

複合高分子絶縁体における電荷の蓄積および減衰特性*

村上義信** 山田達朗***

Characteristics of Accumulation and Decay of Charge in the Multi-layer Insulation of Polymer

Yoshinobu MURAKAMI and Tatsuro YAMADA

This paper deals with the space charge accumulation and decay at the interface between low-density-polyethylene (LDPE) and ethylene-vinylacetate copolymer (EVA). When DC voltage was applied to the LDPE/EVA sheet specimens, polarity of space charge at the interface agreed with it of EVA side. The space charge accumulated at the interface was injected in LDPE. As a result, the space charge quantity in LDPE was decreased. It was suggested that the space charge moved from the interface to LDPE was neutralized by hetero space charge in LDPE. It was also considered that space charge at the interface would be separated it injected from the interface and it on the interface.

キーワード：複合高分子絶縁体，界面，空間電荷

1. はじめに

高分子絶縁体に直流電圧を印加すると空間電荷が形成され、内部電界が歪曲して絶縁破壊特性に影響を及ぼすことが知られている。この現象は、ポリエチレン(PE)についてはよく研究されており、その原理の解明は進みつつある。しかし、空間電荷測定時に使用される半導電電極および半導電電極と絶縁体との界面が空間電荷形成に与える影響については不明な点が多い。半導電層は電力ケーブルにおいて導体と絶縁体との間に巻き付けられており、高電圧においてコロナ放電を防止するとともに、耐電圧を上昇させる働きをしている。このように電力ケーブルにおいて半導電層は重要な役割を果たしており、したがって、半導電電極と絶縁体との界面が絶縁体中の空間電荷形成に与える影響を考察することが重要になっている。

そこで本論文では、半導電層のベース樹脂であるエチレン酢酸ビニル共重合体(EVA)と低密度ポリエチレン(LDPE)フィルムを熱融着させた複合絶縁体を用

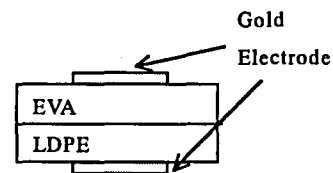


図1 試料形状

いて、パルス静電応力(PEA)法により空間電荷分布の時間変化を測定し、複合絶縁体界面、LDPE および EVA 中に形成される空間電荷の蓄積および減衰特性を考察したので報告する。

2. 試料および実験方法

試料は同一厚さ 100 μ m の LDPE フィルムと EVA(酢酸ビニル含有量：10wt%)フィルムを熱融着したものを用いた。熱融着は、温度 30 $^{\circ}$ C および圧力 50kg/cm 2 の条件で 10 分間熱プレスを行った。熱融着後、試料の両面には直径 10mm の金電極を真空蒸着により施した。試料形状を図 1 に示す。

この試料に直流一定電圧を印加し、PEA 法により試料内の空間電荷分布の時間変化を測定した。また、直流電圧印加後、両電極を接地し、短絡状態での空間電荷分布の時間変化を測定した。測定時間は電圧印加中お

* 本研究は、平成 13 年度長野高専教育特別経費の助成を受けて行われた

** 電気工学科助手

*** 電気工学科教授

原稿受付 2002 年 5 月 17 日

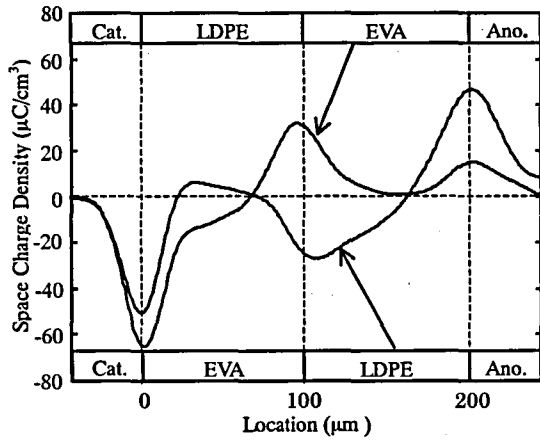


図 2 15kV 印加 10 分後の空間電荷分布 (LDPE または EVA 陰極)

よび短絡状態共に 600 秒とし、空間電荷分布は 10 秒おきに測定した。印加電圧は 15kV, 20kV および 30kV とした。なお、印加電圧の極性は上部電極に一致させた。

