

1. 射出成形

1.1 射出成形機

射出成形機は成形材料を加熱シリンダー内で熔融可塑化し、これを金型内へ射出し、金型内部で固化させて成形品をつくる機械である。射出成形機は金型の開閉を行う型締め装置と、成形材料を可塑化して射出する装置とにより構成されており、この2つの装置の配列の仕方により各種の形式のものがある。

- (1) 横型射出成形機 : 型締め装置と射出装置がともに横方向(水平)に組み合わせられたもの
- (2) 縦型射出成形機 : 型締め装置と射出装置がともに縦方向(垂直)に組み合わせられたもの
- (3) 2色射出成形機
- (4) ロータリー式射出成形機
- (5) 低発泡射出成形機
- (6) 多材料射出成形機
- (7) サンドイッチ射出成形機

1.2 射出成形機の種類

1.2.1 射出容量からの成形機選定

一般的な目安としては、成形品容量(ショット容量)が射出成形機の射出容量の30~80%になるように選択するのが望ましい。成形機の射出容量Q(g)は、一般にスプルー、ランナーの重量を含んだ1ショットの重量W(g)が以下に示す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には可塑化が間に合わず、樹脂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、成形品としての本来の物性が得られなくなることがある。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やすくなる。

1.2.2 型締め圧力からの成形機選定

NOVADURAN™を成形する場合、トグル式、直圧式のいずれでもよい。成形品投影面積A(cm²)と所要型締め力P(ton)の関係は、次式で表される範囲が望ましい。

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

1.2.3 ノズルの構造

NOVADURAN™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、オープンノズル、シャットオフノズル等がある(図 1-1)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。ノズルからのハナタレ(ドローリング)を懸念する場合には、シャットオフノズルを用いるとよい。ただし、スライド部分に樹脂が滞留してヤケや黒点異物の発生原因となる場合があるので注意を要する。

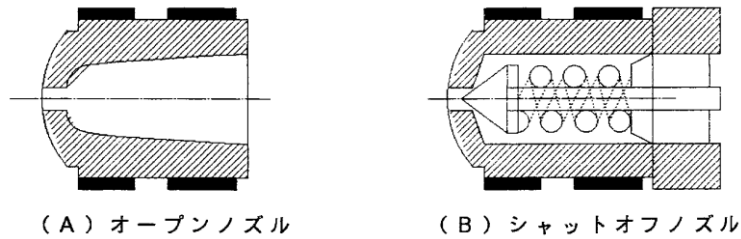


図 1-1 ノズルの種類と構造

1.2.4 射出機構

NOVADURAN™の成形は、「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可能であるが、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。

1.2.5 逆流防止リング

NOVADURAN™は熔融粘度が比較的低いため、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磨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内へ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)がキャビティに有効にかからない場合がある。このような場合は良好な成形品が得られないので、保守・管理面において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、耐腐食・耐摩耗の鋼種であることが望ましい。

1.2.6 乾燥機

NOVADURAN™の成形前には予備乾燥が必要となり、以下に示す条件が一般的である。

120°C	5～8 時間
140°C	4～6 時間

乾燥は、棚段熱風循環式乾燥機、ホッパードライヤー、除湿型乾燥機などで行うことが好ましい。乾燥機の空気取り入れ口は、ゴミやチリが混入しないようフィルターを取り付ける必要があり、目詰まりに対するメンテナンスも必要である。

1.3 成形条件

1.3.1 樹脂温度

NOVADURAN™成形時の一般的な樹脂温度は、240°C～265°C程度である。温度が高い方が流動性は良くなるが、極端に高い温度設定は樹脂の熱分解を促進させ、成形品の物性低下につながるため好ましくない。

1.3.2 射出・保圧

(1) 圧力

射出圧力は充填圧力(1 次圧力)と保持圧力(2 次圧力)とに分けて考えられる。充填圧力は一般的に保持圧

力より大きく設定する。NOVADURAN™のような結晶性樹脂では冷却固化時に大きな収縮が生じるため、保持圧力は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となる。保持圧力の増加はヒケやボ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るため注意を要する。

(2) 射出速度

薄肉成形品や寸法精度の厳しい多数個取り成形品では、射出速度は速い方がよい。逆に肉厚の厚い成形品では、射出速度は遅い方がよい。またジェットイングや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効である。

(3) 射出時間

成形機により設定方法は様々であるが、基本的には以下のように考える。

$$\text{射出時間(充填時間+保圧時間)} > \text{ゲートシール時間}$$

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をいう。ゲートシールする前に保圧を切ると、金型内圧によって熔融樹脂がゲートから逆流し、成形品の充填密度(パッキング性)が低下するために、寸法や物性のバラツキが大きくなったり、ソリ、ヒケ、ボイド等の発生原因になることが多い。ゲートシール時間を見積もるには、射出時間を徐々に長くしながら成形品重量を測定し、成形品重量が一定で変化しなくなった時点の射出時間を求めればよい。

1.3.3 背圧

可塑化時に熔融樹脂から発生するガスやエアの巻き込みのため、計量が不安定になることがある。計量の安定化と混練効果を向上させるためには、スクリュー背圧(5~10kg/cm²)をかけるとよい。背圧が高すぎると逆に可塑化能力が低下する場合がある。

1.3.4 金型温度

NOVADURAN™の金型温度は、60~80℃が一般的に適しており、成形条件の中でも重要なポイントである。ハイサイクル成形を目的とする場合は、チラー温調機等を使用して金型温度 20~30℃程度での成形も可能であるが、成形品内の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が大きくなる等の危険性があるため、注意する必要がある。高温雰囲気下での使用を想定した寸法安定化や、高いレベルの表面光沢が必要な場合は、金型温度を 120℃程度まで上げると効果的である。

1.4 予備乾燥

NOVADURAN™は吸水率が比較的低い樹脂であるが、吸水状態で熱履歴を受けると少量の水分でも加水分解反応が起こり、分子量が低下し物性低下の原因となる。そのため成形前には、水分は十分に除去しておく必要がある。使用前には必ず予備乾燥を行うこと。代表的な乾燥条件は下記の通りであるが、グレードにより異なることがあるため、注意する必要がある。

予備乾燥に際して、適切な局所排気を行うこと。

熱風温度 120℃ 5～8 時間 または
140℃ 4～6 時間

乾燥温度については、推奨乾燥温度未満では乾燥効果が低く、推奨乾燥温度を超えるとペレットが変色する
場合がある。乾燥時間が上記範囲以上に長くなると、流動性やペレット色調に影響が現れる場合がある。ペレ
ット水分が 0.03%を越えると成形品表面外観の悪化原因となったり、外観変化がなくても物性低下を起こしたりする
場合がある。

使用する乾燥機は棚段熱風循環式乾燥機、またはホッパードライヤーが一般的である。棚段熱風循環式乾
燥機の場合は乾燥効率を確保するため、ペレットのかさ高さを 3cm 以下にする必要がある。ホッパードライヤー
は循環式(一部大気放出型)が良く、さらに除湿式のもの望ましい。

ホッパードライヤーの付いていない成形機で成形する場合は、乾燥したペレットのホッパーへの投入量を極力
少なくし、30 分以内で成形するようにする。乾燥した高温のペレットを室内に放置すると、冷却過程での吸水速
度は非常に速くなる。

1.5 滞留熱安定性

NOVADURAN™は成形時にシリンダー内に高温で長時間さらされると、熱劣化により分子鎖が切断され分子
量低下を起こすことがある。図 1-2～図 1-5 に滞留時間と物性の関係を示す。シリンダー温度が高いほど劣化が
速くなることわかる。さらにペレット中の水分率が高いほど、劣化がさらに促進されるので注意する必要がある。

再生材料を添加する場合は、特に滞留時間の短縮が必要となる。滞留時間への影響は再生材料の添加量
や熱履歴によって異なり、難燃グレードの場合はさらに滞留時間を短縮する必要がある。

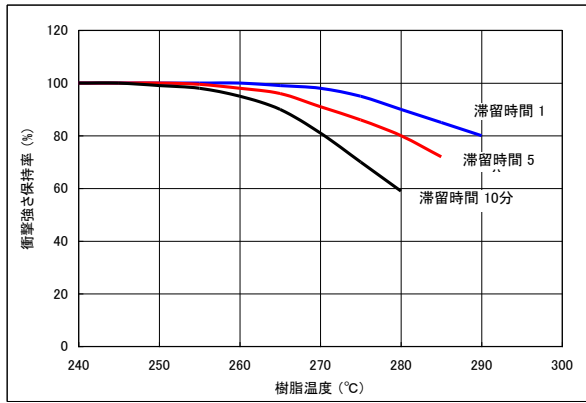


図 1-2 樹脂温度、滞留時間と衝撃強度

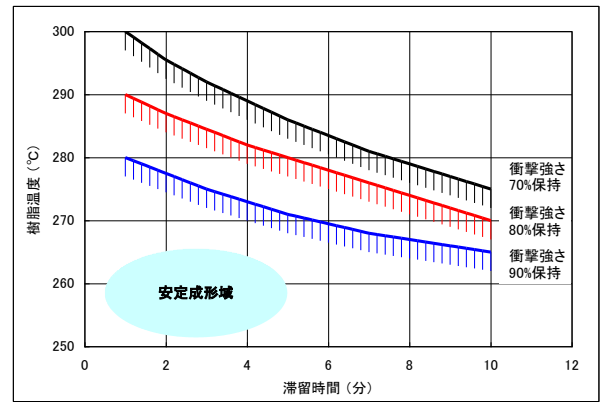


図 1-3 樹脂温度、滞留時間と衝撃強度

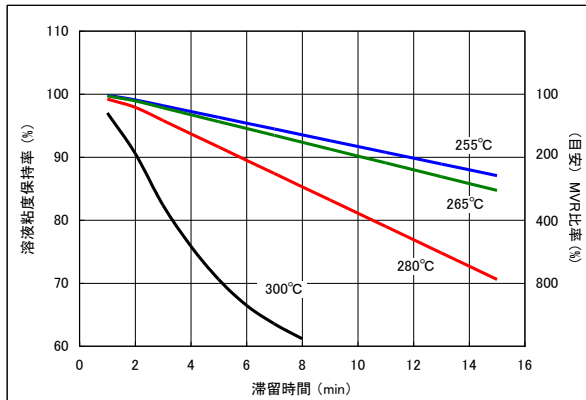


図 1-4 樹脂温度、滞留時間と溶液粘度

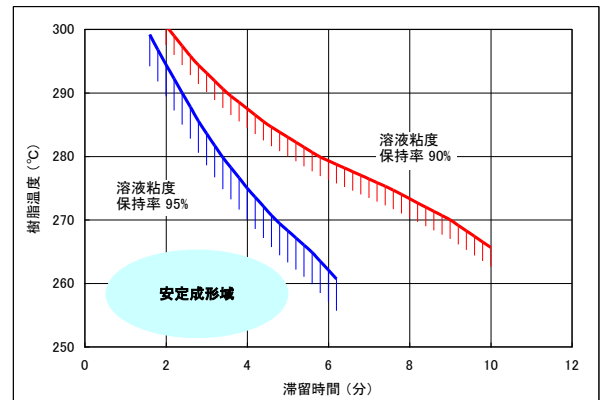


図 1-5 樹脂温度、滞留時間と溶液粘度

1.6 流動性

成形材料の流動性は、射出成形の際の成形条件を決定したり、金型設計において成形品の肉厚やゲートの位置を決める上で重要となる。材料の粘度指標はメルトインデクサー測定による MI 値や、キャピラリーレオメータ測定による熔融粘度などで表される。これらの値は材料相互間の流れやすさの比較に使用されるが、実際の射出成形における材料の流動性を判断するには不十分な場合もある。

