

【 第 1 章 】

射出成形 基本のキ！

溶かす（流す）① 可塑化工程と成形機の動作

①樹脂を溶融する原理

射出成形機は、粒状のプラスチック材料を加熱シリンダーの中で、外部ヒーターによる加熱（200～400℃）と、スクリュウの回転とシリンダー内壁とのせん断力やせん断による摩擦により、可塑化（混練して溶融）する工程があります（図1-1）。スクリュウは、左回転しながらホッパー口から落下したプラスチック材料をシリンダー先端に送ります。このとき、溜まる溶融樹脂にスクリュウが押し戻されるのを、背圧で混練性をコントロールしながら溶かすことにより、発生する溶融樹脂からのガスをホッパー口から排気します。材料ごとに設定されるシリンダー温度は異なり、目安は表1-1のようになります。

射出成形機は、シリンダー内で可塑化混練と材料の計量を行います。計量値は射出容量の30～50%程度が適切で、多くても70%程度とされています。計量が多過ぎると、樹脂の可塑化の際にスクリュウの供給部（フィードゾーン）での予熱時間が短くなります。そのため、溶融樹脂の混練度が可塑化前半と違いが生じ、精密成形品では樹脂密度の違いによる寸法精度や強度のバラツキへの影響が出る可能性が高くなります。また、計量が少な過ぎるとシリンダー内での溶融樹脂の滞留時間が長くなり、黄変（変色）や酸化劣化、不安定な溶融粘度による成形不良などが発生する可能性が高まります。

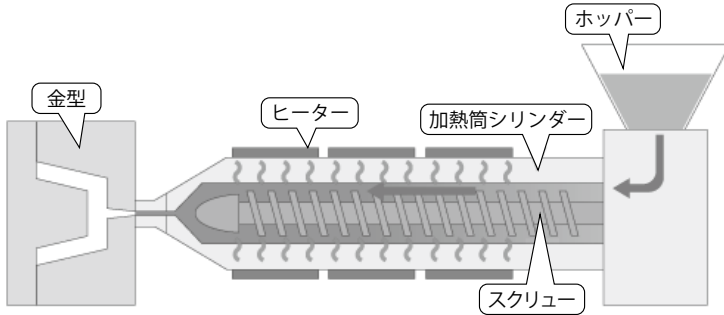
②混練の動作

供給部の上にあるホッパー口からプラスチック材料を供給し、可塑化混練を行います。材料の供給量はスクリュウの供給ゾーンが満杯になる自然落下より、ガスの排気性などを考慮し、供給を限られた分量に限定するフィーダーによる（飢餓供給）方法が好ましいです（図1-2）。

シリンダーのバンドヒーターの設定温度は、先端部のヒーターからホッパー側のヒーターに向かって徐々に温度を低く設定します。その程度は材料メーカーの技術資料を参考とし、製品形状に合わせた溶融樹脂の流動性が得られる粘度に調整します。

溶融粘度の低いものは「流動性が良い」、または「高流動」と表現され、一般に射出成形が容易になります。溶融樹脂に、高い温度下に長く曝されるとガ

図 1-1 可塑化のための構造



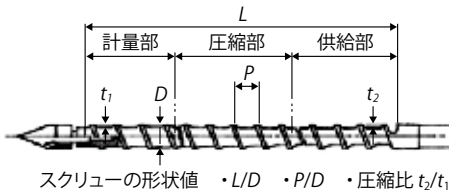
出所：日精樹脂工業「プラスチックの話」

表 1-1 樹脂別熔融温度の違い

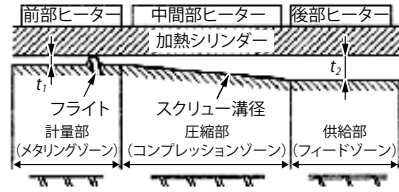
汎用プラスチック		汎用エンブラ		スーパーエンブラ	
樹脂名	成形温度 (°C)	樹脂名	成形温度 (°C)	樹脂名	成形温度 (°C)
PE	180～260	POM	175～210	PAR	250～350
PP	180～280	PA6	230～290	PPS	310～350
RPVC	160～200	PA66	250～300	PSU	340～370
PS	170～260	PBT	230～270	PEEK	365～420
ABS	180～270	PC	250～320	PAI	340～370
PMMA	170～270	m-PPE	240～320	LCP	285～360

図 1-2 スクリュー構造

[スクリュー全体]



[スクリュー溝部詳細]



スが発生が多くなり、成形品表面のくもりや分子鎖が切れ、引張強さなど機械特性が低下します。

要点 ノート

プラスチック材料をシリンダー内で溶かすための条件は、シリンダーの設定温度×スクリューの回転数×スクリュー背圧力×計量値×滞留時間です。これらの設定を最適化した上で、成形条件を設定する作業が始まります。

溶かす（流す）② 樹脂の流動性と融点、ガラス転移点の関係

①樹脂の流動性の相違

熱可塑性樹脂は、非晶性樹脂と結晶性樹脂に分けられます。非晶性樹脂は、分子が不規則に並んでいます。一方の結晶性樹脂は、分子が規則的に整列している部分（結晶部）と不規則に並んだ部分（非晶部）からなっています。

熱可塑性樹脂の熔融時の粘度（流動性）は、融点（ T_m ）未満の温度領域では固体状態であるものの、融点（ T_m ）以上に加熱すると熔融（流動化）し、流動性を示すようになります。結晶性樹脂と非晶性樹脂ではその挙動が異なり、特定の融点（ T_m ）を持つ結晶性樹脂に対し、明確な融点（ T_m ）を持たない非晶性樹脂は、ガラス転移点（ T_g ）から非晶部分の液体化・ゴム化により徐々に熔融し始め、流動性を示すようになります（図1-3）。

