
§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 先端複合材料 (ACM) の種類

先端複合材料の概要については(17)節で述べた。プラスチック材料ばかりでなくアルミニウムや炭素鋼^[1]などの金属や、セラミックスに炭素繊維、アラミド繊維、ボロン繊維を配合するものである。プラスチック系の ACM である炭素繊維複合材料 CFRP については、すでに記したので、ここではアラミド繊維複合材料、ボロン繊維複合材料について少し細かい補足をしておく。

ただし、このマニュアルの主な対象にしている射出成形以外の成形法による場合があったり、熱可塑性プラスチックを超えて熱硬化性プラスチックとの複合材料に活用されていることが多い。また、先に述べたように、高価なため、軍用、宇宙用が主で、民生用としては高級スポーツ用品、レジャー用品に用いられている。最近では、アラミド繊維とポリアミド 46 との複合材料^[1]も開発されている。

2. アラミド繊維とその複合材料

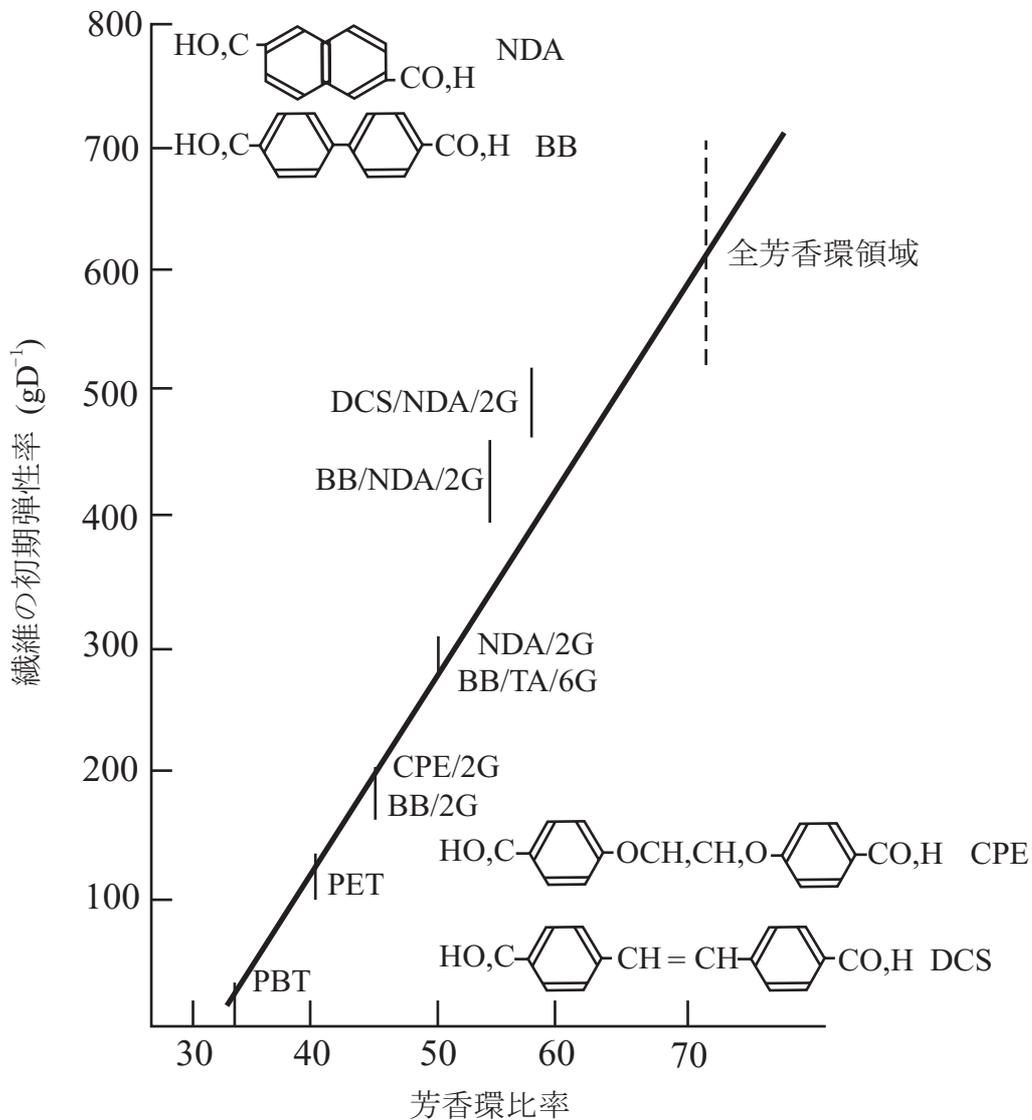
1970 年代のはじめに、DuPont 社が上市したポリ(p-フェニレンテレフタルアミド)(PPTA) 繊維 (Kevlar®) が、在来の剛直性高分子繊維から初めて脱却した高強度高弾性繊維である。このような全芳香族ポリアミドをアラミドと呼ぶ。^[2]

全芳香族ポリエステル系では図 27.1^[2]のように芳香環の比率を高めると高強度高弾性化し、融点も上がり、不溶不融となってしまう。この種の材料の実用化の歴史は融点を下げることにあった。Celanese 社は p-ヒドロキシ安息香酸 (HBA) と 2-オキシ-6-ナフトエ酸 (HNA) の共重合系を生み出した。クラレは Vectran®を、Carborundum 社は HBA、ビスフェノール、テレフタル酸の 3 元系ポリエステルを開発し、住友化学がエコノール®繊維を開発した。また PPTA には沿っているが、第 3 成分として 3,4-ジアミノジフェニールエーテルを共重合して帝人は液晶系ではない高強度・高弾性係数繊維を作った。因みにいくつかの代表的アラミド繊維を表 27.1^[2]に示す。繊維として扱っているので力学量は gD^{-1} 単位になっている。

これらの繊維材料のうち、高強度・高弾性係数の他に耐熱性が要求されることが多いため屈曲性高分子鎖系より、剛直性分子系の方が良いというが、すでに Kevlar はスポーツ用品、宇宙・航空分野で用いられている。全般的に見て、全芳香族ポリエステル系よりアラミド系の方が優位を保っていると思われる。

3. ボロン繊維とその複合材料

実際にボロン繊維といわれるものはタングステン線や炭素繊維を芯材としてホウ素を被覆した複合形繊維である。通電が熱により 1100~1300 となった芯材表面にホウ酸を析出させる CVD (Chemical Vapor Deposit) 法による。ホウ素のみからなる繊維は製造が困難で実現できていない。ボロン繊維の物性値を表 27.2^[3]に示す。エポキシ樹脂との複合材料の力学的物性値を表 27.3^[3]に示す。宇宙航空用材料としては高く評価されているが、高価なため、民生用としてはテニスラケット、釣竿などスポーツ、レジャー用の域をまだ越えてないようである。



PBT: ポリブチレンテレフタレート、PET : ポリエチレンテレフタレート
 TA : テレフタル酸、2G : エチレングリコール、
 6G : ヘキサメチレングリコール

図27.1 ポリエステル繊維の芳香環比率の引張弾性に及ぼす影響^[2]

T.Chung, Polym.Eng.Sci.,26(13)(1986)

(27) アラミド繊維複合材料、ボロン繊維複合材料

表27.1 アラミド繊維 [2]

繊維名	会社名	商品名	化学式	強度 [gD ⁻¹]	伸度 [%]	弾性率 [gD ⁻¹]	融点 [°C]	密度 [g cm ⁻³]
(リオトロピック系)								
PPTA* ¹	Du Pont	Kevlar 29	$\left[\text{NH} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{NHCO} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{CO} \right]$	22	4	500	500* ⁴	1.44
"	"	Kevlar 49	同上 (熱処理)	23	3	1000	500* ⁴	1.45
" (共重合)	帝人	Technora	$\left[\text{NH} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{O} \text{---} \text{C}_6\text{H}_3 \text{---} \text{NHCO} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \right]_{50} \left[\text{PPTA} \right]_{50}$	25	4.5	570	470* ⁴	1.39
PBT* ²	米空軍		$\left[\text{N} \text{---} \text{C}_6\text{H}_3 \text{---} \text{S} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{N} \right]$	30	1.4	2700	550* ⁴	1.5
PBA* ³	Du Pont	PRD-49-1	$\left[\text{NH} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{CO} \right]$	20	2	1000	—	—
(サーモトロピック系)								
ポリアリレート	住友化学	エコノール	$\left[\text{O} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{CO} \right]_x \left[\text{CO} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{C} \right]_y \left[\text{O} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{O} \right]_z$	30.8	2.7	1080	約400	1.40
	クラレ	Vectran	$\left[\text{CO} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{O} \right]_x \left[\text{CO} \text{---} \text{C}_6\text{H}_3 \text{---} \text{O} \right]_y$	23.1	3.7	560	320	1.40
ポリアゾメチン	Du Pont	—	$\left[\text{N} \text{---} \text{C}_6\text{H}_3(\text{CH}_3) \text{---} \text{N} = \text{CH} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{CH} \right]$	44	4.8	1118	255	—
ポリイミド	—	—	$\left[\text{N} \text{---} \text{C}_6\text{H}_3(\text{Cl})_2 \text{---} \text{N} \right]_{35} \left[\text{O} \text{---} \text{C}_6\text{H}_2(\text{O})_2 \text{---} \text{O} \right]_{50} \left[\text{N} \text{---} \text{C}_6\text{H}_3(\text{Cl})_2 \text{---} \text{N} \right]_{15}$	26.1	2.0	1400	—	—

