架空絶縁電線表面の沿面放電に及ぼす 印加電圧波頭長の影響

正員 西 敏行* 正員 花岡 良一**
正員 高田 新三** 正員 宮本 紀男**

Influence of Duration of Wave Front of Impulse Voltage on Creeping Discharges along Aerial Insulated Wire

Toshiyuki Nishi*, Member, Ryoichi Hanaoka**, Member,
Shinzo Takata**, Member, Toshio Miyamoto**, Member

In high voltage aerial distribution systems, creeping discharges develop along the wire surface from the free end of the binding wire when overvoltages caused by the lightning surge invaded to the central line of an insulated wire. Then, the various disasters such as punch-through breakdown, disconnection and melting of wire, often occur at these systems. In our previous studies, it has been clarified that the lengths and aspects of creeping discharges under a $1.2/50 \mu\text{s}$ impulse voltage condition can be affected remarkably by the change of the electric field intensity on the wire surface. However, the lightning impulse surges which may invade to a central line of wire have various values of duration of wave front. This will more complicate the creeping discharge phenomena due to a lightning.

In this paper, we report the influence of the duration of wave front both on the lengths and the aspects of the creeping discharges which develop on the wire under the application of lightning impulse voltages. It has been clarified that the behavior of negative creeping discharges reveals a remarkable change by the duration of wave fronts in the applied voltages.

キーワード：架空絶縁電線，沿面放電，雷インパルス，波頭長，誘導雷サージ

Keywords: aerial insulated wire, creeping discharge, lightning impulse, duration of wave front, inductive lightning surge

1. まえがき

市街地などに見られる高圧架空配電線において、その支持点では、電線の心線、被覆、がいし及びがいしと電線を固定するバインド線によって複合的な絶縁系が構成される。配電線近傍で落雷が生じた場合、電線の心線に誘導雷サージ電圧が侵入し、がいしの沿面破壊が生じると同時に、バインド線先端から電線表面に沿って沿面放電が進展する。この沿面放電が電線被覆の弱点部に到達すると、そこで被覆の貫通破壊を生じ、電線溶断事故などの原因となる⁽¹⁾。

このような誘導雷災害を未然に防ぐため、これまでに、電線の素線径を大きくして熱伝導を改善し、断線に至るまでの時間を長くする改良型電線の開発、雷による断線及びがいし破損を防止するためのアークホーン方式の適用などが行われている⁽¹⁾。また、種々のがいしとバインド線の組合せ方法によって絶縁性能を改善しようとする研究⁽²⁾⁽³⁾、屋外に設置されたがいしに関連して、表面の汚損を考慮に入れたフラッシュオーバー電圧や電界を計算によりシミュレーションする研究⁽⁴⁾⁽⁵⁾などがなされている。このような研究成果や電力会社の努力の結果、誘導雷や直撃雷に起因する全雷事故件数は、過去数十年と比較して減少傾向にある。しかし、事故原因別から見ると、事故全体に占める全雷事故の割合は依然としてトップであり、しかも漸増傾向を示している⁽⁶⁾。そのため、雷害対策の合理的な設計指針の確立が重要となる。雷害対策の手法を確立するためには、配電線のがいし、絶縁電線などの絶縁強化、サージ特性を基礎的な面

* 富山工業高等専門学校
〒939-8630 富山市本郷町 13 番地
Toyama National College of Technology,
13, Hongou, Toyama 939-8630

** 金沢工業大学
〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1
Kanazawa Institute of Technology,
7-1, Ohgigaoka, Nonoichi, Ishikawa 921-8501

から十分に理解することが必要となる。従来、電力設備の絶縁、サージ特性に関する研究は、送変電系統を対象にしたものが多く絶縁電線などの配電器材に発生する放電特性などについて詳しく研究されたものは少ない。本研究は、配電線に使用される器材の内、絶縁電線に対してインパルス電圧による絶縁破壊現象を明らかにし、絶縁電線のがいし支持点近傍の絶縁強化及び雷害対策に寄与しようとするものである。

