汚損がいしのフラッシュオーバー電圧の気温依存性

正員 加賀 昭 夫 (秋田大)

正員 佐藤 正 志 (秋田大)

正員 赤 上 陽出男 (秋田大)

1. ま え が き

日本海沿岸地域の送変電施設のフラッシュオーバー事故率は、冬季の方が他季に比べて著しく大きくなっている⁽¹⁾。これは季節風に伴う塩害によるものと思われ、低気温時における汚損がいしのフラッシュオーバー現象を解明する必要がある。従来、汚損がいしのフラッシュオーバーに関しては、実験的並びに理論的な多くの研究が報告されている。しかしながら、汚損がいしのフラッシュオーバー電圧の気温依存性に関する報告はほとんど見あたらない。

本研究は、汚損がいしのフラッシュオーバー電圧の気温依存性⁽²⁾について、特に凍結時を含めた低気温時に重点をおいて実験的に検討を行なったものである。ここで得られた結果については、調査協同研究や中島氏によって報告されている汚損がいしの最低フラッシュオーバー電圧に関する実験式⁽³⁾に対比して検討を行なった。その結果、本実験で得られたフラッシュオーバー電圧の最低値は気温の低下に伴って低くなり、更に凍結することによって逆に上昇することが明らかになった。ここでは凍結しない状態における汚損がいしのフラッシュオーバー電圧の最低値の気温依存性を実験式として表わした。

さて、汚損がいしのフラッシュオーバー電圧は、フラッシュオーバー移行する瞬時の局部アークの電圧・電流特性に大きく依存する⁽⁸⁾。従ってフラッシュオーバー電圧の気温依存性を解明するには、局部アーク電圧の気温依存性を明らかにする必要がある。しかし、局部アーク

電圧を直接求めることは至難のことである。このためここでは、モデル実験として汚損面上に発生させたアークのアーク電圧⁽⁴⁾⁽⁸⁾について検討を行なった。またそのアーク電圧は、汚損面より飛散する Na 原子のアークコラム中における挙動に関係するものとして解析を行なった⁽⁵⁾。その結果、実験および解析結果いずれの場合もアーク電圧は気温に依存し、その気温依存係数は前述のフラッシュオーバー電圧のそれによく一致することがわかった⁽⁶⁾⁽⁸⁾。すなわち、汚損がいしのフラッシュオーバー電圧に気温依存性が現われることは、局部アークによって飛散・蒸発した汚損因子である Na 原子の拡散の難易によるものと推測した。

2. フラッシュオーバー電圧の気温依存性

〈2・1〉 実験方法 実験回路の概要を第1図に示した。試験用変圧器の容量は60kVAで、百分率インピーダンス電圧は4.98%である。この変圧器の高電圧側より、フラッシュオーバー後の電流制限抵抗1.7kΩを通じ、鉄構に懸垂づりにしたがいしに電圧を印加した。電圧の上昇速度は、25kVAの誘導電圧調整器によって、約3kV/sとした。フラッシュオーバー電圧(以下FOVと略す)は、試験用変圧器の三次巻線に接続したペン書きオシログラフによって、フラッシュオーバー直前の値をもって表わした。

実験は C-3810 標準懸垂がいし (250 S), LC-8007

第1図 試験主要回路

Fig. 1. Schematic diagram of test circuit.

Temperature Characteristics of Flashover Voltages on Polluted Insulators. By Akio Kaga, Member, Masashi Sato, Member & Hideo Akagami, Member (Mining College, Akita University).

加賀昭夫: 正員, 秋田大学鉱山学部

佐藤正志: 正員, 秋田大学鉱山学部

赤上陽出男: 正員, 秋田大学鉱山学部

第 2 図 供試がいし類

Fig. 2. Insulators used in the experiments.

