する。また、図 3、4 に代表的に示されているように、浸漬温度が 50 °C の場合の空間電荷分布は、大きさが小さくなるものの 80 °C で浸漬した場合と同一の

(a) 浸漬フィルムが陰極側

(b) 浸漬フィルムが陽極側

図3 クミルアルコール浸漬フィルムと未浸漬フィルムから成る二層試料中における電界印加時間に対する空間電荷分布の変化 (50 °C で浸漬)

Fig.3. Time-resolved measurement results of space charge distribution in a two-layered specimen consisting of cumylalcohol-soaked LDPE and non-soaked LDPE right after the initiation of DC voltage application (soaked at 50 °C).

傾向を示すことが全ての実験について確認された。それ故、今後本論文には 80 °C のデータのみを示すこととする。

図 5 は、図 4 の測定終了後直ちに両電極を短絡した直後の空間電荷分布測定結果を示す。浸漬フィルムの両側の短絡前の陰極に接した側または陰極に面した側に負電荷、陽極側に正電荷が確認できる。なお、図 3～図 5 においては、圧電素子に近い側の電極 (図中左側の電極) を陽極としているが、この電極を陰極としても同様な、すなわち、浸漬フィルムの両表面付近に、それぞれ接している電極あるいは面している電極の極性と同一の電荷が見られた⁽¹⁸⁾。さらに、図 3～5 を通じて正電荷の方が負電荷よりトラップされる量が多いことが観察される。

上述の正負電荷が本当に試料の内部に存在しているか否かを確認するために図 5(a) の測定後、単に電極間における浸漬フィルムと未浸漬フィルムの位置を交換し、新たに電界を印加することなく、元のままの短絡状態で空間電荷分布測定を行った。その結果を図 6 に示す。図 5(a) において浸漬フィルムの短絡前の陽極側に見られる正電荷 (Charge1)

(a) 浸漬フィルムが陰極側

(b) 浸漬フィルムが陽極側

図4 クミルアルコール浸漬フィルムと未浸漬フィルムから成る二層試料中における電界印加時間に対する空間電荷分布の変化 (80℃で浸漬)

Fig. 4. Time-resolved measurement results of space charge distribution in a two-layered specimen consisting of cumylalcohol-soaked LDPE and nonsoaked LDPE right after the initiation of DC voltage application (soaked at 80 °C).

が図6においては左側電極に面したフィルム表面付近に存在している (Charge1')。同様に図5(a)において Charge2 と記した負電荷が図6においては Charge2' として観測できる。この結果は、Charge1、2等が、浸漬フィルム中に存在する真の空間電荷であるということを示している。なお、他の測定において同様に短絡後フィルムの物理的な位置のみを交換して空間電荷分布測定を行った場合にも同様の結果が得られた。また、このような検証は、例えば、図5(a)の測定終了後に浸漬フィルムのみを取り出して空間電荷を測れば可能であろう。この方法を採らなかった理由は試料の厚さを同一に保ち波形の比較を容易にしたからである。

つぎに、厚さ 200 μm の一枚の LDPE 試料を 80℃で2時間クミルアルコール中に浸漬した後、電極間にはさみ、直流 5 kV を印加して空間電荷を測定した。測定は、図3、4と同様に電圧印加開始直後より2秒間隔で行ったが、印加開始直後、30秒後、180秒後の空間電荷分布を図7(a)に、5分間印加した後短絡した直後の空間電荷分布を図7(b)に示す。両電極と接する試料表面付近に電極と同極性の、い

(a) 浸漬フィルムが陰極側

(b) 浸漬フィルムが陽極側

図5 クミルアルコール浸漬フィルムと未浸漬フィルムから成る二層試料に直流電界を150秒間印加した後の短絡直後における空間電荷分布

Fig. 5. Space charge distribution in a two-layered specimen consisting of cumylalcohol-soaked LDPE and nonsoaked LDPE at the moment of short-circuit after application of DC voltage for 150 s.

