

耐 燃 性 印 刷 配 線 板 用

紙基材フェノール樹脂銅張積層板の特性

The Properties of the Self-extinguish Paper Phenolic Metal Clad Laminates for Printed Wiring Boards

中 川 武 寿* 植 山 悌 次*
Takehisa Nakagawa Teizi Ueyama

要 旨

テレビ、ラジオなどの電子機器に使用される紙フェノール銅張積層板は、ULで規定しているSE級⁽¹⁾の耐燃性が要求される。そこで筆者らは耐燃性紙フェノールMCLとして、1級常温打ち抜き加工用MCL(日立商品名MCL-47F⁽²⁾)、2級加熱打ち抜き加工用MCL(日立商品名MCL-45F)、汎用加熱打ち抜き加工用MCL(日立商品名MCL-46F)を開発し、一般特性、耐燃性、長期寿命の推定に必要な強制劣化試験^{(2)~(8)}を行った。

その結果これらのMCLの耐燃性はUL規格SE-1、一般特性はJISの各該当規格⁽⁹⁾をじゅうぶん満足するほか、高信頼性で安定した特性を有しているので安全性を必要とする各種電気機器にじゅうぶん使用可能なことが明らかとなった。

1. 緒 言

テレビによる火災予防に指導的役割を果たしているUL(Underwriter's Laboratories Inc.)は1969年以降、テレビ、ラジオに使用する絶縁材料の燃焼性について種々の規制を設けてきている。たとえば、Subject 492では消費電力が50W以上のところには自己消炎性の絶縁材料を使用すること、また2,500V以上の高圧回路および接合部品には自己消炎性の絶縁材料を使用することなどを規定している⁽¹⁾⁽¹⁰⁾。以上の規定を受ける多くの部品の中に印刷配線板が含まれていて、素材となる銅張積層板(MCL)にも自己消炎性(ULのSE⁽¹⁾)を付与することが必要となった。

そこで筆者らは、テレビ、ラジオの印刷配線板に使用されている紙フェノールMCLの耐燃化の研究を行ない、JIS C 6485のPPI⁽⁹⁾に該当する1級常温打ち抜き加工用のMCL-47F、PP4に該当する2級加熱打ち抜き加工用のMCL-45F、PP6に該当する汎用加熱打ち抜き加工用のMCL-46Fを製品化することができた。

本稿ではこれらMCLの実用上必要な一般特性、自己消炎性ならびに打ち抜き加工性の確認結果と一般MCLとの比較による強制劣化試験結果を報告したい。

2. MCLの耐燃性について

フェノール樹脂は他のプラスチックに比べて比較的燃焼しにくいとされているが、MCLは燃焼性の紙との複合材であるため、ULやASTMで規定されている耐燃性を満足しない。そこで紙またはフェノール樹脂⁽¹¹⁾に大幅な耐燃性を付与することが必要となる。しかし今までのところ日本国内では実用に耐え得る耐燃性の紙がないため、フェノール樹脂に消炎剤を添加してMCLに耐燃性を付与する方法が採られている。

消炎剤としては添加形と反応形のもの⁽¹²⁾があり、いずれも塩素や臭素などのハロゲン化合物か有機リン化合物が使用されている。これらの消炎剤はフェノール樹脂と単独または両者の併用、あるいはハロゲン化合物と三酸化アンチモンとの併用によってMCLに目的とする耐燃性を与えるが、消炎剤の選択とその使用量を誤ると電気的特性、機械的特性、実用時の加工性などにいろいろな問題が出てくる。

一方、耐燃性はその試験方法^{(13)~(17)}によって、値が異なるため、今までにいろいろな試験方法が提案されている。表1はシート状積層板の耐燃性試験方法の代表例を示したものである。表1のJIS C 6481とUL-Subject 746とは火源となる炎を取り去ってから何秒間で試験片の炎が消えるかを求める方法で、これを自己消炎性と呼んでいる。

ULでは最近、表2に示したように消炎時間と燃焼時の滴下物の有無によって消炎性の等級を分けていて、MCLにはSE-1の自己消炎性を求めている。

酸素指数法⁽¹⁷⁾は表1に示したように窒素と酸素の混合割合を変化させて試料に着火し、酸素の臨界濃度により燃えにくさを判定する試験方法である。この方法は試験データのばらつきが少なく、材料の耐燃性を判定するにはすぐれた試験方法の一つと考えられるが、積層板の場合使用する基材によって酸素指数が変わり、必ずしも大気中の燃焼性との関連は一致しない。表2に示したUL規格のほかに、耐燃性紙フェノールMCLに從來から適用されている規格としては、NEMA規格⁽¹⁸⁾FR-2(JIS、PPIが相当)がある。これは表1の水平法で試験を行ない、平均値が15秒以下、燃焼距離が25.4mm以下という規定である。

3. 耐燃性MCLの一般特性

3.1 耐燃性MCLの分類

SE-1の耐燃性をもつMCL-47F、MCL-45F、MCL-46Fを一般MCLと比較対照し、等級別に分類すると表3のようになる。

3.2 JIS試験方法による特性

MCLの試験方法はJIS C 6481⁽¹⁴⁾に、紙フェノールMCLの規格値はJIS C 6485⁽⁹⁾(以下JISと略す)に規定されている。この試験方法に基づき、耐燃性MCL(MCL-47F、MCL-45F、MCL-46F)の一般特性を試験した結果は表4に示すとおりである。この表によると耐燃性MCLはJISの各該当規格値をじゅうぶんに満足していることが明らかである。

3.3 NEMA試験方法による特性

表3に示したようにNEMA規格は1級品のグレードだけを規定しているのでMCL-47Fの一般特性をNEMA規格試験方法に基づき試験した結果は表5に示すとおりである。この表によるとMCL-47FはNEMA規格FR-2を満足している。

* 日立化成工業株式会社下館工場

表1 耐燃性試験方法

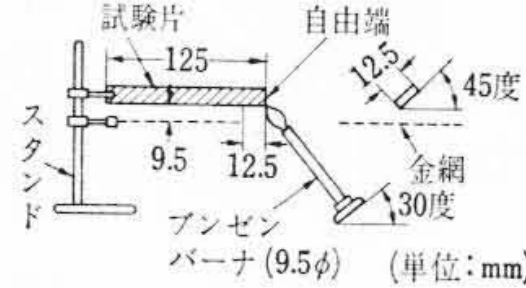
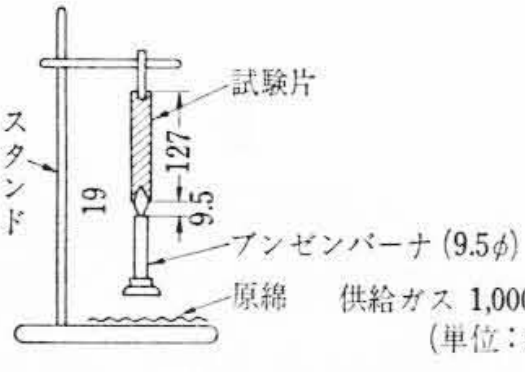
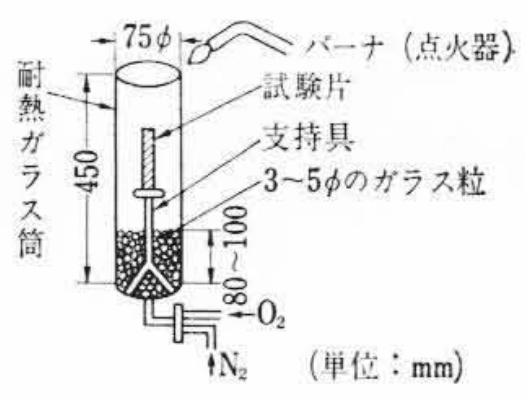
規格 No.	試験片(試料) (mm)	方 法
ASTM D-635, JIS C 6481 (水平法)	(幅)(長さ)(板厚) 12.5×125×原厚	 ブンゼンバーナの炎を青色炎とし、その高さを約25mmに調節する。試験片の自由端の下端に図のように30秒間炎を当てて取り去ると同時にストップウォッチを始動し、炎が消えるまでの時間を秒単位で測る。同時に消火後、試験片の燃焼した長さを下端でmm単位で測る。
UL-Subject 746 (Mar.1.1967) および UL-Subject 20 & 492 (Mar.18.1971) (垂直法)	12.7×127× $\frac{1.6}{6.4}$	 ブンゼンバーナの炎を青色炎とし、その高さを19mmに調節する。試験片を垂直に保持して図のように炎を10秒間当てて除去し、炎あるいは燃焼光(Glow-ing)の継続時間を測定する。30秒以内に炎あるいは燃焼光が消えたらすぐに再び10秒間炎を当てて取り去り、炎あるいは燃焼光の継続時間を測定する。試験片は受理状態と70℃—7日間乾燥処理したもの両方用いる。
ASTM-D 2863-70 (酸素指数法)	6.5×70~150×3	 酸素濃度を調節し、試験片がちょうど3分あるいは5cm燃えるときの酸素濃度を材料が燃焼を続ける最低酸素濃度とし、次式により酸素指数$n(\%)$を計算する。 $n(\%) = \frac{O_2 \times 100}{O_2 + N_2}$ ここに、O_2 : 臨界濃度酸素流量 (l/min) N_2 : O_2 に対応する窒素流量 (l/min)

表2 UL規格による耐燃性の分類

耐 燃 性	該当規格	試 験 方 法	判 定
SE-O	Subject 20 & 492 (Mar. 18. 1971)	(表1)の垂直法	試験の間、試験片の下部においた未処理脱脂綿に着火させるような滴下物がなく、下記の条件を満たすものをSE-Oとする。 (1) 70℃、168時間処理後の5本(計10回着火)の消炎時間が最大10秒以下、平均5秒以下であり、燃焼光の継続時間は消火後最大10秒以下であること。ただし局所的な燃焼光についてはさらに10秒間許容される。 (2) (1)が合格の場合、さらに常態の試験片5本について同様に判定する。
SE-I および SE-II	Subject 746 (Mar. 1. 1967) Subject 94 (Dec. 9. 1959)	(表1)の垂直法	(1) 常態と70℃、168時間処理後の試験片各3本(各6回着火)のサンプルについて炎または燃焼光の継続時間の平均がいずれも平均25秒以下、最大30秒以下であること。 (2) (1)の条件を満足し、試験の間、燃えている粒子または滴下物を落とさない材料はSE-Iとして分類される。 (3) (1)の条件を満足し、ごく少しの燃えている粒子または滴下物を落とす材料はSE-IIとして分類される。
SE	Subject 492 (Sept. 1. 1970)	(表1)の垂直法	(1) 70℃、168時間処理後の3本(計6回着火)のサンプルについて、炎または燃焼光の継続時間が平均25秒以下、最大30秒以下であること。 (2) (1)が合格と判定された場合には、さらに常態の3本の試験を行ない、同様に判定する。 (3) なお試験中にサンプルが燃えつきてはいけない。 (1)~(3)を満足するものをSE材とする。
SB	Subject 746 (Mar. 1. 1967) Subject 20 & 492 (Apr. 1. 1970)	(表1)の水平法に同じ。	(1) 燃焼速度が1.5 in/min以下のとき、遅燃性SBと判定する。ただしUL-Sub. 20 & 492では、炎または燃焼光の速度が1.5 in/min以下のときSBと判定する。
NB	Subject 492 (Oct. 1. 1970)	(表1)の垂直法に準ずる。 ただし、外炎5 in 内炎1½ in	(1) 通常使用温度より20℃高い温度で168時間処理した試験片3本(計15回着火)においていずれも炎が10秒以内に消えれば不燃性NBと判定する。

表3 耐燃性MCLと一般MCLの対称と該当規格

品 名	NEMA Grade	JIS Grade	特 長	用 途
MCL-47F	FR-2	PP-1	耐燃性、1級品、常温打ち抜き用	民生用電子機器
MCL-41	XXXPC	PP-3	1級品、常温打ち抜き用	通信機器
MCL-45F	—	PP-4	耐燃性、2級品、加熱打ち抜き用	家庭電器
MCL-8-4	—		2級品、加熱打ち抜き用	計 測 器
MCL-46F	—	PP-6	耐燃性、汎用品、加熱打ち抜き用	そ の 他
MCL-8	—		汎用品、加熱打ち抜き用	

表4 JISによる耐燃性紙フェノールMCLの試験結果(板厚1.6mm片面35μ銅ハク)

試 験 項 目		処 理 条 件*	MCL-47F		MCL-45F		MCL-46F	
			JIS PP-1 規格値	特 性 値	JIP PP-4 規格値	特 性 値	JIS PP-6 規格値	特 性 値
はんだ耐熱性 (s)		260℃	5 以上	13	5 以上	19	5 以上	23
引きはがし強さ (kg/cm)		A	1.2 以上	1.8	1.2 以上	1.5	1.2 以上	1.8
		S ₂	1.2 以上	1.7	1.2 以上	1.5	1.2 以上	1.7
耐 熱 性 (－)		E-0.5/130	ふはがれのないこと	異常なし	ふはがれのないこと	異常なし	ふはがれのないこと	異常なし
曲 げ 強 さ (kg/mm ²)	縦	A	8.0 以上	13.3	8.0 以上	15.2	8.0 以上	17.0
	横			10.1		14.1		15.2
表 面 抵 抗 (Ω)	接着剤面	C-90/20/65	10 ¹² 以上	2.1×10 ¹³	10 ¹⁰ 以上	1.7×10 ¹²	—	9.0×10 ¹¹
		C-96/40/90	10 ¹¹ 以上	1.9×10 ¹²	—	5.4×10 ¹¹	—	4.0×10 ¹¹
	積層板面	C-90/20/65	10 ¹¹ 以上	7.9×10 ¹¹	10 ⁹ 以上	1.7×10 ¹¹	—	5.1×10 ¹¹
		C-96/40/90	5×10 ⁹ 以上	2.0×10 ¹⁰	—	1.3×10 ¹⁰	—	4.4×10 ⁹
体 積 抵 抗 率 (Ω・cm)		C-90/20/65	5×10 ¹² 以上	3.3×10 ¹³	5×10 ¹¹ 以上	7.5×10 ¹²	—	5.9×10 ¹²
		C-96/40/90	5×10 ¹¹ 以上	3.1×10 ¹²	—	2.1×10 ¹²	—	1.2×10 ¹²
誘 電 率 [1MHz] (－)		C-90/20/65	5.0 以下	4.3	5.5 以下	4.4	—	5.0
		D-48/50	5.3 以下	4.5	6.0 以下	4.6	—	5.3
誘 電 正 接 [1MHz] (－)		C-90/20/65	0.04 以下	0.031	0.05 以下	0.034	—	0.036
		D-48/50	0.05 以下	0.033	0.10 以下	0.037	—	0.040
絶 縁 抵 抗 (Ω)		C-90/20/65	10 ¹¹ 以上	8.2×10 ¹³	10 ¹⁰ 以上	8.1×10 ¹²	10 ⁹ 以上	2.3×10 ¹¹
		D-2/100	5×10 ⁸ 以上	2.7×10 ¹⁰	5×10 ⁷ 以上	3.7×10 ⁸	5×10 ⁶ 以上	2.6×10 ⁸
耐 薬 品 性	トリクレン (min)	沸 騰 中	2 以上	5 異常なし	5 以上	5 異常なし	5 以上	5 異常なし
	KCN 10%** (%)	70℃-30 min	30 以下	6	30 以下	7	—	8
吸 水 率 (%)		E-24/50+D-24/23	—	0.60	—	0.70	—	1.02
耐 燃 性 (JIS法)	時 間 (s)	A	15 以下	5	—	10	—	5
	距 離 (mm)		25.4 以下	13	—	18	—	13
打ち抜き加工性〔ASTM型〕		A	—	20~60℃ Good	—	100~140℃, 3 min Good	—	140~180℃, 3 min Good

(注) * : A : 受理常態
S₂ : 260℃ のはんだ浴上で 5 秒間処理
E-0.5/130 : 130℃, 0.5 時間加熱処理
C-90/20/65 : 20℃, 65% 相対湿度下で 90 時間処理
C-96/40/90 : 40℃, 90% 相対湿度下で 96 時間処理
D-48/50 : 50℃, 48 時間水浸処理
D-2/100 : 100℃, 2 時間水浸処理
E-24/50+D24/23 : 50℃, 24 時間加熱処理後, 23℃, 24 時間水浸処理
** : 常態と比較した引きはがし強さ低下率を示す。

表5 NEMA 規格による MCL-47F の試験結果 (板厚 1.6mm 片面 3.5μ銅はく)

