

新しい日立耐熱電気絶縁材料の特性

Properties of Hitachi's New Heat Resistant Electric Insulating Materials

電気機器の小形軽量化、大容量化、信頼性の向上などの絶えざる改良進歩のために、電気絶縁材料に対しては、特に耐熱性の優れたものの開発が強く要望されている。

我々はこれにこたえるため、数種の新しい耐熱電気絶縁材料を開発し、それらについて、耐熱性を中心に特性を試験した。

C種無溶剤コイルワニス及びH種無溶剤コイルワニスは、いずれも低粘度で、特に前者は耐熱性、機械特性が優れており、後者は作業性が優れ、価格的にも汎用機器に適している。

H種セミキュアマイカテープは耐熱性、作業性が優れ、電工作業の合理化、作業環境の安全衛生の向上に有利である。

耐熱合成樹脂積層品、成形品は特に高温下での機械特性が優れ、従来製品の問題点を解決することができた。

曾根康夫* Sone Yasuo

奈良原俊和** Narahara Toshikazu

間部幹夫*** Manabe Mikio

1 緒言

標準高圧誘導電動機を例にとれば、B種絶縁からF種絶縁に格上げすることによって、電動機の外径、軸長とも短縮され、同一定格出力ならば、重量で約20%軽減することができ¹⁾、また、車両用主電動機では、F種絶縁をH種絶縁にすることによって、同一寸法ならば容量を約15%増大できるといわれている。

このように、最近の電気機器には小形軽量化、単機大容量化、高性能化などに著しい進歩が見られるが、これは耐熱性のほか機械特性、電気特性などの優れた新しい電気絶縁材料が開発、実用化されることによって運転時の機器温度の上昇、高電圧化、絶縁厚さの縮小などが可能になったことによるものである。機械特性、電気特性などの優れた耐熱電気絶縁材料は、電気機器の小形軽量化、大容量化だけでなく、機器のメンテナンスフリー、あるいは信頼性の向上にも大きい役割りを果たしている。

従来、耐熱電気絶縁材料にはシリコン樹脂のほか、イミド系樹脂、芳香族ポリアミド樹脂、ジフェニルエーテル樹脂などが、ガラス、マイカ、アスベストなどの無機質材料とともに主に用いられてきた。

耐熱コイルワニスの分野では、これらの耐熱樹脂が、溶剤形あるいは無溶剤形のワニスとして広く用いられてきたが、最近は無溶剤ワニスに重点が移りつつある。耐熱無溶剤コイルワニスとしては既に、シリコン系²⁾及びイミド系³⁾のものがあるが、それぞれ機械特性、作業性、価格などの点で満足されていない。我々はこれらの問題を解決するため研究を重ねた結果、新しいタイプの耐熱樹脂からなるC種無溶剤コイルワニスを開発した。また、最近H種絶縁が汎用量産機器の分野へも盛んに導入されているので、作業性、価格などの点で使いやすい変性ポリエステル系のH種無溶剤コイルワニスを開発した。

耐熱薄葉材料の分野では、ポリアミド、ポリアミドイミド、芳香族ポリアミドなどの耐熱高分子から成るフィルム、ペーパーが単体で、あるいは複合材料の形で盛んに使用されるよう

になった。最近、絶縁ワニスを使用せずにコイルの絶縁作業ができるセミキュア(プリプレグ)形の薄葉材料が要望されているので、我々は集成マイカと耐熱フィルムをはり合わせたセミキュア状の複合マイカテープを開発した。

耐熱合成樹脂積層品、成形品は、従来からシリコン樹脂やイミド系樹脂^{4),5)}などを用いた製品があるが、これらには、機械特性、あるいは価格などに問題があった。更に、最近では難燃性をも要求されることが多くなってきた。我々は先にジフェニルエーテル系の“HD”樹脂⁶⁾を開発したので、この耐熱性を持ち、かつ難燃性の樹脂を用いて積層品、成形品を開発し、従来製品の問題点を解決し、更に新しい要求にもこたえた。

本稿は、コイルワニス、薄葉材料、合成樹脂積層品及び成形品の分野で、最近我々が開発した新しい耐熱電気絶縁材料の特性について述べる。

2 C種無溶剤コイルワニス

電気機器の中でも、特に、過酷な条件下で使用されるH種回転機用コイルワニスは、無溶剤形であることが、絶縁層のポイドを少なくし、コイルの熱放散、耐電圧特性、機械特性、耐湿性などを向上させる面から非常に重要である。

従来、耐熱材料は、主としてエナメル線、フィルム、積層材料などを対象とした溶剤形ワニスの分野で研究され、ポリアミド、ポリアミドイミド、芳香族ポリアミド、シリコン、ジフェニルエーテル樹脂、ポリベンツイミダゾール⁸⁾など優れた耐熱材料が開発されている。しかし、これらの材料は、シリコンを除いて、分子骨核中にヘテロ環、ベンゼン核などを導入したもので、一般に低粘度で、かつ可とう性のある無溶剤ワニスにはなりにくく、粘度、可とう性、耐熱性のバランスのとれた無溶剤コイルワニスとしては、まだ満足できるものはなかった。一方、シリコンは高温下で機械強度が大きく低下するため、用途が制限され、かつ高価でもある。現在、耐熱性の比較的優れた無溶剤コイルワニスとしては、無溶剤エポキシ樹脂が広く使用されているが、その最高使用

* 日立化成工業株式会社山崎工場 工学博士 ** 日立製作所日立研究所 *** 日立化成工業株式会社桜川工場

温度は180°Cまでである。

我々は、耐熱性、機械特性、作業性、価格などの点でバランスのとれた耐熱無溶剤ワニスの開発について研究した結果、ポリマーの分子構造中に耐熱性に優れたヘテロ環をうまく導入することにより新しいタイプの耐熱樹脂の合成に成功し、この成果を基に200°C前後で使用できる新しいC種無溶剤コイルワニスを開発した。このワニスの特性、回転機への応用などについては別に詳細報告する予定であるので、本稿では特性の概要を紹介するだけにとどめる。

2.1 C種無溶剤コイルワニスの特性

ワニスの主要な特性を表1に示す。同表には比較のため酸無水物硬化耐熱エポキシワニスの特性をも示した。同表から、C種コイルワニスの粘度は25°Cで2Pと低く、コイル含浸作業が容易であり、また、機械特性、電気特性及び耐熱性もエポキシワニスよりはるかに優れていることが分かる。

