論文

The Effect of Solvent on the Crazing of Enameled Wires

by

Shigeo MASUDA and Nobuyuki ASANO

(R & D Group, Sumitomo Electric Ind., Ltd., Shinko-d $\bar{e}$ ri, Minami-ku, Nagoya 457)

The effect of solvent on crazing of enameled wires is discussed in the light of rheological data obtained for enameled polymer films. The enamels studied were polyesterimide, modified polyvinyl formal, trimellitic polyamideimide, and Nylon 66. The test wires were specifically prepared by coating these polymers on an oxidized conductor whose adhesion to the polymers was poor, and they were subjected to rheological measurement after treatment by various solvents. Two types of solvent effect were observed on the stress relaxation curves under constant elongation. In one, there was an abrupt change in the stress relaxation rate upon application of the solvent, and in the other, a stress growth for a certain period resulting in a stress relaxation curve with a maximum. This difference seemed to be attributable to the nature of the solvent rather than to the polymer, at least within the tested combinations of polymers and solvents.

The mechanical $\tan \delta$ curves of the polymer films stripped from wires were also investigated, with and without application of solvents. It has been found that the shift of the glass transition temperature caused by the solvent is a good measure of the solvent effect on crazing of enameled wires. That is, a solvent which lowers more markedly the glass transition temperature of a given polymer film shows a greater tendency to cause crazing.

エナメル線皮膜のクレージングに及ぼす溶剤の効果

増田重雄・浅野信之*

(原稿受理: 1976年7月7日)

1. 緒言

エナメル線は導体上に絶縁塗料を焼き付けて製造される複合材料である。このエナメル線がコイル巻などの加工を受け皮膜に応力が残っている状態で、溶剤による洗浄を受けたり、あるいは含浸ワニス処理をされると、その溶剤により皮膜にクレージングが発生することがある。エナメル線の皮膜に発生するクレージングの発生要因の一つは、皮膜内の残留応力の存在である。そこで筆者らはエナメル線の製造において導体と皮膜との接着の悪いエナメル線をつくり、一定伸長率を与えたあとの皮膜のみの残留応力を測定し、この残留応力の大きさとクレージング発生程度との関係を明確にしてきた¹⁾²⁾。

エナメル線のクレージング発生におけるもう一つの要因は溶剤の存在である。ある種の溶剤は応力の存在する皮膜にクレージ

ングを発生させるが、ある種の溶剤は全然クレージングを発生させないことが知られている。過去ポリマーと溶剤の solubility parameter の関係からポリマーのクレージングを報告した論文は多い³⁾⁴⁾⁵⁾。しかし、エナメル線の皮膜には骨格構造を形成する主な組成物のほかに、変性剤や架橋剤などが複雑に配合されているため、エナメル線皮膜の solubility parameter を求めることは困難である。また、たとえ求めたとしても正確な値を求めることは難しい。

本実験ではエナメル線を伸長したあと、溶剤を塗布することによって現れる皮膜のみの応力緩和挙動から、皮膜と溶剤との相互作用を実験的に求めるために、導体と皮膜との接着の悪いエナメル線を試料として用いた。もし導体と皮膜との接着の良いエナメル線を用いると、溶剤を塗布しても皮膜の応力緩和挙動を求めることができない。なお、エナメル線から導体を抜き取った円筒状皮膜を試料として用いた場合には、5%以下の伸長率で切断する場

* 住友電気工業(株)研究開発本部 名古屋市中区新郊通1丁目10番地

合が多く、あるいは5%以上伸長できたとしても溶剤を塗布すると、クレージングはすぐさまクラックへと成長し溶剤の効果を十分に定量化することができない。

本実験はさらにエナメル線を溶剤中に一定期間浸漬したのち、エナメル線から導体を抜き取った円筒状皮膜の $\tan \delta$ 温度特性曲線を求め、浸漬前のエナメル線から導体を抜き取った円筒状皮膜の $\tan \delta$ 温度特性曲線と比較することにより、皮膜と溶剤との相互作用を求めた。本論文は以上の二つの相互作用をもとに、エナメル線皮膜のクレージングに及ぼす溶剤の効果につき検討を加えたものである。エナメル線を伸長すると皮膜に応力が残留する。その後溶剤を塗布すると、クレージングの発生の有無にかかわらず皮膜の残留応力が緩和する場合と、増大する場合がある。一方、

