

Femtetメールマガジン
2025/8/28号コラム

CAE初心者が挑むFemtetによる機構要素技術確立 第4回

樹脂射出成形用金型の構造解析

CAE解析ソフトウェア  **femtet** (フェムテット)

muRata
ムラタソフトウェア株式会社

CAE



目的

樹脂射出成形では金型に樹脂を注入し、保持する際に高圧負荷が掛かり、型締力が弱いと金型の合わせ面：パーティングライン（以降PL）が開くことで樹脂が漏れ出し、射出成形品に*バリが発生する。金型強度が弱く、成形圧力に耐えられない場合もPLが開くことで同様に*バリが発生する。このような現象を成形現場では「金型が息をしている（Breathing）」と言う。対策としては、（1）型締力が強い射出成形機に変更（2）金型合わせ面の修正（圧力均一化）（3）金型寸法変更等であるが、全対策がコストアップになる。特に、（3）は金型再製作となる為、大問題になり得る。そこで、設計構想用の金型構造解析を実施する。

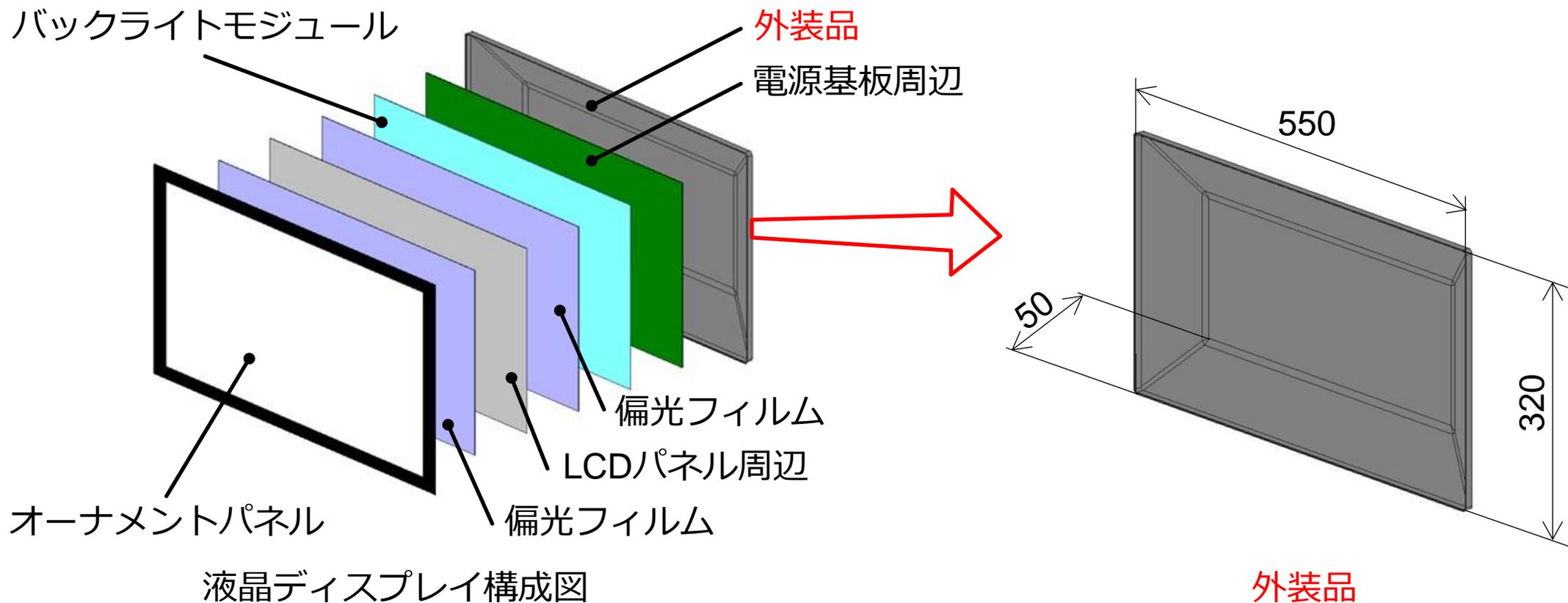


出典<[insert_04.jpg \(600×400\)](#)>

射出成形品

射出成形機仕様及び金型仕様を決定する為、射出成形品仕様を明確にする。対象は液晶ディスプレイで使用する外装品とする。

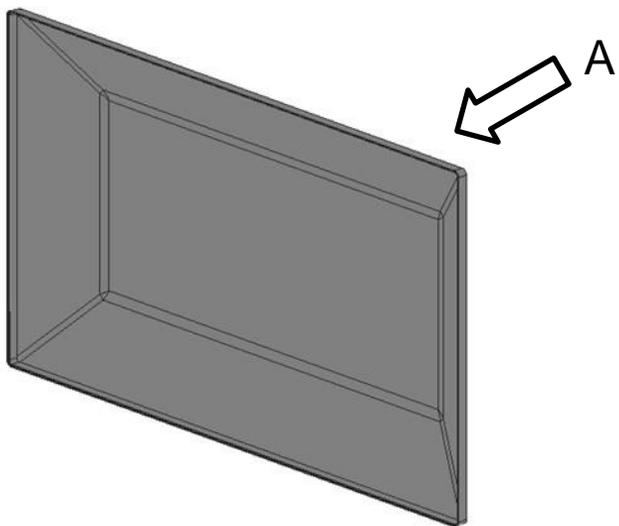
- 材料：PC（ポリカーボネート）樹脂
- 一般肉厚（mm）：t2
- サイズ（mm）：W 550、H 320、D 50



