

無 溶 剤 ゴ ム の 実 用 性

Practicability of Rubberlike Resin

細 田 泰 生* 旭 野 芳 男*
Taisei Hosoda Yoshio Asahino

平 田 雅 之* 奈 良 原 俊 和**
Masayuki Hirata Toshikazu Narahara

要 旨

ファンモータなどのコイル部の注型モールド用樹脂としての“無溶剤ゴム”の実用性に関するものである。この“無溶剤ゴム”は分子中に特殊オリゴマーを導入した硬化後の伸びが大きい不飽和ポリエステル系樹脂で、各種電気機器、電子部品の含浸や注型用として、ごく最近開発されたものである⁽¹⁾。ここでは、上述した用途に従来より使用されている軟質エポキシ樹脂、軟質ウレタン樹脂およびシリコーン LTV との比較においてその実用性を評価した。

1. 緒 言

ファンモータなどのふん囲気が低温、高湿の場合、モータのコイル部が空气中に露出していると、コイルの表面に結露した水滴がコイルの線間に浸入し、エナメル銅線の絶縁塗膜に点在するピンホール間の漏えい電流を生じ、コイルの溶融断線を起こすおそれがある。よってコイルの周囲を樹脂で注型し、コイルに高湿空気が接触するのを防止しなければならない。

従来より多く使用されているこの種の注型樹脂には硬質エポキシ樹脂⁽²⁾⁽³⁾および硬質ポリエステル樹脂⁽⁴⁾⁽⁵⁾があるが、これらは電気絶縁性はよいが低温で亀裂(きれつ)を生じるおそれがあり、この亀裂を防止するために軟質エポキシ樹脂あるいは軟質ウレタン樹脂やシリコーンゴムを使用すると高湿中での湿気の浸透や電気絶縁性の劣化を完全に防止することが困難である。

ここでとり上げた“無溶剤ゴム”はポリエステル系の新しい注型用液状樹脂で、たわみ性を有しながら、なお、他の諸特性にすぐれ、上述した用途に適したものである。

ここでは、“無溶剤ゴム”と現在市販されている軟質エポキシ樹脂、軟質ウレタン樹脂およびシリコーン LTV の代表的なものについて、耐熱衝撃性、透湿性および引張特性と電気的特性(誘電率、誘電正接、体積抵抗率、絶縁破壊電圧など)に関する耐湿および耐水劣化性能を比較し、その実用性を評価する。

2. 実 験 方 法

2.1 供 試 試 料

電気機器および電子部品の注型モールド樹脂として、現在多数のものが市販されているが、ここでは“無溶剤ゴム”との比較用試料として、液状注型用樹脂のうちから、硬化後たわみ性を有するものとして、表 1 に掲げるものを供試した。

2.2 試験項目および試験条件

低温、高湿のふん囲気中で使用するファンモータのコイル注型用樹脂としての実用性を評価する目的で、表 2 に掲げるような項目について試験した。

2.3 実用性の評価基準

低温、高湿ふん囲気中使用するファンモータのコイル注型用樹脂が具備すべき特性値として経験的に表 3 で掲げる目標性能を設定し、それと、前項の各特性試験における結果とを照合して実用性を評価した。

* 日立製作所栃木工場

** 日立製作所日立研究所

表 1 供試した注型モールド用樹脂硬化物の代表的な特性

項 目	供試品 No. 種 類	A	B	C	D
		無溶剤ゴム*	可 撓 性 エポキシ	軟質ウレタン	シリコーン LTV
比 重 (25℃)		0.9	1.42	1.16	1.2~1.3
硬 さ (25℃ アーデン D)		50	65	60	—
引張特性	引張強さ (kg/cm ²)	100	100	154	55
	(25℃) 伸 び (%)	160	80	250	155
電気特性	誘 電 率	2.5	4.7	1.80	3.5
	(25℃) 誘電正接 (%)	0.2	8.0	3.50	0.4
充 て ん 剤 の 有 無		な し	あ り	あ り	あ り

* 日立化成商品名 WP-2501

表 2 試験項目および試験条件

試 験 項 目	試 験 条 件	目 的
耐 熱 衝 撃 試 験	C 字形ワッシャ埋込み法	耐 熱 衝 撃 性 の 比 較
透 湿 試 験	JIS 透湿カップ法	防 湿 性 能 の 比 較
高温高湿劣化試験	60℃, 95 RH % 中 10 日, 20 日, 30 日放置	引張強さ, 伸び, 誘電率, 誘電正接, 体積抵抗率, 絶縁破壊電圧等の各特性劣化の比較
高温水中劣化試験	60℃, 水 中 10 日, 20 日, 30 日浸漬	

表 3 ファンモータコイル注型モールド樹脂の目標実用性能

項 目		目 標 性 能
耐 熱 衝 撃 性		−20℃ でクラックが発生しないこと
透 湿 係 数		10 ^{−9} (g・cm/cm ² ・s・cmHg) 以下であること
各種ふん 囲気劣化 試験 (30 日) 後の 特性	引 張 強 さ	初期値に対する変化率が 50% 以下であること
	伸 び 率	初期値に対する変化率が 50% 以下であること
	誘 電 率	10 以下であること
	誘 電 正 接	10 (%) 以下であること
	体 積 抵 抗 率	10 ¹⁰ (Ω・cm) 以上であること
	絶縁破壊電圧	5 (kV/mm) 以上であること

