



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



直流電圧によるがいしの暴露試験結果

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 本間, 皓治, 野崎, 久司, 大窪, 協 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3575

直流電圧によるがいしの暴露試験結果

本間 皓治・野崎 久司・大窪 協

Outdoors Insulators Contamination Test under Direct Voltage Application

Koji Honma, Hisashi Nozaki and Kyo Okubo

Abstract

To solve the troubles due to insulators contamination on bus design under impressed high direct voltage, insulators contamination test was made outdoors.

The results of test is:

- 1) Contamination process is accelerated under impressed direct voltage, and much more accelerated in the neighbourhood of the electric field with another polarity of the impressed voltage.
- 2) Contamination distribution characteristics on each insulator is various in the same insulator string.
- 3) Contamination material is accumulated on disc type insulators surface with the exposed hours but not on rod type insulators surface due to rain washing effect.
- 4) Contamination substance is mainly sodium and calcium.

1. ま え が き

現在世界各国の電力系統は、ほとんどが交流方式によって施設され運転されている。しかし、近年になって、直流電流のもつ送電の有利性が再認識され、また半導体技術の進歩に伴なうサイリスタ・バルブ (Thyristor valve) の開発などにより、周波数変換所、海峡横断送電、および長距離送電などに直流送電方式が検討せられ、一部において実用化されている^{1),2)}。我国においては、佐久間周波数変換所で実用化されており、緊急時の電力融通に利用されている。また、昭和52年を目標に、北海道一本州送電連系を直流ケーブルで行なう計画がなされている。このために、直流汚損による高圧母線の絶縁設計問題の解決が迫られている。この一端を探索するために、工場群による大気汚染、および海岸が近くにあるための塩害が絶縁物に大きな影響を与えると思われる室蘭工業大学において、昭和45年12月より昭和47年5月までの間、各種がいしを懸架して、直流電圧課電によるがいしの汚損状況を観測してきたので、ここに報告する。

2. 実験設備と実験方法

がいし暴露試験の諸設備と暴露試験方法、および汚損測定方法の概略について説明する。

2-1. 暴露地点とその周囲状況

がいしの暴露地点は、室蘭工業大学の校舎屋上（地上高 11 m）に設定された。同大学は海拔 45 m のところにあり、校舎の東側と西側とは高さ 200 m の丘陵が南北方向に連らなっている。また南東方向 2.5 km のところに太平洋岸を配し、南西方向 4 km の地点には、140 m の丘陵を介して工業地区、および室蘭港が控えている。室蘭地方の気候の特徴は、春から夏にかけて霧が多発し、冬季は雪が少なく、風の強い日が多い。

2-2. 試験電源設備

試験電圧は直流電圧 ± 100 kV、定格電流 1 A の設備であり、図-1 にこの回路構成を示す。

交流電源 6.6 kV を油入しゃ断器 (Oil filled Cutout Breaker)、および誘導電圧調整器 (Induction Regulator) を介して試験用変圧器 (Testing Transformer) で昇圧する。これを 330 mm² ACSR (Aluminium Cable Steel Reinforced) に

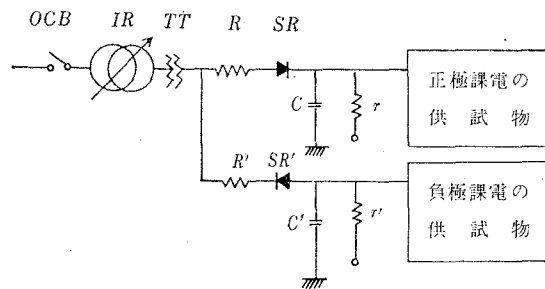
よって、校舎屋上の過電流抑制用保護抵抗器に接続し、整流器スタック、および平滑用コンデンサで直流に変換された直流高圧が、供試がいし連に課電されている。

i) 整流装置

整流装置は逆電圧（せん頭値）600 V、定格平均順電流 1 A のアバランシェ型ダイオード 400 個を直列接続したものである。なお整流素子の小数キャリアの蓄積効果による転流時の過電圧、および開閉サージ電圧などの過渡電圧から整流素子の損焼を防ぐために、コンデンサ (0.05 μ F, 1000 WV) を各整流素子と並列に接続している³⁾。これら整流素子とコンデンサの対を、直径 30 cm、高さ 80 cm の塩化ビニル筒の中に 200 組ずつ収納し、油浸形の整流器スタックを形成している。直流電圧 100 kV を発生するために、上記スタック 2 台を直列に接続して使用した。なお整流素子群を収納している塩化ビニル筒、および、これを支える 250 mm ディスク形支持がいしの表面は、シリコン・コンパウンドを塗布して絶縁を補強してある。

ii) 平滑用コンデンサ

平滑用コンデンサは、静電容量 0.25 μ F、定格電圧 63 kV の OF 式コンデンサ 3 個を直列



OCB	: 油入しゃ断器	(7.2kV, 100MVA)
IR	: 誘導電圧調整器	(6.6kV / 0~3.3kV, 220kVA)
TT	: 試験用変圧器	(3.3kV / 300kV, 300kVA)
R (R')	: 電流抑制用保護抵抗器	(45k Ω)
SR (SR')	: 整流器	(240kV, 1A)
C (C')	: 平滑用コンデンサ	(0.083 μ F, 189kV)
r (r')	: 電圧測定用抵抗器	(100M Ω)

図-1 DC ± 100 kV, 1 A の直流高圧発生回路

に接続し、合計静電容量 0.083 μ F、定格電圧 189 kV に組み合わせたものである。

iii) 過電流抑制用保護抵抗器

過電流を抑制するために、当初、試験用変圧器と整流器スタックの間に塩化ビニル筒製の水抵抗器（溶液は自動車用不凍液）を挿入していた。しかし、暴露試験を続行している間に、交流側の短絡インピーダンスが予想していたよりも高く、かつ、しゃ断器も充分迅速に動作することが判明したため、この過電流抑制用保護抵抗器の挿入は実験の途中から中止した。

2-3. がいし懸架台と供試がいし

がいし懸架台は 75 cm の等辺山形鋼で縦 5.5 m、横 3.6 m、高さ 3.7 m、のやぐらを組み、これに、もれ電流測定用の 130 mm 懸垂がいしを介して、各種の供試がいし連を懸架した。

表-1 供試がいし一覧表

がいしの種類	1連の連結数	連数			
		正課電	負課電	無課電	合計
250 mm 懸垂がいし	10	5	5	0	10
280 mm 懸垂がいし	8	4	4	2	10
250 mm スモッグがいし	6	2	2	0	4
長幹がいし (LC-8024)	2	2	2	0	4
合計		13	13	2	28

懸架した供試がいしの種類、1連のがいし個数、課電電圧極性、ならびに、その連数は、表-1に示し、その配置は図-2に記載してある。がいし連の間隔は 90 cm 以上とっており、中央部には無課電の 280 mm 懸垂がいし 2 連を懸吊した。また、中央部と左右対称に、正極課電と負極課電の供試がいし連をそれぞれ懸吊した。汚損やもれ電流の測定条件を均一にするために、供試がいしは懸吊前に水道水で良く洗滌してある。

データを整理する都合上、各種供試がいし連にアルファベットで記号名をつけ、また、課電電圧極性を区別するために正負符号と無課電を表わす零符号を添えた。図-2の半円の上部はがいしの種類を表わし、半円の下部は課電電圧極性、およびがいしの懸架位置の呼び名を示している。また、同じ懸架位置であっても、汚損測定を終えて再懸架した無暴露と見なせる供試がいし連には、添数字を付けて、これを区別した。