試験項目		処理条件*	NEMA FR-2 規格値	MCL-47F 特性値
曲げ強さ (kg/mm ²)	縦	A	8.5 以上	13.3
	横		7.4 以上	10.1
誘電率 [1MHz] (ー)		A	—	4.3
		D-48/50	(5.3 以下)**	4.5
誘電正接 [1MHz] (ー)		A	—	0.031
		D-48/50	(0.05 以下)**	0.033
沿層耐電圧 (kV)		D-48/50	15 以上	40
表面抵抗 (Ω)		C-96/35/90	10 ⁹ 以上	2.2×10 ¹⁰
体積抵抗率 (Ω・cm)		C-96/35/90	10 ¹⁰ 以上	3.5×10 ¹²
吸水率 (%)		E1/105+D-24/23	0.75 以下	0.53
耐熱性	はんだ耐熱 (s)	260℃	5 以上	13
	気中加熱	120±2℃	30 分異常なし	異常なし
引きはがし強さ (kg/cm)	はんだ処理後	A	1.07 以上	1.7
	高温処理後	E-1/120	1.07 以上	1.7
耐燃性 [ASTM 法]	時間 (s)	A	15 以下	5
	距離 (mm)		25.4 以下	13
打ち抜き加工性 [ASTM 型] (点)		23℃	70 以上	70~80

(注) * : 表4の注に準ずる。
** : ()は板厚 2.0mm 以上のみに適用, 1.6mm については規定なし。

4. MCL の 諸 特 性

MCLは加工工程で水洗, 乾燥, 種々の薬品による処理が行なわれ, 数多くの部品が組み込まれて初めて使用される。また使用条件もその用途によっていろいろ異なったふん囲気が考えられる⁽¹⁹⁾。そのため加工条件と長期使用による性能の変化を明らかにする目的で, 機械的特性, 電気的特性, その他の特性について強制劣化試験と設計に必要な種々の試験を行なった。供試料としては前述の表3の耐燃性 MCL 3 品種, 一般 MCL 3 品種, いずれも 1.6mm 片面 35μ銅ハクのものを使用した。

試験片の形状, エッチングおよび試験方法は JIS に定められた方法に準じて行われ, 電気特性は前処理として 20℃, 相対湿度 65% の室内に 96 時間放置したものを常態とし, 電気特性以外は受理常態のまま試験に供された。なお JIS に規定されていない試験方法はその都度記述することにする。

4.1 機械的性質および物理的性質

4.1.1 耐 燃 性

(1) 垂 直 法

前述したような耐燃性試験の中で基板を垂直に保持して試験する UL の試験方法が最もきびしい方法である。ここではこの方法

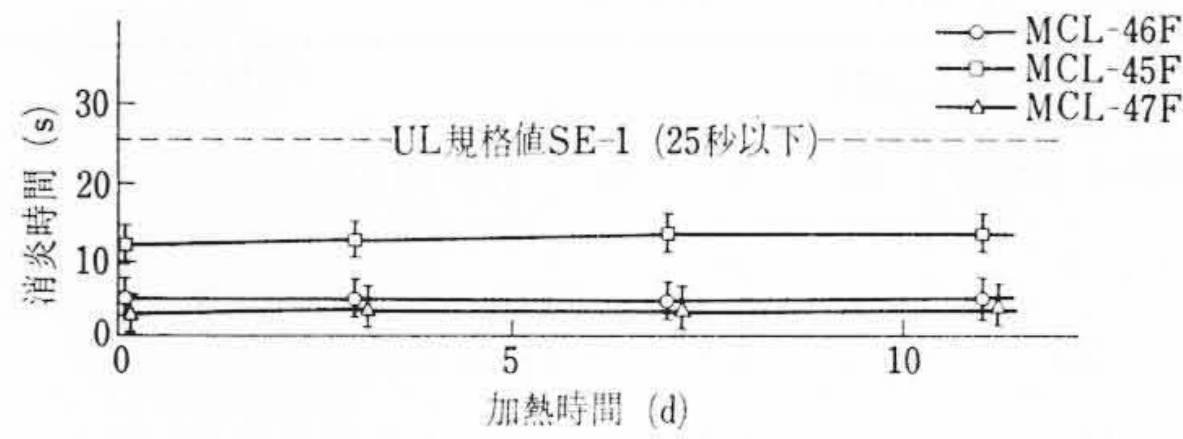


図1 加熱(70°C)処理による耐燃性の変化

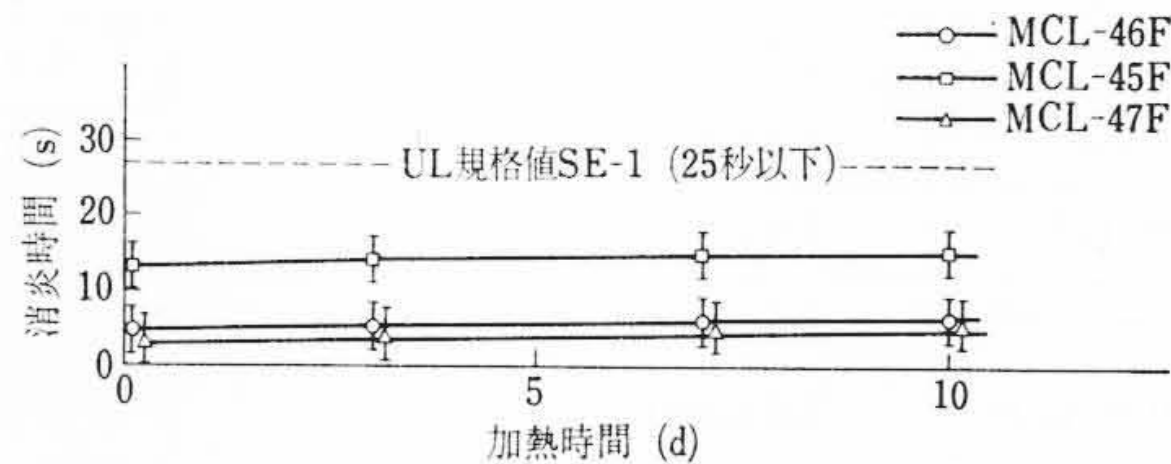


図2 加熱(140°C)処理による耐燃性の変化

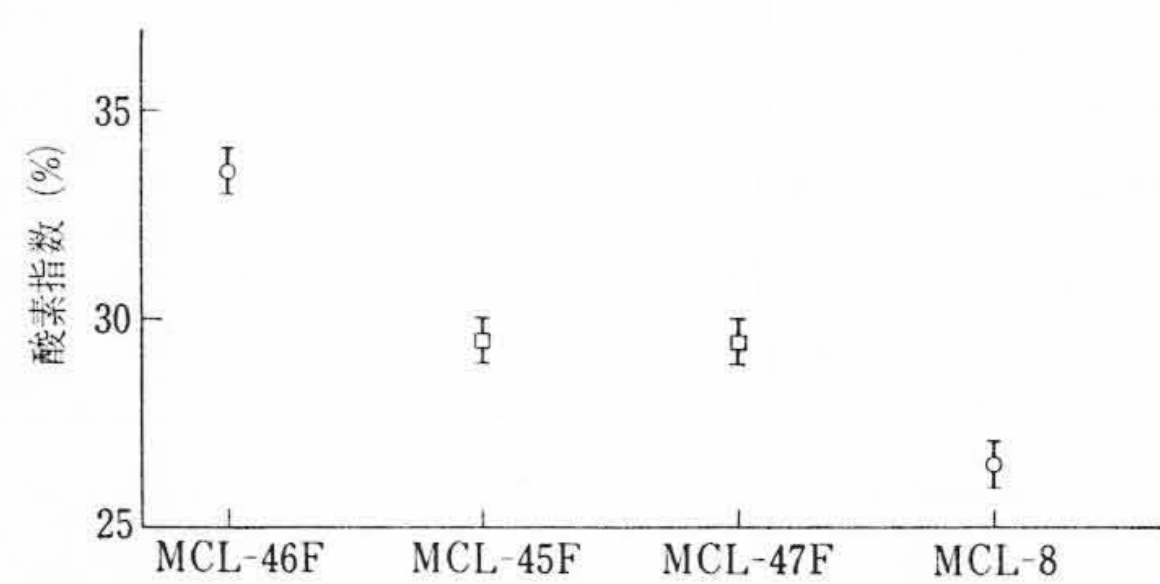


図3 耐燃性 MCL および MC-8 の酸素指数

を採用して試験片を強制劣化後試験を行なった。

機器が高温下にさらされることを考え、試料を70°Cと140°Cの恒温気中に放置し各時間ごとに取り出して室温まで放冷して、耐燃性と処理時間との関係を求め結果を図1, 2に示した。図から明らかなように、これら耐燃性紙フェノール MCL は UL 規格 SE-1⁽⁵⁾ をじゅうぶん満足し、またいずれの処理でもその耐燃性はほとんど変化せず、安定した性能をもっている。

(2) 酸素指数法⁽¹⁷⁾

表3の耐燃性 MCL および一般 MCL の代表として MCL-8⁽²⁾ を受理常態で試験した結果を図3に示した。この図から耐燃性 MCL の中では MCL-46 F が最も高い酸素指数を示していることがわかる。当然のことであるが一般 MCL は耐燃性 MCL より酸素指数は低い値を示している。

4.1.2 はんだ耐熱性

印刷配線板に加工された MCL に部品を搭載(とうさい)してはんだ付け作業を行なう場合、最近セットメーカーでははんだ温度を高くして短時間に能率よく作業する傾向にある。

そこではんだ温度と MCL のはんだ耐熱性の関係を試験し、その結果を図4に示した。この結果、各 MCL のはんだ耐熱性ははんだ温度が高くなると急激に低下する傾向にある。したがって高温ではんだ温度の管理にはじゅうぶんに留意する必要があることがわかる。

また、これら耐燃性 MCL は消炎剤を使用した MCL であるにもかかわらず一般 MCL と同等の特性を持っていることがわかる。

4.1.3 引きはがし強さ

MCL が高温下で連続使用されることを想定して連続加熱による引きはがし強さの変化を検討した。

UL は多くの実績から一般の常用温度に対する評価の式⁽²⁰⁾⁽²¹⁾

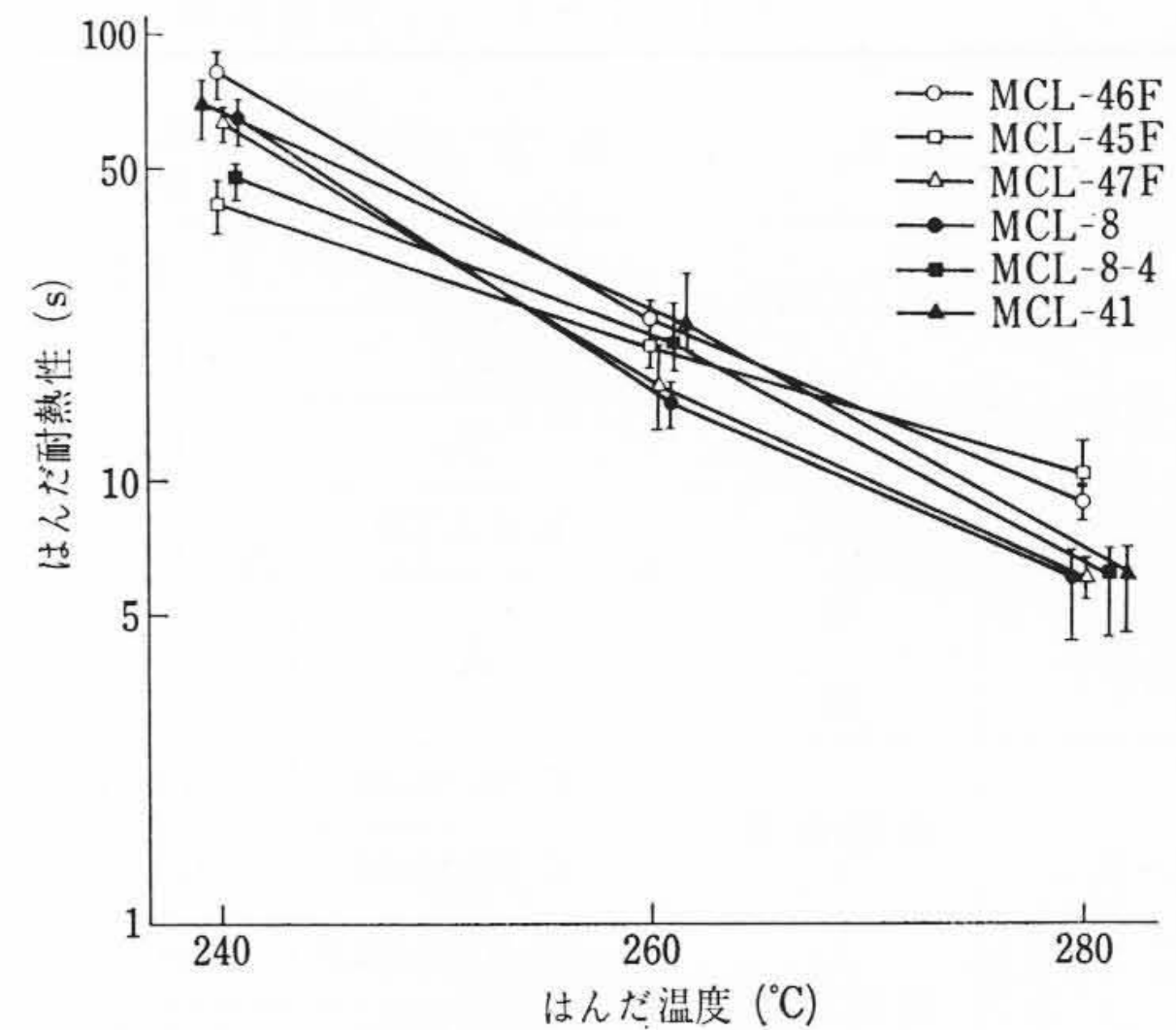


図4 はんだ耐熱性の温度特性

として、(1)式および(2)式によってエイジングの温度を設定している。

56日間試験では

$$T = 1.02(R + 15 + 273) - 273 \dots\dots\dots (1)$$

10日間試験では

$$T = 1.076(R + 15 + 273) - 273 \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 T : 恒温そうの温度 (°C)

R : 印刷配線板用材料としてすでに認定されている温度 (°C)。紙フェノール MCL の場合は 105°C 以下。

R が 105°C のとき、この(1)式によって T は 128°C、(2)式によって T は 150°C となる。このことより UL は 128°C 56日処理後の引きはがし強さの規格値を 0.18 kg/cm 以上、150°C 10日処理後の引きはがし強さの規格値を 0.36 kg/cm 以上と規定している。

そこで銅ハク幅 0.8 mm と 1.6 mm の試料を 128°C と 150°C の高温気中に放置し引きはがし強さの経日変化を求めて図示したのが図5~8である。これらの図から明らかなように連続加熱によって引きはがし強さは各品種とも多少低下する傾向にあるが、UL 規格値をじゅうぶん満足している。また耐燃性 MCL の引きはがし強さの低下の傾向は一般 MCL と比べてほぼ同じであり、一般 MCL の過去の使用実績を考えると長期間支障なくじゅうぶん使用できると考えられる。

4.1.4 曲げ強さ

MCL の機械的性質には一般に曲げ強さ、衝撃強さ、引張り強さおよびこれらの弾性率がある。これらの中で NEMA 規格および JIS で規定されている曲げ強さについて、試料を 130°C と 150°C の気中に放置後取り出して約 30 日間の変化を求めた。その結果、図9, 10に示したように一般 MCL と耐燃性 MCL の間に大差はなく、安定した性能を有している。

4.1.5 打ち抜き加工性

フェノール樹脂積層板の物性と打ち抜き加工性との関係について現在までいろいろな研究^{(22)~(25)}がなされているが、まだ明確な関係は見いだされていないようであり、打ち抜き加工性の判定は実際に打ち抜き加工されたものの外観を肉眼で観察して判定する方法が一般に行なわれ、ASTM 法⁽²⁶⁾が試験方法として有名である。表6はこの方法で打ち抜きを行なった結果を示したものである。

次に最近では機器の小形化、部品実装の高密度化に伴って MCL の配線図形は打ち抜き加工の3原則⁽²⁷⁾よりきびしい条件で加工される場合が多いので、打ち抜き穴径、打ち抜き穴間隔を定量的