そのため実用的には、スパイラル型やバーフロー型などの金型による流動長で、流動性を表すことが一般に行われる。流動性を表す場合には流動長(L)の他、キャビティ厚み(t)との比(L / t)を用いる場合もある。流動長は以下のような因子で変化するため、各因子の影響を把握しておく必要がある。図 1-6～図 1-9 に各因子と流動長の関係を示す。

- ① 樹脂温度
- ② 射出圧力
- ③ 金型温度
- ④ キャビティ厚み
- ⑤ 材料の種類(粘度)

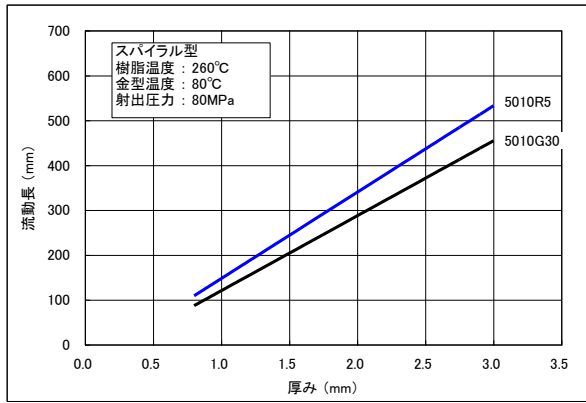


図 1-6 流動長の厚み依存性

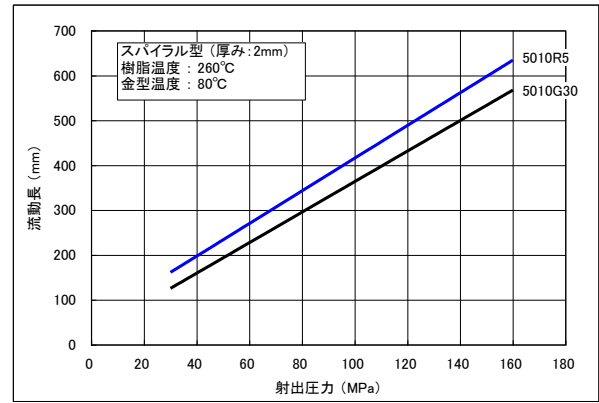


図 1-7 流動長の射出圧力依存性

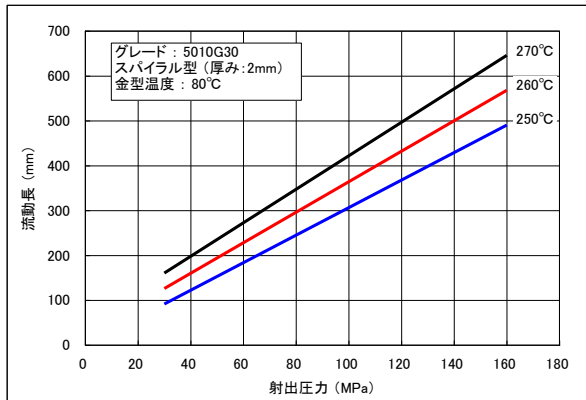


図 1-8 流動長の樹脂温度依存性

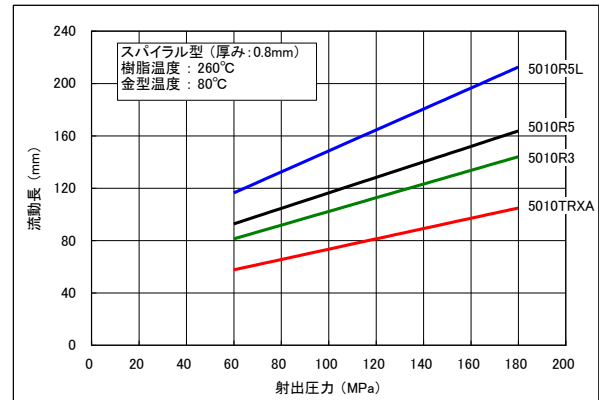


図 1-9 非強化グレードの薄肉流動長

1.7 収縮率

1.7.1 成形収縮率

成形収縮は、キャビティに充填された溶融樹脂が冷却固化する過程で生じるため、PBT 樹脂のような結晶性樹脂は比較的大きな成形収縮を生じる。成形収縮率は多くの要因の相互作用によって決まり、主な要因としては次に示すものがあげられる。

- ① 樹脂温度
- ② 金型温度
- ③ 射出圧力
- ④ 射出速度
- ⑤ 射出時間
- ⑥ 成形品の厚さ
- ⑦ 充填材、強化材の形状、含有量

図 1-10 に NOVADURAN™の成形収縮率を示す。ガラス繊維強化 PBT 樹脂の場合は非強化 PBT 樹脂に比べて、成形流動方向(MD)と直角方向(TD)の成形収縮率の差が大きいため異方性を示す。これは、ガラス繊維の配向による影響が大きいためを示している。

1.7.2 加熱収縮率（後収縮率）

成形品を作成後に高温下に置いた場合は、結晶化の進行および内部応力の緩和によって寸法が変化する。一般には寸法が小さくなる変化のため、「加熱収縮」や「後収縮」と呼ばれる。結晶性樹脂である NOVADURAN™は、アニーリング処理や実使用環境で高温にさらされることにより、後収縮が起こる。後収縮率はその成形品が成形された成形条件、加熱される温度、および加熱時間によって大きく変化するため注意する必要がある。図 1-11～図 1-14 に NOVADURAN™の後収縮率と処理温度、金型温度、成形品肉厚との関係を示す。

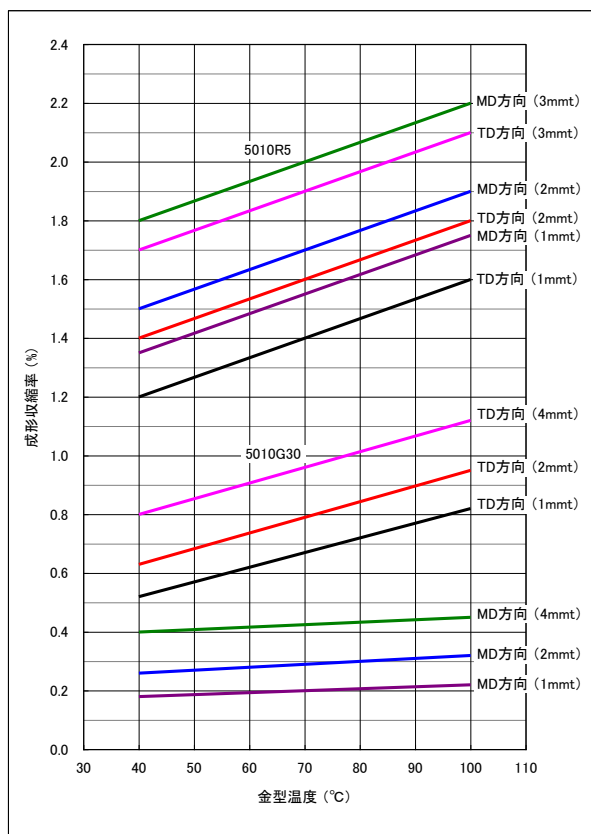


図 1-10 成形収縮率

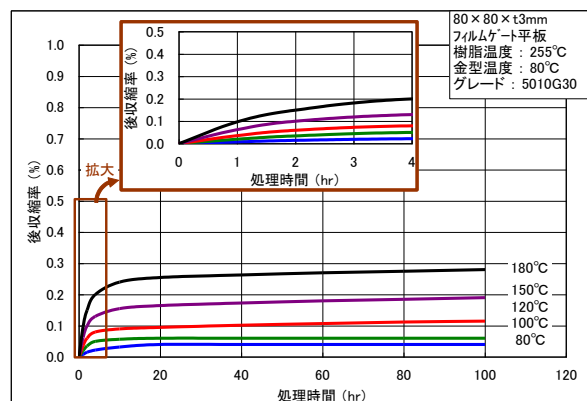


図 1-11 後収縮率(MD 方向)

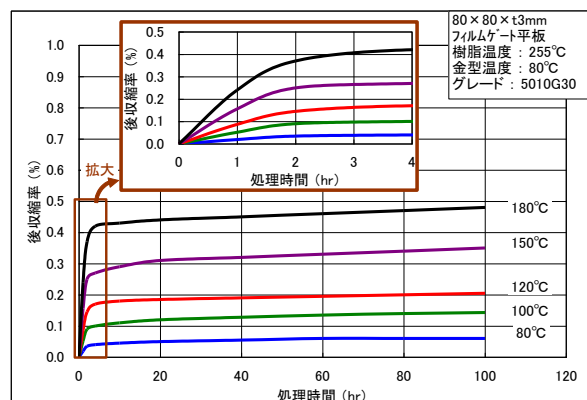


図 1-12 後収縮率(TD 方向)

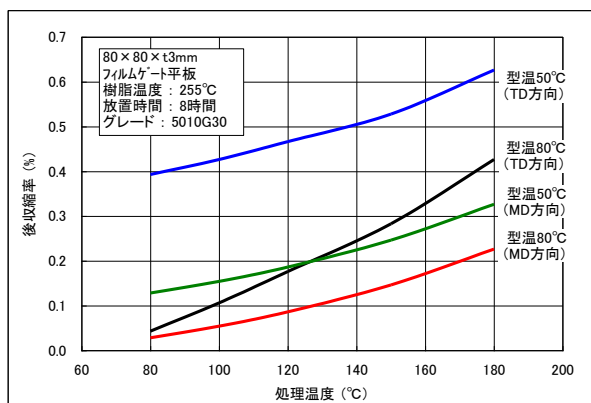


図 1-13 後収縮率と金型温度

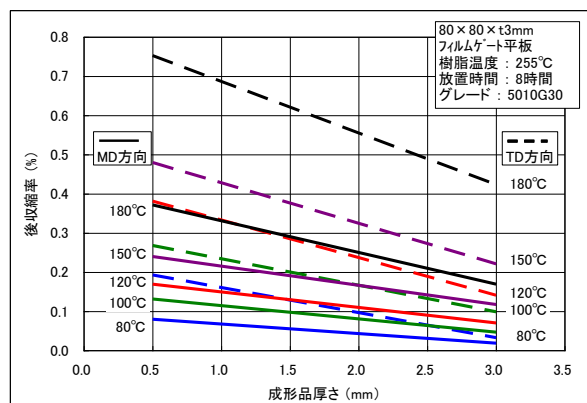


図 1-14 後収縮率と成形品肉厚

1.8 成形不良対策

NOVADURAN™は射出成形性に優れた樹脂であるが、成形機の選定ミス、金型設計の不適、成形条件の不適などによって成形不良が生じることがある。これらの成形不良の原因やその対策は製品や条件ごとに異なるが、代表的な成形不良とその対策を表 1-1、表 1-2 にまとめた。

