

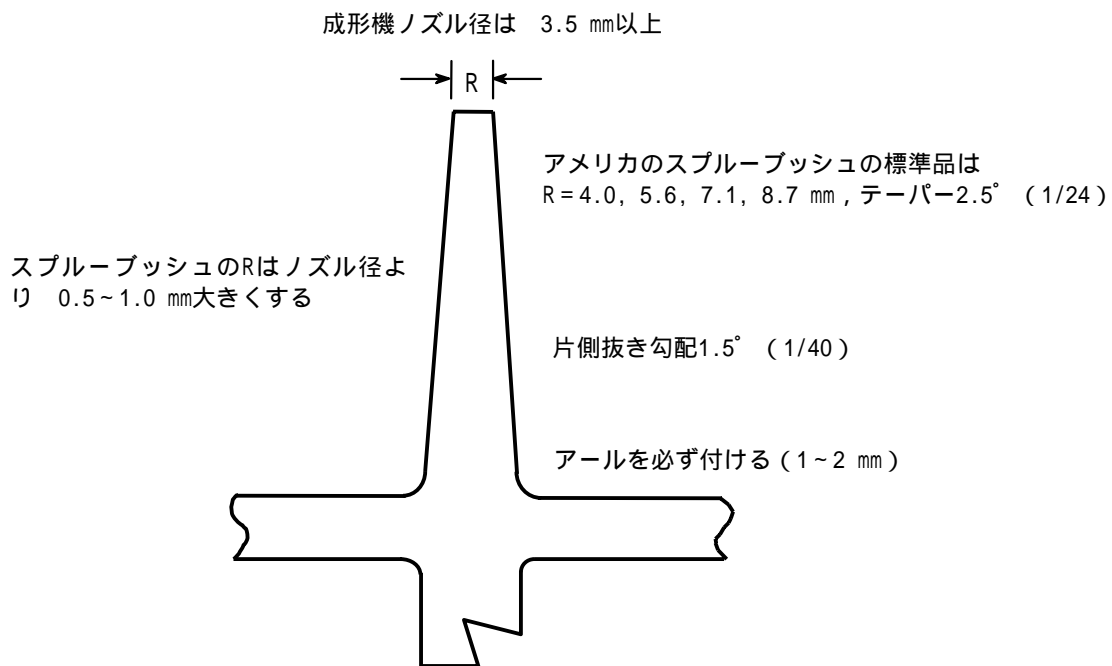
ユ - デル[®] , アモデル[®] の金型設計

ユ - デル[®]、レーデル[®] 用の金型といっても特別なことはなく、他の高剛性で高粘度の非晶性樹脂 (PC、PVC) のそれと似ています。重要なのは、スプルー、ランナー、ゲートは出来るだけ大きくして樹脂の流動を制約しないようにすることです。スプルー、ランナー間は、樹脂の流動をとにかく速やかに行なわせるように、短かくして、長すぎたり太すぎないように設計します。アモデル[®] 用の金型デザインは、ナイロンのそれに準じます。

1. スプルー

例えば、ユ - デル[®] P-1700 を 150 MPa で射出するとスプルーは 3% も体積圧縮されていることとなりますので、離型抵抗が大きく働きます。


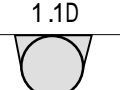
スプルーは太く短かく、離型方向に研磨する



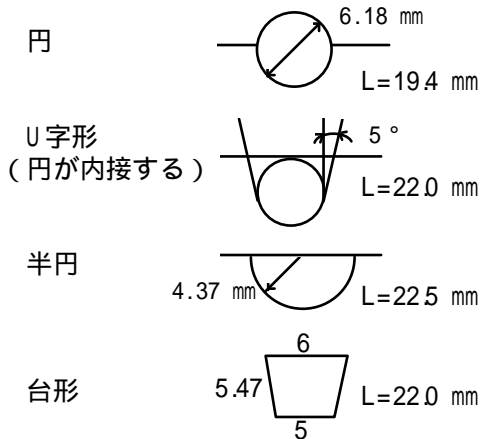
- ・ スプループラーのアンダーカット兼コールドスラッグウエルはしっかりつける。
- ・ スプルーの汚れはシリンダー内の滞留炭化物が原因です。成形機のノズル孔径が細いとスプルーにジェットングします。
- ・ スプルーブッシングはGFで摩耗されてアンダーカットになりやすく、ゲートの制限がきつすぎるとスプルーが過充填して離型不良になります。
- ・ ノズル先端から金型へ熱が奪われるのと、樹脂漏れを抑えるためノズル先端は球面で、より大きな曲率のスプルーブッシュとノズルタッチさせる。