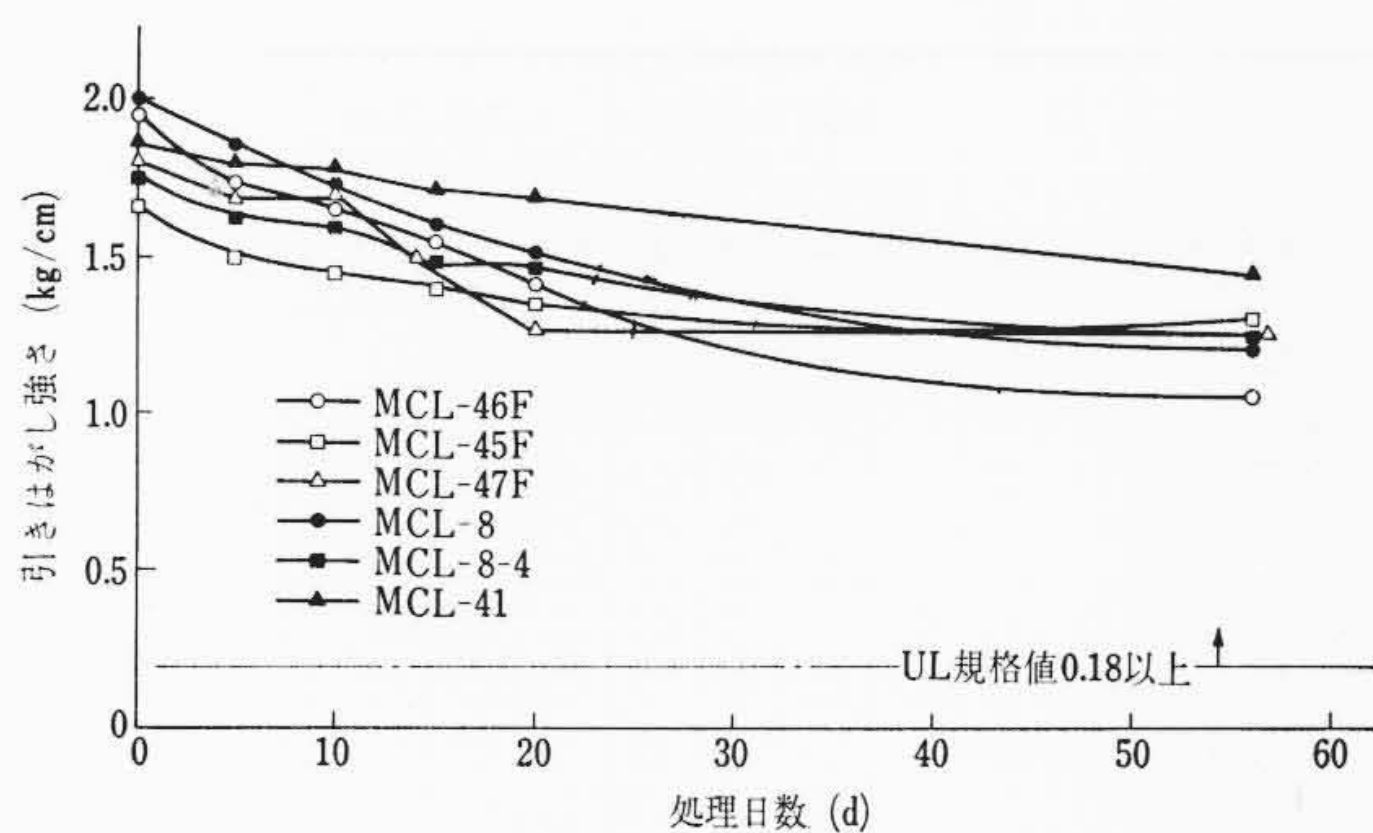


図5 加熱(128°C)処理による引きはがし強さの変化(銅ハク幅 0.8 mm)

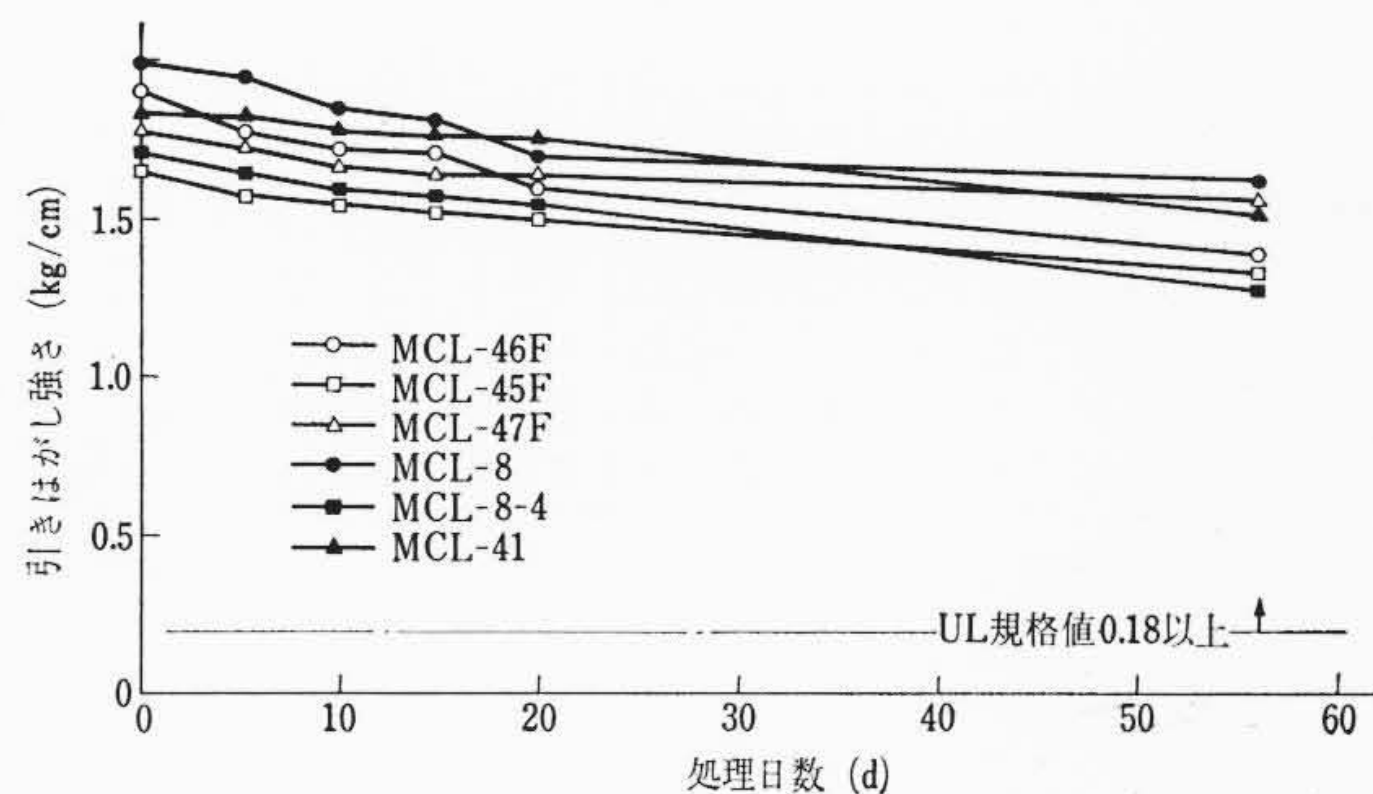


図6 加熱(128°C)処理による引きはがし強さの変化(銅ハク幅 1.6 mm)

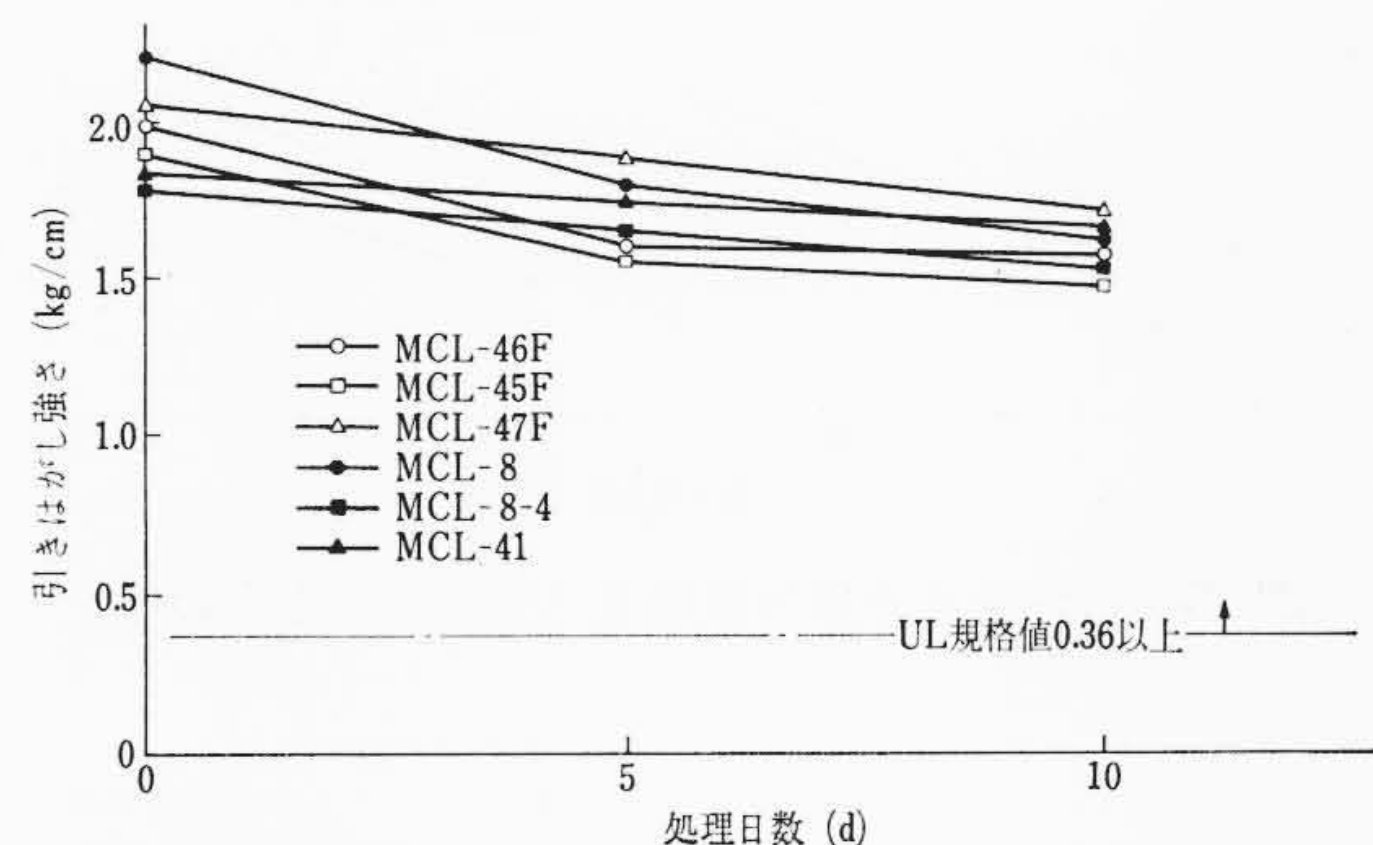


図7 加熱(150°C)処理による引きはがし強さの変化(銅ハク幅 0.8 mm)

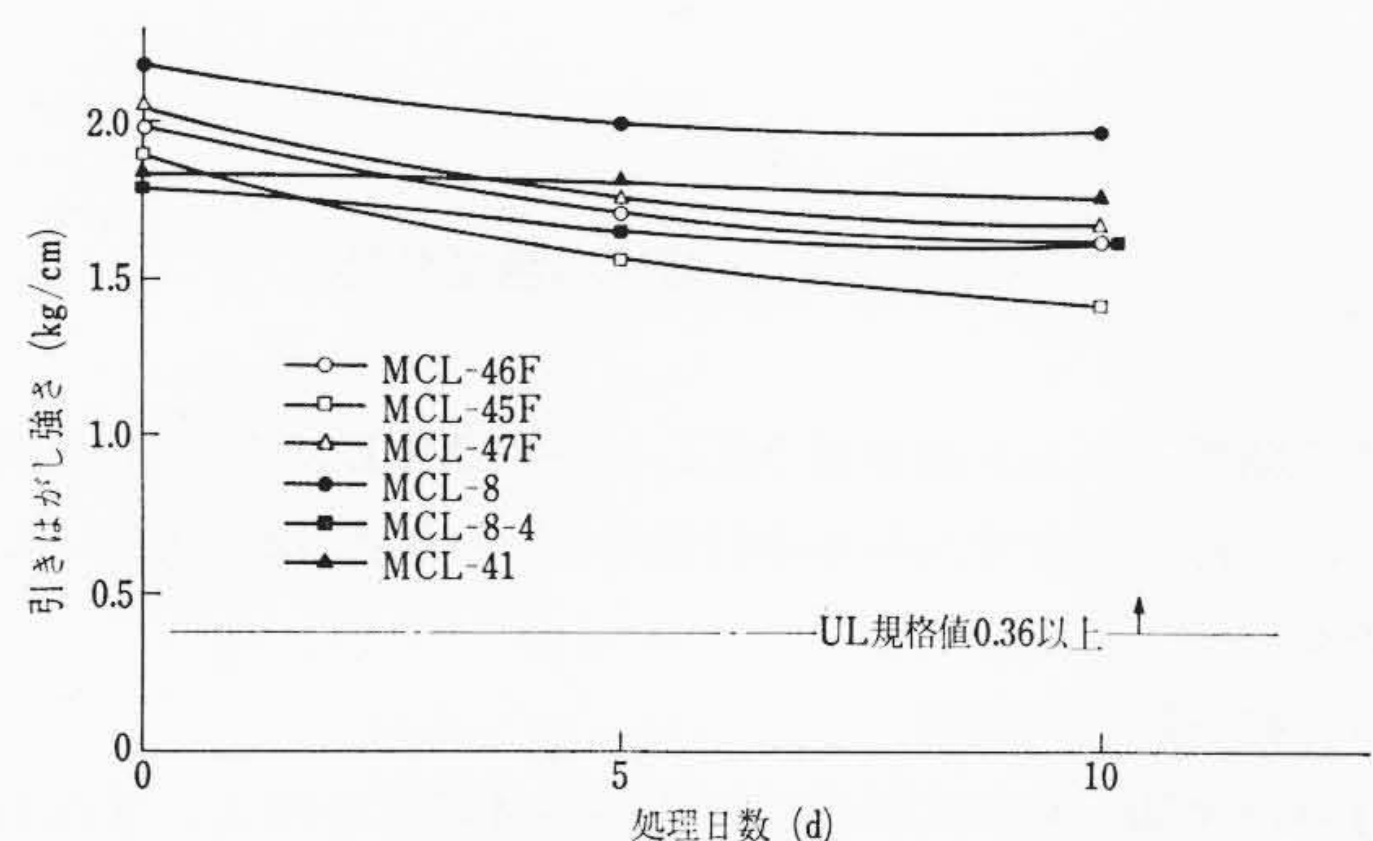


図8 加熱(150°C)処理による引きはがし強さの変化(銅ハク幅 1.6 mm)

