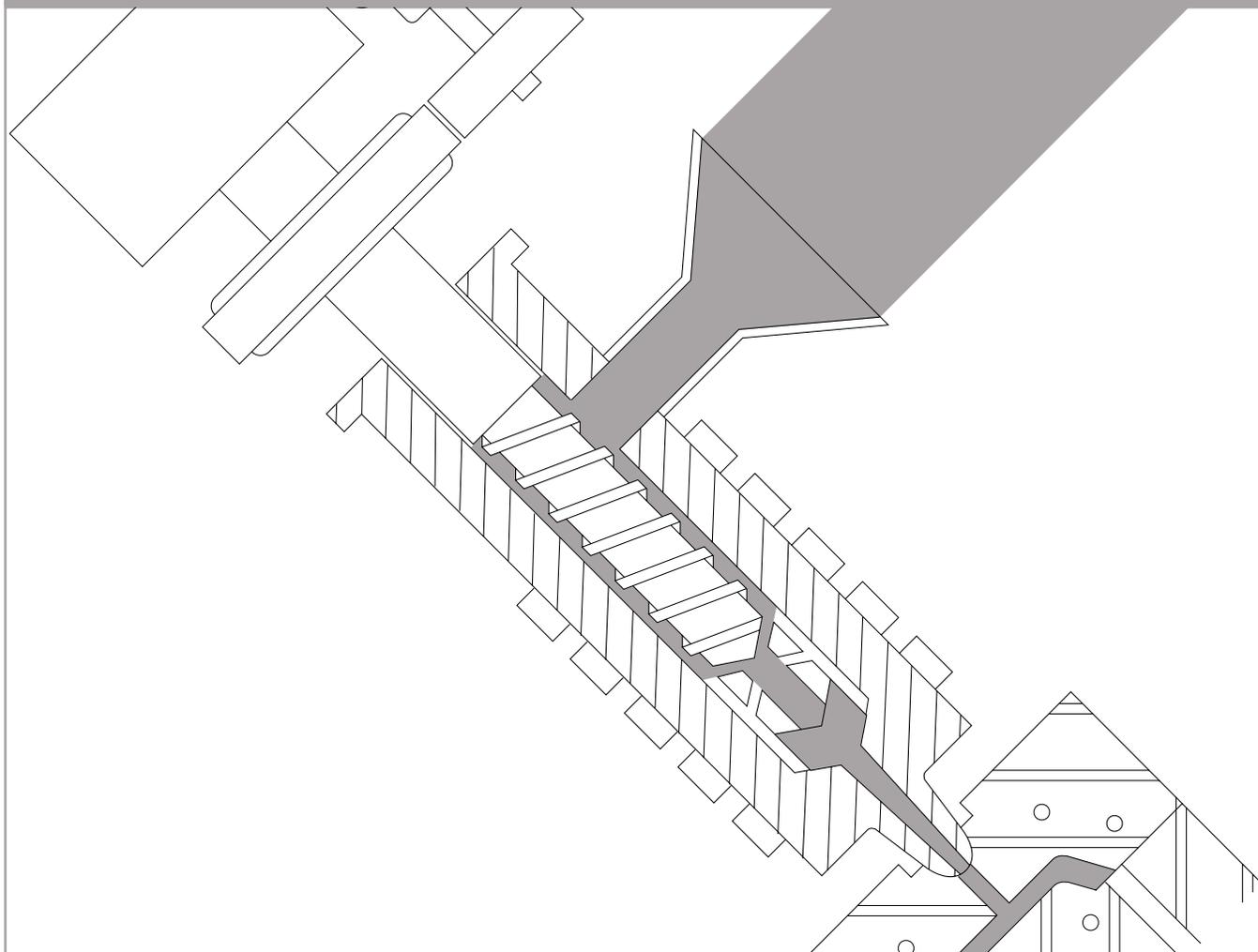


LNP*特殊コンパウンド



LNP*材料の 射出成形加工ガイド



目次

射出成形トラブルシューティングガイド	4
製品設計	5
<ul style="list-style-type: none"> 設計プロセス 射出成形品の設計 	
金型設計	7
<ul style="list-style-type: none"> 金型鋼材 金型表面処理 スプルー、ランナー、ゲート 	
射出成形機仕様	12
<ul style="list-style-type: none"> 基本仕様 	
射出成形工程	15
<ul style="list-style-type: none"> 成形材料の取扱いと準備 射出成形機の準備 離型剤 LNP*コンパウンドに推奨されるパーズ材 成形機の停止手順 	
各種材料の成形加工/設計	19
<ul style="list-style-type: none"> Thermocomp* Thermocomp HSG Verton* Lubricomp*およびLubriloy* Stat-Kon*、Faradex*およびEMI-X*、Stat-Loy* 	
応用射出成形法	23
<ul style="list-style-type: none"> ガスアシスト成形 (GAM) 射出圧縮成形 (ICM) 薄肉射出成形 低発泡成形 (SFM) 	
技術情報	24
<ul style="list-style-type: none"> リグラインド 金型冷却 適切な予備乾燥 許容公差 強化熱可塑性プラスチック部品のソリ 	
LNP製品シリーズについての情報と製品コード一覧	34

LNP*射出成形トラブルシューティングガイド

問題	原因	対策
脆弱	<ul style="list-style-type: none"> 材料の吸水 過度の加熱 成形残留応力 部品設計不良 ウェルドライン 	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥手順を見直す バレルまたはノズルの温度を下げる バレルまたはノズルの温度を上げる コーナー'R'を設ける 射出圧力を上げる 溶融温度を上げる
ソリ	<ul style="list-style-type: none"> 部品の温度差 過度の収縮 材料の配向 部品設計不良 <p>離型問題</p>	<ul style="list-style-type: none"> 金型冷却システムをチェックする 保持圧力/時間を上げる ゲート位置を変える リブを追加するか部品肉厚を厚くして剛性を高める 肉厚の均一さをチェックする 冷却時間を延ばす 金型の温度を下げる エジェクターピンの面積を大きくする
バリ	<ul style="list-style-type: none"> 型締力が不十分 高い射出圧力 プラテンのずれ エアレントが深すぎる 	<ul style="list-style-type: none"> より大型の成形機を使用する 射出圧力を下げる プラテンの位置を調整する エアレントの見直し
ガス焼け	<ul style="list-style-type: none"> キャビティ内の空気 バレルまたはノズルの過熱 せん断発熱 コンタミ <p>成形機内の滞留</p>	<ul style="list-style-type: none"> エアレントの改善 ヒーター・コントロールを点検する 射出速度を下げる バレルをバージする ホッパー・ドライヤーを清掃する スクリューを取り外して清掃する
ウェルドライン強度不足	<ul style="list-style-type: none"> ガス抜きが不十分 射出速度が遅い、または金型温度が低い ゲート位置が不適切 	<ul style="list-style-type: none"> エアレントの改善 射出速度や金型の温度を上げる ゲートの位置を変えるか、オーバーフロータブを設ける
離型不良	<ul style="list-style-type: none"> 過充填 金型設計 	<ul style="list-style-type: none"> 射出圧力を下げる 射出速度を下げる アンダーカットの有無を確認する エジェクターシステムを点検する 抜き勾配を大きくする
表面の欠陥（白濁）	<ul style="list-style-type: none"> 射出速度が遅すぎる 樹脂温度や金型温度が低い 材料の吸水 	<ul style="list-style-type: none"> 射出速度を上げる バレルまたは金型の温度を上げる 乾燥手順を見直す
ヒケやボイド	<ul style="list-style-type: none"> 保持圧力が低い、または保持時間がショット重量不足 ゲート固化が速い、またはゲートの位置が不適切 	<ul style="list-style-type: none"> 保持圧力を上げる、または保持時間を延ばす 射出量を増やす ゲートの寸法および位置をチェックする
ゲート・ブラッシュ	<ul style="list-style-type: none"> 樹脂温度が低い メルトフラクチャー 	<ul style="list-style-type: none"> ランナーにコールドスラグウェルを設ける 溶融温度を上げる 射出速度を下げる ゲートサイズを大きくする ゲート部にRを設ける
寸法のバラツキ	<ul style="list-style-type: none"> ショット間のバラツキ 溶融温度のバラツキ 充填不足 	<ul style="list-style-type: none"> 適切なクッションを保持する チェックリングの摩耗を点検する バンドヒーターおよびヒーターコンローラを点検する 保持時間を延ばす ゲートを大きくしてゲートシール時間を延ばす

製品設計

LNP*複合材で製造された部品の性能は、コンパウンドの特性、製品設計、および成形加工によって異なります。用途の構造上の要求特性と成形の生産性を満たすためには、優れた製品設計が不可欠です。また、組立加工の要求も設計段階で考慮する必要があります。

設計プロセス

設計プロセスは、材料、設計、および成形加工の決定を平行して行う3段階のアプローチによって単純化できます。設計プロセスの早い段階でSABICイノベティブプラスチックスのエンジニアにご相談ください。上記の各手順に関する詳細は、『エンジニアリングプラスチック材料を使用した設計』を参照してください。下記のガイドラインは、高品質な射出成形品を製造するための優れた設計に関する注意事項をまとめたものです。

概略設計段階

- 要求特性の定義
- 概念形状の決定
- 候補材料の選択
- 成形方法の選択
- 成形可能性の分析
- 次段階移行の決定

詳細設計段階

- 詳細部品設計の完了
- 成形加工に関する決定
- 材料の決定
- プロトタイプ試験
- 評価と設計変更

製造化設計段階

- 金型設計、製造、および評価
- 流動解析
- 成形設備の選択
- 部品のテスト
- 顧客による評価

射出成形品の設計

優れた成形品を製造するには、成形品形状がきわめて重要です。主な考慮事項には次のようなものがあります。

肉厚

成形品全体の肉厚を均一にすることと、公称肉厚に配慮することが重要です。

均一性

- 残留応力（ソリ、ヒケ、耐薬品性）
- 機械的特性（強度、耐衝撃性）

公称肉厚

- 認定機関の認可（難燃性）
- 加工性（流動性、流動長、サイクルタイム）
- 材料系に基づく最大肉厚

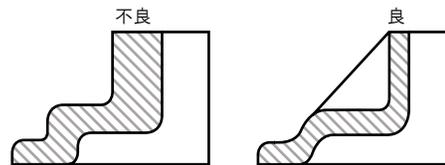
肉盗み

成形品の厚い部分を肉盗みして肉厚を均一にし、冷却速度を均等にします。

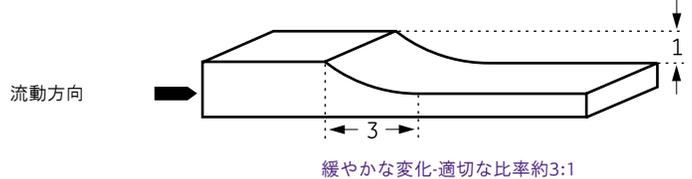
収縮と許容公差

ガラス繊維強化材料の一般的な収縮率は、未強化材料の1/3~1/2程度です。LNPでは、特に複雑な形状の部品や肉厚に大きな違いのある部品については、まずプロトタイプの金型を使用して正確な収縮率を調べることをお勧めします。収縮率に異方性のあるコンパウンド(強化された結晶性樹脂)の成形品も、まずプロトタイプ評価を行うか、または仮金型で成形して重要部分の収縮率を予測してください。一般的に、強化材料は未充填材料よりも厳しい許容公差の成形ができます。許容公差を小さく設定すると、成形部品のコストが大幅に上がる場合があります。これは小さい許容公差で設計を行うと、製造工程に追加の手順が加わったり、許容公差が大きい場合に比べて金型のコストが高くなったりするためです。許容公差とソリについての詳細は、29ページを参照してください。

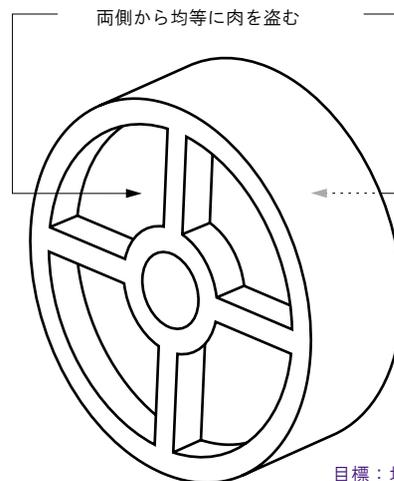
肉厚断面の変化



肉厚変化の設計



肉盗み



目標：均一な肉厚、および均等な圧力分布と均等な冷却

コーナー'R'

シャープ・コーナーは応力が集中するため、これは避ける必要があります。右図のガイドラインで適切なコーナー'R'を確認してください。

抜き勾配

可能であれば、全ての壁面に片側2°~3°の抜き勾配が必要です。強化複合材は収縮率が低いため、最低1°の抜き勾配をつけます。未充填材料の場合は片側最低1/2°の抜き勾配を維持してください。シボ面の場合は、シボの深さ0.001インチ(0.025ミリ)につき、さらに片側1°の勾配を追加します。

ウェルドライン

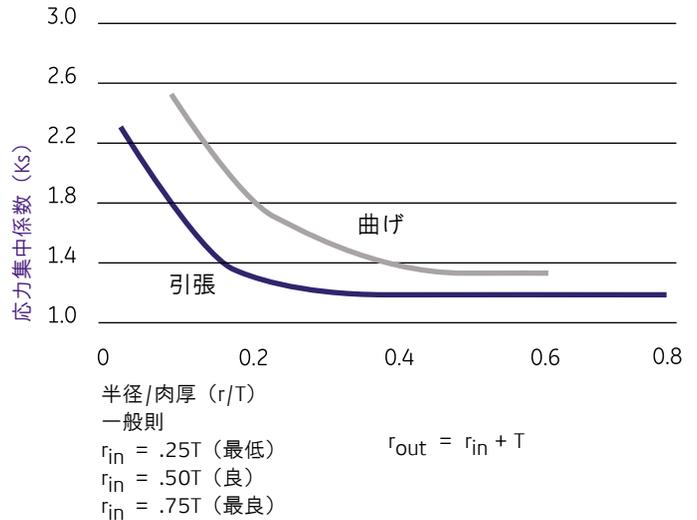
金型の設計(ゲート位置)などを適切に行えば、ウェルドラインの発生を最小限にすることができます。ウェルドラインの発生が避けられない場合は、負荷応力が最小になる部位にくるようにしてください。

過去のLNP*複合材のウェルドラインに関する検証結果から、以下のことがわかっています。

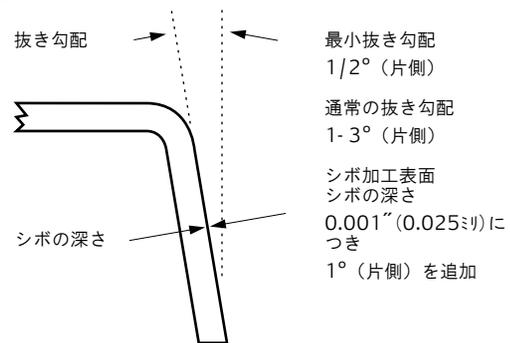
- 充填材料または強化材料のウェルドラインの引張強度は、ベース樹脂本来のウェルドライン強度に依存する
- 繊維強化材は、配向がウェルドラインと平行になった場合、ウェルドライン部の強度を大幅に下げる。強度低下の度合いは強化材の量に直接関係する。粒状充填材はこれほどウェルドライン強度に影響を及ぼさない
- 通常、成形品が肉厚になるほど応力は減少するが、肉厚はウェルドラインの引張強度にほとんど影響を与えない
- 成形条件(保圧時間)以外は、ウェルドライン強度に大きな影響を与えない
- ウェルドライン強度をできる限り高めるには、ウェルドライン付近で最適なガス抜きを行う必要がある
- オーバーフロータブを設けても、コストの増加に見合うほどウェルドラインの強度は上がらない

リップ/ボス/ガセット

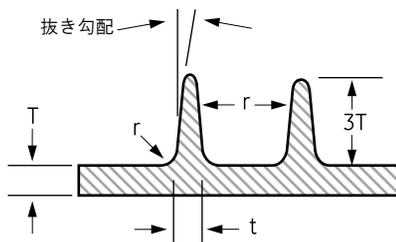
離型不良やヒケは、リップ、ボス、またはガセットの不適切な設計によって発生する場合があります。長いコアピンも、設計が適切でないと過熱や変形が起こる可能性があります。片持ちのピンのL/Dは5/1未満にしてください。銅合金を使用すれば、長いコアピンの冷却を容易にできます。



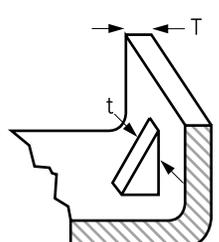
抜き勾配



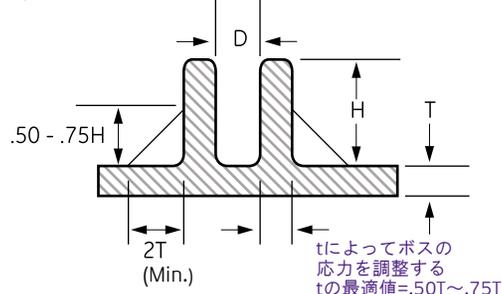
リップ



ガセット



ボス



金型鋼材

適切な金型鋼材の選定は用途によって異なります。試作型には必ずしも焼入金型鋼を使用する必要はありません。多くの場合、プリハードン鋼またはアルミニウムは、コストを抑えるとともに試作段階で金型修正を容易にするために使用されます。このような軟質の金属でも十分なテスト用部品を成形できるほか、量産試作品も成形できます。P-20やNAK[®]-55などのプリハードン鋼はしばしば、非常に大型の金型材料として使用されます。これは大型部品の場合、金型鋼材の焼入れがきわめて困難になるからです。

