



ポリマー材料の傾斜角度がポリマー表面の放電特性  
に与える影響

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2020-06-21 キーワード (Ja): キーワード (En): polymer, silicone rubber, inclination of shed, discharge 作成者: 出口, 竜也, 栢, 健一, 三宅, 琢磨, 迫田, 達也, 阿嘉, 良昌, 安食, 富和, 深野, 孝人, Deguchi, Tatsuya, Haji, Kenichi, Aka, Yoshiaki, Anjiki, Tomikazu, Fukano, Takato メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10458/5893">http://hdl.handle.net/10458/5893</a>

# ポリマー材料の傾斜角度がポリマー表面の放電特性に与える影響

出口 竜也<sup>a)</sup>・栢 健一<sup>b)</sup>・三宅 琢磨<sup>c)</sup>・迫田 達也<sup>d)</sup>  
阿嘉 良昌<sup>e)</sup>・安食 富和<sup>e)</sup>・深野 孝人<sup>e)</sup>

## Influence of Inclination Angle of Polymer Material on Discharge Characteristics

Tatsuya DEGUCHI, Kenichi HAJI, Takuma MIYAKE, Tatsuya SAKODA,  
Yoshiaki AKA, Tomikazu ANJIKI, Takato FUKANO

### Abstract

Polymeric material has attracted much attention because of lightweight, high-insulation performance, and anti-weather aging performance. We have developed a polymer-housed arrester which can be useful for DC voltage application. In this study, we focused on relationship between inclination of polymer material and characteristics of the discharge ignition on the polymer surface. It was found that voltage stress and adhesion amount of water droplet on the polymer surface were important factors of occurrence of a continuous discharge.

**Keywords :** polymer, silicone rubber, inclination of shed, discharge

### 1. はじめに

従来の電気絶縁機器の外被材料には磁器等の無機材料が用いられてきたが、近年は、機械的強度、耐汚損特性が良く、軽量で作業性に優れたシリコンゴム等のポリマー材料を外被材に使用したポリマー機器の適用が進んでいる。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<sup>1-2)</sup>。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<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。

上述の、ポリマー材料の様々な劣化要因の中でも、エロージョン、トラッキングのような材料に損傷を与える現象は大きな問題である。著者等は、2009年よりポリマー機器の長期信頼性に関して試験を行っている。この中で、ポリマーがいしやポリマー避雷器の外被の各々の角度が機器の電気的劣化現象に与える影響を評価している<sup>3)</sup>。さらに、交流課電よりも直流課電の方が放電による材料の損耗が激しく直流機器への適用が限定的であるために、直流課

電下でのポリマー材料の長期信頼性評価を行っている<sup>4)</sup>。本研究では直流課電下で塩霧試験を行い、ポリマー表面のエロージョンに繋がる継続的な放電が開始する時点を“放電開始時間”と定義した上で、ポリマー材料の傾斜角度と電界に拠る水滴の挙動がポリマー材料の放電特性に与える影響を評価した。

### 2. 試験方法

図1に塩霧試験装置の概要を示す。試験用直流電圧は、単相変圧器からの出力を高電圧整流ダイオードで半波整流し平滑コンデンサにより得た。電圧のリップルは、負極性の放電電流が発生しないように0.5%以下になるように極力小さくしている。試験試料は、幅50mm、長さ70mm、厚さ5mmのHTV (High Temperature Vulcanizing)シリコンゴムとし、同シリコン板の片面に図2のようなSUS製電極を試料表面の電極間距離が50mmとなるようにアクリル製のネジを使用して設置した。また、試料の上面及び裏面の撥水性の比較検討を行うため、電極は図3のようにアクリル製のネジを使用して試料上面あるいは裏面に取り付けた。電極を試料上面に取り付けた場合の上面での電極間距離は50mm、電極を試料裏面に取り付けた場合の上面の電極間距離は試料の厚み分も加わって80mmとなる。試料は、各辺が1.5mの塩霧試験容器内に設置し、傾斜角度は水平面に対して6°、10°、15°、20°とした。電極試験電圧は直流正極性4kVとし、試験中は常時課電した。

