

1. 成形機

コピタルの成形機はインラインスクリータイプが最も一般的である。

1.1 射出容量からの成形機選定

成形機の射出容量 $Q(\text{gr})$ は一般に、スプルー、ランナーの重量を含んだ1ショット重量 $W(\text{gr})$ が以下の範囲で成形するのが望ましい。

$$Q = (1.3 \sim 1.5) \times W$$

射出容量が小さすぎる場合は可塑化が間に合わず、コピタルが十分に可塑化されないうちにスクリー先端に送られるため、成形品として本来の物性が得られないことがある。逆に、射出容量が大きすぎる場合はシリンダー内での滞留時間が長くなり、樹脂の分解を起こし易くなる。

1.2 型締圧力からの成形機選定

コピタルを成形する場合、トグル式、直圧式のいずれでも良い。
成形品投影面積 $A(\text{cm}^2)$ と所要型締力 $P(\text{トン})$ の関係は、次式で表される範囲が望ましい。

$$P = (0.5 \sim 0.7) \times A$$

1.3 ノズル構造

コピタルの成形には、オープンノズルが一般的である。
市販射出成形機に有するノズルは、図-1.3-1に示す通り、(A)オープンノズル、(B)シャットオフノズル等があるが、何れの場合にも温度制御付きであることが必要である。



図-1.3-1 成形機ノズル

ノズルからの鼻タレ(ドルーリング)を懸念する場合には、シャットオフノズルを用いると良い。ただし、スライド部分にコピタルが滞留して、シルバーストリークや焼けの発生原因となることがあるので注意を要する。

1.4 射出機構について

コピタルを成形するには、『1速、2圧』(射出速度一定、射出圧力2段制御)という基本的な機能の成形機で充分であるが、寸法、外観、成形性(流動性、離型性)など厳しい製品を成形するに際しては、射出速度や射出圧力をコントロールできるプログラム制御を有したものが効果的である。

1.5 逆流防止リングについて

コピタルの成形においては、その熔融粘度が比較的低いのでスクリーには逆流防止リングが不可欠である。

この逆流防止リングが摩耗や腐食等により損傷していると、射出(保圧)時にシリンダー内の樹脂がホッパー側に逆流して、クッション量が保てず、後述する射出圧力(保持圧力)がキャピティに有効にかからない場合がある。このような場合、良好な成形品は得られないので、保守・管理面では成形時のクッション量とその安定性には常に注意する必要がある。

逆流防止リングは特別な耐食・耐摩耗の鋼種を必要としないが、ガラス繊維、炭素繊維充填グレード等フィラーを充填したものや、腐食性ガスを発生する他樹脂を並行して成形する場合には、耐食・耐摩耗の鋼種の使用が望ましい。

1.6 周辺機器

1.6.1 材料乾燥

ユピタルは材料の予備乾燥なしでも成形可能であるが、モールドデポジットの低減や表面外観を重視する場合などには80～90℃で3～4時間の材料乾燥が望ましい。特に、各種充填剤を添加した複合系ユピタルにおいては、充填剤の吸湿がその物性や外観に影響する場合があります、予備乾燥の励行が必要である。

乾燥は、一般に棚段式乾燥機やホッパードライヤーで充分であり、特に脱湿型の乾燥機を必要としない。

1.6.2 金型温度調節

ユピタルの金型温度調節は、安定した寸法、物性の成形品を得るために、成形時に樹脂が金型内へ持ち込む熱量を速やかに除去して、金型温度を一定に保つ能力が必要である。金型温度調節システムとしては、表-1.6-1に示す方法がある。

表-1.6-1 金型温度調節システム

方式	ポリアセタルに対する適応
温水循環式	ポリアセタルに最も一般的に用いられている。 長期間使用後の流路内のスケール除去に注意。
加圧温水循環式	金型温度90℃以上の場合に用いられる。
加熱油循環式	金型温度90℃以上の場合に用いられる。
ヒーター加熱	金型温度の上がり過ぎを防止できないので不適。 補助加熱用に用いることあり。
チラー	コア、その他金型の局所的な過熱防止に効果あり。

どのシステムを選ぶかは製品の要求品質、作業性、金型設計との関係などを配慮して選定すれば良いが、ヒーター加熱は一般に適さない。

1.6.3 局所排気設備

ユピタルは熱安定性の優れた樹脂であり、通常の成形条件では心配ないが、条件によっては熱分解によりホルムアルデヒドを発生する。

ホルムアルデヒドは目、鼻、のどなどに対し強い刺激性を有するガスであり、その発散は刺激臭で判る。この臭いは個人差はあるものの、一般的には0.2～0.3ppmで感じると言われている。

作業環境濃度については、米国産業衛生専門会議や日本産業衛生学会が「1ppm以下」を勧告している。従い成形機周辺などの作業場のホルムアルデヒド濃度は「1ppm以下」を守り、更に出来るだけ低くする方向で管理することが望ましい。

このため、成形工場には局所または全体換気設備の設置等の検討が必要である。

また、濃度測定には、ホルムアルデヒド用の検知管が使用できる。

2. 成形条件

2.1 予備乾燥

標準グレードの乾燥温度、乾燥時間と吸水率の関係を図-2.1-1に示す。ユピタルは吸水率が小さく、開封直後であれば予備乾燥なしに成形可能であるが、モールドデポジットの低減や表面外観を重視する場合には、80～90℃、3～4時間の予備乾燥が望ましい。

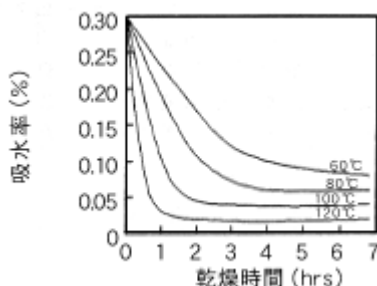


図-2.1-1 乾燥時間と吸水率の関係

2.2 樹脂温度

表-2.2-1にユピタルの代表的なグレードの標準的シリンダー設定温度を示す。

ユピタルの流動性は樹脂温度の依存が低いため、樹脂温度を上げても流動長は期待ほど伸びず、逆に熱分解を誘発してモールドデポジットの増加やシルバーストリークの発生をまねく恐れがある。

逆に、樹脂温度が低すぎる場合には、ユピタルの結晶が可塑化溶解しないうちに射出され、成形品の十分な物性が得られないこともあるので最低でも160～170℃の設定温度が必要である。

表-2.2-1 ユピタル各グレードの標準的成形条件(単位: ℃)

グレード	ノズル	シリンダ前部	シリンダ中部	シリンダ後部
標準グレード	180～210	190	180	170
耐候グレード		190	180	170
FG,MF,FB		200	190	180
FC		200	190	180
FT		190	180	170
FL,FW		190	180	170
LO,FX		190	180	170
FA		190	175	170
FS		190	180	170
FU		190	180	170
ET		190	180	170
TC		190	180	170

・FS：スクリュウ回転数は遅く ・設定上限温度 220

・FU：金型温度 40℃以下 ・設定下限温度 160

・ET：射出速度は低速 ・ノズル温度 ノズル閉塞～鼻垂れしない範囲で調整

2.3 射出圧力

射出圧力は、充填圧力と保持圧力とに分けて考えられる。

充填圧力は、一般的には保持圧力より大きく設定する。

保持圧力は、ユピタルのような結晶性樹脂の場合、冷却固化時に大きな収縮が起きるので、充填補充のため不可欠で成形収縮に大きく影響を及ぼす要因である。

保持圧力を増加させることは、ヒケやポイドの解消に有効であるが、増加しすぎると、バリを生じることがあり注意を要する。

2.4 射出速度

薄肉成形品や多数個取りキャビティーで寸法精度の厳しい成形品では、射出速度は速い方が良い。逆に、肉厚の厚い成形品では、射出速度は遅い方が良い。
また、ジェットング、フローマークの解消には、射出速度のプログラムコントロールが有用である。

2.5 金型温度

ユピタルの金型温度は、60～80 が一般に適しており、成形条件の中では重要なポイントである。
ハイサイクル成形を目的にチラー等により金型温度20～30 近傍で成形することも可能であるが、成形品に残留歪みによる変形を生じたり、使用環境(高温雰囲気)によっては後収縮による寸法変化の危険があり注意を要する。
高温雰囲気下の寸法安定性や表面光沢が必要な場合は、金型温度を120 まで上げると効果的である。

2.6 成形サイクル

2.6.1 成形サイクルの構成

成形サイクルの一般的な構成は以下の通りである。

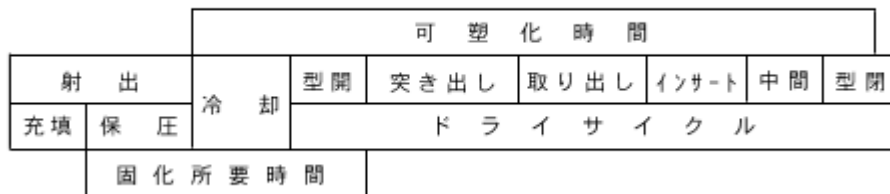


図-2.6-1 成形サイクル構成図

成形サイクル 充填時間+固化所要時間+ドライサイクル時間

2.6.2 射出時間(充填時間、保圧時間)

成形機により設定の仕方は種々あるが、以下のように考える。

射出時間(充填時間+保圧時間) > ゲートシール時間

ゲートシール時間とはゲート部の樹脂が固化流動停止する時間で、図-2.6-2に示すように、射出時間を長くしたとき、成形品重量が一定となる位置の射出時間ととらえることができる。

ゲートシールする前に保圧をきると、熔融したユピタルがゲートから逆流し、寸法や物性のばらつきが大きくなる。反り、ヒケやボイドの原因はこれによることが多い。

ゲートシール時間を判定するには、射出時間を変化させた成形品重量を測定すれば簡単に測定できる。

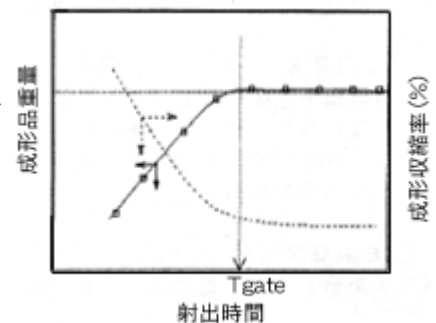


図-2.6-2 ゲートシール時間

2.6.3 可塑化時間

必要な最短冷却時間より可塑化時間の方が長くなると、成形サイクルはそれだけ長くなる。このような場合には、スクリー回転数を上げたり、可塑化容量の大きい成形機を用いて、可塑化時間を短縮すると良い。
また、成形機によっては複合動作によって型開き以降でも可塑化できる方式のものもある。