に変わって設計した、図11に示す日立試験金型によって試験した。

表7はその結果を示したものである。

この表から最適打ち抜き条件は、MCL-47Fでは約80~100°C、

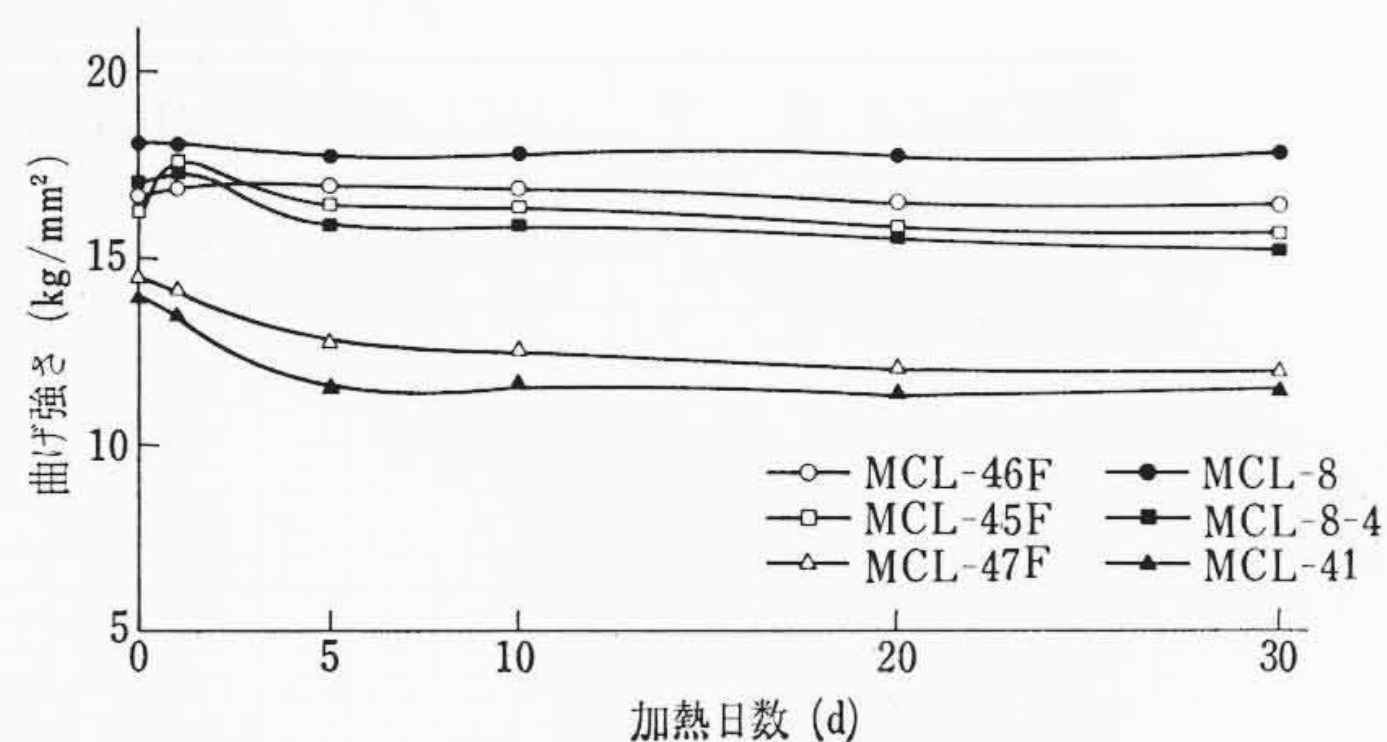


図9 加熱(130°C)処理による曲げ強さの変化

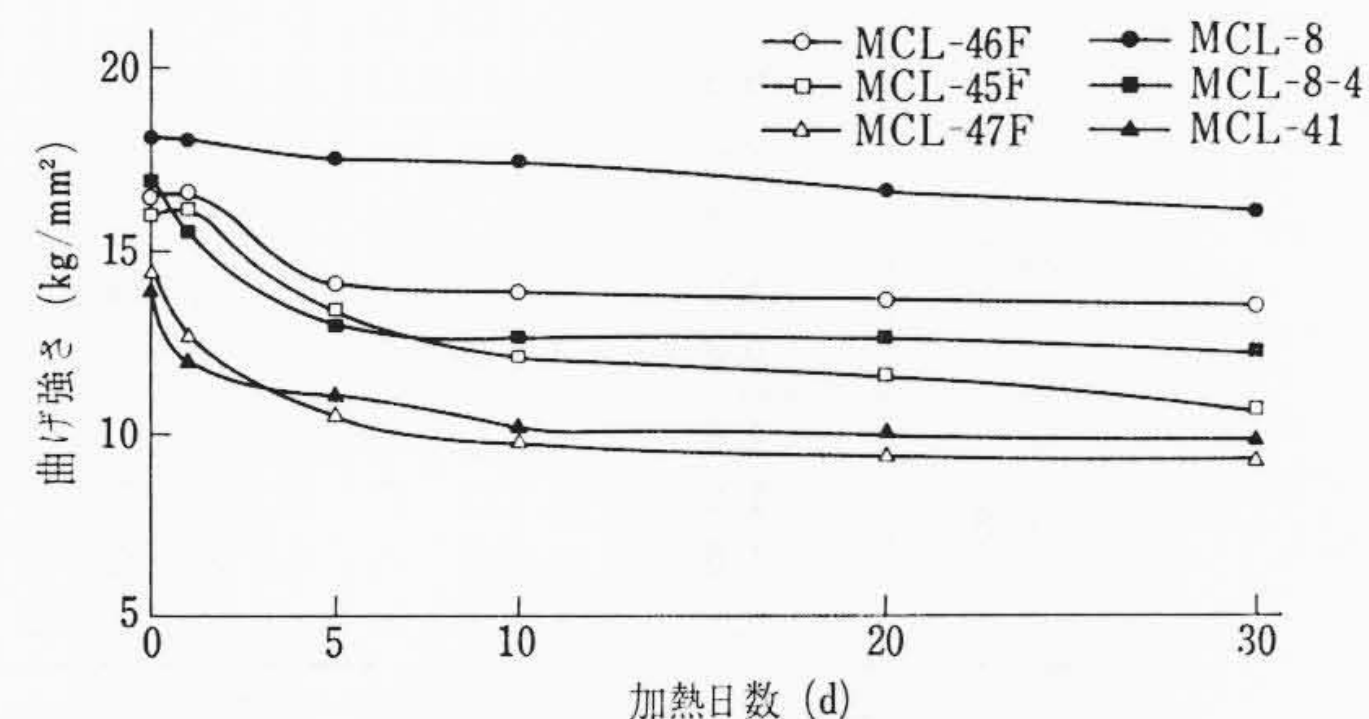


図10 加熱(150°C)処理による曲げ強さの変化

表6 ASTM 試験金型による打ち抜き加工性

品 種	加熱温度(°C)*	常温	50	80	110	140	170	200
	20							
MCL-47F	80	80	80	70	70	50	50	
MCL-45F	50	70	70	80	80	70	50	
MCL-46F	30	50	50	70	80	80	80	
MCL-41	70	80	80	80	70	50	50	
MCL-8-4	50	70	70	80	70	70	50	
HCL-8	50	50	50	50	60	70	80	

(注) *: 加熱条件: 3分加熱後取り出し 10秒以内に打ち抜いた。

**: 単 位: 点/100点

MCL-45Fでは約140~160°C, MCL-46Fでは約180~200°Cであることがわかる。

4.1.6 寸 法 収 縮

(1) 打ち抜き寸法収縮率

MCLを予備加熱した後、打ち抜くと金型の寸法より短く仕上がる。この原因にはMCLの熱膨張収縮と加熱に起因するMCL自体の放湿と後硬化による収縮の二つがあり、これらを総合して打ち抜き収縮と呼んでいる。

これを小さくするにはMCLを常温で打ち抜き加工することが最も好ましいが、MCL自体の他の機械的特性および金型の寿命などの関係から一般にMCLにあらかじめ低温加熱(100°C以下)

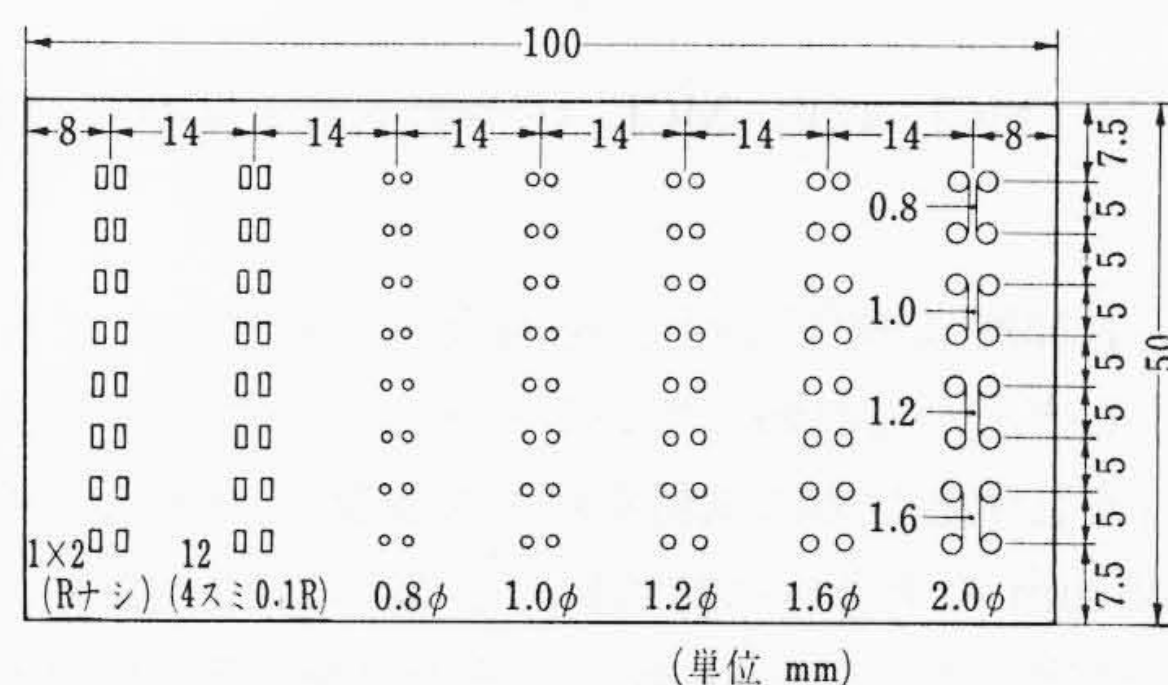


図11 日立試験金型

表7 日立試験金型による打ち抜き加工性*

穴径 (mm)	品 種 加熱温度** (mm) (°C)	MCL-47F				MCL-45F				MCL-46F				MCL-41				MCL-8-4				MCL-8			
		60	80	100	120	120	140	160	180	140	160	180	200	60	80	100	120	120	140	160	180	140	160	180	200
2.0	1.6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
1.6	1.6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
1.2	1.6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○
	1.2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○
	1.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	△	×	×	○	○
	0.8	○	○	○	△	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	△	△	○	○	△	×	×	×	○	○
1.0	1.6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	×	×	○	○
	1.2	○	○	○	△	△	○	○	△	△	△	○	○	○	○	○	△	△	○	△	×	×	×	△	○
	1.0	△	○	○	×	△	△	○	△	△	△	○	○	○	○	△	△	△	△	△	×	×	×	△	○
	0.8	×	△	△	×	×	×	△	×	×	×	△	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
0.8	1.6	○	○	○	△	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	×	×	△	○	○
	1.2	△	○	○	△	△	○	○	×	△	△	○	○	○	○	△	△	△	△	○	×	×	△	○	○
	1.0	×	△	△	×	×	△	○	×	△	△	△	○	△	×	×	×	×	×	△	×	×	△	△	○
	0.8	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	△	△	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×	×

(注) *: ○: 外観に異常ないことを示す。
△: わずかな変色またはひび割れのあることを示す。
×: 著しい変色, クラックのあることを示す。
**: MCLの打ち抜き加工前の予備加熱時間は3分である。

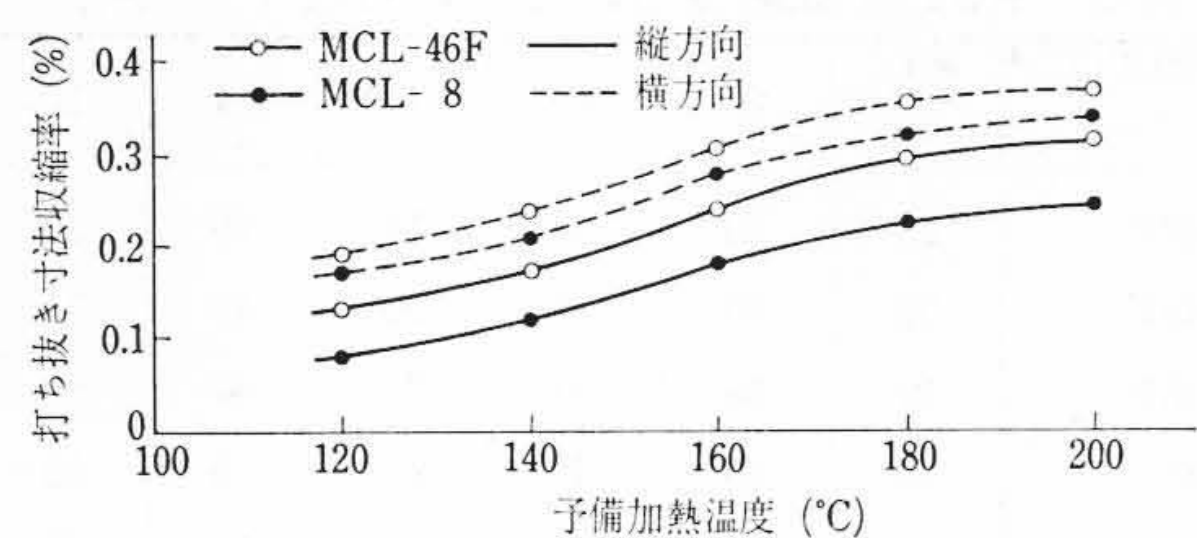


図12 MCL-46F, MCL-8の打ち抜き寸法収縮率

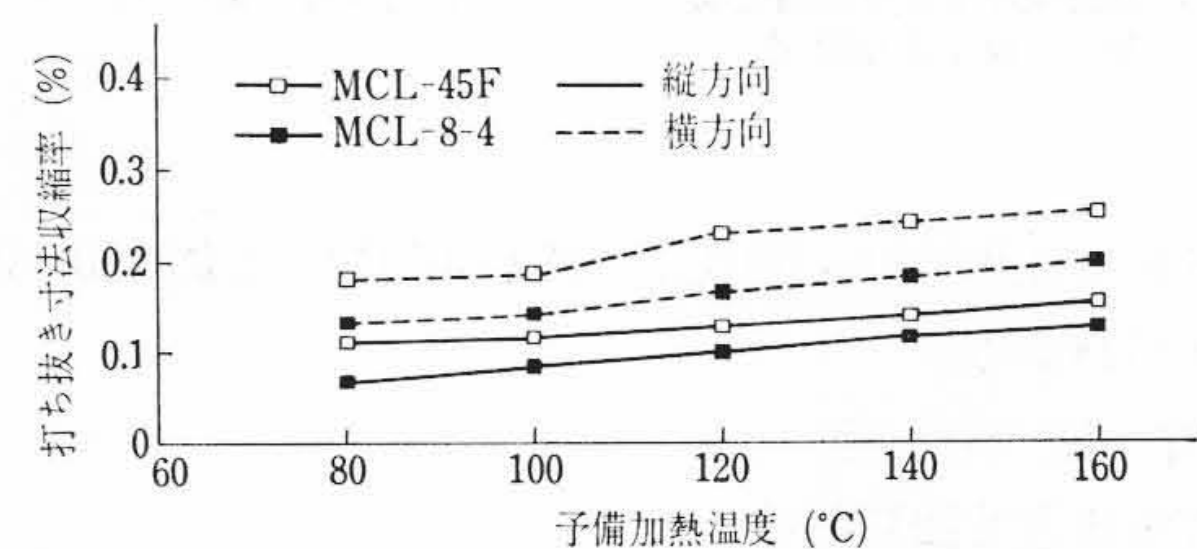


図13 MCL-45F, MCL-8-4の打ち抜き寸法収縮率

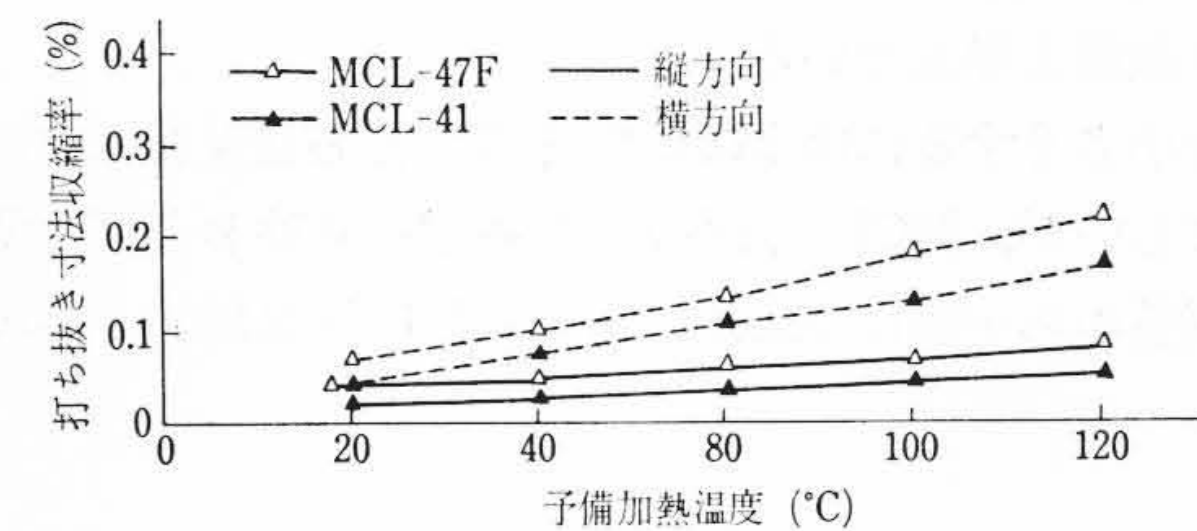


図14 MCL-47F, MCL-41の打ち抜き寸法収縮率

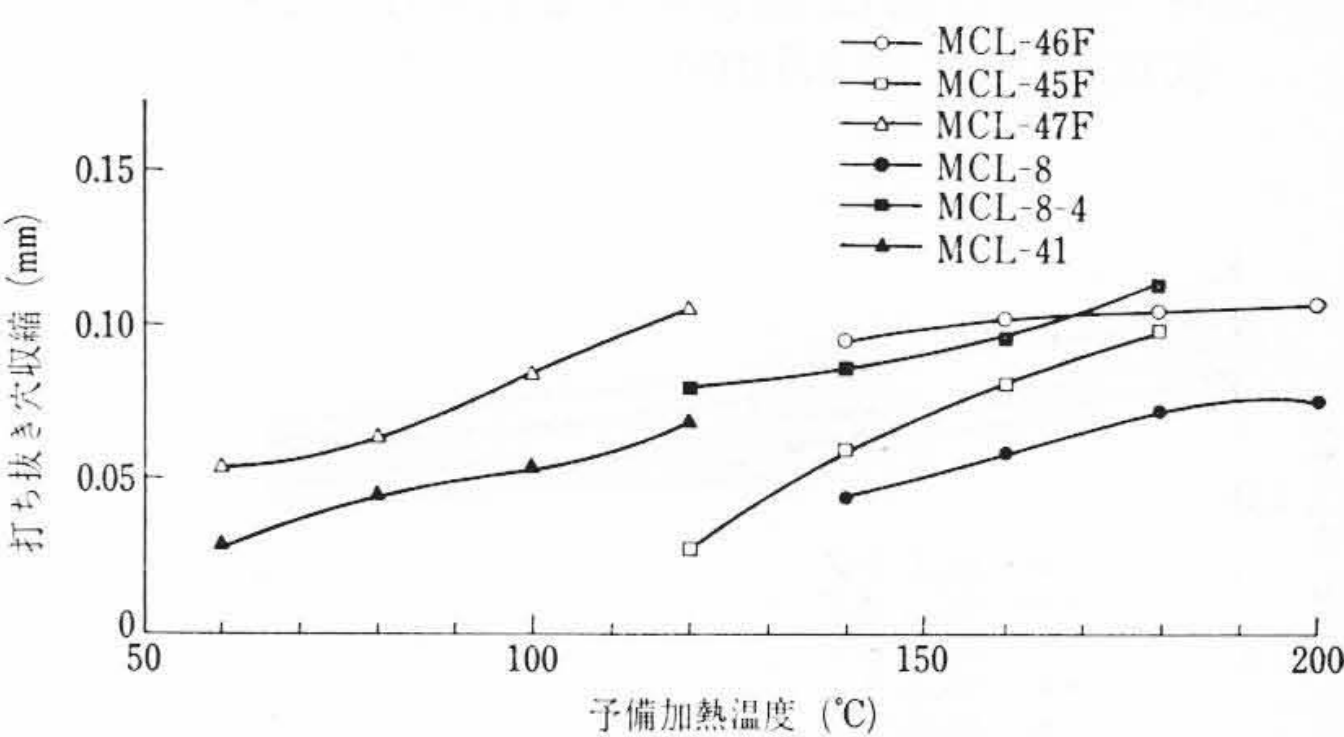


図15 打ち抜き予備加熱温度と穴収縮(穴径1.0φ)

