



**SOLVAY**

asking more from chemistry®

ベラデル®  
アキュデル®  
ユーデル®  
レーデル®

レーデル® PPSU,  
ユーデル® PSU, ベラデル® PESU  
と アキュデル® 変性 PPSU  
成形加工ガイド

SPECIALTY  
POLYMERS



<b>はじめに</b> .....	<b>1</b>	<b>射出成形で使用する装置</b> .....	<b>11</b>
<b>サルホン系樹脂</b> .....	<b>1</b>	機械設定 .....	11
ユーデル® ポリサルホン .....	1	型締め装置 .....	11
ベラデル™ ポリエーテルサルホン .....	1	シリンダー容量 .....	11
レーデル® ポリフェニルサルホン .....	1	成形機のメンテナンス .....	11
アキュデル® 変性ポリフェニルサルホン .....	1	スクリー設計 .....	11
		スクリーチップとチェックバルブ .....	11
		ノズル .....	11
<b>樹脂の乾燥</b> .....	<b>2</b>	成形加工 .....	11
		射出または充填 .....	11
		充填および保持 .....	12
		冷却 .....	12
<b>レオロジー</b> .....	<b>4</b>	<b>機械設定</b> .....	<b>13</b>
<b>粘度 - せん断速度</b> .....	<b>4</b>	シリンダー温度 .....	13
樹脂の流れ特性 .....	5	金型温度 .....	13
メルトフローレイト .....	5	シリンダー内滞留時間 .....	13
スパイラルフロー .....	5	射出速度 .....	14
		背圧 .....	14
		スクリー回転速度 .....	14
		収縮 .....	14
<b>射出成形</b> .....	<b>6</b>	<b>再生材</b> .....	<b>15</b>
<b>金型および金型設計</b> .....	<b>6</b>	<b>残留応力測定</b> .....	<b>15</b>
金型鋼材 .....	6	<b>押出成形</b> .....	<b>17</b>
金型寸法 .....	6	<b>予備乾燥</b> .....	<b>17</b>
金型の研磨 .....	6	<b>押し温度</b> .....	<b>17</b>
金型のメッキと表面処理 .....	6	スクリー設計の指針 .....	17
金型の摩耗 .....	6	<b>ダイ設計</b> .....	<b>17</b>
金型温度のコントロール .....	6	押出成形品のタイプ .....	17
金型タイプ .....	7	ワイヤー被覆 .....	17
二枚構成金型 .....	7	フィルム .....	17
三枚構成金型 .....	7	シート .....	18
ホットランナー金型 .....	7	配管およびチューブ .....	18
キャビティの配置 .....	8	<b>運転の起動と停止およびパージ</b> .....	<b>19</b>
ランナー .....	8	起動手順 .....	19
ゲート .....	8	停止手順 .....	19
ダイレクトゲート .....	8	パージ .....	19
サイドゲート .....	9	<b>サーモフォーム</b> .....	<b>20</b>
ダイアフラムゲート .....	9		
トンネル (サブマリン) ゲート .....	9		
ピンゲート .....	9		
ゲート位置 .....	9		
ベント .....	10		
部品の突き出し .....	10		
抜き勾配 .....	10		
突き出しピンとストリッパプレート .....	10		
		<b>索引</b> .....	<b>21</b>

## 表

表 1：サルホン系樹脂のメルトフローレイト (ASTM D1238) .....	5
表 2：サルホン系樹脂の収縮率 .....	6
表 3：サルホン系樹脂の推奨初期設定条件 .....	14
表 4：ユーデル ポリサルホンの残留応力試験 .....	15
表 5：レーデル PPSU の残留応力試験 .....	15
サルホンのトラブルシューティングガイド .....	16
表 6：押出し温度 .....	17
表 7：サルホン系樹脂シートの乾燥時間 .....	20

## 図

図 1：ユーデル ポリサルホンの乾燥 .....	2
図 2：ベラデル ポリエーテルサルホンの乾燥 .....	2
図 3：レーデル ポリフェニルサルホンの乾燥 .....	2
図 4：ユーデル P-1700 .....	4
図 5：ベラデル A-301 .....	4
図 6：レーデル R-5000 .....	4
図 7：ユーデル P-1700 のスパイラルフロー .....	5
図 8：ベラデル A-301 のスパイラルフロー .....	5
図 9：レーデル R-5000 のスパイラルフロー .....	5
図 10：トンネルゲート .....	9
図 11：ベント .....	10
図 12：射出成形用スクリューの設計 .....	11
図 13：冷却時間 vs. 残留応力レベル：PSU 配管 .....	18

## サルホン系樹脂

ソルベイは、高性能サルホン系樹脂において世界規模で最大の品揃えを誇る企業です。これらの高耐熱の非晶性熱可塑性樹脂は本質的に透明であり、その強度と剛性および優れた寸法安定性により高い評価を得ています。高温の空気中または蒸気中の連続使用でも、曇りやクレーズが生ずることがなく、材料の透明性が失われることもありません。

サルホン系樹脂の本来の色は、非常に薄い琥珀色から中程度の濃さの範囲の透明色です。ソルベイでは、最新技術によりこれらの樹脂の色を大幅に低下させるのに成功し、特定のグレードのポリサルホン樹脂ではほぼ完全な無色透明を実現しています。サルホン系樹脂はこの他に不透明着色グレード、ミネラルやガラス繊維強化グレードがあり、後者は強度と剛性、熱安定性がさらに向上しています。

サルホン系樹脂は射出成形や押出成形、ブロー成形などの標準的な方法で加工することができます。切削加工が可能のため、評価用の試作品を作ることが容易であり、フィルムやシートを熱成形したい場合も標準的な装置を利用できます。さらに、超音波溶着や接着剤による接合、レーザーマーキングはもとより、熱圧入やネジ切り、切削加工など、ほとんどの成形後の後加工を行うことができます。サルホン系樹脂は溶液状態での加工も可能ですから、コーティングやろ過膜にも応用することができます。

### ユーデル® ポリサルホン

強靱で剛性に優れた高強度熱可塑性樹脂であるポリサルホンは174°Cという荷重たわみ温度を持ち、広い温度範囲で本来の特性を保ちます。流体を取り扱う用途にユーデル® ポリサルホンは秀でており、加圧温水用の配管・継手に真鍮製部品を代替し10年以上にわたって使用されています。

### ベラデル™ ポリエーテルサルホン

この樹脂は優れた耐薬品性と204°Cという高い荷重たわみ温度を併せ持つことから、哺乳瓶やその他のフードサービスの用途に適しています。また、本質的に難燃性であるこの材料は電子部品や試験デバイスの製造にも使用されます。

### レーデル® ポリフェニルサルホン

何度も繰り返して滅菌処理が行われ、いかなる条件でも強靱性を失わないことが要求されるような厳しい用途において、レーデル® ポリフェニルサルホンがその性能を発揮します。207°Cという高い荷重たわみ温度を持つことから、長時間にわたる熱暴露においても高い衝撃吸収性を失うことがなく、クラックや破断を発生しません。この樹脂は本質的に難燃性であり、アルカリその他の化学薬品に対しても卓越した耐性を示します。

### アキュデル® 変性ポリフェニルサルホン

弊社独自の樹脂であるアキュデル® 変性ポリフェニルサルホンによって、強靱性と耐薬品性、さらに耐加水分解性と寸法精度が要求される用途をより経済的に実現することができます。

# 樹脂の乾燥

サルホン系樹脂はある程度の水分を吸収し、耐加水分解性を持ちますが、加工処理前に乾燥させる必要があります。吸湿した樹脂を加工すると外観上の問題、たとえば射出成形時の表面の流れ模様やスプレー、あるいは押出成形時の気泡発生やストリーク発生の原因になります。ただし、水分が樹脂を加水分解したり特性を劣化させることはありません。未乾燥樹脂で成形した部品に起こるのは、外観上の問題と内部の気泡により強度が不十分であることだけです。このような外見上の不具合を含む部品が作られてしまった場合は、再び粉碎・乾燥させてから再度成形することが可能であり、これにより特性が劣化することはありません。

サルホン系樹脂は、循環式加熱オープンまたは除湿ホッパー乾燥器内にペレットを入れて乾燥します。

ユーデル ポリサルホンの推奨乾燥温度と時間は次のとおりです：163°C - 2時間、149°C - 3時間、または 135°C - 4時間。

ベラデル樹脂の推奨乾燥温度と時間は次のとおりです：177°C - 3時間、150°C - 4時間、または 135°C - 5時間。

望ましい水分含量は、射出成形の場合は 500 ppm (0.05%) 以下、押出成形の場合は 100 ppm (0.01%) 以下です。ホッパーで乾燥させる際には十分な断熱を施し、空気の漏れを最小にしてください。樹脂ペレットの温度が 135°C 以上に保たれるよう入口空気温度を十分に高くし、かつ入口空気の露点を -40°C 程度に保つ必要があります。この条件を十分に長い時間保ち、樹脂中の水分含量が、使用する加工方法の推奨する水分含量以下になるようにしてください。

135°C 以下の温度での乾燥は、乾燥時間があまりにも長くなるためお奨めできません。サルホン系樹脂は乾燥し過ぎるということはないので、上に示した乾燥条件はあくまでも最低レベルと考えてください。たとえば 135°C で 1 週間乾燥させたとしても、樹脂の性能上は何の問題もありません。

