

集じんダストによるフラッシュオーバ電圧の基礎的研究

長谷川 誠 一 沓 沢 俊 雄
赤 上 陽 出 男

1 ま え が き

非対称電極配置におけるフラッシュオーバ電圧はその非対称の度合によって、一般に負針の場合は高く正針の場合は低いという極性効果¹⁾があらわれる。したがって電気集じん器においては、特殊なものを除いて電離電極を負極²⁾としている。しかるに集じんダストの抵抗率が大きい場合、これが集じん電極に堆積すると、著しくフラッシュオーバ電圧が降下する。これはダスト層における電位の傾きが非常に大きくなり、ダスト層が絶縁破壊を起こし、その局部から点状の正コロナが発生するためとされている。

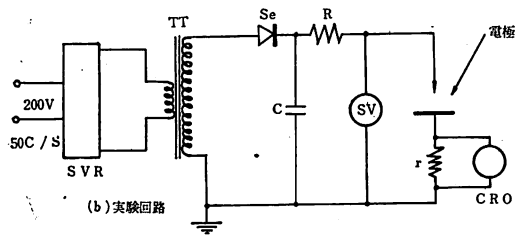
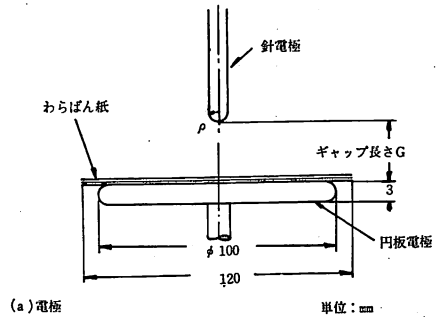
いま、この説明が妥当なものとする、ダストが堆積した状態におけるフラッシュオーバ電圧は正針、負針によって大きな差違があらわれないものと考えられる。

以上の推測を確かめるため集じんダストをわらばん紙に代えてモデル化し、実験的にこの極性効果を検討した結果について報告する。

2 実験装置と方法

第1図(a)および(b)に実験装置を示した。高電圧側電極としてはタングステン製の針端を半球状に研磨した3種類の針電極(針端曲率半径 ρ : 1.00, 0.60, 0.35 mm)を使用した。接地側電極としては銅製の円板電極(直径100 mm, 厚さ3 mm)を用いた。なお、針電極は円板電極面に対して(a)図のように垂直に配置し、針端より円板電極面までのギャップの長さG (mm)を任意に調節できるようにした。

わらばん紙は市販のもの(厚さ0.09 mm)を120 mm平方に裁断し、設定ギャップ長さGのもとで、これを円板電極上に積み重ねて実験した。また、その抵抗率が後述の(ii)の範囲に対応するものとしては、室内に放置し何らの処理を加えないものを、(iii)の範囲に対応するものとしては、恒温槽にて80°Cで5時間乾燥したものをそれぞれ使用した。前者の抵抗率は約 $6.0 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$,



SVR: スライダック
T. T.: 試験用変圧器 (200V / 150KV, 15KVA)
Se: セレン整流器 (100KV, 10mA)
C: コンデンサ (100KV, 0.1μF)
R: 抵抗 (5MΩ)
r: 分抵抗 (3KΩ)
CRO: ブラウン管オシロスコープ

第1図 実験装置

後者の抵抗率は約 $1.2 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ である。印加電圧の上昇速度は1 kV/s程度とした。実験回路は(b)図に示した通りで印加電圧の調整はスライダックで行った。また、電流波形を観測するため接地測にブラウン管オシロスコープをいれた。なお、本実験は主として直流の正、負ならびに交流電圧の三者の比較に重点を置き、表示電圧は静電圧計の指示をもってした。

3 実験結果

一般に電気集じん器において、ダストの抵抗率が $5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上になると集じん電極のダスト層の表面から正コロナ放電が発生し、負に帯電した粒子を中和し

たり、あるいはフラッシュオーバを起こしたりして集じん効率が著しく低下し、安定な運転が不可能になる。集じんダストの見掛けの抵抗率は一般に次のように大別⁽⁶⁾されている。

- (i) 約 $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下
- (ii) $10^4 \sim 5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$
- (iii) $5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上

