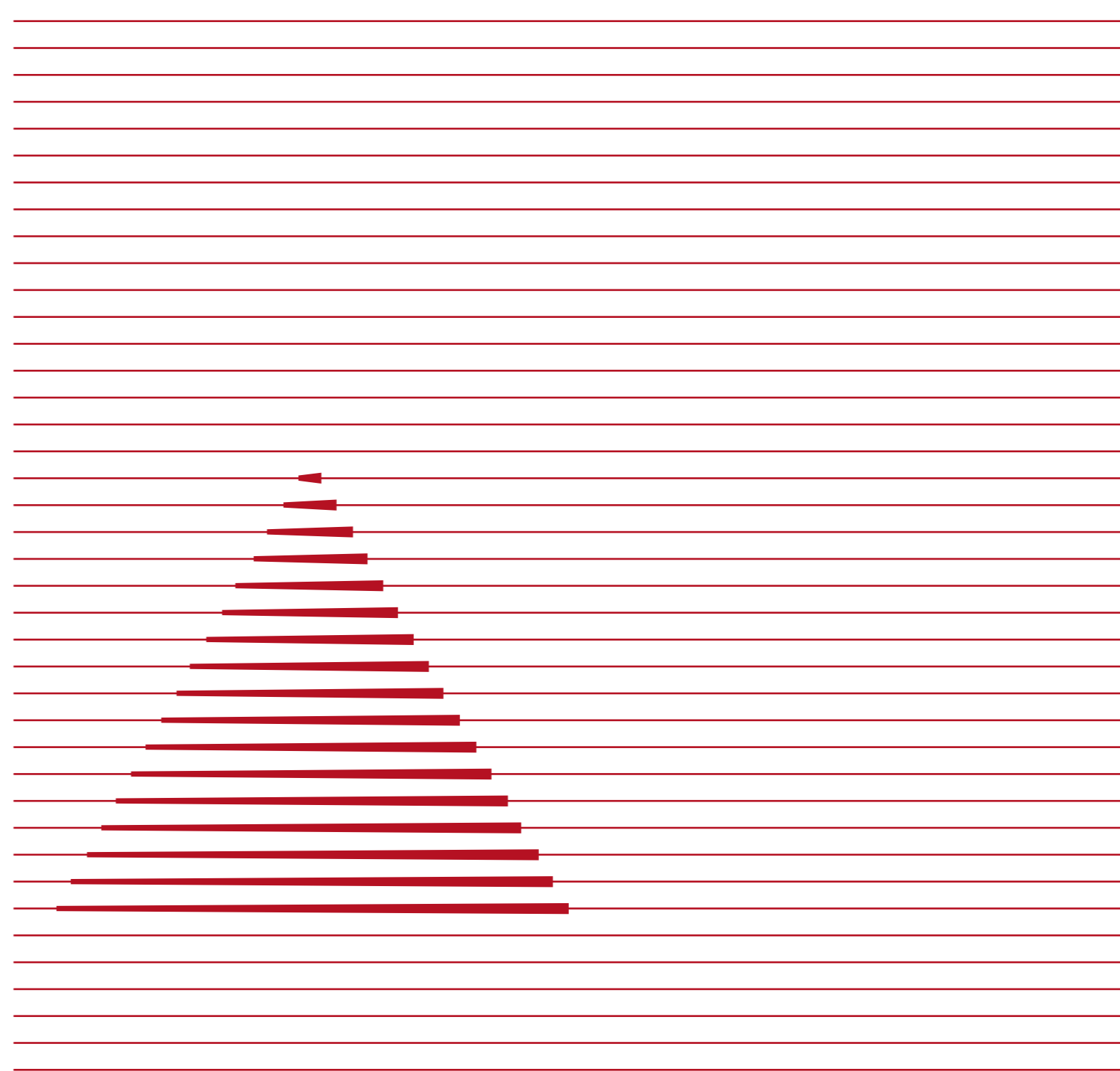


本 社	〒104-0031 東京都中央区京橋1-1-1八重洲ダイヤビル TEL:03-3278-5821 FAX:03-3278-5857
大 阪 支 店	〒541-0041 大阪市中央区北浜3-1-18島ビル TEL:06-6208-4470 FAX:06-6208-4402
名 古 屋 支 店	〒450-0002 名古屋市中村区名駅4-5-28 近鉄新名古屋ビル TEL:052-565-3910 FAX:052-565-3903
九 州 営 業 所	〒812-0026 福岡市博多区上川端町12-20 ふくぎん博多ビル TEL:092-281-6777 FAX:092-281-1116
技術センター	〒254-0016 神奈川県平塚市東八幡5-6-2 TEL:0463-21-8610 FAX:0463-21-8631
香 港	<b>MEP Hong Kong Limited</b> Unit 1303, 13th Floor, Tower 1, Admiralty Center 18 Harcourt Road, Hong Kong TEL: +852-2536-4295 FAX: +852-2868-4718
広 州	<b>MEP Guangzhou Limited</b> Rm 3311, 33rd Floor, China Shine Plaza No.3-15, Lin He Xi Road, Guangzhou, China TEL: +86-20-8527-6246 FAX: +86-20-8527-2090
佛 山	<b>MEPCOM Foshan Corp.</b> C-39 Sanshui Industrial Park, Foshan, Guangdong, China TEL: +86-757-8739-3030 FAX: +86-757-8739-3330
上 海	<b>MEP Shanghai Limited</b> T80, 15F, Shanghai World Financial Center, 100 Century Avenue Pudong New Area, Shanghai 200120, China TEL: +86-21-6841-1025 FAX: +86-21-6841-0577  <b>MEP Shanghai Co., Ltd.</b> T80, 15F, Shanghai World Financial Center, 100 Century Avenue Pudong New Area, Shanghai 200120, China TEL: +86-21-6841-1040 FAX: +86-21-6841-0577  <b>MEP Shanghai Customer Support Center</b> T80, 15F, Shanghai World Financial Center, 100 Century Avenue Pudong New Area, Shanghai 200120, China TEL: +86-21-6841-1025 FAX: +86-21-6841-0577
台 湾	<b>MEP Taiwan Limited</b> 5F-1, No.129, Sec. 2, Zhongshan N. Road, Zhongshan District Taipei City 104, Taiwan TEL: +886-2-2521-2009 FAX: +886-2-2521-2039
シンガポール	<b>MEP Singapore Pte., Limited</b> 3 Phillip Street, #16-04 Commerce Point, Singapore 048693 TEL: +65-6223-3002 FAX: +65-6223-3920
イ ン ド	<b>MEP Singapore India Office</b> 703,7th Floor, Ashoka Estate, 24 Barakhamba Road, Connaught Place New Delhi 110001, India TEL: +91-11-4362-3060 FAX: +91-11-4362-3080
タ イ	<b>MEP Technical Center Asia Limited</b> 700/458 Moo 7, Amata Nakoran Industrial Estate Tambol Donhauroh, Amper Muang, Chonburi 20000, Thailand TEL: +66-38-717-062/063 FAX: +66-38-450-080  <b>Thai Polycarbonate Co., Ltd. (TPCC)</b> Emporium Tower, Floor 24/4-7, 622 Sukhumvit Road Klongton Klongtoey, Bangkok 10110, Thailand TEL: +66-2-261-9260 FAX: +66-2-261-9272  <b>MEP Engineering-Plastics (Thailand) Co., Ltd.</b> Emporium Tower, Floor 24/4-7, 622 Sukhumvit Road Klongton Klongtoey, Bangkok 10110, Thailand TEL: +66-2-261-9260 FAX: +66-2-261-9284  <b>Hexa Color (Thailand) Ltd.</b> 102 Moo 5, Wellgrow Industrial Estate, K.M. 36 Bangna-Trad Road T.Bangsamak, A.Bangpakong, Chachoengsao 24180, Thailand TEL: +66-38-57-0303-8 FAX: +66-38-57-0302
ア メ リ カ	<b>MEP America, Inc.</b> 420 Lexington Avenue, Suite 219 New York, NY 10170, U.S.A. TEL: +1-212-687-6100 FAX: +1-212-687-6110  <b>MEP America Detroit Office</b> Suite 220E, 17546 North Laurel Park Drive Livonia, MI 48152, U.S.A. TEL: +1-734-464-6957 FAX: +1-734-464-6958
ド イ ツ	<b>MEP Europe GmbH</b> Willstatterstr.30, 40549, Duesseldorf, Germany TEL: +49-211-520542-0 FAX: +49-211-520542-72

# 技術資料 物性編

*Dupilon*® NOVAREX®  
**ユーピロン® ノバレックス®**

ポリカーボネート樹脂



# 目 次

1. 製法及び銘柄.....	1
1・1 製        法.....	1
1・2 物性一覧表.....	2
2. 物理定数.....	16
2・1 平均分子量.....	16
2・2 分子量分布.....	19
2・3 比重及び結晶性.....	19
2・4 溶融粘度.....	24
3. 機械的性質.....	28
3・1 引張強さ.....	28
3・2 圧縮強さ.....	34
3・3 曲げ強さ.....	34
3・4 衝撃強度.....	37
3・5 硬        度.....	41
3・6 耐摩耗性及び摩擦特性.....	43
3・7 剪断強さ.....	44
3・8 荷重下における長時間挙動.....	45
3・9 応力亀裂.....	52
4. 熱的性質.....	55
4・1 転移点.....	55
4・2 熱伝導率及び比熱.....	58
4・3 熱膨張率.....	59
4・4 荷重たわみ温度.....	60
4・5 熱安定性及び熱分解.....	62
4・6 耐温水性.....	70
4・7 燃        焼性.....	72
4・8 その他の熱的性質.....	74
5. 電氣的性質.....	75
5・1 絶縁破壊強さ.....	75
5・2 絶縁抵抗.....	76
5・3 誘電率及び誘電正接.....	77
5・4 その他の電氣的性質.....	79

6. 化学的性質 .....	82
6・1 吸水・吸湿率 .....	82
6・2 ガス透過性 .....	84
6・3 耐薬品性 .....	86
7. 光学的性質 .....	92
7・1 光学定数及び光線透過率 .....	92
7・2 耐候(光)性 .....	94
7・3 照射劣化 .....	102
国際単位系(略称SI) .....	105

# 1. 製法及び銘柄

## 1.1 製 法

ポリカーボネートとは、一般に2価ヒドロキシ化合物と炭酸との縮合によって形成されたポリエステルである。

古くからこの種のポリエステルは知られていたが、いずれも重合度が充分でなかったり、低融点であったため、工業的に興味ある樹脂として取り上げられなかった。

1956年、Dr. Schnellによって、2価ヒドロキシ化合物として芳香族系のものを使用する事により、耐熱性のすぐれた熱可塑性樹脂の得られる事が発表されて、一躍工業界の脚光を浴びるに至った。

製法としては、次の二種の方法が知られている。

その一つは、ソルベント法又は溶液法といわれるもので、2価ヒドロキシ化合物のアルカリ水溶液と有機溶剤(例えばメチレンクロライド)との懸濁液に気化ホスゲンを吹き込む事によって、高重合度のポリカーボネートを得る方法である。

この方法は、非常に高重合度のものまで自由に製造できるという特長を有する反面、有機溶剤に溶解している樹脂の精製、分離という行程を必要とする。

第二の方法は、エステル交換法又は熔融法といわれるもので、2価のヒドロキシ化合物と炭酸ジエステル化合物を熔融状態で重縮合させ、ポリカーボネートを得る方法である。この方法は、製品が均一熔融物として取り出せるという特長があるが、高分子量のものできにくい。

## 2. 物 理 定 数

### 2.1 平均分子量

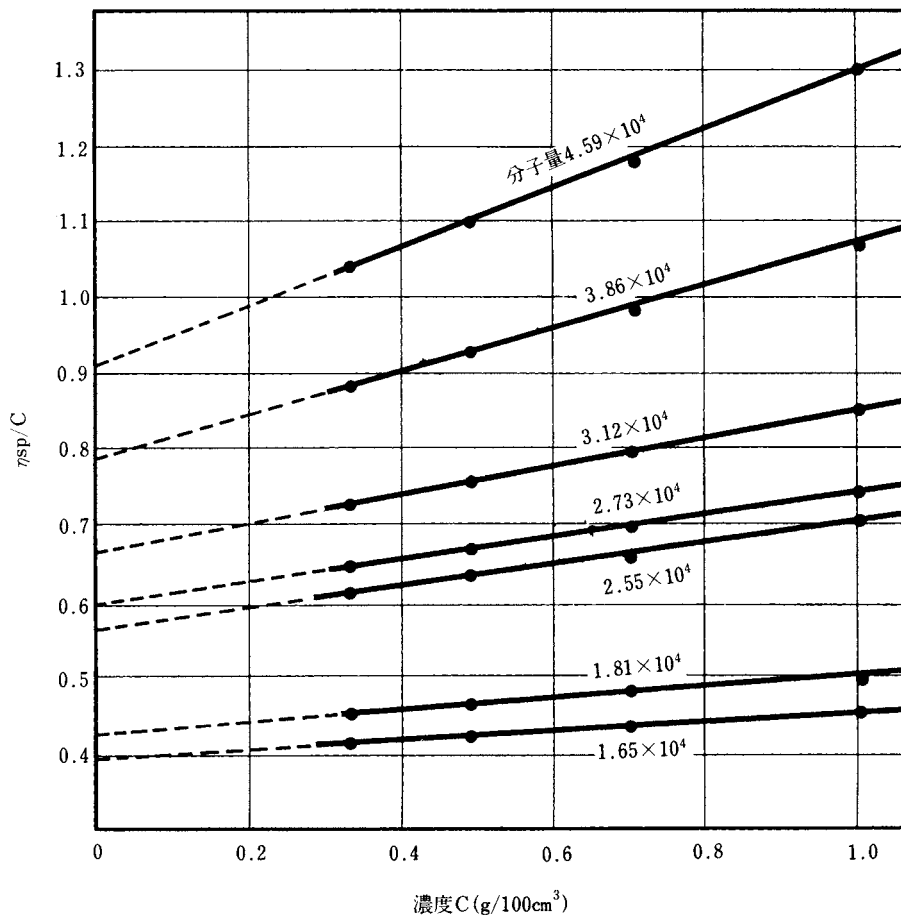
高分子の分子量は一般に、ある幅を持った分布を持っているため、その平均値としてしか求められない。それゆえ平均分子量は、その平均の方法によって異なった結果を与える。例えば、重量平均分子量(Mw)、数平均分子量(Mn)、粘度平均分子量(Mv)等で、一般にこれらの間には

$$M_n < M_v < M_w$$

となる関係がある。

高分子の性質、例えば機械的強度、熔融粘度等は、その平均分子量によって、ほぼ一義的に決まるという関係にあるので、まず最初にその樹脂の平均分子量を知る事が大切である。

ユーピロン／ノバレックスの分子量測定は、粘度法によって行われている。その方法は、次の通りである。



2.1-1 図 ユーピロン／ノバレックスの濃度—還元粘度関係図  
(溶媒はメチレンクロライド、温度20℃)

正確に1gの樹脂を100cm<sup>3</sup>のメチレンクロライドに均一溶解し、オストワルド粘度計で、その比粘度 $\eta_{sp}$ を測定する。更に濃度をかえて、同様に比粘度を測定し、各濃度と $c$ と $\eta_{sp}/c$ とをグラフにプロットし

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \eta_{sp}/c \quad (2\cdot1-1)$$

を求める。ここで $[\eta]$ は極限粘度といわれるもので、 $[\eta]$ と平均分子量との関係はSchnellによって

$$[\eta] = 1.23 \times 10^{-4} M^{0.83} \quad (2\cdot1-2)$$

と与えられている。

ユーピロン/ノバレックスの $\eta_{sp}/c$ と $c$ との関係を図示すると、2・1-1図の様になる。これらの各直線は

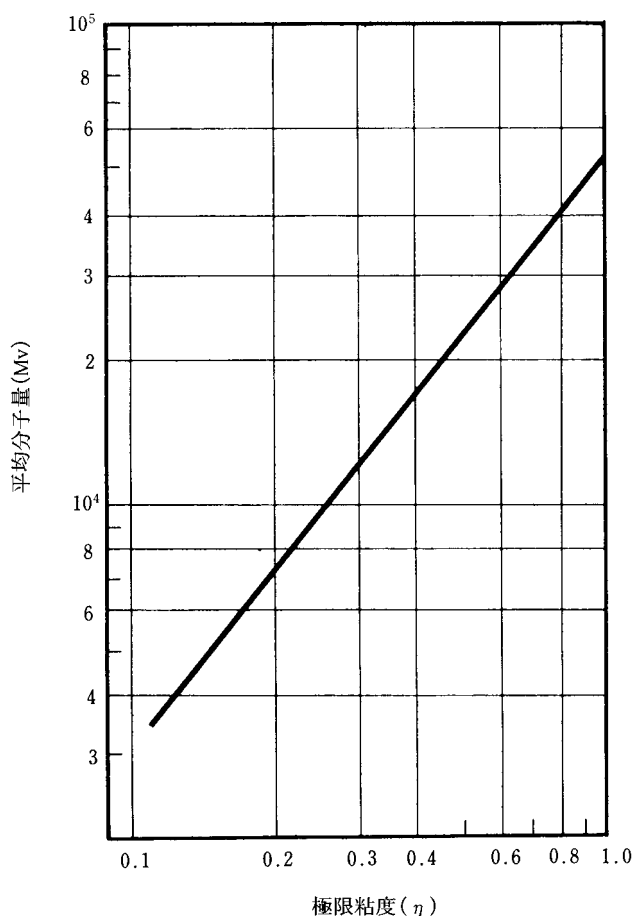
$$\eta_{sp}/c = [\eta] + k'[\eta]^2 c \quad (2\cdot1-3)$$

となる関係をみたしており、 $k'$ は分子量によらず

$$k' = 0.45$$

となる定数である。従って2・1-3式において、ある濃度 $c$ における $\eta_{sp}/c$ を測定すれば $k'$ が判明しているので、計算によって $[\eta]$ を求める事ができる。この方法を一点測定法という。

2・1-2式を図示すると、2・1-2図の様になる。



2・1-2 図 極限粘度—平均分子量関係図

ポリカーボネートの溶液物性については多くの報文が提出されているが、その中で $[\eta]$ と各種分子量の関係についての結果をまとめてみると、2・1-1表の様になる。

2・1-1表  $[\eta]$ と平均分子量の関係式

測定者	温度	測定方法	溶媒	関係式
H. Schnell	20°C	浸透圧法	MC	$[\eta] = 1.23 \times 10^{-4} M_n^{0.83}$
C. V. Schulz	20°C	超遠心分離法	THF	$[\eta] = 3.99 \times 10^{-2} M_w^{0.70}$
	〃	〃	MC	} $[\eta] = 1.11 \times 10^{-2} M_w^{0.82}$
	〃	光散乱法	MC	
General Electric	25°C	光散乱法	ジオキサン	$[\eta] = 5.54 \times 10^{-4} M_w^{0.67}$
S. H. Merrill		沸点上昇法	Cl-ベンゼン	$[\eta] = 5.7 \times 10^{-5} M_n^{1.01}$
A. Chirico	20°C	光散乱法	クロロホルム	$[\eta] = 0.277 \times M_w^{0.5}$
甲 田		氷点降下法	ジオキサン	$[\eta] = 1.33 \times 10^{-4} M_n^{0.96}$
寺 町	20°C	光散乱法	ジオキサン	$[\eta] = 9.15 \times 10^{-4} M_w^{0.6}$
	〃	〃	THF	$[\eta] = 1.0 \times 10^{-1} M_w^{0.57}$
	〃	浸透圧法	〃	$[\eta] = 2.3 \times 10^{-2} M_w^{0.76}$
G. Sitaramaiah	25°C	光散乱法	EC	$[\eta] = 2.04 \times 10^{-4} M_w^{0.76}$
	〃	〃	TCE	$[\eta] = 1.34 \times 10^{-4} M_w^{0.82}$
	〃	〃	THF	$[\eta] = 3.89 \times 10^{-4} M_w^{0.70}$
	〃	〃	クロロホルム	$[\eta] = 1.20 \times 10^{-4} M_w^{0.82}$

注 MC：メチレンクロライド， THF：テトラヒドロフラン  
EC：エチレンクロライド， TCE：テトラクロロエタン

## 2・2 分子量分布

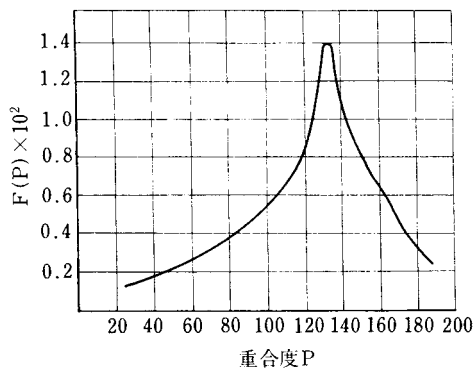
平均分子量が知れたら，次にそれがどの様な分布の平均値であるかを知る事が大切である。同じ平均分子量であっても，その分布の様子によって，樹脂の性能が異なるからである。

分子量分布の測定方法には色々あるが，その原理は分子量の違いによって，溶解度，沈降速度，吸着性等が違う事を利用して，各分子量毎に(実際にはある幅を持っているが)分別を行い，それぞれの重量%を求める事にある。

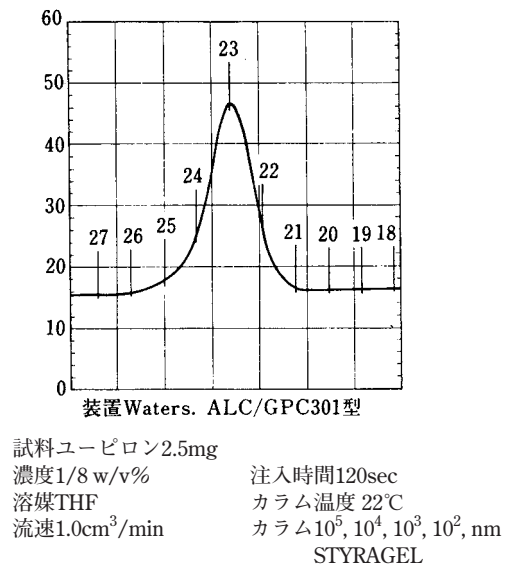
ユーピロン・フィルム(分子量 $3.2 \times 10^4$ ，フィルム厚0.08mm)をアセトン-メチレンクロライド混合溶媒で逐次溶解分別して得られた結果を2・2-1 図に示す。

図中，重合度とは分子量を重合の繰返し単位の分子量(=254)で割ったものである。

又，GPC法によってユーピロンの分子量分布を測定した結果を2・2-2 図に示した。



2・2-1 図 ユーピロンの分子量分布



2・2-2 図 GPCによるユーピロンの分子量分布

図から解る様にユーピロンの分子量分布は，非常に均整のとれた，しかも幅の狭いもので， $U(M_w/M_n - 1)$  値は1～2の範囲に入る。

## 2・3 比重及び結晶性

ユーピロン／ノバレックスの比重は，2・3-1 表の通りである。

2・3-1 表

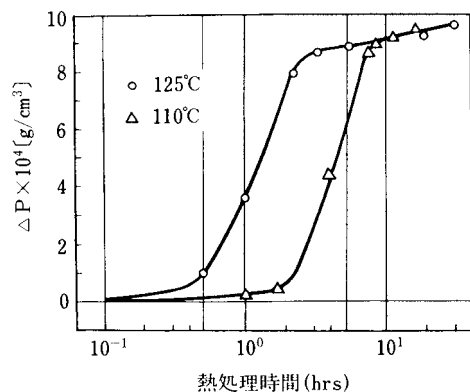
300℃	1.06	射出成形品	1.19
250℃	1.10	ペレット	1.19
完全結晶	1.30	圧縮成形品	1.19
キャストフィルム	1.22		

ポリカーボネートを $T_g$ (ガラス転移点)以下の温度で熱処理すれば硬化現象を示すが，2・3-3 図に示した様にX線的には何ら変化が示されないで，結晶化は起こっていないと考えられている。しかし，最近電子顕

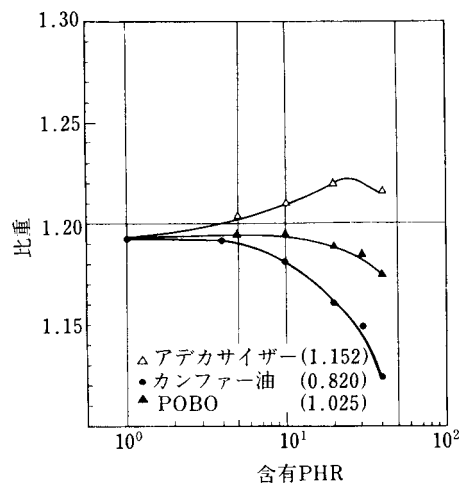


顕微鏡、示差熱分析、比重測定等、各種測定が行われ、少なくとも局部的に充填密度の高い領域(結晶までは発展していないが、かなり高い配列を有するものと考えられる)が生成している事が指摘されている。2・3-1 図に熱処理による密度の変化を示した。

又、ユーピロンに可塑剤を添加した場合の比重の変化は、2・3-2 図の様になる。



2・3-1 図 熱処理による密度の変化



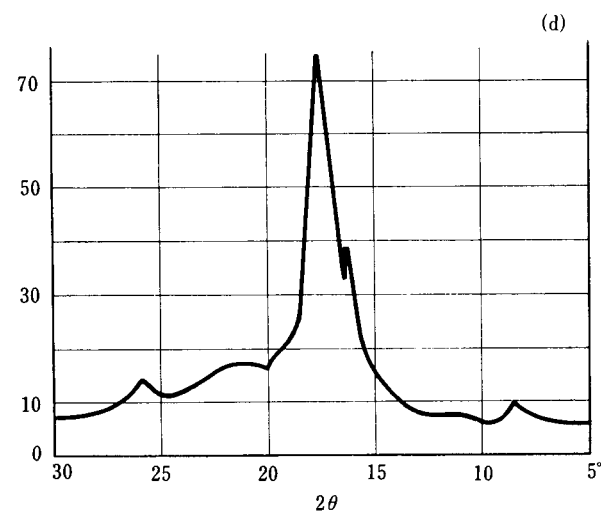
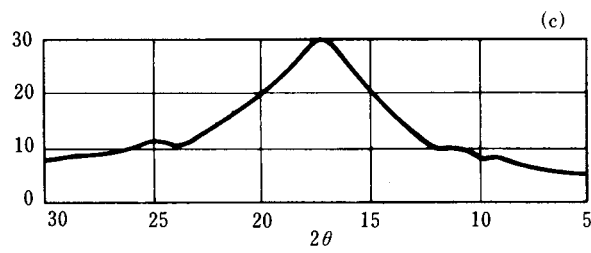
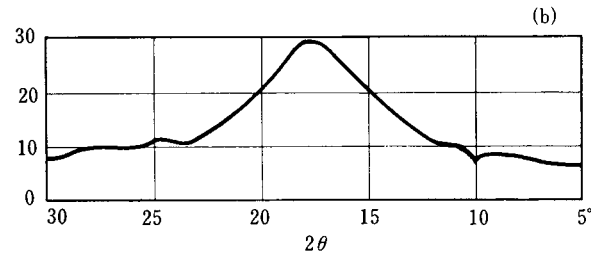
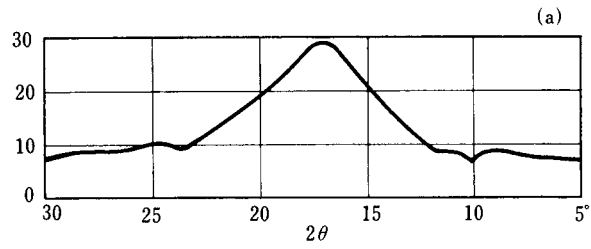
2・3-2 図 可塑剤添加による比重の変化

市販されている他の樹脂との比較は、2・3-2 表に示した。

2・3-2 表 各種プラスチックの比重

ポリマー	平均比重	ポリマー	平均比重
テフロン	2.2	高衝撃ポリスチレン(HIPS)	1.06
クロロフルオロエチレン	2.1	ポリスチレン	1.06
ポリアセタール	1.4	ポリフェニレンエーテル(PPE)	1.06
ゴム変性塩化ビニル	1.35	高衝撃ABS	1.05
セルロース・アセテート	1.3	ABS	1.05
ポリスルフォン	1.24	高密度ポリエチレン	0.95
セルロース・ブチレート	1.2	中密度ポリエチレン	0.93
セルロース・プロピオネート	1.2	低密度ポリエチレン	0.92
ポリカーボネート	1.2	ポリプロピレン	0.90
ナイロン	1.14		
エチルセルロース	1.13	ガラス繊維入りナイロン	1.33
アクリル(PMMA)	1.12	ガラス繊維入りポリスチレン	1.3

ユーピロン／ノバレックスの結晶化は、一般には非常に起こりにくい。2・3-3 図に示した様に、結晶化最適温度は190℃付近であるが、その温度においても結晶化の誘導時間は130～170時間が必要であり、その達成結晶化度は30%程度である。2・3-4 図にこの関係を示したが、図から明らかな様に分子量の影響がある。又、処理温度の影響を2・3-5 図に示した。



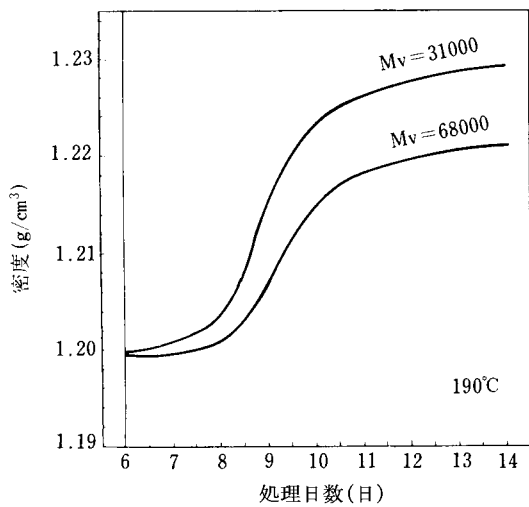
- a) 280°C溶融状態      c) 130°C20日間熱処理後  
 b) 20°Cガラス状態    d) 190°C 8日間熱処理後

2・3-3 図 ユーピロンのX線回折強度

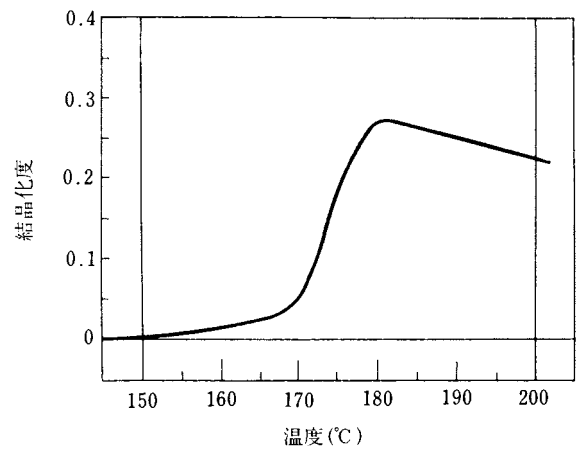
ユーピロンに適当な有機物を添加すると、結晶化の誘導時間が短縮される。

2・3-6 図に示した様に、ジフェニールエーテル10%を含有する試料では、誘導時間は5時間程度になる。しかし、分子量が $5.0 \times 10^4$ 以上になると、 $190^\circ\text{C}$  20hrs程度では結晶は認められない。又、これに核剤を少量加えると、結晶化は更に急速に起こる事が2・3-7 図より解る。この様な結晶化の傾向は、2・3-8 図に示した様に分子量の影響を受け、 $M_v = 4.0 \times 10^4$ 以上になると急速に低下する様である。

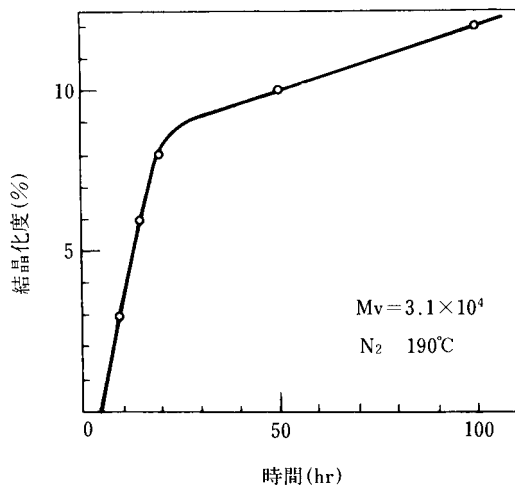
同様の結晶化現象は、熱処理以外、例えばキャストフィルムを作る場合、希薄溶液からの沈殿、膨潤剤への浸漬等によっても起こる。2・3-9 図は種々の分子量のユーピロンをトルエンに浸漬した場合の結晶化度を示したものであるが、 $M_v = 4.0 \times 10^4$ 以上では、到達する結晶化度が大きく変化しない様になる。この様な膨潤剤としては、ケトン、アルデヒド、エーテル、エステル類がある。



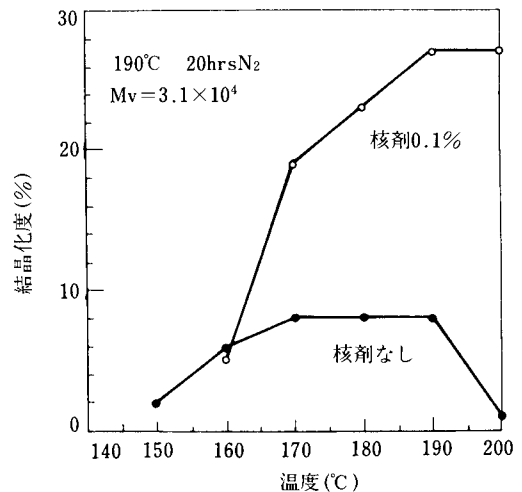
2・3-4 図 熱処理による密度の変化



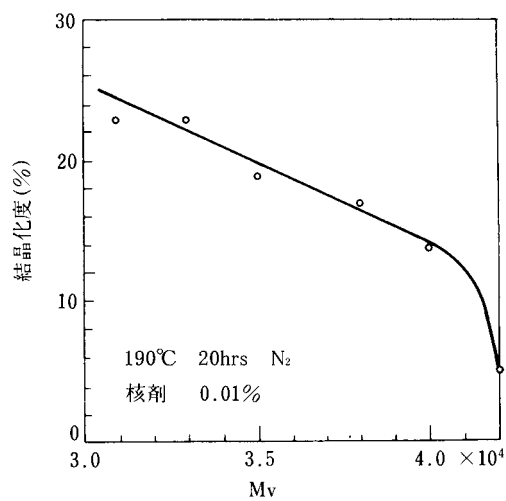
2・3-5 図 処理温度と結晶化度の関係



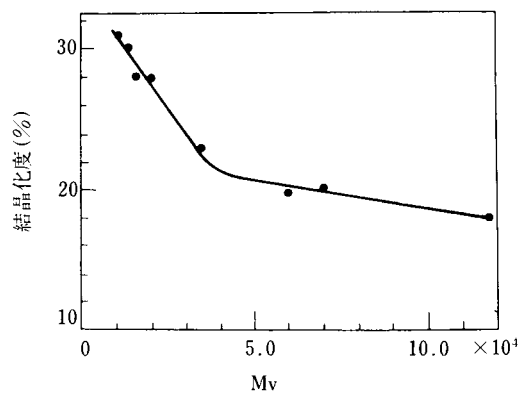
2・3-6 図 ジフェニールエーテル含有試料の結晶化度



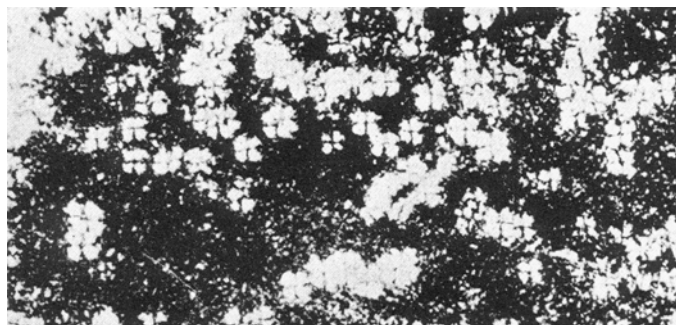
2・3-7 図 ジフェニールエーテル含有試料の結晶化度と処理温度の関係



2-3-8 図 ジフェニールエーテル含有試料の結晶化度の分子量依存性



2-3-9 図 トルエンに浸漬した試料の飽和結晶化度



2-3-10 図 ユーピロン／ノバレックスの球晶(偏光顕微鏡写真)

ユーピロン／ノバレックスの結晶は、ほとんどの場合2-3-10 図に示した様に球晶構造を有している。  
 ユーピロン／ノバレックス成形材料は、実質的に非晶質で実際の成形工程や使用環境において、結晶化による性能の変化は無いものと考えてよい。

## 2・4 溶 融 粘 度

ユーピロン／ノバレックスは、他の樹脂に比べて溶融粘度が高い。

又、溶融粘度は圧力及び温度に影響を受けて変化するが、ユーピロン／ノバレックスの場合は、圧力よりも温度による影響の方が大きい。

高化式フローテスターによって測定した結果を2・4-1 図、2・4-2 図、2・4-3 図、2・4-4 図に示す。

2・4-2 図から直線の勾配を求めると、ユーピロン／ノバレックスは-0.2で、アセチロイド、ポリスチレン、ポリエチレンに比べ非常に小さい。即ち、ユーピロン／ノバレックスの溶融粘度は圧力の影響をほとんど受けない。従って、ユーピロン／ノバレックスは高温において、ニュートン液体として取り扱うことが実用的に可能である。

2・4-4 図の直線の勾配から流動の活性化エネルギーを求めると、ユーピロン／ノバレックスは26～29kcal/molで、アセチロイドの47kcal/molについて大きい。従って、温度を上げることによる溶融粘度の低下が非常に大きいことがわかる。

ユーピロン／ノバレックスの分子量と溶融粘度との関係をFloryの関係式で整理すると2・4-5 図の通りで、この直線の勾配と縦軸切片からFloryの関係式の定数を求めると

