

モデルによる汚損面の吸湿、漏れ電流およびフラッシュオーバー特性の解析

Analysis on the Characteristics of Absorption of Moisture, Leakage Current and Flashover Voltage on the Polluted Surface using a Model

河村 達雄*・伊坂 勝生*

Tatsuo KAWAMURA and Katsuo ISAKA

1. 緒 言

汚損がいしのフラッシュオーバー現象は絶縁設計上最も大きな問題の一つとなっているが、従来から試験データの積み重ねが先行し、その基礎的な面には未だ多くの不明な点が残されているのが現状である。筆者らは汚損がいしの基礎現象を定量的に把握するために、均一に汚損されたがいしのモデルを用い、相対湿度 70, 80, 90, 95% における汚損面の吸湿密度、漏れ電流およびフラッシュオーバー電圧の時間特性を求め、これら相互間の相関関係を明らかにした。またこれら諸因子が湿度に著しく依存することを示し、あわせてその理論的検討を加えた。本論文はこれらの結果についてのべる。

2. 実験方法

(1) 人工汚損板の作製 実験に使用した試料は長さ 80 mm, 幅 50 mm, 厚さ 0.2 mm のガラス板である。両端に 10 mm 幅に金液を塗り、約 700°C で焼きつけこれを電極とした。従来のモデル実験では常に電極が問題となったが、このようにして作製した電極は、導電性がきわめてよく、また汚損層との接触が良好であるなどの利点を有している。また電極は非常に軽量で、全重量を約 2 g におさえることができ、高精度の吸湿量測定を可能とした。汚損液として食塩 1% 溶液と Kaolin 1% 液を用意し、吹きつけと乾燥の手順を繰返しながら試料に規定量の汚損物を付着させた。秤量には精密級化学天秤を用い、塩分付着量をより正確にするために Kaolin, 食塩の順序で付着させ、0.2 mg/cm² の Kaolin 付着密度に対し、塩分付着密度として 0.01, 0.05, 0.1, 0.2 mg/cm² の 4 種類の人工汚損板を作製した。この汚損板作製の再現性を調べるために、デシケータの一定湿度雰囲気中に塩分付着密度 0.1 mg/cm² の汚損板を同時に 5 個入れ、数時間後におのおの吸湿量を測定した。吸湿量ならびに塩分付着量のばらつきは 4% 以内であり、この種の実験としてはきわめて精度が高く、実験結果に十分再現性があることを確認した。

(2) 実験方法 試料をよく乾燥させた後、恒温恒湿室(室温 20°C 一定)中に水平に配置し、相対湿度 70, 80, 90, 95% における吸湿量、漏れ電流およびフラッシュオーバー電

圧を 10 分間隔で 6 回測定し、これらの時間特性を求めた。吸湿量は室内に置かれた化学天秤で秤量し、漏れ電流は直流 100 V を間歇印加した場合の電流計の振れを読み取った。フラッシュオーバー試験は 300kVA, 60kV の変圧器を用い、上昇法により行なった。

3. 実験結果

吸湿密度の時間特性の 1 例として、相対湿度 90% における結果を第 1 図に示す。また第 2 図に飽和吸湿密度と

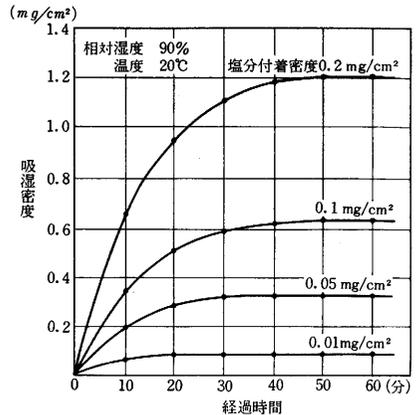


図 1 吸湿密度の時間特性 (Kaolin 0.2 mg/cm² を含む)