長幹がいし (3 A) および C-3817 耐霧がいし (250 F) の三種類について行なった。それぞれの概要を第 2 図および第 1 表に示している。それぞれのがいしを 250 S, 3 A および 250 F と略記する。3 A は 1 個づりで、他の二者は 3 個連づりである。FOV は実測値の 1/3 値をもって表わしている。実験は、日射を避けて曇天時および夜間に屋外において行なった。がいしの汚損方法は等価霧中法⁽³⁾に準じ、汚損液をがいし表面に充満するまでスプレーして 5 分間放置後に電圧を印加した。汚損液は非溶解性固形分としてカオリンを用い、1 ℓ の脱塩水に 40 g のカオリンを懸濁し、これに所要の食塩を溶解した。この場合の非溶解性固形分付着密度 K は 250 S で 0.107 mg/cm^2 である。ほかのがいし類においてもほぼ同様であった。

食塩を 60 g 加えた場合の塩分 (NaCl) 付着密度 w (mg/cm^2) と気温 t ($^{\circ}\text{C}$) との関係を第 3 図に示した。すなわち、気温 t が $-4 \sim +22^{\circ}\text{C}$ の範囲においては、気温 t による w の差は小さい。この程度の w の差では FOV に及ぼす影響は無視できる。従って、汚損液スプレー後、汚損液ががいし表面で凍結しない状態では w は一定であるとして結果を整理した。第 3 図の結果を気温に関係なく扱うと、平均値 m は 0.160 mg/cm^2 、標準偏差 σ は 0.021 mg/cm^2 で変動係数 0.13 である。この σ/m の値は霧中法に準じたスプレー法による塩分付着密度のばらつきとしては、妥当な値⁽³⁾とみることができる。また、凍結時の実験においては、汚損液をスプレー後、汚損液が 5 分以内に凍結

第 3 図 標準懸垂がいしの塩分付着密度と気温との関係

Fig. 3. Relation between salt deposit density and temperatures on standard suspension insulators.

第 1 表 がいし類の諸元

Table 1. Dimensions of insulators used.

	JIS 規格 がいし記 号	表面漏れ 距離 (cm)	表面積 (cm^2)		乾燥フラ ッシュオ ーバ電圧 (kV)	注水フラ ッシュオ ーバ電圧 (kV)	50%衝撃フ ラッシュオ ーバ電圧 (kV)
			上面	下面			
標準懸垂 がいし	C-3810	28	550	850	80	50	正波 125 負波 130
長幹がい し	LC-8007	74	2,660		150	95	240
耐霧がい し	C-3817	43	900	1,420	100	60	正波 150 負波 160

第 2 表 各塩分付着密度における相関係数

Table 2. Coefficients of correlation with salt deposit densities on insulators.

塩分付着密度 w (mg/cm^2)	250 S	3 A	250 F
0.267	0.58	0.86	0.39
0.213	0.58	0.70	0.53
0.160	0.67	0.55	0.65
0.107	0.84	0.75	0.73
0.053	0.80	0.81	0.64
0.027	0.80	0.57	0.88

し w が所定の値より大きくならないように特に配慮した。

〈2・2〉 標準懸垂がいし 第 4 図に 250 S における FOV とそれが得られた時点の気温 t との関係を示した。これは w が 0.053 および 0.267 mg/cm^2 の全測定結果である。得られた測定中の低い値に注目すると、FOV は気温の低下に伴って低くなる傾向にあることがわかる。他の w についても同様な傾向が表われ、第 2 表にこれらの FOV と気温との相関係数を示した。 $w=0.267 \text{ mg/cm}^2$ において低く現われた FOV を気温に対して示したのが第 4 図の実線である。

電気協同研究⁽⁷⁾によると、250 S 1 個あたりの最低 FOV V_w は、次式のような実験式で表わされている。

$$V_w = \left(\frac{0.1}{w} \right)^{1/5} \frac{28}{K^{1/3} + 2} \eta \dots\dots\dots (1)$$

第 4 図 標準懸垂がいしのフラッシュオーバー電圧と気温との関係

Fig. 4. Relation between flashover voltages and temperatures on standard suspension insulators.