成形数量が多い場合、コアやキャビティに焼入金型鋼を使用する必要があります。最もよく使用されるのは、S-7、H-13、および多くの場合ステンレススチール420です。S-7は優れた金型鋼で、長期製造が可能です。高い熔融温度と金型温度が必要な場合は、H-13を使用します。H-13はホットランナー・マニホールドの製造にも使用されます。H-13は焼戻し温度が非常に高いため、高い成形加工温度にも硬度の低下なしに耐えることができます。

高い耐摩耗性が求められる場合や、環境により大量の結露が発生する場合は、ステンレススチールを使用します。摩耗が高い領域のキャビティインサートには、A2、ASP23、またはD-2スチールを使用できます。

すべての金型鋼材は、ある種のメッキを施して摩耗や腐食から保護することができます。溶接や機械加工による補修が可能なのはステンレススチールのみです。メッキを施した鋼材は、メッキをはがした後でないと補修できません。メッキは補修後に再び施すことになります。

推奨金型鋼材

鋼鉄	ロックウェル硬度 (Cスケール)	
SS420	30-35	溶解加工可能なフッ素樹脂複合材
H13	48-54	
S7	54-56	Thermocomp [*] 、Stat-Kon [*] 複合材
D2	56-58	Lubricomp [*] 、Verton [*] 複合材

上記の金属は無電解ニッケルまたはクロムメッキで耐腐食性を高めることができます。

表面仕上げ

成形品の表面は、成形品外観、顧客ニーズ、および性能関数についての要求によって変わります。LNP^{*}複合材による成形品では、SPI#1の光沢のある鏡面から、フォトエッチング技術によるシボ加工表面まで、ほぼあらゆる種類の表面仕上げが可能です。ある種の材料は特定の成形表面仕上げで性能が向上することを理解してください。たとえばポリプロピレンは、光沢仕上げよりもつや消し仕上げのほうが金型からの離型が容易になります。高充填樹脂では、光沢の優れた部品を成形することは困難です。

エアイベント

金型の性能を最大限に高めるため、エアイベントは成形過程における重要な要素です。熱可塑性樹脂を金型キャビティに注入する際、キャビティ内の空気は排出させる必要があります。イベントは通常、材料の流動末端部やフローの合流付近、ランナーシステム上などに設けます。さらにパーティングラインの周囲に追加のイベントを配置すれば、全体的なガス抜き効率が大きく向上します。金型内部に閉じ込められた空気は、成形品表面にガス焼けの跡として現れます。基本的な法則として、金型内部の空気はプラスチック材料がキャビティに充填するのと同じ速度で外部に排出される必要があります。

エアイベントの深さは成形する材料によって異なります。非結晶性熱可塑性樹脂は通常、粘度が高いためより深いイベントが必要です。

エアイベント

Thermocomp樹脂	エアイベントの深さ	ランド長0.76mm毎に深さを0.76mmに増す
スチレン (A、B、C、Nシリーズ)	0.038~0.076ミリ	
ポリカーボネート		
PEI/PEEK/PPO		
PSUL/PUS/PAS		
熱可塑性ポリウレタン		
非結晶性ナイロン	0.013~0.025ミリ	
ポリエステル エラストマー		
ポリエチレン		
ポリプロピレン		
ナイロン (H、I、P、Q、R、Sシリーズ)		
アセタール	0.008~0.013ミリ	
PBT/PET		
PPS		

シングルキャビティとマルチキャビティ

この業界で、特にLNP*コンパウンドに一般的に使用される金型の基本的なタイプは3種類あります。最もよく使用されるのが、図1に示すツープレートのコールドランナー金型です。材料はスプルーブッシュから注入され、ランナーを通過してキャビティに入ります。冷却後は、成形品全体（ゲート、ランナー、スプルーを含む）が突出され、成形品が取出されます。ランナーとスプルーは廃棄またはリサイクルされます。図2はコールドランナーのスリープレート金型を示したものです。このデザインでは材料はスプルーから注入され、ランナーを通過してキャビティに入ります。冷却後は、金型が開くことにより、成形品はゲートおよびランナーから分離され、これで成形品はランナーから外れます。スプルー、ゲート、ランナーは、リサイクルまたは廃棄する必要があります。図3はホットランナー・マニホールド金型です。マニホールドおよびゲート流路は、材料を熔融状態に保つため、ポリマーの熔融温度またはその近くまで加熱されます。このため、スプルー、ゲート、ランナーの廃棄物は発生しません。このシステムは従来型のツープレートやスリープレートのデザインに比べて高価ですが、材料の温度管理に優れており、廃棄物もほとんど出さずに済みます。

ホットランナー

ホットランナー成形「ランナーレス」成形には多くの利点がありますが、熔融樹脂のキャビティへの注入を適切に制御するための慎重な設計が必要になります。この方法では成形時にほとんど廃棄物が発生しないものの、ランナーレスの金型は始動時に問題が起こりやすく、特に短時間で冷却固化しがちな結晶性のLNPコンパウンドの場合がそうです。注意すべき点を次ページに示します。

図1
コールドランナーのツープレート金型

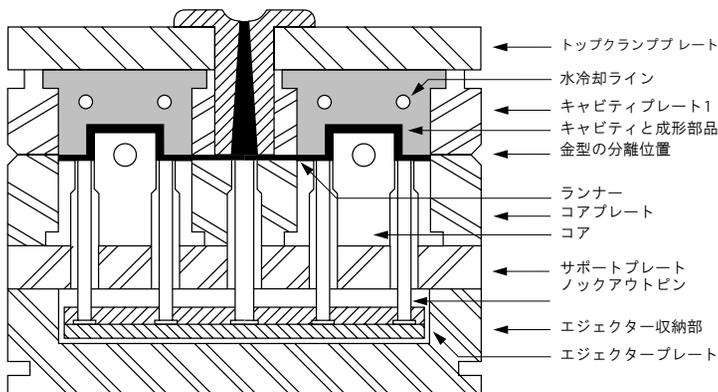
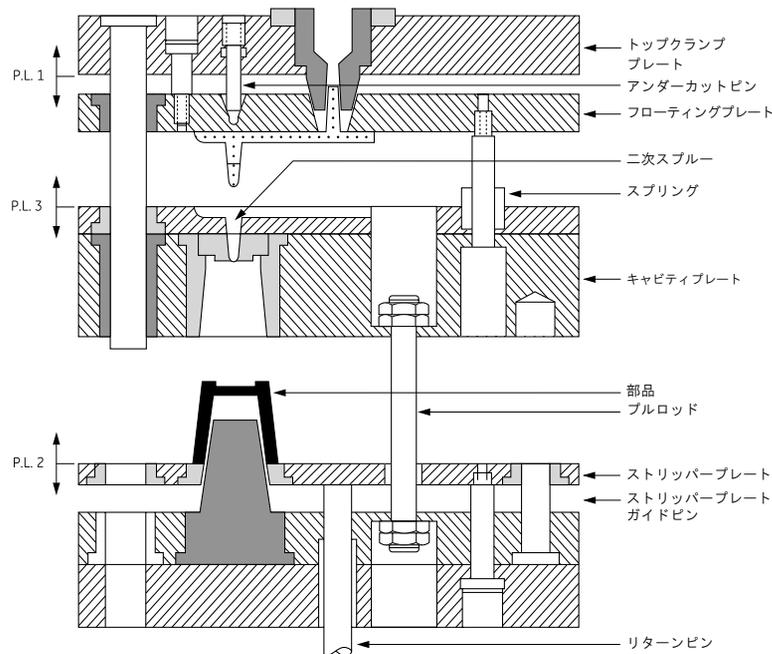
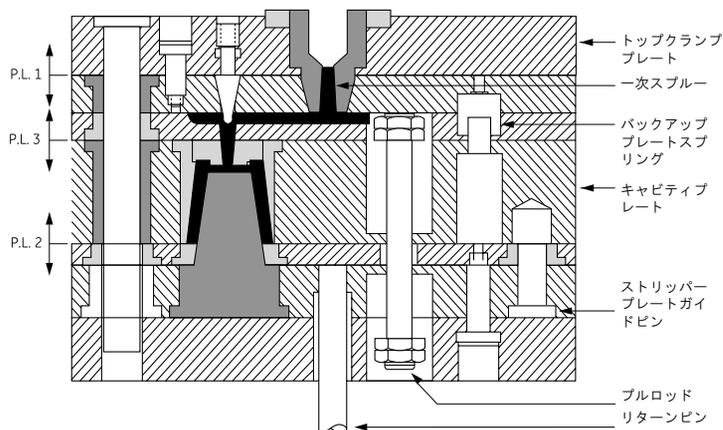


図2
スリープレート金型システム、「オープン」状態

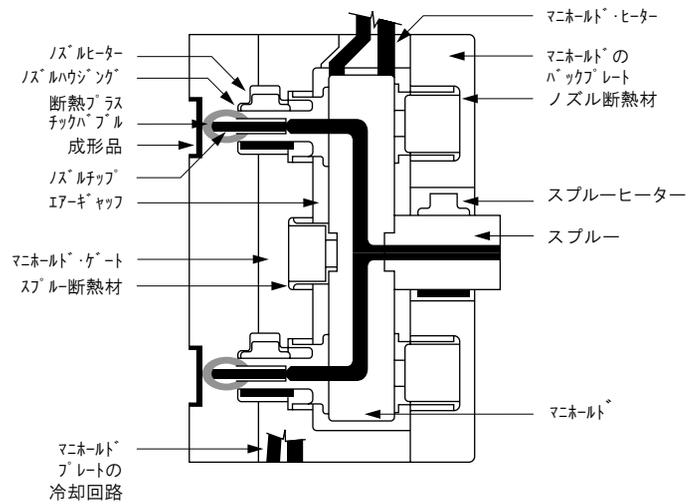


スリープレート金型システム、「クローズ」状態



- その用途専用に設計されたバランスの良いホットランナー・マニホールド・システムを使用する
- ホットランナーは使用する材料によって、成形品に直接ゲートを設けたり、ゲート痕跡の少ないバルブゲートを使用したり、小さなランナーにゲートを設けるなどの設計が可能
- 加熱するランナーの経路およびホットチップからキャビティへ流線型の流路を形成し、外部から加熱する
- ガラス長繊維強化樹脂を使用する場合は、どうしてもゲートの痕跡が発生する
- 複数のメーカーによるさまざまなコンポーネントを組み合わせて使用するより、単一のホットランナー・メーカーによる完全なシステムを利用する
- ゲートの寸法は、使用する材料の量と種類、部品のサイズや構成、および肉厚によって異なる
- ホットランナーの設計に関する詳細情報は、SABICイノベティブプラスチックスのエンジニアまでお問い合わせください

図3
ホットランナー・マニホールド金型



金型表面処理

下記のチャートは、成形業者や金型メーカーが金型鋼材に耐腐食性を付与したり耐摩耗性を向上させるために加工処理する際の一般的なオプションを示したものです。ここに記載した以外の方法も使用できます。

組成	加工方法	基材	硬度	利点
PTFE懸濁金属コーティング	Poly-Ond			
ポリマー含浸リンニッケル。熱処理により硬化	無電解ニッケル析出物をテフロンにスプレーまたは浸漬。そのあと、しわを伸ばす。全ての表面にテフロンが存在	ほとんどの金属(鋼材、アルミニウム、真ちゅう、青銅、鋳鉄)	50R _C [750°F(400°C)で1時間熱処理した場合、68~70R _C]	サイクルタイムを短縮し、不良率を下げる。離型スプレーを低減あるいは不要。金型寿命を延ばし、硬度を高める
金属メッキ	工業用硬質クロム			
微量の酸化物と水素を含むクロム	電解析出物。高密度	大部分の金属、その他さまざまな材質の表面	68-70 R _C	加工不良や摩耗した金型部品を、元の寸法に復元できる。密着性が良好。硬質で滑らかな表面
	無電解ニッケル			
リンの含有量の調整により必要な特性を持たせたニッケル合金	電流を使用しない化学還元による析出物	鉄類、アルミニウム、および銅合金	熱処理前48R _C 熱処理で最高70R _C まで	良好な密着性。高い硬度と耐腐食性により、金型によく使用される。狭い許容公差で均一に析出。優れた潤滑性
	窒化チタン			
薄膜の高温コーティング	マイナスイオン処理。PVD	大部分の鋼材、ステンレススチール、ベリリウム銅	85 R _C	摩擦の低減。均一な厚みの薄膜コーティングで、寸法の許容公差に影響が出ない。ガラス強化樹脂に最適
薄膜、硬質コーティング	ダイヤモンドブラック			
二硫化タングステンを含む炭化ホウ素の薄膜(Pb、P、S含有なし)	低温でのマグネトロンスパッタリング	A-2、A-6、S-7、M-2 D-2、H-13、Stavax、アルミニウム、BeCu (Pb、P、S含有なし)	93-95 R _C	微細仕上げ表面にも適用可能。硬度により金型の寿命が延び、清掃も容易になる。優れた潤滑性を付与し、耐腐食性を向上させる

スプルー、ランナー、ゲート

スプルーブッシュ

通常の金型の場合、加熱溶融された材料はスプルーブッシュから金型に注入されます。材料はランナーシステムを通じてゲートからキャビティに入ります。溶融樹脂の適切な流動と取出しを行うには、スプルーブッシュの適切な設計および各寸法はきわめて重要です。スプルーの入口径は、金型開時のスプルーの離型を考慮し、ノズル径よりも約20%大きくする必要があります。スプルーの寸法に関する注意点を下記に示します。成形品およびランナーの寸法に対するスプルー径の寸法も重要です。

通常のスプルーブッシュの代わりに、加熱式のスプルーブッシュを使うこともできます。加熱式スプルー(ホットブッシュ)の初期コストは「コールド」ブッシュより高くなる場合もありますが、これによりショットごとに成形品やランナーシステムに付いてくるスプルーをなくすことで、発生する廃棄物の量を最小限に抑えることができます。ホットブッシュにより、ランナーシステムに入る材料の溶融温度の制御がより正確になります。

ランナー設計

ランナーは無駄な圧力低下を防ぐため、できるだけ短くします。断面は円形のもの最適です。ランナーを金型の片側にだけ加工する場合は、下部が円形の台形断面を使用します。半円形や肉薄の短形断面のランナーは効率的でないためお勧めしません。

ランナーは各部品に材料をバランス良く、抵抗なく流動させる必要があります。通常、ランナーを直角に曲げるごとに、直径は20%小さくする必要があります。ランナーシステムを設計する際は、このことを必ず考慮に入れてください。円形ランナーの一般的な直径は0.125"~0.375"(3.2~9.5mm)です。

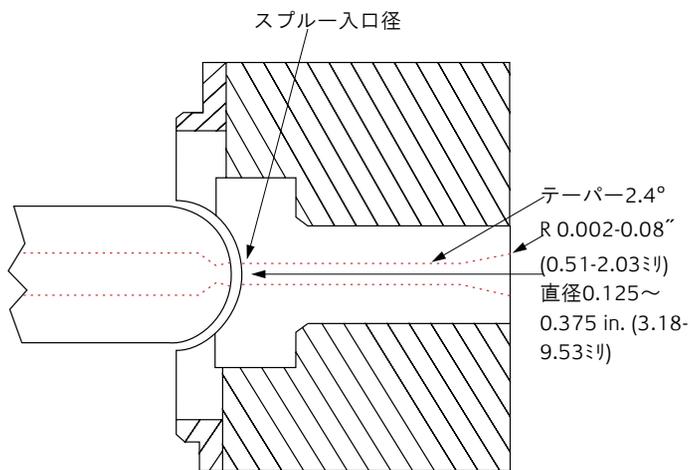
ゲート

LNP*複合材成形品のゲート設計では、残留応力を発生させることなく十分な許容加工範囲を持たせる必要があります。使用するゲートの種類(サブゲート、エッジゲート、タブゲートなど)によって、溶融材料の充填率、キャビティへの充填量、および固化速度を制御するための基本寸法があります。ゲート寸法は成形品の肉厚、ゲート位置は形状によって決まります。ゲートの重要寸法は、厚さ、幅、およびランドの3つです。何種類かのゲート設計の詳細を次のページに示します。

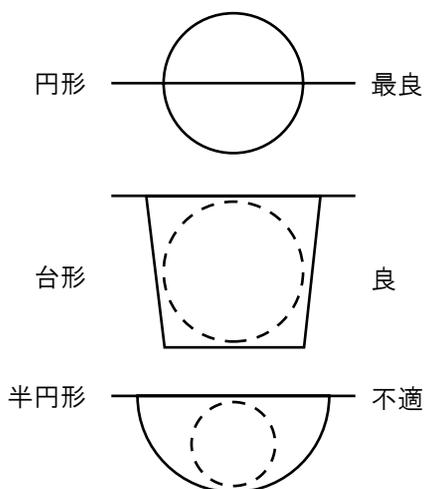
ゲートサイズと位置

- 最小ゲートサイズ0.040"(1mm)、Verton*長繊維複合材の場合0.100"(2.5mm)
- 円形または台形
- 結晶性複合材の場合、肉厚の50~60%
- 非結晶性複合材の場合、肉厚の50~75%
- 最大肉厚部にゲートを設ける
- 逆流やジェットングを防ぐため、ゲートは壁またはボスに直接当たる位置に設ける(Verton*長繊維複合材の場合を除く)
- Verton長繊維複合材の場合、トンネルゲートはお勧めしません

スプルーブッシュ

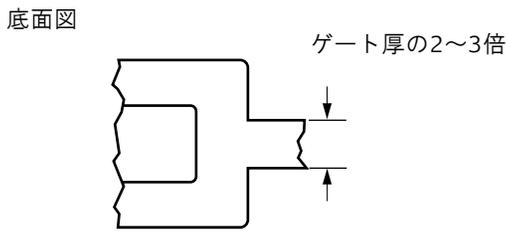
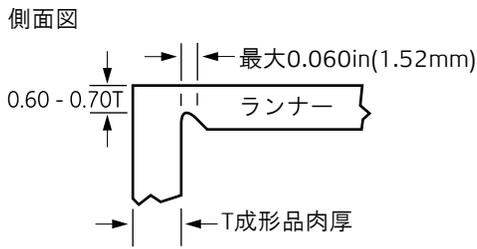


