UDC 621.315.618.9.015.51: 546.226.166-1
537.527

論 文

48-B 70

球-球および同軸円筒電極配置における 高気圧 SF₆ ガスの絶縁破壊特性

東京芝浦電気株式会社

東京芝浦電気株式会社

東京芝浦電気株式会社

東京芝浦電気株式会社

東京芝浦電気株式会社

毛 受 新 一

木 村 健 司

青 柳 浩 邦

高 橋 国 夫

大 野 弘 義

1. ま え が き

SF₆ ガス絶縁開閉装置は、零下 40℃ に達する寒冷地にも適用できるように、20℃ の温度で、2.5 kg/cm²・g 前後の SF₆ ガス圧力を採用している。著者らは、このような比較的低い SF₆ ガス密度における SF₆ ガスの絶縁特性を、実規模に近い電極において調査す

でに報告した。⁽¹⁾⁽²⁾

ところで、SF₆ ガス絶縁開閉装置の中心機器である SF₆ シャ断器には、主に経済的な理由から、定格電圧 168 kV 以下には、単圧式、定格電圧 300 kV 以上には複圧式が主として採用されている。単圧式 SF₆ シャ断器では、20℃ で 5 kg/cm²・g、複圧式 SF₆ シャ断器では 2.5(低圧)-15(高圧) kg/cm²・g 程度の圧力が、使用されている。^{*} このような高気圧 SF₆ ガスの絶縁破

壊特性は、SF₆ ガスシャ断器の絶縁設計にあたっては不可欠の知識である。ところが、実規模に近い電極で調査するには、高い電圧を発生する試験設備と 15 kg/cm²・g に至る高気圧に耐える高電圧ブッシングを備えた試験容器が必要となるので系統だてて実施された例はきわめて少ない。⁽³⁾

筆者らは、第 1 図に示すように試験装置を複圧式とし、FRP 製の高压容器内に球および同軸円筒電極を設置し、15 kg/cm²・g に至る SF₆ ガスの絶縁破壊特性を求めた。

筆者らの目的は研究所のふんい気(浮遊粉じん量 0.07 mg/m³)で組立てたこれらの電極がつくるギャップの絶縁破壊特性を、インパルス、開閉インパルスおよび交流電圧に対して 15 kg/cm²・g まで求めること、およびそれらの絶縁破壊特性に影響を及ぼす因子を明らかにすることにある。

2. 試験装置および試験方法

〈2.1〉 試験装置 第 1 図に試験装置の概略を示す。図の低圧容器は、内径 1.5 m、高さ 5.5 m の鉄製のタンクで上部に電圧印加用として 500 kV ブッシングが取り付けられている。このブッシングは最高印加電圧が、インパルス 1,800 kV、開閉インパルス 1,200 kV、交流 800 kV であるため、試験はこの範囲で行なった。高気圧の SF₆ ガスをこの鉄製のタンクに封入することは不可能なので、タンク内部に高压容器を取り付け、その内部に電極を収めている。高压容器は内

Dielectric Breakdown of High Pressure SF₆ Gas Between Spheres and Coaxial Cylinders. By S. MENJU, Member, KIMURA, Member H. AOYAGI, Member. K. TAKAHASHI, Member. & H. ÔNO, Member (Tokyo Shibaura Electric Co. Ltd)
毛受新一: 正員, 東京芝浦電気株式会社 電機技術研究所
木村健司: 正員, 東京芝浦電気株式会社 電機技術研究所
青柳浩邦: 正員, 東京芝浦電気株式会社 電機技術研究所
高橋国夫: 正員, 東京芝浦電気株式会社 電機技術研究所
大野弘義: 正員, 東京芝浦電気株式会社 電機技術研究所

*・単圧式: 投入状態またはシャ断状態では単一圧力であるが、シャ断動作時には可動接触子を直結したバフファシリンダーでガスを圧縮しガス流をアークに吹付ける構造。
複圧式: 投入状態、シャ断状態とも常に二つの圧力を有しており、これらは投入状態では接点付近、シャ断状態では可動接触子の下流にあるバッキングでシールされている。シャ断動作時(または投入動作時)にはそのシール部が開かれアークにガスを吹付ける構造。

第 1 図 複圧式試験装置

Fig. 1. Double pressure test tank.