不良現象	原因	対策
強度不足	<ul style="list-style-type: none"> (1) 乾燥不足 (2) 樹脂温度が高い (3) クッション量が多い (4) ランナー，ゲートでのせん断発熱 (5) 滞留時間が長い 	<ul style="list-style-type: none"> (1) ペレットは十分に予備乾燥する。 (2) シリンダ温度を下げる。 (3) クッション量を少なくする。 (4) ランナー，ゲートを大きくし、ゲートランドを短くする。 (5a) 適切な射出容量(キャビティ容量の1.5～3倍程度)の成形機を使用する。 (5b) トラブルなどでシリンダ内に樹脂が滞留した場合は、パージしてから成形を再開する。
反り	<ul style="list-style-type: none"> (1) ゲート位置が不適切 (2) 成形品肉厚が不均一 (3) アンダーカット，リブ，ボスのデザインが不適切 (4) 冷却不足 (5) 収縮率の異方性が大きい 	<ul style="list-style-type: none"> (1a) ゲート位置を変更する。 (1b) ゲート数を増やす。 (2) 成形品肉厚をなるべく均一にする。 (3) 反りを考慮したデザインに変更する。 (4) 金型温度を下げ、冷却時間を長くする。 (5) 低反りグレードを使用する。
外観不良 (GFの浮きなど)	<ul style="list-style-type: none"> (1) 射出速度が遅い (2) 射出圧力が低い (3) キャビティに射出圧力が十分にかからない (4) 成形品肉厚が大きい (5) 樹脂温度が低い (6) 金型温度が低い (7) 予備乾燥が不十分 (8) エアー・ガスの抜けが悪い (9) 離型剤の影響 (10) 樹脂材料の流動性不足 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 射出速度を上げる。 (2) 射出圧力を上げる。 (3) ランナー，ゲートを大きくする。 (4) 肉厚を薄くする。肉盗みを設ける。 (5) シリンダ温度を上げる。 (6) 金型温度を上げる。 (7) 適切な条件で十分に予備乾燥する。 (8a) ガス抜き(ベント)を設ける。 (8b) ガスベント詰まりを清掃する。 (9) 離型剤の使用を控える。 (10) 良流動グレードを使用する。
ガス焼け	<ul style="list-style-type: none"> (1) 射出速度が速い (2) 樹脂温度が高い (3) 滞留時間が長い (4) エアー・ガスの抜けが悪い 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 射出速度を下げる。 (2) シリンダ温度を下げる。 (3a) 成形サイクルを短くする。 (3b) 適切なサイズの成形機を使用する (4a) ガス抜き(ベント)を設ける。 (4b) ガスベント詰まりを清掃する。
ノズル詰まり	<ul style="list-style-type: none"> (1) ノズル温度が低い (2) 樹脂温度が低い (3) 金型温度が低い (4) ノズル径が小さい (5) 金型に熱が奪われる 	<ul style="list-style-type: none"> (1) ノズル温度を上げる。 (2) シリンダ温度(特にノズル側)を上げる。 (3) 金型温度を上げる。成形開始時はスプルーブッシュを部分加熱する。 (4) ノズル径を大きくする。 (5a) ノズル温度を上げる。 (5b) 計量後にノズルを後退させる。

表 1-1 NOVADURAN™の成形不良とその対策(その 1)

不良現象	原因	対策
ハナタレ	(1) ノズル温度が高い (2) 樹脂温度が高い (3) 背圧が高い (4) ノズル径が大きい	(1) ノズル温度を下げる。 (2) シリンダ温度(特にノズル側)を下げる。 (3) 背圧を下げる。 (4a) ノズル径を小さくする。 (4b) 逆テーパノズルにする。 (4c) シャットオフバルブを付ける。
ヒケ	(1) 保圧不足 (2) 保圧時間不足 (3) ゲートシールが速い (4) 成形品肉厚が厚い	(1) 保圧を上げる。 (2) 保圧時間を長くする。 (3a) ゲート寸法を大きくする。 (3b) ゲートランドを短くする。 (3c) ランナー, スプルー, ノズル寸法を大きくする。 (4) 肉厚を薄くする。肉盗みを設ける。
バリ	(1) 射出圧力が高い (2) 樹脂温度が高い (3) 可塑化量が多い (4) 型締力不足 (5) 金型の摩耗	(1) 射出圧力を下げる。 (2) シリンダ温度を下げる。 (3) 可塑化量を減らして調整する。 (4) 型締力を大きくする。型締力の大きい適切な成形機に変更する。 (5) 金型を修正, 更新する。
寸法不良 (寸法が大きい)	(1) 射出圧力が高く過充填 (2) 保圧が効きすぎ過充填 (3) 樹脂温度が高い (4) 金型温度が低い	(1) 射出圧力を下げる。 (2) 保圧を下げ、保圧時間を短くする。 (3) シリンダ温度を下げる。 (4) 金型温度を上げる。
寸法不良 (寸法が小さい)	(1) 射出圧力が低く充填不足 (2) 保圧不足で充填不足 (3) 樹脂温度が低い (4) 金型温度が高い (5) ゲート寸法が小さく充填不足	(1) 射出圧力を上げる。 (2) 保圧を上げ、保圧時間を長くする。 (3) シリンダ温度を上げる。 (4) 金型温度を下げる。 (5a) ゲート寸法を大きくする。 (5b) ゲートランドを短くする。 (5c) ランナー, スプルー, ノズル寸法を大きくする。
ジェットイング	(1) 射出速度が速い (2) 射出圧力が高い (3) 樹脂温度が低い (4) ゲート寸法不足 (5) ゲート位置が不適切	(1) 射出速度を下げる。 (2) 射出圧力を下げる。 (3) シリンダ温度を下げる。 (4) ゲートを大きくする(肉厚の2/3以上)。 (5) ゲート位置を変更する。湯溜まりを設ける。
ウェルドマーク	(1) ゲート位置が不適切 (2) エアー・ガスの抜けが悪い (3) 樹脂温度が低い (4) 射出速度が遅い (5) 射出圧力が低い	(1) ゲート位置を変更する。 (2a) ウェルド部にガス抜きを設ける。 (2b) 樹脂溜まりを設ける。 (3) シリンダ温度を上げる。 (4) 射出速度を上げる。 (5) 射出圧力, 保圧を上げる。
スクリー回転 不良	(1) シリンダ温度が低い (2) 背圧が高い (3) 回転数が高い (4) 成形機能力不足	(1) シリンダ温度(特にホッパー側)を上げる。 (2) 背圧を下げる。 (3) 回転数を下げる。 (4) 適切な射出容量(キャビティ容量の2倍以上)の成形機を使用する。
離型不良	(1) 金型の抜き勾配, 磨きの不足 (2) 突き出しピンの位置不適切, 数, 太さの不足 (3) 射出圧力, 保圧が高い (4) 冷却時間不足	(1a) 抜き勾配を大きくする。 (1b) 離型方向に金型を磨き直す。 (2) 突き出しピンの数を増やし、位置を変更する。 (3) 射出圧力, 保圧を下げる。 (4) 冷却時間を長くする。

表 1-2 NOVADURAN™の成形不良とその対策(その2)

2. 金型設計

2.1 金型設計のポイント

成形品(金型)の設計は、目的とする製品の要求特性をより良く満足させ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上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) 肉厚を必要以上に厚くせず、なるべく均一で急激な肉厚の変化がないようにする。

成形品の肉厚が厚いと、ヒケやボイドといった不良現象を生じやすい。また冷却に時間がかかるため、成形サイクルが長くなる。機能上必要である場合は、肉盗み等を設けてなるべく均一となるように配慮する。成形品中に肉厚の急激な変化や不均一性があると、樹脂の流れを阻害してフローマークが発生したり、成形収縮率が不均一になるため成形品にソリが生じたり、冷却速度が不均一になるため成形品に変形や歪みが生じる場合がある。

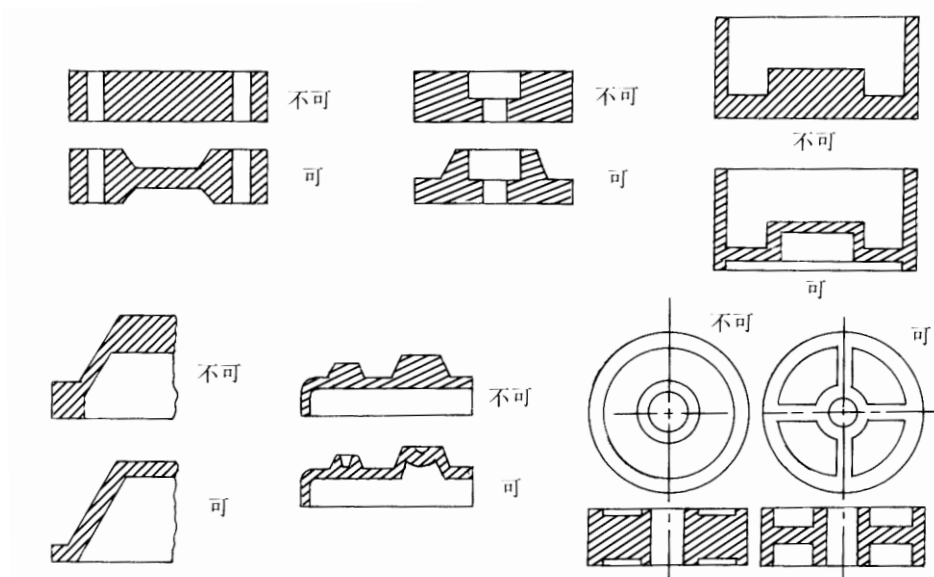


図 2-1 肉厚分布の設計

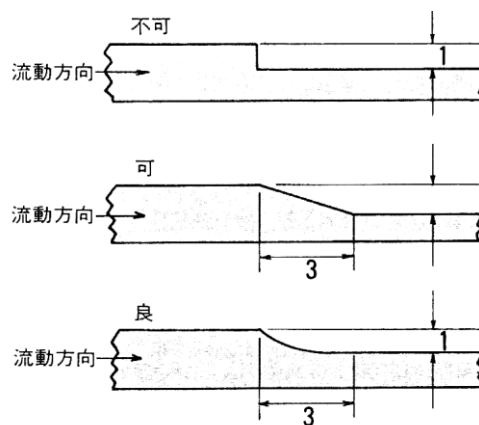


図 2-2 肉厚変化の設計

(2) アンダーカットを作らないようにする。

成形品にアンダーカットがあると離型時に問題が生じやすくなるため、アンダーカットのない形状にするのが原則である。やむを得ず設置する場合は、アンダーカット量が材料特性に基づく限界ひずみに対して十分に小さくなるように設計するか、スライドコア等を設けて無理抜きにならないような金型構造にする必要がある。

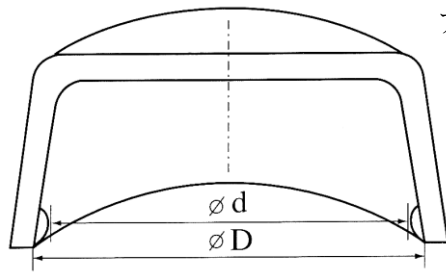


図 2-3 アンダーカット量

$$\text{アンダーカット量 (\%)} = \frac{\phi D - \phi d}{\phi D} \times 100$$

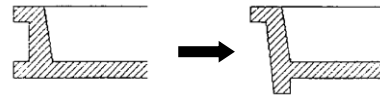


図 2-4 アンダーカットの設計

(3) 抜き勾配を考慮する。

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ため、抜き勾配は取り得る範囲でできるだけ大きく取るほうがよい。NOVADURAN™の代表的な抜き勾配は、非強化グレードで0.25~1°程度、GF強化グレードで0.5~2°程度である。以下に代表的な形状における抜き勾配設計のポイントを記す。

- ① 箱、フタ形状：外側(キャビティ側)の抜き勾配は大きくして抜けやすくする。内側はやや小さくし、キャビティ残りとかコア抱き付きのバランスを取る(外側 1~2°，内側 0.5~1°)。成形品の反り対策のため金型に逆反りを付ける場合は、抜き勾配を大きめにとった方がよい。
- ② ボス：ボスは比較的抜けにくいいため、抜き勾配は大きくする必要がある(0.5~1°)。ボスの高さが高い場合は底面積が大きくなるので、ヒケ防止のためには凹み穴にする方法もある。
- ③ 格子：格子のピッチが小さい(3mm以下)と抜けが悪くなるため、ピッチはなるべく大きくする必要がある。また格子数が多くなるほど抜けにくくなるので、格子数に応じて抜き勾配を大きくする必要がある。(3~5°)。
- ④ リブ：縦リブの場合は0.25°以上、底リブの場合は0.5°以上の抜き勾配が望ましい。また加工性の点から、リブ先端は1mm以上の肉厚をとった方がよい。
- ⑤ シボ：シボの種類、深さ、方向、加工法や、アンダーカットになるかによって異なるが、一般には4~5°(最小でも3~4°)以上の抜き勾配が必要となる。