2.6.4 冷却時間

固化所要時間は、保圧時間完了後ユピタールが固化し、成形品が変形することなく突き出せる最短時間のことである。当然、冷却時間は成形品肉厚や抜き勾配、突き出し方式や位置、保持圧力、金型温度などによって左右される。

図-2.6-3に、ユピタールの成形品肉厚と金型温度との固化所要時間をコンピューターを利用して算出した結果を示す。

同図より、成形サイクルの律速となる成形品最肉厚部の固化所要時間を求めることで、成形サイクル中の固化所要時間を推定することが出来る。

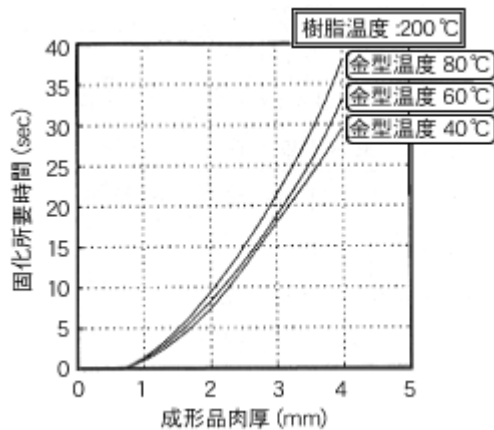


図-2.6-3 成形品肉厚と固化所要時間
(標準グレード)

2.6.5 ドライサイクル

ドライサイクルとは、金型の開閉時間、製品の突き出し時間、取り出し時間及び中間時間(待機時間)等のメカニカルな時間をトータルしたものである。これらの時間は成形機種種、製品の形状及び金型方式、構造により支配されるものであり、各成形の条件により異なる。

2.7 成形作業の開始及び終了、作業中断、及び材料交換

2.7.1 材料交換

加熱筒中の材料をユピタールから他の材料(ユピタールの成形温度で熱分解するおそれのある材料、ユピタールを分解させる可能性のある材料、あるいは成形温度が大きく異なる材料)に交換する場合、また、その逆の場合には、中間に成形温度幅の広いポリエチレンまたは、ポリスチレンをはさむことが望ましい。

2.7.2 作業中断・分解清掃

作業中断時は、加熱筒温度を150 以下として保持することが安全上、また、炭化物の混入などを防ぐ上で望ましい。

また、長期間に渡る作業停止の際は他樹脂と置換しておくことが必要で、置換材料としてはポリエチレンまたは、ポリスチレンが良い。

加熱筒内には長時間の成形作業中に分解樹脂層が形成され、徐々に炭化していく。この加熱筒内の炭化層は次第に厚くなり分解が進むと成形品に混入してくるため、時には分解清掃をすることが望ましい。

2.8 安全上の注意

ユピタールを230 以上の高温に加熱したり、200 以上の成形機シリンダー中に長時間、滞留させることは避けるべきである。ユピタールも、他のポリアセタールと同様に融点以上の高温に長時間放置しておく、部分的な分解が起こって、ホルムアルデヒドを遊離する。したがって、成形現場には、標準的な換気装置を設けることが必要である。もし誤って、ユピタールを過熱しすぎた場合には、シリンダー設定温度を下げると共に、パージし、過熱したユピタールを水槽に直接入れて、作業環境の雰囲気にはガスが拡散しないように努める処理が必要とされる。

3. 成形品品質

3.1 寸法精度(公差)

ユピタルの一般的な寸法公差としてはSPIの寸法公差表が参考になる。SPIの寸法公差表を図-3.1-1に示す。多数個取りの場合は一個取りに比べて寸法ばらつきは大きくなるので注意が必要である。

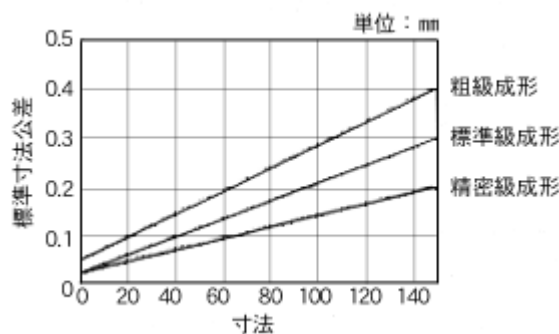


図-3.1-1 ユピタルの寸法公差

3.2 安定成形性

安定した寸法の成形品を得るには適正な成形条件を設定することはもちろんであるが、結晶性樹脂のユピタルの場合、特に温度の安定に注意が必要である。ここでの温度とは金型温度、樹脂温度のみならず成形機の作動油温度、成形環境温度も含んでいる。

ユピタルは金型温度などによっても異なるが、成形直後より成形収縮し安定するまでに約48時間以上必要である。成形直後に寸法が公差範囲にあるか否かを判定したい場合、予備実験として成形条件を変化させた成形品の寸法と重量の関係を求めておけば、成形直後の成形品の重量を測定することで寸法を簡易的に管理することも可能である。

3.3 成形不良対策

ユピタルの成形不良において現れる成形不良現象の原因と対策は表-3.3-1に示す。

表-3.3-1(1) 不良現象の原因および対策

不良現象	原因	対策
銀条 (シルバーストリーク)	<ul style="list-style-type: none"> ・ペレット中の水分 ・計量可塑化時の空気の巻き込み ・樹脂の過熱分解(シリンダまたはノズルの局所の過熱もしくは滞留部分がある) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ペレットの乾燥(80～90℃、3～4時間) ・背圧を高め可塑化時に脱気効果を高める ・過熱部分の温度を下げる ・滞留部の清掃または滞留部のない部品と交換
変色または焼け	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂の過熱分解 ・滞留時間の長過ぎ ・ペレットにより巻き込まれた空気 	<ul style="list-style-type: none"> ・シリンダー、ノズルの滞留部、嵌合部の点検 ・シリンダー温度の適正化 ・適正射出容量の成形機の使用 ・背圧を高め脱気効果を高める
局所的な変色または焼け	<ul style="list-style-type: none"> ・金型内空気の脱気不十分により断熱圧縮により発熱 	<ul style="list-style-type: none"> ・金型にエアイベントを設ける ・射出速度の低下
汚点	<ul style="list-style-type: none"> ・異物または他樹脂の混入 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホッパー、シリンダ、ノズルの清掃 ・樹脂の貯蔵、ホッパー仕込に際し注意
暗褐色ないし黒色の点または小片の混入	<ul style="list-style-type: none"> ・シリンダ内壁に徐々に形成された分解樹脂皮膜の剥離 	<ul style="list-style-type: none"> ・成形前のシリンダパージ清掃の強化
表面のヒケまたは内部の気泡(ボイド)	<ul style="list-style-type: none"> ・溶融樹脂固化の際の収縮が保圧により充分補われていない ・材料供給不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・保持圧力を高くする ・保圧時間を長くする(ゲートシール時間以上) ・ノズルの閉塞を避ける ・肉厚をできるだけ薄くする ・ゲート厚みを厚くする ・ゲートを肉厚部分に設ける ・クッション量の確認
バリ	<ul style="list-style-type: none"> ・型締力の不足 ・射出圧力の高すぎ ・射出速度の速すぎ ・金型の摩耗 ・樹脂の溶融粘度の低すぎ 	<ul style="list-style-type: none"> ・型締力の増加 ・射出圧力、保持圧力の低減 ・射出速度の低下 ・金型の修理または更新 ・高粘度樹脂への変更

表-3.3-1(2) 成形不良現象の原因および対策

不良現象	原因	対策
離型不良または離型時の際の変形	<ul style="list-style-type: none"> ・高い離型力が必要 ・金型と成形品の間が減圧になる ・離型力が成形品と金型の密着部分に作用していない ・成形品が離型の際に充分冷却していない 	<ul style="list-style-type: none"> ・射出圧力の低減 ・抜きテーパをつける ・金型の磨きを良くする ・金型に減圧を破る装置を設ける ・型開速度を十分に遅くする ・突き出しピンを増加する ・金型温度を低くする ・冷却時間を長くする
充填不足	<ul style="list-style-type: none"> ・シリンダー温度の低すぎ ・ランナーの固化の速すぎ ・金型温度の低すぎ ・各キャピティの充填が不均一 ・溶融樹脂供給量が不足 ・金型内の脱気不良 	<ul style="list-style-type: none"> ・シリンダー温度上昇 ・ランナーサイズの拡大 ・金型温度の上昇 ・流路の変更、ゲートバランス等を検討 ・可塑化計量の増加 ・金型内の脱気効果の向上(ガスベント等)
縁辺部の円弧状縞模様およびあばた模様	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂温度が低い ・金型温度が低い ・射出圧力、保持圧力が低い ・射出速度が遅い ・樹脂の流動性の不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂温度の上昇、ノズル温度の上昇 ・金型温度の上昇 ・射出圧力、保持圧力の上昇 ・射出速度の向上 ・樹脂の流動性の向上
フローマーク(ジェットイング、ゲート近傍のくもり)	<ul style="list-style-type: none"> ・射出された樹脂が金型にて冷却されて固化した部分が溶融樹脂に再度押し流されることによる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ゲートの拡大 ・射出速度の低下 ・ゲート位置の変更 ・金型温度、樹脂温度の上昇 ・樹脂の流動性の向上
マターフレック	<ul style="list-style-type: none"> ・溶融樹脂の流れが不適當 ・成形品断面面積の急激な変化 ・シャープコーナーでの樹脂の流れが不適當 	<ul style="list-style-type: none"> ・断面積の変化は階段状でなくスムーズに行う ・シャープコーナーに丸みをつける
ウェルドマーク	<ul style="list-style-type: none"> ・溶融樹脂が流動先端で合流する時に発生 ・金型内空気の排気不良にて助長 	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂温度、金型温度を高くし高速射出する ・ゲートを拡大する ・金型にガスベントを設ける

表-3.3-1(3) 成形不良現象の原因および対策

不良現象	原因	対策
ゲート近傍のしわ	<ul style="list-style-type: none"> ・保圧がかかるまでに樹脂が冷却してしまい充填時の模様が凍結される 	<ul style="list-style-type: none"> ・ゲートを拡大する ・適正な射出速度を検討する
そり・変形	<ul style="list-style-type: none"> ・溶融樹脂の収縮の不均一 ・成形品肉厚の不均一 ・金型温度の不均一 ・金型内圧の不均一 ・成形収縮率の異方性 	<ul style="list-style-type: none"> ・射出圧力、保持圧力を増加 ・金型温度が均一となるように配慮(冷却溝の数、配置) ・成形品肉厚の均一化、デザインの対称化 ・適正な射出速度の検討 ・金型内での拘束時間の延長 ・ゲート位置の配慮、ゲート断面面積の拡大

