

塩じん害防止用シリコン・コンパウンドの寿命判定について

菊地 光一・河村 鴻允*

On Detection of Silicone Compound in Preventing Deterioration Caused by Salt and Dust

Kouichi KIKUCHI and Kouin KAWAMURA*

(昭和49年10月31日受理)

1. は し が き

塩じん害防止用シリコン・コンパウンド（以下コンパウンドと呼ぶ）を塩じん害防止対策として、がいしやがい管に塗布する方法が国鉄新幹線等では実用化され、その有効性に関する関心が高まりつつある。

しかし裏日本特有の塩、砂じんや冠塩雪および低温におけるコンパウンドの特性についての資料が不十分なので裏日本地帯でのコンパウンドの使用にあたっては、これ等の特性を解明し、塩雪害低減材としての実用性と実用上の問題点について追求する必要があったので昭和46年度より、その基礎調査を実施し、次のような内容については既に報告した。

- (1) シリコン類塗布面における飛砂の影響(1)(2)(4)(7)
- (2) コンパウンドのアミーバ作用(3)(6)(8)
- (3) コンパウンドの耐塩じん特性(5)(7)(8)(10)
- (4) コンパウンドの寿命の判定(8)(9)(10)

本研究は上記の基礎調査の結果をよりどころにして、寿命と耐塩特性との対応関係や劣化におよぼす影響等についての基礎データを収集し、コンパウンドの寿命の概念を明確にするとともに寿命判定方法の開発を目的としたものである。

コンパウンドの寿命判定として現在まで検討された主な方法は次のようなものである。

- (1) アミーバ作用に依存する方法
 - 軟β線法⁽¹²⁾
 - 印刷用紙A法^(本研究)
- (2) はつ水性の測定⁽⁷⁾

- (3) 電気絶縁性の測定
 - F O Vの測定⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾
 - 耐トラッキング性の測定
 - 表面漏えい抵抗（電流）の測定⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾
 - 体積抵抗率，誘電正接⁽⁹⁾
- (4) シンチレーション，火花発生状況測定
 - 音の分析
 - 火花チェック
- (5) オイル含有量
等価付着塩分量の測定^(本研究)
- (6) その他
 - 付着物の量の測定⁽⁹⁾
 - 付着物の分析⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾
 - その他

本研究では印刷用紙Aを用いる簡易寿命判定法とコンパウンド中に含まれるオイルの含有率および等価付着塩分量の測定から寿命を予測する方法についての報告を中心としたものである。現在検討されているその他の方法、たとえば軟β線法は測定装置が高価なうえ、放射性同位元素を使用するという管理上の問題があり、はつ水の測定では主に付着した水滴の接触角の測定が中心課題となるが汚損物の付着により、正確な測定が困難となる。また測定個人誤差が大きい。電気絶縁性の測定では、フラッシュオーバー電圧（以後FOVと呼ぶ）が最も重要なめやすとなるがFOVの測定装置は高価な電源設備を必要とし、耐トラッキングの測定はFOVとの関連研究が不十分であり、表面漏えい電流の測定は東芝シリコンKKの開発した測定器⁽⁹⁾があるが、ばらつきが多く実用的ではない。体積抵抗率、誘電正接についてはFOVとの対応関係についての研究が十分ではない。

シンチレーション、火花発生状況の調査は活線の状態で実施できる方法であるが研究が不十分で実用出来る状況にはない。

※ 秋田大学鉱山学部講師

提案した印刷用紙A法はほとんど経費を要せず、いつでも実施できる特徴を持っている。

またコンパウンド中のシリコン・オイルの量の測定は寿命判定とともにコンパウンドの劣化機構の解明にも役立つので検討した。

付着物の量の測定や付着物の分析は今回は、環境条件理解の一助として実施したもので、今後寿命との関係については検討したいと思っている。

2. コンパウンドの寿命の概念

2-1 東北地区における汚損区分

東北電力KKが想定した汚損区分は〔表1〕⁶⁾のとおりである。

表-1 東北地区における汚損区分

汚 損 区 分	A	B	C	D	E	F
想定最大等価塩分量 (mg/cm ²)	0.1	0.03	0.06	0.12	0.25	0.50

表-2 汚損区分に対応する最低FOV

汚損区分	W	最 低 FOV (KV)			
		K=0	K=0.05	K=0.1	K=0.2
A	0.01	22.19	18.74	18.01	17.17
		(33.19)	(28.11)	(27.02)	(25.75)
B	0.03	17.81	15.03	14.45	13.78
		(26.72)	(22.55)	(21.66)	(20.67)
C	0.06	16.52	13.95	13.40	12.78
		(24.78)	(20.93)	(20.10)	(19.17)
D	0.12	13.48	11.78	10.95	10.44
		(20.22)	(17.07)	(16.43)	(15.65)
E	0.25	22.66	9.84	9.46	9.02
		(17.49)	(14.76)	(14.19)	(13.53)
F	0.50	10.15	8.57	8.23	7.85
		(15.26)	(12.86)	(12.35)	(11.78)