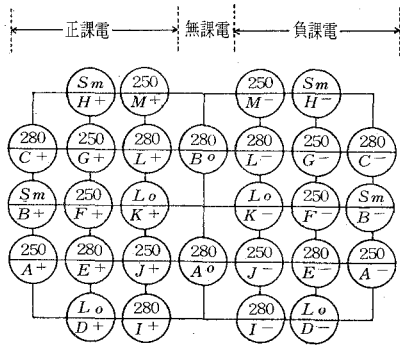
2-4. 測定方法

i) がいし連のもれ電流の測定

がいし連のもれ電流の測定回路は、図-3に示すように、絶縁がいしと並列に 10k Ω (9k Ω + 900 Ω + 90 Ω + 9 Ω + 1 Ω) の抵抗分圧器を接続し、もれ電流を電圧に換算して計測している。この電圧を 12 打点の自動平衡形記録電圧計（以下、自記記録電圧計と呼ぶ。）2 台を用いて、1 分間毎にサンプリングして記録した。2 台の自記記録電圧計の測定要素は表-2に示している。

表-2 自記記録電圧計で測定した要素

機番 チャンネル	自記記録電圧計 1号			機番 チャンネル	自記記録電圧計 2号		
	日付 46.1.16 ~46.3.20	日付 46.3.20 ~46.4.13	日付 46.4.13 ~47.5.11		日付 46.1.16 ~46.3.20	日付 46.3.20 ~46.4.13	日付 46.4.13 ~47.5.11
1	D ⁻	D ⁻	D ⁻	1	K ⁻	M ⁻	K ⁻
2	I ⁻	I ⁻	B ⁻	2	G ⁻	K ⁻	H ⁻
3	A ⁻	A ⁻	E ⁻	3	正極電圧	G ⁻	I ⁻
4	H ⁻	H ⁻	C ⁻	4	C ⁺	正極電圧	L ⁻
5	J ⁻	J ⁻	A ⁻	5	F ⁺	C ⁺	M ⁻
6	負極電圧	負極電圧	負極電圧	6	M ⁺	F ⁺	J
7	D ⁺	D ⁺	D ⁺	7	K ⁺	M ⁺	K ⁺
8	I ⁺	I ⁺	B ⁺	8	G ⁺	K ⁺	H ⁺
9	A ⁺	A ⁺	E ⁺	9	E ⁺	G ⁺	I ⁺
10	H ⁺	H ⁺	C ⁺	10	C ⁻	E ⁺	L ⁺
11	J ⁺	J ⁺	A ⁺	11	F ⁻	C ⁻	M ⁺
12	変圧器電圧	変圧器電圧	変圧器電圧	12	M ⁻	F ⁻	正極電圧



注

- : 250: 250mm懸垂がいし (10個/連)
- : 280: 280mm懸垂がいし (8個/連)
- : Sm: 250mmスモッグがいし (6個/連)
- : Lo: 長幹がいし (LC-8024) (2個/連)
- +: 正課電
- : 負課電
- o: 無課電
- { } : がいし記号
- M

図-2 供試がいしの配置図

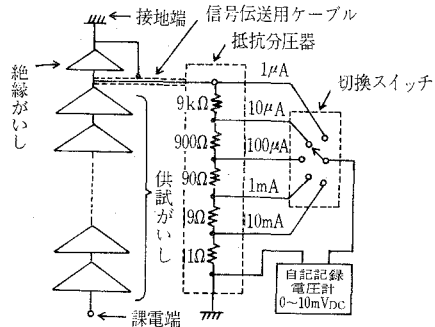
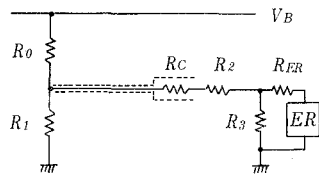


図-3 がいしのもれ電流測定回路



ER: 自記記録電圧計 (0~10mVdc)
 R₀: 分圧器抵抗 (1) (100MΩ)
 R₁: " (2) (100kΩ)
 R₂: " (3) (100kΩ)
 R₃: " (4) (10Ω)
 R_C: ケーブルの抵抗 (3.6Ω)
 R_{ER}: ERの内部抵抗 (2MΩ以上)
 V_B: 測定電圧

図-4 直流電圧測定回路

ii) 直流印加電圧の測定

直流印加電圧の測定は、図-4で示すように、抵抗分圧器と自記記録電圧計によって行なった。測定電圧を V_B 、自記記録電圧計の指示を V_{ER} とすると、

$$V_{ER} \approx \frac{R_3 \cdot V_B}{2R_0}$$

で表わすことができる。

なお直流印加電圧とならんで、整流器スタックに課電される交流電圧も常時監視した。これは試験用変圧器の電圧線輸電圧を整流・分圧して、自記記録電圧計に描かせた。

iii) 気温・湿度の測定

気温および湿度の測定は、電源投入時と電源しゃ断時、および定時刻に乾湿温度計により測定し、日報に記入した。また、気象条件が特に変化した場合も、その都度、時刻とともに記録した。

iv) 等価塩分付着量の測定

塩分付着量の測定方法は、交流汚損がいしと同じ方法¹⁾を採用した。すなわち、被測定がいしの磁器部を蒸留水で洗滌し、その洗滌水の固有抵抗を計測する。この固有抵抗値に該当する既知濃度の食塩水の固有抵抗値から食塩量を求める。これを等価塩分付着量と称する。

280 mm 懸垂がいし、および長幹がいしの汚損測定点を図-5に示す。280 mm 懸垂がいしの場合、がいし下面を6分割して、ヒダから次のヒダまでを1測定点とし、6測定点を得、がいし上面は一括して1測定点として、合計7測定点を得る。ただし、がいし下面のピン近傍におけるセメント部分は除外している。250 mm 懸垂がいし、および250 mm スモッグがいしの場合も、280 mm 懸垂がいしと同様に、がいし下面で4測定点、およびがいし上面で1測定点で合計5測定点とした。

長幹がいしの場合、笠の先端から次の笠の先端までを1測定点とし、上端あるいは下端から最短距離の笠までを考慮して、[笠の枚数+1] 個の測定点を得た。

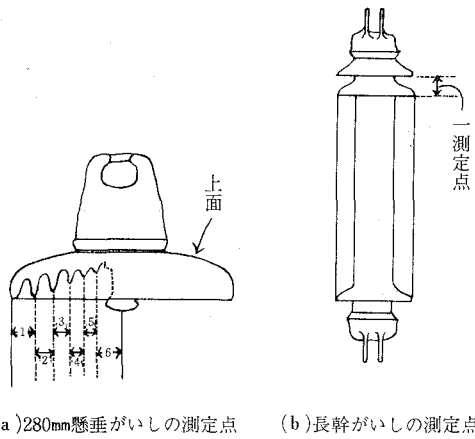


図-5 がいし面の測定点

3. 実験結果および考察

本章では、供試がいしの等価塩分付着量とがいしの種類、課電々圧極性、および課電時間などとの関係について述べる。なお、参考までに汚損測定を行なった全がいし連の等価塩分付着量の平均値と標準偏差および課電時間の一覧表を付録に載せた。

3-1. 同一連内がいしのがいし位置と等価塩分付着量

連内の下方(課電側)のがいし下面が、汚損物質で黒くすすけているのが観察できる。連内の上方(接地端)のがいしに向うに従って、黒ずんでいるのが薄らいでゆく。特に課電時間が長くなるほど、この黒ずみは濃くなってゆく。がいし上面においても、がいし下面ほどはな