2.2 C種無溶剤コイルワニスの用途

耐熱性、機械特性、電気特性、耐湿性などが特に優れているので、過酷な条件で使用される回転機、例えば車両用主電動機、圧延機用電動機、産業用誘導電動機、船舶用電動機及び発電機、電動工具用電動機などに適するほか、静止機として各種変圧器にも利用が期待できる。

3 H種無溶剤コイルワニス

最近、小・中形汎用電気機器、あるいは家庭用電気機器などの量産機器の分野でも、H種絶縁を採用する機種が拡大されてきた。このような分野で使用されるコイルワニスにとり必要なことは、耐熱性、電気特性などとともに、作業性に優れ、かつ価格も汎用機器に対して相応していることである。我々は先にH種溶剤形コイルワニスHPD-200を開発したが⁷⁾、溶剤形コイルワニスは一般に作業性は優れているが、ワニスの乾燥工程に高温、かつ長時間を要する難点がある。

表1 C種無溶剤ワニスの一般特性の一例 C種無溶剤ワニスは、耐熱エポキシワニスと比較すると低粘度で、その他機械特性、電気特性とも優れている。

項目		品 種	C種無溶剤ワニス	耐熱エポキシワニス
硬 化 前	外 観	—	淡黄色透明	淡黄色透明
	比 重	25°C	1.27	1.20
	粘 度	25°C (P)	2.0	1,500
硬 化 後	ゲル化時間	120°C (min)	5.4	10.2
	引張り強さ	25°C (kg/mm ²)	13.0	8.0
		200°C (kg/mm ²)	7.0	2.8
	体積抵抗率	25°C (Ω-cm)	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶
200°C (Ω-cm)		8×10 ¹²	2×10 ¹²	
誘電正接	25°C (%)	0.5	0.5	
	200°C (%)	2.1	2.0	
熱変形温度	(°C)	>240	200	
加熱減量	240°C, 10日 (%)	3	5	
硬化加熱条件	°C h	100°C, 5h+180°C, 5h+225°C, 15h		

表2 ワニスの二段特性の一例 硬化前のWP-2755Pは、低粘度で含浸性が優れ、ポットライフも永く作業性も良い。硬化後は機械特性、電気特性とも優れている。

項 目		特 性
硬 化 前	外 観	—
	粘 度	25°C (P)
	比 重	25°C
硬 化 後	ゲル化時間	100°C試験管法 (min)
	ポットライフ	40°C (d)
	引張り強さ	23°C (kg/mm ²)
硬 化 後	伸 び 率	23°C (%)
	体積抵抗率	25°C常 態 (Ω-cm)
25°C浸水後 (Ω-cm)		
硬 化 後	絶縁破壊の強さ	25°C常 態 (kV/mm)
		25°C浸水後 (kV/mm)
硬 化 後	誘 電 率	25°C常 態
		25°C浸水後
硬 化 後	誘 電 正 接	25°C常 態 (%)
		25°C浸水後 (%)

注：*硬化条件
硬化剤 CT-34(日立化成工業株式会社商品名)2%を添加
加熱条件 120°C 2h+135°C 2h

したがって、小形量産機器用のコイルワニスにとっても、作業性が良く、かつ価格が適正であれば無溶剤ワニスが見込まれる。しかし、この種機器の分野ではシリコン、あるいはイミド系のワニスは価格的に無理であり、また、耐熱エポキシ無溶剤ワニスは作業性などの点で問題がある。

我々は要求特性、作業性、価格などの面から、小・中形汎用及び家庭電気機器用の新しいH種無溶剤コイルワニスの開発について種々検討した結果、ほぼ必要条件を満足する新しい変性ポリエステルコイルワニスWP-2755Pを開発した。

3.1 ワニスの特性

ワニスの一般特性は、JIS C 2103(電気絶縁用ワニス試験方法)及びJIS K 6901(液状不飽和ポリエステル試験方法)に準じて試験した。電気特性の試験片及び加熱減量の試験片(30mm×30mm)は注塑して作製した厚さ2mmの板を用いた。

一般特性の試験結果を表2に示す。同表から分かるように、硬化前のワニス粘度は25°Cで約2Pと低く、また、ポットライフは40°Cで20日間以上もあり安定性が良く、作業性が優れている。図1に空気中で200°C及び220°C加熱による樹脂板の引張り強さと加熱日数との関係を示したが、220°Cで約40日間加熱後も引張り強さはほとんど低下せず、耐熱性に優れていることが分かった。なお、20日の時点で、引張り強さが最大値を示すのは、この時点までは更に硬化反応が進行し、以後劣化が起こるものと思われる。同様な傾向は図2に示すように、ワニス処理ヘリカルコイル接着力と200°C、220°C加熱

日数との関係からも認められる。図3に加熱減量と200℃、220℃加熱日数との関係を示すが、14日以後はいずれの温度でも加熱減量はほぼ一定となり、減量も少ないことから耐熱性は優れていることが分かる。図4にワニス処理した線径1.0mmのポリアミドイミド オーバコート ポリエステルイミド線の耐熱寿命を、IEEE(米国電気電子学会)No.57の試験法に準じて試験した結果を示す。同図から、このワニスとエナメル線の組合せの系の耐熱寿命を4万時間と推定すると、その耐熱温度は約180℃となる。

3.2 用途

WP-2755Pは耐熱性、作業性などが優れ、価格的にも使いやすいので、小・中形汎用電気機器、例えば標準誘導電動機、電動工具、電装機器のほか各種産業用及び家庭電気機器用変圧器など広い用途が期待できる。

