

TPXの射出成形技術

三井化学株式会社

TPXの一般物性

TPXは4-メチルペンテン-1を主原料とする結晶性のオレフィン系ポリマーです。その特徴は以下の通りです。

- (1) 融点が220℃～240℃の耐熱性に優れたポリマーです。
- (2) 可視光線の透過率が90%以上の良好なポリマーです。可視光線のみならず、紫外線領域(300～400nm)でも優れた光線透過率を有しています。
- (3) 分子構造上極性基を持たないため耐薬品性に優れ、又耐油性も良好です。
- (4) 熱的性質に特長を有し、耐熱老化性、耐スチーム性(沸水)性に優れています。
- (5) プラスチックの中で最も低密度のポリマーで、軽量化に適した材料です。
- (6) 電気絶縁性に優れ、低誘電率の電気特性を有しています。
- (7) 表面張力が24 dyne/cmと小さいため、離型性や耐被汚染性に優れています。

TPXの射出銘柄

TPXは、すべての銘柄で射出成形は可能です。その代表的銘柄は下記の通りです。

TPX銘柄

銘柄		RT18	RT31	DX820	MX004	MX002
MFR(g/10分)		26	26	180	20	20
特徴		高剛性	高剛性 低臭	高剛性	中剛性	低剛性
用途	工業用	○	○	○	○	○
	食品用	○	○	○		

TPXの成形条件

シリンダー温度

シリンダー温度は 290～310℃が適当です。

射出圧力

TPXは 290～310℃の温度範囲では良好な成形性を示します。この様な温度範囲では低圧での射出成形が可能です。製品に成形歪を残さないために可能な限り低圧による射出成形をお勧めします。

射出速度

TPXは成形性に優れることから、射出速度も低速で成形が可能です。

射出時間

射出時間は製品の大きさによって変わりますが7～17秒で成形されます。
しかし、射出2次圧はゲート部への歪の原因となるので2秒以下にしてください。

クッション量

クッション成形はバリの原因になり易いので、避けることが望ましい。

「ドルーリング」防止

TPXの射出成形でノズル先端から樹脂が少量流れだす現象が起こることがあります。そのような時にはサック・バックを1～2mmきかせて下さい。

金型温度

金型温度は20～60℃が適当です。

TPXの代表的な射出成形条件例

射出成形機

名機製作所

M-100

シリンダー温度	300℃
射出圧力(1次/2次)	550/470 kg/cm ²
射出速度	10/100
射出時間(1次/2次)	4/2 秒
冷却時間	23 秒
金型温度	60℃

成形品形状

ゲート:フィルム・ゲート

寸法:120×130×2mmt

角板

射出成形機

射出成形機の選定

通常TPXは300℃付近の高温で射出成形されるため、その温度を十分満足できる加熱容量と温度制御を備え、 $L/D=20\sim 24$ 、圧縮比が2.0～3.0のスクリーが適当です。スクリー先端は逆流防止リングの設置が必要です。

射出容量

TPXは熱可塑性樹脂の中で密度が最も小さく 0.83 g/cm^3 であり、比重換算するとポリスチレンの70%の重量が可塑化可能となります。一般的に、射出容量は製品容量の1.3倍～1.5倍が適当です。

ノズル

TPXの射出成形ではオープン・ノズル、シャット・オフ・ノズルのいずれでも使用できます。

型締圧力

型締圧力は製品投影面積 $\times 250\text{ kg/cm}^2$ (3700psi)以上が必要です。

金型取り付け寸法

タイバー内に金型が固定できて、かつ厚さ方向は下記の式を満たすことが必要です。

機械デールイト> (製品高さ+ランナー) $\times 2$ + 金型厚み

他樹脂用金型をTPX用として転用する場合の留意点

TPX, PC 或いは PMMA 等は共に透明性に優れる樹脂です。TPX はポリプロピレンやポリエチレン等と同様の結晶性ポリオレフィンであり、PC, PMMA 等の非晶性ポリマーと異なった性質を示します。その為に、PC, PMMA 等の透明プラスチック用金型を TPX 用として転用するには十分な注意が必要です。

透明樹脂の基本物性

下図に基本物性を示します。TPX は耐熱性に優れ、又、全てのポリマーの中で最も密度が小さく、しかも耐薬品性、耐熱水性等に優れています。

TPX の衝撃強度は Pst, PMMA 並みで、実用上十分な強度を有しています。TPX は結晶性ポリマーであるために、その収縮率は、他の非晶性ポリマーに比べて大きい傾向にあります。

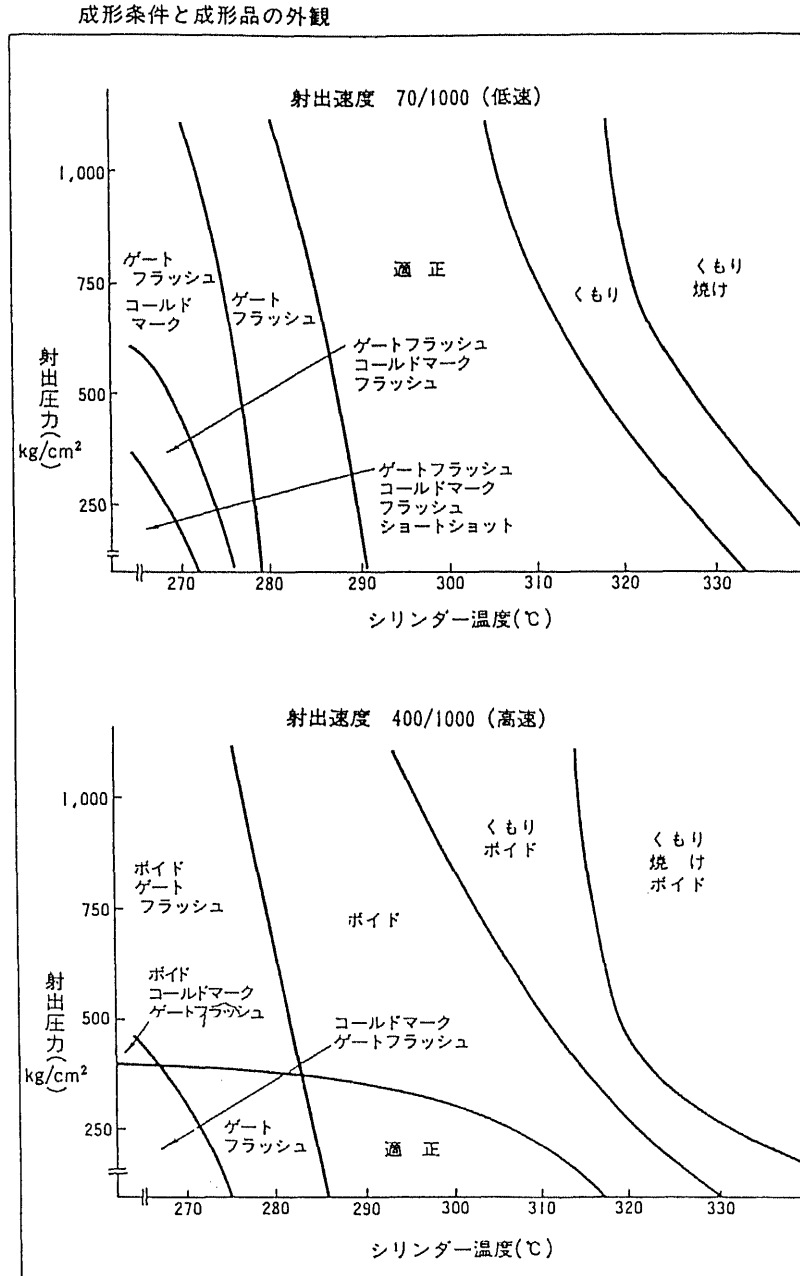
成形品：角板 (120×130×mmt)