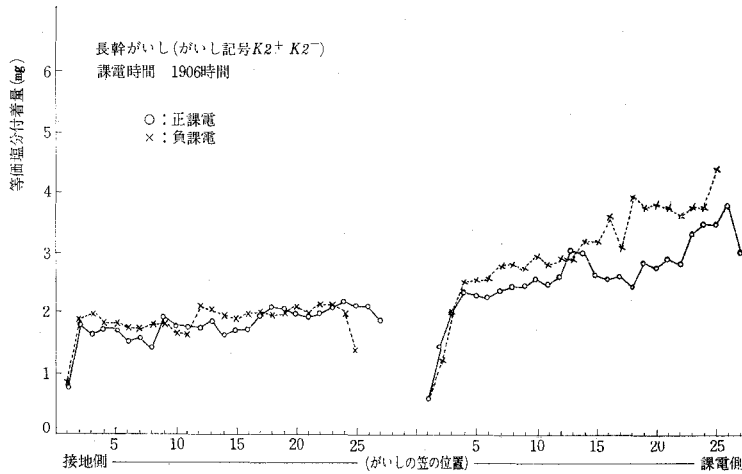


図-6 長幹がいし的位置(笠一枚相当分)と等価塩分付着量の関係

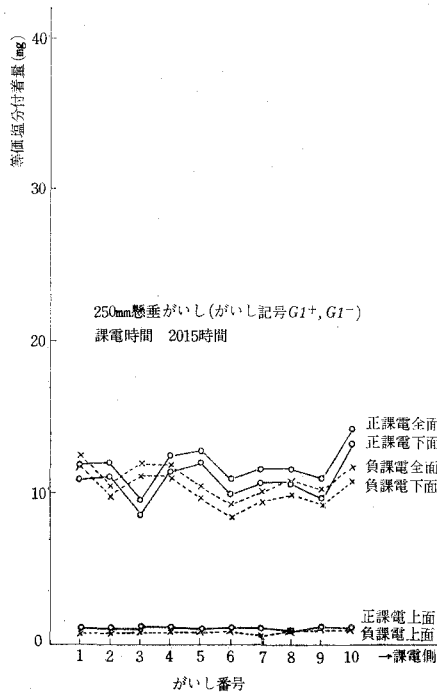


図-7 250mm懸垂がいし連の位置と等価塩分付着量の関係

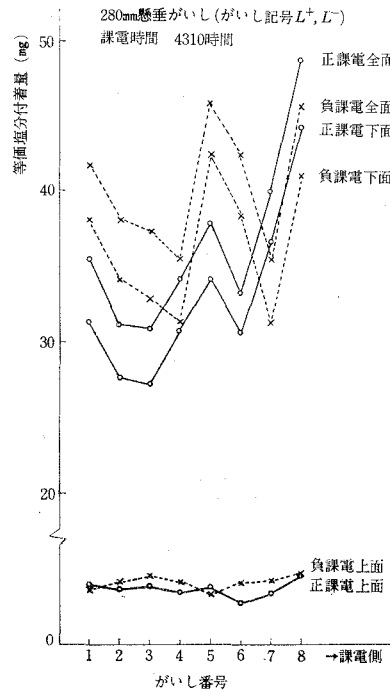


図-8 280mm懸垂がいし連の位置と等価塩分付着量の関係

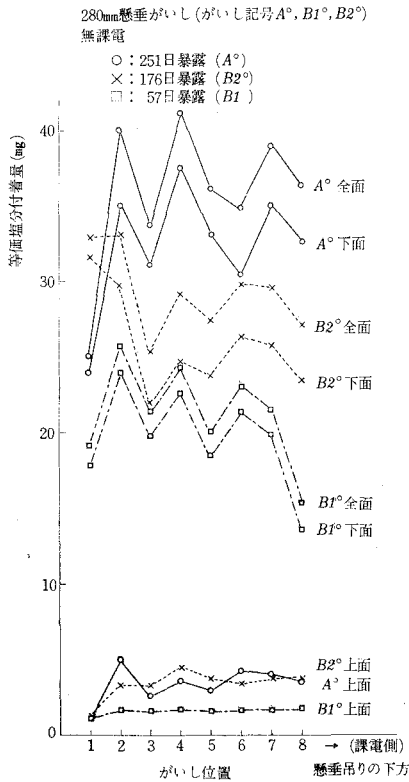


図-9 280 mm 懸垂がいしの位置と等価塩分付着量の関係

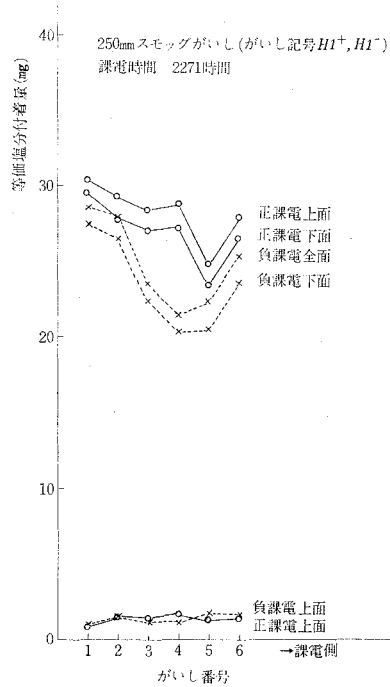


図-10 250 mm スモッグがいし連の位置と等価塩分付着量の関係

いが、接地端側のがいしと課電端側のがいしとは、色の濃さによって識別が可能である。

同一連内のディスク形がいし（懸垂がいしとスモッグがいしを総称してこう呼ぶ。）の等価塩分付着量とがいし位置の関係については、課電端と接地端のがいしの汚損が多く、中間は比較的少ない⁴⁾といわれているが、本実験においては、これに合致する例もあれば、逆に課電端と接地端の汚損の少ない例もあり、一様な汚損分布のパターンは得られなかった。

一方、長幹がいしの場合は、接地端側から課電端側に向うに従って、汚損が次第に増加しているのがわかる⁵⁾。

これら、がいしの汚損分布の代表的な例を図-6から図-10までに載せる。

3-2. 課電々圧極性と等価塩分付着量

同一種類のがいしを等時間、異なる電圧極性で暴露課電した時、それらががいしの等価塩分付着量と課電々圧極性との関係を検討してみる。検討方法としては、まず最初に等分散性の検定 (F-検定) を行ない、分散に差がないと検定されたものには t-検定、そうでないものには、Welch の検定を施した⁶⁾。

有意水準 5% の検定結果によると、250 mm 懸垂がいし連の 87%、同じく 280 mm 懸垂が

いし連の80%のものが、課電々圧極性の違いによって平均等価塩分付着量に差がないと検定された。しかし、250 mm スモッグがいし連では67%のものが差があると検定され、このすべてが、正極課電の方の平均等価塩分付着量が多かった。また長幹がいし連では、75%のがいし連に差があると検定され、このうち正極課電の方が多いと検定されたものが25%、負極課電の方が多いと検定されたものが50%であった。

このように、がいしの種類によって、課電々圧極性の違いによる平均等価塩分付着量に差があるものと、そうでないものがあることが判った。

3-3. 課電がいしと無課電がいしの等価塩分付着量

課電がいし連の等価塩分付着量と無課電がいしのそれとを比較するために、280 mm 懸垂がいし連(1連8個)を2連、無課電で懸吊し、暴露を行なった。同一期間暴露した正極課電および負極課電と無課電のがいし連との等価塩分付着量と比較検討してみる。検討方法は前述の3-2節と同じである。

暴露日数57日(478時間課電)のがいし連において、がいし上面の等価塩分付着量は、課電および無課電の違いによる差異は見られない。しかし、がいし下面では、課電がいしの等価塩分付着量は無課電がいしのそれよりも30%ほど多い。

暴露日数176日(1207時間課電)のがいし連においては、がいし上面では差異は見られないが、がいし下面において、正極課電と無課電のがいしを比較した場合には、等価塩分付着量に差異はないと検定されたが、負極課電と無課電の場合には、負極課電の等価塩分付着量の方が無課電のそれよりも20%ほど多いと検定された。

