各種インパルス電圧による架空絶縁電線表面の沿面放電特性

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

Characteristics of Creeping Discharge along Aerial Insulated Wire under Impulse Voltages with Various Durations of Wave Front

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

When the lightning occurs at the neighborhood of outdoor high voltage distribution lines, the creeping discharges propagate along the wire surface from the binding wire tip just after the flashover of insulator. These discharges give rise to the various disasters at distribution lines, for instance, disconnection and melting of wire, punch-through breakdown etc. We must clarify the creeping discharge characteristics under various inductive lightning surges from a viewpoint of a safety in high voltage distribution systems. In our previous paper, it was reported that the lengths and aspects of the negative creeping discharges were influenced by the duration of wave front of impulse voltage applied to the central line under the grounded binding wire. The present study was accomplished in order to obtain more information on such creeping discharges.

This paper describes the distinctive characteristics of creeping discharge along the insulated wire surface when the impulse voltages with various durations of wave front are applied to the binding wire.

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

高圧配電系統における架空絶縁電線の支持点は、心線、絶縁被覆、がいし及びがいしと電線を固定するバインド線などによる複合的な絶縁系から構成されている。配電線近傍の落雷によって、誘導雷サージ過電圧が電線の心線に侵入し、これが進行して電線支持点に到達すると、がいしのフラッシュオーバーが発生すると同時にバインド線先端から電線表面上を沿面放電が進展する。もし、電線被覆に弱点部（ピンホール、ボイド、表面劣化など）が存在し、沿面放電がこの部分に達すると、そこで貫通破壊を起こし電線溶断などの事故が発生する⁽¹⁾。この場合、断線の位置は、がいし固定用の腕金より 50 cm 以下の場合が約 90%を占めて

いるが、100 cm を超えて断線する例もある⁽¹⁾。このような事故を未然に防ぎ、雷害対策の合理的な設計指針を確立するためには、配電器材として使用されるがいし、電線などの絶縁性能と沿面放電の特性を基礎的な面から理解することが重要である。従来、配電設備の器材について、これらの絶縁性能と沿面放電の関連性を十分に検討した報告は少ない。

本研究では、配電系統に使用される架空絶縁電線に注目し、その表面を進展するインパルス沿面放電の特性について検討している。この沿面放電は、円筒形状である電線表面上をほぼ直線的に進展するため、平板上を放射状に進展する沿面放電とは異なる特性を持つ。このような放電に関する幾つかの報告例^{(2)~(5)}はあるが、依然として未解明な点が多いのが現状である。筆者らはこれまで、断線事故防止の観点より、がいしがフラッシュオーバーしたときにバインド線先端から電線表面を進展する沿面放電の特性を観測してきた^{(6)~(10)}。襲雷時に電線表面で発生する沿面放電現象の実験室レベルにおける再現は、バインド線を接地し心線に誘導雷サージを模擬するインパルス電圧を印加することによって可能となる。既報^{(7)~(9)}では、心線に標準雷インパル

* 富山高専

〒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

ス電圧を印加して誘導雷サージを模擬した。この場合、誘導雷サージの侵入によって心線電位が上昇し、これによる電線表面電界の変化が負極性沿面放電に注目すべき影響を与えることを報告した。また、心線に誘導雷サージが侵入する場合の対比実験として、心線を接地し、バインド線に標準雷インパルス電圧を印加することによって心線電位の影響を受けない場合の沿面放電特性についても報告してきた⁽⁸⁾。この場合、心線は常にアース電位に保たれるため、沿面放電は心線電位の影響を受けることなく進展する。このような心線電位の変化に関わる沿面放電特性の比較検討は、誘導雷サージ侵入時に発生する沿面放電の振る舞いを明確にする上で重要である。さらに、心線に印加するインパルス電圧の波頭長の変化と心線電位の変化が相乗された場合の沿面放電特性は、種々の波頭長を有する実際の雷サージに対応して重要である⁽¹⁰⁾。

本論文では、心線を接地しバインド線に種々の波頭長を持つインパルス電圧を印加して、電線表面の沿面放電に及ぼす波頭長の影響を重点的に調べた。すなわち、心線電位の影響を排除した場合における正極性、及び負極性沿面放電の進展長、進展様相を詳細に観測し、前報⁽¹⁰⁾で報告した心線電位と波頭長の両者が変化する場合の特性と比較、検討したのでここに報告する。