2. ランナー

1) ランナーの断面

ランナーの断面は、P.L.  か  が望ましい。

同じ断面積 (30 mm²) の周囲の長さ (冷却されやすさ) 比較

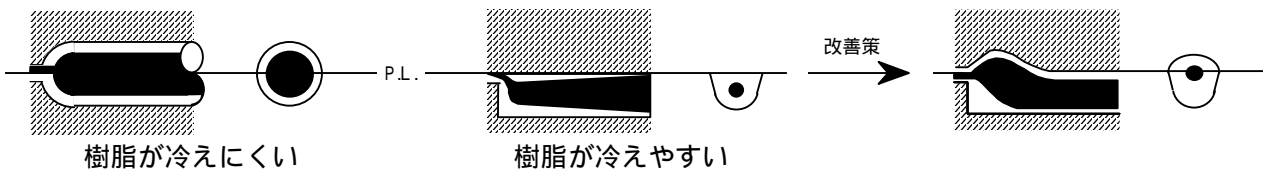


ランナー中心部温度推定 ()
樹脂温度350 , 金型温度130 , $a = 0.2 \text{ mm}^2/\text{s}$

断面 (30 mm ²)	5秒	10秒	20秒後
円	330	240	160
正方形	300	230	150
1/2長方形	270	200	150

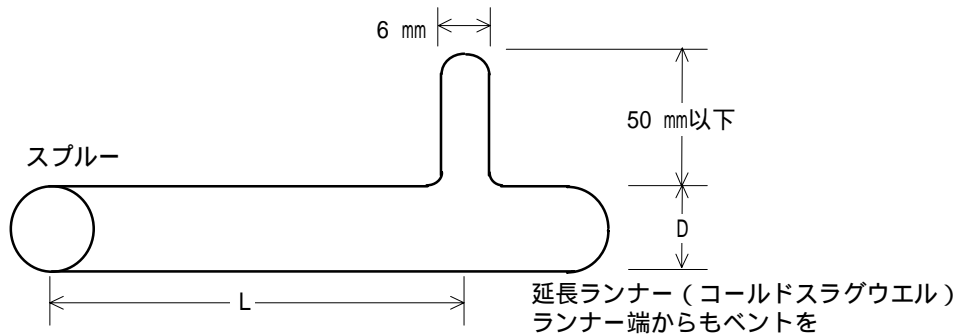
水力的には、たとえば、半径 5 mm の半円 (R) ランナーと半径 3 mm の真円 (R') ランナーは等しくなります。R' = 0.6R。台形を真円にすると面積は 20%節約できます。

2) 両面彫りと片面彫り



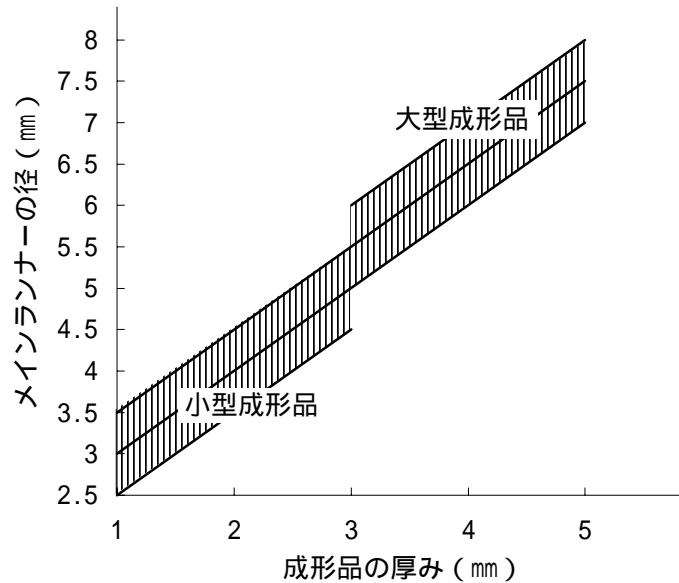
片面彫りランナーは、冷えた樹脂がキャビティに充填され易くなり、外観不良の原因となります。ランナーもキャビティと同様に磨かれている方が望ましい。ランナーのコールドスキングがキャビティに流入して、外観不良を起こす場合、ランナーを粗くして対策します。

3) 二次ランナーの例



ただしトーロン[®] は、二次ランナーは不適です。

4) 成形品の厚み (t) とランナー径 (D)



成形品に対しランナーが細すぎると圧力損失が大きくなり、流動性が損なわれます。逆に、ランナーが太すぎるとキャビティにきちっと充填しにくくなります。スプルーの根元の冷却に時間がかかるので、成形サイクルが長くなることとなります。(技術通信 No.28)

5) ランナー径の算定 (ランナーでの圧力損失を 70 MPa 以下にする)

ユーデル® P-1700 NT の熔融粘度

温度 (°C)	せん断速度 (1/s)	粘度 (Pa·s)	= (MPa)
340	1,000	600	0.60
	100	960	0.01
360	1,000	440	0.44
	10,000	90	0.90
380	100	660	0.07
	1,000	340	0.34