以上の結果より、直流課電によって集塵作用が働き、がいしの汚損が促進するといえることができる。

3-4. がいし形状の違いによる等価塩分付着密度の比較

図-11はディスク形がいしの上面、下面および全面の等価塩分付着密度と長幹がいしの等価塩分付着密度を示したものである。

ディスク形がいしでは、それぞれのがいしの寸法・形状とも異なっているが、等価塩分付着密度の値に大きな差はないといえる。

しかし、長幹がいしの場合には、ディスク形がいし全面の1/3程度の等価塩分付着密度である。この値は、ディスク形がいしの比較的汚損の少ない部分であるがいし上面の等価塩分付着密度の120%程度に相当する。このことから、長幹がいしは洗滌効果が大きいために、おおむね軽汚損のまま使用可能ながいしであるといえることができる。

3-5. ディスク形がいし下面の等価塩分付着密度分布

ディスク形がいし下面のヒダ別の汚損分布を調べるために、250 mm 懸垂がいし、280 mm 懸垂がいし、および250 mm スモッグがいし下面のヒダ別の等価塩分付着密度を図-12に示す。

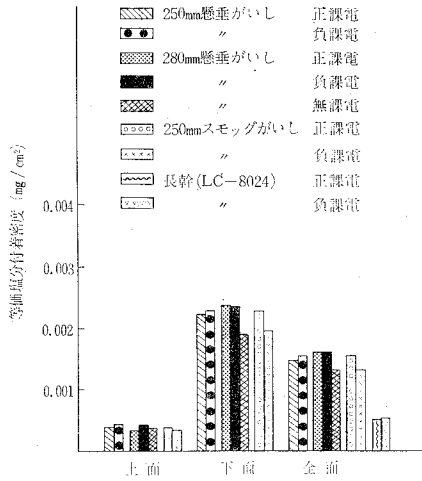


図-11 等価塩分付着密度の分布

がいし下面のヒダには、がいしの外周側から中心側（ピン側）に向かって順番号が付けられている。同図によると、250 mm 懸垂がいし、および 280 mm 懸垂がいしでは、ピン側に近づくに従って等価塩分付着密度は漸次増加する傾向を示している。しかし、

250 mm スモッグがいしでは、ヒダ番号 1 からヒダ番号 3 までは、等価塩分付着密度は順次増加しているが、ヒダ番号 4 すなわち、ピンに一番近いヒダの部分では、ヒダ番号 2 の部分よりも等価塩分付着密度は少なくなっている。すなわち、250 mm スモッグがいし下面の等価塩分付着密度の分布は、懸垂がいしと異なった傾向を示し、それは逆V曲線のようにになっている。

3-6. 懸架位置の相違と等価塩分付着量

同じ種類で、かつ、同じ暴露課電圧をもつがいし連であっても、がいし懸架台の懸吊位置の違いによって、等価塩分付着量に変化が見られることが推測できる。この間の関係を探るために、同極性電位課電で、かつ、同じ暴露課電圧を持つ 250 mm 懸垂がいし連と 280 mm 懸垂がいし連の 2 種類で、各がいし連とも正極課電、および負極課電の合計 4 組について、等価塩分付着量との関係を前述の 3-2 節の方法に従って検討した。この供試がいし連の課電時間はすべて 4310 時間である。

この検定の結果、有意水準 5% では、250 mm 懸垂がいし連、および 280 mm 懸垂がいし連とも、がいし上面において等価塩分付着量に差はなかったが、がいし下面においては、負極課電の 280 mm 懸垂がいし連の組を除いた残りの 3 組（正極課電の 250 mm、負極課電の 250 mm、および正極課電の 280 mm の各懸垂がいし連の組）に差があると判定された。差があると判定

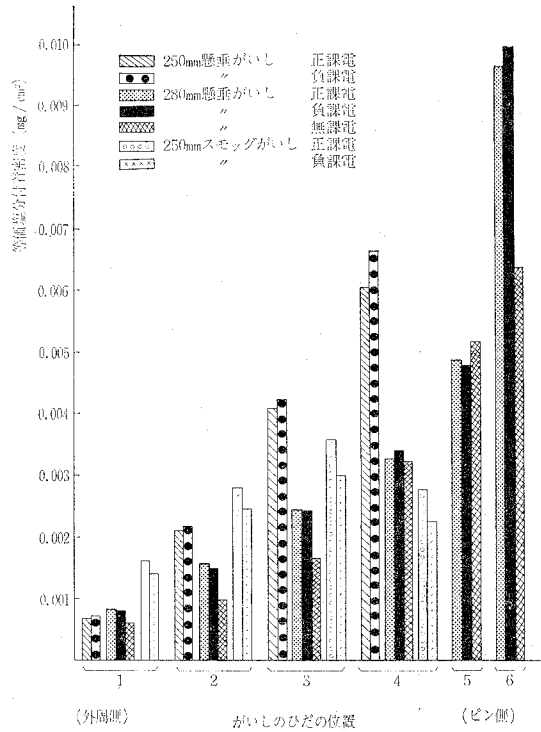


図-12 ディスク形がいし下面のひだの位置と等価塩分付着密度の関係

されたがいし連のすべてが、異極課電が行なわれている方に近いがいし連であった⁸⁾。ちなみに、この実験に供されたがいし連から異極課電が行なわれているところまでの最短距離は、250 mm 懸垂がいし連の組は 2.7 m と 1.8 m であり、280 mm 懸垂がいし連の組は 3.6 m と 1.8 m である。

3-7. 課電時間と等価塩分付着量

暴露課電がいしの等価塩分付着量と課電時間との関係を調べるために、下記の 3 関数による最小二乗近似を試みた。

$$F(t) = Ae^{Bt} + C \quad (1)$$

$$F(t) = Ae^{Bt} \quad (2)$$

$$F(t) = A \quad (3)$$

ここで $F(t)$: 等価塩分付着量 (mg)

t : 課電時間 (hour)

A, B, C : 定数

250 mm 懸垂がいし、280 mm 懸垂がいしおよび 250 mm スモックがいしの場合は、がいし全面の等価塩分付着量を 1 試料とし、長幹がいしの場合は、笠 1 枚相当分を 1 試料として、最小二乗近似を試みた。

この最小二乗近似より得られた塩分付着量と、汚損測定法による等価塩分付着量との差の平方和を表-3に載せた。同表より、最小二乗法による塩分付着量と、汚損測定法による等価塩分付着量との差の平方和には、近似関数の違いによって大差はないので、等価塩分付着量と課電時間との関係は、(1)~(3) 式のどの式で表わされても良いと思われる。しかし、がいしの汚損は課電時間が長くなれば長くなるほど、無限に増大するというものではなく、ある飽和した

表-3 最小二乗法による近似関数 $F(t)$ と測定値との差の平方和

がいしの種数	極性	$F(t)$		
		$Be^{Bt}+C$	Ae^{Bt}	$At+B$
250 懸垂がいし	+	2912.8	3220.4	3180.5
	-	5669.4	3982.7	3952.8
280 懸垂がいし	+	1191.9	1202.3	1213.9
	-	1047.7	1056.9	1055.4
	0	3024.0	302.5	305.9
250 スモックがいし	+	899.5	453.2	471.5
	-	1020.4	984.0	1000.9
長幹がいし	+	241.2	73.2	69.1
	-	180.6	180.7	181.5

ときの汚損量が存在するはずである。したがって、上記3式の中では(1)式の $F(t)=Ae^{Bt}+C$ の関係が適当であると推定する。実際に、表-3からは、9例中4例までが(1)式に最も良く近似するという結果を得た。