備考・w: 塩分付着密度 [mg/cm²]
 ・k: との粉付着密度[mg/cm²]
 ・()内は最低FOVに係数(1.5)をかけた数値で管理限界電圧を示す。

〔表1〕の想定最大等価塩分量の決定は、長年の塩分測定結果を確率的に扱う必要があるが、この汚損区分の作成は過去、約3年間のデータをもとに塩分付着量と累積頻度の関係を測定地点別に集計し、5%の累積発生度

となる塩分付着量を外そう法により求めたものである。

2-2 汚損区分に応ずる最低FOV

〔表1〕における汚損区分に対応する中島の式⁶⁾による最低FOVは(2.1)式のとおりでSP250一個について計算した結果は〔表2〕に示す。

$$V = 14 \left(\frac{0.1}{W} \right)^{1/5} \cdot \frac{2}{K^{1/2} + 2} \cdot \eta \cdot N \dots (2.1)^{6)}$$

この式はコンパウンド無塗布がいしについてのものであるが、それぞれの汚損区分に対する最低FOVはコンパウンド塗布がいしについても寿命判定のめやすとなる。

2-3 寿命の概念

コンパウンドの寿命の基準はそれぞれの汚損区分に対応して汚損物の量を考慮して決定さるべきである。

管理限界は一線地絡電圧、開閉サージの衝撃波に対する係数、標準外大気条件、裕度、安全係数等を考慮して中島の式より求めた数値の1.5倍をとった。

たとえば汚損区分DではK=0.1では最低FOVは10.95[KV]であり管理限界電圧は16.43[KV]と推定し、それに対応する寿命の基準を求める。

3. 印刷用紙Aによる簡易寿命判定法

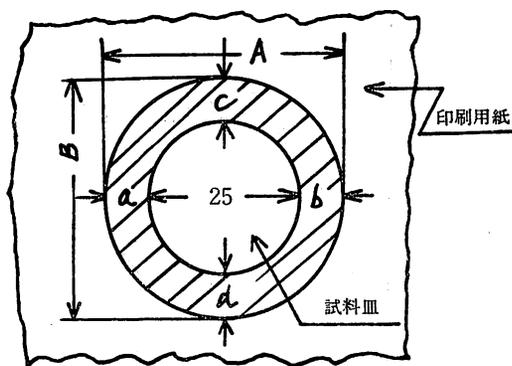
3-1 オイルの浸出長さの測定方法

測定すべき供試料を試料皿(直径25mm×厚さ1mm)にとり、その上に印刷用紙Aをのせる。印刷用紙Aは〔図1〕のように有孔性なので、コンパウンド中のオイルは紙に浸出してぬれ色を示す。ぬれ色を拡大していく能力はアミーバ作用と対応関係がある。

〔図1〕は走査型(700倍)でとったもので印刷用紙Aにオイルの浸出した様態を示す。



図-1 印刷用紙Aの顕微鏡写真(走査形×700)



○ 浸出長さ (半径方向浸出長さの平均)

$$= \frac{a + b + c + d}{4} = \frac{A + B - 50}{4} \text{ (mm)}$$

○ 斜線の部はオイルが浸出ぬれ色を示す部分

図-2 シリコンオイルの浸出長さの測定法

ぬれ色の伸び (浸出長さ) の測定法は [図2] のとおりである。

伸び長さが微小の場合は虫めがねで拡大して測定する。この方法はシリコン・オイルの印刷用紙Aに対する伸び長さを測定し、シリコン・オイルの被覆能力 (アミーバ作用) を予測し、コンパウンドの寿命を判定しようとするものである。

3-2 印刷用紙Aを用いる理由

紙にはいろいろの種類があり、その原料や製造工程は異なる。いろいろの紙について実験してみると印刷用紙Aには次のような利点がある。

- (1) 吸油性がよく、ぬれ色が鮮明である。
- (2) 100%化学パルプで、どのメーカーでもすきむらが少なく製品に特性の差はほとんどない。

印刷用紙B, C, DはAと似たような傾向はあるが、次のとおりである。

- B……化学パルプ70%以上 (残り機械パルプ)
- C……化学パルプ40%以上 (残り機械パルプ)
- D……化学パルプ40%以上 (残り機械パルプ)