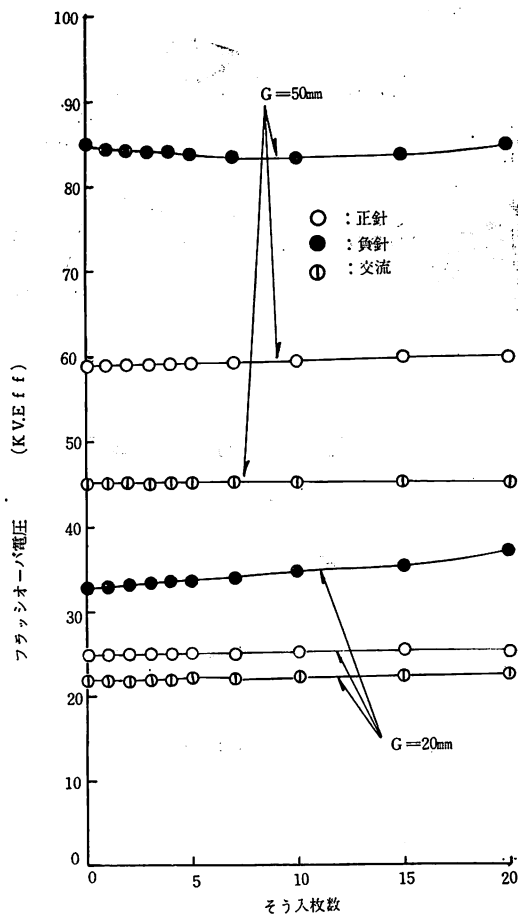
(i) の範囲のダストは抵抗率が小さいため集じん電極に接触した瞬間にその電荷を失い、逆に集じん電極の極性に帯電して、静電的に反発されてガス流中に再飛散する。(ii) の範囲のダストはダスト自身の電荷が急速に失われなため、集じん電極に接触してからも静電的に吸着されているので最も集じんしやすい。(iii) の範囲のダストは抵抗率が高いので集じん電極のダスト層の表面から正コロナ放電が発生し、負帯電粒子を中和したり、フラッシュオーバを引き起したりする。この現象を逆電離現象と称し、電気集じんにとって最も困難な課題とされている。窯業ダストの電気集じんにおいては、この逆電離現象がしばしば発生する。ここでは特にこの場合(高抵抗率)のフラッシュオーバ電圧特性について詳述するが、一応(ii)の範囲の抵抗率を低抵抗率と称して区別して述べる。

<3・1> 低抵抗率における高電圧現象

第2図に(ii)の低抵抗率の範囲に属するものと考えられる未処理のわらばん紙(抵抗率 $6.0 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$)のそう入枚数に対するフラッシュオーバ電圧特性を示した。この場合、ギャップ中にわらばん紙をそう入したことによるフラッシュオーバ電圧に対する影響はほとんどあらわれていない。また、同じギャップ長さGに対する負針のフラッシュオーバ電圧は正針のそれよりも著しく高く、いわゆる極性効果が明らかである。すなわち、この場合は空気中におけるフラッシュオーバ電圧の極性効果がそのままあらわれていることになる。

第3図に正針の場合のストリーマコロナの開始電圧ならびに負針の場合のブラシコロナの開始電圧を示した。この両者はともにフラッシュオーバ電圧の場合と同様にわらばん紙のそう入の影響を示さない。さらに負針の場合フラッシュオーバに先きだて、前述の平板側からの正コロナの発生は認められず、オシロスコープの電流波形においてもこの現象は観測されなかった。

以上の点から最も電気集じんしやすいと考えられる $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度の抵抗率においては逆電離現象は起きないものと推測される。したがって、この程度の抵抗率のダストの集じんには従来通り負針を電離電極とする方がフラッシュオーバに対する安全性の面において有利であ



第2図 フラッシュオーバ電圧特性

抵抗率: $6.0 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ $\rho: 1.00 \text{mm}$