ランナーの構成

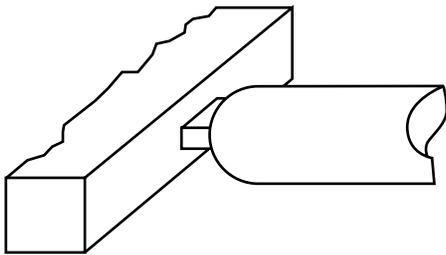


円形または台形のものをお勧めします。半円形は表面積が大きくなるためお勧めしません。

短形エッジゲートの設計

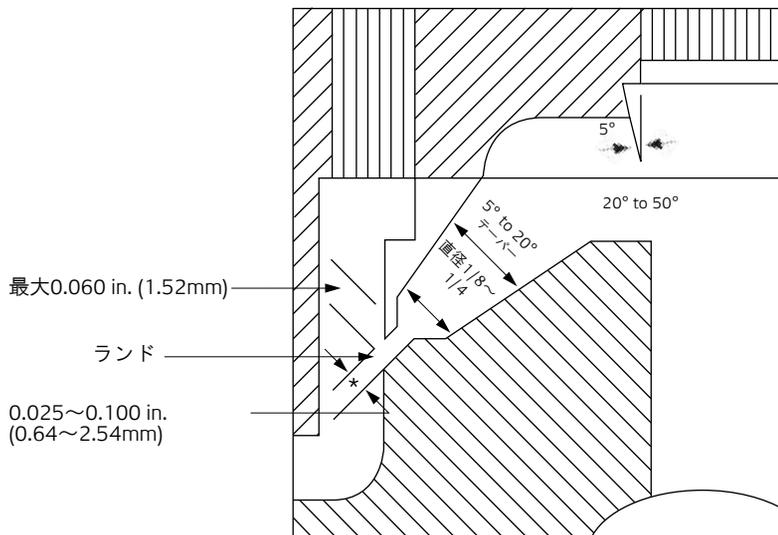


通常のゲート

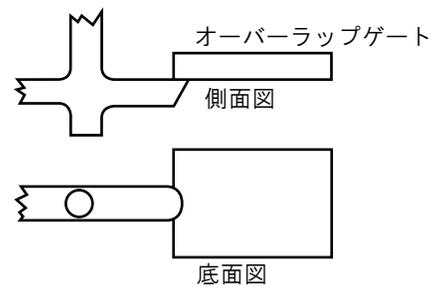
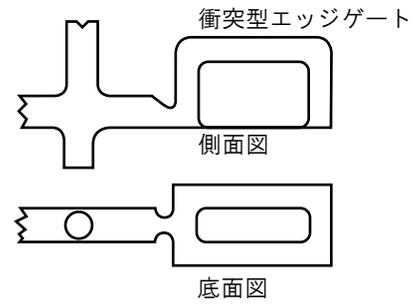


- 特性
- ランナーの断面積の1/4~1/2
 - 外観上の欠陥が大きい
 - 圧力損失が少ない
 - 熔融樹脂の固化が遅い

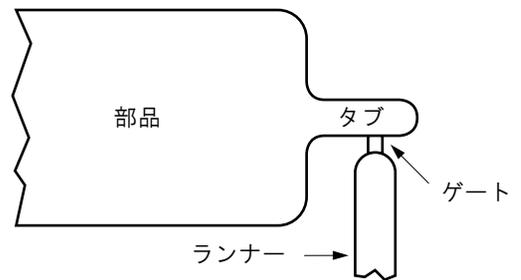
トンネルゲートの設計



ジェットイングを防ぐためのゲート設計



タブゲート



基本仕様

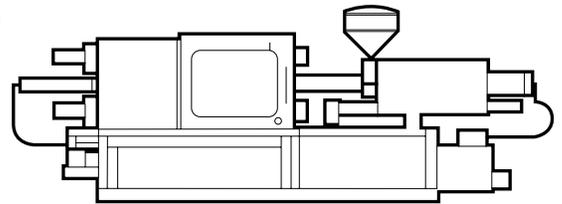
LNP*のエンジニアリング樹脂は、インラインスクリー式射出成形機での成形加工が最も適しています。ラムやプランジャー式の成形機は、材料の均一な溶融が望めないため避けてください。

射出成形機は、すべての成形パラメータを正確に監視および制御できるものを選択する必要があります。成形品の品質は、射出圧力と保持圧力、スクリーウの位置と速度、背圧とスクリーウ回転数をそれぞれ別個に制御することで最も高めることができます。また、成形品内の熱応力レベルを低くするためには溶融温度を最適に保つ必要があるため、バレルとノズルの厳密な温度管理も重要です。

クローズド・ループ(PID)の温度コントロールシステムをできる限り使用してください。

LNP複合材は汎用ポリスチレンより密度が高いのですが、それを換算したうえで成形機仕様にある最大射出容量の40~70%が使用範囲になるように成形機を選定してください。40%以下のショット重量のものでも成形は可能ですが、複合材の加工条件範囲が制限されたり、バレル内の滞留時間が長くなるため熱劣化を起こす場合もあります。

LNP複合材の必要型締力の要件は3~6トン/inch² (42~83Mpa)で、複合材の粘度が高い程、大きな型締力が必要になります。



バレルとスクリーウの特性

LNP複合材を射出成形するための成形機を選択する際の重要な設計ポイントは次のとおりです。

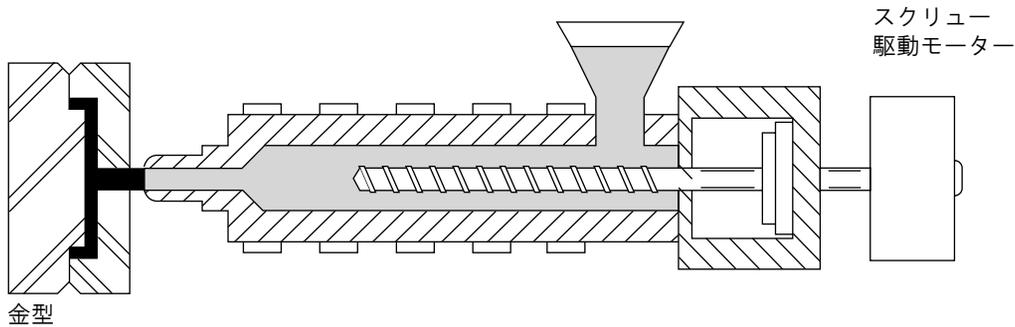
- 耐摩耗性のあるバimetalのバレル内壁を使用した1段圧縮の可塑化装置を選択します。2段圧縮式のベントバレル装置は、経験上結果が良好であることがわかっている場合以外は使用を避けてください
- ベントバレルによる成形では、ポリカーボネートやナイロンなどという未充填の吸湿性樹脂の乾燥時間を短縮する場合がありますが、強化材や充填材が水分の脱気工程を阻害し、加水分解が発生することもあります
- 射出スクリーウは耐摩耗性と耐腐食性のバランスが取れた材質と構造のものを選びます。スクリーウフライトにUcar*、Stellite*、Colmonoy*などの耐摩耗コーティングが施された4140 HTスチールなどがその例です。Stellite #6は摩耗するため、フライト先端に使用しないでください

CPM9V*は、35mm(1インチ)以下のスクリーウでは、コスト効率が悪い場合があります。

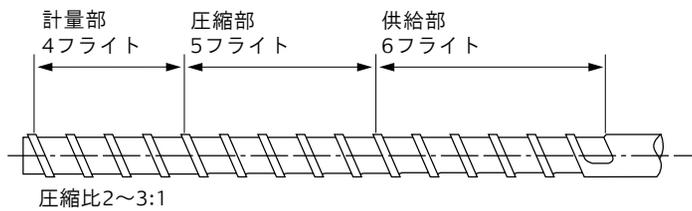
- スクリーウフライトにクロムメッキを施すのは避けてください。これは強化複合材や充填複合材を成形すると、短時間でメッキに摩耗や欠けが発生するためです

- L/D比が最低でも18/1の等ピッチのスクリーウをお勧めします。多くの成形機に標準装備されている圧縮比3.0:1の汎用スクリーウも適していますが、より望ましいのは圧縮比が2.0~2.5:1のもので、これは繊維の損傷量を低減し、複合材に与えるせん断熱も最小限に抑えます。非結晶性樹脂ベースのLNP複合材を成形する場合は、急圧縮のナイロンタイプ・スクリーウの使用は避けてください。これは、過剰なせん断熱を与えてしまうためです
- バレル・加熱ゾーンは最低3ヶ所を個々にコントロールし、さらにノズルゾーンも独立したコントロールをしてください
- 縦溝付きのフリーフロータイプのチェックリングをお勧めします。フリーフロー逆流防止弁は、流路を妨げることなく、溶融樹脂の滞留箇所がありません。フリーフローチップは、繊維摩擦を最小限に抑えます。特に成形品の最大繊維長によって強度と耐衝撃特性が向上するVerton*ガラス長繊維複合材の場合は重要です。LNP複合材を成形加工する際は、ボールチェックバルブおよび強制シャットオフ装置は、流路を制限する性質上お勧めしません

インラインスクリー式射出成形機

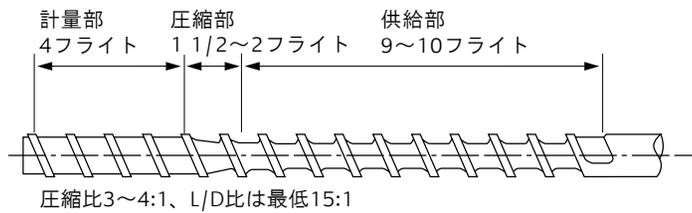


スクリーの種類
汎用



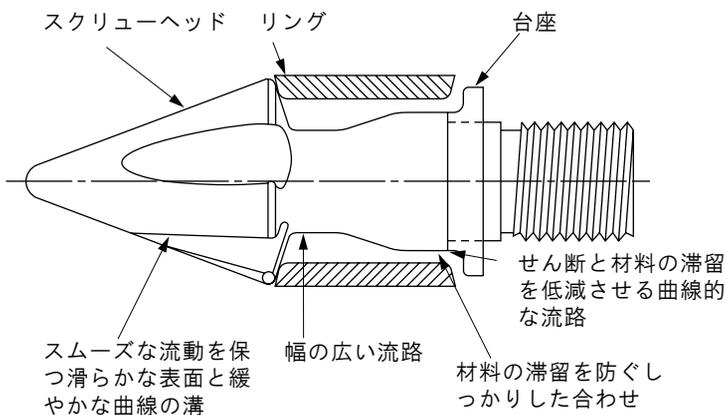
- 全てのThermocomp*複合材に適合
(非結晶性複合材には通常2~2.5/1)

ナイロンスクリュー

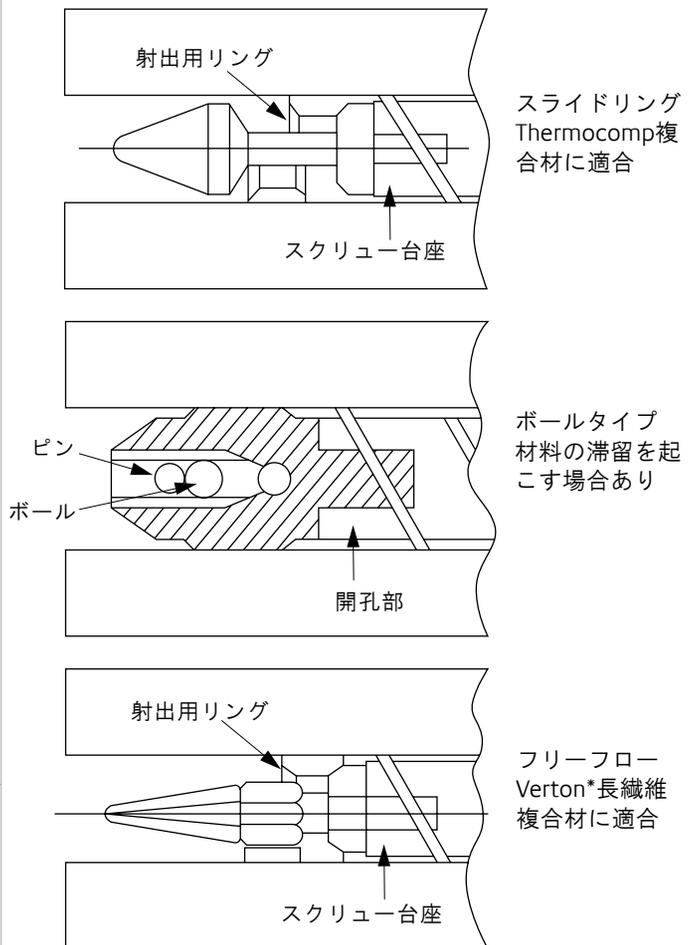


- ナイロン用
- 非結晶性複合材には不適

「フリーフロー」逆流防止弁の拡大図



逆流防止弁（スクリーヘッド）



ノズルの設計

流路を阻害しないようにするため、ノズルはできるだけ短くする必要があります。圧力損失およびせん断発熱を最小限に抑えるには、テーパ流路（ナイロンタイプ）よりもストレート流路のノズルデザインのほうが適しています。ストレートランドではノズル出口径とランドのL/D比は、1:1にします。ノズル内でスプルーが切れるように、逆テーパを先端に設けることもできます。強制シャットオフ・ノズルは避ける必要があります。ノズルの先端'R'は相対するスプルーブッシュRと適合するようにしてください。

ショートノズルの出口径は最低0.187" (4.75mm)とし、スプルーブッシュの入口径より20%小さくします。ノズルには十分な長さのバンドヒーターを設置し、ノズル部だけの専用熱電対で温度管理します。スライダックによる電流管理は、比例管理に比べて精度に欠けるため、使用を避けてください。

金型温度管理

金型キャビティ表面温度の管理は、成形品品質に直接的な影響を及ぼすので重要です。最良の結果を得るには、金型の固定側、可動側を別々に管理する必要があります。

金型温度が低いと、冷却時間が短くなり生産性が上がりますが、成形品品質を犠牲にします。熔融樹脂の冷却速度が速いと、内部応力、配向の度合い、成形後収縮、ソリ、および成形品外観品質に悪影響が出るため、注意する必要があります。成形するLNP*コンパウンドによって、水、オイル、または電気カートリッジヒーターを使用します。下記の図表を参照してください。

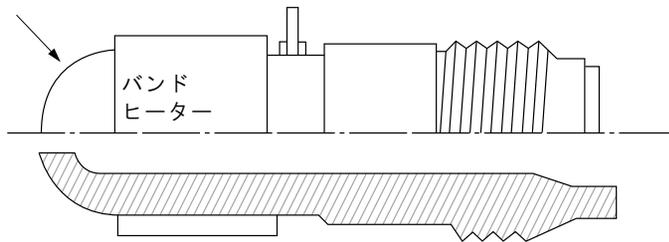
金型表面温度を均一に保つため、金型は成形機のプラテンから断熱する必要があります。

冷却に関する詳細は27ページを参照してください。

ノズルの設計

汎用タイプ

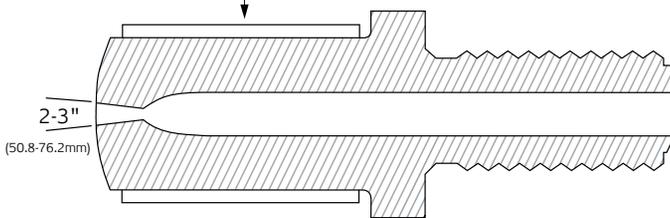
半径R=1/2"または3/4" (12.7または19.1mm)



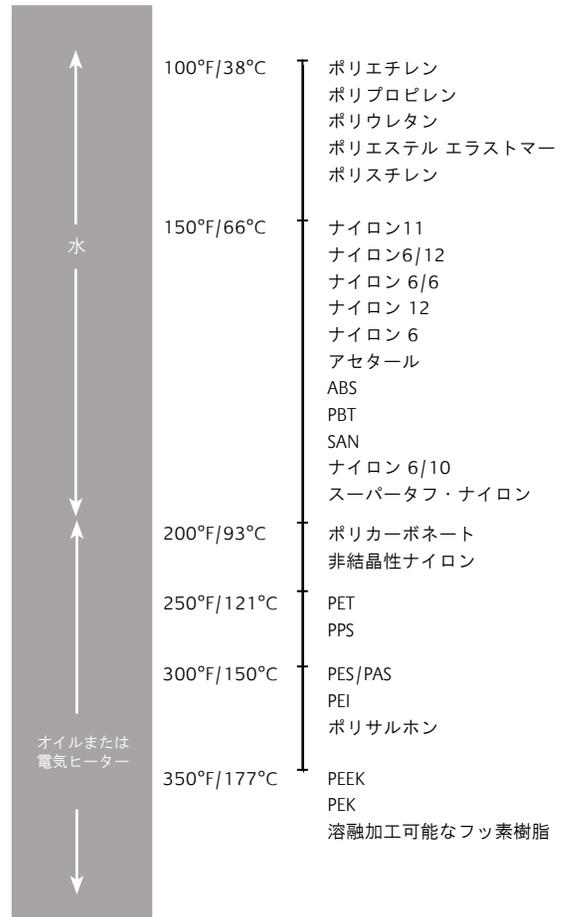
- 大部分のThermocomp*複合材に適合
- 低粘度樹脂（ナイロンなど）は計量後、減圧またはスクリュウのサックバックが必要な場合あり