銘 柄		TPX (RT18)	Pst ポリスチレン	PMMA アクリル	PC ポリカーボネート	PSF ポリスルフォン	PP ポリプロピレン
乾燥温度 (°C) × 時間 (Hr)		不要	80×3	100×3	120×6	160×2	不要
シリンダー温度 (°C)	NH	300	245	260	320	350	240
	C1	300	230	250	300	360	240
	C2	280	220	240	290	340	220
	C3	270	200	200	280	320	200
金型温度 (°C)		60	60	70	100	160	60
射出圧力 (kg/cm ²) 1 次圧/2 次圧		320/260	820/650	910/530	900/640	1150/900	320/260
射出時間 1 次/2 次(sec)		5/3	3/2	3/2	5/3	5/3	5/3
衝撃強度 (kg/cm ³)	ノッチ有	4	3	4	85	8	4
	ノッチ無	16	7	80	>130	>130	—
Tm/ (Tg) (°C)		235	(94)	(113)	(147)	(180)	160
密度 (g/cm ³)		0.83	1.0	1.2	1.1	1.2	0.91
光学特性 (2 mm t 厚さ)	ヘイズ	2.0	1.3	0.9	2.5	6.9	—
	トランス	93	90	93	90	84	—
	グロス	123	182	143	171	144	—
収縮率 (%)	タテ	2.10	0.43	0.42	0.61	0.45	1.60
	ヨコ	1.55	0.50	0.59	0.71	0.51	1.50

銘 柄	TPX (RT18)	Pst ポリスチレン	PMMA アクリル	PC ポリカーボネート	PSF ポリスルフォン	PP ポリプロピレン
TPX 用金型として使用する場合に推定される問題点		製品寸法 小 突出し 不良 透明性	製品寸法 小 突出し 不良 透明性 ゲート・クラック	製品寸法 小 突出し 不良 透明性 ゲート・クラック	製品寸法 小 突出し 不良 透明性 ゲート・クラック	製品寸法 略同 透明性

成形品外観

成形品外観は成形条件によって大きく変化します。外観に対する成形条件の影響を下図に示しますが、成形条件の中で射出速度が外観に最も影響します。



透明性

TPXの透明性は成形品の表面の状態によって決まります。このため金型の表面を鏡面仕上げすることが重要なポイントとなります。又、異物、特にTPX以外の樹脂が微量混入しても透明性を著しく損ないますので注意が必要です。

TPX用金型

基本構造

TPX用金型の基本構造はポリプロピレンとほぼ同じですが、製品の離型方法、金型表面の仕上げ状態等が若干異なります。

金型材質

材質の選定は型の仕上り、傷の着きにくさ、防錆、加工性、成形数量等によって変わりますが、TPXの射出成形に必要な金型材質の選定条件としては次のことが上げられます。

(1) 磨きが十分にできること。

(2) 成形時に派生するガスによって金型表面が曇りや錆にくいこと。

弊社で55C, NAKK55, アッサブスタボックスについて錆に対する実験を行った結果、Cr含有量の多いアッサブスタボックスが最も良い結果を得ています。

アッサブスタボックスの化学成分

化学成分	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Fe
%	0.38	0.3	0.7	13.6	0.8	0.3	83.92

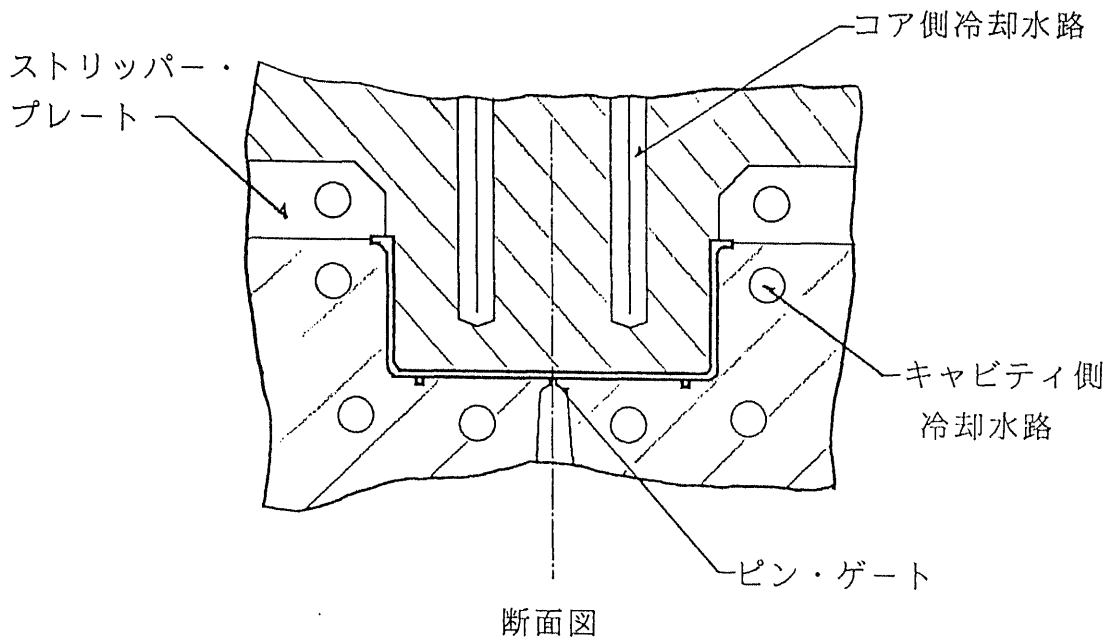
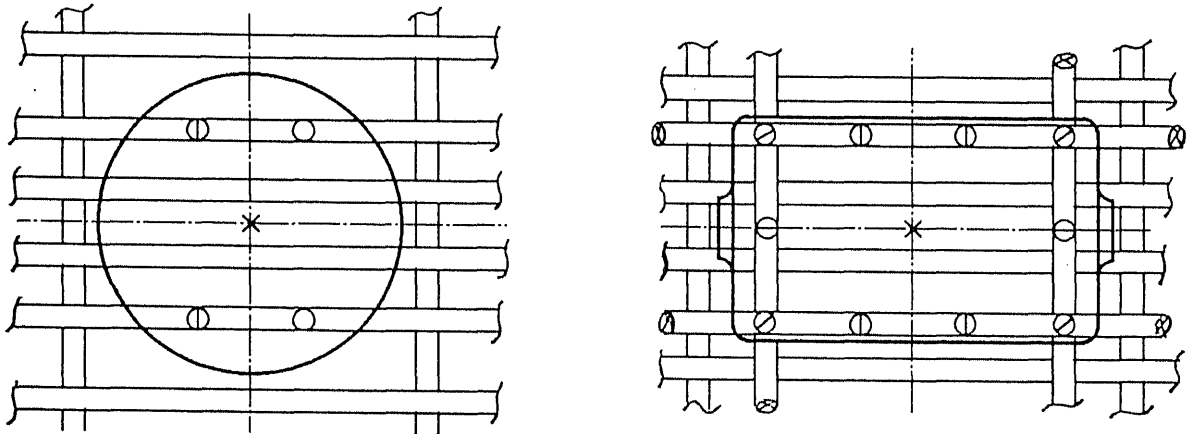
表面仕上げ