射出成形機仕様及び外装品仕様

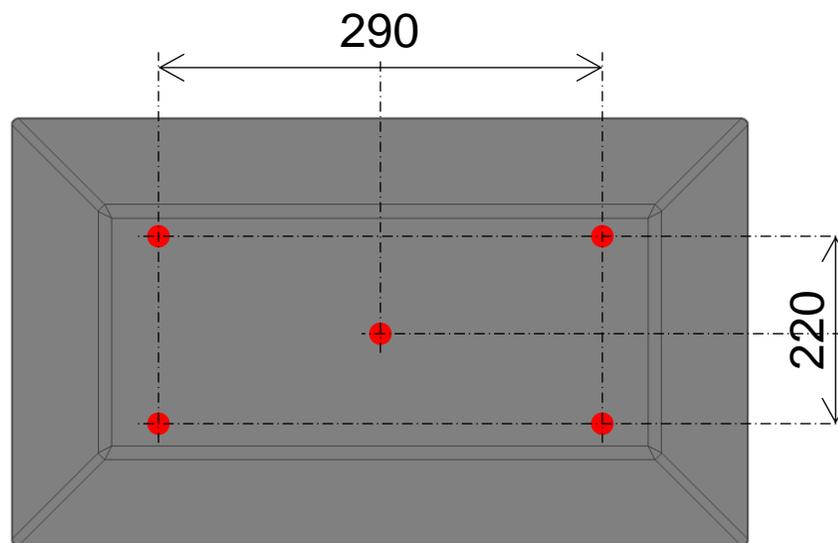
射出成形機仕様は、成形機の大きさ「W（幅）x H（高さ）x L（長さ）」ではなく、型締力により決定する。その型締力は以下の式から計算できる。又、流動性の計算結果からゲート数やゲート箇所も同時に決定する。尚、Runner Typeは環境を考慮し、廃材レスのFull Hot Runner方式とする。

- 型締力（F） = 製品投影面積（A） x 金型面内圧力（P） x 安全率（1.5：成形時余力・長期信頼性等）
A：55 x 32 = 1760（cm²）、P：500（kgf / cm²）時のF：132（ton）⇒ **成形機サイズ：150（ton）**
- 最大射出圧力：100MPa時の最小流動比を100とすると、一般肉厚：2 mm時の最大流れ距離（流動長）は200 mmになる。これにより、ゲート数：5、ゲート箇所は下図とする。
(バリ/ランナータイプ/射出成形機/流動比・金型面内圧力は、補足（1）～補足（4）を参照のこと)



アイソメトリック図

- ゲート
最大流れ距離
：150以下



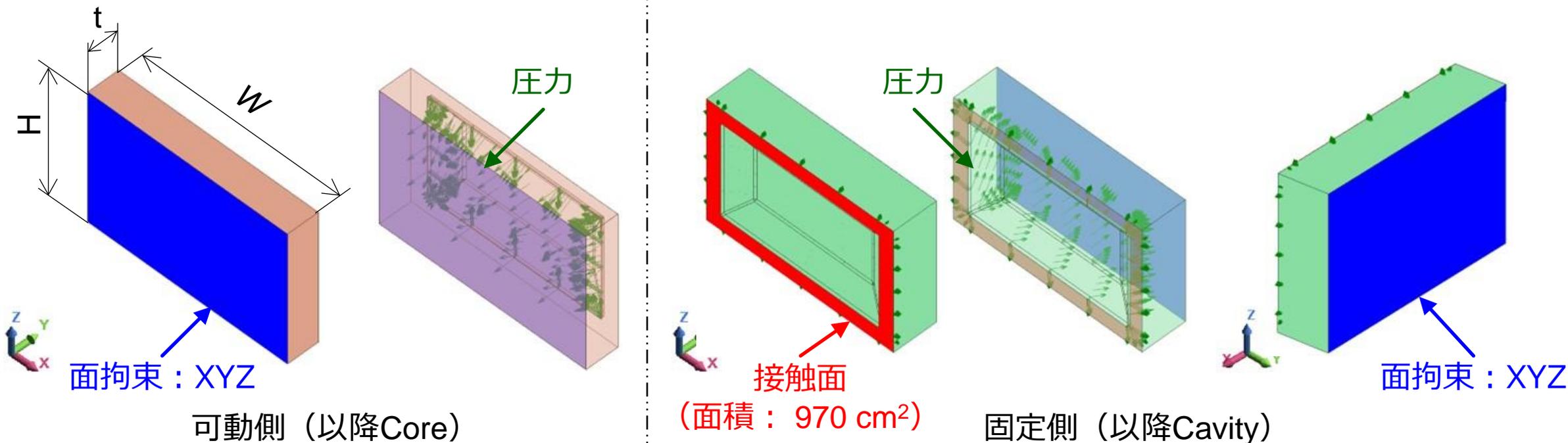
<A（Free Scale）>

解析モデル

成形機型締力と金型面内圧力を決定したので、以下の解析条件で構造解析を行う。金型寸法は補足(2)に記載の成形機仕様から決定する。尚、パラメータは金型板厚・縦横寸法とし、金型面内圧力を変数とする。