最小二乗法より得られた近似関数の塩分付着量、および汚損測定法による等価塩分付着量と課電時間との関係を図-13から図-21までに載せる。これらの図によると、250 mm 懸垂がいし、280 mm 懸垂がいし、および250 mm スモッグがいしでは、課電時間の増加とともに等価塩分付着量の増加する傾向が見られるが、長幹がいしでは、課電時間が増加するに従って、等価塩分付着量は逆に減少する傾向にある。これは、長幹がいしの場合には、課電時間が長くなると汚損物が蓄積されるよりも離脱する確率が大きくなるということで、雨などによる洗滌作用を顕著に受けるためと思われる。また、250 mm 懸垂がいしの場合には、課電時間が短かくとも等価塩分付着量が多くなっている例が存在した。これは、供試がいし連の懸吊開始期日は異なるが、汚損測定期日が同一ながいし連に、この例が現われている。この理由として、250 mm 懸垂がいし連が、汚損物の蓄積作用よりも洗滌作用の方を多く受けたために、両作用を交互に繰り返しているうちに、暴露歴とは無関係に、ほぼ一定の等価塩分付着量に収束した、ということが考えられる。280 mm 懸垂がいしの場合には、課電時間の増加とともに等価塩分付着量は、順次増えている。これは、がいしの笠が大きいために、比較的、洗滌作用が受

