水トリー劣化ポリエチレンの開いたチャンネル領域の導電率の周波数依存性

正員 中村 修平 学生員 伊東 則幸 (三重大学工学部)

正員 川井 二郎 正員 品川 潤一 正員 海老沼 康光 (昭和電線電纜(株))

Frequency Dependence of Conductivity of the Open Channel Region in Water Treed XLPE

Shuhei Nakamura (Member), Noriyuki Ito (Student-Member) (Mie University)

Jiro Kawai (Member), Junichi Shinagawa (Member) and

Yasumitsu Ebinuma (Member) (Showa Electric Wire and Cable Co., Ltd.)

Loss current through a non-penetrated water treed polyethylene sheet has been studied by changing the applied voltage frequency from 50 Hz to 1000 Hz of 1000 V. The change of the fundamental and 3rd harmonic components of the loss current for frequency is discussed by taking the capacitance of the water treed sheet sample to be Maxwell-Wagner two-layer capacitor: the capacitance both for the non-treed region and the closed channel region is connected in series to the parallel combination of the capacitance and the conductance for the open channel region. By assuming a non-ohmic dependence of the conductance for the open channel region, the fundamental and 3rd harmonic components of the loss current have been numerically calculated based on the equivalent circuit. It has been concluded that the conductance of the opened channel region in the water treed region is directly proportional to frequency and the conductivity at 1kHz is in the order of 10^{-7} S/m.

キーワード: 水トリー、損失電流、非線形電気伝導、架橋ポリエチレン、周波数依存性

Keywords: water tree, XLPE, Maxwell-Wagner type capacitor, harmonics loss current

1. まえがき

水トリー劣化した電力ケーブルやシート試料において、印加電圧と同相成分であるいわゆる損失電流に高調波成分が含まれていることはよく知られており、この高調波成分の中で最も大きな電流を示すのが第3高調波成分である。第3高調波が交流絶縁破壊電圧や水トリー長とよい相関を示すことから、高調波電流を含む損失電流の検出は電力ケーブルの有効な劣化診断法として期待されている^{(1)~(5)}。

筆者らは未橋絡水トリー劣化シート試料を対象として、損失電流に課電電圧と同じ基本波成分に加えて高調波成分が含まれる機構として、水トリー劣化部のコンダクタンスに非オーミックな電界依存性を導入した^{(6),(7)}。水トリー劣化シート試料を健全部と水トリー劣化部の各キャパシタから成るマクスウエルワグナー型2層誘電体とみなしたモデルを提案した。水トリー劣化部の長さパルス静電応力法で評価された値を採用すると、この単純なモデルでは数値計算から得られた損失電流の大きさを観測された損失電流と定量的に一致させることが困難であった。これより、水トリー劣化部を電流の流れにくいチャンネルの閉じた領域と電流が流れやすいチャンネルの開いた領域に分割し、このチャンネルが開いた領域のコンダクタンスは非オーミッ

クな電界依存性を有するとし、修正したマクスウエルワグナー型2層誘電体モデルを提案した⁽⁸⁾。このマクスウエルワグナー型2層誘電体モデルを用いた数値計算結果を、観測される損失電流に含まれる基本波及び第3高調波成分の瞬時値と位相角に一致させることにより、課電電圧や課電時間により開いたチャンネルが伸展することが示唆された^{(8),(9)}。例えば、未劣化試料の充電電流は一定課電電圧の印加に対して変化しないのに対して、水トリー劣化試料の充電電流及び損失電流は課電時間とともに大きくなる。これはコンダクタンスの大きい開いたチャンネル領域が課電時間とともに伸展する考え方から説明ができた⁽⁹⁾。この開いたチャンネル領域は課電電圧の昇圧及び降圧に対して、それぞれ伸展及び収縮することが示唆された⁽⁸⁾。

このようにモデルから示唆されるボイドを連結するチャンネルの存在は、既に観測されている^{(10),(11)}。ボイドを連結するチャンネルは網目状になることが考えられ、このような網目状導電通路の導電率の周波数依存性⁽¹²⁾は、ホッピング伝導と同じ周波数依存性を示す可能性が考えられる。一方、水トリー劣化ケーブルの観測された誘電正接は周波数にほとんど依存しないにも関わらず、モデルから得られた誘電正接は周波数に比例した結果が報告されている⁽¹³⁾。また、充電電流および損失電流は課電電圧および