4. 熱安定性

4.1 熱分析

プラスチックの熱安定性の評価方法として、高温溶融状態におけるポリマーの熱分解にともなう重量減少の挙動を調べるTGA(Thermogravimetric Analysis)法がある。

図-4.1-1に示すTGAによる重量減少曲線より、ユピタールが熱安定性に優れていることが判る。

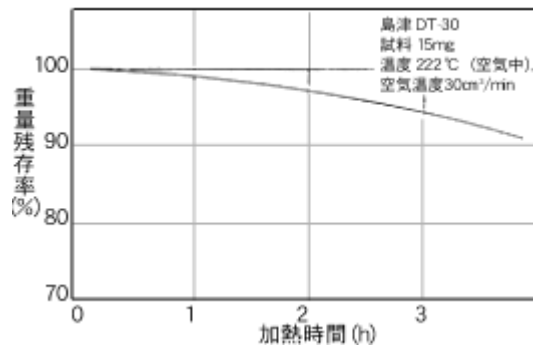


図-4.1-1 TGAによる重量減少特性(標準グレード)

4.2 滞留変色

ユピタールの成形機内滞留の変色特性曲線を図-4.2-1に示す。これは樹脂温度190℃にて定常成形した場合を基準として、 $E=2.0$ となる場合の樹脂温度と滞留時間との関係を示した。

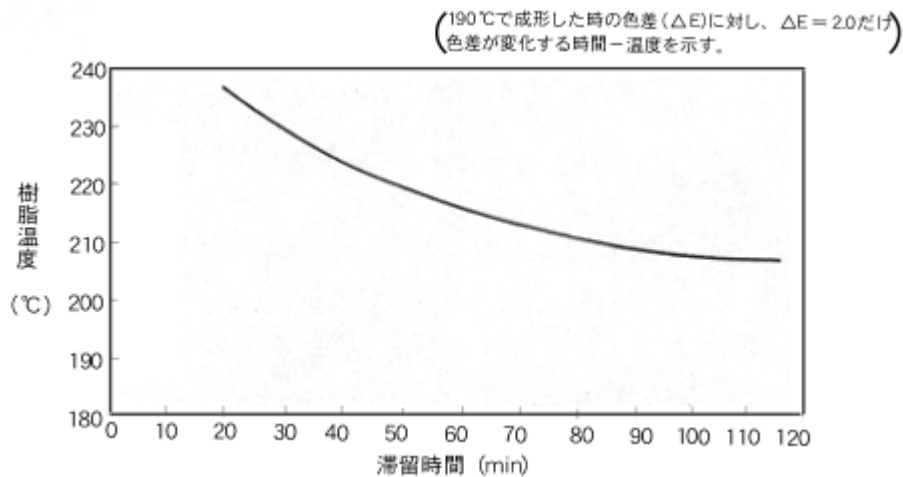


図-4.2-1 成形機内滞留変色特性曲線(F20-03)

4.3 再生特性

ユピタルは、その優れた熱安定性より成形時の再生使用は基本的に可能である。ユピタル標準グレードの再生率100%、50%、30%の場合の強度、成形収縮率および色の变化を図-4.3-1~図-4.3-4に示す。

再生率100%で10回繰り返しても物性の劣化はほとんど見られないが、色調や成形収縮率は若干変化する。50%以下の再生利用においては強度、成形収縮率、色相共に変化はみられず、バージン材と同等の性能を保持できると考えられる。

しかし、再生使用においては異物の混入等の危険が考えられるので十分な注意が必要である。また、フィルター充填グレードでは繊維の破碎により機械的性質等が大幅に低下することから再生使用はすすめられない。

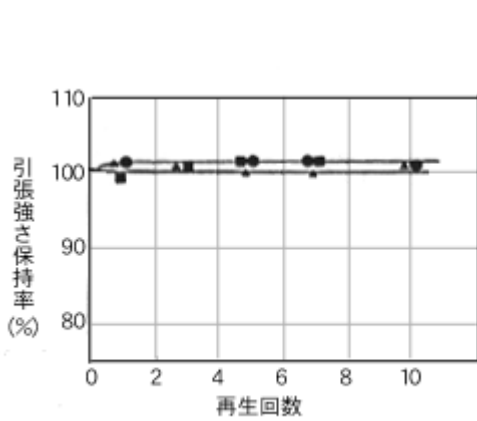


図-4.3-1 引張強さの変化

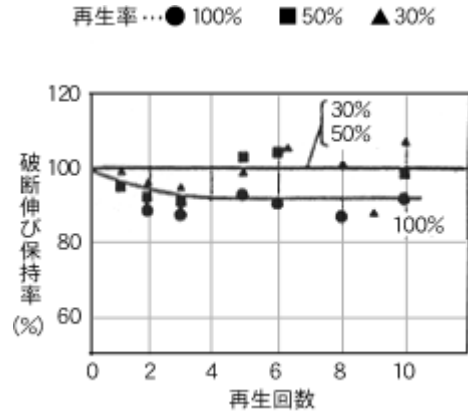


図-4.3-2 破断伸びの変化

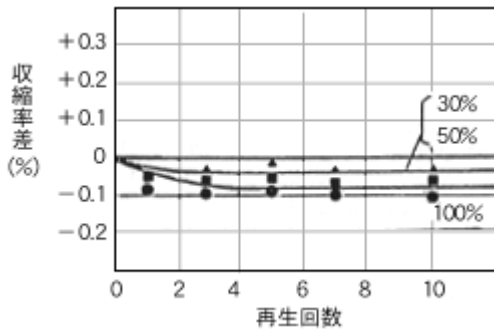


図-4.3-3 成形収縮率の変化

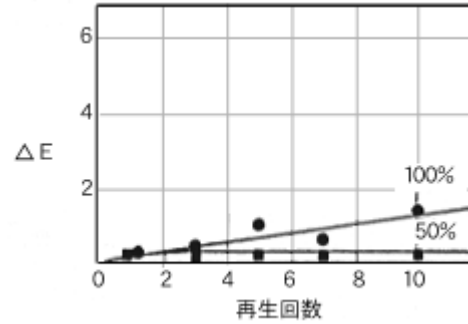


図-4.3-4 色の变化

4.4 モールドデポジット

モールド・デポジット(以下MD)とは、成形において金型に付着した汚染物質のことをいう。ポリアセタール(以下POM)樹脂の場合、MDの付着が進行すると、寸法精度が得られない。離型が悪くなる、また、表面外観も悪くなるといった現象を生じる。

4.4.1 MDの生成要因

MDとしては次のような原因がある。

- (1) POMに添加された物質のブリードアウトが金型に付着する。
- (2) ホルムアルデヒド[HCHO]ガスが金型表面で再重合し、パラホルムアルデヒド[HO(CH₂O)_nH]を生成する。

4.4.2 成形条件とMDの生成傾向

MDの生成と成形条件には以下のような傾向があり、これらをふまえての条件設定が望ましい。

(1) 樹脂温度

低い方が、MDの生成は少ない。

表-4.4-1 成形条件による影響(MD測定用金型) : F20-03

	固形分	ガス分	合計	
成形条件.1	10	90	100	成形条件.1の合計を100とした相対値 (成形機 IS90B)
成形条件.2	4	36	40	
	シリンダー温度		射出速度	
成形条件.1	230		85%	
成形条件.2	195		50%	

(2) 射出速度

過度に速くしない。(過度に射出速度が速い場合、キャビティ内の空気の排出が間に合わず、断熱圧縮を起こしMDの生成を促進する)

(3) 樹脂のシリンダー内滞留

短い方がMDの生成は少ない。成形機容量は製品重量とのアンバランスを避け、樹脂のシリンダー内の材料の滞留を避ける。

(4) 金型温度

高い方がMDの生成は少ない。

表-4.4-2 金型温度による影響(ギア型MD評価型) : F20-03 未乾燥

	MD発生SHOT数
金型温度25	400より
金型温度90	1400 OK

シリンダー温度:230 射出速度:85%

(5) 樹脂の乾燥

水分があるとMDの生成を促進するため、樹脂の乾燥は充分に行なう。

表-4.4-3 予備乾燥の影響 : F20-02

成形により生ずるホルムアルデヒドガス及びパラホルムアルデヒド

	固形物 パラホルムアルデヒド	ガス分 ホルムアルデヒドガス	合計
乾燥無し (吸着水分量 約0.4%)	65	53	118
乾燥有り (吸着水分量 約0.0%)	15	85	100

(乾燥有り 合計を100とした相対値)

4.4.3 MDの除去及び金型保管上の注意点

(1) 金型の掃除を頻繁に行なう。

- ・MDがわずかについた状態なら布で拭くだけで除去できる。

(2) MDが付着した状態で金型を放置しない。

- ・特に梅雨から秋雨にかけての高温多湿な時期にサビ発生の原因となる。

(3) MDが付着した場合

- ・過度についた場合は金型を傷つけない素材、例えば竹べら、銅、真鍮などで落とす。
- ・金属磨き剤も効果有り。
- ・MD除去剤の利用

(4) MD除去剤について

MDの着き始めに成形時金型にスプレーすることにより、MDの付着を抑える。過度にMDが固着した場合には、除去効果は低いと考えられる。

5. 製品・金型設計

5.1 製品設計

成形品の設計は、目的とする製品の要求性能をよりよく満足するために行われるものであり、材料の実用物性、成形性、流動特性及び金型設計縫えの条件を総合的に判断して行う必要がある。成形品設計における基本事項は以下に示すものが挙げられる。

(1) 肉厚が均一で急激な肉厚の変化がないこと (図-5.1-1)

成形品の肉厚の不均一や肉厚の急激な変化は樹脂の流れを阻害し、フローマークの発生や、成形収縮率の不均一により成形品にソリが生じたり、冷却速度の不均一により成形品に変形や、歪みが生じる。

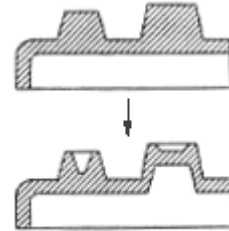


図-5.1-1

(2) アンダーカットのないこと (図-5.1-2)