3. 実 験 結 果

3.1 耐 熱 衝 撃 性

図 1 に示す C 字形ワッシャを埋め込んだ試験片を用いて図 2 のようなスケジュールで熱衝撃試験を行ない、クラック発生の有無を観察した。

表 4 は図 2 で示したヒートサイクルの低温側におけるクラック発

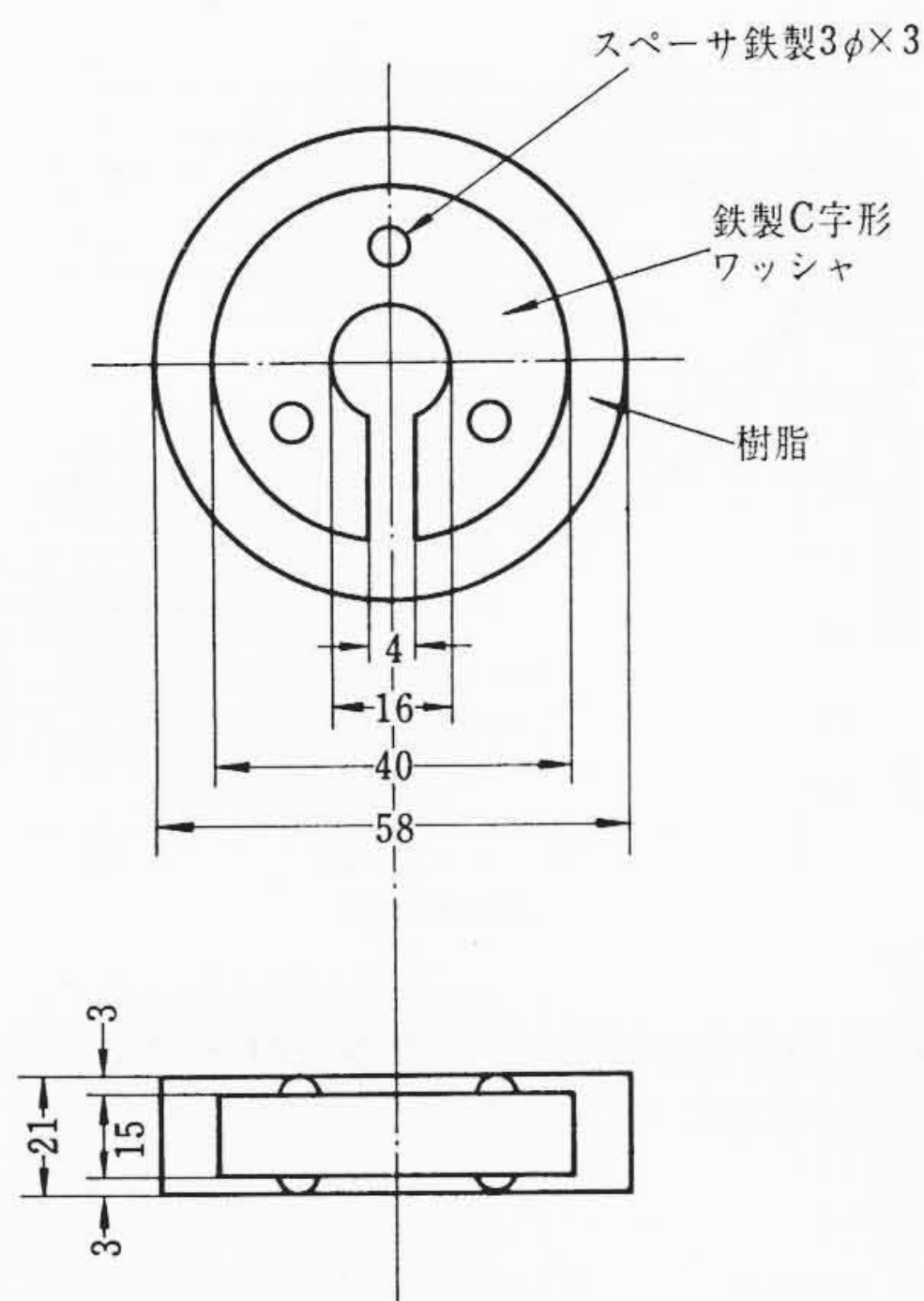


図1 熱衝撃試験片

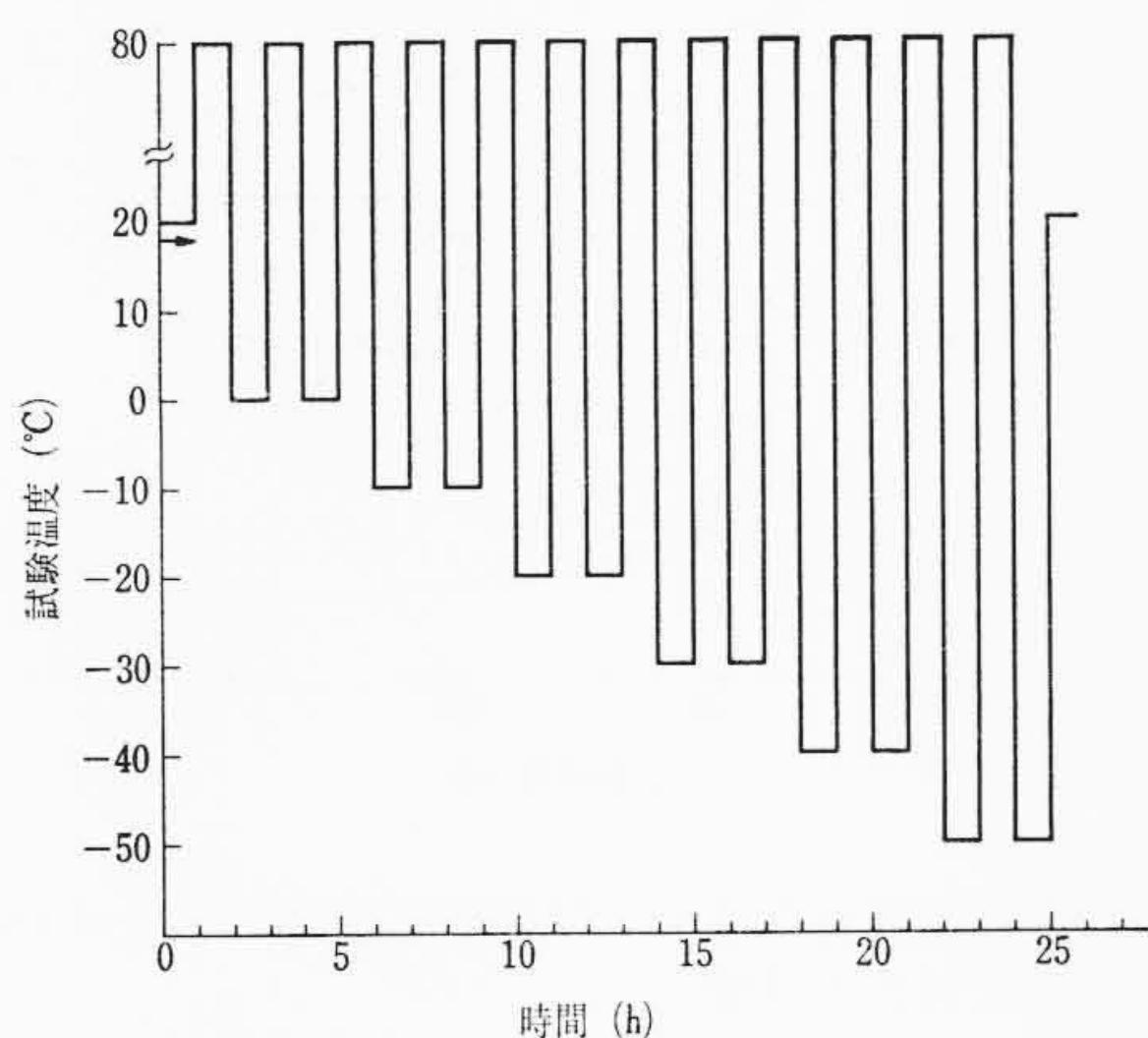


図2 熱衝撃試験サイクルのスケジュール

生の有無を表わすものである。それによると軟質エポキシ樹脂は -30°C でクラックを生ずるが“無溶剤ゴム”，軟質ウレタン樹脂およびシリコン LTV は -50°C においてもクラックの発生が認められず，耐熱衝撃性にすぐれていることが明らかである。

3.2 透 湿 性

図3に示す透湿カップ法による透湿係数の測定結果は図4に示すとおりであるが，“無溶剤ゴム”は市販の軟質硬化物を与える注型用樹脂のうちでは小さな透湿性を有するものであると言える。

3.3 各種ふん囲気試験における劣化特性

(1) 引 張 強 さ

図5の鎖線は高温高湿 (60°C , 95 RH%) 中，実線は高温水中 (60°C) における引張強さの初期値 (表1参照) に対する低下率を示したものである。図5から(A)の“無溶剤ゴム”および(D)のシリコン LTV はいずれの場合にも30日間程度の試験時間では引張強さの低下はほとんど認められない。

一方，(B)の軟質エポキシ樹脂および(C)の軟質ウレタン樹脂は30日間の試験後において約40～90%程度の引張強さの低下が認められ，“無溶剤ゴム”やシリコン LTV に比べて耐湿性および耐水性に劣る。

