

エンジニアリングプラスチック

伊保内 賢 著
高野 菊雄

82-3866
233

エンジニアリングプラスチック

伊保内 賢 著
高野 菊雄

2/c=18/01

日刊工業新聞社

著者略歴

伊保内 賢 (いほない まさる)

大正 15 年 岩手県に生まれる

昭和 23 年 東京大学卒業、高分子化学専攻

昭和 37 年 愛知県工業指導所 (現工業技術センター) 合成樹脂科長

昭和 43 年 工学院大学助教授

昭和 46 年 工学院大学教授、現在に至る、工学博士

著 書 プラスチック入門 (工業調査会), ポリマーサイエンス (講談社), プラスチックエージエンサイクロペディア (プラスチックエージ社), 他学術論文多数

高野 菊雄 (たかの きくお)

大正 15 年 石川県に生まれる

昭和 24 年 長岡工業専門学校工業化学科卒業

〃 ダイセル化学工業(株)入社

昭和 45 年 ポリプラスチック(株)入社

テクニカルサービスセンター所長、現在に至る、技術士 (化学部門), 中小企業診断士 (工鉱業部門)

エンジニアリングプラスチック

NDC 578.46

昭和 59 年 2 月 27 日 初版 1 刷発行

(定価はカバーに表
示してあります)

◎ 著 者 伊 保 内 賢
高 野 菊 雄
発 行 者 大 久 保 健 児
発 行 所 日 刊 工 業 新 聞 社
東京都千代田区九段北一丁目 8 番 10 号
(郵便番号 102)
電話 東京 (263) 2 3 1 1 (大代表)
振替口座 東京 9-186076

印刷所 新日本印刷株式会社
製本所 中央精版印刷株式会社

落丁・乱丁本はお取替いたします

ISBN4-526-01627-6

は し が き

プラスチックは成形条件によって性質が変化し、成形が重要であることは周知のことであるが、最近、成形機の自動化や金型設計の進歩によって、いろいろなプラスチックを最適条件で成形できるようになった。しかし、工業部品などに用いられるエンジニアリングプラスチックは成形も難しく、多くの経験が必要である。このノウハウはなかなか伝えられず、たとえ自動化をしたとしても、その基礎データが不足しては十分な機能を持つ成形品は得られない。

このため多くの人が同じようなトライ・アンド・エラーを繰り返してきた。

この本は、この成形が難しいエンジニアリングプラスチックをどうすれば所定の性能を持つプラスチック成形品にすることができるかということ、できるだけわかりやすく述べたものである。したがって数式などはできるだけ少なくした。

この本の中心は成形とそれに伴う性質であり、エンジニアリングプラスチックをどのように取り扱ったらよいかが明確になろう。

そうであっても、紙面に限りがあるため、すべてを書くことはできなかったが、重要なことは、実際的な取扱いを中心に述べたつもりである。この書を有効に利用して、精度、性能の優れた成形品を製造してほしい。

エンジニアリングプラスチックは生産量はプラスチック全体のわずかな部分を占めているが、付加価値が高く、今後も大きく伸びる材料である。それだけに精密成形が必要となる。最近特にエンジニアリングプラスチックが各方面に利用されるようになり、その重要性が見直されている。このとき、このような書が出版されることは意義が大きいと考えられる。この書はいわゆる汎用のエンジニアリングプラスチック、更に熱可塑性樹脂に限ったが、それはこれらが今後もしばらくはエンジニアリングプラスチックの中心であり、これにガラス

繊維、炭素繊維などの強化材を加えたものが多く用いられると考えられるからである。

最後に新しいプラスチックを記したが、まだ使用量も少なく、データも少ないため重要性が今後増せば注目され、取り上げるようになると思う。しか当分は、強化材、ブレンドで各種汎用エンジニアリングプラスチックの性質の谷間を埋めることになるであろう。しかしここではその方向を示すにとどめた。

エンジニアリングプラスチックの性質は成形と関連するが、この項はユーザーにとっても重要な問題であり、プラスチックを利用する技術者、またこれからエンジニアリングプラスチックを用いようとする方々のためにも参考になるよう記述したつもりである。大いに活用していただきたい。