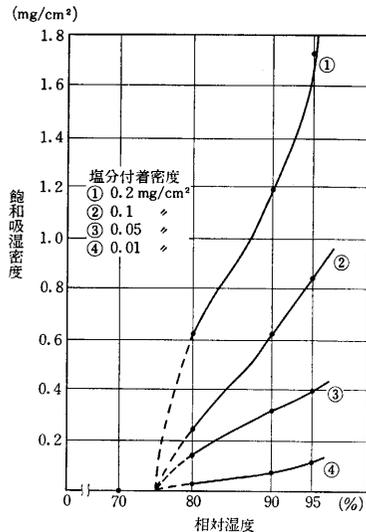


図 2 飽和吸湿密度と相対湿度との関係 (温度 20°C)

* 東京大学生産技術研究所 第 3 部

研究速報

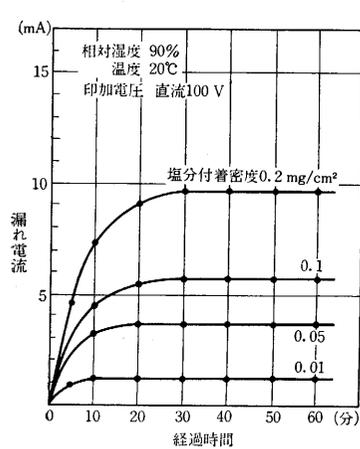


図3 漏れ電流時間特性 (Kaolin 0.2 mg/cm² を含む)

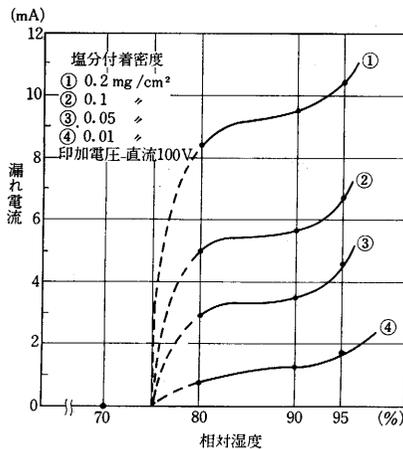


図4 漏れ電流と相対湿度との関係 (Kaolin 0.2 mg/cm², 温度 20°C)

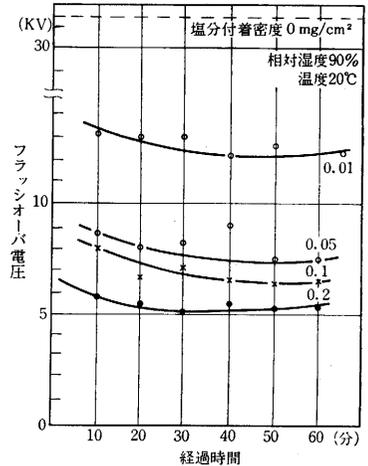


図5 フラッシュオーバー電圧時間特性 (Kaolin 0.2 mg/cm² を含む)

相対湿度との関係を示してあるが、相対湿度70%においては塩分による吸湿は測定されなかったため、吸湿開始相対湿度は70~80%の間に存在するものと推定される。後の考察から理論的吸湿開始相対湿度は75%と算定されたので、各々の曲線は75%でほぼ零になるように点線で外挿を行なった。漏れ電流については、その時間特性および湿度依存性をそれぞれ第3図および第4図に示す。相対湿度70%における漏れ電流は塩分付着密度によらず無視できる程度であったが、これは相対湿度75%以下では塩分による吸湿現象が起らないことに起因する。第5図および第6図にフラッシュオーバー電圧の時間特性ならびに湿度依存性が示されている。相対湿度70~80%の間のある湿度(理論的には75%)以下ではフラッシュオーバー電圧が汚損に影響されないものと考えられる。