わゆるホモ電荷が明瞭に見られている。

上述の電荷の動きをより明瞭に見ることを目的として、厚さ 200 μm の一枚の LDPE フィルムの片側表面にクミルアルコールを数滴滴下後24時間放置したのち5 kVの直流電圧を印加したときの空間電荷分布の過渡的な変化を調べた。その結果を図8に示すが、塗布面よりホモ電荷が注入されている。時間の経過につれて電荷量は増えていくが、注入された電荷が試料内部へ移動していくことは生じていない。

さらに、電荷の挙動を考察することを目的として伝導電流の測定を試みた。図9は100 μm の一枚の LDPE フィルムを試料として、クミルアルコールに浸漬しなかった場合、30分間及び2時間浸漬させた場合に室温で直流2 kVを印加したときの伝導電流である。クミルアルコールに浸漬することにより伝導電流の挙動が激変し、異常な吸収電流波形を示すことが確認できる。また、繰り返し測定を行った結果、電流のピーク値にばらつきは見られるものの電流波形の再現性は確認された。

4. 考 察

我々は、前報⁽⁸⁾⁽⁹⁾において、アセトフェノンおよび α メ

図6 図5(a)測定後浸漬フィルムと未浸漬フィルムの位置を交換した状態における短絡状態での空間電荷分布

Fig. 6. Space charge distribution in the sample where the mutual positions of soaked and non-soaked sheets were exchanged after the measurement shown in Fig. 5(a) had finished.

チルスチレンがLDPEの空間電荷に及ぼす影響を調べてきた。その結果として得られた知見を簡潔に述べると次の9項になる。(1) アセトフェノンと α メチルスチレンは類似の効果を示す。(2) 未浸漬/浸漬フィルムの二層試料において電荷が明瞭に現れるのは、未浸漬フィルムと浸漬フィルムの間の界面である。(3) 前記界面電荷は常に浸漬フィルムが接している電極の極性と同極性である。すなわち、浸漬フィルムに接している電極と同極性電荷が、電極から遠い浸漬/未浸漬両フィルムの界面に常に現れるわけである。この界面電荷の極性は本実験のクミルアルコールの場合と完全に逆である。(4) 前記界面電荷の量は、正電荷の方が負電荷より多い。(5) 界面電荷は、直流電界印加時間の経過とともに未浸漬フィルムの内部へ 10^{-9} cm²/Vs オーダーの移動度で移動していく。(6) アセトフェノンや α メチルスチレンを表面に塗布した試料においては、塗布面に接している電極と同極性の電荷が注入され、電界印加時間の経過につれて急速にフィルム内部へ移動していく。(7) (5) および(6)で記述した移動速度は正電荷の方が負電荷より速い。(8) アセトフェノンや α メチルスチレン中に浸漬したLDPEフィルム一枚をPEA装置にはさんだ場合には空間電荷は殆ど検出されない。(9) (8)のフィルムを流れる直流漏れ電流は、図9の曲線(b)、(c)のような異常波形を示さず、通常の吸収電流波形を示す。その大きさは、未浸漬フィルムの5~10倍大きい。

これらの事実はアセトフェノンおよび α メチルスチレンの有する高い導電率より説明される。すなわち、浸漬フィルムにおいては、導電率が高いために空間電荷は蓄積されないが、浸漬/未浸漬フィルムの2層試料においては、浸漬フィルムの高い導電率のために両フィルム内での(誘電率/導電率)の比、すなわち、電荷移動の緩和時間の比が異なることが原因となって界面に空間電荷が蓄積すると考えられる⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

(a) DC5kV印加中

(b) 短絡後

図7 厚さ200 μ mの一枚のLDPEフィルムを80℃で2時間クミルアルコール中に浸漬した後、5 kVの直流電圧を印加したときの空間電荷分布の時間変化(a)および短絡直後の分布(b)

Fig. 7. Space charge distribution in a 200- μ m thick LDPE soaked in cumylalcohol for 2 hours. Change with time during application of DC 5 kV (a) and the distribution at the moment of short-circuit (b).