径 270mm ϕ , FRP 製絶縁筒でできており, 外部の絶縁は低圧容器内に封入された低気圧 (2.5~3.5kg/cm² abs) の SF₆ ガスでもたせている。

第 2 図 (a) と (b) に高圧容器内に収納した球および円軸円筒電極を示す。第 2 図 (a) の球は直径 100mm ϕ の黄銅製電極である。この球電極はインパルス, 開閉インパルスおよび交流絶縁破壊試験前にバフ仕上げを行なったが, 各試験中はそのままである。下側の球電極の支持棒はタンクと絶縁されたギャップ調整用ブロック内にそう入され, 低圧タンクの外側からギャップの長さを連続的に変えられるようになっている。

第 2 図 (b) は試験した同軸円筒電極配置を示す。外側円筒の内径は 96mm ϕ で中心導体は直径 32mm ϕ と 50mm ϕ の二種類である。外側円筒電極は鉄製, 中心導体はアルミニウム製である。中心導体の先端は電界緩和の目的で, 外側円筒の直径を大きくしたうえ先端部分をエポキシ樹脂で球形におおっている。同軸円筒電極の直線部分は約 200mm である。中心導体はインパルス, 開閉インパルスおよび交流試験ごとに, バフ仕上げを施した。高圧容器はガス配管によって低圧容器の外に通じており, SF₆ ガスのボンベから直接充気している。球電極および同軸円筒電極と高圧容器はアセトンに浸みこませた白布で十分清掃した。

(a) 高圧容器内に収納された球-球電極
(a) Sphere to sphere electrode. (b) 高圧容器内に収納された同軸円筒電極
(b) Coaxial cylinders.

第 2 図

Fig. 2.

〈2・2〉 試験方法 試験の順序はインパルス（負極性）、インパルス（正極性）、交流、開閉インパルス（負極性）、開閉インパルス（正極性）である。試験は低いガス圧力から高い圧力にあげながら行なったが、各圧力における試験ごとにガスを交換することはしなかった。ガスの入れかえは各試験ごとにしたが、特に試験結果に影響があるようには思われなかった。

インパルス試験は標準波形（実測 $1.5 \times 40 \mu\text{s}$ ）を用いて、約 20 kV ステップの昇降法により 30 回電圧を印加し、50% フラッシュオーバー電圧を求めた。交流試験では上昇法により 10 回フラッシュオーバー電圧を求め、その平均値を算出した。電圧印加間隔は約 5 分間である。開閉インパルス試験は、 $330 \times 2,500 \mu\text{s}$ （球ギャップ）と $200 \times 1,400 \mu\text{s}$ （ $32 \times 96 \phi$ 同軸円筒電極）と $200 \times 3,400 \mu\text{s}$ （ $50 \times 96 \phi$ 同軸円筒電極）の波形を用い、約 18 kV ステップの昇降法により 30 回電圧を印加し 50% フラッシュオーバー電圧を求めた。電圧印加の間隔は平均約 1 分間である。

3. 試験結果

〈3・1〉 球ギャップ 第 3 図(a), (b)および(c)に、圧力に対するインパルス、開閉インパルスおよび交流フラッシュオーバー電圧特性を示した。図中測定点の上下に付した幅は試験で観測された最高および最低フラッシュオーバー電圧を示している。絶対圧力 P は温度 20°C に換算した値である。温度は実験室内の室温である。実際のガスの温度と室温とが違っていることは当然考えられるが、そのようなことを避けるため、SF₆ ガス高圧容器内にボンベから充気した後 10 分間程度放置して、圧力に変化ないことを確かめてから試験を開始した。また、試験終了後も圧力に変化のないことを確認している。