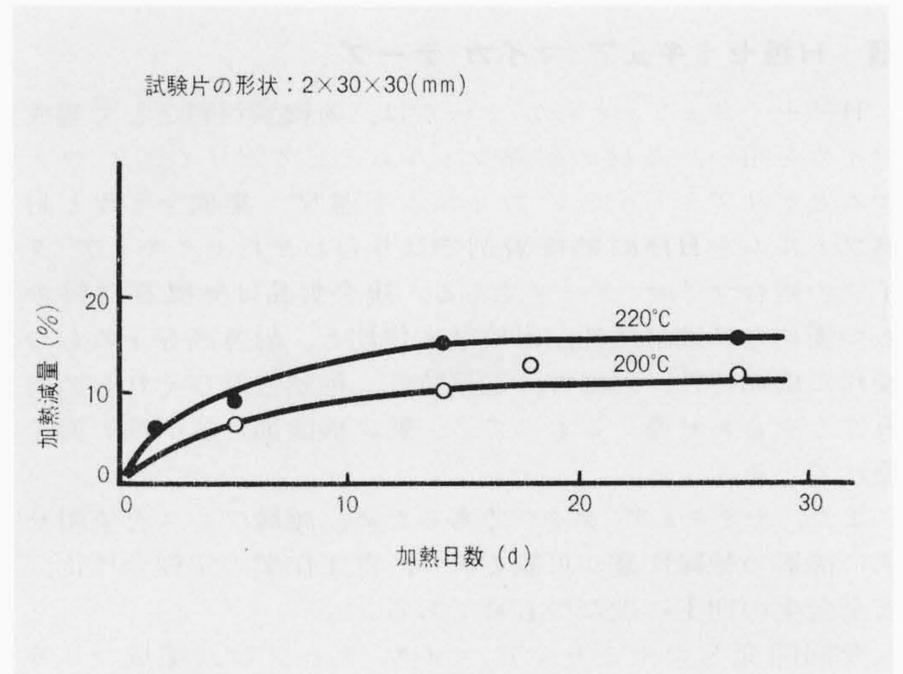


図3 加熱減量と加熱日数との関係 加熱減量は14日以後はほぼ一定となり、減量も比較的少なく耐熱性が優れている。

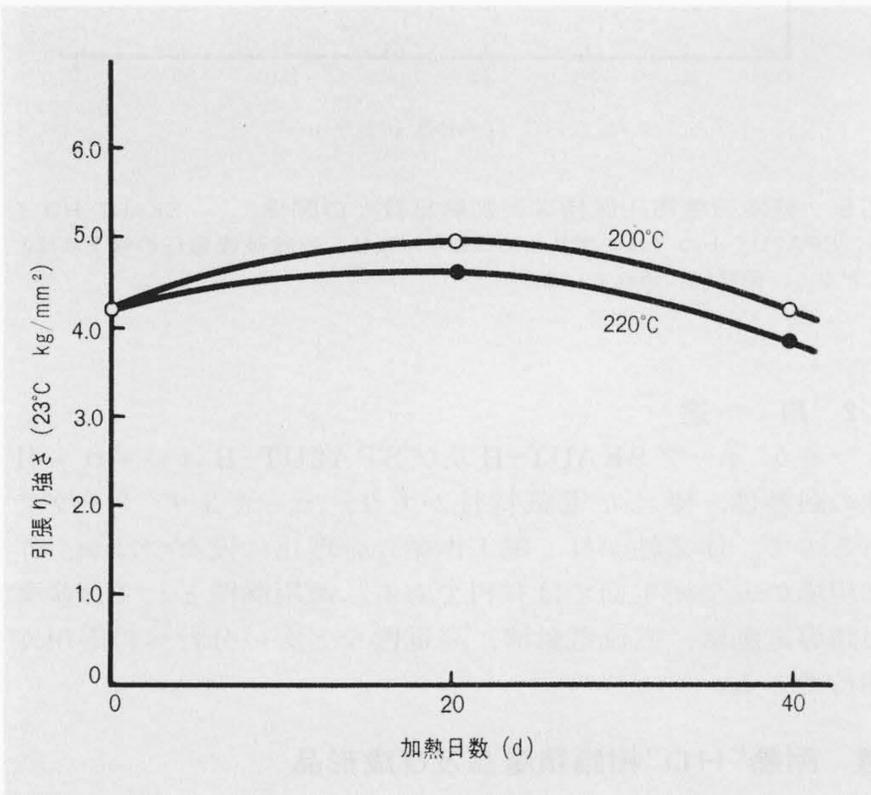


図1 樹脂板の引張り強さと加熱日数との関係 引張り強さは加熱後もほとんど低下せず、耐熱性が優れている。

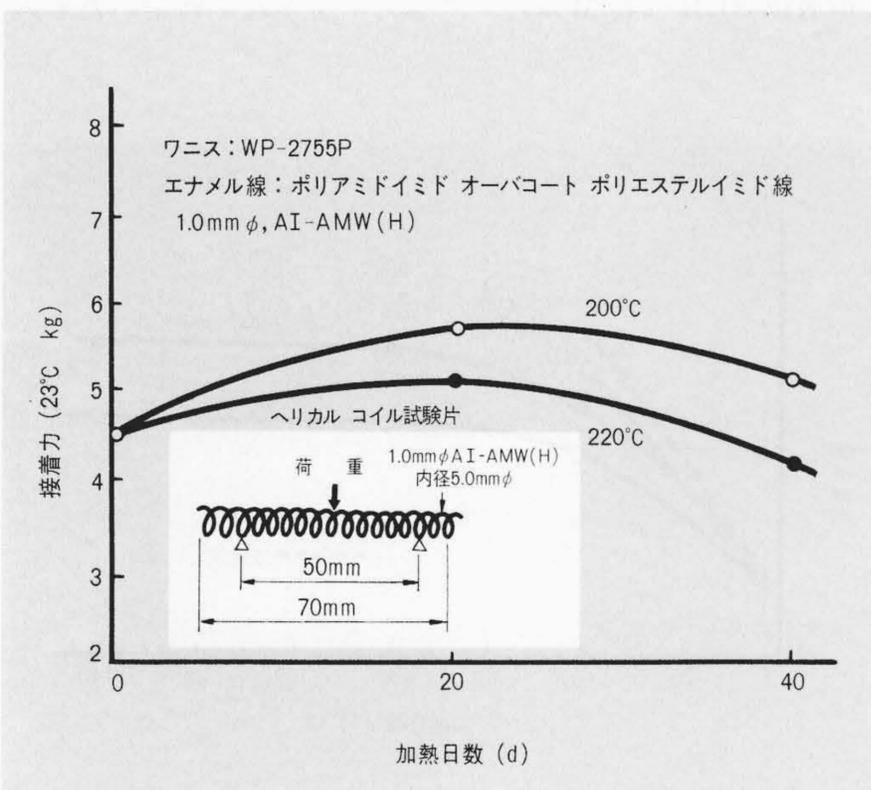


図2 接着力と加熱日数との関係 ヘリカル コイル接着力は、220℃、40日加熱後もほとんど低下せず、WP-2755Pの耐熱性は優れている。

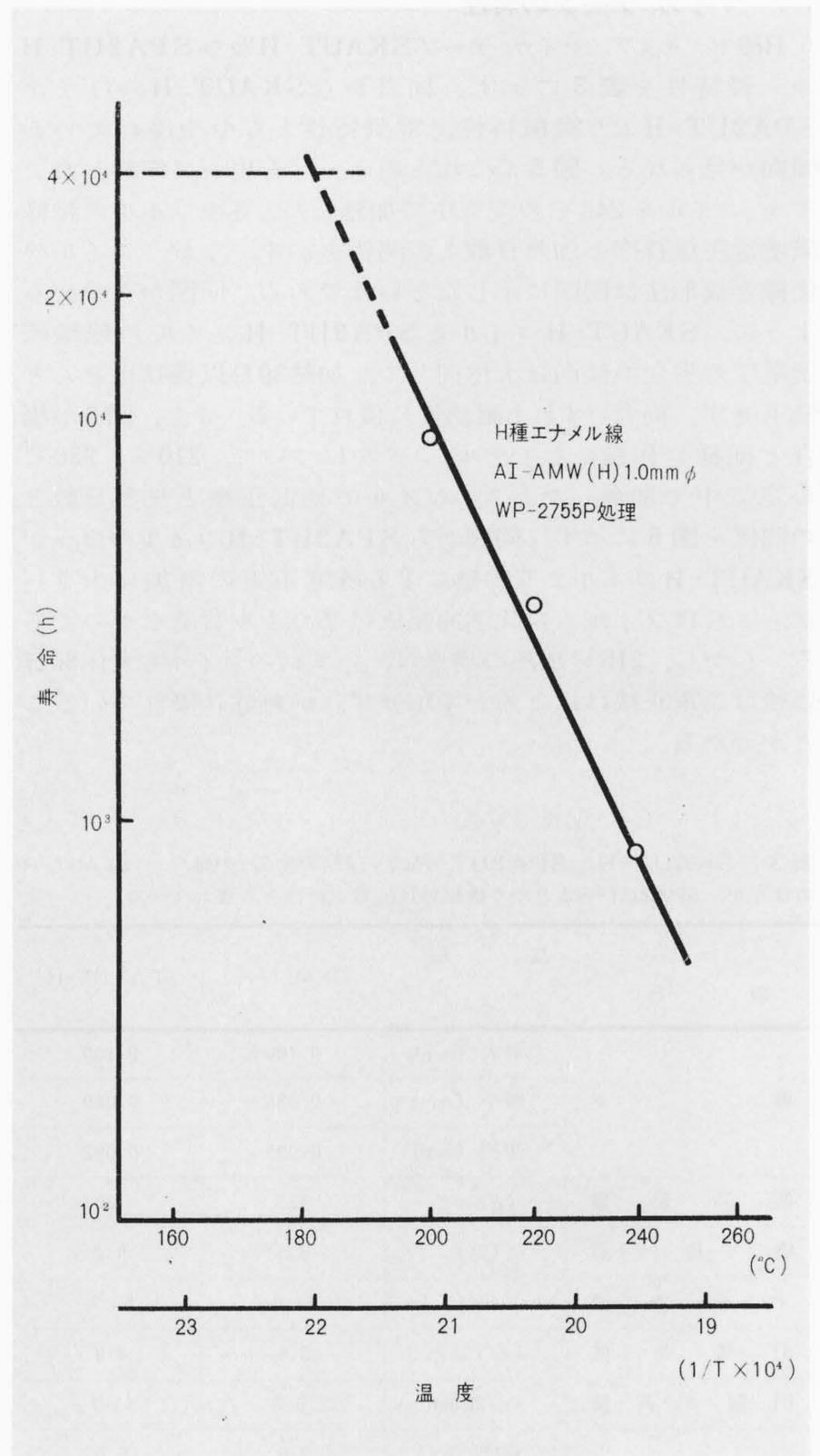


図4 ワニス処理エナメル線の寿命 WP-2755Pで処理したAI-AMW(H) 1.0mmφ は、約180℃の耐熱性が推定される。

4 H種セミキュア マイカ テープ

H種セミキュア マイカ テープは、無機質材料として集成マイカを用い、基材の耐熱フィルムとしてポリイミドフィルムとポリアミドイミドフィルムを選び、集成マイカと耐熱フィルムをH種耐熱接着剤ではり合わせたセミキュアタイプの複合マイカテープである。複合製品は無機質材料のもつ優れた長期耐熱性、耐放電劣化性と、耐熱高分子のもつ優れた機械特性、耐湿性、電気特性、耐熱性及びそれらの均質性とを合わせ備えるもので、一般に機能面と経済性の面で優れている。