課電電圧の周波数を含んだ式で表される^{(8),(9)}ことから、未貫通水トリー劣化試料の損失電流の周波数依存性から、劣化領域の導電率の周波数依存性を検討することは興味があると考えている。

本論文は課電電圧の周波数を変えることにより、観測される損失電流の基本波と第3高調波成分の瞬時値と位相角を、モデルを用いて得られた結果と比較検討した結果、開いたチャンネル領域の低電界における導電率は周波数にほぼ比例し、その大きさは1 kHzにおいて 10^{-7} S/mのオーダーであることが示唆された^{(10),(11)}。

2. 試料及び実験方法

本論文に用いた試料及び実験方法は前報^{(6),(7)}と一部重複するが、以下のモデルの説明、実験結果及び検討に必要と考えられるので簡単に記述する。シート状試料はプレス成型により加工した厚さ $d = 1$ mmの架橋ポリエチレン(XLPE)である。水電極を用いて水トリーを発生させた。パルス静電応力法(PEA法)により、0.62 mmまで水トリーが伸展していると評価された。試料の下部には導電性塗料を塗布し、高圧側上部電極には直径30 mmの金属電極を用いた。課電電圧を1000 V(実効値)とし、

図1 電流の測定回路
Fig. 1 Measurement circuit.

図2 損失電流の定義
Fig. 2 Definition of loss current $i_{loss}(t)$

課電電圧の周波数を50 Hzから1500 Hzまで変え、損失電流を測定した。

図1は測定回路を示す。水トリーが発生した面を高圧側

図3 未貫通水トリー劣化ポリエチレンシート試料のモデル図と等価回路

(a) 3つの領域に分割した未貫通水トリー劣化試料
(b) 2層モデル

(c) (b)の等価回路

Fig. 3 Model of non-penetrated water treeed XLPE and its equivalent circuit.

(a) Model of non-penetrated water treeed sample which is divided into three regions.

(b) Maxwell-Wagner two-layer model.

(c) Equivalent circuit of (b).

電極に接するように配置した。水トリ－劣化試料と未劣化試料に流れる充電電流を差動増幅器（5305型：NF回路設計ブロック社）に入れ、オシロスコープ（9360型、バンド幅300MHz：LeCroy社）上で、この差動入力電流波形が課電電圧と同相になるように、つまり容量性電流成分を差し引くために図1に示す検出抵抗の比 R_2/R_1 を変えた。本論文では、この課電電圧と同相の電流を損失電流と呼んでいる。図2に示すように、課電電圧を基準ベクトル V 、未劣化試料に流れる電流ベクトルを I_N 及び水トリ－劣化試料に流れる電流を I_D とすると、差のベクトル $I_D - I_N$ の位相角が V のそれに等しいときに、損失電流 $i_{loss}(t)$ と呼んでいることになる。この損失電流のフーリエ変換により、基本波及び高調波成分の大きさと位相角を求めた。

3. 水トリ－劣化試料のモデルと用いた仮定

未貫通水トリ－劣化シート試料のモデルを図3に示す^{(8), (9)}。図3(a)の上段の図は水トリ－劣化領域をチャンネルが閉じた領域と開いた領域に分割したモデルである。開いたチャンネル領域は水が満たされたボイドとチャンネルが存在する⁽¹³⁾。従って、未貫通水トリ－劣化試料は図3(a)の下段の図のように表すことができる^{(8), (9)}。

本論文では図3のモデルについて以下の仮定を行う。

(1) 未劣化領域及び閉じたチャンネル領域のコンダクタンスは無視する。(2) 閉じたチャンネル領域及び開いたチャンネル領域の誘電率はXLPEと同じとする。(3) 開いたチャンネル領域のコンダクタンスは非オーミックな電界依存性を有する。仮定(2)に関する問題点は以下の通りである。一般に水トリ－劣化領域には水に満たされたボイドが存在することが指摘されている⁽¹³⁾。従って、劣化領域を誘電率の大きな粒子が分散した状態として模擬すると、劣化領域の誘電率が大きくなることが期待される。劣化領域における誘電率の違いの導入の仕方には次の2つが考えられる。図3(a)の下段に示す図において、過程(A)として、長さ d_3 であるチャンネルが開いた領域の誘電率が未劣化及び長さ $d_2 - d_3$ である領域に比べて大きい場合は、チャンネルが開くことにより長さ $d_2 - d_3$ の領域に水が浸透する過程が考えられる。一方、過程(B)として、長さ d_2 の誘電率が未劣化領域に比べて大きいとすると、課電の効果により長さ d_3 の開いたチャンネル領域が d_2 まで単に伸展する過程が考えられる。過程(A)または過程(B)のいずれにせよ開いたチャンネル領域の導電率は、ボイドの密度に依存すると考えられる。現段階では、長さ d_2 または長さ d_3 の劣化領域の誘電率が不明であることから、仮定(2)を行った。仮定(2)は上記の過程(A)及び過程(B)のいずれの過程も含むことになる。現段階では、仮定(2)に基づいて、XLPEの比誘電率 $\epsilon_r' = 2.3$ を用いる。この開いたチャンネル領域の ϵ_r' がモデルを用いて得られたパラメータから評価された開いたチャンネル領域の長さや導電率に与える影響については