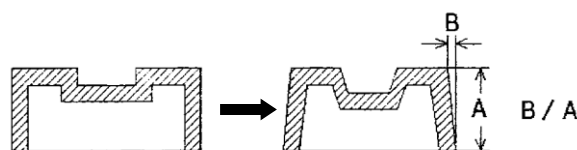


図 2-5 抜き勾配の設計

(4) シャープコーナーを作らないようにする。

シャープコーナーは成形時の樹脂の流れを阻害し、フローマーク等の発生原因になる。またシャープコーナー部へは応力が集中するため、ノッチ効果の発現や残留歪みの発生等、強度面での低下原因となりやすい。金属インサートがある場合は、金属加工面にバリやノッチが生じないように注意する。

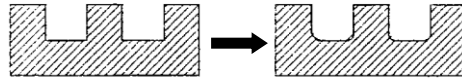


図 2-6 コーナー部の設計

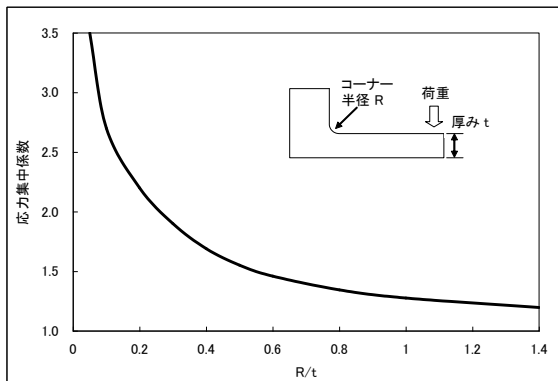


図 2-7 コーナーRと応力集中係数

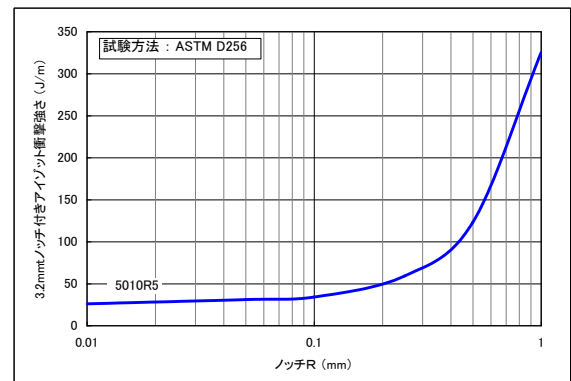


図 2-8 衝撃強さのノッチ R 依存性

(5) リブの厚みを必要以上に厚くしない。

強度的に特定部分の肉盗みが困難な場合は、リブを付けることにより肉厚の均一化を図るとよい。

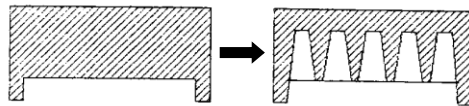


図 2-9 リブによる肉盗みの設計

(6) 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って、倒れや折れ等の問題を起こす場合がある。また成形時にコアピン中央部の温度が端部に比べて高くなるため、内径寸法のバラツキが出やすく、成形サイクルが短い場合には樹脂内圧によって、内径側のスキン層が破れてしまうこともある。



図 2-10 リブによる円筒状成形品の寸法安定化

(7) ウェルド位置や樹脂の配向を配慮し、ゲート位置や方向、点数を決定する。

(8) 成形品形状は、丈夫なものとなるようにする。

(9) 金型の作り易さを考慮し、金型の加工や仕上げのしやすい形状とするため、以下の点に注意する。

- ① パーティンングラインは傾きの少ない単純な直線にする。
- ② 全てのコーナーに内部・外部とも R を付ける。
- ③ 金型加工しにくい形状の場合は、入れ子構造を利用する。
- ④ なるべく機械加工で単純に決まる形状(単純な直線と円)を選ぶ。
- ⑤ 部位毎に表面仕上げを決め、不要な面精度をなくす。
- ⑥ 金型によって直接定まる寸法と定まらない寸法に注意する。(表 2-1)

(10) 組立や2次加工を考慮したデザインとする。

種別		適用例	精度
金型によって直接定まる寸法	(1) 一般寸法	(1) 箱類の内側または外側の縦横寸法、コップの内外径	高
	(2) 曲率半径	(2) 隅角部の丸味	低
	(3) 中心間隔	(3) 同じ側にある穴、凸部、凹部の間隔 (3) 埋込金具の中心間隔	中 中
金型によって直接定まらない寸法	(1) 型開き方向にある寸法 (パーティンングラインを横切る寸法)	(1) 箱類、コップなどの外側高さや底部の肉厚。	中
	(2) 側壁厚などの寸法		低
	(3) 金型の組合せにより定まる寸法	(3) コアとキャビティの関係、サイドコアなどの関係で定まる寸法。	低
	(4) 平行度、偏心	(4) 中空円筒の内外中心線の振れ、同心円のずれ	低
その他の寸法	(1) 曲がり、反り、ねじれ	(1) 射出速度を上げる。	低
	(2) 角度	(2) ダイヤルの目盛角度、傾斜部分の角度	低

表 2-1 金型によって直接定まる寸法と定まらない寸法

2.2 ゲート設計

ゲートの選定は、成形品の形状、取り数、性能、外観、経済性、成形性等を考慮して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。図 2-11 に各種ゲートの構造を示す。

(1) ダイレクトスプルーゲート

1 個取りの場合や、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ため残留歪みが発生しやすいが、金型構造は最も簡単である。

(2) サイドゲート

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や半円形のゲートであり、多数個取り金型に良く利用される。

(3) ファンゲート

サイドゲートと構造が似ているが、ゲート幅が大きく扇状となる。大型成形品等に用いられる。

(4) ピンポイントゲート

ピンポイントゲートの径は 0.5～2mm 程度で、一般的に後仕上げの必要がない利点がある。ゲートシールが早く、成形品に残留歪みを与えるほど圧力が直接伝達しない。また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やすい。

(5) ディスクゲート

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欠点がある。

(6) リングゲート

ディスクゲートと同様な使われ方をする。ゲート形状は、リング部がまず充填された後に円筒部が充填されるようにしないとウェルドが発生する。

(7) フィルムゲート

平板状の成形品に適用される。残留歪みを抑え、変形の防止には有効である。

(8) タブゲート

成形品側面にタブを設け、そのタ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部分で起こるため、残留歪みやフローマーク等をタブ内に抑えることが可能である。

(9) サブマリングゲート

このゲートでは、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過して成形品の側面に達する。型開き後に成形品を離型する際に、ゲートが自動的に切断される。

2.3 圧力損失

スプルー、ランナー、ゲート部では圧力損失が生じるため注意が必要である。樹脂をニュートン流体と仮定すると圧力損失の大きさは以下の式で表され、断面の厚みや径に大きく依存することがわかる。

【 矩形断面の場合 】

$$\text{圧力損失 } \Delta P = \frac{12 \cdot L \cdot \eta \cdot Q}{W \cdot h^3}$$

η : 粘度, Q : 流速
 L : 長さ, W : 幅, h : 厚み

【 円形・半円・楕円形断面の場合 】

$$\text{圧力損失 } \Delta P = \frac{8 \cdot L \cdot \eta \cdot Q}{\pi \cdot R^4}$$

η : 粘度, Q : 流速
 L : 長さ, R : 水力学相当円半径

$$\text{ただし } R = \frac{2 \cdot S}{\ell}$$

S : 断面積
 ℓ : 断面の全周長

実際には樹脂は粘弾性を持つ非ニュートン流体であるため、断面の厚みや径が小さくなるとせん断力が大きくなると粘度が低下する。したがって実際の圧力損失の影響は、上記計算式よりもやや小さくなる場合がある。

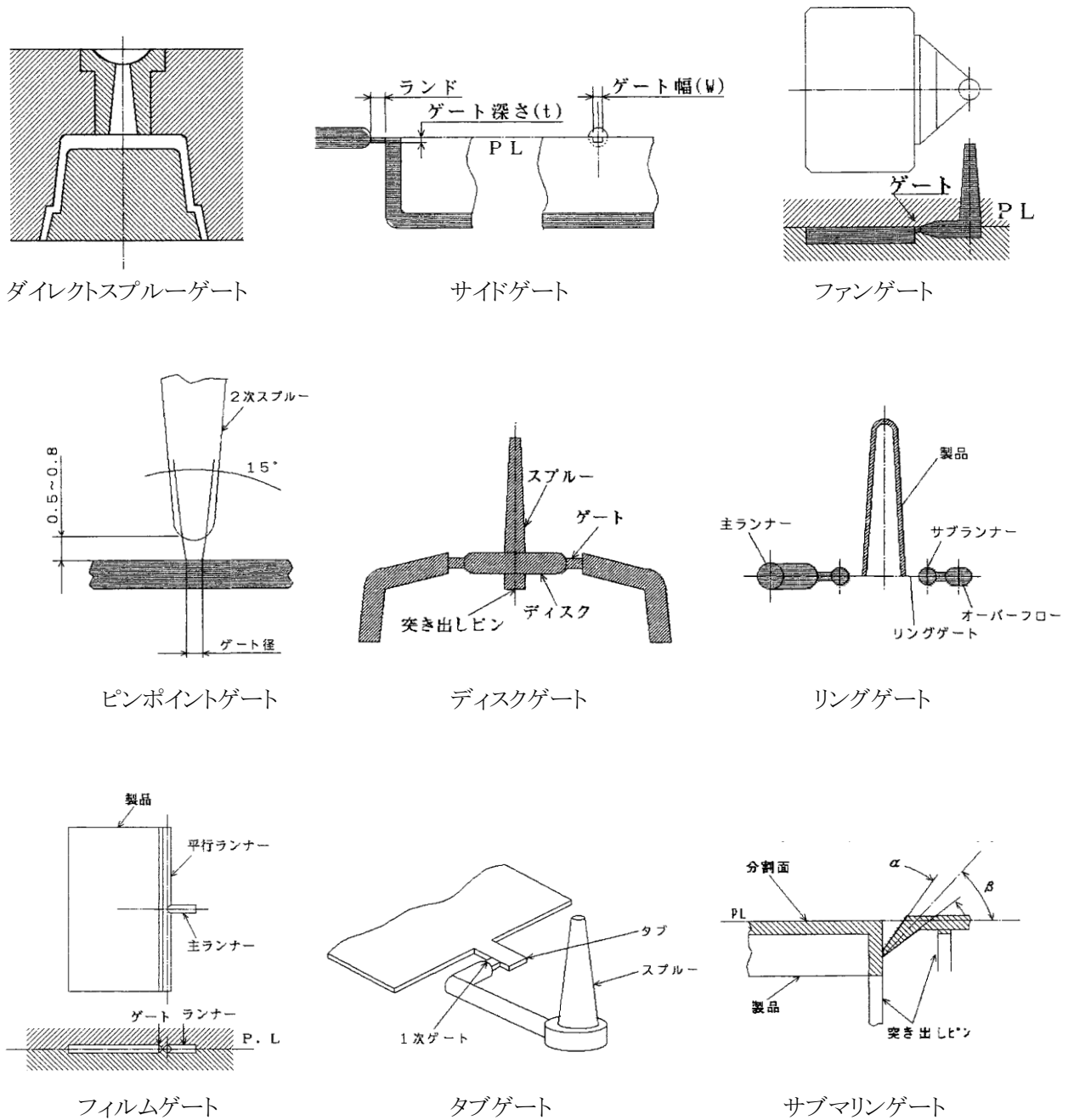


図 2-11 ゲートの種類と構造

2.4 多数個取りレイアウト

キャビティが多数個取りの場合は、寸法バラツキが大きくなりやすいため、キャビティ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。