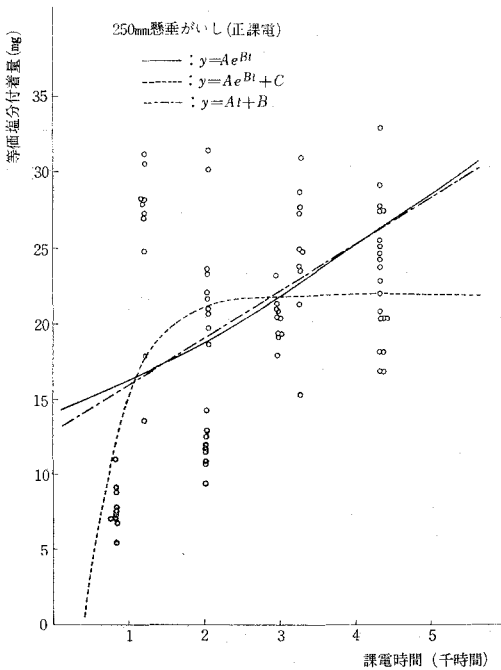


図-13 250 mm 懸垂がいし (正課電) の課電時間と等価塩分付着量の関係および最小二乗法による近似曲線

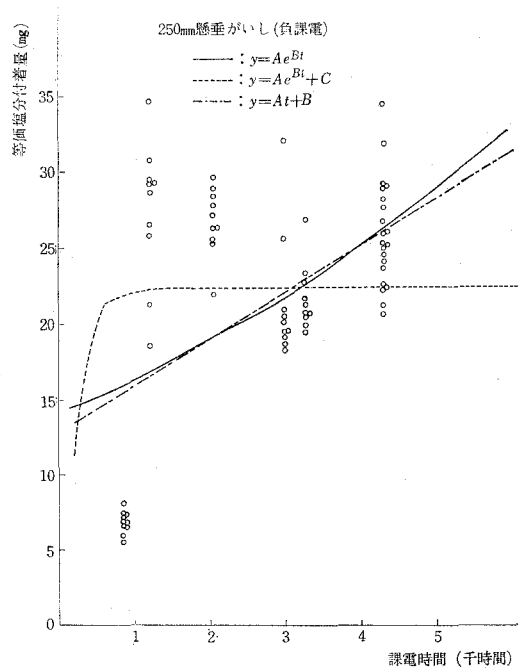


図-14 250 mm 懸垂がいし (負課電) の課電時間と等価塩分付着量の関係および最小二乗法による近似曲線

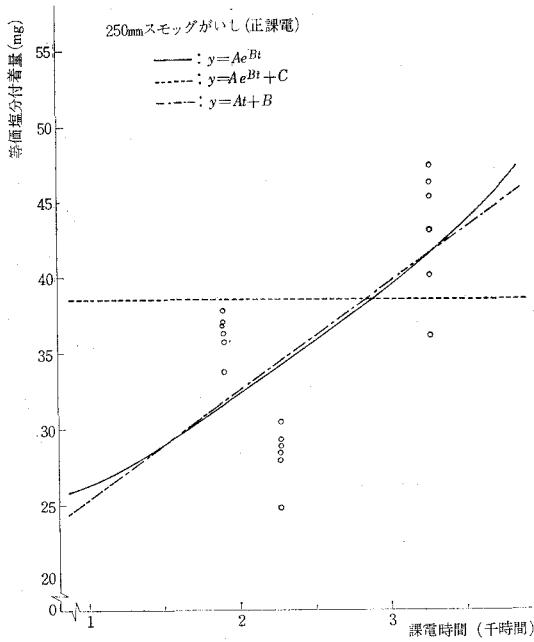


図-15 250 mm スモッグがいし (正課電) の課電時間と等価塩分付着量の関係および最小二乗法による近似曲線

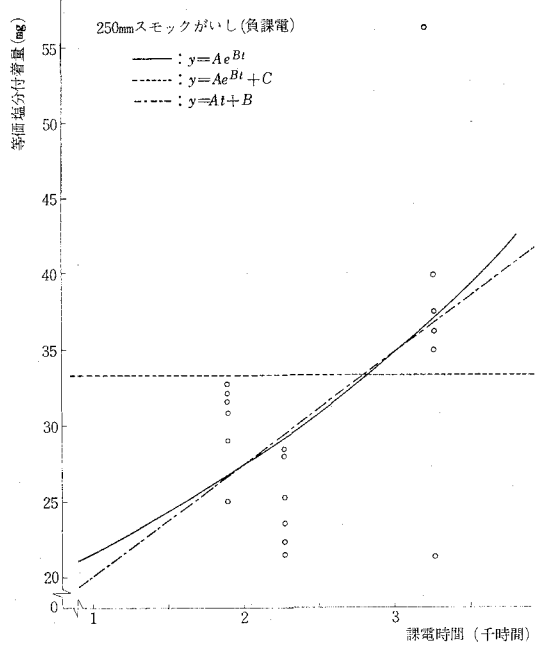


図-16 250 mm スモッグがいし (負課電) の課電時間と等価塩分付着量の関係および最小二乗法による近似曲線

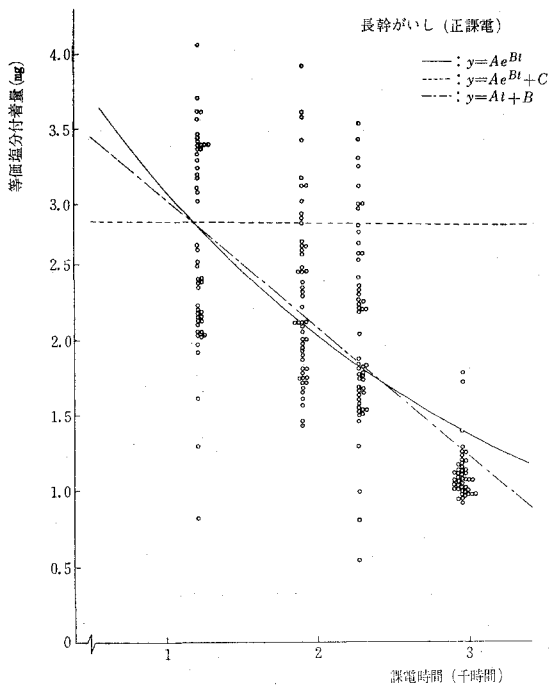


図-17 長幹がいし (正課電) の課電時間と等価塩分付着量の関係および最小二乗法による近似曲線

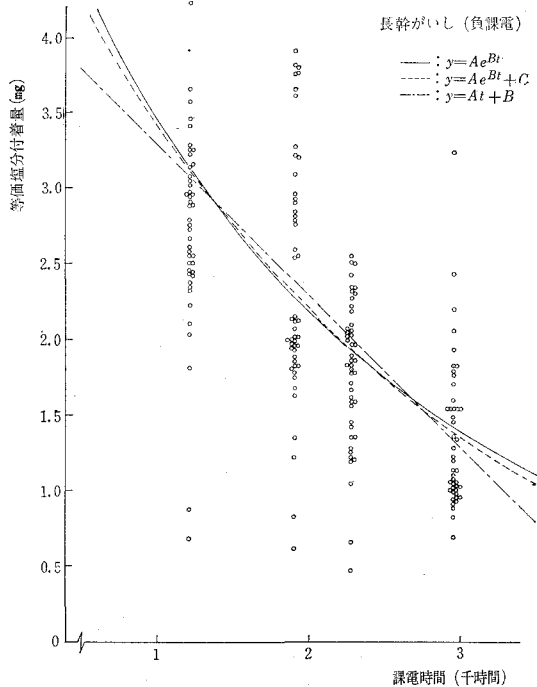


図-18 長幹がいし (負課電) の課電時間と等価塩分付着量の関係および最小二乗法による近似曲線

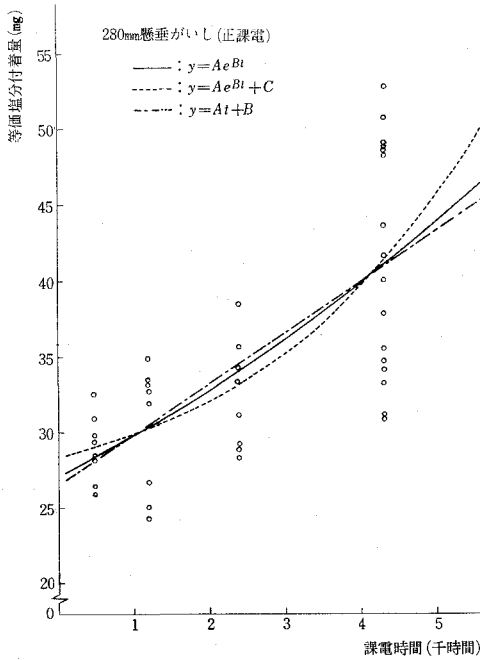


図-19 280 mm 懸垂がいし (正課電) の課電時間と等価塩分付着量の関係および最小二乗法による近似曲線

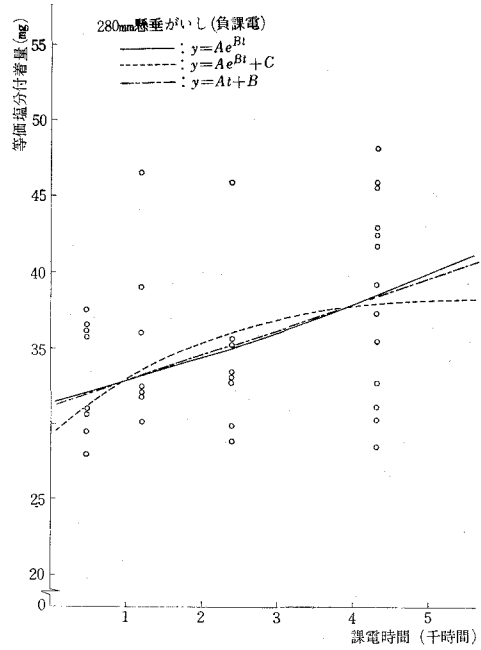


図-20 280 mm 懸垂がいし (負課電) の課電時間と等価塩分付着量の関係および最小二乗法による近似曲線

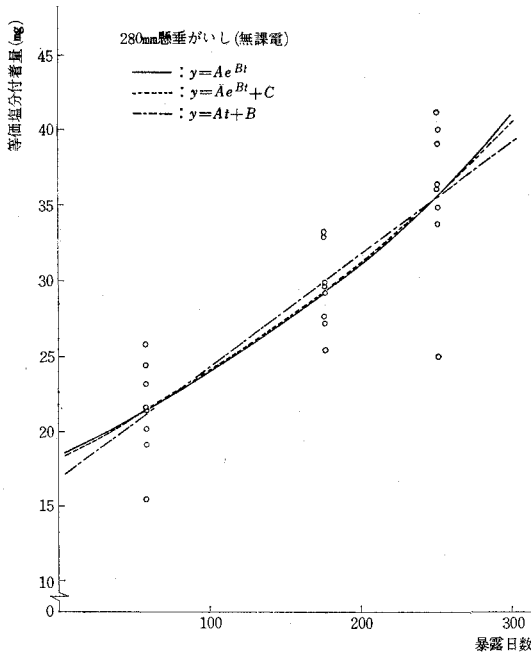


図-21 280 mm 懸垂がいし (無課電) の暴露日数と等価塩分付着量の関係および最小二乗法による近似曲線

け難いと考えられる。

以上を集約すると、課電時間の増加とともに、汚損物の蓄積量は増加するが、暴露途中で雨などが降ると、洗滌効果により蓄積された汚損物の一部はがいし面から離脱してしまう。よって、汚損測定を実施する幾日前に雨が降ったか、またその時の雨量および風の強さなどの諸条件により、がいしに付着している汚損物量は著しく変化してしまう。

また、同じ暴露課電歴を持つがいしにおいても、がいしの形状・寸法の違いによっても汚損物に差を生ずる。

本実験によると、長幹がいしと 250 mm 懸垂がいしは比較的洗滌効果を受けやすく、280 mm 懸垂がいしは笠が大き

いため、また 250 mm スモッグがいはしはヒダが深いために洗滌効果を受け難いといえる。

3-8. 付着物質の分析

がいはし面に付着した物質の定量分析と定性分析を行なう目的で、280 mm 懸垂がいはし連を対象に、原子吸光分析⁹⁾と X 線回折を施した。

i) 原子吸光分析による定量分析

この分析に供したがいしは、正および負の直流電圧を 4310 時間課電した 280 mm 懸垂がいはし各 1 連で、がいはし連の接地端から数えて 3 番目、5 番目および 7 番目のがいはしから採取した試料を、それぞれ上面分と下面分に分けて、その中に含まれる Na, Ca, Mg および K について測定した。

結果を取りまとめて表-4 に示す。なお参考のために、がいはし面の付着物質を洗滌するとき使用した蒸留水、ならびにガーゼ (15×15 cm) の中に含まれる Na, Ca, Mg および K の量も併記した。同表の汚損物量は、ガーゼに含まれる諸量を補正して得た値である。また、汚損測定法による等価塩分付着量も併せて記してある。同表より次の事柄がうかがわれる¹¹⁾。

表-4 原子吸光分析によるがいはしの汚損物量 (供試がいはし: 280 mm 懸垂がいはし)

(課電時間 4310 時間)