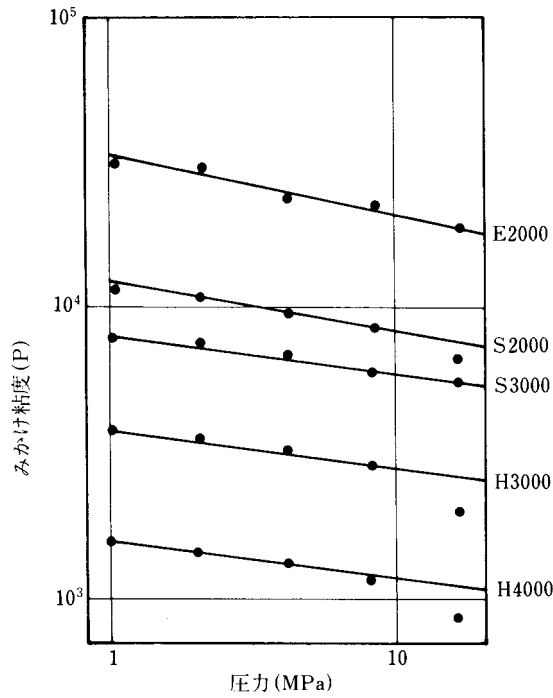
$$\log Q = 2.39 - 0.023M^{1/2}$$

の関係式が得られる。又、Foxの関係式 $\log \eta = a \log Mw - B$ で整理すると、2・4-1 表の様になる。

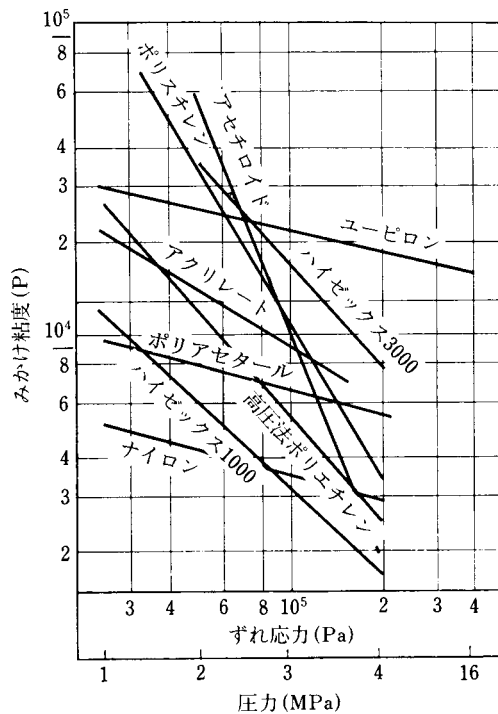
2・4-1 表 溶融粘度と分子量の関係

測定者	試料	測定条件		$\alpha$	B
		$\tau$	温度		
J. Bojarski	分別試料 U=1.2~1.3	0	280°C	5.52	20.6
		$10^4$	〃	5.15	19.0
		$10^5$	〃	4.46	16.0
		$2 \times 10^5$	〃	4.27	15.2
J. Bojarski	未分別	0	280°C	3.02	9.6
G. F. Baumann	未分別	$2.6 \times 10^5$	302°C	3.23	10.73
三菱ガス化学(株)	未分別	$40 \times 10^5$	280°C	4.5	15.9

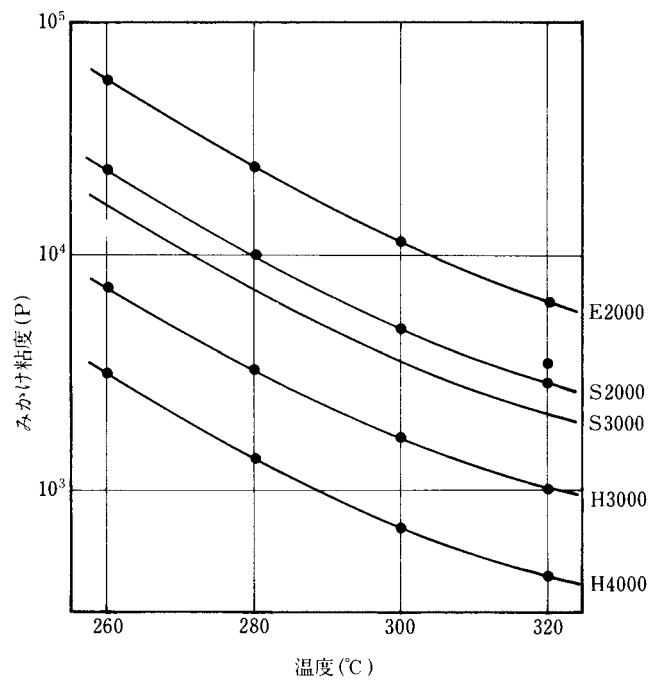
$\tau$ の単位はdPa(dyne/cm<sup>2</sup>)



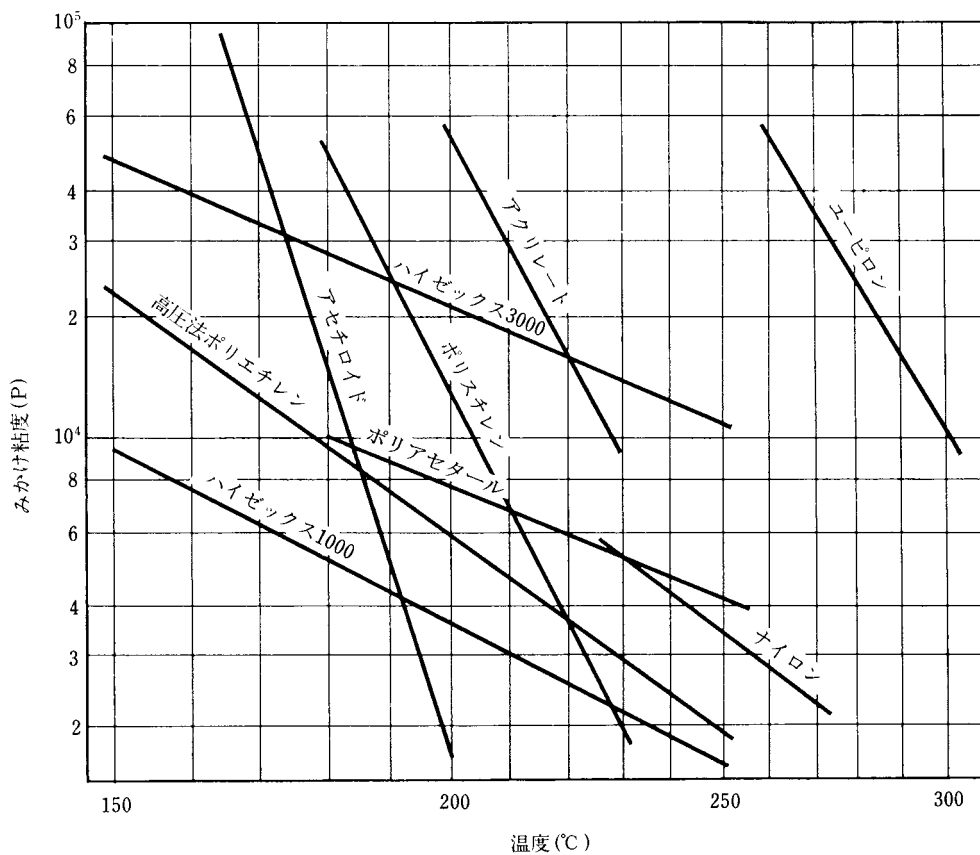
2-4-1 図 ユーピロンの溶融粘度と圧力との関係  
(高化式フローテスター, 温度280°C, ノズル  $\phi 1 \times 10 \text{mmL}$ )



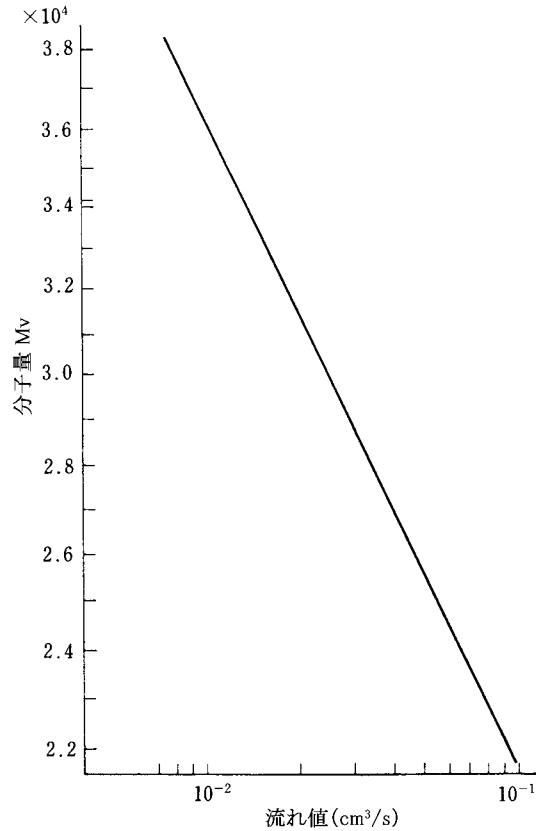
2-4-2 図 種々な樹脂の溶融粘度と圧力との関係  
(高化式フローテスター, ノズル  $\phi 1 \times 10 \text{mmL}$   
温度/ユーピロン280°C, アセチロイド180°C, ナイロン, アクリレート230°C 他はすべて200°C)



2-4-3 図 ユーピロンの溶融粘度と温度との関係  
(高化式フローテスター, 圧力3.9MPa, ノズル  $\phi 1 \times 10\text{mmL}$ )



2-4-4 図 種々な樹脂の溶融粘度と温度との関係  
(高化式フローテスター, ノズル  $\phi 1 \times 10\text{mmL}$ , 圧力はナイロンのみ0.98MPaで他は3.9MPa)



2-4-5 図 ユーピロン／ノバレックスの分子量と流れ値との関係  
 (高化式フローテスター, ノズル  $\phi 1 \times 10 \text{mmL}$ , 圧力  $15.7 \text{MPa}$  ( $160 \text{kgf/cm}^2$ ), 温度  $280^\circ\text{C}$ )

ユーピロン／ノバレックスの成形性を表す尺度として「流れ値」を用いているが、この「流れ値」は高化式フローテスターで測定したもので、測定条件は  $280^\circ\text{C}$ ,  $15.7 \text{MPa}$  ( $160 \text{kgf/cm}^2$ ), ノズル  $\phi 1 \times 10 \text{mmL}$  である。測定値は  $\text{cm}^3/\text{s}$  で与えられる。この値から通常の方法で熔融粘度が計算されるが、実用上の比較値としては、この「流れ値」で充分である。「流れ値」の表示法は、例えば測定値が  $3.0 \times 10^2 \text{cm}^3/\text{s}$  の時、3.0 と表示している。

	単位	条件	E-2000 7027A	S-2000 7025A	S-3000 7022A
メルトボリューム インデックス	$\text{cm}^3/10\text{min}$	ISO-1133 $300^\circ\text{C}$ 1.2kg	4~6	9~12	12~19
流れ値 (Q値)	$10^2 \cdot \text{cm}^3/\text{s}$	$280^\circ\text{C}$ 15.7MPa ( $160 \text{kgf/cm}^2$ )	0.5~3	3~7	5~12

注：試験方法に基づいた測定値の代表値です。



### 3. 機械的性質

#### 3-1 引張強さ

ユーピロン／ノバレックスのASTM-D638タイプ1試験片を歪速度5mm/minで引っ張った場合の応力-歪曲線は3-1-1図の通りである。

室温において、ユーピロン／ノバレックスは次のような値を示す。

$$\sigma_y = 54 \sim 64 \text{MPa} (550 \sim 650 \text{kgf/cm}^2)$$

$$\sigma_b = 59 \sim 69 \text{MPa} (600 \sim 700 \text{kgf/cm}^2)$$

$$\epsilon_y = 6 \sim 8\%$$

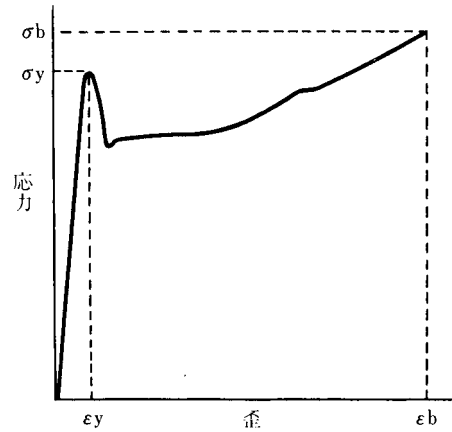
$$\epsilon_b = 90 \sim 140\%$$

ユーピロン／ノバレックスの引張性質の温度特性を

3-1-2図に示す。

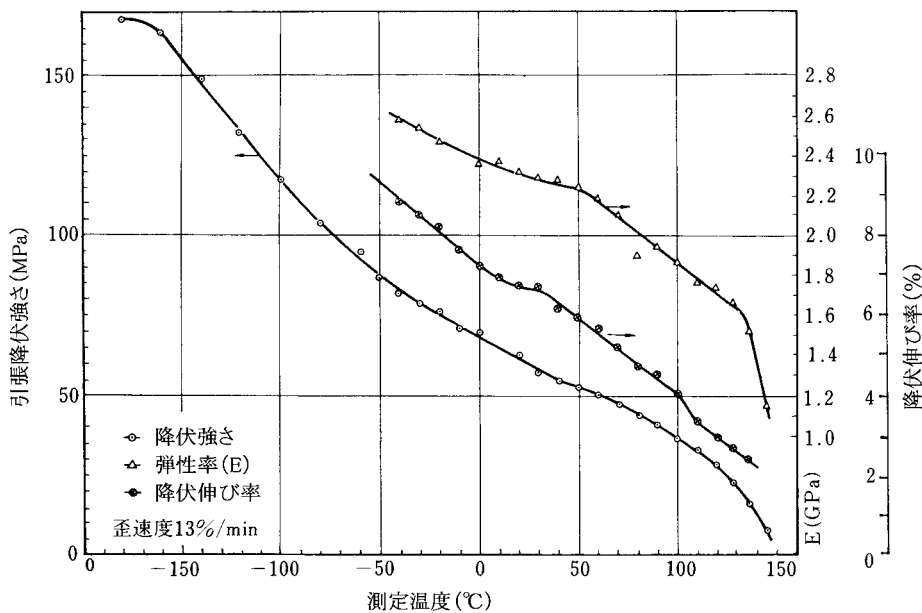
歪速度の影響は3-1-3, 4図に示した。低い歪速度の範囲では、降伏強さとの関係は3-1-3図の様に直線で表示できるが、高い歪速度になると3-1-4図に示した様に急速に増大する様である。

引張性質の分子量依存性は3-1-5, 6, 7図に示した。ユーピロン／ノバレックスは、 $M_v=15000$ で完全な脆性破壊体になる。

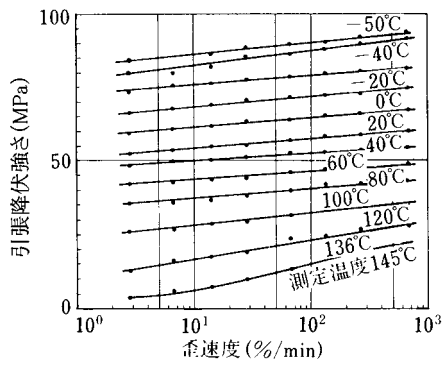


3-1-1図 ユーピロン／ノバレックスの応力-歪曲線

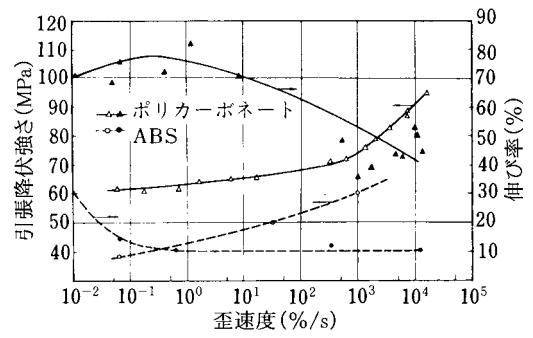
$\sigma_y$  降伏強さ       $\sigma_b$  破断強さ  
 $\epsilon_y$  降伏時伸び     $\epsilon_b$  破断時伸び



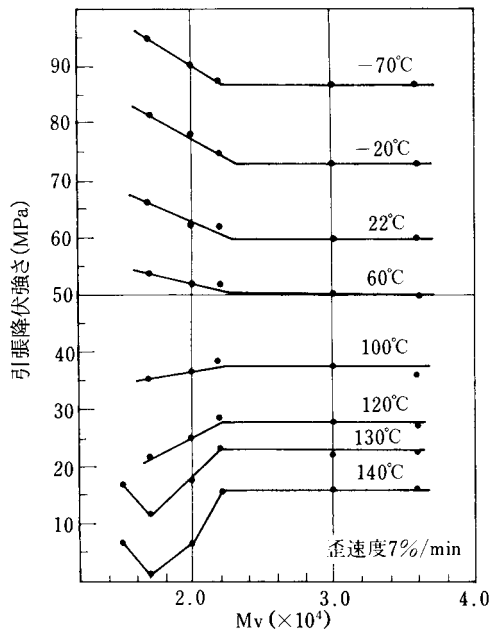
3-1-2図 引張性質の温度特性曲線



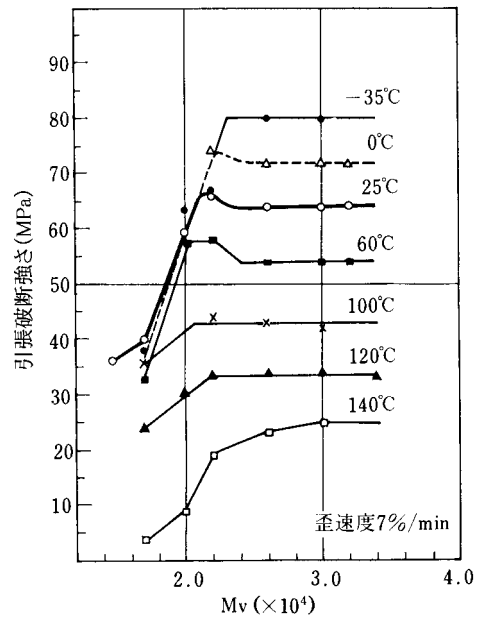
3-1-3 図 引張降伏強さの歪速度依存性



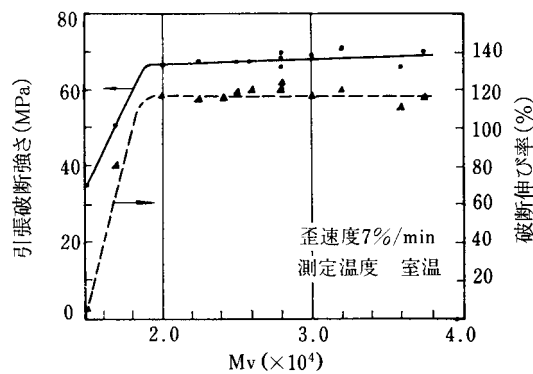
3-1-4 図 引張降伏強さ及び破断伸びの歪速度依存性(文献値)



3-1-5 図 引張降伏強さの分子量依存性



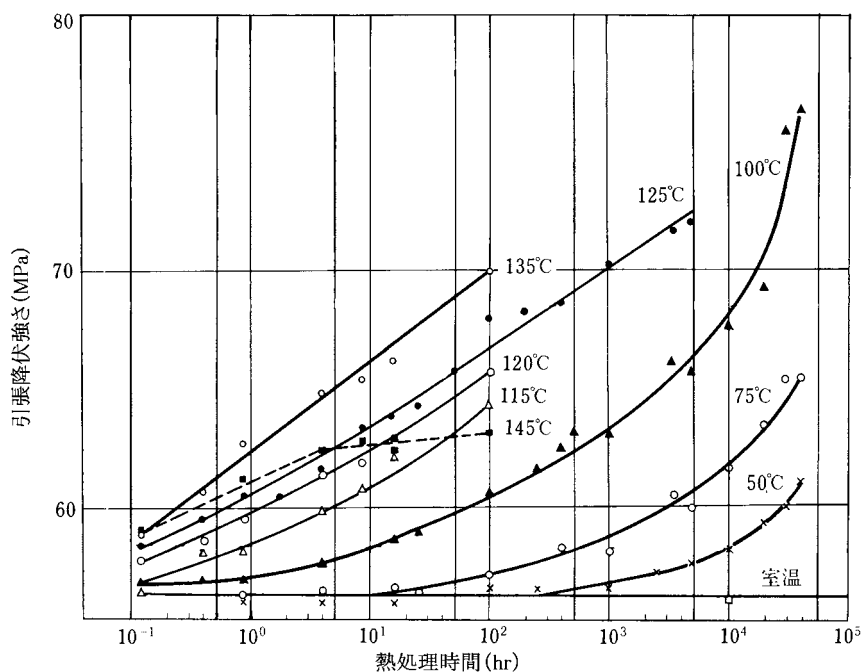
3-1-6 図 引張破断強さの分子量依存性  
(切欠がある場合の0.25RのVノッチ付き、切欠深さ1mm)



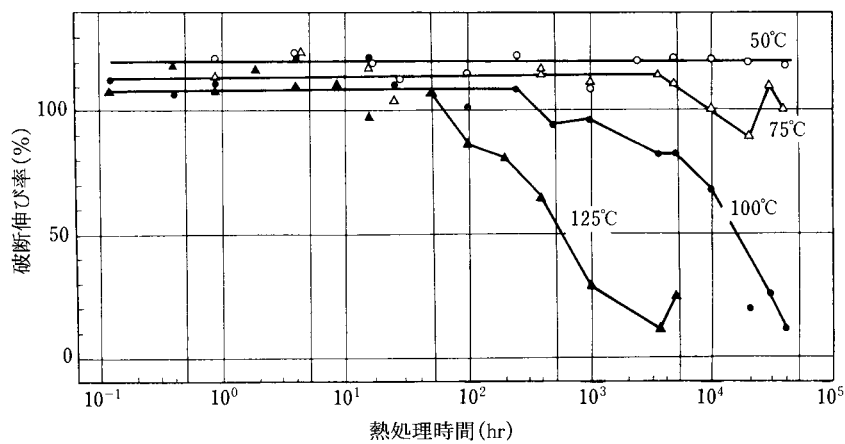
3-1-7 図 引張性質の分子量依存性

ユーピロン／ノバレックスを熱処理すると、3・1-8, 9 図に示した様に硬化現象を示す。降伏強さは50℃でも上昇するが、3・1-10 図の様に130~135℃において最も早く硬化を起こす。

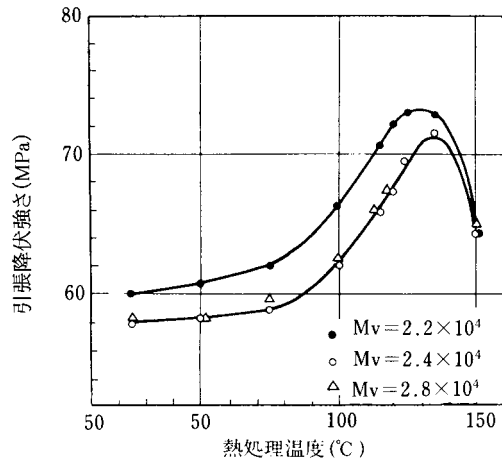
ユーピロンの引張性質を他の樹脂と比較すると、3・1-11, 12, 13, 14 図のようになる。



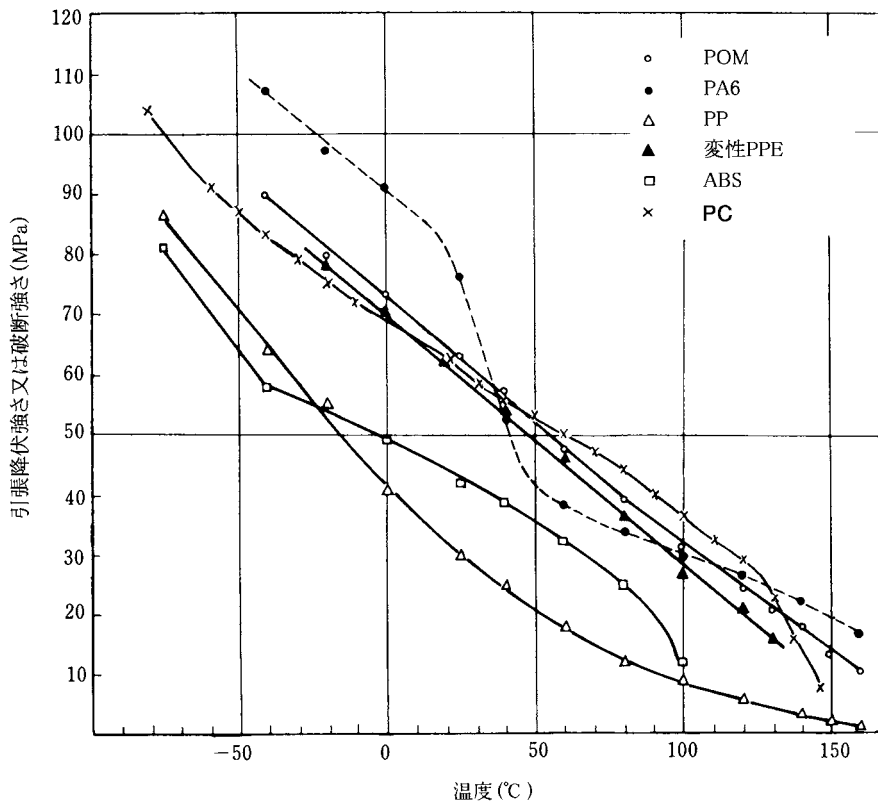
3・1-8 図 熱処理による引張降伏強さの変化  
(歪速度 7%/min)



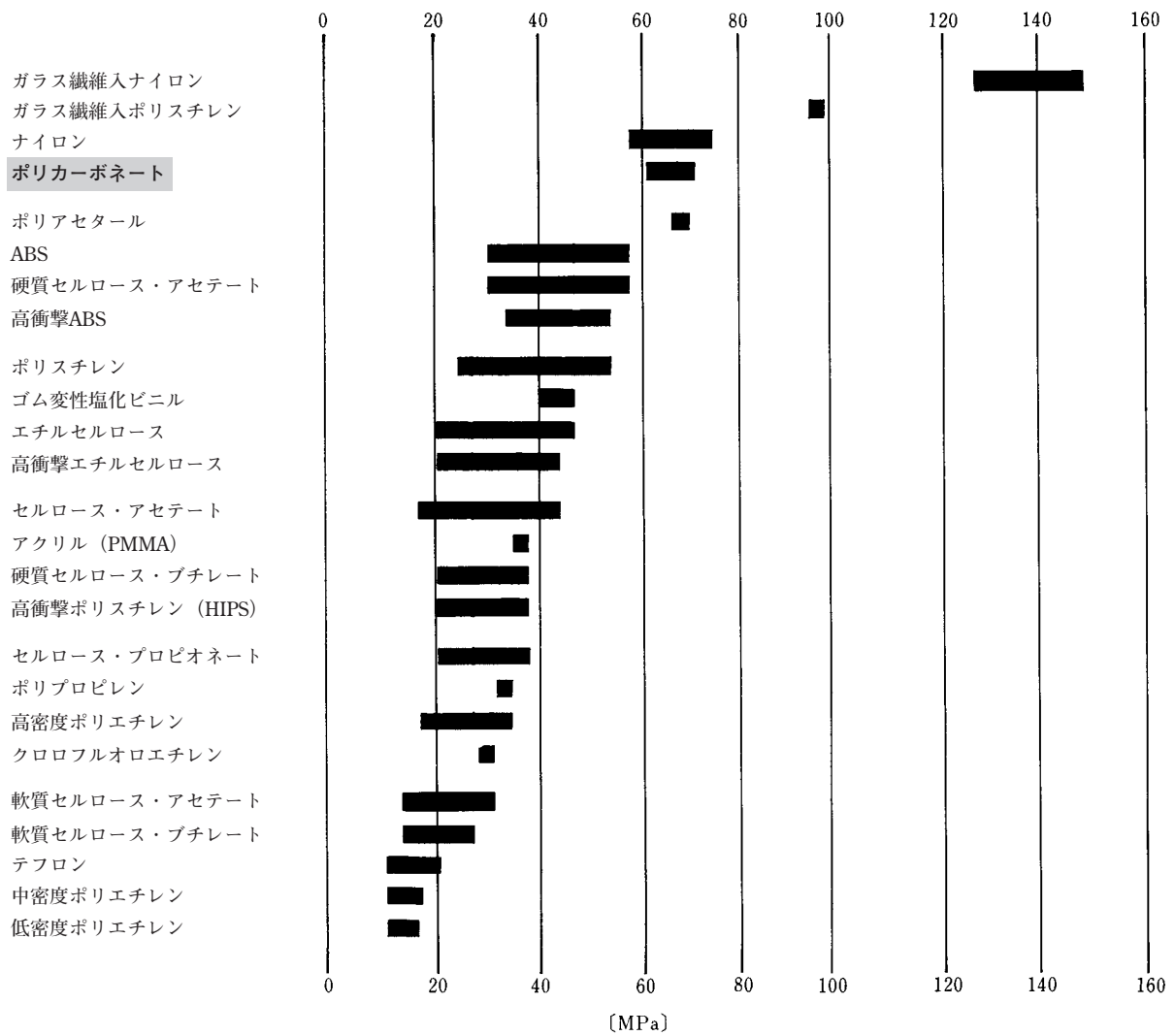
3・1-9 図 熱処理による破断伸び率の変化  
(歪速度 7%/min, 室温)



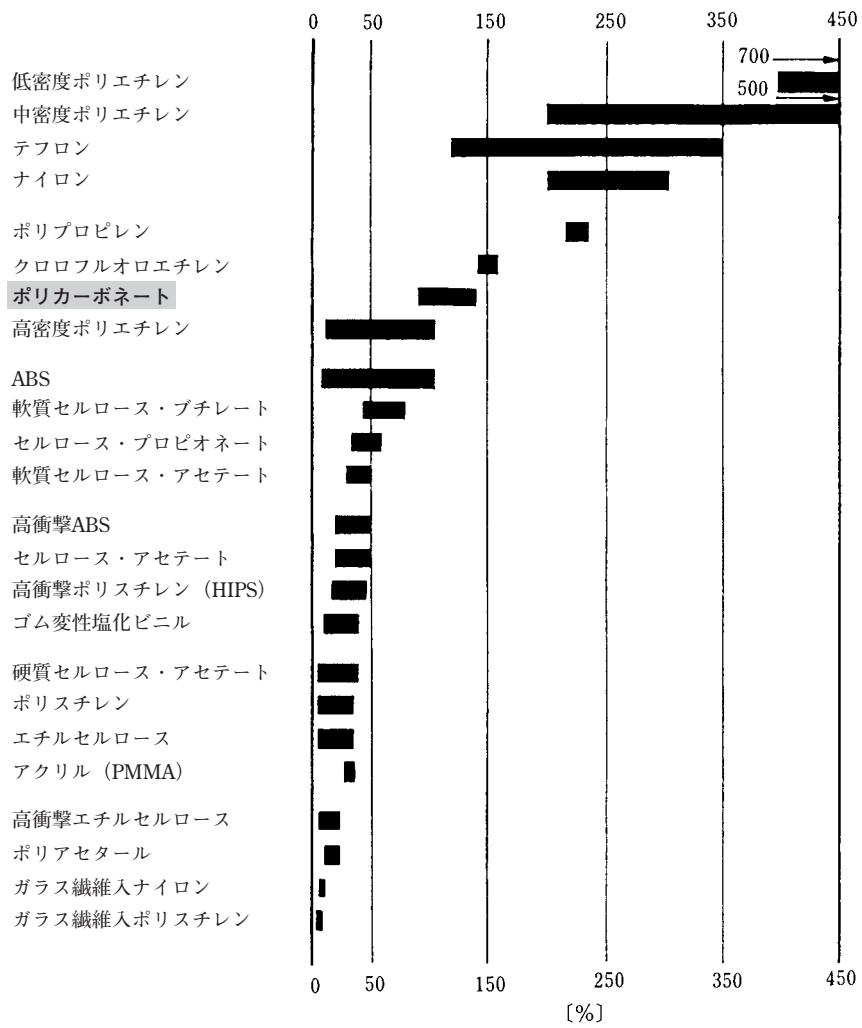
3-1-10 図 熱処理による引張降伏強さの変化  
(歪速度 7%/min, 熱処理時間100時間)



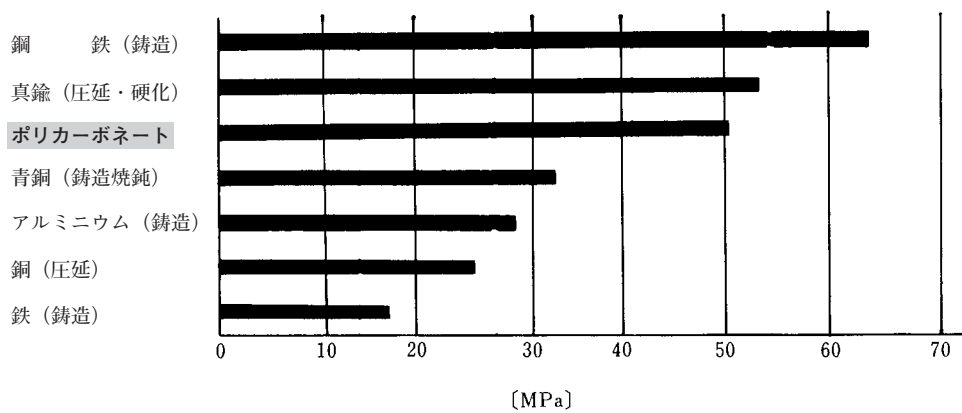
3-1-11 図 ユーピロン/ノバレックスと他の樹脂との関係



3・1-12 図 種々な樹脂の破断応力



3-1-13 図 種々な樹脂の破断伸び率



3-1-14 図 ポリカーボネート及び金属の重量当たりの引張強さ

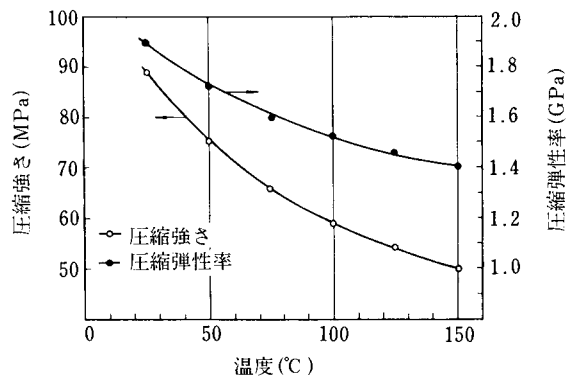
### 3-2 圧縮強さ

ユーピロン／ノバレックスの圧縮強さは74～88MPa(750～900kgf/cm<sup>2</sup>)，弾性率は1.7～1.9MPa(17×10<sup>3</sup>～19×10<sup>3</sup>kgf/cm<sup>2</sup>)である。又，降伏時の変形率は8～10%である。

ユーピロン／ノバレックスの圧縮強さ，弾性率と温度の関係は，3-2-1 図に示した通りである。

ユーピロン／ノバレックスのポアソン比は0.38である。

他の樹脂と比較すると，3-2-1 表の通りである。



3-2-1 図 ユーピロン／ノバレックスの圧縮強さ，弾性率の温度変化

3-2-1 表

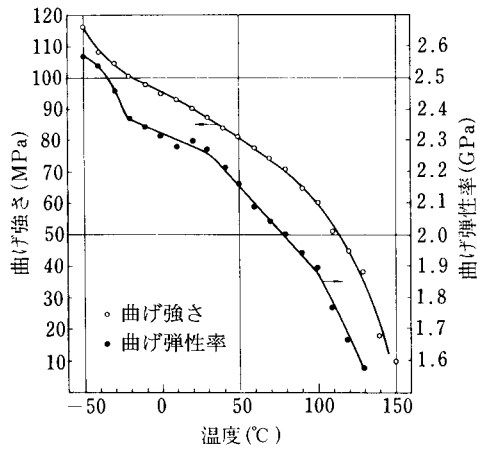
ポリマー名	圧縮強さ (ASTM-D695) MPa(kgf/cm <sup>2</sup> )	ポリマー名	圧縮強さ (ASTM-D695) MPa(kgf/cm <sup>2</sup> )
ポリカーボネート	76.5(780)	硬質セルロース・ブチレート	53.0～154(540～1570)
ゴム変性塩化ビニル	35.3～62.8(360～640)	ガラス繊維入ポリスチレン	91.2～108(930～1100)
高衝撃ポリスチレン(HIPS)	28.4～62.8(290～640)	セルロース・アセテート	105～176(1070～1790)
セルロース・プロピオネート	49.0～154(500～1570)	ガラス繊維入ナイロン	112(1140)
高衝撃エチルセルロース	69.6～245(710～2500)	硬質セルロース・アセテート	133～253(1360～2580)
エチルセルロース	69.6～245(710～2500)	変性アクリル(MMA)	44.1～98.1(450～1000)
軟質セルロース・アセテート	91.2～140(930～1430)	ポリアセタール	36.3(370)
軟質セルロース・ブチレート	53.0～154(540～1570)	ポリプロピレン	59.8～69.6(610～710)

### 3-3 曲げ強さ

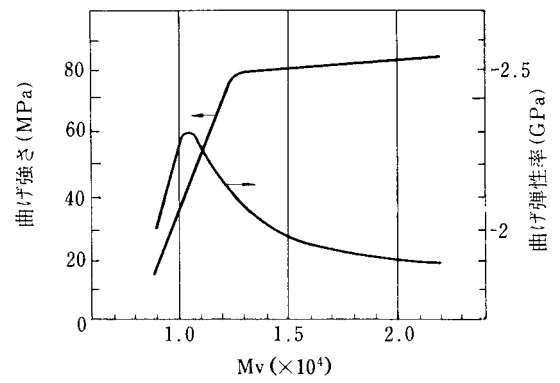
ユーピロン／ノバレックスの曲げ強さは80～90MPa(820～920kgf/cm<sup>2</sup>)，曲げ弾性率は2.26GPa(23000kgf/cm<sup>2</sup>)である。又，角度が80～90°に達しても破断しない。