【品質基準】PL開き(以降、PL変位) : Max. 30 μ m、最大主応力 : 650 MPa、最大接触面圧力 : 15.2 MPa
「最大接触面圧力 = 成形機型締力 / 接触面積」の為、150 ton / 970 cm² = 154.6 kgf / cm² (15.2 MPa) となる。

- 解析ソルバ : 応力解析、解析タイプ : 静解析 (接触解析、パラメトリック解析)
- 金型【材料 : S55C (E : 202 GPa、 ν : 0.27)、板厚 (t) : 250 mm、450 mm、W : 650、H : 420】
- 荷重条件 : 製品部 (緑色部) へ圧力【50 MPa、100 MPa、150 MPa】
- 拘束条件 : 金型側面 (青色部) を固定【XYZの変位拘束】



金型板厚違いによる金型面内圧力：50 MPa時のPL変位と接触面圧力

厚い金型は薄い金型に比べてPL変位が大きい。同一歪（ ε ）の場合、拘束面と荷重面との距離（ l ）が長いと、変位（ λ ）は大きくなることから解る。（ $\lambda = \varepsilon \cdot l$ ）尚、最大主応力は650 MPa以下で同等の為、省略する。

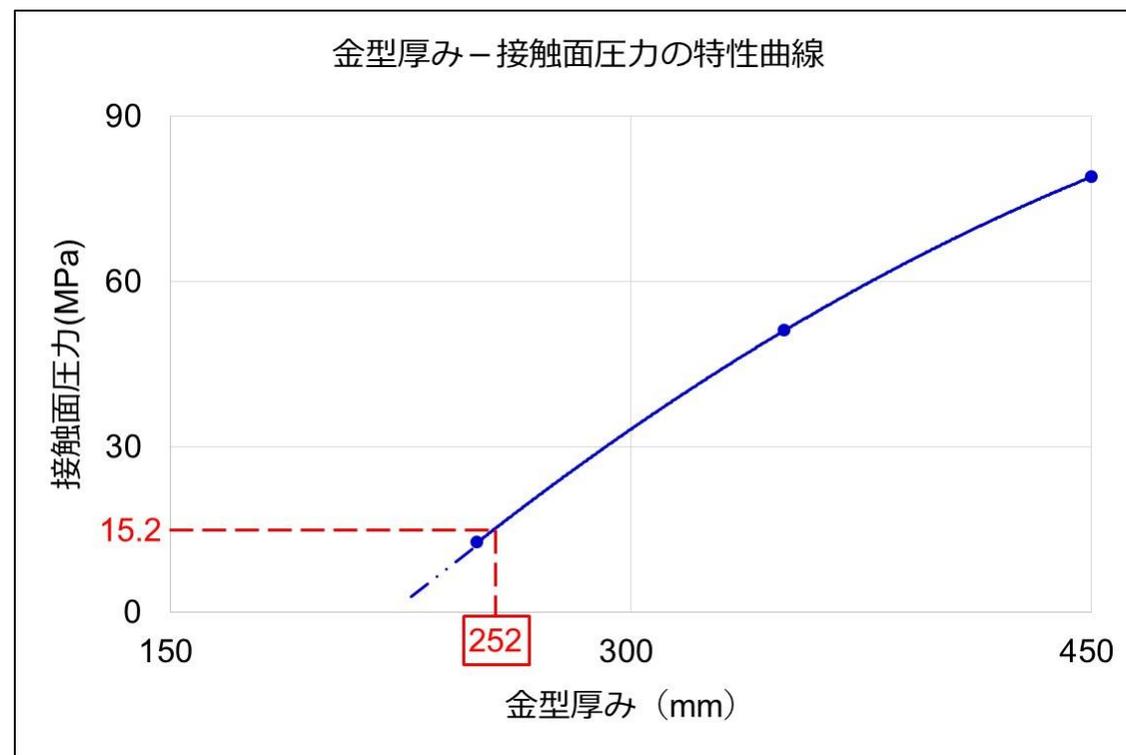
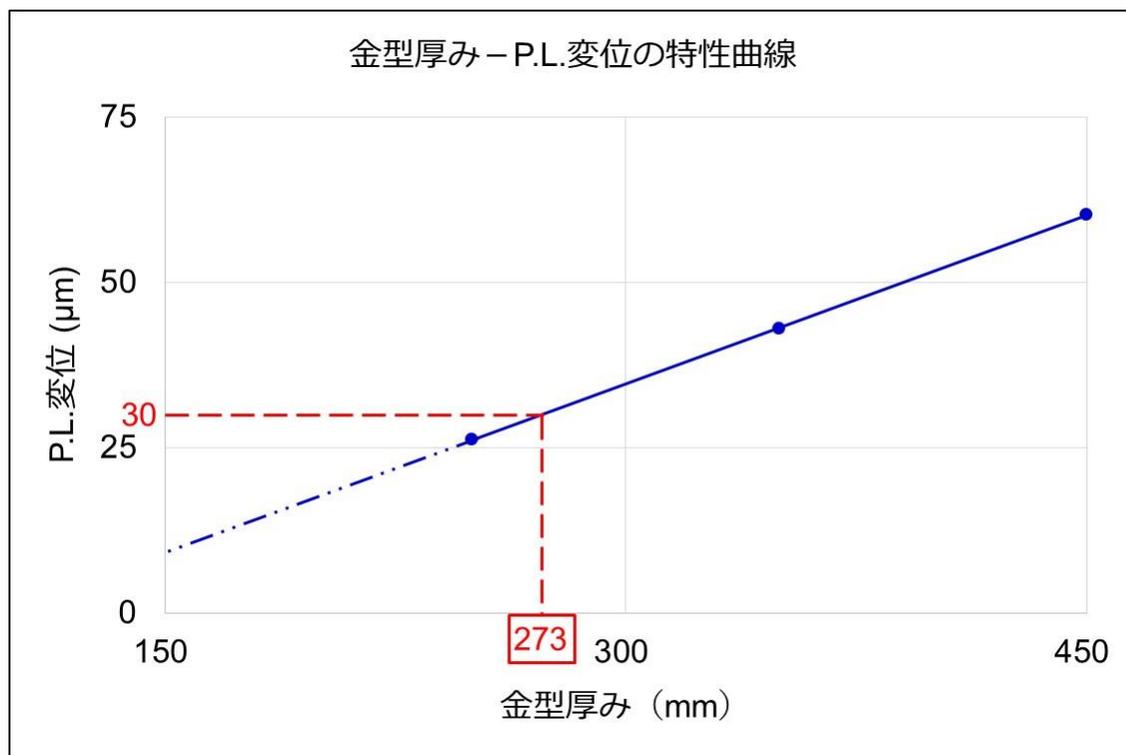
金型板厚（250 mm vs. 450 mm）違いによるPL変位と接触面圧力