一定期間エナメル線を各種の溶剤中に浸漬させると、皮膜の $\tan \delta$ 温度特性曲線に変化が起きるものとほとんど起きないものがある。クレージングを発生させやすい溶剤と発生させがたい溶剤とによって、浸漬後の皮膜の $\tan \delta$ 温度特性は相違を示した。

2. 実 験

2・1 試 料

本実験に用いたエナメル線の試料を Table 1 に示す。これらのエナメル線から採取した円筒状皮膜の粘弾性挙動を Fig. 1 に示す。なお、これらのエナメル線は導体を酸化させて導体と皮膜の接着性が悪くなるように製造した¹⁾。

2・2 溶 剤

Table 1. Sample (Bare Wire, 1 mm Dia.)

Enameled Wire	Enamel	Dielectric Constant (20°C, 1kHz)	Film Thickness (mm)	Remarks
E I	Polyesterimide	4.1	0.052	"Isomide" Schenectady Chemical Co.
F	Polyvinyl formal modified with phenol formaldehyde resins and polyisocyanates	3.6	0.051	Sumitomo Electric Co.
A I	Trimellitic polyamideimide	4.4	0.051	Sumitomo Electric Co.
N	Polyamide	3.9	0.052	Nylon 66 Toray Co.

Table 2. Solvent

Solvent	Dielectric Constant*	Solvent	Dielectric Constant*
A. Aliphatic hydrocarbons		F. Esters	
Petroleum benzine	1.80	Methyl aceto acetate	17.0
Liquid paraffine	1.90	Di- <i>n</i> -buthyl phthalate	6.4
B. Halogenated hydrocarbons		G. Aromatic hydrocarbons	
1,2-Dichloroethane	10.4	Benzene	2.2
Dichloromethane	9.1	Xylene	2.2
1,1,1-Trichloroethane	7.1	H. Derivatives from Ethylene glycohol	
Trichloroethylene	3.4	Ethylene glycohol	38.7
Tetrachloroethylene	2.3	Ethylene glycohol	
Tetrachloromethane	2.2	monoethyl ether	16.9
C. Alcohols		Ethylene glycohol	
Methyl alcohol	31.2	monoethyl ether acetate	7.5
Ethyl alcohol	25.7	I. Organic acids	
Isopropyl alcohol	18.6	Acetic anhydride	20.0
<i>n</i> -Buthyl alcohol	17.1	<i>m</i> -Cresol	11.8
D. Aldehyde		J. Organic amines and amides	
Furfural	38.0	N,N-Dimethyl formamide	16.1
E. Ketones		Triethanol amine	29.3
Acetone	21.4	K. Water	78.0
Methyl ethyl ketone	15.4		
Diacetone alcohol	18.2		
Cyclohexanone	18.3		

* Dielectric constant was quoted from "Handbook of Solvents" (1967) edited by the Society of Organic Synthetic Chemistry in Japan.

本実験に用いた各種溶剤を Table 2 に示す。

2・3 エナメル線皮膜の溶剤塗布による応力変化

一定長さ (20cm) のエナメル線試料を定速 (1mm/sec) で伸長すると、エナメル線に付加される応力は増大する (Fig. 2, OA)。 t_1 で伸長を停止するとエナメル線の応力は時間と共に緩和する (Fig. 2, AB)。次に t_2 で溶剤を塗布すると、エナメル線皮膜の残留応力に顕著な変化が起きる。その変化の仕方は大きく分けると 2 種類となる (Fig. 2, BC₁D₁, BC₂C₃D₂)。一つは通常の応力緩和曲線であり、他の一つは応力増大後応力緩和をしている曲線である。 t_3 でエナメル線の皮膜の円周をナイフで切ると皮膜は収縮する。その結果、溶剤塗布後の皮膜の残留応力が求まる (Fig. 2, D₁E, D₂E)。EG は導体の残留応力である。なお、本実験においてエナメル線および溶剤の温度は $20 \pm 1^\circ\text{C}$ に保った。ここで、 $(t_1 - t_0) = 10$ sec, $(t_2 - t_1) = 60$ sec, $(t_3 - t_2) = 60$ sec とした。なお、本実験には島津製作所製の「オートグラフ S-100」を用いた。

Fig. 1. Viscoelastic behavior of samples (Frequency 11Hz. Heating Rate $5^\circ\text{C}/\text{min}$.)

Fig. 2. Two typical stress relaxation curves due to solvent.