逆テーパ

バンドヒーター



金型の温度管理（推奨）



成形材料の取扱いと準備

乾燥

大部分のLNP*複合材は、成形品の特性を最大限に引き出すために、射出成形する前に完全に予備乾燥する必要があります。通常、ベース樹脂の乾燥条件が、同じベース樹脂から製造されるコンパウンドにも適用されます。吸湿性があるため乾燥が必要な樹脂には次のようなものがあります。

- ABS - ナイロン(全てのナイロン)
- PBT - ポリカーボネート
- ポリスルホン - ポリエーテルサルホン
- PPA - ポリエーテルイミド

下記のベース樹脂複合材は、ペレット表面に水分が付着している可能性があるため、乾燥することをお勧めします。アセタールの加工性は、200°F (93°C) で2~4時間乾燥させると向上する(揮発ガス低減)ことがわかっています。

- アセタール - ポリスチレ
- ポリプロピレン - HDPE
- PPO/PS - SAN

下記の乾燥パラメータの一覧は、すべてのLNPコンパウンドに適用されますが、乾燥温度は、下表に示すそれぞれの樹脂の種類によって異なります。

- 0°F (-18°C) 以下の露点エアで最低乾燥時間3~4時間
- 成形機に備え付けの、クローズド・ループの空気循環システムを持つ除湿ホッパー・ドライヤーが望ましい。大量乾燥を行う際は、送風システムから乾燥した空気を強制的に流して、樹脂が乾燥状態に保たれるよう注意する
- 適切な気流分散とホッパー内のペレットを分岐流れさせるため、ホッパー・ドライヤーは拡散コーンを備えたものにする
- バッチ式乾燥は、空気循環型乾燥器に乾燥トレイに1"(25mm)以下の深さにペレットを入れて行うことができる。この方法で乾燥させたペレットは、密閉したホッパーに入れ、ホッパー内の滞留時間は最低限にとどめる

搬送

LNP複合材は真空式ホッパーローダーで容易に搬送できます。着色剤を使用するときは、乾燥式ホッパー・システムに詰まりが発生する場合がありますため、ホッパー下でインライン・フィーダーを使用します。顔料のコンセントレートがペレット状の場合のみ、マスターバッチによるプリブレンドが可能です。Verton*をカラー・コンセントレートと混合して加工するときは、ペレットのサイズを0.4375" (11mm) にしてVertonのペレットサイズに合わせ、分離を最小限に抑える必要があります。材料の特性を維持できるよう、LNPで用意しているカラー・コンセントレート (Colorcomp*)の使用をお勧めしています。

1 成形前に予備乾燥が必要な材料

160°F - 170°F (71°C - 77°C)

ナイロン6/6
ナイロン6
ナイロン6/10
スーパータフ・ナイロン
ナイロン6/12
ナイロン11
ナイロン12

ABS

SAN

225°F (107°C)

熱可塑性ポリウレタン

230°F (110°C)

ポリブチレンテレフタレート

非結晶性ナイロン

250°F (121°C)

ポリカーボネート

275°F (135°C)

PET

300°F (150°C)

PEK

PEEK

PES/PAS

PEI

PSUL

2 乾燥した方がよい材料

(揮発ガスによる表面の汚れを防ぐ)

170°F (77°C)

ポリエチレン

ポリプロピレン

ポリスチレン

200°F (93°C)

アセタール

240°F (116°C)

PPO

250°F (121°C)

PPS

300°F (150°C)

溶融加工可能なフッ素樹脂

乾燥に関する詳細は28ページを参照してください。

リグラインド

LNP複合材のスプルー、ランナー、および汚染のない成形品のリグラインドは、完成品の色および物理特性の要求にもよりますが利用可能です。0.25"~0.375" (6.4~9.6mm) のスクリーンを備えた従来式のスクラップ粉砕機を使用してください。リグラインドは最大20%までバージン材に混合しても、製品の特性や色に大きな差は出ません。完成品の特性が重要な場合や厳密な許容公差が求められる場合は、生産前にリグラインドを使用するかどうか十分に検討してください。リグラインドには不純物が混入しないよう十分な注意を払い、リサイクルの前には必ず乾燥してください。リグラインドはホッパー・ドライヤーに入れる前にバージン材と混合します。リグラインドは表面積が大きいので、バージン・ペレットよりも水分を吸収しやすく、乾燥時間が長くなる場合があります。リグラインドに関する詳細は24ページを参照してください。

射出成形機の準備

LNPコンパウンドを投入する前に、シリンダーをパージするか、ブラスウールによる機械的なクリーニングを行って、成形機のパレルを十分に清掃してください。スクリューを取り外した場合はそれも清掃し、欠け、クラック、過剰な摩耗などがどうかどうかをよく確認します。チェックリングにも異常がないかどうか点検してください。スクリューを取り外さずに洗浄状態を確認するには、ポリスチレンやポリカーボネートなどの未充填の非結晶性樹脂でパージし、空打ちして異物や退色がないことを確かめます。最初の数ショットの成形品に何らかの不純物の形跡が見られた場合は、同様の清掃を繰り返してください。

成形加工パラメータ

始動時の一般的な成形条件、および基本的なトラブルシューティングの方法を右表に示します。より詳細なトラブルシューティングガイドは本書の4ページで紹介しています。最適なパラメータは、この初期設定をもとに決定してください。

スクリー回転数(rpm)は成形加工工程の冷却時間内に設定します。スクリー回転数が速すぎるとガラス繊維が折損します。射出速度が速ければ、繊維強化コンパウンドでは優れた表面外観を得ることができますが、Lubricomp*複合材やStat-Kon*複合材の場合は添加剤へのせん断の影響により特性にばらつきが出る場合があります。繊維配向を最小限にしウエルドラインの強度を高めるため、できるだけ速やかにキャビティを充填する必要があります。強化コンパウンドの機械的特性は、できる限り多く充填することで最適化されます。

流動長を最大にして優れた表面外観を得るには、金型表面温度を普通よりも高くしてください。強化複合材の場合は金型の温度を高め維持してもサイクルが長くなることはありません。新規の金型で初めてLNP*複合材の成形を行うときは、必ず初めの圧力から始め、射出量も制限して過度の充填を防いでください。成形加工に関する詳細は19ページを参照してください。

溶融温度

一般に、強化複合材の溶融温度は未充填樹脂よりも30~60°F (16.7~33.3°C)高くします。通常の成形サイクルの途中で、計量された樹脂の溶融温度を管理してください、ノズルからの空打ちを行ってニードル式温度計で測定します。射出量が少なく正確な測定が困難な場合は、数回射出を行い、最初のパージでニードルを加熱してからその後の測定を実施します。

射出圧力

強化複合材の射出圧力は通常10,000~15,000psi (70~105MPa)で十分です。未充填材料では、一次圧力をさらに低くすることができます。一次圧力は、表面品質、配向性、および成形応力に影響を与えるため、過度の圧力は避ける必要があります。保持圧力を一次圧力の50~75%にすれば、キャビティ内の溶融樹脂が圧縮されて金型表面を転写します。保持圧力は、ボイドやヒケの発生を防止し収縮を制御するために最低限必要な圧力よりやや高く設定します。

背圧

スクリーの背圧はできる限り低く保ちます。通常は25~50psi (170~345kPa)で十分です。背圧は、スクリーの供給部の空気を排除し、溶融均一性を向上させ、溶融樹脂の発熱を促進する役割を果たします。背圧を調整すると、溶融温度が明らかに変化します。背圧が高過ぎると、溶融樹脂の過熱および過度の繊維破損につながります。

ガラス強化複合材の一般的な成形条件

	シリンダー	溶融	金型
	温度 °F/°C	温度 °F/°C	温度 °F/°C
ABS	400-480 / 205-250	500 / 260	180 / 82
SAN	400-520 / 205-270	500 / 260	180 / 82
ポリスチレン	380-500 / 195-260	475 / 246	150 / 66
変性PPO	450-600 / 230-315	570 / 299	200 / 93
ポリカーボネート	540-630 / 282-332	600 / 315	200 / 93
ポリエーテルスルホン	650-715 / 343-380	680 / 360	300 / 150
ポリスルホン	620-700 / 327-370	660 / 349	300 / 150
ポリエーテルイミド	650-715 / 343-380	680 / 360	300 / 150
ポリプロピレン	380-440 / 193-227	440 / 227	100 / 38
ポリエチレン	380-440 / 193-227	430 / 220	100 / 38
アセタール	350-420 / 177-215	410 / 210	200 / 93
ナイロエステル	430-500 / 220-260	470 / 243	225 / 107
ナイロン6	480-550 / 249-288	520 / 270	200 / 93
ナイロン6/6	500-570 / 260-299	560 / 293	225 / 107
ポリフタルアミド(PPA)	575-625 / 300-330	625 / 330	275 / 135
ナイロン6/10	460-525 / 238-274	520 / 270	200 / 93
ナイロン6/12	460-525 / 238-274	520 / 270	200 / 93
ナイロン11	400-520 / 205-270	450 / 230	120 / 50
ナイロン12	380-520 / 193-270	450 / 230	175 / 80
スーパータフナイロン	480-550 / 238-288	560 / 293	225 / 107
非結晶性ナイロン	480-550 / 238-288	560 / 293	225 / 107
PPS	540-630 / 282-232	620 / 327	275 / 135
PEEK	660-740 / 348-394	710 / 377	+300 / +150

射出速度

射出充填速度は通常、できるだけ速くします。薄肉部品の場合が特にそうです。肉厚部品の場合は、かなり遅い射出速度で充填します。不要な高いせん断が発生することがあります。ゲート・ブラッシュ、ジェットイング、変色した流れ模様などが発生する場合は、充填速度が速すぎることが考えられます。

クッション

必要最低限のクッションを取ってください。通常は0.125~0.25"(3.2~6.4mm)のクッション量で、ショット間のばらつきを十分に補正できます。クッション量を最低限にすれば、溶融樹脂の圧力伝達、過剰充填の抑制、過度の収縮やボイドの防止にも効果があります。

スクリー回転数

ほとんどのLNPコンパウンドは30~60rpmのスクリー回転数で十分です。直径が小さい(1.5"(38mm)以下)のスクリーの場合、もう少し速い回転数でも構いません。最適なスクリー回転数とは、金型を開く直前にスクリーが停止するような可塑化時間になる回転数です。スクリー回転数が速いと溶融樹脂の過熱につながるほか、成形機内の滞留時間も長くなります。

ノズル温度

ノズルには十分な長さのヒーターバンドを取付け、バレル前部とは別々に制御する必要があります。バリアック*タイプのヒーターよりもクローズド・ループの熱電対コントロールのほうが、溶融温度を均一にできます。ノズル温度は所望の溶融温度に設定し、結晶性コンパウンド（ナイロンやアセタールなど）の場合はそれよりも少し低く設定します。鼻タレやノズルでのせん断発熱は、ノズルヒーターを調整することで補正します。また、サックバックも鼻タレ防止に使われます。

金型温度

条件表に示す範囲内で金型温度を可動側・固定側のそれぞれを個別かつ正確に管理すれば、良い成果を望むことができます。「金型温度管理」の項に示した、金型温度が低い場合の影響は念頭に置く必要があります。高い金型温度範囲の影響については下表に示します。

大型コアや直径の小さいコアピンは、離型を容易にする(固着を防ぐ)ため、低めの温度や特殊な冷却管理が必要になる場合があります。

高温金型の影響

増加するもの	減少するもの
結晶化度 (結晶性樹脂)	成形応力 (すべての樹脂)
収縮率 (すべての樹脂)	衝撃強度 (結晶性樹脂)
荷重たわみ温度 (結晶性樹脂)	

サイクルタイム

冷却時間は成形サイクル全体の大きな部分を占めます。成形品肉厚および複合材の充填材量によって冷却時間は変わります。ガラス繊維および炭素繊維強化されたLNP*複合材は、熱逸散性が高いので、未充填コンパウンドよりも冷却時間が短くなります。

離型剤

金型表面に塗布する離型剤の量は最小限にとどめる必要があります。成形品の固着はまず、圧力、温度、またはサイクルタイムを調整することで補正できます。さらに抜き勾配、成形表面仕上げ、およびエジェクターピンの配置・数にも注意を払ってみてください。断続的に起こる離型不良は、離型スプレーを軽く吹付ければ解消できることがよくあります。一部の離型スプレーはLNP複合材の特性および表面外観に悪影響を及ぼす場合がありますため、使用前に適合性のテストが必要です。複合材のコンパウンド時に内部離型剤を添加することもできます。内部離型剤を使用すれば、離型不良を低減できます。

リグラインド

リグラインドをバージン材料に追加する際についての詳細は15ページ、「成形材料の取扱いと準備」の項で説明しています。リグラインドはクリーンに保ち、劣化、退色、汚染などの見られる部品は必ず廃棄してください。

LNPコンパウンドに推奨されるパージ材

特定のコンパウンドに適したパージ材は、パージされるコンパウンドのベース樹脂の溶融温度によって決まります。次の表は、それぞれの溶融温度範囲に対応するパージ材を示したものです。

コンパウンドのベース樹脂の溶融温度範囲	推奨されるパージ材
550°F / 288°C以下の溶融温度	HDPE、GPポリスチレン、キャスト・アクリル粒子
550°F~650°F / 288°C~340°Cの溶融温度	HDPE、ポリカーボネート
650°F / 340°C以上の溶融温度	HDPE (メルト・インデックスが0.3~0.35 g / 10分の押出グレードであること) ガラス強化ポリカーボネート

濃い色のコンパウンドをパージするときは、上記の推奨されるパージ材の20~30%ガラス充填材を使用すると、バレルの洗浄や残留顔料の除去に役立ちます。ガラス強化パージ材を使用した後は、その未充填材でガラス残留物をすべて除去してください。

成形温度の高い材料（550°F/288°C以上）をパージするときは、まず成形温度でパージを始め、パージしながらバレル温度を約500°F（260°C）まで下げていきます。バレル温度が500°F（260°C）に安定したら、その温度（550°F（288°C）以下）で推奨されるいずれかのパージ材を使用して最終パージを行います。このような過程で、実質的にすべての高温ポリマーを除去できるため、その後成形する部品へのコンタミ（黒点）の混入を低減させることができます。

成形機の停止手順

LNP*複合材を成形した後の、適切な成形機の停止手順は、停止時間の長さによって異なります。

完全停止

成形作業が完了したら、HDPE、汎用スチレン、または市販のパージ材を使用して、成形材料をバレルから完全にパージします。成形温度の高いLNP複合材を成形した後は、バレル温度が高くなっているため（場合によっては550°F（288°C）以上）、これらのパージ材の臭気が濃くなることに注意してください。分子量の高いポリカーボネートを乾燥して使用すれば、上記のパージ材よりも安定しているため、バレル温度が550°F（288°C）を超える場合は、バレルのパージをより効率的に行うこともできます。パージを開始したら、バレルの温度を徐々に約420°F（215°C）まで下げてください。パージがきれいに済んだら、スクリュウは最前進位置にしたまま、バレルおよびノズルのヒーターをオフにします。

成形の中断

成形を一時中断する必要がある場合は、LNP複合材の劣化を防ぐため、シリンダーを一定間隔でパージしてください。長時間（15分以上）の中断が予想される場合は、ホッパー・シャッターを閉めて、バレル温度を下げて、シリンダーを完全にパージします。

材料の変更

材料をすぐに異種成形材料に切替える場合は、可塑化シリンダーを完全にパージする必要があります。微量でもLNP複合材とその複合材の適合性に少しでも懸念がある場合は、機械的なクリーニングをお勧めします。

LNP* Thermocomp*

Thermocomp複合材は、インラインスクリー式射出成形機で容易に加工できます。強化複合材は未充填エンジニアリング樹脂に比べてメルトフローが低い（粘度が高い）ため、射出圧力およびバレル温度はやや高めになります。経験上、圧力や熔融温度をわずかに上昇させるだけで、材料の熔融粘度を制御し、薄肉キャビティの充填の促進に役立つことがわかっています。推奨される始動時の成形条件は16ページ（「ガラス強化複合材の一般的な成形条件」）で紹介しています。

標準的なThermocomp複合材の加工に関するガイドラインを下記にまとめます。特殊なThermocomp材料についての追加的な考慮事項は次項で紹介します。

- ・インラインスクリー式の射出成形機が最適
- ・強化材および充填材はThermocomp複合材のサイクルタイムの短縮に役立つ
- ・良好な結果を得るには最大射出容量の40～70%を使用する
- ・ノズルは加熱して滞留のない流路を確保する。テーパ流路（ナイロン）タイプよりもストレート流路ノズルが望ましい。逆テーパを先端に付けるとスプルーが切れやすい
- ・「フリーフロー」タイプのチェックリングが望ましい。強制シャットオフ装置は避ける
- ・スプルーブッシュは大口径で十分なテーパ付きの良く磨かれたものを使用して、離型を容易にする
- ・ランナーは円断面で短くすることで、キャビティ圧を十分に高め、成形品の外観を良くする
- ・射出速度を上げると物理的特性が向上し成形品の表面外観も向上する
- ・スクリー回転数を下げ（40～70RPM）、背圧を最低限の25psi（170kPa）にすることで、繊維摩擦を最小限に抑えられる

ゲート

ゲートのサイズと位置は、収縮および成形品の寸法を管理するためにきわめて重要です。以下のガイドラインにゲート設計の指針を示します。

- ・ゲートは成形品の全方向への流動バランスを取れる位置か、または最も重要な寸法の軸方向に流動方向が沿う位置に設ける
- ・ゲートはキャビティの最も肉厚な部位に設けて、材料が肉厚部から薄肉部へと流れるようにする
- ・ゲートの厚みは隣接する壁の肉厚の50～75%以上とし、幅は肉厚の2～3倍にする。トンネルゲートは直径0.040"（1mm）以上にする
- ・ゲートランド長は最大でも0.060"（1.5mm）とする