金型板厚	250 mm		450 mm	
金型構成	Core	Cavity	Core	Cavity
Y方向変位 コンター図				
PL変位 (μm)	26 < 30		60 > 30	
接触面圧力 (MPa)	12.7 < 15.2		13.1 < 15.2	

金型板厚違いによる金型面内圧力：50 MPa時のPL変位と接触面圧力

金型面内圧力が一定の場合、金型が厚い程、PL変位は大きくなり、接触面圧力も大きくなることが解る。又、最大接触面圧力は15.2 MPaの為、金型厚みは252 mm以下となる。以上から、設定した金型材料：S55Cにおける金型板厚は最小板厚の250 mmが最適ということになる。次に金型サイズ違いの解析を行う。

金型板厚違いによるPL変位と接触面圧力



金型サイズ違いによる金型面内圧力：50 MPa時のPL変位と接触面圧力（W：600～700、H：370～470）

金型サイズを大きくすれば、応力が緩和される為、PL変位は小さくなる。しかし、CavityとCoreの接触面積も増える為、品質基準の接触面圧力を超えてしまう。本結果から、W：650、H：420が最適サイズになる。尚、接触面圧力の品質基準を超えている金型サイズ③については、「結論」にて考察する。

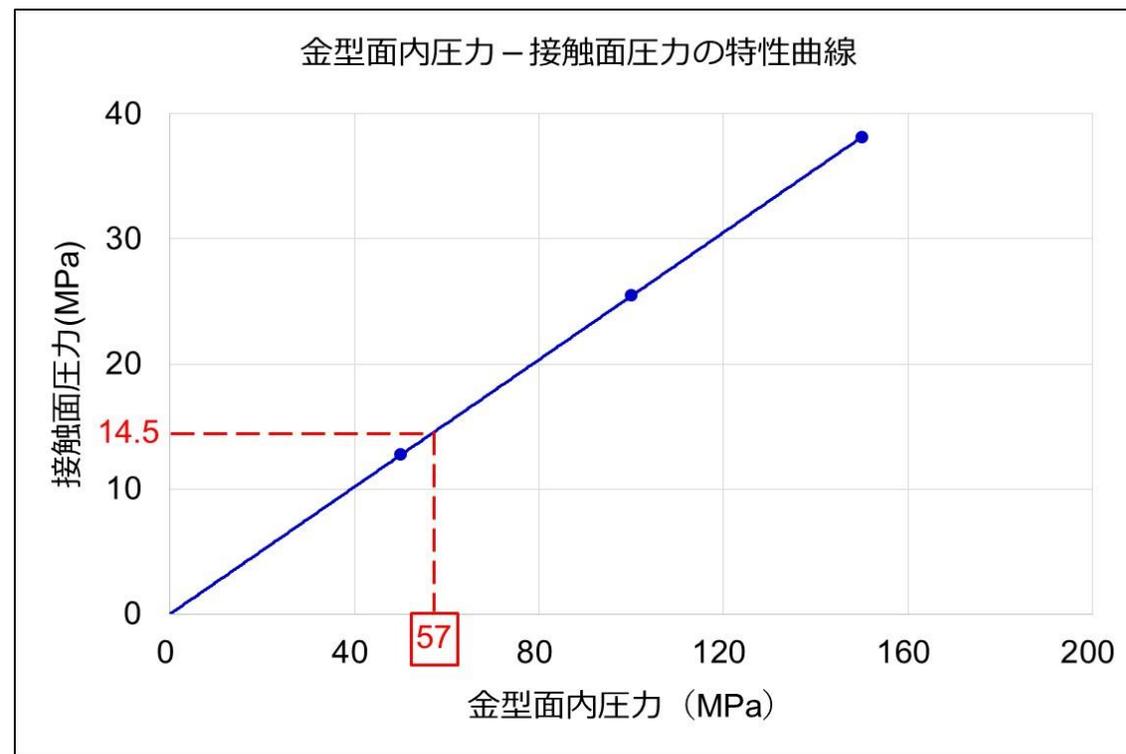
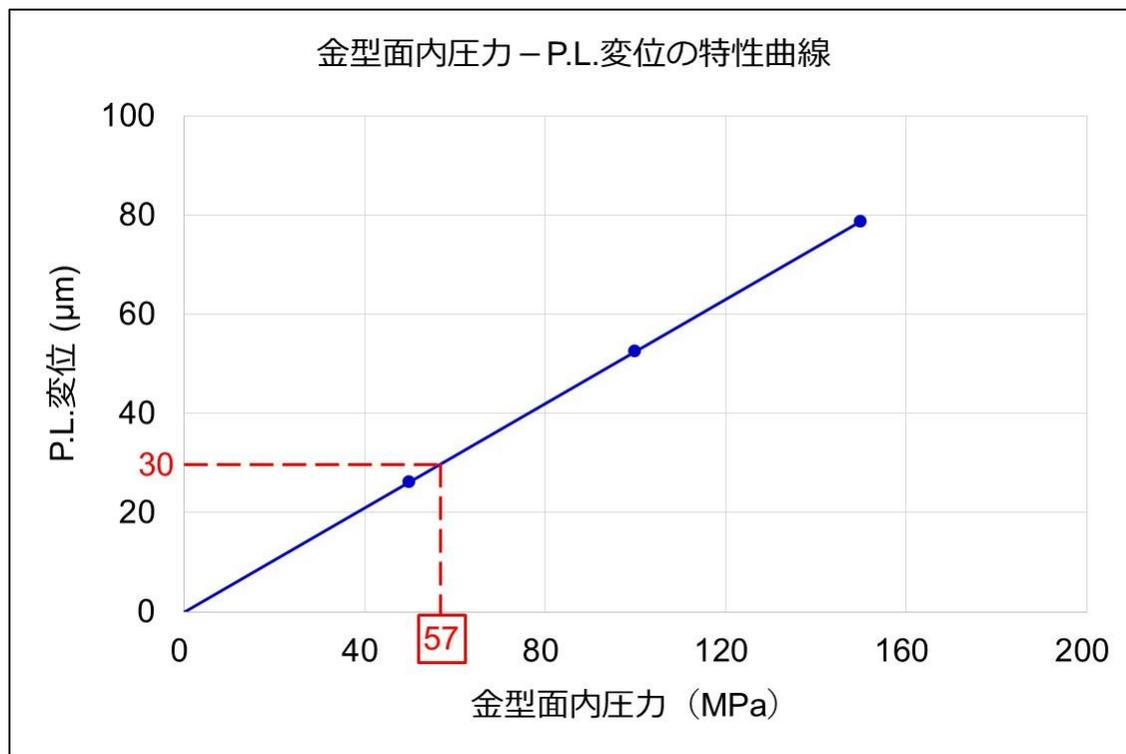
金型サイズ違いによるPL変位と接触面圧力

金型サイズ (mm)	①W：600、H：370	②W：650、H：420	③W：700、H：470
Y方向変位 コンター図			
PL変位 (μm)	38 > 30	26 < 30	22 < 30
接触面圧力 (MPa)	16.9 < 32.0	12.7 < 15.2	10.4 > 9.6