ユーデル PSU、ベラデル PESU、およびレーデル PPSU の乾燥曲線を図 1～3 に示します。

図 1：ユーデル ポリサルホンの乾燥

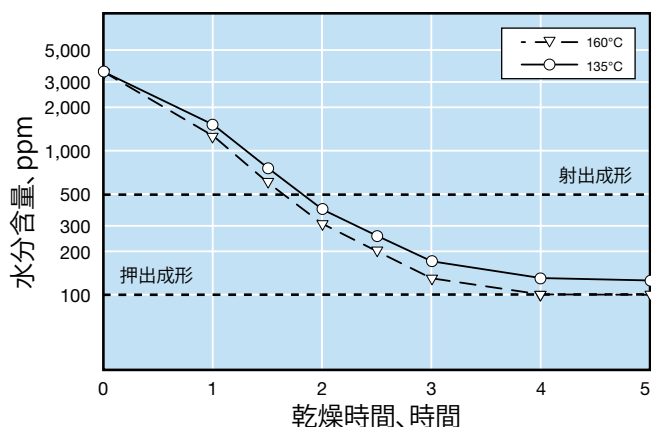


図 2：ベラデル ポリエーテルサルホンの乾燥

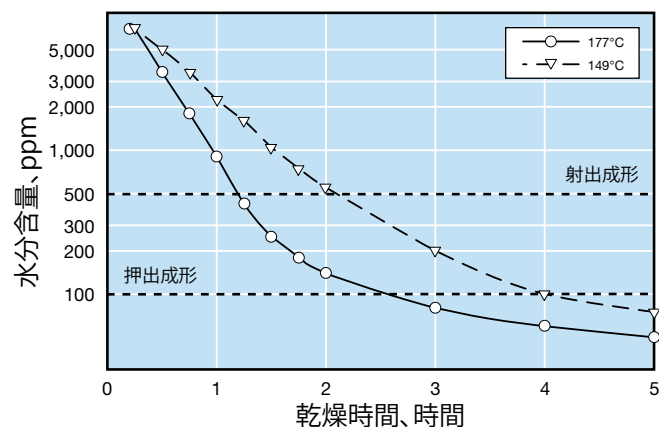
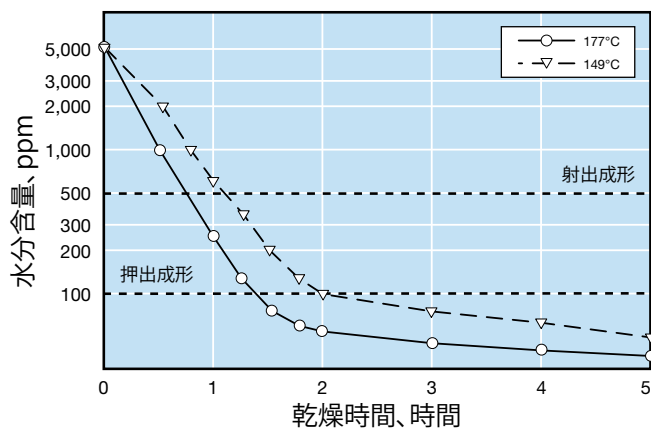


図 3：レーデル ポリフェニルサルホンの乾燥



非常に湿度の高い気候では、樹脂乾燥時間を長くする必要があります。このため、均一で効率的な乾燥を行うためには、乾燥棚上の空気を循環させる除湿ユニットを備えた密閉式オーブンの使用を推奨します。乾燥処理後の樹脂は、水分の再吸収を防ぐため密閉容器内に保存してください。

連続成形と押出成形では、加工装置に除湿式ホッパードライヤーを直接接続することをお奨めします。この方式で効率的に除湿することにより、連続加工が可能になります。最大処理速度において樹脂水分含量を希望の水分レベル以下へ下げるのに十分な滞留時間が確保されるように、ホッパーサイズを決定してください。

# レオロジー

製造業者が適切な金型や加工装置を設計できるようにするため、ユーデル、ベラデル、およびレーデル樹脂のレオロジー特性が様々な条件下で測定されています。

## 粘度 - せん断速度

せん断速度に対する粘度の関係を示すデータを図4～6に示します。

図4：ユーデル P-1700

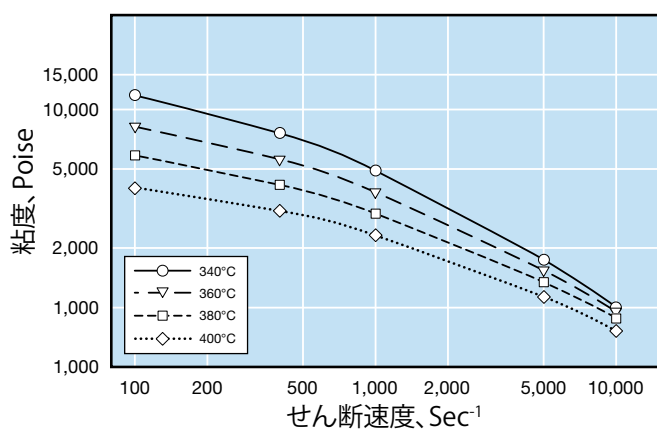


図5：ベラデル A-301

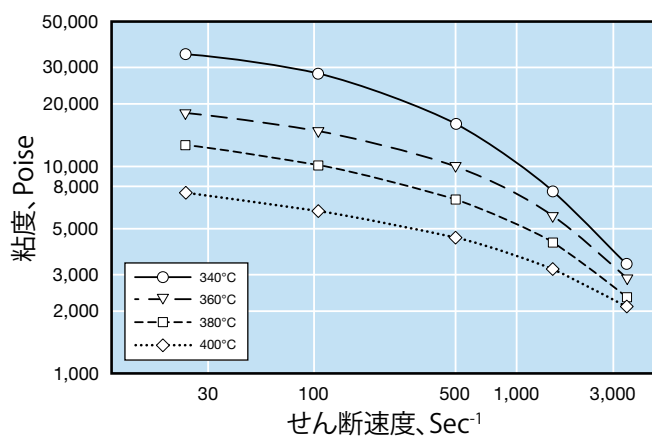
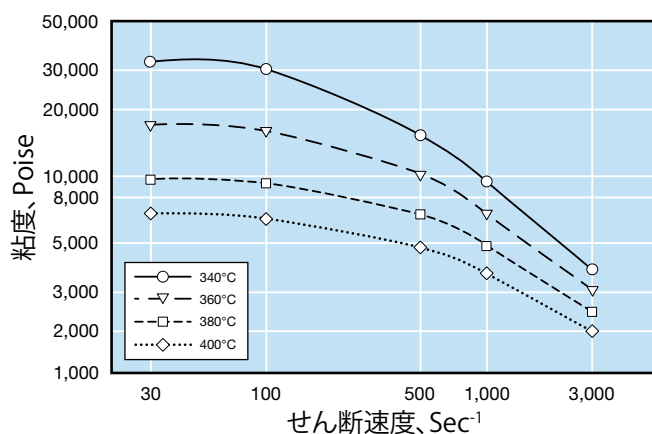


図6：レーデル R-5000





## 樹脂の流れ特性

### メルトフローレイト

メルトフローを定量化する一般的な方法として ASTM 試験法 D1238 ("Melt Flow rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer") に詳しく解説されています。この方法で得られた値を使用するためには、測定に使用した温度と荷重を明示しなければなりません。何種類かのサルホン系樹脂グレードについて得られた典型的なメルトフローレイトを表1に示します。

表 1：サルホン系樹脂のメルトフローレイト (ASTM D1238)

グレード	温度、°C	荷重、kg	メルトフローレイト、g/10 min
<b>ユーデル PSU</b>			
P-3500	343	2.16	3.4
P-1700	343	2.16	7.0
P-3703	343	2.16	17.5
GF -110	343	2.16	7.5
GF -120	343	2.16	7.5
GF -130	343	2.16	6.5
<b>ベラデル PESU</b>			
A-201	380	2.16	20.0
A-301	380	2.16	30.0
AG-320	343	2.16	6.0
AG-330	343	2.16	4.5
<b>レーデル PPSU</b>			
R-5500	365	5.0	11.4
R-5000	365	5.0	17.0
R-5800	365	5.0	24.0

### スパイラルフロー

材料のフロー特性を明らかにするもう一つの方法は、厚み、温度、および成形圧力を変化させた時のスパイラルキャビティ内での流動長を測定することです。ユーデル P-1700、ベラデル A-301、およびレーデル R-5000 のスパイラルフローデータを図7～9に示します。

図 7：ユーデル P-1700 のスパイラルフロー

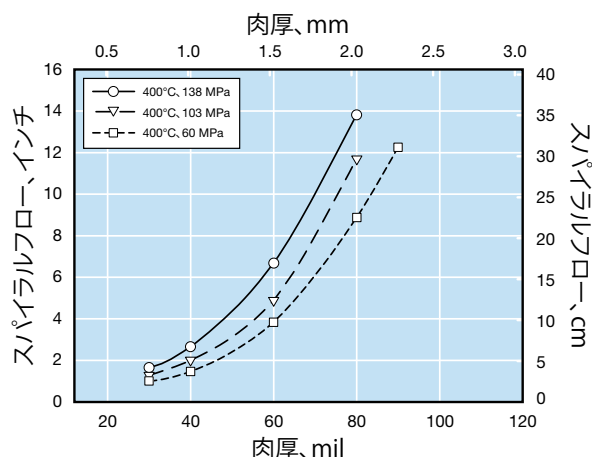


図 8：ベラデル A-301 のスパイラルフロー

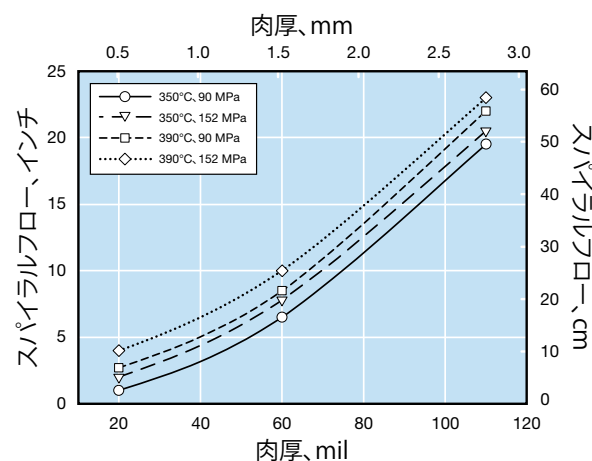
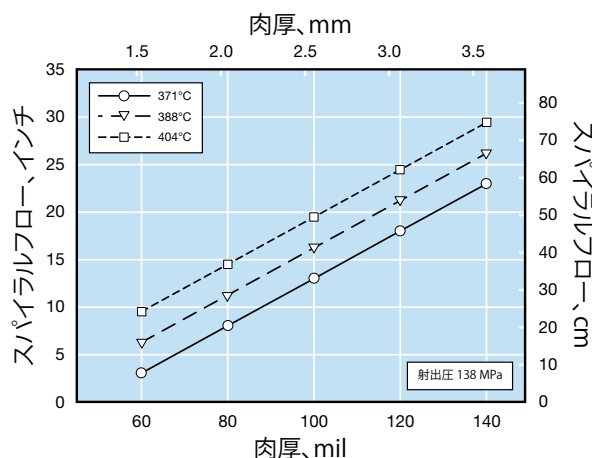