ユーピロン／ノバレックスの曲げ性質の温度特性曲線は3-3-1 図に，分子量依存性は3-3-2, 3 図に示した。

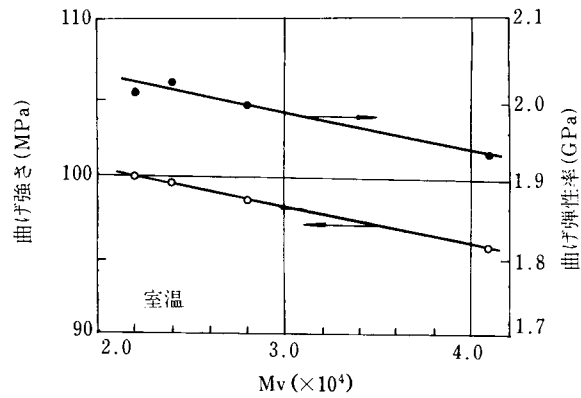
熱処理による曲げ性質の変化は3-3-4 図に示した。



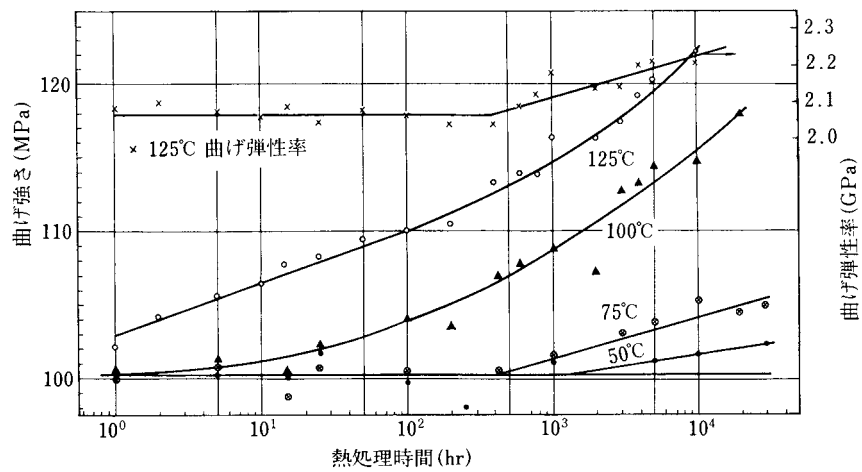
3-3-1 図 曲げ性質の温度特性曲線



3-3-2 図 曲げ強さの平均分子量依存性(文献)



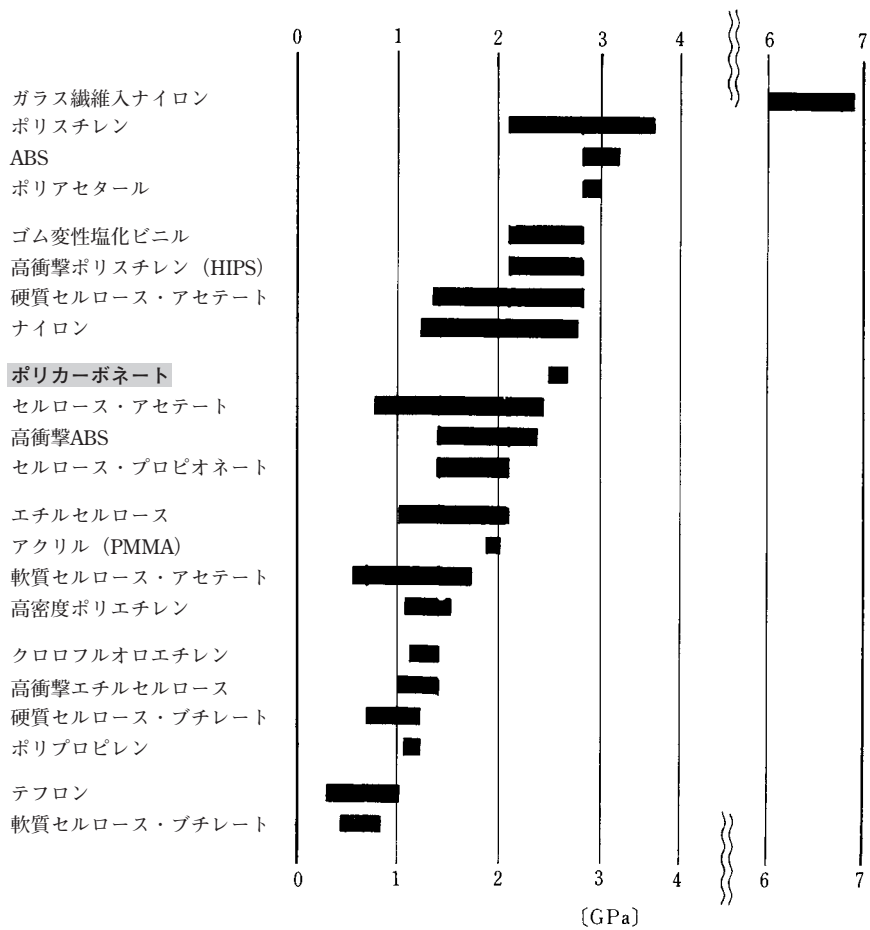
3-3-3 図 曲げ性質の平均分子量依存性



3-3-4 図 熱処理による曲げ性質の変化  
( $M_v = 2.8 \times 10^4$ )



他樹脂との比較を3・3-5 図と3・3-1 表に示した。



3・3-5 図 種々な樹脂の曲げ弾性率

3・3-1 表

ポリマー名	曲げ強さ (ASTM-D790) MPa (kgf/cm <sup>2</sup> )	ポリマー名	曲げ強さ (ASTM-D790) MPa (kgf/cm <sup>2</sup> )
ポリカーボネート	80.4~90.2 <sup>d</sup> (820~920 <sup>d</sup> )	テフロン	NB
高衝撃ポリスチレン (HIPS)	NB	クロロフルオロエチレン	NB
セルロース・プロピオネート	27.5~64.7 <sup>d</sup> (280~660 <sup>d</sup> )	ガラス繊維入基材入ナイロン	140~155 (1430~1580)
高衝撃ABS	48.1~55.9 <sup>d</sup> (490~570)	ポリスチレン	NB
高衝撃エチルセルロース	27.5~42.2 (280~430)	ABS	53.0~77.5 (540~790)
エチルセルロース	27.5~70.6 (280~720)	硬質セルロース・アセテート	41.2~70.6 <sup>d</sup> (420~720 <sup>d</sup> )
軟質セルロース・アセテート	18.6~50.0 <sup>d</sup> (190~510 <sup>d</sup> )	ナイロン	NB
軟質セルロース・ブチレート	17.7~36.3 <sup>d</sup> (180~370 <sup>d</sup> )	アクリル (PMMA)	62.8~91.2 (640~930)
硬質セルロース・ブチレート	27.5~55.9 (280~570)	ポリアセタール	100 (1020)
ガラス繊維入ポリスチレン	113 (1150)	ポリプロピレン	56.9 (580)
セルロース・アセテート	25.5~58.8 <sup>d</sup> (260~600 <sup>d</sup> )		

NB=no break, d=降伏応力

### 3・4 衝撃強度

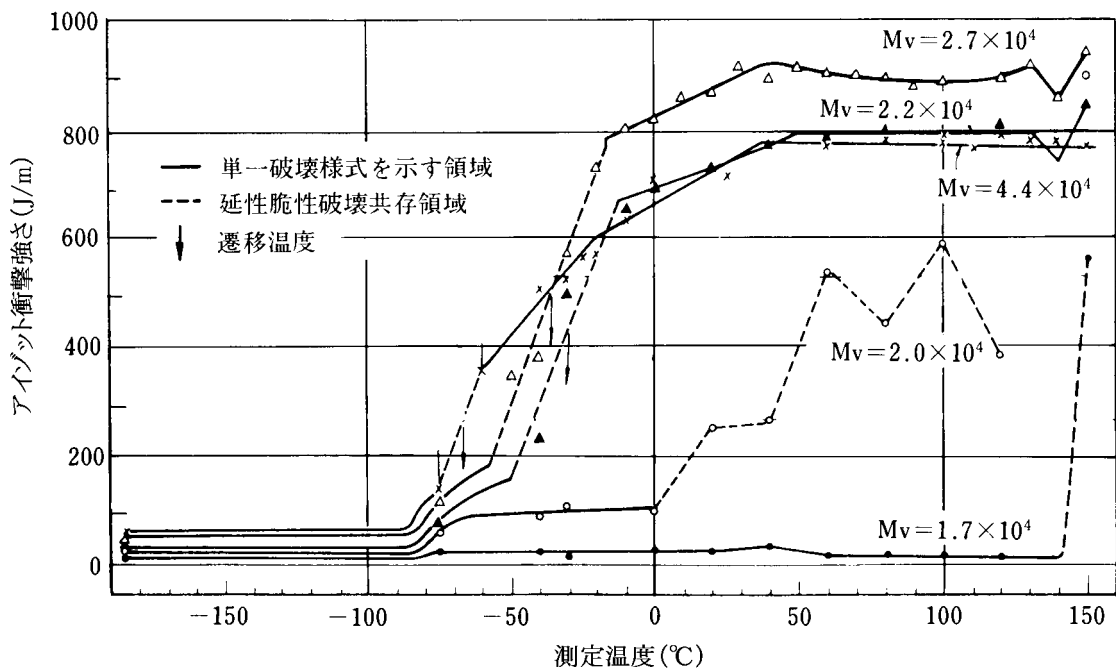
ユーピロン／ノバレックスの衝撃値は

ノッチ付アイゾット法	[厚み3.2mm]	ASTM D256	740~1000 J/m	(75~102kgf・cm/cm)
ノッチ付アイゾット法	[厚み6.4mm]	ASTM D256	98~250 J/m	(10~25kgf・cm/cm)
ノッチなしアイゾット法	[厚み3.2mm]		>3700 J/m	(>380kgf・cm/cm)
ノッチ付シャルピー法	[厚み6.4mm]	ASTM D256	15~59 kJ/m <sup>2</sup>	(15~60kgf・cm/cm <sup>2</sup> )
引張衝撃法	[厚み3.2mm]	ASTM D1822	690~880 kJ/m <sup>2</sup>	(700~900kgf・cm/cm <sup>2</sup> ) (L)
	[厚み1.6mm]	〃	1100~1500 kJ/m <sup>2</sup>	(1100~1500kgf・cm/cm <sup>2</sup> ) (L)
落球法[厚み3.2mm]	球先端12.7mmR受台50.8mmφ		240~310 J	(24~32kgf・m)
	〃 20.0 〃 受台90mmφ		170~230 J	(17~23kgf・m)

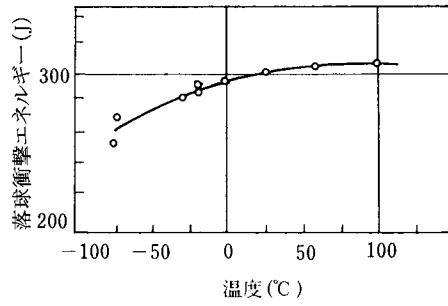
である。

ユーピロン／ノバレックスの衝撃値は、温度によって3・4-1 図及び3・4-2 図の様に变化する。アイゾット衝撃値は-50℃付近において、落球衝撃では-70℃以下の温度で脆性破壊に移行する。(破壊が延性より脆性に移行する温度を遷移温度という。)又、3・4-3 図に示した様に、厚みがある一定の値になると脆性破壊が発生する様になるが、その特定の厚み及び変化の状態は、衝撃の種類によって変わる。

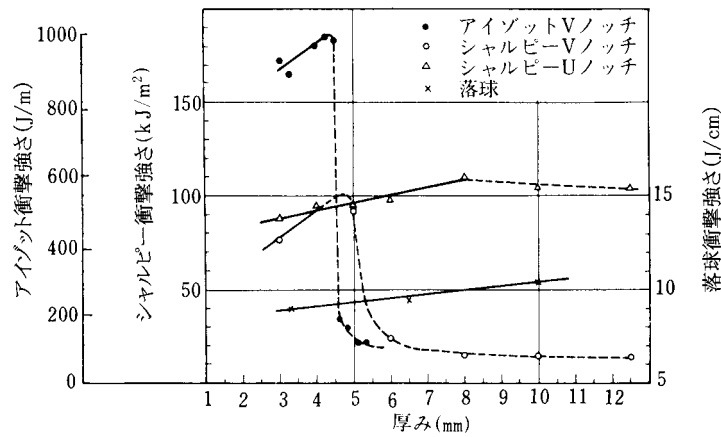
衝撃値の分子量依存性は3・4-4, 5, 6 図に示した。延性破壊を示す温度域では、いずれの試験法においても極大を示す分子量が存在する。



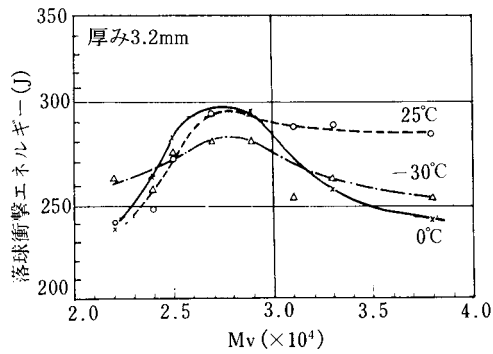
3・4-1 図 アイゾット衝撃強さの温度特性曲線



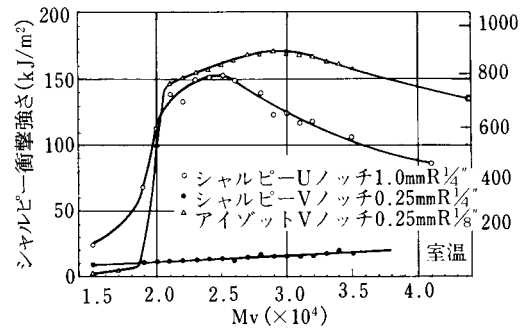
3-4-2 図 落球衝撃の温度変化  
(厚み3.2mmの円板)



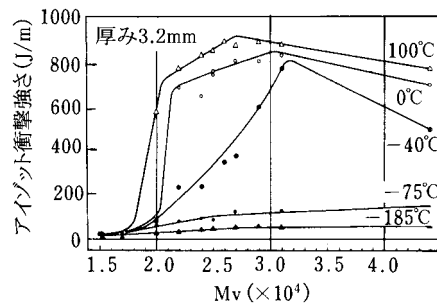
3-4-3 図 衝撃値の試料厚みによる変化(室温)  
—延性破壊 .....脆性破壊



3-4-4 図 落球衝撃エネルギーの分子量依存性

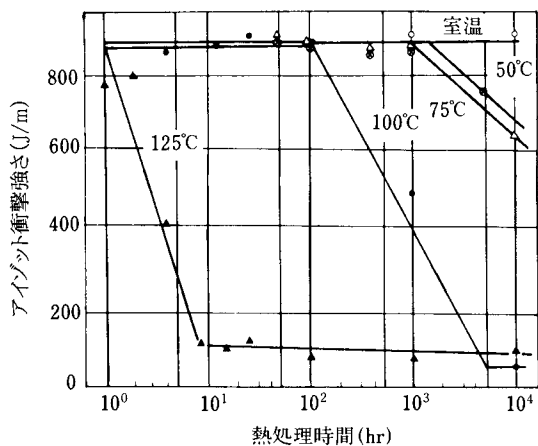


3-4-5 図 衝撃値の分子量依存性

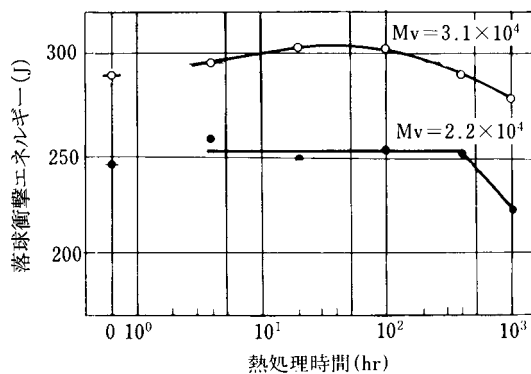


3-4-6 図 アイゾット衝撃強さの分子量依存性

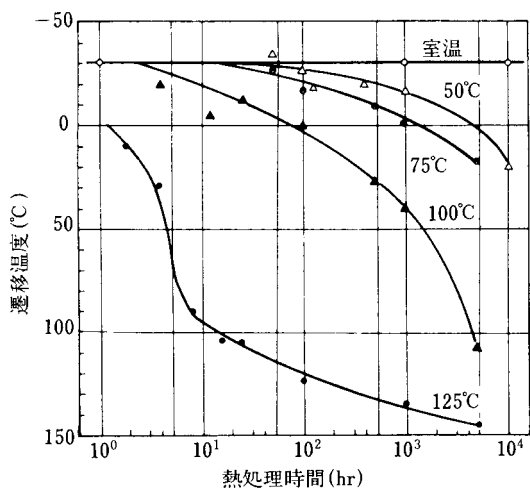
ユーピロン／ノバレックスの衝撃値は、熱処理によって劣化する事が知られているが、その状態は3・4-7, 8, 9, 10 図に示した。アイゾット衝撃では125°Cの場合急速に低下し、50°C, 75°Cでも長時間後には劣化を示すが、落球衝撃では、125°C, 1000時間の場合においても脆性破壊は示さない。3・4-10 図に、一定時間異なる温度で処理した時の衝撃性の変化を示したが、100~140°Cで急速に熱硬化が進む事が解る。



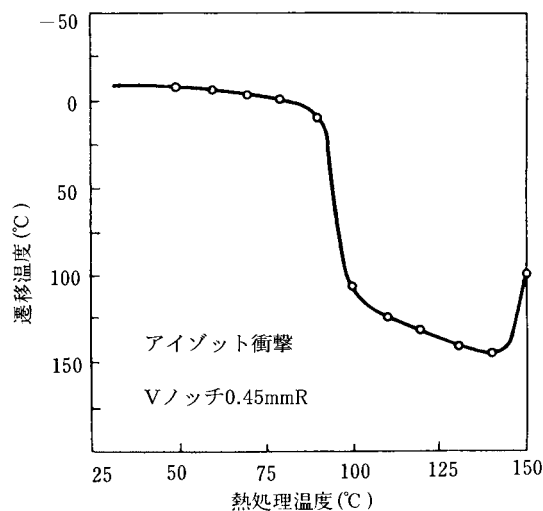
3・4-7 図 アイゾット衝撃強さの熱処理による変化



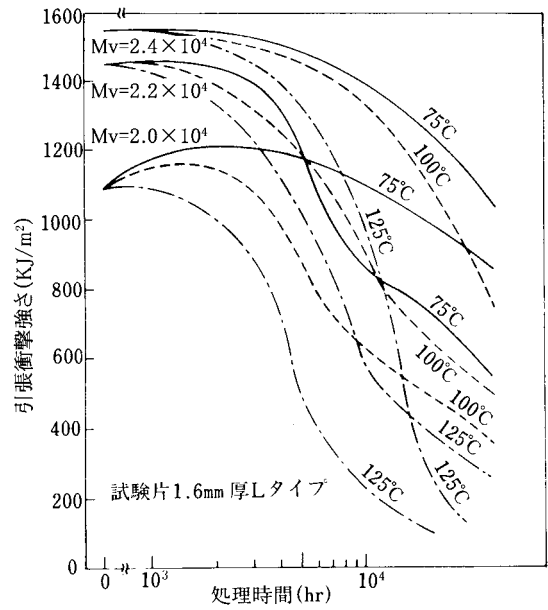
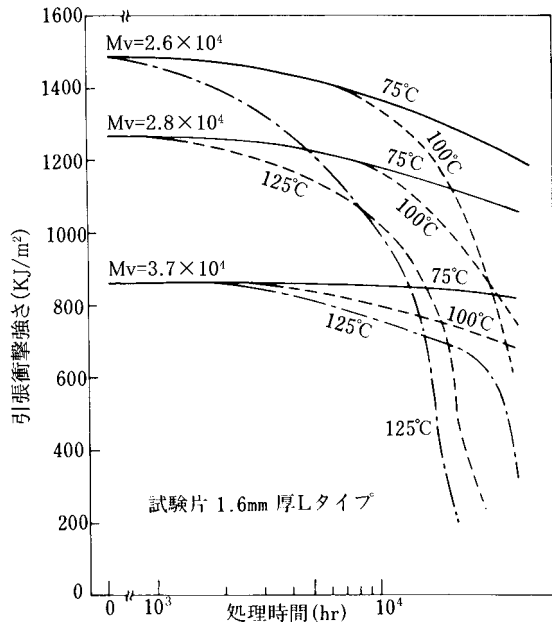
3・4-8 図 落球衝撃の熱処理による変化(125°C)



3・4-9 図 熱処理による遷移温度の変化  
(アイゾット衝撃試験片の厚み3.2mm)

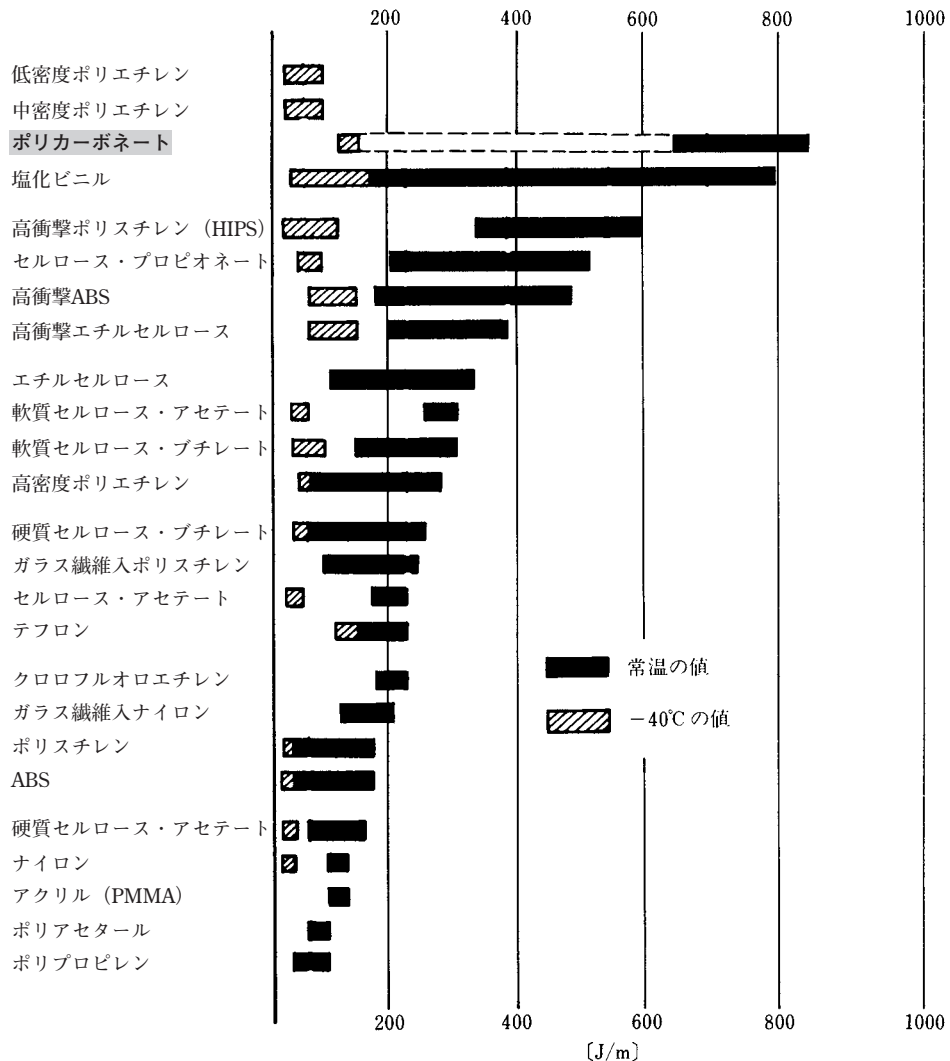


3・4-10 図 熱処理温度の効果  
(処理48時間, 厚み6.4mm)



3-4-11 図 熱処理による引張衝撃強度の変化- (1) 3-4-12 図 熱処理による引張衝撃強度の変化- (2)

他の樹脂との比較は3-4-13 図に示した。



3-4-13 図 種々な樹脂のアイゾット衝撃強さ(ノッチ付)

### 3・5 硬 度

ユーピロン／ノバレックスの種々な硬度は3・5-1 表の通りである。

3・5-1 表

Mv = 2.4×10<sup>4</sup>

ブリネル硬度	10秒後	88.3～103MPa (900～1050kg/cm <sup>2</sup> )
DIN 53456, 荷重0.5kN (50kgf)	60秒後	85.3～98.1MPa (870～1000kg/cm <sup>2</sup> )
ロックウェル硬さ (ASTM-D785)		M60～80, L90～100, R122～124
ショア・デュロメーター硬度		D82

ユーピロン／ノバレックスのMar resistanceは3・5-2 表の通りである。

3・5-2 表 ユーピロン／ノバレックス射出成形品の表面硬さ (ASTM-D673-44) Mv = 2.4×10<sup>4</sup>

カーボランダム量 (g)	200	400	800	1200	1600
Mar resistance (%)	90.2	82.7	72.9	58.5	56.1

又、他樹脂との比較は3・5-3 表に示した通りである。

3・5-3 表 ユーピロン／ノバレックスと他樹脂との表面硬さの比較 (ASTM-D673-44)  
カーボランダム落下量500g

Mv = 2.4×10<sup>4</sup>

試 料	Mar resistance (摩耗前後の光沢度比)
ユーピロン／ノバレックス圧縮成形品	84%
アクリライト (MMA)	88
塩化ビニル	85
板ガラス (クラウンガラス)	99

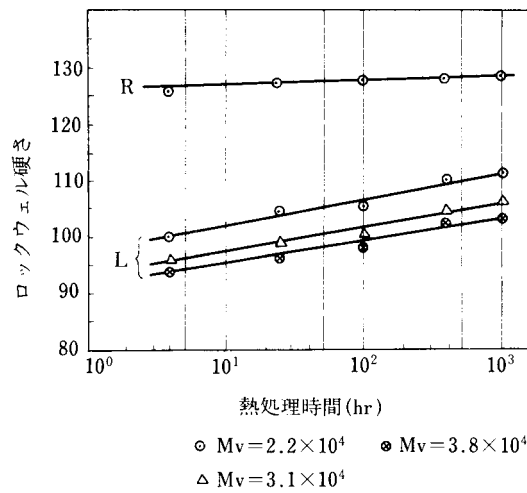
ユーピロン／ノバレックスのロックウェル硬さを他樹脂と比較すると3・5-4 表の様になる。

3・5-4 表

ポリマー名	ロックウェル硬さ (ASTM-D785)	ポリマー名	ロックウェル硬さ (ASTM-D785)
低密度ポリエチレン	D45～52*	硬質セルロース・ブチレート	R79～114
中密度ポリエチレン	D45～65*	ガラス繊維入ポリスチレン	M91～M95
ポリカーボネート	R122	セルロース・アセテート	R68～115
ゴム変性塩化ビニル	R100～110	クロロフルオロエチレン	R112
高衝撃ポリスチレン (HIPS)	M30～65	ガラス繊維入ナイロン	M96～M100
セルロース・プロピオネート	R20～120	ポリスチレン	M30～55
高衝撃ABS	R85～100	ABS	R85～118
高衝撃エチルセルロース	R70～90	硬質セルロース・アセテート	R101～123
エチルセルロース	R80～120	ナイロン	R108～118
軟質セルロース・アセテート	R49～103	アクリル (PMMA)	L58～59
軟質セルロース・ブチレート	R47～95	ポリアセタール	R120 (M94)
高密度ポリエチレン	R63～70*	ポリプロピレン	R85～95

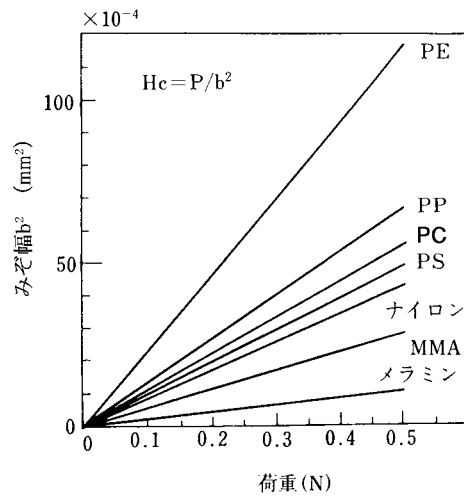
\*印は、ショア硬度

ユーピロン／ノバレックスのロックウェル硬さは熱処理によって変化するが、その関係は3・5-1 図に示した。



3・5-1 図 ロックウェル硬さの熱処理による変化 (処理温度125℃)

又、マルテンス引掻き硬さについては3・5-2 図に示した。



3・5-2 図 マルテンス引掻き硬さ

### 3・6 耐摩耗性及び摩擦特性

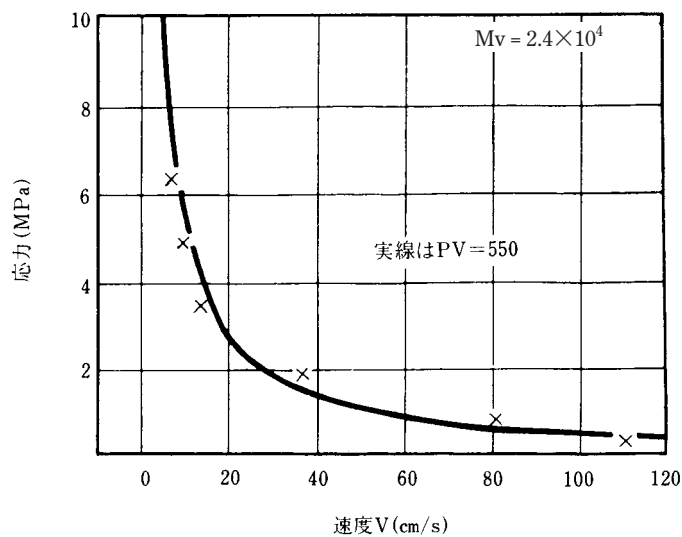
ユーピロン／ノバレックスのTabor-abrasion tester (CS-17 wheel, ASTM-D1044-56)による摩耗量は、13mg/1000cyclesであった。

又、ユーピロン／ノバレックスと鉄との接触摩擦において、接触圧 $P$ MPa ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )と相対速度 $V$ cm/sとの間に

$$PV = 53.9 \text{MPa} \cdot \text{cm}/\text{s}$$

$$(PV = 550 \text{kgf}/\text{cm}^2 \cdot \text{cm}/\text{s})$$

となる関係が成立する場合は、摩擦熱に耐え得る限界であった。この関係を示したのが3・6-1 図である。



3・6-1 図 ユーピロン／ノバレックスの PV 値

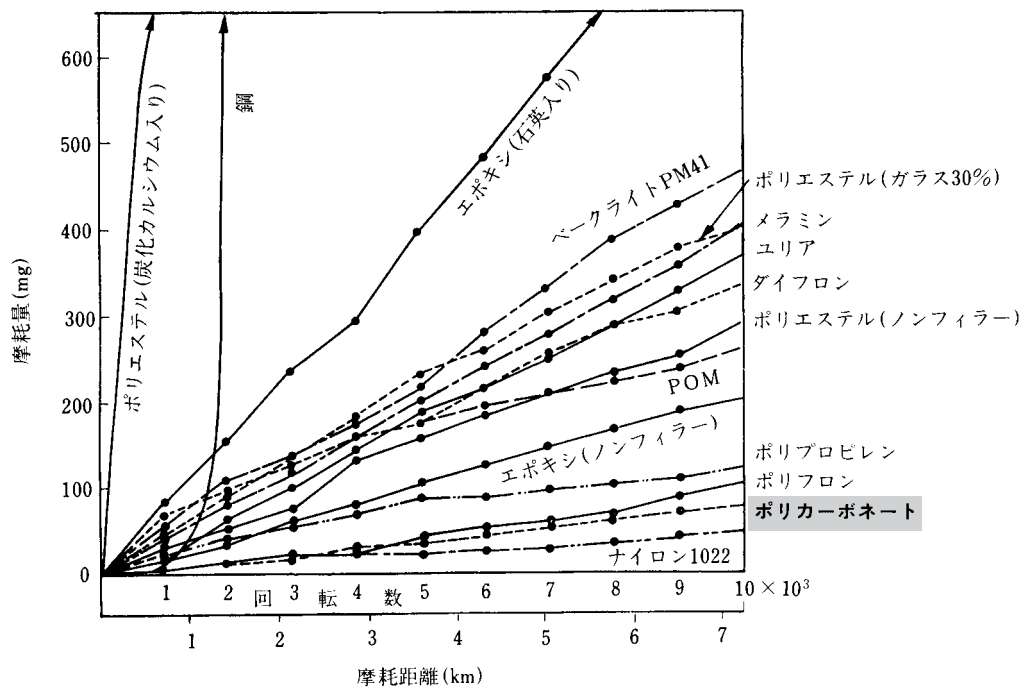
図の曲線より右上の範囲にある $P$ と $V$ との組み合わせでは、ユーピロン／ノバレックスは溶融する。この場合、 $P=4.9\text{MPa}$  ( $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ )  $V=0.01\text{cm}/\text{s}$ における摩擦係数は0.5~0.6であった。ポリカーボネートの摩擦係数は3・6-1 表に示した通りである(非潤滑)。

3・6-1 表

	低速 (1cm/s)	高速 (173~202cm/s)
ポリカーボネート同志	0.24	約 2.0
鋼鉄上のポリカーボネート	0.73	0.82
ポリカーボネート上の鋼鉄	0.35	0.45

他樹脂とポリカーボネートとの耐摩耗性 (ASTM-D1242-56) を比較した結果は3・6-2 図の通りである。



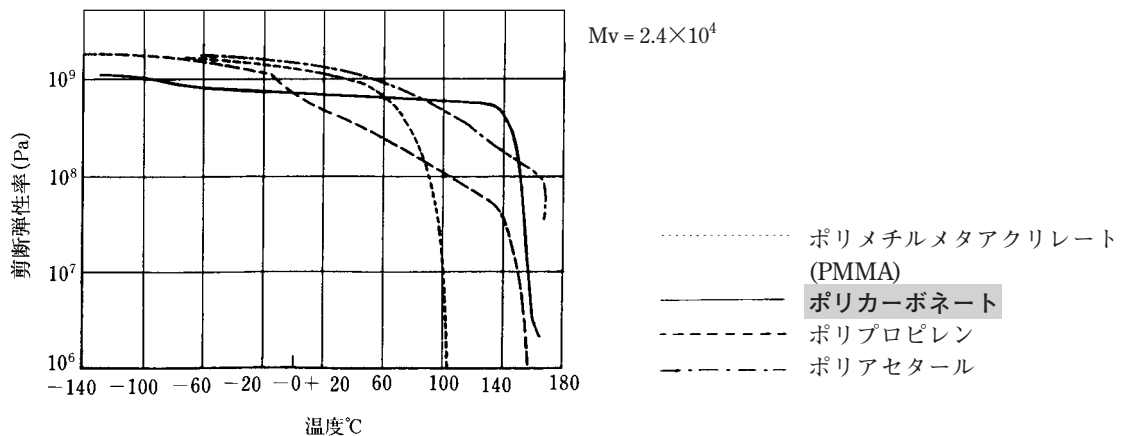


3・6-2 図 プラスチックの摩耗距離と摩耗量との関係  
 [摩耗速度平均0.235m/s, 摩耗圧力1.2MPa(12kgf/cm<sup>2</sup>), 摩耗剤アルミナ粉末平均粒度170メッシュ]

### 3・7 剪断強さ

ユーピロン／ノバレックスの剪断降伏応力は37.3MPa(380kgf/cm<sup>2</sup>), 剪断破壊応力は64.7MPa(660kgf/cm<sup>2</sup>)である。

剪断弾性率の温度特性は3・7-1 図に示した通りで、ユーピロン／ノバレックスは高温まで安定であり、しかも低温においても安定である。一般に剪断弾性率(又は剛性率)が約1 GPa(10<sup>4</sup>kgf/cm<sup>2</sup>)を越えると、その物質は急激に脆化するものであるが、ユーピロン／ノバレックスは-100℃に至るまで約1 GPa(10<sup>4</sup>kgf/cm<sup>2</sup>)を越えないので、低温特性が他の樹脂に比べて優れている事がわかる。



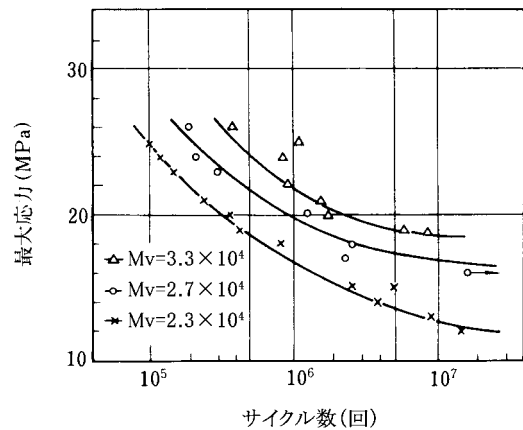
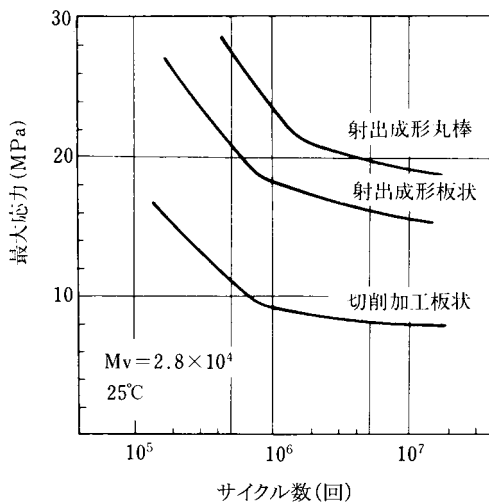
3・7-1 図 剪断弾性率の温度依存性

### 3・8 荷重下における長時間挙動

#### 3・8・1 耐疲労特性

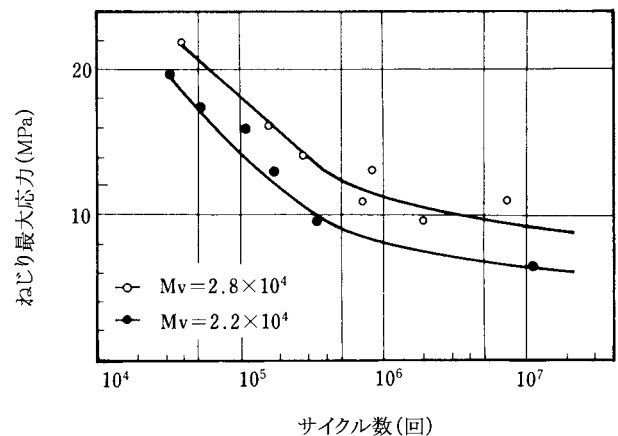
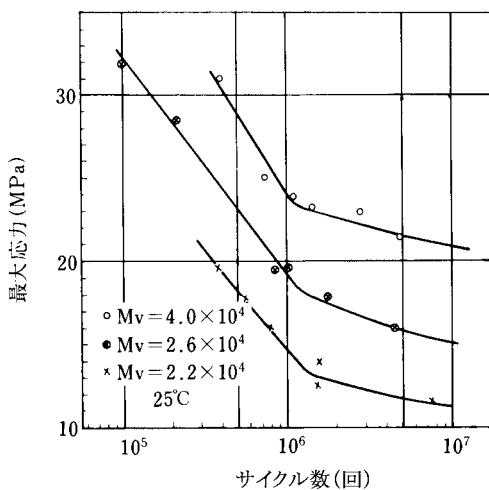
ユーピロン／ノバレックスの耐疲労性を調べると、3・8・1-1, 2, 3, 4 図の様になる(測定法は定荷重1000cycle/min 室温)。3・8・1-1 図は引張圧縮疲労における試験片形状の影響を示している。明らかに形状の差異が示されており、特に切削加工試料では、切削の影響が極端に示されている。3・8・1-2 図は引張圧縮疲労の結果を、3・8・1-3 図は曲げ疲労の結果を、3・8・1-4 図はねじり疲労の結果を示している。いずれの場合にも、分子量の増加によって耐疲労性は向上している。