a) 電気電子工学専攻大学院生

b) 鹿児島工業高等専門学校電気電子工学科助教

c) 工学部教育研究支援技術センター技術職員

d) 電気システム工学科教授

e) 株式会社東芝社会インフラシステム社

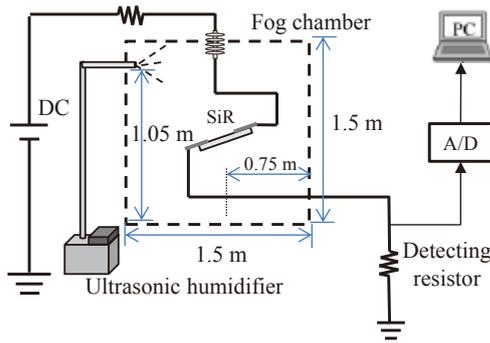


図1. 塩霧試験装置の概要.

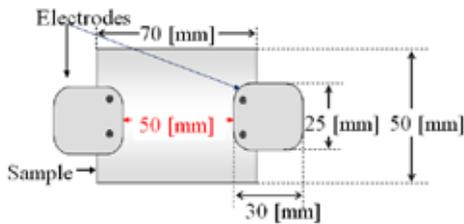
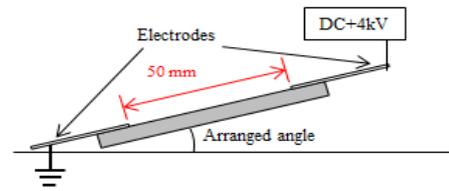
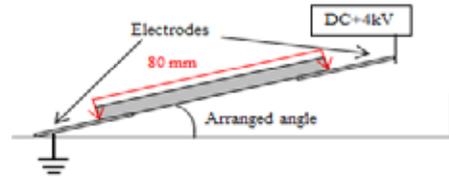


図2. 試験試料と電極の配置.

可溶性の汚損物質は、イオン交換水に NaCl を溶かして生成した。この試験での汚損物質の導電率は重汚損とされる  $16 \text{ mS/cm}^5$  とした。これを直径 30 mm の出力口を有する超音波加湿器により平均粒径  $10 \mu\text{m}$ 、噴霧量  $1.2 \text{ l/h}$  で  $1.5\text{m} \times 1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$  の塩霧試験容器内に常時噴霧した。なお図3に示した試験試料は塩霧試験容器内の中央で底面から  $0.55\text{m}$  の高さに設置した。超音波加湿器出力口は図1に向かって左側面で底面から高さ  $1.05 \text{ m}$  の位置にあり、試料との距離は  $0.9 \text{ m}$  である。図3の傾斜した試料の上面は超音波加湿器出力口に向いており、図1は試験容器の正面図となっている。また、塩霧が試料上に均一に供給されているか確認するために、試料に電圧を印加することなく  $90 \text{ min}$  間の塩霧を噴霧した後ポリマー表面の水滴の分布を観察した。電極の傾きが  $6^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$  における試料表面の様子を図4に示す。噴霧器からの塩霧が試料表面に水滴となって一様に付着しており、若干  $15^\circ$ 、 $20^\circ$  の水滴が大きい。なお、試料表面の撥水性を STRI(Swedish Transmission Research Institute)法<sup>6)</sup>により評価すると、試料表面の撥水性は全て HC1 と評価できる。漏れ電流は、A/D 変換ボードを介して  $10 \text{ MS/s}$  で PC に記録した。なお、各傾斜角度で5回の塩霧試験を行って平均値を求めた。放電開始時間は、 $5 \text{ mA}$  以上の直流表面漏れ電流が  $30 \text{ ms}$  以上継続して検出され始める時間と定義した。ただし、放電開始時間直後の試料にはほとんどエロージョンを確認できなかったので、放電開始時間を確認した後も塩霧試験を継続し、試験開始からの課電時間が約  $480 \text{ 分間}$  になるようにした。



(a) 試料上面の電極



(b) 試料裏面の電極

図3. 試験試料表面の電極の配置.