2. 実験方法

図1は、実験回路を示す。インパルス電圧発生器(IG)により波頭長(以後、 T_f と略す)の異なるインパルス電圧をバインド線に印加し、心線を放電電流観測用の抵抗(50Ω)を通して接地した。本研究では、バインド線に印加する電圧の T_f を変化させ、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。印加電圧波形は、 $T_f = 1.2, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0\mu s$ 、波尾長は $50.0\mu s$ 一定とした。通常、バインド線に電圧を印加した場合、沿面放電はバインド線の両端から進展するが、本実験では、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、放電が片側からのみ進展するよう工夫した。バインド線は、その先端が垂直に切断された直径 5.5 mm の合金線(鉛97%、アンチモン3%)であり、電線表面に軽く接している。表1は実験に使用した電線の仕様を示す。電線は 6600 V 用ポリエチレン電線で全長 5 m であり、観測の容易性より床面から 75 cm の高さに架設されている。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。バインド線先端から進展する沿面放電の進展長と進展様相は、静止カメラとイメージンテンスファイヤ付き静止カメラにより観測した。

電圧印加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。電線被覆にピンホールなどの弱点部がなければ、沿面放電は電線表面を進展後消滅する。この場合、3・4節で後述されるように、電流値は、ピーク値で数 A 程度、電流流出時間は最長で数 μs 程度であるため、電線表面には放電痕跡や炭化劣化は生じず、実験の繰り返しに

図1 実験回路

Fig. 1. Experimental circuit.

表1 供試絶縁電線

Table 1. Data of insulated wire.

Finished outside diameter (mm)	Conductor		
	stated cross section (mm ²)	structure (wires/mm)	outside diameter (mm)
10.0	22.0	7/2.0	6.0
Insulation			
thickness of insulated material (mm)	main material		relative dielectric constant
2.0	polyethylene		2.3

よる沿面放電進展への影響は見られなかった。また、実験室内は空調を行い、気温約 20°C 、湿度約40%に保って実験条件を統一した。なお、バインド線に印加するインパルス電圧の極性と沿面放電の極性は同一となる。

3. 実験結果、及び考察

3・1 印加電圧波高値と沿面放電進展長の関係

(1) 正極性沿面放電 図2は、印加電圧波高値(以後、 V_m と略す)と正極性沿面放電進展長 L の関係を示す。各測定点は10回の測定の平均値であり、標準偏差は約 1.7 cm であった。同図より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_f の影響を受けないことがわかる。また、この進展長特性は、前報⁽¹⁰⁾で報告した心線電位が変動する場合の特性と相違はない。このことより、正極性沿面放電の進展長は、心線電位、及び T_f のいずれが変化しても影響を受けないことがわかる。

(2) 負極性沿面放電 図3は、 V_m と負極性沿面放電進展長 L の関係を示す。各測定点は10回の測定の平均値

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.

であり、標準偏差は約 8.1 cm であった。沿面放電の進展長は、 T_f の値に関わらず V_m の上昇に伴って単調に増加する。また T_f が長くなるに従って進展長は短くなる。この進展長特性は、心線電位が変動する場合⁽¹⁰⁾と大きく異なっている。図3と前報⁽¹⁰⁾における特性を比較した結果、 $T_f = 8.0 \mu s$ の進展長特性は、心線電位変動の有無により変化しないことが判明した。これより、 T_f が長くなると放電進展長に及ぼす心線電位の影響が減少するものと推測される。

3・2 沿面放電の進展様相

(1) 正極性沿面放電 図4(a), (b) はそれぞれ、正極

図4 正極性沿面放電の様相 ($V_m = 80 \text{ kV}$)

Fig. 4. Typical aspects of positive creeping discharge.

性沿面放電のバインド線先端と放電先端の代表的様相を示す。同図(a), (b) はそれぞれ、 $T_f = 1.2, 8.0 \mu s$ の場合である。同図(a)では、バインド線先端で電線表面からジャンプする様相が認められる。このような様相は、他の T_f の場合でも確認された。また、同図(b)は、放電先端の様相であり、同図(a)と同様に電線表面からジャンプする様相が認められる。このような様相は、他の T_f の場合でも確認された。前報⁽¹⁰⁾で得られた結果と比較すると、進展様相は、心線電位変動の有無により変化しないことが判明した。これらより、正極性沿面放電は、常に電線表面を細かくジャンプしながら進展し、その様相は心線電位、及び T_f のいずれにも影響を受けないことがわかる。従って、進展長もこれらの影響を受けないものと思われる。

