レーザ誘起圧力パルス法による電力ケーブル 絶縁用ポリエチレンの空間電荷特性の検討

正員 吉藤 直久 (東京電力) 正員 古田 哲也 (名古屋大)
正員 鈴置 保雄 (名古屋大) 非会員 山田 裕則 (名古屋大)
非会員 韓 相 玉 (名古屋大) 正員 水谷 照吉 (名古屋大)
准員 松川 洋治 (名古屋大) 正員 家田 正之 (愛知工大)

Study of Space-Charge Characteristics in Polyethylene for Power Cable Insulation by Laser-Induced-Pressure-Pulse Technique

Naohisa Yoshifuji, Member (Tokyo Electric Power Company), Yasuo Suzuoki, Member, Sangok Han, Non-member, Youji Matsukawa, Associate, Tetsuya Furuta, Member, Hironori Yamada, Non-member, Teruyoshi Mizutani, Member (Nagoya University), Masayuki Ieda, Member (Aichi Institute of Technology)

By utilizing the laser-induced-pressure-pulse (LIPP) technique, we quantitatively studied the behavior of space charge in low-density polyethylene (LDPE) and crosslinked polyethylene (XLPE) films in contact with metal or carbon-loaded semiconducting layers so as to clarify the space-charge characteristics in power cables.

Negative hetero space charge near the anode and positive space charge in the bulk were observed in unoxidized LDPE under the fields above 120 kV/mm. The amount of negative space charge increased with applied field, while positive space charge in the bulk disappeared with increasing applied field. These indicate that electron injection and ionization are enhanced by applied field.

Prominent negative homo space charge was formed near the cathode in oxidized LDPE, indicating that oxidation enhanced electron injection. The depth of charge centroid from the cathode became larger with increasing temperature. This indicates that the effective electron mobility increases with temperature.

Negative space charge was also formed in the bulk in XLPE films with metal electrodes, indicating that crosslinking enhanced electron injection. XLPE films with a carbon-loaded semiconducting layer showed both negative and positive homo space charges near the semiconducting layers, indicating that both electrons and holes were injected from the semiconducting layer.

キーワード：空間電荷，レーザ誘起圧力パルス法，低密度ポリエチレン，架橋ポリエチレン，電力ケーブル，絶縁体

1. ま え が き

交流用電力ケーブルとしては，CV ケーブルがその優れた電気特性と設備の簡素化，作業性・保守性の改善の面から広い範囲で使用されているが，近年の電力

設備の高電圧・小形化の要望から，絶縁部の薄肉化すなわち高性能化および絶縁性能の高信頼度化が望まれている。また，直流用電力ケーブルとしては，主にOF ケーブルが使用されているが，交流用電力ケーブルの CV ケーブル化と同様，固体絶縁ケーブル化が望

まれている。

これらの要望に応えるためには、電力ケーブル用固体絶縁材料の絶縁破壊機構および劣化機構を把握することが極めて重要であり、材料の局部欠陥、高次構造、分子構造などの面から種々の検討⁽¹⁾⁽²⁾がなされてきている。

このような状況のなかで、電力ケーブルなどの固体絶縁材料のトリーイング破壊をはじめとする絶縁破壊現象や劣化現象には、空間電荷による電界の変わりが密接に関与していると指摘されている。このため、空間電荷の分布およびその時間的変化を定量的かつ非破壊的に測定することは、絶縁破壊機構および劣化機構の解明に有用な情報を与えると共に、電力ケーブルの設計においても重要な情報を与えると考えられる。