2 個取りの場合のキャビティ配置では重力の影響を受ける場合があるため、上下よりも左右の配置が望ましい。特に肉厚成形品の場合では、下方のキャビティでは樹脂が重力の影響を受けて、ゲート通過後にキャビティ下方まで垂れてしまい、ジェットイングの様を呈する場合がある。

多数個取りの場合は原則として、各キャビティまでのランナーの長さが等しくなるように配置(等長ランナー)し、出来るだけ同時充填させるのが望ましい。直列ランナーのようにランナー長が異なる場合は、ゲート径等でバランスを取った方がよい。等長ランナーであっても特に 8 個取り以上のときは、内側キャビティが充填しやすくなる傾向があるため、ゲート径等でバランスを取る必要が生じる場合がある(図 2-13)。

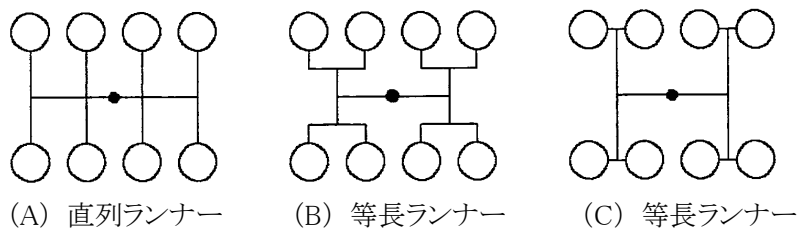


図 2-12 多数個取りレイアウトの例

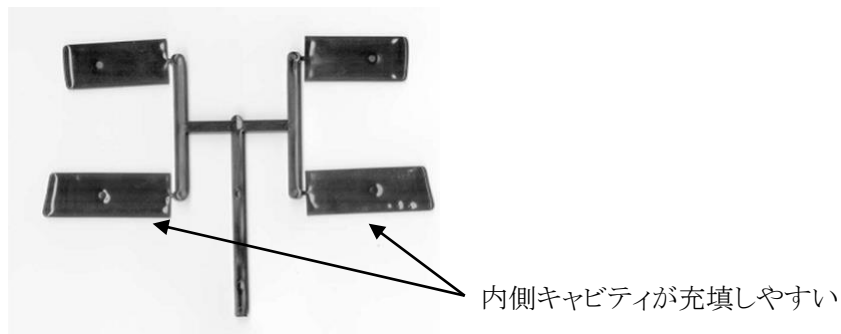


図 2-13 8 個取り等長ランナー(片側半分モデル)の充填パターン例

2.5 冷却配管

金型の冷却回路の設計は、金型が成形時に樹脂を冷却するための熱交換器となるため非常に重要である。金型の冷却孔の径は $\phi 8 \sim 12\text{mm}$ 程度が望ましい。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 2-14 に冷却孔のキャビティ表面からの距離と冷却孔寸法との関係を示す。この曲線は、キャビティ表面が $2\mu\text{m}$ 弾性変形するとした場合の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 倍以上とるのがよい。

しかし、実際の金型においては、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(バブラーチューブ)、セパレート板(バッフルプレート)等がある(図 2-15)。

また、冷却流路を設けることが困難な箇所などについては、部分的に金型材質をより熱伝導度の良い材料に変更するような対応方法もある。

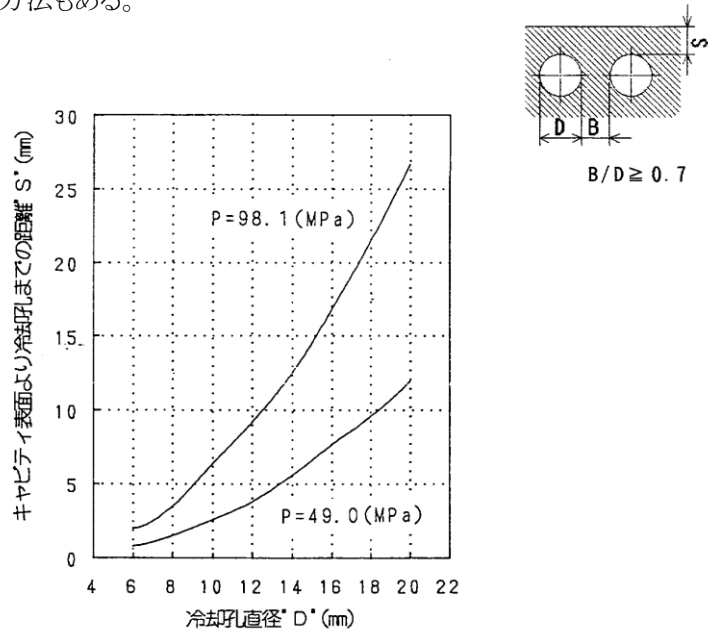


図 2-14 キャビティ表面から冷却孔までの距離と冷却孔寸法との関係

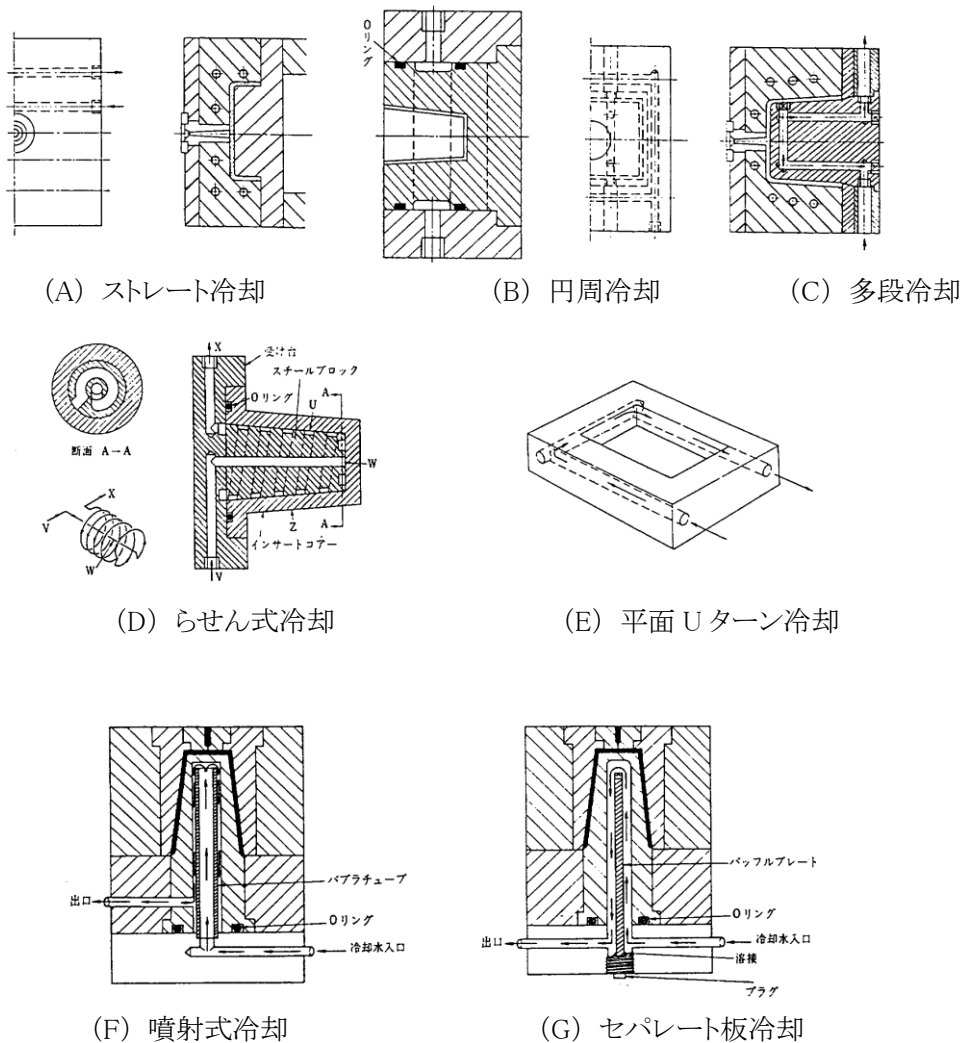


図 2-15 冷却回路構造の例

2.6 ガスベント

金型のガスベントの付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

(2) 金型分割面(パーティングライン)からのガス抜き

ベント深さは0.005~0.02mmとし、一般的に次のような位置に設ける。

- ① ゲートからなるべく遠いところ。
- ② ウェルドラインの出やすいところ。
- ③ ランナーやサブランナーの末端部。

(3) 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。ピンとピン穴間のクリアランスは、ピン径 5~10mm 程度の場合は0.02~0.03mm、これより細かい場合は0.01~0.02mm が標準的である。

2) コアピンを利用する方法

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

3) 層状の入れ子ブロックによる方法

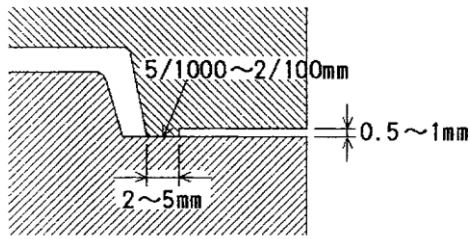
高さの高いリブのガス抜きの方法として、薄いブロックを層状の入れ子にして、そのクリアランスを利用する。また、キャビティの一部平坦部を薄板を重ね合わせた入れ子として挿入し、この薄板のクリアランスからガス分を逃がす。

(4) その他特殊な方法によるガス抜き

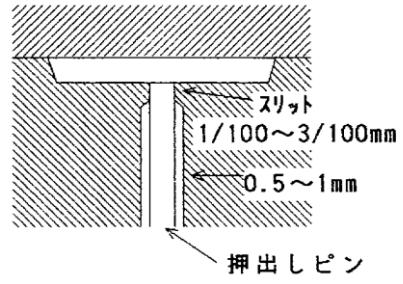
真空ポンプを利用してキャビティ内を高度の真空状態にし、瞬間的にガス抜きを行う方法がある。この方法はガス抜きの方法としては理想に近いものであり、金型キャビティに対する転写精度向上にも効果があるが、設備費が高くなり、金型構造も複雑になるのが欠点である。

2.7 スライドコア

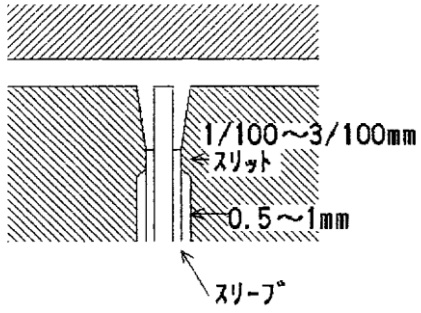
成形品にアンダーカットがあるものについては、スライドコア構造が使用される。突き出し板に固定された傾斜ピン(アンギュラーピン)によって、スライドコアを左右に開閉させる構造である。摺動距離が長い場合には油圧シリンダー装置も使用される。