誘導雷サージに起因して電線表面に発生する沿面放電は、その進展特性が複雑で未だ十分に解明されていない。この種の沿面放電を複雑にしている要因として、第一に、誘導雷サージ電圧が電線の心線へ侵入するため電線表面電界が変化し、沿面放電に影響を与えること、第二に、誘導雷サージ電圧には波頭長、波尾長の異なる種々の波形が存在すること、などが挙げられる。著者らは、これまで上記の絶縁系における放電機構を明らかにするため、標準雷インパルス電圧($\pm 1.2/50 \mu s$)を用いて、がいし表面の沿面破壊後に電線表面を進展する沿面放電特性について検討してきた(7)~(10)。既報(8)~(10)では、電線表面電界が沿面放電に及ぼす影響を詳細に調べ、正極性沿面放電は電線表面電界の影響を受けないのに対して、負極性沿面放電は著しく影響を受けることを報告した。

本論文においては、各種誘導雷サージ波形に対する沿面放電の影響を調べるため、波頭長の異なるインパルス電圧を心線に印加し、正極性及び負極性沿面放電の進展長と進展様相を詳細に観測したので報告する。

2. 実験方法

図1は、実験回路及び電柱におけるがいし支持部の概略図を示す。誘導雷を模擬するため、インパルス電圧発生器(IG)により波頭長の異なる正極性及び負極性インパルス電圧を発生させ電線の心線に印加した。今回使用した印加電圧波形の波頭長(以下、 T_f と記す)は、1.2、2.0、4.0、6.0、8.0 μs であり、波尾長は50 μs で一定である。実際の架空絶縁電線は、電柱の腕木に固定されているがいしにバインド線で支持されている。本実験では、誘導雷サージ侵入時におけるがいし表面のフラッシュオーバー状態を想定して、電柱、腕木、がいしを実験回路から取り除き、バインド線を放電電流観測用の抵抗(50 Ω)を通して接地した。この抵抗値は、放電電流観測用のケーブルとのマッチングを考慮して選ばれ、電柱、がいし表面におけるフラッシュオーバー時のアーク抵抗も兼ねている。がいしを取り除いたため、バインド線は沿面放電進展のための電極として、その先端部分だけを模擬しており、直径5.5mmの合金線(鉛97%、アンチモン3%)で代用した。また、その先端部分は、垂直に切断され電線表面に軽く接している。通常の沿面放電はバインド線の両端から進展するが、観測を容易にするため、本実験では一方向にのみ進展させるようにした。すなわち、図1のようにバインド線の片側に銅製ホーンを取り付け、電線との間にパラフィンを充填してシールドした。電線の終

図1 実験回路及び電柱におけるがいし支持部の概略図

Fig. 1. Experimental circuit and schematic diagram of insulator supporting point at electric light pole.

表1 供試絶縁電線

Table 1. Data of insulated wire.

仕上がり 外径 (mm)	全長 (m)	導 体			絶 縁 物		
		公 称 断面積 (mm ²)	構 成 (本/mm)	外径 (mm)	絶縁物 の厚さ (mm)	主材質	比誘 電率
10.0	5.0	22.0	7/2.0	6.0	2.0	ポリエチレン	2.3

端は印加電圧波形の反射を防ぐため、抵抗(1k Ω)とコンデンサ(500pF)によりマッチングした。実験室の床面は、接地した銅板を敷きアース電位に固定して大地面を模擬した。表1は、絶縁電線の仕様を示す。電線の全長は5mで、地上75cmの高さに架設されている。実験は、電線の心線に正極性及び負極性インパルス電圧を1回のみ印加し、バインド線先端から進展する正極性及び負極性沿面放電の進展長と進展様相を静止カメラとイメージインテンシファイヤ付き静止カメラにより観測した。沿面放電進展後は電線表面をアースし、アルコールで拭き残留電荷を除去した。沿面放電の進展長を求める際は、同一波高値の電圧に対して上記操作を10回繰り返し、平均値をもってその電圧波高値での進展長とした。測定回数は、進展長のばらつきの範囲、正確さ、実験の効率を考慮して決められた。また、実験室内は空調を行い、気温約20℃、湿度約40%に保ち実験条件

図2 印加電圧波高値—沿面放電進展長特性
(正極性沿面放電)

Fig. 2. Relation between length of positive creeping discharge and peak value of applied impulse voltage.

図3 印加電圧波高値—沿面放電進展長特性
(負極性沿面放電)

Fig. 3. Relation between length of negative creeping discharge and peak value of applied impulse voltage.

