

塩分濃度を変化させた場合のポリマー材料の耐電圧評価

川口 翔大^{a)}・迫田 達也^{b)}・阿嘉 良昌^{c)}・安食 富和^{c)}・深野 孝人^{c)}

Withstand Voltage Characteristics of Polluted Polymeric Material

Shota KAWAGUCHI, Tatsuya SAKODA, Yoshiaki AKA, Tomikazu ANJIKI, Takato FUKANO

Abstract

To widely promote the application of polymer housed electric power equipment from the distribution class to the high voltage class in Japan, details of deterioration owing to pollution deposits and the long-term reliability should be investigated. In this study, to grasp influence of salt pollution deposits and difference of AC/DC voltage application on insulation performance, AC/DC flashover test and observations of corona or dry-band arc discharge and flashover channel were carried out against silicone rubber samples polluted by salt damage. The results showed that salt pollution deposits influenced on discharge processes and formation of flashover channel. Such characteristics also influenced on flashover voltage, and the difference of flashover voltage for unpolluted and polluted SiR samples.

Keywords : polymer, silicone rubber, discharge

1. はじめに

電気絶縁機器は、電力エネルギーを安全且つ確実に送り届けるという重要な役割を担っており、塩害等の厳しい使用条件においても耐え得る絶縁耐力と、風・雪等の外力に耐え得る機械的強度が要求される。従来、電気絶縁機器の外被材料には主に磁器やガラスが使われてきたが、近年ではポリマー材料の適用が拡大している。磁器等の無機材料は、絶縁特性が良く、耐候性も優れている等の長所を持つ反面、重量物であり耐衝撃性が悪い。また、汚損湿潤時に耐電圧が大きく低下する等の短所がある。一方、ポリマー材料は軽量で機械的強度が高く、耐汚損特性にも優れている。しかし欧米に比べて、国内でのポリマー機器の適用は限定的である¹⁻²⁾。長期屋外使用における紫外線や酸性雨等の環境因子や材料表面で発生する放電等の電気的因子による劣化、汚損物質の堆積による特性変化や絶縁性能の低下が危惧されているためである¹⁾。従って、日本国内でのポリマー機器の適用を拡大するためには、劣化機構の解明と長期信頼性の把握が最重要課題である²⁾。

ところで、屋外環境で用いられる電気絶縁機器に与えられるストレス要因は様々である。そのため、長期的なポリマー材料の劣化評価として、実フィールドでの長期間曝露が行われている。

本報では、塩害がポリマー材料の絶縁性能に与える影響を評価することを目的とし、ポリマー材料にフラッシュオーバー(flashover : F.O.)試験を複数回を行い、耐電圧特性評価を行うとともにF.O.に至るまでの過程を観測し、比較・検討した結果について述べる。

2. 実験

図1に試験装置の概要、図2に試験試料と課電電極、接地電極からなるステンレス製金属電極の配置をそれぞれ示す。試験条件を表1に示す。試験は降雨や霧など多湿な環境を模擬するため、試料表面を湿潤させた状態でも行った。交流電圧として商用周波電圧(60Hz)、直流電圧は正極性電圧を使用した。試験試料にはSiRを用い、試料の片面に図3に示すような金属電極1組を配した。試料表面の湿潤は、試料設置後、超音波加湿器を用いて試験容器内に常時噴霧し整えた。課電前の事前噴霧は、1時間行い水分が同量付着するようにした。湿潤後、電圧を印加、昇圧し、F.O.に至った時の電圧を記録し、F.O.に至る過程を高速度カメラを用いて撮影した。F.O.電圧の確認はデジタル・オシロスコープを用いて行い、F.O.は、5 mA以上の電流パルスが確認されるとともに電圧が0 V近傍まで低下した時と定義した。試験の手順は、試料の湿潤完了後1回目の試験を行い、その後試料を再湿潤し、再湿潤完了後2回目の試験を行った。さらに再湿潤を行い、3回目の試験を行った。これを5回目まで繰り返した。

a)工学専攻大学院生

b)電気システム工学科教授

c)東芝エネルギーシステムズ株式会社

表 1 試験条件

Sample size [mm×mm×mm]	75×50×t4
Gap length [mm]	50
Arranged angle [°]	0
Test liquid[mS/cm]	1,10,16,45
Chamber size [m×m×m]	1.2×1.2×1.2
Spray quantity [ℓ/h]	1.2
Voltage increase rate [kV/sec]	0.5
Series resistor [MΩ]	1