室温: $29 \sim 30.5^\circ \text{C}$, 相対湿度: $60 \sim$

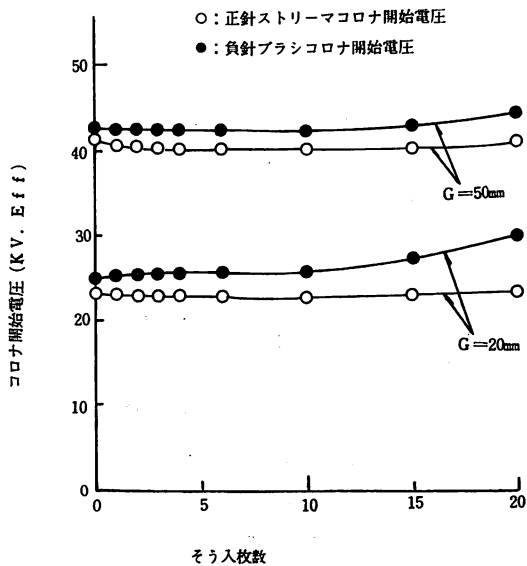
65%

ることがわかった。

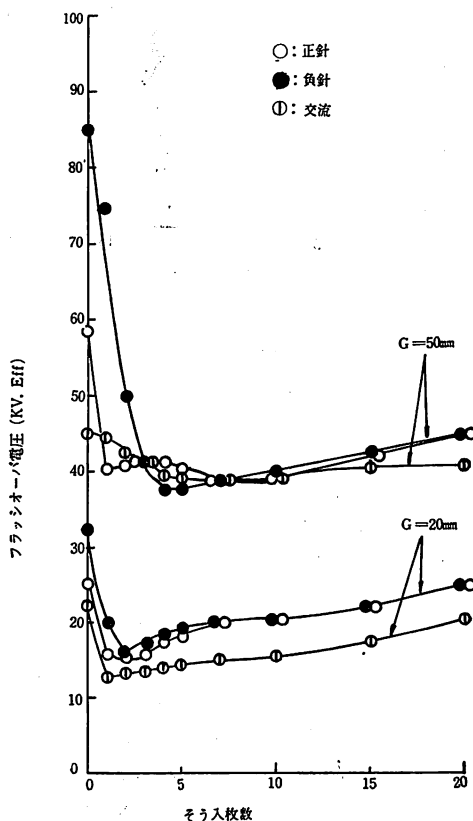
<3・2> 高抵抗率における高電圧現象

(3・2・1) フラッシュオーバ電圧

次に前述の場合よりも抵抗率の高い(iii)の範囲に属すると考えられる乾燥わらばん紙(抵抗率 $1.2 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$)をギャップ中にそう入した場合の高電圧現象について述べる。第4図に針端の曲率半径 ρ が 1.00mm の場合、第5図に ρ が 0.35mm の場合における正針、負針および交流 50c/s のフラッシュオーバ電圧を示した。第2図に示したような低抵抗率の場合にくらべて特異な現象を起こし、わらばん紙のそう入によりフラッシュオーバ電圧は著しく低下する。特に負針の場合は正針および交流の場合よりも低下の度合いははなはだしく、約50%



第 3 図



第 4 図

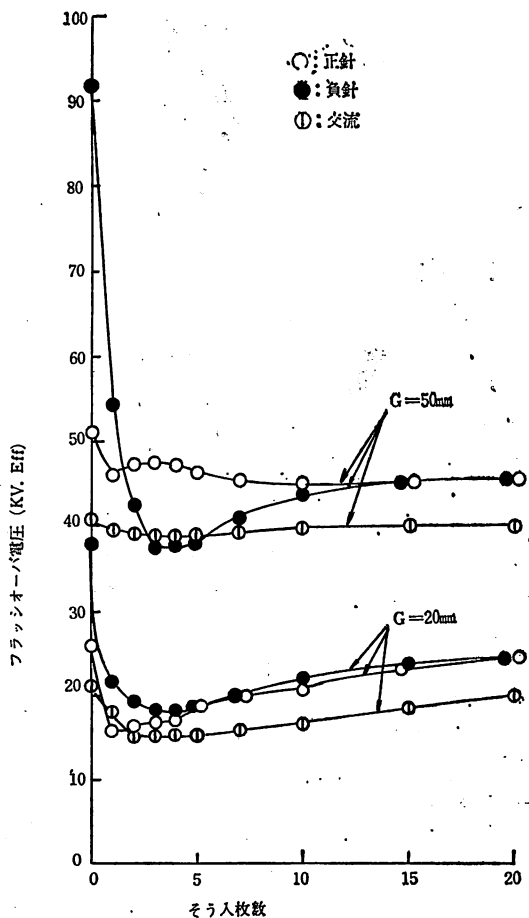
第 3 図 コロナ開始特性

抵抗率： $6.0 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ $\rho : 1.00 \text{ mm}$
 室温： $29 \sim 30.5^\circ \text{C}$ 相対湿度： $60 \sim 65 \%$