(2) 伸 び 率

図6は高温高湿中および高温水中における伸び率の経時変化を比較したもので，それによると，(B)の軟質エポキシ樹脂が高温

表4 供試品(硬化物)の熱衝撃試験結果 (C字形ワッシャ法)

供試品 No.	種類	温度 (℃)											
		0		-10		-20		-30		-40		-50	
		サイクル No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	無 溶 剤 ゴ ム	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
B	軟 質 エ ポ キ シ	→	→	→	→	→	→	×					
C	軟 質 ウ レ タ ン	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
D	シリコーン LTV	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

注：→印はクラック発生なし，×印はクラック発生ありを表わす。

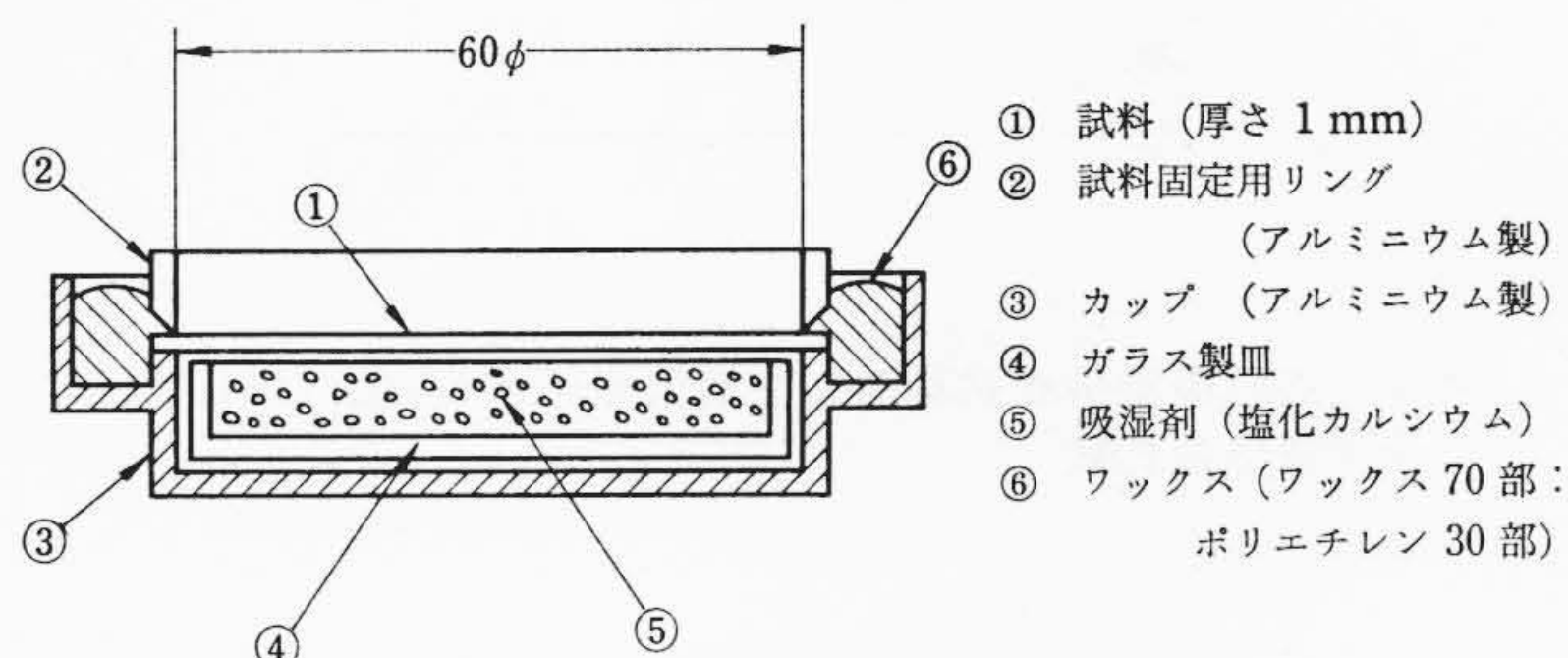


図3 透湿係数測定用カップ

供試品 No.	種 類	透湿係数 $\times 10^{-10}$ ($\text{g}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{cmHg}$)							
		0	2	4	6	8	10	12	14
A	無溶剤ゴム								
B	軟質エポキシ								
C	軟質ウレタン								
D	シリコン LTV								