金型表面仕上げの状態は製品の透明性に影響を与えます。特にTPXは熔融粘度が低く成形性に優れています。その為に金型の転写性が良いので金型は十分磨きを行う必要があります。又、金型のメッキの厚みは0.015~0.02 mmが適当です。TPXは300℃ぐらいの高温で成形するためにガスが出やすく、ガスによる金型の曇りや成形後に金型の錆が発生することがあります。この対策としてはTPXで射出成形後に防錆剤を塗布することが有効です。又、メッキ金型の場合は表面を布などで拭き防錆剤を塗布して下さい。

金型の冷却水路

冷却効果が悪い場合には製品の的外観（透明不良、反り）、寸法精度、製品強度及び成形サイクル等に影響します。TPXはポリエチレンやポリプロピレンと同様に金型を冷却して型温を一定に保つ必要があります。そして温度調節のできる水循環装置を用い、金型温度を20～60℃程度にしてください。参考例として下記に冷却水路の設け方を示しますが、製品が箱、丸型製品の場合の開口部、フランジ部、肉厚部、ゲート付近に冷却水路が必要です。又、ストリッパープレートにも冷却水路を設けて下さい。水路径は6mmとして下さい。

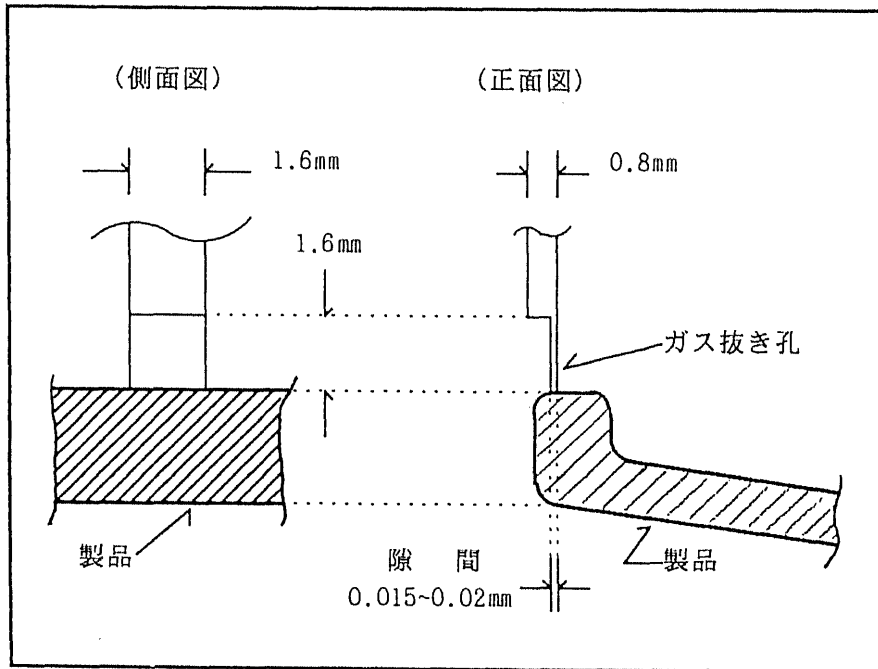
製品形状



金型のガス抜き

TPXは高温で射出成形するために、ガスが発生しやすく金型にガス抜きを設ける必要があります。ガス抜きの深さは 0.02 mm以下を目標として施行して下さい。金型にガス抜きがない場合には製品に曇り、透明不良、ガス焼けあるいはボイドの発生等の問題が起こります。又、金型を錆びさせることとなります。