2・3・1 応力緩和を示す場合の皮膜の応力緩和量の求め方

溶剤を塗布した時、皮膜の残留応力が緩和する場合の応力緩和量の求め方を Fig. 3 に示す。応力緩和曲線 BC₁D₁ における D₁ 点での接線と、BI との交点を H とすると、BH を溶剤塗布に帰因する緩和量とした。

2・3・2 応力増大後応力緩和を示す場合の皮膜の応力緩和量の求め方

溶剤を塗布した時、皮膜の残留応力が増大し、その後応力緩和をする場合の応力緩和量の求め方を Fig. 4 に示す。ここで溶剤塗布によって生じる応力の極大値を C₂ とする。C₂ から横軸へ下した垂線と応力緩和曲線 BC₂C₃D₂ における D₂ 点での接線との交点を J として、C₂J を溶剤塗布に帰因する応力緩和量とした。

2・4 $\tan \delta$ の測定

一定温度 (20°C) に保持した各種溶剤にエナメル線を 168 時間

Fig. 3. Quantitative method to obtain the amount of stress relaxation in the stress relaxation curve.

Fig. 4. Quantitative method to obtain the amount of stress relaxation in the stress relaxation curve after stress increased.

Table 3. Stress relaxation curves obtained by applying solvents on the enameled wires.

1, Stress Relaxation after stress increased

2, Stress Relaxation

(Suffix "C" indicates that craze was observed on the film. Craze was checked by the microscope. ($\times 40$))

Solvent	EI	F	AI	N
Petroleum benzine	1	1	1	1
Liquid paraffin	2	2	2	2
1,2-Dichloromethane	1-C	1-C	1	1
Dichloromethane	1-C	1-C	1	1
1,1,1-Trichloroethane	1-C	1-C	1	1
Trichloroethylene	2-C	1-C	1	1
Tetrachloroethylene	2-C	1	1	1
Tetrachloromethane	1	1	1	1
Methyl alcohol	1-C	1-C	1-C	1
Ethyl alcohol	1-C	1-C	1-C	1
Isopropyl alcohol	1-C	1-C	1	1
<i>n</i> -Butyl alcohol	2-C	2-C	2-C	2
Furfural	2-C	2-C	2-C	2
Acetone	1-C	1-C	1-C	1
Methyl ethyl ketone	1-C	1-C	1-C	1
Diacetone alcohol	2-C	2-C	2	2
Cyclohexanone	2-C	2-C	2	2
Methyl acetoacetate	2-C	2-C	1-C	1
Di- <i>n</i> -butyl phthalate	2	2	2	2
Benzene	1-C	1-C	1	1
Xylene	2-C	2-C	1	1
Ethylene glycol	2-C	2-C	2-C	2
Ethylene glycol monoethyl ether	2-C	2-C	2-C	2
Ethylene glycol monoethyl ether acetate	2-C	2-C	2-C	2
Acetic anhydride	2-C	2-C	2	2
<i>m</i> -Cresol	2	2	2	2
N,N-dimethyl formamide	2-C	2-C	2-C	2
Triethanol amine	2	2	2	2
Water	1	1	1	1

浸漬し、エナメル線皮膜に溶剤を浸透させた。そのあとエナメル線を取り出し、導体を抜き取って皮膜の $\tan \delta$ 温度特性を求めた。エナメル線を溶剤から取り出し測定を開始するまでの時間は5分以内とした。なお、 $\tan \delta$ の測定は東洋ポールドウイン社製の Rheovibron DDV-II-B を用いた。試料長さは 10mm、周波数は 11Hz、昇温速度は $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ とした。

3. 結 果

3・1 溶剤塗布による皮膜の応力緩和曲線の種類

Fig. 2 に示すように、本実験の方法では溶剤塗布によって二つの代表的応力緩和曲線が得られた。いずれの曲線においてもクレージングを発生する場合と発生しない場合が存在した。Table 3 にエナメル線と溶剤の組合せにおける応力緩和曲線の種類とクレー

Fig. 6. Relation between the dielectric constant of solvent and stress relaxation of Polyvinylformal (F) film.

Fig. 5. Relation between the dielectric constant of solvent and stress relaxation of Polyesterimide (EI) film.

Fig. 7. Relation between the dielectric constant of solvent and stress relaxation of Polyamideimide (AI) film.

Fig. 8. Relation between the dielectric constant of solvent and stress relaxation of Polyamide (N) film.