を統一した。なお、図1より電線の心線に印加する電圧の極性とバインド線先端から進展する沿面放電の極性は逆になる。

3. 実験結果および考察

〈3・1〉 印加電圧波高値と沿面放電進展長の関係

(I) 正極性沿面放電 図2は、印加電圧波高値(以下、 V_m と記す)と進展長の関係を示す。各測定点は10回の測定の平均値であり、進展長のばらつきは約±10%である。同図より正極性沿面放電の進展長は、 V_m の上昇に伴って単調に増加し、 T_r が変化しても影響を受けないことがわかる。

(II) 負極性沿面放電 図3は、 V_m と進展長の関係を示す。各測定点は10回の測定の平均値であり、進展長のばらつきは、 $T_r=1.2\mu s$ で $V_m=50\text{ kV}$ のとき、約±30%、そ

図4 正極性沿面放電先端の様相
($V_m=-80\text{ kV}$)

Fig. 4. Typical aspects near the tip of positive creeping discharge.

れ以外では約±10%であった。 $T_r=1.2\mu s$ の場合、 $V_m=50\text{ kV}$ を境にして進展長の増加する領域と減少する領域が現れる。これについては、既報⁽⁸⁾で詳細に報告した。一方、 $T_r=2.0\sim6.0\mu s$ の場合、 $V_m\leq 70\text{ kV}$ のとき、進展長はそれぞれ同じように増加するが、 $V_m>70\text{ kV}$ のときは、 $T_r=2.0, 4.0\mu s$ では減少し、 $T_r=6.0\mu s$ では増加する。また、 $T_r=8.0\mu s$ の場合、進展長は V_m の上昇とともに単調に増加するが、 $V_m<60\text{ kV}$ のときは、 $T_r=1.2\sim6.0\mu s$ の場合よりも短い。 $V_m=80\text{ kV}$ では、 T_r の長いもののほど進展長は長くなる。これらより、負極性沿面放電の進展長は、 T_r の変化により影響を受け、 T_r が長くなれば、 V_m の上昇に伴って単調に増加する傾向を示すと言える。

〈3・2〉 沿面放電の進展様相

(I) 正極性沿面放電 図4(a)、(b)は、 $V_m=-80\text{ kV}$ における沿面放電先端の様相を示す。(a)、(b)は、それぞれ $T_r=1.2, 6.0\mu s$ の場合である。(a)、(b)とも放電先端において、電線表面からジャンプする様相が認められ、両者において顕著な相違は見られない。このような様相は、他の T_r の場合でも同様に観測された。また、バインド線先端においても T_r の値に関わらず同様に電線表面からジャンプする様相が認められた。これらより正極性沿面放電の進展様相は、 T_r の変化により影響を受けないことがわかる。このため、正極性沿面放電の進展長は、図2に示されるように T_r が変化しても影響を受けないものと思われる。

(II) 負極性沿面放電 図5(a)、(b)は、 $V_m=40\text{ kV}$ における沿面放電先端の様相を示す。(a)、(b)は、それぞれ $T_r=1.2, 6.0\mu s$ の場合である。同図より、放電先端の様相はいずれも電線表面に密着しており、両者の間に相違は認められない。また、バインド線先端においても同様に電線表面に密着する様相が認められた。このような様相は、他

図5 負極性沿面放電先端の様相
($V_m = 40 \text{ kV}$)

Fig. 5. Typical aspects near the tip of negative creeping discharge.

図6 負極性沿面放電先端の様相
($V_m = 80 \text{ kV}$)

Fig. 6. Typical aspects near the tip of negative creeping discharge.

の T_f の場合でも同様に観測された。これらより、 $V_m = 40 \text{ kV}$ における負極性沿面放電は、 T_f が変化しても常に電線表面に密着した様相になることがわかる。

図6(a)、(b)は、 $V_m = 80 \text{ kV}$ における沿面放電先端の様相を示す。(a)、(b)は、それぞれ $T_f = 1.2, 6.0 \mu\text{s}$ の場合である。(a)より、 $T_f = 1.2 \mu\text{s}$ では、放電先端で激しいジャンプ現象が起こり、電線表面に密着することなく離散的な放電様相となっている。(b)より、 $T_f = 6.0 \mu\text{s}$ では、放電先端で電線表面に密着している部分が存在し、さらに、その前方では円弧状にジャンプしている様相が認められる。しかし、この場合のジャンプの度合いは、 $T_f = 1.2 \mu\text{s}$ の場合よりかなり弱くなっている。負極性沿面放電では、

図7 印加電圧波形と沿面放電電流波形例
(正極性沿面放電、 $V_m = -80 \text{ kV}$)

Fig. 7. Wave form of applied impulse voltage and typical current of positive creeping discharge.