この種の書がほとんどないか、またはあっても利用しにくいことを考慮して非学もかえりみずこの書を出版した。図、表も多く理解しやすいように配慮した。終りに、この書の出版にご苦勞された日刊工業新聞社出版局、特に三橋氏に深く感謝する。

昭和 59 年 1 月

著 者

目 次

は し が き

1. 総 論

1.1 エンジニアリングプラスチックとは.....	1
1.2 エンジニアリングプラスチックの種類	2
1.3 エンジニアリングプラスチックの性質	3
1.3.1 耐熱性.....	3
1.3.2 強 さ.....	5
1.3.3 熱的性質.....	5
1.3.4 耐薬品性.....	7
1.3.5 その他の性質.....	7

2. 成 形

2.1 ポリアセタール.....	9
2.1.1 成形加工特性.....	9
(1) 流動性.....	9
(2) 収縮特性.....	14
(3) 熱安定性.....	23
2.1.2 成形条件.....	25
(1) 予備乾燥.....	25
(2) 樹脂温度.....	26
(3) 射出圧力.....	27
(4) 射出速度.....	28
(5) 金型温度.....	28
(6) 成形サイクル.....	28

2・2 ポリアミド (ナイロン)	30
2・2・1 成形加工特性	30
(1) 流動性	30
(2) 収縮特性	32
(3) 熱安定性	37
2・2・2 成形条件	38
(1) 予備乾燥	38
(2) 樹脂温度	41
(3) 金型温度	41
(4) 射出圧力	42
(5) 射出速度	42
(6) 成形サイクル	42
2・3 ポリブチレンテレフタレート (PBT)	43
2・3・1 成形加工特性	43
(1) 流動性	43
(2) 収縮特性	46
(3) 熱安定性	50
2・3・2 成形条件	52
(1) 予備乾燥	52
(2) 樹脂温度	54
(3) 金型温度	54
(4) 射出速度	55
(5) 成形サイクル	56
2・4 ポリカーボネート	56
2・4・1 成形加工特性	56
(1) 流動性	56
(2) 収縮特性	59
(3) 熱安定性	59
2・4・2 成形条件	61
(1) 予備乾燥	61
(2) 樹脂温度	63
(3) 金型温度	63
(4) 射出圧力	63
(5) 射出速度	64

2.5 変性 PPO (変性ポリフェニレンオキシド)	64
2.5.1 成形加工特性	64
(1) 流動性	64
(2) 収縮特性	67
(3) 熱安定性	68
2.5.2 成形条件	68
(1) 予備乾燥	68
(2) 樹脂温度	70
(3) 金型温度	70
(4) 射出速度	70
(5) 射出圧力	71
2.6 特殊エンジニアリングプラスチック	71
2.6.1 ポリフェニレンスルフィド (PPS)	71
(1) 流動性	71
(2) 収縮率	71
(3) 熱安定性	72
(4) 成形条件	72
2.6.2 ポリスルホン	73
(1) 流動性	73
(2) 収縮率	74
(3) 熱安定性	74
(4) 成形条件	74
(5) アニーリング	75
2.6.3 ポリエチレンテレフタレート	75
(1) 流動性	75
(2) 収縮率	76
(3) 成形条件	77
2.6.4 ポリエーテルスルホン	77
(1) 流動性	77
(2) 収縮率	78
(3) 熱安定性	78
(4) 成形条件	78
2.6.5 ポリエーテルエーテルケトン (PEEK)	78
2.6.6 ポリアリレート	79
(1) 流動性	79