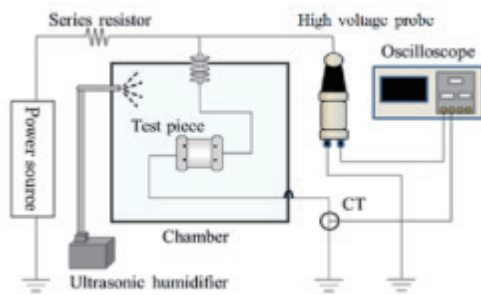


図 1. 実験装置の概要.

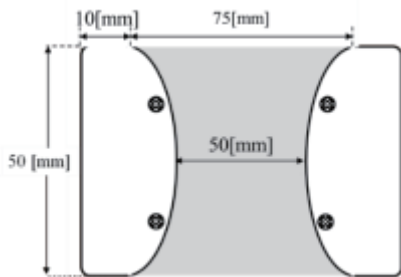


図 2. 試験試料と電極の配置.

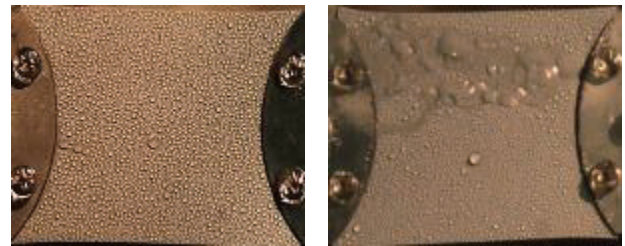
3. 実験結果および考察

3.1 交流課電時

導電率の違いによる F.O.に至る過程の違いは見られなかったため導電率 16mS/cm の F.O.に至る過程を図 3 に示している。同図(a)に示すように電圧印加前は小さな無数の水滴が付着しており、撥水性は STRI 法で HC1 である。そこから昇圧していくと、同図(b)に示すように部分放電が発生し、試料表面の撥水性が低下し図(c)に示すように F.O.が発生する。試験後、霧吹きでイオン交換水を吹きかけ撥水性を調べると、同図(d)に示すように放電の経路となった部分の撥水性が HC6~7 程度まで低下していた。この F.O.に至る過程は連続試験 5 回を通して同様の過程であった。

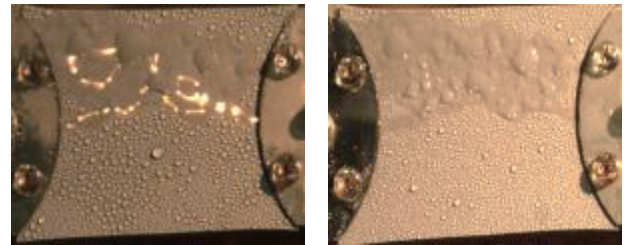
図 4 に各条件における試験終了後の試料表面の様相を示す。F.O.に至る過程は導電率の影響なく同様であったが、試験終了のダメージについては異なる結果となった。同図

(a)(b)に示すように、導電率 45mS/cm、16mS/cm では試験終了後、試料表面にエロージョンの形成が確認された。それに加えて、F.O.試験を重ねるごとにエロージョンの形成範囲の増大が確認された。一方、同図(c)(d)に示すように導電率 10mS/cm、1mS/cm では試験終了後、試料表面にエロージョンの形成が確認されず 5 回の F.O.試験を通して放電による試料表面へのダメージは確認されなかった。



(a)電圧印加前

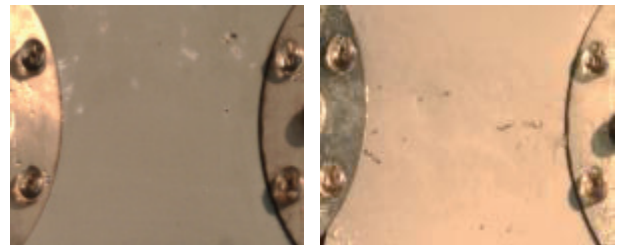
(b)昇圧中



(c)F.O.