絶縁体中の空間電荷分布の測定法としては、電子ビーム法⁽³⁾、カー効果法⁽⁴⁾、熱パルス法⁽⁵⁾、圧力波法⁽⁶⁾、パルス静電応力法⁽⁷⁾などが提案されている。このうち、電子ビーム法は測定時に空間電荷分布を破壊してしまう。また、熱パルス法では空間電荷の分布を正確に求めることは困難である。更に、カー効果法の場合、不透明でカー定数が小さい一般的な固体絶縁体には適用が困難である。これらのことより、現在、有力な非破壊的かつ高精度な空間電荷分布測定法としては、圧力波法とパルス静電応力法が考えられる。更に、圧力波法のうち、圧電素子によるものは試料に強い圧力波を与えることが困難で、比較的薄い試料にしか適用できない。また、パルス静電応力法では、圧力波の検出に用いる圧電素子の周波数特性、機械的インピーダンスの整合などに注意を要すると考えられる。そこで、ここでは機械的インピーダンスの整合などにかかわらず容易に強い圧力パルスが発生でき、薄膜試料から比較的厚い試料にまで適用でき、定量的かつ非破壊的空間電荷測定法である、レーザ誘起圧力パルス (LIPP) 法⁽⁸⁾を用いて、低密度ポリエチレン (LDPE) および架橋ポリエチレン (XLPE) 中の空間電荷を測定し、電界、温度による空間電荷の挙動および酸化、架橋、半導電層の影響について検討した。

2. 実験方法

〈2・1〉 レーザ誘起圧力パルス (LIPP) 法の原理

LIPP 法の原理については、Gerhard-Multhaupt によりまとめられている⁽⁹⁾。ここでは著者らの実験条件に即して説明する。図 1 のように、シート状 (厚さ: d) の試料を考える。前面電極表面のターゲットにパルス状のレーザ光を照射すると、ターゲットの一部が蒸発する。この反作用で圧力パルスが生成し、試料内

図 1 圧力パルスが電荷の位置 x を通過する前後の試料の状態

Fig. 1. Sample conditions.

部を伝搬する。この伝搬方向 (試料の厚さ方向) に x 軸をとり、圧力パルスが入る試料表面を $x=0$ とする。また、圧力パルスの伝搬速度 (音速) を v 、圧力パルスの時間幅を τ とする。このとき、パルスの減衰と分散は無視し、すべての物理量が厚さ方向以外には変化しないものとする。試料には電圧 V が印加されており、また試料中の位置 x には面電荷 $\rho(x)\Delta x$ があるものとする。圧力パルスが位置 x を通過する直前と直後の前面電極上の誘起電荷密度を、それぞれ σ_{1-} 、 σ_{1+} とし、同様に、後面電極上の誘起電荷密度を、それぞれ σ_{2-} 、 σ_{2+} とする。また、圧力パルスが通過する直前と直後の $\rho(x)\Delta x$ と前面電極との間の電束密度を、それぞれ D_{1-} 、 D_{1+} とし、同様に、後面電極との間の電束密度を、それぞれ D_{2-} 、 D_{2+} とする。 ϵ 、 ϵ' は、それぞれ試料の誘電率、圧縮領域の誘電率を表し、 $(v\tau)'$ は圧縮領域の幅を表す。

ガウスの法則より、

$$-D_{1-} + D_{2-} = \rho(x)\Delta x \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$-D_{1+} + D_{2+} = \rho(x)\Delta x \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma_{1-} = D_{1-} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_{1+} = D_{1+} \quad \dots\dots\dots (4)$$

圧力パルスが電荷の位置 x を通過する直前では、

$$\frac{D_{1-}}{\epsilon}(x - v\tau) + \frac{D_{1-}}{\epsilon'}(v\tau)' + \frac{D_{2-}}{\epsilon}(d - x) = V \quad \dots\dots\dots (5)$$

となり、(1)、(3)、(5)式より、前面電極上の誘起

電荷密度は以下のように求まる。

$$\sigma_{1-} = \frac{V - \frac{d-x}{\epsilon} \rho(x) \Delta x}{\frac{d-v\tau}{\epsilon} + \frac{(v\tau)'}{\epsilon}} \dots\dots\dots (6)$$

同様に、圧力パルスが電荷の位置 x を通過した直後では、

$$\frac{D_{1+}}{\epsilon} x + \frac{D_{2+}}{\epsilon} (v\tau)' + \frac{D_{2+}}{\epsilon} (d-x-v\tau) = V \dots\dots\dots (7)$$

$$\therefore \sigma_{1+} = \frac{V - \left\{ \frac{d-x-v\tau}{\epsilon} + \frac{(v\tau)'}{\epsilon} \right\} \rho(x) \Delta x}{\frac{d-v\tau}{\epsilon} + \frac{(v\tau)'}{\epsilon}} \dots\dots\dots (8)$$