<4・2>節で改めて検討する。仮定(1)については、閉じたチャンネル内部に水は存在しないと考えられるからである。このような仮定により図3(b)に示すように、未貫通水トリ－劣化シート試料は健全な領域とチャンネルが開いた領域から構成されるキャパシタ C_1 と開いたチャンネル領域のキャパシタ C_2 から成るキャパシタ C である2層誘電体モデルで簡単に表すことができる。 C_1 、 C_2 及び d によって規格化されたそれぞれの長さを図3(b)中に示す。この2層誘電体の等価回路を図3(c)に示す。 C_1 及び C_2 に蓄えられる電荷を $q_1(t)$ 及び $q_2(t)$ とする。また開いたチャンネル領域のコンダクタンスを G_2 とする。

仮定(3)については、撤去ケーブルに存在する一つの貫通水トリ－の電流 I の電圧 V に対する依存性⁽¹⁴⁾が、

$$I \propto \sinh(hV) \quad \dots\dots(1)$$

で近似できたことから⁽⁶⁾、いくつかの開いたチャンネルにより構成される開いたチャンネル領域のコンダクタンスの電界依存性もこの $\sinh$ 関数を用いて表現されると仮定している^{(6)~(9)}。ここで、 h は電流の電圧または電界依存性を特徴づけるパラメータである。一定の厚さの試料を貫通する水トリ－の電圧－電流依存性が式(1)で表されることは、より一般的に電界 E を用いて、 $I \propto \sinh(hE)$ と表現される。また $\sinh(hE)$ を hE に関して展開したときの形を考慮すると、図3(c)に示す等価回路のコンダクタンス G_2 に流れる電流密度 j_{G_2} は E に対して

$$j_{G_2} = \left(\frac{\sigma_0}{h} \right) \cdot \sinh(hE) \quad \dots\dots(2)$$

と表される。ここで、 σ_0 は低電界における伝導率である。等価回路に流れる電流 $i(t)$ は

$$i(t) = \frac{dq_2(t)}{dt} + \frac{rC_2d}{h} \cdot f_0 \cdot \sinh\left(h \cdot \frac{q_2(t)}{rC_2d}\right) \quad \dots\dots(3)$$

となる。式(3)に現れるパラメータ f_0 は

$$f_0 = \frac{\sigma_0}{(\epsilon_0 \cdot \epsilon_r')} \quad \dots\dots(4)$$

である。ここで、 ϵ_0 は真空の誘電率、 ϵ_r' はXLPEの値2.3を採用した。このように、水トリ－劣化試料に流れる充電電流から容量性電流成分を差し引き、課電電圧と同相である電流成分を損失電流として求めた。計算手順は前報^{(8), (9)}に詳細に記述されているので省略する。実際の計算では、 f_0 及び h の基準値として、 4916 sec^{-1} 及び $2 \times 10^{-6} \text{ m/V}$ を採用し、それに乗ずる係数を変えた。

4. 実験結果及び検討

<4・1> 実験結果と計算結果の検討 周波数 f に対する充電電流及び損失電流の瞬時値の変化を図4に示す。図中●印にて示す未劣化試料の充電電流の瞬時値は f に正比例して増加し、 f の上昇と下降に対してほぼ同じ値を示す。○印及び□印にて示す水トリ－劣化試料の充電電流及び損失電流のそれぞれの瞬時値は、 f の下降において、その上昇に比べて大きい瞬時値を示す。水トリ－劣化試料の損失

電流の基本波及び第3高調波成分の瞬時値 I_1 及び I_3 とそれらの位相角 θ_1 及び θ_3 の f に対する変化を図5及び図6に白抜き記号にてそれぞれ示す。図中の黒抜き記号は、数値計算の結果であり、観測結果に一致するよう

図4 未劣化試料の充電電流及び水トリー劣化試料の充電電流と損失電流のそれぞれの瞬時値
Fig. 4 Instantaneous values of current and loss current through a water treed sample and instantaneous value of current through a non-water treed sample as a function of frequency.