ゲート以外でのせん断応力は 0.5 MPa 以下にする。

熔融樹脂がランナーを流動する速度 (Q = cc/sec) を 12 cc/秒 (= 12 × 10⁻⁶ m³/s) とすると、

$$\begin{aligned} \text{せん断速度} &= 4Q / r^3 = 4 \times 12 \times 10^{-6} / (r \times 10^{-3})^3 \\ &= 15.3 / r \text{ (mm)}^3 \times 10^3 \end{aligned}$$

ランナー半径 (r = mm)	5.3	2.5	2	1.2
せん断速度 (1/sec)	100	1,000	2,000	10,000
ランナーの圧力損失 P = 2 L/r (MPa)				
360 の	0.01	0.44	(0.3 × 2)	0.90
L = 100 mm とすると	0.4	35	60	150

ユーデル® P-1700 で 12 cc (15 g) の成形品を 360 で成形するとすると、ランナー径は 2.5 × 2 = 5 mm が適しているということになります。

3. ゲート

ゲートの役目の一つは、ランナーの冷却固化相をキャビティー内に入り込ませないようにすることです。ゲートの大きさは、成形品の最大厚みの半分以上です（トーロン[®] は最大厚み並にします）。

ゲートランドは短かく、0.8 mm にして、早すぎるゲートシールを阻止します。樹脂が厚い部分から薄い部分へ流れるようにして、ポイド、ヒケの防止をします。ジェットイングの防止のためキャビティーに射出された樹脂がすぐに壁やピンに突き当たるようにします。

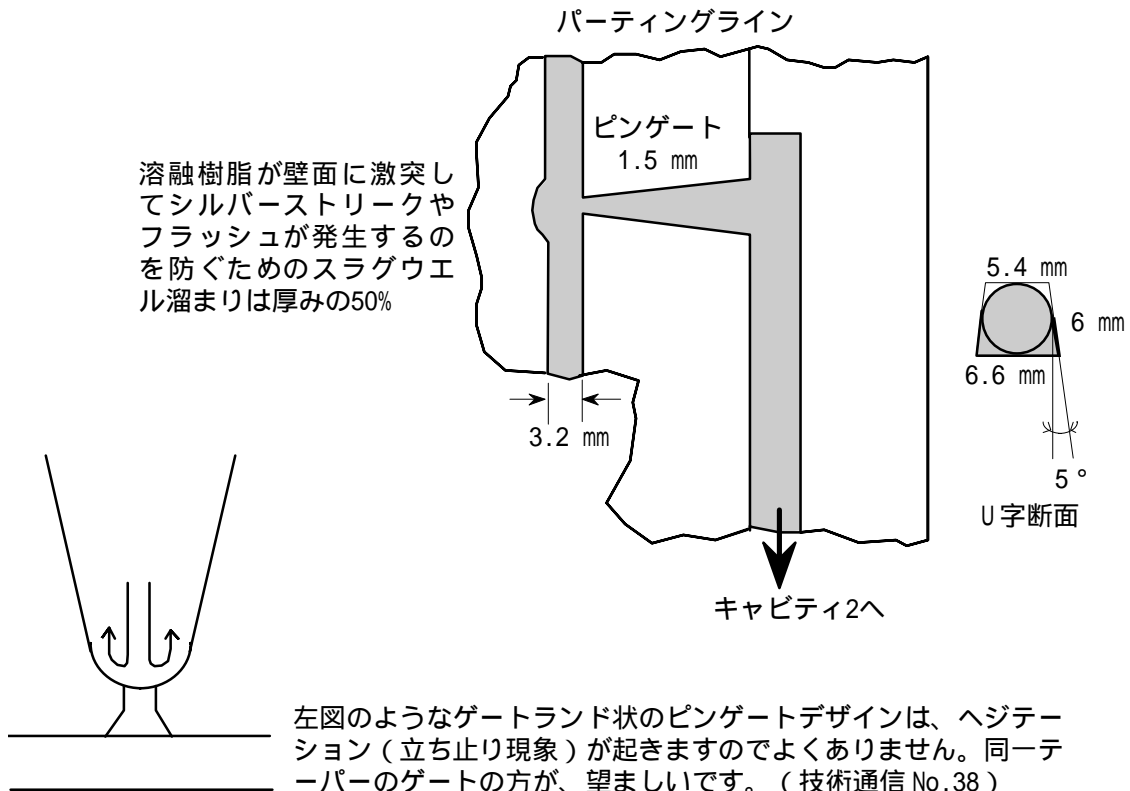
1) ピンポイントゲート

通常ニートグレードは0.8~2 mm、GFグレードは2~3 mm です。

ピンゲートの大きさ

ユーデル [®] P-1700	}	1.5 mm ~
ユーデル [®] GF-130		
レーデル [®] A-200		
ミンデル [®] B-322/B-340		1.3 mm ~
アモデル [®]		0.6 mm ~
トーロン [®]		1.5 ~ 2.0 mm
(2000, 4203L, 4301, 4275, 4347 はピンゲート可です)		
ザイダー [®]		0.4 ~ 0.5 mm