ここで、がいしの連結個数 N が 8 より小さい場合、連能率 η は次式のように表わされている。

$$\eta = \frac{K^{1/3} + 2}{\frac{1}{\alpha}(K^{1/3} + 2) + \frac{N-1}{7} \cdot \frac{5}{8} K} \dots\dots\dots (2)$$

α はがいしの連結数によって変る値である。ここでは実験結果の検討のよりどころとして(1), (2)式を用いる。 $N=3$ であるので α を 0.84 とした。また、非溶解性固形分付着密度 K は、本実験においてすべて 0.107 mg/cm^2 である。いま(1), (2)式より $w = 0.267 \text{ mg/cm}^2$ における最低 FOV V_{267} を計算すると、7.76 kV になる。この値は、第4図の実線上の気温がほぼ 20°C に対応する値に一致する。そこで(1)および(2)式より得られる最低 FOV V_w を $t=20^\circ\text{C}$ における値として t に対して一般化すると、 $V_w(t)$ は次式のように表わされる。

$$V_w(t) = (0.78 + 0.011 t) V_w \dots\dots\dots (3)$$

第4図および第5図における各直線は、この(3)式より求めたものである。第5図の測点は、各々の w において得られた最低に近い値のみを示したものである。すなわち、これらの各直線は測点の最低値とよく一致している。本実験における 250 S の連結数 N は少なく、結果は $N=3$ における場合にすぎないが、従来より報告されている(1)式を $t=20^\circ\text{C}$ におけるものとする、最低 FOV の気温依存性は(3)式のように表わし得る。式中の 0.011 は最低 FOV の気温依存係数 β に対応し、 20°C を基準とすると 1°C あたり 1.1% 変化することが明らかとなった。

さて、冬季の季節風時の汚損がよいは、着雪のみならず気温の低下によって汚損面が凍結することがある。第6図にこのような凍結時における FOV と気温 t との関係を示した。凍結時における最低 FOV は気温の低下に伴い高くなる傾向にある。図中の実線は FOV の最低値と思われる測点を結んだものである。また破線は(3)式によって得られる気温特性を示している。両直線の交点にあたる気温は汚損液膜の凍結温度近傍にある。○印の測点は汚損膜の局部が未凍結状態のものであり、その値は低く現われている。

凍結汚損がよいの FOV と塩分付着密度 w との関係を示した。これはこれまで述べた実験方法とは異なり、がいしを前夜汚損し翌朝定電圧上昇法によって求めたものである。電圧はフラッシュオーバーに至るまで 30 秒ごとに 5 kV ずつ階段的に昇圧した。図中の添数字は測点が得られた時点の気温を示し、●印の測点は実験時に日射を受けている場合の結果である。実線は(1), (2)式による最低 FOV 曲線であり、

第5図 標準懸垂がいしのフラッシュオーバー電圧と気温との関係

Fig. 5. Relation between flashover voltages and temperatures on standard suspension insulators.

第6図 汚損膜凍結のフラッシュオーバー電圧 (250 S がよい)

Fig. 6. Relation between flashover voltages and temperatures on 250 S insulator with freezed pollution layer.

第7図 汚損膜凍結時のがいしのフラッシュオーバー電圧と塩分付着密度との関係 (250 S)

Fig. 7. Relation between flashover voltages and salt deposit density on 250 S insulators with freezed pollution layer.