課電極性	測定位置	汚損物名 がいはしの懸架位置	汚損物質量 (mg)				等価塩分付着量 (mg)
			Na 5889 Å	Ca 4226 Å	Mg 2832 Å	K 7665 Å	
正 課 電	上 面	3	0.34	1.74	0.07	0.04	5.09
		5	0.33	1.45	0.06	0.02	4.30
		7	0.33	1.52	0.06	0.02	4.20
		平均	(0.33)	(1.57)	(0.06)	(0.03)	
	下 面	3	15.18	5.74	0.21	0.25	34.52
		5	16.33	5.47	0.21	0.26	35.26
		7	15.67	5.96	0.21	0.26	36.03
		平均	(15.73)	(5.72)	(0.21)	(0.26)	
負 課 電	上 面	3	0.32	1.67	0.06	0.05	4.92
		5	0.33	1.74	0.07	0.06	4.82
		7	0.34	1.67	0.08	0.08	4.73
		平均	(0.33)	(1.69)	(0.07)	(0.06)	
	下 面	3	15.18	4.65	0.22	0.22	31.98
		5	18.29	6.98	0.23	0.25	47.92
		7	17.80	7.41	0.23	0.25	47.99
		平均	(17.09)	(6.63)	(0.23)	(0.24)	
ガ ー ゼ			0.075	0.15	0.01	0.01	0.23

- 1) 課電々圧極性が異なっても, Na, Ca, Mg および K の組成率に大差はない。
- 2) がいし上面の主成分は Ca であり, がいし上面の Na, Ca, Mg および K 量の 70% 以上を占めている。
- 3) がいし下面の主成分は Na であり, がいし下面の Na, Ca, Mg および K 量の 70% 以上を占めている。
- 4) がいし全面の主成分は Na と Ca であり, がいし全面の Na, Ca, Mg および K 量の 67% および 30% を占め, Na と Ca を合せると 97% にも達する。
- 5) Mg と K 量は非常に少なく, 同面積を有するガーゼの Na と K 量にほぼ等しい。

表一五 X線回折法により検出された物質

管 出 球 物 質	Fe 球 $\lambda=1.9373 \text{ \AA}$				Cu 球 $\lambda=1.5418 \text{ \AA}$				管 出 球 物 質	Fe 球 $\lambda=1.9373 \text{ \AA}$				Cu 球 $\lambda=1.5418 \text{ \AA}$			
	課電									課電							
	正		負		正		負			正		負		正		負	
	がいしの位置									がいしの位置							
	2	8	2	8	2	8	2	8		2	8	2	8	2	8	2	8
Al ₂ O ₃					○	○	○	○	FeCl ₂					○		○	
Al ₄ C ₃	○				○		○		FeSO ₄		○		○	○	○	○	○
Al ₂ Cl ₆			○					○	FeSi	○		○					
Ba					○	○		○	FeSi ₂	○							
BaO			○						KCl					○	○	○	
Ba(ClO ₃) ₂			○						K ₂ CO ₃				○		○		○
Ba(NO ₃) ₂								○	Mg		○		○		○	○	
C					○				MgO			○		○		○	
Ca								○	MgSO ₄					○			
Ca(OH) ₂			○		○		○		MnCl ₂			○					
CaO					○	○	○		NaCl	○				○		○	○
CaC ₂	○	○	○	○	○	○	○	○	NaCN				○		○	○	○
CaF ₂			○						Na ₂ SO ₃			○		○	○	○	○
CaCl ₂	○		○						Na ₂ SO ₄			○	○	○	○	○	
CaCO ₃	○								Ni							○	
Cr								○	NiO ₂			○					
Cr ₂ O ₃	○				○	○	○		Pb				○				
Cu					○	○	○		PbO	○				○		○	
CuO		○		○	○	○	○		PbHAsO ₄	○	○			○	○	○	
Cu ₂ O					○				Si					○		○	
CuSO ₄	○	○			○	○	○	○	SiO ₂			○		○	○	○	○
FeC					○				Zn					○	○	○	
FeAl ₃					○		○		ZnO	○		○		○	○	○	○
FeO					○		○		Zn(CN) ₂					○		○	
Fe ₂ O ₃			○		○		○		ZnSO ₄	○	○	○		○	○	○	

表-6 X線回折法により検出された元素

管球 検出元素名	Fe 球 $\lambda=1.9373 \text{ \AA}$				Cu 球 $\lambda=1.5418 \text{ \AA}$				管球 検出元素名	Fe 球 $\lambda=1.9373 \text{ \AA}$				Cu 球 $\lambda=1.5418 \text{ \AA}$				
	課電		電		課電		電			課電		電		課電		電		
	正	負	正	負	正	負	正	負		正	負	正	負	正	負	正	負	
	がいしの位置									がいしの位置								
	2	8	2	8	2	8	2	8		2	8	2	8	2	8	2	8	
C	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					○	○	○	
F																		
Na	○		○	○	○	○	○	○	○									
Mg		○	○	○	○	○	○	○	○									
Al	○		○		○	○	○	○	○									
Si	○		○		○	○	○	○	○									
S	○	○	○	○	○	○	○	○	○									
Cl	○		○		○	○	○	○	○									
K				○	○	○	○	○	○									
Ca	○	○	○	○	○	○	○	○	○									
										Cr	○				○	○	○	
										Fe	○	○	○	○	○	○	○	○
										Ni			○				○	○
										Cu	○	○		○	○	○	○	○
										Zn	○	○	○		○	○	○	○
										As	○	○			○		○	○
										Ba			○		○	○	○	○
										Pb	○	○		○			○	○
										Mn			○					

6) がいし下面の Na 量を NaCl 量に換算すると、汚損測定法による等価塩分付着量と大旨一致する。このときの差異は 20% 以内である。

7) がいし下面に付着した Ca, Mg および K 量は、がいし上面のその 3~4 倍程度であるが、Na 量については約 50 倍となっている。これは、がいし上面が洗滌作用を受け易く、かつ、Na が水に溶解易いためと思われる。

ii) X線回折による定性分析

X線回折によって付着物質の定性分析を行なったので、その結果を述べる。試料は、前項で述べたがいし連のうち、接地端から数えて 2 番目および 8 番目（課電端のがいし）から採取したものである。X線源には、X線波長 1.5418 \AA の Cu 球と、同じく、 1.9373 \AA の Fe 球を使用した。試料に対する X線照射時間は両管球の場合とも、それぞれ 90 分間である。検出方法は、大気中に存在する物質を挙げ、その物質がこの試料中に含まれているかを確認する方法を採用した。検出物質をとりまとめたものが表-5 であり、これを元素別に分類したものが、表-6 である。検出物質の主な分子構造は、酸素化合物、炭素化合物、ケイ素化合物スルホン化合物および単体であった。ケイ素化合物は土壌の主成分であるから、これは地上の土砂が風に運ばれてがいしに付着したものと考えられる。課電極性の違いによる検出元素の相異をみると、F, Ni および Mn は負極課電のがいしからのみ検出されている。

原子吸光分析で検出された Na, Ca, Mg および K は、X線回折によっても、大旨、検出されている。

4. あとがき

以上、暴露課電したがいしの汚損について報告してきて気付いた点を述べる。

がいし連の汚損分布に関して、一般に次のように言われている。交流課電の場合は、汚損分布は、がいし連についてほぼ平均しているが、直流課電では、一般に課電側と接地側の汚損が多く、中間は比較的少ない¹⁾。本実験の測定結果では、直流課電に似た汚損分布の特性を持つものもあれば、交流課電に似たそれを持つものもあり、一様な汚損分布は得られなかった。これは、交流高圧を半波整流した後に平滑コンデンサで平滑したが、このコンデンサが $0.083 \mu\text{F}$ と小容量のために、電流が完全に平滑されず、脈流となったために、直流課電でありながら交流課電に似た汚損分布の特性も現われたものと考えられる。