成形品にアンダーカットがあると離型が問題になり、離型のためスライドコア等を設けることで、金型構成が複雑になり金型のコストアップになる。

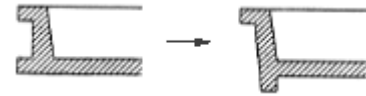


図-5.1-2

(3) シャープコーナーがないこと (図-5.1-3)

シャープコーナーは成形時の樹脂の流れを阻害し、フローマークの発生の原因となる。また、強度的にはノッチ効果の発生、残留歪みの発生など強度低下の原因となり易い。

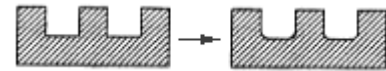


図-5.1-3

(4) 抜き勾配を考慮する (図-5.1-4)

コピタルは金型との摺動性も良い材料ではあるが、抜き勾配が充分でないと離型時の抵抗が大きくなりエジェクターピン等により成形品が変形することがあるので、とり得る範囲でできるだけ大きくとる方が良い。



図-5.1-4

(5) 肉厚は必要以上に厚くない (図-5.1-5)

成形品の肉厚が厚肉であるとヒケやポイドといった不良現象を生じる。また、冷却に時間がかかり成形サイクルが長くなる不具合が生じる。機能上必要な場合は肉盗み等を設けて均一となるように配慮する。

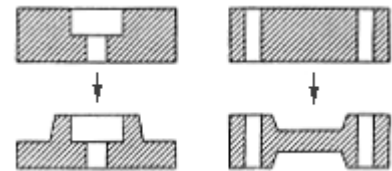


図-5.1-5

(6) リブの厚みは必要以上に厚くない (図-5.1-6)

強度的にある部分の肉厚を盗めない場合はリブを付けることにより肉厚の均一化を図ると良い。

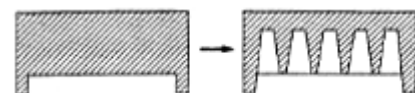


図-5.1-6

(7) 成形品形状は丈夫なものとなるようにする。(図-5.1-7)

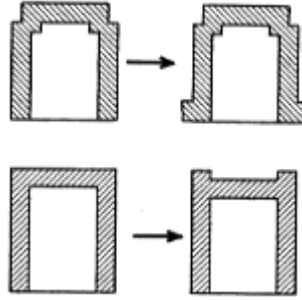


図-5.1-7

(8) 円筒状成形品は径と長さの比を大きくしない

細長いコアピンは成形時の樹脂圧力により倒れ、または折れ等の問題をおこす場合がある。また、成形時にはコアピン中央部の温度が端部に比べて高くなるので内径寸法のばらつきが大きくなったり、成形サイクルが短い場合には樹脂内圧にて内径側のスキン層が破れてしまうこともある。

(9) 金型の作り易さを考慮する

金型の加工や仕上げのし易さを考慮した形状とする。

(10) 組立や二次加工を考慮したデザインとする

(11) ゲートの位置や方向を配慮する(図-5.1-8)

ウェルドの位置や樹脂の配向を考慮しゲート位置やゲート点数を決定する。

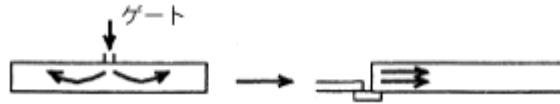


図-5.1-8

5.2 金型設計

射出成形用金型は、成形品の生産性、品質性能を決定する重要な機能を有するものであり、成形品の形状、取り数等要求される特性を発揮しうよう設計しなければならない。

5.2.1 キャビティ

金型の加熱・冷却は特に重要であり温度コントロール及び温度分布を良くするためにいくつかのパートに分けて加熱・冷却媒体を通す必要がある。成形品はキャビティを転写してつくられる物であるから良く磨く必要がある。突き出し機構は一般合成樹脂と同じでよい。

5.2.2 構成

キャビティが多数個取りの場合、寸法ばらつきが大きくなるので、多数個取りキャビティの同時充填のためのランナー設計が重要である。

キャビティ形状の違った品物を同時に成形するファミリー取りは基本的には薦められない。

キャビティの配置は重力の影響を受ける場合も考えられ、2個取りの場合であれば上下より左右の配置を選択すべきである。特に厚肉成形品の場合下方のキャビティの充填に際し樹脂が重力の影響を大きく受けてゲート通過後、キャビティ下方まで垂れてしまい、あたかもジェティングの様を呈することがある。

多数個取りの場合、図-5.2-1の(A)の配置より、(B)または(C)のごとく、各ランナーの長さが等しくなるように配置してバランスをとることが望ましい。

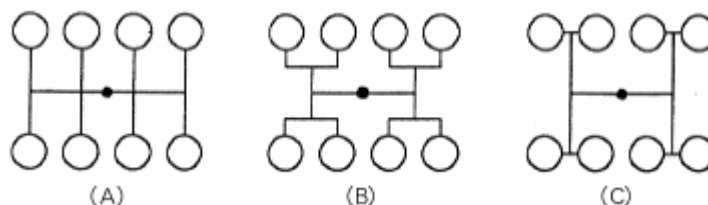


図-5.2-1 ランナー配置

5.2.3 各部構成

(1) スプルー・ランナー

スプルーは一般的な勾配でよいが離型方向にアンダーカットになるような傷や段差が無いようにするべきである。ランナー断面形状を図-5.2-2に示す。基本的には何れの形状でも良い。

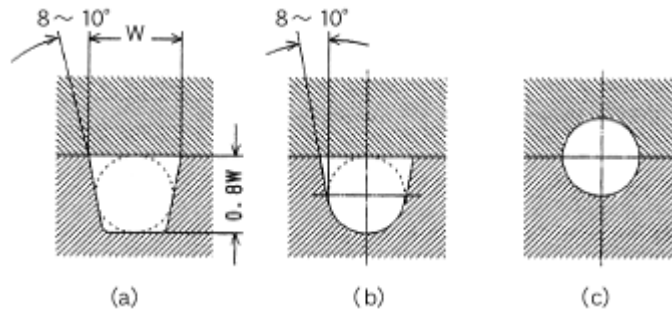


図-5.2-2 ランナー断面形状

スプルー基部やランナーの曲がり部においてはキャビティ内への冷却樹脂の流入を防ぐ為のコールドスラグウェルを設けるべきである。

ホットランナーは種々のタイプのものが市販されているが、樹脂の滞留が問題となることが多いので各々の特長を良く理解した上で導入するのが望ましい。特に、小物成形品の場合にはホットランナー内の樹脂の滞留に注意が必要である。

(2) ゲート

ゲートの選定は成形品の形状、取り数、性能、外観、経済性、成形性等を考慮にいれ決定することが必要である。ゲートには様々な種類がある。

(a) ダイレクトスプルーゲート (図-5.2-3)

1ヶ取りする場合や成形品の底部に直接ゲートを付けたい場合に利用される。射出圧力が直接成形品に加わるので、残留歪が発生し易いが、金型構造は最も簡単である。

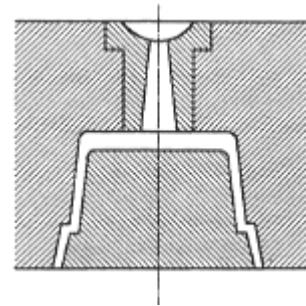


図-5.2-3 ダイレクトスプルーゲート

(b) サイドゲート (図-5.2-4)

最も一般的に採用されるもので成形品の側面に取り付けられる矩形、半円型ゲートであり、多数個取り金型に良く利用される。

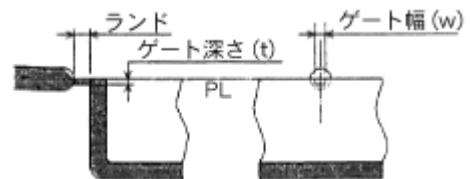


図-5.2-4 サイドゲート

(c) ファンゲート (図-5.2-5)

サイドゲートの構造と似ているが、ゲート幅が大きく扇状となり、大型成形品に用いられる。

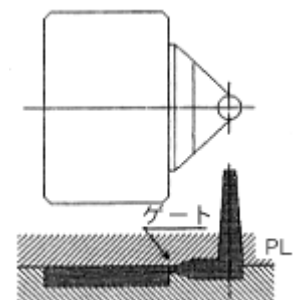


図-5.2-5 ファンゲート

(d) **ピンポイントゲート (図-5.2-6)**

ピンポイントゲートの径は0.5~2mm程度である。一般に後仕上げの必要がない。成形に際してはゲートシールが速く、成形品に残留歪を与えるほど圧力が直接伝達しない。ゲート断面積が小さいと流れ距離が減少し、ゲート近傍にフローマークが出易い。

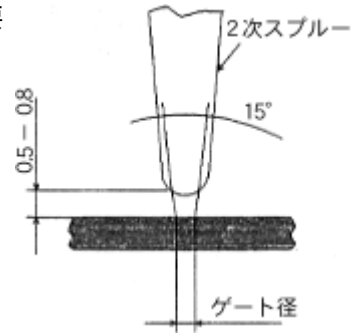


図-5.2-6 ピンポイントゲート

(e) **ディスクゲート (図-5.2-7)**

円板状や円筒状のものを成形する場合に偏心やウェルドの発生を防ぐために利用される。ゲート部の後仕上げに難がある。

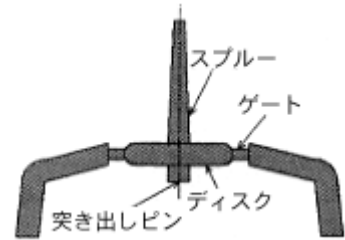


図-5.2-7 ディスクゲート

(f) **リングゲート (図-5.2-8)**

ディスクゲートと同様な使い方をするが、リング部がまず充填され、その後、円筒部が充填されるようなリングゲート形状を考慮しないとウェルドが発生する。

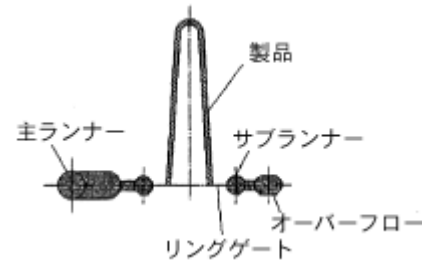


図-5.2-8 リングゲート

(g) **フィルムゲート (図-5.2-9)**

平板状の成形品に適用される。残留歪を抑え変形を防止するために有効である。

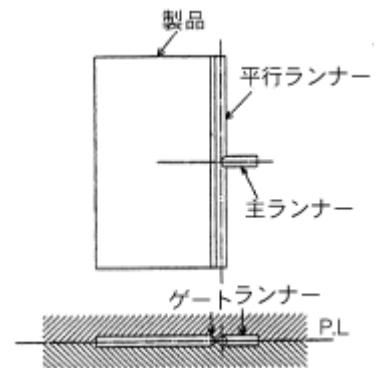


図-5.2-9 フィルムゲート

(h) **タブゲート (図-5.2-10)**

成形品側面にダブを設け、そのダブにゲートを設ける方法である。ゲートはタブに直角に接するのが普通である。ゲートシールはゲートでおこり、残留歪、フローマーク等はタブ内に抑えることが可能である。