破線はその 75% に対応する曲線である。すなわち、凍結時には同一の w においても気温が高くなるに伴って FOV が低くなる傾向を示している。しかし気温が低くても日射を受けているがいしの FOV は(1), (2)式による値の 75% 近くまで低下することがあり

得ることがわかった。

一般に、凍結時におけるフラッシュオーバー過程は汚損膜が融解し、局部アークを含む漏れ電流によって乾燥帯を形成してフラッシュオーバーへと進展する。従って、電圧の上昇過程で凍結汚損膜が速やかに融解するほど FOV は低下することになる。

〈2.3〉 長幹がいし 3A の FOV と気温 t との関係を図 8 に示した。これは塩分付着密度 w が 0.027 および 0.267 mg/cm² の結果である。最低に近い FOV は気温の低下に伴って低くなっていく。第 2 表に各 w における FOV と気温との相関係数を示した。250 S の場合と同様に $w=0.267$ mg/cm² において低く現われた FOV を気温に対して示したのが第 8 図の実線 A である。この場合も $t=20^{\circ}\text{C}$ を基準にすると (3) 式と同じ気温係数となる。ここでも検討のよりどころとして電気協同研究⁽⁷⁾の報告を参考にする。それによれば 3A 1 個あたりの最低 FOV V_w は次式のように表わされる。

$$V_w = \left[0.47 - \frac{1.04}{\log\left(\frac{0.1}{w}\right) - 1.97} \right] \times \left[\frac{74}{1.5K^{1/3} + 1.25K + \left(4.3 - \frac{17}{N+1}\right)} \right] \quad (4)$$

ここで N はかさ数であり、本実験で用いた 3A においては $N=7$ である。また、74 は表面漏れ距離 (cm) を表わしている。そこで (4) 式の V_w の $1/3$ 値を (3) 式に代入して w が 0.027 および 0.267 mg/cm² について計算すると第 8 図のようになる。実験結果はこの破線より大きく外れている。

そこで、3A においても最低 FOV が 250 S の場合と同様な特性を示すものとし、250 S における (1)、(2) 式に対応させ、まとめて次式のように書換える。

$$V_w = \left(\frac{0.1}{w}\right)^{1/5} \frac{74}{\frac{1}{\alpha}(K^{1/3} + 2) + \frac{N-1}{7} \cdot \frac{5}{8}K} \quad (5)$$

ここで N は 250 S の場合は連結個数であるが、3A においてはかさ数をもって表わすことにした。また、本実験においては連結個数は 1 であるので α を 1 とした。なお、式中の分子の 74 は 3A の漏れ距離 (cm) であり、250 S の 28 に対応している。

いま、(5) 式より $w=0.267$ mg/cm² における最低 FOV V_{267} の $1/3$ 値を計算すると 7.79 kV となる。この値は第 8 図の実線 A の $t=20^{\circ}\text{C}$ に対応する値に

第 8 図 長幹がいしのフラッシュオーバー電圧と気温との関係

Fig. 8. Relation between flashover voltages and temperatures on long rod insulators.

第 9 図 長幹がいしのフラッシュオーバー電圧と気温との関係

Fig. 9. Relation between flashover voltages and temperatures on long rod insulators.

一致し、250 S の場合と同様である。(5) 式を用い各塩分付着密度 w について計算した結果が第 9 図の各直線である。これらの各直線はその w において得られた最低に近い FOV によく一致している。従って、3A の気温 t を含めた最低 FOV は (5) 式の V_w を (3) 式に代入することによって与えられる。特に 3A においても 250 S の場合と同様にその最低 FOV は w の $-1/5$ 乗に比例し、更にその連効率 η も同様な形式で表わすことができる。3A のようなかさ数の少ない長幹がいしの例ではあるが、フラッシュオーバー現象は懸垂がいしのそれに近似した特性をもっていることがわかった。

第 10 図に凍結汚損時における 3A の FOV と気温 t との関係を示した。図中の実線は FOV のうち最低と思われる測点を結んだものである。また破線は (3)、(5) 式による気温特性を表わす直線である。250 S と同様に 3A においても両直線の交点にあたる気温は汚損液膜の凍結温度近傍にある。3A においても凍結時における最低 FOV は気温の低下に伴い高くなっている。しかもその上昇率は 250 S のそれよりも大きい。これは 3A がその構造上、250 S よりも局所的な高電位傾度部がないので課電による凍結汚損膜の融解

第 10 図 汚損凍結のフラッシュオーバー電圧 (3A がいい)

Fig. 10. Relation between flashover voltages and temperatures on 3A insulators with frozen pollution layer.