金型面内圧力違いによるPL変位と接触面圧力

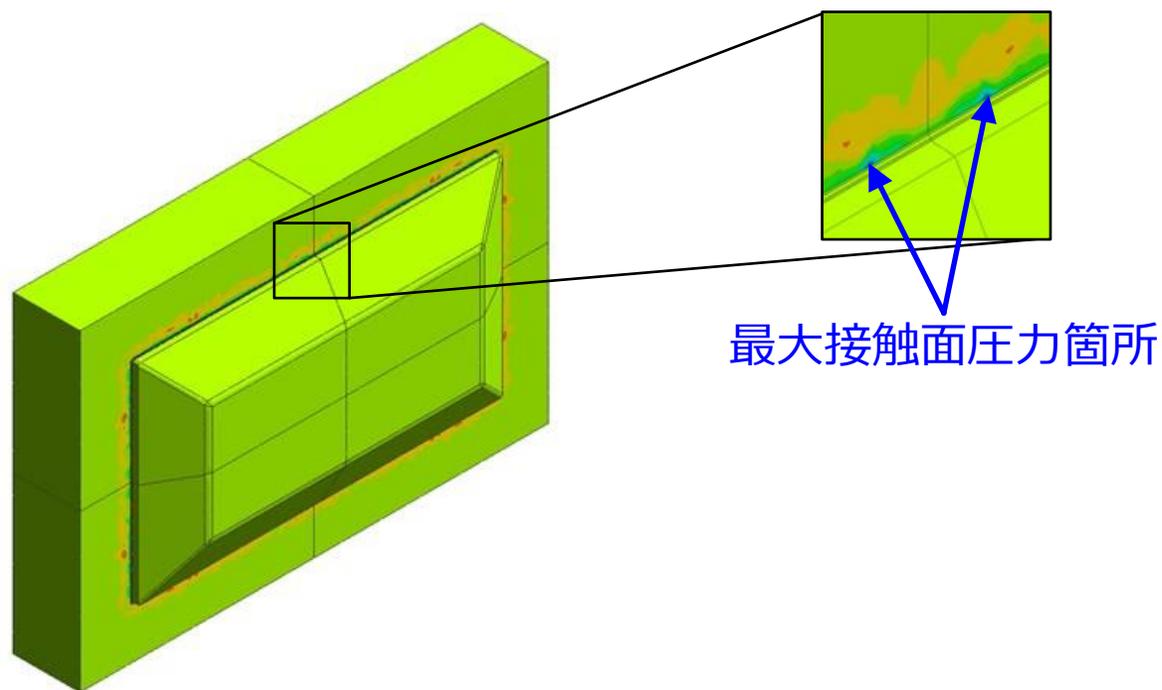
金型面内圧力が大きくなる程、PL変位・接触面圧力は比例関係で増えていく。（下グラフを参照のこと）
そして、金型面内圧力が57 MPa以下であれば、PL変位は30 μ m以下、接触面圧力は14.5 MPa以下となり、品質基準の15.2 MPa以下を満足する。尚、PL変位を肉眼では見えないと言われている20 μ m以下にしたい場合は、金型面内圧力を38 MPa以下に抑える必要がある。

金型面内圧力違いによるPL変位と接触面圧力



結論

射出成形時のPL変位は、金型板厚を増すと大きくなり、金型サイズを増すと小さくなることが解った。又、接触面圧力の値から、理論計算による型締力の確からしさを見極めることができる。尚、今回は射出圧を100 MPa、その50%を平均金型面内圧力として計算したが、実際には射出圧と保圧により、金型面内圧力は変わるので、樹脂流動解析等と組み合わせて解析すれば、より実機結果に近づくと考えられる。



金型サイズ③の接触面圧力 (Core)

★金型サイズ③の接触面圧力について

最大接触面圧力が面全体に掛かっているとして、型締力：150 tonを超えると仮定したが、左図のように一部箇所のみが基準接触面圧力を超えている場合は、150 tonを超えない可能性が高い。当結果から、試作型を作製してデータ収集することも併せて行うことで、当形状より安全率の高い設計が可能になるだろう。

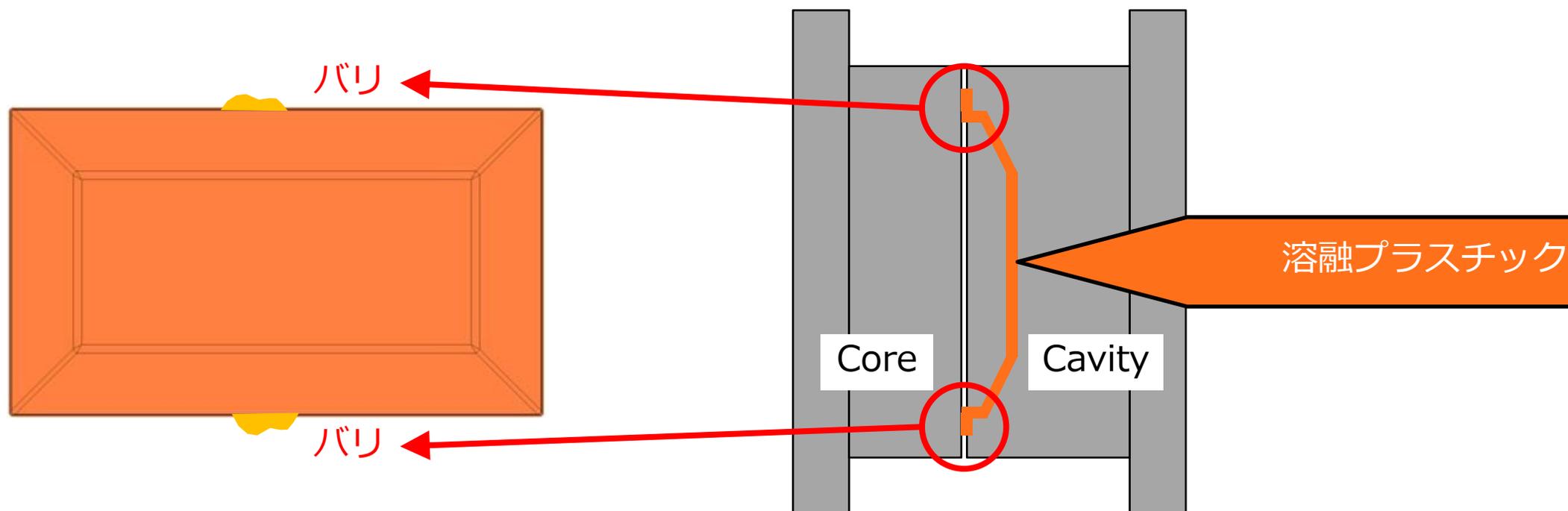
接触面圧力が品質基準の閾値を超えると、PLが開き、バリが発生する。これを放置した場合、金型摩耗を加速させ、金型寿命が短くなる為、指標としている。