4. 考察

(1) 飽和吸湿量 汚損面の吸湿速度は次式で与えられる¹⁾²⁾。

$$\frac{dm}{dt} = \frac{\sigma M}{B} P_0 (r - X_1) \quad (1)$$

ただし σ : 水蒸気の空気に対する比重, M : 単位時間に汚損面の単位面積に当たる湿潤空気の重さ, B : 大気圧, P_0 : 純溶媒の蒸気圧, r : 湿潤空気の相対湿度, X_1 : 溶媒のモル分率を示す。上式で吸湿の飽和状態を与える条件は $r = X_1$ である。 X_1 と食塩溶液濃度との関係³⁾を用いて、塩分付着密度 0.2 mg/cm² における飽和吸湿密度を理論的に計算した(第1表)。この結果は相対湿度

表1 飽和吸湿密度

相対湿度 (%)	測定値 (mg/cm ²)	理論値 (mg/cm ²)
80	0.68	0.67
90	1.20	1.18
95	1.73	2.02

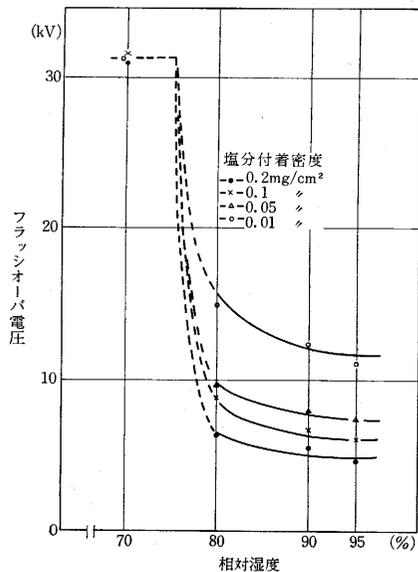


図6 フラッシュオーバー電圧と相対湿度との関係 (Kaolin 0.2 mg/cm², 温度 20°C)

80, 90%における実験結果と極めてよく一致している。相対湿度95%における両者の相違については、汚損面の凹凸による蒸気圧の変化によるものと思われ、相対湿度が高くなるにつれて理論値との差が大きく現われる傾向にある。

(2) 吸湿開始相対湿度 食塩飽和溶液に相当する X_1 は 0.75 であるから³⁾、相対湿度75%以下においては吸湿によって食塩溶液を形成することはできない。したがって吸湿開始相対湿度は75%であるといえる。このことは第2, 4, 6図に示された特性曲線が相対湿度70~80%の間において急激に変化することをよく説明できる。また実が

の多くは熱平衡とは考えられない飽和領域で行なっている矛盾があるが、MOS トランジスタの詳略な解析²⁰⁾によると、飽和領域で動作している時、ドレイン近傍の空乏層領域では、電流は界面からバルク側へ数 μ にわたって広がって流れていると考えられる。

したがってこの領域では、表面単位による雑音の寄与は少ないものと考えられる。ゆえに、重要な雑音発生部分はソース側のチャンネルが依存する領域であると考えられる。ところが、この領域では電位がほとんど変化せず、しかもそのソース端では熱平衡にある。以上により、①の仮定は飽和領域でもかなり良い近似で使えると考えられる。

②の仮定の後半は本質的に雑音の周波数特性を決めるものであるから、この分布が変れば $1/f$ 雑音を与えないとも考えられるが、S. Christensen⁹⁾が検討しているように、それは $1/f$ 特性に重大な影響を与えない ($\rho(x) = 10^2 \cdot \rho_0 e^{-\alpha x} + \rho_0$, $x \leq d$ なる分布として、 $f = 10^6$ Hz 付近以上で $1/f$ 特性からずれる程度である)。②の前半の仮定は雑音量の大きさやバイアス依存性などを決定するもので、 $1/f$ 特性そのものには影響しない。しかし実用的には、MOS トランジスタの雑音のバイアス依存性の予測など定量的な解析に重要になってくる。しかし、これを行なうには表面単位についてのさらに詳しい研究が必要である。

おわりにあたり、実験のさい実験試料を製作していただいた KK 日立製作所・武蔵工場の大野稔氏はじめ関係各位に感謝いたします。 (1969年5月1日受理)