印刷用紙B, C, Dは混入する機械パルプの品質が異なるので、メーカーによって特性が異なり、シリコンオイルの伸び長さにはばらつきを生ずるので印刷用紙の中ではAが最適である。

- (3) オイルの浸出長さが長い。

化学分析用ろ紙2種 (定性分析用) と化学分析用口紙5種B (定量分析用) とオイルの浸出長さを比較したものが [図3] である。ろ紙は精選した綿繊維を主体としたもので均一な組織をもつが、ぬれ色が不鮮明で印刷用紙Aよりも浸出長さが短い。以上の諸点より印刷用紙A

を適当と認めた。

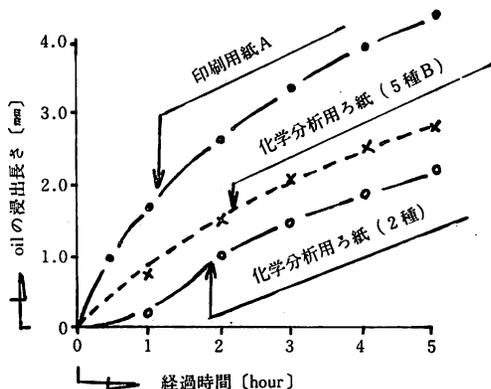


図-3 紙質の相違によるoilの浸出長さ (1.0mm厚)

3-3 寿命判定

3-3-1 寿命判定の基準決定手順

寿命判定の一例としてD汚損区分における寿命判定の手順を次に示す。

D汚損区分でK=0.1の場合、管理限界電圧は16.43KV (約16.5KV) と想定し、2年以上秋田高専校地内および秋田火力暴露実験場内に暴露した1mmの厚さにコンパウンドを塗布した標準懸垂がいし20個を供試料とする。

- ① W=0.12, K=0.1となる汚損液を霧室中に設置された上記供試料にスプレーする。
- ② スプレー直後F O Vを測定し、管理限界約16.5KV以下でF Oした供試料 (20個の供試料中16.5KV以下でF Oしたもの7個) 下面中央部より、目視で汚損物の付着の多いと思われる方位より、コンパウン

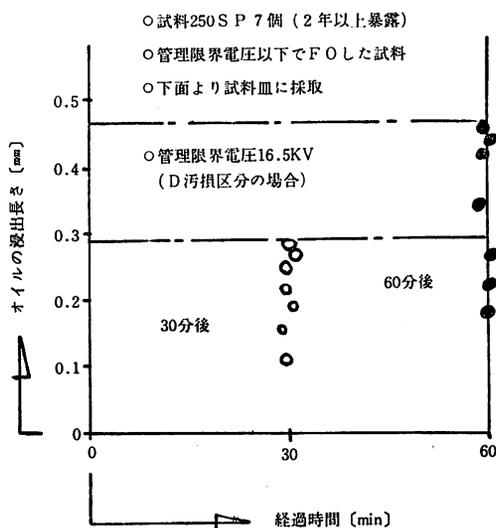


図-4 寿命限界の浸出長さ

ドを採取する。

③ 採取したコンパウンドを試料皿に充満する程度に入れ、印刷用紙Aを用い、前記の方法でシリコンオイルの浸出長さを測定する。測定した結果は〔図4〕のとおりである。

④ 寿命となった塗布試料（採取したもの）の印刷用紙A法による浸出長さは30分後評価ではオイルの浸出長さ0.29mm以下、60分後評価では0.46mm以下であるので、それぞれ浸出長さによる寿命限界のめやすとする。

3-3-2 本方式による実用試験の結果と考察

管理限界電圧16.5KV（秋田地区における代表汚損区分をD区分と仮定する）における実用試験の結果を〔図5〕、〔図6〕、〔図7〕に示す。各図ともそれぞれ試料3個の平均を取ったものである。

3-3-3 加熱試料のオイル浸出能力

コンパウンド塗布試料は課電中コロナ放電、部分放電等によりコンパウンドの塗布面の劣化が考えられるので加熱のアミーバ作用に与える影響を調査するため100°C、200°C、300°Cの温度で1時間加熱した試料について常温でオイルの浸出長さを求めた結果が〔図5〕のとおりである。図のAは30分後Bは60分後の寿命の限界を示す。