図8 印加電圧波頭長と沿面放電平均進展速度との関係
(正極性沿面放電、 $V_m = -80 \text{ kV}$)

Fig. 8. Relation between mean velocity of positive creeping discharge and duration of wave front.

$V_m = 80 \text{ kV}$ のとき、 T_f が長くなるに従って放電先端のジャンプ現象は抑制される傾向にある。このような放電先端でのジャンプ現象の衰退によって進展長は増加傾向を示すようになる。そのため、図3のように、 $V_m = 80 \text{ kV}$ では、 T_f が長くなるに従って進展長も長くなるものと思われる。

〈3-3〉 沿面放電の平均進展速度と波頭長の関係

(1) 正極性沿面放電 図7(a)、(b)は、印加電圧波形($V_m = -80 \text{ kV}$)と沿面放電電流波形の典型的な例を示す。(a)、(b)は、それぞれ $T_f = 1.2, 6.0 \mu\text{s}$ の場合で、進展長は、 $L = 47, 46 \text{ cm}$ である。(a)、(b)とも放電電流は、ほぼ電圧印加直後から流れ始め、それぞれ $5.7, 8.5 \mu\text{s}$ の間流れている。同図より、 T_f が長くなると、電流流出時間は長くなり、ピーク値は減少する傾向にあることがわかる。また、(a)、(b)とも電流波形には多くの振動成分が含まれている。電流流出時間は、沿面放電が進展に要した時間と一致する。進展長をこの時間で割れば、進展中の平均速度 v が求められる。

図8は、このようにして求めた $V_m = -80 \text{ kV}$ の場合の T_f

図9 印加電圧波形と沿面放電電流波形例
(負極性沿面放電、 $V_m=80$ kV)

Fig. 9. Wave form of applied impulse voltage and typical current of negative creeping discharge.

図10 印加電圧波頭長と沿面放電平均進展速度との関係
(負極性沿面放電、 $V_m=80$ kV)

Fig. 10. Relation between mean velocity of negative creeping discharge and duration of wave front.

と平均進展速度との関係を示す。図中のプロットは、10回の測定の平均値であり、ばらつきは約±10%である。同図より、正極性沿面放電の平均進展速度は、 T_f の増加に伴って減少することがわかる。これは、 T_f が増加しても進展長は変化しないのに対して、進展時間が長くなるためである。 $T_f=1.2, 8.0 \mu s$ のときの平均進展速度を比較すると、 $T_f=1.2 \mu s$ の方が約2.2倍速くなっている。

(II) 負極性沿面放電 図9(a),(b)は、印加電圧波形($V_m=80$ kV)と沿面放電電流波形の典型的な例を示す。(a),(b)は、それぞれ $T_f=1.2, 6.0 \mu s$ の場合であり、進展長は、 $L=14, 46$ cmである。(a),(b)ともに、ほぼ電圧印加直後から放電電流が流れ始めている。(a)より電流は急激にピーク値に達した後、急速にゼロに戻っている。これは、放電がバインド線先端から急速に進展し、その後急停止することを示している。この急停止は、負極性沿面放電のジャンプ現象に起因するものと思われる。電流波形がゼロに戻るまでの時間は、沿面放電が進展に要した時間であ

(a) $T_f=1.2 \mu s$ の場合

(b) $T_f=8.0 \mu s$ の場合

図11 負極性沿面放電先端の進展モデル

Fig. 11. Model of tip of negative creeping discharge.

る。(a),(b)の場合、それらは $2.0, 6.5 \mu s$ であり、 T_f が長くなるにつれて進展時間も長くなる傾向を示す。図7(b)、図9(b)を比較すると、進展長はどちらも46 cmで同じであるが、負極性沿面放電の方が正極性沿面放電より進展に要した時間は短くなっている。図9(b)より、 $T_f=6.0 \mu s$ の場合、電流はピーク値までは振動しながら徐々に増加し、その後、振動はほとんどなく緩やかにゼロまで戻っていることがわかる。図10は、 $V_m=80$ kVの場合における T_f と平均進展速度との関係を示す。これは図8の場合と同様に求めてものである。図中のプロットは、10回の測定の平均値であり、ばらつきは約±10%である。同図より、負極性沿面放電は、正極性沿面放電とは異なり、 T_f の変化により平均進展速度には明確な傾向は現れず、 $5 \sim 8 \times 10^4$ m/sの値となる。これは、 $V_m=80$ kVのとき、 T_f が長くなると進展長は長くなるが、同時に進展時間も長くなるためである。 $V_m=80$ kVの場合、 T_f の変化によって進展長が変化するの、 T_f によって電子の加速力が変化するためと思われる。

