

Rilsan® 射出成形技術



## 1. Rilsan Product Range

Rilsan B (ポリアミド 11)、Rilsan A (ポリアミド 12) は、高い流動性と広い成形温度範囲、早い結晶化速度のため、射出成形に適しています。

ポリアミド樹脂に様々な経験を持つ弊社は、以下の 2 つの基本的な要求に合った広範囲の銘柄を御提供いたします。

### — 射出成形品の生産性に関して

様々な流動特性を持った銘柄、容易に離型できる離型剤入り銘柄等の中から、お選びいただけます。

### — 成形品の最終用途における特性に関して

様々な柔軟性や硬さを持った銘柄、また、耐衝撃性、難燃性、高耐熱性、耐候性を持った銘柄の中からお選びいただけます。

Rilsan は、乾燥して、アルミ袋に包装した状態で供給されます。ペレット形状は、円柱状、もしくは、レンズ状です。

御要求特性に、最も適した銘柄をお選びいただく為に、Rilsan 射出成形銘柄 物性表を御参照下さい。

## 2. Rilsan の成形中での挙動について

Rilsan をうまく射出成形するためには、ポリアミド、特に Rilsan 特有の性質をいつも考慮しなければなりません。もっとも重要な特性を以下に説明します。

### 2.1 吸湿

全てのポリアミドの中で、Rilsan は、最も低い吸水率を示します。

Rilsan は、アミノウンデカン酸、アミノドデカン酸、または、ラウロラクタムの縮重合によって得られるポリアミドです。

従いまして、水とポリアミドの間に以下の平衡式が成り立ちます。



水が過剰に存在した時には、加水分解反応が起こり分子の長さが短くなります。これにより、外観上、つやが消えたり、気泡のような欠陥が無くても、樹脂の機械強度が落ちる事もあります。

また、過度の水分は、熔融状態での粘度を下げ、計量の均一性を乱し、充填量を不安定にします。



図 5

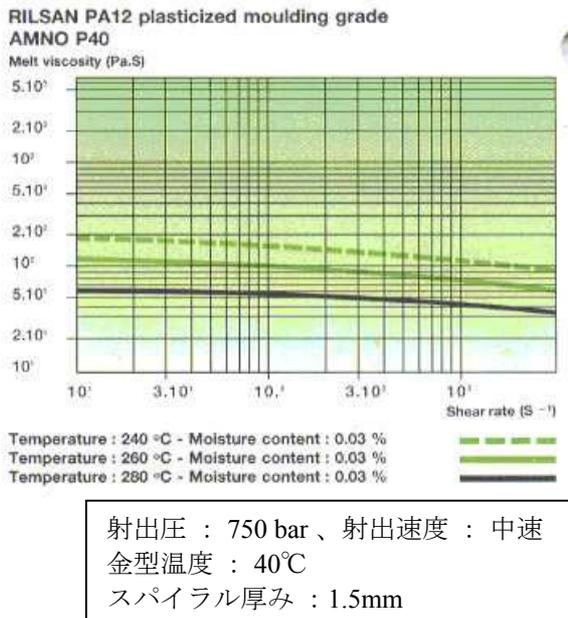
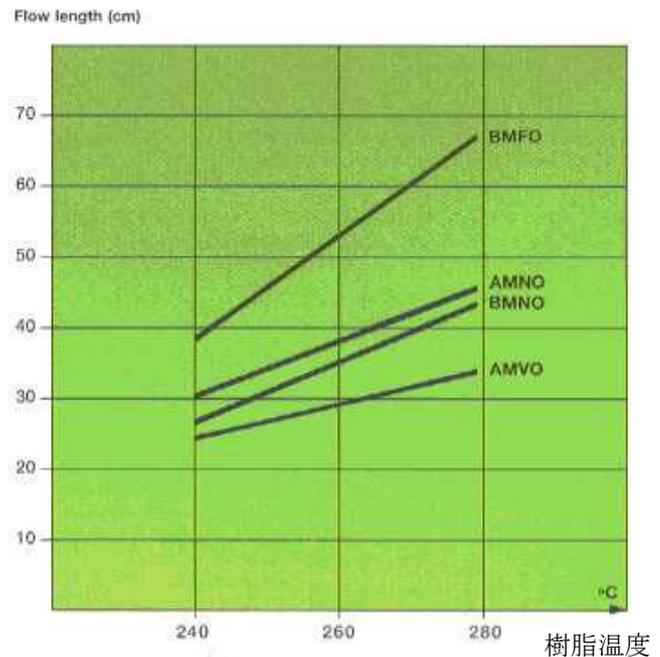