リグラインド

リグラインド処理を繰り返すと、ガラス繊維や炭素繊維の補強性能は繊維の破損によって低下していきます。また熱劣化により、機械的特性（特に耐衝撃性）も低下します。成形品に特定の引張強度や耐衝撃性が要求される場合は、十分なテストを行わない限りリグラインドの使用はお勧めできません。繊維の破損および熱劣化も、成形品の寸法に影響を及ぼします。寸法に厳密な許容公差が求められる部品にリグラインドを加える際は注意が必要です。リグラインドを使用する場合は、必ずリグラインドとバージン材料の設定比率を守ってください。

部品の物理的特性が重要な場合は、リグラインドの割合を最大でも20%以内にする必要があります。

リグラインドに関する詳細は24ページを参照してください。

難燃性複合材

LNPの難燃性複合材は、射出成形性に優れています。本来難燃性でない熱可塑性プラスチックの場合、難燃性の添加剤が流動促進剤の役割を果たし、材料の流動性を高めます。これにより薄肉部品の充填が可能になり、成形品の優れた表面外観も達成できます。シリンダー温度が高すぎたり滞留時間が長すぎたりすると、難燃剤が分解して金型の腐食につながる場合があります。難燃性コンパウンドの成形用金型は、クロムや無電解ニッケルなどの表面処理をして腐食から保護する必要があります。腐食性の副産物が生成される可能性を最小限にとどめるには、できるだけ低い熔融温度で成形する必要があります。LNPの難燃性複合材は、難燃性添加剤の影響により流動性が向上しているため、標準的な非難燃性のガラス繊維強化複合材よりも50～100°F（10～38°C）低い熔融温度で成形できます。

難燃性複合材は非難燃性複合材よりも加水分解および熱劣化に敏感なため、適切な予備乾燥が不可欠です。リグラインドの割合は10%を越えないようにし、機械的、寸法上、および、規格（UL/CSA）上の要求を満たすことを十分に確認してください。

LNP* Thermocomp* HSG

高比重複合材を射出成形する際には、複合材に含まれるベース樹脂量が少ないことによる特殊な考慮事項を念頭に置く必要があります。比重が10まであるHSG複合材には、成形品に硬い「金属的」な質感を与える、環境に優しい充填剤が高い重量パーセントで含まれています。HSG複合材の場合は（標準的材料を成形する場合に比べて）低い熔融温度を維持することが不可欠です。これは熔融温度が極端に高いと、充填剤と樹脂が分離してスクリーンの動きを止めてしまう恐れがあるからです。ノズルから出てくる熔融樹脂は、硬く均質である必要があります。成形開始時に成形品が完全に充填できない場合は、樹脂温度を上げるよりも充填圧力を徐々に上げることをお勧めします。

Thermocomp HSG複合材に使用するスクリー、バレル、および金型材質は、その他すべてのLNP*複合材に使用するものと同じです（前ページを参照）。HSGに高比重を付与するために使用されている充填剤は、ガラス繊維より摩耗作用の高いものではなく、スクリーおよびバレルの摩耗は12ページ「バレルとスクリーの特長」の項のガイドラインに従えば最小限に抑えられることが、過去のデータから実証されています。HSG複合材は固化が速く、小さいピンポイントゲート(0.040”(1.02mm)以下)はゲートシールが速過ぎるためお勧めしません。ホットランナー・システムは、7ページのガイドラインに従えば、HSG複合材にも適しています。HSG複合材は熱伝導性が高いため、温度コントロールのばらつきを防ぐためには、ホットランナーの個々のコンポーネント（特にノズルチップ領域）に優れた断熱性を備えている必要があります。

熔融加工可能なフッ素樹脂

FEP、E/TFE、PFA、PVDF、およびE/CTFEをベースにしたLNP複合材の射出成形は、インラインスクリー式成形機で行う必要があります。熔融したフッ素樹脂複合材に接触する加工装置には耐食性材質を使用してください。金型キャビティも、耐食性表面処理を施して保護する必要があります。MPFP複合材の成形時には熔融温度が700°F（370°C）以上、金型温度も500°F（260°C）に達する場合がありますため、バレルおよび金型の適切な温度管理も重要です。

LNP MPFP複合材の推奨される成形条件を下の表に示します。成形開始の可塑化前に成形機が確実に適温になるようにしてください。スクリーの回転数は遅くして（40～60RPM）、樹脂のせん断熱を最小限に抑えます。

射出速度が速すぎると成形品外観が粗くなったり粉を吹いたりし、遅すぎると表面に波紋が現れたりします。強化材や添加材の表面影響を、射出速度が速すぎる場合に発生するメルトフラクチャーと混同しないようにしてください。メルトフラクチャーが発生する臨界せん断速度は、温度および圧力に依存します。熔融温度かノズル温度あるいはその両方が高い場合、メルトフラクチャーの発生率は下がります。FPE、FP-C、およびFP-Vの各シリーズでは、通常は射出速度が速くかつ金型温度が適切なら、良好な表面外観を得ることができます。FP-FおよびFP-Pシリーズでは、遅い充填速度と適切な金型温度で滑らかな表面が得られます。肉厚部の金型温度が非常に高いと、成形後収縮が大きくなるため避けてください。

成形機の清掃と停止の手順は標準的なLNP複合材の場合と同様ですが、すぐにまた別のMPFP複合材の成形を開始するのでない限り、スクリーは成形機から取り外すことをお勧めします。完全なページの後、スクリーを取り外してすべての部品をワイヤーブラシで清掃してください。

ベース樹脂	FEP	PFA	E/TFE	E/CTFE	PVDF
シリーズ名	FP-F	FP-P	FP-E	FP-C	FP-V
機器要素					
シリンダー後部、°F/°C	600-625 / 315-330	600-650 / 315-343	525-575 / 274-302	510-530 / 265-277	380-420 / 193-216
シリンダー中部、°F/°C	625-650	625-650	575-625	520-540	400-440
シリンダー前部、°F/°C	650-680	650-725	575-625	530-550	430-450
ノズル、°F/°C	680-720	700-725	625-650	550	475
金型温度、°F/°C	200-400	300-500	全体的に375/191	全体的に225/107	全体的に200/93
熔融温度、°F/°C	625-700	625-67	575-625	540-550	400-450
射出速度	遅い	遅い	比較的速め	比較的速め	比較的速め

LNP* Verton*

Verton長繊維複合材には、長さ約11mmのガラス繊維が含まれています。成形品の性能を最大限に引き出すためには、以下のガイドランに従うことをお勧めします。

- Vertonの射出成形機のスクリュー、バレル、および金型に使用される材質は、標準的なガラス繊維強化LNP複合材の場合と同じです
- 成形機内で発生するガラス繊維の摩擦の量を減らすため、スクリューおよびスクリューチップの設計はきわめて重要です。スクリューの圧縮比を約2.5:1（最大）にして、さらに「フリーフロー」のスクリューチップを使用すれば、繊維の破損を減らすことができます。ミキシングスクリューはお勧めしません
- 成形機ノズル、スプルーブッシュ、および金型のランナー・システムは、大きめの寸法で、シャープ・コーナーを避け、円形断面のランナーを備えている必要があります。ホットランナー・システムはVerton複合材に適していることがわかっています。オープンゲートチップが最適です
- 繊維の摩擦を減らすには、スクリュー速度と背圧を最小限に抑えます。スクリュー速度は30~70RPM、背圧は25~50psi（170~345kPa）をお勧めします
- Verton複合材の場合、ガラス繊維の摩擦を最小限に抑え、物理的特性を最大限に生かすため、最低ゲート厚を0.100"（2.5mm）にすることを勧めます

LNP Lubricomp*およびLubriloy*

潤滑性のある充填材や強化材を含むLNP複合材も、Thermocomp*複合材と同じガイドラインに従って射出成形します。特に次のような事項に配慮することで、耐摩耗特性を最適化できます。

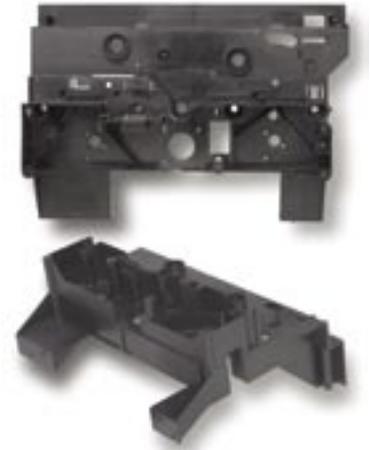
- Lubricomp複合材は、水分によって揮発性が高まり潤滑性添加剤が分離する可能性があるため、完全に乾燥させることが不可欠です
- 大きめの寸法で、流動抵抗の少ないランナーとゲートを設計することで、適切に潤滑性添加剤が分散した部品を成形することができます。ピンポイントゲートの使用は避けてください
- せん断発熱を下げるため、射出速度は中程度にすることを勧めます
- LubricompおよびLubriloy複合材（特にPTFEを含むもの）では、十分なガス抜きを行うことが重要です。ベントはランナー、コア、キャビティのほか、流動先端が交わる位置に設けるようにしてください。エジェクターピンにベントを設けると、メクラ穴のガス抜きが行えます



LNP* Stat-Kon*

導電性のある充填材や強化材を含むLNPも、Thermocomp*複合材と同じガイドラインに従って射出成形します。特に次のような事項に配慮することで、電気的特性を最適化できます。

- ポリカーボネート、ナイロン、ポリエステルなどという吸湿性のあるベース樹脂のStat-Kon複合材は、必ず完全に乾燥させる必要があります。これらの衝撃に敏感な樹脂は水分によって分解し、衝撃強度が極端に低下し、用途によっては脆くなりすぎます
- 大きめの寸法で流動抵抗のないランナー・ゲートを設計することで、適切に導電性添加剤が分散した部品を成形することができます
- ランナーやゲートが小さく、材料に過剰なせん断発熱が起こると、導電性添加剤の分離が進み、結果的に成形品表面外観が悪化したり電気的特性にばらつきが出たりする可能性があります
- これらの衝撃に敏感な複合材の耐衝撃性のさらなる低下や熱劣化を防ぐには、熔融温度の厳密な管理が必要です
- スクリューの回転数を下げ（30～70RPM）、背圧を最低限の25psi（170kPa）にすることで、繊維の摩擦を最小限に抑えられます



LNP Faradex*およびEMI-X*

シールド性能を付与する導電性繊維を含むLNP複合材は、標準グレード向けのガイドラインに従って標準的な射出成形機で加工できます。次のような事項に配慮することで、シールド性能を最適化できます。

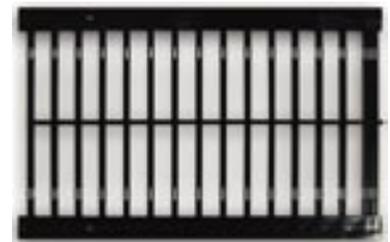
- 炭素繊維複合材は、中～高程度の射出速度、低い背圧、低いスクリュー回転数の条件で繊維の破損を最小限にし、最適なシールド性能を発揮します。
- ドライブレンドのステンレススチール繊維複合材は、低～中程度の射出速度、50～200psi（345～1,380kPa）の背圧、中程度のスクリュー回転数で分散性を最適化すると、最高の性能を示します
- ドライブレンドのFaradex複合材を成形する場合は、成形前にホッパーのマグネットを取り外しておいてください
- Faradexコンパウンドの金型材質は、標準的なLNP強化複合材に関するものと同じガイドラインに従います



LNP Stat-Loy*

Stat-Loy複合材は、標準的なLNP複合材と同じガイドラインに従って射出成形します。次のような事項に配慮することで、成形品の散逸特性を最適化できます。

- Stat-Loyに永久帯電防止特性を付与するアロイコンポーネントは、ベース樹脂の粘度も下げ、射出成形において優れた流動特性を与えます
- Stat-Loy複合材は高流動性のため、熔融温度および射出圧力が（標準的なガラス繊維強化グレードと比べて）一般的に低くなっています
- 高いせん断速度により部品表面の外観を損ねる原因となる場合があるため、不要に高い射出速度は避ける必要があります
- Stat-Loy複合材はせん断に敏感なため、小さいゲートは避けてください。良好な成形結果を得るための最低ゲート厚は0.060"（1.5mm）です



ガスアシスト成形 (GAM)

GAM成形（ガスアシスト成形）は、LNP*複合材による中空部品の成形に利用されています。中空のガスアシスト成形品は、熔融した樹脂内に、不活性ガス(N₂)をランナーシステムまたは部品に直接射出して製造されます。ガスによって、肉厚部にある熔融樹脂の粘度が低い部分に連続した1つのチャンネルが形成されます。ガスアシスト成形には多くの利点があり、その一部は次のようなものです。

- 曲線的な空洞断面
- 軽量化
- サイクルタイム短縮
- ソリの低減
- 剛性と機能性の向上

ガスアシスト成形加工の主要なパラメータには次のようなものがあります。

- ガス充填圧力
- ガス遅延時間
- ガス保持時間

ガス充填圧力

部品形状によって異なります。過去のデータによれば、この範囲は400~800psi (2.8~5.5MPa)にする必要があります。

ガス遅延時間

プラスチックの射出開始からガス射出が遅延される時間です。経験的には、これはキャビティの充填率が約75%になったときが適切です。

ガス保持時間

プラスチックの射出後、ガス圧力が成形物に加えられる時間です。この時間は保圧時間とも呼ばれます。

射出圧縮成形 (ICM)

ICMは射出成形の一種で、まず部分的に開いた金型に熔融樹脂が射出されます。その後、その部分の金型を閉じ、熔融樹脂を圧縮してキャビティ全体に押し広げ、充填工程を完了します。圧縮工程は樹脂の射出と同時にその後も可能です。

ICMプロセスは、繊維長を維持させやすく、結果的に完成部品の物理的特性を向上させるため、Verdon*ガラス長繊維強化複合材に適しています。

その他のICMの特長には次のようなものがあります。

- ウェルドライン強度が向上
- 射出圧力が極めて低い
- 成形残留応力が低下
- 薄肉部品を成形できる
- 一工程で保護材のラミネート成形が容易になる

ICMの場合、既存の成形機を改造したり、新しい成形機ではICMオプションを選択する必要があります。装置に関する仕様には、精密なクランプ位置、正確な射出量の管理、二次クランプや圧縮動作の速度管理などがあります。既存装置の年式によっては、ソフトウェアや監視装置の追加が必要になる場合もあります。LNPは米国ペンシルバニア州エクストンにカスタマー・サポート事業部を設置しており、以下のような情報を提供しています。

- 部品設計エンジニアリング
- 成形加工技術
- 射出圧縮成形加工に関する専門技術
- 技術サービス/成形トライアルの支援

薄肉射出成形

エンジニアリング樹脂を使用した一般的に許容される薄肉部品は、肉厚が0.020" (0.5mm) ~ 0.080" (2mm)、流動長と肉厚の比 (L/T) が75以上と定義されています。肉厚が0.040" (1mm) なら、最低3" (76.2mm) の流動長になります。この定義は多くのエンジニアリング複合材、特にポリカーボネートのような非結晶性樹脂にとって難しい課題となっています。薄肉部では射出中に熱が急激に生まれるため、スキン/コア比が高くなり、薄肉部品の成形、金型設計、および部品設計に関するルールは変化します。これはすなわち、15,000~35,000psi (100~240MPa) というきわめて高い充填圧と、きわめて短い充填時間 (0.75秒以下) で成形されることを意味します。高い充填圧が非常に短時間で加わるため、成形設備には以下のような要求があります。

- 射出および型締機構における高い油圧 (アキュムレータおよび高トルクのポンプが必要な場合あり)。充填圧が30,000psi (200MPa) なら、型締力は4~6トン/inch² (0.62~0.93トン/cm²) 程度が必要
- 高解像度センサーによる油圧の管理
- たわみを0.0005" (0.013mm) までに抑制できる十分な厚みのあるプラテンを備えた頑強な成形機
- 射出容量を40~70%に制限する小型のパレル

金型に高い圧力がかかるため、以下のような事項を考慮する必要があります。

- 金型の変形は、厚めのプレート（2～3”/50～75mmのサポートプレート）、追加のサポートピラー、および頑丈な組立てによって最小限に抑える
- キャビティ・コアのずれを点検する。コアの変形を防ぐためには、コアのインターロック機構が必要な場合がある
- 追加のガス抜きを行う。真空ガス抜きを行えば、充填速度を上げられることがある
- 高流動のメルトフィードシステムで多数のゲートを設ければ、充填が容易になるとともにコアのずれも抑えられる。ホットランナーは基本的に不可欠
- 高品質の焼入金型鋼が必要
- エジェクターピンの直径は大きく（通常の2倍）し、数も多くして部品の離型を容易にする。低摩擦の金型コーティング剤を使用すれば、離型がさらに容易になる(9ページ参照)
- 金型全体の熱膨張は等しくする。これは、例えば、キャビティとコア・プレートに同じ鋼材を使用したり、エジェクタープレートを加熱/冷却したりする必要がある

低発泡成形 (SFM)

熱可塑性プラスチックに使われる低発泡成形はいくつかのLNP*複合材に使用できる成形法で、通常の射出成形部品に比べ強度対重量比が高く寸法安定性にも優れた大型部品を成形できます。金型コストは低めで、場合によってはアルミニウム金型も使用できます。

過去のデータによれば、低発泡成形はガラス繊維や炭素繊維強化されたThermocomp*、Stat-Kon*、Verton*複合材に加え、Lubricomp*およびColorcomp*の特殊未強化グレードに適することがわかっています。化学発泡剤（CBA）の使用により、通常、密度を低減（最大30%）し、肉厚部のヒケを抑制し、ソリを低減します。

LNPでは、発熱性CBAコンセントレート(Foam-Kon* 20およびFoam-Kon)も提供できます。これは2～3%の割合で成形材料と混合して、未発泡スキンと発泡コアを持つ部品を製造します。大きな密度低減を得るためには、肉厚は最小でも6.35mm以上にしてください。吸熱性CBAはLNP複合材でも使用されており、場合によっては発熱性(CBA)より利点があることもわかっています。