*1 ポリ (*p*-フェニレンテルタルアミド)、*2 ポリ (*p*-フェニレンビスベンゾチアゾール)、*3 ポリ (*p*-ベンズアミド)、*4 分解
 神田 扱馬、第3回次世代産業基盤技術シンポジウム予稿集、p174(1985)；島田 恵造、米良博、繊維学会誌、37(3)、p129(1981)；
 植田 啓三、金丸 龍実、高性能化繊維・フィルムの最先端後援会要旨集、p18(1987)などより

表27.2 ポロン繊維の特性^[3]

特性	B-W	B-C	B ₄ C被覆B-W
直径[μm]	100 140 200	100	145
密度[gcm^{-3}]	2.57 2.49 2.46	2.22	2.27
引張強度 [kg mm^{-2}]	357 357 357	328	400
引張弾性率 [t mm^{-2}]	41 41 41	36	37

AVCO社カタログによる

表27.3 ポロン繊維 - 方向強化エポキシ樹脂複合材の特性^[3]

特性	AVCO 5521/4			AVCO 5505/4		
	室温	82	121	室温	132	190
引張り強度 kgmm^{-2}	154	151	147	154	151	140
引張弾性率 [t mm^{-2}]	22	22	22	22	22	22
圧縮強度 [kg mm^{-2}]	330	193	127	330	193	127
層間剪断強度 [kgmm^{-2}]	10.5	8	6	10.5	6.3	4.5
曲げ強度 [kgmm^{-2}]	193	180	175	193	186	154
曲げ弾性率 [t mm^{-2}]	20	18	17.5	20	18	17
製造条件	AVCO 5521/4			AVCO 5505/4		
繊維含有率 [%]	33 \pm 2			33 \pm 2		
揮発分 [%]	1			1.5		
幅交差 [cm]	0.05			0.05		
フィラメント数 [cm^{-1}]	528 ~ 533			528 ~ 533		
プリプレグ硬化 []	121 ~ 177			121 ~ 177		
成形圧力 [kgcm^{-2}]	3.5 ~ 6.0			3.5 ~ 6.0		
成形時間 [min]	60			90		

AVCO社カタログによる

4.注意事項

- (1) 炭素繊維、アラミド繊維の熱膨張係数は負なので、プラスチック材料との配合比を適当に選べば熱膨張係数が0の材料が作れる。宇宙空間アンテナ、工作機械、測定機器に有効な材料ができる。
- (2) この節で述べた複合材料は民生用実用例、使用量とも多くはないが、成形部品設計者としては、その長所を念頭におき、製造価格を検討して材料メーカーとともに、実用化を覗える一つの着眼点であると考え。

出典

- [1] 大野禎史、川瀬領治、三田村賢治、河西和雄：ポリアミド4-6 樹脂<Stanyl>の特性と応用展開、プラスチックスエージ(1998-2)、pp140-145
- [2] 高分子学会編：高分子新素材便覧、pp585-586、丸善(株)(1989)
- [3] [2]のpp463-464

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. ポリアミド 4・6

エンジニアリングプラスチックはすでにまとめて述べたが、材料の開発という観点から、ポリアミド 4・6 を取り上げる。ABS 樹脂でポリマーアロイが始まったように、エンブラはポリアミドに始まるといえる。

ポリアミドは主鎖にアミド結合(-CONH)が繰り返しあらわれる線状高分子である。Carotlcrs が 1938 年にナイロン®6・6 繊維を作り、1939 年に東レが溶融紡糸を作り、1961 年に、Polypenco 社が大形成品を作っている。^[1]

現在屢々使われるポリアミドは表 28.1^[2]の通りで名称内の番号もよく理解できよう。ポリアミド 4・6 の特徴は表 28.2^[2]のように要約でき、ポリアミドの代表的な物理的性質は表 28.3^[3]の通りでポリアミドの構造によって、アミド基濃度、融点が図 28.1^[3]のように変わる。

1988 年^[4]にポリアミド 4・6 は Dutch Petrochemical Giant DSM 社から発表され、1990 年^[5]より工業生産が開始された。わが国では 1986 年頃^[6]より紹介され始め、1991 年^[7]に学会で疲労特性などが報告されている。

他のエンブラと物性を比較すれば、表 28.4^[3]に示すように引張り、曲げの強さが大きく、摩擦摩耗特性、熱的特性にすぐれている。この材料の成形品設計はポリアミド 6・6 と同じと言われているが、小物の場合に特長を発揮する。液晶ポリマーについて流動性がよく、PPS (ポリフェニレンサルファイド) についてバリが出にくいいためである。参考までに衝撃値のデータを図 28.2^[3]示す。主な成形品例は図 28.3^[2]の通りである。この材料が市場に浸透するのが遅かったのは、吸水率が高いうえ、薄物の成形が難しかったためと言われている。また、充填性はよいがガス焼け、シルバーが発生し易い。成形制御、金型技術、成形技能の向上によってこの材料は普及浸透した。

表28.1 各種のポリアミド^[2]

名称		融点 ()	100%RHにおける 平衡吸湿量(%)
ポリアミド4	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_3 \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	-	>10%
ポリアミド6	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_5 \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	215	10%
ポリアミド11	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_{10}-\text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	186	1.9%
ポリアミド12	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_{11}-\text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	175	3%
ポリアミド4・6	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	295	12% (注)
ポリアミド6・6	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	255	9%
ポリアミド6・10	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_8-\text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	215	4.5%
ポリアミド6・12	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_{10}-\text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	206	3%

(28) ナイロン4・6

表28.1 ポリアミド4・6と各種エンジニアリングプラスチックの物性比較^[3]

() の性質は吸水時の物性

性質	物性	単位	ナイロン 4・6	ナイロン 6	ナイロン 6・6	PBT	POM	PC	変性 PPE	ポリサル ホン	PAR	PPS	PAI
力学的 性質	引張り強さ	kg/cm ²	1020(700)	820(380)	830(500)	550	660	610	660	720	715	670	1900
	引張り破断伸び	%	50(>200)	140(>200)	60(>200)	>200	50	110	60	70	60	1.6	12
	曲げ強さ	kg/cm ²	1460(500)	1050(500)	1150(700)	810	910	920	900	1000	800	980	2160
	曲げ弾性率 (×10 ³)	kg/cm ²	32(12)	26.5	29.5(15.5)	24	27	22.5	25	27	19	39	46.7
	アイゾット衝撃値 (ノッチ付き)	kg・cm/cm	9(40)	4.5	5.5	4.5	7	95	27	7	20	2.5	13.8
	ロックウェル硬度		R121(R102)	R120	R120	R119	R115	R120	R118	R120	R125	R123	E91
	テーパ摩耗	mg/10 ³ 回転	4	7	7	8	14	13	20				12
	摩擦係数 (対銅) * p=1kg/cm ² , v=6cm/s	-	0.35	0.4	0.32	0.42	0.25	0.5	0.49	0.52	0.49		-
熱的 性質	融点		295	224	260	224	180	246	-	-	-	285	-
	熱変形温度 (18.6kg/cm ²)		220	64	80	60	110	135	129	174	175	138	274
	線膨張係数	10 ⁻⁵ /	8	9	9	9	10	5.6	6			2.5	4
電気的 性質	体積固有抵抗	・cm	10 ¹⁵	10 ¹⁵ (10 ¹²)	10 ¹⁵ (10 ¹²)	10 ¹⁶	10 ¹⁴	4×10 ¹⁶	10 ¹⁷	10 ¹⁷	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶
	絶縁破壊強さ	kV/mm	24(24)	20(4~5)	23(13~14)	17	20	16	20	17	34	15	23.6
	誘電率(10Hz)	-	4	4~5(15)	3.1(15)	3.2	4	2.85	3	3.1	3	3.1	3.4
	耐アーク性	s	121	180~190 (同)	180~190 (同)	180	240	120	75	39	130	-	0.006
その他	比重	-	1.18	1.14	1.14	1.31	1.41	1.2	1.05	1.24	1.21	1.34	1.4
	吸水率	%	(4.0)	(3.5)	(2.8)	0.1	0.22	0.15	0.07	0.3	0.25	0.02	0.19
	燃焼性	-	94V-2	94V-2	94V-2	94HB	除燃性	94V-2	自消性	94HB~ 94V-0	94V-2	94V-0	94V-1