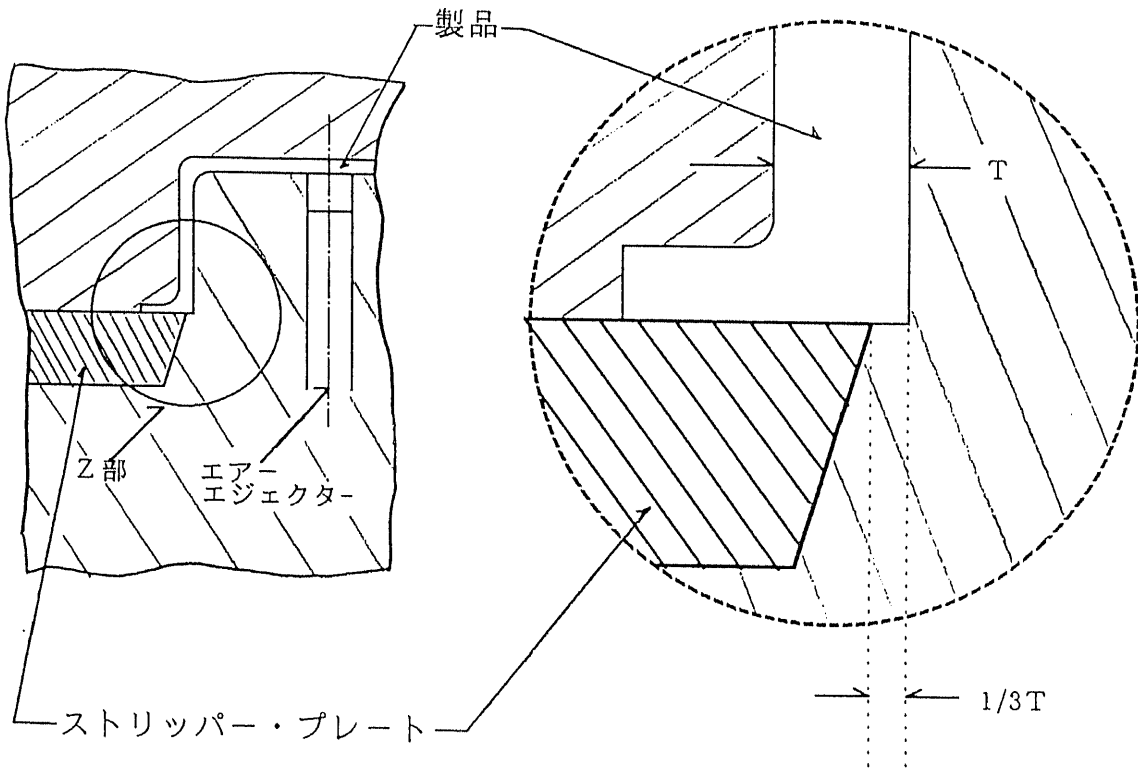
ガス抜き孔のとり方



金型の突出し機構

製品の形状によって突出し方法は変わります。平型製品は角ピン、丸ピンによる突出しは可能ですが、突出し本数は十分考慮する必要があります。又、製品が箱型、丸型の場合にはストリッパー・プレートによる突出しが最も適しています。エア－エジェクターを併用すると更によくなります。

突出し機構例



Z 部 拡 大

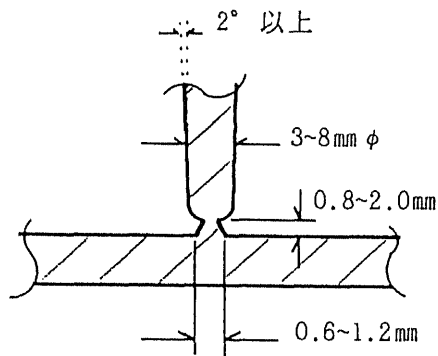
ゲート及びランナー

1) ゲートの種類及びゲート位置

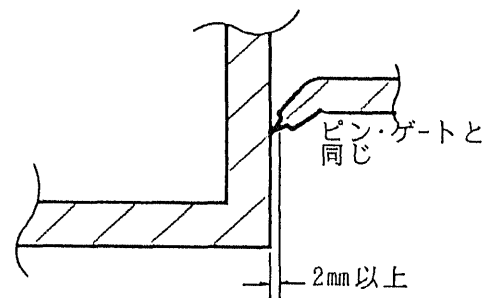
ゲートにはピン・ゲート、ダイレクト・ゲート、ノルマル・ゲート、フィルム・ゲート、サブマリン・ゲート等がありますが、TPXの場合、平型製品はノルマル・ゲート又はピン・ゲートで出来るだけサイドに設置します。箱型又は丸型製品の場合、ピン・ゲートで、ゲート位置はオフ・センターとした方が反りのない製品が得られます。

ゲートの種類と代表的な例

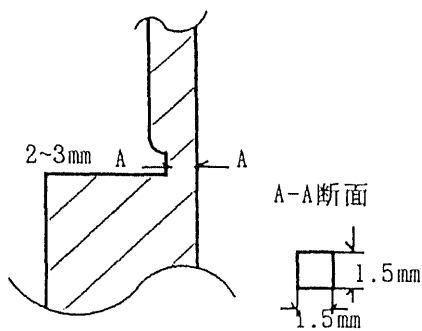
ピン・ゲート



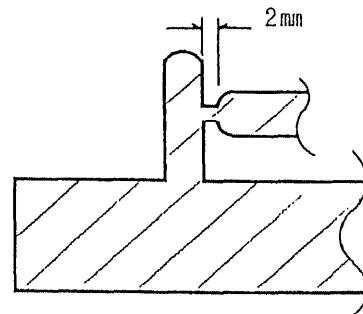
サブマリン・ゲート



ノルマル・ゲート

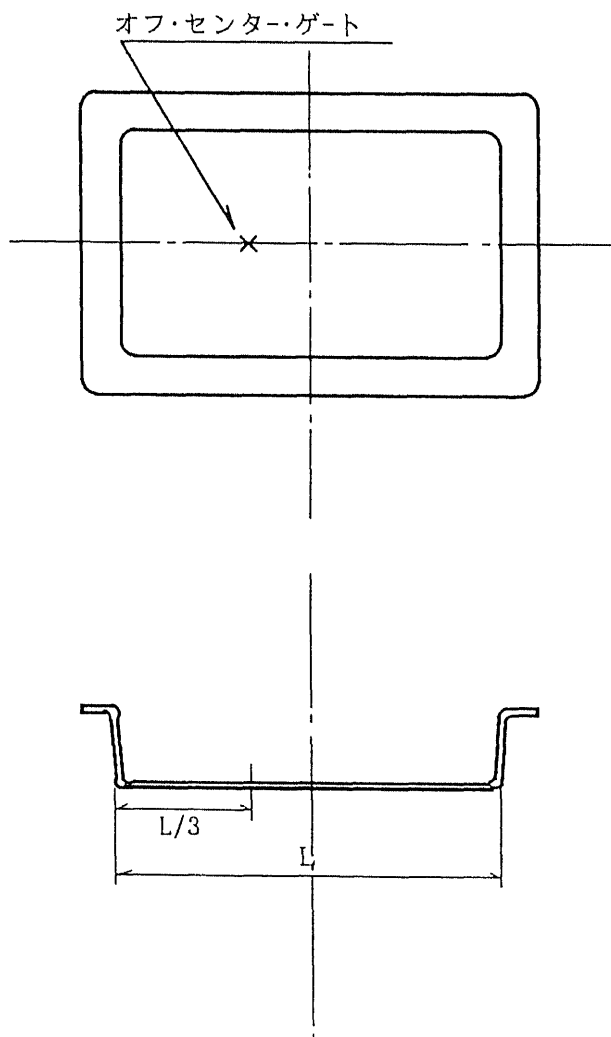


タブ・ゲート



参考例として電子レンジ・トレイ製品の場合のゲートの種類、大きさ、位置について下記に示します。

- ゲートはピン・ゲートを用います。(0.8 mm~1.2 mmΦ)
- 製品の反りを防止する為にゲート位置の決定は以下の点を参考に行ってください。
 - a. 製品高さが 40 mm 以下の場合にはオフ・センター・ゲートとします。
 - b. 製品高さが 40 mm 以上の場合にはセンター・ゲートとします。