図5 損失電流の基本波と第3高調波成分の瞬時値の周波数に対する変化
Fig. 5 Instantaneous values of fundamental and 3rd harmonic components of loss current as a function of frequency.

にパラメータ r , f_0 及び h を変化させた。観測結果と計算から求めた値は、 θ_1 を除いて比較的一致していると思われる。 θ_1 は θ_3 に比べて値そのものが小さいために、数値計算では θ_3 を重視して計算を進めたために^{(8), (9)}、その差異は大きくなった。図5より、 f が高くなると I_1 も

図6 損失電流の基本波と第3高調波成分の位相角の周波数に対する変化
Fig. 6 Changes of the phases of fundamental and 3rd harmonic components of loss current for frequency.

図7 数値計算より得られた開いたチャンネル領域の規格化された長さの周波数に対する変化
Fig. 7 Change of the length of open channel region for frequency obtained from the calculation.

図8 $f_0 = 4.916 \text{ sec}^{-1}$ 及び $h = 2 \times 10^{-6} \text{ m/V}$ にそれぞれ乗じた係数
Fig. 8 Factors multiplied to the standard values 4.916 sec^{-1} and $2 \times 10^{-6} \text{ m/V}$ of f_0 and h , respectively, used in calculation.

図9 開いたチャンネル領域の低電界の導電率 σ_0 の周波数依存性
Fig. 9 Frequency dependence of σ_0 .

I_3 も大きくなるが、比 I_3/I_1 は小さくなることが判る。図6より、 f が高くなると θ_1 は負の値から正の値の方向へと変化する、 θ_3 は f が高くなると正から負へと変化する。

図5及び図6に示す観測結果に対する数値計算から得られたチャンネル領域の規格化された長さ r の f に対する変化を図7に示す。 f が上昇すると、 r は48%から66%まで変化し、 f の下降においては59%まで r が減少する。この f に対する r の変化には、課電時間とともに r が伸展

することや⁽⁹⁾、 f の上昇・下降後の50Hzにおける r の値がそれぞれ48%と59%であることから課電電圧の効果⁽⁸⁾も重畳している。またモデルから評価された r は、 f が高い場合はPEA法で評価された劣化領域の長さ $r = 0.62$ より大きい。これはPEA法による測定以降における供試試料の課電履歴の影響もあるのかもしれない⁽⁹⁾。

図8は数値計算に用いたパラメータ f_0 及び h の基準値 4.916 sec^{-1} 及び $2 \times 10^{-6} \text{ m/V}$ に乗じた値を示す。従って、式(3)における f_0 及び h について次のように言える。 f_0 は f に対してほぼ正比例しているが、 h は f が高くなるにつれて小さくなる。このパラメータ h については、以下のことが判っている。つまり、課電電圧が高くなると r が伸展するが、パラメータ h は小さくなった⁽⁸⁾。また課電時間が長くなると r が伸展し、パラメータ h は小さくなった⁽⁹⁾。このようなことから、開いたチャンネル領域の伸展方向においては、電界依存性を特徴づける h が一定ではないことが本論文の周波数依存性からも示唆される。パラメータ f_0 は式(4)から、開いたチャンネル領域の低電界の導電率 σ_0 と関係している。式(4)から σ_0 を求めたのが図9である。最小自乗法から求めた図中の直線の傾きは、1.07である。

<4・2> 開いたチャンネル領域の導電率の周波数依存性の検討及び比誘電率について 本論文及び前報^{(8),(9)}の実験結果及び計算結果の検討における重要な観点は式(2)にある。この式では、水トリイ劣化試料に流れる電流の電界依存性が $\sinh$ 関数に依存し、その周波数依存性は低電界の導電率 $\sigma_0(\omega)$ (ω は各周波数) に組み込まれている。この電界依存性は1本の貫通水トリイを対象とした直流課電下の電流の依存性⁽¹⁴⁾を基礎として仮定された。従って、式(2)は現象論的な仮定に基づくものである。しかしながら、図2で定義された水トリイ劣化試料の損失電流の基本波と第3高調波成分の観察された結果を式(2)から導かれたモデルがうまく説明し、興味ある結果が得られている^{(8),(9)}。