図 9：レーデル R-5000 のスパイラルフロー



# 射出成形

## 金型および金型設計

一般的に、金型の設計はできる限りシンプルにするべきです。キャビティ位置を決定する際には、ゲートの位置ばかりではなく部品の突き出しについても考慮する必要があります。金型の熱管理も極めて重要です。熱伝導媒体の循環方法についても、キャビティ温度を一様に保つことを考慮して設計しなければなりません。これらの問題に適切に対処できないと部品の突き出しがうまく行きません。

### 金型鋼材

どのようなエンジニアリング樹脂の場合でも、金型鋼材は製造する部品の品質と数量を考慮して選定してください。大量生産をする場合には高品質金型を初期に選定することを推奨いたします。

一般的な金型鋼材（H-13、S-7、P-20 など）が射出成形金型用として十分に使用できます。ガラス繊維やミネラルで強化した樹脂のように摩耗抵抗が必要となる場合は H-13 が最高の性能を発揮します。アルミニウムのような柔らかい金属は、たとえ試作用であっても使用するべきではありません。実際の製造前には金型鋼材を焼入硬化させなければなりません。最終的な寸法調整が容易になるように硬化処理の前にサンプルを成形してみるのが良い方法です。

### 金型寸法

表 2 に示す収縮率データ、または使用を考えている樹脂グレードのデータシートを参照して、基本的な金型寸法を決定してください。特に寸法公差が厳しい部品では、まずすべての金型寸法を「鋼材の安全率」の原則で切り出すのが良い方法です。すなわち、部品内部（コア）へ向かって彫り込みのある部分は大きめにサイズを決定し、部品外部へ向かって彫り込みのある部分は予定の寸法よりもやや小さめに寸法を決定します。最初に行う使用材料の検討が終了したら、それを使用した成形部品の寸法を実測して最終的な金型寸法の調節を行うことにより希望する部品寸法を実現します。以上の作業が終わってから硬化処理を行ってください。

### 金型の研磨

部品によっては表面の美観が特に要求されないこともあります。部品の突き出しが滑らかに行われるためには、金型の機械加工の痕跡をすべて除去する必要があります。すべての表面を突き出しの方向に沿って研磨してください。シボのある表面仕上げはできませんが、アンダーカットはできません。

表 2：サルホン系樹脂の収縮率

グレード	収縮率、%
ユーデル P-1700	0.6 ~ 0.7
ユーデル GF-120	0.4
ベラデル A-301、または 3300	0.6 ~ 0.7
ベラデル AG-320	0.4
レーデル R-5000	0.6 ~ 0.7
アキュデル 22000	0.6 ~ 0.7

### 金型のメッキと表面処理

金型鋼材のメッキ処理は通常必要ありません。しかし、表面に高光沢性と耐久性が必要なケースでは、高密度クロムメッキや窒化チタン処理などの表面処理が一般的に有効です。それ以外にも様々な種類の金型表面コーティング処理が一般的に利用可能です。すべての手法を網羅して調査した訳ではありませんが、弊社の現在の知見によれば高密度クロムメッキと窒化チタン処理以上に長期的な性能を維持できる方法は他にありません。

### 金型の摩耗

サルホンを基材とする樹脂は金型鋼材に対して化学的な腐食性はありませんが、特にガラス繊維やミネラルで強化したグレードの場合は摩耗や摩滅を起こすことがあります。摩耗が特に起こり易いのは金型の中で特に高いせん断応力のかかる領域（ゲートやコーナー）と、キャビティの内部で充填した樹脂が最初に接触する領域です。金型を設計するときは、摩耗の起こり易さを考慮してゲートやキャビティの配置を決定してください。摩耗が予期される部分にゲートインサートや簡単に交換できる入れ子を使用することで、修理のための時間を最短に抑えることができます。

### 金型温度のコントロール

熱可塑性プラスチックを射出成形するプロセスは、基本的に熔融樹脂を冷えたキャビティに充填してそれを固化させてから突き出すという操作から構成されていますから、金型温度を適正に管理することが非常に重要です。一般的には金型に作りこんだ流路に熱伝導媒体を循環させる方法で金型温度を管理します。サルホン系樹脂には 138°C 以上の金型温度が必要なため、熱伝導用にオイルを使用する必要があります。

電気式のカートリッジヒーターは推奨しません。この種のヒーターは金型を加熱することはできませんが、金型から熱を逃がすことができないからです。金型内に充填されるポリマーの温度はキャビティよりも相当に高温になっていますから、余剰な熱を取り除く必要があります。熱的に遮断された例えばコアピンなどではこれが特に重要であり、熱が蓄積すると部品の突き出しで問題が起こります。このような部分に熱伝導性の良いベリリウム銅ピンを挿入して熱伝導を促進するのもひとつの方法です。

金型の熱伝導流路をそれぞれのキャビティから等距離となるように配置して、各キャビティが同温・同量の流体に接触するように流れを設計する必要があります。流体がキャビティ周りを直列的というよりは並列的に流れるように流路パターンを設計してください。熱伝導の効率を良くするため、熱伝導流体を流す内部ラインは使用できる流速の範囲内で乱流が発生するようにサイズを決定します。

## 金型タイプ

サルホン系樹脂の成形に使用できる金型には何通りものタイプがあります。二枚構成や三枚構成金型、ホットランナーシステムもこれらのタイプに含まれます。これらの金型はすべてが手動または油圧スライドとその他必要とされる機能を備えています。

## 二枚構成金型

二枚構成金型（A-B 金型）はすべての金型のタイプの中で最も単純で最も一般的に用いられています。この金型は固定側の A 面と可動側の B 面で構成されます。熔融樹脂は A 面に開けられたスプルーを通り、パーティング面のランナーに沿って金型のキャビティ（通常は B 面に彫り込まれています）に充填されます。

一般的には成形部品を可動側（B 面）から突き出すように設計されるため、金型を開いたときに部品とスプルーおよびランナーは B 面に残ってなければなりません。このため、コールドスラグウェルとランナー、およびキャビティの大部分を B 面に作りこむのが一般的な設計です。

コールドスラグウェルは通常スプルーに対面して B 面に加工され、次の二つの機能があります。第一の機能は注入されたショットの先端部分（通常はノズル先端から出てくる樹脂の「コールドスラグ」を含みます）を受け止めて材料が金型のキャビティに入るのを防止します。第二の機能として、このコールドスラグウェルは微妙なアンダーカットを利用して金型が開いたときにスプルーを A 面から引き出します。突き出しピンを B 面のコールドスラグウェルに当てることによってスプルーを突き出します。

金型を開いたときに成形部品自体が可動側に残っているようにするため、部品のほとんどの部分は可動側で成形するのが普通です。このため、固定側での細工は最小限に止めます。A 面にかんりの形状を作り込む必要がある場合は、A 面から部品を容易に突き出せるようにするためにスプリング式の突き出しシステムなどを組み込むようにお奨めします。

## 三枚構成金型

三枚構成の金型は二枚構成システムを修正したシステムであり、固定側と可動側プレートの中に 1 枚のプレートが追加されます。この中間プレートがスプルーとランナーを部品から隔離します。ランナーは固定側プレートと中間プレートの間に形成され、成形部品は中間プレートと可動側プレートの間に形成されます。金型を開いた段階では部品は可動側プレートに残っており、ここから突き出されます。一方、ランナーとスプルーは成形部品から折り取られて中間プレートと固定側プレート間に残ります。中間プレートのスプリング式の突き出しシステムがランナーを突き出します。

ランナーも通常は金型の中間プレートに作り込まれます。ランナーの突き出しピン（サッカーピンとも呼ばれます）は表面からやや奥へ入った位置に作られ、ランナーを確実に中間プレートに留める働きをします。これらのサッカーピンは軽度のアンダーカットを含むことがあります。

このシステムは二枚構成システムと比較していくつかの利点を備えています。第一に、ゲートカットを二次的操作としてではなく、部品の突き出しプロセスの一環として実行できます。第二に、中間プレートにゲートドロップを配置することにより、ゲートの数と位置についての自由度がはるかに大きくなります。複数のゲートを使用することで大型部品の充填が容易になります。

## ホットランナー金型

ホットランナー金型では、スプルーとランナーを含むプレートが電気加熱されたマニホールドに置き換えられ、熔融樹脂をシリンダーからキャビティに流し込む流路がこのマニホールドに作り込まれています。マニホールド内の樹脂は常に熔融状態を保ちます。射出処理の間、熔融樹脂がマニホールドのドロップから直接 B 面のキャビティへ流れ込み、そこで冷却されて部品が突き出されます。材料使用効率の優れたホットランナー金型は非常に好んで使用されます。スプルーやランナーは成形されないため、樹脂の 100% が部品用として利用されます。

ホットランナー金型はしばしばターンキーシステムとして提供されますが、サルホン系樹脂を適正に成形するためには設計上の幾つかの点に留意する必要があります。ホットランナーのマニホールドチャンネルにはシャープコーナーや流れを阻害する要素がなく、樹脂が自由に流れる構造でなければなりません。樹脂が停滞して滞留時間が長くなると、樹脂が熱劣化して熔融樹脂や部品を汚染する原因になります。