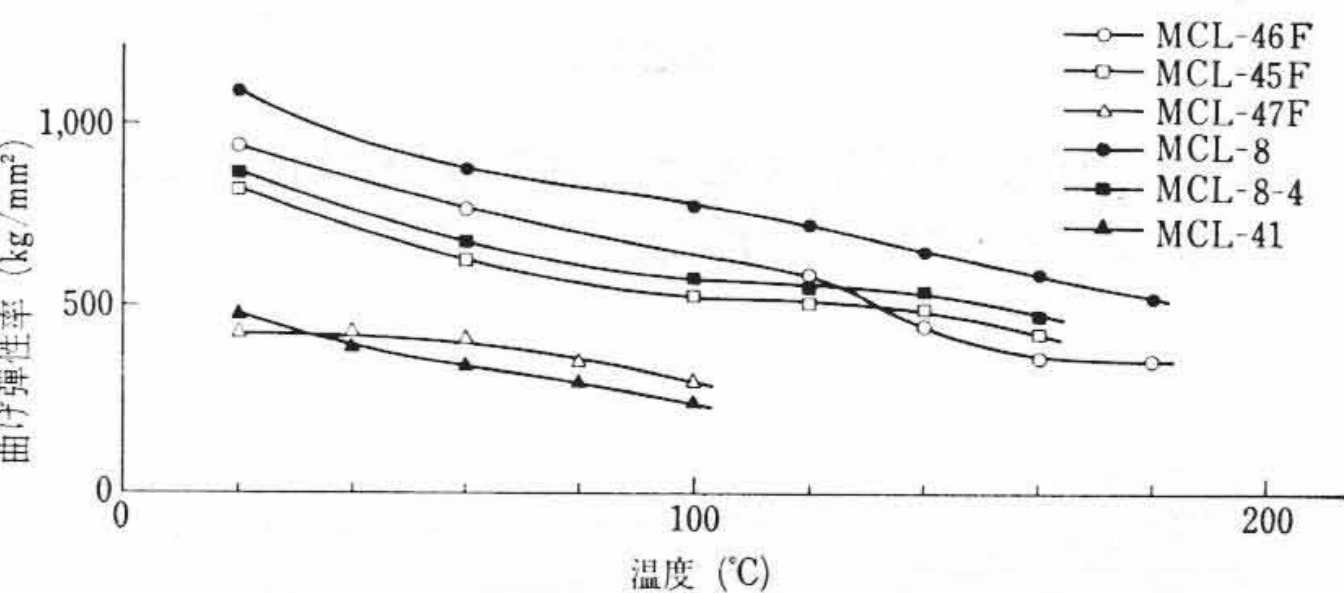


図16 曲げ, 弾性率温度特性

この結果によると耐燃性 MCL は一般 MCL に比較して同じ温度では, 打ち抜き寸法収縮率は約 0.02~0.05% ほど大きいことがわかる。

(2) 打ち抜き穴収縮

打ち抜き加工時の穴収縮はゴム弾性体に近いほど, すなわち打ち抜き予備加熱温度における曲げ弾性率が小さいほど穴収縮は大きくなる傾向にある。そこで図 11 の金型で打ち抜いた試料の 1.0 φ の穴径について 1/1,000 mm の精度の座標投影機を使用して穴収縮を測定した。その結果は図 15 に, また曲げ弾性率温度特性は図 16 に示すとおりである。これらの図から曲げ弾性率の小さい, すなわち予備加熱温度が高くなるにつれて打ち抜き穴収縮は大きくなる傾向にある。また耐燃性 MCL は前述の最適打ち抜き条件

または高温加熱 (100°C 以上) を行なったのち, ただちに打ち抜き加工する方法が行なわれている。そこで金型設計と加工工程の作業の目安とするために試料を打ち抜き加工できる温度に加熱して 75×45 mm の大きさに打ち抜ける金型で打ち抜き, 長手方向 75 mm を基準に収縮率を求めた。その結果は図 12~14 に示すとおりである。

表8 そり・ねじれ試験片*の処理および測定条件

処理工程	処 理 条 件	測 定 条 件
A: 受理状態	無 処 理	空調室内(20℃ 65% RH)で測定する。
B: エッチング後、水洗	塩化オニ鉄水溶液(40°Be)でエッチングによりJIS C6481に準じて所定の回路を作り、水洗後綿布で水をじゅうぶんにふきとる。	空調室内(20℃ 65% RH)に30分放置後測定する。
C: 乾 燥	80℃ 1時間乾燥する。	空調室内(20℃ 65% RH)に60分放置後測定する。
D: はんだ処理	260℃ の溶融はんだ浴の上に銅ハク面を下にして5秒間浮かべる。	空調室内(20℃ 65% RH)に60分放置後測定する。

(注) *: 試験片寸法 93×180 (mm)

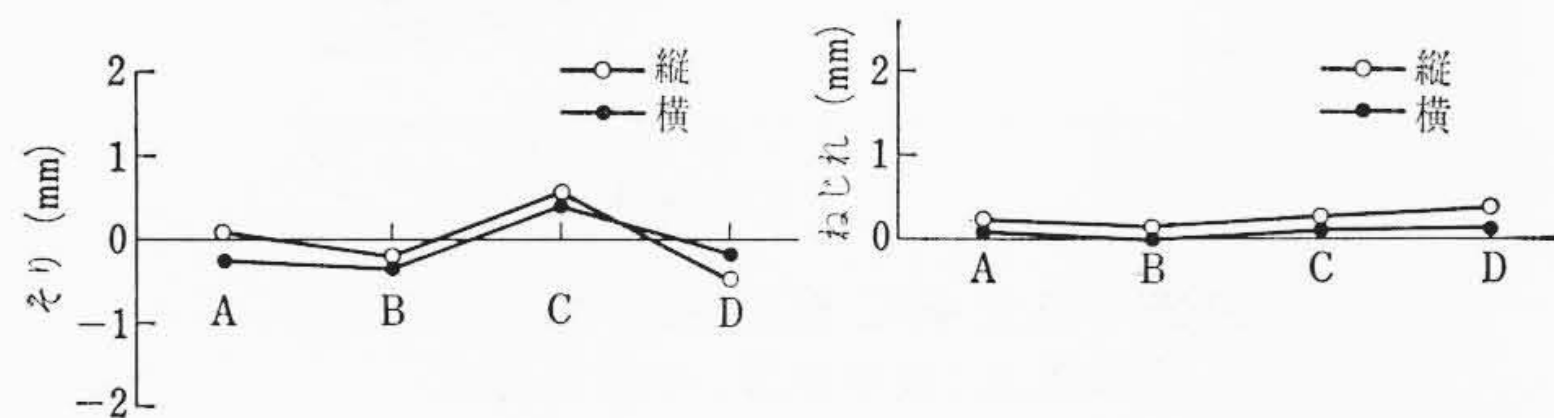


図17 MCL-46Fのそり・ねじれ

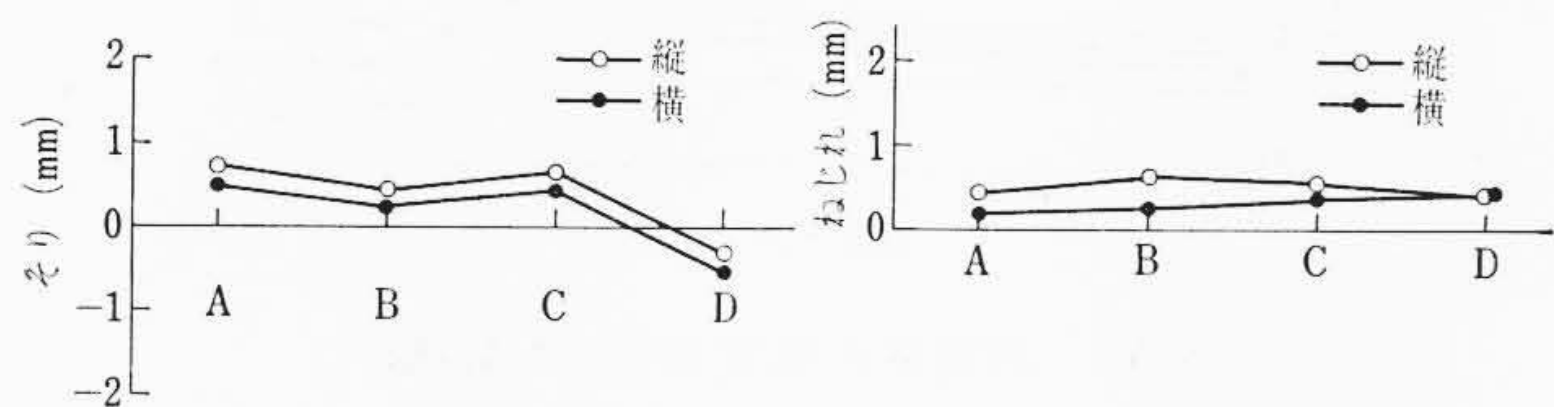


図18 MCL-45Fのそり・ねじれ

の温度で約0.05～0.1 mmの穴収縮を生じていることがわかる。

4.1.7 そり・ねじれ

MCLのそり・ねじれの試験方法としては電気通信研究所発行の「DEX-2用印刷回路銅張り積層板技術資料⁽²⁸⁾(第2版)」に定められた方法に従って試験した。すなわちそりは試験の長手方向(180 mm)で測定し、ねじれは2方向の対角線方向のそりを測定し、その各々の値の差の絶対値で表わした。また試験片は基材の繊維方向と試験片の長手方向とが平行(縦方向と呼ぶ)あるいは直角(横方向と呼ぶ)方向に切り出し、表8に示した各処理条件で処理後測定した結果を図17～22に示した。これらの図によると耐燃性MCLは一般MCLと同じく加工によるそり・ねじれの変動少なく、今後ますます発展が予想されるMCLの自動加工、部品の自動そう入に好都合である。

4.2 電 気 的 性 質

4.2.1 絶 縁 抵 抗

MCLを使用した機器が高湿度状態で使用されることを想定して、短時間に耐湿性を試験するために、100℃水中に2時間浸せきする処理を繰り返し、煮沸による絶縁抵抗の劣化試験を行なった。その結果は図23に示すとおりである。また23℃の水中にMCLを長時間浸水して吸水率の変化を求め結果を図24に示した。これらの図によると耐燃性MCLは一般MCLのそれぞれJISの同じ等級のものに比べて劣化の程度は同じかまたはむしろ少なくすぐれた性能を有している。またこれらのMCLは5回煮沸後においてJISの各等級の1回煮沸後の規格値より高い値を示していることおよび一般MCLが実用上支障なく使用されていることを考えると耐燃性MCLは全く問題なく実用に耐えるものであることがわかる。

