

# 桜島火山降灰の配電線路への影響

川畑 秋馬・入佐 俊幸・上妻 生朗  
(受理 平成6年5月31日)

## Influence of Volcanic Ash Fall from Mt. Sakurajima on Distribution Lines

Shuma KAWABATA, Toshiyuki IRISA and Ikuro KOUZUMA

Distribution line difficulties have occurred in the areas having heavy ash fall. We investigate how distribution line difficulties depend on an increase of the leakage current of the insulators caused by the volcanic ash fall. Methods for eliminating these problems are examined. The results of this inquiry are summarized as follows.

- (1) When the volcanic ash accumulates in the ribs within the insulators and becomes wet by rain, such as drizzle, the leakage current increases owing to the weakening of the insulator resistance of the insulator, besides involving the generation of a corona. Fluctuations of the leakage current also become larger.
- (2) The volcanic ash fall increases the leakage current in the case of the strain insulator, the high voltage cut-out base and the arrester but little leakage occurs in the case of the pin insulator.
- (3) A combination of the strain insulator with the anti-pollution insulator restrains the generation of a corona, even if the insulators are polluted by the volcanic ash fall. This combination enables us to limit the fluctuations of the zero-phase-sequence voltage and to diminish the service interruption problems caused by the operation of the circuit breaker.
- (4) The observation of a corona makes us presuppose that the potential gradient in the ribs of the strain insulator is large. Accordingly, it follows that in order to decrease leakage currents, the strain insulator should be lengthened in the inner-cylinder within the insulator, as well as in the anti-pollution insulator.
- (5) For contamination countermeasures, it is necessary to take into account not only the electric conductivity and the quantity of the volcanic ash but also their viscosity.

### 1. まえがき

火山降灰地域ではこれまでに、零相電圧の異常上昇による停電事故やクランプカバーの焼損等、降灰が原因と思われる配電線路事故が発生している。配電線路の構成要素であるがいしやアレスタなどの汚損状態は、それらの取り付け状態及び風向きや地形など、それらが設置された場所の自然環境によりかなり異なる。また火山灰の性質も各火山の火山灰ごとに異なる。よっ

て電力システムの信頼性を向上させるためには、火山灰によるがいしなどの配電線路の構成要素の汚損状態と配電線路事故との関連を把握することが重要である。ところが、塩害や雪、台風などによるがいし汚損に関しては調査研究が精力的に行われてきているが<sup>1-5)</sup>、火山灰によるがいし汚損に関する研究は、ほとんど行われていない。

本論文では、火山降灰による配電線路事故を減少させることを目的として、火山降灰による配電線路の漏

れ電流の増大と事故との関連を実験的に調べ、事故軽減のための対策について検討する。そのために

- (1) 火山灰の比電導度及び降灰量の漏れ電流特性への影響
- (2) 火山降灰の高圧耐張がいし、高圧中実ピンがいし、高圧カットアウト、アレスタなどの配電線路の構成要素への影響
- (3) 火山灰汚損耐張がいしのコロナ発生と漏れ電流特性との関連

について、桜島火山灰を用いた汚損試験により調べた。

## 2. 実験装置とがいしの人工汚損方法

### 〈2・1〉 実験装置

図1に実験装置の概略を示す。単相200Vの電圧を誘導電圧調整器を通して試験用変圧器で昇圧し、供試がいしに印加する。供試がいしは屋外に設置された2本の電柱間に張られた耐圧試験用裸アルミ線に取り付けてある。供試がいしの印加電圧は試験用変圧器の3次電圧より測定し、漏れ電流は変流器により測定した。印加電圧を0～7kVまで変化させた場合と、 $6600/\sqrt{3}$  Vの一定電圧を印加した場合について汚損がいしの漏れ電流特性を測定した。

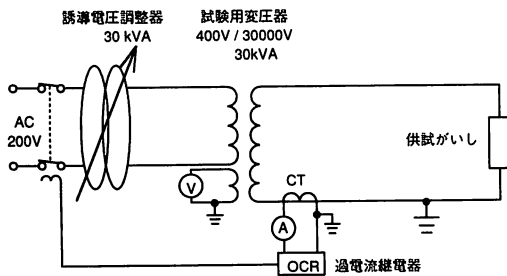
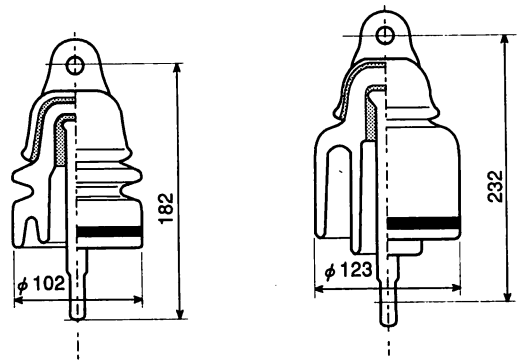