②融点とガラス転移点

融点（ T_m ）は、結晶性樹脂の結晶部分の融解を指します。非晶部分が流動化していても、結晶部分があるため固体は維持されます。つまり、 T_m と T_g の間のガラス状態での固化時の挙動として、固体のようでも少し動けるというときに配列しやすくなり、結晶化が進むこととなります（表1-2）。

結晶化は、分子が規則正しく配列することです。 T_m を超えて熔融状態にあるときは、結晶性プラスチックの結晶も融解するため、非晶性樹脂と同様にランダムな分子配列になります。

熔融状態では液体であるため自由に動くことができ、配列は起こりません。結晶性樹脂のガラス転移点（ T_g ）がもたらす影響に関しては、 T_g を境に強度の低下が起こります。PA6、PA66などは、ともに温度依存性のデータでは、ガラス転移点（ T_g ：50～60℃）付近で強度低下が大きくなり始めています。

熱可塑性樹脂の流動性は、温度や圧力の変化によって熔融粘度特性を変化させるだけでなく、樹脂の分子量に依存した傾向（分子量が高いほど T_m は高い）を示し、主鎖にアミド基やベンゼン環を導入すると T_m は高くなる特性も示します。その一方、強化グレードやエラストマー改質グレードでは強化材・改質材の含有率などの影響や難燃化の影響を受けることから、必ずしも分子量に相関した流動性とならない場合があります。

図 1-3 非晶性樹脂と結晶性樹脂の溶融挙動

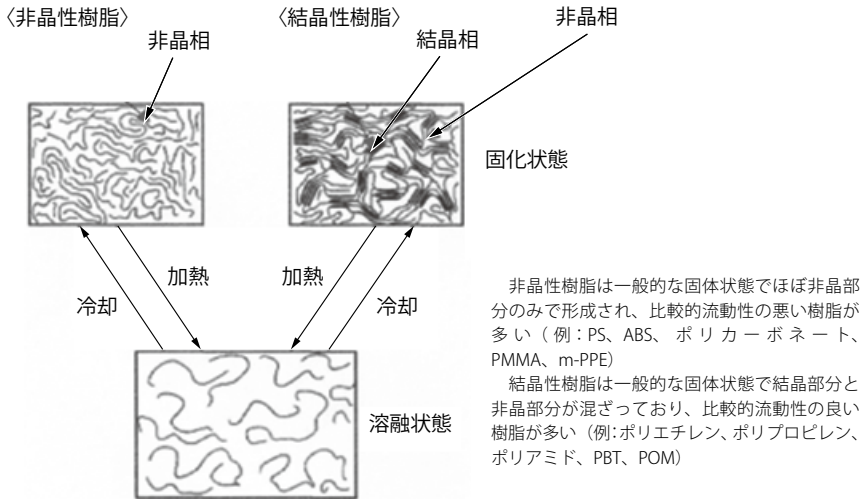


表 1-2 融点・ガラス転移点の目安

分類	樹脂名	結晶融点Tm (°C)	ガラス転移点Tg (°C)
非晶性	PVC		80
	PS		90
	ABS		120
	PMMA	—	100
	PC		145
	PSU		190
結晶性	PE	141	-125
	PP	180	0
	PA6	225	50
	PA66	265	50
	POM	180	-50
	PPS	290	88
	PEEK	343	143

注：上記の値は測定例であり、測定法・条件によって異なる値がある

要点 ノート

プラスチック材料には結晶性樹脂と非晶性樹脂があり、それぞれの特性を理解した溶融条件を設定すべきです。結晶性樹脂はTmから溶融し、非晶性樹脂はTgから徐々に溶融を始めます。

溶かす（流す）③ 樹脂の流動性データとその測定法

熱可塑性樹脂の溶融時の流動性を表す方法に、メルトマスフローレート（MFR）とメルトボリュームレート（MVR）があります。ともにヒーターで加熱されたシリンダー内で溶融した樹脂を、定められた温度と荷重（条件：通常最大21.6 kgまでの錘）の下、ピストンによりシリンダー底部に設置された規定の開口部（オリフィス：内径2.095 mm、長さ8 mm）から押し出される樹脂量で評価します。

値はそれぞれ $\text{g}/10 \text{ min}$ （MFR）と $\text{g}/10 \text{ cm}^3$ （MVR）の単位で表され、結果には必ず試験条件（温度等）を明記しなくてはなりません。なお、MI（Melt Index）はMFRと同意語で、ポリオレフィンで使用されていた名称です。

1 2つの樹脂流動性測定法

① A法

ある一定時間（例：60秒）で切り取り、押し出された樹脂量の質量を測定し、次の計算式によりMFRを求めます。

$$\text{MFR} (\text{g}/10 \text{ min}) = 600 \times m/t$$

MFR：メルトマスフローレート（ $\text{g}/10 \text{ min}$ ）

m：切り取り片の平均質量（g）

t：試料の切り取り時間間隔（60s）

600：10 min（60s × 10）

② B法

ピストンが所定の距離を移動する時間を、エンコーダーを用いて測定し、次の計算式でMVRおよびMFRを求めます。溶融密度の測定も行われ、関連するMFRを計算するために用いられます。

$$\text{MVR} (\text{g}/10 \text{ cm}^3) = 427 \times L/t$$

$$\text{MFR} (\text{g}/10 \text{ min}) = 427 \times L \times \rho/t = 600 \times m/t$$

MVR：メルトボリュームレート（ $\text{g}/10 \text{ cm}^3$ ）

L：所定のピストンの移動距離（cm）

t：測定時間の平均値（s）

427：ピストンとシリンダーの平均断面積 $0.711 (\text{cm}^2) \times 600$