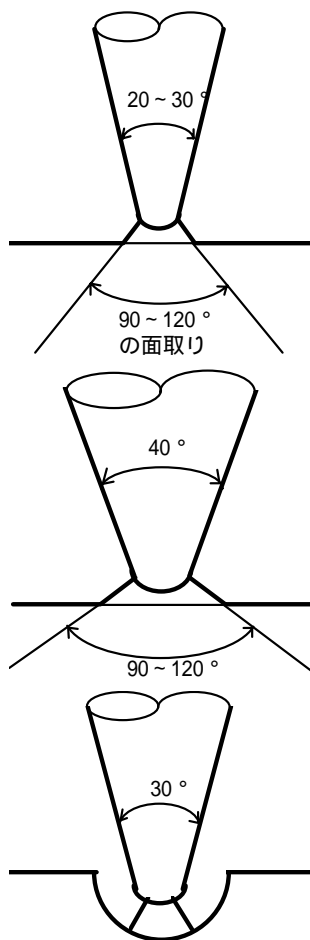
1-1) ピンポイントゲートのデザイン例 (2個取り3プレート金型)



1-2) ゲート径が大きくなれば流動長は増加しますが、せん断速度は低下します。経験的に、ゲートでのせん断速度は、 $10^3 \sim 10^5$ / 秒とされています。

ピンゲートの径	流動加工性
0.5 mm 以下	ゲートでの圧力損失が大きく、成形が安定しません。すっきりとした外観の成形品を得ることが困難です。複数個取りの場合、金型加工上の精度からも不適當です。
0.5 ~ 1 mm	径の拡大とともに急激に成形性が向上します。
1 ~ 2 mm	径の拡大とともに流動性は増加します。
2 mm 以上	せん断は径の 3 乗に逆比例します。3 ではせん断による樹脂温度の上昇がなく、流動性増加の効果は少なくなります。

1-3) ゲートデザイン



シルバーストリークやフラッシュが発生しにくく配向をゲート近傍にとどめます。

成形品を傷めません。

ゲート跡は目立ちます。

ゲート跡は目立ちにくくなりますが、シルバ、フラッシュが発生しやすくなります。

配向が成形品に広く及びます。

ピンゲート跡を成形品の表面から、少し沈めて設ける場合。

ピンゲート、トンネルゲートのような自動切断形の場合に、ゲート詰りの問題が発生することがあります。その原因と対策としては、次のことが考えられます。

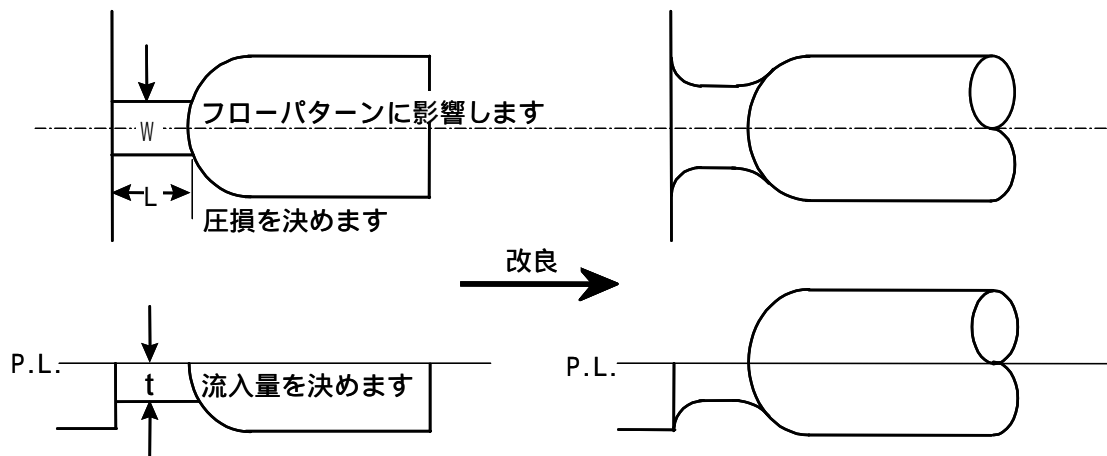
- ・ ゲートランドが細く長い場合、対策としてゲートの入口出口にアールをつける。
- ・ ガラス強化グレードのように脆い樹脂の場合、ゲート切断が高温時にされるように金型温度、樹脂温度を高くする。
- ・ 分子配向を小さくするような成形条件にする。