本実験で対象としたクミルアルコールは、負電荷より正電荷の方が多く観測されたという点は、上記アセトフェノン、 α メチルスチレンと同一の結果になっているものの、浸漬/未浸漬フィルム界面の電荷の極性は逆であるなど、アセトフェノン、 α メチルスチレンと対称的な結果を生じている。この原因について考える。表1に考察している3種類の架橋剤分解残渣の特性^{(13)~(16)}を示す。3者とも導電率、誘電率とも未浸漬のLDPEより相当に高い。まず、浸漬/未浸漬フィルムの界面に生じる電荷の極性に注目する。アセトフェノンと α メチルスチレンの場合に、浸漬により誘電率がわずかに上昇するが、導電率がそれ以上に上昇するため、浸漬試料の(誘電率/導電率)比が減少し界面に電荷が生じたことは前述した。同様の考察に基づけば、クミルアルコールの場合には、理由は不明であるが、誘電率の上昇割合が導電率の上昇割合より大きかったことが可能性の一つとして考えられる。まず、導電率について検討する。アセトフェノン、 α メチルスチレンでは、伝導電流は時間と共に減少するのみであったのに対し、クミルアルコールで

図8 LDPE フィルムの片側表面にクミルアルコールを塗布後 24 時間放置し 5 kV の直流電圧を印加したときの空間電荷分布

Fig. 8. Time-resolved measurement results of space charge distribution in LDPE right after application of DC 5 kV. A few drops of cumylalcohol had been dropped onto one side of the sample 24 hours before the measurement.

は、図 9 に示すように、電流は一度増加した後減少しており、その時間依存性は異なっている。しかしながら、クミルアルコールにおいても浸漬により導電率は 2 桁もの大きな上昇を示している。次に誘電率については、アセトフェノンの場合において浸漬フィルムの重量増加率が約 3 % のとき、フィルムの誘電率は 2.26 から 2.35 へ増加した⁽⁸⁾。一方、クミルアルコール浸漬フィルムの誘電率は、重量増加率が約 2 % のとき 2.25 から 2.33 へ増加した。この誘電率の変化はアセトフェノンの場合とよく似ている。また、表 1 に示すようにクミルアルコールの誘電率はアセトフェノンの誘電率より低い。これらの事実より、クミルアルコールのみ浸漬によりフィルムの誘電率が大きく上昇することは考えられない。一方、前述のようにクミルアルコール浸漬により導電率は大きく上昇している。それゆえ、クミルアルコール浸漬試料においてのみ (誘電率/導電率) 比が増大しているとは到底考えられない。すなわち、アセトフェノンと α メチルスチレンの界面電荷の原因であった (誘電率/導電率) 比のミスマッチは、クミルアルコール浸漬試料に限っては界面電荷の原因ではない。

図 9 LDPE100 μ m シートに直流電圧 2 kV 印加時の伝導電流の時間変化に与えるクミルアルコールの影響

Fig. 9. Effect of cumylalcohol on the time dependence of DC conduction current in LDPE (100 μ m, 2 kV).

前報⁽⁸⁾で述べたように、二層試料の誘電率の差により生じるマックスウェル応力が PEA 信号と誤認される可能性が原理上は存在するが、LDPE とほぼ等しい誘電率を有する α メチルスチレンにおいてアセトフェノンとほぼ同じ特性が観察され⁽⁹⁾、さらに、今回の実験においても浸漬による誘電率の上昇は小さいにも拘わらずアセトフェノンと逆極性の界面電荷が見られている事実より、マックスウェル応力を誤認している可能性は全くないと思える。結局、図 3~8 に示された空間電荷の最も合理的な解釈としては、電荷の極性等全ての事実から判断して、図 3~5 に示した矢印のように、クミルアルコールを浸漬させた LDPE フィルムは侵入してきた電荷を深くトラップすると考えられる。また、これにより、図 7、8 に示されるように、陽極から注入された正電荷は浸漬フィルムの陽極に近い面に現れ、陰極から注入された負電荷は陰極に近い浸漬フィルム内に現れると考えられる。ただし、クミルアルコールの浸透深さと電荷の注入深さとの関係については不明であり、今後の課題としたい。顕微 FT-IR 等によりクミルアルコールの分布を知ることができることが前提となるであろう。