技術情報

リグラインド

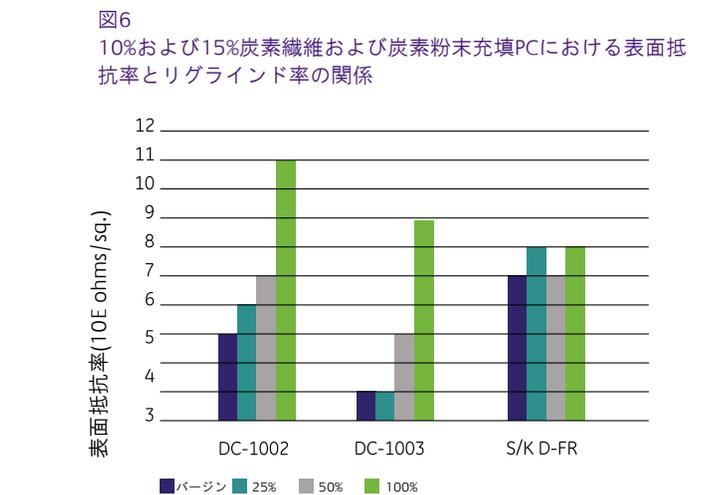
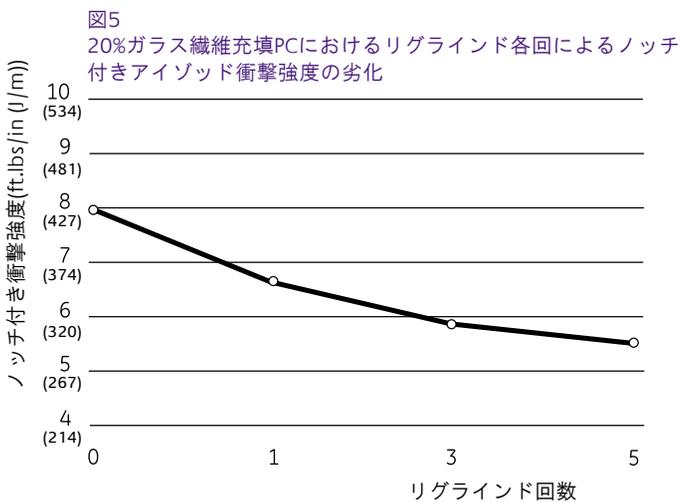
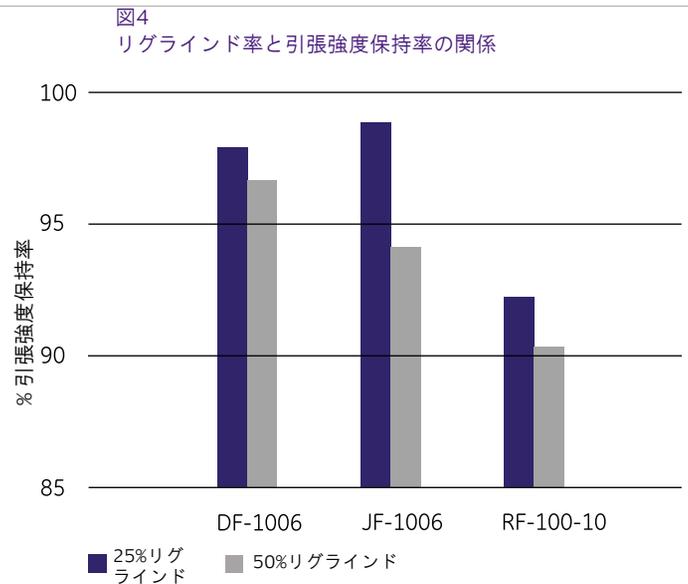
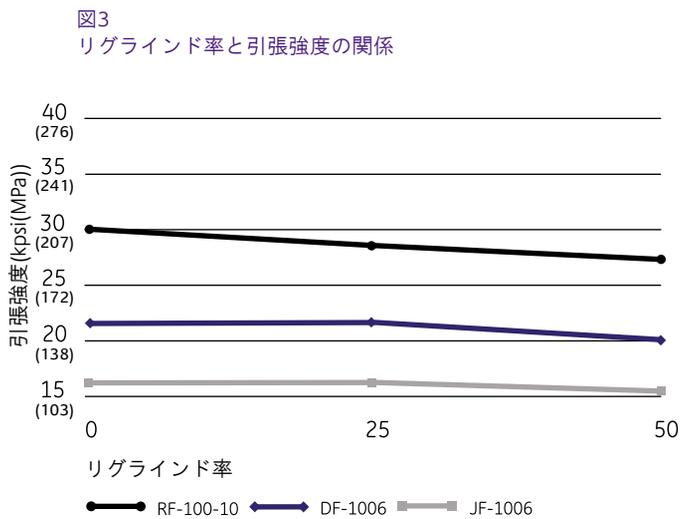
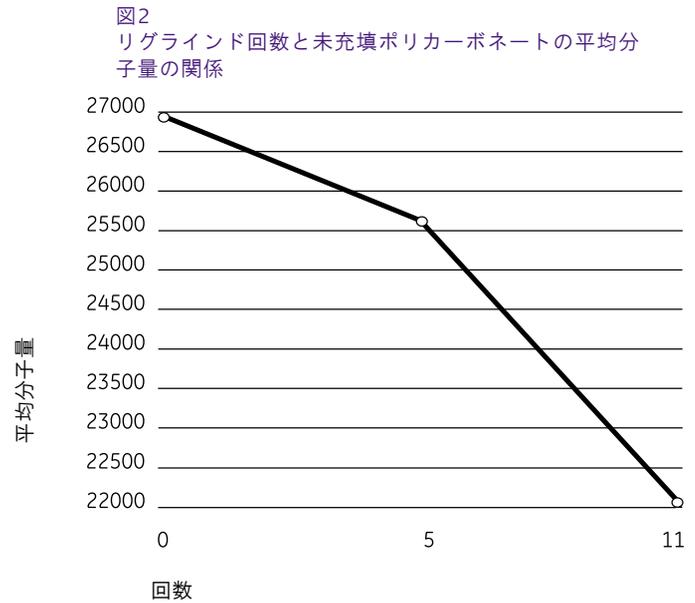
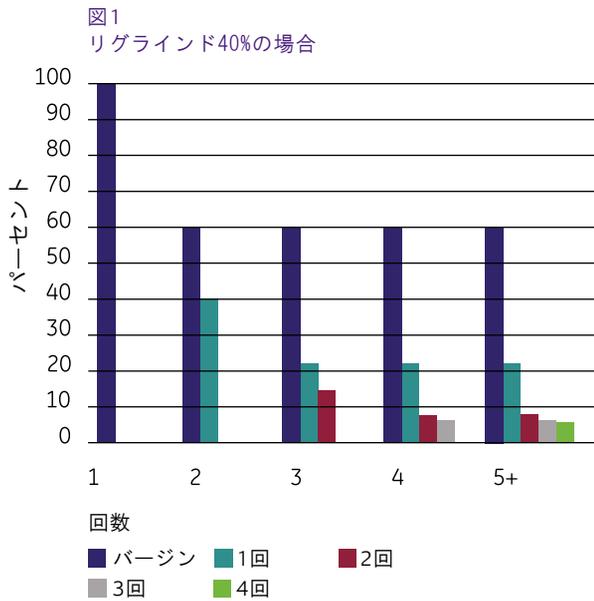
熱可塑性プラスチック複合材部品にリグラインドを使用すると、経済的にも環境的にも明らかな利点があります。お客様からの質問で多いのは、特定の材料に適した具体的なリグラインド含有率です。残念ながら、答えは試験片を使った一連の実験を行い、物理的特性の許容劣化水準を決めるという単純なものでは得られません。部品はそれぞれ異なります。特定の部品設計と熱可塑性プラスチック材料は、設計上の特性と部品破損に至る特性の間に安全マージンを確保して選定・承認されます。したがってリグラインドの利用は、特性劣化が破損点まで達しない範囲に制限する必要があります。実験室では、物理的および電気的特性に対するリグラインドの影響を、さまざまな材料および充填材の組み合わせについて知ることができます。

この検証にあたっては、最初にリグラインド工程について理解する必要があります。スプルーやランナーが付けられた大量生産用途では、リグラインド原料が継続的に生成されます。したがって生成されるリグラインド、例えば5回目とする、それは、バージン材と4回目以前からのリグラインドの混合物です。この4回目のリグラインドも、バージン材と3回目以前からのリグラインドの混合物です。以下同様に続きます。図1は、リグラインドが常に40%の場合に、各々の履歴のリグラインドがどのように混合されるかを示します。この場合、材料の6.4%が3回以上リグラインドを経過しています。表1は、さまざまなリグラインド率で、3回以上リグラインドを経過した材料の割合を示しています。

最初の回からn回目まで経過する間に、熱可塑性プラスチック複合材は基本的に2つのタイプの劣化があります。1つ目のタイプは、熱履歴が重なることで生じるポリマー劣化です。2つ目のタイプは、熱履歴による充填材の劣化と、成形と粉砕による充填材の物理的破壊です。

表1

	リグラインド率					
	10%	20%	25%	30%	40%	50%
リグラインドを3回以上経過した材料の割合	0.1	0.8	1.6	2.7	6.4	12.5



熱履歴に対する反応はポリマーごとに異なります。多くのポリマーは分子鎖切断によって粘度が低下し物理的特性が劣化します。しかし架橋によって粘度が上昇するポリマーもあります。いずれのメカニズムでも、反応速度はポリマーによって異なります。リグラインド回数に対する分子量の劣化を100%リグラインドポリカーボネートで実験しました(図2)。

回数が増えるに従い分子量は低下します。これらのデータは、適切に乾燥されたポリカーボネートで得られたものです。成形温度では、吸水したポリマーは劣化が加速され、劣化速度がさらに速くなることが予想されます。すべての化学反応は時間と温度の関数なので、劣化の程度も加工温度と滞留時間の関数になることが予想されます。ガラス繊維強化グレードのポリカーボネートは、未強化グレードに比べて、粘性加熱によって分子量がより急速に減少します。

熱劣化によるポリマーの物理的特性損失は、熱可塑性プラスチック複合材にも伝播します。したがってポリカーボネートでは、耐衝撃性などの分子量の関数である特性が、リグラインド混合物よりさらに低くなります。

温度に敏感な充填材もポリマーと同様の挙動を示します。たとえば難燃剤は、反応が時間と温度に依存する化学物質です。難燃剤を含む材料は、リグラインドを繰り返すごとに難燃性が低下すると予想されます。劣化の程度は組成によって異なります。

ただしほとんどの充填材は、ポリマーの成形温度では大きな影響を受けません。リグラインド工程によるこれらの劣化は、主として充填材の物理的破壊によるものです。粒状の充填材の場合は、リグラインド工程の影響がそれほど深刻ではありません。ガラス、炭素、ステンレス鋼、およびアラミドの繊維は、PTFE、炭素粉末、またはミネラル充填材よりも劣化の度合いが大きくなります。繊維充填材のグループの中では、脆性が最も高い炭素繊維の方が、アラミドまたはステンレス鋼繊維よりも繊維長の破損が大きくなります。ステンレス鋼など、強化の程度が低い繊維を含有した複合材は、強化の程度が高い充填材を含有する複合材に比べて、特性劣化が少なくなります。前述したように、熱可塑性プラスチック複合材の物理的特性が低下する程度は、充填材のタイプと対象とな

る特性に依存します。

図3および4は、リグラインド率の増加に伴う引張強度の損失を示します。これらの例のデータは、1回リグラインドのもので、リグラインド処理を繰り返したリグラインド混合物では繊維破損が増え、引張強度の損失が増大します。データからは、最初の数回のリグラインドで繊維長の破損が発生することが示されています。繊維が短くなるにつれ、それ以降のリグラインドで破壊される可能性が減少します(図5を参照)。したがって、繊維長の破損は最初の数回で漸近的になりますが、ポリマーの劣化は継続的です。

リグラインド処理の影響を受けない充填材であれば、複合材に影響するような目立った特性の変化は現れません。Stat-Kon® D-FRは、炭素粉末ベースのポリカーボネートです。炭素粉末はリグラインド処理の影響を受けないため、この充填材を含有する複合材の表面抵抗率も変化しません。これに対して、炭素繊維ベースのStat-Kon DC-1002およびDC-1003の場合は繊維破損によって表面抵抗率が増加します(図6を参照)。Lubricomp® DL-4040やRL-4040などの未強化、PTFE、またはシリコーン充填ポリマーでも、摩耗やPV特性に同様な保持傾向が予想されます(前述したポリマー劣化による何らかの物理的特性の損失はあります)。

熱可塑性プラスチック複合材におけるリグラインド使用の影響について述べてきましたが、射出成形とリグラインド処理は用途ごとにきわめて多様ですから、用途から用途へのリグラインドの許容量を求める公式はさらに複雑になります。滞留時間、背圧、スクリュウ回転数、射出速度、射出圧力、ゲートサイズ(せん断熱)、熔融温度、吸水率といった要素は、すべてポリマーの熱履歴に影響します。同様に、背圧、スクリュウ回転数、射出速度、射出圧力、ゲートサイズ、熔融温度、ランナーサイズおよび長さ、スクリュウ形状、粉碎装置、粉碎機のメッシュサイズは、すべて繊維長の破損量に影響します。リグラインドの許容量を求めるためには、プロセス全体を徹底的に分析することと、どの特性が用途に重要なかを理解することが不可欠です。

リグラインド率が増えて、複合材の分子量と繊維充填材の長さが変化すると加工変数も増大することが予想されます。この変数の特定は非常に困難です。影響の程度を特定するには時間と多数のロットが必要です。

材料の選択も、用途におけるリグラインド増加率に関係します。たとえば、ある特定の部品から廃棄物が40%生成され、これをリグラインドとして使用するとき、リグラインド率40%では耐衝撃性の低下によって部品が破損することが示された場合は、予想される耐衝撃性の低下を補うためにガラス充填率を上げるか、または高耐衝撃性グレードを使用することをお勧めします。同様に導電性複合材の場合は、表面抵抗率の増加を抑えるために炭素粉末を使用することが考えられます。

ある用途にリグラインドを使用する可能性がある場合は、複合材の特性に影響するすべての要素を慎重に調べます。これらの要素を、用途の要求と比較します。必要であれば材料を調整して、使用できるようにします。経済的利益も無視できません。

金型冷却

成形された成形品を金型から取り外すためには、変形しないように離型するまで材料を十分冷却する必要があります。

エジェクターピンが突抜けない程度に部品表面が固ければ、十分に冷却されたと考えられます。

適切な金型冷却には次の特徴があります。

- 冷却速度を均一に制御できる
- 熱エネルギーが材料から金型に移る
- 循環媒体で冷却する

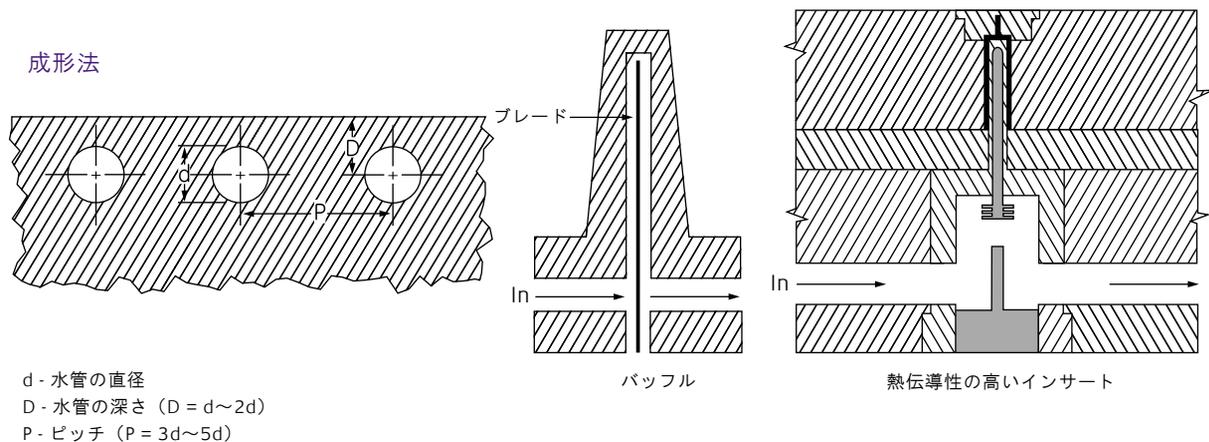
金型冷却ガイドライン

- 冷却速度は成形品の肉厚に依存します
- 冷却ラインは必要な場所に正確に配置します
- 冷却孔は表面に近づけます
- 冷却システムを最初に設計し、後からエジェクターピンを配置します
- 伝熱が最大になるように冷却媒体を乱流にさせます。冷却回路の急激なカーブや、冷却媒体の速度（流量）を上げることで乱流は促進されます
- 可能であればキャビティおよびコアごとに冷却回路を区別します
- 金型の両側で冷却が均一になるようにします

射出成形のセットアップと成形条件の最適化手順

射出成形で最適な成形パラメータを求めるためには、次の方法が役立つことがわかっています。この方法は一般的に、金型充填/ゲートシールスタディと呼ばれます。適切な溶融および金型温度を確定した後、次の手順を実行します。