回転曲げ疲労(試験片は切削加工により作製)における温度の影響を3・8・1-5 図に示した。温度の低下につれて、疲労限界は大幅に上昇する事が解る。又、切欠のある場合の結果を3・8・1-6 図に示した。



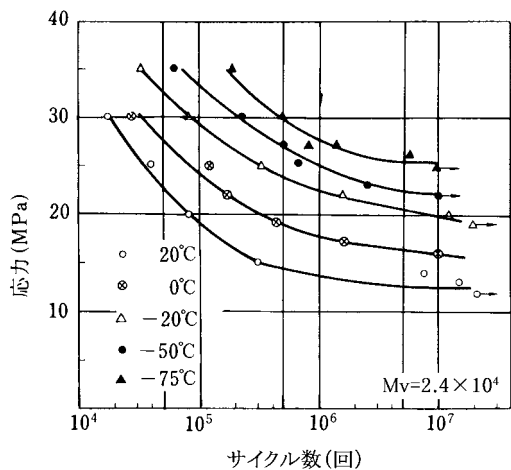
3・8・1-1 図 試験片形状及び成形法の違いによる耐疲労特性の変化(引張圧縮)

3・8・1-2 図 耐疲労性と分子量の関係(引張圧縮) 試料形状丸棒射出成形品(測定温度25°C)

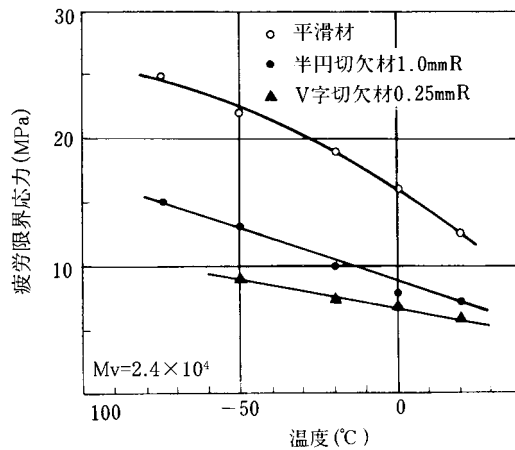


3・8・1-3 図 曲げにおける耐疲労性

3・8・1-4 図 ねじり疲労特性



3・8・1-5 図 耐疲労性の温度特性(曲げ)



3・8・1-6 図 切欠材の疲労性

各種樹脂について

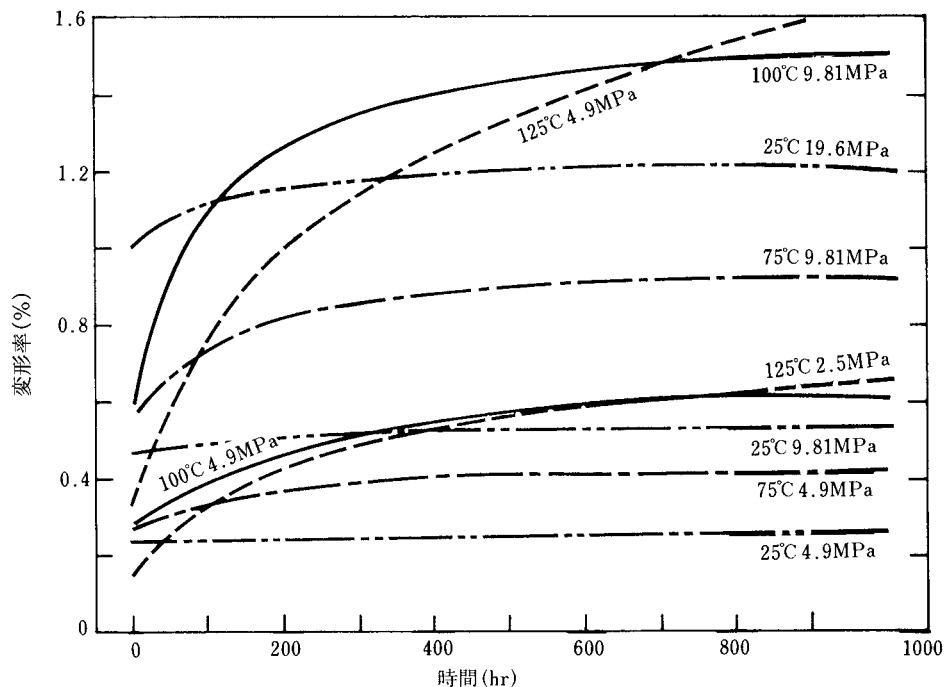
Sonntag式試験機による耐疲労性を比較した結果を3・8・1-1 表に示す。

3・8・1-1 表 各種樹脂の疲労性

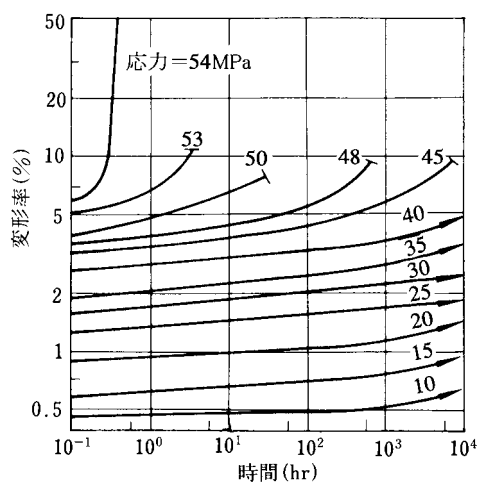
ポリマー名	破壊応力MPa(kgf/cm <sup>2</sup> )			
	10 <sup>4</sup> サイクル	10 <sup>5</sup> サイクル	10 <sup>6</sup> サイクル	10 <sup>7</sup> サイクル
塩化ビニル(PVC)	36.3(370)	25.5(260)	18.7(191)	16.7(170)
ポリスチレン	24.1(246)	14.7(150)	10.8(110)	10.0(102)
繊維系誘導体	20.8(212)	16.2(165)	13.2(135)	11.1(113)
ポリアミド(ナイロン)	15.1(154)	12.4(126)	12.1(123)	11.8(120)
ポリエチレン	13.7(140)	11.8(120)	11.3(115)	11.0(112)
ポリプロピレン	16.7(170)	13.1(134)	12.0(122)	11.0(112)
アクリル(PMMA)	30.3(309)	27.8(283)	27.8(283)	27.8(283)
<b>ポリカーボネート</b>		26.9(274)	14.9(152)	9.8(100)
ポリアセタール	40.1(409)	32.3(329)	28.3(289)	26.9(274)
ポリフェニレンエーテル(PPE)				8.2~13.7 (84~140)
ポリスルホン				6.9(70)
変性PPE				17.2(175)

### 3・8・2 クリープ特性

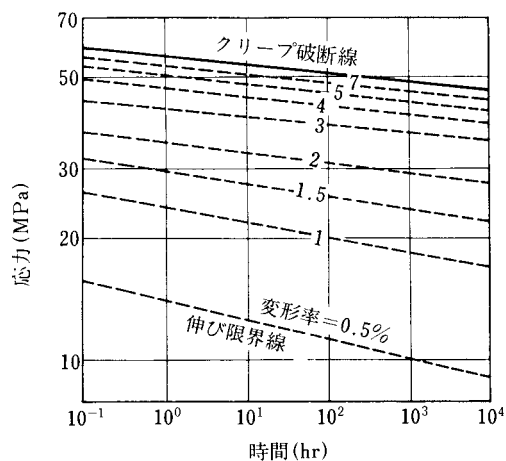
ユーピロン／ノバレックスの引張クリープ特性は3・8・2-1, 2, 3 図に, 曲げ圧縮クリープ特性は3・8・2-4 図に示した。又, 他樹脂との比較を3・8・2-5, 6 図に示した。



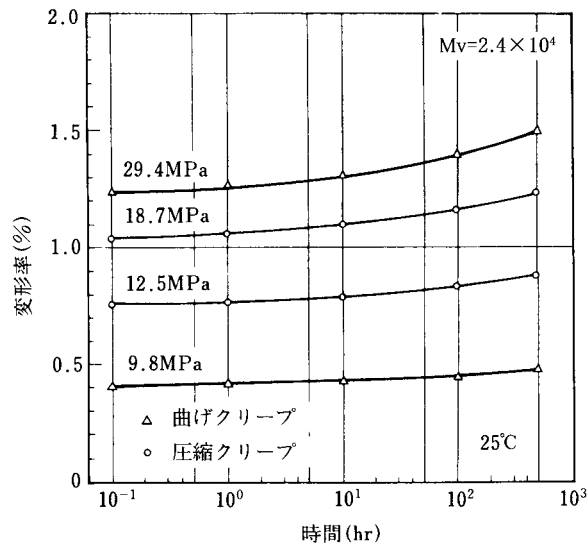
3・8・2-1 図 ユーピロン／ノバレックス引張クリープ



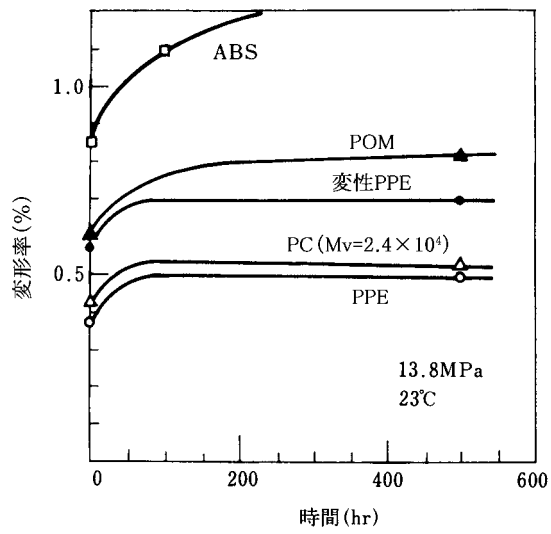
3・8・2-2 図 ポリカーボネートの引張クリープ



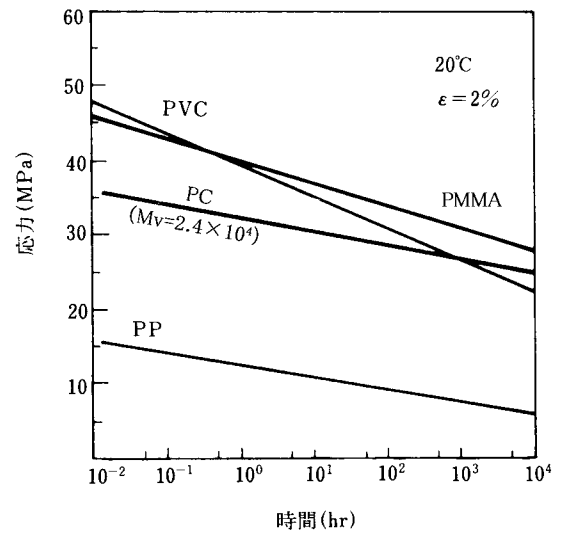
3・8・2-3 図 ポリカーボネートの引張クリープ(22°C)



3・8・2-4 図 ユーピロン／ノバレックスの曲げ，圧縮クリープ

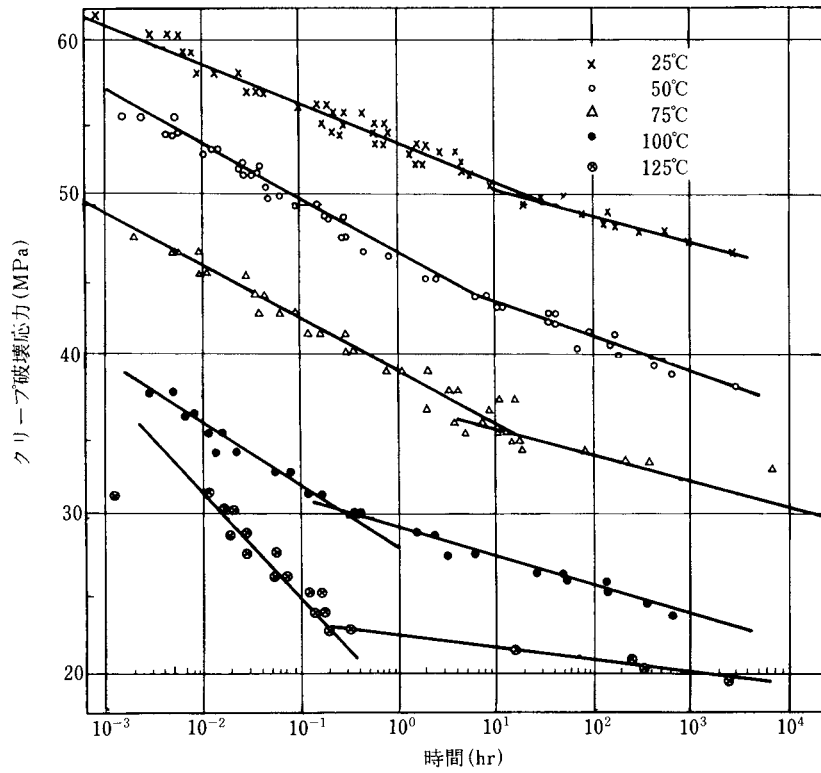


3・8・2-5 図 他の樹脂のクリープ曲線

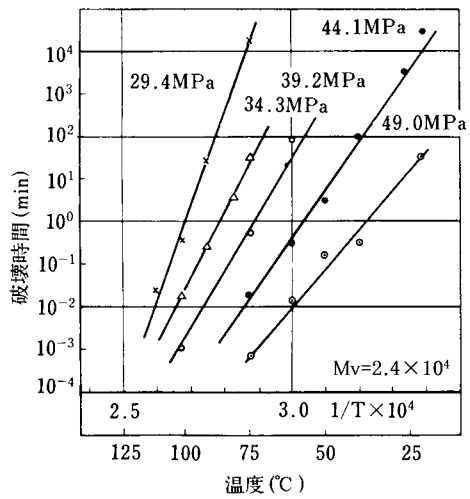


3・8・2-6 図 変形率 2% になる応力の時間による変化

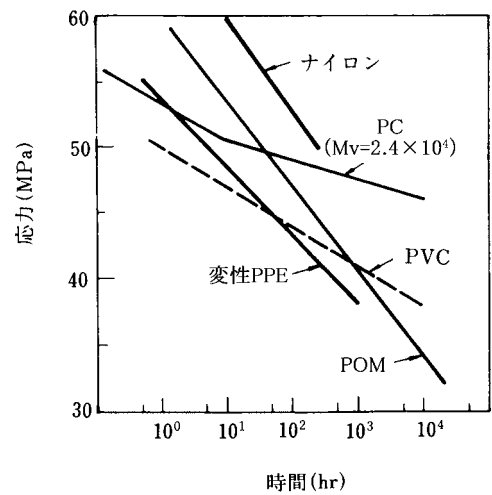
ユーピロン／ノバレックスのクリープ破壊曲線は3・8・2-7, 8図に示した。他の樹脂との比較は3・8・2-9図に示した。



3・8・2-7 図 クリープ破壊時間と温度との関係 ( $Mv=2.4 \times 10^4$ )



3・8・2-8 図 クリープ破壊時間と温度との関係



3・8・2-9 図 他の樹脂のクリープ破壊曲線

### 3・8・3 荷重変形及び回復

ポリカーボネートの圧縮荷重変形は3・8・3-1表に示す通りである。

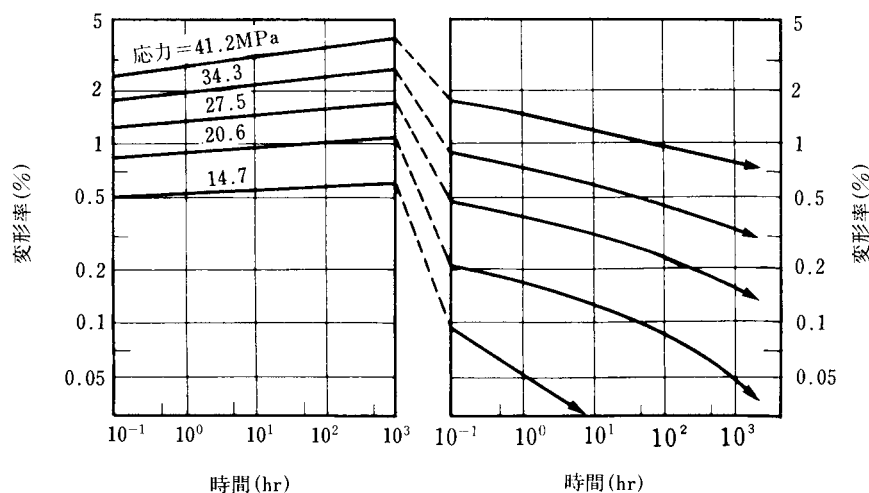
3・8・3-1表

温度 (°C)	荷重 MPa(kgf/cm <sup>2</sup> )	ASTM-D621-51 24時間後の変形率 (%)
25	27.5(280)	0.220
70	27.5(280)	0.282
25	13.7(140)	0.101
70	13.7(140)	0.080

又、球(φ10.16)に1.11kN(113.4kgf)の圧縮荷重をかけた場合、変形1.42mmで瞬間回復率97%、5日後には回復率100%となった。

ポリカーボネートの100℃における引張変形と回復は3・8・3-2表に示す通りである(3・8・2-1図参照)。

常温における引張変形と1000時間後に除荷した場合の回復は、3・8・3-1図に示す通りである。



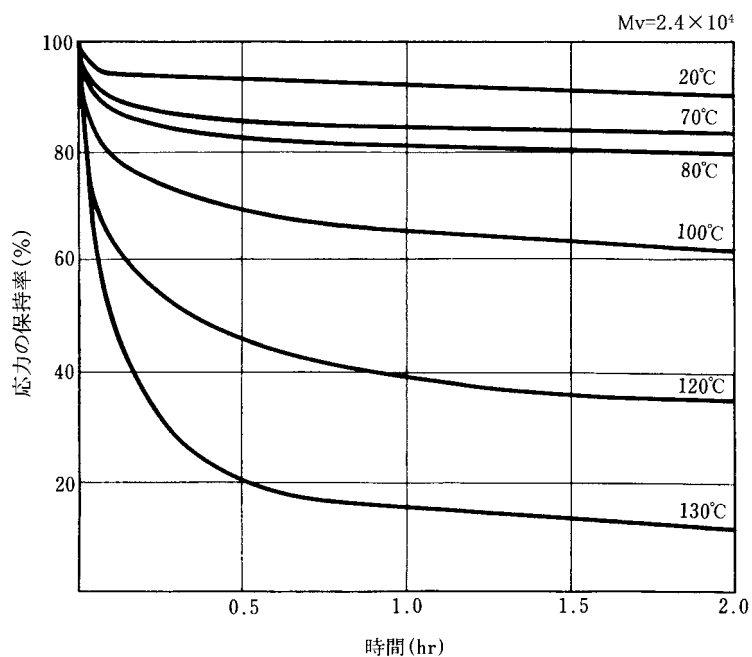
3・8・3-1図 ポリカーボネートの回復挙動

3・8・3-2表

応力 MPa(kgf/cm <sup>2</sup> )	初期歪 %	1000時間後 クリープ %	全変形率 %	回復率 (回復/全変形) %
3.84 (39.2)	0.0298	0.2797	0.3095	38.5
7.70 (78.5)	0.3059	0.6941	1.000	32.2
15.4 (157)	0.7267	1.300	2.027	35.3
19.2 (196)	1.162	3.500	4.662	21.0

### 3・8・4 応力緩和

ユーピロン／ノバレックスの引張応力緩和曲線は3・8・4-1 図に示した通りである。



3・8・4-1 図 ユーピロン／ノバレックスの引張応力緩和  
(初荷重9.8MPa, ただし温度120, 130°Cの場合は4.9MPa)

### 3・8・5 実用許容応力

3・8・5-1 表

	実用許容応力MPa(kgf/cm <sup>2</sup> )	
	引 張	圧 縮
間けつ負荷(室温)	27.5(280)	41.2(420)
〃 (52°C空中)	23.5(240)	23.5(240)
〃 (100°C空中)	20.6(210)	20.6(210)
〃 (室温, 湿気, 蒸気中)	27.5(280)	41.2(420)
永久負荷(室温)	13.7(140)	13.7(140)
繰返し又は振動負荷	6.9( 70)	6.9( 70)

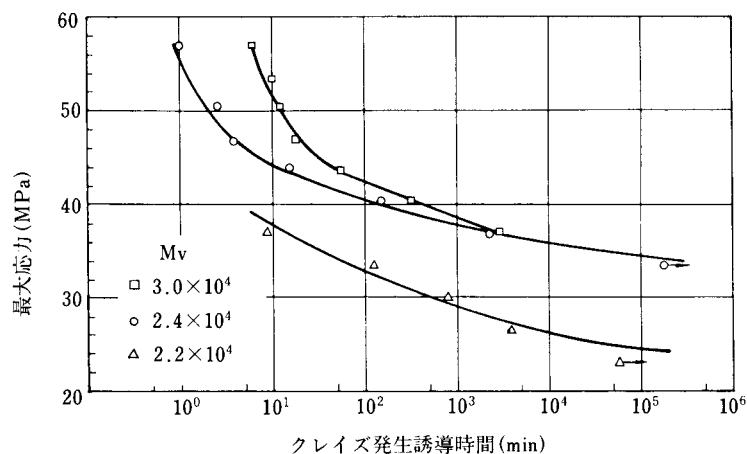


### 3・9 応力亀裂

プラスチックが実用品に使用される場合、クレイズやクラックの発生という現象に遭遇することがある。このクレイズやクラックは応力が加わっただけで発生する場合(応力亀裂)と、異物質の共存下に微小応力で発生する場合(環境応力亀裂)がある。又、クレイズとクラックは、透過型電子顕微鏡観察などにより明確に区別されている。すなわち、クレイズは局所的な配向により分子鎖の密度が低く、あたかもスポンジのようなボイドを含んだ構造になっているが、クラックは完全な空間を形成している。ただ、肉眼ではクレイズとクラックを厳密に区別できないので、肉眼で観察した本報のクレイズの中にはクラックも含まれている。

ユーピロン／ノバレックスの曲げ試験片に、曲げ荷重あるいは曲げたわみを加えると、ある誘導時間の後に、クレイズ(一軸応力の場合にはクレイズが発生すると考えられている)が発生する。その後、発生したクレイズの成長・停止あるいは新しいクレイズの発生等が認められる様になるが、実用面からは、クレイズ発生の誘導時間に関する知見が極めて重要な事となる。

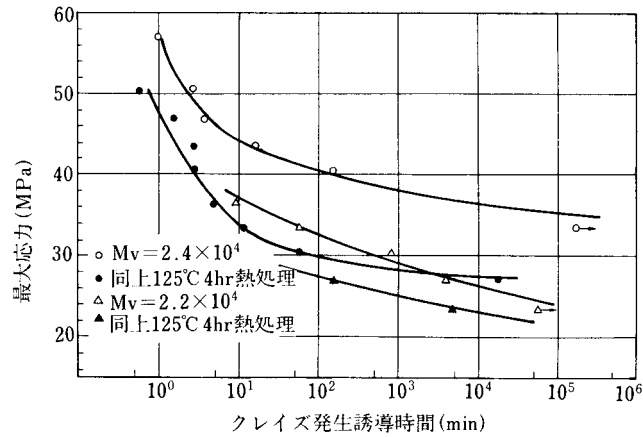
ユーピロン／ノバレックスの定荷重下でのクレイズ発生誘導時間と曲げ応力の関係を3・9-1図に示した。誘導時間は応力の減少と共に長時間側にずれ、最終的には無限大となるが、ユーピロン／ノバレックスの場合、 $Mv=2.4\sim 3.0\times 10^4$ では約29.4MPa(300kgf/cm<sup>2</sup>)、 $Mv=2.2\times 10^4$ では約19.6MPa(200kgf/cm<sup>2</sup>)がクレイズの発生しない応力となる。



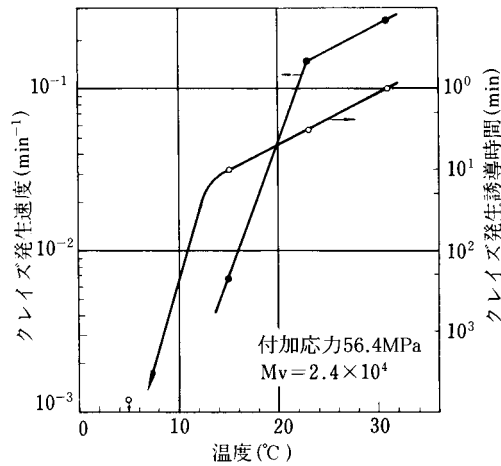
3・9-1 図 クレイズ発生誘導時間に曲げ荷重による変化

クレイズの発生は、熱処理あるいは添加物によって影響を受けるが、この関係を3・9-2図に示した。熱処理によって、クレイズ発生が容易になる事が示されている。

3・9-3図に、室温付近でのクレイズ発生挙動を示したが、低温域では急速にクレイズの発生が遅くなる事が示されている。

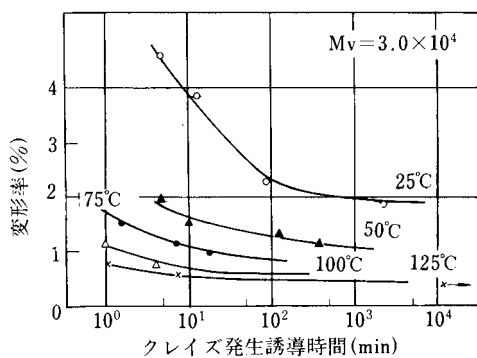


3-9-2 図 熱処理によるクレイズ発生誘導時間の変化(測定温度：室温)

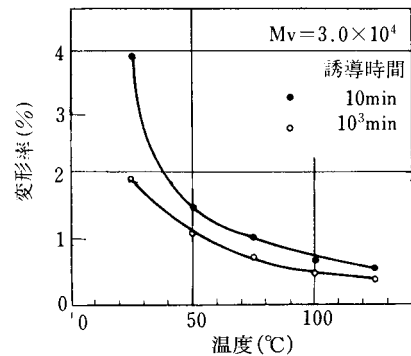


3-9-3 図 室温付近におけるクレイズ発生挙動

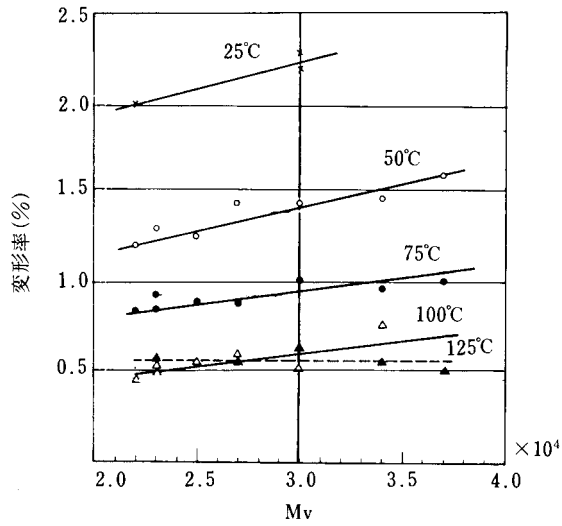
ユーピロン／ノバレックスの曲げ試験片に定歪を加えた場合のクレイズ発生挙動については3-9-4, 5, 6, 7, 8 図に示した。温度の影響は3-9-4, 5 図に示されているが，雰囲気温度の上昇と共に，クレイズは発生し易くなる。3-9-6 図は分子量依存性を示したものである。3-9-7, 8 図には熱処理の影響を示した。定荷重の場合と同様に，クレイズの発生は容易になる。



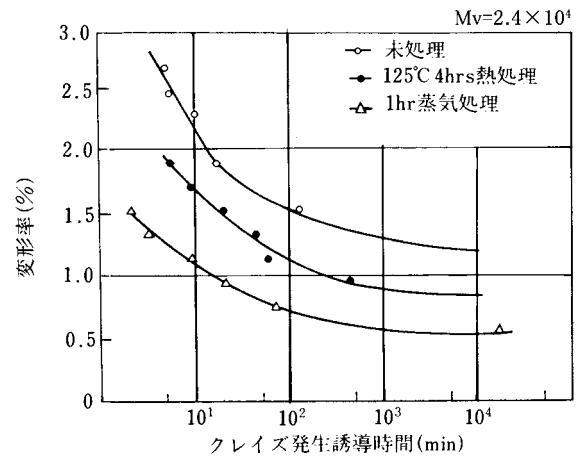
3-9-4 図 定歪下におけるクレイズ発生誘導時間



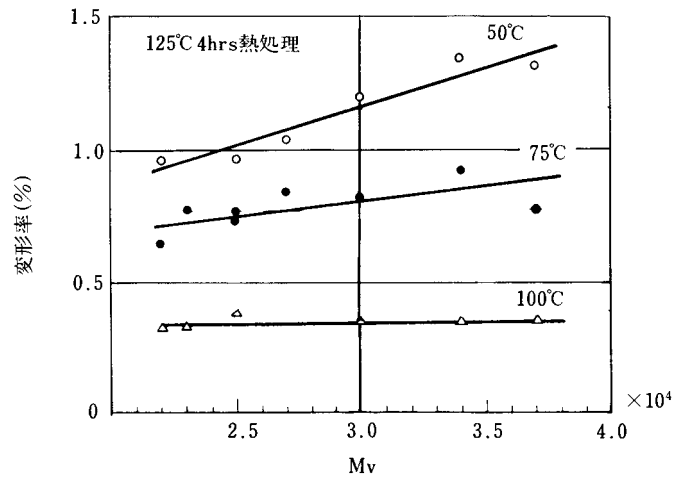
3-9-5 図 クレイズ発生誘導時間の温度依存性



3-9-6 図 クレイズ発生誘導時間の分子量依存性  
(誘導時間が100minになる時)



3-9-7 図 クレイズ発生誘導時間の熱処理による変化  
(測定温度：50°C)



3-9-8 図 熱処理試料のクレイズ発生誘導時間  
(100min)の分子量依存性

## 4. 熱 的 性 質

### 4.1 転 移 点

#### 4.1.1 ガラス転移点(二次転移点)

ポリカーボネートのガラス転移点は、屈折率の変曲点から求めると、4.1.1-1 図に示した様に141~149°Cである。その他、膨張係数、比熱、示差熱分析、粘弾性等の測定によって求められたガラス転移点は、130~155°Cの範囲に入る。

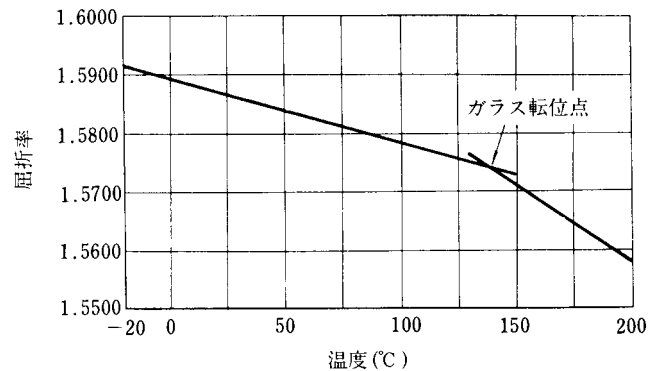
ガラス転移点は、更に詳細に調べると分子量によって変化するが、この関係は4.1.1-2 図( $T_g$ は示差熱分析によって求めた)に示した。

又、ガラス転移点は圧力依存性を有している事も知られているが、ポリカーボネートの場合

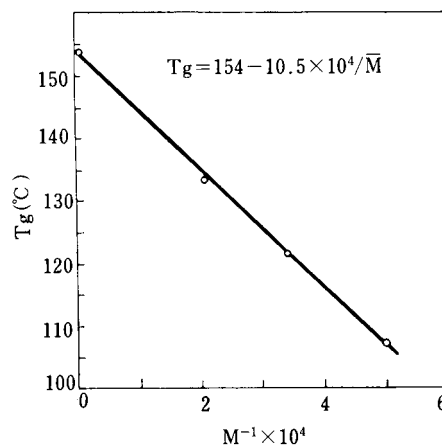
$$\partial T_g / \partial p = 0.044^\circ\text{C} / \text{atm}$$

である。

他の樹脂との比較は4.1.1-1 表に示した。



4.1.1-1 図 ポリカーボネートの屈折率の温度特性



4.1.1-2 図  $T_g$ (ガラス転移点)と $\bar{M}$ (分子量)の関係

4・1・1-1 表 他樹脂の  $T_m$ ,  $T_g$  及び分散温度

ポリマー名	$T_m$ 融点	$T_g$ ガラス転移点 (温度)	分散温度				
			結晶分散	主分散	副分散	副分散	副分散
ポリエチレン	107~138	-53~-23	60 72	-18 - 8 23	-126 -111 - 65		
ポリプロピレン	168~170	-35	82	- 2 22	- 83 - 40	-215 -173	
塩化ビニル(PVC)	217	77		91 117 127	- 38 12		
塩化ビニリデン	190	-18	77	33	- 23		
ポリ四フッ化エチレン	327	-73~-63	127 150	-33	- 93 - 66 - 31		
ポリスチロール	230	80~90		117 131 148	40	-153 - 53 87	
ポリメチル メタアクリレート (PMMA)		82~102		127 143 167	27 103	-115 - 69 17	-183 -143 - 53
酢酸ビニル		7~27		30 90	- 47	-113 - 17	
ポリエチレン・ テレフタレート (PETP)	265	63~83		57 127	- 10 7		
ポリオキシメチレン	177	-40~-60	127	-13 45 127	- 73 - 58 - 33		
ナイロン6	223	33~53		57 82	- 61 - 23 32	-128 -105 30	
ナイロン66	275	33~53		67 82	- 53 - 23	-125 -103	

注：分散温度の上段は1，中段は $10^3$ ，下段は $10^6$ Hzでの測定結果である。

## 4・1・2 融 点

ユーピロン／ノバレックス・ペレットの軟化点は220～230℃である。  
 ポリカーボネートの結晶融点は、約230～260℃である(4・5・2-2 図参照)  
 その結晶の融解熱は134J/g(32cal/g)である。  
 他の樹脂の融点については、4・1・1-1 表に示した。

## 4・1・3 分 散 温 度

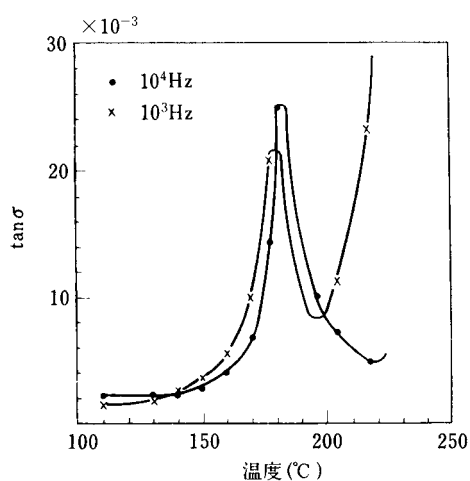
熱可塑性樹脂は、分子鎖のマクロ・ブラウン運動の起こる主分散域と局所的な熱運動(例えば主鎖の一部或いは側鎖、メチル基の熱運動)の起こる副分散域を有する事は知られている。ポリカーボネートも例外ではなく、多くの文献によってその存在が示されている。これらをまとめると、4・1・3-1 表に示した様になる。

4・1・3-1 表 ポリカーボネートの分散温度

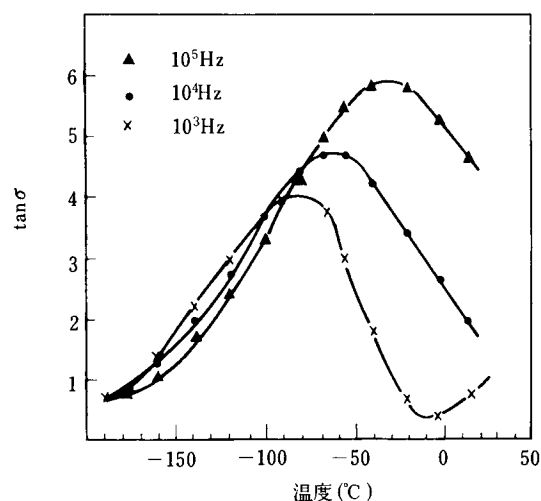
分散の種類	主分散 $\alpha$	副分散 $\beta$	副分散 $\gamma$	副分散 $\delta$
分散温度 (℃)	157(1) 175( $10^3$ ) 195( $10^5$ )	0～100	-100(1) -80( $10^3$ ) -3( $10^6$ )	-200～-100
熱運動の種類	主鎖のマクロ・ブラウン運動		制限されたフェニル基の運動を伴うC=O基の自由回転運動	M <sub>e</sub> 基の自由回転運動(MMRより)

これらの分散を示す結果を図示すると、4・1・3-1, 2, 3, 4 図の様になる。4・1・3-1 図は主分散を、4・1・3-2 図は $\gamma$ 分散を、4・1・3-3 図は $\delta$ 分散を示すものである。 $\beta$ 分散については、多くの文献でその存在を認めているが、確定的なものはない。4・1・3-4 図はその一例である。