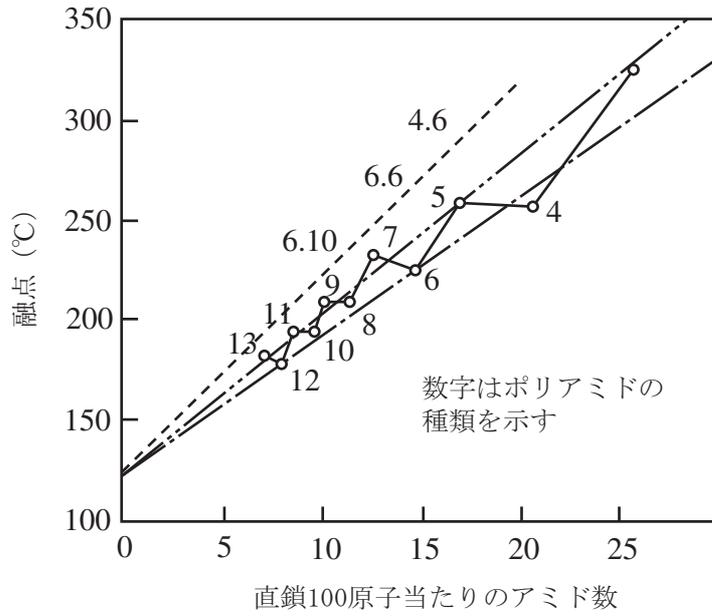
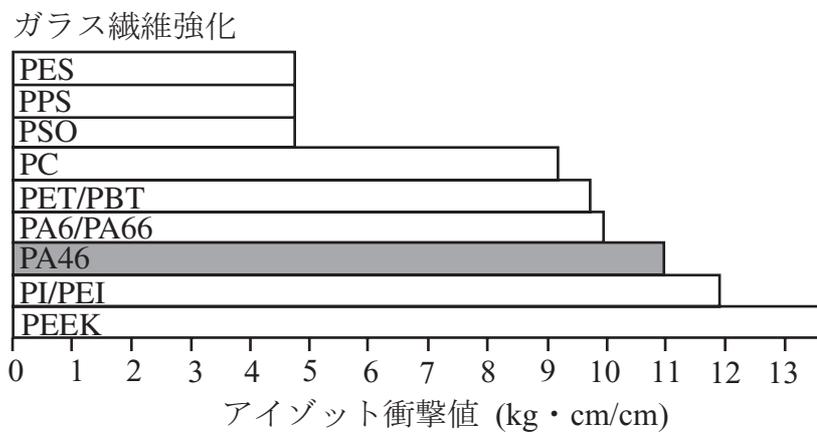
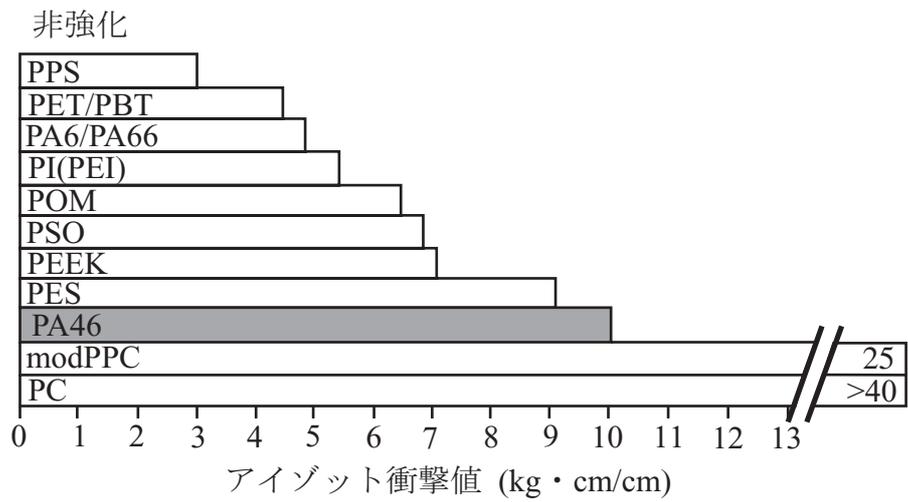


図28.1 アミド基濃度と融点^[3]



注) 表28.4と数値に差があるのは測定誤差による

図28.2 アイゾット衝撃値 (ノッチ付)^[3]

活用される物性	適用グレード	成形品例
高温剛性	汎用・低粘・無変成・ガラス繊維30%	コイルボビン、リレー
靱性		
耐クリープ性	汎用・低粘・難燃性・ガラス繊維30%	SMT用コネクタ
高撓動性	耐熱性・標準粘度・無変成・無補強	チェーンテンショナー/ガイド
高温耐油性		
はんだ耐熱性	耐熱性・低粘・無変成・ガラス繊維(20~30%)	ベアリングリテーナ
耐久性	汎用・低粘・無変成・ガラス繊維30%	スイッチノブ
成形性		

2.注意事項

- (1) 日本では、帝人、ユニチカ、日本合成ゴム(JSR)の各社が DSM 社と個別に提携し、ベースレジンの供給を受け、成形コンパウンドを製造販売していた。社会状況の変化に伴い1997年4月1日に、DSM JNR エンジニアリングプラスチック(株)が設立され、製造供給ルートが一括化された。成形部品設計者は、材料選定にあたり、材料の周辺事情まで十分承知することが必要である。
- (2) この材料の普及には成形技能の向上に負うところが大きい。

出典

- [1] 小林昭：プラスチック構造材料(4版) p54、(株)工業調査会(1972)
- [2] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望(第4回)型技術、13(5) pp96-99(1998-4)
- [3] 日本合成ゴム(株)カタログ：新しいエンジニアリングプラスチック、ナイロン46樹脂、JSR、Stanyl®、(1996-3 k - 310)
- [4] Design Engineering、Jan . 1988、pp33 - 44
- [5] デーエスエム ジェイエスアール エンジニアリングプラスチック(株)ポリアミド4・6樹脂 stanyl®、全2頁の第1頁
- [6] 堀：オランダのDSM社とナイロン46樹脂で提携、ポリマーダイジェスト(1986-6)
- [7] 河西、土川、鈴木：ナイロン46樹脂の疲労特性、日機69期講論集 Vol . A、p7(1991)

§ 3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 液晶ポリマー(LCP)の意義

高温耐熱性、耐溶剤性と精密成形性にすぐれ、形状によっては 0.1 ~ 0.2mm の薄肉成形が可能なので着目されているプラスチック射出成形材料に液晶ポリマーがある。この特長を活かしてファインピッチのコネクター、ソケットなどの SMT に用いる部品に多く採用されるようになってきた。

液晶とは液体のような流動性と固体のような分子配向の規則性を持つポリマーと定義されている。^[1]液晶にもいろいろあって、射出成形に用いられる液晶に図 29.1^[2]に示される高分子液晶の中のサーモトロピック液晶と呼ばれるものである。液晶の概要を表 29.1^{[3][4]}に示す。液晶の開発は他のエンジニアリングプラスチックにくらべて歴史が浅く、構造式等は各社のノウハウになっていて、完全な姿で公表されているものは少ない。

2. 液晶の分類と特徴

日本では、表 29.1 の中の 、 、 形のように耐熱性で分類されている。ベンゼン環が棒状に連なった分子鎖を持つ 形が最も結晶化しやすく耐熱性が大きい反面、流動性、成形性は 、 形には及ばない。

形の中心に荷重たわみ温度が 300 を超えるものもある。 、 形にはガラス繊維などを配合して荷重たわみ温度を 200 から 240 に引き上げているものも少なくない。

液晶ポリマーでは主鎖には反応原料の種類を変えたり、側鎖分子を付加したりしてポリマーに特長を持たせる工夫をして、次々と高まる顧客の要求に応じる努力を続けている。国内の材料メーカーから上市されている商品グレードを表 29.2^[3] に示す。日本石油化学(株)のカタログ^[5]ならびに比較的最近の解説論文^[3]によれば同社の LCP の特徴は表 29.3^[3]の通りである。

分子構造的にみれば 形は、剛直分子メソゲンが PHB (パラヒドロキシ安息香酸)中心にビフェノール、テレフタル酸その他により構成されており、メソゲンとエステル結合だけで結ばれている。これを全芳香族 LCP という。メソゲンの間にメチレン基等の脂肪族があるものを半芳香族 LCP という。構造式を比較すると図 29.2^{[6][7]}のようになる。武田はこの二者を物性、充填性能から比較している。^[7]それを表にまとめると表 29.4^[7]のようになる。

各種ポリマーの溶融同化の形態を模式的に示せば図 29.3^[7]の通りである。そして液晶ポリマーは図 29.4^[7]のように剪断速度が上がると急速に溶融粘度が下がる。その具体例を図 29.5^[7]に示す。高速充填すると他のプラスチックより粘度低下が著しく、流動性が優れる。成形機に対してはそれなりの配慮^[8]が必要であるが、固化速度が非常に速く、流動性がよいのにバリが出にくい。

表29.1 LCPの概要^{[3][4]}

項目	内容
上市	1980年代半ば、ただし市場に受け入れられるに数年を要した
名称の由来	溶融時に液晶(Liquid Crystal)状となるため(分子構造による命名ではない)
分子構造の系統	ポリエステル系、パラピロキシ安息香酸をもつ 全芳香族系と半芳香族系とがある。
構造上の特徴	主鎖が直線性の高い分子骨格で、棒の詰まった壊れやすい箱の集まり、因みに、一般的なポリマーは絡み合った分子鎖で構成される
分類	加重たわみ温度(DTUL)タイプ、 に分ける

表29.2 LCPのメーカーと商品グレード^[3]