(2) 負極性沿面放電 図5(a), (b) はそれぞれ、負極性沿面放電のバインド線先端と放電先端の代表的様相を示す。同図(a), (b) はそれぞれ $T_f = 1.2, 8.0 \mu s$ の場合である。同図(a)は、バインド線先端の様相であり、電線表面に密着した様相となっている。このような様相は、他の T_f の場合でも確認された。また、同図(b)は、放電先端の様相であり、電線表面に密着した様相となっている。このような様相は、他の T_f の場合でも確認された。これらより、進展様相は、 T_f によって変化しないものと言える。前報⁽¹⁰⁾において、心線電位が変動する場合は、 T_f によって進展長が変化し、それは、進展様相が T_f によって影響を受けるためであることを示した。しかし、心線電位が変動しない場合、図3で見られる進展長の T_f による相違は、進展様相から説明できず、放電先端より放出された電子の加速力の差に依存しているものと推察される(これについては3・4節で考察する)。

前報⁽¹⁰⁾との比較により、 $|V_m| = 80 \text{ kV}$ 、 $T_f = 8.0 \mu s$ の場合、心線電位変動の有無に関わらず、同様の進展様相が認められた。これは、放電進展に及ぼす心線電位の影響が T_f の増大によって減少することを示している。そのため、

図5 負極性沿面放電の様相 ($V_m = -80$ kV)

Fig. 5. Typical aspects of negative creeping discharge.

図6 印加電圧波形と沿面放電電流波形例 (正極性沿面放電, $V_m = 80$ kV)

Fig. 6. Typical wave forms of applied impulse voltage and electric current of positive creeping discharge.

$T_f = 8.0 \mu s$ の場合, 心線電位変動の有無によらず進展長, 進展様相が一致するものと思われる。

3.3 沿面放電平均進展速度と波頭長の関係

(1) 正極性沿面放電 図6(a), (b)は, 正極性沿面放電における印加電圧波形 ($V_m = 80$ kV) と放電電流波形の代表例を示す。同図(a), (b)はそれぞれ, $T_f = 1.2, 6.0 \mu s$ の場合である。図(a)の場合, 電流はバインド線に電圧が印加されるとほぼ同時に流れ始め, $6.3 \mu s$ 後にゼロに戻っている。この時刻は, 放電が進展を停止したことを示している。図(b)の場合も, 電流はバインド線に電圧が印加されるとほぼ同時に流れ始めるが, 放電の停止時刻は $8.8 \mu s$ 後で, 放電進展時間は図(a)の場合より長くなっている。これらの波形より, 正極性沿面放電では, T_f の増加と共に電流の最大値は減少し, 電流流出時間は長くなることがわかる。

(2) 負極性沿面放電 図7(a), (b)は, 負極性沿面放電における印加電圧波形 ($V_m = -80$ kV) と放電電流波形の代表例を示す。同図(a), (b)はそれぞれ $T_f = 1.2, 6.0 \mu s$ の場合である。図(a)の場合, 電流はバインド線に電圧を印加するとほぼ同時に流れ始め, 放電の停止時刻は $4.5 \mu s$ 後である。また, 図(b)の場合も, 電流はバインド線に電圧が印加されるとほぼ同時に流れ始めるが, 放電の停止時刻

図7 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. 7. Typical wave forms of applied impulse voltage and electric current of negative creeping discharge.

図8 印加電圧波頭長と沿面放電平均進展速度の関係

Fig. 8. Relation between mean velocity of creeping discharge and duration of wave front of applied impulse voltage.

は $7.0 \mu s$ 後で, 放電進展時間は図(a)の場合より長くなっている。すなわち, 正極性, 及び負極性沿面放電はいずれも, T_f が長くなれば, 電流の最大値は減少し, 進展に要する時間が長くなる。なお, 放電の平均進展速度 v は, 進展長と進展に要した時間の比によって求められる。

図8は, T_f と v 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る。標準偏差は, 正極性, 負極性沿面放電においてそれぞれ, 約 $6.1 \times 10^3, 1.9 \times 10^4$ m/s である。同図より, 正極性沿面放電の平均進展速度は, T_f の増加と共に徐々に減少することがわかる。これは, T_f の増加によって進展長は変化しないが, 進展に要する時間が長くなるためである。一方, 負極性沿面放電の平均進展速度は, T_f の増加と共に急激に減少する。これは, 前報⁽¹⁰⁾で報告した心線電位が変動する場合と大きく異なる。この平均進展速度の相違が, 心線電位変動の有無における進展長の差となって現れてくるものと思われる。

図9 負極性沿面放電先端の進展モデル

Fig. 9. Models of negative creeping discharge tip.