〈3・2〉 同軸円筒電極 第 4 図(a)に $32 \times 96 \text{ mm}\phi$ 、(b)図に $50 \times 96 \text{ mm}\phi$ の同軸円筒電極における SF₆ 圧力-フラッシュオーバー電圧特性を示す。

インパルス試験では、ガスの入れ換えによるフラッシュオーバー電圧の変化を調査したが、絶対圧力 1 kg/cm^2 での負極性インパルスの 50% フラッシュオーバー電圧は（ $32 \times 96 \text{ mm}\phi$ ）、（ $50 \times 96 \text{ mm}\phi$ ）両電極配置とも変化はなかった。

4. 考 察

〈4・1〉 球電極の試験結果に関する考察

(1) フラッシュオーバー電圧-圧力特性 従来の 4 kg/cm^2 以下での研究結果からは $1 \sim 1.2$ 程度の値が得られているので、高気圧ではかなりフラッシュオーバー

(a) 100φ 球-球電極配置における交流フラッシュオーバー特性
(a) Power frequency breakdown characteristics of SF₆ gas between 100mmφ sphere electrodes.

(b) 100φ 電極配置におけるインパルスフラッシュオーバー特性（負極性）
(b) Negative impulse breakdown characteristics of SF₆ gas between 100mmφ sphere electrodes.

(c) 100φ 電極配置における開閉インパルスフラッシュオーバー特性
(c) Switching impulse breakdown characteristics of SF₆ gas between 100mmφ sphere electrodes.

第 3 図

Fig. 3.

電圧比が高くなるといえる。これは交流フラッシュオーバー電圧が 5 kg/cm^2 以上で急激に減少しているためで

(a) 32φ/96φ 同軸円筒電極配置における圧力-フラッシュオーバー電圧特性

(a) Breakdown voltage vs pressure curves for 32/96 mmφ coaxial cylinders.

(b) 50φ/95φ 同軸円筒電極配置における圧力-フラッシュオーバー電圧特性

(b) Breakdown voltage vs pressure curves for 50/95 mmφ coaxial cylinders.

第 4 図

Fig. 4.

ある。11kg/cm² 以上でフラッシュオーバー電圧比が減少しているのは、インパルスのフラッシュオーバー電圧に多少飽和する傾向がでてきているためである。

このような減少の傾向は開閉インパルスの場合にも見られる。 $d=2\text{cm}$ の開閉インパルスフラッシュオーバー電圧の交流のそれに対する比は圧力が 6kg/cm² 付近でピークに達し、それ以上は減少する。しかし、その傾向はインパルスの場合ほど大きくはないし、値自体も小さい。開閉インパルスの場合、圧力が 4kg/cm² 以下のフラッシュオーバー電圧も調査したが、その範囲では圧力が低くなるほど、フラッシュオーバー電圧比は大幅に増加している。4kg/cm² 以下の圧力における同軸円筒電極の結果⁽¹⁾でも、低気圧における開閉インパルスフラッシュオーバー電圧は高目にており、開閉インパルス特有の現象とも考えられる。圧力が 3kg/cm² 以下

第 5 図 250mmφ 球-球電極配置における SF₆ のインパルス破壊特性

Fig. 5. Impulse breakdown characteristics of SF₆ gas between 250 mmφ sphere electrodes.

において、正極性開閉インパルスフラッシュオーバー電圧が負極性開閉インパルスフラッシュオーバー電圧を下回っており、従来の結果と異なっているが、絶縁筒製の容器を用いたことが原因としてあげられる。参考のために、第 1 図で高压容器を取りのぞいて低压容器内で行なわれた 250mmφ 球ギャップのインパルス試験結果を第 5 図に示すが、SF₆ 圧力が 1kg/cm² を越えると、電極間距離を変化させても正極性フラッシュオーバー電圧は負極性のそれより高かった。