が困難であるためと考えられる。

〈2・4〉 耐霧がよい 250F の FOV と気温 t との関係を図 11 に示した。これは塩分付着密度 w が 0.053 および 0.267 mg/cm² の場合の全測定結果である。250F においても 250S および 3A と同様に気温依存性が認められる。第 2 表に各 w における FOV と気温との相関係数を示した。ここでも $w = 0.267$ mg/cm² において低く現われた FOV を t について表わすと次式のようなになる。

$$V_w(t) = (0.84 + 0.008t)V_w \dots\dots\dots (6)$$

気温依存係数 β は 0.008°C⁻¹ となり、前二者の場合に比べて小さくなっている。また、この場合の V_{267} は 9.77 kV となる。

250F についてはその最低 FOV を表わす実験式は報告されていない。そこで 250F においても 250S の場合と同様な実験式で表わし、その表面漏れ距離 28 cm を 43 cm に書換えると次式のようなになる。

$$V_w = \left(\frac{0.1}{w} \right)^{1/5} \frac{43}{\alpha (K^{1/3} + 2) + \frac{N-1}{7} \cdot \frac{5}{8} K} \dots\dots\dots (7)$$

いま、(7) 式より $w = 0.267$ mg/cm² における最低 FOV を求めると $V_{267} = 11.9$ kV となる。従って、前述の実験よりの $V_{267} = 9.77$ kV なる値はこの値のはば 82% となる。そこで (7) 式の V_w の 82% の値を (6) 式の V_w に代入して、各 w について計算すると第 11 図および第 12 図の各直線になる。各直線は各々の w において得られた最低に近い FOV によく一致することがわかる。250F の表面漏れ距離は 250S のその 54% 増であるが、しかし FOV は 25% 程度しか上昇していない。また、その気温依存係数は 250S および 3A のそれに比べて小さくなっている。これらの原因として 250F においてはがよい下面の溝が深く、後

第 11 図 耐霧がよいのフラッシュオーバー電圧と気温との関係

Fig. 11. Relation between flashover voltages and temperatures on fog type insulators.

第 12 図 耐霧がよいのフラッシュオーバー電圧と気温との関係

Fig. 12. Relation between flashover voltages and temperatures on fog type insulators.

述する局部アークより発生する Na 原子が他の二者に比べて放散し難くなるためと考えられる。

なお、250F においても (7) 式よりわかるように、その最低 FOV は w の $-1/5$ 乗に依存している。

3. 汚損沿面アーク電圧の気温依存性

汚損がよいのフラッシュオーバーは局部アークの進展によって生じる。このため FOV は一般に局部アークで橋絡される部分の電圧、その残部である汚損液膜部分の電圧およびその電極降下の三者の和の形で解析が行なわれている。これらの電圧のうち、前二者に関してはフラッシュオーバーへの移行瞬時の値が重要である。しかしこれらに関してはまだ十分な検討が行なわれていないといっても過言ではない。筆者らは交流局部アークの電圧・電流特性を汚損沿面アークのそれより推測するために種々の検討を行ない、その結果を前報⁽⁶⁾に詳述した。すなわち、交流汚損沿面アーク電圧 v はアーク電流の最大値 i_p が 0.5 Ap より小さい範囲において、次式のように表わすことができる。

$$v = A w^{-1/5} i_p^{-1} (V) \dots\dots\dots (8)$$

すなわち、アーク電圧 v は塩分付着密度 w の $(-1/5)$ 乗に比例し、これはここで得られた各種汚損がよいのフラッシュオーバー電圧 FOV の塩分付着密度依