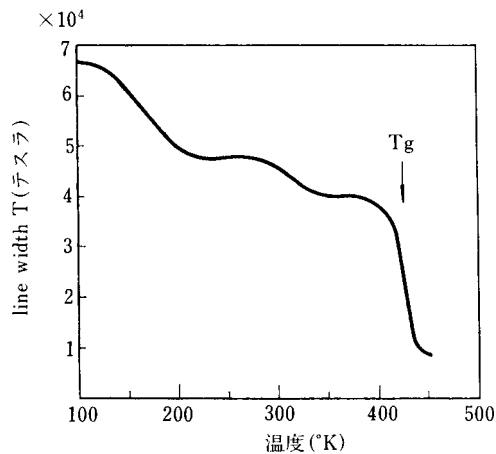
他の樹脂については4・1・1-1 表を参照のこと。



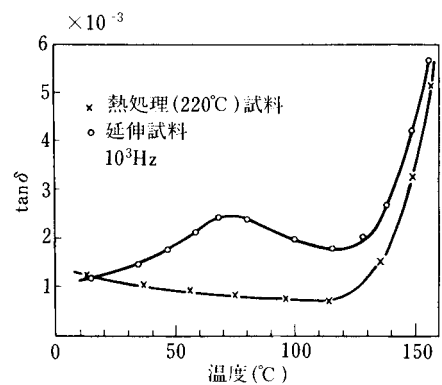
4・1・3-1 図 主分散域での  $\tan \delta$  の変化



4・1・3-2 図 低温域での  $\tan \delta$  の変化



4・1・3-3 図 ポリカーボネートのNMR  
Line widthの温度変化 (1Gs=10<sup>4</sup>T)



4・1・3-4 図 室温域でのtan δの変化

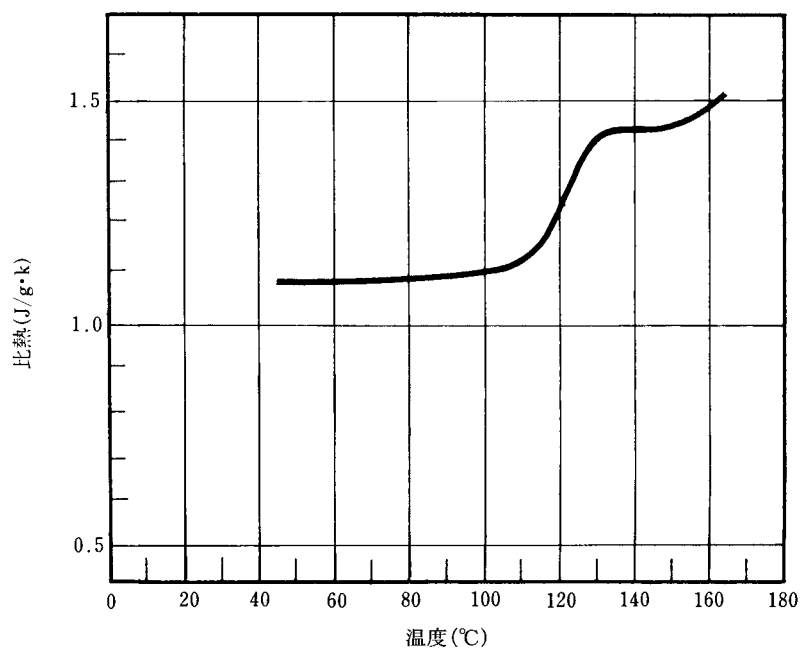
## 4・2 熱伝導率及び比熱

ポリカーボネートの比熱は、4・2-1 図に示した様に温度によって変化するが、実用温度範囲においては1.09～1.17J/(g・k) (0.26～0.28cal/g・°C)と考えると良い。この値は一般合成樹脂と大差なく、又、鉄・銅等の約3倍に相当する。

ポリカーボネートの熱伝導率は

$$0.19\text{w}/(\text{m} \cdot \text{k}) (4.6 \times 10^{-4} \text{cal}/\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C})$$

である。この値は、一般合成樹脂と大差ないものであるが、鉄の1/400、アルミニウムの1/1000、銅の1/2000と、金属に比べて非常に小さいものである。



4・2-1 図 ポリカーボネートの比熱 — 温度特性

他の樹脂の熱伝導率及び比熱は4・2-1表に示した。

4・2-1表 熱的性質の比較

ポリマー名	熱伝導率 W/(m·k) (cal/cm·sec·°C) ×10 <sup>-4</sup>	比熱 kJ/(kg·k) (cal/g·°C)	線膨張率 10 <sup>-5</sup> ·k <sup>-1</sup>	脆化温度 °C	荷重たわみ温度(°C)	
					1820kpa (18.6kgf/cm <sup>2</sup> )	455kpa (4.6kgf/cm <sup>2</sup> )
ポリエチレン 低密度	0.33 (8)	2.3 (0.55)	16~18	-85~-55	32~41	38~49
〃 高密度	0.46~0.52 (11~12.4)	2.3 (0.55)	11~13	-140	43~54	60~88
ポリプロピレン	0.14 (3.3)	1.9 (0.46)	6~10	-10~-35	57~63	93~110
アクリル(PMMA)	0.17~0.25 (4~6)	1.5 (0.35)	5~9	90	70~100	74~110
ポリスチレン	0.10~0.14 (2.4~3.3)	1.4 (0.33)	6~8		80~90	
塩化ビニル	0.13~0.17 (3~4)	1.0 (0.24)	5~6	81	54~79	57~82
塩化ビニリデン	0.13 (3)	1.3 (0.32)	19	0~-30	55~65	
ポリ四フッ化エチレン	0.25 (6)	1.0 (0.25)	10			121
酢酸ビニル	0.16 (3.8)	1.6 (0.39)	8.6		38	
アクリルニトリル・ スチレン(AS)	0.12 (2.9)	1.4 (0.33)	6		88~102	
66ナイロン	0.22~0.24 (5.2~5.8)	1.7 (0.40)	10~15		66	
6ナイロン	0.21 (5.0)	1.6 (0.38)	8~13	-85~60	62	150
ポリエチレン・ テレフタレート(PETP)			27			
ポリエーテル	0.23 (5.5)	1.5 (0.35)	8.2	-76~-120	110	170
トリアセチルセルロース	0.17~0.33 (4~8)	1.5 (0.35)	8~16		44~91	49~98
変性PPE	0.22 (5.2)	1.3 (0.32)	5.6	<-40	117	128
ポリスルホン		1.3 (0.3)	5.6		174	181
ポリカーボネート	0.19 (4.6)	1.1 (0.27)	6	-135	130~136	136~142

### 4・3 熱膨張率

ユーピロン／ノバレックスの線膨張率は20~120°Cにおいて

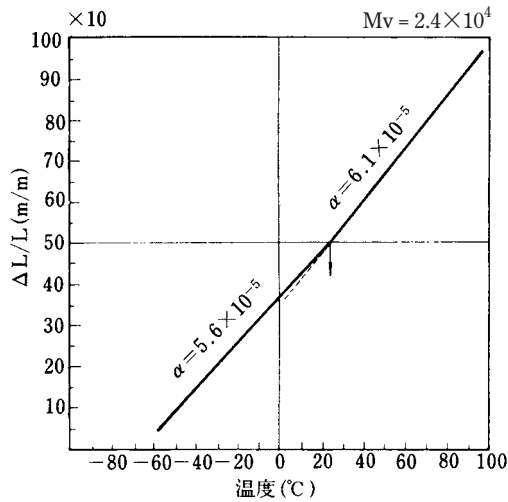
$$6\sim 7 \times 10^{-5} / K$$

ユーピロン／ノバレックスの体積膨張率は30~130°Cの範囲では

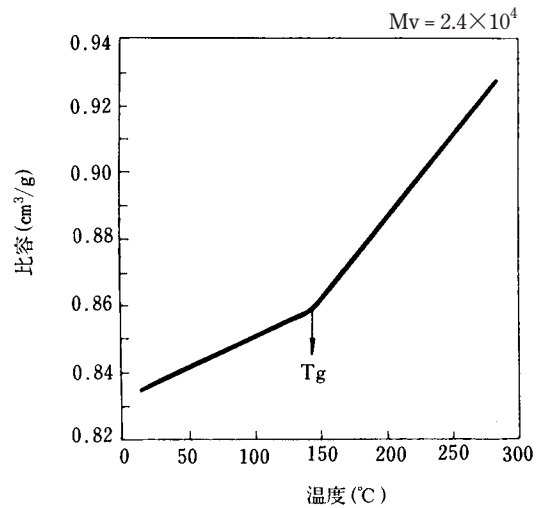
$$(20 \pm 5) \times 10^{-5} / K$$

である。長さ及び容積の変化を4・3-1, 2図に示した。体積膨張率の温度変化を4・3-3図に示した。線膨張率は、室温付近に屈折点を有し、低温域では若干小さくなっている。

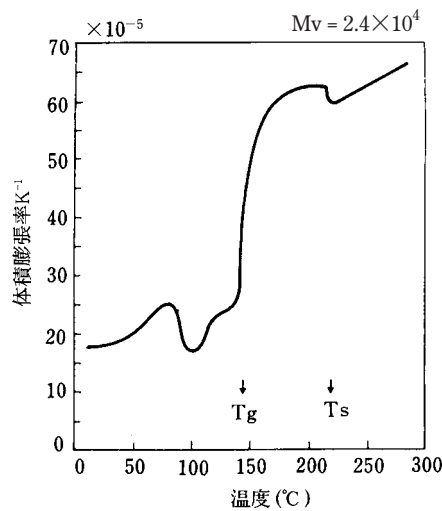




4-3-1 図 ユーピロン／ノバレックスの線膨張率



4-3-2 図 比容の温度変化



4-3-3 図 体積膨張率の温度変化

#### 4-4 荷重たわみ温度

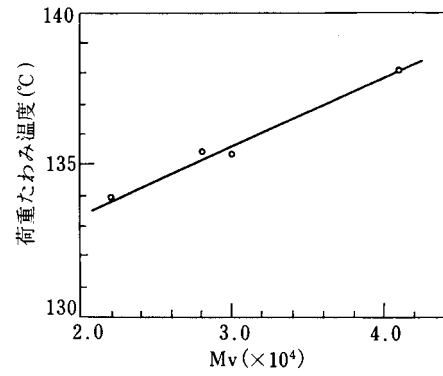
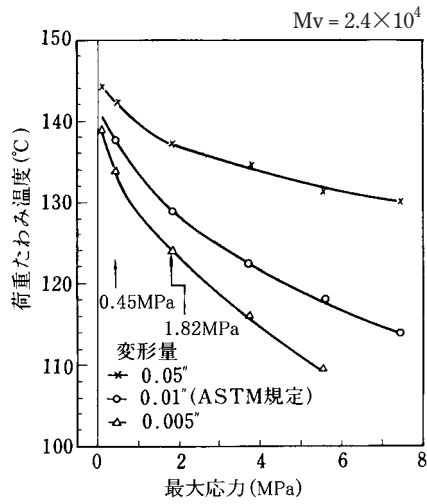
ユーピロン／ノバレックスの荷重たわみ温度 (ASTM-D648-56) は

応力	1.82MPa (18.6kgf/cm <sup>2</sup> )	132~138°C
応力	0.45MPa (4.6kgf/cm <sup>2</sup> )	138~144°C

である。荷重たわみ温度は加えた荷重によって変化するが、ユーピロン／ノバレックスの場合4-4-1 図に示した通りである。又、 $T_g$  (ガラス転移点) と同じ様に分子量依存性を示すが、これは4-4-2 図に示した様になる。

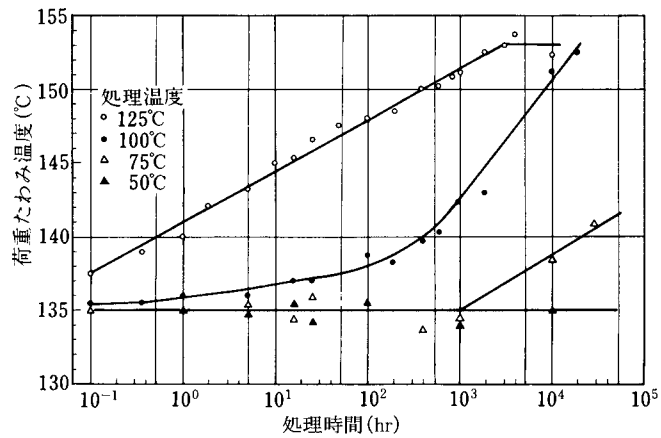
ユーピロン／ノバレックスを熱処理すると、他の物性に示された様に熱硬化を示すが、荷重たわみ温度は4-4-3 図に示した様に急速に変化する。

他樹脂との比較は4・2-1 表及び4・4-4 図を参照のこと。

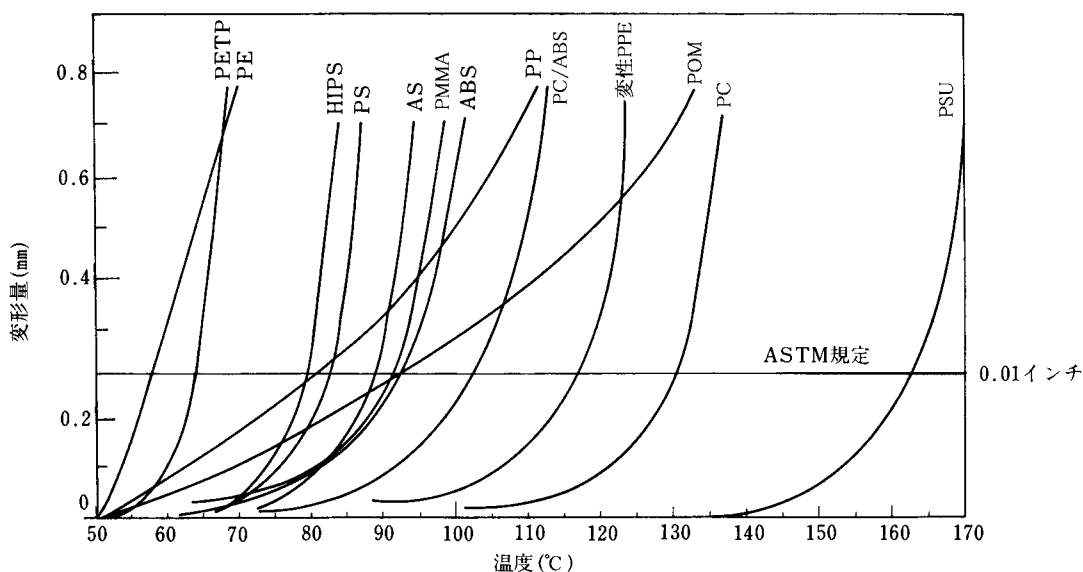


4・4-1 図 荷重による荷重たわみ温度の変化

4・4-2 図 分子量と荷重たわみ温度(応力1.82MPa)



4・4-3 図 熱処理による荷重たわみ温度の変化(応力1.82MPa)  
( $Mv=2.8 \times 10^4$ )



4・4-4 図 各種樹脂の荷重たわみ温度(応力1.82MPa)

## 4・5 熱安定性及び熱分解

ユーピロン／ノバレックスの示差熱分析結果4・5・2-2 図より、その優れた耐熱性を知る事ができるが、更に詳細に検討すると、種々の温度域(実用温度域、加工温度域、分解燃焼域)、環境(酸素、空气中、窒素気流中、真空中、蒸気中)において、それぞれ変化の様子が異なる事が認められている。

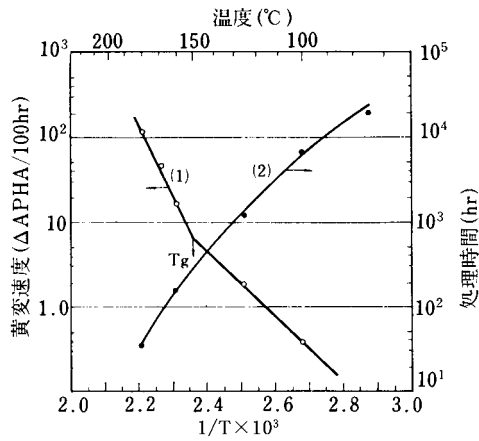
### 4・5・1 低温域

ユーピロン／ノバレックスを $T_g$ 以下の温度で熱処理すると、硬化現象によって、物性変化が起こる事は既に知られており、その原因を固体構造の変化に求める多くの研究がある。しかし、この温度域においても空气中で長時間加熱した場合、変色、分子量の低下等、化学変化(酸化、分解)が起こる事が認められている。

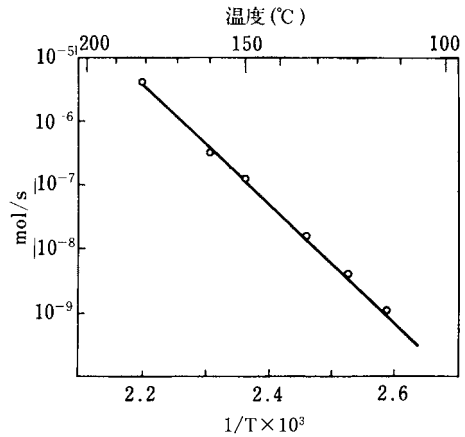
4・5・1-1 図は、この温度域の黄変度について整理した結果である。曲線(1)は、黄変速度の温度依存性を示すものであるが、 $T_g$ の上下域で変化の様子が違っている。これは分子鎖の熱運動の差、即ち酸素の拡散速度の差によるものであろう。曲線(2)は、黄変度が等価となる処理時間と温度の関係である。

4・5・1-2 図は、この温度域での $CO_2$ の発生速度を示すもので、炭酸結合の切断、即ち分子量の低下を示している。

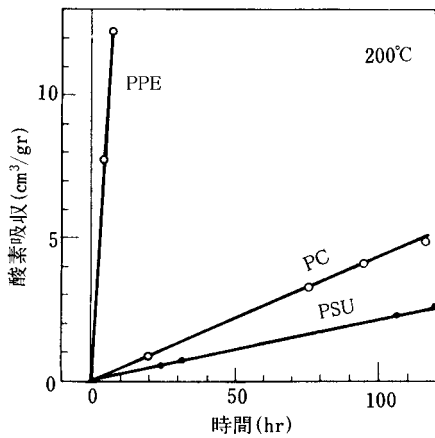
4・5・1-3, 4 図は、他の樹脂との酸化性を比較したものであるが、ポリカーボネートの抗酸化性が示されている。



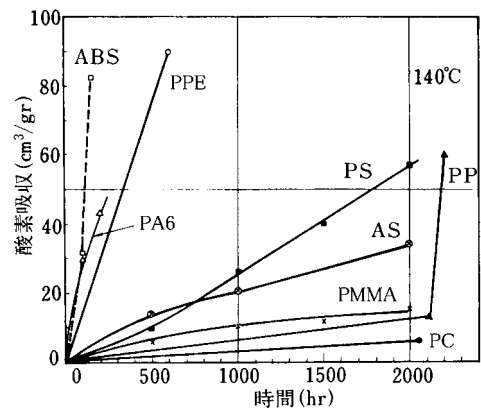
4-5-1-1 図 ユーピロン/ノバレックスの黄変速度  
( $Mv = 2.4 \times 10^4$ )



4-5-1-2 図 110°C~180°CにおけるCO₂の発生  
( $Mv = 2.4 \times 10^4$ )



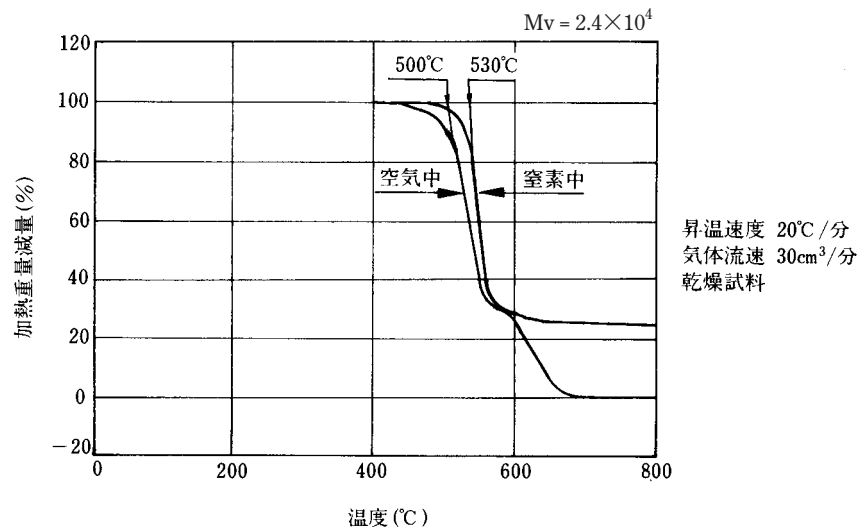
4-5-1-3 図 200°Cにおける酸素吸収速度について



4-5-1-4 図 各種樹脂の酸素吸収速度

#### 4-5-2 高温域

ユーピロン/ノバレックスの熱安定性は極めて良好で、4-5-2-1 図に示した様に、450°C以上より漸くその変化が認められるようになるが、この様な高温域では、雰囲気、不純物、添加物の影響は大きく、特に酸素、水分は熱劣化を著しく促進する。



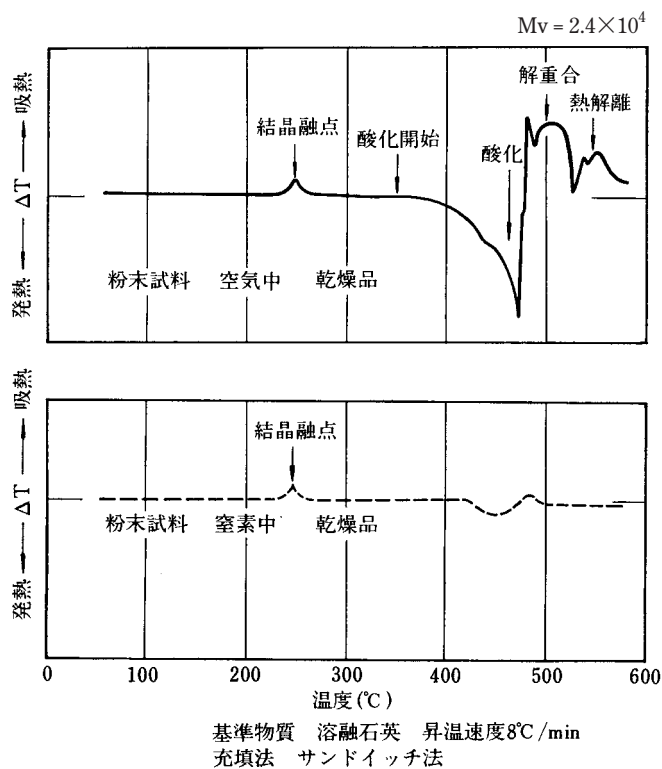
4-5-2-1 図 ユーピロン/ノバレックスの熱天秤分析結果

ユーピロン／ノバレックスの熱分解は、4・5・2-2 図に示した示差熱分析の結果より、一つの発熱域と二つの吸熱域より成っている。発熱域は分解の最初の段階で、酸化反応は340℃近辺より始まる発熱ピークとして観測され、470℃付近で最高となっている。第一の吸熱域は、解重合に基づくもので、そのピークは500℃にある。第二の吸熱域は、結合エネルギーが熱エネルギーと等価になり、あらゆる結合の解離が起こる領域である。窒素中においては、熱酸化に基づく発熱ピークは勿論、吸熱ピークも大幅に減少し、酸素の影響の著しい事を示している。

熱分解によって発生する分解ガスは、4・5・2-1 表に示した様に雰囲気によって若干変化するが、炭酸基の分解によるCO<sub>2</sub>、CO並びにMe基の分離によるCH<sub>4</sub>、及びBPA(ビスフェノールA)とその分解による各種フェノール類が主たるものである。4・5・2-3, 4, 5 図は、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、及びフェノール類の発生を示すものである。空気中では300℃前後より活発となるが、窒素中では約50℃高温側に移行する。

4・5・2-6, 7 図は、窒素中及び空気中で2時間加熱した場合のユーピロンの分子量低下を示したものである。又、長時間封管真空中で加熱した結果を4・5・2-8 図に示した。

4・5・2-9, 10 図は、熱分解速度の温度依存性を示したものであるが、酸素、水分の影響は極めて大きい。

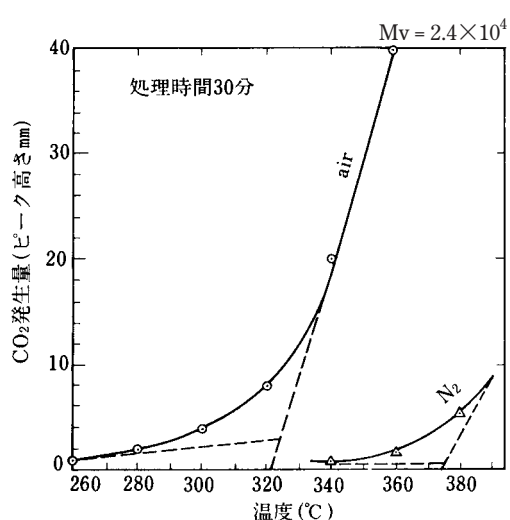


4・5・2-2 図 ユーピロン／ノバレックスの示差熱分析結果

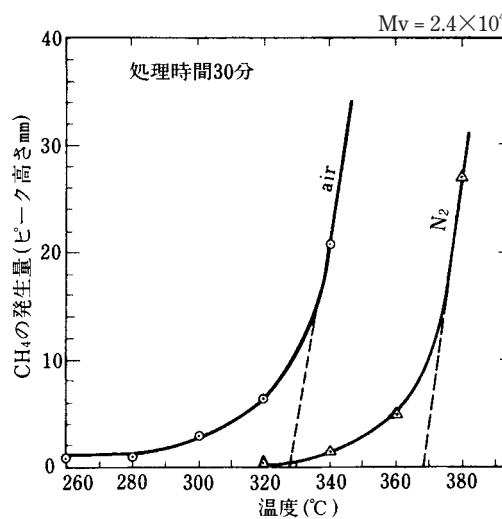
4・5・2-1 表 ポリカーボネートの分解生成物

(+)は生成を示す。

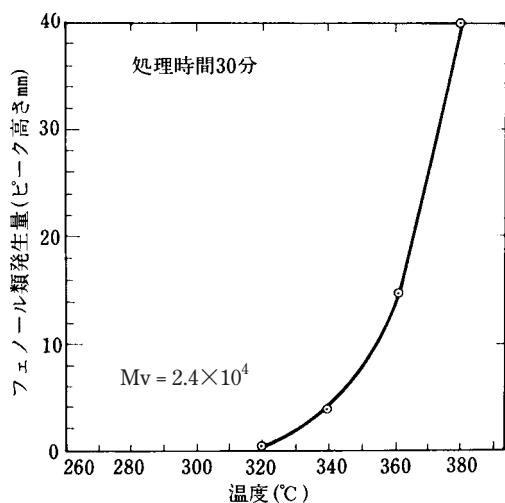
分解生成物	酸素中	空气中	真空 シール	真空 連続	分解生成物	酸素中	空气中	真空 シール	真空 連続
CO <sub>2</sub>	+	+	+	+	ベンゼン	+	+		
CO	+	+	+	+	トルエン	+	+		
CH <sub>4</sub>	+	+	+	+	エチルベンゼン	+	+		
H <sub>2</sub>	+				フェノール	+	+	+	+
H <sub>2</sub> O	+	+	+		クレゾール	+	+	+	+
HCHO	+				エチルフェノール		+	+	+
CH <sub>3</sub> CHO	+				イソプロピル フェノール		+	+	+
アセトン		+			イソプロペニル フェノール		+	+	+
メタノール	+				ビスフェノールA	+	+	+	+
ジフェニル カーボネート			+	+					



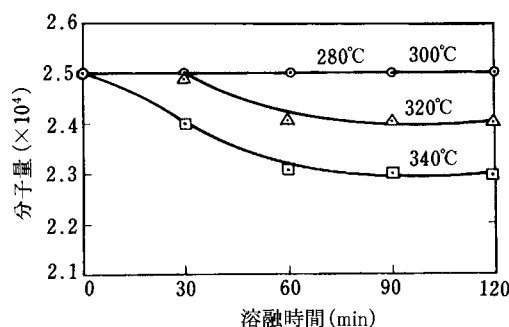
4・5・2-3 図 CO<sub>2</sub>の発生量に対する雰囲気の影響



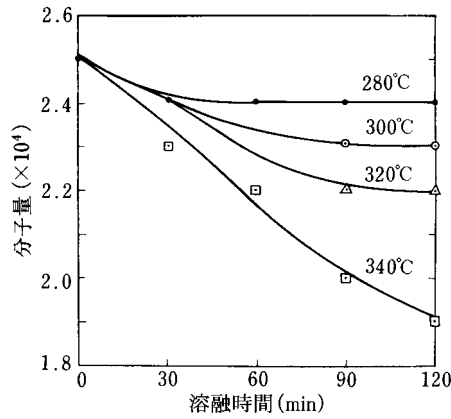
4・5・2-4 図 CH<sub>4</sub>の発生量に対する雰囲気の影響



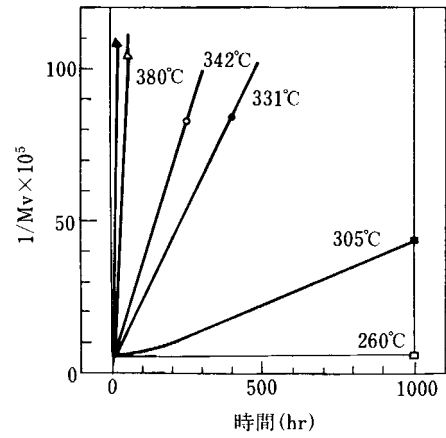
4・5・2-5 図 空气中加熱時の分解によるフェノール類の発生量と温度との関係



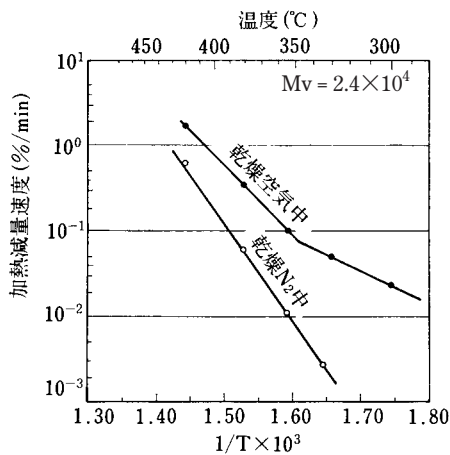
4・5・2-6 図 ユーピロン/ノバレックスの溶融による分子量低下 (完全乾燥窒素気流中にて溶融)



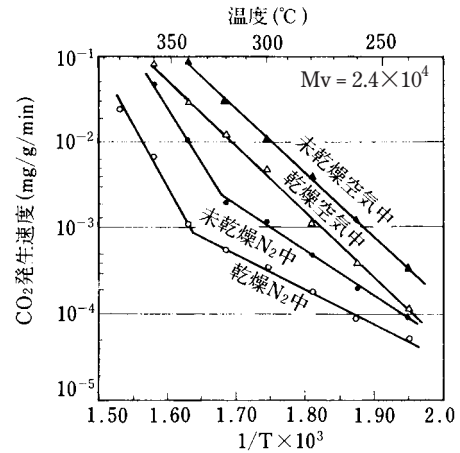
4-5-2-7 図 ユーピロン／ノバレックスの溶融による分子量低下 (未乾燥, 空気中にて溶融)



4-5-2-8 図 封管真空中での分子量(Mv)の低下

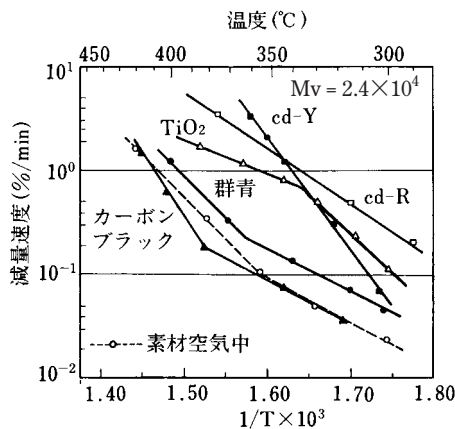


4-5-2-9 図 ユーピロン／ノバレックスの加熱減量速度

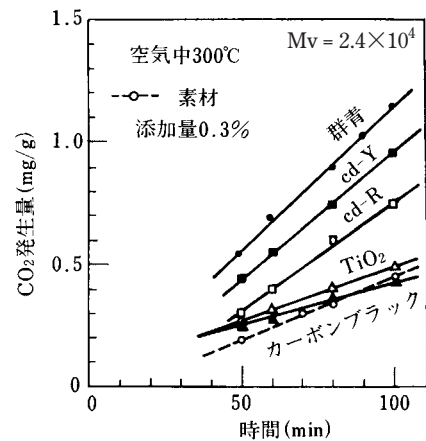


4-5-2-10 図 ユーピロン／ノバレックスのCO<sub>2</sub>の発生速度

ユーピロン／ノバレックスに無機充填剤を加えた場合、その熱分解に及ぼす影響は大きい。例えば、無機顔料を加えた場合の減量速度4-5-2-11 図、CO<sub>2</sub>発生量4-5-2-12 図は、いずれの場合も素材より大きい値を示している。又、金属塩類の影響を4-5-2-2 表に示したが、炭酸塩類の影響は極めて大きく、その他のものについても大なり小なり影響を受けている。



4-5-2-11 図 顔料の減量速度に及ぼす影響 (顔料添加量: 1.0%)



4-5-2-12 図 顔料のCO<sub>2</sub>発生に及ぼす影響

4・5・2-2 表 ユーピロン／ノバレックスの熱安定性に及ぼす金属酸化物の影響

金属塩の種類	化学組成	pH	分子量Mv×10 <sup>4</sup>		減量開始温度 (℃)
			0%	1%	
酸化第二スズ	SnO <sub>2</sub>	4.2	2.8	2.4	340
硫酸鉛	PbSO <sub>4</sub>	4.5	2.8	2.6	320
クロム酸鉛	PbCr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.4	2.8	2.4	306
四三鉛酸化鉛	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	7.8	2.8	2.2	210
一酸化鉛	PbO	10.2	2.8	2.5	363
硫化亜鉛	ZnS	2.4	2.8	2.4	250
酸化亜鉛	ZnO	7.2	2.8	2.7	352
炭酸亜鉛	ZnCO <sub>3</sub>	7.1	2.8	1.9	315
硫酸カドミウム	CdSO <sub>4</sub>	6.3	2.8	2.7	335
硫化カドミウム	CdS	6.3	2.8	2.4	340
酸化カドミウム	CdO	9.4	2.8	2.6	315
炭酸カドミウム	CdCO <sub>3</sub>	7.0	2.8	2.0	280
酸化アルミニウム	Al <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9.0	2.8	2.7	320
酸化コバルト	CoO	8.2	2.8	2.7	330
硫酸バリウム	BaSO <sub>4</sub>	7.2	2.8	2.7	340
酸化チタン	TiO <sub>2</sub>	6.8	2.8	2.7	343
酸化銅	CuO	6.9	2.8	2.5	340
二酸化マンガン	MnO <sub>2</sub>	6.6	2.8	2.6	350
酸化第二鉄	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.4	2.8	2.7	320
酸化第二クロム	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.5	2.8	2.7	358
セレン化カドニウム	CdSe	6.0	2.8	2.8	345

- ・分子量は、窒素気流中で1時間溶融したものについて測定。
- ・減量開始温度は、顔料1%添加試料について空気中で測定。

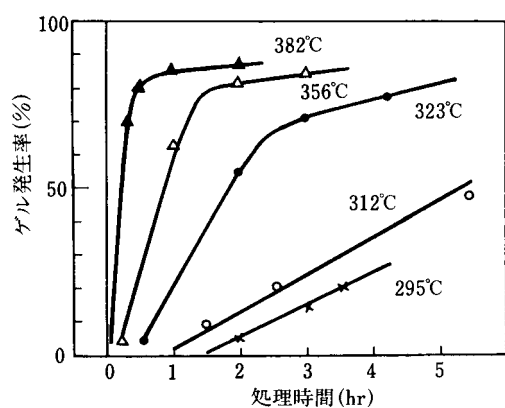


ユーピロン／ノバレックスに有機添加物(例えば、紫外線吸収剤、安定剤、帯電防止剤、発泡剤、可塑剤等)を加える場合、ポリカーボネートと化学反応を起こすものは使用できない。又、ポリカーボネートの加工温度は高く、300℃を越える温度域では有機物質の分解温度に近いので反応性のみでなく、そのもの自身の熱安定性をも十分考慮して使用する必要がある。

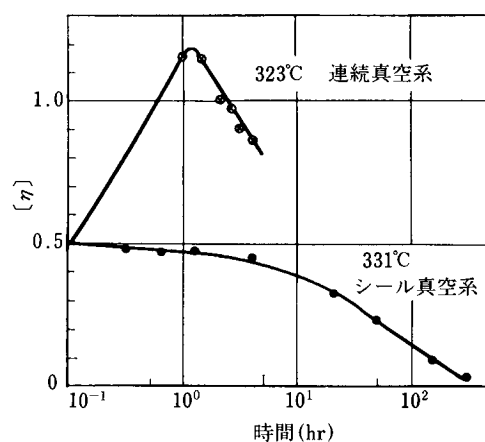
ポリカーボネートは、真空系において加熱される場合、分解生成物を連続的に排除すれば、急速にゲルの発生を起こすという特異な現象を示す事が知られている。

4・5・2-13 図はゲルの発生状態を、4・5・2-14 図はメチレンクロライド可溶分の $[\eta]$ の変化を示している。4・5・2-15 図は、この系での分解生成物の発生速度を示している。

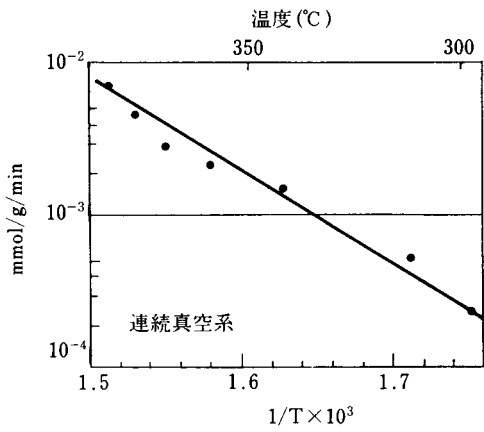
このゲル化現象は、ポリカーボネートのみ認められるものではなく、ポリスルホン、PPE(ポリフェニレンエーテル)等においても、4・5・2-16 図に示した様に発生する事が知られている。