ホットランナー金型では温度のコントロールが極めて重要です。マニホールド中での滞留時間が長すぎると材料の分解が起こりますから、長い滞留時間は避ける必要があります。マニホールド上のそれぞれのドロップごとに独立した温度コントローラーが必要になります。マニホールド内のそれぞれの熱源をコントロールする熱電対は、熱源と樹脂の間のできるだけ樹脂に近い位置に配置する必要があります。また、樹脂の流路に阻害物（内部機構やチャンネルを含む）があってはなりません。流れが阻害されると、材料中にせん断力が発生して樹脂の退色や劣化を引き起こす原因になります。



## キャビティの配置

複数のキャビティを持つ金型の場合、高品質部品を成形するためにはキャビティ配置のバランスをうまくとることが必須です。そのためにはすべてのキャビティが同じ容積を持ち、同時に充填されなければなりません。バランスがとれていない金型では幾つかのキャビティが過充填され、他のキャビティが充填不足になります。これに対してバランスのとれた金型ではすべてのキャビティが同じ速度と圧力で充填されるため、均一な部品が成形されます。通常これを実現するために、キャビティをスプルーから等距離に配置して同一サイズのランナーで接続します。それぞれのキャビティに至る流路の長さを同一にします。

形状の異なる二個以上の部品をひとつの金型で成形するためにファミリー金型が作られることもあります。しかし、バランスをとることが不可能である場合があるため、本来はこのタイプの金型を避けるべきです。経済的理由から異なるキャビティをひとつの金型ベースに作らざるを得ない場合は、キャビティごとランナーのバランスを取ることに加えて、キャビティへの樹脂の流れを遮断する機能を取り付けるべきです。こうしておけば、良品を同時に成形できない場合でも個々の部品を独立して成形することができます。

## ランナー

ランナーの目的は、スプルーとキャビティを接続する流路を提供することです。材料を無駄にしないため、一般にスプルーとランナーは粉碎して再使用します。一般的にはスプルーとランナーを粉碎した材料 25% を 75% のバージン樹脂と混合して使用することが可能です。したがって、スプルーとランナー部の重量が全ショット重量の 25% を超えないように金型を設計するのが材料使用効率の観点からは最も優れています。

ランナーの長さやランナーの表面積対容積比の両方を小さくすることによってランナー部の重量を減少できます。表面積対容積比が最小となるのは完全円形断面のランナーです。これが最も効率的なランナーですが、一方で製造が難しいという難点があります。10% の勾配を持つ台形断面ランナーを使用するとランナーの重量が約 25% 増加しますが、機械加工はかなり容易になります。ランナーのサイズは流路の長さや使用する樹脂グレードに依存します。どのような場合であっても、ランナーの厚みを部品の最大肉厚部よりも大きく設計して、部品が完全に高密度化する前にランナー部で固化が起こらないようにする必要があります。

複数のキャビティに充填するためにランナーを分岐させる必要がある場合は、二次ランナーの断面積が一次ランナーの断面積を超えないようにしてください。これにより、溶融物の先端速度が途中で低下しないことが確保されます。

ランナーが向きを変える位置全部とスプルーのベース部分にはコールドスラグウェルを設けてください。これらは前進する溶融物の先端を取り去る働きをして、冷えた材料がキャビティに入るのを防止します。

通常、ランナー内の材料は再使用されますから、焼けがつかないように十分にベントを設ける必要があります。またランナーに十分なベントを設けることでランナー内のガスを排出させ、ガスが部品キャビティ内に侵入しないようにします。

金型を開くときにランナーが正しくプレート側に残るようにするには、スプループラーとサッカーピンで若干のアンダーカットを与えるようにします。ランナーに十分な数の突き出しピンを設けることにより、金型から容易に突き出すことができます。

## ゲート

サルホン系樹脂の成形には、ホットランナーシステムを含むあらゆる標準タイプのゲートを使用することができます。ゲートを設計するにあたっては、高密度化を最適化できるゲート位置、ゲートカット方法、再生材の発生と使用、および外見上の観点からの要求などを考慮しなければなりません。

ゲートの寸法は、部品の大きさや厚み、使用するゲートのタイプ、樹脂のグレードなど、何種類かの要素によって決まります。十分な高密度化を可能にするため、一般的にはゲート処理を行う部位の肉厚の最小でも 50% の大きさのゲートを使用すべきです。ゲートが小さすぎると部品の充填不良や不規則な収縮、内部の気泡やひけなどが発生して満足な機械的性能が得られません。

サルホン系樹脂は粘度が高く、せん断速度による粘度の低下がありません。したがって、可能な限りゲート部分にはシャープなエッジを設けずに丸みを付けることが重要です。

## ダイレクトゲート

ダイレクトゲートはホットランナーシステムと併用されることが最も多く、また試作品成形の目的にも頻繁に使用されます。この方法では成形キャビティをスプルーからのラインに直結するか、またはホットランナードロップの下に配置します。この方法の利点はシステムが単純になること、およびランナー容積とフロー長を最小にできることです。一方、ダイレクトゲートの不利な点は、コールドスラグが部品表面に浮き出し易いこと、およびスプルーまたはホットランナーの痕跡を除去する必要があります。このため、一般的には後工程で機械加工が必要であったり、オペレーターが成形機のそばで手作業しなければならないなどの不利な点もあります。

## サイドゲート

ゲートのタイプとして圧倒的に一般的なのがサイドゲートです。このタイプのゲートは標準的なスプルー、ランナーと組み合わせて使用されます。ランナーはパーティング面に沿って樹脂を成形キャビティに導入します。ランナーにはコールドスラグウェルを配置して、コールドスラグが部品に入り込まないようにします。一般的に金型の可動側にアンダーカットを設けてスプルーブラーとして機能させます。矩形サイドゲートの場合は、幅を深さ方向の1.5～2倍とし、部品肉厚に比例して寸法を設定します。

サイドゲートの利点は製作、改造、保守が容易で操作上のトラブルが起こり難いことです。コールドスラグウェルがあるため、部品にコールドスラグが入り込むこともありません。このゲートの問題点はスクラップの発生ですが、その一部は粉碎して再使用が可能です。ゲートインサートを使用すれば過度の摩耗が発生したときに簡単に交換できますから、インサートの使用を強くお奨めします。

## ダイアフラムゲート

ダイアフラムゲートはほとんどの場合、ウェルドラインを持たない円形部品の成形専用で使用されます。他のゲートを使用するとそりを起こしやすい繊維強化グレードであっても、この方法を使用すると優れた平滑性が得られることがあります。ダイレクトゲートと同様に、ゲートカットのために後工程で機械加工が必要になります。

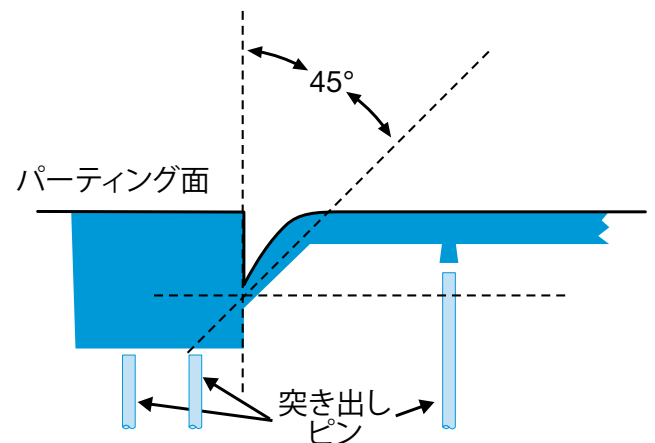
## トンネル（サブマリン）ゲート

ゲートカットが自動的に行われるトンネル（サブマリン）ゲートも好んで使用される方法です。トンネルゲートは、標準的なサイドゲートに似た通常のパーティング面ランナーシステムを使用します。しかし、金型キャビティのすぐ近くではランナーがパーティング面の下のトンネルにもぐり、金型のパーティング面の下側にゲートを設けます（図10参照）。突き出し後は成形された部品とランナー/ゲートが金型鋼材自体によって切り離されます。ランナーが金型に固着せずに正しく突き出せるようにするには、ドロップの角度が非常に重要です。非強化サルホン系樹脂では殆どの場合、金型のパーティング面に対して45°の角度でうまくいきますが、弾性率の高いガラス繊維強化グレードではより鋭い（30°近く）ドロップ角が必要となります。

トンネルゲートの最大の利点は、ゲートが自動的に除去されることです。不利な点としては、不規則なゲートの痕跡が残る可能性があることと、強いせん断力が働くことが挙げられます。トンネルゲートの場合にもゲートインサートの使用を強くお奨めします。

トンネルゲートは断面短径を少なくとも1 mm以上とし、部品の大きさにしたがって寸法を大きくしていきます。

図10：トンネルゲート



## ピンゲート

三枚構成金型の場合も部品に比例した大きさのゲートを使用しますが、小型部品であっても直径が1 mmを下回らないように、また大型部品であっても直径が3.2 mmを超えないようにします。三枚構成金型で非常に大きなゲートを使用すると樹脂の分解の問題が発生します。

## ゲート位置

ゲートは常に部品の一番厚い部位に設けて、樹脂が厚い部分から薄い部分に流れるようにしてください。外見上の考慮からゲート位置を決めなければならないこともあります。その場合であっても薄い部分から厚い部分への流れはお奨めできません。それ以外にもウェルドライン位置、平滑性への要求、あるいは部品充填に必要なゲート数などの要素がゲートの位置に影響を与えます。

## ベント

図 11 に示すように金型キャビティ内にベントを設けることにより、樹脂充填時にキャビティ内に残っているガス（空気）を外部に逃がすことができます。ベントの設定が不適切であるとキャビティ内でガスが圧縮されて非常に高温に達し、部品に焼けマークが発生したり金型表面にデポジットが残ったりします。これはディーゼル現象という名前でも知られています。不適切なベントはこの他にもウェルドラインの強度不足やキャビティの充填不足などの問題を引き起こします。