図 6. 流動長への樹脂温の影響

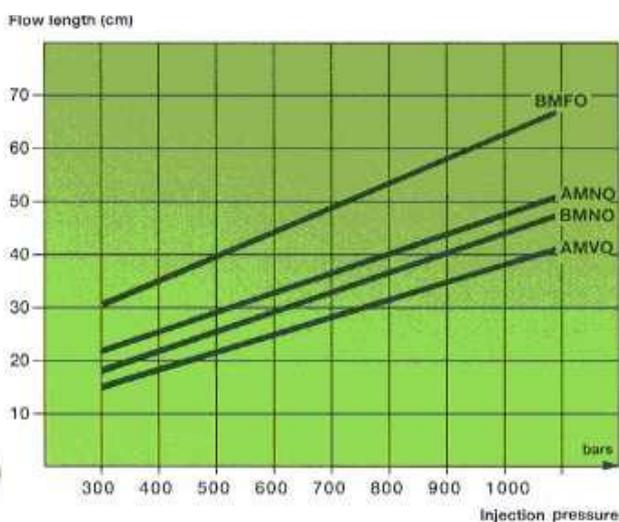


### 2.3.2 流動長測定

熱可塑性樹脂の流動性測定法は沢山ありますが、最も実用的な情報は、直角断面のアルキメデス螺旋をした金型に Rilsan を射出した時の実際の流動長を測定する事により得られます。この試験は、Rilsan のレオロジー的性質と熱的性質を融合させたものです。

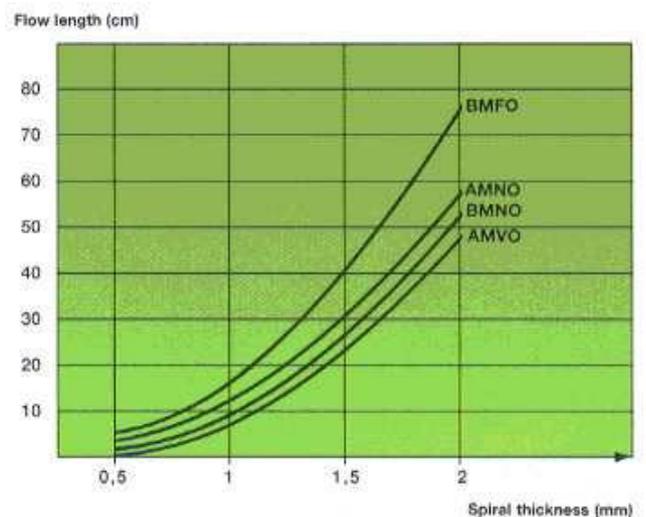
スプールは、20 mm の幅で、厚みが 0.5 から 2 mm まで変化する直角断面につながっています。様々なパラメーターの影響を、図 6 から 8 に見られます。

図 7. 流動長に対する射出圧の影響



射出速度 : 中速  
樹脂温 : 260°C  
金型温度 : 40°C  
スパイラル厚み : 1.5mm

図 8. 流動長に対するスパイラル厚みの影響



射出圧 : 750 bar、射出速度 : 中速  
射出温度 : 200°C  
金型温度 : 40°C

流動長を増加させるパラメーターを影響の大きい順に並べると次のようになります。

1. 厚み
2. 射出圧
3. 温度

多くの場合、ゲートサイズが大きくなると（増加が僅かであっても）、圧力と温度の設定できる幅が広くなり、射出成形するには好ましくなります。

### 3. Rilsan 御使用前に

Rilsan は、直に御使用になれるように、乾燥後、アルミ袋に包装して、提供いたします。縮合重合物に共通なことですが、ポリアミドは、水分に敏感です。従って、リルサンペレットは、常に完全に乾燥状態になければなりません。成形過程において、大気中の水分を吸ったり、湿気にさらされない様、注意が必要です。

1. リルサンの樹脂袋は前もって乾燥されています。成形現場の温度雰囲気下で 24 時間以上経過してから、開封してください。（開封した時、空気中の湿気がペレット表面に結露する危険を防ぐためです。）
2. 一度開封された袋の中身は、2 時間以内に使い切ってください。