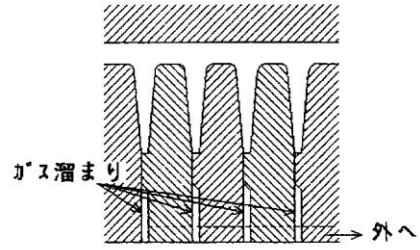
(A) ガスベント



(B) 突き出しピンによるベント



(C) コアピンによるベント



(D) 層状の入れ子によるベント

図 2-16 ガスベント構造の例

3. 成形品の反り変形対策

3.1 変形(反り)の発生要因

PBT 樹脂成形品においては、変形や反りによる寸法変化が問題となる場合がしばしば見られる。反り変形の要因としては以下のような因子があげられるが、実際には種々の因子が複雑に重なり合って発生する。

【 反り変形の発生要因 】

- | | |
|---------|--|
| ① デザイン面 | <ul style="list-style-type: none">・ 形状剛性不足・ 肉厚の不均一・ 形状の非対称性 |
| ② 材料特性面 | <ul style="list-style-type: none">・ 結晶性・ 異方性・ 材料剛性不足 |
| ③ 成形加工面 | <ul style="list-style-type: none">・ 樹脂や充填材の配向・ 内圧の不均一・ 冷却速度(金型温度)の不均一・ 金型コアによる収縮の制約 |
| ④ 二次加工面 | <ul style="list-style-type: none">・ 熱処理(塗装の焼付け, 接着剤硬化処理など)・ 後収縮・ 後加工, 後インサート |
| ⑤ 使用環境面 | <ul style="list-style-type: none">・ 高低温雰囲気・ クリープ |

以下に比較的単純形状の成形品について、形状面での変形防止対策例を示す。複雑形状の成形品については、CAE シミュレーションによる予測が検討されている。

3.2 円板状成形品の変形対策

- (1) ゲートの種類による真円度への影響については、一般的に以下の順で真円度が良くなる傾向である。
 サイドゲート < ピンゲート(2点) < ピンゲート(3点) < センタースプルーゲート
- (2) 特に GF 強化グレードの場合は、ウェルドが真円度に影響を与える場合があるため、ゲート位置に注意するとともに、できるだけ流動性の良い条件で成形し、金型のガス抜けに注意する必要がある。
- (3) 面振れ方向の変形は、直径方向と円周方向の収縮率差から発生することが多い。形状的にバランスをとるほか、円周方向にリブを設けることで剛性を高めて矯正する方法がある。ゲートは多点ピンゲートが面振れに対しては比較的有効である。

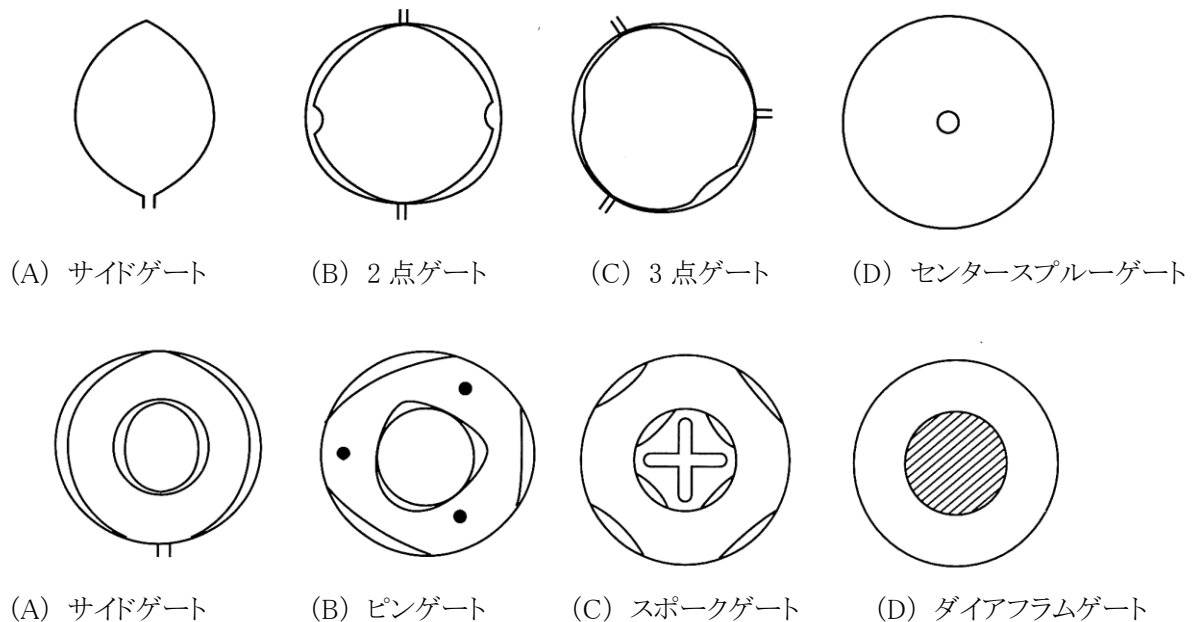


図 3-1 円板状成形品におけるゲートの種類と真円度

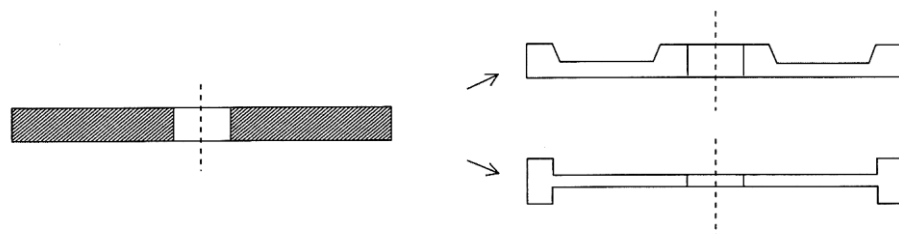
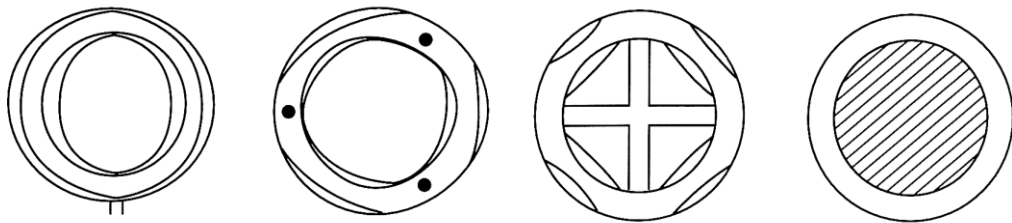


図 3-2 面振れ変形の対策例

3.3 円筒状成形品の変形対策

- (1) ゲートは長手方向に直接入る 3~4 点ゲートが望ましい。サイドゲートやサブマリンゲートなどの場合は、ランナーを回り込ませて 2~3 点にし、コアの倒れを抑える必要がある。
- (2) 二重円筒の場合は、継ぎリブの厚みが真円度に影響するため、リブの厚みはベースの 1/3 程度になるようにする。
- (3) コアピンの冷却は非常に重要な要素である。直接水冷やヒートパイプ間接冷却などのほか、ピンが細い場合はエア冷却や熱伝導性の良い特殊素材を用いるなどの工夫が必要となる。
- (4) 形状はできるだけ全周にわたって類似形状となるようにする。欠円部がある場合は、ダミーブリッジを設置して冷却後にカットするなどの方法が、倒れ防止に有効である。



(A) サイドゲート (B) ピンゲート (C) スポークゲート (D) ダイアフラムゲート

図 3-3 円筒状成形品におけるゲートの種類と真円度

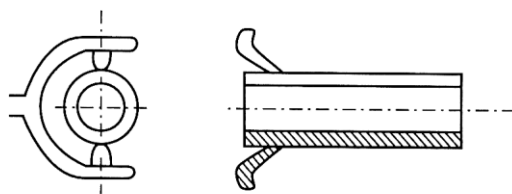


図 3-4 サブマリンゲートの場合のランナー回り込みによる多点化

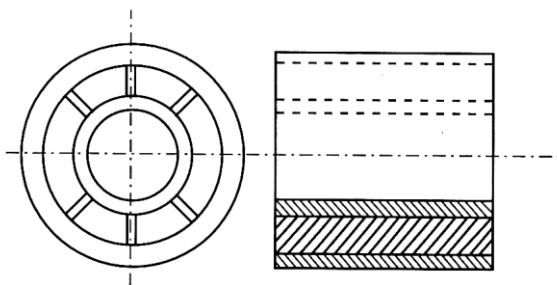


図 3-5 二重円筒の場合の継ぎリブ

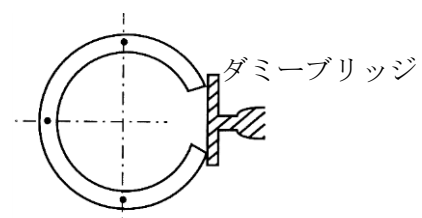


図 3-6 欠円部におけるダミーブリッジ設置例

3.4 細長い成形品の変形対策

- (1) 細長い成形品ではゲート設計の影響が大きく、長手方向に樹脂が流れるような設計が望ましい。比較的流動距離が短い場合は、一端からのエンドゲートが変形防止には適している。
- (2) 流動距離が長い場合は、多点ゲートとする必要がある。この場合はウェルド位置に対して注意が必要である。成形品の幅が広い場合は、中心線上に多点ピンゲートを配置するのがよい。

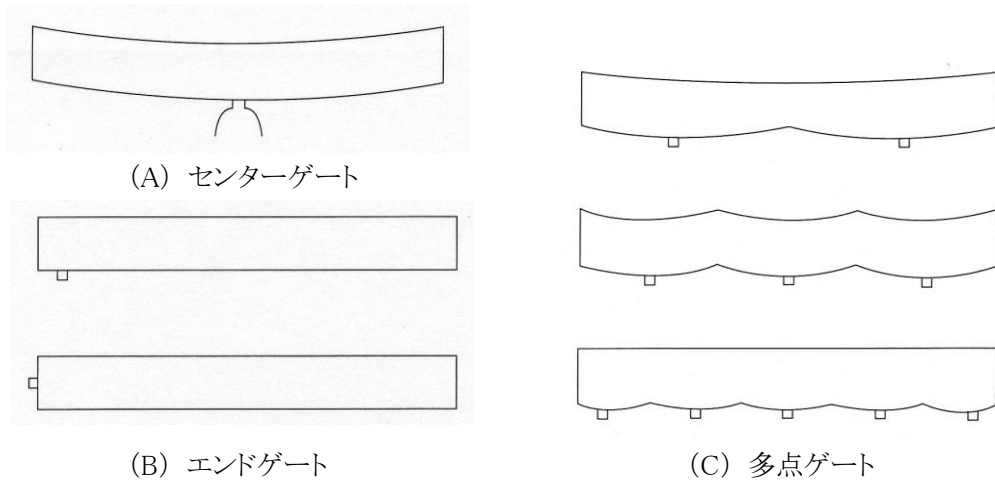


図 3-7 細長い成形品におけるゲート位置と変形

3.5 平板状成形品の変形対策

- (1) 一般にリブがある場合は、ベースよりもリブ部の冷却が速いためリブが突っ張り、リブ側への凸変形を起こしやすい。このため反対側にリブを追加したり、ベースの肉厚を薄くして反対側にリブができるようにしたりする H 型断面構造にするのが望ましい。
- (2) GF 強化グレードの場合は、配向の不均一性からひねり変形を生じる場合があるため、ゲート位置やサイズに注意する必要がある。
- (3) 形状因子の影響が大きい形状であり、一般的に成形条件による対策は難しい。成型条件面では金型温度に差を付ける方法などがあるが、設備面や管理面での困難を伴うことが多い。