ベントの位置はキャビティの配置に依存しますが、流れのシミュレーションを行うことで正確に予測することができます。ショートショットを利用してベントの必要な領域を見つけ出すこともできます。一般的な方針としては、ゲートの対面側、ウェルドラインの発生が予測される位置、およびパーティング面上の複数の位置にベントを設けて、ベントの容積合計がキャビティ外周の約 25% となるようにします。パーティング面の下側にベントが必要な場合は、突き出しピン位置にベントを組み込むことでこれを実現することができます。コアピン上や深彫りキャビティのベントは、内部で形成された真空状態を解消して部品の突き出しを容易にするばかりでなく、部品のそりを防止する効果もあります。

実際の成形が金型へのデポジット除去のために頻繁に中断されるようであれば、ベントを追加したり深くしたりすることで問題が解消されることがあります。

## 部品の突き出し

### 抜き勾配

離型を容易にするため、通常は金型の動く方向に合わせて部品にテーパーが付くように設計します。このテーパーによって金型が動きだすとすぐに隙間ができて部品を簡単に解放して取り出すことが可能になります。このテーパーは一般に「ドラフト（抜き）」と呼ばれ、テーパーの強さを「抜き勾配」と呼びます。一般的に、サルホン系樹脂を使用する射出成形では抜き勾配を 1~2° 程度にしてください。

### 突き出しピンとストリッパプレート

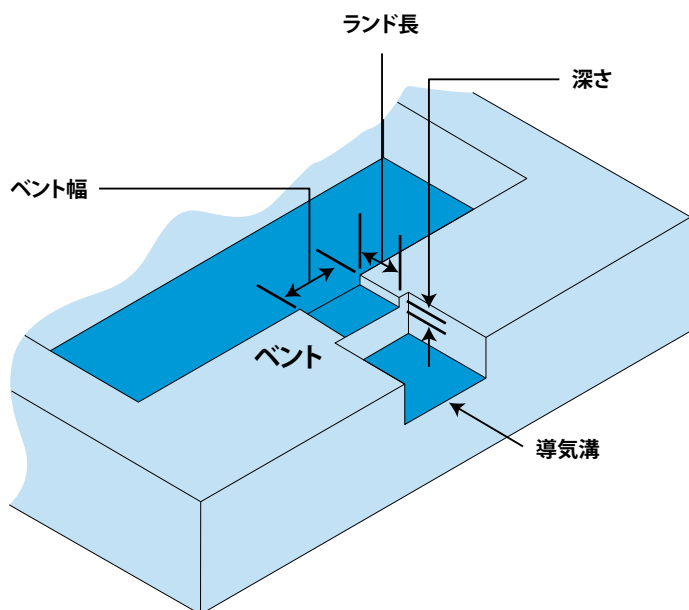
エジェクターまたはストリッパプレートの面積は出来る限り大きくしてください。突き出しピンはあまり細くしないでください。サイクルタイムを短くしたり金型温度を高くしたときに部品に喰い込んだり変形させる原因になります。

図 11：ベント

#### 標準ベントの寸法：

幅：最小 3.2 mm  
ランド長：0.8 mm (最小) ~ 1.6 mm  
導気溝の深さ：最小 1.3 mm  
導気溝は金型の端まで伸びていなければなりません。

深さはメルトフローによって異なります。  
メルトフローの高いグレードの場合  
深さ：0.02 mm ~ 0.05 mm  
メルトフローの低いグレードの場合  
深さ：0.08 mm ~ 0.10 mm



# 射出成形で使用する装置

## 機械設定

射出成形機は、射出部を速度とスクリー位置でコントロールできる機能を備えている必要があります。1980年以降に製造されたほとんどの機械はこの機能を備えています。旧式の機械であっても、リアトランスデューサーと電子式コントローラーを追加できる場合があります。射出制御装置が射出時間、クッション、および圧力切り替え位置での油圧等をモニターして設定値を超えたときにアラームを発生することが望ましいです。

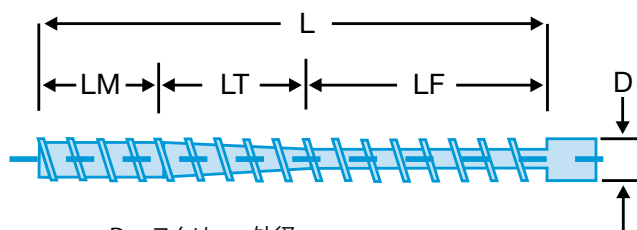
## 型締め装置

部品投影面積に少なくとも 55 MPa の型締め力を与えられる型締め装置を選択してください。

## シリンダー容量

シリンダー容量はショットサイズの 1.5 ~ 3.3 倍程度が必要です。このサイズの射出成形機は 1 回の射出でシリンダー容量の 30 ~ 60% を使用しますから、滞留時間を最短にすることができます。

図 12： 射出成形用スクリーウの設計



D = スクリュー外径	
L = スクリュー全長	18 ~ 22 D
LF = 供給部長さ	0.5 L
LT = 圧縮部長さ	0.3 L
LM = 計量部長さ	0.2 L
CR = 圧縮比	1.8 ~ 2.4 : 1

## 成形機のメンテナンス

射出成形機は適正なメンテナンスを必要とします。シリンダーとスクリー間のカリアランスを定期的にモニタリングして、成形機メーカーの仕様を満たしていることを確認してください。チェックリングについても摩耗が進まないように日常のチェックが必要です。

## スクリー設計

サルホン系樹脂では、標準的な一般用スクリーで十分な機能を発揮させることができます。サルホン系樹脂を加工するための代表的なスクリー設計例を図 12 に示します。

## スクリーチップとチェックバルブ

適正な加工を行うためにはスクリーチップとチェックバルブの設計が非常に重要です。チェックバルブ（逆流防止弁）は、射出と保圧工程でのスクリーのフライトを越えて溶融物が逆方向へ流れるのを防止します。チェックバルブを使用しなければ、一定量のクッションの保持は困難または不可能です。

チェックバルブ/チェックリングシステムはスムーズな流れを保ち、デッドスポットや背圧が発生しないように設計しなければなりません。この意味でボール式チェックバルブは推奨できません。スクリーチップも流線形にして、スクリーの前方に滞留している溶融物の量ができるだけ少なくなるようにします。

## ノズル

シャットオフ機構を備えたタイプよりもオープンノズルをお奨めします。ノズルは逆方向テーパーを付けないでください。一般用、または完全テーパー付きのノズルならば使用可能です。

金型への熱損失が大きい場合は、少なくとも一つのバンドヒーター（200 ~ 300 W クラス）をノズル用として使用する必要があります。ノズルの熱損失を緩和するためには、ノズルの断熱が有効です。セラミック製バンドヒーターの使用をお奨めします。セラミックバンドヒーターはより高温での使用に適しており、マイカバンドヒーターよりも高いワット密度で熱を供給することができるばかりでなく、一般により長寿命です。

## 成形加工

成形サイクルについて検討するには、成形加工を以下に示す 3 つの独立したステップとして考えることができます。

- 射出または充填
- 充填と保持または部品の高密度化
- 冷却とスクリーリカバリ

## 射出または充填

金型の充填工程はサイクルの中でも高い射出圧で行われる工程であり、充填後はより低い保圧に移行してステップが終了します。この工程は何通りものプロセス制御法によってコントロールが可能です。

この工程には、射出圧を維持する時間のコントロール、スクリー位置が設定点に達するまでの射出速度のコントロール、キャビティ圧の保圧への移行、または油圧ピーク値での保圧への移行が含まれます。



最も一般的には、射出速度をコントロールして、スクリュウ位置が設定点（移行点）へ達したタイミングで保圧へ切り換える方法が用いられます。この方法の利点はコントロールされた量の樹脂を指定速度でキャビティに充填できることにあります。一般的には中程度または遅めの射出速度をお奨めします。

この方法を使用するためには、射出圧から保圧に切換えるための適正なスクリュウ位置を決定しなければなりません。部品の約 95% までの充填が終わり、部品の残りの部分は保圧だけで充填できるというのが適正な位置です。また、この方法は金型内の残留ガスを燃焼せずに排出できるものでなければなりません。保圧へ移行するための適正なスクリュウ位置を決定する効果的な方法は次のとおりです。

1. 保圧をゼロに設定します。
2. スクリューの前進（射出）速度を 1 ~ 5 cm/秒に設定します。
3. 成形ショットを数回実施して部品を観察します。この目的は部品がほぼ完全に充填されるが完全には満たされていないというスクリュウ位置を見つけ出すことです。
4. 部品が完全に充填されているようであれば、切り替え位置を後方（ショット容積が小さい方）へ動かします。
5. 充填が不十分であれば、切り替え位置を前方（ショット容積が大きい方）へ動かします。

こうして決定される切り替え位置を使用すると、部品はほぼ充填が終わっているが完全には満たされていないという状態になります。適正な切り替え位置が決定されたら、充填圧または保圧を適用して樹脂を流し込み、部品の充填を完了させます。

保圧へ移行させる判断基準としてキャビティ圧を使用することができます。この方法の成否はキャビティ内の正しい位置に圧力トランスデューサーが取り付けられるかどうかにかかっています。すなわち、トランスデューサーはキャビティ内で最後に充填される個所に設置しなければなりません。

速度と位置コントロールが利用できない場合には、油圧とタイマーを調節して部品を 2 ~ 5 秒で充填してください。

## 充填および保持

金型キャビティへのポリマーの充填はプロセス中の充填/保持で完了します。継続して圧力を加えることによって部品の密度を最大限に高めます。このときのパラメータは保圧と保圧時間です。

射出圧は射出速度の関数です。切り替え位置において所定の射出速度または射出圧を達成するのに必要な圧力を観察しておき、この圧力の半分程度の値を保圧の初期値として設定します。最適な成形部品密度を達成するためには、キャビティからバリが発生しない範囲でできるだけ保圧を高くする必要があります。

保圧時間は、部品の肉厚やゲートの寸法、金型温度、樹脂の固化速度など何種類もの因子に依存します。実験的に保圧時間を決定するのが最良の方法です。すなわち、部品を秤量して保圧時間を長くしてもそれ以上重量が増えなくなる時間を決定します。成形部品が完全に高密度化されなかった場合は、そりや不均一な収縮、ひけ、ボイドなどの問題が生じることがあります。