区分(耐熱レベル)	加重たわみ温度(DTUL)	樹脂メーカーと商品グレード							
		住友化学工業	日本石油化学	三菱エンジニアリングプラスチック	ポリプラスチック	上野製薬	東レ	ユニチカ	出光石油化学
-a	270~350	スミカスーパーE5000 E4000	ザイダーRC PC 400	-	-	-	-	-	-
-b	240~270	スミカスーパーE6000	ザイダー300 500	ノバキュレートE345G30	ベクトラA B C E	UENOLCP2000	L204G45 L204A35 L204G35H	-	-
	180~240	スミカスーパーE7000	-	-	ベクトラA B	UENOLCP1000	-	ロッドラン5000	出光LCP200
	60~180	-	-	ノバキュレートE310	-	-	-	ロッドラン300	-

(29) 液晶ポリマー

表29.3 LCPの主な特徴（日本石油化学）^[3]

長 所	短 所
<p>射出成形性がよい</p> <p>熱可塑性樹脂の中でも最も耐熱性が優れている</p> <p>薄肉になるほど単位厚さ当たりの強さ、弾性係数が大きくなる</p> <p>成形収縮率、線膨張係数が小さい</p> <p>振動が伝わりにくい</p> <p>添加難燃剤なしでUL-94V-0である</p> <p>耐薬品性が優れている</p> <p>絶縁耐力高く、対アーク性が優れている</p> <p>誘電率の温度依存性が少ない</p> <p>GHz帯の誘電率が小さい</p>	<p>ウェルド部（湯境）が弱い</p> <p>スキン層の分子配向方向には力学的に強いが、これと直角方向には弱い</p> <p>収縮率も分子配向方向依存性が大きい</p> <p>表面がはがれやすく、表面粗さもよい方ではない</p>

表29.4 2つのLPCの物性の違い^[7]

全芳香族LCP	半芳香族LCP
<ul style="list-style-type: none"> ・低吸水性 ・高流動性 ・中耐熱性 ・優れた熱安定性 ・高い寸法安定性 ・優れた耐薬品性 ・低線膨張係数 ・V-2レベル ・振動減衰性 ・中ウェルド強度 	<ul style="list-style-type: none"> ・低吸水性 ・高流動性 ・高耐熱性 ・優れた熱安定性 ・高い寸法安定性 ・優れた対薬品性 ・低線膨張係数 ・難燃性（V-0等） ・高い振動・減衰性 ・低ウェルド強度

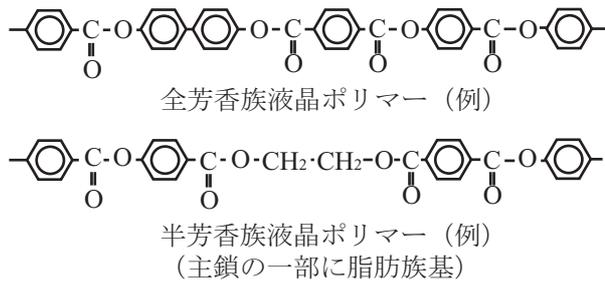


図29.2 全芳香族LCPと半芳香族LCPの分子構造の違い^{[6][7]}

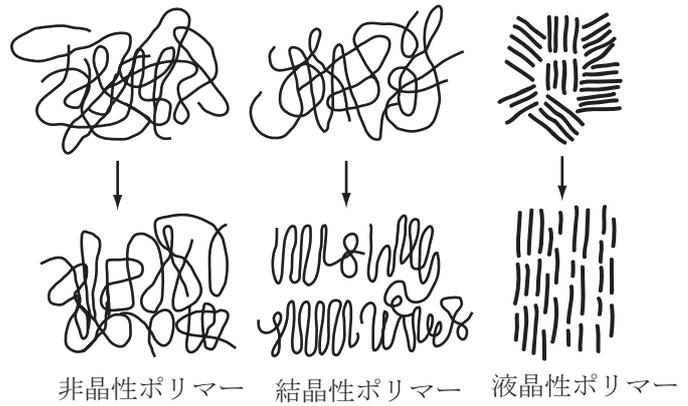


図29.3 各ポリマーの溶融固化の形態^[7]

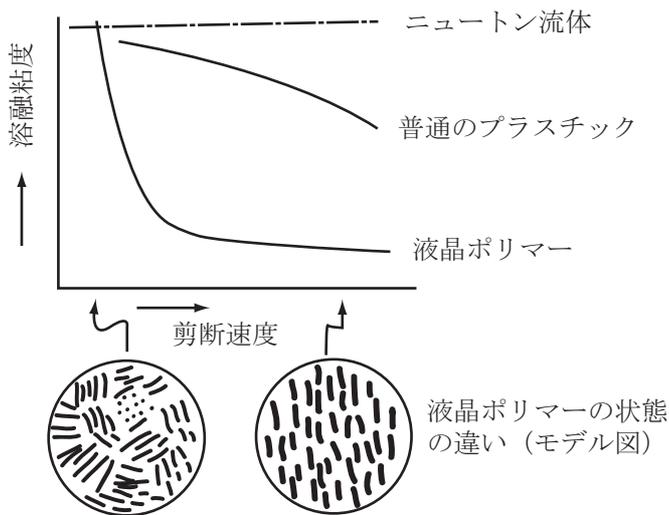


図29.4 液晶ポリマーの剪断速度と溶融粘度^[7]

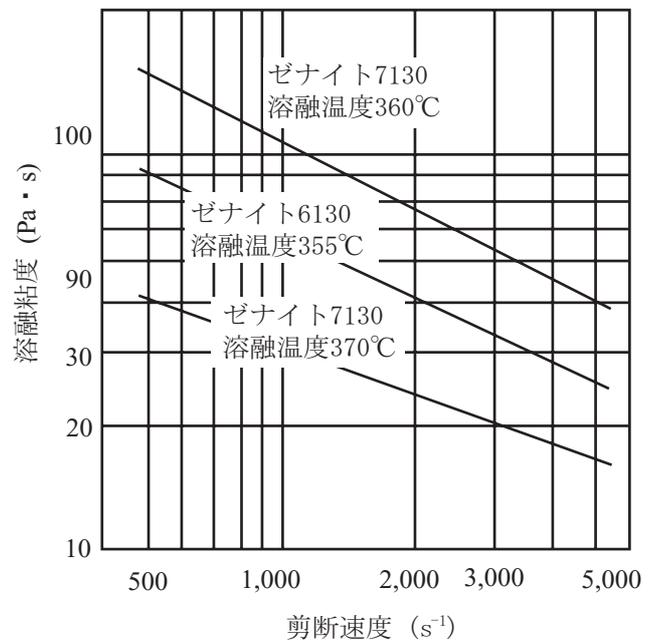


図29.5 溶融粘度対剪断速度^[6]

3. 注意事項

この種の材料は新進なだけに変転が激しい。適用にあたっては、構造式、添加物など可能な限り情報を集めておくことが大切である。

出典

- [1] 金沢修治：新素材ガイド；液晶ポリマー、日経メカニカル、1990-2-19、p192
- [2] 同上のpp192-194の要点を作表
- [3] 川口淳：材料特性と金型設計・LCP、型技術、12(10)pp50-55 (1997-9)
- [4] エンプラ連絡会：新エンプラの本改訂版、第3刷、p9 (1996-7)
- [5] 日本石油化学(株)カタログ；液晶ポリマー、ザイダー(706, 3000)
- [6] Du Pont Technical Report '96-'97
- [7] 武田敏比古：薄肉成形品への液晶ポリマーの展開：成形加工、10(12)pp943-948(1998・12)
- [8] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望(第4回)、型技術、13(5)pp98-102(1998-4)

§ 3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 熔融材料の流動性

熔融した材料が成形金型の空洞内に充填されて、その内面形状を正確に転写するには、先ず細部まで流れ込む必要がある。プラスチック材料の物性の中に、成形品となった後の物性に係わるものと成形できるための成形性があり、流動性は成形性の一つである。

ここでは簡単に流動性に関連するいくつかのことを説明する。

流動性は簡易的には図 30.1^[1]に示す流動比 L/t で評価される。多くの場合、 L にはスプルー、ランナーを含め、実成形品から L/t を求めるときは流動経路を推定して L を算出する。流動性の程度を見るためのものであるから成形品の形状、厚さ t 、成形条件などによって変わるが大きな問題になる性質ではない。大観把握、類似想定のためである。よく紹介されている値を図 30.2^{[2][3]}に示す。

少し、きちんと考える時はスパイラルフロー試験片で L/t を求める。一定の断面積をもつ螺旋状の試験片を成形して螺旋の長さ L を測る。螺旋状の平面形状、断面形状（丸・角、かどの丸味、キャビティ・コアの片側か、両側に跨るか等）、螺旋末端のガス抜き形状などで様々の試験片があり得る。

現在最も権威あるものとされているのは JIS7210-1976 に規定されているメルトフローレート MFR 値（メルトフローインデックス MI 値ともいう）で示す方法で、多くのカタログではこの方法を採用している。

加熱シリンダーに定量の材料を入れ、所定の温度、圧力でシリンダー下部より熔融材料を 10 分間押し出し、その量をもって表す。この場合には同一実部品を成形して MFR 値とショットの具合との関係を見ておくことが必要である。