1. キャビティとコアの表面温度が材料に適した範囲になるように金型温度を設定します。金型の表面温度を手持ち式の温度計で測定して記録します



2. バレルヒーターの温度を、供給口側で低く、前部で高くなる勾配プロフィールに設定します。材料を投入して数回空射出します。ニードル式温度計で熔融温度をチェックします。材料に適した範囲の熔融温度が達成されるようにバレルヒーターとスクリュウ背圧を調整します。熔融温度を測定して記録します
3. 射出圧力は、設定された射出速度を達成するための圧力を下回らないように設定します
4. 射出速度を結晶性材料の場合は上限に設定し、非結晶性材料の場合は中高速に設定します
5. 保持圧力および保持時間をゼロに設定します
6. クッションがない状態でショートショットを作り、成形品が約95%充填されるまで徐々に射出容積を上げます。これが移行点（時間）になります。成形品の重量測定を開始します
7. 保持圧力を一次圧力より20%~30%低く設定し、部品の重量測定を続けます(充填時間は1~2秒にします)。クッションが残るまで射出体積を増やします。成形品重量が増加しなくなるまで保持時間を徐々に増やします。この時点でゲートシールに達します
8. 冷却時間は、エジェクターピンが成形品を突き抜けないで離型できるように設定します。成形品の性能と寸法安定性を特定の成形条件に関連付けるため、加工条件を記録して成形品にマーキングします

成形品の性能と寸法安定性を特定の成形条件に関連付けるため、加工条件を記録して成形品にマーキングします。

適切な予備乾燥

成形を成功させる鍵の1つは、乾燥を適切に実施することです。材料が成形に適した状態に準備されていない場合、プラスチック加工温度でポリマーが水分によって分解し、材料がバレルの中で文字通り「ごみ」になります。このような状況は、次のような多くのポリマーで発生します。

- ナイロン（すべてのタイプ）
- ポリカーボネート
- ポリエステル（PBT、PET、など）
- ポリスルホン、PES、PEEK
- ポリウレタンなど

乾燥を適切に実施するには、次の5点に注意する必要があります。

- ペレット/リグラインド吸水率
- 空気の温度
- 露点/乾燥剤
- 滞留時間
- 空気の流動

吸収ペレット吸水率

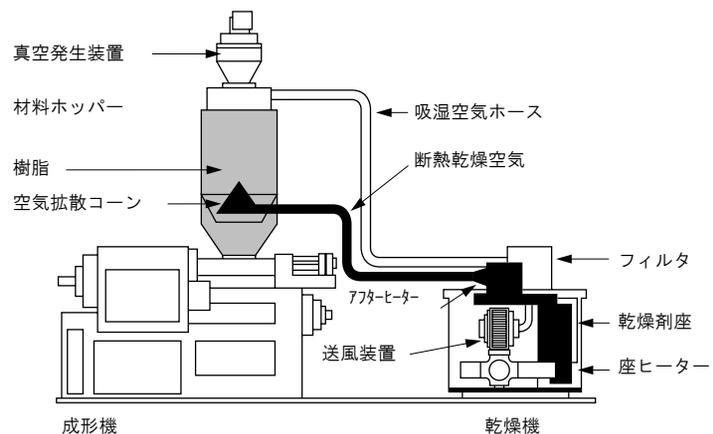
再現性のある乾燥を実施するには、吸水量が大きくぶれるのを防ぐことが重要です。これは基本的には製造業者の問題ですが、加工業者もこの問題に影響する手順を認識している必要があります。特に重要なのが、保管方法とリグラインドの使用回数です。

吸水性のある材料のリグラインドは、空気中では保管時にも水分を吸収し続けます。夏期には温度が上がるため、水分が過剰に吸収されないようにリグラインドを適切に保管することが重要になります。リグラインドを使用する最善の方法は、比例充填装置の付いた粉砕機を使用して機械的にリサイクルすることです。これにより、リグラインドの過剰な水分によってペレットが「汚染」されるのを防止できます。倉庫に数か月保管したグラインドを使用した場合、このような「汚染」が発生しやすくなります。

温度

重要なのは乾燥機出口の温度ではなく、ホッパー入口の温度ですから、温度のモニタリングは乾燥機の出口ではなく必ずホッパーの入口で行ってください。10フィート(3m)を超える断熱していない乾燥機ホースでは、高い温度(107°C/225°F超)で運転しているときに著しい熱損失が発生することも珍しくありません。ホッパーへのホースは必ず断熱してください。

一般的な閉ループ除湿システム



滞留時間

ホッパーのサイズは、特定の生産速度に対して十分なホッパー内滞留時間が得られる大きさにします。ほとんどの樹脂で、滞留時間は4~6時間必要です。通常は、空気の温度を上げると滞留時間を短縮できます。

例：単一キャビティの金型で、36秒ごとに45.4グラムの部品を製造します。1時間あたりの使用量はどれくらいになるのでしょうか？ホッパー滞留時間を6時間とした場合、どれくらいのサイズのホッパーが適切でしょうか？

$$45.4 \text{ g} = 0.1 \text{ ポンド} \times 36 \text{ 秒} = 1 / 100 \text{ 時間} = 0.01 \text{ 時間}$$

$$(0.1 \text{ ポンド}) / (36 \text{ 秒}) = 0.1 \text{ ポンド} / 0.01 \text{ 時間} = 10 \text{ ポンド} / \text{時間}$$

$$10 \text{ ポンド} / \text{時間} \times 6 \text{ 時間} = 60 \text{ ポンドのホッパー容量}$$

空気流

乾燥機で十分な空気流が得られない場合、樹脂が十分乾燥されず、必要な滞留時間が劇的に増大します。フィルタのクリーニングは必ず実施してください。週2回から2週間に1回の間隔が適切です。

ホッパーの設計

背の低い正方形のホッパーよりも、円錐形状の拡散板を備えた高い円筒形のホッパーをお勧めします。適切な設計のホッパーを使用することによって、材料または空気の移送ルートを最短化できます。

水分率分析

成形前に、市販の水分率分析装置を使用してコンパウンドの水分率を測定することをお勧めします。これは、乾燥装置を適切に機能させるために役立ちます。

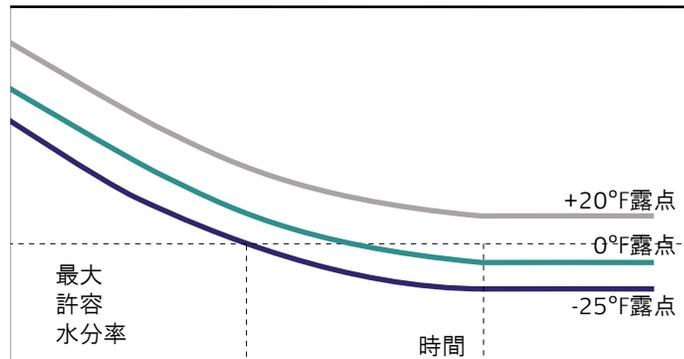
乾燥剤/露点

乾燥システムを適切に動作させるうえで、露点のモニタリングはきわめて重要です。露点は、暖かい空気の湿度の尺度です。露点をモニタリングすることによって、乾燥機の動作不良に関わる一般的な次の問題を検出できます。

- 乾燥剤不良/乾燥剤汚染（乾燥剤は時間および再生回数とともに効力を失います）
- 閉ループシステムへの空気漏れ
- 再生加熱エレメントの機能不全
- 不適切な送風装置の回転
- 乾燥剤アSEMBリの再生不良

露点は-18°C (0°F) 以下である必要があります。複数の座にある全ての乾燥剤ユニットが適切に再生するように、継続的にモニタリングすることをお勧めします。露点が-18°C (0°F) 以上でも材料が乾燥される場合もありますが、必要な滞留時間が長くなります。極端なケースでは、露点が十分に低くない場合、樹脂が必要な乾燥水準に達しません。

水分率と時間



許容公差

Shigley氏は次のように述べています。「設計仕様がコストに与える影響の中で最も大きいのは、許容公差かもしれない。設計における許容公差は、さまざまな形で最終製品の生産性に影響を与える。新たな加工手順が必要になる場合もあれば、部品の量産が経済的に完全に不可能になる場合もある。許容公差には、寸法のばらつき、表面粗度の範囲、機械的特性のばらつきなども含まれる・・・」。

射出成形品の許容公差は、材料の収縮率、ゲート設計、部品形状、金型品質、金型の許容公差、および成形条件の6つの変数によって制御されます。金型の許容公差は金型の製造方法に固有のもので、通常は寸法が変わっても一定と考えられます。成形条件（金型温度、熔融温度、ゲートシル時間など）は、通常は別の理由で決定されます。したがって、一般の金型公差を維持できると仮定し、成形条件を最適化して一定に維持すると（閉ループ制御をお勧めします）、射出成形の許容公差を制御する主な変数は4つになります。これら4つの変数のなかでは、材料の収縮率が最も重要です。図1はこれら4つの変数の概要と、これらの変数が重要である理由を示しています。

図1 成形部品の許容公差に関わる4つの主要変数

材料の収縮率	<ul style="list-style-type: none">• 大きい小さいか• 異方的か等方的か• 肉厚による予測可能性
ゲート設計	<ul style="list-style-type: none">• 適切な位置と数• 許容公差寸法への距離最短化• 十分かつ均一な圧力分布• 適切なサイズとゲート形状• 異方性繊維配向の最小化• バランスのとれたランナーシステム
部品形状	<ul style="list-style-type: none">• 寸法• パーティングライン寸法• 長さおよび直径方向の寸法• 材料の収縮率が制約される寸法• 肉厚• 半径、抜き勾配、均一肉厚など
金型品質	<ul style="list-style-type: none">• 金型温度を均一に保つ適切な冷却• 適切な金型材質• 適切なガス抜き• 許容される金型修正の総数• 最小の金型変形

材料同士を比較するには、パーティングラインをまたがない寸法で、流動方向の1インチ(25.4mm)の寸法を測定して検討します(適切な冷却とガス抜きを実施し、ゲートの近くで測定します)。両方向の収縮率が0.006インチ/インチ(0.006ミリ/ミリ)の材料の実用的な最小許容公差は、 ± 0.002 "(0.05mm)です。このような材料には、多くの未充填非結晶性熱可塑性プラスチック樹脂、鋳造亜鉛、鋳造マグネシウム、および鋳造アルミニウムが含まれます。ただし、鋳造合金は1インチ増加するごとに ± 0.001 "(0.03mm)を追加するのに対して、未充填非結晶性樹脂は、材料の妥当な流動長の範囲内で1インチ増加するごとに ± 0.002 "(0.05mm)を追加します。30%ガラス繊維で強化された非結晶性樹脂の実用的な最低許容公差は、上記寸法1インチに対して ± 0.001 "(0.03mm)、妥当な流動長1インチ増加するごとに ± 0.001 "(0.03mm)の追加です。30%ガラス繊維で強化された結晶性樹脂の実用的な最低許容公差は、寸法1インチで ± 0.002 "(0.05mm)、1インチ増加するごとに ± 0.002 "(0.05mm)の追加です。

前述の許容公差が実用的な最小値と見なされます。つまり、これらの許容公差内で形状部品を成形できます。より複雑な形状も可能ですが、許容公差の観点からは好ましくありません。理想的な条件下では、単純形状であれば、上記許容公差の50%での成形を試みることができます。さらに、最小許容公差に ± 0.001 "(0.03mm)を追加すると標準許容公差が得られ、最小許容公差に ± 0.002 "(0.05mm)を追加すると粗許容公差が得られます。

強化熱可塑性プラスチック部品のソリ

射出成形による熱可塑性プラスチック部品を設計する際に、部品がどの程度反るか予測することはきわめて困難です。部品に著しいソリが発生した場合、スペックアウト(許容公差)になったり、目的用途でまったく機能しなくなるおそれがあります。このため、射出成形品のソリの量は最小限にする必要があります。部品のソリを最小化するには、部品が反る原因を理解することが重要です。射出成形による熱可塑性プラスチック成形品が反るのは、成形品の内部応力が成形品固有の剛性に打ち勝つほど大きくなり、これによって成形品が変形します。射出成形品のこうした内部または残留応力の主な原因は、収縮差です。成形品の収縮差はさまざまな要因で発生します。部品のソリを評価するときは、材料、成形品設計、金型設計、および成形条件の4つの領域を検討する必要があります。

材料

選択した材料が最終部品の寸法安定性に劇的な影響を及ぼす場合があります。収縮率が非常に大きい材料を使用して成形品の寸法安定性を達成するのは困難です。非結晶性樹脂の方が結晶性樹脂よりも収縮率が低いため、許容公差が厳しい場合は一般的に非結晶性樹脂が選択されます。収縮の大きさよりさらに重要なのが、材料の等方的収縮の程度です。材料が異方的に収縮する場合(たとえば直角方向と流動方向の収縮が異なる)、成形品内に収縮差が発生します。この収縮差がソリの原因になる可能性があります。等方的に収縮する材料の場合は収縮差と成形品内の応力が最小化され、成形品の寸法安定性に優れます。次表は、成形品のソリに対する材料の収縮差の影響を示しています。

結晶性アセタール材が比較的大きなソリを示していますが、これはこの材料の収縮率が大きく、またさらに重要なことは、流動方向と直角方向で収縮率が大きく異なるためです。非結晶性ポリカーボネート材のソリは小さいですが、これは収縮率が低く、収縮挙動がより等方的であるためです。一般的に繊維強化材を添加すると、材料の全体的な収縮率は低下しますが、成形品のソリは増大します。キャビティ充填中の繊維配向によっても、繊維が流動方向に並ぶことによって異方的収縮差が増大します。この結果、直角方向の収縮率はほとんど減少しないまま、流動方向の収縮率のみが著しく減少します。これは、10%および30%ガラス繊維強化材料に関する下表のデータでも明らかです。

ベース樹脂	充填材	流動方向の 収縮率 (mm/mm)	直角方向の 収縮率 (mm/mm)	ソリ A/D
アセタール	未充填	0.020	0.016	0.075
アセタール	10% GF	0.011	0.013	0.030
アセタール	30% GF	0.004	0.015	0.300
ポリカーボネート	未充填	0.005	0.005	0.001
ポリカーボネート	10% GF	0.003	0.003	0.001
ポリカーボネート	30% GF	0.001	0.003	0.003

材料データの詳細はLNP*の『熱可塑性プラスチックの収縮とソリの関係』を参照してください。

成形品設計

プラスチック成形品の設計も、寸法安定性に大きく影響を与える可能性があります。射出成形品に肉厚が非常に不均一な部分がある場合、収縮差の問題が発生する可能性があります。肉厚が不均一な成形品では、成形品内で収縮時間と量が不均一になるために収縮差が発生します。比較的厚い部分では、薄い部分に比べて熱量が大きいため冷却に時間がかかります。その結果、薄い部分の方が厚い部分より先に冷えて収縮します。これによって成形品内の収縮差が発生します。この収縮差は、成形品内の収縮のタイミングによって起こるものです。

厚い部分は薄い部分より収縮するため、成形品内には収縮の程度や量のばらつきも存在します。結晶性材料ではこの影響が増幅されます。成形品内の結晶化度は、肉厚に影響されます。厚い部分は冷却が遅くなり、冷却が速い薄い部分よりも結晶化度が高くなります。結晶性が高い部分は結晶性が低い部分に比べて収縮するため、これも収縮差につながります。この収縮差は、成形品内における収縮量の違いによって起こるものです。

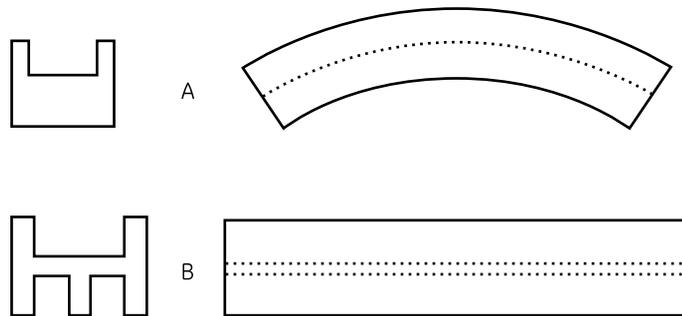
肉厚が不均一な部分を持つ成形品には、収縮時間によっても量によっても、大きな収縮差が発生しやすくなります。前述したように収縮差は成形品内で応力が発生する原因になり、成形品が反る原因になります。右図はこの現象を説明したものです。

成形品の肉厚が不均一であるほど、成形品が反る可能性も高くなります。このため、射出成形による熱可塑性プラスチック成形品は、肉厚が均一になるように設計することをお勧めします。

成形品全体の剛性もソリに影響します。剛性が高いほど成形品は反りにくくなります。成形品の内部応力は、成形品のソリや変形の原因になります。成形品の剛性が著しく高ければこうした応力に対抗できるため、測定可能な変形やソリが発生しなくなります。リップやガセットを使用すると、成形品の肉厚を増さずに効果的に剛性を高めることができます。

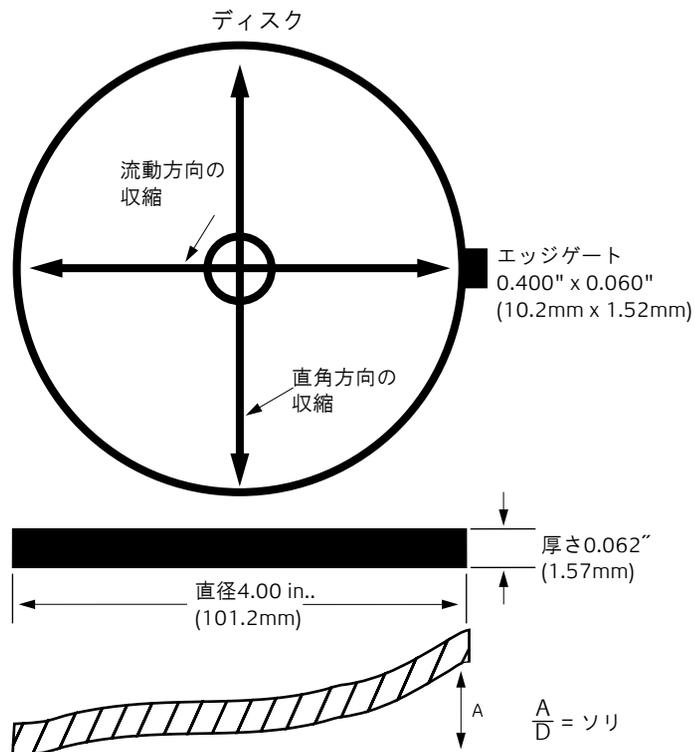
金型設計

金型設計が不適切な場合も、成形品の寸法安定性に問題が起こる可能性があります。ゲート位置はソリを最小化するうえで重要です。理想的なゲート位置はバランスの取れたキャビティ充填が可能で、流動末端のすべてのキャビティ領域に熔融樹脂が同時に達する位置です。キャビティ充填のバランスが取れていない場合、過充填と不均一冷却という好ましくない結果につながる可能性があります。過充填と不均一冷却は成形品内の収縮差につながり、収縮差は成形品のソリにつながります。