上記の条件が満たされない時は、リルサンペレットは、80°Cから 90°Cの間で、6 時間、乾燥してください。高温だからといって、効率的な乾燥とは限りません。かえって、酸化をまねくこととなります。

#### 3.1 乾燥機について

乾燥機は、2 つの条件を満たす機種を御用意ください。

1. 乾燥効率は、主としてペレット表面への水分の拡散速度に依存するので、リルサンペレット周辺への効率的な空気循環をすること。
2. 乾燥機の容量が成形機の容量に合ったものであること。

##### 3.1.1. 乾燥条件について

###### 1. 強制空気循環乾燥機

この種の乾燥機(容量は、一般に 80kg)の乾燥時間は、80°Cから 90°Cで、約 6 時間です。これより高い温度では、空気中の酸素により黄変が進行します。強制空気循環型乾燥機は、空気が新鮮である時にのみ機能します。それ故、正しく作動することを保証するには、空気入口フィルターと熱風の出口バルブが清潔で自由に回転できることを定期的に点検することが重要です。

## 2. 除湿熱風乾燥機

この技術では、加熱され、かつ除湿された空気により乾燥するために、水分の吸収能力が増し、乾燥時間が6時間から5時間に短縮します。  
大量の未乾燥ペレットを乾燥する際、除湿熱風乾燥機は特に役立ちます。  
除湿空気の代わりに除湿窒素ガスを用いる場合には、更に温度を上げることができます。

## 3. 真空乾燥機

温度は100℃まで上げられ、乾燥時間も4時間に短縮できます。

### 3.2 乾燥したリルサンの保存

#### 1. 加熱ホッパー

加熱ホッパーは、リルサンを乾燥する際には適当な手段ではありません。  
しかし、大気中からの湿気混入を防ぎ、ペレットの水分レベルを低く保つのに使われます。  
使用する際は、加熱ホッパーは、70℃付近で使うことが勧められます。

#### 2. 密閉貯蔵容器

加熱ホッパーを使わない時は、リルサンは乾燥直後に密閉した容器に保存しなければなりません。ペレットと共に閉じ込められる空気量を最小にするため、限界にまでペレットを満たすことが必要です。  
容器の大きさは、1時間あたりの使用量以下であることが必要です。  
言うまでもないことですが、供給ホッパーはきちんとフタをして、外部から不純物が混入するのを防がねばなりません。

#### 3. 除湿式乾燥機付きホッパー

このタイプの乾燥機は、樹脂の防湿効果だけでなく、乾燥効果もあります。  
1時間の使用量が10kg未満の場合等は、除湿式乾燥機付きの使用をお勧めします。

## 4. Rilsan の一般的な射出成形条件について

### 4.1. 金型温度

Rilsan を射出成形する際は、充分温度制御された金型で成形する事を推奨します。金型温度の制御は、製品の外観、金型への充填、離型性、成形収縮率に対して効果的に働きます。また、各々の金型（移動側、固定側）について、温度を制御する事が必要です。

非強化銘柄の場合、特別な場合を除いて、金型温度は、30～40℃に設定して下さい。しかし、製品が薄肉であったり、表面積が大きかったり、複雑であったりする場合は、金型への充填を容易にする為に、温度を上げる必要が生じる場合があります。

ガラス繊維強化銘柄の場合で、表面の光沢や、均一な表面を得る必要がある場合は、金型を 90-100℃まで上げる必要が生じるでしょう。

### 4.2 射出温度

一般化した成形温度を提示する事は、簡単ではありません。これは、使用する装置、シリンダーの熱電対の位置、さらに、射出速度や圧力など多くのパラメーターに依存するからです。

全ての Rilsan の銘柄で、樹脂の均一性を得る為に、ホッパーからノズルに掛けて、樹脂温を上げていくと良いでしょう。ノズルは、温度制御する必要があります。

次の表は、Rilsan の様々な銘柄での射出成形時の最低の設定温度を示しています。

Rilsan の優れた耐熱安定性により、300℃近い温度でも使用可能です。ただし、そのような高温では、シリンダーでの滞留時間を最小限に押さえる必要があり、金型の体積と可塑化能力の比が 70%を超えないような容量で成形する必要があります。