2. 成形品の最小厚さ

LCP の節でみたように、熔融粘度も重要で、この値が小さいほど、薄肉成形ができる。 L/t 、MFR 値から、流動長さを指定すれば成形品厚さ t が求まる筈である。しかし、成形品の形状や成形条件の影響が大きく、簡単に相似則は見出し難いから、CAE の流動解析の結果と、十分な確認実験の結果、最小肉厚は決定できる。

3. フローフロントと成形品表面状況

現在、成形用金型からの成形品の転写性及び表面不良現象の多くは、フローフロントの様態から説明されることが多くなった。フローフロントは文字通り熔融材料の流動過程の先端であって、フローフロントのファウンテン現象^[4]によって成形品表面のスキン層が形成されるからである。シルバーストリーク、フローマークなどの発生機構を図 30.3^[4]、図 30.4^[4]、図 30.5^[4]に示す。

4. ウェルドラインにかかわる事項

ウェルドラインは成形時に熔融材料の 2 つ以上の流れが会合（合流）する部分にできる細い線である。^[5]その発生メカニズム、防止法、ウェルド部の強さの低下、ウェルド部に対するスリット穴の影響については、プラスチック成形用金型（その 1）- 金型の製作一の中ですでに述べた^[5]のでここでは省略する。金型からの転写性に関連してマイクロフローマークについては（55）節で述べる。

(30) 溶融材料の流動性

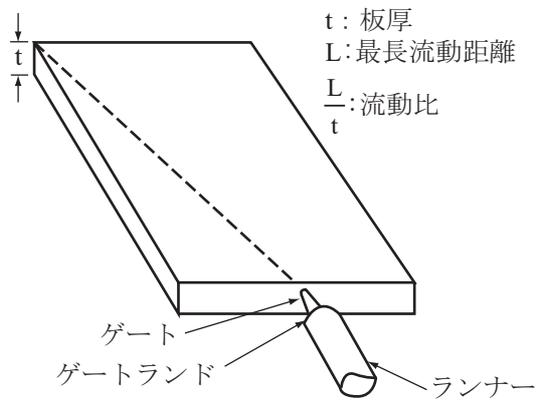


図30.1 流動比^[1]

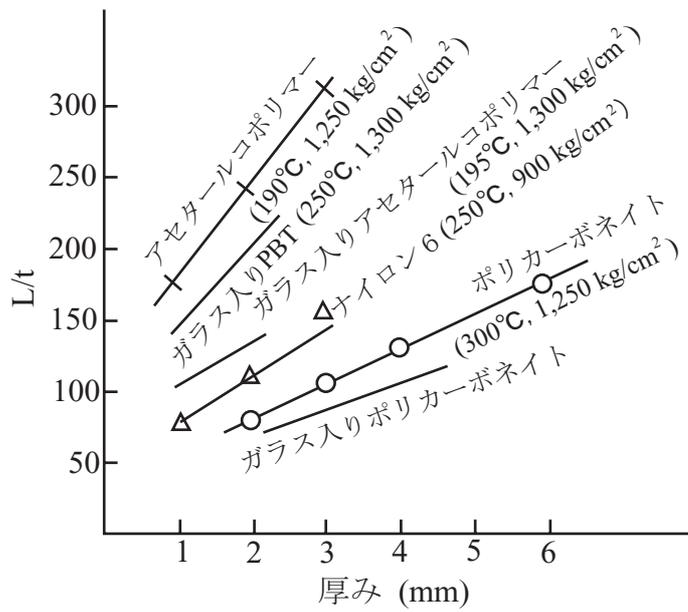


図30.4 エンジニアリングプラスチックの流動比 L/t ^{[2][3]}

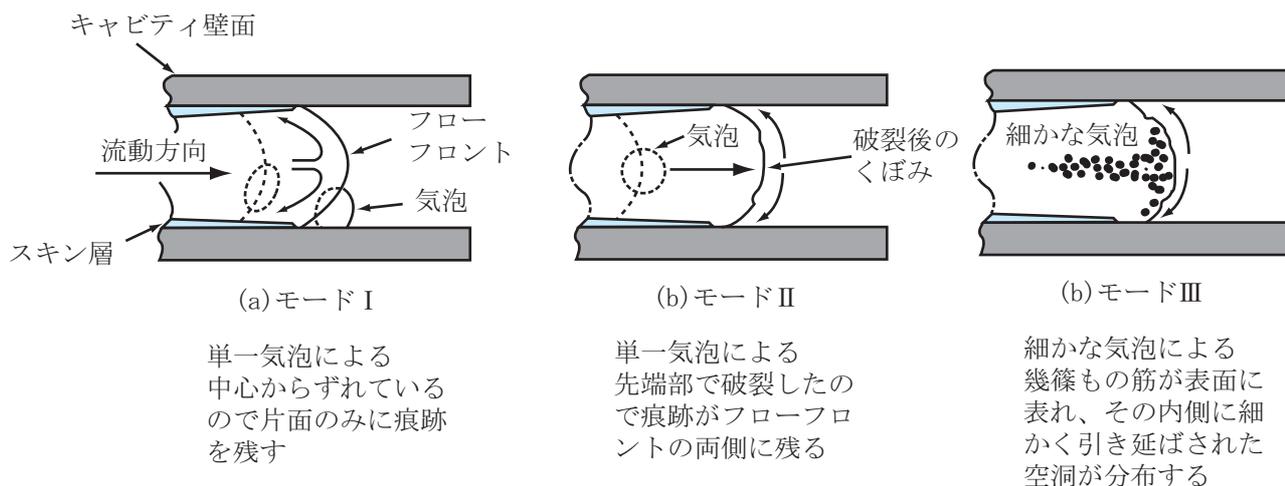


図30.3 シルバーストロークレーク生成機構の模式図^[4]

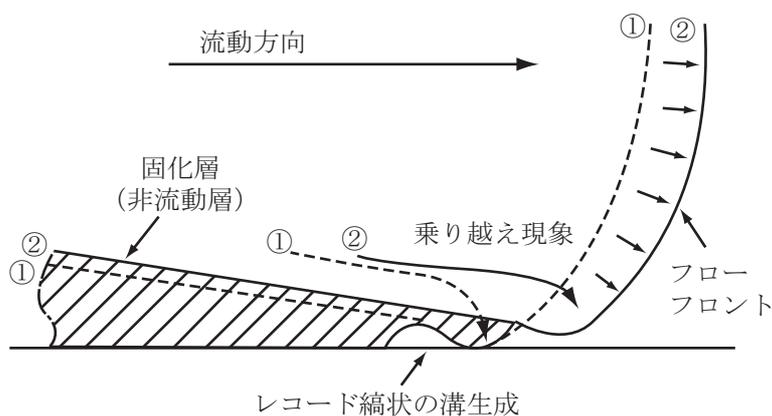


図30.4 レコード縞状のフローマークの発生機構模式図^[4]

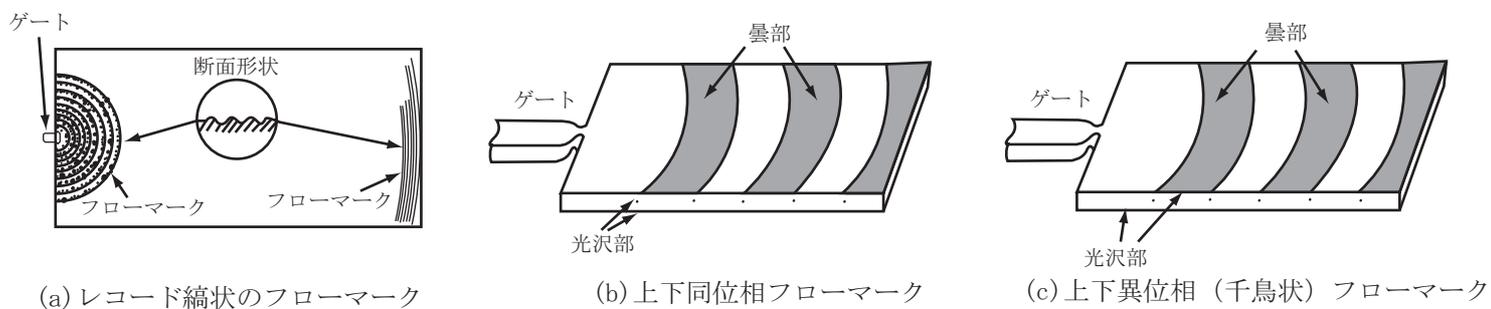


図30.5 各種フローマーク^[4]

5.注意事項

成形現場では上記のような細かい観察・考察をほとんどしていないといえよう。高品質化を図るには、このような着眼点を浸透させる必要がある。

出典

- [1] 構造計画研究所・モールドフロッージャパン(株):プラスチック成形の基礎知識および成形シミュレーションの実践講座セミナー資料 1、p12 (1998.9.1)
- [2] 瀬戸正二監修：射出成形(第 8 版)、p121、プラスチックスエージ社(1977)
- [3] 高野菊雄：工業材料, 21(2)p2(1975-10)
- [4] 横井秀俊：射出成形品の表面不良現象と対策、成形加工、6(2)pp100-103(1994-2)
- [5] 中小企業事業団：プラスチック成形用金型(その 1) - 金型の製作 -、pp33-40 (1999-5)