図1 実験装置の概略

### 〈2・2〉 供試がいし

供試がいしとして、図2に示す高圧耐張がいしと高圧耐塩耐張がいしを使用した。また、長期間火山灰にさらされたがいしの耐汚損特性を調べるために、桜島南岳の西北西約3 km地点で約8年間使用されたがいしを暴露がいしとして使用した。

がいしの取り付け方向はがいしのキャップ側を接地する方向を順方向とする。(キャップ側に加電する方向を逆方向と呼ぶことにする。ただし、特に断らない限り、電圧の印加方向は順方向とする。) また、通常



a. 高圧耐張がいし

b. 高圧耐塩耐張がいし

図2 供試がいし

がいしの取り付け角度 $\theta$ は下向きであるが、山間部等の上り勾配の斜面では上向きとなる。また、下向きの場合、灰や雨ががいし下面のひだ部に入ることが少ないが、横風や下から吹き上げてくる風の場合にはその内側に入ることも考えられる。以上より、がいしの取り付け角度を通常の下向きから苛酷な条件を想定した上向きまで変えて実験した。

### 〈2・3〉 がいしの人工汚損方法

あらかじめがいしに灰が付着しやすいように水道水を噴霧し、これに $250 \mu\text{m}$ の篩を通して灰を付着させた。降灰量は実際に配電線路事故が発生したときの降灰量に相当する約 $1.2 \text{ kg/m}^2$ とした。この後、噴霧器を用いて水道水を噴霧しながら電圧を印加した。噴霧量は雨量に換算して約 $10 \text{ mm/時間}$ である。火山灰は主に桜島火山灰を使用し、比較のために雲仙火山灰も用いた。火山灰のみ、噴霧のみ、火山灰も噴霧もない清浄の場合についても実験した。

## 3. 比電導度及び降灰量の漏れ電流特性への影響

### 〈3・1〉 各火山灰の成分及び電気的特性

桜島、雲仙普賢岳の火山灰の成分及び各火山灰の比電導度やイオン成分、粘度、pH測定結果を表1に示

表1 各火山灰の成分及び電気的特性

	比電導度 [ $\mu\text{S/cm}$ ]	イオン成分 [ppm]				粘度 [ $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ]	PH	成分 [%]					
		$\text{SO}_4^{2-}$	比	Cl	比			$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SO}_3$	Cl	その他	
桜島	300	1	175	1	48	1	1900	6.0	56.9	16.7	1.3	0.53	24.6
雲仙	60	0.2	18	0.1	16	0.3	3000	6.5	63.8	15.6	0.14	0.03	20.4

\*火山灰：蒸留水=300g:150ml (蒸留水の粘度は $1.0 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ )

なお、ここで示す比電導度は灰：蒸留水=10g：200mlの割合のときの値である。火山灰の比電導度は $SO_4^{2-}$ イオンや $Cl^-$ イオンの量に比例していることがわかった。また同じ火山の火山灰でも、爆発の状態や採取地点などにより比電導度は異なる値を示した。採取した火山灰の比電導度は桜島火山灰で約150~500 $\mu S/cm$ 、雲仙火山灰で約30~80 $\mu S/cm$ であった。表1に示した比電導度の値は各火山灰の平均的な値となっている。

図3に火山灰濃度と比電導度の関係を示す。ここでは最近採取できた降灰直後の雲仙火山灰(比電導度=480 $\mu S/cm$ )と桜島火山灰で最も比電導度が高かった火山灰(比電導度=1000 $\mu S/cm$ )についても測定した。比較のために、海水、水道水、蒸留水の比電導度も合わせて示してある。これにより湿潤の仕方によっては、比電導度は海水に近い値にまで上昇することがわかった。