図4 供試品(硬化物)の透湿係数 (40°C)

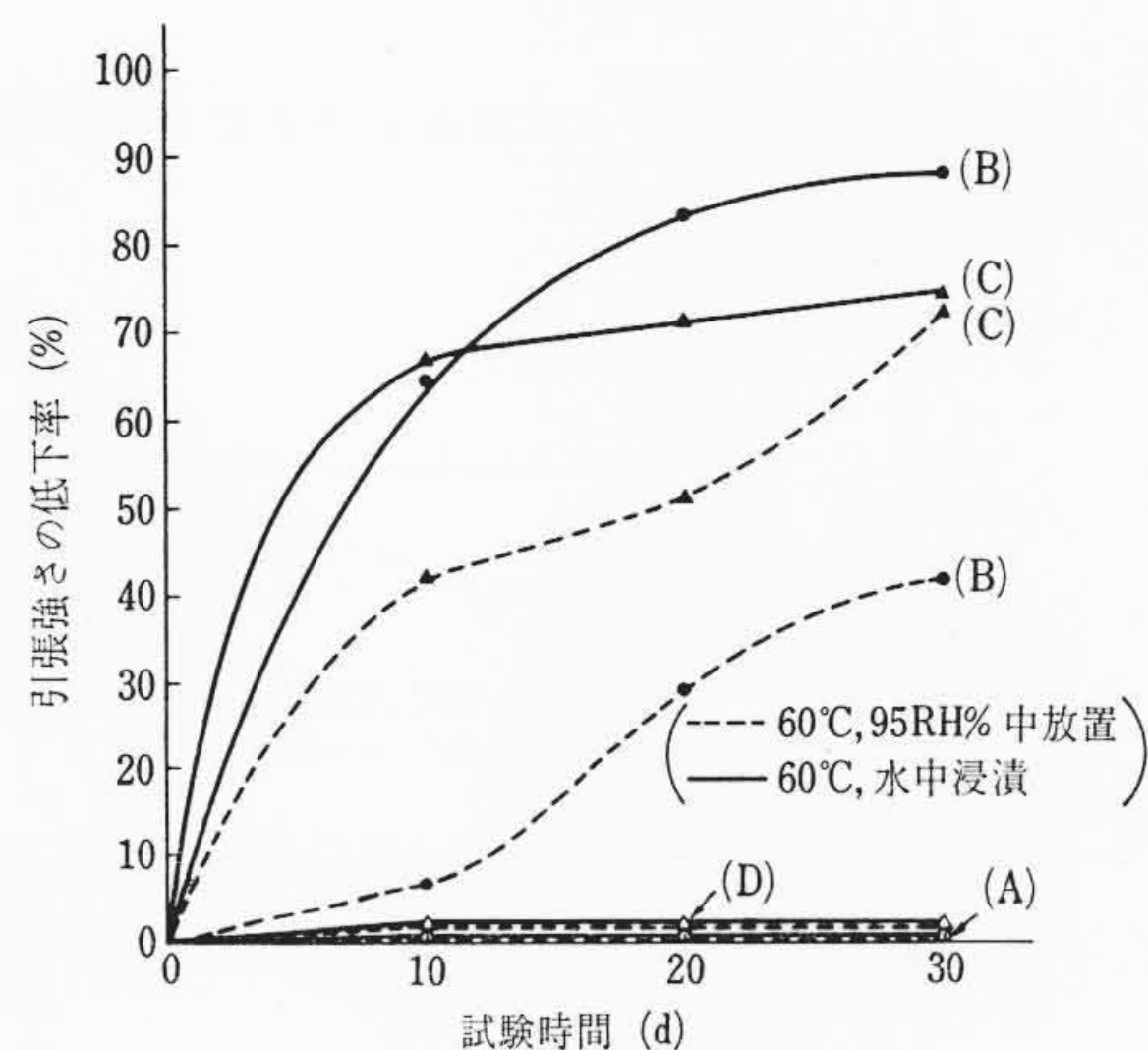


図5 高温高湿劣化試験および高温水中劣化試験における引張強さの低下率の比較

水中(実線)で50%を上回る伸び率の低下を生ずるほかは，全般的に引張強さの変化にみられるような著しい変化は認められない。

(3) 誘 電 率 (ϵ)

図7に示すように，(A)の“無溶剤ゴム”および(D)のシリコン LTV は 60°C , 95 RH% 中および 60°C , 水中のいずれの場合にもほとんど変化を示さない。(C)の軟質ウレタン樹脂は，前二者に比べて誘電率の増加が大である。(B)の軟質エポキシ樹脂はさらに大きな変化を生じ，特に 60°C の水中に浸漬したものの変化が著しい。