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 短所・長所の確認

- (1) プラスチックの長所を活かし、短所を補える材料を選び設計する。プラスチック材料と金属の比較を(9)節表 9.4 に示した。プラスチック材料固有の物理的性質の活用その他、軽量化、部品複合化による部品数削減、組み立て、解体の削減、省力を考えて、この材料を巧みに活用する。
- (2) 実際の材料選定のプロセスをまとめると図 31.1^[1]のようになる。図には省略されているが、副次的な性能、期待しない副作用、安全・製造プロセスにおける無毒性、廃棄物処理、トータルコストなども検討しなければならない。
- (3) この際の際的要領は図 31.2^[1]に示すようにするとよいと考える。その際考えるべきことは表 31.1^[1]に示すような特性項目である。
- (4) 光ディスク用プラスチック材料の選択の要件を成形機の要件と合わせて記したものがあるのでこれを表 31.2^{[1][2]}に転載しておく。

2. 成形品の力学的配慮

成形品の強さ、品質については(15)節表 15.1 に示した。使用環境に耐え、実用的な強さを持ち、荷重に対する変形を検討するには成形品の力学的配慮が必要である。

このためにプラスチックと金属の力学的性質の差を大掴みに理解しておくことが重要である。常温において常識的な比較をすると、表 31.3^[3]のようになる。概ね比重は 1/3 以下、引張り強さは 1/5 ~ 1/10、比強さは 2 倍、縦弾性係数は 1/20、比剛性は 1/6 程度と見当をつけておくと速断するのに便利である。但し、特別な使用環境にあっては特に検討吟醸が必要である。

因みに、金属たとえば鋼は零下数十度から 100 前後まで強さも弾性係数もほとんど変わらず、広い範囲で同じ材料力学的計算をしても大きな問題を生じることが少ない。しかし、プラスチックでは金属のように広い温度範囲では使えないことは、図 31.3^[4]、図 31.4^[4]を比較すれば明らかである。

具体的な力学的特性は後述するが力学的短所を補うポイント^[3]を下記しておく。

- (1) 高剛性の補強 - 材料と成形品設計
- (2) 静的強さの補強 - 材料特性値の理解のしかた、表面クラック
- (3) 衝撃値に対する検討
- (4) クリープによる破壊
- (5) 劣化による破壊
- (5) 成形による強さ低下

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 短所・長所の確認

- (1) プラスチックの長所を活かし、短所を補える材料を選び設計する。プラスチック材料と金属の比較を(9)節表 9.4 に示した。プラスチック材料固有の物理的性質の活用その他、軽量化、部品複合化による部品数削減、組み立て、解体の削減、省力を考えて、この材料を巧みに活用する。
- (2) 実際の材料選定のプロセスをまとめると図 31.1^[1]のようになる。図には省略されているが、副次的な性能、期待しない副作用、安全・製造プロセスにおける無毒性、廃棄物処理、トータルコストなども検討しなければならない。
- (3) この際の際的要領は図 31.2^[1]に示すようにするとよいと考える。その際考えるべきことは表 31.1^[1]に示すような特性項目である。
- (4) 光ディスク用プラスチック材料の選択の要件を成形機の要件と合わせて記したものがあるのでこれを表 31.2^{[1][2]}に転載しておく。

2. 成形品の力学的配慮

成形品の強さ、品質については(15)節表 15.1 に示した。使用環境に耐え、実用的な強さを持ち、荷重に対する変形を検討するには成形品の力学的配慮が必要である。

このためにプラスチックと金属の力学的性質の差を大掴みに理解しておくことが重要である。常温において常識的な比較をすると、表 31.3^[3]のようになる。概ね比重は 1/3 以下、引張り強さは 1/5 ~ 1/10、比強さは 2 倍、縦弾性係数は 1/20、比剛性は 1/6 程度と見当をつけておくと速断するのに便利である。但し、特別な使用環境にあっては特に検討吟醸が必要である。

因みに、金属たとえば鋼は零下数十度から 100 前後まで強さも弾性係数もほとんど変わらず、広い範囲で同じ材料力学的計算をしても大きな問題を生じることが少ない。しかし、プラスチックでは金属のように広い温度範囲では使えないことは、図 31.3^[4]、図 31.4^[4]を比較すれば明らかである。

具体的な力学的特性は後述するが力学的短所を補うポイント^[3]を下記しておく。

- (1) 高剛性の補強 - 材料と成形品設計
- (2) 静的強さの補強 - 材料特性値の理解のしかた、表面クラック
- (3) 衝撃値に対する検討
- (4) クリープによる破壊
- (5) 劣化による破壊
- (5) 成形による強さ低下

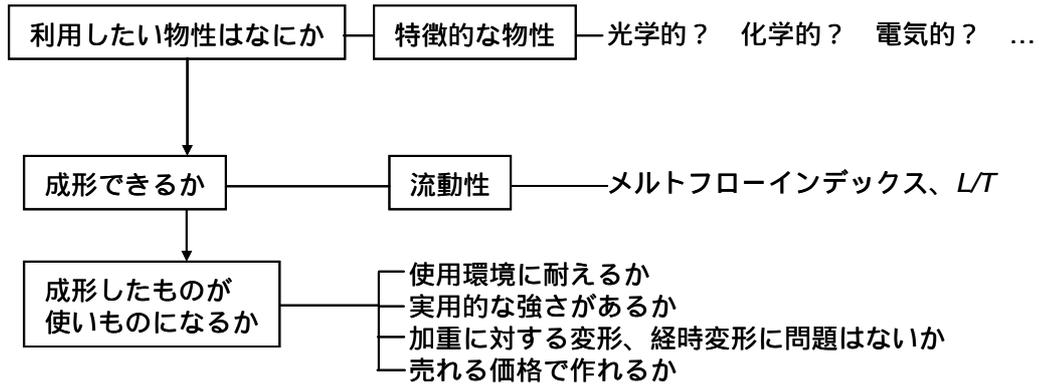


図31.1 材料選定のプロセス

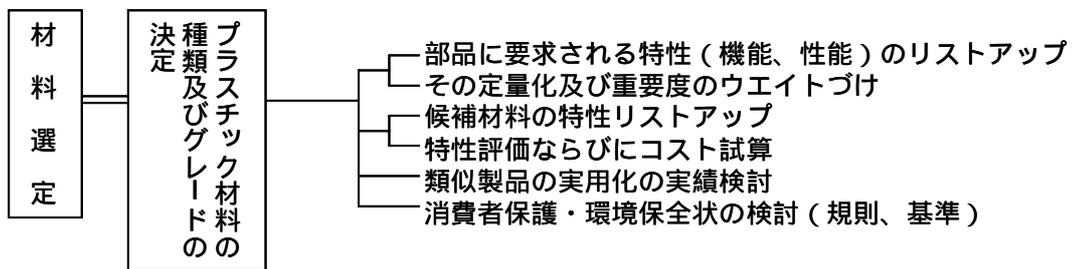


図31.2 材料選定の実施要領^[1]

表31.1 材料選定のポイント^[1]

区分	
1 初期物性	破壊強さ、破壊時の変形、衝撃強さ、剛性、硬さ、熱変形温度、熱膨張、絶縁抵抗、誘電損失、難燃性
2 物理的耐久性	クリープ変形、クリープ破壊、応力緩和、疲労破壊、摩耗、寸法変化、耐コロナ、トラッキング
3 化学的耐久性	熱劣化、紫外線劣化、耐水（湿）性、耐溶剤性、耐薬品性
4 耐環境性	温度範囲、湿度、周囲ガス、周囲物質、接触物質、電界強度、期待寿命
5 加工性	粘性、流動性、硬化性、（熱硬化）、成形サイクル、外観、寸法精度、成形収縮、異方性、残留応力、バリ、離型性、塗装性、印刷性、メッキ性、切削性、接着性、セルフタッピング性
6 その他	毒性、廃棄性
7 価格	体積価格、材料歩留まり

(31) 商品設計と材料選択

表31.2 光ディスク用プラスチック材料と成形機（塚原）^{[1][2]}

光ディスク用円板（成形品）特性	材 料	成 形 機
転写性がよいこと	流動性がよいこと	材料を均一に溶解すること 高速射出すること 高剛性で、偏加重を生じないこと
反り変形が小さいこと		
寸法（特に厚さ）が一定であること		
内部応力が小さいこと		
透明で光透過率が高いこと	左に同じ	
変色しないこと	加熱熔融時に変色しないこと 複屈折率が小さいこと	
ゴミの混入がないこと		成形機、周辺機器設備環境を整備

表31.3 大づかみにみたプラスチック^[3]

	比重	引張り強さ(kgf/cm ²)	比強さ	縦弾性係数(kgf/cm ²)	比剛性
プラスチック材料 (ガラス繊維強化を含む)	1~2	$(5\sim 8) \times 10^2$	$(4\sim 7) \times 10^2$	$(1\sim 10) \times 10^4$	$(1\sim 10) \times 10^4$
常用金属材料	2.5~7	$(30\sim 50) \times 10^2$	$(3\sim 5) \times 10^2$	$(5\sim 210) \times 10^4$	$(7\sim 30) \times 10^4$