A = 肉厚が不均一な設計は部品のソリにつながります
B = 肉厚が均一な設計は部品のソリを最小化します

材料の収縮差によるソリ



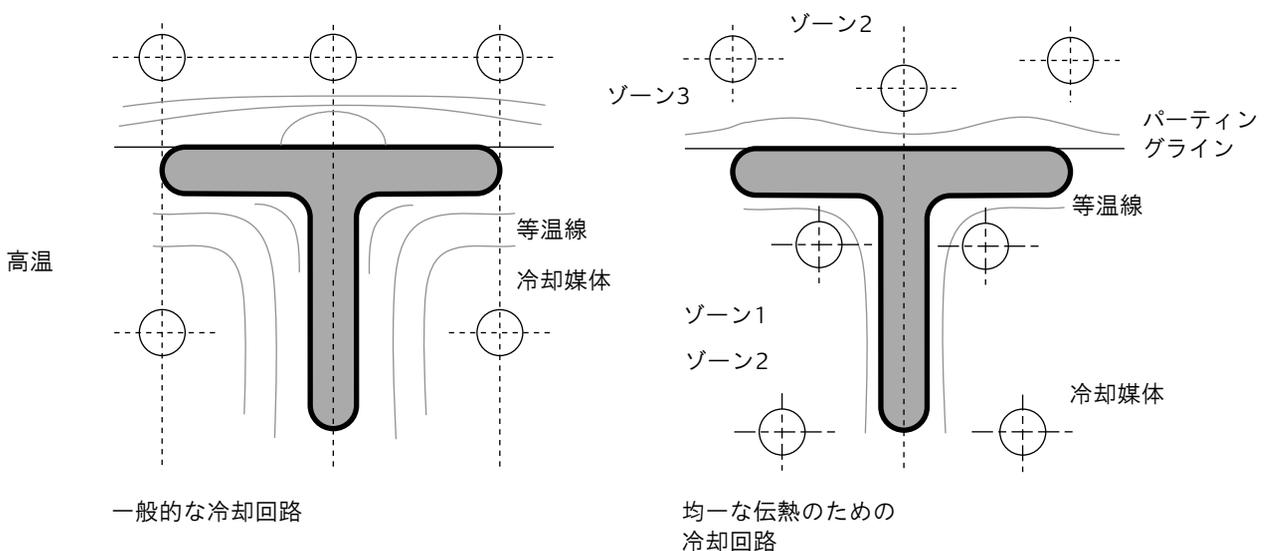
過充填は、キャビティ充填のバランスが取れていないときに発生します。キャビティ充填の不均一は、キャビティの一部の領域が、他の領域が充填されないうちに充填される時に発生します。部分的に充填した領域の熔融樹脂が冷却している過程で、この領域にさらに熔融樹脂が押し込まれます（これはキャビティの他の領域に充填するための一次圧力がまだ作用しているためです）。結果として、先に充填された領域に過充填が発生します。保圧の程度が高い領域は低い領域よりも収縮率が低くなるため、成形品内に収縮差が発生します。この収縮差は、成形品内の収縮量の違いによって起こるものです。

不均一冷却も、キャビティ充填のバランスが取れていないときに発生します。キャビティ内で先に充填された領域の熔融樹脂は、他の領域が充填されている過程で冷却を開始します。先に充填された領域の熔融樹脂はしばらく停滞している状態になり、キャビティ充填の完了中に急速に熱を失います。この結果、充填完了の瞬間、この領域の熔融樹脂は他の領域の熔融樹脂よりも温度が低くなります。この温度差は、キャビティ充填時間、および熔融樹脂と金型表面の温度差に依存します。先に充填された領域の熔融樹脂は、他の領域よりも早く収縮して冷却されます。これによって成形品内に収縮差が発生します。この収縮差は、収縮の時間差によって起こるものです。

ゲートの適切な位置と数は、射出成形の保圧段階でも重要です。複数のゲートにより流動長を短く保つと、キャビティ全体により均一な保持圧力を付加できます。キャビティ内に均一な保持圧力が付加されると、成形品の収縮率がより均一になります。均一な収縮率は成形品のソリを低減します。

金型設計のなかでは、金型冷却システムも成形品全体の寸法安定性に大きく影響します。成形中に金型冷却システムが金型温度を均一に維持できない場合、不均一冷却が生じる可能性があります。キャビティ内の比較的溫度が低い領域では、溫度が高い領域に比べて熔融樹脂が早く冷却され収縮します。この収縮差も収縮タイミングの差によって起こるものです。金型冷却システムの設計が不適切な場合、成形品内の収縮量にも違いが生じる可能性があります。キャビティ内でより溫度の高い領域では、冷却がより遅くなり、結果として収縮率が大きくなります。結晶性樹脂の場合は、冷却速度が遅くなると結晶化度が高くなり、これによって収縮率も大きくなるため、これが特に顕著に表れます。適切に設計された金型冷却システムでは、キャビティ内のすべての熔融樹脂が同時に離型溫度まで冷却されます。

不均一冷却が成形品のソリの原因になるわかりやすい例としては、たとえば形状が箱型の場合が挙げられます。成形中は、熔融樹脂から箱型コアの頂点付近に比較的大きな熱量が伝わるため、箱型成形品の内側の頂点付近は高温のままです。熱の移動が大きいのは、箱型コアの頂点付近が3つの方向から熱を受けるからです。この温度差のために、箱型の頂点付近は箱型の側壁に比べて冷却と収縮が遅れます。頂点付近が冷えて、先に固化した部分に対して収縮するにつれて、側壁は内側に向かって倒れます。頂点付近で発生する収縮の大きさも、特に結晶性樹脂では大きくなる可能性があります。次図はこの現象について説明したものです。



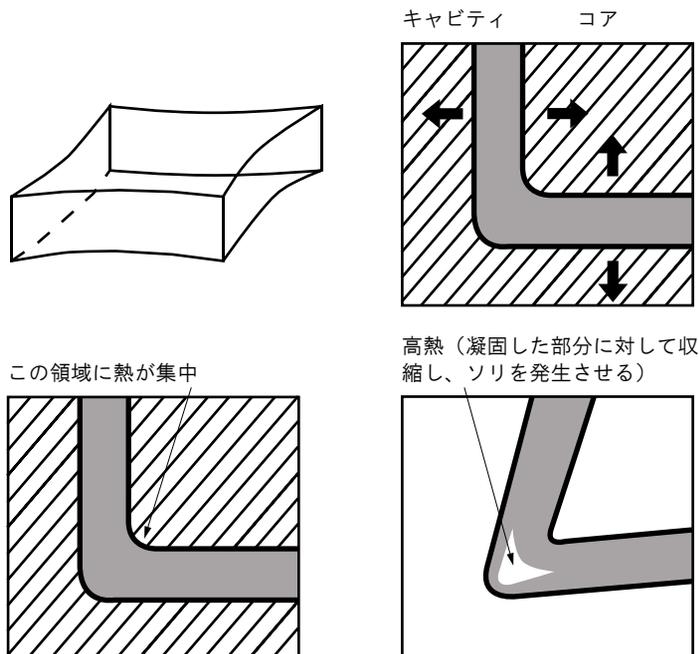
金型冷却システムが適切に設計されている場合は、箱型の頂点付近から効果的に熱が除去され、金型温度が全体で均一に保たれます。次図は、金型の比較的高温の領域を選択的に冷却することにより、金型全体の温度を均一に保つ例です。冷却孔が、キャビティ中の比較的高温の領域（コーナー部、厚い部分）の近くに配置されています。

成形条件

適切な成形条件、特にキャビティ充填時間も、成形品の寸法安定性を達成する上で重要です。キャビティ充填時間が短すぎる場合（キャビティを速く充填しすぎた場合）、大きな成形応力が発生する恐れがあります。キャビティ充填が速すぎる場合、せん断速度が高くなり、これにより著しいせん断発熱が発生し、大きなせん断応力が発生する原因になります。この大きな成形応力は成形品が反る原因になります。これは、収縮差以外の原因でソリが発生するケースの1つです。

キャビティ充填時間が長すぎる場合は、熔融樹脂の不均一冷却が生じる可能性があります。過度に長いキャビティ充填時間は、キャビティ充填完了までにおける熔融温度の大幅な低下につながります。このように熔融樹脂温度が大幅に低下するため、充填中におけるキャビティ内の熔融温度の分布が不均一になります。充填中における熔融温度の不均一分布は望ましくなく、成形品の不均一冷却につながります。流動末端の樹脂が、ゲート付近の樹脂よりも先に冷え始めて収縮し、成形品に収縮差が発生します。この収縮差は、収縮時間差によって起こるものです。

効果的な保持圧力も、ソリを最小限に抑えながら量産するために重要な要素です。射出成形の保圧段階での過充填や充填不足は、寸法安定性の悪化につながる可能性があります。ゲート付近は、高い保持圧力を受けます。流動長が長いときは、ゲートから最も遠い領域で保持圧力が低下する場合があります。これらの保持圧力が低い領域は、ゲートに近い領域よりも収縮が大きくなります。結果として収縮差が発生しやすくなり、それによってソリが発生しやすくなります。



ソリや寸法安定性悪化は、充填不足によっても発生する可能性があります。充填不足は通常、ゲートシールが早すぎるか、または保持時間が短すぎるのが原因です。充填不足が発生した場合、熔融樹脂がキャビティ内で圧力を受けずに冷えて収縮します。材料の体積収縮分を補う樹脂が、キャビティに追加充填されなくなります。充填不足は一般に、全体的な収縮率の増加と反りやすさの増大につながります。

以上をまとめると、射出成形による熱可塑性プラスチック成形品のソリは予測が非常に困難ですが、ソリを最小化するうえで次の事項が推奨されます。

- より等方的に収縮する材料を使用する
- 肉厚が均一になるように成形品を設計する
- リブやガセットを使用して成形品の剛性を高める
- キャビティ充填のバランスをとり、流動長が最短化されるようにゲートを配置する
- 金型全体の温度が均一に維持されるように金型冷却システムを最適化する
- キャビティ充填時間を最適化する
- 次の方法で効果的に保持圧力が加わるようにする
 - ゲートシールが早くなりすぎないようにする
 - 保持時間を適切にする

LNP Colorcomp*コンパウンド

Colorcomp着色済み非充填エンジニアリング樹脂は、ロットサイズ110~40,000ポンドで、厳密なカラー精度と短期間での納品を要する、OEMや成形加工業に適しています。Colorcompは、他の主要供給元の代表的な樹脂に加え、LNP製品ラインアップのほとんどの樹脂から製造することができます。幅広い特殊効果樹脂がラインアップされています。すべてのColorcomp樹脂は、QS/ISO規格に適合するように製造されます。

LNP Konduit*コンパウンド

Konduitコンパウンドは、熱伝導性充填剤とエンジニアリング熱可塑性プラスチックのコンパウンドで、電気絶縁性を残しながらも従来の未充填樹脂の最大2~10倍の熱伝導性を備え、さらに多くの金属に近い線膨張係数を持っています。Konduit複合材料は、クラッチコイルや、モーター、変圧器、その他多くのコイルを巻いた用途で、温度上昇を抑え、効率を上げることができます。

LNP Lubricomp*コンパウンド

Lubricomp内部潤滑性コンパウンドは、さまざまなエンジニアリング熱可塑性プラスチックに、PTFE、シリコーン、アラミド繊維などの素材を添加して潤滑性を持たせたものです。Lubriloy*コンパウンドは独自の潤滑性アロイで、低コストでありながらPTFE潤滑素材に近い特性を備えています。これらの製品は、事務機器、自動車、医療、家電製品、産業などの市場で条件の厳しい耐摩耗用途に利用可能です。

LNP Starflam*コンパウンド

Starflam難燃性 (FR) ナイロン・コンパウンドのほとんどは、ハロゲンフリー/赤リンフリー素材の条件を満たしており、ブルーエンジェルやTCOなどの自主的なエコマークに適合するように製造することができます。また、臭素 (ブロミン) 系/塩素系難燃システムに比べ、耐衝撃性に優れ、サイクルタイムが短く、比重が小さく、金型の腐食も少なくなっています。厚み1.6mmのサンプルでは、UL難燃性等級V-2~V-0が標準的です。Starflamコンパウンドは、レーザーマーキング可能で、RTI、比較トラッキング指数、およびグローワイヤー試験の電気的特性が高くなっています。このコンパウンドは、小型ブレーカ、接触器、コネクタ、スイッチギアの筐体、継電器、モーターハウジングなどの電気/電子製品に適しています。

LNP Stat-Kon*コンパウンド

Stat-Kon導電性コンパウンドは、経済的で信頼性の高い帯電防止策として利用できます。Faradex*コンパウンドはEMI/RFI遮断性と静電気放電耐性があるので、ほとんどの特殊コーティングや特殊塗装が不要になります。アロイ材料Stat-Loy*には、非湿度依存性、非転移性の永久帯電防止剤が使われています。加工性に優れ、射出成形と押し出し成形が可能です。一般的な用途には、自動車用燃料供給システム、電気/電子機器、事務機器などが考えられます。

LNP Thermocomp*コンパウンド

Thermocompガラス繊維/炭素繊維強化コンパウンドは、一般的な機械的物性のみならず、高温特性、疲労特性、クリープ特性、衝撃特性、および耐薬品性をも備えています。Thermotuf*複合材料は耐衝撃性改良グレードです。また、Thermocompには、高比重 (HSG) コンパウンド、溶解処理可能なフッ素樹脂コンパウンド、および薄肉成形用の特殊処理 (EP) コンパウンドも含まれています。Thermocompラインの製品は、主に自動車の機能部品、事務機器、電気/電子部品、消費財、家電製品、産業用途に利用されます。

LNP Verton*コンパウンド

Verton複合材料は、ナイロン、ポリプロピレン、ポリフタルアミド、その他のエンジニアリングプラスチックと強化用の長繊維をSABICイノベティブプラスチック独自の引抜成形法を用いて組み合わせたもので、構造用途に優れたコストパフォーマンスを発揮します。特に、これらのきわめて軽量の素材は、剛性と、際立った強度および衝撃破損への耐性を組み合わせ、優れた機械的特性を持っています。Verton複合材料は、主に自動車、産業、娯楽などの市場で条件の厳しい構造用途に利用可能で、ダイキャストメタルの代わりによく使用されます。

Americas

Headquarters

SABIC Innovative Plastics
One Plastics Avenue
Pittsfield, MA 01201
USA
T 800 845 0600
T 413 448 5800
F 413 448 7731

European

Headquarters

SABIC Innovative Plastics
Plasticslaan 1
PO Box 117
4600 AC
Bergen op Zoom
The Netherlands
T +31 164 292911
F +31 164 292940

Technical Answer Center

T 0800 1 238 5060 *toll free
(if mobile disruption +36 1 238 5060)

Pacific

Headquarters

SABIC Innovative Plastics
1266 Nanjing Road (W)
Unit 902-907, Plaza 66
200040 Shanghai
China
T +86 21 3222 4500
F +86 21 6289 8998

Email

productinquiries@sabic-ip.com

SABIC INNOVATIVE PLASTICS HOLDING BV、その子会社、および関連会社(以下、総称して「販売者」)の材料、製品、サービスは、販売者の標準販売条件に基づいて販売されています。この標準販売条件は<http://www.sabic-ip.com>でご覧いただけます。またご要望に応じて提示いたします。本ドキュメントに記載された情報または推奨事項は誠意をもって提供されていますが、(i)本ドキュメントに記載された試験結果がお客様の最終的な使用条件において得られること、または、(ii)販売者の製品、材料、サービス、推奨事項を採用した設計が有効または安全であることについて、販売者は、明示的にも暗示的にも一切の保証を行いません。販売者の標準販売条件に記載されている場合を除き、本ドキュメントに記載された販売者の製品やサービスの使用によって生じた損害に対して、販売者は一切の責任を負わないものとし、販売者の製品、サービス、推奨事項が使用者の個別の用途において適切であるかどうかについての判断は、最終的な使用条件に基づく試験および分析によって、使用者各位が責任をもって行うものとし、本ドキュメントまたは口頭での声明は、販売者が署名した書面による別途合意がない限り、販売者の標準販売条件または本免責条項のいかなる事項を変更または撤回するものではありません。製品、サービス、設計に関する販売者のいかなる声明は、販売者の特許または他の知的財産権のもとでの使用を許諾することを意図しておらず、そう解釈されうるものではなく、また、販売者の製品、サービス、設計をいかなる特許または他の知的財産権を侵害する方法で使用することを推奨することを意図しておらず、そう解釈されうるものではありません。

SABIC Innovative PlasticsはSABIC Holding Europe BVの商標です。

* Colorcomp, EMI-X, Faradex, Foam-Kon, Konduit, LNP, Lubricomp, Lubriloy, Starflam, Stat-Kon, Stat-Loy, Thermocomp, Thermotuf, Vertonは、SABIC Innovative Plastics IP BVの商標です。

* UCARIはユニオン・カーバイド社が開発した炭化タングステン・コーティングです。CPM9V*はCrucible Steel社が開発したスチールです。Colmonoy*およびStellite*は、それぞれWall Colmonoy社およびStoody Deloro Stellite社が開発した表面処理剤です。

© Copyright 2008 SABIC Innovative Plastics IP BV. All rights reserved.