加熱試料のオイルの浸出能力は200°Cでは著しく低下し300°Cでは浸出能力はほとんどない。

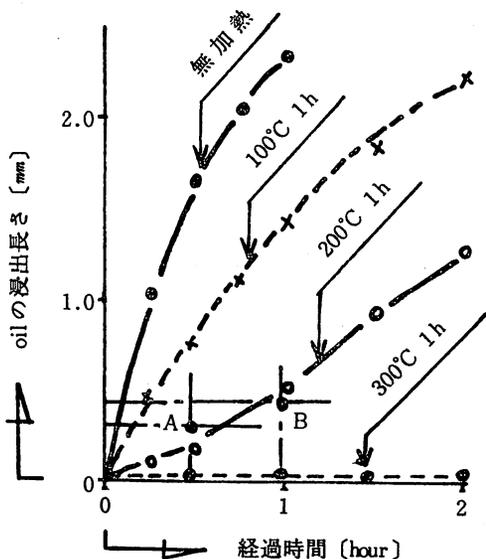


図-5 加熱試料のoil浸出長さ (1.0mm厚)

これは前報⑥の軟β線を利用した結果と同じような傾向を示す。

加熱直後の表面状態は100°Cでは表面がとろりとした

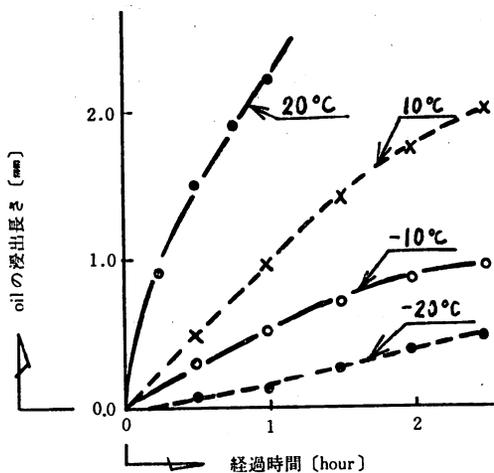


図-6 oil 浸出長さの温度依存性

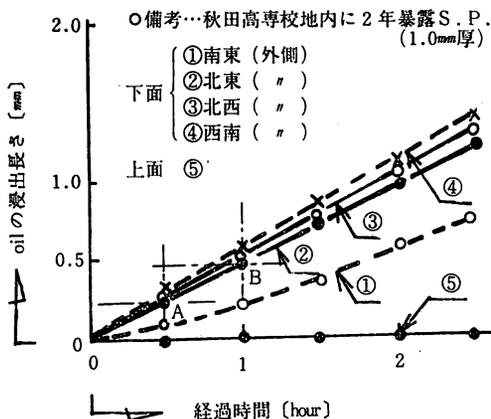


図-7 暴露試料のoil 浸出能力

感じで200°Cでは加熱中、ガスが発生しゲル化する。

300°Cでは加熱中のガスの発生が著しくゲル状表面にきれつを生ずる。

3-3-4 アミーバ作用の温度依存性

コンパウンドは測定時の温度によって、その粘度が異なるのでアミーバ作用の温度依存性を調査する目的で低温恒温室で20°C、10°C、-10°C、-20°Cでオイルの浸出長さを求めた結果は〔図6〕である。-10°C以下ではアミーバ作用の減退が著しい。

この結果よりアミーバ作用のみに依存して、コンパウンドの寿命を判定しようとする方式では、寿命限界となるオイル伸び長さの基準に対して寿命判定時の温度による補正が必要となる。

温度の変化によるF O V変化と補正係数については目下検討中である。

3-3-5 暴露試料の了ミーバ作用

秋田高専校地内に2年間暴露した260mm中標準懸垂がいし(コンパウンド1mm厚さ塗布)について、上面、下面とも各方位の中央部より、薄い金属片で試料を採取し、採取試料の上部、下部が転動しないように配慮して試料皿にとり、本法でそれぞれの部位のアミーバ作用を調査した結果が〔図7〕のとおりである。

上面は各方位ともアミーバ作用はほとんどなく、いずれも寿命の限界をこえており、下面では南東側のアミーバ作用の減退が他の方位に比して著しい。

秋田高専校地内に暴露した供試料について、フラッシュ・オーバのパスの方位の出現率〔%〕で表示した結果が〔表3〕であり、方位は8方位とし、その方位に該当しないものは設定した方位に近い方位に含めて近似した。