本研究と前報⁽⁸⁾⁽⁹⁾を合わせると、アセトフェノン、 α メチルスチレンは電荷の移動を促進し、クミルアルコールは電荷をトラップすることがわかった。このことは、クミルアルコールを何らかの方法で除去できれば空間電荷はたまたらないことを意味しており、極めて興味深い。

架橋剤分解残渣の空間電荷形成への影響について、3 者の構造式を比較することにより検討する。アセトフェノンがキャリア注入を促進する原因としてベンゼン環が寄与しているとする報告⁽²⁾がある。 α メチルスチレン、クミルアルコールともにベンゼン環を有しているのでキャリアの輸送が促進されている原因としてベンゼン環の寄与の可能性は考えられる。ただし、クミルアルコールもベンゼン環を有しているため単純にベンゼン環の存在自体が原因とは考えられない。一方、アセトフェノンが有極性であるので、溶

表 1 架橋剤分解残渣の構造式と電気的特性^{(13)~(16)}

Table 1. Chemical formulae and electrical properties of byproducts of crosslinking agent.

	Acetophenone	α -methylstyrene	Cumylalcohol
Chemical formula
Molecular weight	120.15	118.18	136.19
Melting point (°C)	19.6	-23.1	23
Boiling point (°C)	202.1	161-162	215-220
ϵ (28 °C) ⁽¹⁶⁾	17.44	2.28	5.61
σ [S/m] (28 °C)	1.8×10^{-6}	1.1×10^{-12}	0.9×10^{-8}
σ [S/m] (60 °C)	2.6×10^{-6}	2.7×10^{-12}	3.1×10^{-8}
σ [S/m] (85 °C)	2.6×10^{-6}	4.7×10^{-12}	5.2×10^{-8}

媒とエネルギーにより、例えばポリエチレン中の低分子量物質の電離エネルギーが低下し、電離が促進されたと考えることもできる⁽¹⁾。類似の考え方として、高誘電率液体の浸透により電離（およびイオンの解離）エネルギーが減少したと考えることもできよう。しかし、アセトフェノンはカルボニル基を有するので有極性の程度は大きいであろうが、 α メチルスチレンにカルボニル基はない。このため有極性の程度はアセトフェノンに比べて小さいであろう。また、 α メチルスチレンはポリエチレンとほぼ同一の誘電率しか有していない。また、三者の中間の誘電率を有しているクミルアルコールが他の二者と著しく異なる実験結果を示した事実を説明することができない。したがって、これらの考えは直接的な電荷輸送機構としては支持しにくい。三者の構造式を眺めたとき全くの推測であるが、アセトフェノンと α メチルスチレンに共通に見られる二重結合が電荷の輸送に効いている可能性も考えられる。

前報⁽⁸⁾でも述べたが、アセトフェノンおよび α メチルスチレン浸漬試料においては、移動度の値から考えれば電荷はイオンであると思われる。一般に正イオンは負イオンより相当に小さいので、正電荷の方が負電荷より移動が容易であるという実験結果とも符合している。では、何のイオンかという点については、現在の処不明である。一つの実験事実として、 α メチルスチレン浸漬フィルムと未浸漬フィルムより成る2層試料において、電圧を5分間印加した後、赤外吸収を調べることににより、電圧の極性によらず未浸漬フィルムに α メチルスチレンが浸み込んでいることが確認できた。このことは、 α メチルスチレンの浸み込みが濃度差に起因する拡散であることを示すとともに、 α メチルスチレン自身が正または負電荷となっているのではないことを示している。

つぎに、クミルアルコールが電荷をトラップする原因についてであるが、3者の構造式を比較した場合、アセトフェノンと α メチルスチレンに見られず、クミルアルコールにのみ見られるヒドロキシル基について考える。直流電界の印加によりクミルアルコール中のヒドロキシル基が第2最近接位置のメチル基中の水素と結合し、水と α メチルスチレンが生成されている可能性⁽¹³⁾を考える。水ができれば、