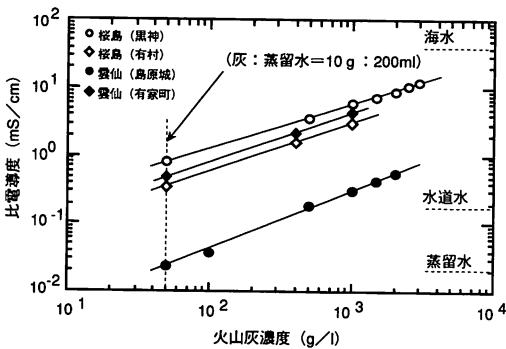


図3 火山灰濃度と比電導度の関係

〈3・2〉比電導度の影響

火山灰の比電導度の違いによる高圧耐張がいしの漏れ電流特性への影響を調べた。取り付け角度は上向きの $\theta = 15^\circ$ とした。桜島火山灰及び雲仙火山灰についての結果を図4に示す。各火山灰とも、漏れ電流の最大値は比電導度の値にほぼ比例して増大した。また、桜島火山灰では印加電圧とともに漏れ電流値は増加していくのに対し、雲仙火山灰では3kV付近でピークを迎えその後横ばいもしくは減少する特性を示した。図5は比電導度が同程度の桜島と雲仙の火山灰を用いた、6600/ $\sqrt{3}$ Vの一定電圧下での漏れ電流の時間変化を示したものである。これより雲仙火山灰の方が桜島火山灰より漏れ電流の減衰する割合が遅くなってい

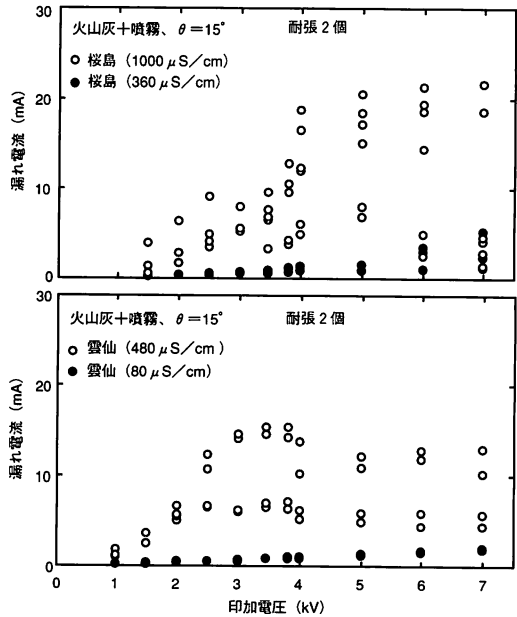


図4 比電導度の漏れ電流特性への影響

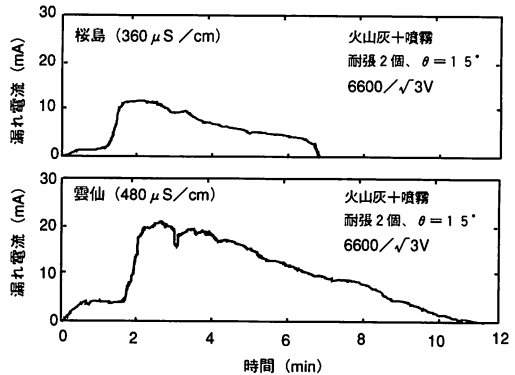


図5 火山灰の種類による漏れ電流特性への影響

ることがわかる。これは、表1に示すように雲仙火山灰の粘性が高いので、がいし表面から火山灰が流れ落ち難くなっていることによると考えられる。

〈3・3〉降灰量の影響

図6は降灰量を変えたときの漏れ電流のピーク値を示したものである。このときの印加電圧は最大7kVである。降灰は0.15~2.4 $kg/m^2$ とした。これより降灰量が約0.3 $kg/m^2$ から漏れ電流は増大し始めていることがわかる。降灰量0.3 $kg/m^2$ 以下では、噴霧によ