(2) フラッシュオーバー時の最高電界-圧力特性

第 6 図にフラッシュオーバー時の最高電界と圧力の比-圧力特性を示す。最高電界の計算は低压容器のタンク壁および高压容器の上下部のふたの影響を無視し、一球接地状態の球-球電極配置として行なった。不平等率 f の値は図中に示してある。Geballe & Reebes, Bhalla & Craggs 氏⁽⁴⁾らが 1kg/cm² 以下の低い圧力で求めた $(\alpha-\eta)/P-E/P$ 特性によると、静的破壊における放電可能な最低電界は 86.1kV/cm/kg/cm² であるが、第 7 図の結果ではフラッシュオーバー時の最高電界と圧力の増加とともに単調に低下し、高気圧下では上記の値をかなり下回ることがわかる。また(1)の項で述べたとおり、開閉インパルスの場合圧力の低いところで非常に高い値を示しているのは疑問の残る点である。

ところで、フラッシュオーバー時の最高電界と圧力の比が圧力の増加とともに低下する点については、電離によって生じたイオンが電極近傍に移動する結果、電極

第 6 図 E_m/P - P 特性Fig. 6. E_m/P - P curve.

近傍の電界をより強めて、電界放射を容易にすることが考えられる。このことはイオンの移動がより放電に寄与すると考えられる交流において、フラッシュオーバー電圧の低下が顕著であるという実験結果からも妥当な考え方のように思われる。しかし、たとえ電界放射が可能であってもタウンゼント形の放電を仮定するならば、 $\alpha - \eta < 0$ の条件では、破壊は起こり得ないことになる。したがって、高い圧力においては、タウンゼント形の放電ではなく、ストリーマ形の放電になるのではないかとと思われる。すなわち、電界放射により発生した電子の数がある大きさ以上になると、光電離によってストリーマの進展が可能になり、 $\alpha - \eta > 0$ の条件が満足されなくても破壊が起こるのではないかと考えられる。⁽⁵⁾ しかしながら破壊の機構を推察するにはも

っと物理的な詳しい研究が必要である。この点、山田氏は電界放出と破壊電圧の関係を、暗電流の測定によりその破壊機構を導き、理論的な破壊値よりも低下する原因を定性的に求めている。⁽⁷⁾

(3) 極性効果 開閉インパルス試験で正、負両極性についてフラッシュオーバー特性を調査した。ギャップの長さ 2 cm についていえば、絶対圧力が 3 kg/cm² 付近までは正極性のフラッシュオーバー電圧のほうが負極性よりも低く、それ以上では負極性のほうが低くなっており、従来の結果と一致している。しかし、ギャップの長さ 4 cm については絶対圧力が 3 kg/cm² まで、6 cm については 2 kg/cm² までの範囲では正極性のほうが負極性よりも低く、両極性のフラッシュオーバー特性が交差するまでに至っていない。従来からの常識と異なるこれらの結果の原因として、実験が絶縁筒容器内で行なわれたことがあげられよう。

〈4・2〉 同軸円筒電極の試験結果に関する考察

(1) E_m/P - P 特性 最大ストレス E_m を絶対圧力 P で除した値 E_m/P の P に対する特性を第 7 図に示す。圧力の低いところでは圧力の増加とともに急激に低下しているが、圧力が高いところでは低下する傾向はかなりゆるやかになっている。負極性インパルスについては (32×96 mmφ), (50×96 mmφ) とともにほぼ同じ値になり、次式で近似できる。

$$\frac{E_m}{P} = 66.3 + \frac{33.7}{P} - 1.85 \times P \quad (\text{kV/cm/kg/cm}^2)$$

(a) 32φ/96φ 同軸円筒電極

(b) 50φ/96φ 同軸円筒電極

第 7 図 E_m/P - P 特性Fig. 7. E_m/P - P curves.