水トリー劣化したポリエチレンフィルムと同様に導電率の増加⁽¹⁹⁾が期待される。前述したように導電率は増加はしていることより水の生成の可能性は否定できない。しかし、新たに α メチルスチレンが生成されているとしても本研究の測定結果とは合致しない。また、クミルアルコールに浸漬したLDPEに電圧を印加した後、ヒドロキシル基による赤外吸収を測定した結果、電圧印加の前後で差は見られなかった。結局、クミルアルコールの分解は無視して良いと思われる。一般に、ヒドロキシル基の酸素原子は、その大きな電気陰性度ゆえに負に帯電しているので、近くにきた正電荷を引きつける。一方、水素原子は、正に帯電しているので負電荷を引きつける。このような形で、電荷がトラップされているといった可能性が考えられる。

5. ま と め

本研究および前報⁽⁸⁾⁽⁹⁾を総合し、DCP分解残渣がLDPE中の空間電荷形成に与える影響についてまとめると、

(1) アセトフェノンおよび α メチルスチレンにおいては、浸漬試料の導電率は高くなり、電荷の輸送は促進される。したがって、電荷は浸漬試料中を輸送されたのち未浸漬試料へ注入され、そこでトラップされる。

(2) クミルアルコールにおいては、導電率は上昇しているにも拘わらずクミルアルコール自身（あるいはクミルアルコールと相互作用したLDPE）が電荷をトラップする。

前報⁽⁸⁾および本研究ではLDPEを試料として用いた。今後、XLPEで同様の実験を行う予定である。もし、XLPEで本研究と同一の結果が得られるならば、DCP分解残渣のうち、クミルアルコールのみを除去すれば空間電荷は蓄積しないことになる。この知見は直流XLPEケーブルの開発にとり極めて重要な知見となるであろう。

なお、本研究は一部早稲田大学理工学総合研究センタープロジェクト研究「21世紀の電力技術」と早稲田大学2000年度特定課題研究助成費（課題番号:2000A-877）の支援を受けた。また、日頃空間電荷分布の測定についてアドバイスを受ける武蔵工業大学田中康寛先生に感謝の意を表します。

（平成13年2月27日受付，同13年9月14日再受付）

文 献

- (1) 穂積直裕，武田敏尚，鈴木寛，岡本達希：「直流高電界下におけるポリエチレン中の空間電荷挙動」，電学論A，117，pp. 355-363，(1997)。
- (2) 光本真一，濱田有弘，長尾雅行，小崎正光：「LDPEフィルムの電気伝導と空間電荷形成に及ぼすアセトフェノンの影響」，電気学会誘電絶縁材料研究会資料，DEI-96-104，(1996)。
- (3) 土居照幸，村田光一，田中康寛，高田達雄：「アセトフェノン塗布ポリエチレン中の短時間空間電荷挙動観測」，電気学会誘電絶縁材料研究会資料，DEI-96-117，(1996)。
- (4) 小暮忠司，関井康雄，前野恭：「XLPEとEPDMの架橋分解残渣と空間電荷分布」，電気学会誘電絶縁材料研究会資料，DEI-96-109，(1996)。
- (5) 汪士楠，藤田道朝，谷本元，塩野武男，会田二三夫：「ポリエチレン中の空間電荷形成要因についての検討」，電気学会誘電絶縁材料研究会資料，DEI-96-115，(1996)。