3. 実験結果および考察

3-1 界面に蓄積される電荷の極性

図 2 に LDPE 側を陰極あるいは EVA 側を陰極とし、直流 15kV 印加 10 分後の空間電荷分布を示す。同図より LDPE が陰極の場合、界面には正極性の空間電荷が形成されていることがわかる。また、EVA が陰極の場合、界面には負極性空間電荷が形成されていることがわかる。したがって、界面には EVA 側極性の空間電荷が形成されやすいと考えられる。

EVA 側が陰極の場合、界面における負極性空間電荷と LDPE 中の負極性空間電荷の境が明確でない。界面の空間電荷の蓄積および減衰特性を把握するため、空間電荷分布の時間変化の測定では LDPE 側を陰極とした。

3-2 空間電荷分布の時間変化

図 3 に直流 15kV 印加中の空間電荷分布の時間変化を示す。横軸に位置および縦軸に時間を表しており、図中の数字は空間電荷密度を示している。同図より界面には正極性空間電荷、EVA 中には正極性空間電荷および LDPE 中には負極性空間電荷が形成されている。EVA 単体に直流電圧を印加すると陽極から正極性電荷が注入されやすいこと²⁾や、正極性空間電荷が形成されやすいこと³⁾が報告されている。したがって、界面の正極性空間電荷は陽極から注入された正極性電荷が界面に蓄積したものと考えられる。図 2 において LDPE 側が陰極の場合、EVA 中にほとんど空間電荷の

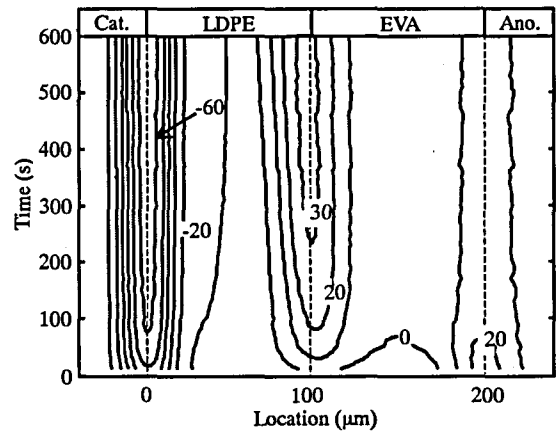


図 3 直流電圧 15kV 印加中の空間電荷の時間変化

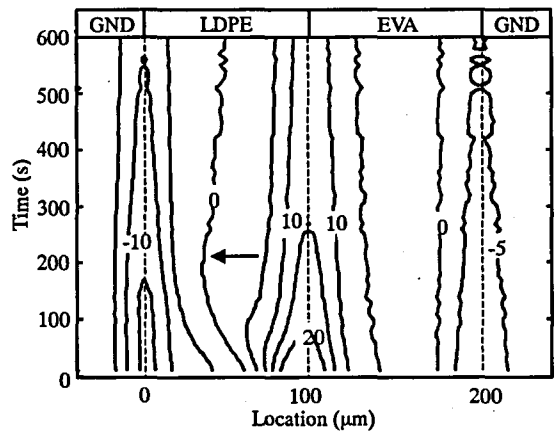


図 4 短絡状態での空間電荷分布の時間変化 (直流電圧 15kV 印加 10 分後に短絡)

形成がみられないのは、このことを指示しているものと思われる。

図 4 に直流 15kV 印加後、短絡状態での空間電荷分布の時間変化を示す。界面に蓄積していた正極性空間電荷は時間と共に減衰した。LDPE 中では短絡後、正極性空間電荷が界面から LDPE 中へ移動している。図 5 に直流 15kV 印加 10 秒後と 600 秒後の空間電荷分布を示す。600 秒後の界面ピークが 10 秒後の界面ピークより LDPE 側へ移動していることがわかる。したがって、電圧印加中に界面に蓄積された正極性空間電荷の一部は LDPE 中に移行し、短絡状態において LDPE 中に形成された負極性空間電荷と中和すると考えられる。

3-3 各電圧における界面電荷量の時間変化

図 6 に各電圧における界面電荷量の時間変化を示す。横軸において 600 秒までは電圧印加中、以後は短絡状態での界面電荷量を示す。電荷量は空間電荷分布を積分することにより求めた。同図より各電圧において電