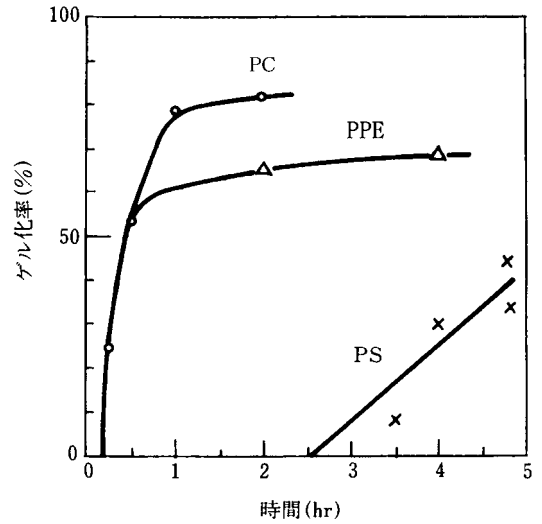
4・5・2-13 図 連続真空系加熱によるゲルの発生



4・5・2-14 図 真空系での加熱による $[\eta]$ の変化

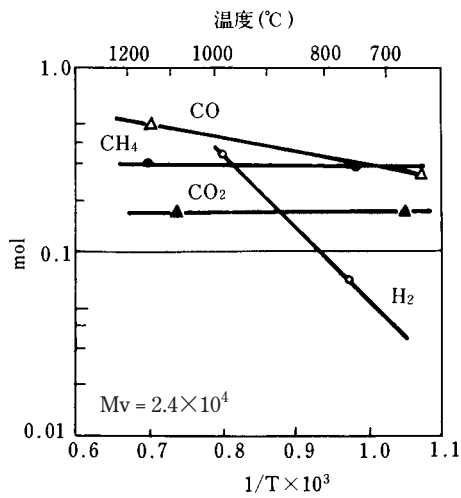


4・5・2-15 図 連続真空系における分解ガス発生速度



4・5・2-16 図 他の樹脂のゲル発生

ポリカーボネートを700~1200°Cで加熱した時の分解ガスの発生は4・5・2-17 図に示した通りで、CO<sub>2</sub>及びCH<sub>4</sub>の発生は、温度に関係なく一定値を示している。

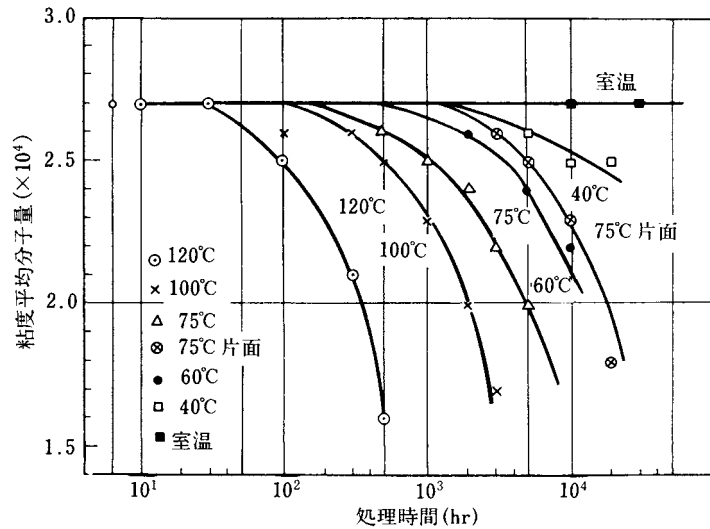


4・5・2-17 図 高温における分解ガス発生

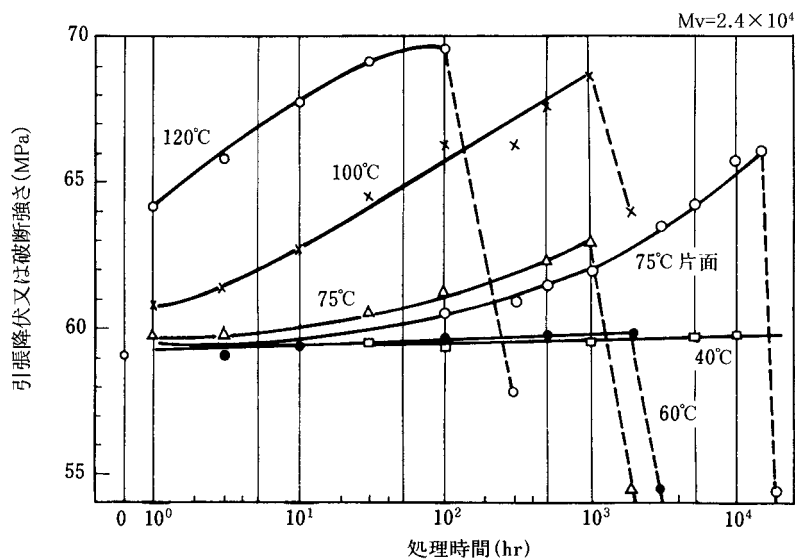
## 4・6 耐 温 水 性

ユーピロン／ノバレックスは、その主鎖結合がエステル結合であるため、温水・蒸気に触れると徐々に加水分解が起こり分子量の低下が見られる。同時にクラックが発生し、長時間後には機械的強度が低下する。

ユーピロン／ノバレックスの温水処理による分子量の低下を4・6-1 図に示した。処理温度が高い程、分子量の低下は急速に起こる。又、片面接触の場合の低下は浸漬の場合よりもゆるやかで、例えば75℃の場合、分子量が $2.0 \times 10^4$ になる処理時間は3～4倍となる。

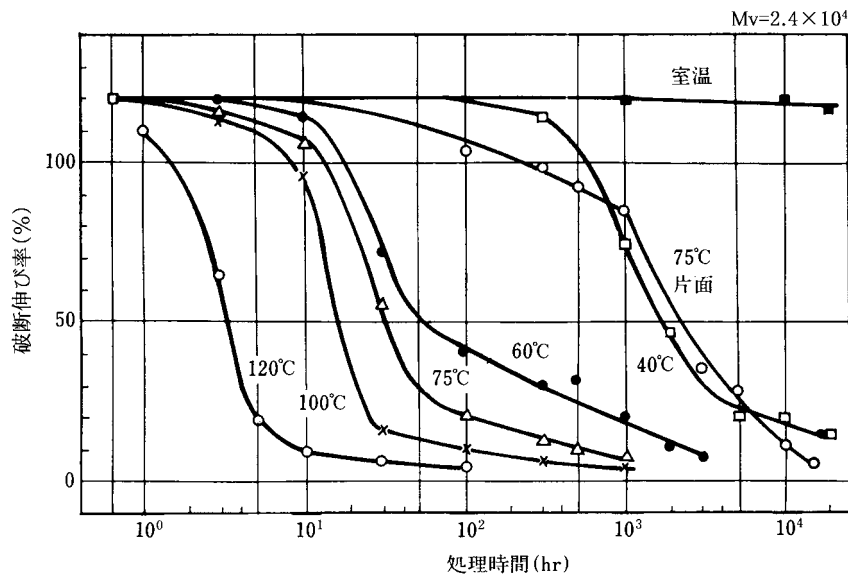


4・6-1 図 熱水処理による分子量の低下



..... 脆性破断

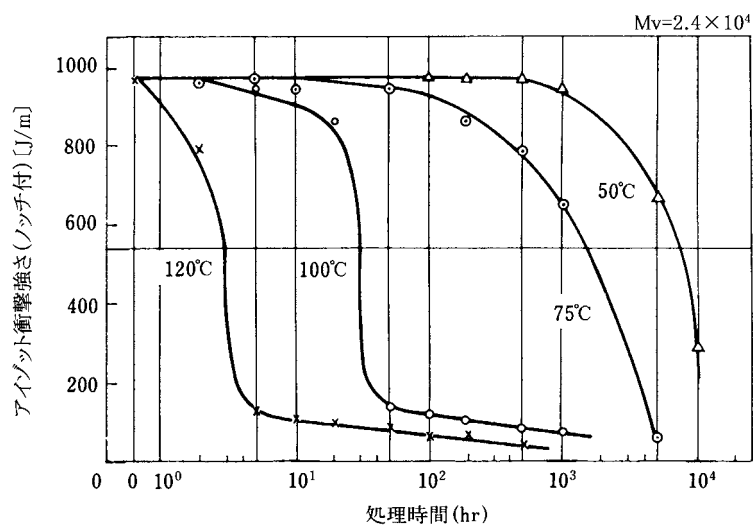
4・6-2 図 温水処理による引張降伏又は破断強さの変化



4・6-3 図 温水処理による引張破断伸び率

温水処理されたユーピロン／ノバレックスの引張性質は、分子量の低下と共に発生するクラックによって劣化を示す。4・6-2, 3 図にその変化を示した。延性破壊が脆性破壊に移行する時間は、120°Cでは(98kPa, 1kgf/cm<sup>2</sup>の蒸気中)100～200時間、100°C, 75°Cでは1000～2000時間、60°Cでは2000～3000時間、75°C片面では20000時間、40°Cでは20000時間以上となっている。75°C, 60°Cの場合は分子量の低下が少ないにも拘わらず、引張性質が低下しているが、これはクラックの発生によるものである。

アイゾット衝撃強度の劣化は4・6-4 図に示した。乾熱処理の場合よりも、劣化速度は速くなっている。例えば、100°Cでは、乾熱の場合1000時間を要するが、熱水の場合30～50時間で起こる様になっている。



4・6-4 図 温水処理によるアイゾット衝撃強さの変化

## 4・7 燃 焼 性

他の樹脂との比較を4・7-1 表に示した。

4・7-1 表 他の樹脂との燃焼性比較

ポ リ マ ー	燃焼熱 kJ/g(cal/g)	発熱量 kJ/g(cal/g)	発生水分 wt%	燃焼性 cm/min (in/min)	酸素指数 (%)
ポリエチレン	45.9 (10965)	42.8 (10225)	126.6	2.5 (1.0)	17.4
ポリプロピレン	44.0 (10506)	41.1 (9828)	115.9	2.5 (1.0)	17.4
塩化ビニル	18.1 (4315)	16.8 (4015)	51.3	自己消火	47.0
四フッ化エチレン	4.2 (1004)			不 燃	95.0
ポリメチルメタアクリレート (PMMA)	26.2 (6265)	24.6 (5869)	67.8	2.8 (1.1)	17.3
ポリスチレン	40.2 (9604)	38.4 (9182)	72.1	2.5~5.1 (1.0~2.0)	18.3
アクリルニトリル・ スチレン(AS)				2.5 (1.0)	18.1
ABS	35.3 (8424)	33.8 (8066)	61.2	3.3 (1.3)	
ポリエーテル	16.9 (4046)	15.9 (3790)	43.7	2.8 (1.1)	16.2
エチルセルロース	23.7 (5659)			2.0~3.6 (0.8~1.4)	
ポリアミド(ナイロン)	30.9 (7371)	28.7 (6863)	86.8	自己消火	28.0
ポリフェニレンエーテル(PPE)				自己消火	30.2
ポリスルホン				自己消火	30.4
<b>ポリカーボネート</b>	30.5 (7294)	29.4 (7020)	46.8	自己消火	25.0
共重合ポリカーボネート (ユーピロンN-3)					31.0

プラスチックの難燃化に当たって考えねばならない問題としては、燃焼性の改善だけでなく、発生ガスの組成、量及び発煙性がある。ユーピロン／ノバレックスの場合にはその構成元素がC・H・Oであるから、HCl(PVC、ポリ塩化ビニリデン等)、NH<sub>3</sub>、シアン(ポリアミド、ABS、AS等)、SO<sub>2</sub>(ポリスルホン等)等の様な有毒ガスの発生(4・5・2-17 図参照)は起こらない。又、発煙性については、4・7-2 表に各種樹脂の結果を示した。ポリカーボネートは、着火燃焼の場合には中程度の発煙性であるが、くん焼燃焼の場合には極端に発煙性が少ないという特色を示している。

4・7-2 表 プラスチックの発煙性

プラスチック	厚さ mm	着炎燃焼			くん焼燃焼		
		$D_m$	$R_m$	$T_{16}$ (分)	$D_m$	$R_m$	$T_{16}$ (分)
塩化ビニル	6.4	660	134	0.8	300	12	3.9
塩化ビニリデン	2.8	125					
ポリニフッ化塩化ビニル	0.04	0					
ポリフッ化ビニル	0.05	4					
ポリスチロール	6.4	660	243	1.3	322	24	7.3
ABS	1.2	660	400	0.6	71	4	4.8
ポリメチル メタアクリレート (PMMA)	5.6	660	23	2.6	156	60	9.2
セルロースアセテートブチレート	6.4	49	12	5.0	434	45	2.7
ポリカーボネート	3.2	174	43	2.1	12	1	
ポリフェニレンエーテル (PPE)	2.0	183					
ポリスルフォン	1.5	40					
ナイロン繊維	7.6	269	105	1.8	320	45	2.8
アクリル繊維	7.6	159	29	0.6	319	49	1.5
ポリプロピレン繊維	4.6	110	50	1.7	456	60	2.3
オーク材	6.4	155	18	3.9	350	34	4.8

$D_m$ ：単位面積当たり発煙量

$R_m$ ：発煙速度

$T_{16}$ ： $D_m$ が16になる時間

## 4・8 その他の熱的性質

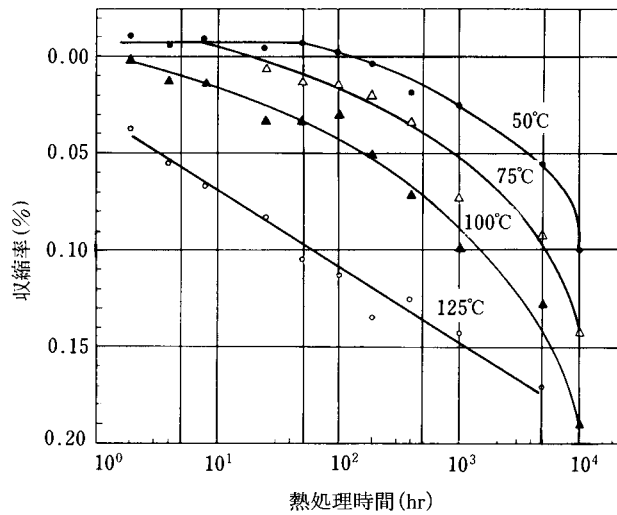
### 4・8・1 脆化温度

ユーピロン／ノバレックスの脆化温度は $-135^{\circ}\text{C}$ である。他の樹脂との比較は4・2-1表に示した。ユーピロン／ノバレックスの耐低温性は、プラスチック中最も優れている。

### 4・8・2 熱収縮

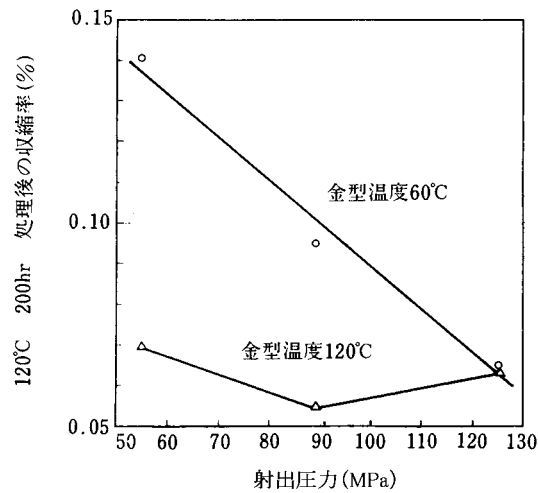
ユーピロン／ノバレックスを熱風雰囲気中で熱処理した場合の収縮率の変化は、4・8・2-1図に示した様に、かなり低温からも起こり、その変化量は0.1~0.2%を示している。しかし、このような熱収縮は、成形条件等によっても変化する(4・8・2-2図参照)。

$150^{\circ}\text{C}$ 以上の雰囲気中では、分子鎖のマクロ・ブラウン運動によって、凍結されていた配向歪が解放され5~10%収縮する。



(試料寸法  $6.4 \times 12.7 \times 152\text{mm}$ ,  $Mv=2.2 \times 10^4$ )

4・8・2-1 図 熱処理による寸法変化

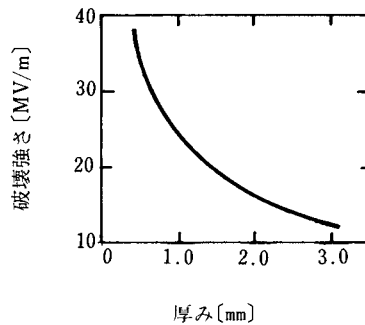


4・8・2-2 図 射出成形条件と熱収縮率の関係

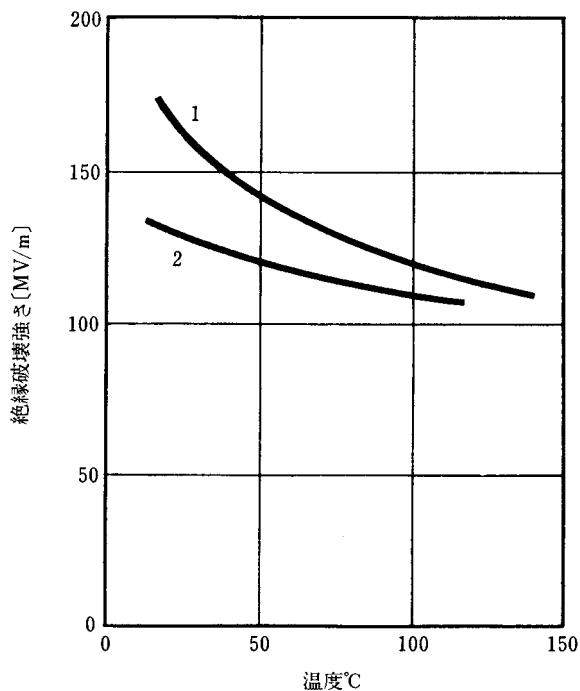
## 5. 電 気 的 性 質

### 5-1 絶縁破壊強さ

ASTM.D149によるユーピロン／ノバレックスの絶縁破壊強さは厚み1.6mmで18～22MV/mで試験片の厚み特性は5-1-1図，温度特性は5-1-2図に示した通りである。



5-1-1 図 ユーピロン／ノバレックスの絶縁破壊強さの厚み特性  
(室温，油中，短時間昇圧法)



5-1-2 図 ポリカーボネートフィルムの絶縁破壊強さ — 温度特性  
(1ポリカーボネート，2セルロース・アセトブチレート)

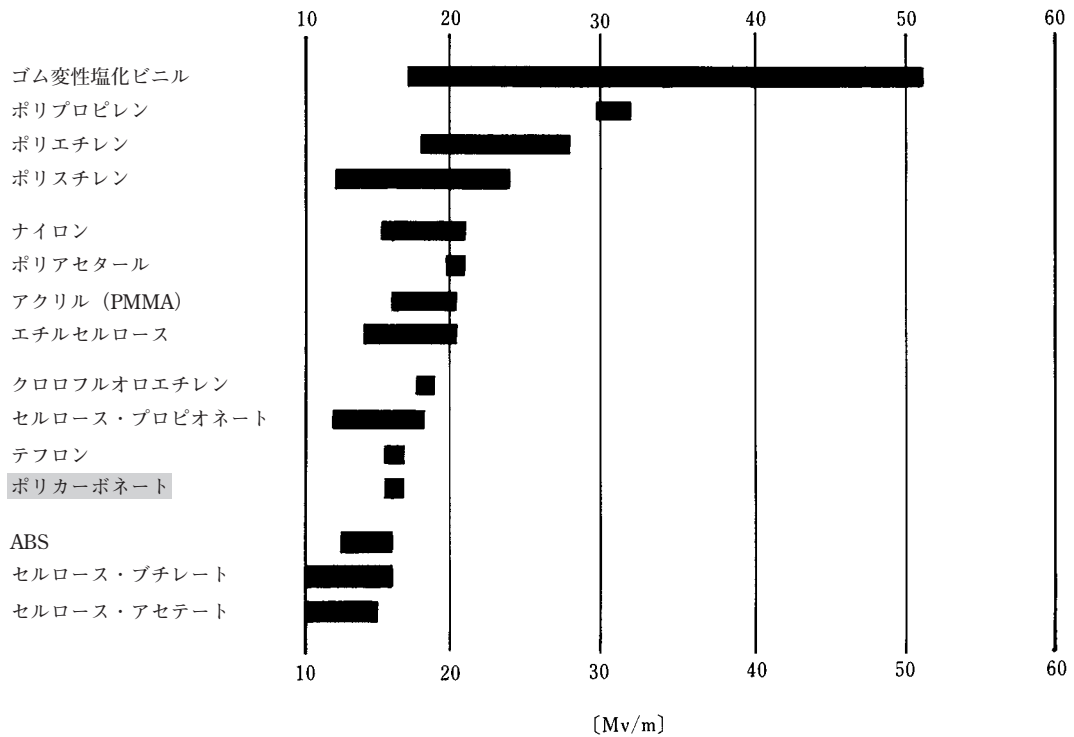
5-1-1 表

	インパルス 破壊電圧
ユーピロン丸棒	180～190KV
エポキシ積層棒	140～150
フェノール積層棒	130～135
メラミン積層棒	120～130

ユーピロン／ノバレックスのインパルス破壊電圧は5-1-1表に示した通りである。



他樹脂との比較は5・1-3 図に示した。



5・1-3 図 種々な樹脂の絶縁破壊強さ (短時間昇圧：ASTM-D149)

## 5・2 絶 縁 抵 抗

ユーピロン／ノバレックス体積抵抗率は

ASTM-D257-58	
-30~-3°C	$>10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$
23°C	$2.1 \times 10^{16}$
125°C	$2.0 \times 10^{14}$

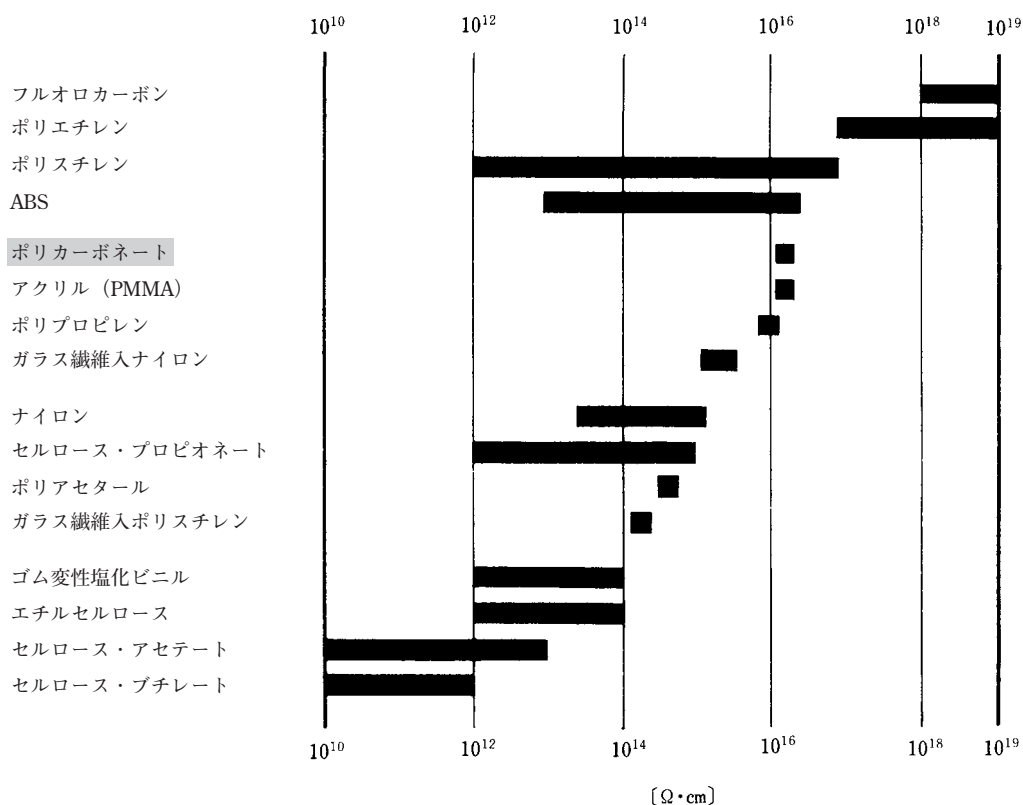
である。

ポリカーボネートの表面抵抗率は

乾燥状態	$\geq 10^{15} \Omega$
水中に 4 時間浸漬	$\geq 10^{15} \Omega$
(DIN 53482, $\phi$ 80, 2 mm厚)	

である。

体積抵抗率の種々な樹脂との比較は5・2-1 図に示した通りである。



5・2-1 図 種々な樹脂の体積抵抗率(ASTM-D257)

### 5・3 誘電率及び誘電正接

ユーピロン／ノバレックスの誘電率及び誘電正接は

ASTM-D150-54T, 50Hz, 常温

誘電率 26.5PF/m(3.0)

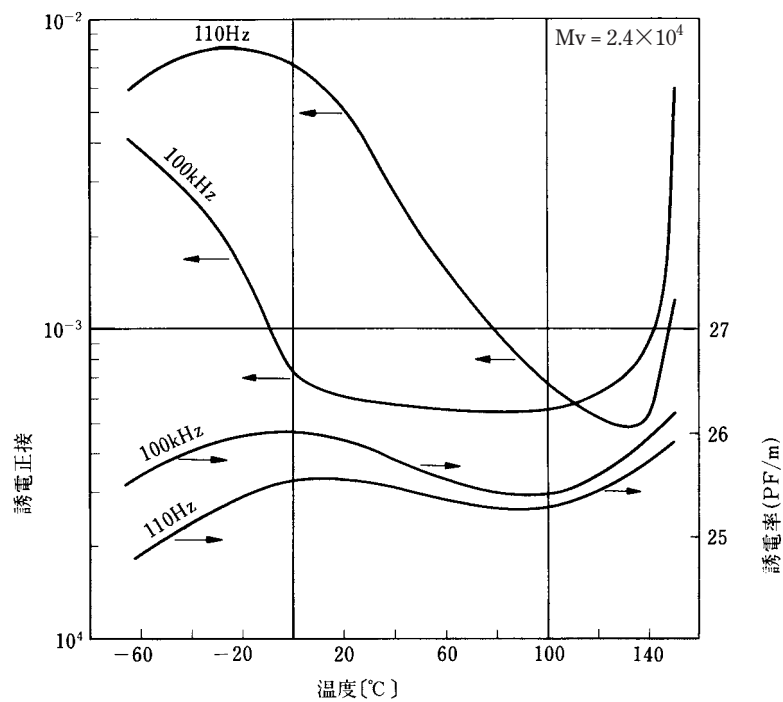
誘電正接 0.0009

である。

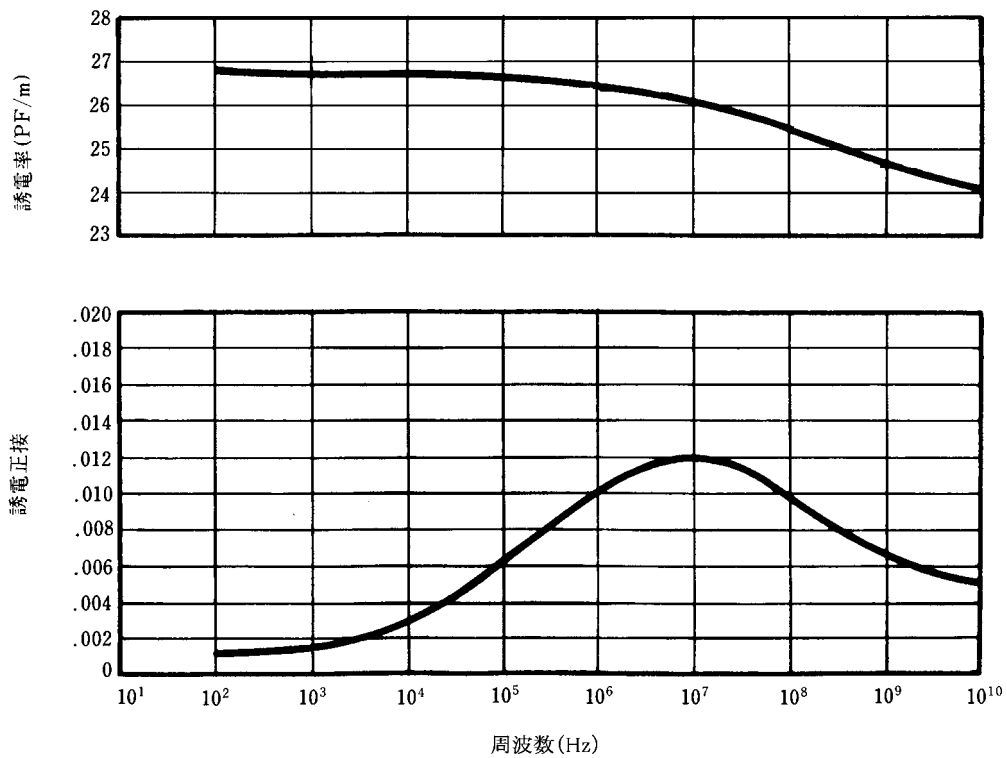
ポリカーボネートの誘電率及び誘電正接の温度特性，ならびに周波数特性をそれぞれ5・3-1 図と5・3-2 図に示した。

又，誘電率の他樹脂との比較は5・3-3 図に示した。

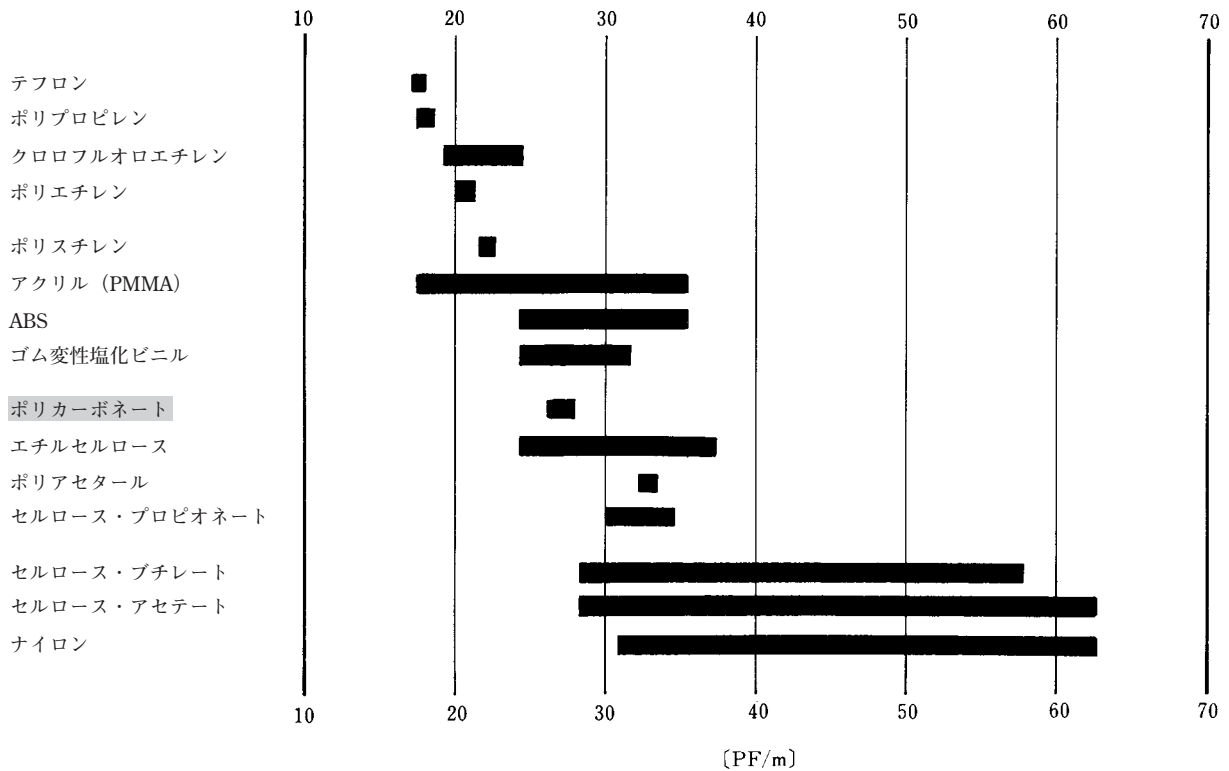
誘電率の低いものは絶縁用として良く，高いものはキャパクターとして良いといわれている。ユーピロン／ノバレックスは，そのいずれにも実用的である。しかも，その温度，周波数による変化が少ないのが特徴である。



5-3-1 図 ユーピロン/ノバレックスの誘電正接，誘電率の温度特性



5-3-2 図 ポリカーボネートの誘電率と誘電正接との周波数特性



5・3-3 図 種々な樹脂の誘電率 (ASTM-D150, 周波数  $60 \sim \times 10^6$  Hz)

## 5・4 その他の電氣的性質

### 5・4・1 耐アーク性

ASTM.D495に準じたユーピロン／ノバレックスの耐アーク性は

タンゲステン電極	100～120秒
ステンレスチール電極	10～11秒

である。

室温水中100hrs浸漬後のユーピロン／ノバレックスの耐アーク性は

タンゲステン電極	93秒
----------	-----

である。

ユーピロン／ノバレックスの耐アーク性に及ぼすカーボンブラック添加の影響を5・4・1-1表に、その他の着色剤添加の影響を5・4・1-2表に示した。

5・4・1-1 表 ユーピロン／ノバレックスの耐アーク性に及ぼすカーボンブラック添加の影響 (タンゲステン電極使用)

$Mv = 2.4 \times 10^4$

カーボンブラック添加率 [wt%]	0	0.01	0.03	0.1	0.3	0.6	1.0	3.0	6.0
耐アーク性 [秒]	110	116	120	119	120	113	98	58	38

5・4・1-2 表 ユーピロン／ノバレックスの耐アーク性に及ぼす着色剤の添加の影響  
(着色剤0.1wt%添加, タングステン電極使用)

Mv = 2.4×10<sup>4</sup>

着色剤	耐アーク性[秒]	着色剤	耐アーク性[秒]
ブラック	117	グリーン系	96
グリーン系	121	シアニンブルー	104
オレンジ系	110	オレンジ系	121
ブルー系	119	イエロー系	116
イエロー系	119	オレンジ系	118
〃	123	ピンク系	118
レッド系	107	蛍光顔料	122
〃	118	チタンホワイト	119
グリーン系	109		

各種熱可塑性樹脂の耐アーク性を5・4・1-3表に示した。

5・4・1-3 表 耐アーク性の比較タングステン電極使用

ポ リ マ ー 名	耐アーク性	
	[秒]	破壊状態*
ポリカーボネート	110	A
ポリアセタール	>240	D
66ナイロン	>140	C
ポリプロピレン	>140	E
6ナイロン	140	B
ポリエチレン	>130	E
ポリスチレン	>130	E
PBT(複合強化)	125	A
12ナイロン	>120	C
ポリメチルメタアクリレート	>120	E
AS	>120	B.E.
ポリエチレンテレフタレート	120	A
PC・ABSブレンド品	112	A
アイオノマー	>111	B.E.
ハイインパクトポリスチレン	> 95	E
ABS	93	A
ポリスルホン	78	A
変性PPE	67	A

\*破壊の状態 Aは 炭化によるアーク消滅  
Bは 燃焼によるアーク消滅  
Cは 燃焼してアーク消滅せず  
Dは 溶融により穴があくがアークは消滅せず  
Eは 燃焼して穴があくがアークは消滅せず

### 5・4・2 耐トラッキング性

ポリカーボネートの耐トラッキング性は

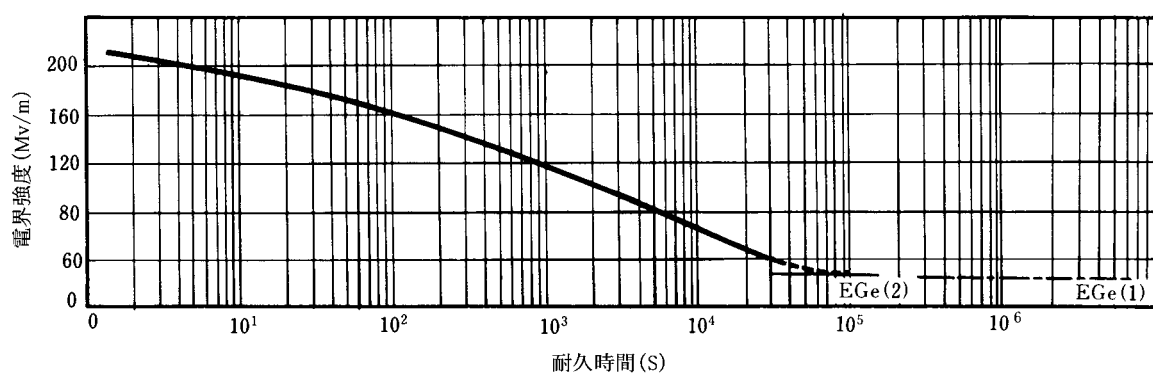
IEC 112(白金電極) 240~260

IEC 112(黄銅電極) 135~150

である。

### 5・4・3 耐コロナ性

ポリカーボネートの耐コロナ性は5・4・3-1 図に示した様に、約30MV/mでは、無限大の耐コロナ性を有する。ユーピロン/ノバレックスのコロナ開始電圧は5・4・3-1 表に示した通りである。



5・4・3-1 図 ポリカーボネートの絶縁破壊強さ(周波数50Hz)と暴露時間との関係

5・4・3-1 表

	コロナ開始電圧 (kV)	フラッシュ・オーバー電圧 (kV)
ユーピロン/ノバレックス丸棒	45~50	50以上
エポキシ積層棒	50	50以上
フェノール積層棒	30~50	40~50以上
メラミン積層棒	30~50	50以上

## 6. 化学的性質

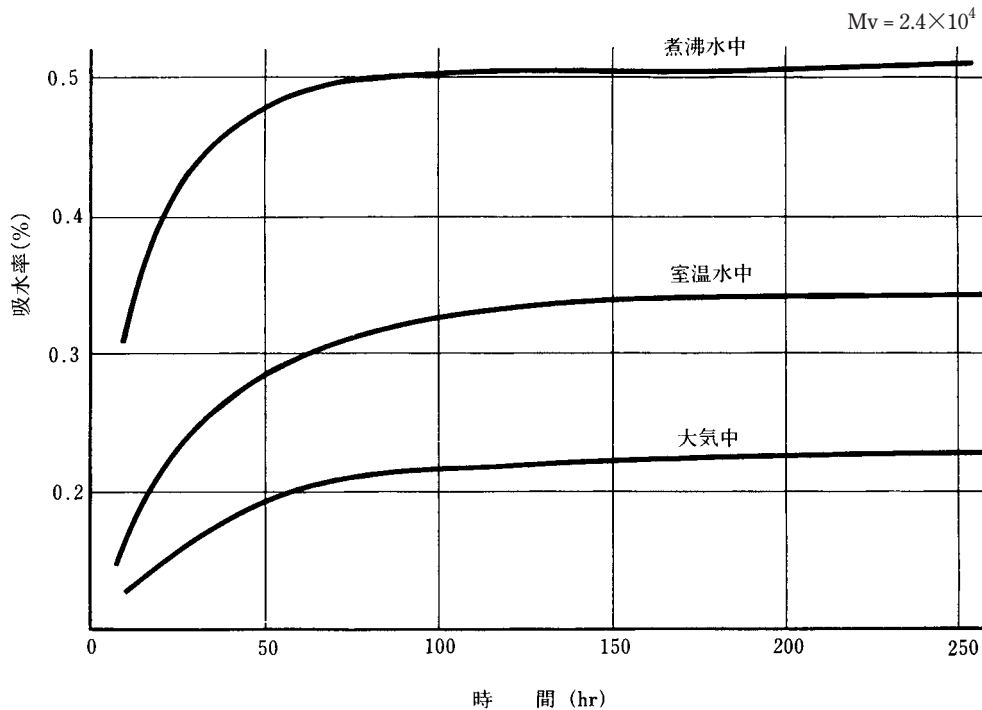
### 6.1 吸水・吸湿率

ユーピロン／ノバレックスの吸水率は、

ASTM-D570, 水中24hrs後 0.23~0.26%

である。

ユーピロン／ノバレックスの吸水・吸湿曲線は6.1-1図に示す通りである。



6.1-1 図 ユーピロン／ノバレックスの吸水曲線(ASTM-D570)