## 冷却

冷却過程で部品の剛性と強度が増し、そりや変形を起こさず突き出しピンで押し出せるようになります。これと同時にスクリュウが回転して、次のサイクルで使用する材料を可塑性します。スクリュウの回転速度は 60 ~ 100 rpm の範囲とし、かつ一様なショットサイズを確保するのに必要最低限の背圧をかけます。

冷却時間が長いと、ポリマーのシリンダー内での滞留時間が長くなり過ぎて分解を起こすことがあります。計量遅延（充填/保持からスクリュウ後退までの間隔を長くする）が分解を最小限に抑えるために有効なことがあります。



# 機械設定

## シリンダー温度

サルホン樹脂の射出成形における射出開始時のシリンダー樹脂温度をまとめて表3に示します。最も重要な尺度となるのは実際の熔融樹脂温度です。希望する熔融樹脂温度が得られるようにシリンダー温度を調節してください。熔融樹脂温度をチェックするには携帯温度計を用い、空打ちした熔融樹脂にプローブを挿入して測定してください。このとき、プローブを熔融樹脂に挿入する前に約425℃まで予熱してください。プローブが加熱されていないと実際の温度よりも低い指示値を示すことがあります。温度チェックは最初のシリンダーパージ後に行い、さらに機械が定常動作サイクルに入って6～10回のショットが終了した段階で再度測定してください。

熱劣化を起こす恐れがあるため、一般的にはこれ以上の温度を使用しないでください。原則として、395℃以上の熔融樹脂温度は避けるようにしてください。

サルホン系樹脂のペレットは比較的温和な条件で熔融状態になります。シリンダー温度設定をホッパーからノズルへ上昇させると、比較的長い滞留時間を使用してもかまいません。滞留時間を短くして、かつ希望する熔融温度に到達させるために高い温度が必要なときは、全部のシリンダーヒーターを同じ温度に設定してください。バンドヒーターのコントロールシステムはモニタリングとアラーム機能が必要です。例えば、シリンダーセクションのどれかのヒーターが故障したような場合に、タイミング良くアラームが作動すればスクリーウの破損を防止することができます。

供給口の冷却ジャケットを利用してホッパー近傍の温度を80℃程度に保つことによって、供給口でのブリッジ生成を防止することができます。供給部の温度を高く設定し過ぎるとペレットが早く熔融してしまい、スクリーウのフライトの詰まりやブリッジ発生の原因になります。

## 金型温度

金型温度は、成形部品の収縮やそり、部品の寸法公差、成形部品の外観、成形による応力レベルなどを決定する重要な要素です。

サルホン系樹脂用の金型温度は通常120～160℃の範囲に設定しますが、望ましくは138℃以上の温度を使用してください。ただしガラス繊維強化グレードは、最適な表面性を得るためにより高い温度を必要とします。サルホン系樹脂の主要グレードに適した推奨金型温度を表3に示します。

金型とプラテンの中間に断熱プレートを置くことで、熱損失が少なくなり金型温度のコントロールも容易になります。高品質の成形部品を得るためには、適切に設計された冷却チャンネルと金型温度の正しい設定が必要です。

## シリンダー内滞留時間

プラスチックがシリンダー内に滞留する時間の長さは、射出成形の品質に大きな影響を与えます。滞留時間が短すぎるとペレットが十分に熔融せず、長すぎると熱劣化を起こす可能性が高くなり、その結果として変色や黒条、あるいは黒点が成形部品に混入したりします。多くの場合、より小型の射出ユニットを使用することで滞留時間の短縮を図ることができます。ショットサイズをシリンダー容量の30～70%に設定することで妥当な滞留時間が得られます。表3に示す熔融温度において、すべてのサルホン系樹脂は10～20分程度の滞留時間に耐えることができます。

## 射出速度

金型に充填するときの射出速度も成形部品の品質を決定する重要な要素です。溶融物の均一性が保たれるだけ十分に速く、かつせん断発熱による焼けが生じない程度に遅いという具合に、適度の射出速度を使用する必要があります。非強化グレードの標準的な充填時間は2～5秒程度です。速い射出速度では、特にガラス繊維強化グレードを使用する場合に、均一な固化と良好な表面性が得られます。

## 背圧

通常は背圧を加えて可塑化時間を一定に保ち、空気の巻き込みを防いで溶融物の均一性を保ちます。背圧は一般的には好ましい働きをしますが、あまりに高過ぎると大きな摩擦熱発生の原因になります。典型的な背圧の値は0.7～2.1 MPa程度です。

## スクリュウ回転速度

スクリュウ回転速度は、サイクル中で冷却に使用可能な時間をできる限り完全に利用できるように値に設定してください。別な表現をすれば、サイクルタイムが長いほどスクリュウ回転速度を遅くすることになります。例えば、直径50 mmのスクリュウであれば多くの場合60～100 rpmの速度で十分です。高い樹脂温度で運転する場合は特にスクリュウ回転速度の設定が重要であり、スクリュウチップの前方に滞留している溶融物が長時間留まらないようにする必要があります。スクリュウ回転速度を遅くすると、摩擦に起因する温度上昇もより小さくなります。

## 収縮

収縮は金型の寸法と、それを使用して成形した部品の室温における寸法の差と定義されます。収縮は基本的には熱可塑性樹脂の特性であり、金型内で成形品が冷却するとき体積が縮むことにより起こります。それ以外にも部品の形状、肉厚、ゲートの大きさと位置、および加工条件などが収縮の度合いに影響を与えます。これらの因子が相互に複雑に影響し合うため、収縮を正確に予測することは一般に困難ですが、表2に示す値は典型値として十分に役立ちます。サルホン系樹脂は完全に非晶性であるため、収縮は流れ方向とその直角方向の両方に一様に発生します。

表3：サルホン系樹脂の推奨初期設定条件

	ユーデル P-1700	ユーデル GF-120	ベラデル A-301、3300	ベラデル AG-320	レーデル R-5000	レーデル 22000
<b>温度、°C</b>						
供給部	350	355	355	360	365	365
中部	355	360	360	365	370	370
前部	360	365	365	370	375	375
ノズル	357	363	363	368	374	374
溶融目標値	360	365	365	370	375	375
金型	138～160	138～160	138～160	138～160	138～160	138～160

## 再生材

スプルーやランナー、不良部品などは粉碎してペレットと混ぜ合わせるにより再利用が可能です。粉碎した材料（「リグラインド」とも呼ばれます）は乾燥させる必要があります。ペレットと同様の方法で乾燥できますが、再生材の粒子形状のため時間を長くする必要があります。サルホン系樹脂は熱安定性が非常に優れていますから、劣化することなく何度でも再生使用が可能です。再生材を使用する方法として標準的なのは25%の再生材と75%のペレットを混ぜることです。

## 残留応力測定

サルホン系樹脂の成形部品を使用するには、残留応力あるいは成形による応力をできるだけ小さくすることが重要です。残留応力の大きさを推定する方法が開発されています。この作業には、部品を一連の化学混合液に曝す工程が必然的に含まれます。既知の応力を与えた試験片を使って、それぞれの混合液においてクレーズを発生させるに至る応力レベルを測定しました。表4と表5に、それぞれユーデル PSU とレーデル PPSU 樹脂にクレーズを発生させる条件（混合液の種類と応力レベル）をまとめて示します。ベラデル PESU についての情報をご希望の場合は、ソルベイにお問い合わせください。

表4：ユーデル ポリサルホンの残留応力試験

エタノール/酢酸エチル比	ユーデル P-1700 の臨界応力、MPa
75 / 25	19
50 / 50	15
43 / 57	12
37 / 63	9
25 / 75	6
0 / 100	3

表5：レーデル PPSU の残留応力試験

エタノール/MEK 比	レーデル R-5000 の臨界応力、MPa
50 / 50	23
45 / 55	16
40 / 60	15
25 / 75	14
10 / 90	9
0 / 100	8

たとえば、ユーデル ポリサルホン部品の残留応力を決定する方法として、まず部品を最初の混合液（容積比：エタノール75%、酢酸エチル25%）に1分間浸漬します。次に部品を試薬から取り出して乾燥させます。乾燥を促進させたい場合は、低圧圧縮空気を部品表面に吹付けてください。

乾燥後の部品を観察してクレーズ発生の有無をチェックします。クレーズの発生は、残留応力が19 MPaを超えていることを意味します。クレーズがなければ、残留応力は19 MPa未満です。次の混合液を使用して試験を継続します。

部品を2番目の混合液に浸漬し、1分後に取り出して乾燥させてからクレーズの有無を観察します。クレーズが発生していれば、残留応力は15～19 MPaということになります。クレーズが発生していなければ、残留応力は15 MPa以下です。次の混合液を使用して試験を継続します。

クレーズが発生するまで同様の手順をさらに繰り返すか、あるいは部品が最後の混合液への1分間浸漬試験に耐えたかと判断します。

この試験では室温状態の部品を使用しなければなりません。製造過程で試験を行うのであれば、部品が完全に冷えるのを待ってから試験を行ってください。

正確な応力値を得るために、試薬は新しいものを使用してください。時間の経過と共に試薬に水分の吸収や蒸発、汚染等が起こり、正しい応力値を示さなくなります。応力レベル既知の試験片を使用して試薬を校正することも可能ですが、定期的に密閉容器から新しい溶媒に交換する方が実用的です。ご質問のある場合は、ソルベイにお問い合わせください。



サルホン系樹脂は標準的な押出成形機を用いて簡単に押出成形することができます。

## 予備乾燥

押出成形品内での気泡発生を防止するため、成形処理前にサルホン系樹脂を水分含量が 100 ppm 以下となるように乾燥させる必要があります。具体的な方法については、2 ページにある「樹脂の乾燥」のセクションを参照してください。