従って、圧力パルスが電荷の位置 x を通過する前後の前面電極上の誘起電荷密度の変化 $\Delta\sigma_1$ は、

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_{1+} - \sigma_{1-} = \frac{\frac{v\tau}{\epsilon} - \frac{(v\tau)'}{\epsilon}}{\frac{d}{\epsilon} - \left\{ \frac{v\tau}{\epsilon} - \frac{(v\tau)'}{\epsilon} \right\}} \rho(x) \Delta x \dots\dots\dots (9)$$

$$\therefore \Delta\sigma_1 \propto \rho(x) \Delta x \dots\dots\dots (10)$$

従って、外部回路に流れる電流 $J(t)$ は、

$$J(t) = \frac{A d \sigma_1}{dt} \propto \rho(x=v\tau) \dots\dots\dots (11)$$

ここで、 A : 電極面積

となり、電流波形 $J(t)$ は、空間電荷分布 $\rho(x)$ を表す。

圧力パルスが各電極を通過する際にも上記と同様な議論が成り立つ。すなわち、例えば圧力パルスが前面電極を通過し、試料内に侵入する直前および直後の前面電極上の誘起電荷密度 σ'_{1-} , σ'_{1+} は以下のように与えられる。

$$\sigma'_{1-} = \epsilon \frac{V}{d} - \int_0^d \frac{d-x}{d} \rho(x) dx \dots\dots\dots (12)$$

$$\sigma'_{1+} = \frac{V - \int_0^d \frac{d-x}{\epsilon} \rho(x) dx}{\frac{(v\tau)'}{\epsilon} + \frac{d-v\tau}{\epsilon}} \dots\dots\dots (13)$$

これより、前面電極上の誘起電荷密度の変化 $\Delta\sigma'_1$ は、

$$\Delta\sigma'_1 = \frac{\frac{v\tau}{\epsilon} - \frac{(v\tau)'}{\epsilon}}{\frac{d}{\epsilon} - \left\{ \frac{v\tau}{\epsilon} - \frac{(v\tau)'}{\epsilon} \right\}} \sigma'_{1-} \dots\dots\dots (14)$$

となり、(9)式と全く同じ関係となる。同様の関係が、圧力パルスが後面電極から試料外に出る場合にも得られ、圧力パルスが電極を通過する際の出力電流

図 2 測定装置の構成

Fig. 2. Schematic diagram of the experimental arrangement.

は、電極上の電荷を表すことがわかる。このように、本実験で得られる出力電流は、試料内部の空間電荷と電極上の電荷をともに表すことが示される。

〈2・2〉 装置構成 本研究で使用した測定装置の構成を図 2 に示す。試料表面のターゲットにパルス状のレーザー光 (パルス幅: 100 ps, 出力: 150 mJ) を照射し、外部回路に流れる信号電流を高速アンプで増幅し、高帯域オシロスコープの画面上に出力する。その後、CCD カメラでサンプリングして、コンピュータに入力し処理を行う。

使用したレーザーは、Quantel International 製 Nd:YAG レーザ YG 571 C (波長: 1.06 μm) であり、パルス幅: 100 ps, 出力: 150 mJ とパルス幅: 12 ns, 出力: 1.1 J の 2 種の系統を有している。このうち、前者は主に薄い試料の測定に用い、後者は実ケーブルなどの厚物試料の測定に使用する。また、使用した高帯域オシロスコープは、Tektronix 製 7104 (帯域幅: 1 GHz) である。

〈2・3〉 供試試料 本研究に供試した試料は、無添加の低密度ポリエチレン (LDPE) フィルム (厚さ: 100 μm) と、それをオゾン酸化したもの (カルボニル基による 1,720 cm^{-1} 付近の赤外吸収係数 $\alpha = 5.06 \text{ cm}^{-1}$ および 27.0 cm^{-1})、および架橋ポリエチレン (XLPE) フィルム (厚さ: 150 μm) である。電極は、特に断りのない限り、試料の両面に金を真空蒸着したものであり、その後、片面にのみターゲットとしてアルミニウムを厚く真空蒸着した。ただし、一部の XLPE 試料については、片面の電極として半導電層を用いた。なお、レーザーによる照射面積は約 0.8 cm^2 である。

3. 結果と検討

〈3・1〉 空間電荷挙動の電界依存性 未酸化 LDPE フィルム (厚さ: 100 μm) に、80 kV/mm, 120 kV/mm, および 160 kV/mm の直流電界を印加

図 3 未酸化 LDPE (厚さ: 100 μm) 中の空間電荷分布 (60°C, 80 kV/mm)
Fig. 3. LIPP responses from unoxidized LDPE film (100 μm , 60°C, 80 kV/mm).