ージング発生の有無を示す。

3・2 溶剤の誘電定数と溶剤塗布による皮膜の応力緩和量の関係

本実験で用いた各種溶剤の誘電定数と、項 2・3 で述べた方法から求めた皮膜の応力緩和量との関係を Fig. 5~8 に示す。

4. 考 察

4・1 応力緩和曲線

本実験において最も興味ある事実は、伸長したエナメル線に溶剤を塗布すると、皮膜の残留応力が緩和する場合と増大する場合が存在することである。これらの曲線は応力状態下でのエナメル線の皮膜と溶剤との間の力学的相互作用に関する情報を与えてくれる。筆者らはこのように応力が残留している状態における皮膜と溶剤との相互作用を Dynamic Solubility と呼びたい。そして通常の応力緩和を示す場合を Positive Dynamic Solubility と呼び、応力増大後応力緩和を示す場合を Negative Dynamic Solubility と呼んで区別したい。

さて、応力緩和曲線の場合は、(1)溶剤によって高分子鎖が流動する、(2)溶剤によってクレージングが発生する、という二つが要因として考えられる。一方、溶剤塗布によって応力が増大しその後緩和する場合は、溶剤によって高分子鎖が収縮する結果と考えられる。しかしながら、伸長した皮膜内の残留応力が溶剤塗布によって増大する場合にもクレージングが発生する場合があるということは、本実験のような応力緩和曲線の形だけからクレージングの発生を予測できないことを示している。

溶剤塗布によって生じる応力緩和曲線は大きく分けると二種類であるが、さらに応力緩和曲線を詳細にみると、応力緩和を示す曲線においては応力緩和した応力が増大する場合がある (Fig. 9)。このような曲線を示すのは溶剤塗布によって皮膜の残留応力が急激に緩和する場合に現れる。この現象はクレージング発生の有無にかかわらず生じるもので、ポリマーの変形履歴の記憶現象に由来するものと推定される。

本実験において第二番目に興味ある現象は、この二種類の応力

Fig. 9. Stress increasing after stress relaxation indicating the memory phenomenon of polymer.

緩和曲線は、本実験で用いたエナメル線の皮膜の種類の範囲内では、それらの化学構造とは無関係に塗布する溶剤に左右されているという事実である (Table 3)。本実験に用いたエナメル線の皮膜の化学構造は非常に異なったものであるが、溶剤が同一であるとはほぼ同様の応力緩和曲線を示している。しかし、クレージング発生の有無および応力緩和量の大小はエナメル線の皮膜と溶剤の個々の組み合わせによって異なっている。

4・2 溶剤の誘電定数と皮膜の応力緩和量

エナメル線の皮膜の誘電率は大体 3~4 でほぼ同程度の値を示しているのに対し、各種溶剤の誘電率は大きく異なっている。一

般的には、 $\begin{matrix} & & \text{—C—O—} & \text{—N—C—} \\ & & || & || \\ & & \text{O} & \text{H} \end{matrix}$ などの極

性基をもった溶剤は大きな誘電定数をもち応力緩和を起しやす。エナメル線の皮膜の種類によって若干異なるが、応力緩和量と溶剤の誘電定数との間には高い相関関係がある。Fig. 5~8 は皮膜の応力緩和量と共にクレージング発生の程度を同時に表している。Fig. 5 に示すポリエステルイミド線を除くと、クレージングの発生程度と溶剤の誘電定数との関係は皮膜の応力緩和量と溶剤の誘電定数との関係ほど明確ではない。Fig. 8 に示すように代表的な直鎖状ポリマーの Nylon 66 を塗布焼き付けした Nylon 66 線は肉眼および光学顕微鏡 (×40) で確認できるクレージングは発生していない。一方、代表的な熱硬化性のポリエステルイミド線においては、クレージングの発生程度と溶剤の誘電定数との間にかかなり良い相関性が存在する。

4・3 溶剤浸漬後の皮膜の $\tan \delta$ 温度特性

エナメル線の皮膜と溶剤の相互作用を検討するために、エナメル線を一定期間溶剤の中に浸漬し、溶剤が浸透した皮膜の $\tan \delta$ 温度特性と、溶剤に浸漬する前のいわゆる溶剤を含まない皮膜の $\tan \delta$ 温度特性を比較した。クレージングを発生させやすい溶剤の場合、その溶剤の中へエナメル線を一定期間浸漬した後の皮膜のガラス転移温度は、 $\tan \delta$ 温度特性から判断して大きく低下している。一方、エナメル線を伸長した後溶剤を塗布した時、皮膜の残留応力の緩和量は大きいクレージングを発生しがたい溶剤