2) ダイレクトゲート

ゲートの径は、少なくとも 6 mm 以上に、場合によっては 10~13 mm にします。根元の径は 9~20 mm になります。ゲートの付け根にはRが必要です。コールドスラグウエルをつけるのが望ましい。残留応力が過大になりますので、ゲートの位置の設定には配慮が要ります。

3) サイドゲート(エッジゲート)

ゲートの厚みは、成形品のその部分の厚みの 80~100% にします。ゲートの幅は、厚みの 2~3 倍が原則です。ゲートランドは 1.0 mm 以下にします。もっとも単純なゲートデザインですが、樹脂が充填して広がっていくパターンに問題があります。ゲート部のくもり対策には、ゲートを大きくするか、Rを付けます。不完全溶融結晶化物の成形品への流入を防ぐため、ゲートで制限しなければならないときもあります。



ジェットイングやフローマークが
発生しやすい

丸ランナーとコーナーのRで
改善できることが多い

4) トンネルゲート

アモデル® V0 グレードのトンネルゲートの大きさは通常 1~2 mm です。(詳細は技術通信 No.42)

5) ファンゲート

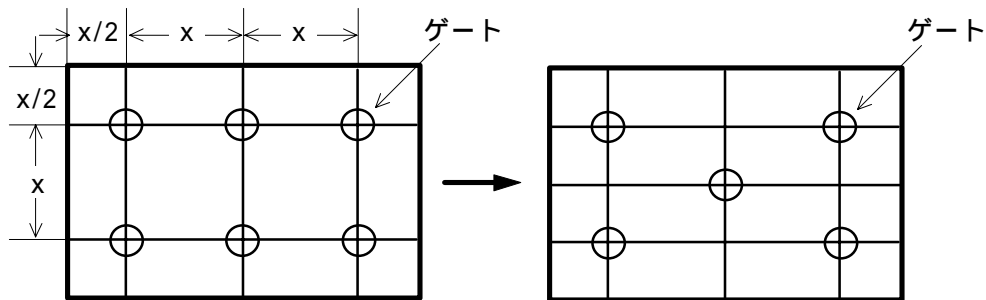
溶融樹脂が均等に流れますので、ソリや外観性がうるさい成形品に適しています。ゲートの断面積はランナーのそれ以下でなければなりません。ゲートの厚みは通常 1~2 mm です。トーロン® では、ランナーの断面積とゲートの断面積を等しくすることもあります。

6) フィルムゲート(ファンゲートの延長)

平板をダイレクトやピンポイントゲートで成形すると、流れ方向と直角方向の成形収縮率の差(異方性)によってソリが出ることがあります。フィルムゲートで長軸に平行に樹脂を流動させればソリは減じることができます。

7) 多点ゲート

15 cm 平方より大きな成形品を 1 点で、特にエッジゲートで片側からというのは充填時間がかかりすぎてよくない。ユーデル® P-1700、レーデル® A-300 のウエルド強度は、ウエルドなしの強度と遜色がなく、十分に強いので、大型成形品や、薄物成形品に適しています。



ガス溜まりを防ぐため中央にゲート

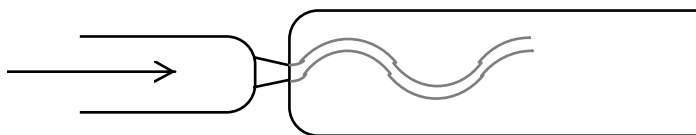
多点ゲートの原則：各ゲートからの流動長が等しくなるように、また、ウエルド、ガス溜まりの位置を考慮して、ゲートの位置どりをする。

8) ユーデル®、アモデル® のホットランナーシステム化は可能です。(詳細は技術通信 No.34 に)

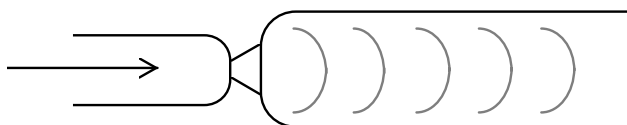
4. ジェットティング

溶融樹脂のゲート流動が、せん断速度が高すぎて、ジェット状にキャビティに射出されると、冷えた樹脂の流れが横に曲げられ金型壁に押しつけられて固定されます。この表面状態不良の蛇行したフローマークをいいます。ゲート近傍では多かれ少なかれジェットティング現象は避けられませんが、充填が進むにつれて、その痕跡が少なくなっていくます。

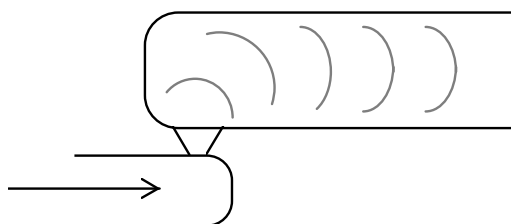
ジェットティングが発生するゲートデザイン (POOR)



よいゲートデザイン (GOOD)