(2) 収縮率	79
(3) 成形条件	80
2・6・7 メチルペンテンポリマー (TPX)	80
(1) 流動性	80
(2) 収縮率	80
(3) 成形条件	81
2・6・8 フッ素樹脂	81
(1) 流動性	82
(2) 収縮率	82
(3) 熱安定性	83
2・6・9 ポリアミドイミド (PAI)	83
2・7 成形品品質	83
2・7・1 寸法精度	84
(1) 一般的な寸法公差	84
(2) 平均値のずれ	85
(3) 寸法のばらつき	85
(4) キャビティ数と寸法ばらつき	87
(5) 変 形	88
2・7・2 成形品強度	90
(1) 形状的な問題	90
(2) 成形的な問題	91
(3) 破面解析による破壊原因の推定	92
3. 性 質	
3・1 汎用エンジニアリングプラスチックの長所・短所	98
3・2 汎用エンジニアリングプラスチックの機械的性質	98
3・2・1 短期的性質	98
(1) 引張特性, 曲げ特性	98
(2) 衝撃特性	107
3・2・2 長期的性質	111
(1) クリープ変形	111
(2) クリープ破壊	117

3-2-3 疲れ特性	120
3-3 汎用エンジニアリングプラスチックの熱的性質	122
3-3-1 熱変形温度	123
3-3-2 劣化特性	124
(1) Arrhenius Plot 法による寿命推定	124
(2) ヒートエージング特性	124
(3) 耐熱水性	127
3-4 汎用エンジニアリングプラスチックの化学的性質	129
(1) 化学薬品に溶解または膨潤	129
(2) ソルベントクラック, クリープ破壊に対する薬品の影響	129
3-5 汎用エンジニアリングプラスチックの耐候性	133
3-6 汎用エンジニアリングプラスチックの電氣的性質	136
3-6-1 絶縁破壊強さ	137
(1) 短期的性質	137
(2) 長期的性質	138
3-6-2 絶縁抵抗	139
3-7 汎用エンジニアリングプラスチックの摩擦摩耗特性	140
3-7-1 ざらつき摩耗	141
3-7-2 すべり摩擦	141
(1) 限界 pV 値	142
(2) 摩擦係数	144
(3) 摩耗量	145
3-8 特殊エンジニアリングプラスチックの性質	145
3-8-1 ポリスルホン	145
3-8-2 ポリエーテルスルホン	147
3-8-3 ポリフェニレンスルフィド	150
3-8-4 ポリアリレート	151
3-8-5 TPX	154
3-8-6 フッ素樹脂	156
3-8-7 強化 PET	157

4. 改 質

4.1 複 合	161
4.1.1 力学的複合	161
(1) 複合による問題点	162
(2) 複合による物性の変化	165
4.1.2 機能複合	169
(1) 潤滑性	169
(2) 電気的性質	169
4.2 ポリマーブレンド	171
4.2.1 PBT/PET	171
4.2.2 PBT/ポリカーボネート	172
4.2.3 ポリカーボネート/メタクリル樹脂	172
4.2.4 ポリカーボネート/ABS	172
4.2.5 超高衝撃ポリアミド	173
4.2.6 その他のポリマーブレンド品	173
4.3 安定剤, 添加剤による改質	174
4.3.1 熱安定性	174
4.3.2 耐候性	175
4.3.3 難燃化	175
4.3.4 帯電防止性	175
4.3.5 離型性	175
4.3.6 結晶化促進のための核剤	176
4.3.7 可塑剤	176
4.4 新規ポリマー	176
4.4.1 ポリイミド系	176
4.4.2 自己強化プラスチック	179
4.4.3 ポリエステルカーボネート	179
4.4.4 芳香族ポリアミド	180
索 引	巻末

1 総 論

1.1 エンジニアリングプラスチックとは

エンジニアリングプラスチック (Engineering Plastics) という言葉は Du Pont 社がポリアセタールを上市したときに初めて使われ、工業用プラスチックの意で、現在では短くエンブラなどというようになった。エンジニアリングプラスチックは、エンジニアリング熱可塑性樹脂という意味で現在まで使われていたようである。

これはポリアセタール、ポリアミド (ナイロン)、ポリカーボネート、変性ポリフェニレンオキシド、ポリエステルなどをまとめて指す言葉だったからである。しかし工業用といえ、熱硬化性プラスチックも入るべきであった。ここでは、エンジニアリング熱可塑性樹脂 (Engineering Thermoplastics) に限りその成形・性質について詳しく述べる。

エンジニアリングプラスチックは金属などの代替材料として、軽量化、断熱、絶縁、成形の簡易化による省エネルギー、省力性などが期待され、機械、電気、自動車などに用いられ、生産量が高い伸びを示している。