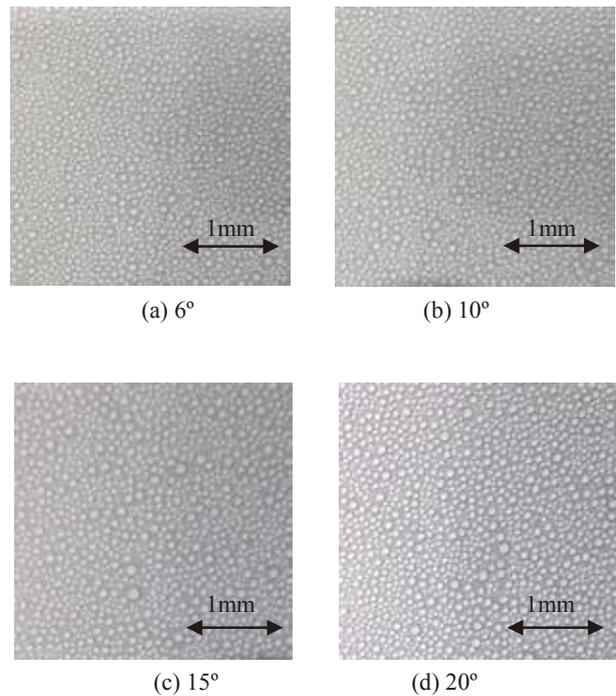


図4. 設置角度が各(a)  $6^\circ$ 、(b)  $10^\circ$ 、(c)  $15^\circ$  および(d)  $20^\circ$  における水滴の分布.

### 3. 試験方法

電極を試料上面に取り付けた際に得られた漏れ電流の時間変化の例を図5に示す。後述するように、試料上の電極の配置が上面、裏面に関係なく、放電は上面のみで発生した。そのため、ここでは、ポリマー表面に過酷な条件となった上面に電極が配置された場合の結果のみ示した。図5において、 $248 \text{ min}$  以前に  $10 \text{ mA}$  以上の電流が複数回観

測されている。しかし、248 min 以降のように連続して計測されていない。これは、試料上面の水滴間、あるいは電極付近で起きた突発的な放電によるものと考えられ、その後継続していないことから試料への影響は大きくないと考えられる。そのため、放電開始時間は248 minとした。

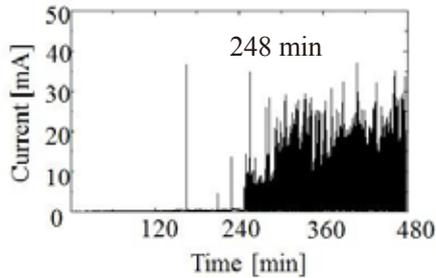


図5. 塩霧劣化試験における漏れ電流.

電極を試料上面に取り付けた場合の傾斜角度毎の放電開始時間を図6に示す。同図から明らかなように、今回設けた角度の中では10°の放電開始時間が最長となった。また、課電開始から480 min間塩霧試験を継続実施した試料の様子を図7に示す。全ての試料においてエロージョンや撥水性の低下による水膜の形成が確認できる。なお、試験時間を約480 min一定としているため、放電開始時間の差によって放電に曝される時間が各試料で異なる。すなわち、放電開始時間が長い試料は、放電に曝される時間が短い。また、電極がSUS製であるので、放電による電極材料の試験体表面への流出による試料表面の状態変化を否定できない。そのため、エロージョンの程度は、図中の試料の表面状態から単純には比較できない。ただし、これ以降で示す試料の上下面でのエロージョンの発生の有無は十分に議論できる。

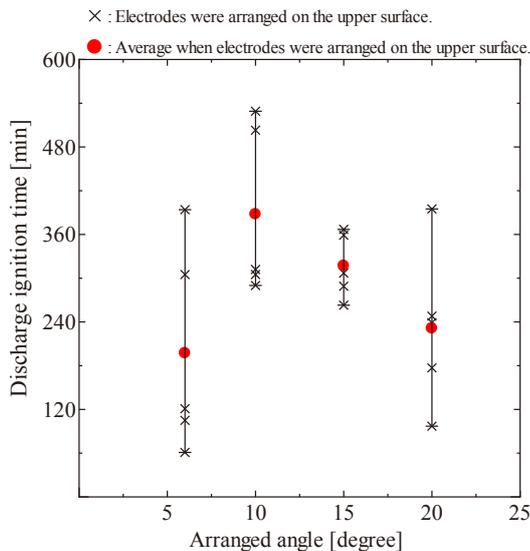


図6. 傾斜角度毎の放電開始時間.