参考文献および補注

- 1) 菅野・小野・垂井編 “MOS 電界効果トランジスタ”

- 日刊工業新聞社 (1968)
 2) IEEE. Trans. ED-14, No. 4 (1967)
 3) 松下: 修士論文 (1968.3) に詳しい総括がある。
 4) A. G. Jordan and N. A. Jordan: IEEE. Trans. ED-12, No. 3 (1965)
 5) E. H. Nicollian and H. Melchior: B.S.T.J. Vol. 46 p. 2019 (1967)
 6) G. Abowitz, E. Arnold and E. A. Leventhal: IEEE. Trans. ED-14, No. 11 (1967)
 7) C. T. Sah and F. H. Hielscher: Phys. Rev. Letters Vol. 17, No. 10 (1966)
 8) E. A. Leventhal: Solid-State Electronics, Vol. 11, p. 621 (1968)
 9) S. Christensen, I. Lundström and C. Svensson: Solid-States Electronics, Vol. 11, p. 797 (1968)
 10) 中原・岩沢・安武: 電子通信学会, トランジスタ研究会資料 SSD 68-6 (1968-04)
 11) 山本: 東芝レビュー, Vol. 23, No. 6 (1968)
 12) 安達・松下・上村: 生産研究 Vol. 20, No. 6 (1968)
 13) 同上: 同上 同上 No. 10 (1968)
 14) 安達・茅根・上村: 同上 Vol. 21, No. 4 (1969)
 15) 以下の議論は茅根: 修士論文 (1969,3) に詳しい。
 16) このことから、チャンネル内の電子密度のゆらぎ δN は空のトラップ密度のゆらぎ δN_{tr} で表現できる。また Jordan⁴⁾ の表記法による $R_n \gg R_p$, $(c_D + c_n) \gg c_t$ が成立する。
 17) McWhorter: “Semiconductor Surface Physics” edited by Kingston, p. 207. Univ. of Pennsylvania Press (1957)
 18) n_s を N に変えると、その次元が $[\text{cm}^{-3}]$ から $[\text{cm}^{-2}]$ に変ることから捕獲確率 c_n の定義が変わることに注意する。 $c_n = \langle v_{th} \sigma \rangle$ (v_{th} は電子の平均熱速度, σ はトラップの捕獲断面積) の σ のかわりに Jäntschi の定義した Capture Crossline σ_t を用いて $c_n = \langle v_{th} \sigma_t \rangle$ [cm^2/sec] とする。O. Jäntschi: Solid-State Electronics. Vol. 11, p. 267 (1968)
 19) P. V. Gray and D. M. Brown: Appl. Phys. Letters, Vol. 8, No. 2 (1966)
 20) H. W. Loeb, R. Andrew and W. Love: Electronics Letters Vol. 4, No. 17, p. 352 (1968)

研究速報

p.21 よりつづく

いしのフラッシュオーバー特性を十分に裏付けている⁴⁾。

5. 結 言

汚損面の吸湿、漏れ電流およびフラッシュオーバー電圧の時間特性ならびに湿度依存性をガラス板モデル実験で明らかにした。これらの結果は汚損監視に関する基礎データともなり得るものと考えられる。今後自然汚損状態と対応をとるために、食塩以外の電解質の影響およびがいしと空気層との温度差による影響について研究を行なう予定である。

終りに本研究についてご指導を賜った故藤高周平教授、有益な助言をいただいた藤田良雄助手に厚く感謝の意を表する次第である。 (1969年5月2日受理)

参 考 文 献

- 1) 藤高, 伊坂: 昭和42年電気学会東京支部大会論文集 250 (昭和42年10月)
 2) 河村, 伊坂: 昭和44年電気四学会連合大会論文集 1265 (昭和44年3月)
 3) E. W. Washburn: International Critical Tables of Numerical Data, vol. III, McGraw Hill (1926年).
 4) 瀬田: 電力中央研究所技術研究所報告 NO. 66050 (昭和41年10月).