3・4 負極性沿面放電進展モデルと考察 図9(a), (b)は、負極性沿面放電先端の進展モデルを示す。同図(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放電の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。電子は、放電先端から放出され、放電先端と心線との間の電位差、及び電圧上昇瞬度に依存して電線表面上で加速される。このとき、放電先端において衝突電離が生じ、電子と正イオンが発生する。バインド線が負電位であるため、電子は心線のアース電位に引き付けられて電線表面に吸着される。また、正イオンは、電線表面に吸着された電子に引き付けられ、放電内部で電子と共にプラズマ状態を形成する。このプラズマ部分は導電率が高いため、引き続きバインド線先端から放電先端へと電子が供給され、負極性沿面放電は進展を継続していくことになる。

図(a)のように、 $T_f = 1.2 \mu s$ あるいはこれに近い値の場合、バインド線の電位が急激に上昇するため、放電先端と心線間の電位差も急激に増大する。このとき、放電先端から放出された電子は電線表面で急加速され進展速度は速く

なる。そのため、放電先端で衝突電離が激しく生じ、進展長は長くなるものと思われる。また、図3に示されるように、同一の V_m について進展長を比較すると、 T_f の増加とともに進展長は減少傾向を示す。これは、 T_f の増加に伴って放電先端と心線間の電位差が緩やかに増大するためであると思われる。 $T_f = 8.0 \mu s$ における進展長は、 $T_f = 1.2 \mu s$ の場合より約40%に減少する。これは、図(b)に示されるように、 T_f が $1.2 \mu s$ より十分長くなると、放電先端と心線間の電位変化の影響が顕著に現れるためである。この場合、放電先端から放出された電子の加速力は、 T_f が $1.2 \mu s$ の場合よりも著しく減少する。これにより、放電先端での衝突電離は緩慢になり、発生する正イオン、電子数も減少する。このように、 T_f が長くなれば、放電先端で生じる衝突電離が抑制されるため、進展長は短くなるものと思われる。なお、正極性沿面放電の進展モデルについては、現在検討中であり、今後詳細な報告を予定している。

通常、沿面放電に関する研究は、背後電極を接地した状態で特性を求めたものが多く、背後電極に電圧を印加する場合は少ない。背後電極に電圧を印加した時に発生する沿面放電の問題は、誘電体、及び電極が絶縁電線のような円筒状の場合に重要となる。電極系が円筒状の場合、背後電極に電圧を印加する場合と接地する場合とでは負極性沿面放電の特性が大きく異なる。すなわち、負極性沿面放電は背後電極の電位変動に大きく影響され、進展長、及び進展様相が変化する。そのため、襲雷時に電線表面で発生する沿面放電現象の解析は、心線電位変動を念頭に置いて行うことが重要である。心線電位変動の有無により負極性沿面放電の特性が異なる原因は、心線電位上昇による電線表面電界の増大が進展中の沿面放電に影響を及ぼすためである。これについては、 $T_f = 1.2 \mu s$ の場合について既に報告した⁽⁸⁾。本報告では、 T_f の増加により、負極性沿面放電に与える心線電位変動の影響が減少することが明らかになった。

心線を接地した場合の負極性沿面放電は、同一波高値の印加電圧において、その進展長は波頭長が長くなると共に減少するのに対して、心線に $V_m = 80 \text{ kV}$ の電圧を印加して誘導雷サージの侵入を模擬した場合では、波頭長が長い場合ほど進展長が増加するという相反的現象となる⁽¹⁰⁾。正極性沿面放電は、心線電位、波頭長の変化によって、進展長が変化しないのに対して、負極性沿面放電は、心線電位、波頭長の変化によりその特性が変化するため、進展長の特長が困難である。

配電線の耐雷設計を行う場合、電線のような円筒表面上に発生する沿面放電特性は、心線電位の変動の有無や波頭長の変化などが相乗し、進展長特性が複雑になることを念頭に置く必要がある。このような放電特性の考慮は、電線支持点での絶縁強化対策を構築する上で重要な指標を与えるものと思われる。