また、セミキュアタイプであるため、絶縁ワニスを使用せずに機器の絶縁作業が可能であり、電工作業の工程合理化、安全衛生の向上に役だつものである。

今回開発したセミキュア マイカ テープは、集成マイカとポリイミドフィルムとをはり合わせたSKAUT-Hと、集成マイカとポリアミドイミドフィルムとをはり合わせたSPA2UT-Hとがあるが、これらの製品の特性を試験した結果につき次に述べる。

4.1 マイカ テープの特性

H種セミキュア マイカ テープSKAUT-H及びSPA2UT-Hの一般特性を表3に示す。同表からSKAUT-HのほうがSPA2UT-Hより機械特性、電気特性ともやや優れている傾向が見られる。図5にこれらのテープを用いて作製したモデルコイルを240℃の空气中で加熱したときのコイルの絶縁破壊電圧保持率と加熱日数との関係を示す。なお、コイルの仕様と成形法は同図に示したとおりである。同図から分かるように、SKAUT-HコイルとSPA2UT-Hコイルの絶縁破壊電圧の劣化の傾向は大體同じで、加熱30日以後はほとんど低下せず、両者いずれも耐熱性に優れている。また、図5の場合と同様に作製したモデルコイルについて、210℃、230℃の空气中で加熱したときのコイルの誘電正接と加熱日数との関係を図6に示す。同図からSPA2UT-HコイルのほうがSKAUT-Hコイルより加熱による誘電正接の増加は大きいですが、これはフィルムの化学的組成に基づく本質的なものである。しかし、210℃加熱の場合は、いずれのコイルも大體80日以後は誘電正接はほとんど増加せず、耐熱性に優れていることが分かる。