第 4 図 フラッシュオーバー電圧特性

抵抗率： $1.2 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ $\rho : 1.00 \text{ mm}$
 室温： 29°C 相対湿度： 60%

近くまで低下する。いずれの場合もわらばん紙のそう入枚数の増加にともないフラッシュオーバー電圧は極小値を経てわずかに上昇する傾向を示している。また、その極小値は針端の曲率半径 ρ ならびにキャップ長さ G の相対的關係、すなわち非対称度によって異なるがわらばん紙そう入枚数が数枚程度の範囲においてあらわれる。この場合の極小値を比較すると、たとえば $G : 50 \text{ mm}$ においては、そう入枚数が数枚ないし 10 枚程度の範囲で負針



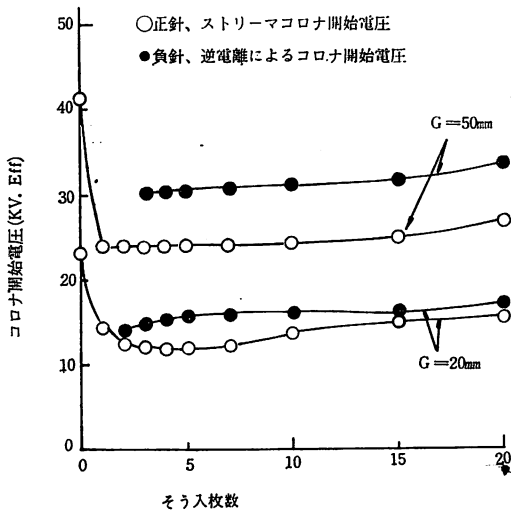
第 5 図 フラッシュオーバー電圧特性

抵抗率： $1.2 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ $\rho : 0.35 \text{ mm}$
 室温： 30.5°C 相対湿度： 60%

のフラッシュオーバー電圧がむしろ、正針のそれよりも低いという場合が生ずる。したがって高抵抗率のわらばん紙をそう入することによって極性効果が小さくなり、この場合逆電離現象が発生しているものと推測される。

(3・2・2) コロナ開始電圧

前述の逆電離現象を確かめるため負針の場合の逆電離によるコロナ開始電圧および正針の場合のストリーマコロナ開始電圧を、それぞれわらばん紙のそう入枚数に対して示したのが第6図である。負針の場合、わらばん紙をそう入することによりフラッシュオーバーにいたる前にわら



第6図 抵抗率： $1.2 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ ρ ：1.00mm
室温：29~30.5°C 相対湿度：60%

ばん紙上にいくつかのスポットを生じ、そこから赤紫色のストリーマ状の正コロナが発生しているのが認められた。このような平板側からの正コロナはギャップ長さGが50mmの場合そう入枚数が3枚以上、Gが20mmの場合そう入枚数が2枚以上の範囲で安定に発生し、この安定に発生するそう入枚数の最小値は前述のフラッシュオーバー電圧に極小値を生ずるそう入枚数にほぼ等しい。一般に負針の場合、その印加電圧を上昇するとともに針端の電位傾度が增大するが、コロナを対極へ進展する効果が抑制される。ところがわらばん紙をそう入すると、その抵抗率が大きい場合その表面に陰イオンが蓄積し、わらばん紙表面と、正の平板電極との間に見掛け上大きな空間電荷電界を生ずる。これによってわらばん紙の局部を通じてコロナ放電が開始するようになる。このため負針の場合、見掛け上対極に対するコロナの進展が増大することになりフラッシュオーバー電圧が著しく低下するものと考えられる。

つぎに正針の場合、針端より平板側に向かって延びるス

トリーマコロナの開始電圧はわらばん紙のそう入枚数の増加にともない著しく低下し、極小値を経てわずかに上昇する。この傾向も前述のフラッシュオーバー電圧特性に対応している。正針の場合はコロナが負針の場合にくらべて、対極に向かって著しく進展しやすい。これは対極に対して形成される空間電荷電界のためであるが、わらばん紙のそう入によって見掛け上この空間電荷電界が助長される。

なお、正針、負針ともにわらばん紙の抵抗率および気孔率によってそのフラッシュオーバー前における電界傾度は異なる。したがって抵抗率が前述の<3・1>の場合はその漏れ電流によってこの部分に高い電界を形成し難く、フラッシュオーバー電圧ならびにコロナ開始電圧はともに大気中の場合とほぼ等しくなるものと考えられる。