したがって、耐熱性、剛性を上げるためにガラス繊維などの強化材を入れて使用することが多い。またプラスチックそのものの改質も行われ、より優れた性質のエンジニアリングプラスチックが登場しようとしている。しかし現在では価格の点と性質から、ポリアミド、ポリカーボネート、ポリアセタール、ポリエステル、変性ポリフェニレンオキシド、フッ素樹脂などが多く用いられている。

改質技術としては共重合、ブレンド、複合などがあるが、ここでいう改質はプラスチックそのものの改質とし、化学構造の改善と、ブレンドを中心とした。

1.2 エンジニアリングプラスチックの種類

エンジニアリングプラスチックの主なものの種類と構造を表1.1に示す。そのおおよその強さと性能コスト（強さを価格で除したもの）を表1.2に示す。金属と比べて差が認められるが、これは素材の価格で、加工費を考えるとほぼ同一か安価になり、また重量が小さいこと、電気絶縁性のあることなど各種の機能を考えると、特徴を生かした用途には価格的にも十分対抗できる。

エンジニアリングプラスチックで価格の低いものは生産量も多く、グレードも多い。しかしガラス繊維を強化して用いることが多くなった。これはエンジニアリングプラスチックが強さと耐熱性が求められていることを示すものであ

表 1.1 エンジニアリングプラスチックの種類

種 類	記 号	構 造
ポリアセタール(ポリオキシメチレン)	POM	$\text{-(CH}_2\text{-O)}_n\text{-}$
ポリアミド6(ナイロン6)	PA-6-6	$\text{-(CH}_2\text{)}_5\text{-CO-NH)}_n\text{-}$
ポリアミド6-6(ナイロン6-6)	PA-6	$\text{-(OC-(CH}_2\text{)}_4\text{CO-NH-(CH}_2\text{)}_6\text{NH)}_n\text{-}$
ポリカーボネート	PC	$\text{-(O-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{C(CH}_3\text{)}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{O-CO)}_n\text{-}$
ポリブチレンテレフタレート	PBTP	$\text{-(OC-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{CO-O-(CH}_2\text{)}_4\text{O)}_n\text{-}$
ポリエチレンテレフタレート	PETP	$\text{-(OC-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{CO-O-(CH}_2\text{)}_2\text{O)}_n\text{-}$
ポリアリレート(Uポリマー®)	PAR	$\text{-(OC-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{CO-O-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{C(CH}_3\text{)}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{O)}_n\text{-}$
ポリフェニレンオキシド(変性樹脂ノリル®)(ポリフェニレンエーテル)	PPO	$\text{-(}\langle\text{C}_6\text{H}_2\text{(CH}_3\text{)}_2\text{O)}_n\text{-}$
ポリスルホン	PSF	$\text{-(}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{-SO}_2\text{-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{-O-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{C(CH}_3\text{)}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{O)}_n\text{-}$
ポリエーテルスルホン	PESF	$\text{-(}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{-O-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{-SO}_2\text{)}_n\text{-}$
ポリフェニレンスルフィド	PPS	$\text{-(}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{-S)}_n\text{-}$
ポリアミドイミド	PAI	$\text{-(NH-OC-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{CO-N-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{-O-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{)}_n\text{-}$
ポリイミド	AI	$\text{-(N-}\langle\text{OC-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{CO-N-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{-O-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{)}_n\text{-}$
ポリオキシベンジレン	POB	$\text{-(O-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{-CO)}_n\text{-}$
ポリエーテルエーテルケトン	PEEK	$\text{-(O-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{-O-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{-CO-}\langle\text{C}_6\text{H}_4\text{)}_n\text{-}$