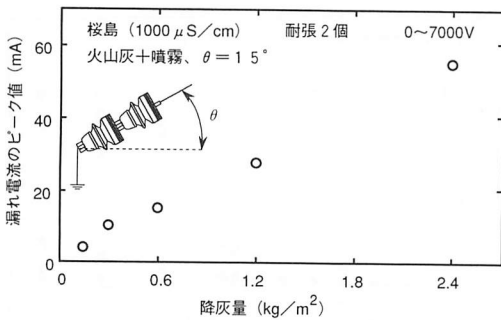


図6 降水量の漏れ電流特性への影響

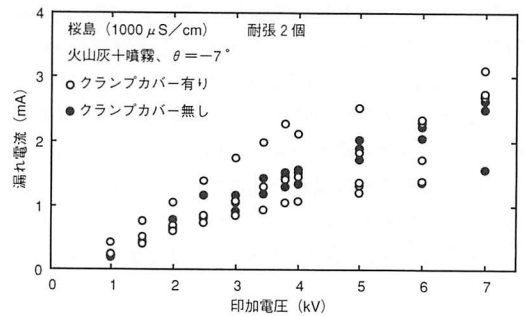


図7 クランプカバーの有無による漏れ電流特性の変化

り火山灰が流れ落ちてしまい、大きな漏れ電流の増加にはつながらなかったと考えられる。なお、鹿児島市内の平年の月平均降水量は約  $0.2 \text{ kg/m}^2$  である<sup>6)</sup>。

#### 4. 火山降灰の配電線路への影響

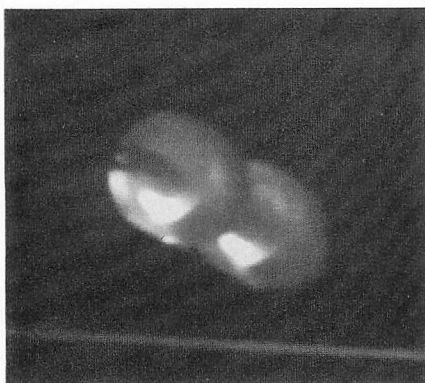
##### 〈4・1〉クランプカバーの有無による高圧耐張がいしの漏れ電流特性

クランプカバーの焼損の原因を調べるために、クランプカバーの有無による汚損時の漏れ電流特性を調べた。この試験では、実際の配電線路に取り付けられている2個連の高圧耐張がいしを用いた。このときの、がいしの取り付け角度は下向き  $\theta = -7^\circ$  である。図7はクランプカバーが有る場合と無い場合での漏れ電流特性の違いを示したものである。クランプカバーが無い場合は、漏れ電流は小さく、変動もほとんどなかつ

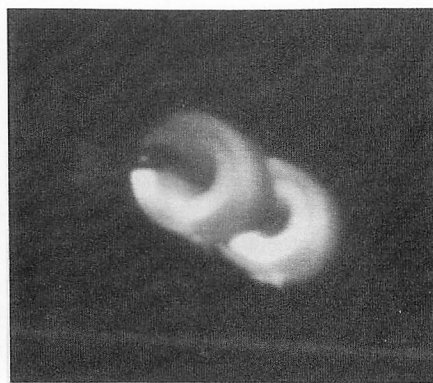
た。これに対しクランプカバーが有る場合は、漏れ電流はやや増大し、変動も大きくなった。これは、クランプカバーを取り付けることにより、がいしのひだの部分にクランプカバーが入り込み、がいしの沿面距離が短くなったことによると考えられる。

##### 〈4・2〉がいし表面の温度分布

$6600/\sqrt{3} \text{ V}$  の一定電圧下におけるがいしの温度分布を調べるために、その表面をサーモグラフィによって観測した。図8は  $\theta = 15^\circ$  における汚損時の高圧耐張がいしと暴露高圧耐張がいしの表面の温度分布を示したものである。噴霧を開始すると、漏れ電流の増加に伴いがいし表面の温度が、がいしのひだの部分から徐々に上昇し、高温部が外側へと広がっていく様子が観測された。これは、ひだの部分に溜まった火山灰と雨水によって電流が流れやすくなり、コロナの発生によつ



耐張がいし2個 (灰+噴霧,  $\theta = 15^\circ$ )



暴露耐張がいし2個 (灰+噴霧,  $\theta = 15^\circ$ )

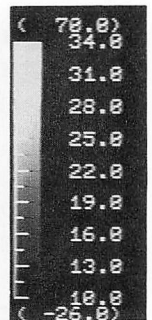


図8 がいし表面の温度分布

て温度が上昇したためと考えられる。また、暴露高圧耐張がいしは、高圧耐張がいしよりも高温部が広いことが観測された。これは、暴露高圧耐張がいしでは、長期間にわたる降灰、風雨のためにその表面が浸食され、火山灰が流れ落ち難くなっているためと考えられる。高圧耐張がいしと暴露高圧耐張がいしの最高温度は、ともに約 70℃に達した。