表3 SKAUT-H, SPA2UT-Hの一般特性の一例 SKAUT-Hのほうが、SPA2UT-Hよりやや機械特性、電気特性とも優れている。

項目	品 種	SKAUT-H		SPA2 UT-H	
		SKAUT-H	SPA2 UT-H	SKAUT-H	SPA2 UT-H
厚 さ	最大 (mm)	0.100	0.100	0.100	0.100
	最小 (mm)	0.085	0.080	0.085	0.080
	平均 (mm)	0.095	0.092	0.095	0.092
製 品 重 量	(g/m ²)	125	120	125	120
樹 脂 量	(%)	9.1	9.2	9.1	9.2
マ イ カ 量	(%)	62.0	60.7	62.0	60.7
引 張 荷 重	kg/15mm	5.4	4.9	5.4	4.9
引 裂 き 荷 重	kg/20mm	15.2	11.7	15.2	11.7
絶 縁 破 壊 電 圧	最低 (kV)	7.0	6.0	7.0	6.0
	平均 (kV)	7.4	6.3	7.4	6.3

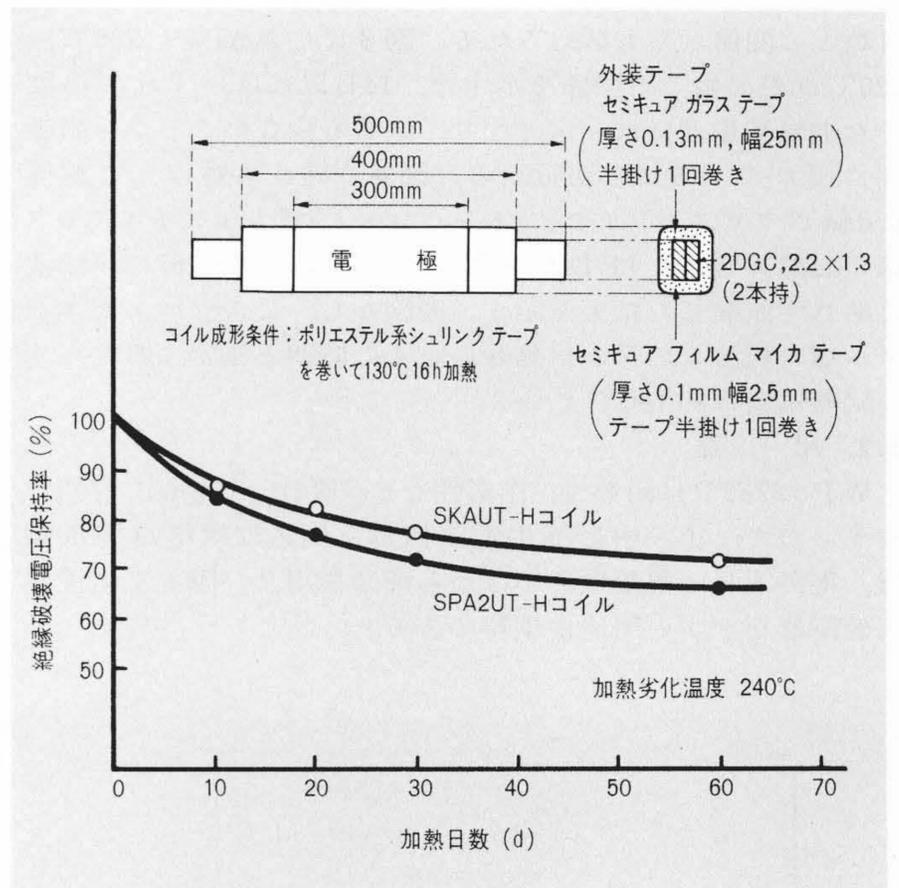


図5 絶縁破壊電圧保持率と加熱日数との関係 SKAUT-Hコイル, SPA2UT-Hコイルいずれも30日加熱以後は、絶縁破壊電圧の低下はほとんどなく、耐熱性に優れている。

4.2 用 途

マイカ テープSKAUT-H及びSPA2UT-HはいずれもH種の耐熱性、優れた電気特性があり、セミキュアタイプであるので、作業性が良く電工作業の合理化に役だつほか、作業現場の安全衛生面では有利である。適用機種としては産業用誘導電動機、直流電動機、発電機など広い分野への応用が期待できる。