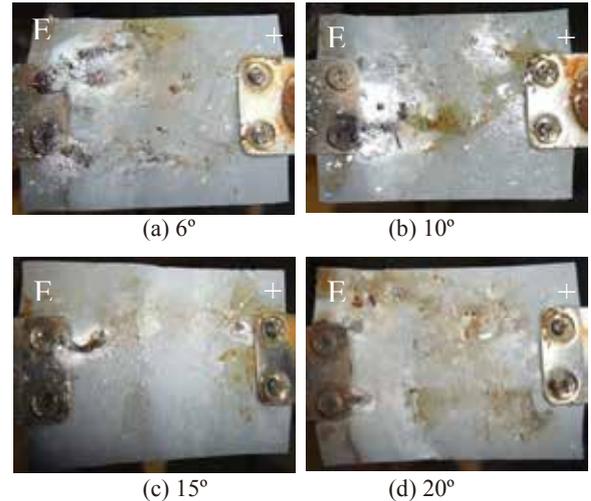


図7. 電極を試料上面に設置した場合の試料上面の様子 (E: 接地, +: +4 kV 課電).

図8に電極を試料の裏面に取り付けた場合で、課電開始から480 min間塩霧試験を継続実施した試料裏面の様子を示す。さらに、図9に、電極を試料裏面に取り付けた場合の試料上面の様子を示す。図8及び図9より、エロージョンや撥水性の低下が確認できるのは電極の位置に関係なく試料上面のみである。電極を試料上面に取付けた場合の上面での電極間距離は50 mm、電極を試料裏面に取り付けた場合の上面の電極間距離は80 mmであることから、両者には1.6倍程度の電圧ストレスの違いがある。しかし、エロージョンは常に試料上面で発生し、裏面の電圧ストレスが高くても裏面ではエロージョンを確認できない。なお、試料上面のエロージョンは、試料上面の電極間距離が短い電圧ストレスが高い程激しいことが確認できる。ところで、図9(d)のように、電極と試料を固定するためのアクリル製ネジに水が溜まることで電界集中箇所となり継続的な放電が発生することも考えられるが、図9の場合よりも電圧ストレスが高くなる図7(電極が上面に配置されて電極間距離が50mmである。)においては、試料の傾斜角度が6°や10°において激しいエロージョンが確認できる。そのため、ネジの部分に水が溜まることによる放電特性への影響は大きくないと考えている。

電極を試料の上面及び裏面に取り付けた場合の両方において、課電開始から480 min間塩霧試験を継続実施し、エロージョンが確認できた試料上面の撥水性をSTRI法により確認した結果、全ての試料上面の撥水性は最低ランクであるHC7まで低下しており、傾斜角度の違いによる大きな違いはSTRI法からは確認できなかった。一方、裏面の撥水性の低下による水膜の形成は確認できなかった。

ところで、著者等は、60°に傾いたポリマー試料表面上で電界方向に水滴を継続的に滴下するDynamic drop test<sup>7)</sup>によりポリマー試料表面の撥水性の評価を行っている。その結果、水滴の滴下頻度は印加電界が高くなるにつれて増加することを明らかにしている<sup>8)</sup>。また、電界を印加しな

い場合に、滴下頻度が高くなるほど試料表面の撥水性が低下することを明らかにしている<sup>8)</sup>。すなわち、ポリマー試料の傾斜角度が大きく、ポリマー表面上の水滴が落下しやすいほど試料表面の撥水性は低下しやすく、水滴の移動方向の電界は撥水性の低下を助長する。本実験においては、15°、20°のように傾斜角度が大きくなるほど水滴の落下頻度が高くなり撥水性が低下する。