(d)試験後撥水性確認

図 3 交流課電時の F.O.に至るまでの過程



(a) 45mS/cm

(b) 16mS/cm



(c) 10mS/cm

(d) 1mS/cm

図 4 各条件における試験終了後の試料表面の様相

図 5 に各条件における交流課電時の F.O.電圧を示す。同図より、1 回目の試験では試料表面の導電率の差の影響を受け導電率の高い条件下で F.O.電圧が低くなった。2 回目以降の F.O.電圧は、16mS/cm、45mS/cm の条件で 1 回目の F.O.電圧と比較して回数を重ねることによりさらなる耐電圧特性の低下が確認された。それに対して、1mS/cm、

10mS/cm、では2回目以降の耐電圧特性の低下は確認されなかった。これは、図4に示すように放電によるエロージョンの形成の有無が関係していると考えられる。

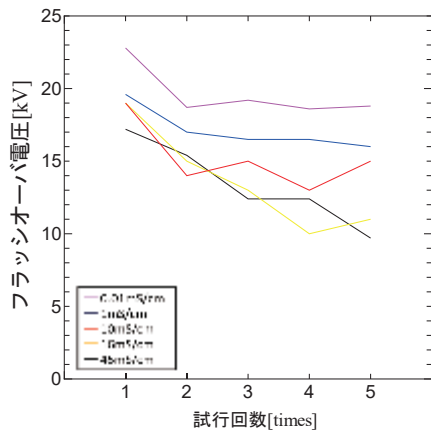


図5 各条件における交流課電時のF.O.電圧

3.1 直流課電時

図6に導電率16mS/cm時の直流課電時のF.O.に至るまでの過程を示し、図7に導電率1mS/cm時の直流課電時のF.O.に至るまでの過程を示す。10mS/cm、16mS/cm、45mS/cmのFOに至る過程に違いが見られなかったため、ここでは導電率16mS/cmのF.O.に至る過程を説明する。図6(a)に示すように電圧印加前は小さな無数の水滴が付着しており、撥水性はSTRI法でHC1である。そこから昇圧していくと、同図(b)に示すように部分放電が発生し、試料表面の撥水性が低下させ同図(c)に示すようにF.O.が発生する。試験後、霧吹きでイオン交換水を吹きかけ撥水性を調べると、同図(d)に示すように放電の経路となった部分の撥水性がHC6~7程度まで低下していた。このF.O.に至る過程は連続試験5回を通して同様の過程であった。1mS/cmのF.O.に至るまでの過程に関しては、1回目の試験において他の導電率の結果と異なり、F.O.発生前に部分放電の発生が確認されず、突発的なF.O.が確認された。また発生したF.O.は、図7に示すように試料表面と空中を波打つような形で発生した。しかし、2回目以降は先述した10mS/cm、16mS/cm、45mS/cmと同様に部分放電により撥水性を低下させながらF.O.へと至った。

図8に各条件における試験終了後の試料表面の様相を示す。同図(a)(b)(c)に示すように、導電率45mS/cm、16mS/cm、10mS/cmでは試験終了後、試料表面にエロージョンの形成が確認された。それに加えて、F.O.試験を重ねるごとにエロージョンの形成範囲、ダメージ量の増大が確認された。しかし、同図(d)に示すように導電率1mS/cmでは試験終了後、試料表面にエロージョンの形成が確認されず5回のF.O.試験を通して放電による試料表面へのダメージは確認されなかった。