測定期間中は北西の風が最も多く、がいし上面ではF Oのパスの方位は北西が多く、下面は南東の方位が多い。これは上面が風の方向、下面はその反対方向が汚損される可能性が強いことを示し、方位によりアミーバ作用の相違することを示している。このことは〔図7〕の裏付として注目してよい。

表-3 暴露がいしのフラッシュオーバのパスの方位

資料 方位	フラッシュオーバ回数〔%〕									
	下 面					上 面				
	No.1	No.2	No.3	No.4	平均	No.1	No.2	No.3	No.4	平均
北 東	5.0	44.4	18.7	20.7	22.2	14.3	25.0	16.6	8.0	16.0
東					0	14.3			8.0	5.6
南 東	80.0	20.0	50.0	37.9	46.9	4.8		4.3	24.0	8.3
南	5.0				1.3	4.7			26.0	7.7
西 南	5.0			3.5	2.1	28.6	25.0	20.8	8.0	20.6
西					0	4.7	12.5			4.3
北 西		24.4	25.0	37.9	21.8	28.6	37.5	37.5	26.0	32.4
北	5.0	11.2	6.3		5.7			20.8		5.2
Total〔%〕	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100.1

備考

- ① 秋田高専校地内に暴露した標準懸垂がいしについて、いろいろの天候条件下において、フラッシュオーバさせ、フラッシュオーバ時のパスの方位を調査したものである。
- ② 供試料

昭和50年2月

No.1…無塗布

No.2…コンパウンド1.0mm厚さ塗布

No.3…コンパウンド1.0mm厚さ塗布

No.4…無塗布

- ③ 測定期間……昭和47年1月より12月まで(測定日数7日に1回測定, 測定日数50日)

4. コンパウンドのオイルの含有量および等価塩分付着量による寿命の判定

シリコン・コンパウンドのアミーバ作用とはつ水性が含有シリコン油の汚損物に対する被覆能力に依る

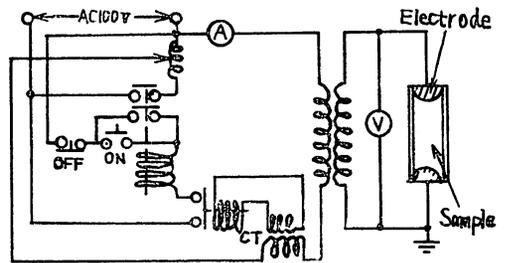


図-8 FOV測定回路

し、被覆能力はコンパウンド中のシリコン・オイルの量に影響することから、劣化試料について、核磁気共鳴吸収装置(以後NMRと呼ぶ)および赤外分光光度計(以後IRと呼ぶ)を用いて、シリコン油の量を測定するとともに、耐塩強度に影響を与える付着塩分を測定し、その寿命判定法について検討した。

4-1 フラッシュオーバ電圧の測定回路と測定方法

〔図8〕は測定回路を示したものである。フラッシュオーバ時には一次側4Aでリレーが働き電源が切れる。電圧の昇圧の割合は2KV/secである。電極は直径2cmの

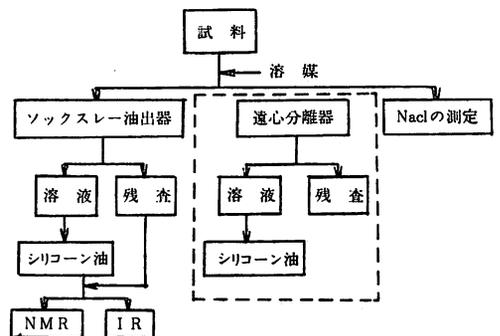


図-9 試料の処理と実験の手順

半円部をもつ厚さ0.1cmの銅板で、電極間隙は2cmである。供試は東芝コンパウンド T S K 551で、これを塗布する基材は5×3×0.5cmの磁器タイルを用いた。基材は一回ごとにn-ヘキサンでふいて、この基材の上に前もって電極部が除かれるような形状の厚さ0.1cmのスペーサを置き、シリコン・コンパウンドが均一の厚さに塗布されるようにした。シリコン・コンパウンドの塗布の厚さはすべて0.1cmである。F O V測定の実験条件は温度40°C、水蒸気飽和状態である。