	供給部	圧縮部	計量部	ノズル
BMF	200 °C	215 °C	230 °C	225 °C
AMN、BMN	210 °C	225 °C	240 °C	230 °C
AMV、BMV	230 °C	250 °C	260 °C	230 °C
AMN P40、BMN P40	210 °C	220 °C	230 °C	230 °C
AZM 30、BZM 30	240 °C	260 °C	270 °C	270 °C

### 4.3. 背圧トスクリュー回転数

Rilsan は、容易に可塑化できますので、背圧をかける必要がありません。しかし、マスターバッチによる着色を行う場合は、十分に分散するように、背圧をかける事をお勧めします。

スクリュー回転数は、高くすると良く、しばしば最大回転数が使用されます。

### 4.4. 射出速度と射出圧力

射出圧力は、一般的に、非強化銘柄で、400 - 700 bar、強化銘柄で、700 - 1000bar に設定されます。

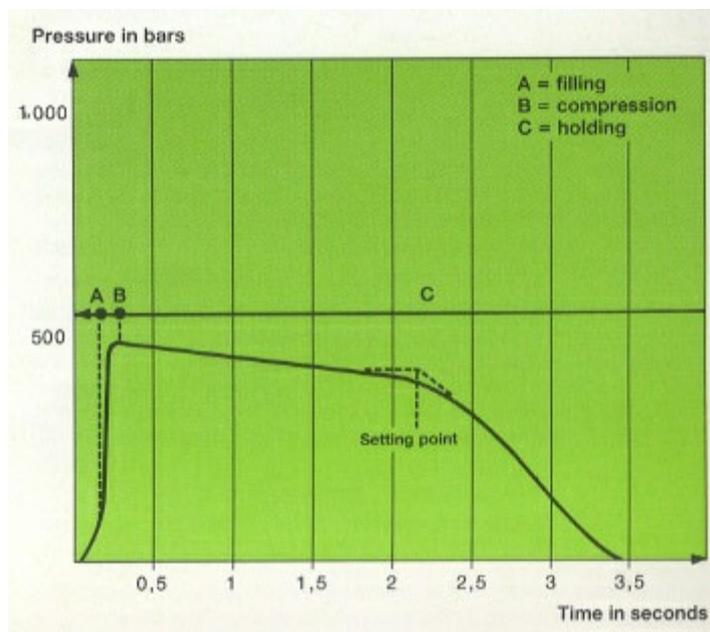
射出圧力及び速度は、樹脂温、金型温度などの他のファクターを考慮して、決定しなければなりません。

原則として、射出圧を低く樹脂温を高く設定する事が推奨されます。それは、成形品の機械物性、特に、高い衝撃強度を得る為に有効だからです。

図 10 は、BMN O を射出した時の圧力がどのように変化するかを示したもので、流動長測定でよく使用されるスパイラル金型を使用して、圧力をモニターしました。詳しい条件を以下に示します。

スパイラルの厚み : 2mm      圧力センサーの位置 : ゲートから 7cm の所  
 樹脂温 : 240°C      射出圧 : 1,000bar      射出速度 : 1.5 cm/s  
 保圧 : 530 bar      平衡点 (保圧切り替え位置) : 流動長の 66%

図 10. 射出中の金型内での圧力変化



上図に示した連続する3つの段階（充填、圧縮、保圧）で起こっている相互作用は、次の通りです。

	関連するパラメーター	樹脂への影響	成形品への影響
A : 充填	射出速度、樹脂温、金型温度	粘度（流動性）、劣化、結晶化度、成形品の表面の配向	表面性
B : 圧縮	平衡点、圧力の制御と均一性	結晶化度、非等方性	重量、バリ、計量不足
C : 保圧	圧力と位置、型締め力、成形品の変形	結晶化度、成形品の分子配向	重量、寸法、ひけ、バブル、緩和、離型性