2) ランナー

a. コールド・ランナー

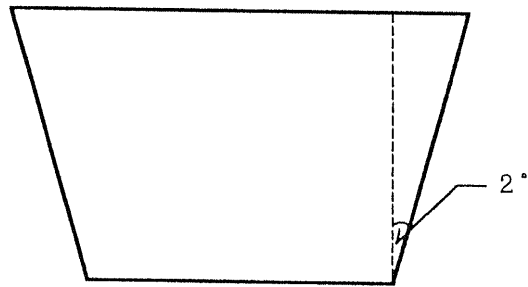
ランナーは円形が最良でその他台形、半円形が多く用いられています。製品の取数及びランナーの長さにより寸法は変える必要がありますがコールド・ランナーの場合、6 mmφ以上が通常です。インシュレート・ランナーの場合、20 mmφ以上が望ましい。(ランナーの長い場合、25 mmφ)

b. ホット・ランナー

ホット・ランナーはTPXに使用可能ですが、使用に際しては樹脂の滞留が長くなること、色替えが難しいこと等を考慮して設計を使う必要があります。ランナーの昇温は一般的にカートリッジ・ヒーター又はプレート・ヒーターを使用することが多く、ランナー形状は円形(その他は樹脂の滞留の原因になる)で10 mmφ以上が必要です。特にTPXは融点が高い為に380°C程度まで昇温可能なヒーターを使用してください。又、多数個取り金型の場合、それぞれチップの温度差が10°C以内になるような設計を行う必要があります。ゲート部はバルブ付ホット・チップが最良ですが、スピア・タイプも使用可能です。これらは全て内部加熱であり外部加熱は好ましくありません。

抜きテーパー

抜きテーパーは通常 2° 以上が好ましく、小さい場合には離型不良や製品に擦傷を起こすことがあります。

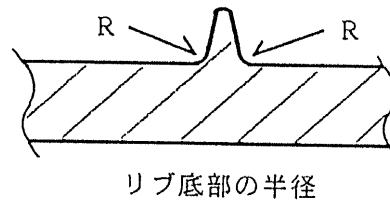


製品デザイン

安定した生産性を確保するためにはTPXに適した製品デザインを考慮することが大きなポイントとなります。製品デザイン上のチェック・ポイントについて説明します。

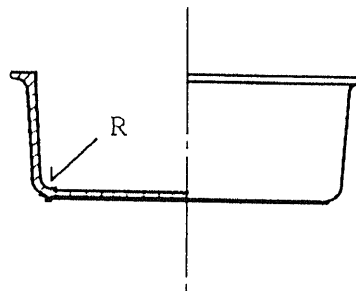
1. リブのRの付け方

リブの付け根のRは少なくとも0.5mm以上つけて下さい。このRが大きいほどシャープ・エッジの影響によるマイクロ・クラック、割れを防止することができて製品の強度が向上します。



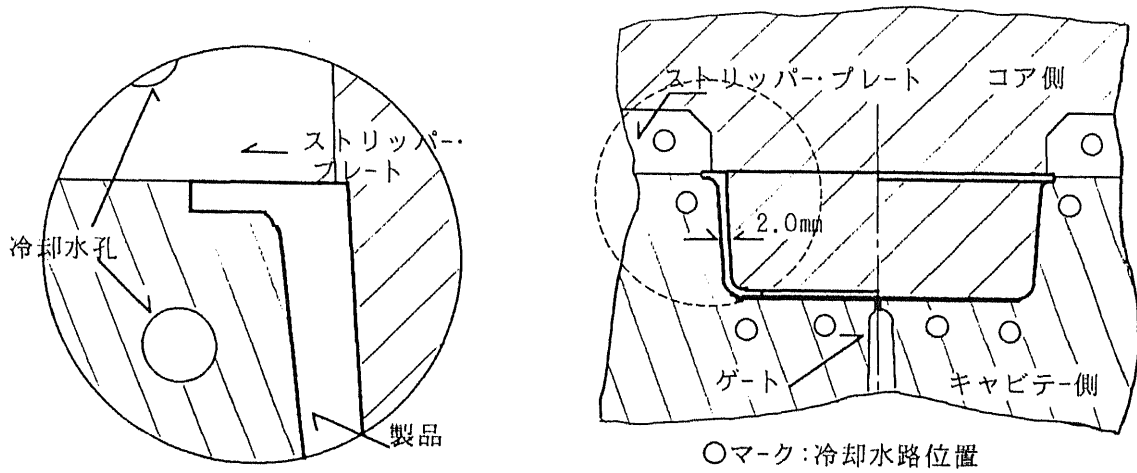
2. 製品底部の形状

容器状製品の底部のRはできるだけ大きくします。



3. フランジ部のデザイン

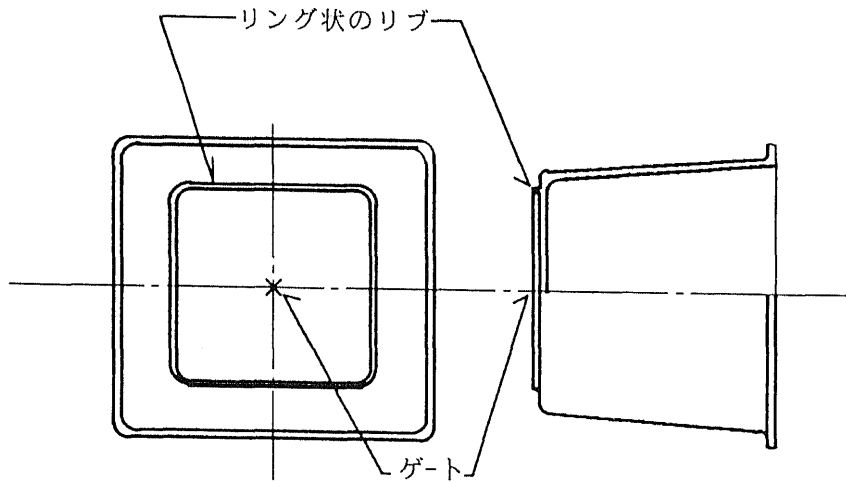
製品にフランジ部があるデザインでは、フランジ部の肉厚は製品の側壁部分の肉厚と同じになるようにして下さい。特にフランジ部分の肉厚が製品の側壁部肉厚より薄い場合には肉厚部の冷却を十分にして下さい。



4. ゲート部の強度向上

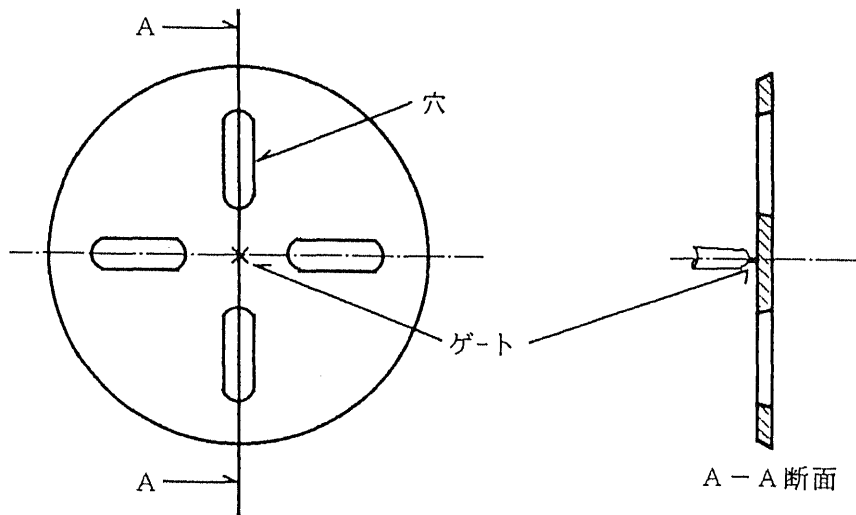
ゲート部の強度を向上するためにゲート周辺にリブを設けるとゲートへの直接衝撃を避けることができます。