表 1-2 エンジニアリングプラスチックの性質と性能コスト（価格は 1981 年のもの）

種 類	密 度 (d)(g/ml)		引張強さ (TS)(kg/mm ²)		引張りモジュラス (10^3 kg/mm ²)		価 格 (P)(¥/kg)		$d \times P/TS$ (¥ mm ² /kg·l)	
	非充 てん	ガラ ス強 化	非充 てん	ガラ ス強 化	非充 てん	ガラ ス強 化	非充 てん	ガラ ス強 化	非充 てん	ガラ ス強 化
ポリアセタール	1.42	1.69	6.1	12.8	3.3	8.8	830	930	193	122
ナイロン 6	1.14	1.50	8.0	20.0	2.8	13.0	810	960	115	72
ナイロン 6-6	1.14	1.47	8.4	21.0	3.1	14.0	930	1030	128	72
ポリカーボネート	1.20	1.52	6.3	14.0	2.5	11.0	1000	1100	190	119
ポリエステル	1.31	1.63	6.6	14.5	2.1	11.2	700	800	140	90
ポリフェニレンオキシド (ノリル®)	1.06	1.27	6.7	12.0	2.5	8.4	860	1000	136	106
ポリスルホン	1.24	1.38	7.1	13.3	2.5	10.5	2500	2900	437	300
ポリアリレート	1.21	1.44	8.0	13.8	2.0	6.0	1500	1650	227	172
ポリプロピレン	0.9	1.22	3.5	7.3	1.0	8.0	290	400	75	67
ABS 樹脂	1.04	1.36	5.5	7.0	2.5	6.0	450	550	85	107
鋼	7.85		42		196		80		15	
ステンレス鋼	7.93		60		200		450		59	
アルミニウム合金	2.70		30		70		800		72	
銅	8.96		24		120		680		253	

る。しかし種々の性質は構造と関連しており、このほか結晶性が強さと関係する。

1.3 エンジニアリングプラスチックの性質

プラスチックの性質には多くのものがあり、その測定法も多くが JIS に規定されているが、エンジニアリングプラスチックは引張強さなど強さはほぼ同等であるが、それぞれ特徴を持っており、それで使い分けられている。

1.3.1 耐 熱 性

エンジニアリングプラスチックの耐熱性は 100°C 以上を有しているが、汎用のエンジニアリングプラスチックの融点と熱変形温度を表 1-3¹⁾ に、長期の耐熱性を表 1-4¹⁾ に示す。表 1-4 は 4 万時間で性能が 1/2 に低下する温度である。

1 総 論

表 1-3 エンジニアリングプラスチックの融点と熱変形温度¹⁾

	融点 (°C)	熱変形温度 (°C)		
		非 充 て ん		ガラス強化
		264 psi	66 psi	264 psi
ポリエチレンテレフタレート	265	80	180	240
ポリブチレンテレフタレート	225	60	160	210
ナイロン 6	230	70	150	200
ナイロン 6-6	265	80	180	240
ポリカーボネート	—	140	150	150
ポリアセタール	180	120	170	160
変性 PPO	—	120	140	150

表 1-4 エンジニアリングプラスチックの UL 温度指数²⁾ (°C)
(4 万時間で強さが 50% になる温度)

	引張強さ	衝撃強さ	絶縁性能
ポリブチレンテレフタレート	140	130	130
ポリエチレンテレフタレート	140	130	130
ナイロン 6	105	105	105
ナイロン 6-6	110	105	130
ポリカーボネート	130	120	125
ポリアセタール	90	85	105
変性 PPO	110	105	110

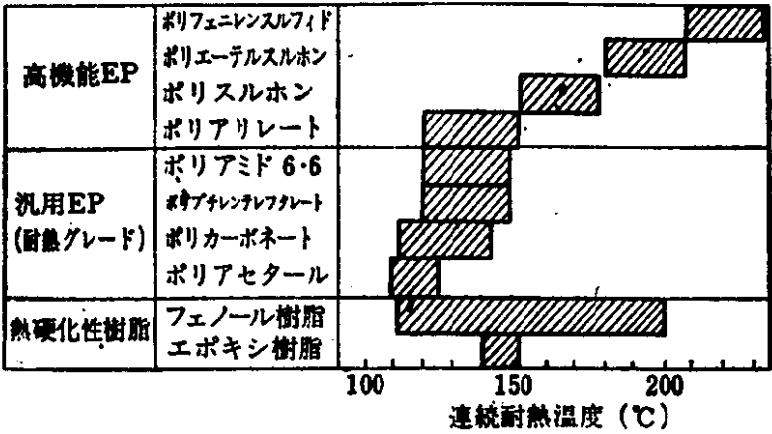


図 1-1 各種プラスチックの連続使用下での耐熱温度²⁾
(UL 温度インデックスおよび使用実績に基づく)