した際の測定結果を、図 3～図 5 に、それぞれ示す。ただし、測定温度は 60°C であり、レーザ光は陰極側から照射した。ここで、1 目盛あたりの電荷量は、出力波形を 2 回積分し、印加電圧と比較することにより求めた。なお、短絡直後の波形の 1 目盛あたりの電荷量は、短絡直前の波形をもとに推定したものであり、これ以降の図においても同様である。

図 3 において、電圧印加直後と 71 分後では、ほとんど波形に変化はない。また、短絡直後の波形では、空間電荷の存在は特に認められない。これらのことから、80 kV/mm の印加電界では、顕著な空間電荷は形成されないと考えられる。しかし、電圧印加直後と 71 分後では、陰極付近の波形に膨らみがあることから、電圧印加直後に陰極から非常に速くわずかな電子注入があり、すぐに定常状態に達し、短絡直後に陰極から非常に速く電子が抜けている可能性も考えられる。

図 4 より、電圧を印加して 80 分後には、バルク中にはほぼ一樣な正の空間電荷が観測され、また陽極付近には負のヘテロ空間電荷の存在が示唆される。これらの起源としては、バルク中でのイオンの解離の可能性も考えられる。

図 5 では、電圧を印加して 80 分後には、陽極付近に図 4 の場合より大きな負のヘテロ空間電荷が蓄積されている。これも、バルク中で解離したイオン性の空

図 4 未酸化 LDPE (厚さ: 100 μm) 中の空間電荷分布 (60°C, 120 kV/mm)
Fig. 4. LIPP responses from unoxidized LDPE film (100 μm , 60°C, 120 kV/mm).

図 5 未酸化 LDPE (厚さ: 100 μm) 中の空間電荷分布 (60°C, 160 kV/mm)
Fig. 5. LIPP responses from unoxidized LDPE film (100 μm , 60°C, 160 kV/mm).

間電荷である可能性があるが、この場合には、バルク中に正の空間電荷が観測されていない。この原因としては、陰極からの電子注入により相殺されていることも考えられる。また、陽極付近に負のヘテロ空間電荷が蓄積されるということは、陽極での電荷交換が自由

でないことを示唆している。

これらの結果より、電界が高くなると電子注入、イオン解離などが顕著になることが示唆された。このことより、電力ケーブルの高電界絶縁破壊には、空間電荷が影響していることが考えられる。また、電力ケーブルを高電界下で使用する場合には、空間電荷の影響を検討する必要があることが示唆された。

〈3・2〉 空間電荷挙動の温度依存性 酸化LDPE フィルム（厚さ：100 μm ， $\alpha=27.0\text{ cm}^{-1}$ ）に、室温 60°C，80°C の各温度で、80 kV/mm の直流電界を 80 分間印加し、その後、短絡して測定した。ただし、レーザー光は陰極側から照射した。後に次節で述べるように、LDPE を酸化することで電子注入が増加すると考えられる。ここでは、この結果により生ずると考えられる陰極付近の負のホモ空間電荷に着目する。図 6 に得られた波形を、図 7 に空間電荷の重心位置を、それぞれ示す。

図 6，図 7 より、温度が高いほうが陰極付近の負のホモ空間電荷がバルク内部にまで拡大する傾向にある。これは、温度が高いほうがキャリアの実効的な移動度が大きいためと考えられる。

この傾向が、未酸化試料，XLPE にもあるとすると、電力ケーブルで考えた場合、負荷電流の増加など

図 6 酸化LDPE(厚さ：100 μm ， $\alpha=27.0\text{ cm}^{-1}$) 中の空間電荷分布の温度依存性 (80 kV/mm，80 分間印加後短絡)

Fig. 6. Temperature dependence of LIPP responses from oxidized LDPE film (100 μm ， $\alpha=27.0\text{ cm}^{-1}$) short-circuited after applying 80 kV/mm for 80 minutes.