より大きなゲート跡が成形品に残りますが、ジェットティングにはかえられません



キャビティ内樹脂流動を障害物にあてて流れの方向を変えてやる

ゲート形状は、十分な断面積を確保して、樹脂がキャビティ内で上下、左右に広がりやすいようにデザインしてください。

5. エアベント（ガス抜き）

樹脂焼けや残留ひずみを防ぐために金型のガス抜きが必要です。ガス抜きが不十分だと寸法がばらつくことがあります。ベントの隙間は、一般的には半結晶性樹脂では 0.02 mm、非晶性樹脂では 0.03 mm です。場合によっては、より深いベントが必要です。

	最適ベント溝の深さ (mm)
ユーデル® P-1700 / レーデル® A-200	0.03 ~ 0.05
ユーデル® GF-130 / レーデル® AG-330	0.03 ~ 0.07
ミンデル® B-322	0.02 ~ 0.03
ミンデル® B-340	0.03 ~ 0.05
アモデル® AF-1133 V0, AF-4133 V0 / AF-1550 V0	0.02 ~ 0.025 / 0.02 ~ 0.03
トーロン®	0.03 ~ 0.06
ザイダー®	0.02 ~ 0.04

ランドは 0.8 ~ 1.5 mm、幅は 5 ~ 10 mm とし、導気溝の深さは 0.8 ~ 1.6 mm にします。成形品が薄く、高速で射出成形する場合、ゲートの近くからもベントするようにしておかなければなりません。突出しピンは、1ショット毎に往復して清掃するので、効率のよい、すぐれたベントシステムといえます。（詳細は技術通信 No.37）

6. 抜き勾配

0.5 ~ 1° とします。ガラス繊維強化グレードは、それより多めに、~1.5° とします。（詳細は、技術通信 No.19 に）

7. 成形収縮率

ユーデル® ポリサルホン P-1700 の成形収縮率は 0.007 で、樹脂の流動方向（平行 / 直角方向）による差は少ないです。低い金型温度で過充填させると低収縮率になり、射出容量の低い成形機や、完全充填するには小さすぎるゲートの場合は、高収縮率になります。他のグレードについては、それぞれ技術資料の記載を参考にしてください。金型の焼入れをする前に、試し打ちして寸法を確認するのが原則です。（詳細は、技術通信 No.20 に）

8. 金型温度

熔融樹脂温度と金型温度の差が大きいほどひずみが大きくなります。技術資料に記載されている最適金型温度の高温側を実施してください。

9. 既存金型の転用

ユーデル®、レーデル® では

- | | |
|---------|---|
| PC 用金型 | 金型温度を上げれば、そのまま使用可です。 |
| ABS 用金型 | 金型温度を上げれば、ほぼ使用可です。場合によってはゲート、ランナーを大きくします。 |

アモデル® では

- | | |
|-------------|----------------------|
| PA66, 6 用金型 | 金型温度を上げれば、そのまま使用可です。 |
| PPS 用金型 | ベントを拡げれば使用可です。 |


10. ゲートシール時間の推定

ゲート通過時のせん断発熱は無視して、樹脂と金型との熱伝達係数を $370 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{)}$ として、Heislerの方法で推算してみます。温度 T_i の溶融樹脂がキャビティに充填され、樹脂の動きが止まって、それから金型温度 (T_{m0}) で冷却されて、中心部の樹脂の温度が No flow 温度 (T_0) になる時間をゲートシール時間とする。ピオ数と無次元温度 $Y = (T_{m0} - T_0) / (T_{m0} - T_i)$ を算出して線図からフーリエ数を読み取り、時間を算出しました。細すぎるゲートでは、早くゲートシールしてしまって、充填密度が高まらず、ユーデル[®]、アモデル[®] の特長である高強度、寸法安定性が得られないことになりかねません。ゲートを大きくしてもアモデル[®] はすぐにゲートシールしますので、ハイサイクル成形が可能です。

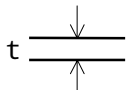




【前提】各グレードの物理定数と成形条件

	ユーデル [®]		アモデル [®]		
	P-1700 NT	GF-120	A-1133	AF-1133 V0	AF-4133 V0
(溶融) 密度 (g/cm ³)	1.14	1.34	1.33	1.54	1.49
比熱 (cal/g・)	0.52	0.48	0.43	0.41	0.41
熱伝導率 (cal/s・cm・)	0.55 (× 10 ⁻³)	1.17	1.13	1.02	0.90
温度伝導率 (cm ² /s)	0.93 (× 10 ⁻³)	1.80	2.00	1.60	1.47
No flow 温度 ()	232	186	284	274	297
樹脂温度 ()	370	380	340		345
金型温度 ()	150				100

【計算 1】ピンゲートの径とゲートシール時間 (秒)