存性に一致している。従って v が FOV と同様な気温依存性を示すならば FOV の気温特性は汚損沿面アークの特性に基づくものと推測し得る。このような観点において v の気温依存性について実験的な検討を行った。

〈3・1〉 実験方法 前報⁽⁸⁾における実験は霧室中でフラッシュオーバー時点の気温 t が 30°C になるようにして行なった。しかし本実験ではアーク電圧 v の気温特性を得るのが目的である。霧室中で水を蒸発し、しかも低気温の条件でフラッシュオーバー時点の気温を制御することは困難である。このため汚損液を塗布乾燥した平板形のがいしを所定温度に調整した恒温そうに入れ、所要の一定電圧を突印する方法を採った。この際、電圧印加の直前に同温度の市水を散布密度約 0.3 mg/cm^2 になるようにスプレーし、汚損皮膜に水分を与えた。

実験方法のうち、その他に関しては前報⁽³⁾と同様である。すなわち、平板形がいしの中央に幅 1 cm 、長さ所定の汚損皮膜帯を設け、その両端に幅 1 cm の銅板電極をがいし面に約 30° の角度で密着対向させた。アーク電流調整用の直列抵抗を通して両電極に電圧を突印し、電圧と電流の時間経過をストレージオシロスコープで観測した。 v としては交流電圧を印加しているので、第 13 図のようにアーク電流最大値 i_p に対応する時点の値を読んだ。更にアークは半波ごとに繰返し、 v はその波順によって異なるので、その中の最も低い値をもって表わした。(a) 図においては第 4 波、(b) 図においては第 2 波をデータとした。

〈3・2〉 実験結果 前述のように i_p が 0.5 Ap より小さい範囲においては、 v - i_p 特性は (8) 式のように表わすことができる。これより $v i_p = A w^{-1/5}$ となり w が一定の下では v と i_p の積が一定となる。従って $v i_p$ 値をもってデータを整理することができる。

各気温の下で i_p 値をそれぞれ $0.1, 0.2, 0.3$ および 0.4 Ap 近くになるように設定し、各段ごとに 5 点ずつ $v i_p$ 値を求め、これらの全平均値をもってその気温における $v i_p$ 値とした。なお、この場合の $v i_p$ 値の変動係数 σ/m は 0.07 より小さくなっている。

第 14 図に実験結果の一例を示した。これは i_p が 0.1 Ap における v と気温 t との関係を示したものである。すなわち v は気温に依存し、気温の低下に伴って低くなっている。そして、その気温依存係数 β は 20°C を基準にするとギャップ長および塩分付着密度 w に関せず第 14 図に示したようにほぼ $0.010^{\circ}\text{C}^{-1}$ となる。これは前述した汚損がいしの FOV の気温依存係数 β に近い値である。

(a) 気温 10°C 、ギャップ長 10 cm 、塩分付着密度 0.112 mg/cm^2 、印加電圧 $17.0\text{ kV}_{\text{eff}}$

(b) 気温 40°C 、ギャップ長 10 cm 、塩分付着密度 0.112 mg/cm^2 、印加電圧 $17.0\text{ kV}_{\text{eff}}$

第 13 図 交流汚損沿面アークの気温による電圧電流波形

Fig. 13. Oscillograms of A.C. arc on polluted strip with temperatures.

第 14 図 交流汚損沿面アーク電圧と気温との関係

Fig. 14. Relation between A.C. arc voltages and temperatures on polluted strips.