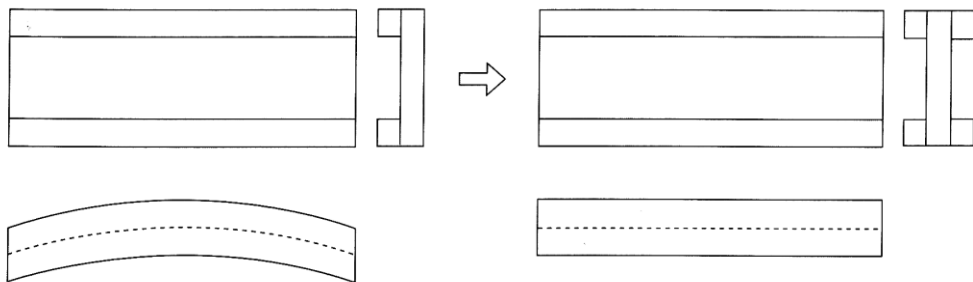
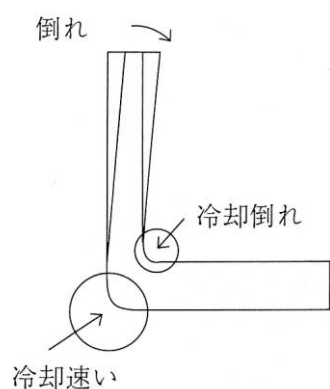


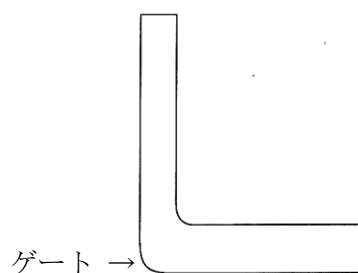
図 3-8 平板状成形品におけるリブの変形効果

3.6 L字型・コの字型成形品の変形対策

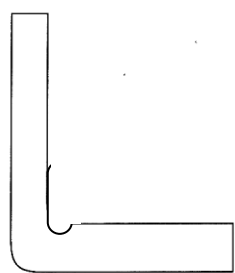
- (1) コーナー部において内側よりも外側の冷却が早くなるため、内倒れ方向への変形を生じやすい形状である。
- (2) GF 強化グレードの場合は、コーナー部にゲート配置することで改善できる場合がある。
- (3) コーナー内側部の肉抜きをすると効果的である。肉抜き部にはRを設けてシャープコーナーを作らないよう注意する。
- (4) 形状面に制約がなければ、コーナーへの三角リブを設置する。三角リブはなるべく高い位置から取り、肉厚はベースの1/2以下にする。
- (5) 内側に三角リブが立てられない場合は、コーナー外側にT字型にリブを出す方法もある。



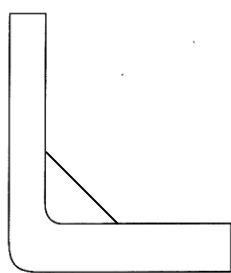
L字型成形品の倒れ変形



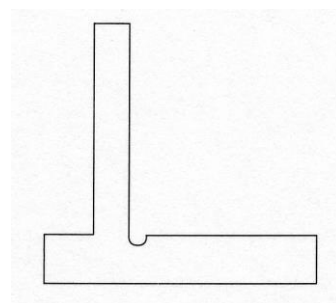
(A) コーナー部へのゲート配置



(B) コーナー部の肉抜き



(C) 三角リブ

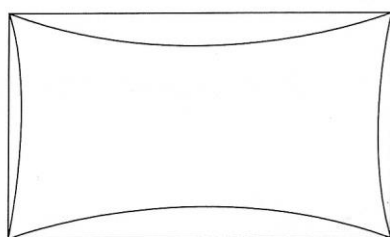


(D) T字型リブの追加

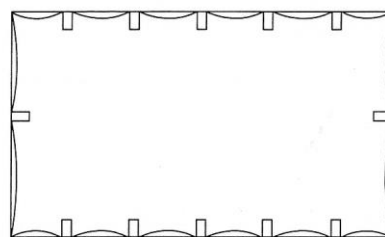
図 3-9 L字型成形品の倒れ変形対策例

3.7 箱型成形品の変形対策

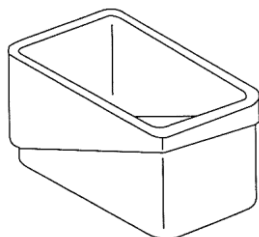
- (1) 一般にスパンが長くなるほど内反りが大きくなる傾向にあり、長辺側の方が短辺側よりも内反りが大きく出やすい。内側にリブを立てたり、コーナーに三角リブを立てたりすることで改善できる。
- (2) 縁の部分で補強して形状剛性を上げるのも効果的である。特に GF 強化グレードでは効果が出やすい。
- (3) コア冷却は極めて効果的である。十分にコア冷却対策を考慮する必要がある。
- (4) ゲート形状はピンゲートの方がサイドゲートよりもやや良好な場合が多い。



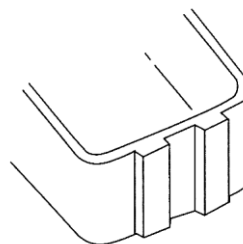
箱型成形品の内反り



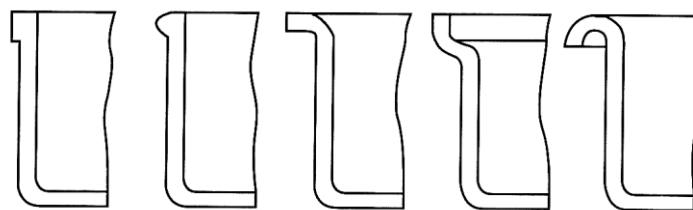
(A) リブ配置による補強



(B) 側壁の補強



(C) 帯状リブによる補強



(D) 縁の補強例

図 3-10 箱型成形品の反り変形対策例

4. 再生利用

4.1 再生利用のポイント

NOVADURAN™は再生使用が可能だが、十分な管理を行わないとトラブルの原因となる場合があるため、注意する必要がある。PBT は前述の通り、乾燥不足で熱履歴を受けると加水分解を起こし物性低下するため、再生使用の際にも粉碎品の乾燥に十分配慮する必要がある。また GF 強化グレードでは粉碎時に GF の破碎が起るため、非強化グレードに比べて再生による強度低下が起りやすいので注意が必要である。図 4-1～図 4-8 に NOVADURAN™再生材使用時における物性変化の一例を示す。

一般的なNOVADURAN™成形における再生材の使用は、十分な管理を行った場合は再生材比率30%程度まで可能な場合が多い。再生材比率が30%を超える場合や、比率が30%以下でも再生材の水分管理が不十分な場合は、成形品の割れなどの問題を生じることがある。成形品が薄肉や複雑な構造の場合は、成形温度を高くしたり大型の成形機を使用したりすることがあり、十分な乾燥を行った場合でも成形時の物性低下が起りやすくなるため注意が必要である。