 (mm)	ユーデル [®]		アモデル [®]	
	P-1700 NT	GF-120	AF-1133 V0	AF-4133 V0
・ 0.5	0.9	1.6	0.5	0.3
◦ 1.0	2.2	3.2	1.1	1.0
◌ 1.5	4.2	5.3	1.8	1.9
○ 2.0	6.5	8.3	3.0	3.1
○ 2.5	8.4	10	4.4	4.5
○ 3.0	9.7	14	5.6	6.1

【計算 2】エッジゲートの厚みとゲートシール時間 (秒)

 (mm)	ユーデル [®]		アモデル [®]
	P-1700 NT	GF-120	A-1133
 0.5	1.7	3.1	0.6
 1.0	4.8	6.9	1.3
 2.0	13	16	3.5
 3.0	22	26	5.6

ランナーで固まりつつある樹脂を、キャビティに入れないように制限するのが、ゲートの役目です。厚い ($t > 2$) ゲートでは、その点の注意が必要です。

11. 樹脂の流動長さ

レーデル® R-5000 の成形性は、 $t=2.5$ 、 $W=10$ 、 $L=370$ mm ($L/t = 370/2.5 = 150$) のキャビティを充填するには、計算上は次のようになります。射出時間 2 秒、金型温度 130 とすると、

樹脂温度 ()	370	380	400
射出圧力 (bar)	1500	1300	1000

溶融した樹脂のゲートからの流動長 (L) は、厚み (t) と直線関係にあると見なせます。

厚みが薄くなると、流動長さは金型温度の高さに強く影響されます。

樹脂温度 330 、金型温度 140 で射出圧力と速度を最大にしたときのアモデル® A-1145 HS NT のスパイラル流動長さは、310 mm でした。厚み $t=1.5$ mm でしたので、 $L/t = 205$ 。

樹脂温度、金型温度、射出圧力いずれもぎりぎり高くしたときの、いわばほぼ最大の L/t の実験例は、

(L/t) max	厚み (t) (mm)			
	0.5	0.8	1.3	2.0
ユーデル® P-3500	-	100	120	150 ~ 165
P-1700	70	115	135	160 ~ 195
P-3703	100	145	200	215 ~ 220
GF-130	-	-	-	160
レーデル® A-300	70	130	160	230
A-200	-	110	155	190 ~ 210
R-5000	-	65	80	90 ~ 115
アモデル® A-1133 HS	140	-	-	280
AF-1133 V0	150	-	-	275

ランナー、ゲートでの圧力損失を考慮して安定した成形をするために、 L/t の目安は、

L/t	t = 1 ~ 2 mm	t = 3 ~ 4 mm
ユーデル® P-1700 / GF-130	70	150
レーデル® A-200		
レーデル® R-5000	40	80
アモデル®	100	200