図中の二点鎖線は、直径 100mmφ の黄銅製球電極でギャップの長さを 20mm にしたときの負極性インパルスと交流電圧による結果を示している。

今回の結果は負極性インパルスの場合 SF₆ ガスの圧力が 5kg/cm²~15kg/cm² の範囲で球電極の結果より 17~26% 低い。これは電界が最も高い部分の面積の相違によるものと考えられる。しかし、最も電界の高い中心導体表面の面積は 32mmφ と 50mmφ とでは違うが、負極性インパルスに対する両者の E_m/P の値はほとんど一致している。これは電極の表面積があるところまで増大するとフラッシュオーバーストレスの低下が飽和すると考えることもできる。たとえば 100mmφ のアルミニウムの中心導体を用いて、外側円筒電極の内径を 200mmφ と 320mmφ にしたとき、絶対圧力 3kg/cm² での E_m/P の値は 69 および 75kV/cm/kg/cm² になっており、中心導体の表面積が今回の試験で用いた 50mmφ の中心導体の約 10 倍になるのに対して E_m/P の値は今回の結果とはほぼ一致している。⁽⁴⁾

負極性開閉インパルスについても (32×96mmφ)、(50×96mmφ) とほぼ同じ値になり、次式で近似できる。

$$\frac{E_m}{P} = 55.1 + \frac{55.5}{P} - 1.61 \times P \quad (\text{kV/cm/kg/cm}^2)$$

開閉インパルスの場合も負極性インパルス同様 SF₆ ガスの圧力が 3~9.5kg/cm² の範囲で球電極の結果より 22~25% 低下する。これも電極面積効果のためと考える。

交流電圧に対しては、(32×96mmφ) と (50×96mmφ) とでは差が出ている。負極性インパルスの場合と同様の近似式で表わすと次のようになる。

$$\begin{aligned} (32 \times 96 \phi) \frac{E_m}{P} &= 54.3 + \frac{26.2}{P} \\ &\quad - 1.63 \times P \quad (\text{kV/cm/kg/cm}^2) \\ (50 \times 96 \phi) \frac{E_m}{P} &= 40.6 + \frac{40.8}{P} \\ &\quad - 0.78 \times P \quad (\text{kV/cm/kg/cm}^2) \end{aligned}$$

球電極の結果と比較すると、圧力が 2~15kg/cm² の範囲で (32×96mmφ) の場合が 15~27%, (50×96mmφ) が 23~34% 低い。同軸円筒電極のほうが球電極よりもフラッシュオーバーストレスが低下するのはインパルスの場合と同様面積の効果によるものと考えることができる。

しかし、32 と 50mmφ とで比較すると 50mmφ のほうが低くなっており、負極性インパルスについて述べた面積効果の飽和の考え方と矛盾している。交流電

圧の場合は面積効果によるフラッシュオーバーストレスの低下の飽和点が、負極性インパルスの場合よりも面積の大きい部分にあるという考えも次のようなことから疑問がある。すなわち、文献(1)に報告した(100×200mmφ)、(100×320mmφ)の同軸円筒電極の結果では、絶対圧力 3kg/cm² での E_m/P の値が 44 および 56 kV/cm/kg/cm² になっている、今回の試験の (32×96mmφ) と (50×96mmφ) の結果の中間の値を示しているからである。したがって、面積効果のみで説明するのは無理がある。電圧印加波形、特に波頭に達するまでの時間の差異と面積効果の相乗作用を考えれば、定性的には説明がつくように思われる。⁽⁶⁾ このことを 200μs 波頭長の開閉インパルスの結果(第4図参照)は、より鮮明に示しているといえよう。すなわち、開閉インパルス領域の波頭長より長い波頭を持つ電圧波に対しては、標準インパルスの場合より、面積効果が強くあらわれるといつてよいように思われる。

ところで、開閉インパルスの E_m/P は、第8図に示すように交流の E_m/p より高いが、実用上ほぼ同じと考えておけば安全側である。

(2) 衝撃比およびインパルスの極性効果 衝撃比は (32×96mmφ) が 1.18~1.31 であるのに対して、(50×96mmφ) の場合は 1.29~1.47 とかなり大きくなっている。これは交流のフラッシュオーバーストレスが (50×96mmφ) の場合のほうが低くなっていることに対応している。機器の試験電圧という観点から考えると、現在のところインパルスと交流の試験電圧の比が最も小さい 550kV 機器でも 1.52 であり、その他の場合は 1.6 以上になるので、圧力の高い場合でも負極性インパルスに対する絶縁設計に主眼が置かれることに変わりはない。