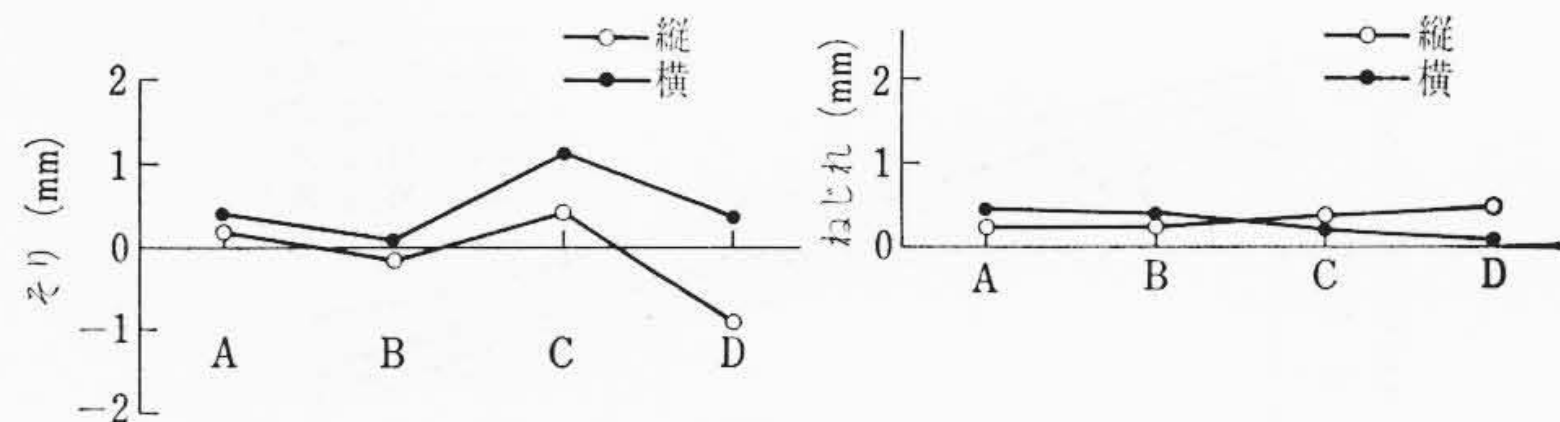


図19 MCL-47Fのそり・ねじれ

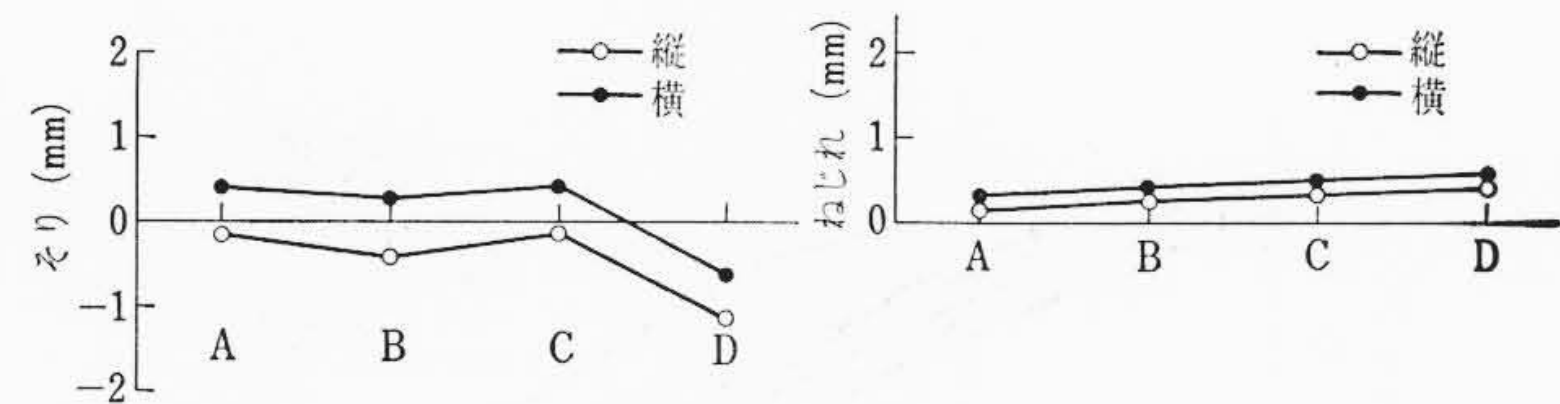


図20 MCL-8のそり・ねじれ

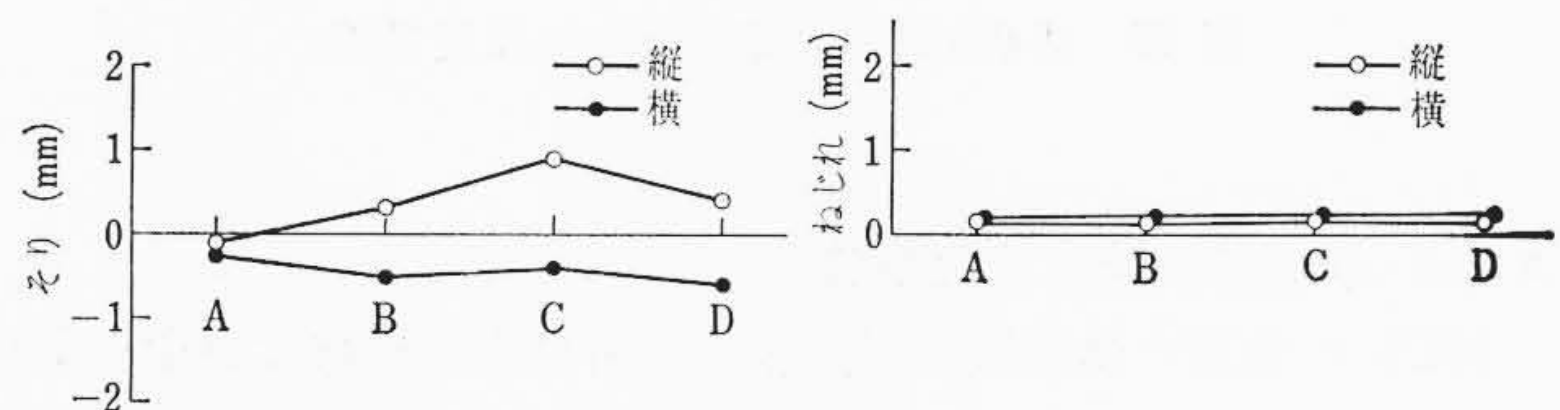


図21 MCL-8-4のそり・ねじれ

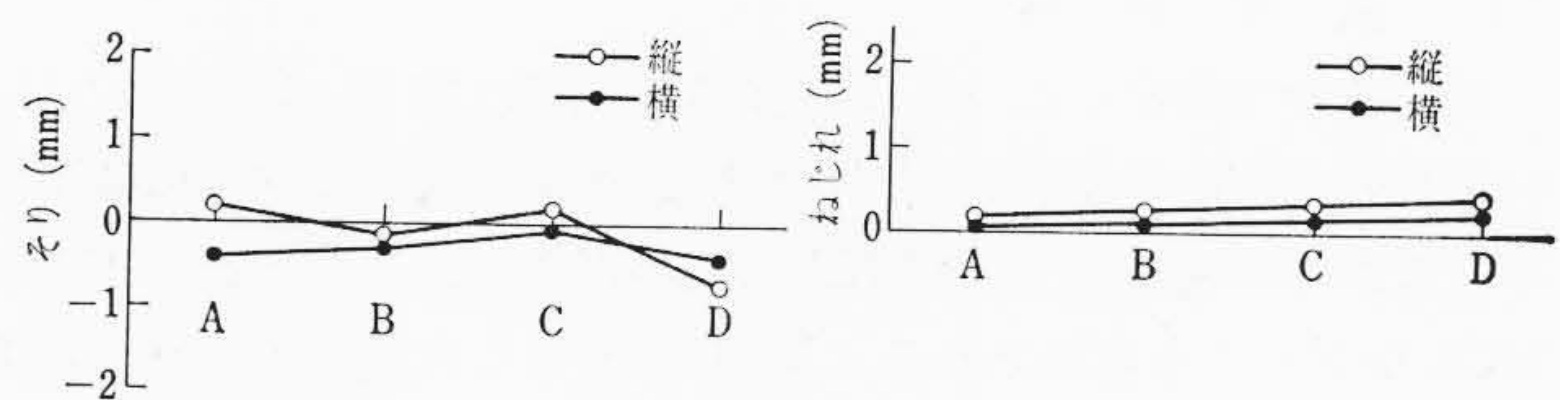


図22 MCL-41のそり・ねじれ

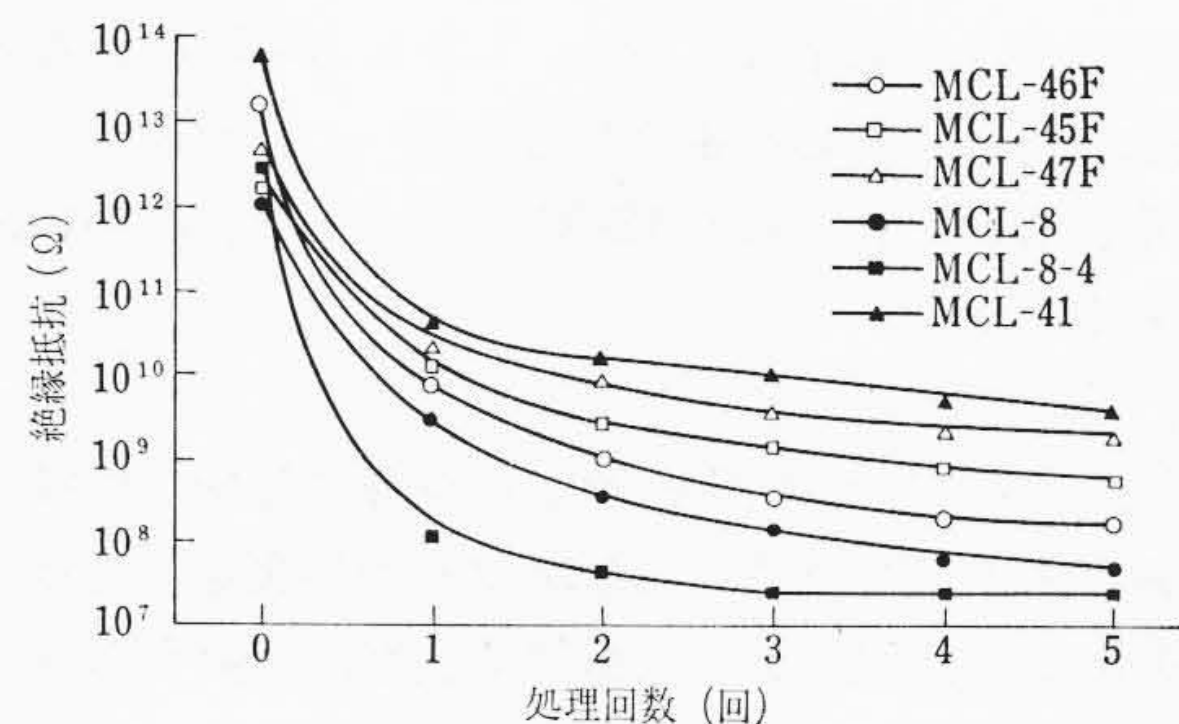


図23 繰返し煮沸による絶縁抵抗の変化〔処理：n(D-2/100)〕

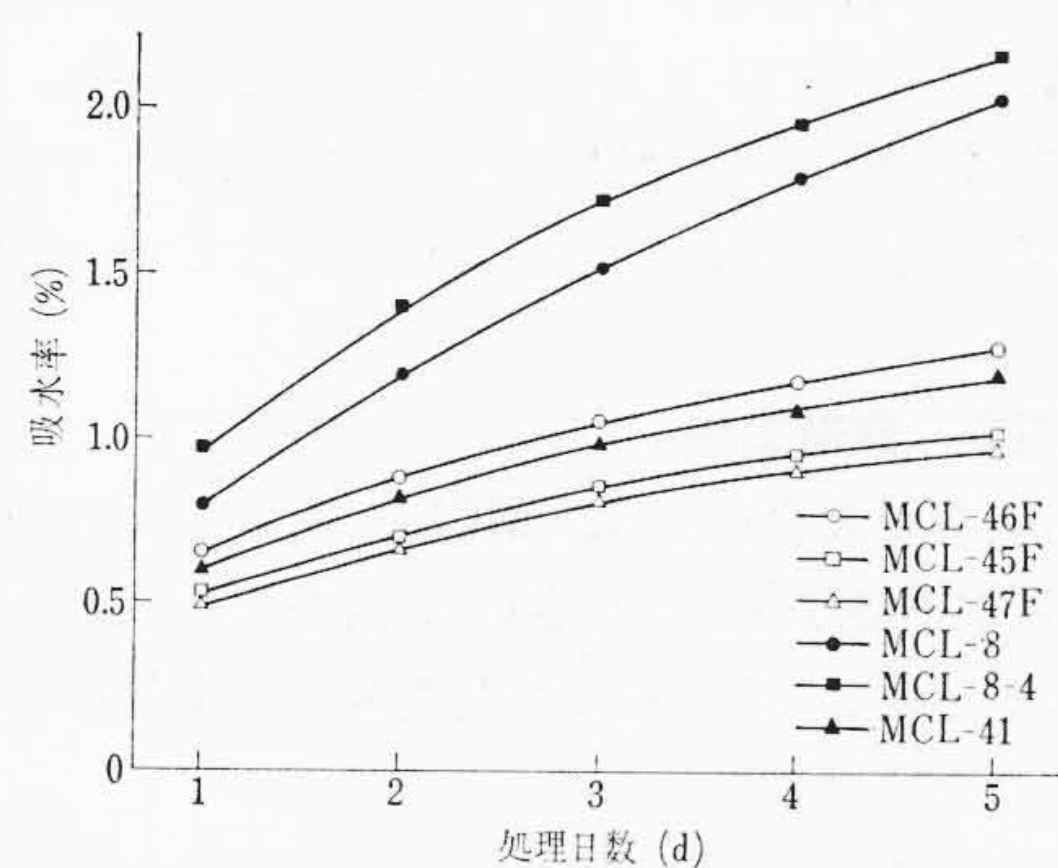


図24 蒸溜水(23℃)浸水処理による吸水率の変化

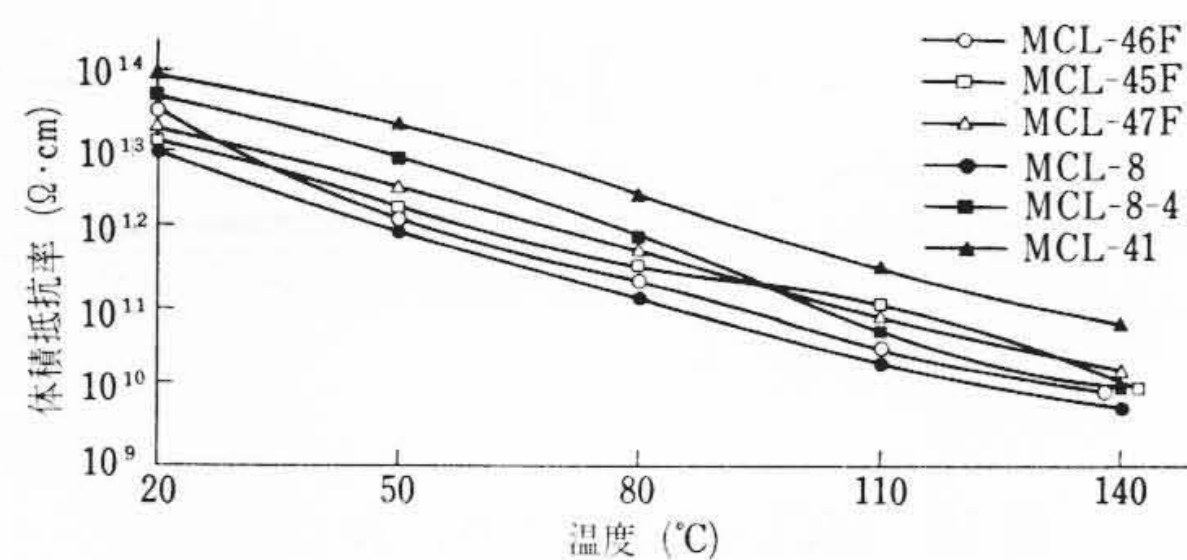


図 25 体積抵抗率の温度特性

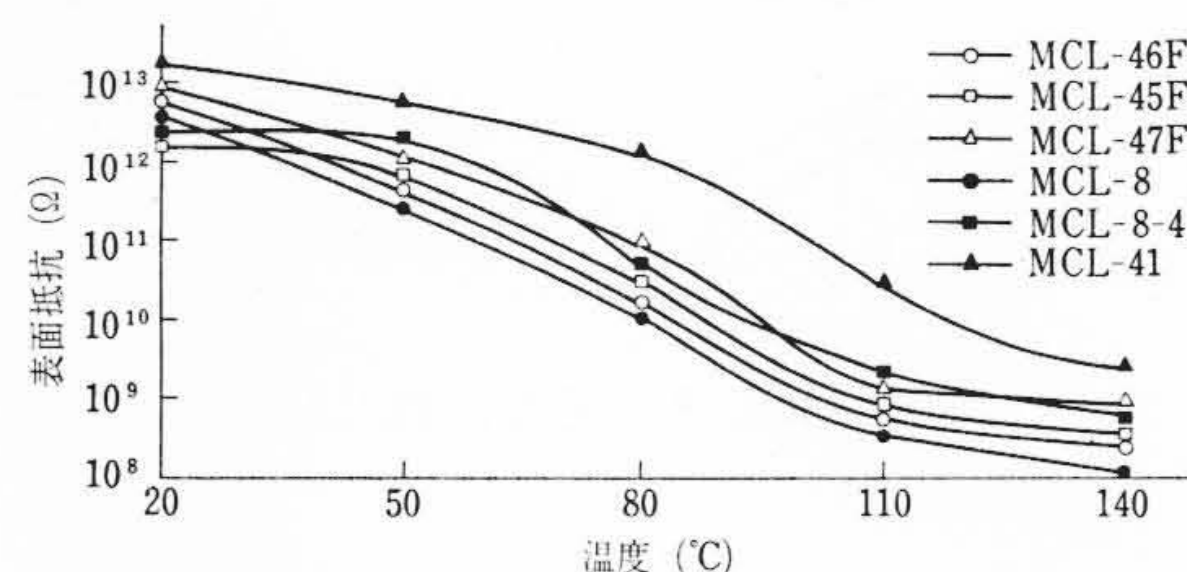


図 26 表面抵抗(接着剤面)の温度特性

4.2.2 体積抵抗率, 表面抵抗

MCL の基板の体積抵抗率, 接着剤層の表面抵抗はいずれも高温下, 高湿度下における数値が高く, 低下率の少ないことが望まれる。そこでこれらの温度特性⁽²⁾と高湿度下の経日変化を検討した。

(1) 温度特性

高温気中で測定した MCL の体積抵抗率は図 25 に示すように, いずれの MCL も温度が上昇すると体積抵抗率は徐々に低下する。これらの現象は他の MCL (紙エポキシ, ガラス布エポキシ MCL など) にも認められる。MCL を使用した機器の内部の温度上昇は過去の経験から一応 120°C 以下と考えられるが, この温度で各 MCL とも体積抵抗率は $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ を保持している。

MCL の接着剤面の表面抵抗を高温下で測定し, その温度特性を図 26 に示した。体積抵抗率と同様に温度が上昇するにつれて表面抵抗は徐々に低下している。しかし MCL の接着剤はフェノール樹脂積層板にまさる電気特性を持っている^{(29)~(31)} ために機器の温度上昇が考えられる 120°C 付近でいずれの MCL も $10^8 \Omega$ 以上を保持している。

(2) 吸湿特性

MCL を温度 40°C, 相対湿度 90% の条件で処理して吸湿による体積抵抗率の変化を求めた。図 27 はその結果を示したものである。各 MCL とも吸湿によって体積抵抗率は漸減するが, 20 日処理後において $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上を保持している。

同じ条件で表面抵抗の変化を試験した結果は図 28 に示すとおりである。図からわかるように MCL の表面抵抗は MCL の接着剤が電気特性, 耐湿性にすぐれているため, 20 日処理後においていずれの MCL も $10^{10} \Omega$ 以上の高い値を示している。

以上, 電気絶縁性の温度特性, 吸湿特性において耐燃性 MCL は一般 MCL に比べてほぼ同等の特性を示しているため, 実用上問題ないと考えられる。

4.2.3 誘電率, 誘電正接

高度の性能を要求する機器に MCL を使用する場合には, MCL の誘電率, 誘電正接は数値が小さいこと, 各周波数において変動の少ないことが必要となる。そこで誘電率, 誘電正接の温度特性⁽²⁾と周波数特性を検討した。