一般に交流導電率の周波数依存性は、低電界における導電率 σ_0 が指数 s を用いて

$$\sigma_0(\omega) \propto \omega^s \quad (s < 1)$$

と表されることは良く知られている^{(15)~(17)}。これはホッピング伝導において、低電界近似により求められている。最近の報告では、樹脂にカーボンブラックを充填したようなフラクタル系のホッピング伝導として上式と全く同じ $\sigma_0(\omega)$ の形が導かれている⁽¹²⁾。図9に示すように、少なくとも1kHz以下の周波数では、 σ_0 は周波数に正比例しているように思われる。このように $s \approx 1$ であることはキャリアの生成の際に解離エネルギーが熱エネルギーに比べて大きい場合には可能であるとされている⁽¹⁶⁾。

一方、Hvidsten等は、水トリイ劣化ケーブルの誘電正接を測定し、低電界における誘電正接は課電電圧に対して非線形に増加するが、周波数にほとんど依存しない

図10 1 kHzにおける開いたチャンネル領域の比誘電率 ϵ_r' に対する計算から得られる r 及び σ_0 の変化

Fig. 10 Changes of r and σ_0 for relative dielectric constant of the open channel region at 1 kHz.

ことを観測している⁽¹³⁾。この誘電正接は水を含んだチャンネル内の導電損失によると説明されている。課電電圧がある閾値を越えるとマクスウェル応力によりチャンネルが開いて損失が急増することから、課電電圧に対する誘電正接の非線形性が説明されている。従って彼らの非線形性の起因は、本論文と観点が異なる。本論文では開いたチャンネルのコンダクタンスが非線形性を有しており、この非線形な依存性が損失電流に高調波を発生する原因になる。Hvidsten らの有限要素法を用いた計算により得られた誘電正接は周波数に比例し、観測された結果を説明していない⁽¹³⁾。しかしながら、本論文で得られた σ_0 の周波数依存性に関係したコンダクタンスが誘電正接に寄与するならば、 ϵ_r' は周波数に対して大きな変化を示さないことから、Hvidsten らの観察した周波数に依存しない誘電正接が期待される。このように、水トリリー劣化シート試料の損失電流の基礎的検討のためには、式(2)の精緻な検討は今後更に必要であると考えている。例えば、 σ_0 は開いたチャンネルの密度またはボイドの密度に大きく依存する量であり、そのような観点からもデータの蓄積が必要と考えている。

本論文の仮定(2)における問題点は、3章で述べた過程(A)及び過程(B)のいずれかかを明確にできないことである。過程(B)として、図3(a)の長さ d_3 の領域の比誘電率を変えた場合、得られるパラメータがどのように影響を受けるかを示したのが図10である。図10は課電周波数が1 kHzにおける観測された基本波及び第3高調波のそれぞれの瞬時値と位相角に合うようにパラメータを選択した結果である。長さ d_3 の領域の比誘電率が

小さくなると、 d_3 の領域間の電圧が低下するために、観測された損失電流と計算結果が一致するためには、 d_3 の領域が長くなりまた導電率も大きくなる必要がある。従って、比誘電率が大きくなると、 r 及び σ_0 が大きくなる。また、図10における各 ϵ_r' で評価された σ_0 は周波数にほぼ比例することは判っている。開いたチャンネル領域の導電率は1 kHzでは 10^{-7} S/mのオーダーであることがわかる。過程(A)または過程(B)については、劣化領域のボイドの状態が明らかになればさらに検討することができると考えている。

5. まとめ

未貫通水トリリー劣化試料の損失電流に含まれる基本波及び第3高調波成分を、課電電圧の周波数を変えながら調べ、それらの成分を水トリリー劣化領域のコンダクタンスが電界に対して非線形な依存性を有するモデルから検討を進めた。その結果以下のことが判った。

(1) 未劣化試料の充電電流は周波数に対して正比例するが、水トリリー劣化試料の充電電流及び損失電流は周波数に対して非線形な変化を示した。

(2) 周波数が高くなると、損失電流の基本波成分に対する第3高調波成分の占める割合は低下した。

(3) これらの観測結果を、上記のモデルを用いた数値計算結果と合わせることで、開いたチャンネル領域が見かけ上周波数とともに伸展することが示唆されたが、課電電圧の効果も重畳していることが判った。