リブのデザイン例



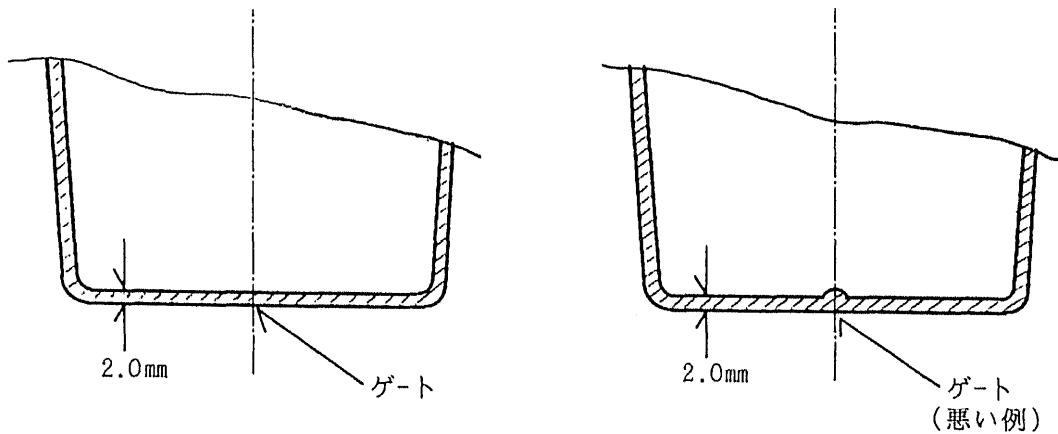
5. ウエルド・ライン

ゲート付近及びエッジ付近に穴があるようなデザインの場合にはウエルド・ラインを生じるので注意が必要です。穴のデザインとしては下図に示すようにゲート部から充填される樹脂がスムーズに流れるようなデザインにするとウエルド・ラインが目立ち難くなります。又、離型性を良好にするために抜き勾配を少なくとも 2° 以上にして下さい。



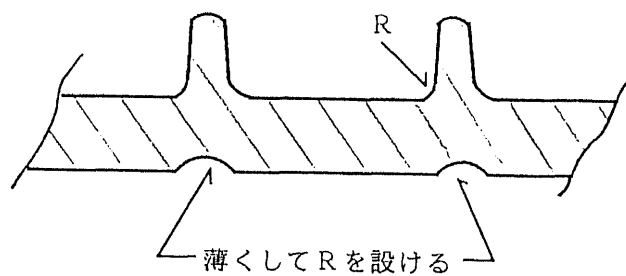
6. 製品肉厚

TPXは流動性に優れる為に小型の製品の場合には、製品肉厚が1mm以下でも成形が可能です。一般的に流動性の悪い樹脂の場合にはゲート部の肉厚を厚くすることがありますが、逆にTPXの場合にはゲート付近に残留歪が発生し、ゲート・クラックやひけを生じる恐れがあります。



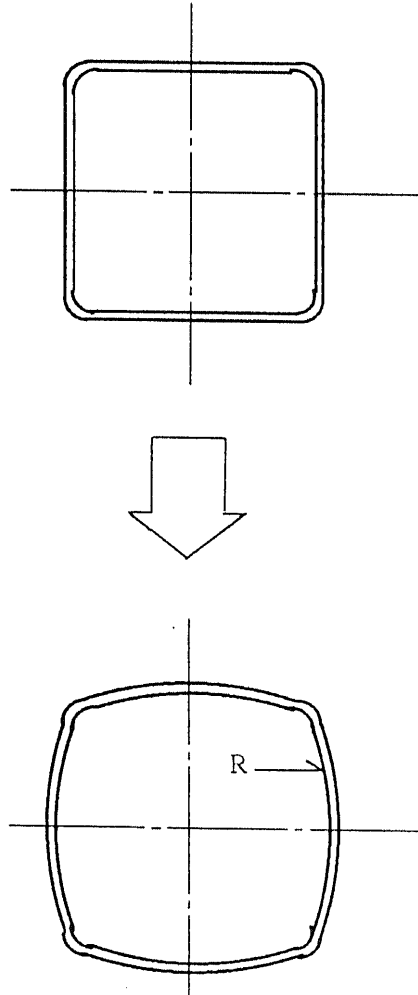
7. リブのヒケ

リブのある製品で、その反対面にヒケが目立つ場合には、リブの反対側にRを付けヒケが目立たないようにする方法もあります。



8. 内反り

角型容器状製品の底部のR（コーナー）はデザイン上可能な限り大きくとって下さい。20 mm以上の高さの容器では側壁部分の内ぞり防止に役立ちます。又、下図に示すように、側壁部分のデザインに大きなRをとることによっても内ぞりが改善されます。



金型設計上での留意点

TPX用金型と他樹脂用金型で大きく異なる点はゲート、冷却、金型の表面仕上げ、成形収縮率等がありそれぞれの注意点について述べます。

ピン・ゲートの必要性

ゲートにはサイド、ダイレクト、フィルム・ゲート等があります。特に、ダイレクト・ゲートのようにゲート径の大きいものは、圧力損失が少な射出圧力が直接キャビテーに伝えられるメリットがあります。その反面、ゲートが固化するまでの時間が長く、その間保持圧力により樹脂が必要以上にゲート部に充填され、ゲート部の歪が大きくなる問題があります。TPXはゲート部に歪を残すと経時（ヒート・サイクル）によりクラックを発生する可能性があります。又、TPXは熔融粘度が低く流動性に富むためにそれほど大きなゲートを必要としません。TPXにはピン・ゲートが最適です。

金型冷却の必要性

TPXはオレフィン系のポリマーであり、他の非晶性樹脂に比べて収縮率が大きく、製品肉厚部と薄肉部での冷却差が大きいと歪を生じて変形やクラックの原因となります。このために良好な製品を得るには樹脂の持っている熱量を十分に奪えるバランスのとれた冷却水路が必要です。

金型の表面仕上げ

TPXは熔融粘度が低いために金型表面の転写性が極めて良く、金型の微細な傷も拾いやすい性質を持っています。従って、特に透明性を重視される場合には金型の仕上げを十分に（鏡面）に行う必要があります。