図11(a),(b)は、負極性沿面放電先端の進展モデルを示す。(a),(b)は、それぞれ $T_f=1.2, 8.0 \mu s$ の場合である。

負極性沿面放電の進展は、放電先端からの電子放出による衝突電離によって行われる。すなわち、プラズマ状態となっているリーダ部分を通してバインド線先端から放電先端へ電子が供給される。心線電位の上昇とともに放電先端から電子が放出され加速される。このため、放電先端において、衝突電離が生じ、正イオンと電子が生じる。電子は、心線の正電位に引きつけられ電線表面に吸着される。正イオンは、電線表面の電子に引きつけられ、電子とともに放電内部でプラズマ状態を形成する。このプラズマ部分を通して引き続きバインド線先端から放電先端へ電子が供給され、負極性沿面放電は、進展を継続していくことになる。

(a) に示されるように、 $T_f=1.2\mu s$ のような波頭長の短い場合は、心線電位が急激に上昇するため、放電先端から放出された電子は急加速される。そのため、放電先端での衝突電離が盛んに行われ、放電初期の進展速度は速くなる。しかし、心線電位が急激に上昇するため、心線電位が作り出す電線表面電界も急激に増大する。このため、放電先端の衝突電離により発生した正イオンは、電線表面電界により急激に反発され、電線周囲の空間へ拡散する。このときの振る舞いが放電先端で見られるジャンプ現象となって現れる⁽⁹⁾。放電先端の正イオン密度が急激に減少するため、放電内部で電位降下が急激に生じる。これにより、放電先端からの電子放出が抑制され、放電は急停止する。

一方、(b) に示されるように、 $T_f=8.0\mu s$ のような波頭長の長い場合は、放電先端から放出された電子は緩やかに加速され、波頭長が標準波程度の短い場合よりも放電の初期進展速度は遅くなる。そのため、放電先端での衝突電離は波頭長が短い場合よりも緩やかに起こり、発生する正イオン、電子数も少なくなる。しかし、電子が加速され続ける時間は、波頭長が短い場合よりも長くなる。また、心線電位の上昇も緩やかであるため、正イオンが電線表面電界から受ける反発力も緩やかに増大し、正イオンの動きは鈍くなる。そのため、放電先端でのジャンプ現象は、波頭長が短い場合よりも抑制され、ジャンプの度合いも弱くなる。このようにして、放電先端での正イオン密度の減少割合は、波頭長が短い場合よりも少なくなり、放電内部の導電率は十分高くバインド線先端からの電子供給が長時間可能となる。それ故、 V_m が大きく、波頭長が長いとき、進展長も長くなるものと思われる。

4. 実系統に対する検討

誘導雷サージ電圧が電線の心線に侵入した場合、電線の支持点では、がいしの沿面破壊に続き電線表面に沿面放電が進展する。誘導雷サージが負極性のとき、沿面放電の極性は正極性となる。この場合、進展長は、サージ電圧の波頭長の影響を受けない。従って、波頭長に関わらずサージ電圧の波高値が大きい場合ほど進展長は長くなり、電線表面の弱点部に沿面放電が到達する確率が増す。それ故、電線表面にピンホールなどの弱点部が存在すると、そこで全路破壊を生じ、続流アークが破壊部付近の導体に大きなエ