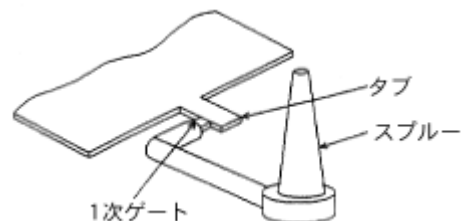


図-5.2-10 タブゲート

(i) サブマリゲート (図-5.2-11)

このゲートはランナー部がパーティングライン面にあるがゲートはランナー部より固定型板、または、移動型板の中を通って成形品の側面に達する。ゲートは型開き後成形品を離型する際に自動的に切断される。

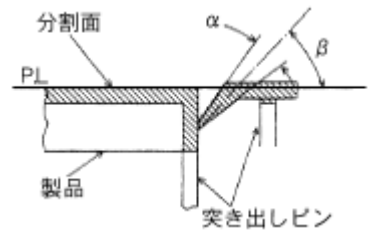


図-5.2-11 サブマリゲート

(3) 肉厚変化 (図-5.2-12)

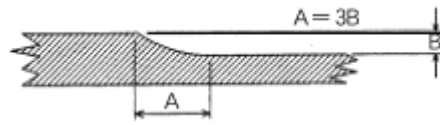


図-5.2-12 肉厚変化

(4) 抜き勾配 (図-5.2-13)

成形品の抜き勾配は通常 $0.5 \sim 1^\circ$ あれば良い。

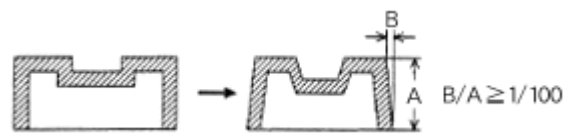


図-5.2-13 抜き勾配

格子の場合はさらに大きな抜き勾配が必要である。(図-5.2-14)

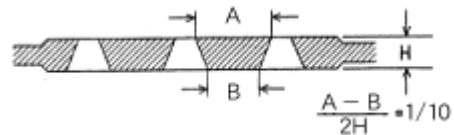


図-5.2-14 格子

(5) アンダーカット (図-5.2-15)

成形品のアンダーカットは原則としては勧められないが、設けざるを得ない場合は直径の2.5%以下とする。

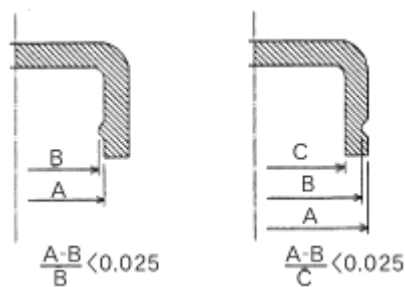


図-5.2-15 アンダーカット

(6) コーナーR (図-5.2-16)

コーナーRとしてはできれば 1mmR 以上となるように配慮したい。

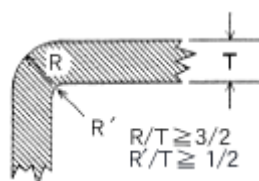


図-5.2-16 コーナーR

(7) リブ

リブの取り方は図-5.2-17を標準とする。

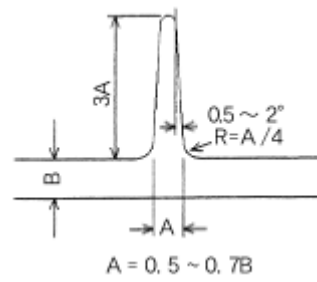


図-5.2-17 リブ

(8) ボス

ボスのデザインは図-5.2-18を標準とする。

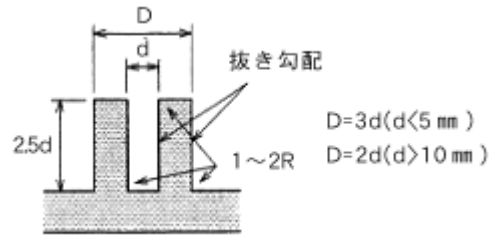


図-5.2-18 ボス

(9) 穴

穴のデザインは図-5.2-19を参考とし、成形品の縁や穴どうしが近づくとも強度的に弱くなるので注意が必要である。

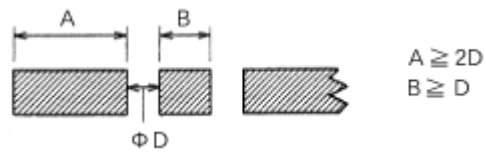


図-5.2-19 穴

(10) ガスペント

金型のベントのつけ方にはいろいろな方法があるが、大別すると次の3つになる。

- ・金型分割面からのガス抜き
- ・キャビティやコア部分からのガス抜き
- ・その他特殊な方法によるガス抜き

(a) 金型分割面(パーティングライン)からのガス抜き

POMの場合、ベント深さは0.005～0.02mmのベント深さを用い、位置は、一般的に次のようなところに設ける。

1. ゲートよりなるべく遠いところ
2. ウェルドラインのでやすいところ
3. ランナーやサブランナーの末端部

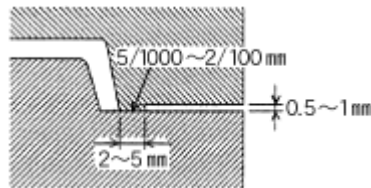


図-5.2-20 ガスペント

(b) キャビティやコア部分からのガス抜き

1. 突き出しピンを利用する方法

突き出しピンと突き出しピン穴のクリアランスを利用。ピンとピン穴のクリアランスは、ピン径5～10mmでは0.02～0.03mm、これより細いものでは0.01～0.02mmが標準的である。

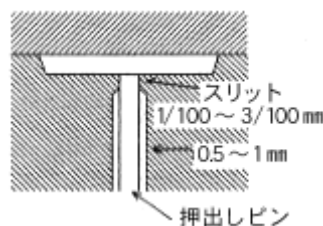


図-5.2-21 突き出しピンガスペント

2. コアピンを利用する方法

製品の一部に高さの高いボスやリブがある場合、コアピンの周囲にクリアランスを設けてガス抜きを行なう。

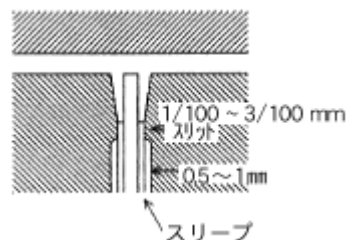


図-5.2-22 コアピンのガスペント

3. 層状の入れ子ブロックによる方法

高さの高いリブのガス抜きの方法として、薄いブロックを層状の入れ子にして、そのクリアランスを利用する。また、キャビティの一部の平坦部を薄板を重ね合わせた入れ子として挿入し、この薄板のクリアランスからガス分を逃がす。

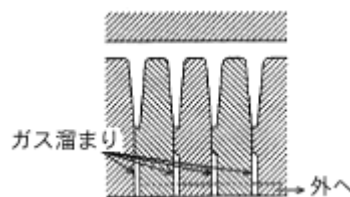


図-5.2-23 層状のガスペント

(c) その他特殊な方法によるガス抜き

1. 真空吸引によるガス抜き

真空ポンプを利用してキャビティ内を高度の真空状態にして、瞬間的にガス抜きを行なう方法。この方法はガス抜きの方法としては理想に近いものであるが、設備費が高くなり、金型構造も複雑になるのが欠点であるが、金型キャビティに対する転写精度の向上にも効果がある。

(11) コアピンの倒れ

細長いコアピンが樹脂圧力にて倒されることが起こるので、コアピンの径と長さの比は一端が自由端の場合は1:5程度に抑えた方が無難である。また、両端支持可能な場合は、1:10程度まで可能である。

(12) 金型温度調節

金型の冷却回路の設計は金型が成形時の樹脂の熱交換器であると考えられ、非常に重要である。通常コピタル金型の冷却孔の径は、 $\Phi 8\text{mm}$ 以上、 $\Phi 12\text{mm}$ 以下であることが望ましい。

冷却孔の位置はできるだけキャビティ面の近くに位置し、冷却孔と冷却孔の間隔はできるだけ小さくするようにする。キャビティ表面から冷却孔までの最短距離は、金型材質、冷却孔の寸法、形状、及びキャビティ内圧によって決まる。

図-5.2-24に冷却孔寸法と冷却孔のキャビティ表面からの距離との関係を示す。この曲線はキャビティ表面が $2\mu\text{m}$ 弾性変形するとされる冷却孔の径を計算している。

冷却孔間の距離は経験則から冷却孔の径の0.7倍にする。

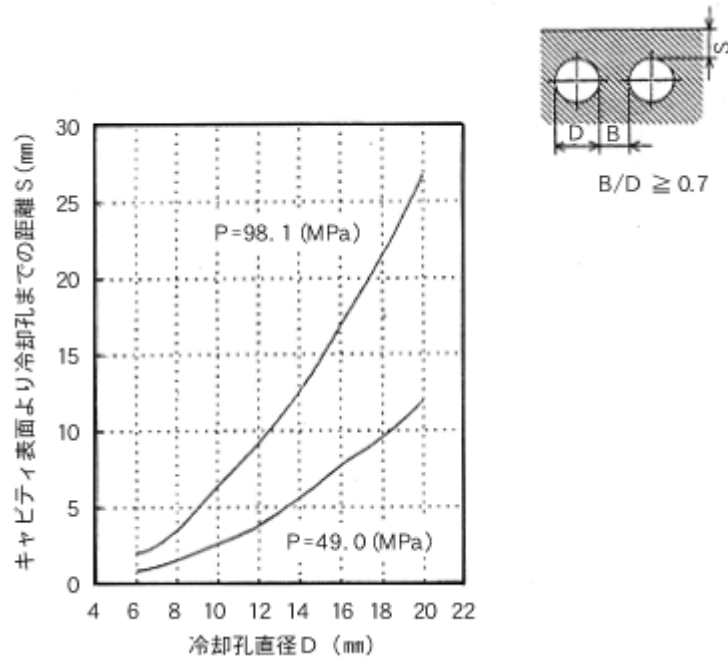


図-5.2-24 冷却孔寸法とキャビティ表面より冷却孔までの距離

しかし、実際の金型に於いてはこのような配置は非常に難しく種々の冷却回路の組み合わせにて構成されている。冷却回路を分類すると、ストレート、円周、多段、ラセン、平面Uターン、噴射(バブラチューブ)、セパレート板(バッフルプレート)等がある。