- (6) 光本真一, 田中健矢, 福岡眞澄, 長尾雅行, 小崎正光:「LDPE フィルムの絶縁破壊と空間電荷形成に及ぼすアセトフェノンの影響」, 電学論 A, 118, pp. 654-659, (1998).
- (7) Teruyuki Doi, Yasuhiro Tanaka, and Tatsuo Takada : "Measurement of Space Charge Distribution in Acetophenone Coated Low-density Polyethylene", CEIDP, pp. 32-35, (1997).
- (8) 小林啓一, 大原尚, 大木義路, 前野恭:「アセトフェノンがポリエチレンの空間電荷形成に与える影響」, 電学論 A, 119, pp. 1465-1471, (1999).
- (9) 南亮太郎, 小林啓一, 平井直志, 大木義路, 岡下稔, 前野恭:「架橋剤分解残渣がポリエチレンの空間電荷形成に与える影響—アセトフェノンと α メチルスチレンの比較—」, 電気学会誘電絶縁材料研究会資料, DEI-00-55, (2000).
- (10) 福岡眞澄, 長尾雅行, 小崎正光, 河野唯通, 前野恭:「高温領域における PE フィルムの過渡的空間電荷分布形成に関する考察」, 電気学会第 32 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム予稿集, A-2, pp. 21-24, (2000).
- (11) L. A. Dissado, J. C. Fothergill, A. See, G. C. Stevens, L. Markey, C. Laurent, G. Teyssedre, U. H. Nilsson, G. Platbrood, and G. C. Montanari: "Characterizing HV XLPE cables by electrical, chemical and microstructural measurements on cable peeling: effects of surface roughness, thermal treatment and peeling location", CEIDP, pp. 136-140, (2000).
- (12) E. Tuncer, S. M. Gubanski, B. Nettelblad, H. Hillborg, and K. Dowling : "Dielectric behavior of filled silicone rubbers: Effects of cross-linking agent and surface modified fillers", CEIDP, pp. 175-178, (2000).
- (13) 片貝昭史, 村田義直, 山崎孝則, 高橋憲司:「CV ケーブルの破壊要因の検討」, 電気学会誘電絶縁材料研究会資料, DEI-96-105, (1996).
- (14) 廣田憲, 岡田聡郎, 丸田賢一, 関井康雄:「架橋ポリエチレンの電気トリートに及ぼす架橋剤分解残渣と酸化防止剤の効果に関する実験」, 電学論 A, 119, 848-853, (1999).
- (15) 大木道則 他:「化学大辞典」(東京化学同人), p. 41, p. 182, p. 2169, (1989).
- (16) David R. Lide etc : "CRC Handbook of Chemistry and Physics. 1998-1999", CRC Press, 6 章, pp. 153-156, (1998).
- (17) 前野恭, 福永香:「ポリプロピレンラミネート紙の過渡的な電荷蓄積」, 電学論 A, 117, pp. 722-726, (1997).
- (18) 平井直志, 南亮太郎, 大木義路, 岡下稔, 前野恭:「ポリエチレン中の空間電荷形成にクミルアルコールの与える影響」, 電気学会第 32 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム予稿集, A-3, pp. 25-28, (2000).
- (19) 豊田毅彦, 向井茂雄, 大木義路, 李英, 前野恭:「ポリエチレン中の水トリートの導電率と誘電率」, 電学論 A, 120, pp. 750-754, (2000).

大 木 義 路 (正員) 1978 年早稲田大学大学院博士課程修了。76 年 4 月同大学理工学部助手。現在同教授。82 年~84 年アメリカ MIT 客員研究員。80, 81 年度名大プラズマ研共同研究員。シリカガラスやポリエチレン等無機及び有機絶縁材料の物性を研究。89 年および 97 年電気学会論文賞及び 95 年矢崎学術賞など受賞。工学博士。IEEE フェロー。

岡 下 稔 (正員) 1988 年 3 月関西大学大学院工学研究科修士課程修了。同年 4 月昭和電線電纜(株)入社。電力ケーブルの絶縁材料、製造技術開発業務に従事。現在、技術開発センター有機材料システム開発室所属。高分子学会会員。

前 野 恭 (正員) 1989 年 3 月武蔵工業大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。現在、通信総合研究所電磁波計測部門ライダーグループ所属。工学博士。主として誘電体中の空間電荷分布、電界分布の計測およびレーザー応用研究に従事。1990 年電気学会論文賞、1996 年電気学会進歩賞、1997 年静電気学会進歩賞受賞。1999 年より武蔵工業大学工学部機械システム工学科客員助教授。

平 井 直 志 (正員) 1996 年 3 月愛媛大学大学院工学研究科博士課程修了。96, 97 年国際協力事業団短期専門家。2000 年 4 月早稲田大学理工学部電気電子情報工学科助手。高分子誘電体の電気特性の研究に従事。博士(工学)。1993 年および 2000 年電気学会優秀論文発表賞受賞。

南 亮太郎 (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。現在に至る。