4-2 実験の手順および試料の処理

〔図9〕はシリコン・コンパウンドのシリコン油分および付着塩分の測定手順を示したものである。その手順は次のとおりで

- ① 試料の重量を測定する。
- ② 試料をビーカーに入れ溶媒を加えマグネティックスターラーで攪はんし、シリコン・コンパウンドを溶かす。

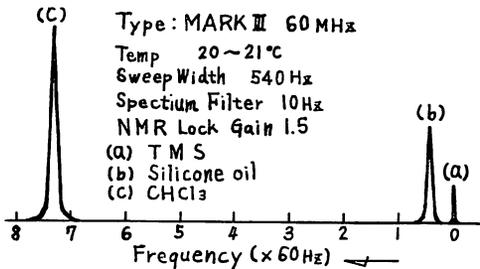


図-10 NMRスペクトル

- ③ 次にソックスレー抽出器に入れ、約24時間抽出を行なう。同時に②での試料の一部をとり、付着塩分の測定を行なう。
- ④ 上記の抽出が完了後、その溶液を約50°Cで温ため溶媒を飛ばす。残量がシリコン油量である。
- ⑤ シリコン油と残渣を I R および NMR で解析を

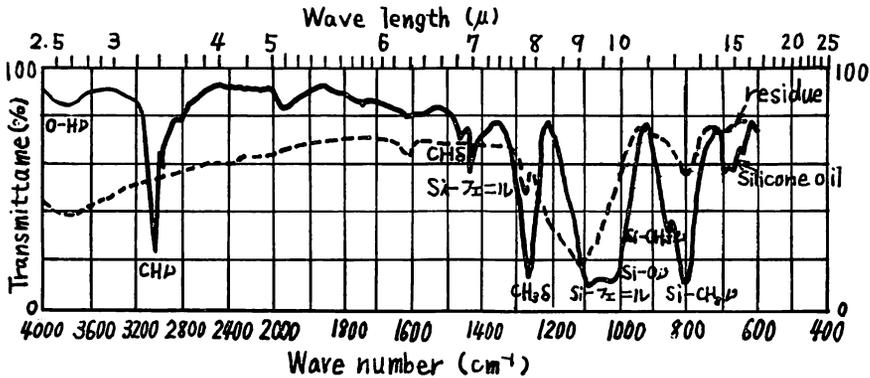


図-12 I R のスペクトル

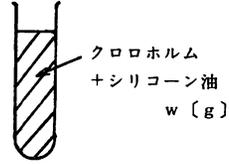


図-11 NMRチューブ中のクロロホルムとシリコン油

行なう。

なお図中の破線部分は、シリコン油と残渣の測定を迅速に行なう一手段であり、この方法を用いると約10分で両者が測定が完了するメリットがある。

4-3 NMRによるシリコン油の定性および定量

溶媒にクロロホルムを用いてシリコン油を NMR によって測定すると、〔図10〕に示すような吸収スペクトルが記録される。スペクトルの位置および形状はその物質特有のものである。定量は次のようにして行なう。

〔図11〕に示すように NMR チューブ中のクロロホルム + シリコン油を w [g] とする。x を含有するシリコン油のモル数、y を含有するクロロホルムのモル数、I_s、I_c をシリコン油とクロロホルムの NMR 吸収スペクトルの積分値とすると

表-4 長期暴露試料の定量

(秋田高専校地内に暴露した試料)

サンプル	No.	1	2	3
シリコン油	%	82.6	80	69.4
付着物	mg/cm ²	2.77	6.56	8.89
付着塩分	mg/cm ²	0.21	0.29	0.36

$$\frac{I_s}{I_c} = \frac{6x}{y} \quad (4-1)$$

したがって

$$\frac{y}{x} = 6 \frac{I_c}{I_s} \quad (4-2)$$

また M_s , M_c をそれぞれシリコン油の単位重合度の分子量とクロロホルムの分子量とすると (4-3) 式が導かれる。

$$w = M_s x + M_c y \quad (4-3)$$

したがって

$$\text{シリコン油重量含有率} = \frac{M_s x}{M_s x + M_c y} \quad (4-4)$$

となる。

試料の重量を W [g] とするとシリコン油の含有量パーセント P は (4-1) 式と (4-2) 式より (4-5) 式となる。

$$P = \frac{M_s}{W \left(M_s + 6 M_c \frac{I_c}{I_s} \right)} \times 100 [\%] \quad (4-5)$$