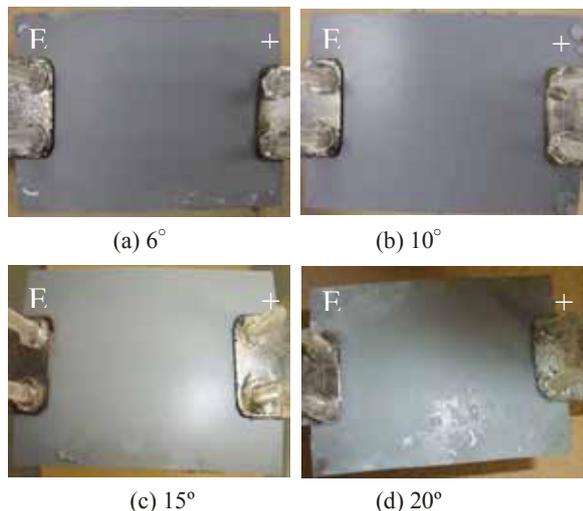


図 8. 電極を試料裏面に設置した場合の試料裏面の様子 (E: 接地, +: +4 kV 課電).

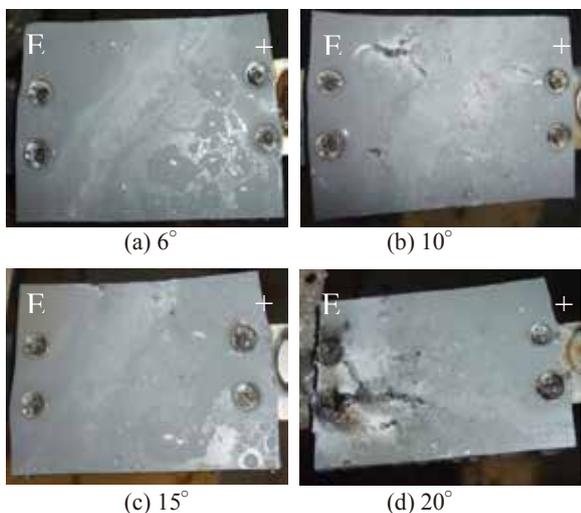


図 9. 電極を試料裏面に設置した場合の試料上面の様子 (E: 接地, +: +4 kV 課電)

一方、傾斜角度が 6° のように小さい場合は、傾斜が小さいために試料表面での水滴の落下頻度は低く撥水性の低下は起こりにくいですが、図 6 に示されているように放電開始時間は 20° の場合とほぼ同程度となっている。そこで、傾斜による水滴落下の現象を省いた状態で撥水性低下の原因を検討することとした。ポリマー試料の傾斜角度は 0° とし、試料表面の様子は高速度ビデオカメラ(250 fps)で観察した。その結果を図 10 に示す。白色の点線で囲んだ

領域内に明確な放電を確認できる。また、撥水性が低下して電界の向きに水滴が伸びていることが確認できる。ただし、ここでは水滴を発端とした放電による撥水性の低下が局部的に発生して確認しやすくなるように、電極間距離を 50 mm から 30 mm に短くして直流正極性電圧を順次 15 kV まで印加して表面上の電圧ストレスを高くしている。図 10 から明らかなように、ポリマー試料の傾斜がない場合でも外部電界による水滴の移動に加えて水滴を発端とした微小な放電によって撥水性は低下する。傾斜角度が 6° の場合は、このような水滴を発端とした微小な放電も撥水性低下の要因に挙げられる。以上のように、ポリマー試料表面の撥水性はポリマー試料表面の水滴の落下頻度と水滴を発端とした微小放電の影響を受ける。