## 5. 成形不良の時に

成形不良は、しばしば、幾つかの理由により起こります。  
 次の表は、最も一般的なものについて、考えられる原因と解決法もしくは、点検すべき点を示しています。

成形不良例	場合	解決法 / 確認事項
バリ	金型合わせ面が一致していない	- 金型の調整、修理 - 合せ面に異物がついていませんか - 金型が変形していませんか
	金型がしっかりと閉じない	- 型締め力不足 - 射出圧力を下げる - 充填圧力を下げるためにゲートを広げる
	熔融粘度が低すぎる	- バレル設定温度を下げる
充填不足	圧力が不十分	- より大きな成形機にかえる
	ノズル径が小さすぎる	- ノズルの適切なサイズに交換
	ランナー、ゲートが小さい	- ランナーとゲートを大きくする
	金型内でのエアの巻き込み	- ベント位置、サイズを替える
	好ましくない設定条件	- 計量を増やす - 樹脂温を上げる - 射出時間を増やす - 射出圧を増やす - 射出速度を増やす - 金型温度を上げる
抜け不良	冷却不足	- 冷却時間を増やす - 金型温度を下げる - 樹脂温を下げる
	キャビティー内での圧力過多	- 射出圧を下げる - 射出時間を短くする
	抜き角が小さい	- 抜き角を大きくする
	ベント詰まり	- ベントデザインの見直し

成形不良例	場合	解決法 / 確認事項
そり	不均一な収縮 a) 流動状態によって起こる 残留応力歪み	- 射出圧、保圧を下げる - 保圧時間の最適化 - 射出速度を上げる - 樹脂温を上げる - 金型温度の増加 - ゲート位置の変更
	b) 不均一な冷却による残留 応力歪み	- 均一な冷却を可能にする冷却システムに変更する
	c) 厚み斑	- 製品デザインの見直し
	d) 冷却不足	- 冷却時間を延ばす - 金型温度を下げる - 樹脂温を下げる
	抜け不良	- 突き出し装置のチェックと改良
ひけ	好ましくない設定条件	- 保圧不足 - 保圧時間が短い - 計量不足 - 冷却時間を増やす
	好ましくない金型設計	- ゲートが小さい。 - ゲートを成形品の最厚部に変える
	成形品が厚すぎる	- 金型設計見直し
気泡	樹脂の吸湿	- 再乾燥
	金型でのエアかみ込み	- ベントの位置、サイズの見直し
	好ましくない金型設計	- ランナーとゲートの見直し
	製品が厚すぎる	- 製品の設計見直し
	好ましくない設定条件	- クッションを増やす - 射出圧と保圧時間の増加
シルバー	樹脂の吸湿	- 再乾燥
	好ましくない設定条件	- 樹脂温を下げる - 射出速度を下げる

成形不良例	場合	解決法 / 確認事項
表面不良	好ましくない設定条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 射出圧を上げる</li> <li>- 射出速度を上げる</li> <li>- 保圧と保圧時間を上げる</li> </ul>
	金型の表面不良	<ul style="list-style-type: none"> <li>- グリース、オイル、潤滑油の使用し過ぎ</li> <li>- 金型表面に欠陥がないか調べる</li> <li>- 金型温度を上げる</li> </ul>
ウェルド強度不足	流動不良	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 樹脂温を上げる</li> <li>- 金型温度を上げる</li> <li>- 射出速度を上げる</li> <li>- ベントの改良</li> <li>- ゲートの位置、サイズの見直し</li> </ul>

## 6. Rilsan の成形収縮率について

### 6.1. 概論

成形収縮率は、金型の寸法と製品の 24 時間後の寸法の違いが、金型の寸法の何%になるかで表します。ポリアミドのような、結晶性樹脂の収縮率は、非晶性樹脂に比べ、予想するのが難しく、収縮率が、異方性を持ちます。

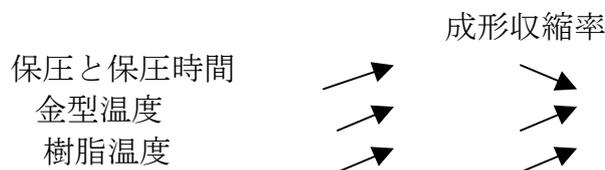
次のパラメーターが、収縮率に影響します。

1. 樹脂の性質（可塑化、強化銘柄など）
2. 金型のデザイン、ゲートの位置
3. 射出圧、保圧
4. 保圧保持時間
5. 冷却時間と金型温度
6. 樹脂温

これら全てのパラメーターは、相互に依存します。しかし、ここでは、単純な金型で、各々のパラメーターに対して、成形収縮率がどう変化するかを見ていくことにします。これにより、実際の製品に対しての、最適条件を探すのに参考となるでしょう。