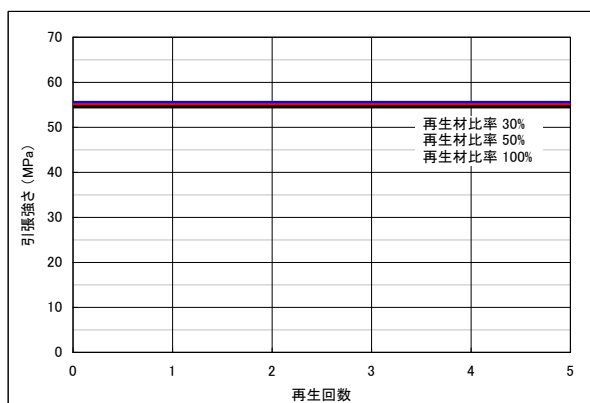


図 4-1 5010R5 の再生による引張強さ低下

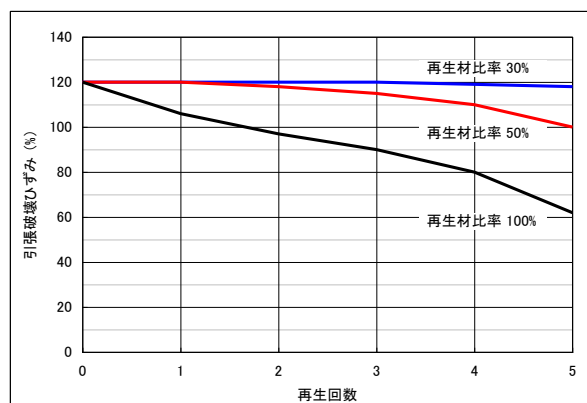


図 4-2 5010R5 の再生による引張ひずみ低下

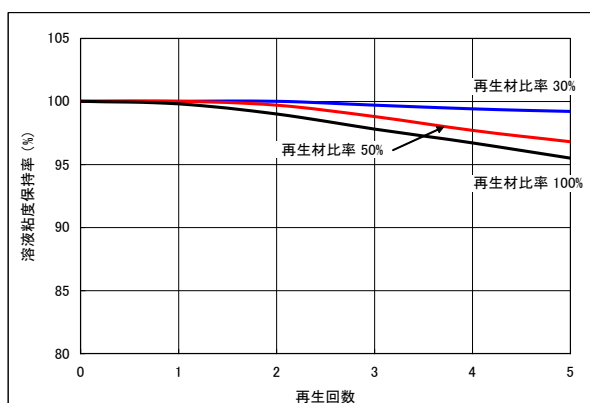


図 4-3 5010R5 の再生による溶液粘度低下

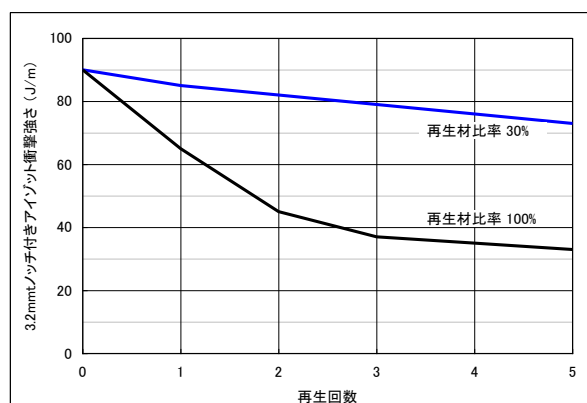


図 4-4 5010G30 の再生による衝撃強さ低下

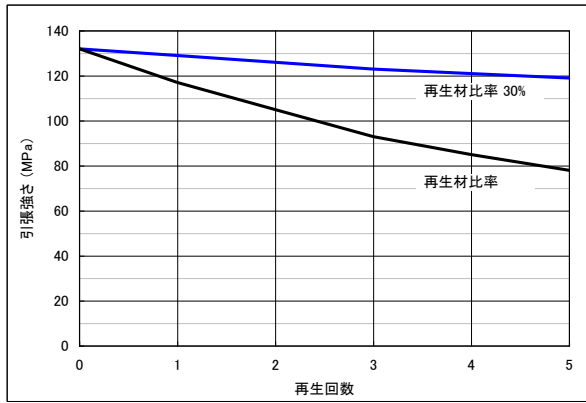


図 4-5 5010G30 の再生による引張強さ低下

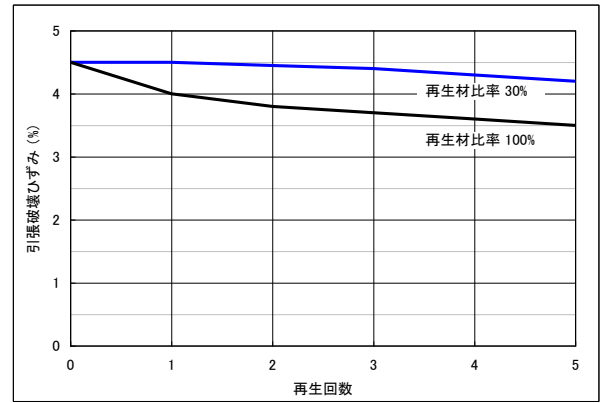


図 4-6 5010G30 の再生による引張ひずみ低下

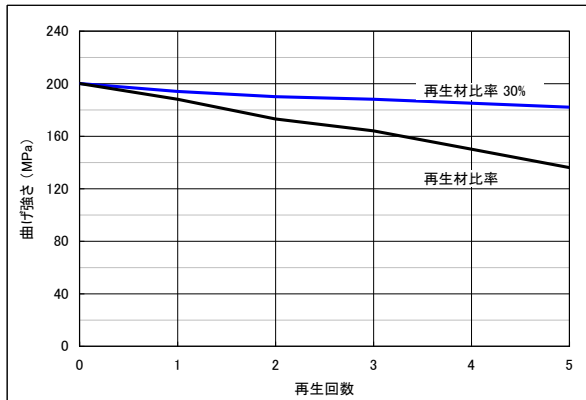


図 4-7 5010G30 の再生による曲げ強さ低下

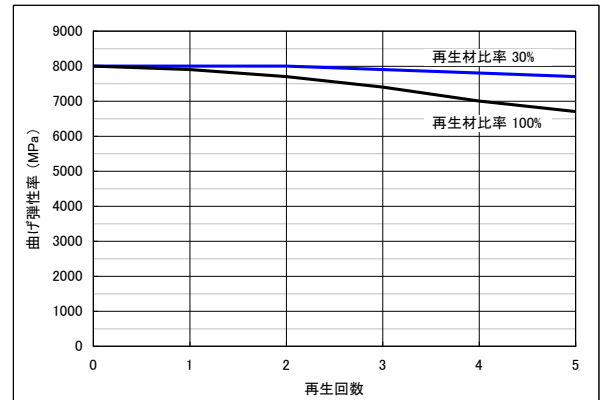


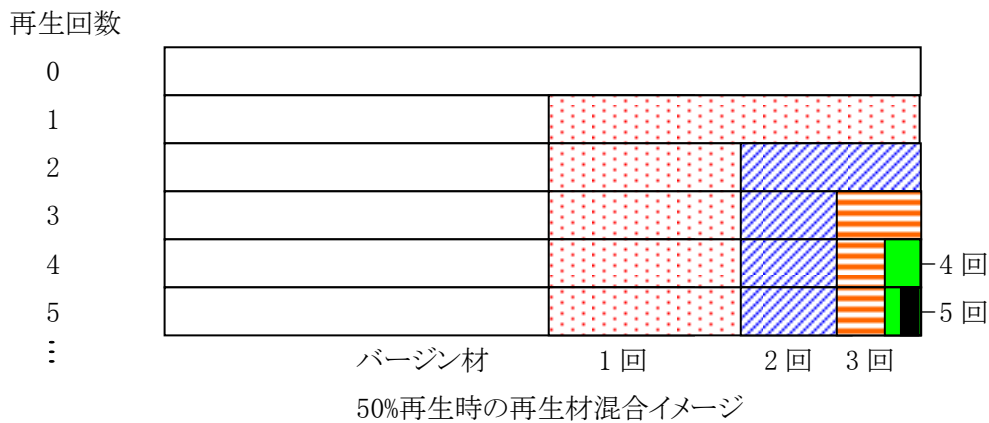
図 4-8 5010G30 の再生による曲げ弾性率低下

4.2 繰り返し再生利用におけるモデル計算

参考として、繰り返し再生における再生材比率と物性低下のモデル計算結果を示す。再生材混入比率を一定値 r とすると、繰り返し再生による再生材比率は以下ようになる。

再生回数	バージン材	1回再生材	2回再生材	3回再生材	4回再生材	5回再生材	...
0	1						
1	$1-r$	r					
2	$1-r$	$r(1-r)$	r^2				
3	$1-r$	$r(1-r)$	$r^2(1-r)$	r^3			
4	$1-r$	$r(1-r)$	$r^2(1-r)$	$r^3(1-r)$	r^4		
5	$1-r$	$r(1-r)$	$r^2(1-r)$	$r^3(1-r)$	$r^4(1-r)$	r^5	
⋮							

例) $r=0.5$ (50%再生) の場合には、下図のようなイメージになる。



さらに 1 回の成形時に受ける熱履歴による物性低下を考え、その物性保持率を α とすると、各再生回数における物性保持率は以下のように表される。

再生回数	物性保持率
0	α
1	$\alpha(1-r) + \alpha(\alpha \cdot r)$
2	$\alpha(1-r) + \alpha(\alpha \cdot r)(1-r) + \alpha(\alpha \cdot r)^2$
3	$\alpha(1-r) + \alpha(\alpha \cdot r)(1-r) + \alpha(\alpha \cdot r)^2(1-r) + \alpha(\alpha \cdot r)^3$
⋮	
n	$\alpha(1-r) + \alpha(1-r) \sum_{k=1}^{n-1} (\alpha \cdot r)^k + \alpha(\alpha \cdot r)^n$
⋮	
∞	$\alpha(1-r) + \alpha(1-r) \frac{\alpha \cdot r}{1 - \alpha \cdot r} + 0 = \frac{\alpha(1-r)}{1 - \alpha \cdot r}$

再生材比率 $r=0.1, 0.3, 0.5$ 、および物性保持率 $\alpha=0.98, 0.95$ の場合について、再生回数と物性保持率との関係を表すと図 4-10 のようになる。いずれの場合も再生を 5 回程度まで行くと、物性保持率は到達保持率に近い値となるため、製品における再生検討では再生回数 5 回程度で検討することが望ましい。再生回数を上げて検討を行えない場合は、到達物性低下率を考慮した再生材比率で検討する方法もあり、例えば実際の再生材比率が 30% の場合は、50% 程度の再生材比率でテストする必要がある。ただし、再生材使用では粉碎形状や水分管理なども大きく影響するため、十分に確認を行っておく必要がある。

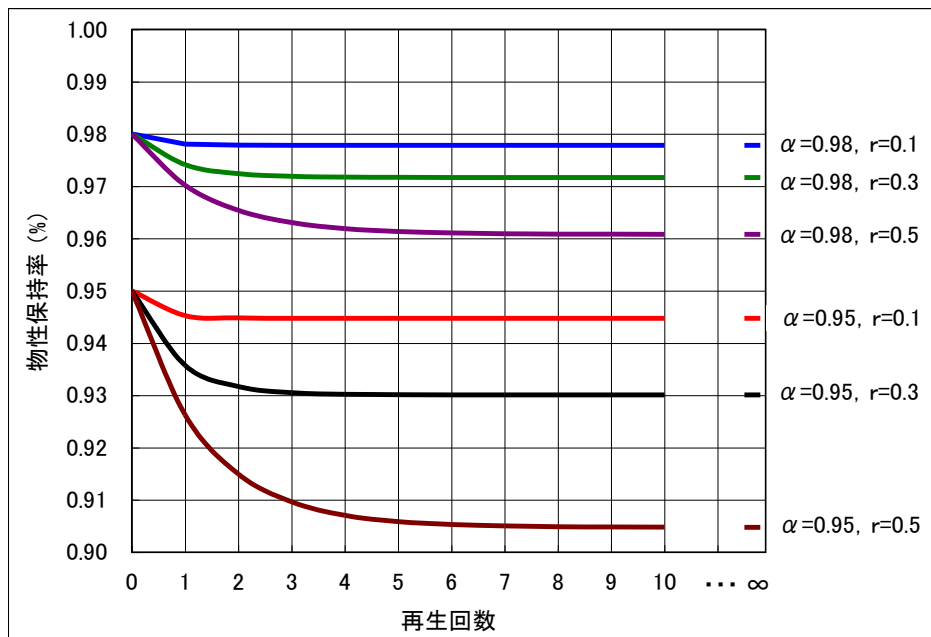


図 4-10 再生回数と物性保持率(計算値)

4.3 再生利用の検討方法

適切な再生材の混入比率は再生材の質や使用するグレード、製品の要求特性等によって決まるため一概には規定できない。そのため事前に十分なチェックを行った上で、再生材量の上限を決める必要がある。スプルー、ランナーの再使用については、油やゴミを含まないよう注意する。またテスト成形や条件出しで作製した成形品は、物性が不安定であるため再生使用には適していない。図 4-11 に再生品利用方法のフローチャートを示す。

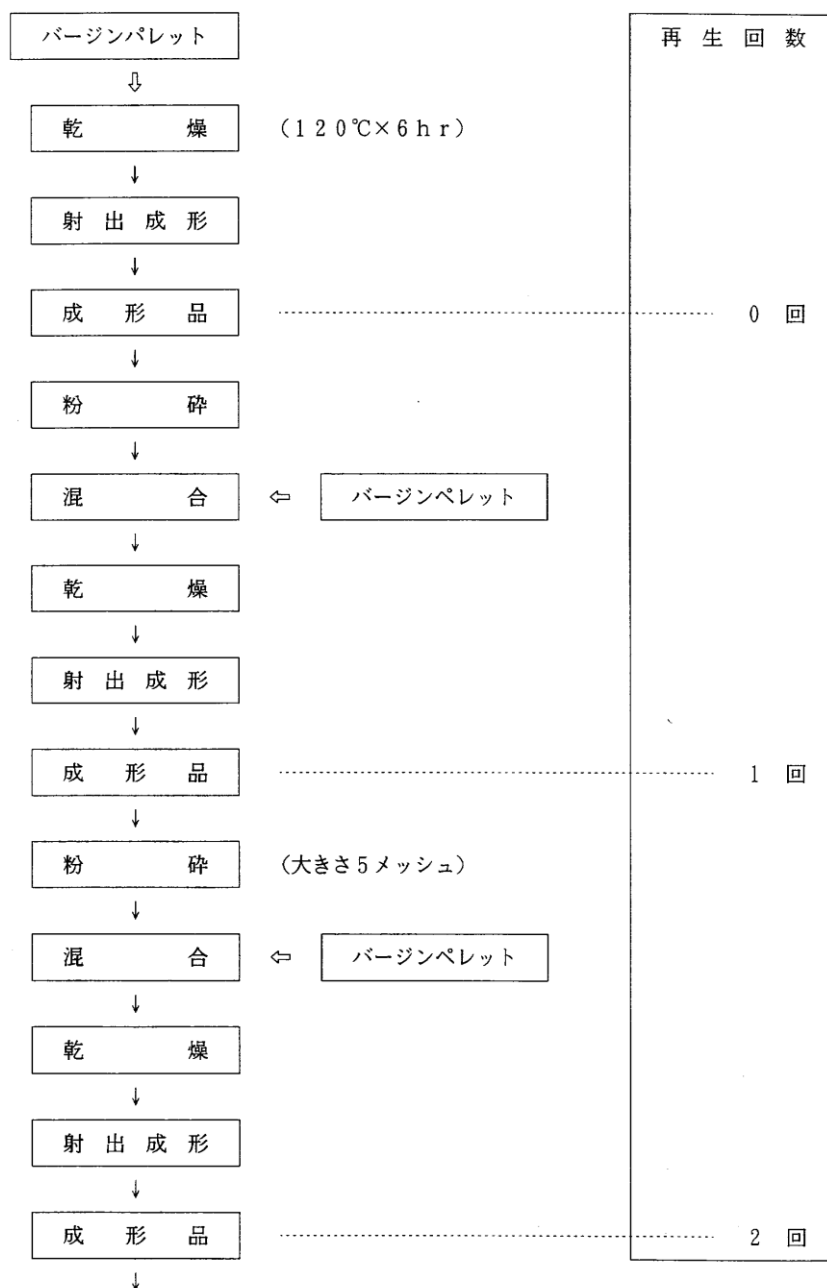


図 4-11 再生品利用方法のフローチャート