(詳細は補足 (1) を参照のこと)

補足 (1)

● バリ (Flash)

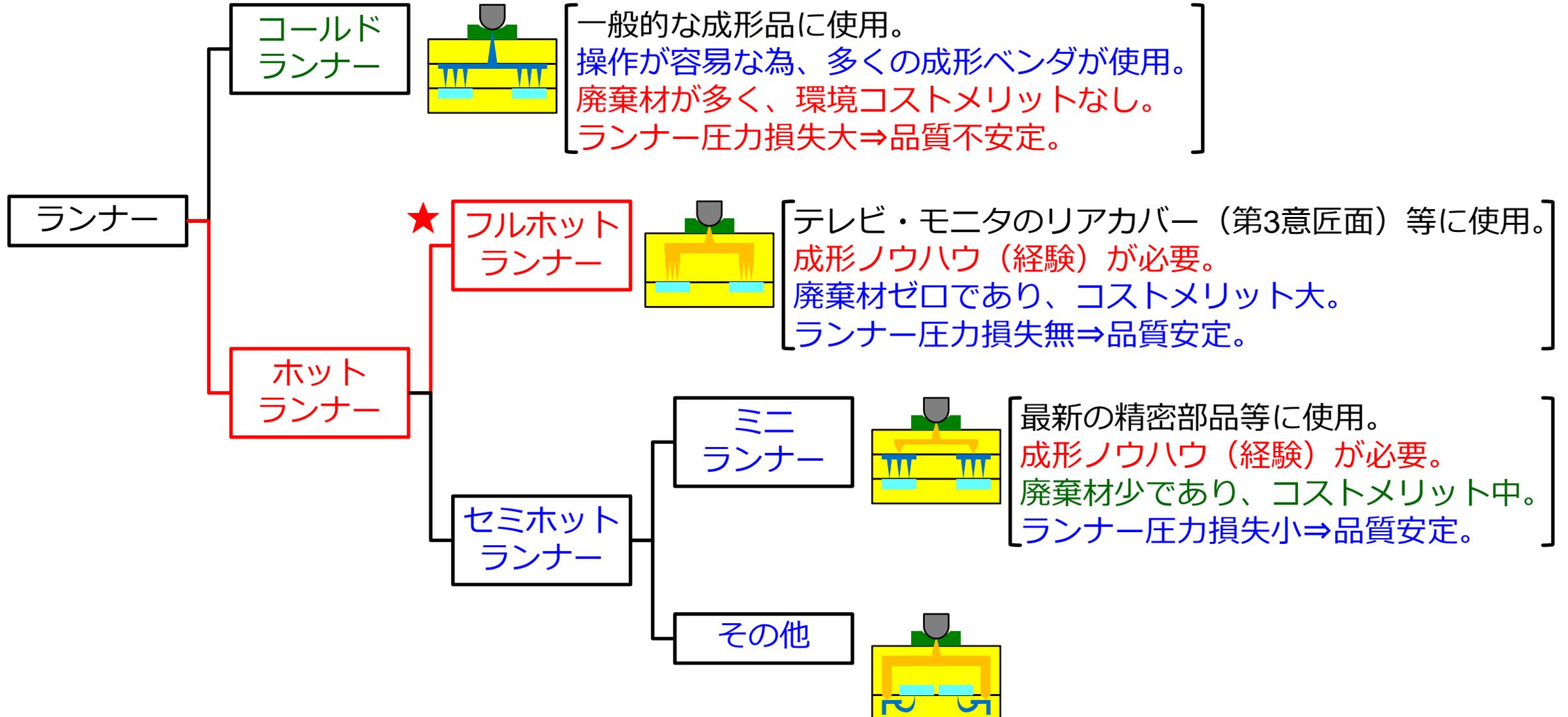
射出成形品でよく見られる不良のひとつに、「バリ」がある。このバリとは、金型の合わせ面やCore側の隙間から溶融樹脂が漏れ出し、意図しない薄い膜状の突起として成形品に付着する現象である。製品品質や外観に大きく影響するバリは、放置すると後工程での手直しコストや納期遅延につながるリスクだけでなく、金型摩耗を加速させ、金型寿命を短くする原因にもなる為、見逃せない問題である。



バリ概略図 (PL面)