(4) 開いたチャンネル領域の低電界の導電率は周波数にほぼ正比例し、1 kHzで 10^{-7} S/mのオーダーであることが示唆された。

(平成12年5月22日受付、平成12年8月24日再受付)

文 献

- (1) 横山、所、水野、長尾、小崎：「交流損失電流による新しい水トリリー劣化診断法の開発」、平元電気関係学会東海支部大会、No.214
- (2) 坂本、井上、堺：「水トリリー劣化CVケーブルの交流充電電流の電圧特性と高調波成分の測定」、平3電気学会全大、No.1479
- (3) 八木、田中、一柳：「水トリリー劣化過程における損失電流高調波成分の発生と推移」、平9電気学会全大、No.1855
- (4) 海老沼、久保田、川井、藤原：「22 kV CVケーブルの絶縁劣化測定法の検討」、電学論B、114、pp.305-309 (平6-3)
- (5) 弘津、細江、井上、松生：「高調波電流測定によるCVケーブルの劣化診断法の開発」、平6電気学会電力・エネルギー部門大会、No.538
- (6) 川井、品川、中村、澤：「水トリリー劣化ポリエチレン

の損失電流波形と非線形電気伝導」、電学論誌A、119、pp.92-99(平11-1)

- (7) 川井、李、荻島、品川、海老沼、中村、澤：「水トリー劣化架橋ポリエチレンの高調波電流と非線形電気伝導」、電学論誌A、119、pp.327-333(平11-3)
- (8) 中村、澤、川井、荻島、李、品川、海老沼：「水トリー内の連結チャンネルの課電電圧に対するダイナミズム」、電学論誌B、119、pp.1518-1523(平11-12)
- (9) 川井、荻島、李、品川、海老沼、中村、澤：「水トリー内の連結チャンネルの一定課電下におけるダイナミズム」、電学論誌A、120、pp.56-61(平12-1)
- (10) 武藤、丸山：「水トリーの有害性について」、電気学会誘電・絶縁材料研究会、DEI-93-108,88-98(平5)
- (11) 中村、高橋、中山、丹羽：「水トリー発生CVケーブルの誘電特性に関する一考察」、第3回電気絶縁材料シンポジウム予稿集、V-7(昭55)
- (12) X. -B. Wang, Q. Jiang, Z. -H. Zhang and D. -C. Tian: "Hopping conduction in some fractal systems", 7, pp. 3279-3286(1995)
- (13) S. Hvidsten, E. Ilstad, J. Sletbak and H. Faremo: "Understanding Water Treeing Mechanisms in the Development of Diagnostic Test Methods", IEEE Trans. on Dielec. and Elect. Insul., 5, No.5, pp. 754-76(1998)
- (14) 本井、弘津、細江、徳丸、松生：「損失電流測定によるCVケーブル劣化診断法の研究」、誘電・絶縁材料研究会、DEI-95-37(平7)
- (15) M. Pollak and T. H. Geballe: "Low-Frequency Conductivity Due to Hopping Processes in Silicon", Phys. Rev, 112, NO. 6, pp.1742-1753(1961)
- (16) S. R. Elliott: "A Theory of a. c. conduction in chalcogenide glasses", Phil. Mag., 36, No.6, pp. 1291-1304(1977)
- (17) J. C. Dyre: "The random free-fergy barrier model for ac conduction in disordered solids", J. Appl. Phys., 64, No.5, pp. 2456-2468(1988)

中村 修平

(正員) 73年3月信州大学・院・電気工学専攻修了。工博。77年三重大学助教授。複合体の電気物性に関する研究に従事。

伊東 則幸

(学生員) 99年三重大学工学部電気電子工学科卒業。現在、同大学院工学研究科博士前期課程電気電子工学専攻在学中。

川井 二郎

(正員) 82年3月三重大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年4月昭和電線電纜(株)入社。電力ケーブルおよび付属品の開発に従事。97年電気学会論文賞受賞。工博。

品川 潤一

(正員) 75年3月東北大学大学院電気及び通信工学専攻修士課程修了。同年4月昭和電線電纜(株)入社。現在、電力システム開発室室長。この間、超高压ケーブルおよび付属品の開発、高电压試験法や高电压過渡現象の研究に従事。

海老沼 康光

(正員) 72年3月東京都立大学大学院修士課程修了。同年4月昭和電線電纜(株)入社。現在、電力システム品質保証部部長。89年、97年電気学会論文賞受賞。工博。