ネルギーを注入し、ジュール熱による高温化によって電線溶断に至る危険性が高くなる。一方、サージ電圧の極性が正極性のとき、沿面放電の極性は負極性となる。この場合、進展長は波頭長の影響を受ける。波頭長が標準波程度で短い場合は、サージ電圧の波高値が 50 kV 程度のときに進展長は最長となり、上記と同様に溶断の可能性が増す。逆に、波高値が 50 kV 以上になれば、進展長は数 cm 程度と短くなるため、溶断の危険性は低くなると言える。一方、波頭長が $8\mu s$ 程度と長くなれば、波高値が高い場合ほど溶断の危険性が増すことになる。沿面放電が発生している時間は、サージ電圧の波高値、波頭長、放電の極性などにより変化するが、著者らのこれまでの観測結果では、長い場合でも約 $10\mu s$ 程度である。沿面放電は、通常、サージ電圧のうち周波数成分の高い電圧の立ち上がり部分で進展し、波高値付近で停止する。そのため、周波数成分の低い波高値以降の波尾部分では、沿面放電は既に消滅している。従って、誘導雷サージに起因する沿面放電は、波尾長には影響を受けないことが推察され、波頭長にのみ着目すればよいと言える。

5. 結論

絶縁電線の心線に波頭長の異なるインパルス電圧を印加し、電線表面を進展する正極性及び負極性沿面放電の進展長と進展様相を観測した。今回は、進展長、放電先端の様相、平均進展速度の関係を調べ、次のような新しい知見を得た。

(1) 正極性沿面放電

(a) 進展長について 印加電圧波高値の上昇とともに単調に増加し、波頭長変化の影響を受けない。

(b) 進展様相について バインド線先端から放電先端まで常に電線表面をジャンプしながら進展し、その様相は波頭長変化の影響を受けない。

(c) 平均進展速度について 波頭長の増大とともに、進展に要する時間は長くなり、平均進展速度は減少する。

(d) 波頭長に関わらず、サージ電圧の波高値が高い場合に、全路破壊による続流アークエネルギーが電線溶断をもたらす危険性が増すことが指摘される。

(2) 負極性沿面放電

(a) 進展長について 波頭長の増加とともに、進展長の減少領域が小さくなり、印加電圧波高値の上昇とともに単調に増加するようになる。

(b) 進展様相について 波頭長の増加とともに放電先端のジャンプ現象は抑制される傾向にあり、これが進展長増加の原因となる。

(c) 平均進展速度について 印加電圧波高値が 80 kV 程度と高い場合、波頭長の増加とともに放電の進展長、進展時間ともに長くなるため、平均進展速度は、正極性沿面放電の場合とは異なり明確な傾向を示さない。

(d) 放電先端でのジャンプ現象の抑制は、波頭長増大による放電先端での電子加速の鈍化と正イオンが電線表面

電界から受ける反発力の鈍化に起因するものと思われる。ジャンプ現象が抑制されれば、進展長は増大する。

(e) サージ電圧の波頭長が標準波程度と短い場合は、波高値が 50 kV 程度の場合に溶断の危険性が最大となる。一方、波頭長が数 μ s と長い場合は、波高値が高くなるにつれて溶断の危険性が増すことが指摘される。

(3) 沿面放電は、誘導雷サージ電圧の極性によらず、波尾長の影響を受けない。そのため、耐雷設計を考慮に入れた沿面放電の抑制に対しては、サージ電圧の波頭長にのみ着目すれば良いことが指摘される。

(平成 14 年 4 月 10 日受付、平成 14 年 7 月 4 日再受付)

