

汚損および湿潤による電気絶縁度に関する基礎的研究

宝 泉 和 明 ・ 岡 本 弘
藤 原 俊 成

A Fundamental Study on the Degree of Electric Insulation depending on Stain and Wet

Kazuaki HOUSEN, Hiromu OKAMOTO
Toshinari FUJIWARA

ABSTRACT

With respect to a cubicle type high voltage power receiving unit, the degree of electric insulation drops by stain and wet which depends on dust beside the ventilating hole.

For this reason, high voltage machines repeat discharge partially, and at last flashover.

A fundamental study was done by example.

まえがき

高圧で受電している自家用需要家においては、近年大変コンパクトである受電設備としてキュービクル式高圧受電設備（単にキュービクルと呼んでいる。）が多く施設されている。地価の異常な上昇に伴い建物の有効利用上間接的な補機類等は目立たない場所に置かれやすい。従って、屋上や地下等条件の良くない場所に設置されている例が多い。

キュービクルには、設備内の電気機器の温度上昇をコントロールするために、換気孔が設けられている。その換気の方法には、自然換気と強制換気がある。中には、特例としてヒートパイプ（密閉型）も製造されているが、主に自然又はファンによる強制換気による場合が殆どである。

このキュービクルについては、JIS-C 4620-1986キュービクル式高圧受電設備によって規格が制定されている。この規格に則って製造されているが、換気孔より“じんあい”“ガス”“潮風”等が侵入する。これ等が経年蓄積されながら盤内の温湿度の上昇により高圧電気機器、ケーブル、電線支持物等が電気絶縁度の低下を来し種々問題となっている。

これらの高圧機器においては、汚損・高温・湿潤による絶縁低下が原因となって、部分的な放電、トラッキング、トリイング、と進行し、ついには、フラッシュオーバー事故に至り外部への波及事故となり、周辺に大影響を及ぼす事例が多く示されている。

このコンパクト化に対応して、支持物、碍子等にエポキシ樹脂等高分子系樹脂の絶縁物が多く用いられるようになって来ている。これらの樹脂製品については、熱的にも、環境的にも劣化が

進行しやすく絶縁性能の低下があげられている。

今回は、まずその実態について把握をすることを試みた。

1. 自家用電気工作物の波及事故

高圧の受電設備においては、電気事業者の配電線に直接接続されているために、その設備において電気的事故が発生すれば、供給を受けている系統全体を停電させる等電気事業者への波及事故となる場合が多い。

電気事業者に波及しその供給に支障を生じさせた時には、電気関係報告規則第6条によって、所轄通商産業局に届出の義務が課せられている。

近年、名古屋通商産業局公益事業富山支局に届出されている原因別波及事故件数は、第1表の通りである。

第1表 原因別波及事故件数 (昭和60年～平成元年)

施工不完 全 等	自然劣化 等	自然現象 雷雨氷雪	過 失 等	他物接触 等	腐 食	振 動	その他	合 計
10件	60件	46件	12件	11件	0	0	1件	140件
7.1%	42.9%	32.8%	8.6%	7.9%	0	0	0.7%	100%

(名古屋通商産業局公益事業富山支局)

特に、変電室やキュービクル内の高圧配電線における波及事故の発生傾向は、漸増傾向となっている。風雪等による地絡事故も目立つようであり、高圧絶縁電線の支持物(3線1括クリート・がいし)によるものも多い。

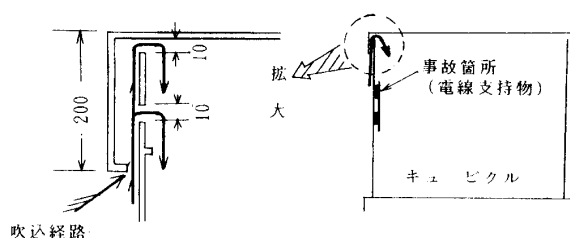
資料によれば、人為的過失の8.6%を除けば、自然劣化によるもの、自然現象によるもの、小動物の接触によるもの等の順になっている。