インパルスの極性効果については、正極性と負極性の比は (32×96mmφ) が 1.06~1.31, (50×96mmφ) の 1.03~1.16 で (32×96mmφ) のほうが大きい。これは (32×96mmφ) のほうが不平等係数が大きいことによるものと思われる。最大電界を平均電界で除した不平等係数は (32×96mmφ) が 1.82, (50×96mmφ) の 1.41 である。

〈4・3〉 フラッシュオーバー電圧のばらつき 圧力が高くなるにつれ、フラッシュオーバー電圧のばらつきは正規分布から極値分布の様相を呈するとする報告⁽⁷⁾もあるが、筆者らの 100mmφ 球-球電極、(32×96mmφ) (50×96mmφ) の円軸円筒電極の試験結果からは特別コンディショニング効果はうかがえなかった。試験回数数が少ない点が懸念されるが、もし、コンディショニング効果があれば累積破壊回数の初期に顕著に現われ

第 1 表 フラッシュオーバー回数とフラッシュオーバー電圧の例

Table 1. Number of flashover and flashover voltage.

フラッシュオーバー回数	交流フラッシュオーバー電圧 (kg)		
	11 kg/cm ²	13 kg/cm ²	15 kg/cm ²
1	770	742	918
2	772	813	934
3	766	794	939
4	734	797	911
5	742	730	896
6	698	795	832
7	698	788	822
8	720	757	768
9	725	840	811
10	735	780	842

第 2 表 標準偏差 σ (%) (32mm ϕ ×96mm ϕ)Table 2. Standard deviation σ (%).

電極寸法 (mm)	絶対圧力 (kg/cm ²)	インパルス電圧		開閉インパルス電圧		交流電圧
		正	負	正	負	
32mm ϕ ×96mm ϕ	1	7.2	5.4			0.8
	2	4.0	2.0	2.3		0.8
	3	1.6	5.3	6.0	5.0	0.4
	4	5.3	3.2	8.1	3.9	
	5	3.9	4.1	10.0	5.2	1.4
	6					
	7	3.0	2.5	2.1	3.7	1.3
	8					
	9	6.3	4.5	3.3	5.0	1.7
	10					
	11	6.1	3.3	4.4	2.9	1.5
	12					
	13	3.6	3.9	7.7	6.3	1.7
	14					
	15		6.5			3.1

るはずであり、今回のフラッシュオーバー回数でもある程度その傾向はつかめるものと思われる。

一例として (32×96mm ϕ) の電極で高気圧領域における交流フラッシュオーバー電圧と試験回数の関係を第 1 表に示した。この結果からもコンディショニング効果はうかがえないことがわかる。この事実から筆者らは高気圧においてもフラッシュオーバー電圧のばらつきは正規分布で近似できるとし、昇降法に基づいて整理した。一例として、ばらつき幅を示す標準偏差を第 2 表に示した。他の 100mm ϕ 球電極および (50×96mm ϕ) の標準偏差もほぼこの値と同じである。

さらに昇降法によって求めた各種の同軸円筒電極における低気圧時のフラッシュオーバー電圧の標準偏差は今回の値と大差なく、ほとんど 6% 以内におさまっている。

したがって、高気圧領域における耐電圧値を選ぶ場

合にも、工学的には 3 σ 程度の余裕を見込めばよいと考える。

5. む す び

(32×96mm ϕ) と (50×96mm ϕ) の 2 種類のアルミニウム製同軸円筒電極と 100mm ϕ 球-球電極を用いて、絶対圧力 1~15kg/cm² での SF₆ ガスのインパルスおよび交流フラッシュオーバー特性を調査して次のような結果を得た。