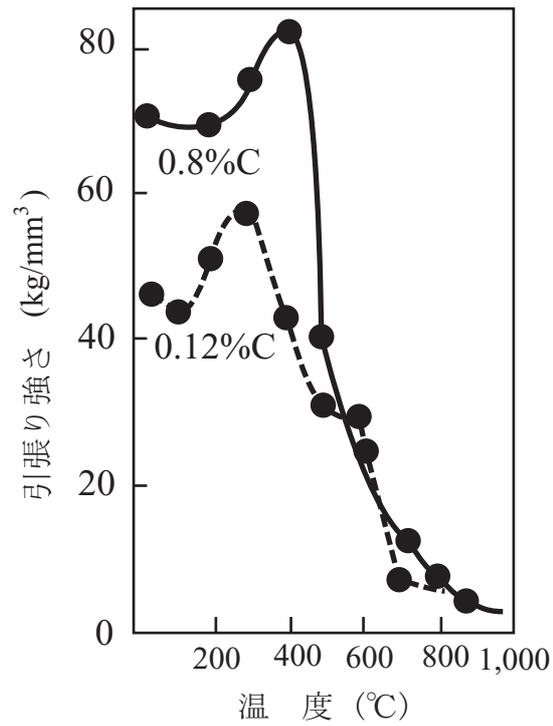


図31.3 炭素鋼の引張り強さと温度との関係^[4]

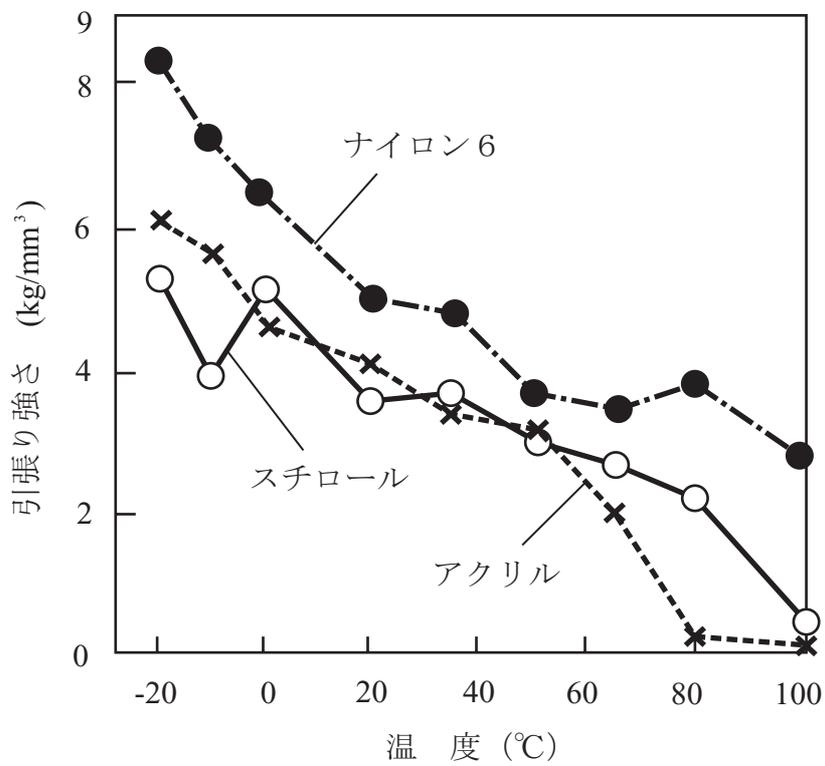


図31.4 プラスチックの引張り強さと温度との関係^[4]

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

材料選定の注意事項をまとめると次の9箇条になると思う。^[1]

1. 使用目的を明確にせよ

使用時の状態を事前によく検討し、効果的に活用する。

プラスチックのどんな物性を利用しようとしているのか。

有効に利用できる見通しがあるか。

他の材料に比較して確かにプラスチックがよいのか。

2. 副次的な性能も確認せよ

候補に上った材料については利用しようとする物性の他に、他の物性についても検討し、不測のトラブルを起こさないようにする。

自重や、荷重に対する強さは大丈夫か。強さ、剛性、耐クリープ性、応力緩和、耐摩耗性、耐疲労性など

周囲環境に耐えるか。耐水性、耐油性、耐薬品性、耐熱性、耐湿性、耐汚性(たとえば口紅、油脂など)、耐光性、耐ストレスクラック性、耐汚染空気性など

毒性、公害上の心配はないか。難燃化のための添加物、顔料中の鉛、カドミウムなどの添加物の毒性の有無。廃却時の生成物処理性は大丈夫か。

従来使用していた材料の場合に、無意識に期待していた特性が不測のうちに損なわれていないか：透明性、重量感、断熱性、電磁遮蔽性など。

3. カタログを正しく理解すること

諸物性値は個々の物性試験値のチャンピオン・データであることが多く、一個の成形品で、いくつかの物性値を同時にカタログ通りには実現しがたい。

個々のチャンピオン・データも上手に成形しないと実現できにくい。

測定データは試験方法、試験片、試験機によって異なる。同一条件の測定値でないと比較できない。試験片の寸法その他、ゲート位置によるウェルド(湯境)の発生状況、保存・調質の方法によって、測定結果はかなり変わる。

従来の衝撃値の測定法は、相対比較には有用だが、異なる測定法によるデータの換算法は確立されていないので、厳密には比較できない。

いわゆる熱変形温度(HDT)は材料の耐熱性の相対比較の尺度であって、耐熱温度そのものではない。実用時の応力を考慮すること。(付記) HDT はプラスチックの耐熱性を示すアメリカの規格 ASTM648 に定められているもので、スパン 100mm の中央部の曲げ応力がプラスチック材料の種類及び試験片の厚さに応じて 4.6kg/cm²、または 18.6kg/cm² になるように、中央部に荷重を加えて昇温し、たわみが 0.25mm に達した時の温度である。但し、試験片断面は幅 3.0~4.2mm × 高さ 9.8~12.8mm である。加えられる応力が異なればたわみが 0.25mm になる温度も異なる。

カタログ値は物性の初期値であって、劣化によってどこまで低下するかを示している例は少ない。

耐候性のデータはウェザメータで暴露後の強さを示しているものが多い。この値と実際の屋外放置との関係は、現状では明らかでない場合の方が多い。類似事例の比較結果を参照することが望ましい。

4. 製品による試験を重視せよ

材料の熔融・流動・固化の過程からみて、標準試験片では製品そのものをシミュレートできない。最終的には製品そのもので試験することが必要である。

(32) 射出成形材料の選択の原則

単純な形状の標準試験片では、複雑な形状の湯流れは推定できない。試験片によっては逆の結果になることもある。

つや、色調、フラッシュなど、外観については試験片では判断できない。

5. 環境の最悪条件を探せ

最悪の環境の予想設定が甘いために、現実の厳しい環境で事故になることが多い。

顧客使用時

家庭用品の傍に電気釜、ストーブなど発熱体がある時など、他の機械、器具からの影響のような特殊条件も考える必要がある。

流通過程

倉庫では必ずしも温度、湿度の管理は十分とはいえないことがある。また、製品の後入れ先出しにより、倉庫に長時間停留する可能性がある。

販売店店頭、ショーウィンドーでの太陽光暴露、輸出時の経由地の温・浸度の激変や荷扱条件、出荷時の梱包条件、航空機の離着陸時の衝撃などの考慮も必要である。

6. 材料の成形性、加工性を確認せよ

適合する成形法を考えよ：圧縮成形か、射出成形か、押出成形か。

可能な2次加工法を確認せよ：切削、接着、印刷、メッキ、ホットスタンプなど。

7. 安定した材料を使用せよ

一般に、特に優れた特性を示す材料は成形条件による変動が大きい。成形条件が必ず一定に保てることを確認しないで、こういう材料を量産に使うことは損失を招きやすい。幅広い成形条件で、安定した特性を示す材料を選ぶ方が賢明である。その理由は、

成形機により成形条件が同じにはできにくい。

同一成形機でも成形温度、成形圧力は直接制御する例は少なく、間接的測定・制御をしているのとどまるため、その精度は十分ではない。成形温度の代わりにノズルにおける樹脂温度や成形用型温度を用いたり、成形圧力の代わりに型のたわみ量を用いたりすることが多いからである。

8. 将来の展開を考えよ

現状では、長時間にわたる耐久性を短時間に確実に推定する方法は確立、普及されていない。候補材料について適用の可能性を確認するのに相当の長時間を必要とする。何らかの理由で、将来、材料の変更が必要になると再び長時間の検討を要し、多大の時間的、金銭的損失を生じることになる。

9. トータルコスト・経済性をチェックせよ

プラスチック応用の経済的効果があるかどうか、稔合的にチェックする。

製品コスト：材料費、加工費

メンテナンスコスト：保守費、交換費

切替費用、付帯費、エネルギー費、公害対策費、他

出典

[1]青木正義：プラスチック成形品設計、pp110-113、(株)工業調査会(1988)

3.注意事項

- (1) 材料選択のより具体的な注意事項は次節で述べる。プラスチック材料を使う目的をしっかりと考えて着手することが大切である。
- (2) プラスチック成形品には通常の方法力学の公式をそのまま適用しかねる場合がある。力学的性質が、温度、時間、応力に依存して変わることには配慮が必要である。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック成形品設計、pp107 - 110、(株)工業調査会(1988)
- [2] 塚原・細谷：加工精度の極限を求めて、高分子、32(5) p353(1983 - 5)
- [3] 高野菊雄：製品設計と材料選定のポイント、合成樹脂、42(4) pp19 - 23(1996 - 5)の表2に基づく
- [4] 山口幸三郎：加工と設計のためのプラスチックの機械的性質、p43、日刊工業新聞社(1967)