の場合は、その溶剤の中へエナメル線を一定期間浸漬しても、 $\tan \delta$ 温度特性から判断してガラス転移温度はあまり低下していない。皮膜と溶剤との相互作用を議論するにさいし、 $\tan \delta$ 温度特性を求める測定において、昇温過程で浸透した溶剤が皮膜から蒸発していく。そのために溶剤の沸点の差が溶剤浸漬後の皮膜の $\tan \delta$ 温度特性に影響を及ぼすことが考えられ、 $\tan \delta$ 温度特性からエナメル線皮膜と溶剤の関係を定量的に議論することに問題を残している。しかし、本実験で用いた溶剤では、沸点の高低にかかわらずクレージングを発生させやすい溶剤は、皮膜のミクロブラウン運動をより低温から起こさせる傾向をもっていることが、皮膜の $\tan \delta$ 温度特性から明らかとなった。代表的な例としてポリアミドイミド皮膜に対するエチレングリコールとジメチルフォルムアミドを比較する。ポリアミドイミド皮膜に対してエチレングリコールは、クレージングをわずかに発生させるだけであるのに対し、ジメチルフォルムアミドはクレージングを非常によく発生させる。Fig. 10 は伸長したポリアミドイミド線に対してエチレングリコールおよびジメチルフォルムアミドを塗布した時の応

Fig. 10. Stress relaxation of Polyamideimide due to Ethylene glycol (1) and Dimethyl formamide (2).

力緩和曲線である。Fig. 11はポリアミドイミド線を25°Cで168時間それぞれの溶剤中に浸漬した後の皮膜の $\tan \delta$ 温度特性を表している。Fig. 11 から分かるようにジメチルフォルムアミドは、ポリアミドイミド皮膜を膨潤させる力が強い。一方、エチレングリコールはポリアミドイミド皮膜を膨潤させる力は弱い。このように一定条件のもとにエナメル線を溶剤中に浸漬し、その後の皮膜の $\tan \delta$ 温度特性と浸漬前の皮膜の $\tan \delta$ 温度特性の差は、エナメル線の皮膜と溶剤との間の一つの相互作用の結果であると解釈することができる。筆者らはこの相互作用を先に述べた Dynamic Solubility に対応させて Static Solubility と呼んで区別したい。この Static Solubility を定量化する一つの方法として、例えば溶剤浸漬前後の $\tan \delta$ 温度特性曲線において、ミクロブラウン運動を起こし、 $\tan \delta$ の値が0.1を示す温度を T_{gi} , T_{gf} とし $\Delta T_g (=T_{gi}-T_{gf})$ を求めるならば、 ΔT_g は Static Solubility を示すパラメータとなりうる。Table 4 に各種エナメル線と代表的溶剤の組み合わせから求めた ΔT_g を示す。ここで改めてクレージングの発生程度と ΔT_g を比較検討すると、クレージングを

Fig. 11. Temperature dependence of mechanical $\tan \delta$ of Polyamideimide after immersion in Ethylene glycol and Dimethyl formamide (Immersion period, 10 days; Solvent temperature, 20°C; Frequency, 11Hz; Heating rate, 5°C/min.)

Table 4. ΔT_g (a parameter of static solubility) obtained from the mechanical $\tan \delta$ vs. temperature plots

Solvent	EI($T_{gi}=192^\circ\text{C}$) ΔT_g	F($T_{gi}=116^\circ\text{C}$) ΔT_g	AI($T_{gi}=288^\circ\text{C}$) ΔT_g	N($T_{gi}=60^\circ\text{C}$) ΔT_g
Liquid paraffine	5	1	2	1
1,1,1-Trichloroethane	3	1	1	1
Furfural	38	90	9	1
Methyl ethyl ketone	17	69	1	1
Di- <i>n</i> -butyl phthalate	1	1	1	1
Xylene	12	1	1	1
Ethylene glycol	10	3	5	1
<i>m</i> -Cresol	7	30	2	1
N,N-dimethyl formamide	67	82	144	1
Triethanol amine	1	1	1	1
Water	1	1	1	1

- 1) Specimens were immersed into the solvents for 168hrs. at 20°C. $\tan \delta$ measurement was started at 5 min. after it was taken out of the solvent.
- 2) Apparatus, Rheovibron DDV-II-B manufactured by Toyo-Baldwin Co.; frequency, 11Hz; heating rate, 5°C/min.; length of tubed film, 10mm.