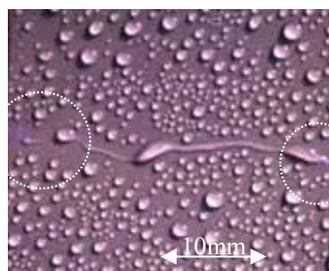


図 10. 間隔 30mm で試料上面に電極を設置した場合の試料上面を高速度カメラで撮影した様子。

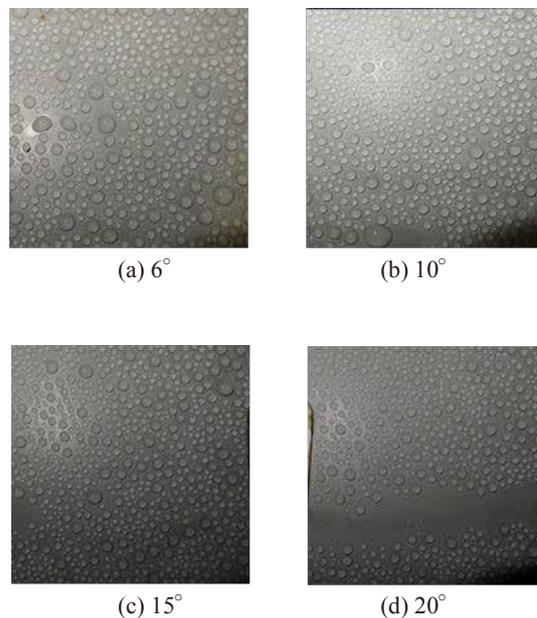


図 11. 試験開始から 120 min 後のポリマー試料上面の様子.設置角度は(a) 6°, (b) 10°, (c) 15° および(d) 20°.

試験開始から 120 min 後のポリマー試料上面を STRI 法によって評価した結果を図 11 に示す。同図から明らかなように、撥水性はポリマー試料の傾斜角度が 6° の場合、あるいは 10°、15°、20° と傾斜角度が大きくなる程低下する部分が著しい。ただし、6° の場合の撥水性の低下は、

ポリマー試料表面上の水滴を発端とした放電によってもたらされたものである。図6に示された傾斜角度が10°の場合に放電開始時間が最長になったのは、試料表面の水滴の落下頻度が15°や20°よりは低いことに加えて、6°の場合よりは水滴を発端とした放電による撥水性低下の影響を受けにくいからである。

#### 4. まとめ

HTV シリコーンゴム試料の傾斜が、表面のエロージョンに繋がる継続的な放電が発生する放電開始時間に与える影響を塩霧試験により評価した。その結果、ポリマー材料の傾斜角度が、材料表面の撥水性消失の程度に影響を与えて放電開始時間が左右されることが明らかとなった。すなわち、傾斜が小さい場合は試料に水滴が溜まり易い状態となることで、水滴を発端とした微小放電の影響を受け撥水性が低下することを明らかにした。一方、傾斜が大きく、ポリマー表面上の水滴が落下しやすいほど試料表面の撥水性は低下しやすく、水滴の移動方向の電界は撥水性の低下を助長することを明らかにした。さらに、撥水性が消失することで継続的な放電が発生しやすくなることを明らかにした。

#### 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) D. Yamashita, T. Miyake, T. Sakoda, Y. Aka, T. Anjiki and T. Fukano: "Influence of Shed Inclination on Discharge Ignition under DC Voltage Application", 9th Asia-Pacific International Conference on Lightning (APL 2015), pp. 1090-1 – 1090-4 (2015)
- 4) T. Miyake, Y. Seo, N. Oshikawa, T. Sakoda, M. Otsubo, T. Anjiki: "Electrical characteristics obtained by impressing dc/ac voltage to polymeric housing material for electric power apparatus", The Institute of Electrical Installation Engineers of Japan", Vol. 32, No. 8, pp. 593 - 599, (2012) (in Japanese)  
三宅琢磨, 瀬尾裕也, 押川典人, 迫田達也, 大坪昌久, 安食富和: 「電力設備用ポリマー外被材の直流・交流課電時の電気的特性」, 電気設備学論, Vol.32, No.8, pp. 594 – 599 (2012)
- 5) J. Pilling, R. Bärsch: "Accelerated Aging Tests of Housing Materials for Composite Insulator in a Fog-Camber", ETEP Vol. 1, No. 2, pp. 89-94 (1991)
- 6) STRI Guide 9211, "Hydrophobicity Classification Guide." 1992
- 7) Kindersberger, Bärsch: CIGRE WG D1-14 06-07
- 8) D. Shibara, Y. Arata, K. Haji, T. Miyake, T. Sakoda, and M. Otsubo: "Influence of Electrification and Salt on Hydrophobicity of Sample Surface in Dynamic Drop Test", IEEE Trans. FM, Vol. 129, No. 9, pp. 657-663 (2009) (in Japanese)  
椎原大輝, 荒田由浩, 栢健一, 三宅琢磨, 迫田達也, 大坪昌久: 「Dynamic Drop Testにおける帯電及び塩分による試料表面の撥水性への影響」, 電学論 A, Vol. 129, No. 9, pp. 657-663 (2009)