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 材料購入前の確認事項

先に材料選定にあたって検討すべき 9 箇条を示した。材料購入前には、さらに次のことも含めてもう一度念を入れて検討して頂きたい。

(1) 実用条件下における耐久性の確認

標準試験片だけでなく、実物成形試験品から切出した試験片で、クリープ、疲労、応力緩和の試験をした方がよい。破損した破面解析をしてどういう外的環境に弱いかを追究する。

変動荷重だけでなく残留歪みの解放による変形とこれに伴うクラックの発生の有無の確認をする。

(2) リサイクル性と環境汚染防止に関する確認

スプルー、ランナー、成形不良品の工場内リサイクルの可能性ならびに、製品性能、成形性から許されるバージン材料への混入率限度、リサイクル回数を確認する。

スプルー、ランナー、成形不良品及び成形機始動時の押し出し屑などの買取先の有無、クラッシュ業者の有無を調べておく。

リサイクル不能な場合の廃棄業者の信頼性、廃棄依頼者の法的責任を確認しておく。

廃棄材料の自社焼却の要否、可否、発生ガス及び燃えかすの適正な処分の方法を確認し、必要なことは実現できるようにしておく。

2. プラスチック材料受け入れ上の注意事項

(1) 既存材料の受け入れ

市場ですでに使用実績のある既存材料を購入し、受け入れる場合には選定した通りのものが入荷したか否かを確認めればよい。その際の受け入れにあたっては表 33.1^[1]によればよい。

プラスチック材料は受け入れたままの状態で行える試験項目は少ない。開梱し成形し、所定の負荷を与えてから測定評価する。開梱開封するとプラスチック材料は長時開放できず、また条件によってはすぐ評価が終わるというものでもない。金属材料ほど受け入れ検査が行われていないのが実状である。後でトラブルが生じ易いことは否定できない。

(2) 開発中の材料の受け入れ

既存のグレードでは要求される成形品ができないために、成形試作と並行して材料改質・開発をすることがある。この際

成形品としての物性の確保... 外観、風合い、破壊の試験確認

溶融流動性の適確な確保... MFR 値または L/t 値、溶融粘度など

経時変形、耐候性の試験方法の確認と適確値の確保

重合等反応の進行のおそれの有無

などが必要である。

(3) 候補材料からの選定

材料選定にあたっては成形諸費用を含めた物性のバランスが必要で、重要特性は十分に、比較的重きをなさない特性は軽く評価しないとなかなか選定の結論が出ない。この際、図 33.1^[1]のように基本にな

るのは材料選定の考え方で、成形部品の任務を出発点として、求める形状、強さを満足させられる材料を決めるという作業を進めるとよい。実際に物性のバランスを判定して、一つの材料に絞り込むのは一人の知恵では不十分で、過去のデータの他に、現在活躍している成形現場の人達のノウハウの援用も大切である。その方法は各社各様であって、それで差支えはないけれど、ここでは、OR (オペレーションズリサーチ：Operations Research)などにも均衡需要の算出システムに用いられるリグレット(不満足度)の考え方に基づく選走法を紹介しておこう。

プラスチック技術にこの考えを最初に取り入れたのは、本田技研工業(株)がインスツルメントパネルのプラスチック化に踏み切った時に、同社専用開発した耐熱性 ABS 樹脂の採否を決める根拠にしたといわれる。

そしてこれがリグレット(Regret)法^[2]として知られるようになった。その計算例を表 33.2、表 33.3 に示す。価格とリグレット指数の積が製品のシェアに比例する^[3]という経験則に基づくといわれている。

(33) 材料購入前の検討と受け入れ時の注意

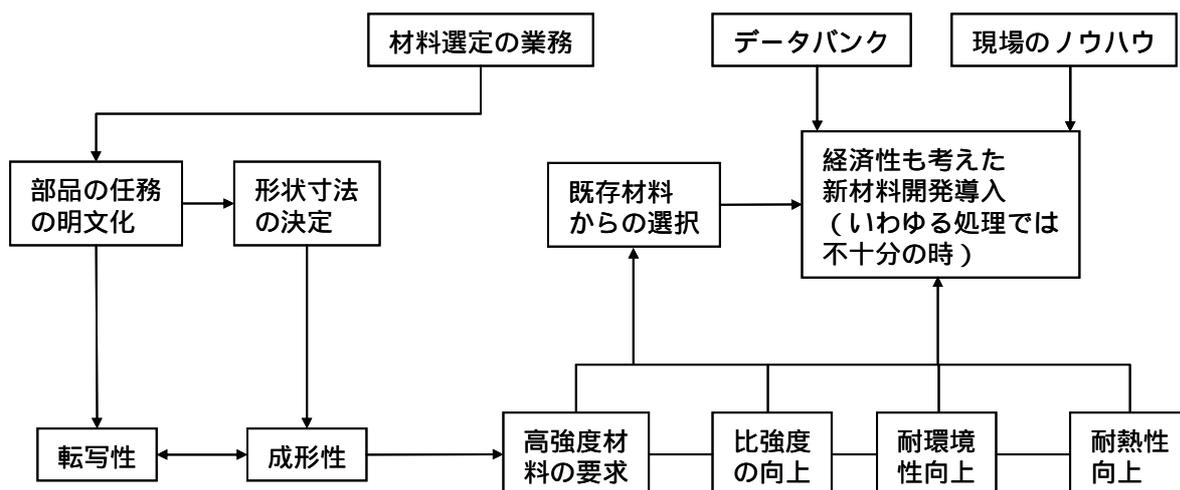


図33.1 材料選定のプロセス^[1]

表33.1 既存材料の受け入れ上の注意事項^[1]

	チェック項目	注意事項	付記
1	指定した材料か?	グレード、色相まで正しいかをみる	不慣れだとグレード違いを受け取ることがある。必要なら赤外分析をするルートをつけておく
2	指定した荷姿か?	高温、吸湿による変質、反応の進行はないかを確認	エポキシ樹脂などでは、運搬経路における冷温保存などの注意も必要
3	材料メーカーのデータは?	流動性など必要なものは事前に添付を依頼することが必要	時には分子量分布など
4	受け入れ検査は?	いわゆるJIS標準試験のなかから選べばよいのか	ときに過剰品質要求にもなるし、ポイントをはずすことにもなる

表33.2 リグレット法による評価の計算表の例^{[1][2]}

評価する物性項目 ウエイト	耐熱性		衝撃強さ		成形性		その他の物性		M	Mo	M-Mo	$R = \frac{M-M_0}{M}$	P	R×P	判定 順位
	8	8	8	8	5	5	5	5							
候補成形材料	評価	要素 得点	評価	要素 得点	評価	要素 得点	評価	要素 得点							
ポリカーボネイト	3	24	3	24	0	0	2	6	72	54			2.33		
ポリアセタール	2		1		1		2		72				2.15		
ABS樹脂	2		2		2		3		72				1.33		
AS樹脂	1		1		2		1		72				1		
HIポリエステル	0		1		2		0		72				0.83		

(注) 評価：下記基準で決める(上記は評価記入済み)

評価基準：0...全く適正なし、1...やや適正を持つ、2...かなり適正がある、3...非常に優れた適正をもつ

M : 完全に満足する場合の得点(この例では(評点の最大値3)×(この要素のウエイトの和8+8+5+3)=3×24=72)

MO : 評価による得点

R : リグレット、不満足なものほど1に近くなる

P : プライス指数、某時点の例(1個当たりの製造原価で材料費、加工費ほか必要経費の和に相当する比較値、または容積当たりの単価に相当する比較値)。この例ではAS樹脂を1.00にとってある。そして、Pのウエイトは10として折込済み

表33.3 リグレット法による評価の完結例

評価する物性項目 ウエイト	耐熱性		衝撃強さ		成形性		その他の物性		M	Mo	M-Mo	$R = \frac{M-M_0}{M}$	P	R×P	判定 順位
	8	8	8	8	5	5	5	5							
候補成形材料	評価	要素 得点	評価	要素 得点	評価	要素 得点	評価	要素 得点							
ポリカーボネイト	3	24	3	24	0	0	2	6	72	54	18	0.25	2.33	0.58	
ポリアセタール	2	16	1	8	1	5	2	6	72	35	37	0.52	2.15	1.12	
ABS樹脂	2	16	2	16	2	10	3	9	72	51	21	0.29	1.33	0.39	
AS樹脂	1	8	1	8	2	10	1	3	72	29	43	0.6	1	0.6	
HIポリエステル	0	0	1	8	2	10	0	0	72	18	54	0.72	0.83	0.62	

出典

- [1] 青木正式：プラスチック精密成形用金型の展望(第 10 固)、型技術、14(1)pp94-99(1999-1)
- [2] 瀬戸正二監修：射出成形(第 8 版) p56、プラスチックエージ社(1977)を整理要約
- [3] 横山ほか：需要予測の実測—塩化ビニル樹脂製品の需要予測に関する実証的研究、東洋経済新報社、pI90 (1962)