(1) 温度特性

1 MHz における誘電率の温度による変化は図 29 に, 誘電正接

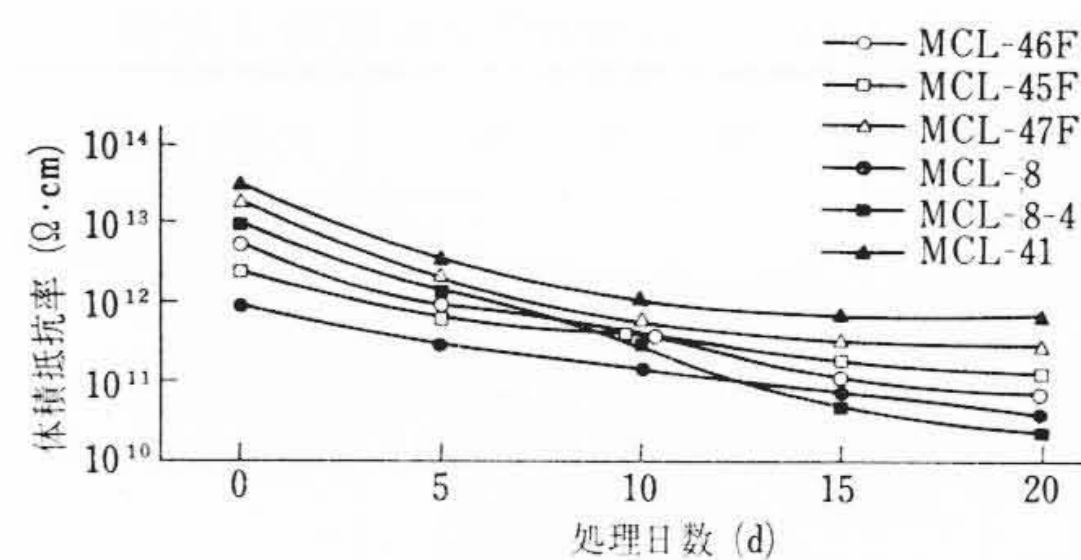


図 27 温度 40°C 湿度 90% 処理による体積抵抗率の経日変化

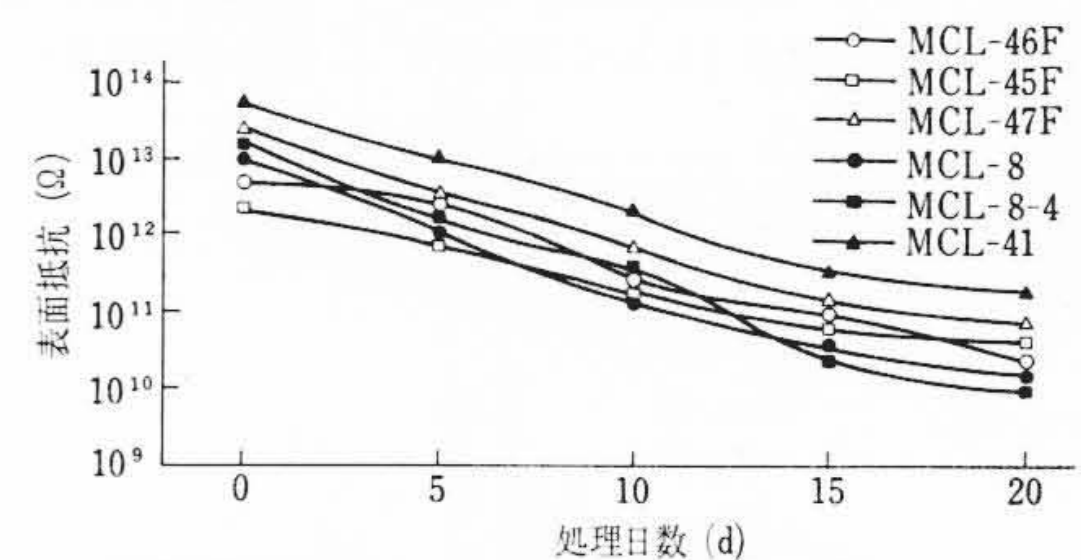


図 28 温度 40°C 湿度 90% 処理による表面抵抗(接着剤面)の経日変化

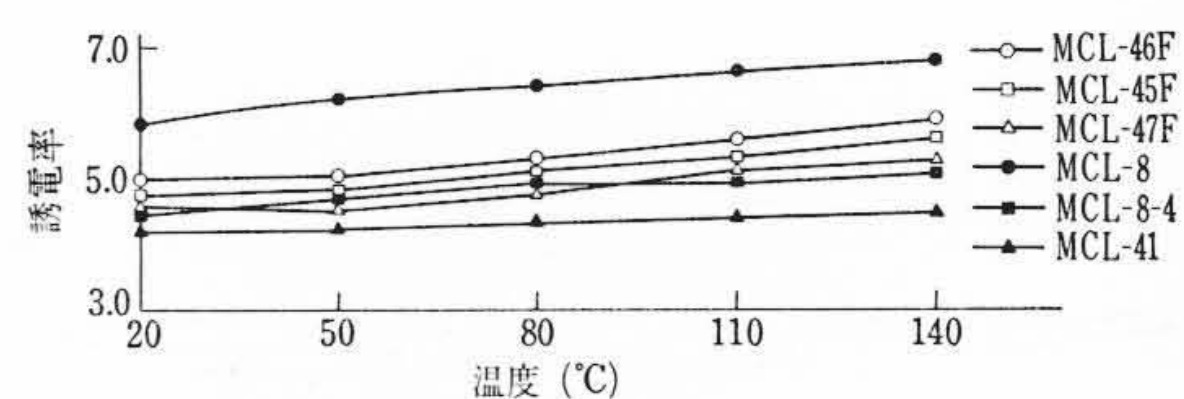


図 29 誘電率の温度特性 (1 MHz)

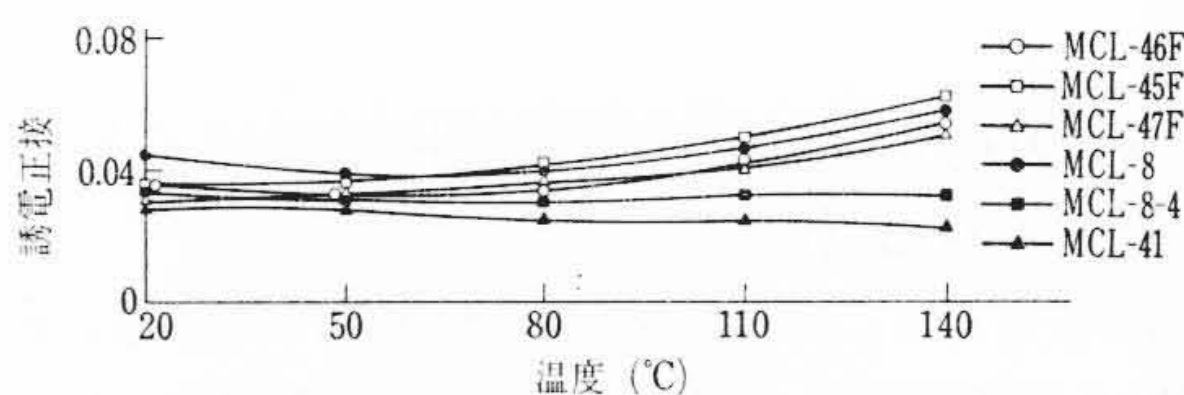


図 30 誘電正接の温度特性 (1 MHz)

のそれは図 30 に示すとおりである。

誘電率は各 MCL とも温度の上昇につれてやや大きくなる傾向にある。耐燃性 MCL と一般 MCL に分けてそれぞれのグループの中で比べると JIS の等級の順に並ぶことがわかる。これらの MCL の中で MCL-41 は最も誘電率にすぐれている。

誘電正接においても誘電率と同様に温度の上昇につれてやや大きくなる傾向にあるが, MCL-41 だけは例外で温度上昇に伴って誘電正接は小さくなっている。耐燃性 MCL と一般 MCL を JIS の同じ等級で比べると MCL-46 F は MCL-8 よりやや小さい誘電率および誘電正接を示しているが, MCL-45 F は MCL-8-4 より, MCL-47 F は MCL-41 よりやや大きい値を示している。

(2) 周波数特性

室温 20°C で周波数を 1 kHz から 100 MHz まで変えて誘電率を試験した結果は図 31 に, 誘電正接を試験した結果は図 32 に示すとおりである。これらの結果から高周波領域になるにつれて各品種とも誘電率は小さくなるが, 誘電正接は大きくなる傾向にある。

耐燃性 MCL と一般 MCL の比較では前項 (1) の温度特性の場合と同様なことがいえる。

4.2.4 電食試験

絶縁材料は一般に金属導体間の絶縁のために使用されるものであり、常時金属に接触している。その金属導体間には電圧が印加され、金属は温度、湿度の影響を受けるので腐食が起こり、絶縁低下、ひいては絶縁破壊にまでおよぶことがある。このような現象を電食という。試験は試験片の端面に金属(ここでは銅)ハクを接触させ、これに40℃、90% 相対湿度下で直流135Vを96時間印加したのちの金属ハクの表面状態を調べる。通信機用積層板電食試験方法⁽⁸²⁾に準拠して行なった。表9はその結果を示したもの

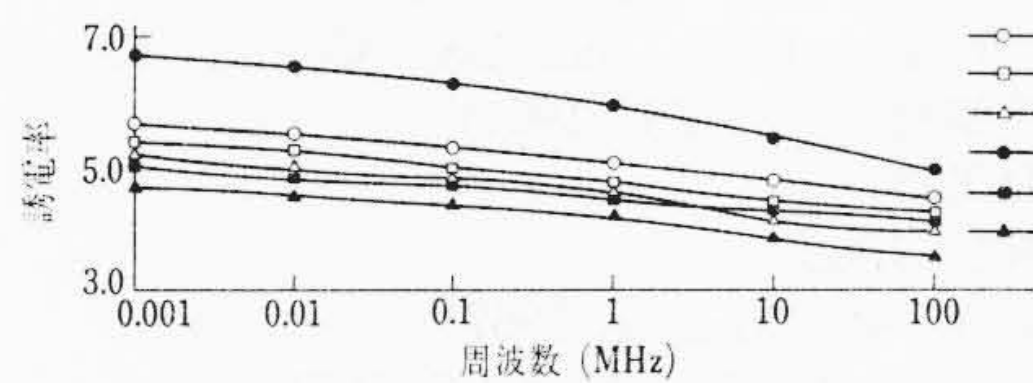


図31 誘電率の周波数特性(20℃)

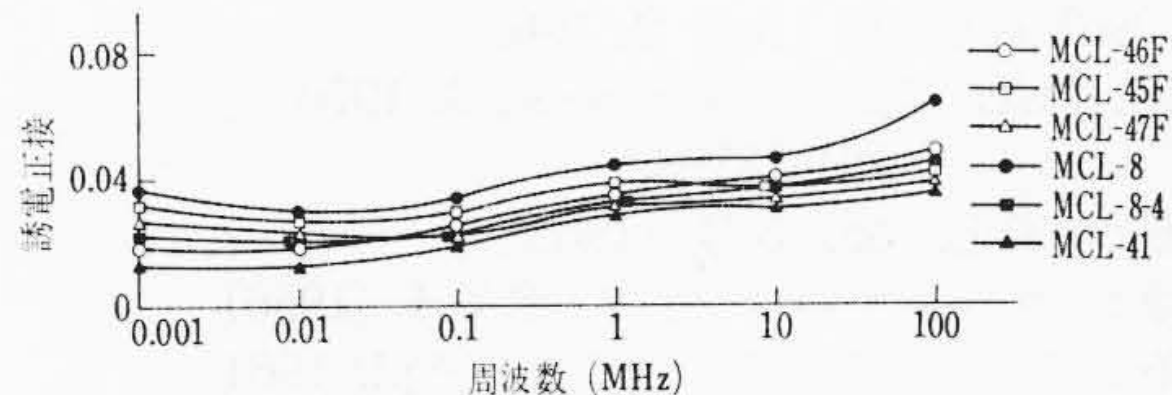


図32 誘電正接の周波数特性(20℃)

表9 電食試験結果*

品名	極性	
	陽極(点)	陰極(点)
MCL-46F	60~70	60
MCL-45F	50~60	50
MCL-47F	60	60
MCL-8	60	50
MCL-8-4	60~70	50
MCL-41	60~70	60

(注) *: 100点満点

表10 MCLの耐薬品性*

薬品名	処理温度(℃)	処理時間(min)	MCL-46F	MCL-45F	MCL-47F	MCL-8	MCL-8-4	MCL-41
シアン化カリウム水溶液(10%)	70	30	○	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○	○
		90	○	○	○	○	○	○
		120	○	○	○	○	○	○
カ性ソーダ水溶液(10%)	30	30	○	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○	○
		90	○	○	○	○	○	○
		120	○	○	○	○	△	○
塩酸(10%)	30	30	○	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○	○
		90	○	○	○	○	○	○
		120	○	○	○	○	○	○
トリクレン	87.2(沸騰)	2	○	○	○	○	○	○
		5	○	○	○	○	○	○
		10	○	○	○	○	○	○
		15	○	○	△	○	○	△
メチルエチルケトン	30	30	○	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○	○
		90	○	○	○	○	○	○
		120	○	○	○	○	○	○
メタノール	30	30	○	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○	○
		90	○	○	○	○	○	○
		120	○	○	○	○	○	○