その前に、次の一般的な規則をおさえておいてください。

#### 成形条件と成形収縮率の関係



保圧は、ゲートとランナーの位置とサイズが、適切に設計された場合のみ、効果的に、製品にかかります。

### 6.2. 成形収縮率の評価

100 x 100 x 2 mm を一方から 2 個どりで、射出成形した試験片について、2 方向の収縮率を測定します。

R : 流れ方向の収縮率      R' : (流れに対して) 垂直方向の収縮率

### 6.3. 樹脂の異方性の影響

Rilsan の収縮率は、通常、他のポリアミド (PA 6、PA66) や、エンジニアリング・プラスチックに比べ、小さい値をとります。

可塑化銘柄は、無可塑銘柄より、大きい収縮率を持ちます。

強化材（ガラス繊維）を含まない銘柄の場合、流れ方向の成形収縮率は、垂直方向に比べ、少しだけ、大きい値をとります。強化材入り銘柄は、異方性が大きくなりますが、非強化銘柄に比べ、収縮率は、小さくなります。

表 1 に、無可塑銘柄の AMN O（PA12）と BMN O（PA11）、可塑化銘柄の AMN O P40 と ガラス強化銘柄 BZM 30 の成形収縮率を示します。

表 1. 成形収縮率

銘柄	金型温度	24 時間後		熱処理後 140°C 1 時間	
		流れ方向	垂直方向	流れ方向	垂直方向
BMN O	15°C	0.77	0.72	1.40	1.42
AMN O	15°C	1.0	0.91	1.62	1.51
AMN O P40	15°C	1.4	1.1	2.18	2.00
BZM 30	50°C	0.2	0.76	0.42	1.18

厚み 2mm、樹脂温 260°C

#### 6.4. 試験片の厚みの影響と金型冷却の効果について

上記の 4 銘柄について、製品厚みの効果と金型温度の効果の調べるために、厚み 2,4,6 mm (100x100mm) の金型を用いて、非強化銘柄については、金型温度 30°C と 60°C、強化銘柄については、60°C と 90°C で、成形収縮率を測定した結果を表 2 に示します。

表 2. 成形収縮率 – 製品厚みと金型温度の効果

##### BMN O (PA11)

厚み	金型温度	24 時間後		熱処理後 140°C 1 時間	
		流れ方向	垂直方向	流れ方向	垂直方向
2 mm	30°C	0.9	0.7	1.6	1.5
	60°C	1.3	1.3	1.65	1.65
4 mm	30°C	1.7	1.55	1.7	1.6
	60°C	1.8	1.6	1.9	1.8
6 mm	30°C	2.0	2.2	2.0	2.25
	60°C	2.2	2.5	2.4	2.5

##### AMN O (PA12)

厚み	金型温度	24 時間後		熱処理後 140°C 1 時間	
		流れ方向	垂直方向	流れ方向	垂直方向
2 mm	30°C	1.0	0.85	1.45	1.45
	60°C	1.4	1.5	1.65	1.85
4 mm	30°C	1.9	1.85	1.95	1.90
	60°C	1.95	1.8	2.0	1.90
6 mm	30°C	2.05	1.95	2.1	2.0
	60°C	2.2	2.15	2.25	2.20

### AMN O P40 (PA12 可塑化銘柄)

厚み	金型温度	24 時間後		熱処理後 140°C 1 時間	
		流れ方向	垂直方向	流れ方向	垂直方向
2 mm	30°C	1.3	1.1	2.1	2.0
	60°C	1.6	1.65	2.3	2.3
4 mm	30°C	1.9	2.1	2.3	2.4
	60°C	2.5	2.5	2.7	2.6
6 mm	30°C	2.4	2.5	2.55	2.6
	60°C	2.55	2.65	2.6	2.7

### BZM O 30 (PA11 強化ガラス 30%入り)

厚み	金型温度	24 時間後		熱処理後 140°C 1 時間	
		流れ方向	垂直方向	流れ方向	垂直方向
2 mm	60°C	0.15	0.7	0.4	1.2
	90°C	0.3	1.15	0.5	1.4
4 mm	60°C	0.45	0.9	0.65	1.15
	90°C	0.5	1.1	0.75	1.3
6 mm	60°C	0.5	1.15	0.75	1.4
	90°C	0.55	1.25	0.75	1.5