5 耐熱“HD”樹脂積層品及び成形品

ここに用いた“HD”樹脂⁶⁾は、従来の日立化成工業株式会社製ジフェニルエーテル樹脂の硬化性の遅い欠点を根本的に改良した新しいタイプの耐熱樹脂である。

積層板SLH-61N及び積層管TH-61Nは、ガラス布を、また積層板SLH-64NMは、アスベストをそれぞれ用いたもの

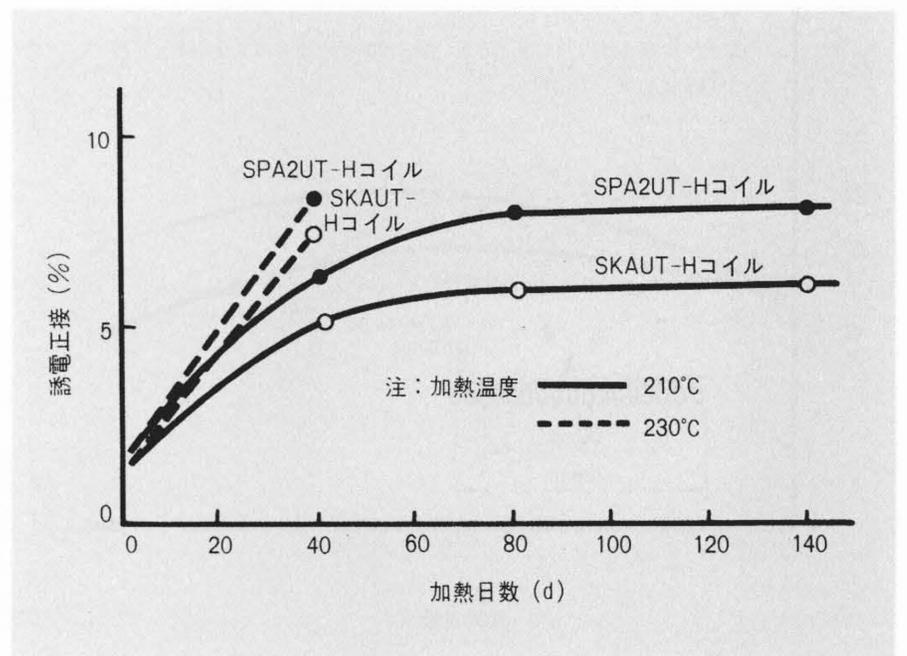


図6 誘電正接と加熱日数との関係 210℃加熱時はSKUT-Aコイル, SPA2UT-Hコイルとも、80日以後は誘電正接の増大は認められない。

である。成形品HD-2203は、ガラス及びアスベストを用いたもので、次にこれらの特性について述べる。

5.1 積層品及び成形品の特性

一般特性を表4に示すが、比較のため、従来のシリコン樹脂及びフェノール樹脂成形品の特性をも合わせ示した。同表から分かるように、SLH-61Nの機械特性は、シリコン樹脂製品の約2倍近くあって優れている。また、SLH-64NMは、樹脂はフェノール系統であるにもかかわらず、耐アーク性が240秒以上で、シリコン樹脂製品と同等で優れている。図7にHD-2203の曲げ強さ(初期値)の温度特性を、フェノールガラス成形品、シリコンガラス成形品と比較して示す。同図から分かるように、HD-2203は180°C近くまで曲げ強さの低下は見られず、シリコンガラス成形品より高温での機械強度は格段に優れており、また、フェノールガラス成形品よりも高温での強度の低下は少ない。図8にHD-2203と比較のため、シリコンガラス及びフェノールガラス成形品について220°C及び240°Cの空气中で加熱したときの曲げ強さと加熱日数との関係を示す。同図からHD-2203は、シリコンガラス成形品と同等の優れた耐熱性をもち、フェノールガラス成形品よりも耐熱性が格段に優れていることが分かる。図9にHD-2203を含む各種成形品の220°C及び240°C加熱による加熱減量と加熱日数との関係を示すが、HD-2203はシリコンガラス成形品とほぼ同等の耐熱性をもっている。

図10にHD-2203を使用したモールドコンミテータの高温過速度回転試験後の銅セグメントの変形(ハイパー)と回転試験温度との関係を示すが、250°Cの試験後でも、変形は3μ以下であり、従来のフェノール樹脂では得られない優れた特性をもっている。

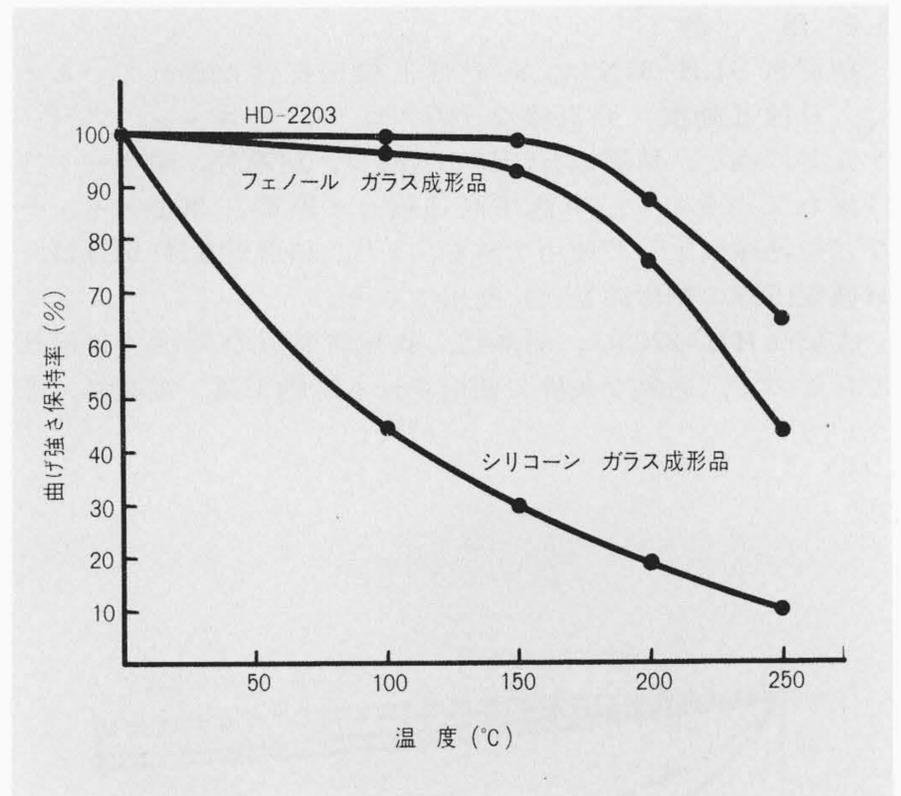


図7 “HD”樹脂成形品の曲げ強さ保持率と温度との関係
HD-2203は高温に至るまでフェノールガラス、シリコンガラス成形品より優れた曲げ強さを示す。

近年、電気機器に使用する絶縁材料には難燃性を要求されているものが多い。“HD”樹脂は、化学構造上本質的に燃えにくいので、SLH-64NMは鉄道車両用材料燃焼試験では不燃性であり、また、HD-2203はUL(米国Underwriters' Laboratories)規格の最難燃グレード94V-0の認定を得ている。