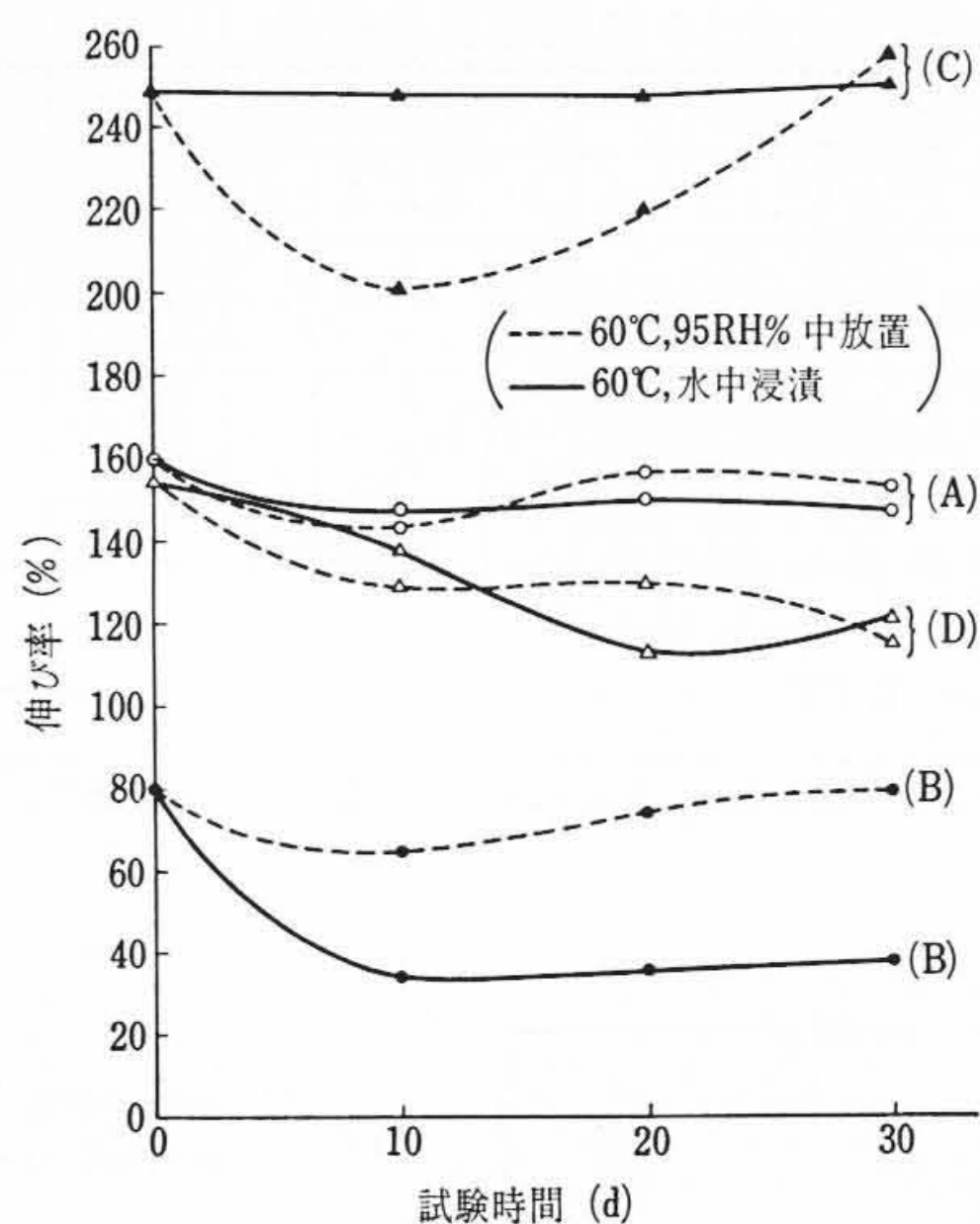


図6 高温高湿劣化試験および高温水中劣化試験における伸び特性の比較

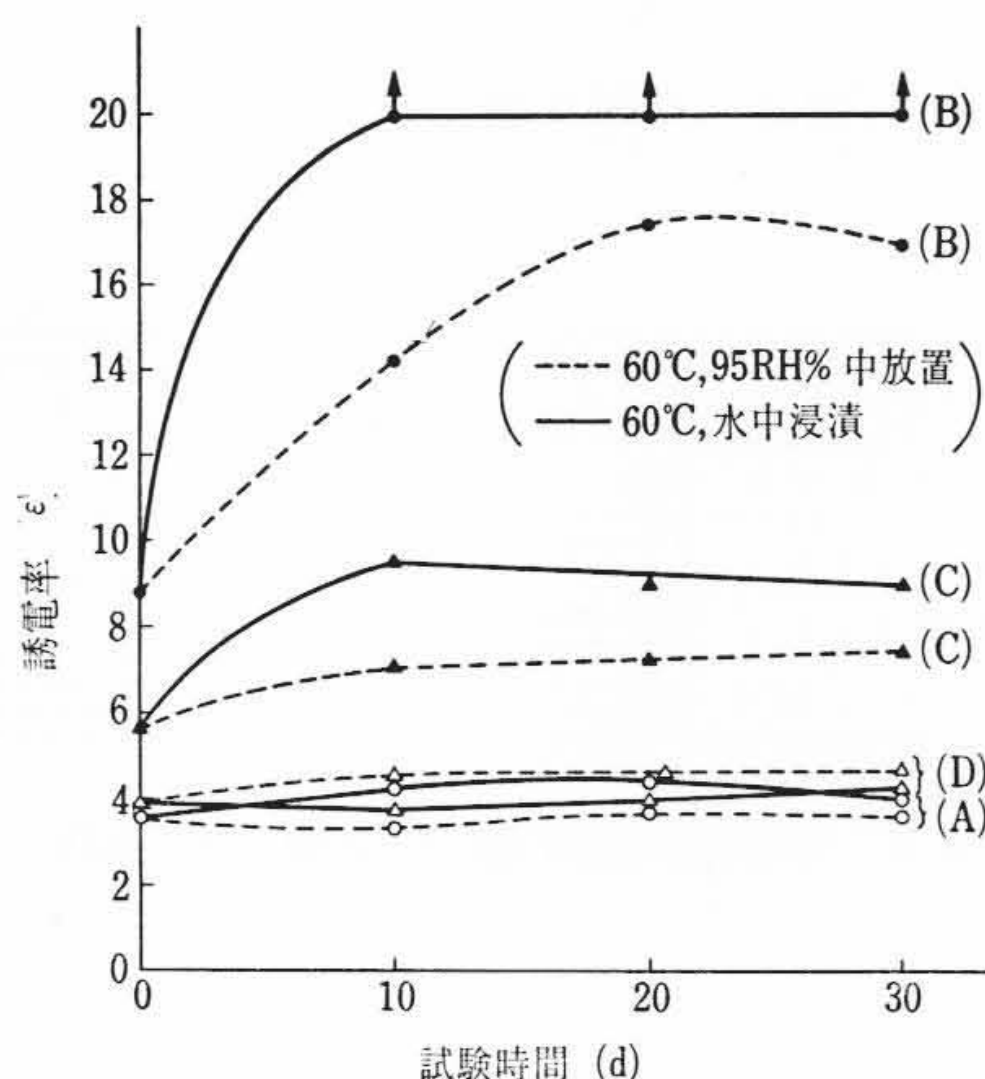


図7 高温高湿劣化試験および高温水中劣化試験における誘電率の比較

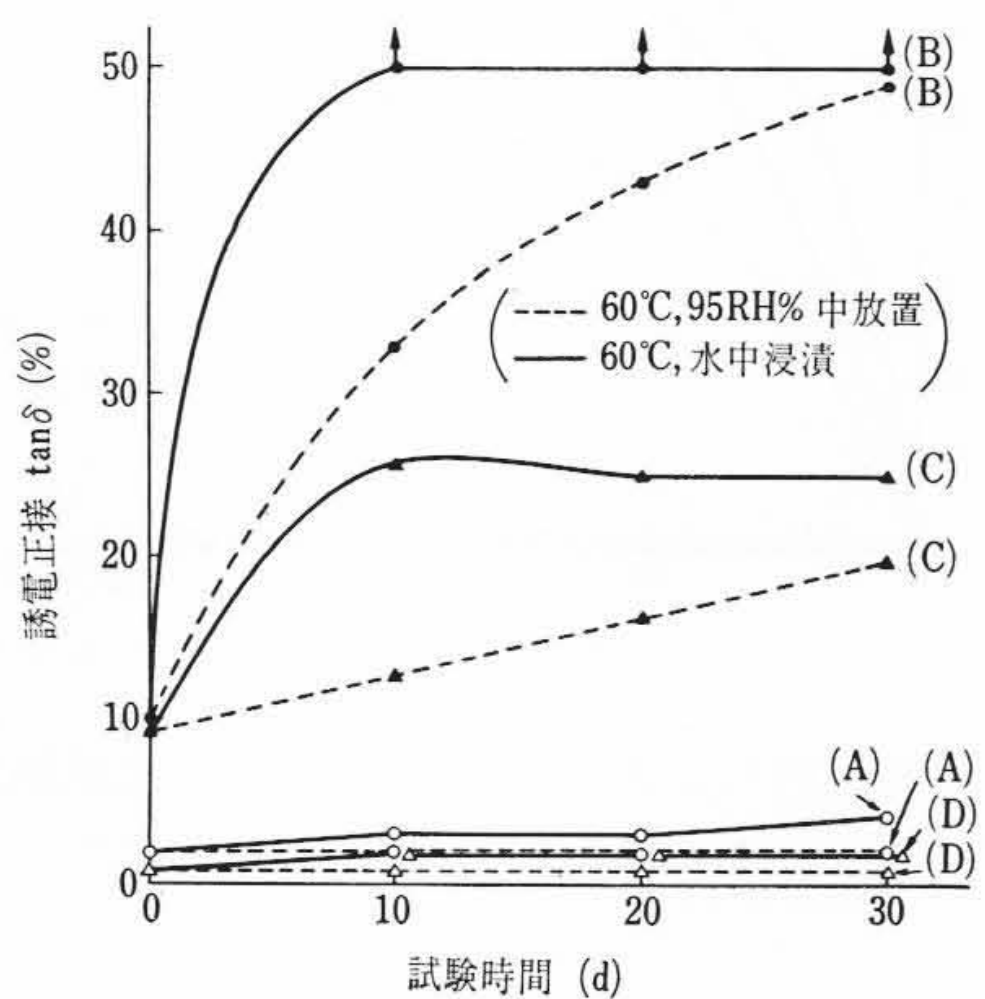


図8 高温高湿劣化試験および高温水中劣化試験における誘電正接の比較

(4) 誘電正接 ($\tan \delta$)

図8に示すように、(A)の“無溶剤ゴム”および(D)のシリコンLTVは誘電正接の変化がわずかであるのに対して、(B)の軟質エポキシ樹脂および(C)の軟質ウレタン樹脂では変化が大きく、特に軟質エポキシ樹脂は60°Cの水中に10日間浸漬した状態