成形条件：樹脂温 260°C、試験片サイズ 100x100mm、ゲートは、試験片厚みの 25%

## 6.5. 保圧の影響と射出速度の影響

これらの二つのパラメーターを分けて考える事は、出来ません。それは、射出速度が速い場合、保圧を低くする必要があるからです。（射出速度が遅い場合は、保圧を高くする必要があります。）

もし、ゲートが狭く急速に樹脂が固化した場合は、高い保圧をかけても、収縮率に影響しない場合がある事に御注意下さい。

表 3 に、AMN O (PA12) の結果を示します。

表 3. AMN O の成形収縮率 - 保圧と射出速度の依存性

保圧 bar	650	520	490	470	420
射出圧 * cm/s	0.6	1	2	5	15
流れ方向 %	0.8	1.0	1.2	1.2	1.25
垂直方向 %	0.7	0.9	0.9	0.95	0.95

樹脂温 260°C、金型 30°C、試験片 厚み 2mm

\* 射出圧は、上記保圧をかけた場合に必要な値

## 6.6. 樹脂温の影響

成形収縮率の温度依存性は小さく、試験片が厚い時に、若干変化が見られます。以下に Rilsan AMN O、厚み 6 mm、金型温度 30°C の場合の例を挙げます。

	240°C	280°C
流れ方向	1.85 %	2.15 %
垂直方向	2.0 %	2.3 %

## 6.7. 内部応力（残留応力）の緩和

ある種の用途、例えば、使用温度が高い精密部品につきましては、内部応力を取り除くために、成形後、熱処理をすることが望まれます。熱処理後に、製品の収縮率は、ある一定の値（外気温度で、長時間使用した時に得られる値）に落ち着きます。

前述の表 1 は、Rilsan の熱処理後の成形収縮率の典型的な値を示しています。この後収縮は、140°C のオイルバスに 1 時間侵漬した後、残留応力が生じない様に除冷した後、測定したものです。

## 7. 機械物性への影響について

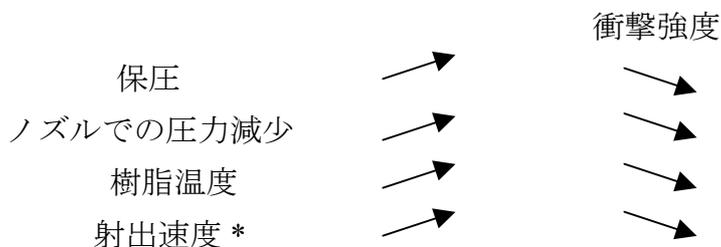
### 7.1. 概要

射出成形条件は、機械物性に著しく影響を与えます。

この一例として、Rilsan BMN O について、様々な成形条件を振った時の、（落錘）衝撃強度の変化を調べました。この落錘衝撃試験は、ASTM D 2444-67 に従って行い、衝撃強度は、以下の条件下で、全サンプルの 50% が破壊された時の強度（E50）で定義します。

試験サンプル : 100 x 100 x 2 mm  
 試験温度 : -40 ± 2°C  
 落錘重量 : 12 kg

このテストから、射出成形条件の衝撃強度への影響は、以下のような傾向が見られました。



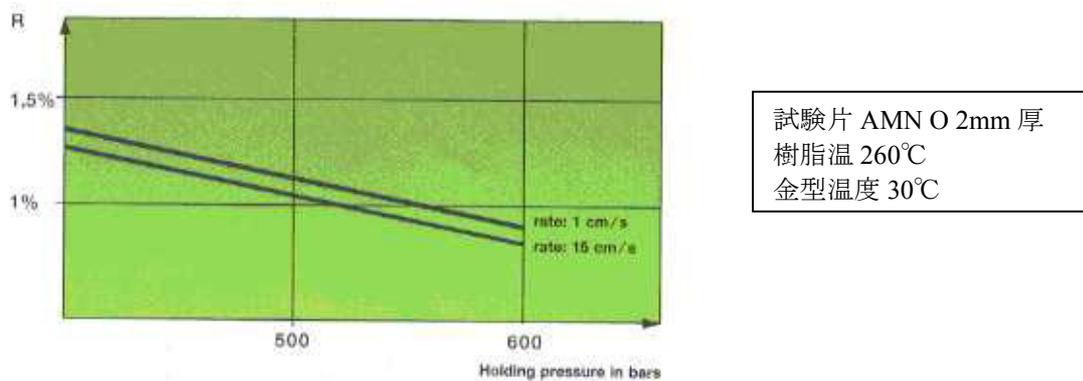
\* 射出速度の影響は小さい。

## 平衡点について

平衡点は、射出圧力が保圧に切り替わる点として定義します。機械物性の観点からすると、この平衡点が、金型に樹脂が完全に満たされる前に到達する事が、非常に重要です。これは、金型内の樹脂に過度の圧力が掛かるのを防ぐためです。