図 1-1²⁾ は一般的性質の耐熱温度である。この表 1-4, 図 1-1 の UL 温度インデックスは長期の耐熱性であり、熱変形温度 (表 1-3) は短時間の耐熱性といえる。

1.3.2 強 さ

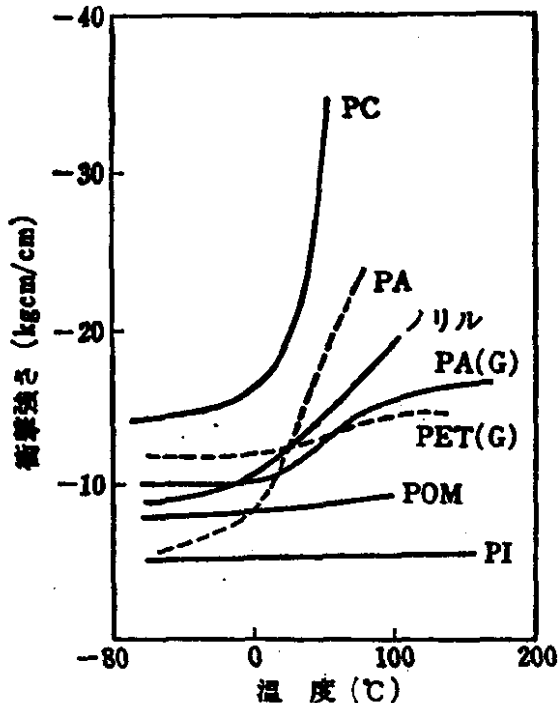
表 1.2 に示すように、引張強さ、引張りモジュラスはほぼ同等である。ガラス繊維で強化すると若干の差が出る。これら引張強さのほか強さには応力緩和、伸びを含む衝撃強さなどがある。応力緩和は表 1.5³⁾ に示すように PAI が最もよい。

表 1.5 引 張 応 力 緩 和³⁾

樹 脂 (ガラス%)	応力減少量 (%)					
	23℃			150℃		
	1 hr	5 hr	15 hr	1 hr	5 hr	15 hr
PAI (0)	0.5	1	2	3	4	8
PA 6.6 (50)	2	5	8	17	22	24
PPS (40)	2	5	9	28	28	28
PSF (40)	5	9	14	—	—	—
PESF (40)	7	12	16	52	63	70
PI (30)	7	14	19	38	40	43
PETP (40)	9	20	28	54	58	74