(1) 負極性インパルス、負極性開閉インパルスの場合、フラッシュオーバー電圧に対する最大電界 E_m を考えると 2 種類の同軸円筒電極ともほぼ同じ値になり、次のような近似式で表わされる。

$$E_m = 33.7 + 66.3P - 1.85P^2 \text{ (kV/cm)}$$

$$E_m = 55.5 + 55.1P - 1.61P^2 \text{ (kV/cm)}$$

(2) 交流電圧に対しては両者に差が出ており、近似式は次のようになる。

$$(32 \times 96 \text{ mm} \phi) E_m = 26.2 + 54.3P - 1.63P^2 \text{ (kV/cm)}$$

$$(50 \times 96 \text{ mm} \phi) E_m = 40.8 + 40.6P - 0.78P^2 \text{ (kV/cm)}$$

(3) 直径 100mm ϕ 、ギャップの長さ 20mm の黄銅製球電極の結果と比較すると、 E_m の値はかなり低下している。低下する程度は次のとおりである。

負極性インパルス (5~15kg/cm²)

(32×96mm ϕ), (50×96mm ϕ) とともに 17~26%

開閉インパルス (3~9.5kg/cm²)

(32×96mm ϕ), (50×96mm ϕ) とともに 22~25%

交流 (2~15kg/cm²)

(32×96mm ϕ) 15~27%

(50×96mm ϕ) 23~34%

このようにフラッシュオーバーストレスが球電極より同軸円筒電極のほうが低くなるのは、最大電界の存在する電極の表面積の相違によるものと考えられる。また開閉インパルス、交流両者とも 50mm ϕ のほうがフラッシュオーバーストレスが低くなるのは、面積と長い波頭の効果の相乗作用があらわれているように思われる。

(4) 最大電界の存在する電極表面積の増大によるフラッシュオーバーストレスの低下には、飽和する領域があると考えられる。今回の試験結果はその飽和領域にあると思われるが、比較するデータも少ないため、今後さらに検討する必要がある。

(5) 正極性インパルスのほうが負極性インパルスよりもフラッシュオーバー電圧は高い。その差は電界の不平等係数が大きいほど大きくなるようである。ただし

球-球電極では、 3 kg/cm^2 までは正極性インパルスのほうが負極性インパルスより低かったが、これは容器が絶縁筒であったためと考えられる。

(6) 負極性インパルスと交流のフラッシュオーバー電圧の比は球-球で $1.15\sim 1.35$ ($P>5\text{ kg/cm}^2$)、同軸円筒電極で $1.18\sim 1.47$ であり、 500 kV までの機器の試験電圧を考えると、負極性インパルスに対する絶縁が最も重要となる。

(7) 電極寸法、 SF_6 圧力が決まると、耐電圧値は低気圧時と同様、50% 破壊電位の傾きから算出した 50% 破壊電圧から $3a$ 減じた値として求められる。

終わりに、本実験に種々ご指導およびご援助いただいた、東京芝浦電気株式会社 電気事業部電機技術研究所 築地謙次所長、村野 稔部長はじめ、浜川崎工場開

閉装置設計部 川口芳弘部長、および富室祥三課長に厚くお礼申し上げます。

(昭和 47 年 9 月 29 日受付、同 48 年 5 月 30 日再受付)

文 献

- (1) 川口・毛受: 電学誌 **90**, 101, 211 (昭 40-10)
- (2) Y. Kawaguchi, K. Sakata & S. Menju: IEEE Power Apparatus Syst. **PAS-90**, 3, 1072 (1971)
- (3) 池田・依田: 電学誌 **91**, 71, 153 (昭 46-1)
- (4) M. S. Bhalla and J. D. Craggs: Measurement of Ionization and Attachment Coefficients in Sulfur Hexafluoride in Uniform Fields Proc. Phys. Soc., **80** (1961)
- (5) 宅間: 電中研技術報告 (昭 43-12)
- (6) Y. Kawaguchi, K. Sakata & S. Menju: IEEE Power Apparatus Syst. **PAS-90**, 3, 1079, May/June (1971)
- (7) 山田・藤原・新田: 電気学会論文誌 **93-A**, 1, 37 (昭 48-1)