2. 具体的事故例

キュービクル内における樹脂系材料による支持物の汚損・湿潤に関する事故例について具体的に列記をする。

(1) 風雨が吹き込み地絡事故

屋上に設置されていたキュービクルの天井部とベースに自然換気の為開けられていた換気孔(直径10mm)より、激しい風雨のため雨水が吹き込み、室内の湿度も平常より高くなり、じんあいで汚損されていた電線支持物の表面が湿潤し劣化の進行により絶縁破壊に至ったものと推定されている。¹⁾



第1図

a

b

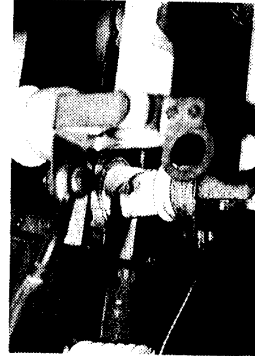


(2) キュービクル内を塗料微粒子による汚損

キュービクル天井の換気孔より塗料の微粒子が侵入し負荷開閉器に付着、絶縁劣化が進行3相短絡。²⁾

(3) キュービクル内の遮断器が塩害により絶縁破壊

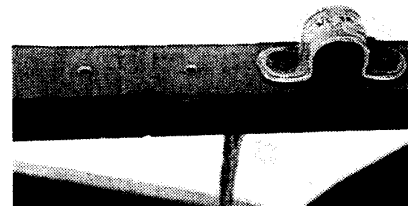
塩分を含んでいるじんあいを経年蓄積されている機器に、高湿度の気象条件のもとで電源を投入した際、その投入電圧によって絶縁破壊を生じた。²⁾



第2図

(4) 高圧母線3線一括形クリートが湿気による地絡

キュービクルが地下に設置されており換気が不十分であったために、湿度の高い状態に長期間置かれていたので絶縁破壊を生じ地絡事故に至った。²⁾



第3図

3. 樹脂系材料における劣化のメカニズム

この材料について本来は電氣的絶縁特性や機械的特性等は優れていることは今更述べる迄もない。更に、金型によって成形硬化する際においてもエポキシ樹脂は他の有機材に比較して体積の収縮率が小さいという特性も有しており、その特性を考慮した使用状態に置かれれば、機能は充分果たせるものである。

高分子材料系における劣化のメカニズムについても多種多様を示し、又それらが複合的に起因していることが多い。³⁾

熱的、電界的、環境的および機械的な影響が主に考えられているが、特に今回のキュービクル内における使用状況によれば、熱的なもの、高電界によるもの、環境的なものによる劣化が作用してその機能が低下をして絶縁破壊にと至っている。

(1) 熱劣化

エポキシ樹脂においてその結合の解離エネルギーにより異なるが、熱劣化させることにより、水、フェノール化合物、ベンゾフラン系化合物、アニリン化合物、等が分離生成、反応が進行することでついに電氣的、機械的特性の低下へとつながると考えられている。

熱劣化速度は、化学反応速度論に従うことになり、特性が一定値に低下するまでの時間(寿命)と温度との関係が導かれている。³⁾

$\log. t = A + 0.434E/RT$ t : 寿命時間, A : 定数, E : 活性化エネルギー,

R : 気体定数, T : 絶対温度,

従って, $\log. t$ と $1/T$ が直線になることを示している。

(2) 高電界による劣化

絶縁体中にVoidの発生により, そのVoidより部分放電が生じ絶縁体の化学反応が考えられ次第に侵されていく現象の部分放電による劣化や, 逆に導体の表面に突起部があってそこより高電界が生じることにより, 樹脂内を樹指状のトリートが発生して, 絶縁破壊に至るトリート劣化等が考えられている。

(3) 環境劣化

有機絶縁材料の表面に比較的低抵抗の物質によって汚損され高電圧が加圧された場合, 表面に沿面電流が流れると共に放電が生じ, 表面を炭化しながら導電路が作られ絶縁特性の低下, さらに絶縁破壊へと進展する。

(4) その他機械的劣化

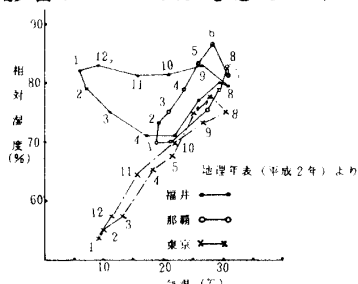
直接有機絶縁材料に機械的な力が加わるという事ではないが, 通電状態による温度上昇や停止中の温度の降下等温度変化による有機絶縁材料内に応力が発生し, 絶縁材料内にcrack等が生ずる。