文 献

- (1) 電気協同研究会:「配電線害対策」, 電気協同研究, Vol.40, No.6 (1985)
- (2) T.Ito, A.Tominaga, H.Miyauchi, and M.S.A.A.Hammam: "Discharge Characteristics of Covered Conductor Bounded with Tie on Pin Type Insulator", *T. IEE Japan*, Vol.103-B, No.8, pp.561-567 (1983-8) (in Japanese)
伊藤泰郎・富永 明・宮内秀幸・M.S.A.A.Hammam:「ピンがいにしに把持された絶縁電線の放電特性」, 電学論 B, 103, 8, pp.561-567 (1983-8)
- (3) T.Ito, A.Tominaga, H.Miyauchi, and M.S.A.A.Hammam: "Discharge Characteristics of Covered Conductor Bounded with Tie on Pin Type Insulator for AC High Voltage", *T. IEE Japan*, Vol.105-B, No.10, pp.829-834 (1985-10) (in Japanese)
伊藤泰郎・富永 明・宮内秀幸・M.S.A.A.Hammam:「ピンがいにしに把持された絶縁電線の交流放電特性」, 電学論 B, 105, 10, pp.829-834 (1985-10)
- (4) R.Sundararajan and R.S.Gorur: "Dynamic Arc Modeling of Pollution Flashover of Insulators under dc Voltage", *IEEE Trans. Electrical Insulation*, 28, No.2, pp.209-218 (1993-4)
- (5) S.Chakravorti and P.K.Mukherjee: "Power Frequency and Impulse Field Calculation around a HV Insulator with Uniform or Nonuniform Surface Pollution", *IEEE Trans. Electrical Insulation*, 28, No.1, Feb., pp.43-53 (1993-2)
- (6) 「電力供給設備 VS 自然災害」, 新電気, No.2, pp.17-41, オーム社 (1993)
- (7) T.Nishi, R.Hanaoka, R.Ishibashi, and T.Korin: "Impulse Creeping Discharge Phenomena at Insulator Supporting Point of Aerial Insulated Wire", CEIDP, Annual Report, pp.586-591 (1993)
- (8) T.Nishi, R.Hanaoka, and R.Ishibashi: "Impulse Creeping Discharge Phenomena on Aerial Insulated Wire under Dry and Wet Conditions", *T. IEE Japan*, Vol.116-B, No.4, pp.482-488 (1996-4) (in Japanese)
西 敏行・花岡良一・石橋謙造:「架空絶縁電線表面における乾燥、湿潤状態での沿面放電現象」, 電学論 B, 116, 4, pp.482-488 (1996-4)
- (9) T.Nishi, R.Hanaoka, and T.Miyamoto: "Influence of Applied Impulse Voltage on Creeping Discharges along Aerial Insulated Wire", *T. IEE Japan*, Vol.117-B, No.1, pp.130-136 (1997-1) (in Japanese)

西 敏行・花岡良一・宮本紀男:「架空絶縁電線表面の沿面放電におけるインパルス電圧印加の影響」, 電学論 B, 117, 1, pp.130-136 (1997-1)

- (10) T.Nishi, R.Hanaoka, and T.Miyamoto: "Influence of Electric Field Strength of Wire Surface on Creeping Discharges along Aerial Insulated Wire", *T. IEE Japan*, Vol.118-B, No.1, pp.85-91 (1998-1) (in Japanese)

西 敏行・花岡良一・宮本紀男:「架空絶縁電線表面の沿面放電に対する電線表面電界の影響」, 電学論 B, 118, 1, pp.85-91 (1998-1)

西 敏 行

(正員) 1959 年 3 月 8 日生まれ。1983 年 3 月金沢大学大学院工学研究科修士課程修了。同年 4 月ユーザック電子工業(株)〔現、(株)PFU〕入社。1985 年 4 月富山工業高等専門学校電気工学科助手、1993 年 7 月同講師、1997 年 4 月同助教授、現在に至る。主として、沿面放電現象に関する研究に従事。博士(工学)。

花 岡 良 一

(正員) 1950 年 1 月 12 日生まれ。1980 年 3 月金沢大学大学院工学研究科修士課程修了。1988 年 4 月金沢工業大学電気工学科講師、1989 年同助教授、1996 年同教授、現在に至る。主として、液体誘電体中の電気伝導と絶縁破壊及び電界計算法に関する研究に従事。1993 年 9 月～1994 年 8 月米国 MIT 客員研究員。工学博士。応用物理学会会員、IEEE 会員。

高 田 新 三

(正員) 1945 年 5 月 18 日生まれ。1975 年明治大学大学院工学研究科博士課程修了。1974 年 4 月金沢工業大学電気工学科講師、1975 年 8 月同助教授、1981 年同教授、現在に至る。磁性材料、薄膜 EL 素子用材料、透明導電膜用材料等電気電子材料の研究開発に従事。1997 年 7 月～1998 年 6 月米国ハワイ州立大学工学部客員教授。工学博士。電子情報通信学会会員、応用物理学会会員、電気化学会会員、American Vacuum Society 会員。

宮 本 紀 男

(正員) 1937 年 2 月 11 日生まれ。1959 年 3 月金沢大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月三菱電機(株)入社。中央研究所にて、永久ヒューズ、SF₆ガス絶縁変電機器などの開発に従事。1980 年伊丹製作所開発部長、1985 年同所光ディスク開発プロジェクト部長、1987 年産業システム研究所光ディスク開発センター長、1990 年金沢工業大学教授、現在に至る。主として、植物が示す神秘的な電磁気現象の研究に従事。工学博士。電気学会進歩賞、科学技術庁長官賞受賞。