4. 結 論

本研究では、前報⁽¹⁰⁾で報告した心線電位と波頭長の変化

が複合的に影響する場合の対比実験として、心線電位の影響を排除して波頭長のみが変化する場合について、進展長、進展様相、及び平均進展速度を測定した。すなわち、絶縁電線の心線を接地しバインド線に波高値、及び波頭長の異なるインパルス電圧を印加することによって、電線表面に発生する正極性、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。その結果、心線電位変動の有無に関して次のような新しい知見を得た。なお、心線電位が変動する場合については、既報⁽¹⁰⁾の結果を再記し、今回の結果と比較して述べる。

(1) 正極性沿面放電

- (a) 放電進展長：心線電位変動の有無に関わらず印加電圧波高値の上昇と共に単調に増加し、波頭長が変化しても影響を受けない。
- (b) 放電進展様相：心線電位変動の有無に関わらず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、波頭長が変化しても影響を受けない。
- (c) 放電の平均進展速度：心線電位変動の有無に関わらず波頭長の変化によって影響される。すなわち、波頭長の増加と共に放電進展時間は長くなり、平均進展速度は減少傾向を示す。

(2) 負極性沿面放電

(a) 放電進展長

- 心線電位が変動しない場合：印加電圧波高値の上昇と共に単調に増加するが、波頭長の増加と共に進展長は抑制される。
- 心線電位が変動する場合：波頭長の増加と共に進展長は増加、減少領域が現れ複雑に変化する⁽¹⁰⁾。波頭長の増加により心線電位変動の影響が減少する。

(b) 放電進展様相

- 心線電位が変動しない場合：波頭長の変化に影響されず、バインド線先端から放電先端まで常に電線表面に密着して進展する。
- 心線電位が変動する場合：波頭長の増加によって進展様相が密着型からジャンプ型へと変化し、それが進展長に影響を及ぼす⁽¹⁰⁾。

(c) 放電の平均進展速度

- 心線電位が変動しない場合：波頭長が $1.2\mu\text{s}$ より十分長くなると、放電進展時間は長くなり、平均進展速度は減少する。この平均進展速度の減少が放電先端での衝突電離を抑制し、進展長を減少させる原因となる。
- 心線電位が変動する場合：波頭長が変化しても平均進展速度には明確な影響は現れない⁽¹⁰⁾。

(3) 誘導雷サージが電線の心線に侵入することによって発生する負極性沿面放電の進展長特性は、模擬的に心線を接地した場合の特性とは異なることがわかった。耐雷設計を行う際には、この特性の相違を念頭に置くことが重要

である。

(平成17年2月4日受付、平成17年5月30日再受付)

文 献

- (1) 電気協同研究会：「配電線雷害対策」，電気協同研究，Vol.40，No.6 (1985)
- (2) T. Takahashi, T. Kaneda, and Y. Suginuma: "Propagation of the Surface Streamers on an Insulated Fine Wire", *T. IEE Japan*, Vol.113-A, No.7, pp.503-510 (1993-7) (in Japanese)
高橋 勉・金田輝男・杉沼義隆：「絶縁細線上の沿面ストリーマの進展」，電学論 A, **113**, 7, pp.503-510 (1993-7)
- (3) K. Ohga and S. Sumida: "Behavior of Creeping Discharge (III). Method of getting successive sparks along a given path", Laboratory of Physics, Faculty of Liberal Arts and Education, Miyazaki University, No.14, pp.1-8 (1962) (in Japanese)
大賀健太郎・角田三郎：「衝撃電圧による沿面放電の性状(第三報)」，宮崎大学芸学部紀要，No.14, pp.1-8 (1962)
- (4) 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)
- (5) 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)
- (6) T. Nishi, R. Hanaoka, R. Ishibashi, and T. Korin: "Impulse Creeping Discharge Phenomena at Insulator Supporting Points of Aerial Insulated Wires", CEIDP, Annual Report, pp.586-591 (1993)
- (7) 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・石橋錦造：「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)
- (8) 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)
- (9) 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)
- (10) T. Nishi, R. Hanaoka S. Takata, and T. Miyamoto: "Influence of Duration of Wave Front of Impulse Voltage on Creeping Discharges along Aerial Insulated Wire", *IEEE Trans. PE*, Vol.123, No.1, pp.83-89 (2003-1) (in Japanese)
西 敏行・花岡良一・高田新三・宮本紀男：「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」，電学論 B, **123**, 1, pp.83-89 (2003-1)

西 敏 行 (正員) 1959年3月8日生。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。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。静電気学会，IEEE 会員。

高田 新三（正員）1945年5月18日生。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，応用物理学会，電気化学会，American Vacuum Society 会員。

宮本 紀男（正員）1937年2月11日生。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。