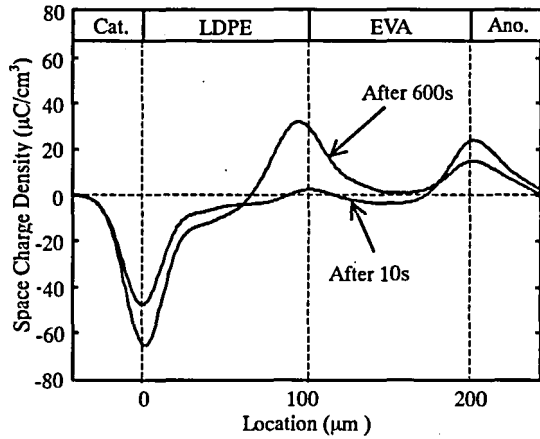


図5 15kV印加10秒後と600秒後の空間電荷分布 (LDPEまたはEVA陰極)

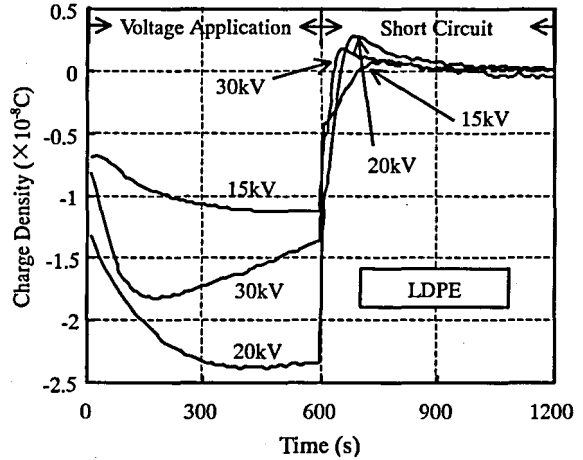


図7 各電圧におけるLDPE中の電荷量の時間変化

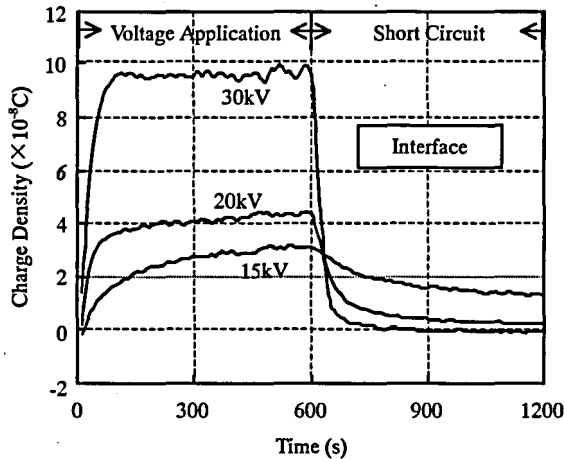


図6 各電圧における界面電荷量の時間変化

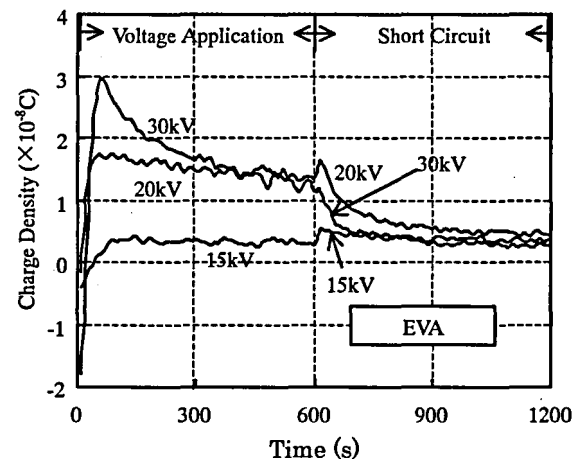


図8 各電圧におけるEVA中の電荷量の時間変化

圧印加中は界面に正極性空間電荷が形成されている。また、短絡状態においては印加電圧が高いほど減衰が大きくなっている。これは、印加電圧が高いほど界面に蓄積される電荷量が多く、短絡した場合、拡散によって減衰するためと考えられる。