表4 “HD”樹脂積層品及び成形品の一般特性 SLH-61Nは機械強度が優れ、SLH-64NMは耐アーク性に優れている。

種別		積層板			積層管		成形品			
記号		SLH-61N	SLH-64NM	LS-61N	TH-61N	TS-61N	HD-2203	—	—	
結合材		“HD”樹脂	“HD”樹脂	シリコン	“HD”樹脂	シリコン	“HD”樹脂	シリコン	フェノール	
基材		ガラス布	アスベスト	ガラス布	ガラス布	ガラス布	ガラス アスベスト	ガラス	ガラス	
比重	—	A*	1.6~1.8	1.9~2.1	1.7~1.9	1.5~1.7	1.5~1.7	1.7~1.8	1.8~1.9	1.7~1.8
体積抵抗率	Ω-cm	C-90/20/65**	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	10 ⁹ ~10 ¹¹	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	—	—	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵
表面抵抗率	Ω	C-90/20/65	10 ¹² ~10 ¹³	10 ⁹ ~10 ¹⁰	10 ¹² ~10 ¹³	—	—	10 ¹² ~10 ¹³	10 ¹² ~10 ¹³	10 ¹² ~10 ¹³
誘電正接 (1MHz)	—	C-90/20/65	0.01~0.02	0.04~0.05	0.002~0.004	—	—	0.04~0.05	0.004~0.005	0.01~0.03
誘電率 (1MHz)	—	C-90/20/65	4.3~4.8	4.5~5.0	4.0~4.5	—	—	4.5~5.5	3.5~4.5	4.0~5.0
耐アーク	s	C-90/20/65	2~10	240~250	240~250	—	—	180~190	240~250	40~50
曲げ強さ	kg/mm ²	A	25~40	11~14	10~25	25~50	7~15	10~15	7~9	9~11
引張強さ	kg/mm ²	A	20~30	8~10	15~20	—	—	5~7	4~5	5~6
圧縮強さ	kg/mm ²	A	30~50	15~25	18~25	15~25	5~10	20~25	10~20	20~25
吸水率	%	E-24/50*** +D-24/23	0.2~0.3	0.9~1.3	0.2~0.3	2>	2>	0.1~0.3	0.1~0.3	0.1~0.3

注：表中の処理条件 *Aは受理状態、**C-90/20/65は20°C、65%RHの恒温恒湿の空气中で90時間処理した場合、***E-24/50+D-24/23は、50°Cの空气中で24時間処理後23°Cの水中に24時間浸せきした場合を示す。

5.2 用途

積層板 SLH-61N は、耐熱性と機械特性が優れているので、H種電動機、発電機などのスロット ウェッジ、スペーサなどに適し、積層板 SLH-61NM は、耐熱性、耐アーク性に優れているので、車両用高速度しゃ断器、単位スイッチなどの絶縁板として使用できる。また、積層管 TH-61N は、H種変圧器の絶縁筒などに使用できる。