(3・2・3) 逆電離による正コロナの形態

前述の負針の場合におけるわらばん紙そう入による逆電離現象を確認するため、そのコロナの形態(4)を写真に撮って示したのが第7図(a)、(b)、(c)である。これは針端曲率半径 ρ ：1.00mm、ギャップの長さG：50mm、そう入わらばん紙数：10枚の場合で露出は1秒である。まず印加電圧が第6図に示したコロナ開始電圧に達すると(a)にでているように、わらばん紙上にいくつかのスポットが生じ、そこから針端に向かってストリーマ状の正コロナが伸び始める。(a)の場合、針端直下近傍のわらばん紙上に特に強いスポットが認められ、この部分にコロナ電流の集中していることがうかがわれる。印加電圧をさらに上昇すると、このスポットの分布は拡大され、(b)の写真ではあたかも正針時のストリーマ状コロナのような形態となっているが、時間的には(a)に示されているような個々の点状のスポットである。(c)はさらに印加電圧を上昇した場合の形態である。

以上のように平板側のダスト層の電界傾度の増大に伴って局部的なコロナスポットが発生し、さらに電界傾度の増大によってわらばん紙上の最も絶縁耐力の低い点においてわらばん紙が絶縁破壊を起こす。この先駆によってギャップのフラッシュオーバーが誘発されることになる。このような過程のもとでは負針時におけるフラッシュオーバーは針対針電極配置の場合の一方を高電離状態に保った場合と等価的なものとなる。したがって高抵抗率のわらばん紙をそう入した場合、負針時におけるフラッシュオーバー電圧は著しく低下することになる。

4 ま と め

以上の結果をまとめるとつぎのようになる。

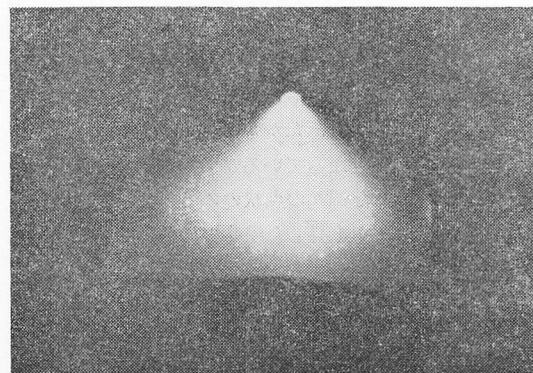
1) 電気集じん器における両電極間のフラッシュオーバー



(a) 印加電圧 32 KV



(b) 印加電圧 35 KV



第7図 (c) 印加電圧 39 KV

電圧は集じんダストの特性によって大きな影響を受ける場合がある。これはダストの抵抗率とその堆積時における気孔率によって左右されるものと考えられる。

2) 集じんダストの代りにわらばん紙を置きかえた場合の特性はその抵抗率が $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度と比較的低い時には、その放電特性は空気中のそれとほとんど変わらない。したがってこのようなわらばん紙に対応するようなダストを集じんする場合は、電離電極を従来通り負極とする方が有利である。

3) しかし抵抗率が $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度になるとわらばん紙のそう入によって直流の正、負、交流電圧のいずれの場合もフラッシュオーバー電圧が著しく低下する条件がある。

4) わらばん紙のそう入枚数の増加にもなって、フラッシュオーバー電圧は印加電圧の種類に関せず極小値を経て徐々に上昇する。

5) このフラッシュオーバー電圧の極小値は両電極の非対称度（針端曲率半径 ρ ならびにギャップの長さ G ）のある条件のもとで、正針時よりむしろ負針時の場合が低くなることもある。

6) したがってフラッシュオーバーの面から見るとこれらの条件を十分検討して電気集じん器の電極寸法ならびにその電離電極の極性を決定すべきものと思われる。

おわりにこの実験にあたり協力いただいた本校職員の佐藤淳、堅固山幸治の両君に厚くお礼申し上げる。

文 献

- (1) 電気学会編・放電現象
- (2) 電気工学ハンドブック
- (3) 諫早典夫・窯協誌67 (昭34)
- (4) G.W.PENNEY, S.E.CRAIG・A I E E
Trans.pt. 1, p.112 (1960)