高分子系樹脂絶縁材料を多く用いられているキュービクルにおいて, 以上の高分子系絶縁材料の特性を踏まえて対策を講ずる事が肝要である。

4. キュービクルの設置されている一般的な環境

(1) 温・湿度の変化について

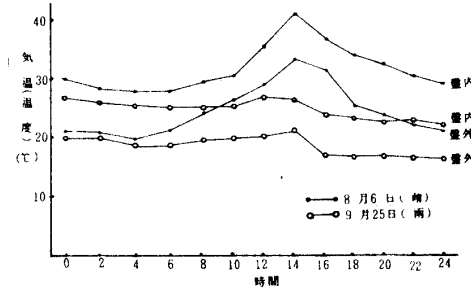
1日の最高気温と相対湿度の月別平均を那覇市, 東京都, 福井市, についてクライモグラフに表してみた。温度については, 福井市も那覇市と比較して夏季期間においては, 殆ど変わらない状態にあり屋外においては, 甚だ厳しい条件下におかれている。一方湿度についても約6ヶ月は80%を超えていることから影響については考慮しておかなければならない。



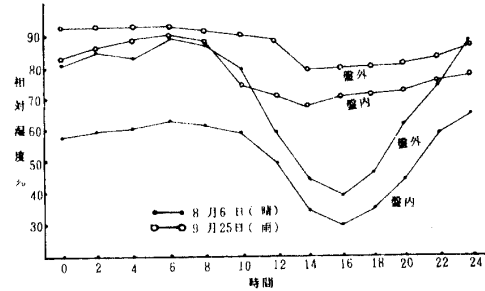
第4図 Climograph

(2) キュービクル内外の温・湿度差

学園内に設置されているキュービクルに対して外気温と湿度の影響について追跡を試みた。



第5図 a



b

キュービクル外形 1880^{mm} × 2500^{mm} × 2230^{mm} 負荷150kVA

キュービクル内外の温度については、7～8℃の差があり、夜間の負荷の少ない時においてもその差については、殆ど変わらない。

一方、湿度については、90%を盤外において記録をしているが盤内に於いては60%と負荷が稼働しているために盤内の湿度は、平常においては低く保たれているが、負荷の少ない夜間とか風雨の強い日においては、内外の差は小さく90%を超えることが多い。

(3) キュービクル内の汚損度調査

昭和63年5月より環境条件の異なるキュービクルを選んで試料の碍子を仮設し、その年毎の汚損度の調査をした。

(設置箇所)

- | | |
|--------------------|-------------------|
| A. 市街地ビル(屋上・屋外) | E. 海岸・金属工場(地上・屋外) |
| B. 住宅地・結婚式場(地上・屋外) | F. "・材料置場("・") |
| C. 田園地帯・包装場("・") | G. "・ホテル(屋上・") |
| D. "・育苗センター("・") | |

以上の7ヶ所に、エポキシ樹脂製ポスト型碍子を各々に3箇所ずつ仮設して1年毎にその汚損度を求めた。

その結果、外見上において塵埃による汚損は、A. D. C. の順で表面は、甚だしい汚れをしめしB. E. F. G. については、それほどの汚損は認められなかった。

塩害の予想されたE. F. G. について耐圧試験と筆洗い法による塩分の堆積量を計測し汚損の度合いを求めた。その結果を第2表、第3表、に示す。

仮設がいし(2年)		人工汚損がいし	
E地点	49.2kV	重汚損0.12mg/cm ²	40.0kV
F地点	48.4kV	中汚損0.06mg/cm ²	41.2kV
G地点	48.9kV	軽汚損0.03mg/cm ²	44.9kV

耐圧試験による放電電圧結果表

第2表

地点	1年	2年
E	0.010 mg/cm ²	0.015 mg/cm ²
F	0.009 mg/cm ²	0.009 mg/cm ²
G	0.006 mg/cm ²	0.011 mg/cm ²