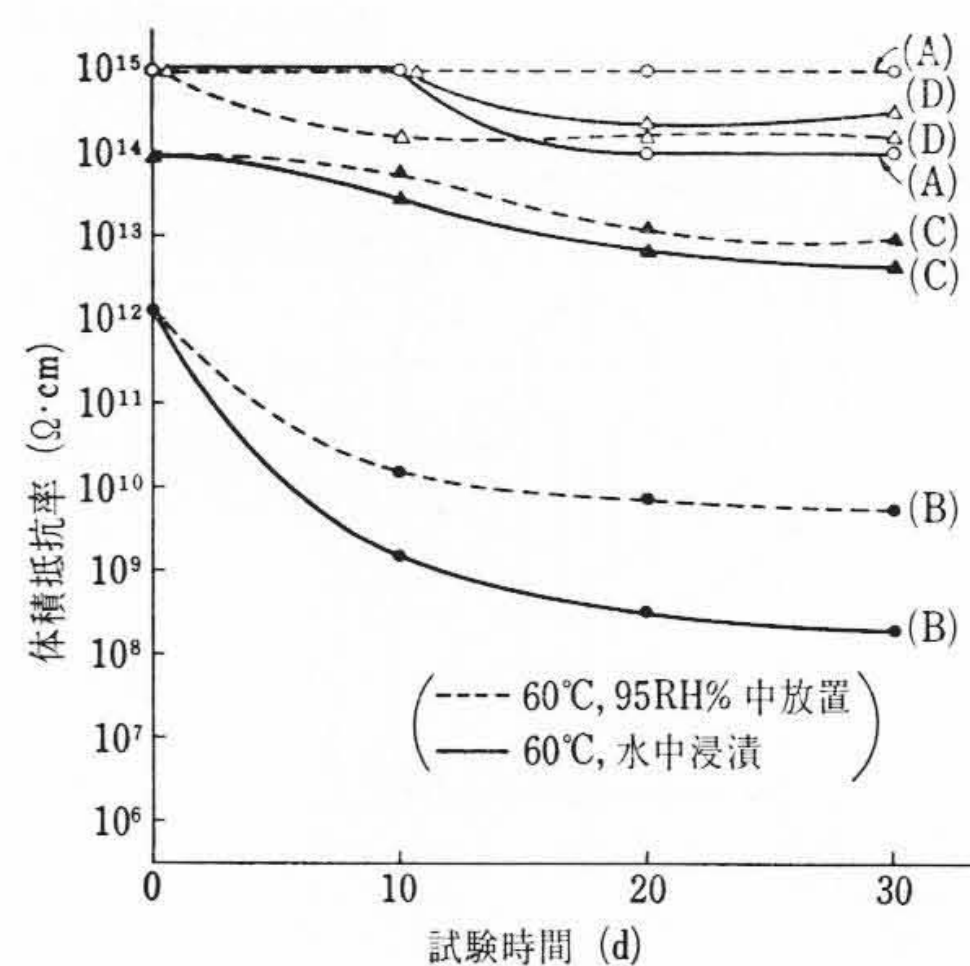


図9 高温高湿劣化試験および高温水中劣化試験における体積抵抗率の比較

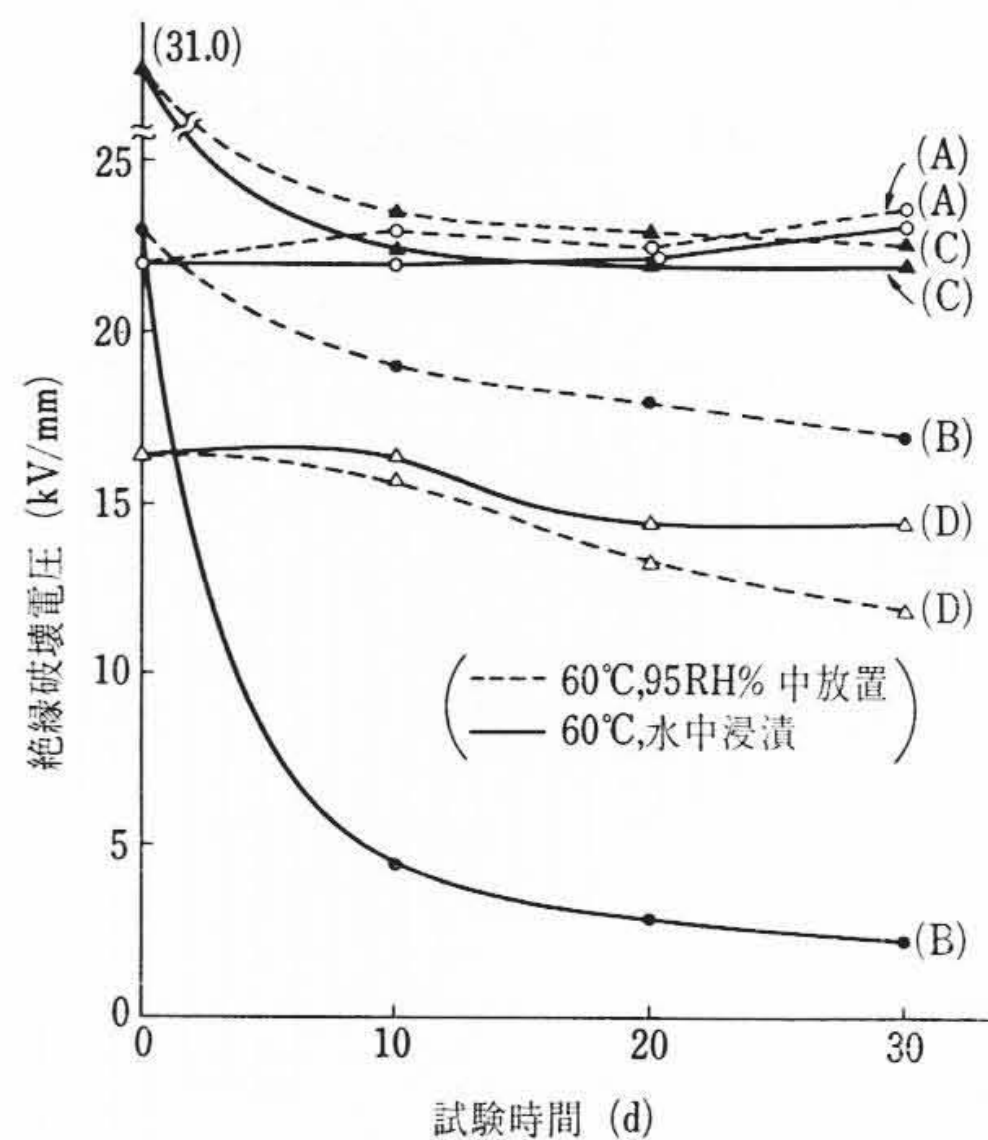


図10 高温高湿劣化試験および高温水中劣化試験における絶縁破壊電圧特性の比較

で、測定装置の限界である50%を越えるような誘電正接を示し、前述した誘電率の増加と照らして、その電気的特性の劣化には著しいものがある。

(5) 体積抵抗率

図9に示すように、(A)の“無溶剤ゴム”、(C)の軟質ウレタン樹脂および(D)のシリコンLTVは60°C、95RH%中(鎖線)および60°Cの水中(実線)でいずれも30日間放置したあとでも $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の体積抵抗率を保持する性能を有している。(B)の軟質エポキシ樹脂は60°C、95RH%中30日で $8 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 、60°C、水中30日で $2.5 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ と低下が大きい。