3-4 各電圧におけるLDPE中の電荷量の時間変化

図7に各電圧におけるLDPE中の電荷量の時間変化を示す。各電圧において電圧印加中はLDPE中に負極性空間電荷が形成されている。また、印加電圧30kVではLDPE中の電荷量の時間変化にピークがあらわれた。これは図5のように界面に蓄積された正極性空間電荷の一部がLDPE中へ移動し、その界面近傍の正極性空間電荷とLDPE中に形成された負極性空間電荷が中和したためと考えられる。このピークが現れる時間は電圧印加150秒後であるが、これは図6の30kV印加において界面電荷量が飽和する時間にほぼ一致する。さらに、電圧30kVより20kVの方が蓄

積された電荷量は多くなっているが、20kVの電圧では界面から正極性空間電荷があまり移動せず、中和が起きないためと考えられる。

短絡後はLDPE中の電荷の極性が負から正へ変化している。これは、電圧印加中に界面からLDPE中へ移動した正極性空間電荷とLDPE中の負極性空間電荷が中和するが、界面近傍の正電荷量の方がLDPE中の負電荷量より大きいためと考えられる。

3-5 各電圧におけるEVA中の電荷量の時間変化

図8に各電圧におけるEVA中の電荷量の時間変化を示す。各電圧において電圧印加中はEVA中に正極性空間電荷が形成されている。また、LDPEと同様にEVA中の電荷量の時間変化も印加電圧30kVでピークをもっている。陽極より注入または発生した正極性空間電荷が界面に達するまではEVA中の電荷量は上昇する。電圧が30kVでは高電界のため、図5の電圧印加600秒後以上に界面に正極性空間電荷が蓄積され、

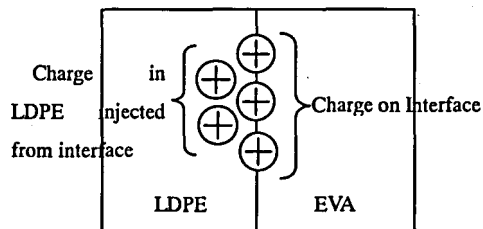


図9 界面および界面付近の電荷形成モデル

EVA 中の電荷量が減少すると考えられる。穂積らは LDPE/EVA 複合層において EVA 側から LDPE 側へパケット状の電荷が移動することを報告⁴⁾しており、本実験結果と矛盾しない。EVA 中においても短絡後に正電荷量が上昇している。これは、EVA の方が LDPE より体積抵抗率が低いため⁵⁾、界面に形成されていた正電荷が EVA 中へ移動したためと考えられる。ここでは図9に示すように、界面から LDPE 中へ移動した正極性空間電荷と界面に存在する正極性空間電荷を分けて考えている。

4. ま と め

半導電電極と絶縁体との界面が絶縁体中の空間電荷形成に与える影響を考察するため、半導電層のベース樹脂である EVA と低密度ポリエチレン LDPE フィルムを熱融着させた複合絶縁体を用いて、パルス静電応力(PEA)法により空間電荷の時間変化を測定した。主な結論は以下の通り。

(1) LDPE/EVA 界面に蓄積される空間電荷の極性は

EVA 側の極性である。

(2) LDPE/EVA 界面に蓄積される正極性空間電荷の一部は電圧印加中に LDPE 側に移動し、電圧印加中および短絡状態で LDPE 中に形成された負極性空間電荷と中和する。

(3) LDPE 界面に蓄積された正極性空間電荷は上記(2)の正極性空間電荷と区別でき、回路を短絡すると体積抵抗率の低い EVA 側に移動する。

参 考 文 献

- 1) 李 保田 高田: “XLPE 中の架橋残渣が空間電荷分布形成に及ぼす影響”, 電気学会論文誌 A, Vol.112, pp.209-214 (1992)
- 2) Y.Suzuoki H.Muto T.Mizutani M.Ieda: “The role of space charge in the electrical conduction of ethylene-vinyl acetate copolymers”, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.20, pp.1053-1058 (1987)
- 3) 伊藤 田中 高田 田中: “LDPE/EVA ラミネート界面の電荷蓄積・減衰特性”, 電気学会論文誌 A, Vol.121, pp.129-135 (2001)
- 4) 穂積 武田 鈴木 岡本: “複合絶縁界面における電荷の挙動”, 電気学会論文誌 A, Vol.120, pp.457-463 (2001)
- 5) 坂田 大石 内海 田中: “PE/EVA 界面での界面電荷形成減衰特性”, 電気学会論文誌 A, Vol.117, pp.767-772(2001)