(注) *: ○: 異常なし, △: 一部変色, ×: ふくれまたは著しい変色

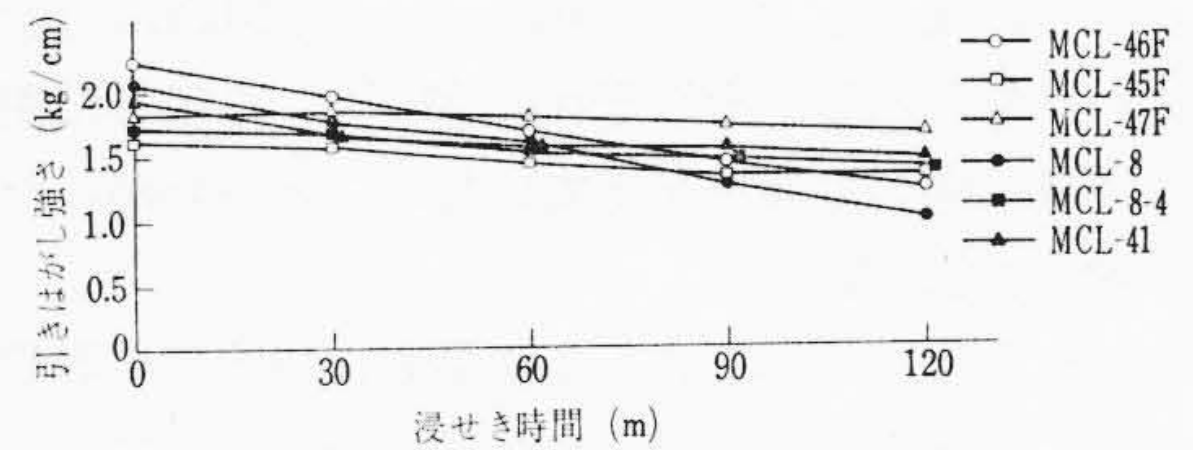


図33 シアン化カリウム10%水溶液(70℃)浸漬処理による引きはがし強さの変化

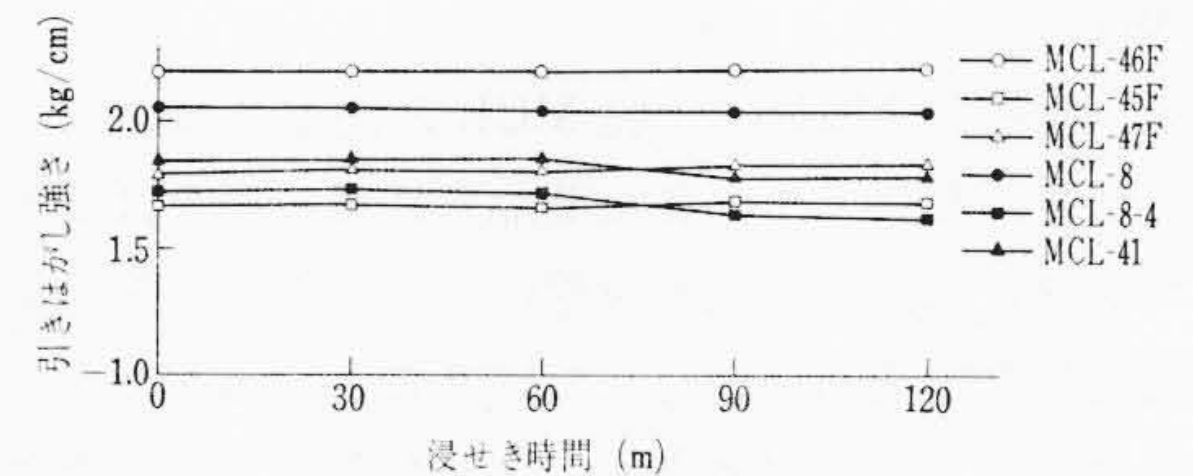


図34 カ性ソーダ10%水溶液(30℃)浸漬処理による引きはがし強さの変化

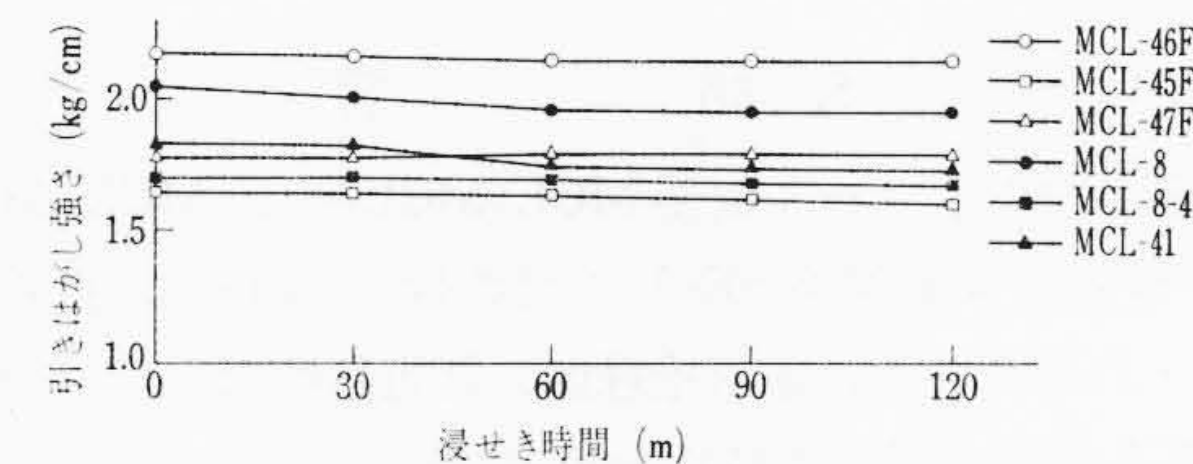


図35 塩酸10%水溶液(30℃)浸漬処理による引きはがし強さの変化

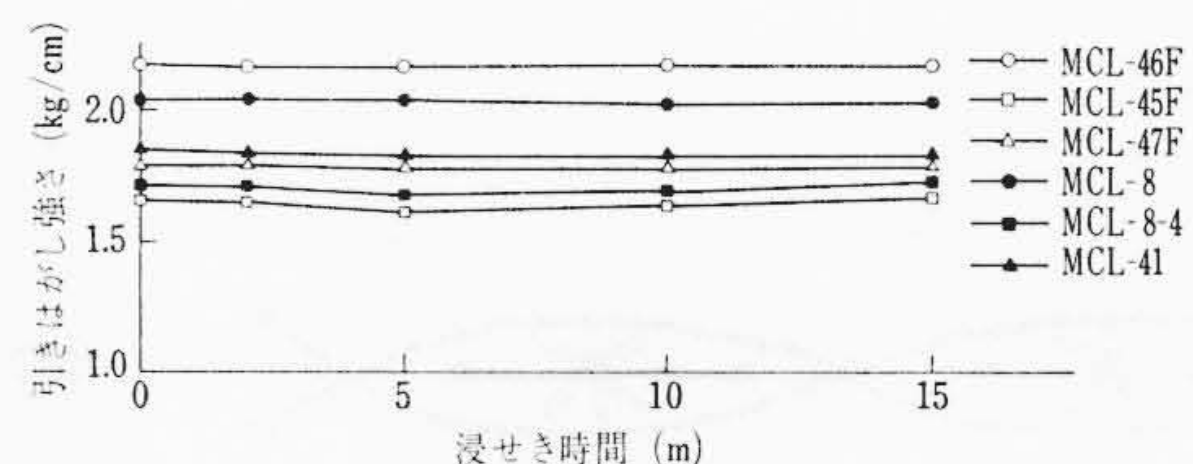


図36 沸とうトリクレン(87.2℃)浸漬処理による引きはがし強さの変化

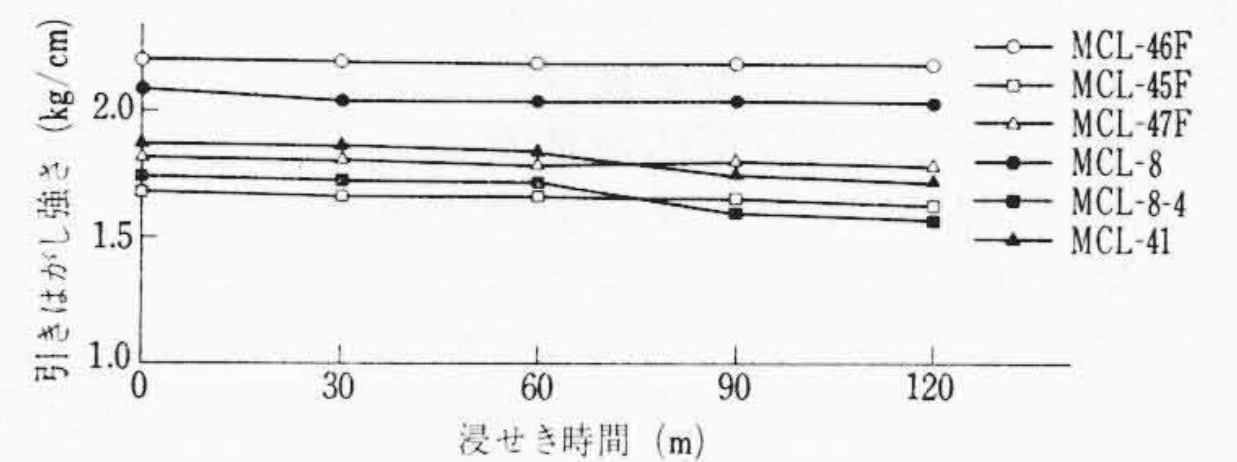


図37 メチルエチルケトン(30℃)浸漬処理による引きはがし強さの変化

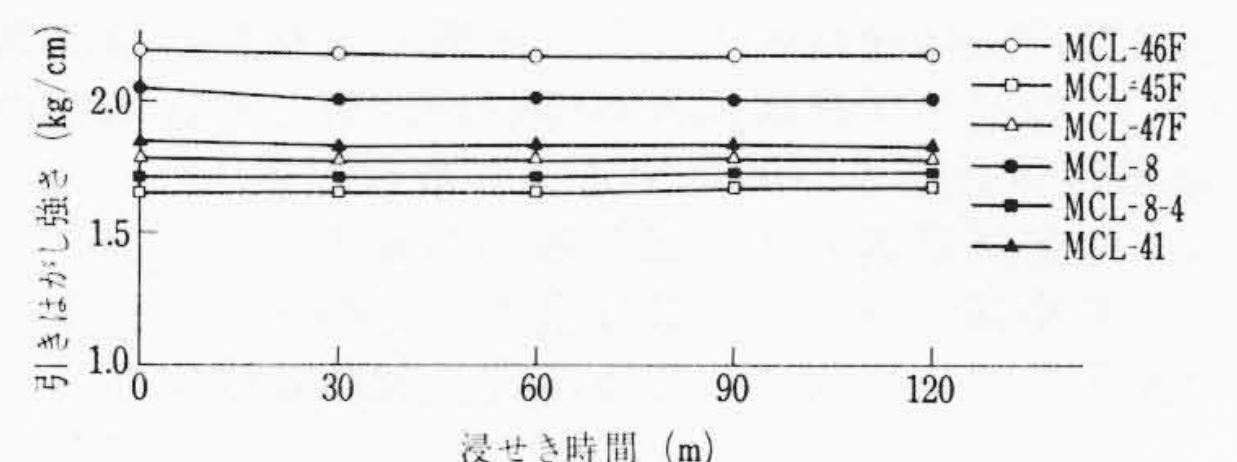


図38 メタノール(30℃)浸漬処理による引きはがし強さの変化

である。この結果から、耐燃性 MCL は一般 MCL に比べて、ほぼ同等のよい結果を示し、それぞれの MCL に使用した樹脂および消炎剤は電食に悪い影響を与えていないことがわかった。

4.3 化学的性質⁽⁵⁾⁽⁸⁾

MCL は加工工程中にいろいろな薬品および溶剤の影響を受けるので、これらに耐えることが要求される。そこでシアン化カリウム 10% 水溶液、カ性ソーダ 10% 水溶液、塩酸 10% 水溶液、トリクレン、メチルエチルケント、メタノールなどの化学薬品で処理した場合の外観の変化を判定した結果は表 10 に、引きはがし強さの変化は図 33~38 に示すとおりである。

その結果、耐燃性 MCL は一般 MCL と同じくほとんどこれらの薬品にはおかされなかった。また薬品処理後の引きはがし強さは、シアン化カリウム水溶液の処理を除いて、ほとんどその値の低下は見られず安定した耐薬品性を有していることを示した。

シアン化カリウム水溶液による引きはがし強さの低下は銅ハクがシアン化カリウム水溶液中に溶解するために起こるものと考えられる。したがって耐燃性 MCL にかぎらず一般の紙フェノール MCL でも、シアンイオンを含むメッキ液などで金メッキをすることはできるだけ避けるべきである。

5. 結 言

耐燃性紙基材フェノール樹脂 MCL (MCL-47F, MCL-45F, MCL-46F) はいずれも UL 規格 SE-1 の耐燃性に合格し、打ち抜き加工性、そり・ねじれ特性、電気絶縁性、誘電特性など、一般の紙フェノール MCL と同等以上の特性を持っている。

また耐湿性、耐熱性、耐薬品性などの強制劣化試験においても、一般の紙フェノール MCL と同様の性能変化を示し、長期の使用にじゅうぶん耐えうることが明らかとなった。耐燃性 MCL の使用が強く望まれている今日、本報告が使用者各位の MCL の選択ならび

に設計と加工をされる際の参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) UL Subject 492 (Sept. 1. 1970)
- (2) 中川, 池添, 横倉: 日立評論, 48, 293 (昭 41-2)
- (3) 横山, 樋口: 日立評論, 40, 51 (昭 33-3)
- (4) 斉木, 伊藤: 日立評論, 43, 1121 (昭 36-9)
- (5) 斉木, 鈴木, 横倉: 日立評論, 46, 504 (昭 39-3)
- (6) 樋口, 小林, 中川: 日立評論, 別 31, 79 (昭 34-7)
- (7) 横山, 中川: 日立評論, 43, 2211 (昭 36-12)
- (8) 中川, 池添: 日立評論, 46, 1337 (昭 39-8)
- (9) JIS C 6485 (1964)
- (10) 岡: UL 講演会資料 (Sept. 3, 1970)
- (11) William R. Brookes: Ind. Eng. Chem. 53, 570 (1961)
- (12) 桜井: 建築材料, 6, 76 (1961)
- (13) ASTM D 635
- (14) JIS C 6481 (1963)
- (15) UL Subject 746 (Mar. 1. 1967)
- (16) UL Subject 20 & 492 (Mar. 18. 1971)
- (17) ASTM D 2863-70
- (18) NEMA Standard Part 10; Copper Clad Laminates (1968)
- (19) 綱島: 「プリント配線板の設計と製作」
- (20) UL Subject 796 (July 2, 1968)
- (21) 磯野: UL 講演会資料 (Sept. 3. 1970)
- (22) PB レポート; PB-131983
- (23) 中野: 工化, 65, 3 号 (1962)
- (24) 中野: プラスチックス, 7, 9 号 1 (1956)
- (25) 北条: 高分子材料講習会資料 (Apl. 1964)
- (26) ASTM D 617
- (27) W.H. Klippel.: Elect. Manuf. 58, 92 (1956)
- (28) 電電公社通研有技研編資料 (1967)
- (29) 松井, 山方: 日立評論特集号 No. 31, 65 (昭 34)
- (30) 綱島: National Technical Report. No. 3
- (31) 小柳: 電化, 26, 557 (1958)
- (32) 通信機用積層板研究会編: 「通信機用積層板の電食に関する研究」 (Feb. 1962)



特許第 564063 号 (特公昭 44-17558 号)

特 許 の 紹 介



加 沢 義 彰・笠 原 達 雄
栗 田 勲・石 橋 英 一

電 磁 流 体 発 電 機 用 発 電 ダ ク ト

電磁流体発電機は磁場内へ高温高速の電磁流体を通し、磁場と電磁流体との作用により対向する電極間に起電力を生じさせるものである。この電磁流体発電機の電磁流体を通じる発電ダクトは発電機の運転時において 3,000°K 近くまで温度上昇するため、このような高温に耐えるとともに短絡電流を流さないものが要求される。

本発明は以上の点に鑑(かんが)みなされたもので以下本発明を実施例として示す図によって説明する。図において 1 は断面矩形状に構成された電磁流体通路、2 は通路 1 の一方側の対向面を形成する冷却ジャケット、3 は並設した複数の電極、4 は電極 3 を互いに他と絶縁して一体に形成するマグネシヤのような耐火絶縁材、5 は絶縁材 4 の外側をおおう金属板、6 は電極 3 と金属板 5 とを絶縁する絶縁物、7 は冷却ジャケット 2 へ形成した冷却媒体通路、8 は冷却ジャケット 2 の冷却媒体通路 7 の両側へ形成した不導電気体通路、9 は不導電気体通路 8 相互間に配置した複数の気体供給パイプであり、このパイプ 9 は個々へ穿(せん)設した複数の気体供給口 10 が電磁流体通路 1 へ開口するよう取付配置してある。不導電性気体としては空気窒素ガスなどが用いられる。

これによって冷却ジャケット 2 は金属でそのまま通路 1 と接しているがその表面近くに形成される不導電性気体被膜により直接電磁

流体と接しないため短絡電流の流れるおそれはなく、冷却ジャケット 2 の熱的損耗をも防ぐことができる。

なお、なんらかの原因で活流が起こり、不導電性気体被膜が破れた場合を考慮して冷却ジャケット表面にセラミックのような絶縁被覆を施したダクトとすればよりいっそう効果的である。

本発明によれば高効率で長時間運転の可能な電磁流体発電機用発電ダクトを得ることができる。(綿引)

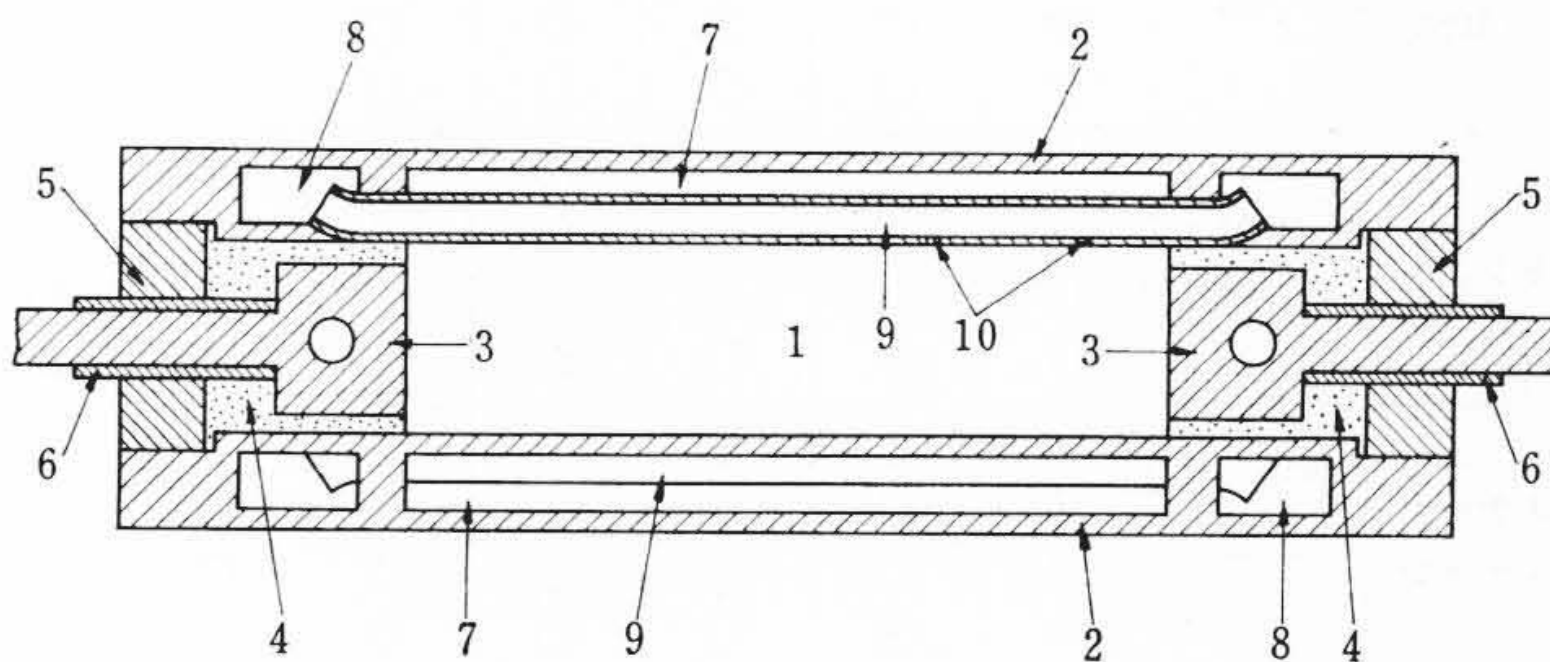


図 1