## 押出し温度

押出し開始時の温度を表 6 に示します。

表 6：押出し温度

	ユーデル PSU	レーデルまたは アキュデル樹脂
熔融温度範囲	315 ~ 371°C	343 ~ 400°C
シリンダー温度設定		
供給側	302°C	330 ~ 370°C
ヘッド側	315 ~ 337°C	330 ~ 370°C

計量部の比較的浅いスクリューを使用する場合は、装置が備える圧力とパワーの制限内でより良い操作性を実現するために、これよりも高いシリンダー温度設定が必要となることがあります。

### スクリュー設計の指針

一般的には L/D比が 20 : 1 ~ 24 : 1 程度の値を持つスクリューをお奨めします。また、圧縮比が 2.0 : 1 ~ 2.5 : 1 程度の値が良い結果をもたらします。スクリューのピッチは直径と一致しなければならず、供給部から計量部へ滑らかに移行しなければなりません。この圧縮部と計量部を合わせた長さは、供給部よりも長くする必要があります。この圧縮部を最も長くすることによって、実際に押出される前に樹脂が適度に軟化するために十分な時間と熱を与えるようにします。出発点となる構成は供給部に 6 フライト、圧縮部に 12 フライト、そして計量部に 6 フライトという設定です。

溶融物の最適な圧縮がより望ましい場合には、真空ベントを可能にするために 2 ステージ型のスクリューを使用することができます。2 ステージ型スクリューの設計では、最初の計量部に続いて減圧部を設けることによって真空ベントを可能にします。減圧部の後には 1 ステージスクリューの設計原理に従って、さらにもう一つの圧縮部と計量部が続きます。

一般的に、ポリオレフィン用に設計されたスクリューは、サルホン系樹脂では良い結果が得られません。

## ダイ設計

ダイ用ヒーターは、430°C まで温度を上昇させ、それを保持できる能力を持つ必要があります。サルホン系樹脂の粘度は温度に対して敏感なため、均一な特性の押出成形品を作るためには厳密なダイ温度のコントロールが必要になります。温度コントロールと熱的均一性向上のため、アダプターとダイを断熱するようにお奨めします。

必ず流線形のダイを使用してください。流路を流線形にしてパージプレート（例えばブリーダープラグ）をシート押出しダイの終端部に組み込むことにより、材料がダイ近傍で停滞するのを防止することができます。

ダイは 240 bar までの圧力下で連続動作できるものでなければなりません。流路、ダイリップ、およびランドは十分に研磨し、押出成形品の外観を良くするためにはさらにクロムメッキしておくべきです。

### 押出成形品のタイプ

#### ワイヤー被覆

半チューブ状またはチューブ状クロスヘッドダイを使用して、サルホン系樹脂をワイヤーに押し出し被覆することができます。その際、ワイヤーの入口温度は樹脂の溶融物とほぼ同じ温度にしておきます。サルホン系樹脂を使用すれば、溶融物チューブの高いドロダウンを実現できます。ポリマーチューブのワイヤーへの密着性を良くするために、クロスヘッドの真空ベントをお奨めします。被覆されたワイヤーについては急冷を避け、むしろスプレーや浅い水槽を利用してゆっくりと冷やしてください。

#### フィルム

高い熔融張力を持つサルホン系樹脂は、薄いフィルム製造に適する優れたドロダウン特性を示します。細溝キャストフィルムは広い温度範囲にわたって高い弾性率と良好な衝撃強度、良好な電気特性を示します。フィルムは熱遮断性を持ち、特別な前処理をしなくても印刷が可能です。



64 mm 押出機を使用する場合の標準的なフィルム押出構成は次のとおりです。

- **ダイ**：コートハンガー式やストレートマニホールドチョーカー式の標準的なフィルムダイで十分に使用可能です。0.025 ~ 0.250 mm 程度のフィルムには、ダイリップの開きが 1 ~ 1.5 mm のものを使用してください。ダイは 240 bar での連続使用に耐えるものである必要があります。
- **ブレードプレート/スクリーンパック**：ブレードプレートは必須ではなく、場合によってはダイラインを発生させることもあります。しかし、スクリーンパックと組み合わせて使用することにより、均一で欠陥のない押出成形品が得られます。
- **キャストインゴロール**：サルホン系樹脂はロール温度が高いため (180°C が必要)、直径 25 cm 未満の小型ロールを使用するのが好ましい方法です。小型ロールでは温度コントロールが容易であり、ロールスタック全体を均一な温度に保つことができます。

### シート

標準的な円形またはティアドロップマニホールドシートダイ (チョーカー付き) が十分に使用可能です。標準的にはダイの開口部を希望する最終的な厚みよりも 10 ~ 20% 大きく設定します。シート押出しでは、カールの防止とひずみ発生低減のため、引き取りロールの温度を十分に高く保つことが重要です。ロール温度を 180 ~ 230°C に保つことができれば、ラップ法またはストレートスルーカレンダー加工で十分良好な結果が得られます。カレンダー加工ではロールの間に小さなバンク (溶融ビード) を維持する必要があります。

厚さが 2.5 mm 程度までのシートを所定の寸法に裁断するには動力シャーが用いられてきています。それよりも厚いシートは鋸で裁断するようにお奨めします。

### 配管およびチューブ

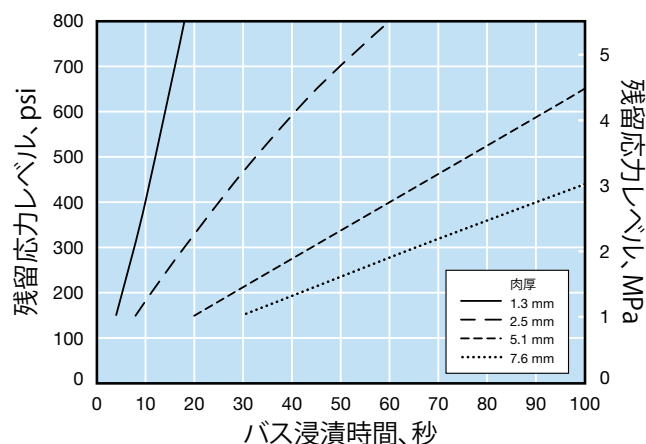
標準的なピンとスパイダーダイを使用して、サルホン系樹脂からパイプやチューブを押出成形することができます。高品質の押出成形品を作り出すためには樹脂温度のコントロールが極めて重要です。樹脂温度として 340 ~ 370°C 程度をお奨めします。

寸法は、サイジングプレートと真空タンクを使用する方法で十分にコントロール可能です。溶融物をうまくコントロールするには、押出しダイの大きさをサイジングダイよりも 70~100 % 大きくする必要があります。

高品位の押出成形を行うには、加工時の応力を最小にしなければなりません。これを実現するには、寸法条件を満たす範囲内で、真空サイジングバス内での冷却のレベルをできるだけ低く抑えます。そのためには、水槽の長さを短く (ポリエチレンに使用する標準的な長さの  $\frac{1}{4}$  から  $\frac{1}{5}$ ) してください。

様々な肉厚について、冷却バスへの浸漬時間と残留応力レベルの関係を図 13 に示します。

図 13：冷却時間 vs. 残留応力レベル：PSU 配管



# 運転の起動と停止およびパージ

## 起動手順

サルホン系樹脂を処理する前に比較的熱安定性の良くない樹脂の処理を行う場合は、サルホン系樹脂の処理にとりかかる前に装置を完全にパージすることが非常に重要です。必要ならば数回に分けてパージを行うことも可能です。その場合はまずシリンダーを中間温度（288℃）まで上昇させて高密度ポリエチレン（HDPE）などの材料でパージします。続いて、シリンダー温度をサルホン系樹脂の温度まで上昇させながら、スクリーをゆっくりと連続回転させ、温度が316℃に達するまでHDPEを若干量ずつ加えてゆきます。ゆっくりとサルホン系樹脂の添加を始め、全体が完全にサルホン系樹脂に置き換えられるまでゆっくりとパージを続けます。

## 停止手順

押出成形実行中に装置を停止する必要がある場合を守るべき事項がいくつかあります。押出機内部で、押出し温度のままの樹脂を長期間滞留させておくのは良い手順ではありません。樹脂の分解が起こり易く、機械の再起動と適正なパージの実行が困難になります。

短時間（2時間以下）の停止の場合は、押出機内をパージして空にし、少しずつ樹脂を供給して再スタートします。それよりも停止期間が長い場合は、押出機をユーデル®ポリサルホンでパージしてから空運転を行います。押出機のヒーター電源を切り、室温になるまで放冷します。翌日再起動する時には、まずダイ用ヒーターを入れて少なくとも1時間（できれば2時間）放置してから押出機のヒーターに電源を入れます。押出機温度が315～343℃に達したら、スクリーを一定間隔で回転させて押出温度に達するのを待ちます。最初は供給を制限した状態でスクリーを低速回転させ、樹脂がダイから出てくるのを待ちます。

## パージ

押出機からサルホン系樹脂をパージするには何通りかの方法があります。サルホン系樹脂は強靱で安定性に優れ、かつ高温に耐える樹脂ですから、サルホン系樹脂をパージする最も効果的な方法は、より低温でかつ除去の容易なプラスチックに置換することです。一般的に推奨できるパージ材料のひとつはポリエチレンですが、それ以外にも適切な市販パージ材料を使用してもかまいません。

最も効率的な操作手順は、高粘度の高密度ポリエチレンでパージしながら段階的に温度を下げていく方法です。サルホン系樹脂の押出しが完了したら、機械へ供給する材料をゆっくりと減少させながら温度を316℃程度のレベルまで下げていきます。シリンダーが空になったらポリエチレンを導入して押し出しを行い、押出成形品にサルホン系樹脂がまったく見られなくなるまで続けます。ここで、ダイとアダプターおよびブレードを取り外してクリーニングします。必要に応じて、さらに温度を288℃近辺まで下げながらポリエチレンパージをゆっくりと継続し、押出成形品にまったくサルホン系樹脂の痕跡が見られなくなるのを確認します。ここで押し出しを停止して、シリンダー中の材料が底に落ちつくまで数分間待ち、パージ用ポリエチレンが無くなってからスクリーを引き出して、必要であれば最後のクリーニングを行います。装置の停止、または次の材料を使用するために機械の温度を下げます。