収縮率

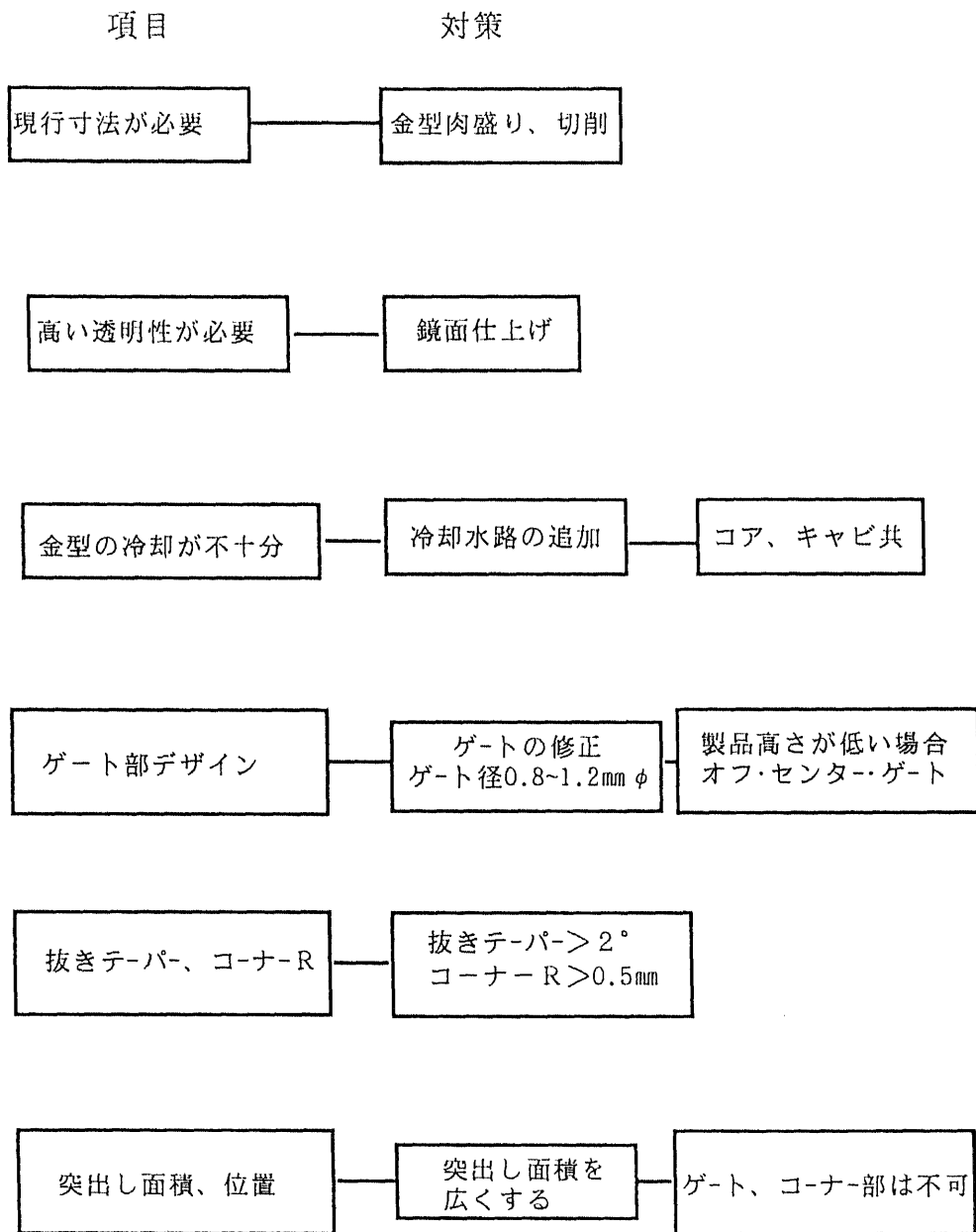
TPXで浅物の製品をセンター・ゲートで成形すると製品に反りが発生することがあります。これは、流れ方向とその直角方向の収縮率の違いから起こるものと考えられます。従って、浅物の製品ではオフ・センター・ゲートとする必要があります。TPXの場合、通常金型設計は収縮率 18/1000 で設計し、その後、微調整する方法がとられています。

アンダー・カット

TPXのアンダー・カットの無理抜きは非常に小さく、0.2 mmが限度です。

しかし、金型温度を高くしたり、或はTPXの中剛性銘柄を選択することで、ある程度のアンダー・カットができます。

他樹脂用金型をTPX用に転用する場合の留意点



射出成形機の停止時の処置

射出成形機を30分以上停止する場合には樹脂の分解を最小限に押えるためにシリンダー温度を一旦260～280℃まで下げて下さい。電源を切る場合も同様にシリンダー温度の設定を260～280℃にして停止して下さい。又、1時間以上停止して再スタートする場合に、パージ樹脂が飛散することがありますので十分注意して下さい。

TPXの樹脂替え

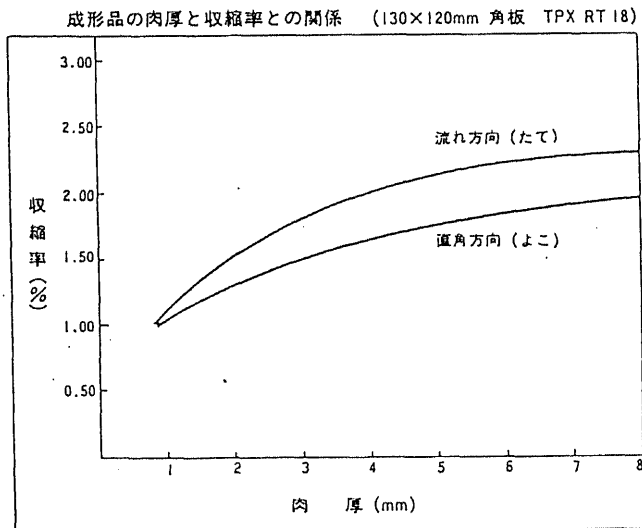
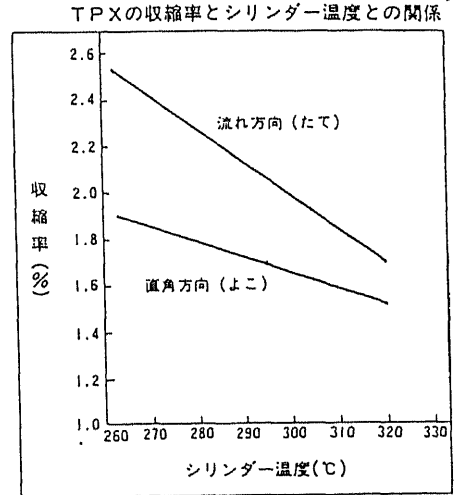
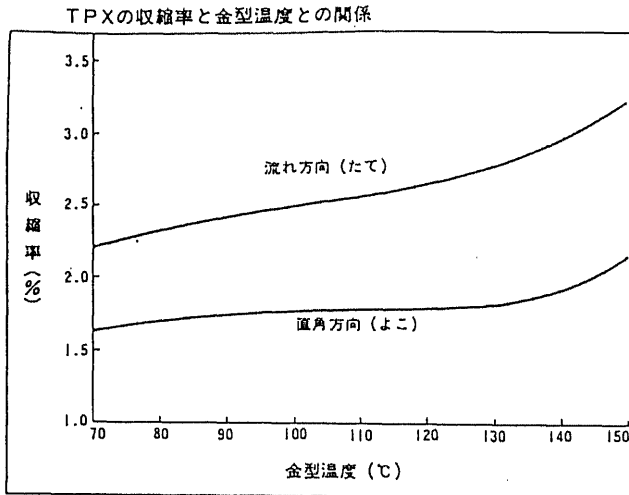
TPXの射出成形では、シリンダー内に他樹脂が少量でも残っていると