でケーブル温度が上昇した際に、空間電荷の注入、移動などが容易になると考えられる。また、厚肉ケーブルの場合、絶縁体の内部半導電層側と外部半導電層側に温度差が生じると考えられ、この場合には、空間電荷挙動はより複雑になる可能性がある。更に、CV ケーブルの絶縁破壊値の温度依存性には、空間電荷挙動の温度依存性が関与している可能性もある。このことは、破壊値の高温での低下が、交流、インパルスより直流のほうが大きい⁽¹⁰⁾ということとも矛盾していない。

〈3・3〉 空間電荷挙動に対する酸化の影響 酸化LDPE フィルム（厚さ：100 μm ， $\alpha=5.06\text{ cm}^{-1}$ ）に、80 kV/mm の直流電界を印加し、80 分後に測定（電圧印加中）した結果を図 8 に示す。ただし、測定温度は 60°C であり、レーザー光は陰極側から照射した。

図 3 (b)，図 8 より、酸化により陰極付近に顕著な負のホモ空間電荷が形成されていることがわかり、酸

図 7 酸化LDPE (厚さ：100 μm ， $\alpha=27.0\text{ cm}^{-1}$) 中の陰極付近の負のホモ空間電荷の重心位置の温度依存性 (80 kV/mm，80 分間印加後短絡)

Fig. 7. Temperature dependence of depth of negative-space-charge centroid in oxidized LDPE film (100 μm ， $\alpha=27.0\text{ cm}^{-1}$) short-circuited after applying 80 kV/mm for 80 minutes.

図 8 酸化LDPE (厚さ：100 μm ， $\alpha=5.06\text{ cm}^{-1}$) 中の空間電荷分布 (60°C，80 kV/mm，80 分間印加中)

Fig. 8. LIPP response from oxidized LDPE film (100 μm ， $\alpha=5.06\text{ cm}^{-1}$ ，60°C，80 kV/mm，80 minutes after voltage application).

化により電子注入が促進されると考えられる。従って、電力ケーブルの絶縁体が酸化すると電子注入が顕著になり、電気性能に影響を及ぼすことが考えられる。図6～図8に示す結果では、空間電荷により、10 kV/mm 前後の電界が陰極面に形成されていることになる。このように、印加電界の数％の空間電荷電界が容易に生み出される。また、この結果は化学構造のわずかな変化が電子注入に大きな影響を与えることを示唆しており、今後、酸化防止剤など、電力ケーブルの絶縁体に用いられる添加剤が空間電荷挙動に及ぼす影響についても検討する必要がある。

〈3・4〉 空間電荷挙動に対する架橋の影響

XLPE フィルム（厚さ：150 μm ）に 120 kV/mm の直流電界を印加した際の測定結果を図9に示す。ただし、測定温度は 60°C であり、レーザ光は陰極側から照射した。

図9より、電圧印加初期には陽極付近にのみ負の空間電荷が形成されるが、時間と共に陰極近傍からバルク内にほぼ一様に負の空間電荷が蓄積するようになる。また、短絡直後の波形でもバルク中に負の空間電

図9 XLPE(厚さ：150 μm)中の空間電荷分布 (60°C, 120 kV/mm)

Fig.9. LIPP responses from XLPE film (150 μm , 60°C, 120 kV/mm).