又、JIS K 6771-1958で測定した吸水率は

50°C水中24hrs後 0.29%

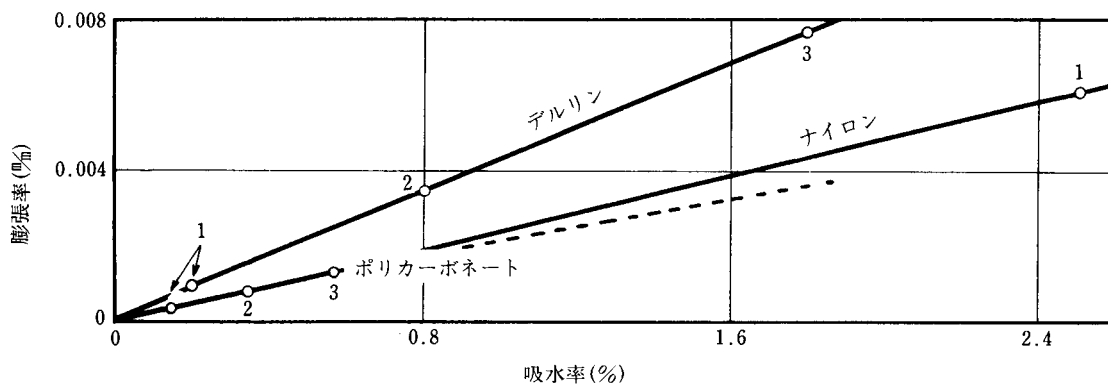
75°C水中24hrs後 0.39%

であった。この吸水率の測定方法は、必ずしも吸水率ゼロを基準にしていない。

従って、これら吸水させたものをカール・フィッシャー法で水分定量を行うと、上記数値よりも0.05~0.10%程度大きい吸水率を示す。

ポリカーボネートの吸水・吸湿による膨張率は6.1-2図に示した通りである。

他樹脂との比較は6.1-1表に示した様に、ユーピロン／ノバレックスの吸水率は非常に小さく、従ってそれによる寸法変化も極めて小さい事が特徴である。



1 室温, 50%RH, 2 室温水中, 3 沸騰水中  
6-1-2 図 吸水による寸法変化

6-1-1 表 種々な樹脂の吸水率  
ASTM-D570 (24hrs後)

物質名	吸水率 (%)
低密度ポリエチレン	<0.01
ポリカーボネート	0.23
ゴム変性塩化ビニル	0.07~0.2
セルロース・プロピオネート	1.2~2.8
高衝撃ABS	0.3
高衝撃エチルセルロース	0.8~2.0
エチルセルロース	1.2~2.0
軟質セルロース・アセテート	2.3~6.5
軟質セルロース・ブチレート	0.9~1.3
硬質セルロース・ブチレート	1.3~1.8
セルロース・アセテート	1.9~4.0
テフロン	0.00
ガラス繊維入ナイロン	0.7~1.4
ポリエチレン	0.04~0.08
ABS	0.2
硬質セルロース・アセテート	1.6~3.8
ナイロン	1.5~2.3
アクリル(PMMA)	0.2~0.4
ポリアセタール	0.41
ポリプロピレン	<0.01



## 6・2 ガス透過性

ユーピロンフィルムの水蒸気透過性は6・2-1表に示した通りである。

6・2-1表

フィルム厚み (mm)	試験方法	透湿量 (g/m <sup>2</sup> ・day)
0.20	JIS・Z 0208, 温度40℃, 湿度90%	23.3
0.08	ASTM・E96-53T, 温度50℃, 湿度50%	46~57
0.05	〃	69
0.02	JIS・Z 0208, 温度40℃, 湿度90%	195

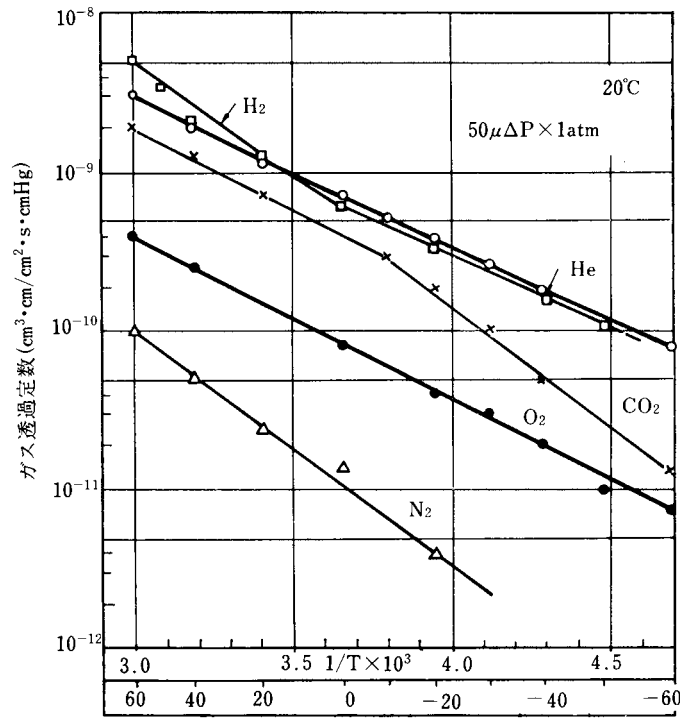
ユーピロンのガス透過性は、6・2-2表及び6・2-1図に示した通りである。ガス透過定数と1/Tの関係は直線で示されるが、比較的定数の大きいガスの場合には0~20℃の間に屈折点を有する様である。

又、ユーピロンのガス透過性と試料厚みの関係は6・2-3表に示した通りである。ガスの種類によって若干異なる様であるが、CO<sub>2</sub>を除いて300 μmまではほぼ一定値を示している。

6・2-2表 ユーピロンフィルムのガス透過性(ASTM-D1434)

温度(℃)	ガス透過定数*				
	H <sub>2</sub>	He	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
90			20.6		
80			16.2		
70			12.3	46.4	
60	533.	315.	9.7	39.2	210.
50	352.	237.	6.1	31.9	160.
40	208.	197.	4.9	23.8	127.
30	165.	144.	3.2	18.1	103.
20	120.	110.	2.4	14.3	72.
0	62.	77.	1.4	8.4	48.
-10	47.	48.	0.8	5.8	31.
-20	34.	34.	0.4	4.0	19.
-25				3.3	
-30	24.	25.		2.9	11.
-35				2.3	
-40	17.	18.		2.1	5.0
-45				1.3	
-50	12.	13.		1.0	2.1
-55				0.9	
-60	7.	8.		0.8	1.3

\* 単位 cm<sup>3</sup>・cm/cm<sup>2</sup>・s・cmHg・10<sup>11</sup>, 圧力差 1 気圧, 厚み 50 μm



6・2-1 図 ユーピロンのガス透過性

ユーピロンのガス透過性とその厚み依存性は6・2-3表に示した通りである。

6・2-3表 ユーピロンのガス透過性とその厚み依存性

厚み(μm)	ガス透過定数*			
	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
50	120.	2.4	14.3	72
100	109.	2.5	14.2	56
200	105.	2.3	12.2	26
300	105.	2.4	12.8	24
600	114.		9.1	

\* 単位  $\text{cm}^3 \cdot \text{cm} / \text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg} \cdot 10^{11}$ , 圧力差 1 気圧, 温度 20°C

他樹脂の蒸気透過性及びガス透過性は6・2-4表に示した通りである。

6・2-4表

	透湿量*	ガス透過定数**			
		H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
ポリエチレン	4.3	10.07	3.47	1.22	12.5
マイラー	9.5	0.80	0.04	0.008	0.20
塩化ビニル	22.1	3.8	0.78	0.28	1.78
ナイロン	43.8	1.0	—	—	0.31
ポリスチレン	45	33.1	5.8	2.79	10.5

\* ASTM・E 96—53T, 温度37.8℃, カップ内水, 外の湿度0%, 単位は0.1mmあたりg/m<sup>2</sup>・day

\*\* 温度30℃, 単位 cm<sup>3</sup>・cm/cm<sup>2</sup>・s・cmHg・10<sup>10</sup>

### 6・3 耐薬品性

ユーピロン／ノバレックスの常温及び75℃における耐薬品性については、6・3-2表に示す通りである。

ユーピロン／ノバレックスは、ポリエステルであるため、エステル結合を加水分解させるアルカリ性薬品に対しては、その抵抗力に限界がある。又、一般に芳香族系炭化水素、塩素化炭化水素には膨潤、溶解する傾向が強い。

又、高温においては、アルコール、フェノール類によりエステル結合の切断が行われる。

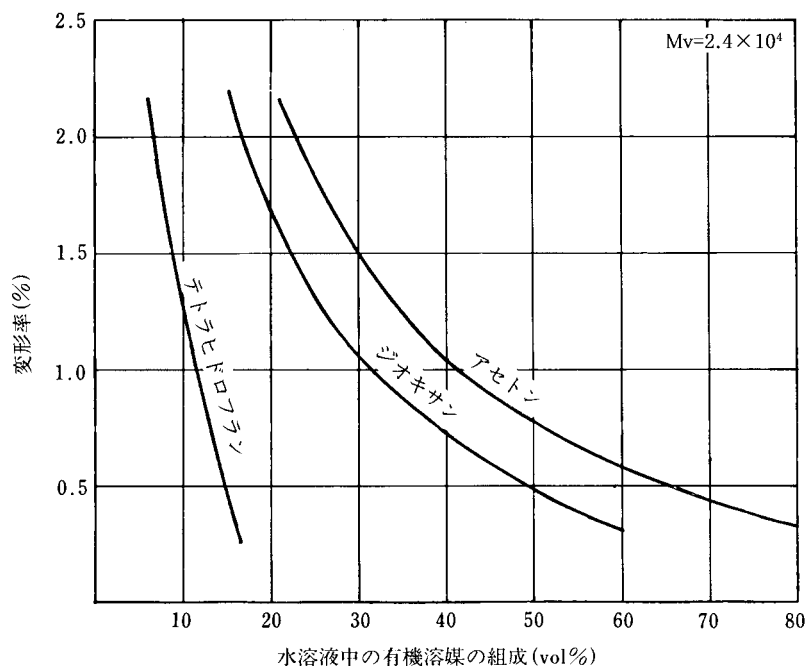
高温(60～100℃)においては、4・6頁で述べた様に、純水によってさえも長時間のうちには徐々に劣化を示すので、本項に述べてある75℃の耐薬品性もその影響を見逃すわけにはいかない。

プラスチックには、一般に応力亀裂又は溶媒腐蝕として知られている現象があり、応力下にある種の溶媒又はその蒸気に触れると亀裂を生ずる。

ユーピロン／ノバレックスにおいても、この様な現象が見られるので注意を要する。ユーピロン／ノバレックスが応力下で特に敏感な溶媒は、四塩化炭素、ヘキサン、アセトン、アルコール等で、その一例を6・3-1図に示す。

又、四塩化炭素、アセトン、ヘキサンによる応力亀裂の発生する限界引張歪率は、それぞれ0.5, 0.35, 0.8%であり、圧縮歪はこの様な応力亀裂を起こさない。

更に溶媒腐蝕は広範囲の物質、例えば可塑剤、グリース、ゴム、各種油類等々によっても起こる事が知られている。その一例を6・3-1表に示したが、実用品の設計に際しては、使用物質の溶媒腐蝕性をテストする必要がある。



6・3-1 図 ユーピロン／ノバレックスの応力下溶媒亀裂曲線(温度25℃, 試験片152×12.7×6.4mm)

種々な曲げ歪を与えた状態で各組成の混合溶媒に1分間浸漬した場合、クラックが発生しない曲げ歪と溶液組成との組合せをプロットしたものである。

6・3-1 表 ユーピロンの溶媒腐蝕性 [単位 MPa(kgf/cm<sup>2</sup>)]

物 質	溶媒腐蝕		物 質	溶媒腐蝕	
	室 温	75℃		室 温	75℃
軟質塩ビ(60%可塑剤入り)	7.8 (80)	3.9 (40)	切削油(コミロゲン)	29.4 (300)	3.9 (40)
グリース(アルバニアNo.2)		9.8 (100)	〃 (コミロゲン30%水溶液)	29.4 (300)	7.8 (80)
グリース(アルバニアNo.2 低温用)	33.3 (340)	15.7 (160)	〃 (ドロマスオイルB)	29.4 (300)	3.9 (40)
グリース(ビーコンNo.325)	8.8 (90)		〃 (ドロマスオイル60%水溶液)	29.4 (300)	7.8 (80)
グリース(シリコンSH7071)	33.3 (340)	15.7 (160)	サラダ油	16.7 (170)	7.8 (80)
天然ゴム	25.5 (260)	7.8 (80)	防錆油(PA-50)	29.4 (300)	16.7 (170)
ネオプレンゴム(A)	24.5 (250)	7.8 (80)	〃 (タイアナ)	29.4 (300)	19.6 (200)
〃 (B)	8.8 (90)	3.9 (40)	〃 (CRC-36)	19.6 (200)	8.8 (90)
ブチルゴム	21.6 (220)	7.8 (80)	シーリング剤(A)	21.6 (220)	3.9 (40)
エチレンプロピレンゴム	12.7 (130)	3.9 (40)	〃 (B)	29.4 (300)	7.8 (80)
シリコンゴム(A)	32.4 (330)	15.7 (160)	エポキシ注型剤		3.9 (40)
シリコンゴム(B)	25.5 (260)	15.7 (160)	シリコン注型剤	20.6 (210)	11.8 (120)
ロック剤	3.9 (40)	3.9 (40)	ブランク	39.2 (400)	22.6 (230)

試験法：定歪法で曲げ最大応力の発生する部分に物質を触れさせて、常温では48時間、75℃では3時間放置し、クラックの発生しない歪量を求め、これを応力に換算したものである。

6・3-2表 ユーピロン／ノバレックスの室温及び75℃における耐薬品性

試験片の大きさ : 長さ 63.5mm, 幅 12.7mm, 厚み 3.2mm

試験前の強度 : 引張強さ 58.1MPa (592kgf/cm<sup>2</sup>), アイゾット衝撃強さ(ノッチ付)910J/m

( )内の75℃の値で, いずれも30日間浸漬後の値である。

薬品名	重量変化 %	引張強さ変化 %	衝撃強さ J/m	外観変化	
無機塩					
食塩	15%	+0.14	-4.4	890	変化なし
	(15%)	(+0.22)	(+1.52)	(-)	クラック少々
硫化ナトリウム	15%	+0.13	-5.4	930	変化なし
	(15%)	(+0.15)	(+3.55)	(-)	表面くもり, クラック少々
塩化カリウム	15%	+0.14	-3.2	950	変化なし
硝酸カリウム	15%	+0.15	-3.6	920	〃
	(15%)	(+0.21)	(+1.18)	(-)	クラック少々
重クロム酸カリウム	15%	+0.15	-2.9	950	変化なし
	(15%)	(+0.31)	(-0.7)	(-)	クラック少々
塩化カルシウム	15%	+0.14	-4.4	930	変化なし
	(15%)	(+0.15)	(+0.7)	(-)	クラック少々
硫酸ナトリウム	10%	(+0.25)	(+1.5)	(-)	クラック少々
無機酸					
塩酸	35%	+0.13	-8.5	56	クラック
	(15%)	(+0.18)	(+2.4)	(-)	〃
	10%	+0.10	-2.7	920	変化なし
硫酸	(5%)	(+0.38)	(+1.5)	(-)	クラック
	98%	-	-	-	白濁溶解
	90%	+5.16	-1.9	890	乳白色
	85%	-0.17	-5.4	910	変化なし
	80%	-0.30	-4.1	920	〃
	(80%)	(-0.78)	(+1.5)	(-)	〃
	50%	-0.13	-3.0	860	〃
	(50%)	(-0.10)	(+3.6)	(-)	〃
	10%	-0.13	-6.0	880	〃
	(10%)	(+0.19)	(+0.8)	(-)	〃
硝酸	60%	+1.41	-9.2	920	黄色になる
	(60%)	(-)	(-)	(-)	形くずれる
	30%	+0.25	-6.6	640	黄色になる
	(30%)	(+1.06)	(-7.9)	(-)	不透明黄色
	10%	+0.14	-2.0	910	変化なし
正磷酸	(10%)	(+0.33)	(0)	(-)	透明な黄色
	100%	-0.25	+0.8	960	変化なし
	(100%)	(-0.12)	(+3.2)	(-)	透明な淡黄色
	10%	+0.09	-3.4	900	変化なし
(10%)	(+0.24)	(+2.7)	(-)	クラック	

薬品名	重量変化 %	引張強さ変化 %	衝撃強さ J/m	外観変化	
クロム酸	10%	+0.25	-3.7	950	変化なし
フッ化水素	conc.	+1.42	-9.3	1000	〃
硫 酸	50 vol%	+5.02	-19.0	88	溶 解
	50 vol%				
無水クロム酸	300g	+0.14	-4.4	920	変化なし
	150g				
無 機 アルカリ					
炭酸ナトリウム	15%	+0.13	-3.2	870	変化なし
	(15%)	(-0.79)	(+2.0)	(-)	クラック
水酸化ナトリウム	(10%)	(-2.92)	(-1.4)	(-)	表面くもり, クラック
	5%	+0.03	-4.4	950	変化なし
石灰乳	(5%)	(-0.17)	(-0.8)	(-)	表面くもり, クラック
	1%	+0.05	-4.6	990	変化なし
石灰乳	10%	+0.04	-5.1	970	〃
	(5%)	(-0.46)	(+2.7)	(-)	クラック
有 機 酸					
酢 酸	100%	+3.25	-7.3	660	白 濁
	70%	+0.15	-2.0	990	変化なし
	(70%)	(+0.86)	(-40.5)	(-)	白 濁
	50%	+0.14	-4.7	970	変化なし
	(50%)	(+0.64)	(-33.5)	(-)	白 濁
	10%	+0.21	-4.1	950	変化なし
ギ 酸	(10%)	(+0.48)	(-44.1)	(-)	クラック
	97%	+1.92	-12.7	970	変化なし
	70%	+0.68	-6.4	920	〃
	(70%)	(+1.91)	(-77.5)	(-)	クラック
マイレン酸	(40%)	(+0.86)	(-75.7)	(-)	〃
	10%	+0.28	-4.7	950	変化なし
安息香酸	10%	+0.07	-4.1	920	〃
乳 酸	10%	+0.21	-6.6	990	〃
	10%	+0.09	-1.4	930	〃
シュウ酸	(10%)	(+0.23)	(+4.9)	(-)	クラック
	1%	+0.15	-4.4	920	変化なし
ピクリン酸	(30%)	(+0.25)	(+2.7)	(-)	クラック
	10%	+0.12	-4.1	940	変化なし
ピクリン酸	2%	+0.13	-6.7	960	〃
石 油 系 成 分					
n-ヘキサン		+0.07	-5.4	930	変化なし
ソルベントナフサ		-	-	-	白濁, 膨潤
シクロヘキサン		+0.07	-4.4	920	変化なし
		(-)	(-)	(-)	完全溶解

薬品名	重量変化 %	引張強さ変化 %	衝撃強さ J/m	外観変化
石油エーテル	+0.003	-2.4	950	変化なし
ケロシン	+0.08	-4.4	930	〃
	(-0.07)	(+0.2)	(-)	クラック
リグロイン	+0.15	-7.1	970	変化なし
(沸点80℃以上)	(+0.49)	(-0.3)	(-)	〃
ベンゼン	-	-	-	膨潤溶解
トルエン	-	-	-	〃
スピンドル油	+0.003	-5.2	930	変化なし
ダイナモ油	+0.003	-5.9	940	〃
	(-0.05)	(+2.0)	(-)	〃
タービン油	+0.003	-4.7	950	〃
マシン油	+0.03	-0.9	940	〃
	(+0.02)	(+0.7)	(-)	〃
冷凍機油	+0.018	+0.8	970	変化なし
マリン・エンジン油	+0.017	-4.1	940	〃
シリンダー油	+0.007	-2.9	960	〃
	(+0.01)	(+0.7)	(-)	〃
重油	+0.07	-1.7	940	〃
ガソリン (低芳香)	+0.009	-1.9	920	〃
絶縁油	(-0.02)	(+1.9)	( )	〃
植 物 油				
大豆油	+0.08	-5.2	930	変化なし
落花生油	+0.07	-5.9	930	〃
	(-0.13)	(+2.5)	(-)	〃
ヒマシ油	+0.08	-4.4	940	〃
有 機 溶 媒				
メタノール	+1.47	-21.5	1000	表面にクラック
エタノール 100%	+0.50	-11.2	960	変化なし
(100%)	(+3.41)	(-67.2)	(-)	白濁
(50%)	(+1.18)	(+1.9)	(-)	クラック
イソプロピルアルコール	(+1.39)	(-1.0)	(-)	変化なし
n-ブチルアルコール	+0.12	-6.9	930	〃
	(+1.86)	(-27.5)	(-)	半透明に白濁
n-アミルアルコール	(+2.69)	(-26.0)	(-)	〃
n-オクチルアルコール	(+0.12)	(+8.1)	(-)	変化なし
エチレングリコール	-0.06	-7.6	910	〃
	(+0.04)	(+1.69)	(-)	〃
グリセリン	-0.07	-6.9	960	〃
	(+0.06)	(+0.5)	(-)	〃
エチルエーテル	+15.4	-55.7	1000	乳白色
アセトン	-	-	-	白濁, ぼろぼろ

薬品名	重量変化 %	引張強さ変化 %	衝撃強さ J/m	外観変化	
メチルエチルケトン	—	—	—	白濁, ぼろぼろ	
酢酸エチル	—	—	—	白濁, 膨潤	
四塩化炭素	+7.9	-9.6	960	白濁	
二硫化炭素	+2.0	-5.4	930	〃	
トリエタノール・アミン	-0.21	-3.6	—	表面にクラック	
テルペン油	-0.02	-3.7	910	変化なし	
カンファ油	(+1.69)	(+2.0)	(-)	半透明な白濁	
	-0.01	-4.3	960	変化なし	
	(+1.53)	(+0.2)	(-)	半透明な白濁	
そ の 他					
化粧石鹼	3%	+0.07	-5.2	960	変化なし
中性石鹼	3%	+0.07	-4.9	960	〃
		(+0.25)	(+2.7)	(-)	クラック
サラシ粉	2.5%	+0.05	-5.4	970	変化なし
過酸化水素	70%	+0.34	-3.9	820	淡黄色, 半透明
	30%	+0.15	-0.7	880	淡黄色
ホルマリン	30%	+0.17	-4.2	910	変化なし
		(+0.83)	(+4.9)	(-)	クラック
紅茶		(+0.27)	(+2.0)	(-)	〃
塩素		+1.5	-0.2	910	黄変



## 7. 光学的性質

### 7-1 光学定数及び光線透過率

ユーピロン／ノバレックスの常温における屈折率は

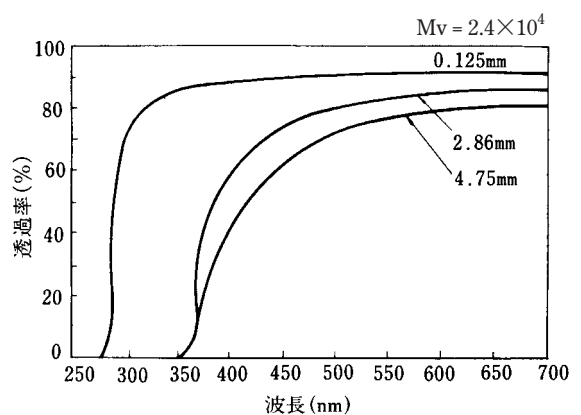
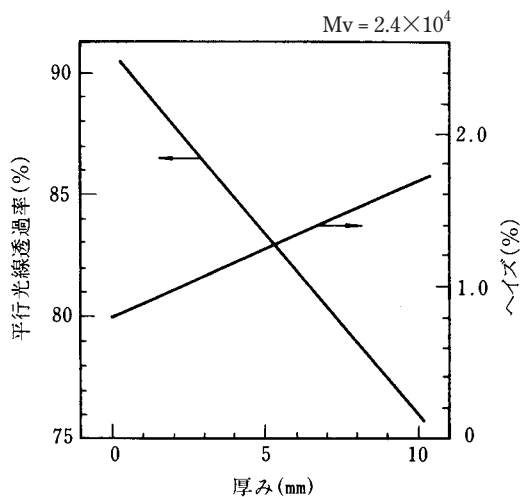
$$n_D 25^\circ\text{C} = 1.585$$

である。その温度特性は4-1-1-1 図に示した通りである。他の樹脂の屈折率は7-1-1 表に示した。

7-1-1 表 各種プラスチックの屈折率

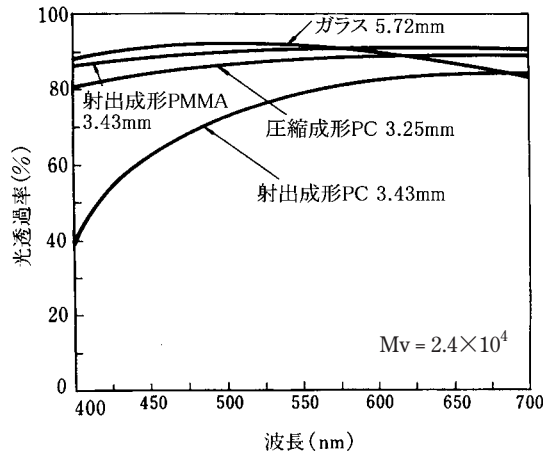
ポリマー名	$n_D 25$	ポリマー名	$n_D 25$	ポリマー名	$n_D 25$
ポリスチレン	1.590~1.600	ポリメチル・メタアクリレート (PMMA)	1.490~1.500	PETP	1.655
ポリメチルスチレン	1.560~1.580	アクリルニトリル・スチレン (AS)	1.570	66ナイロン	1.530
酢酸ビニル	1.450~1.470	ポリ四フッ化エチレン	1.350	ポリアセタール	1.480
塩化ビニル	1.540	ポリ三フッ化一塩化エチレン	1.430	フェノキシ樹脂	1.598
塩化ビニリデン	1.600~1.630	ポリエチレン低密度	1.510	ポリスルフォン	1.633
酢酸セルロース	1.490~1.500	〃 高密度	1.540	SBR	1.520~1.550
プロピオン酸セルロース	1.460~1.490	ポリプロピレン	1.490	TPX	1.465
ニトロセルロース	1.460~1.510	ポリブチレン	1.500	エポキシ樹脂	1.550~1.610

ユーピロン／ノバレックスの光線透過率と厚みの関係は7-1-1 図に示した通りである。その波長特性は7-1-2 図に示した。ポリカーボネートと他の透明材料との光線透過率—波長特性は7-1-3 図に示した通りである。



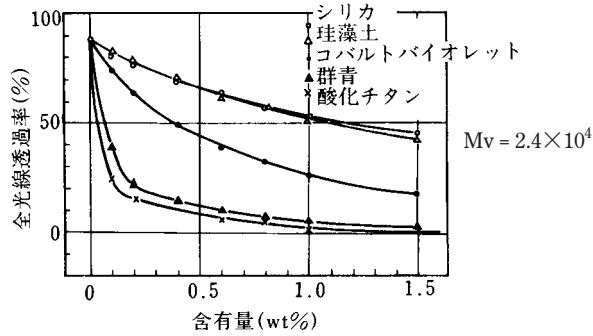
7-1-1 図 ユーピロン／ノバレックスの光線透過率と厚みの関係について

7-1-2 図 ユーピロン／ノバレックスの光線透過率



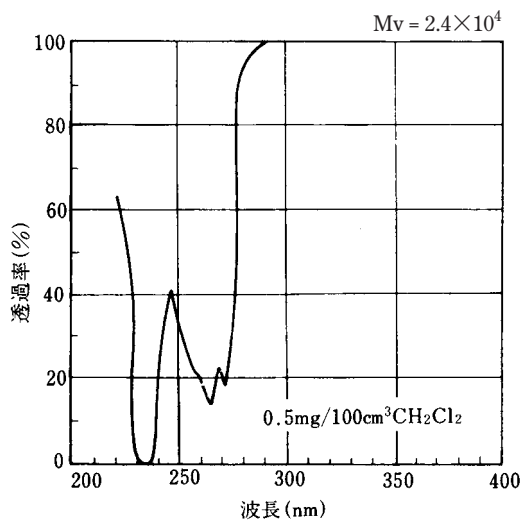
7-1-3 図 光線透過率の比較

ユーピロン／ノバレックスに充填剤又は顔料を加えた場合の光線透過率及びヘイズの変化を7-1-4 図に示したが、添加物の特性によって、これら性質の変化の様子が変わる。

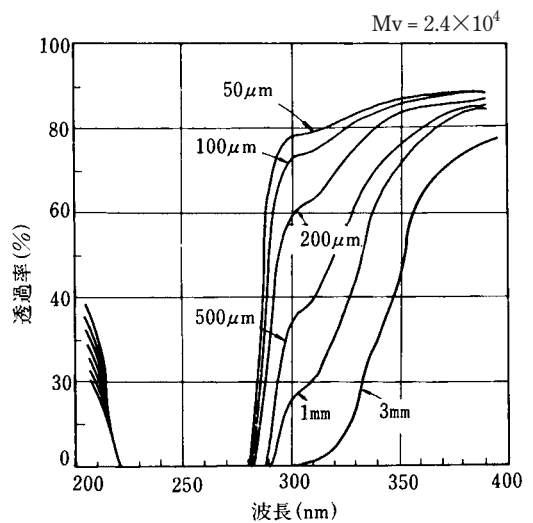


7-1-4 図 充填物含有量と光線透過率(試料厚み 3 mm)

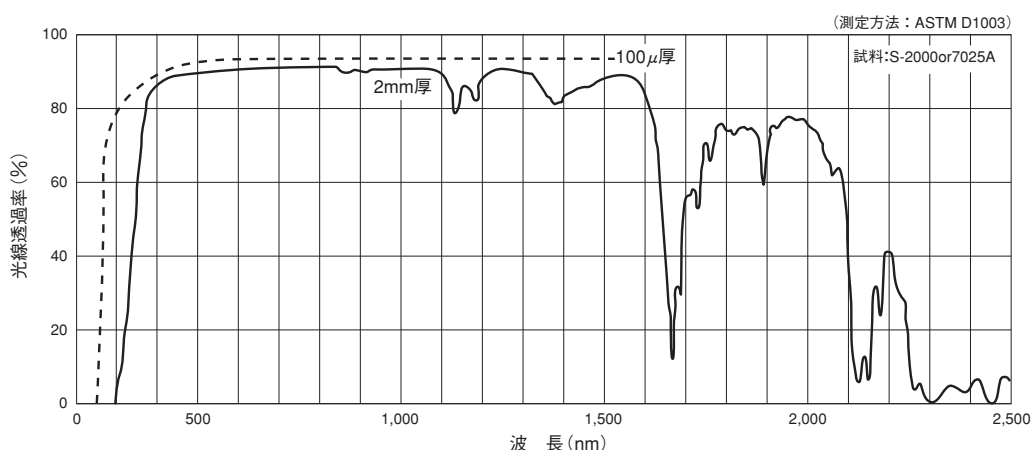
又、ユーピロン／ノバレックスの紫外吸収スペクトル及び赤外吸収スペクトルを7-1-5 図、7-1-6 図、7-1-7 図に示した。



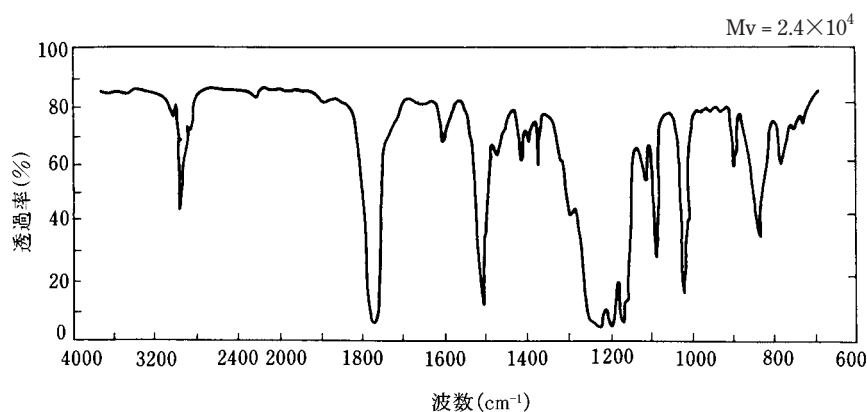
7-1-5 図 ユーピロン／ノバレックスの紫外線吸収スペクトル



7-1-6 図 ユーピロン／ノバレックスの厚さと紫外線透過率



7-1-7 図 ユーピロン／ノバレックスの紫外，可視，近赤外吸収スペクトル



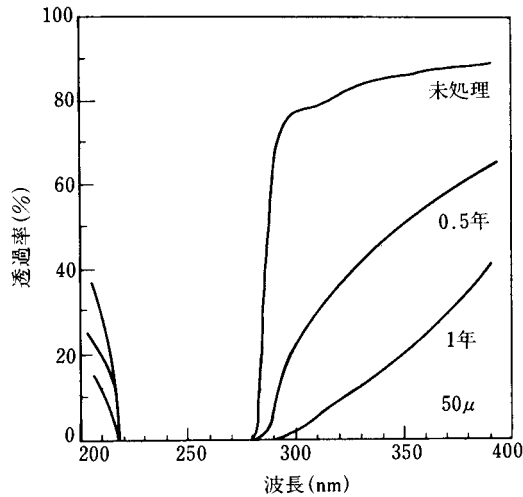
7-1-8 図 ユーピロン／ノバレックスの赤外線吸収スペクトル

## 7-2 耐候(光)性

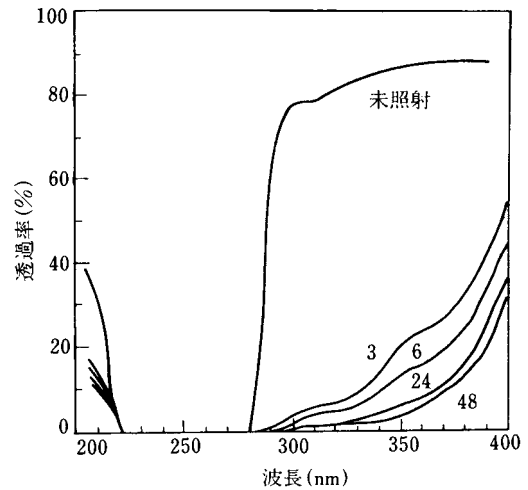
ユーピロン／ノバレックスは7-1-5 図に示す様に，短波長紫外線に対して良好な紫外線吸収能力を有し，ポリマー自身の紫外線吸収剤的な保護作用によって，日光，紫外線に対して優れた耐久性を有しているが，長時間強い紫外線にさらされた場合には徐々に劣化が進行して，特有の劣化現象が観察される。

ユーピロン／ノバレックスの自然劣化は主に290nm近辺の紫外線に基づく光酸化反応によって開始される。最も顕著な現象は表面層の変化であり，黄変，主鎖の切断による分子量低下，架橋，ゲルの生成等種々な化学構造の変化を起こし，機械的強度，柔軟性が低下し最終的にはクラックが発生する。

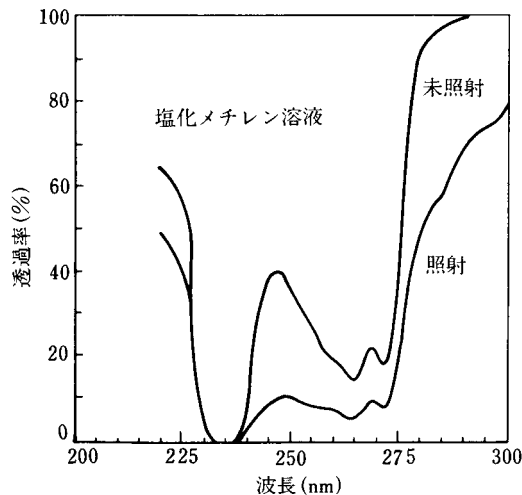
7-2-1 図，7-2-2 図は屋外暴露及び紫外線を照射したユーピロンフィルムの紫外線透過率の変化を，7-2-3 図は溶液の場合の変化を示したものである。7-2-4 図は屋外暴露による黄変度の変化を示す。