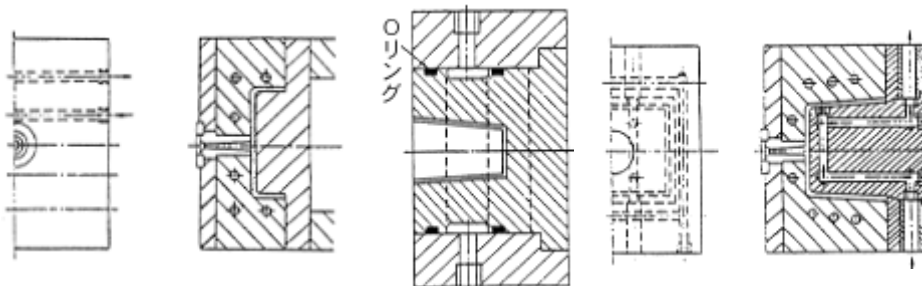


図-5.2-25 ストレート冷却

図-5.2-26 円周冷却

図-5.2-27 多段冷却

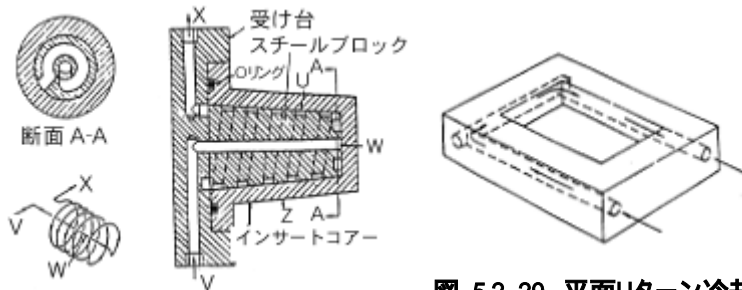


図-5.2-28 ラセン式冷却

図-5.2-29 平面Uターン冷却

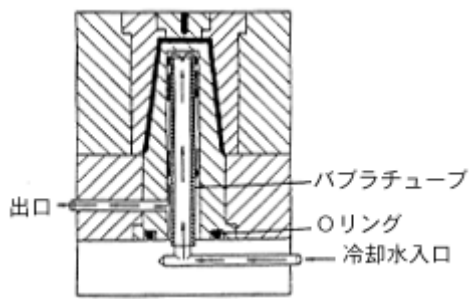


図-5.2-30 噴射式冷却

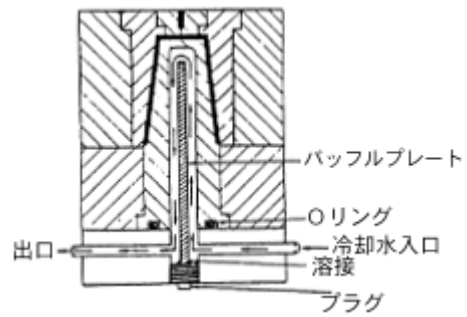


図-5.2-31 セパレート板冷却

また、冷却流路を設けることが不可能な場合には部分的に金型材質をより熱伝導度の良い材質に変更することでも対応可能である。参考として表-5.2-1に金型材料の熱伝導率を示す。

表-5.2-1 金型材料の熱伝導率

金型材料	熱伝導率	
	W/m・K	kcal/m・hr・
炭素鋼(S50C 0.5%C)	53	46
SKD61	34	29
ステンレス鋼(SUS304)	16	14
亜鉛合金(ZAS 4%AL,3%Cu)	109	94
銅合金(HR750 析出強化形：神戸製鋼)	129	111
ベリリウム銅 20C	121	104
ベリリウム銅 275C	109	94

(13) 金型材質

射出成形用金型に要求される性質には次のようなものがある。

- (1) 靱性が有り硬度が高い。
- (2) 被切削性が良好である。
- (3) シボ、放電加工面が良好である。
- (4) 鏡面仕上げ性が良い。組織が均一で、ピンホール等がなく、表面硬度が高い。
- (5) 耐食性が高い。
- (6) 耐摩耗性が良い。
- (7) 熱処理性があり、熱処理による変化が少ない。

以上のような性質が要求されている。表-5.2-2に代表的な金型材料の特徴を示す。
これらの性質を参考に金型各部の要求に合わせて金型材質を選定するのが望ましい。

表-5.2-2 金型材料の特徴

タイプ	使用硬さ (HRC)	JISタイプ	被削性	鏡面性	シボ加工	耐食性	耐摩耗性
プリハードン鋼	14	S55C	10	4	6	2	2
	27	SCM445	8	6	7	3	3
	33	SCM改良	9	5	6	4	4
		SNCM改良	8	9	9	4	4
	40	析出硬化系快削	8	8	7	5	5
		析出硬化系	7	9	10	5	5
	35,40	SUS630改良	3	8	8	10	4
焼き入れ鋼	53	SUS420J2改良	7	10	9	9	7
	42 ~ 52	SKD61	8	8	7	6	7
	55 ~ 60	SKD11改良	6	9	8	6	9
		SKD11	5	7	5	6	9
		SUS420改良	7	7	7	5	8
		SUS440C改良	5	9	8	8	9
	63 ~ 68	粉末ハイス	5	8	7	6	10
析出硬化鋼	55	マルエージング鋼	4	10	10	6	7
	45	非磁性鋼	2	8	-	6	7

注:表中、数字の大きい方が優れる。

6. 流動特性

6.1 ユピタルと他樹脂の流動特性

ユピタル各グレードと他の熱可塑性樹脂の流動性を図-6.1-1に示す。

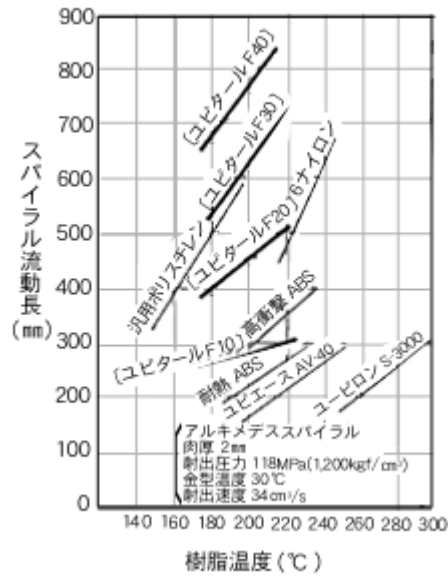


図-6.1-1 ユピタルと他樹脂の流動性

6.2 成形品肉厚と流動長

成形品の肉厚により流動長が変化する傾向を図-6.2-1に示す。

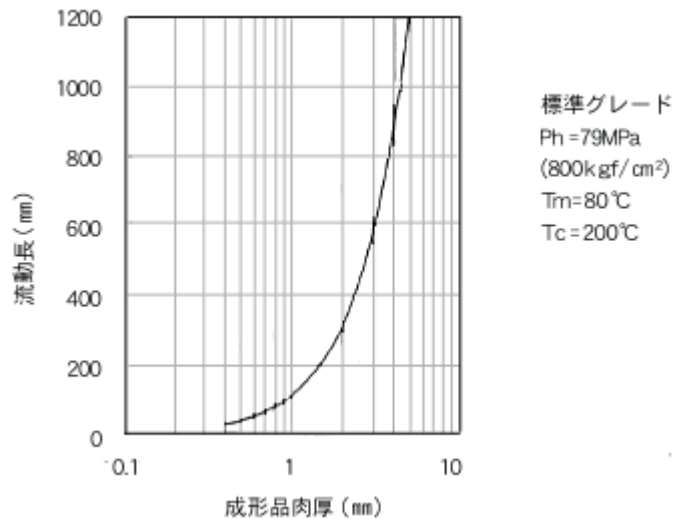


図-6.2-1 成形品肉厚と流動長

6.3 成形条件と比流動長

流動長は成形加工条件により種々の傾向を示す。次に、成形加工条件と流動長の関係を流動長を比流動長として示す。比流動長を求めた条件は次のものを基準とした。

グレード : F20-03

射出圧力 : 79MPa(800kgf/cm²)

金型温度 : 80

樹脂温度 : 200

射出速度 : 68cc/sec

この条件の時の流動長を L_0 として各条件に於ける流動長を L として比流動長 L/L_0 を求めた。以下の結果から判るように比流動長は射出圧力、樹脂温度とは直線関係を示し、金型温度とは曲線関係を示す。また、ユピタルの標準グレードについてはグレード別のゲート径と比流動長の関係は各々の曲線の上にあることが判る。