パージが完了して押出機内部が空になるまで運転を継続したら、スクリーを取り外し、シリンダーとスクリーをブラシでクリーニングします。残留サルホン系樹脂がブラシでは取り除けないようであれば、樹脂を焼いて除去してください（作業には注意が必要です）。別法として、部品をN-メチルピロリドン（NMP）へ浸漬して残留樹脂を十分に柔らかくしておけば簡単に取り除くことができます。

## サーモフォーム

シート製品は、サーモフォーム処理の前に加熱空気または除湿オープンで乾燥させる必要があります。シートは吊るすか、または垂直方向のラックシステムに取り付けて、少なくとも 6 mm 程度の間隔をあけてください。シートは積み重ねないでください。乾燥用オープンの温度は重要であり、オープン内全体の温度モニタリングが必要です。ユーデルシートは 140°C、レーデルシートは 174°C で乾燥させてください（表 7 参照）。

表 7：サルホン系樹脂シートの乾燥時間

シート厚、mm	乾燥時間、時間
0.8	4
1.6	8
3.2	12
3.8	16
5.1	20
6.4	24

乾燥時間はシートを保管していた環境条件によって異なり、特に湿度の高い条件で保管されていた場合はそれに応じて時間を長くする必要があります。シートの乾燥度を維持することも同様に重要ですから、30 分以内にサーモフォーム処理可能な枚数だけを取り出すようにしてください。

サーモフォームする際には、ユーデルシート表面の実際の温度が 232 ~ 260°C になっていなければなりません。レーデルシートであれば 260 ~ 288°C の表面温度が必要です。ヒーターの加熱面は少なくとも 21 kW/m<sup>2</sup> のエネルギー密度を持つ必要があります。できれば 43 ~ 54 kW/m<sup>2</sup> のヒーターを使用してください。厚さ 0.5 mm のユーデル ポリサルホンシートの両面に 76 mm の距離を置いて、エネルギー密度 43 kW/m<sup>2</sup> のヒーターを作動させると、シート表面温度はほぼ 15 秒で 426°C まで上昇します。何らかの表面モニタリングシステム（例えば携帯型 IR 温度計など）を使用して表面温度をモニターするのは良い習慣です。さらに良い方法は、ヒーターバンクにセンサーを備えた機械を使用することです。表面温度を一定の範囲内に微調整コントロールできる加熱システムを使用すると最良の結果が得られます。

約 2.3 mm までの厚みのシートであれば片面加熱でも処理が可能です。やはり両面加熱することをお勧めします。加熱中のシートは縮むように見え、軟化にしたがってクランプ間で垂れ下がり始めます。その後、シートはほぼ均一に張られてたわみ始めます。この状態になれば成形を開始する準備が整いました。加熱されたサルホン系シート（特に重量のかかる大きなゲージの場合）は比較的短時間でたわみ始めます。したがって、金型への位置割り出しを迅速に行わねばならず、かつ下側のヒーターとの間に十分なクリアランスを確保する必要があります。

サーモフォーム処理を行う標準的な方法、たとえば真空成形、圧空成形、プラグアシスト、スナップバックなどはサルホン系のシートに適用できます。面積比が 9:1 という高い値を示す部品も商業用に広く成形されています。サーモフォームによる試作品は種類の異なる複数の金型（木製、金属充填エポキシ、アルミダイキャスト）を使用して作ることができます。高温条件で使用するため、硬質木材製の金型は 10 ~ 30 個の部品を製作すると金型の寿命が尽きます。エポキシダイキャスト金型を使用すると 100 ~ 300 個の部品を製造できます。アルミニウム金型を使用すれば、数千個の部品を製造することができます。

実際の製造用の金型は金属製でなければならず、加熱用に 150°C の熱伝導流体を流すコアを設ける必要があります。アルミニウムまたは鋼製の金型が十分に使用でき、金型表面の再現性も優れています。非強化グレードのサルホン系樹脂成形品は、一様に 0.7% 程度収縮します。理想的には金型を 149 ~ 166°C で使用することにより残留応力を最小にし、部品の耐環境応力割れ特性を最大にすることができます。サルホン系シートは非常に迅速に固まります。149 ~ 177°C で成形品の取り出しが可能です。

サルホン系樹脂用に使用するサーモフォーム金型の設計にあたっては、剛性に優れた非晶性材料に標準的に適用される以下の指針に従ってください。部品設計の許す範囲で可能な限りコーナーを丸め、絞りの浅い部品の場合は少なくとも 3°、深絞り部品であれば少なくとも 6° の抜き勾配を確保してください。アンダーカットは避けて真空穴（最大直径 0.4 mm）を開けてください。

シートは固化が速いため、真空システムを適切に設計することが重要です。急速に真空減圧することが重要ですから、真空配管に 90° エルボを使用しないでください。排気速度向上のため、エルボは 45° とするか、またはフレキシブル配管を使用してください。



<b>あ</b>		<b>し</b>	
アキュデル®変性ポリフェニルサルホン	1	シート	18
<b>う</b>		射出成形で使用する装置	11
運転の起動と停止およびパー	19	射出速度	14
<b>お</b>		射出または充填	11
押し温度	17	収縮	14
押し成形	17	充填および保持	12
押し成形品のタイプ	17	樹脂の乾燥	2
<b>か</b>		樹脂の流れ特性	5
型締め装置	11	シリンダー温度	13
金型および金型設計	6	シリンダー内の滞留時間	13
金型温度	13	シリンダー容量	11
金型温度のコントロール	6	<b>す</b>	
金型鋼材	6	スクリー回転速度	14
金型寸法	6	スクリー設計	11
金型タイプ	7	スクリー設計の推奨事項	17
金型の研磨	6	スクリーチップとチェックバルブ	11
金型の摩耗	6	スパイラルフロー	5
金型のメッキと表面処理	6	<b>せ</b>	
<b>き</b>		成形加工	11
機械設定	11, 13	成形機のメンテナンス	11
起動手順	19	<b>た</b>	
キャビティの配置	8	ダイアフラムゲート	9
<b>け</b>		ダイ設計	17
ゲート	8	ダイレクトゲート	8
ゲート位置	9	<b>つ</b>	
<b>さ</b>		突き出しピンとストリッパプレート	10
サーモフォーム	20	<b>て</b>	
再生材	15	停止手順	19
サイドゲート	9	適合した設計	6
サルホン系樹脂	1	<b>と</b>	
三枚構成金型	7	トンネル（サブマリン）ゲート	9
残留応力測定	15	<b>に</b>	
		二枚構成金型	7
		<b>ぬ</b>	
		抜き勾配	10
		<b>ね</b>	
		粘度 - せん断速度	4

<b>の</b>	
ノズル	11
<b>は</b>	
パージ	19
背圧	14
配管およびチューブ	18
<b>ひ</b>	
ピンゲート	9
<b>ふ</b>	
フィルム	17
部品の突き出し	10
<b>へ</b>	
ベラデル™ ポリエーテルサルホン	1
ベント	10
<b>ほ</b>	
ホットランナー金型	7
<b>め</b>	
メルトフローレイト	5
<b>ゆ</b>	
ユーデル® ポリサルホン	1
<b>よ</b>	
予備乾燥	17
<b>ら</b>	
ランナー	8
<b>れ</b>	
レーデル® ポリフェニルサルホン	1
冷却	12
レオロジー	4
<b>わ</b>	
ワイヤー	17





## 特殊ポリマー

### 本社

**SpecialtyPolymers.EMEA@solvay.com**

Viale Lombardia, 20  
20021 Bollate (MI), Italy

### 米州本部

**SpecialtyPolymers.Americas@solvay.com**

4500 McGinnis Ferry Road  
Alpharetta, GA 30005, USA

### アジア本部

**SpecialtyPolymers.Asia@solvay.com**

No.3966 Jindu Road  
Shanghai, China 201108

### 日本事務所

ソルベイスペシャルティポリマーズジャパン株式会社

Solvay Specialty Polymers Japan K.K.

〒105-6207 東京都港区愛宕二丁目5番1号

愛宕グリーンヒルズMORIタワー7階

Tel: +81-3-5425-4320 (大代表)

+81-3-5425-4300 / +81-3-5425-4330 (営業代表)

Fax: +81-3-5425-4321

[www.solvay.com](http://www.solvay.com)

SDS (製品安全データシート) をご希望のお客様は電子メールでご請求いただくか、または弊社の営業担当者へご連絡ください。弊社製品をご使用になられる場合は必ず事前に該当の SDS をお取り寄せの上、ご検討ください。

弊社または関係会社は本製品および関連情報につき、明示または黙示を問わず、いかなる権利を許諾するものでもなく、またそれらの市場適応性および使用適合性を含め、いかなる責任も負い兼ねます。ソルベイグループの製品が、食用、水処理、医療用、薬用および介護等の用途に用いられる場合、かかる使用が関係法令もしくは国内外の基準またはソルベイグループの推奨に基づいて制限または禁止される可能性があることにご留意ください。埋め込み型医療機器としてお使いいただけるのは、Solviva® の生体材料群として指定された製品だけです。本情報および製品の使用につきましては、あくまでもお客様ご自身の判断と責任において、かかる情報および製品が特定の用途に適しており、関係法令に適合していることをご確認頂き、使用方法や知的財産権の侵害のリスクなどをご検討のうえ、ご使用くださるようお願い申し上げます。本情報および製品は専門家の慎重な判断および責任において利用すべきものであり、他の製品や工程と組み合わせて利用することを想定しておりません。本文書は特許権その他の財産権に基づく実施権をお客様に付与するものではありません。本情報はあくまでも標準的な特性を説明したものであり、仕様を述べるものではありません。

すべての商標および登録商標は、ソルベイグループまたは他の該当する所有者に帰属します。  
© 2014, Solvay Specialty Polymers. All rights reserved. D 2006 | R 01/2014 | Version 4.5