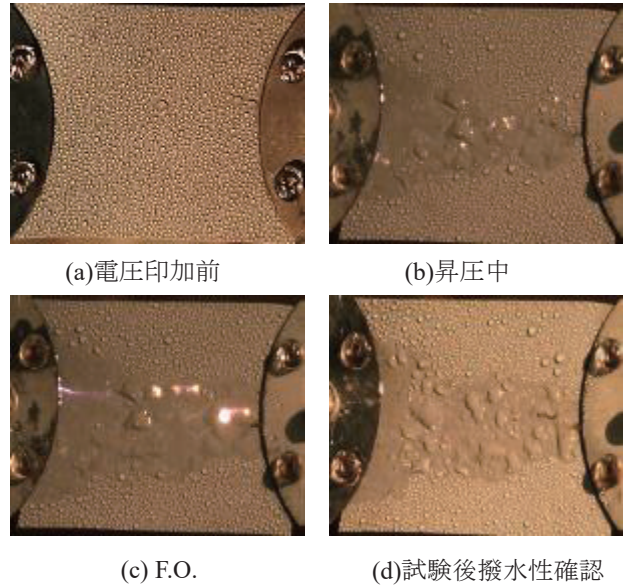


図6 導電率16mS/cm時の直流課電時のF.O.に至るまでの過程

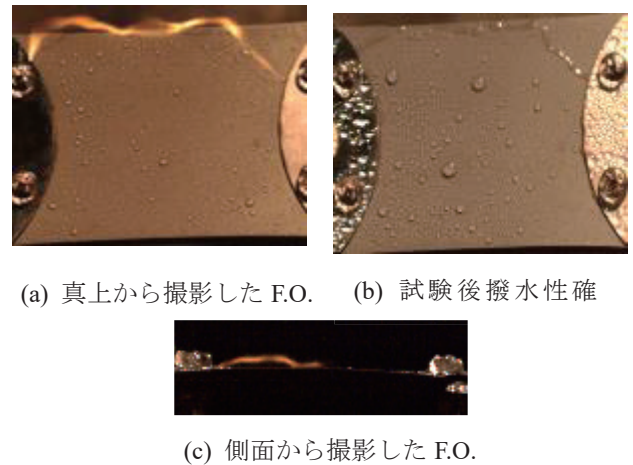


図7 導電率1mS/cm時の直流課電時のF.O.に至るまでの過程

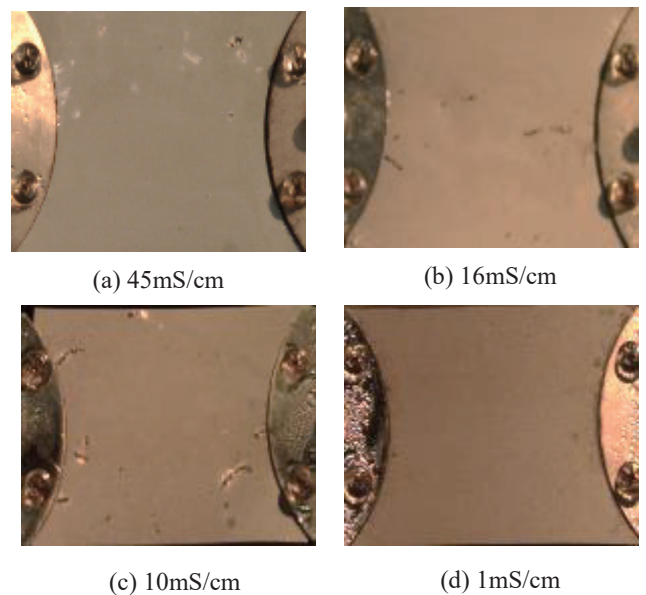


図8 各条件における試験終了後の試料表面の様相

図9に各条件における直流課電時のF.O.電圧を示す。同図より1回目の試験では10mS/cmまでは導電率の影響を受けずに耐電圧特性の低下は確認されなかった。このことから、1回目の放電では10mS/cm~16mS/cm間でポリマー材料の耐電圧特性を急激に低下させる閾値が存在すると考えられる。また、2回目以降は塩分濃度の影響を大きく受け、塩分濃度の差がF.O.電圧の低下率に影響を与える結果となった。しかし、エロージョンが表面で発生すると試料上の導電率の差はあまり影響なくなり導電率に関係なく一定の値となった。このことから、試料表面に塩分を付着させることによる導電率上昇よりもエロージョンの発生は、電気的特性に与える影響が支配的であるのではないかと考えられる。