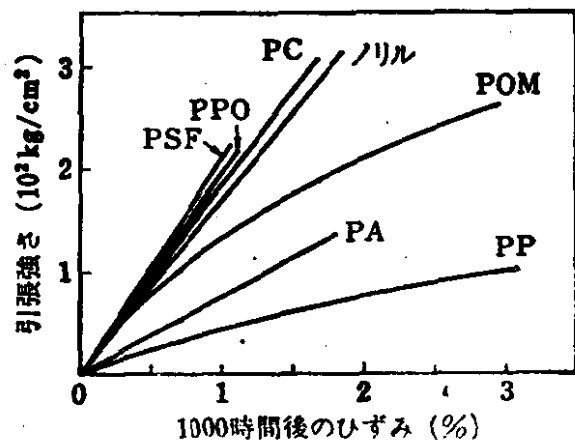
(注) 初期引張強さ: 175 kg/cm²

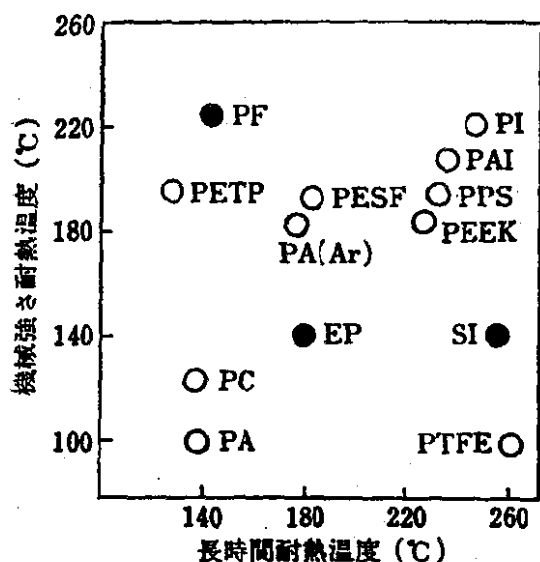
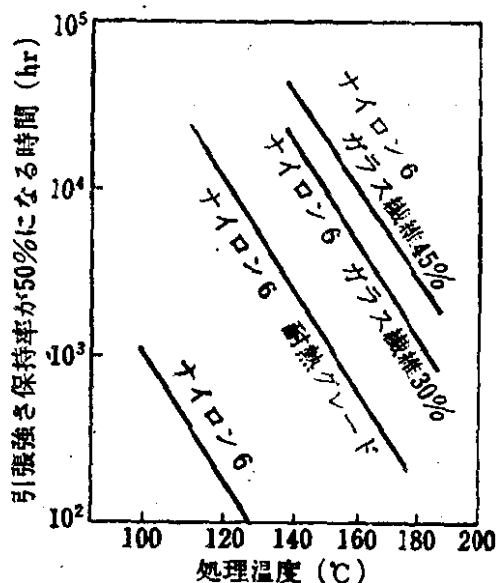
衝撃強さは図 1.2⁴⁾ に示すように温度によっても変化するが、常温 (23℃) でもかなりの差がある。図 1.3⁵⁾ はクリープであるが、PSF がクリープは小さい。

図 1.2 衝撃強さ(アイゾット)の温度依存性⁴⁾

1.3.3 熱的性質

プラスチックは高温になると常温時と

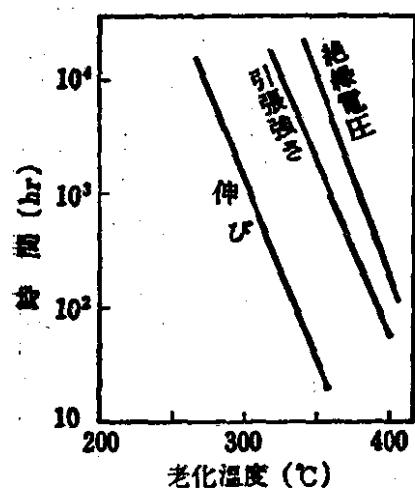
図 1.3 1000 時間後の応力とひずみ (クリープ) (23℃)⁵⁾

図 1-4 長時間、短時間耐熱温度⁶⁾

①: ナイロン6 ②: ナイロン6 耐熱グレード ③: ナイロン6 ガラス繊維30% ④: ナイロン6 ガラス繊維45%
図 1-5 ガラス繊維強化ナイロンの耐熱性⁷⁾

性質が変化することが多く、比較的耐熱性に優れているエンジニアリングプラスチックでも、前述のように性質が変化する。これは強さだけでなく、例えば電気的性質（耐電圧、表面抵抗、誘電率など）、表面の性質、耐薬品性も変化する。このほか熱による変化として、熱によって分子が切断されたり、分子構造

が変化し（脱酸、脱水、脱水素など）、架橋などが起こって、そり、収縮、軟化、硬化が起こる。これは熱老化（heat aging）と呼ばれ、長期に加熱される場合に十分考慮する必要がある。

図 1-6 ポリイミドの各種特性の半減時間⁸⁾

これを表 1-4、図 1-1 および図 1-4⁶⁾ に示したが、図 1-5⁷⁾ にはポリアミドの熱老化曲線を示した。また図 1-6 はポリイミドの種々の性質の老化曲線を示す⁸⁾。同じ種類でも性質によって、老化性が異なる。図 1-7 は電気抵抗の温度変化である⁹⁾