6.3.1 射出圧力

射出圧力と比流動長の関係を図-6.3-1に示す。

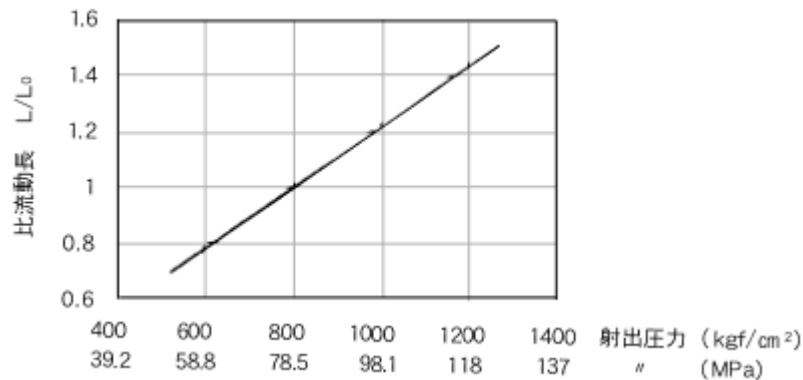


図-6.3-1 射出圧力と比流動長

6.3.2 金型温度

金型温度と比流動長の関係を図-6.3-2に示す。

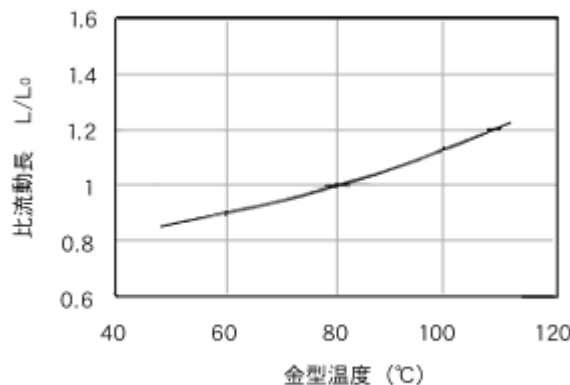


図-6.3-2 金型温度と比流動長

6.3.3 樹脂温度

樹脂温度と比流動長の関係を図-6.3-3に示す。

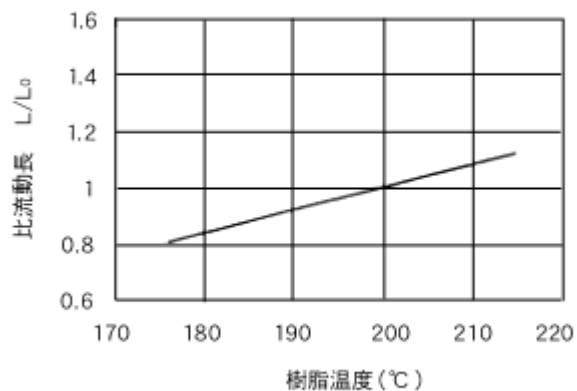


図-6.3-3 樹脂温度と比流動長

6.3.4 ゲート径

ゲート径と比流動長の関係を図-6.3-4に示す。

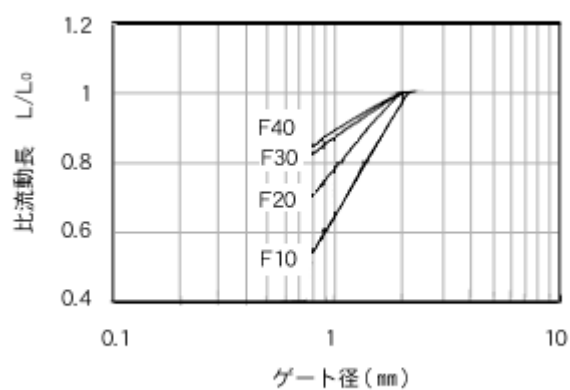


図-6.3-4 ゲート径と比流動長

6.4 流れ値(MI)と流動長の関係

ユピタルの流れ値はメルトインデクサーによる測定値(MI値:g/10min)で示される。このMI値と流動長の関係を図-6.4-1に示す。

また、 $\log MI = K \cdot (L/t^n) \dots \dots (1)$ 式

- K : 係数
- L : 流動長
- t : 肉厚
- n : F10=1.4
F20、F30=1.5
F40=1.6

として図-6.4-1の関係を整理すると図-6.4-2の関係を示す。同図より材料のMI値から係数Kを求めることができ、(1)式の関係を用いることで流動長を推定することができる。

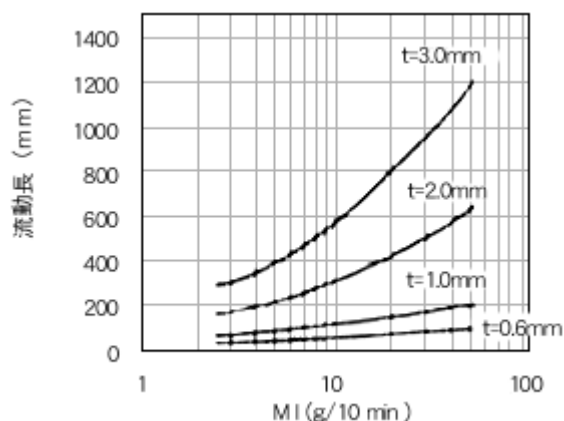


図-6.4-1 メルトインデックスと流動長

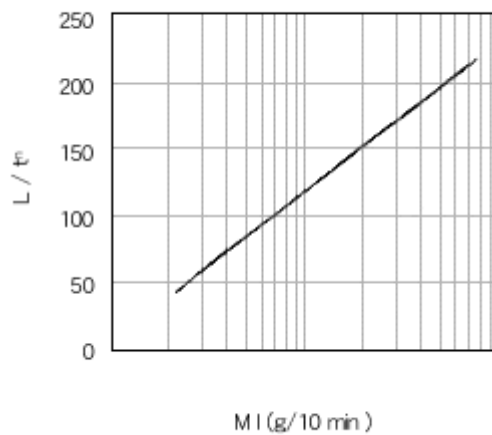


図-6.4-2 メルトインデックスと L/t^n

7. 収縮特性

7.1 成形収縮

成形収縮を起こす要因としては、熱による膨張収縮、圧縮弾性回復、結晶化度の変化による比容積の変化、分子の配向等が考えられる。参考にユピタル標準グレードの比容積と温度の関係を図-7.1-1に示す。結晶性樹脂であるユピタルの成形収縮は以上のような諸要因の変化によって大きく変動するため、金型設計における見込み収縮の把握は重要なことである。

成形収縮は成形品の形状(肉厚)、成形条件(射出圧力、射出時間、金型温度、樹脂温度)、金型構造(スプルー・ランナーのサイズ及びゲート形状)等の影響を受ける。

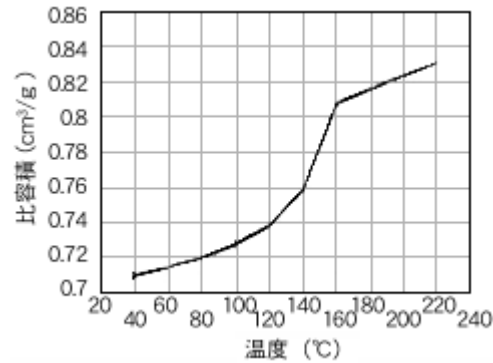


図-7.1-1 比容積と温度の関係

7.1.1 肉厚と成形収縮

成形品肉厚により成形収縮率は大きく変化し、成形条件、成形品形状が同じで肉厚のみ変化させると肉厚2~3mmの時に最も小さい値を示す。ユピタル標準グレードの成形品肉厚と成形収縮率の関係を図-7.1-2に示す。

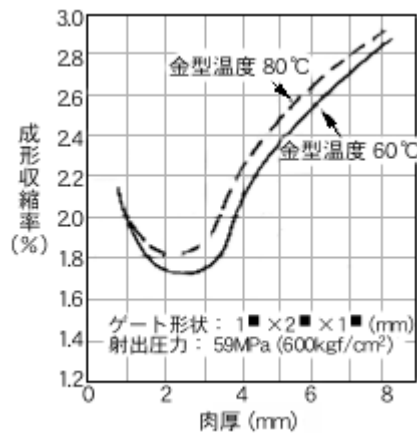


図-7.1-2 成形品肉厚と成形収縮率

7.1.2 MI値と成形収縮

ユピタル標準グレードのMI値変化と成形収縮率の関係を図-7.1-3に示す。

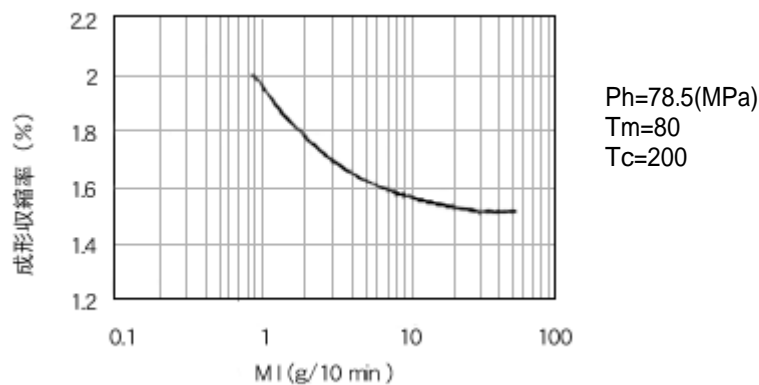


図-7.1-3 MI値と成形収縮率の関係

7.1.3 成形収縮率の異方性

成形収縮の流動方向とその直角方向で差を成形収縮率の異方性と呼んでいる。ユピタル標準グレードでは流動方向の収縮率より直角方向の収縮率を差し引いた異方性はほぼ"0"である。この異方性はグレードによっては大きな値を示すので注意が必要である。ユピタル各グレードの異方性を表-7.1-1に一覧する。

表-7.1-1 ユピタル各グレードの収縮率の異方性 単位:%

グレード	流れ方向//	直角方向	異方性//-
F10	1.8	1.8	0.0
F20	1.6	1.6	0.0
F30	1.5	1.5	0.0
F40	1.5	1.5	0.0
FK10-01	2.0	2.0	0.0
FV-30	1.5	1.5	0.0
FG1025A	0.6	0.9	-0.3
FG2025	0.5	0.8	-0.3
MF3020	1.5	1.0	0.5
FB2025	1.3	1.3	0.0
FC2020D	0.2	0.6	-0.4
FC2020H	0.3	0.6	-0.3
FT2010	1.4	1.4	0.0
FT2020	0.8	0.8	0.0
LO-21	1.6	1.6	0.0
FX-11	1.6	1.6	0.0
FL2010	1.6	1.6	0.0
FL2020	1.6	1.6	0.0
FW-21	1.6	1.6	0.0
FW-24	1.6	1.6	0.0
FM2020	1.6	1.6	0.0
FU2025	1.3	1.3	0.0
FU2050	0.8	0.8	0.0
ET-20	1.1	1.1	0.0
TC3015	1.2	1.2	0.0
TC3030	0.9	0.9	0.0

Ph:78.5MPa
(800kgf/cm²)
Tm:80
4in円板, 3mmt

7.1.4 成形条件と成形収縮

ユピタルの成形収縮率は成形条件によっても影響を受け変化する。以下に、ユピタルの成形収縮率に特に大きく影響を及ぼす成形条件に付いて傾向を示す。

(1) 射出圧力(保持圧力)

ユピタルの成形収縮率と射出圧力(保持圧力)の関係は図-7.1-4に示すように反比例の関係を示す。

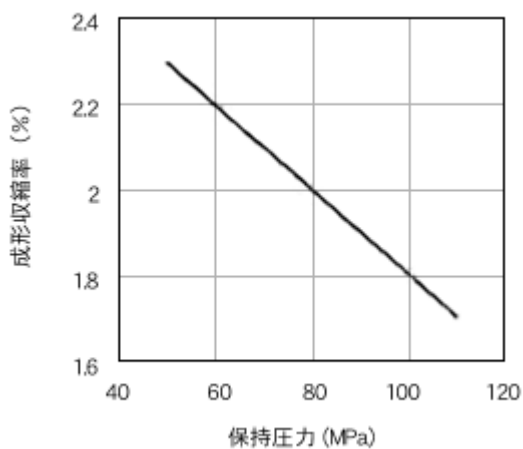


図-7.1-4 成形収縮率と保持圧力の関係(標準グレード)