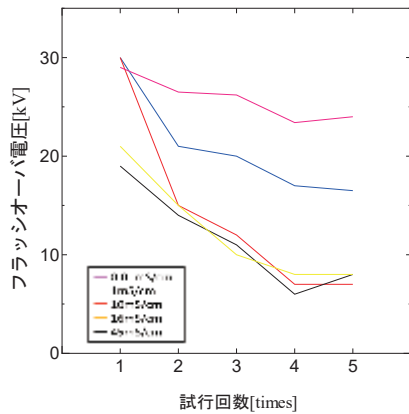
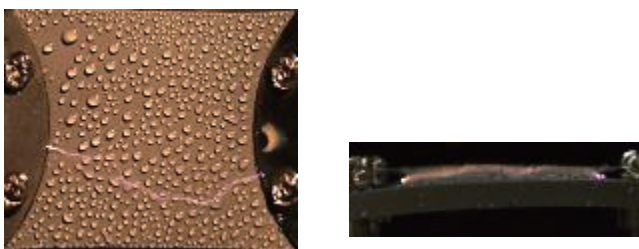


図9 各条件における直流課電時のF.O.電圧

4. 交流課電時と直流課電時の比較

図10に直流課電時の導電率0.01mS/cmのF.O.の起こり方を示す。F.O.に至る過程に関しては、交流課電時においては導電率の影響に関係なく同様の結果であったが、直流課電時においては一部異なる結果となった。直流課電時1mS/cmの1回目の放電の起こり方は図7、図10に示すように、一部イオン交換水(0.01mS/cm)の放電の起こり方と類似しており低濃度の場合、直流課電の方が交流課電に比べ塩分付着の影響を受けにくいことが示唆された。



(a) 真上から撮影したF.O. (b) 側面から撮影したF.O.

図10 導電率0.01mS/cmの場合のF.O.の起こり方

F.O.電圧に関しては、交流・直流課電共通して、試料表面の導電率上昇による耐電圧特性の低下が確認確認され

た。しかし、交流課電と直流課電では低下の度合いに違いが見られた。直流課電時では、ある一定までは塩分付着による導電率上昇の影響を受けにくく、ポリマー材料の耐電圧特性への影響を受けにくい。交流課電時では、塩分付着による導電率上昇の影響を受けやすく、ポリマー材料の耐電圧特性に対する影響を受けやすいことが確認された。しかし、交流、直流課電ともに、放電の影響により試料表面にエロージョンが発生すると、導電率の差はあまり関係なくなり、近似したようなF.O.電圧を示す。

5. まとめ

同一の試料を用いて複数回連続F.O.試験を行い、塩害によるポリマー材料の絶縁性能への影響を検討した。塩分付着の影響によって交流・直流ともに耐電圧特性低下という同様の特徴が確認されたが、導電率上昇によるF.O.電圧の低下率に関しては違いが確認された。ある程度低い濃度(低汚損)であれば1回の耐電圧特性は交流に比べ直流の方が高いことが確認された。しかし、高い塩分濃度で、直流・交流ともに複数回放電が発生することでエロージョンが発生し、耐電圧特性に大きく寄与した。また、交流に比べ直流の方が低い導電率でエロージョンが発生しやすいことが確認された。

参考文献

- 1) R. Hackman: "Outdoor HV Composite Polymeric Insulators", IEEE Trans. DEI, Vol.6, No.5, pp. 557 – 585 (1999)
- 2) Takuma Miyake, Yuya Seo, Tatsuya Sakoda, Masahisa Otsubo: "Assessing Long-term Reliability of Polymeric Housing Materials", Institute of Electrical Engineers of Japan Transactions on Power and Energy, Vol. 131, No. 6, pp. 530-531 (2011)
- 3) STRI Guide 9211, "Hydrophobicity Classification Guide." 1992