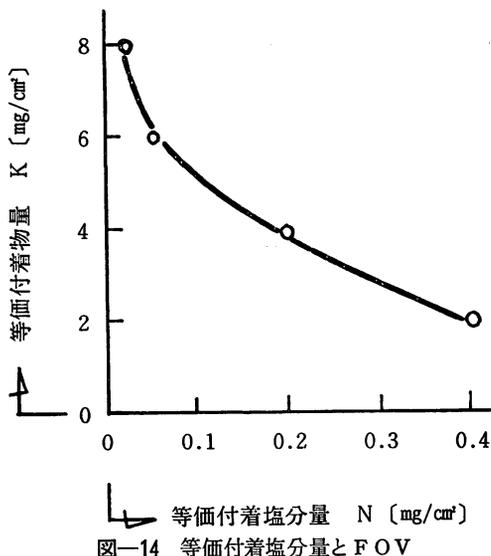


図-14 等価付着塩分量と F O V

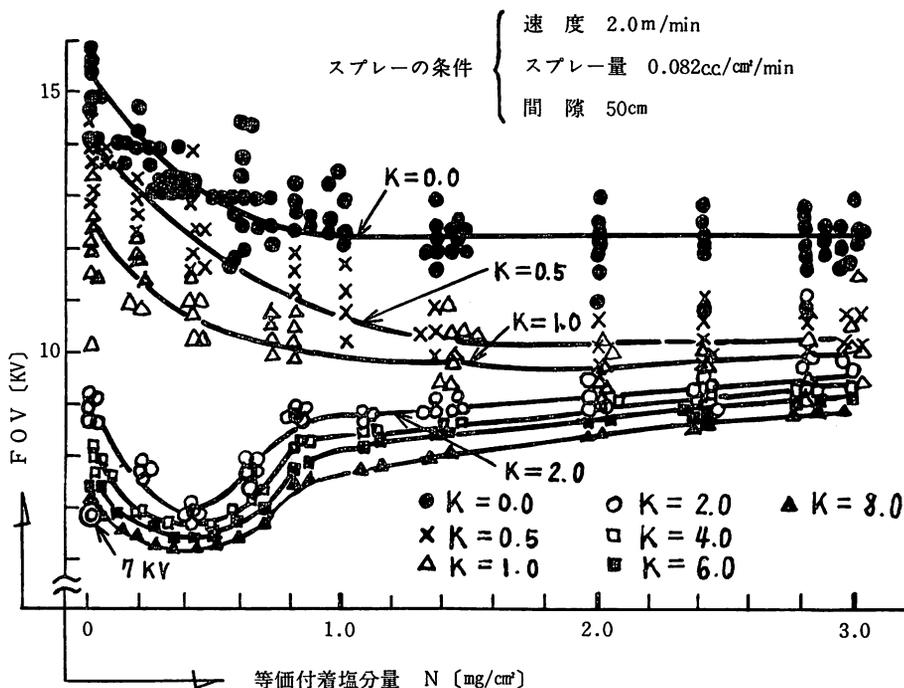


図-13 無塗布試料の F O V を基準とした場合の K と N との関係

4-4 実験結果および考察

4-4-1 長期暴露試料の分析

経時年数にしたがってシリコン・コンパウンドの付着物量および付着塩分量を知るため、長期暴露試料の分析を試みた。〔表4〕は昭和46年10月から秋田高専校地内に暴露した試料のシリコン油、等価付着物量および等価付着塩分量を測定した結果である。

サンプルNo 1 は3か月、No2 は1年2か月およびNo 3 は1年6か月暴露したものである。これによるとシリコン油分が年月の経過にしたがって減少し、等価付着物量および等価付着塩分量は増加する。暴露試料の残査について I R の分析を行なうと〔図12〕のようなスペクトル(点線部分、実線部分は比較のためシリコン油について示す)となる。これによるとC-H伸縮振動, C-H変角振動 Si-CH₃の非対称変角振動, Si-O伸縮振動および

CH₃の対称変角のSi-C振動の吸収がないのに対し、Si-O-Siの伸縮(1100cm⁻¹) Si-CH₃伸縮振動(800cm⁻¹)およびSi-CH₃のCH₃対称角変振動(1260cm⁻¹)の吸収はみられる。残査中にはシリコン油分が存在していないことをNMRによって確認しているため、これは紫外線などによって結合が解離しているためと考えられる。

4-4-2 シリコン油分および等価塩着塩分量による寿命の判定

長期暴露試料の等価付着物量および等価付着塩分量の値を目安として、シリコン油分および等価付着塩分量との関係を実験室実験によって求め、寿命の判定方法の検討をした。本実験で付着物としての粉を用いた。試料はシリコン・コンパウンド塗布面上に200meshのふるいを通して規定量の粉を振りかけ、食塩水を〔図13〕中に示す噴霧条件で、20秒間噴霧させ恒温槽内(40°C 1時間)で乾燥した。アミーバ作用を十分進行させるため約48時間大気中に放置し、この試料を霧室中に25分間放置して表面を湿潤状態にした後、大気中にとり出しF O Vを測定した。〔図13〕はその実験結果を示したものである。