(2) 射出時間

ユピタルの成形収縮率と射出時間の関係は図-7.1-5に示すようにゲートが固化するまでは正比例に近い関係を示すが、ゲートが固化した後では成形収縮率はほぼ一定の値を示す。

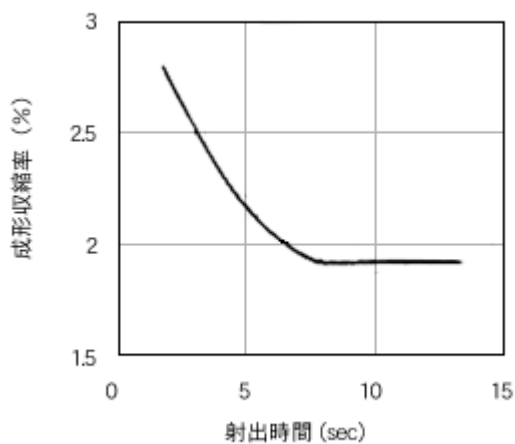


図-7.1-5 成形収縮率と射出時間の関係(標準グレード)

(3) 金型温度

ユピタルの成形収縮率と金型温度の関係は図-7.1-6に示すように正比例の関係を示す。

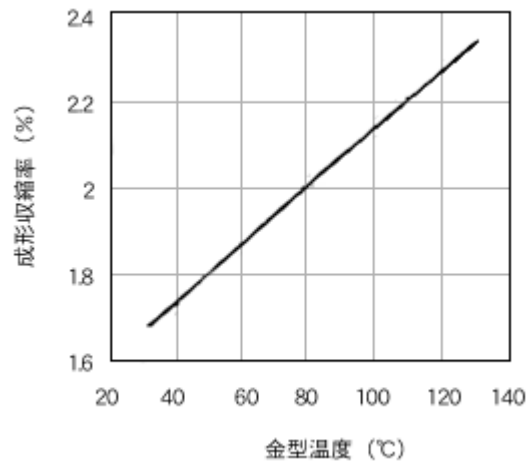


図-7.1-6 成形収縮率と金型温度の関係(標準グレード)

(4) 樹脂温度

ユピタルの成形収縮率と樹脂温度の関係は図-7.1-7に示すような関係を示すが、金型温度と比べればその影響は小さい。

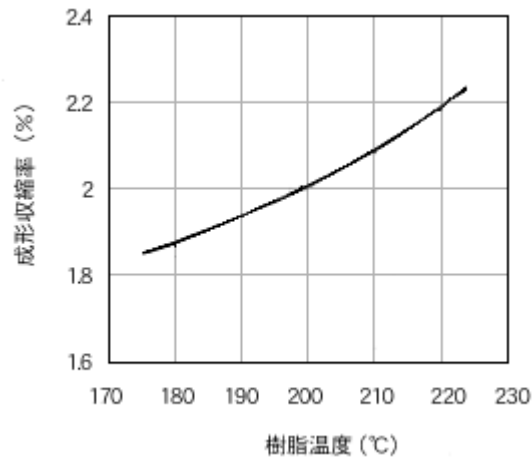


図-7.1-7 成形収縮率と樹脂温度の関係(標準グレード)

7.2 加熱収縮 加熱処理による寸法変化

結晶性樹脂のコピタルはアニーリングや実使用条件の環境で加熱されることにより再結晶化が進み寸法収縮が起こる。成形品の寸法はその成形品が成形された成形条件、加熱される温度、及び加熱時間によって大きく変化するので注意が必要である。図-7.2-1～図-7.2-6に、コピタル標準グレードの成形品肉厚1～3mm、金型温度50,80、加熱温度60～150、加熱時間30～120minでの加熱収縮データを示す。テストピース寸法は70mmL*20mmW*tmm。

加熱収縮率の加熱温度と時間の影響

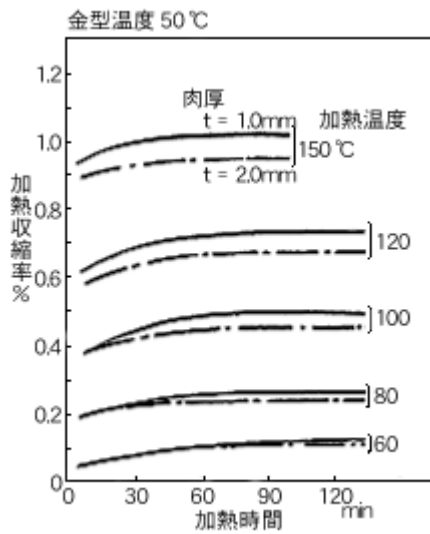


図-7.2-1

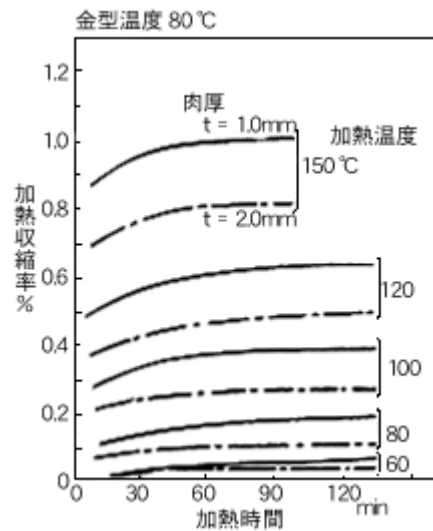


図-7.2-2

加熱収縮率の成形品肉厚の影響

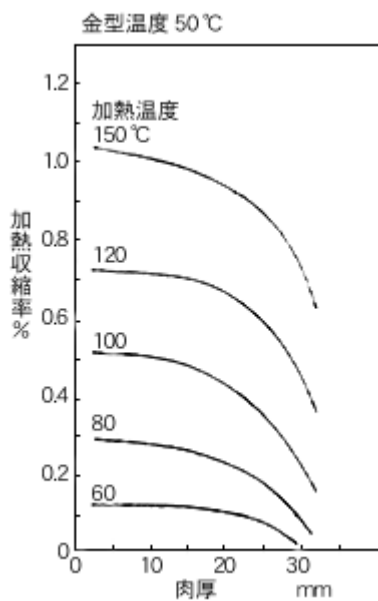


図-7.2-3

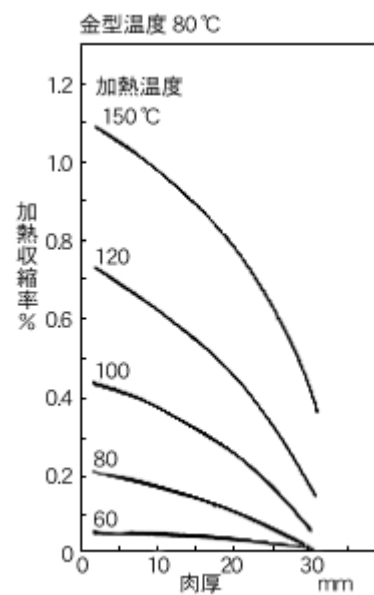


図-7.2-4

加熱収縮率の加熱温度の影響

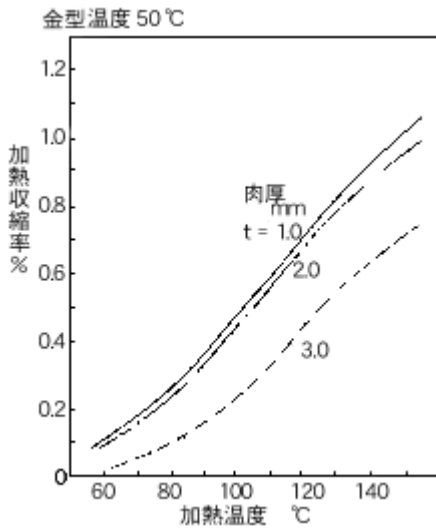


図-7.2-5

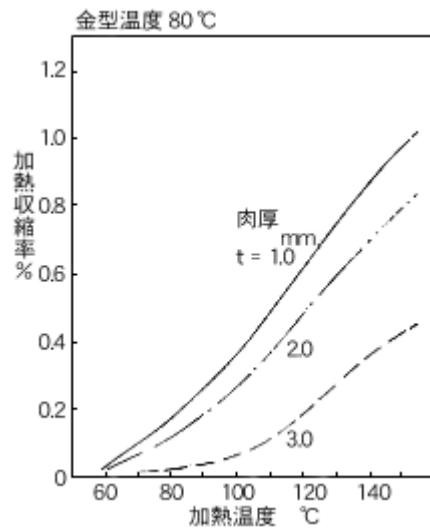


図-7.2-6

7.3 後収縮 成形品寸法の経時変化

成形品は、成形直後より結晶化の進行にともない寸法の収縮を起こす。特に、成形時の金型温度が低い場合にはより長時間にわたり寸法変化する。図-7.3-1にユピタルの長期寸法変化データを示す。

($\phi 30$ 円板による成形直後からの長期収縮変化)

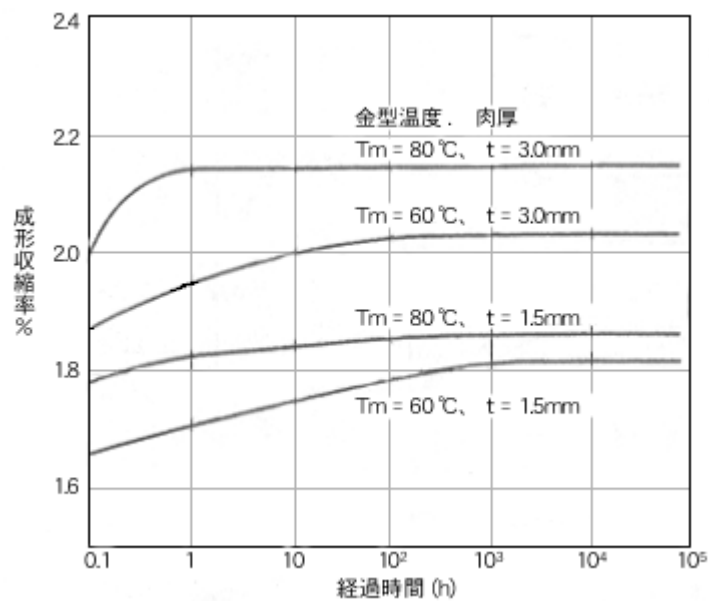


図-7.3-1 ユピタルの長期寸法変化(標準グレード)