$t > 6$ mm の成形品は、湯じわ、ひけ、気泡、熱応力が発生します。

射出成形の流動性の理論化、数式化の試みから、溶融樹脂の流動長さ (L) は厚み (t) の 1.5 乗にほぼ比例するとされています。

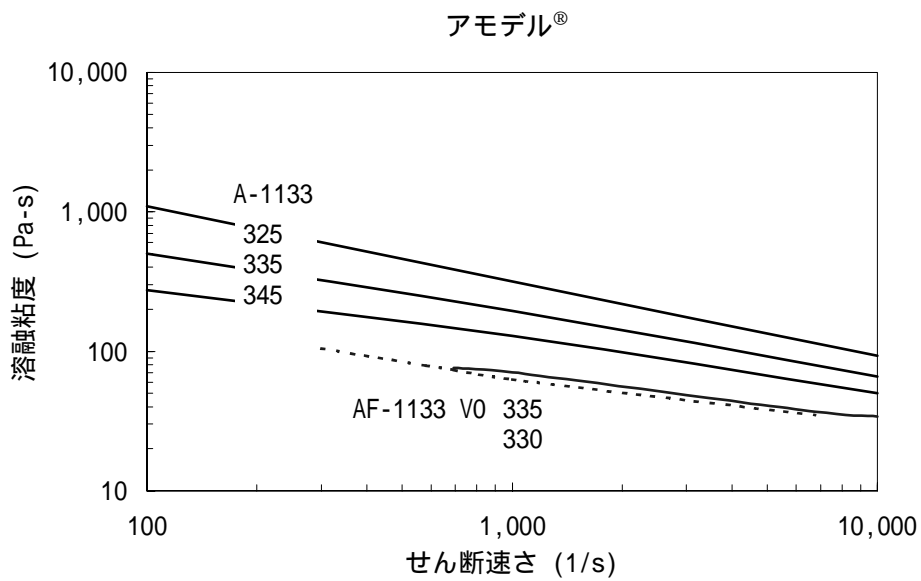
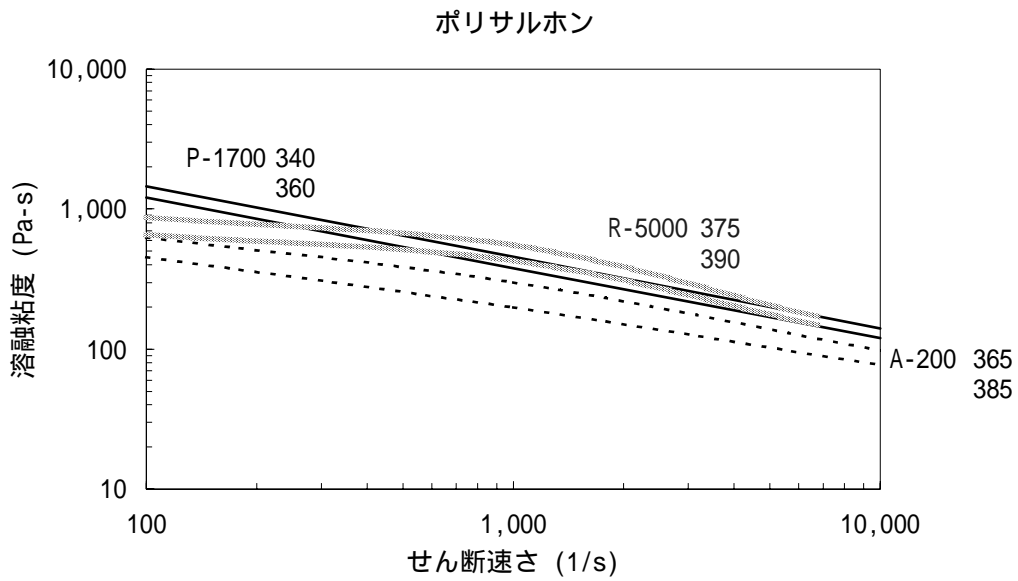
$$L \propto t^{1.5}$$

$$L/t \propto t$$

L/t は t (厚み) の平方根、 t に比例します。

アモデル® V0グレードの $t=0.5$ mmの L/t の実験値は160です。 $t=0.25$ に半減すると、 $L/t=160 \times \frac{0.25}{0.5}=110$ 、従って $L=L/t \times t=110 \times 0.25=28$ mmがほぼ最大流動長さとなませます。

12. 溶融粘度



以上

~~~~~ No.05 CONTENTS ~~~~~

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| ユ - デル <sup>®</sup> , アモデル <sup>®</sup> の金型設計 ..... | 1  |
| 1 . スプルー .....                                      | 1  |
| 2 . ランナー .....                                      | 2  |
| 3 . ゲート .....                                       | 4  |
| 4 . ジェットイング .....                                   | 7  |
| 5 . エアベント ( ガス抜き ) .....                            | 8  |
| 6 . 抜き勾配 .....                                      | 8  |
| 7 . 成形収縮率 .....                                     | 8  |
| 8 . 金型温度 .....                                      | 8  |
| 9 . 既存金型の転用 .....                                   | 8  |
| 10 . ゲートシール時間の推定 .....                              | 9  |
| 11 . 樹脂の流動長さ .....                                  | 10 |
| 12 . 溶融粘度 .....                                     | 11 |

~~~~~ No.05 INDEX ~~~~~

| | | | |
|---------------------|-------------------|---------------|----------------------|
| Amodel..... | 1, 4, 7, 8, 9, 10 | Radel | 1, 4, 7, 8, 10 |
| Degassing..... | 8 | Runner | 2, 3 |
| Designing | 1 | Sprues | 1 |
| Gas Vent..... | 8 | Torlon..... | 4, 6, 8 |
| Gate | 4, 5, 6, 7, 9 | Udel..... | 1, 3, 4, 7, 8, 9, 10 |
| Mindel | 4, 8 | Weldline..... | 7 |
| Mold..... | 1 | Xydar..... | 4, 8 |
| Mold Shrinkage..... | 8 | | |

ソルベイアドバンストポリマーズ株式会社

本 社 / 東京都千代田区一番町23番地3 日本生命一番町ビル3階 〒102-0082
TEL. 03-5210-5560(大代表) 03-5210-5570(営業代表) FAX. 03-5210-5580

Radel, Udel, Mindel, Amodel, Torlon および Kadel は Solvay Advanced Polymers, L.L.C. の登録商標です。

記載されている情報は、本文書作成時点における弊社の知見に基づき参考のために提供されるもので、弊社または関係会社はそれらの情報・製品につきいかなる権利を許諾するものでもなく、またいかなる責任も負いかねます。それらの情報・製品は専門家が慎重な検討のもとに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されることは意図されていません。お客様におかれては、自らの判断と責任において、それらの情報・製品や知的財産権などをご検討のうえ、ご利用くださるようお願い申し上げます。