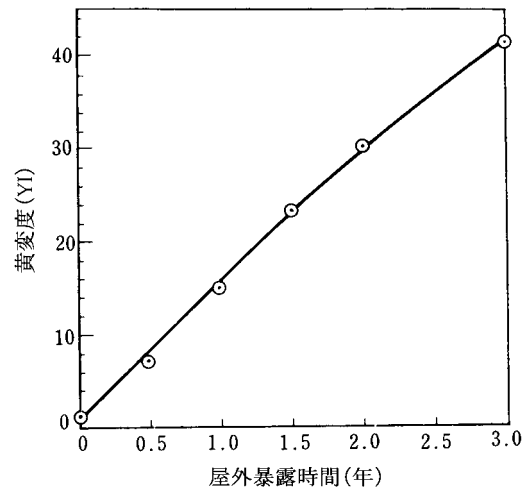
7・2-1 図 屋外暴露による紫外線透過率の変化



7・2-2 図 紫外線照射(時間)による紫外線透過率の変化



7・2-3 図 紫外線照射による紫外線透過率の変化

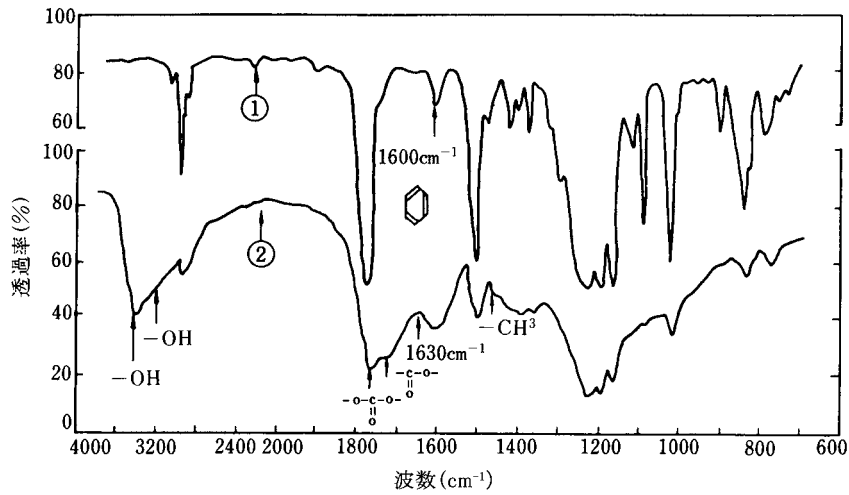


7・2-4 図 屋外暴露による黄変度の変化

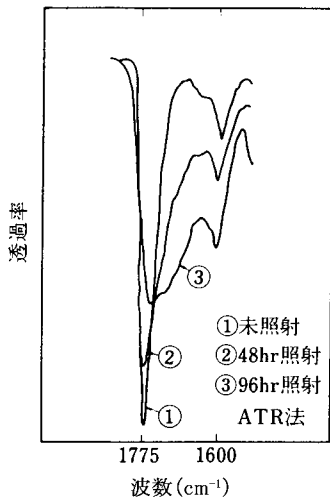
7・2-5, 6 図にそれぞれ紫外線照射による赤外吸収スペクトルの変化を示した。7・2-5 図より—OH基の増加, —CH<sub>3</sub>基, >C=O基の減少が認められ, 又, 1720cm<sup>-1</sup>, 1630cm<sup>-1</sup>にエステル, ベンゾフェノン型の吸収があらわれている。

7・2-6 図は照射後の表面層における化学構造変化を示した多重反射赤外吸収スペクトルであるが, 1775cm<sup>-1</sup>における吸収強度の変化が明確に示されており, 又, その変化も著しい事が解る。この炭酸基の変化は7・2-7 図に示した。

劣化を起こした表面層は, メチレンクロライドに不溶で, 明らかに分枝, 架橋反応が起こっていると考えられる。このゲル層の生成は7・2-8 図に示した通りである。

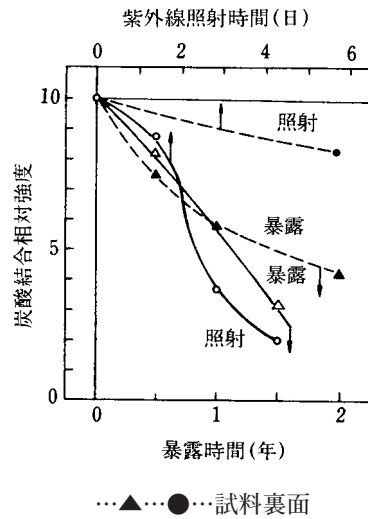


① 未照射(ユーピロン/ノバレックス) ② 照射(ユーピロン/ノバレックス)塩化メチレン不溶物  
7・2-5 図 紫外線照射による赤外吸収スペクトルの変化

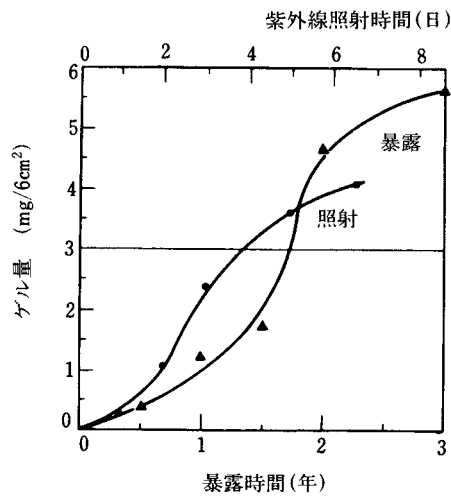


1775 $\text{cm}^{-1}$ : 炭酸結合( $>\text{C}=\text{O}$ )  
1600 $\text{cm}^{-1}$ : ベンゼン環二重結合

7・2-6 図 紫外線照射による赤外吸収スペクトルの変化 (炭酸結合の変化)

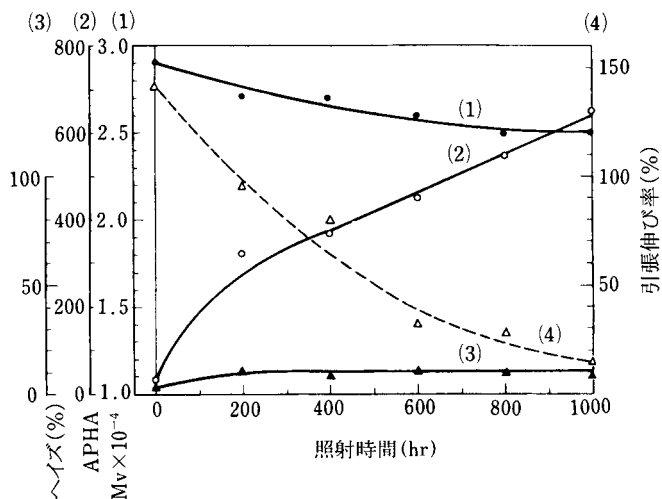


7・2-7 図 炭酸結合の変化

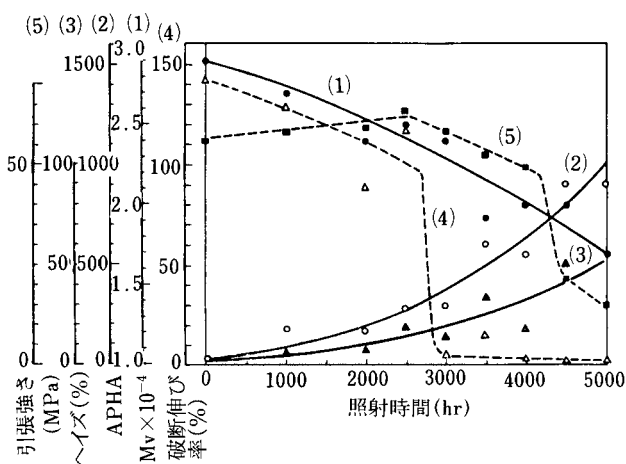


7・2-8 図 ゲルの生成量

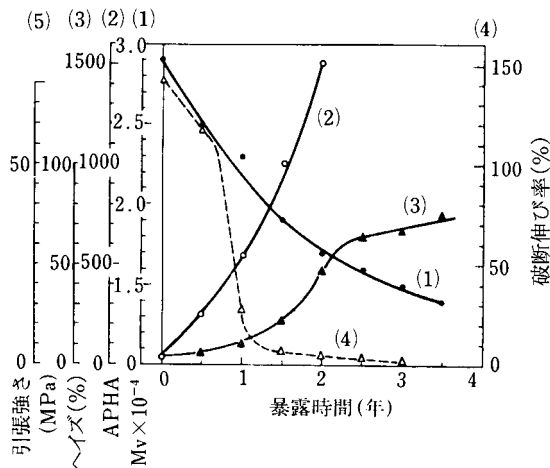
ユーピロン/ノバレックスのウエザーメーター及び屋外暴露試験の結果を7・2-9, 10, 11, 12, 13 図に示した。



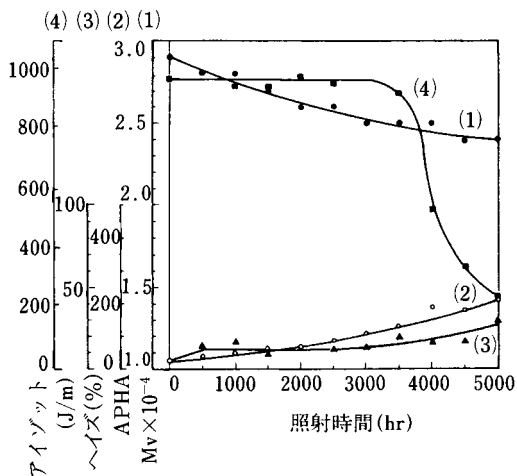
7-2-9 図 サンシャイン型ウエザーメーターによる劣化(厚み200 μm)



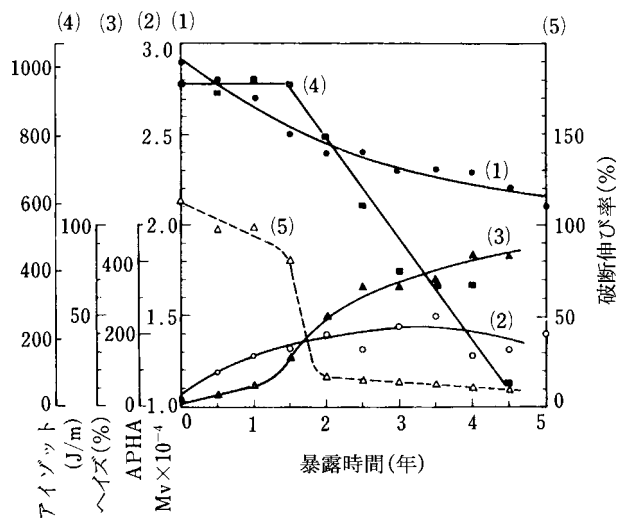
7-2-10 図 ウエザーメーターによる劣化(厚み200 μm)



7-2-11 図 暴露試験による劣化(厚み200 μm)



7-2-12 図 ウエザーメーターによる劣化(厚み3.2mm)



7-2-13 図 暴露による劣化(厚み3.2mm)

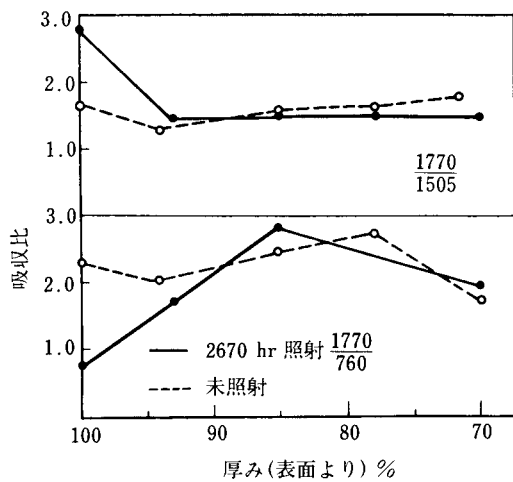
結果の中で特色ある変化は、

- (1) 試料厚みによって黄変度には著しい差が認められるが、ヘイズは殆ど差が認められない。
- (2) 分子量が十分高いにも拘わらず引張試験では脆性を示す。

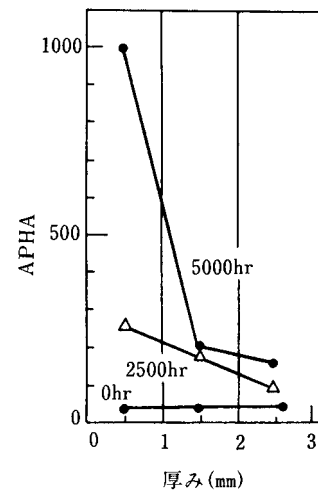
この様な変化は、その表面層に近い程大きいのが、逆に内部は表面層によって保護されている事を意味している。従って試料厚みと劣化は重要な関係を有するものと考えられる。

7・2-14(赤外スペクトルの炭酸基 $1770\text{cm}^{-1}$ の変化), 15(APHA), 16( $[\eta]$ ), 17(Mv), 18(Mv) 図は厚みの影響を示す結果である。

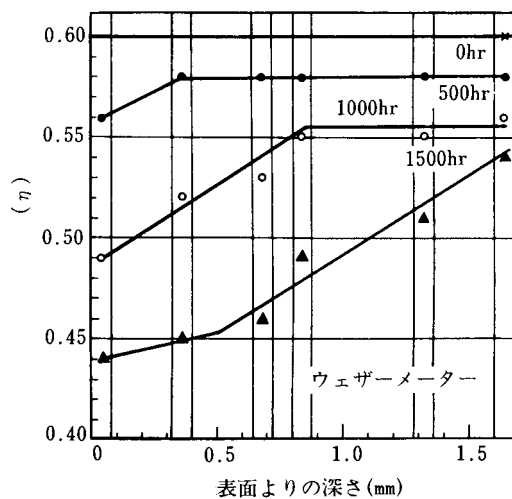
この様なユーピロン/ノバレックスの耐候性を改良する方法としては、最も一般的な方法として紫外線吸収剤及び安定剤の添加, 又は無機充填剤の添加が考えられる。



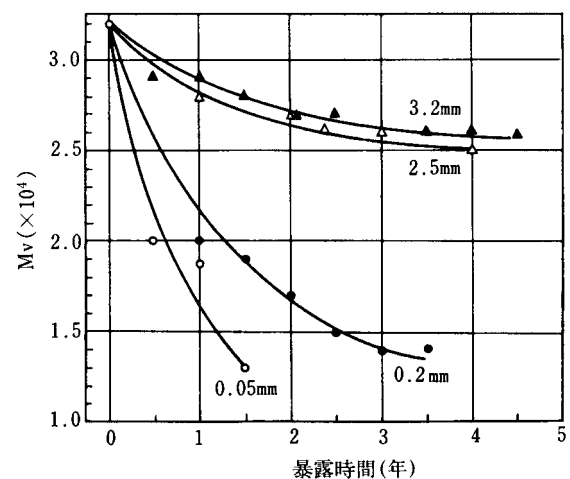
7・2-14 図 炭酸基の厚みによる変化の状態



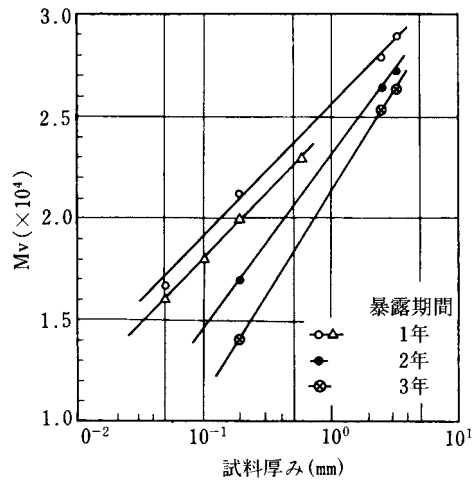
7・2-15 図 APHAの厚みによる差  
ウエザーメーターによる



7・2-16 図 分子量低下の厚みによる差

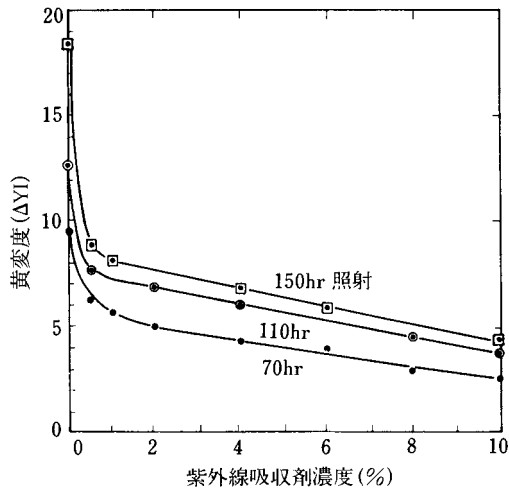


7・2-17 図 暴露劣化における分子量低下と  
試料厚みの関係

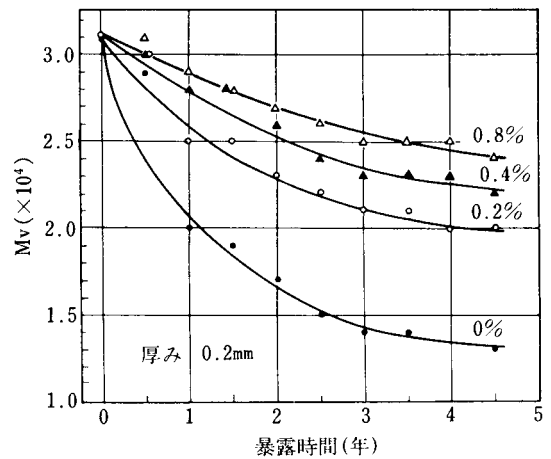


7-2-18 図 試料厚みと分子量(Mv)低下の関係

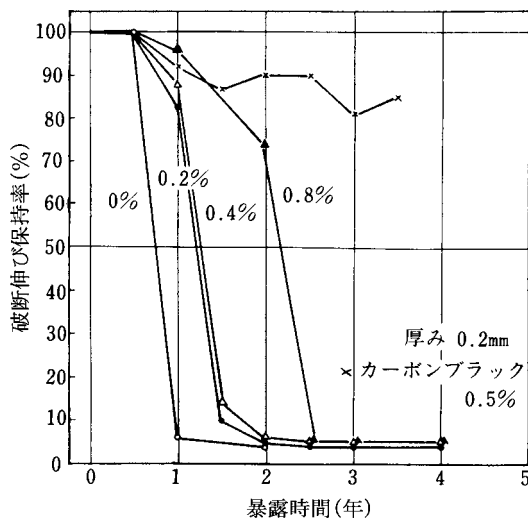
7-2-19(黄変度), 20(Mv), 21(引張破断伸び率), 22(引張強さ), 23(曲げ強さ), 24(透明度及びヘイズ), 25(APHA) 図に紫外線吸収剤の添加の効果を示した。



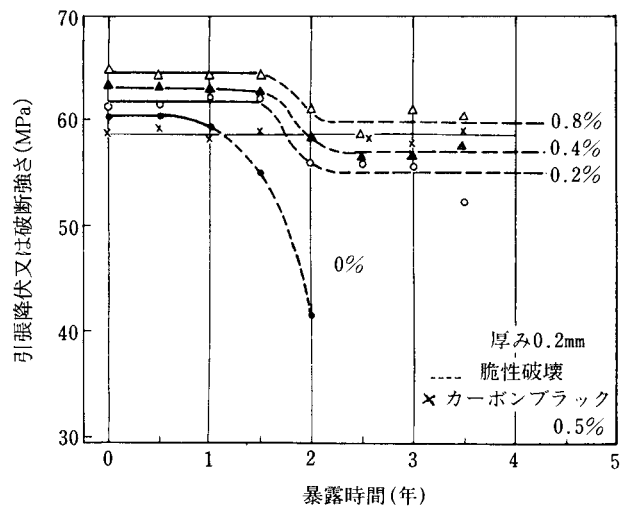
7-2-19 図 紫外線照射による黄変度と紫外線吸収剤濃度の関係



7-2-20 図 紫外線吸収剤含有量と暴露試験による分子量低下

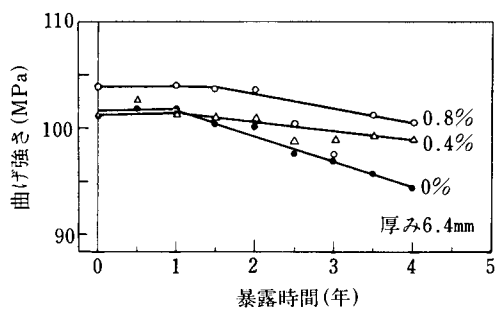


7-2-21 図 紫外線吸収剤含有量と暴露試験による破断伸び率の低下

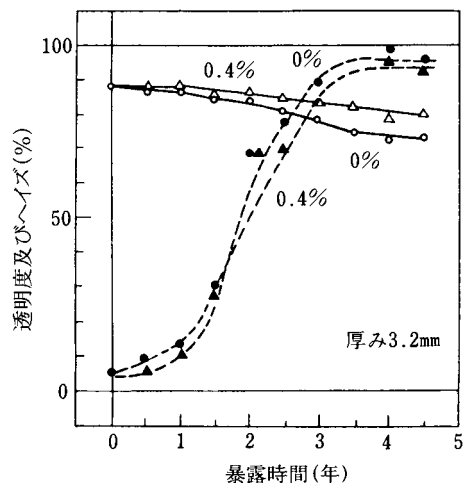


7-2-22 図 紫外線吸収剤含有量と暴露試験による引張強さの変化

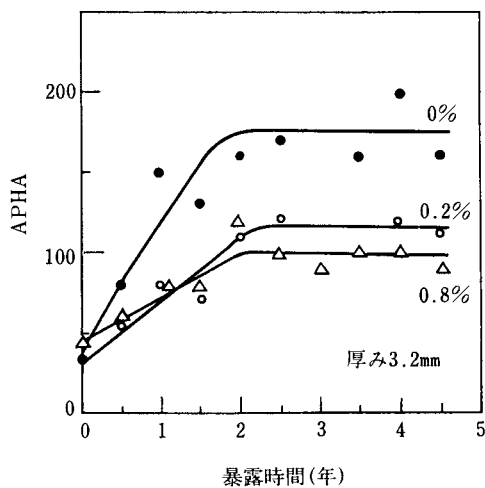




7-2-23 図 暴露試験による曲げ強さの変化



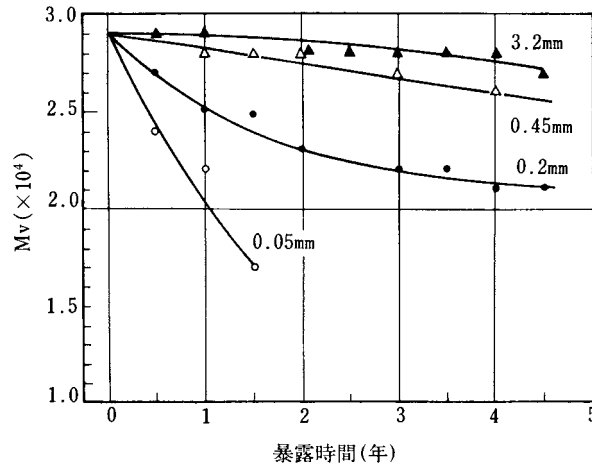
7-2-24 図 暴露による透明度、ヘイズの変化  
— 透明度 .....ヘイズ



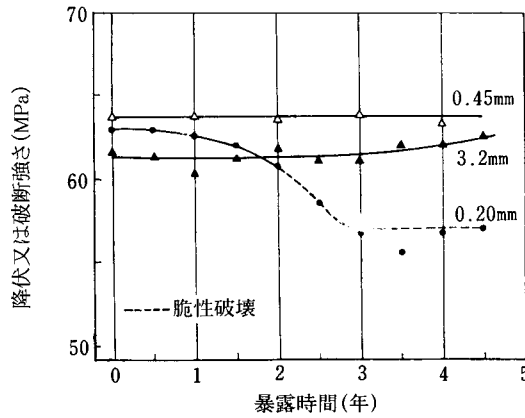
7-2-25 図 暴露による黄変性

紫外線吸収剤の添加は、各物性に対して効果を示しているが、必ずしも十分とはいえない。ポリカーボネートは前にも示した様に厚みの影響がかなりあるため、安定化された試料についても検討しておく必要がある。

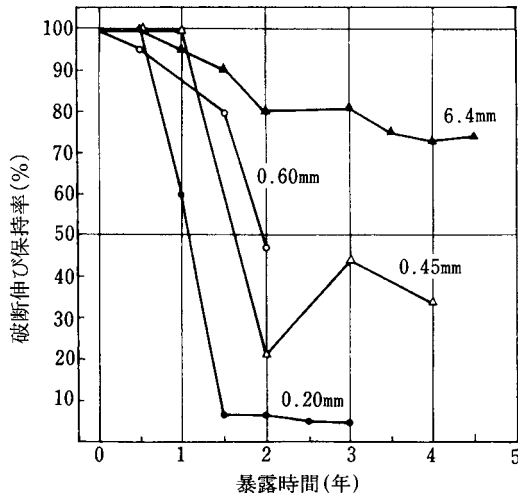
7-2-26(Mv), 27(引張性質), 28(破断伸度), 29(APHA)図に吸収剤を0.4%含む試料の耐候性に及ぼす厚みの影響を示した。厚みが0.45mmあれば分子量(Mv)の低下は少なく、又、破壊状態も延性破壊状態を保持する事が解る。



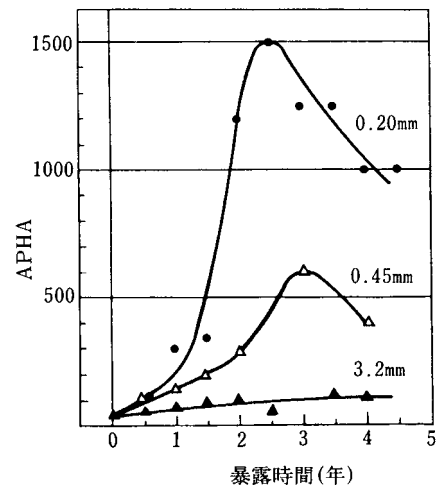
試料  $M_v=2.9 \times 10^4$   
 紫外線吸収剤0.4%含有  
 7-2-26 図 分子量 ( $M_v$ ) の低下に及ぼす試料厚みの影響



7-2-27 図 引張強さの変化と試料厚みの関係



試料 紫外線吸収剤0.4%含有  
 7-2-28 図 破断伸びの低下と試料厚みの関係



7-2-29 図 APHAの変化と試料厚みの関係

次に、無機充填剤の添加も耐候性の改良に効果がある事は知られている。その典型的な例はカーボンブラックで、ユーピロン/ノバレックスにおいても7-2-21, 22 図に示した様に紫外線吸収剤よりもはるかに有効である事が示されている。この意味から無機顔料について検討した結果を7-2-1 表に示した。又、7-2-2 表にはチタンホワイト含有試料の長期暴露試験の結果を示した。

7・2-1 表 屋外暴露試験に於ける顔料添加の影響

顔料の種類	添加量 (%)	pH	未処理	屋外暴露 1年		厚み ( $\mu\text{m}$ )
			分子量 ( $\times 10^4$ )	分子量 ( $\times 10^4$ )	$\Delta E$	
群青	0.2	9.4	2.8	2.1	5.6	50
弁柄	0.2	7.6	2.8	2.1	4.9	50
シヤニングリーン	0.2	6.5	2.8	2.1	4.3	50
カドミウムイエロー M3600	0.2	7.3	2.8	2.1	2.2	50
カドミウムイエロー M3200	0.2	7.2	2.8	2.1	1.8	50
カドミウムレッド L6600	0.2	8.2	2.8	2.2	2.6	50
カドミウムレッド M8300	0.2	8.2	2.8	2.1	2.7	50
カドミウムレッド O5700	0.2	8.1	2.8	2.6	2.9	50
シヤニンブルー LBGT	0.2	8.0	2.8	2.3	1.0	50
カーボンブラック						
ニツピール#100 (日鉄)	0.5	4.7	2.8	2.4	3.0	50
FB44 (三菱カーボン)	0.5	7.7	2.8	2.3	3.8	50
#50 ( " )	0.5	6.0	2.8	2.3	4.5	50
#600 ( " )	0.5	7.0	2.8	2.5	5.6	50
ゴム用H ( " )	0.5	7.7	2.8	2.5	2.5	50
マークII (コロンビア)	0.5	3.0	2.8	2.4	9.0	50
#999 ( " )	0.5	3.9	2.8	2.3	7.0	50
ブランク	0	—	2.8	1.8	8.2	50
チタンホワイト R820	0.7		2.8		13.6	200
" R101	0.7		2.8		14.4	200
カーボンブラック (ゴム用H)	0.5		2.8		2.0	200
" (#100)	0.5		2.8	2.6	4.4	200
ブランク	0		2.8	2.0	11.0	200

7・2-2 表 暴露試験におけるUV, TiO<sub>2</sub>の影響

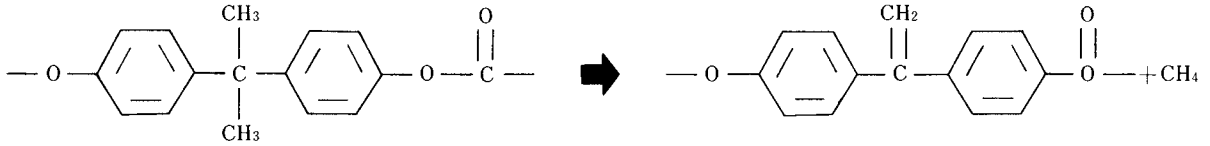
	添加物 (%)		暴露試験によるMvの変化 ( $\times 10^4$ )					落球試験による脆性破壊の発生割合 (%)				
	UV	TiO <sub>2</sub>	0年	2年	3年	4年	5年	0年	1年	2年	3年	4年
1	0	0	3.1	2.8	2.7	2.6	2.5	0	90	100	100	100
2	0.4	0	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	0	0	0	0	0
3	0	0.5	3.1	2.8	2.6	2.6	2.6	0	5	15	100	100
4	0.4	0.5	3.0	2.7	2.6	2.6	2.6	0	0	0	0	25

試料厚み2.5mm, UVは紫外線吸収剤。

落球試験は3.6kgの鋼球を3.85mの高さより内径146mmの半球体上に落とし, その破壊状態を調べる。

### 7・3 照射劣化

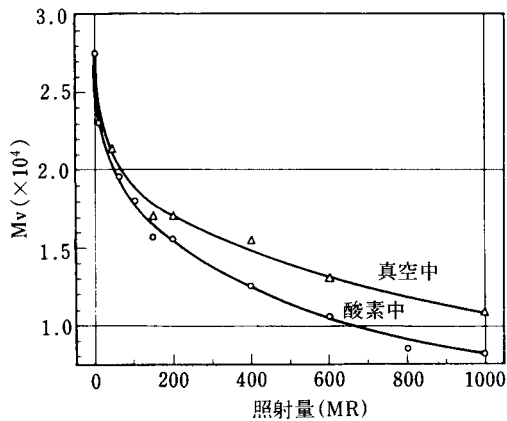
電子線, 放射線, X線等にポリカーボネートが照射されると劣化を示す。例えば $\gamma$ 線を照射する時発生するガスの分析結果を7・3-1表に示したが, ポリカーボネートの場合CO<sub>2</sub>, COの発生が大部分で若干のCH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>が認められている。この事からポリカーボネートの分解は, 主鎖の切断が大部分で, 若干次式で示される副分解が起こるものと考えられている。



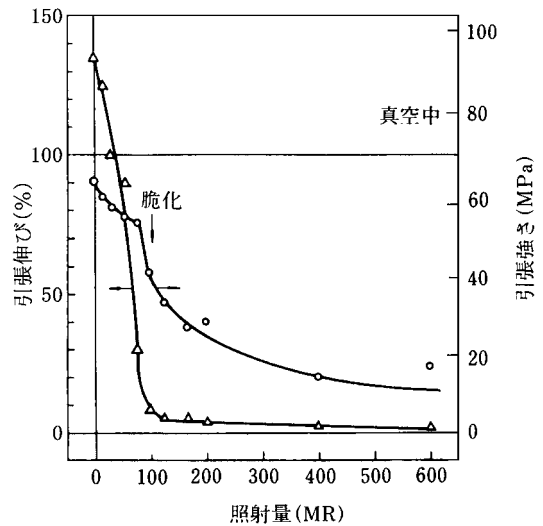
7・3-1 表  $\gamma$ 線照射によるガス発生(ガスの発生比率%)

照射量( $\gamma$ )	重量減(%)	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub>	CO/CO <sub>2</sub>
$1 \times 10^8$	0.33	79.3	15.8	4.5	0.4	0.4
$2 \times 10^8$	0.70					1.8
$3 \times 10^8$	1.54	61.6	34.4	3.2	0.8	
$10 \times 10^8$		61.2	31.0	7.0	0.8	2.0

照射による、ポリカーボネートの分解が主鎖に起こるとすれば、当然平均分子量の低下(7・3-1 図)、機械的性質の劣化(7・3-2 図)が認められる。



7・3-1 図 放射線の照射による分子量の低下



7・3-2 図 照射による引張性質の変化

照射劣化について、他の樹脂との比較は7・3-2表、7・3-3表に示した。

7・3-2表  $\gamma$ 線照射による各種樹脂の分解発生ガス ( $\mu\text{mol/g}$ )

ポ リ マ ー	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO	メタン	エタン	ブタン	ブテン	メチルクロライド	ペンテン	メタノール
ポリカーボネート	32.5	1.5	66.0							
ポリエステル1	56.3	33.5					4.6	4.0	1.6	
ポリエステル2	82.0	18.0								
ポリエチレン 高密度	3.0	92.0	5.0							
ポリエチレン 低密度	1.0	91.0	1.0		2.0	3.5	1.5			
ポリプロピレン	1.0	95.0	1.0	3.0						
66ナイロン	5.0	71.0	24.0							
11ナイロン	1.0	66.0	29.0	4.0						
塩素化ポリエーテル	8.7	85.8					1.4	3.8	0.3	
ポリアセタール	69.0	7.5		15.0						2.0

6 Mrad in vacuum

7・3-3表  $\gamma$ 線照射による分解ガス発生量の比較 ( $\mu\text{mol/g}$ )

順 位	ガス発生量 <sup>(1)</sup>	
1	1以下	ポリエステル1, ポリエステル2, ポリエチレン, ポリ塩化三フッ化エチレン
2	1~5	ポリカーボネート, 66ナイロン, ポリアミド11, 塩素化ポリエーテル
3	5~10	ポリビニリデンクロライド
4	10~15	ポリ塩化ビニル, ポリエステルコーティングのポリエチレン
5	15~20	ポリエチレン, ポリプロピレン
6	50以上	ポリアセタール

# 国際単位系(略称SI)

## 主要単位換算表

力	N	dyn	kgf		
	1 $1 \times 10^{-5}$ 9.80665	$1 \times 10^5$ 1 $9.80665 \times 10^5$	$1.01972 \times 10^{-1}$ $1.01972 \times 10^{-6}$ 1		
圧力	Pa	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg·Torr	
	1	$1.01972 \times 10^{-5}$	$9.86923 \times 10^{-6}$	$7.50062 \times 10^{-3}$	
	$9.80665 \times 10^4$	1	$9.67841 \times 10^{-1}$	$7.35559 \times 10^2$	
	$1.01325 \times 10^5$ $1.33322 \times 10^2$	1.03323 $1.35951 \times 10^{-3}$	1 $1.31579 \times 10^{-3}$	$7.60000 \times 10^2$ 1	
応力	Pa又はN/m <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>		
	1	$1.01972 \times 10^{-7}$	$1.01972 \times 10^{-5}$		
	$9.80665 \times 10^6$ $9.80665 \times 10^4$	1 $1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^2$ 1		
エネルギー・ 仕事・熱量	J	kW·h	kgf·m	kcal	
	1	$2.77778 \times 10^{-7}$	$1.01972 \times 10^{-1}$	$2.38889 \times 10^{-4}$	
	$3.600 \times 10^6$	1	$3.67098 \times 10^5$	$8.6000 \times 10^2$	
	9.80665 $4.18605 \times 10^3$	$2.72407 \times 10^{-6}$ $1.16279 \times 10^{-3}$	1 $4.26858 \times 10^2$	$2.34270 \times 10^{-3}$ 1	
仕事率・ 工率・動力	W	kgf·m/s	PS	kcal/h	
	1	$1.01972 \times 10^{-1}$	$1.35962 \times 10^{-3}$	$8.5985 \times 10^{-1}$	
	9.80665	1	$1.33333 \times 10^{-2}$	8.43371	
	$7.355 \times 10^2$ 1.16279	$7.5 \times 10$ $1.18572 \times 10^{-1}$	1 $1.58095 \times 10^{-3}$	$6.32529 \times 10^2$ 1	
粘度 (粘性係数)	Pa·s	cP	P		
	1	$1 \times 10^3$	$1 \times 10$		
	$1 \times 10^{-3}$ $1 \times 10^{-1}$	1 $1 \times 10^2$	$1 \times 10^{-2}$ 1		
動粘度 (動粘度係数)	m <sup>2</sup> /s	cSt	St		
	1	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^4$		
	$1 \times 10^{-6}$ $1 \times 10^{-4}$	1 $1 \times 10^2$	$1 \times 10^{-2}$ 1		
熱伝導率	W/(m·K)	kcal/(h·m·°C)			
	1 1.16279	$8.6000 \times 10^{-1}$ 1			
比熱	J/(kg·K)	kcal/(kg·°C) cal/(g·°C)			
	1 $4.18605 \times 10^3$	$2.38889 \times 10^{-4}$ 1			

## ご 注 意

- 本カタログに記載されているデータは、当社試験法による測定値の代表例です。
  - 本カタログに記載の用途例は、本製品の当該用途への適用結果を保証するものではありません。
  - 本カタログに記載の用途や応用にかかわる工業所有権や使用条件などについては貴社にてご検討下さい。
  - 本製品の取り扱い(輸送、保管、成形、廃棄など)に当たっては、使用される材料、グレードの技術資料や製品安全データシート「MSDS」をご参照下さい。特に、食品容器包装、医療部品、安全器具、小児用玩具等の用途へのご使用の際は、十分に安全性をご確認下さい。
  - 本製品の各グレード着色品の場合、適用法令において労働安全衛生法第57条の2、施行令18条の2、別表9名称等の通知すべき化学物質(カーボンブラック、酸化チタン、酸化亜鉛)を含有している場合があります。詳細は、お問い合わせ下さい。
  - MEP製品の中には、輸出貿易管理令規制対象製品指定品目に該当する場合がありますので、お問い合わせ下さい。MEP製品の輸出販売及びMEP製品を組み込んだ製品の輸出販売に当たりましては、外国為替及び外国貿易管理法等関係法令の遵守をお願い致します。
  - 本製品の中には、木製パレットの薫蒸処理に使用する薫蒸剤の残留により、劣化することがあります。該当製品を木製パレット上に積み込み薫蒸処理を行う、あるいは薫蒸処理を行った木製パレットに積み込むことをご控え下さい。
  - 成型時や、成形機、タクトの掃除時には、樹脂の熱分解により有害なガスやヒュームが発生する可能性がありますので、局所または全体の換気装置を設置して下さい。
  - なお、フッ素樹脂を添加した製品においては、250℃以上に加熱されると、フッ素樹脂の分解により有毒なガスが発生することがありますので、作業環境の換気を十分行うと共に、この製品を廃棄する際には焼却処理をせず、埋め立て処理して下さい。
- ※本カタログの内容は、改訂のため予告なく変更することがありますので了承下さい。