荷が観察されている。この起源としては陰極からの電子注入が考えられ、図4と図9を比較することにより、架橋により電子注入が顕著になると考えられる。

現在日本では、電力用ポリエチレンケーブルの多くは耐熱性の面から架橋して使用されているが、本検討で架橋により電子注入が顕著になることが示唆された。しかしながら、これが架橋点の存在によるものか、架橋剤残渣の存在によるものかは明らかでなく、今後、これらの点について区別して検討する必要がある。

〈3・5〉 空間電荷挙動に対する半導電層の影響

片側に半導電層電極を有する XLPE フィルム（厚さ：150 μm ）について、陰極側を半導電層にした場合および陽極側を半導電層にした場合の空間電荷分布を測定した結果を、図10、図11にそれぞれ示す。ただし、印加電界は 120 kV/mm、測定温度は 60°C、半導電層電極の厚さは 150 μm であり、レーザ光は金電極側から照射した。

図10のように電圧印加直後から、陰極からバルク内深くまで負のホモ空間電荷が形成されている。また、短絡直後の波形でも、バルク中に負の空間電荷が観測されている。この起源としては陰極からの電子注入が考えられ、図9と図10を比較することにより、半導電層からは電子が容易に注入されることが考えら

図10 XLPE(厚さ：150 μm)中の空間電荷分布 (陰極側半導電層電極, 60°C, 120 kV/mm)

Fig.10. LIPP responses from XLPE film (150 μm , 60°C, 120 kV/mm) with a semiconducting layer as the cathode.

図 11 XLPE(厚さ: 150 μm) 中の空間電荷分布
(陽極側半導電層電極, 60°C, 120 kV/mm)
Fig. 11. LIPP responses from XLPE film
(150 μm , 60°C, 120 kV/mm) with a
semiconducting layer as the anode.

れる。

図 11 では、図 9 の場合と同様に陰極付近に電子注入に起因する負のホモ空間電荷が形成されている。一方、図 9 で観測される電圧印加直後の陽極付近の負のヘテロ空間電荷は図 11 では観測されず、半導電層陽極付近には正のホモ空間電荷が観測されている。また、短絡直後にはバルク中に正負のホモ空間電荷が観測されている。これらのことより、半導電層陽極からは正孔が顕著に注入されていると考えられる。

これらの結果より、電力ケーブルの絶縁体には、内部および外部半導電層から空間電荷が注入され、電気性能に影響を及ぼしていると考えられる。

4. む す び

レーザ誘起圧力パルス法の測定装置を作製し、電力ケーブルの絶縁体として広く用いられている低密度ポリエチレンおよび架橋ポリエチレンに適用し、空間電荷特性を検討した。その結果を要約して以下に示す。

(1) 未酸化 LDPE で検討した結果、印加電界が高くなると陰極からの電子注入およびバルク中のイオン解離などが顕著になると考えられる。

(2) LDPE の場合、酸化により陰極からの電子注入が顕著になる。

(3) 架橋により金属電極からの電子注入が顕著に

なる。

(4) 半導電層からは XLPE 中に容易に電子、正孔が注入される。

近年、ようやく絶縁体中の空間電荷分布およびその時間的変化を定量的かつ非破壊的に測定する技術が確立されつつある状況になってきたため、空間電荷が絶縁破壊現象および劣化現象に及ぼす影響について定量的に議論できるようになってきた。今後は、ケーブル試料中の空間電荷挙動および交流課電下の空間電荷挙動について種々の条件で検討していく。

最後に、供試試料を御提供いただいた三菱油化(株)、古河電気工業(株)に感謝の意を表します。

(平成 3 年 3 月 20 日受付, 同 3 年 7 月 2 日再受付)