Fig. 12. Stress relaxation curves of Polyesterimide (EI) at various temperatures of Dimethyl formamide (1)10°C, (2)20°C, (3)30°C, (4)40°C.

Fig. 13. Stress relaxation curves of Polyesterimide (EI) at various temperatures of Ethyl alcohol (1)10°C, (2)20°C, (3)30°C, (4)40°C.

Table 5. Amount of stress relaxation of Polyamideimide wire at different solvent temperatures

Solvent temperature (°C)	Ethyl alcohol		Dimethyl formamide	
	Stress relaxation (kg/mm ²)	Dielectric strength (kV/50μ)	Stress relaxation (kg/mm ²)	Dielectric strength (kV/50μ)
10	4.9	3.7	3.7	4.6
20	3.8	4.2	4.8	3.5
30	5.0	3.0	5.7	2.2
40	5.9	2.7	7.2	1.7

- 1) Enameled wire temperature, 20°C.
- 2) Dielectric strength was measured in Hg at 25°C.
- 3) Enameled wire length, 200mm.

発生させやすい溶剤は ΔT_g が大きい値を示していることが分かる。

4・4 応力緩和曲線に及ぼす溶剤温度の効果

エナメル線および溶剤の温度を共に20°Cにして実験を行うと、Fig. 2に示す二種類の応力緩和曲線が得られた。次に溶剤の温度を変えた時の皮膜の応力緩和曲線の挙動を検討した。Fig. 12 および13はポリエステルイミド線に対して共にクレージングを発生させ、一方は応力緩和を他方は応力増大後応力緩和を示す二つの溶剤、ジメチルフォルムアミドとメチルアルコールの温度を変えた時の応力緩和曲線を示している。Table 5 はこれらの応力緩和曲線から得られた応力緩和量とクレージング発生後の皮膜の絶縁耐力を示している。Fig. 12 および13から分かるように溶剤の温度がエナメル線の温度よりも低い10°Cでは、いずれの場合にも皮膜は収縮によって応力が増大している。クレージングの発生は一般的には溶剤温度の上昇と共に激しくなる傾向を示す。

5. 結 論

- (1)導体と皮膜との接着の悪いエナメル線を伸長し、各種の溶剤を塗布すると皮膜の応力が緩和する。この場合、応力緩和曲線は二つに分類することができる。一つは通常の応力緩和曲線であり、他の一つは応力増大後応力緩和を示す曲線である。クレージングの発生はいずれの場合にも発生する場合としない場合がある。
- (2)各種エナメル線と各種溶剤を組合せて得られた応力緩和曲線から判断すると、これらの応力緩和曲線の形はエナメル線の皮膜によるのではなく、溶剤の種類によって決定される。しかし、応力緩和量やクレージング発生の有無はエナメル線皮膜と溶剤の個々の組み合わせによって異なっている。
- (3)一般的に言って、 >C=O 、 —OH 、 —C—O— 、 —N—C— 等の極性基をもち誘電定数の高い溶剤は、エナメル線の皮膜にクレージングを発生させやすい傾向をもっている。しかし、誘電定数だけでクレージングの発生を推定することは困難である。
- (4)エナメル線を溶剤に一定期間浸漬した後、皮膜の $\tan \delta$ 温度特性曲線が浸漬前の皮膜の $\tan \delta$ 温度特性曲線に比較して大きく異なるものほど、すなわち皮膜のガラス転移温度を低下させる能力の大きい溶剤ほどクレージングを発生させやすい傾向をもっている。

文 献

- 1) 増田重雄, 浅野信之, 田中敏彦, 糸賀輝雄, 日本レオロジー学会誌, **3**, 2, 71 (1975).
- 2) Masuda S., N. Asano, *J. Appl. Polym. Sci.*, **20**, 357 (1976).
- 3) Miller G.W., S.A.D. Visser, and A.S. Morecroft, *Polym. Eng. Sci.*, **11**, 2, 73 (1971).
- 4) Kambour R.P., and R.E. Robertson, General Electric Co. R and D Center, Report No. 70-C-104 (1970).
- 5) Decoste J.B., F.S. Malm, and V.T. Wallder, *Ind. Eng. Chem.*, **43**, 1, 117.