筆洗い法による汚損量計測値

第3表

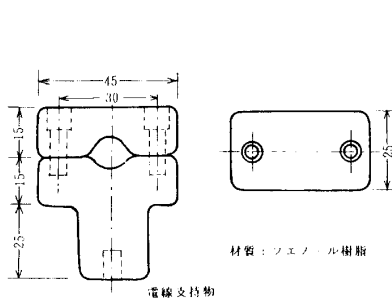
一般に支持物表面の堆積塩分量により分類されているが、0.12mg/cm²を重汚損、0.06mg/cm²を中汚損、0.03mg/cm²を軽汚損としているが、今回の2年間に於いては、累積汚損量は、軽汚損の

範囲内であった。

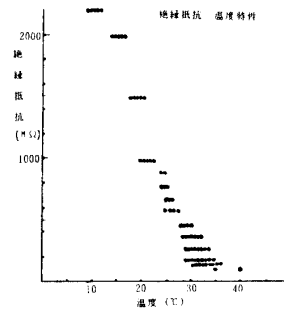
5. 温度と相対湿度と電線支持物の絶縁抵抗

前述の事故例からも明らかなように、温湿が大きな要因になっている。

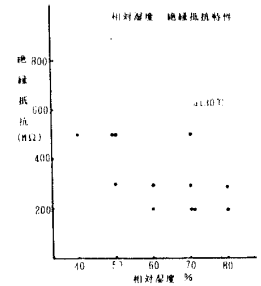
第6図に示す電線支持物について、絶縁抵抗—温・湿度特性を第7図a、b、c、に示す。



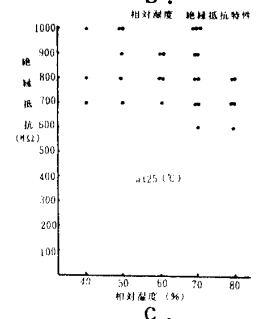
第6図



第7図 a.



b.



c.

一般的に、 $R = R_0 \cdot \exp(-Ea / kT)$ k : ボルツマン定数,

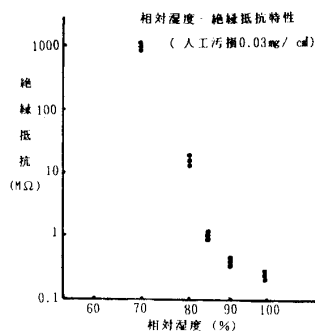
Ea : 活性化エネルギー

T : 絶対温度

の理論式が得られているが、実験の結果からも支持物の絶縁抵抗は、温度に関しては、極端に影響を受けている。

一方、相対湿度の支持物の絶縁抵抗に関しては、直接的影響は考えられない。しかし、表面が汚損された状態においては、全く状況が豹変している。

例えば、試料表面を 0.03 mg/cm^2 に人工汚損を行い湿度と絶縁抵抗との関係を第8図に示す。



第8図

まとめ

今回は、キュービクルにおける電気事業者への波及事故について端を発して、樹脂系絶縁材料の特性を踏まえて、受電設備の置かれている環境と汚損、支持物の絶縁抵抗特性について追求を試みた。キュービクル内の汚損については宿命的な課題であり長期間に亘るデータの収集を継続して行い、キュービクルの置かれている立地条件、気象条件から汚損度について統計的推定の方法の案出を試みたい

謝 辞

本研究を進めるにあたり、貴重な資料の提供を頂いた関西電気保安協会大阪東支部太田技術課長、(株)東芝 重電研究所 大島課長を始め試料碍子を施設させていただいているキュービクル設置管理者の皆さまに感謝を申し上げます次第です。

参考文献

- 1) 関西電気保安協会大阪東支部技術課より資料提供
- 2) 電気保安協会全国連絡会議編，自家用電気工作物における電気事故とその対策
- 3) 岡崎和郎，電気計算vol44, No8 エポキシ樹脂の劣化

※ 追記

筆洗い法について

碍子の汚損調査法として汚損碍子の表面を一定量の蒸留水で洗浄してこの洗浄液の抵抗から，洗浄液中に溶解した等価塩分を求め，この等価塩分量を洗浄した部分の表面積で除して等価塩分付着密度を求める方法である。

(平成2年12月19日 受理)