これによると無塗布試料のF O Vが7KVであるから、これを一応の基準と仮定した場合は、との粉散布量 $K = 2 \text{ mg/cm}^2$ 等価付着塩分量 $N = 0.4 \text{ mg/cm}^2$ がそれに該当している。各種の散布量に対して7KVに該当する付着塩分量をプロットすると〔図14〕のようになり、一応寿命の規準とすることが考えられる。したがって $K = 2.0 \text{ mg/cm}^2$ 未満では等価塩分付着量が 0.4 mg/cm^2 未満では寿命とはならず、 $K = 2.0 \text{ mg/cm}^2$ 以上での危険度が大きい。なお寿命判定の基準の詳細については目下検討中である。

4-4-3 シリコン油量および塩分量の測定誤差

シリコン油量を測定する場合、先に記した遠心分離器による方法はNMRによる測定法を規準にとると、その誤差は+1.1[%]である。塩分測定においては±0.1[%]である。

5. あとがき

本研究において、コンパウンドの寿命判定法について二つの方法について述べたが、その結論は主要次のとおりである。

- (1) 軟β線法はデジタル表示方式であるのに対して印刷紙A法〔本法1〕はアナログ的な表示法であるが本法1は、いつでも簡易に、ほとんど経費(4)

要せず寿命判定のめやすとなる利点がある。

- (2) アミーバ作用は温度の依存性があるので本法1による寿命判定では測定時の温度に対して、標準温度による適当な補正が必要である。
- (3) シリコン油量と等価付着塩分量の測定による寿命判定法〔本法2〕はまだ検討すべき問題点は残るが寿命判定のめやすを得る有力な手法である。
- (4) シリコン油は紫外線劣化はほとんどないといわれているが本法2の実験の結果では紫外線劣化による影響が認められるのでなお追求中である。
- (5) 本法1および本法2はいずれも無課電試料を対象としたが課電試料については目下実験中である。

○ ————— ○

この研究は東北電力総合研究所よりの委託研究の一部として実験したもので、本研究を推進するにあたって、関係供試料等についてご配慮をいただいた、東北電力総合研究所の各位、ならびにご懇篤なご指導、ご助言をいただいた秋田大学能登文敏教授に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 能登文敏, 菊地光一, 青池晃: 電気学会東北支部連合大会, No. 2 C-15 (1970.10)
 - (2) 能登文敏, 菊地光一: 電気学会東北支部連合大会 No. 1 C-2 (1972. 8)
 - (3) 能登文敏, 菊地光一: 電気学会東北支部連合大会 No. 2 C-15 (1973. 8)
 - (4) 菊地光一: 秋田高専研究紀要第7号 (1972. 1)
 - (5) 菊地光一: 秋田高専研究紀要第8号 (1973. 2)
 - (6) 菊地光一: 秋田高専研究紀要第9号 (1974. 1)
 - (7) 能登文敏, 菊地光一: 東北電力KK総合研究所委託研究報告 研究No.72025 (1972.10)
 - (8) 能登文敏, 菊地光一, 河村鴻允: KK東北電力総合研究所委託研究報告 研究No.73027 (1974. 1)
 - (9) 能登文敏, 菊地光一: 電気学会東北支部連合大会 No. 1 C 3 (1974.10)
 - (10) 能登文敏, 河村鴻允, 菊地光一: 電気学会第7回絶縁材料シンポジウム論文集 (1974. 9)
 - (11) J. E. Conner & A. D. Lantz. JR: Pwr Apparatus and Syst, No.39(Dec1958)
 - (12) 加賀俊平, 小林晃: 電気学会論文誌No. 1 (1972.1)
 - (13) 和田保: 東芝中研報告 (1961.7)
 - (14) P. L. Jones, B. Tech. MI. Meck: Electrical Review No.21(July1972)
- 東北電力KK: 発変電所塩害対策指針 (1969.4)

- (16) 電気学会(高電圧試験専門委員会): がいしの人工汚損試験法についての技術報告(1965. 8)
- (17) 田口忠稔, 小池泰, 小笠原義治: 東北電力KK総合研究所 研究中間報告 研究 No. 73033 (1974. 2)
- (18) 東芝シリコンKK: 技術資料(年月不明)
- (19) 鹿田彰: プラスチック技術全書No. 17 (1971. 7)
- (20) 瀬田泰助: 電気学会誌 80巻865号 (Oct1960)
- (21) H. V. Cron: Cigre No. 203 (1956)