成形品 HD-2203 は、耐熱性、機械特性及び難燃性に優れているので、過酷な条件で使用される電動工具、電装品、家

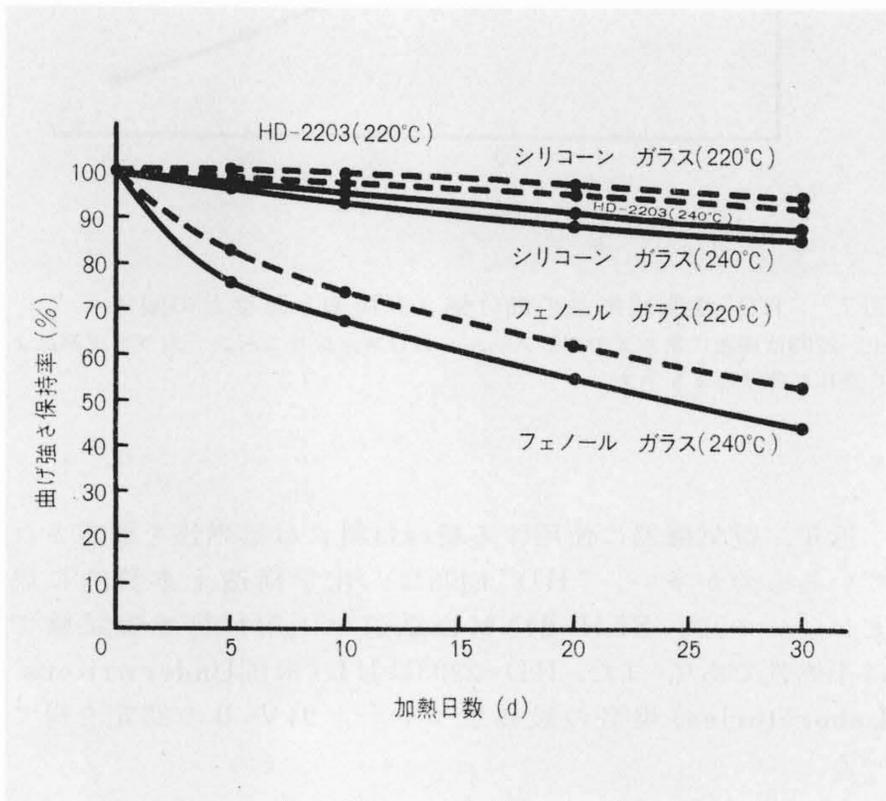


図8 HD-2203の曲げ強さ保持率と加熱日数との関係 HD-2203の加熱劣化による曲げ強さの低下は、シリコン樹脂とほぼ同等で耐熱性が優れている。

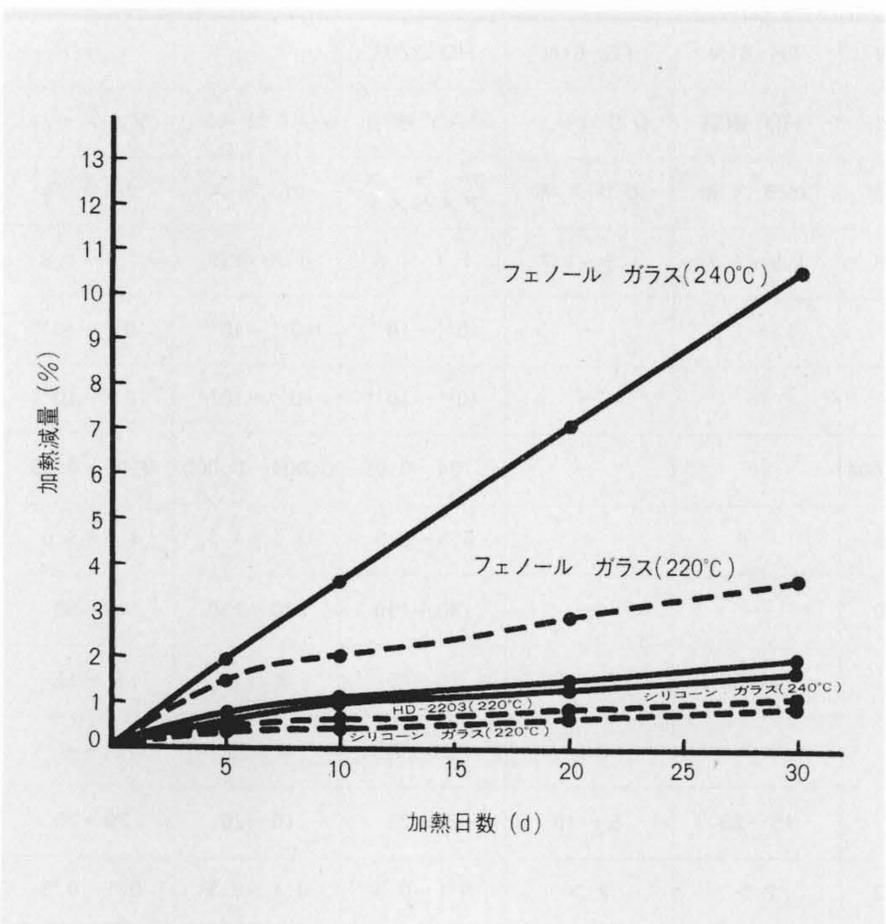


図9 HD-2203の加熱減量と加熱日数との関係 HD-2203の加熱減量は少なく、シリコン ガラス成形品と同等である。

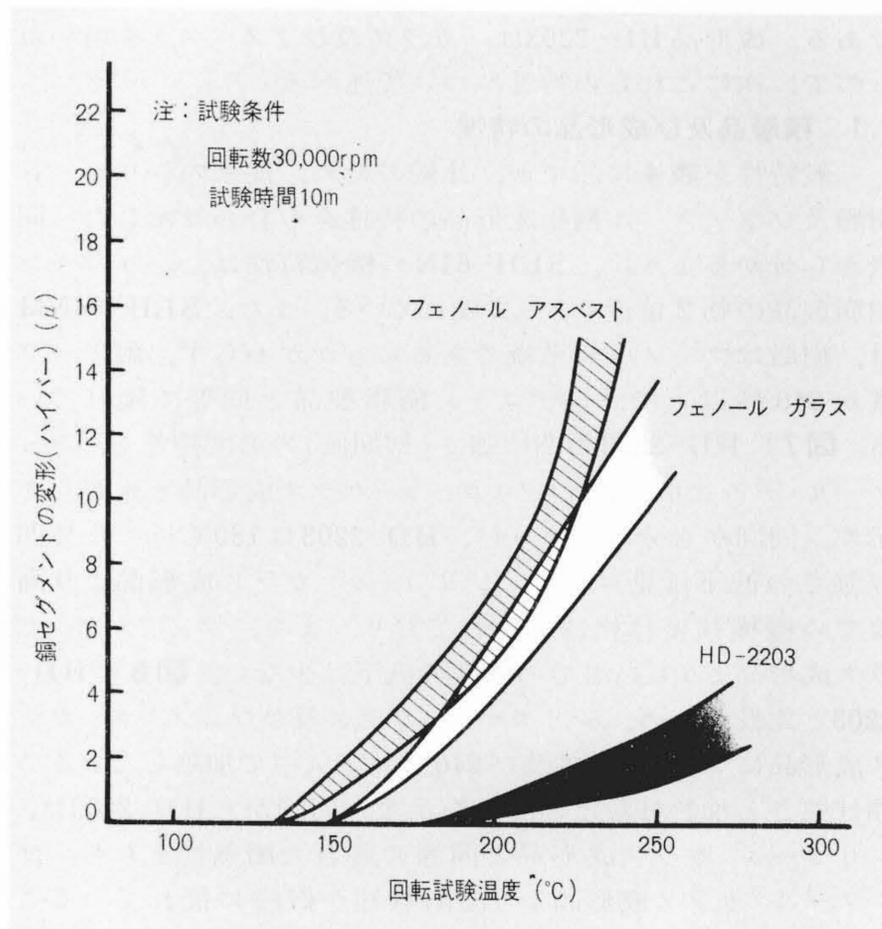


図10 高温過速度回転試験後のモールド コンミテータの銅セグメントの変形(ハイパー) HD-2203を使用したモールド コンミテータは、250°Cのふんい気での回転試験でもセグメントの変形(ハイパー)が少ない。

庭用電気品などのモールド コンミテータ用成形材料のほか、各種の難燃性成形材料としても幅広い応用が期待できる。

6 結 言

電気絶縁材料の耐熱性の向上は、電気機器の改良進歩とともに、いつの時代にも強く要求されるものであるが、本稿で述べた新しい耐熱無溶剤コイル ワニス、耐熱セミキュア マイカ テープ、耐熱合成樹脂積層品及び成形品はいずれも耐熱性のほか、機械特性、作業性、価格などの点でも優れ、従来品のこれらの問題点をカバーすることができる。

今日、高分子の分子構造や二次構造と物性との関係はかなり明らかにされてきたので、今後は分子設計の手段で新しい高分子が合成され、絶縁材料として実用化されるものと思われる。また、それとともに、取扱いが安全で、公害のおそれのない材料への志向もいっそう重要になると思われる。

参考文献

- 1) 立川、今井ほか：「新標準 F種ハイパクトエポキシ絶縁高圧誘導電動機」、日立評論, 52, 12 (昭45-11)
- 2) V. Ruth: "Performance Characteristics of Improved Solventless Silicone Resins", Reprint, 11th Electrical Insulation Conference, 34 (1973-Sept.)
- 3) 秋山、牧野ほか：「無溶剤ポリイミド樹脂」、東芝レビュー, 25, 1393 (昭45-11)
- 4) 牧野：「イミダロイ積層板」、東芝レビュー, 28, (昭48-6)
- 5) 片岡、北野：「ポリイミド積層板の特性と用途」、工業材料, 24, 52 (昭51-5)
- 6) 横野、沼田ほか：「H種積層用新耐熱レジン」、日立評論, 56, 89 (昭49-7)
- 7) 四十物、仲野：「速乾性H種コイル含浸用ワニスHPD-200の特定」、日立評論, 56, 41 (昭49-7)
- 8) Mackay: "Evaluation of Polybenzimidazol Glass-Fabric Laminate", Modern Plastics, 43, 149 (1966)