このように、降灰、降雨によってがいしが汚損されるとがいしのひだの部分から温度が上昇した。クランプカバーがある場合は、熱がその内部にこもり温度はさらに上昇することが予想され、またクランプカバーを取り付けたほうが漏れ電流が増大し変動することから、漏れ電流が増大するような悪条件が重なった場合にクランプカバーの焼損に至ると推測される。

#### 〈4・3〉がいしの取り付け方向による高圧耐張がいしの漏れ電流特性

図9は高圧耐張がいし2個連について、がいし取り付け方向を順方向と逆方向にした場合の漏れ電流特性を比較したものである。取り付け方向を逆方向にすると、がいし内側のひだ部分が火山灰により汚損され難くできるため、漏れ電流を低い値に抑えられた。

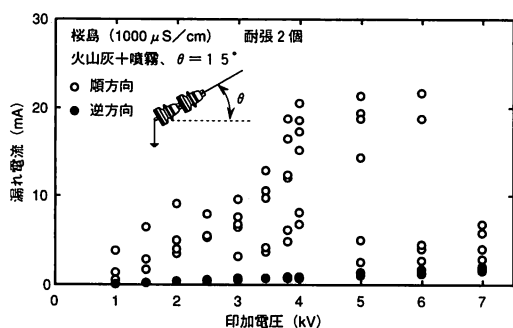


図9 がいしの取り付け方向による漏れ電流特性の変化

#### 〈4・4〉高圧カットアウト及びアレスタの漏れ電流特性

火山灰で汚損した高圧カットアウト及びアレスタ印加電圧に対する漏れ電流を測定した。実験に用いた高圧カットアウト・アレスタは桜島で約8年間暴露されてきたものである。6600/√3Vの一定電圧下において、漏れ電流は清浄時で高圧カットアウト・アレスタともに約1mAであった。これに対し火山灰で汚損した場合には、高圧カットアウトで約10mA、アレスタ

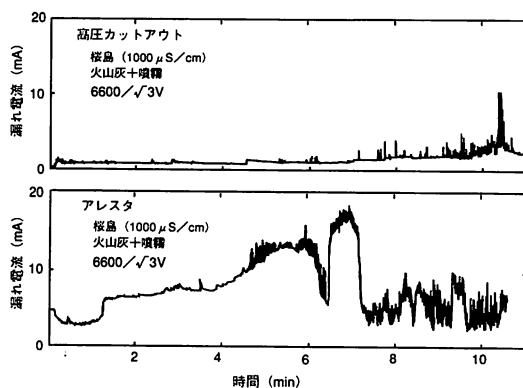


図10 高圧カットアウト及びアレスタの漏れ電流特性の一例

では約20mAと、漏れ電流は1桁以上増大しコロナも発生した。このときの高圧カットアウト及びアレスタの漏れ電流の時間変化を図10に示した。汚損状態によらず、ほとんど漏れ電流の増加しなかった高圧中実ピンがいしに対し、高圧カットアウトおよびアレスタは、この中実ピンがいしと同様にその内側が火山灰で汚損され難い構造であるにもかかわらず、漏れ電流は増大し、激しく変動した。

## 5. コロナ発生と漏れ電流特性の関連

### 〈5・1〉取り付け角度に対するコロナ発生電圧

コロナの発生により漏れ電流の変動が激しくなることから、ここではコロナ発生と漏れ電流特性の関連について詳しく調べた。図11は高圧耐張がいし2個連でのがいしの取り付け角度に対するコロナ発生電圧を

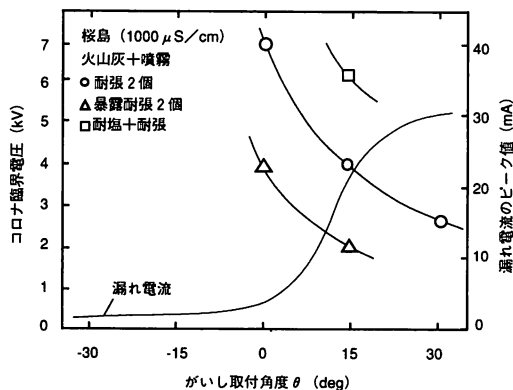


図11 コロナ発生電圧のがいしの取り付け角度依存性

示したものである。下向きの場合には漏れ電流が小さいため、印加電圧が7kV迄ではコロナは観測されなかった。上向きの角度が大きくなると、漏れ電流が増大するためコロナ発生電圧も低下した。暴露がいしにおいては、がいし表面の火山灰による浸食により、非暴露がいしより漏れ電流が大きいため、コロナ発生電圧も非暴露より低い値を示した。また、耐張がいしの1個を耐塩がいしに置き換えると漏れ電流値が小さくなり、そのため6kV付近までコロナは発生しなかった。