TPXの透明性が著しく低下します。そのために透明性を要求される製品では、成形機シリンダー内に残っている他樹脂を完全に置換する必要があります。TPXは熔融時の粘度が低く熔融粘度の高い樹脂（例 ポリカーボネート）からの樹脂替えには多量の樹脂を必要とします。樹脂替えを効果的に行うために、まず低MFRのPPで置換し、その後にTPXで樹脂替えすることをお勧めます。

射出成形条件と成形品の物性

成形収縮率

TPX射出成形品の成形収縮率は製品形状、製品肉厚、シリンダー温度、射出速度、射出圧力、金型温度等の成形条件により大幅に変わります。その中で成形収縮率に対する金型温度、シリンダー温度及び肉厚の影響を下図に示します。



注 1) 金型温度：65℃

注 2) 角板肉厚に応じて成形サイクルを変更しています。

TPX射出成形時のトラブル・シューティング

問題点	現象	原因	理由	対策
透明不良	白色筋状の曇り 白濁	他樹脂の混入	屈折率の異なる樹脂の混入による白濁	シリンダー内のクリーニング
	曇り 光沢不良	金型の磨き不良	型表面の転写	金型仕上げを十分に行う
		ガス抜き不良	金型表面へのガスの凝集	ガス抜きの設置 (2/100mm)
		金型の汚れ		金型表面を適宜磨く
		金型表面の錆		錆び難い材質への変更 メッキの施工
		離型剤塗布量が多い	離型剤が金型表面を曇らせる	離型剤塗布量の減少 離型剤の種類の変更
		成形温度が低すぎる		成形温度の上げる (290~300℃)
		金型温度が低い	露結	金型温度の上げる (20~60)
離型不良	コアからの離型不良	製品の抜き勾配の不足		適切な抜き勾配の設置 (2° 以上)
		エジェクター面積不足、位置不良		エジェクター面積を追加する
		冷却不足	剛性不足による離型不良	冷却時間を長くする
				金型温度を下げる
				製品重量を重くする a. 射出速度を遅くする b. 樹脂温度を下げる c. 計量を増やす
	金型への密着	製品と金型間の真空密着	エア・エジェクターの設置	
	キャビティからの離型不良	製品の抜き勾配不足		適切な抜き勾配を設ける (2° 以上)
		金型内への樹脂の過充填 (射出圧、保圧過多)	過充填により収縮率が小さくなり製品がキャビティに残る	キャビティ温度を下げる (コア温度を下げる)
製品重量を軽くする a. 射出圧を下げる b. 保圧時間を短く c. 計量を減らす d. 樹脂温度を下げる				

問題点	現象	原因	理由	対策
気泡	製品内部の気泡	真空泡	製品肉厚が厚すぎる (5mm以上)	肉ぬすみをする 冷却時間を短くして製品が熱いうちに取り出す
			金型温度が低すぎる	金型温度を上げる
			成形温度が高い	成形温度を下げる
			保圧時間が短すぎる	保圧時間を長くする(圧力は低く)
		金型内での空気の巻き込み	肉厚が均一でない	肉厚を均一にする
			成形温度が高すぎる	成形温度を下げる
			金型温度が高すぎる	金型温度を下げる
			射出速度が速すぎる	射出速度を遅くする
			ガス抜きが不十分	ガス抜きを設置する
クラック	ゲート周辺に発生する 微小クラック	ゲート付近の配向	ゲート形状が不適切	ピン・ゲートに変更する
			成形温度が低い	成形温度を上げる
			保圧時間が長すぎる	保圧時間を短くする
			保圧が高すぎる	保圧を下げる
			金型温度が低すぎる	金型温度を下げる
	コーナー部の微小 クラック	コーナー部のノッチ効果 離型不良による微小クラック	コーナー部が鋭角である 離型時コーナー部に応力がかかる	コーナー部にRを設ける(0.5mm以上) 離型の改良(離型不良の項参照)
製品表面の不良	局部的に発生する模様	コールド・スラグ	ノズル付近の固化物の混入	ノズルの温度を上げる
	製品のゲートから放射 状にすじが発生する	シルバー(銀状)	ガスの巻き込み	射出速度を下げる サックパックを小さくする
			樹脂の劣化	成形温度を下げる
			水分の混入	原料を乾燥する
	製品表面の傷		金型温度が高すぎる	金型温度を下げる
			製品取り出し時の温度が高すぎる	冷却時間を長くする
			冷却時間が長すぎる	冷却時間を短くする
金型に傷がある			金型を研磨する	

問題点	現象	原因	理由	対策	
焼け	製品全体に発生	シリンダー内での樹脂劣化	シリンダー温度が高すぎる	シリンダー温度を下げる	
			成形機の射出容量が大きすぎる	適切な射出容量の成形機に変更（製品の1.3～1.5倍の射出容量の成形機）	
	製品端部に発生	金型内の空気、ガスの断熱圧縮によるガス焼け	ガスの抜けが悪い	適切なガス抜きを設置	
			シリンダー温度が高すぎる	シリンダー温度を下げる	
			金型温度が高すぎる	金型温度を下げる	
			射出速度が速すぎる	射出速度を下げる	
反り 捻じれ	製品の変形	製品デザイン不良	ゲート位置不適切による収縮率の異方性	ゲート位置をセンターからオフ・センターへ変更する	
			不均一肉厚による製品の変形	均一肉厚のデザインに変更する	
		収縮率のタテ、ヨコの異方性	シリンダー温度が低すぎる	シリンダー温度を上げる	
			射出速度が速すぎる	射出速度を遅くする	
	金型温度が高すぎる		金型温度を低くする		
	射出圧力が高すぎる		射出圧力を下げる		
	ヒケ	収縮	製品内の不均一な収縮	リブの収縮によるヒケ	均一肉厚とする
				取り出し製品が熱い	冷却水路の変更及び冷却能力を増強する
射出速度が遅すぎる				射出速度を速くする	
製品の肉厚が厚い				肉ぬすみをする	