文 献

- (1) 例えば、田中・弘津・鈴木・横山・吉藤:「前駆遮断方式による CV ケーブル絶縁破壊要因の究明」, 平 2 電気学会全大, No. 1378
- (2) 例えば、神永・平戸・松原・玖野・福永・水浪・内藤・細田:「ポリエチレンの結晶構造と電気特性」, 第 17 回電気絶縁材料シンポジウム予稿集, VIII-2(昭 59)
- (3) D. W. Tong: "Electron Beam Probing of Space Charge in PET Films", *IEEE Trans. Elect. Insulation*, EI-17, 377 (1982)
- (4) E. C. Cassidy, R. E. Hebner, M. Zahn & R. J. Sojka: "Kerr-Effect Studies of an Insulating Liquid under Varied High-Voltage Conditions", *ibid.*, EI-9, 43(1974)
- (5) Y. Suzuoki, H. Muto, T. Mizutani & M. Ieda: "Investigation of Space Charge in High-Density Polyethylene Using Thermal-Pulse Response", *Japan J. Appl. Phys.*, 24, 604 (1985)
- (6) P. Laurenceau, G. Dreyfus & J. Lewiner: "New Principle for the Determination of Potential Distributions in Dielectrics", *Phys. Rev. Lett.*, 38, 46(1977)
- (7) 櫛部・前野・高田:「パルス静電応力を用いた誘電体中の蓄積電荷測定」, 電学論 A, 106, 118(昭 61-3)
- (8) T. Mizutani, Y. Suzuoki, T. Furuta, M. Ieda & T. Suzuki: "Direct Observation of Space Charge Distribution in Polyethylene", *Ann. Rept. Conf. on Electr. Insul. & Dielectr. Phenom.*, p. 309(1989)
- (9) R. Gerhard-Multhaupt: "Analysis of Pressure-wave Methods for the Nondestructive Determination of Spatial Charge or Field Distributions in Dielectrics", *Phys. Rev. B*, 27, 2494(1983)
- (10) 速水: CV ケーブル (昭 61) コロナ社

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。

鈴 置 保 雄 (正員)

昭和25年5月26日生。53年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程(後期課程)修了。53年4月同大学工学部電気学科助手, 62年12月同講師, 平成元年3月同助教授, 現在に至る。工学博士。この間, 54年10月~56年9月アメリカ・ノースウェスタン大学研究員。主として, 誘電・絶縁材料, 半導体材料, 薄膜エレクトロニクスに関する研究に従事。応用物理学会会員。

学, 電気工学第2および電子工学専攻修了。同年4月(株)大隈鐵工所入社, 現在に至る。

山 田 裕 則 (非会員)

昭和43年1月31日生。平成2年3月名古屋大学工学部電気学科卒業。同年4月名古屋大学大学院博士課程(前期課程)進学, 現在に至る。電子顕微鏡の試料汚損に関する研究に従事。

韓 相 玉 (非会員)

昭和21年5月12日生。61年8月仁荷大学大学院博士課程電気工学専攻修了。49年12月国立京畿工業専門大学専任講師。53年10月国立忠南大学校工科大学専任講師, 56年1月同助教授, 61年4月同副教授, 現在に至る。工学博士。この間, 平成元年12月~2年12月名古屋大学工学部水谷研究室客員研究員。主として, 誘電・絶縁材料に関する研究に従事。韓国電気学会, 電気・電子材料学会, 高分子学会会員。

水 谷 照 吉 (正員)

昭和16年5月9日生。44年3月名古屋大学大学院博士課程電子工学専攻修了。44年4月同大学電気工学科助手, 51年4月同講師, 53年2月同助教授, 62年7月同教授, 現在に至る。工学博士。48年6月~49年12月カナダ・ラバル大学客員研究員。主として, 誘電・絶縁材料, 半導体材料, 薄膜デバイス, 有機エレクトロニクスに関する研究に従事。IEEE, 応用物理学会, 高分子学会会員。

松 川 洋 治 (准員)

昭和42年2月5日生。平成2年3月東京理科大学理工学部電気工学科卒業。同年4月名古屋大学大学院博士課程(前期課程)入学, 現在に至る。高分子絶縁材料中の空間電荷に関する研究に従事。

家 田 正 之 (正員)

大正14年10月8日生。昭和24年3月名古屋大学工学部電気学科卒業。35年同大学助教授, 41年同教授, 61年同工学部長, 平成元年3月同名誉教授。同年4月愛知工業大学教授, 現在に至る。工学博士。放電物理(主として, 高電界の電気伝導と絶縁破壊)および誘電体工学, 高電圧工学を総括した電気絶縁工学に関する研究と教育に従事。60年5月電気学会副会長などを歴任。現在, 電気学会会長, 第15期日本学術会議会員, CIGRE (SC. 15) 日本代表委員。45年, 48年, 52年, 58年電気学会論文賞, 55年同電力賞受賞。電子情報通信学会, 日本物理学会, 応用物理学会, 高分子学会, IEEE, CIGRE 会員。

古 田 哲 也 (正員)

昭和40年9月27日生。63年3月名古屋大学工学部電気学科卒業。平成2年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程(前期課程)電気工