図12に高压耐張がいしにおけるコロナの発生箇所を示す。コロナは主がいしのキャップ付近と火山灰や水の溜まりやすい内側のひだ部分で発生した。

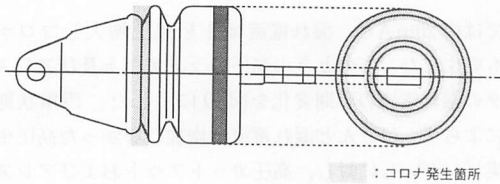


図12 コロナの発生箇所

#### 〈5・2〉コロナ発生時の漏れ電流波形

図13は印加電圧と漏れ電流の関係を示したものである。清浄図は図13(a)のように電流は電圧に対し進み電流となるが、火山灰により汚損させると電流と電圧はほぼ同相となり、コロナ発生時には図13(b)のように歪み波形となった。図14は暴露がいしの取り付け角度 $\theta = 15^\circ$ に対するがいしの漏れ電流、有効電力、力率を示したものである。6600/ $\sqrt{3}$ Vの一定電圧印加時におけるそれぞれの時間変化を示しており、力率はほぼ1である。

暴露高压耐張がいし2個速では噴霧を開始すると急激に漏れ電流は増大し、ピーク値に達した後も電流はしばらく減衰しなかった。暴露がいしの漏れ電流はがいし表面の浸食により、非暴露がいしの漏れ電流より増大し、また変動の振幅も大きくその時間も長くなった。

#### 〈5・3〉コロナ発生とがいしの連結長の関係

図15は高压耐張がいし1個と2個の印加電圧に対する漏れ電流特性を示したものである。汚損時の漏れ電流は、コロナ発生時において一旦乾燥のため減少するが、再び湿潤すると増大し、乾燥と湿潤を繰り返しながら変動することがわかった。6600/ $\sqrt{3}$ Vの一定電圧