次に長期暴露を行なったがいしの汚損物量は、雨などの洗滌効果の影響を大きく受けている。地上の塵埃や空気中の微粒子が風によって運ばれたり、電気集塵作用によってがいし表面に付着し、汚損が促進する蓄積作用と、雨が降ったり、風が吹いたりすると、がいしに付着した塵埃や微粒子ががいし表面から離脱する洗滌作用が交互に繰り返れている。洗滌作用の主要因となるものに、雨による雨洗効果を挙げることができる。雨量と 250 mm 懸垂がいしの雨洗効果の関係は、雨量 0.5 mm/h で雨洗効果は 60% 程度であり、雨量が 0.5 mm/h 増す毎に雨洗効果は 10% ずつ増加する。また雨洗効果の上限値は 90% 程である¹²⁾。したがって、汚損物の洗滌作用が蓄積作用を上廻ると、長幹がいしの場合のように、課電時間が長くなると共に、汚損物量が減少する例も存在することになる。これは雨洗効果の良く現われている例である。

この雨洗効果と相まって、汚損の進行速度に関する事象が解明されると、がいしの汚損工合が推測でき、強いては、現在はもれ電流の実測に依っているがいしの洗浄時期的確な予測も可能になるものと思われる。

当初、室蘭工業大学の暴露試験場は、海岸に近く、また工場群による大気汚染が激しいために、がいしの重汚損地域であろうと考えられていた。現に交流送電線路ではあるが、北海道電力株式会社の御崎幹線^{*)}は、道内では有数の要注意送電線であるといわれている。しかし、東京電力株式会社の南川越変電所で行なわれた汚損測定と本学のそれとは大差はない。表-7 に南川越変電所と本実験を行なった室蘭工業大学における 250 mm スモッグがいしの汚損測定結果を載せる。同表より、南川越変電所および室蘭工業大学の汚損測定結果は、ともに軽汚損地域に属するといえる。したがって、室蘭工業大学の暴露試験場は、海による塩害や工場群による大気汚染の影響の受け難い地域である。

次に、実験装置として、整流装置、電流抑制用保護抵抗器および直流電圧測定用分圧器な

* 本実験を行なった暴露試験場からは 2 km 程離れており、高さ 100 m 程の丘陵の尾根に建られており、海岸と工場群に挟まれた海岸沿にある送電線路である。

表一七 南川越変電所と室蘭工大のがいしの汚損密度
(供試がいし：250 mm スモッグがいし)

暴露地点	がいし上面の 汚損密度 (mg/cm ²)	がいし下面の 汚損密度 (mg/cm ²)	課電時間
南川越変電所	0.004	0.014	84 ¹⁾
室蘭工大	0.004	0.021	79

どに塩化ビニル製品を使用したか、雨や雪などによりフラッシュオーバーが発生し、損壊事故が多発した。シリコン・コンパウンドを塗布して事故防止に努めたが、効果が少なかった。したがって、屋内で使用する場合、塩化ビニル製品は安価で、かつ、加工が容易で使い易いが、屋外で使用する場合には不向きである。

本報告の総まとめとして、交流との同時実験が行なえなかったこと、暴露期間が更に長い方が望ましいこと、汚損地域としては軽汚損地域に属したことなど多々問題点はあるが、直流課電したときの汚損の実態の一部は明らかにできたと考える。

最後に、この実験を行なうにあたり数々の御助力を賜った北海道電力株式会社殿、および電気協同研究会殿、がいしの提供を快くお引き受け下さった日本碍子株式会社殿、また数々の御助言を賜りました北海道大学工学部小池東一郎教授、ならびに電子技術総合研究所堀米孝氏、永井一嘉氏、比留間常吉氏、さらに分析に関して御力添え下さった本学工業化学科安孫子勤教官、同じく金属工学科戸田茂雄教官に深く感謝の意を表する次第である。

(昭和48年5月21日受理)

参 考 文 献

- 1) 電中研送電機能研究委員会：送電機能向上に関する研究報告，その4，直流送電(1968)。
- 2) 小池東一郎：送配電工学，後編(1967)。
- 3) 電気学会：電気工学ハンドブック(1970)。
- 4) 内藤・坂西：電気学会全国大会講演論文集，No. 922(1972)。
- 5) 本間・野崎・大窪・永井：電気四学会北海道支部大会講演論文集，No. 71(1971)。
- 6) 国沢清典：確率統計演習2，統計。
- 7) 本間・野崎・大窪・永井：電気学会全国大会講演論文集，No. 924(1972)。
- 8) 本間・野崎・大窪・永井：電気学会全国大会講演論文集，No. 1102(1973)。
- 9) 岩波：理化学辞典(1970)。
- 10) 松村源太郎：X線回折要論(1967)。
- 11) 本間・野崎・大窪・永井：電気四学会北海道支部大会講演論文集，No. 81(1972)。
- 12) 谷野・小林：電気学会全国大会講演論文集，No. 1043(1967)。

付 録

供試がいし連の試験データ一覧表 (単位 mg)

がいし 記号	がいし の種類	上面 平均	(標準 偏差)	下面 平均	(標準 偏差)	全面 平均	(標準 偏差)	課電 時間
A1	250 + -	1.39 1.58	0.20 0.18	18.84 19.88	1.48 3.92	20.23 21.47	1.37 4.00	2948.0
A2	250 + -	2.44 2.96	0.25 0.43	22.88 24.44	5.18 4.45	25.32 27.40	5.28 4.38	1207.4
B	S + -	4.65 3.81	0.76 0.69	38.36 34.24	3.45 10.51	43.01 38.05	3.87 10.86	3266.7
C	280 + -	3.21 3.51	0.79 0.75	42.91 32.75	5.36 6.21	46.12 36.26	5.49 6.43	4310.5
D1	L + -	27.25 25.99		28.39 45.59		27.82 35.79		2948.0
D2	L + -	55.83 65.57		74.63 90.27		65.23 77.92		1207.4
E1	280 + -	1.68 2.14	0.15 0.26	31.63 32.35	4.57 4.76	33.31 34.49	4.65 4.90	2404.7
E2	280 + -	1.53 1.77	0.10 0.22	27.53 28.82	2.26 3.46	29.07 30.59	2.22 3.41	478.4
E3	280 + -	3.16 4.38	1.05 0.76	27.08 30.95	3.31 4.32	30.24 35.34	3.95 4.95	1207.4
F	250 + -	2.64 2.59	0.47 0.37	18.59 21.04	3.02 2.26	21.23 23.63	3.31 2.16	4310.5
G1	250 + -	0.99 0.81	0.07 0.11	10.80 10.09	1.20 0.97	11.79 10.91	1.20 0.95	2015.4
G2	250 + -	2.12 2.90	0.65 0.53	21.09 23.84	3.53 2.48	23.20 26.74	4.05 2.10	2040.1
H1	S + -	1.37 1.42	0.23 0.25	26.90 23.43	1.81 2.73	28.27 24.84	1.75 2.68	2270.7
H2	S + -	3.96 3.69	0.83 0.57	32.21 26.53	1.95 2.91	36.17 30.22	1.28 2.60	1905.8
I			(分析の為に使用)					4310.5
J	250 + -	2.40 3.31	0.61 1.04	23.26 25.73	4.12 3.01	25.66 29.04	3.93 3.85	4310.5
K1	L + -	43.68 39.88		67.36 50.39		55.52 45.14		2270.7
K2	L + -	49.07 46.61		70.46 74.95		59.77 60.78		1905.8
L	280 + -	3.64 4.04	0.51 0.40	32.80 36.18	5.18 4.12	36.44 40.22	5.47 3.95	4310.5
M1	250 + -	1.29 0.87	0.43 0.08	6.55 6.01	1.24 0.70	7.84 6.88	1.48 0.69	829.6
M2	250 + -	2.53 2.58	0.46 0.44	22.22 19.14	4.32 2.15	24.75 21.72	4.13 2.03	3266.7
A0	280 0	3.43	1.12	32.32	3.82	35.75	4.72	251 days
B10	280 0	1.64	0.17	19.68	3.01	21.32	3.03	57 days
B20	280 0	3.42	0.87	25.94	3.03	29.36	2.52	176 days