(6) 絶縁破壊電圧

図10に示す絶縁破壊電圧の劣化特性の比較において、特に(B)の軟質エポキシ樹脂が60°Cの水中浸漬によって著しい変化を生じている。また、(A)の“無溶剤ゴム”は供試品中で最も変化が少なく安定した性能を有している。(D)のシリコンLTVについては、特に60°C、95RH%中における低下が進行中であるような傾向が認められるが、前述した誘電率その他の特性変化が少ないことから、さらに低下が進行するようなことはないものと考ええる。

一方、(B)の軟質エポキシ樹脂の60°C、95RH%中における低下および(C)の軟質ウレタン樹脂の60°C、95RH%中および60°C水中における低下は、誘電率その他の変化がシリコンLTVに比べて大きいことから、試験時間の延長に比例してさらに進行することが予想される。

表 5 ファンモータコイル用注型モールド樹脂としての実用性判定結果

供試品 No.	種 類	初期特性*		劣 化 特 性 *						
		熱 衝 撃 性	透 湿 係 数	試 験 ふ ん 囲 気	機 械 的 特 性		電 気 的 特 性			
					引強 張さ	伸 び	誘電率	誘正 電接	体抵 積抗	絶縁電 破圧
A	無 溶 剤 ゴ ム	○	○	60℃, 95RH%	○	○	○	○	○	○
				60℃, 水 中	○	○	○	○	○	○
B	軟質エポキシ	○	○	60℃, 95RH%	○	○	×	×	×	○
				60℃, 水 中	×	×	×	×	×	×
C	軟質ウレタン	○	○	60℃, 95RH%	×	○	○	×	○	○
				60℃, 水 中	×	○	○	×	○	○
D	シリコーン LTV	○	×	60℃, 95RH%	○	○	○	○	○	○
				60℃, 水 中	○	○	○	○	○	○

* ○印は表 3 の目標性能を満足するもの ×印は満足しないもの

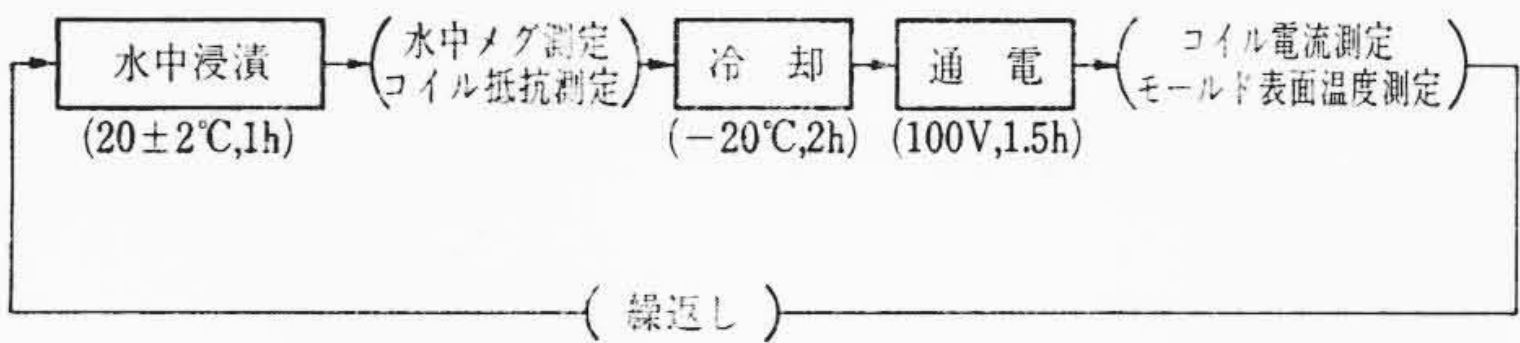


図 11 ファンモータのヒートサイクル試験

4. 実用性の総合評価

前項で説明した耐熱衝撃特性、透湿特性および各種ふん囲気中における耐劣化特性を表 3 に掲げたファンモータコイル注型用樹脂の目標性能に基づいて評価した。その結果は表 5 に掲げるとおりであり、“無溶剤ゴム”が耐湿および耐水性などの諸特性において、従来の軟質注型用樹脂に類をみないすぐれた特性を有することが明らかである。特に耐熱衝撃性および耐水性がすぐれているので、“無溶剤ゴム”で注型モールドしたファンモータは、従来この用途に使用されていた軟質エポキシ樹脂による注型モールド品で生じやすかったクラックの発生事故や、水中絶縁性能の低下などのおそれがない。

事実、“無溶剤ゴム”で注型モールドしたファンモータ 20 台について、実用条件を想定したヒートサイクル試験(図 11 参照)を 100 サイクル繰返したあとにおいても水中絶縁性(MΩ)は全数無限大であり、コイル抵抗、コイル電流およびモールド表面の温度上昇は

全く正常であった。また、60℃の温水中にモールドコイル部を 3 個月間浸漬した後においても同様に水中絶縁性、コイル抵抗および運転時のコイル電流ならびにモールド表面の温度上昇は全く正常であった。

5. 結 言

ポリエステル系の液状注型用樹脂である“無溶剤ゴム”ならびに軟質エポキシ樹脂、軟質ウレタン樹脂およびシリコーン LTV について耐熱衝撃性、透湿性および引張特性、電気的特性の耐湿、耐水劣化性能を比較検討した結果、ポリエステル系の“無溶剤ゴム”がすべての性能ですぐれていることが明らかになった。

この“無溶剤ゴム”で注型モールドすれば長期間にわたって完全な絶縁性を維持できることが明らかになり、また-50℃まで冷却されても亀裂が生じないことが確認された。

現在、日立製作所で製造している冷蔵庫の冷氣循環用ファンモータの絶縁には、この“無溶剤ゴム”を使用している。ちなみにこの“無溶剤ゴム”は日立化成工業株式会社から市販されている。

参 考 文 献

(1) 向井, 奈良原: 工業材料, 19, 2, 113 (昭 46-2)
(2) 垣内弘: エポキシ樹脂 (昭 45, 昭晃堂)
(3) H. Lee and K. Neville: Hand book of Epoxy Resins, McGraw-Hill book Co., (1967)
(4) 滝山栄一郎: ポリエステル樹脂 (昭 45, 日刊工業新聞社)
(5) H. Boenig: Unsaturated Polyesters, Elsevier Publishing Co., (1964)