4. 考 察

汚損がいしの FOV の気温依存性はアーク電圧 v のそれとほぼ一致することが実験的に確かめられた。従って汚損がいしの FOV の気温依存性はフラッシュオーバー移行瞬時の局部アークのそれが支配的であると推測することができよう。そこでアーク電圧の気温依存性

について次の解析を試みる。

ここではアーク電流はフラッシュオーバー直前に発生する局部アークによって飛散する電離電圧の低い Na 原子の熱電離に基づく電子電流とする。そして Na 原子の飛散数は塩分付着密度 w とギャップ長 l によって定まり、両者すなわち w と l に比例するものとする。この場合 w を一定とすると、単位長さあたりの Na 原子の飛散数 N_w が一定となる。従ってアークコラムの電位傾度 E_a は次のように表わされる⁽⁶⁾⁽⁸⁾。

$$E_a = \left[\frac{5.803 V_i}{1.44 \times 10^{-17} T_a^{3/4} n_w} \right]^2 \text{ (V/cm)} \dots (9)$$

但し、 i_a はアーク電流、 T_a はアークコラムの温度 (K)、 V_i は Na 原子の電離電圧 (5.14 eV) および n_w は単位長さあたりのコラム中の Na 原子の数である。

アークコラム中の Na 原子数はフラッシュオーバー後の時間経過に伴ってコラム外へと拡散し、電離に預るコラム中の数が減少する。第 13 図のオシログラムのように (a) 図および (b) 図ともにフラッシュオーバーは電圧零点より約 4.5 ms 経過して電圧が最大になる直前で発生している。フラッシュオーバー移行瞬時の電流値は、気温 10°C の (a) 図では 40~50 mA、気温 40°C の (b) 図では 60~100 mA であり、気温の高い方が大きくなっている。これは温度が高くなると汚損液膜の抵抗が小さくなるためである。しかし、いずれの場合もフラッシュオーバー後約 1.5 ms でアーク電流が最大に達している。従って、ここではコラム中の Na 原子の拡散に関する時間の項は同一であるとみなす。またアークコラムの温度を一定とすると、コラム中の Na 原子数 n_w の増減は気温 T_a によって定まる拡散係数 D_a のみに関係することになる。フラッシュオーバー直前の局部アークによる Na 原子の単位長さあたりの発生数を N_w 、アーク電流最大値におけるコラム中の原子数を n_w とすると、

$$n_w \propto N_w / D_a \dots (10)$$

となる。しかるに、拡散係数と気温との関係は

$$D_a \propto T_a^{3/2} \dots (11)$$

となる。また前報⁽⁸⁾により、アーク温度 T_a は w のみに関係し、 w が一定であれば一定である。従って、同一の w の下でアーク電流 i_a における E_a の気温依存性は (9) 式より

$$E_a \propto (1/n_w)^2 \propto T_a^{-3} \dots (12)$$

となり、アークコラムの電位傾度 E_a は T_a^{-3} に比例することがわかる。従って気温を T_{a1} 、 T_{a2} およびその気温におけるアーク電圧をそれぞれ E_{a1} 、 E_{a2} とす

ると、アーク電圧の気温依存係数 β は次式のように表わされる。

$$\beta = \frac{E_{a1} - E_{a2}}{E_{a2}} \cdot \frac{1}{T_{a1} - T_{a2}} = \left(\frac{E_{a1}}{E_{a2}} - 1 \right) / (T_{a1} - T_{a2}) \\ = [(T_{a1}/T_{a2})^3 - 1] / (T_{a1} - T_{a2}) \dots (13)$$

基準温度 T_{a2} のとり方により β の値は若干異なるが、例えば $T_{a2} = 293 \text{ K}$ を基準とし、 $T_{a1} = 273 \text{ K}$ とすると 20°C と 0°C との間の平均の温度係数 β は $\beta = 0.010$ となる。この値は 250 S および 3 A のように、Na 原子がアークコラムより比較的拡散しやすい場合の、汚損がよいの FOV の温度依存性はアーク電圧 v の気温依存係数の値とほぼ一致している。しかし、250 F の場合はその構造が深溝であるため Na 原子が拡散し難く、気温依存係数の値がやや小さくなっている。また 250 F の FOV からみた有効漏れ距離が 250 S および 3 A を基準とした場合 82% と減少する理由も、Na 原子が拡散し難いためと推測される。