図 11 は、平衡点が 50%の時に得られた結果です。射出速度は、計量の 50%だけかかり、残りの 50%は、保圧に相当する速度で、充填されます。

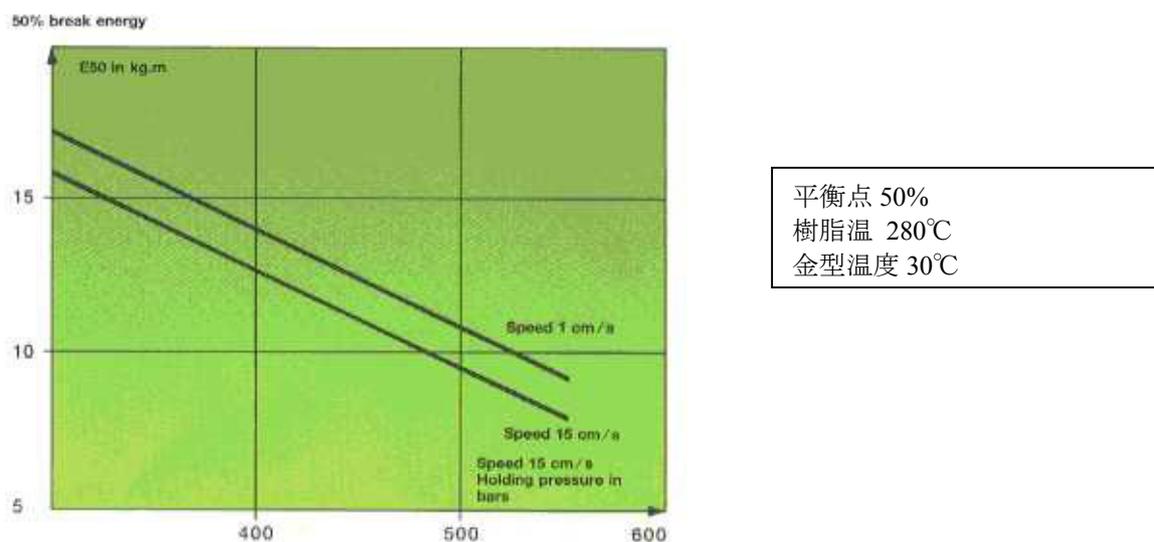
図 11 平衡点 50% での 保圧、射出成形速度と成形収縮率



## 7.2. 保圧と射出速度の影響

収縮率のところでも述べました様に、これらの2つのパラメーターは、関連しており、分けて考える事が出来ません。図 12 は、射出速度が、衝撃性に殆ど影響を示さない事を示しています。即ち、保圧の値が最も重要であるという事を示しています。

図 12. 落錘衝撃強度 (E50) の射出速度と保圧依存性



### 7.3. 圧力損失と樹脂温度の影響

この2つのパラメーターを調査するために、2種類のフィードを使用しました。

#### 1. 高い圧力損失を生じるフィードシステム

長いスプール（長さ 72mm、入り口径 5mm、出口径 9mm）で、ニードルタイプノズル（径 5mm）

#### 2. 低い圧力損失を生じるフィードシステム

短いスプール（長さ 45mm、入り口径 6mm、出口径 8mm）で、ストップコックノズル（径 5mm）

落錘衝撃強度 (E50) kg.m	樹脂温 260℃	樹脂温 280℃
1. 圧力損失の大きい金型	9	13
2. 圧力損失の小さい金型	13	16

上記の2つのフィードシステムにおいて、樹脂温度上げた時に得られる傾向は、圧力損失を著しく減らす事の出来る効果を持った射出ゲートの厚みを増やす事によって得る事が出来ます。

結論として、優れた耐衝撃性を得るためには、高い樹脂温と金型のデザイン（短く適切なサイズのスプールとランナー、出来るだけ大きいゲート）を工夫して圧力損失を小さくすることが重要です。