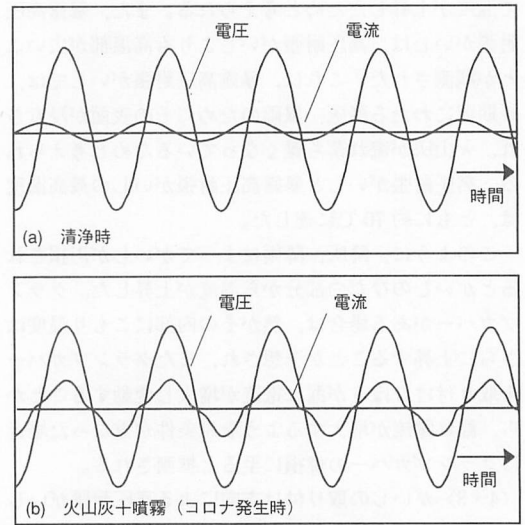


図13 がいしの印加電圧と漏れ電流の関係

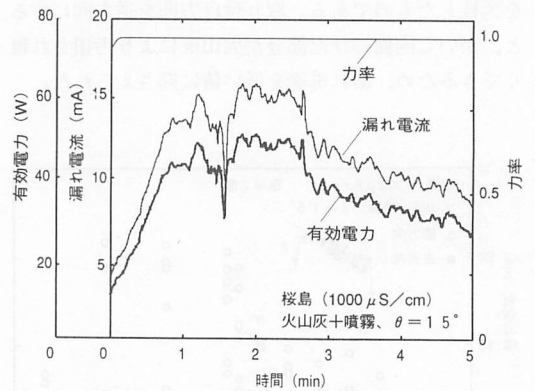


図14 暴露がいしの漏れ電流、有効電力、力率

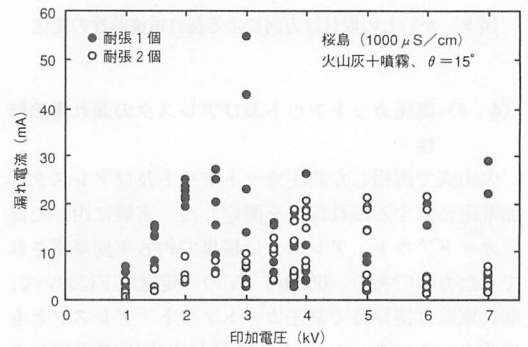


図15 耐張がいしの漏れ電流特性

下での漏れ電流の時間変化を図16に示す。耐張がいし1個では、噴霧開始直後からコロナが発生するため、電流値はそれほど大きくならない。しばらく激しい変動が続くが、火山灰が流れ落ちてその量が減少するとコロナが消失し、湿潤により漏れ電流が増大する。このときコロナは発生していないためにその変動は小さくなっている。耐張がいし2個連はこの電圧ではコロナの発生頻度が低かったので、降灰量を通常試験の3倍としたときの結果を図16には示してある。

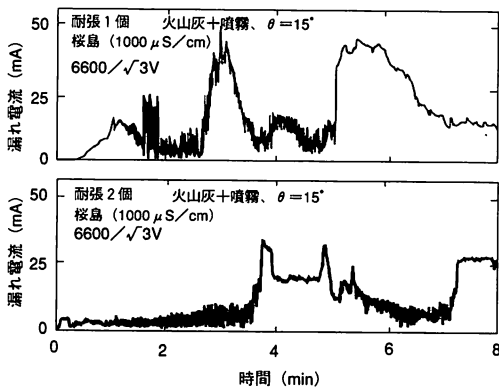


図16 漏れ電流の時間変化の一例

## 6. あとがき

火山降灰による配電線路事故を減少させることを目的として、火山降灰による人工汚損試験を行い漏れ電流の増大と配電線路事故との関連について調べ、事故軽減のための対策について検討した。その結果を要約すると以下の通りである。

- (1) がいし内側のひだ部分に火山灰が溜り小雨などにより湿潤すると、がいしの絶縁抵抗が低下し漏れ電流が増大する。さらにコロナの発生を伴い、その変動も大きくなる。
- (2) 火山降灰により耐張がいしの漏れ電流は増大するが、中実ピンがいしの漏れ電流はほとんど増加しない。また高圧カットアウトやアレスタも火山灰により漏れ電流は増大する。
- (3) 配電線路において、高圧耐張がいしに耐塩耐張がいしを組合せて使用することにより、火山灰汚損時でもコロナの発生を抑えられるので、零相

電圧の変動を小さくでき、遮断器の動作による停電事故を軽減できる。

- (4) 山間部など、配電線路が上り勾配になる場合には、がいしの取り付けを逆方向とすることにより、火山灰や雨水ががいしの内側に溜まることのないので、漏れ電流を小さくできる。
- (5) コロナ観測から、がいし内側ひだ部分の電位傾度が高いことが予測される。よって、耐塩耐張がいしと同様に、高圧耐張がいしの内側の内筒長を長くして沿面距離を増加させると、漏れ電流は減少し変動も小さくなると考えられる。
- (6) 火山灰による汚損対策は、火山灰の比電導度や降灰量だけでなく、その粘性も考慮に入れて行う必要がある。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、実験機材の提供を始め多大のご支援を頂いた九州電力株式会社の関係各位に感謝します。また本研究に有益なご助言を賜った本学元教授山口純一氏、同助教授前田純雄氏並びに実験に協力頂いた松山幹男技官に感謝致します。なお、本研究の一部は文部省科学研究費（一般研究C）によったことを記し、謝意を表します。

## 参考文献

- (1) 碍子汚損特性影響要因調査専門委員会：「がいし類の汚損特性に関する現状技術の調査」、電気学会技術報告、(II部)第450号(1993)
- (2) 川崎憲介・松延多喜之助・関谷昌之：「気象データを用いた汚損がいしの等価塩分付着密度の推定」、電学論B, 101, 241-246(1981)
- (3) 高須和彦・松田久一：「交流送電線における冠雪がいしの耐電圧特性」、電学論B, 110, 404-412(1990)
- (4) 高須和彦・今野良雄：「汚損・雪に対する直流耐電圧特性」、電学論B, 112, 42-48(1992)
- (5) 山崎隆・瀧野陽一・松岡良輔・伊藤進：「交直変換所交流側がいしの短時間過電圧に対する汚損特性の研究」、電学論B, 112, 787-794(1992)
- (6) 中健介・大木章・前田滋：「鹿児島の大気汚染調査(第6報)」, 鹿児島大学工学部研究報告, 35, 29-37(1993)