5. あとがき

冬期季節風時のフラッシュオーバー現象を解明する基礎として、汚損がよい類のフラッシュオーバー電圧 FOV の気温依存性について検討を行なった。また FOV の気温依存性を解明するためには、フラッシュオーバー移行する瞬時の局部アークについても明らかにする必要があると考え、汚損沿面アーク電圧 v の解析並びにモデル実験を試みた。

以下にそれらの結果をまとめて列挙する。

(1) 気温の低下に伴って汚損がよい類の最低 FOV は低くなり、汚損面が凍結することによって逆に上昇する。

(2) 従来より報告されている 250 S における FOV の実験式は、3 個連結した本実験における気温 20°C の結果と一致した。

(3) この場合のよい類の最低 FOV の実験式は次のように表わし得る。

$$V_w(t) = (a + \beta t) V_w \\ V_w = \left(\frac{0.1}{w} \right)^{1/5} \frac{L}{\frac{1}{\alpha} (K^{1/3} + 2) + \frac{N-1}{7} \cdot \frac{5}{8} K}$$

ここで V_w は 20°C における最低 FOV である。

(4) 最低 FOV $V_w(t)$ の気温依存係数 β は 250 S および 3 A においては 0.011°C^{-1} と等しく、250 F においては 0.008°C^{-1} と、前二者に比べてやや小さくなる。

(5) 連結数の少ない 3 A および 250 F の最低 FOV は、気温が一定であると 250 S におけると同様

に $w^{-1/5}$ に比例する。

(6) 式中の L は、がいし一個あたりの表面漏れ距離である。但し 250 F の場合には $0.82L$ とする。

(7) アーク電圧について実験的並びに解析的検討を行なった結果、この気温依存性も FOV のそれにほぼ一致することがわかった。従って、FOV の気温依存性はフラッシュオーバーと進展する局部アークの気温依存性が主因をなすものと推測される。

(8) アーク電圧の解析には、局部アークによって発生する汚損因子の Na 原子の熱電離を基礎とした。その結果、気温依存性は Na 原子の拡散の難易が支配的であることがわかった。また、250 F においてその表面漏れ距離を $0.82L$ とする理由は、他の二者より Na 原子が拡散し難いためと考えられる。

(9) 凍結時におけるフラッシュオーバーは汚損膜の融解が前提となり、日射および強風のない場合の最低 FOV の気温依存性は、がいしの構造によって異なる。

すなわち、局所的な高電位傾度部を持つ標準懸垂がいしは長幹がいしに比べて気温依存性が小さい。

終りに、本研究に有益な御助言をいただいた北海道大学 坂本三郎教授並びに実験に協力した本学 佐藤安弘、伊藤正和両技官に深謝する。また、本研究の一部に助成をいただいた東北電力総合研究所に深謝する。

(昭和 52 年 7 月 4 日受付, 同 52 年 12 月 5 日再受付)

文 献

- (1) 東北電力(株) 総合研究所報告 76020, 25 (昭 52)
- (2) 赤上・加賀・佐藤:「汚損がいしのフラッシュオーバー電圧の温度特性」昭 50 電気関係学会東北連大 1C-12
- (3) がいし汚損分科会: 電学技報 (I) 75, 23, 23 (昭 41)
- (4) 加賀・佐藤・齊藤・赤上:「裸電吸湿汚損面上の交流アークの特性」昭 50 電気学会全大 1239
- (5) 加賀・佐藤・赤上:「交流汚損沿面アークの塩分付着密度依存性」昭 51 電気関係学会東北連大 2D14
- (6) 加賀・佐藤・朝野・赤上:「交流汚損沿面アークの気温依存性」昭 51 同上 2D12
- (7) 送変電分科会: 電気協同研究 20, 2, 103 (昭 39)
- (8) 加藤・佐藤・赤上: 電学誌 (昭 53 年 4 月掲載決定)