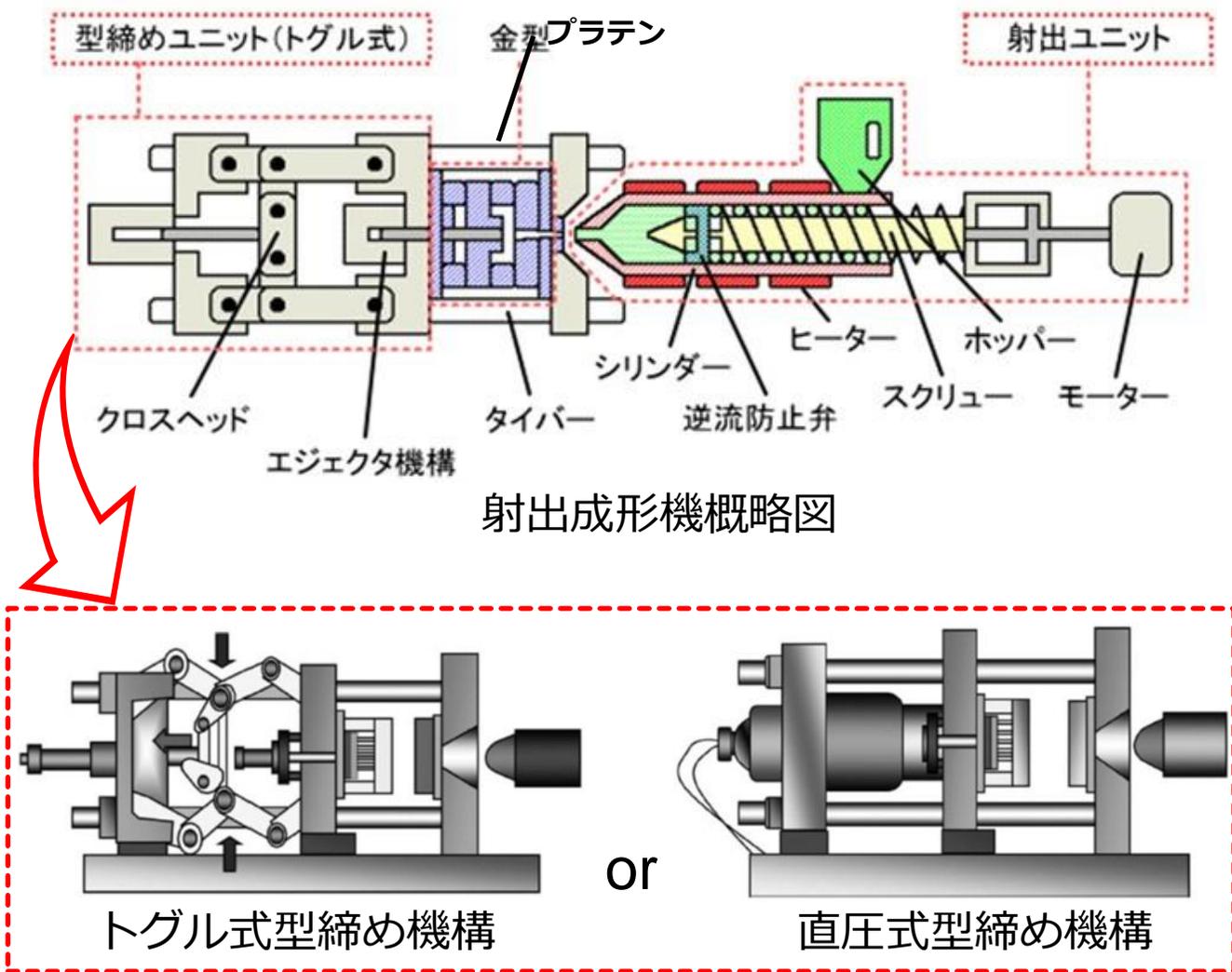
補足 (2)

ランナータイプ (コールドランナー・ホットランナー)



補足 (3)

● 射出成形機



例) 成形機仕様 (一部を抜粋)

比較項目	単位	成形機能力
型締め力 (型締め方式)	kN	1472 (ロッキング直圧)
タイバー間隔 (W x L)	mm	560 x 520
プラテン寸法 (W x L)	mm	720 x 680
デイト (型開寸法)	mm	900
最小/最大 金型板厚	mm	250 / 600
最大射出圧力	MPa	240/220/210
駆動方式		電動ハイブリッド

出典<[shasyutsu-seikeiki-syuyokikobu.jpg \(800x355\)](#)><[FIG7-2-1024x288.jpg \(1024x288\)](#)>

補足 (4)

- 流動比 (出典を参照のこと)

<参考> 各材料の射出圧に対する流動比

材料	射出圧 (MPa)	流動比
PE (ポリエチレン)	60	100 - 140
PP (ポリプロピレン)	70	200 - 240
PS (ポリスチレン)	90	280 - 300
PA (ポリアミド)	90	200 - 260
PVC (塩化ビニル)	90	100 - 140
PC (ポリカーボネート)	90	90 - 130

- 金型面内圧力 (日刊工業の資料より)

<参考> 各材料の金型面内圧力 単位 (kgf/cm²)

材料	浅物	深物	小物精密品
PE、PP、PS、ABS	300	400	600
PVC、PC、POM、AS	400	500	800

流動比 (L/t) は、肉厚 (t) の金型内に樹脂が流れ得る長さの指標である。射出圧が高くなると、樹脂の押出力が強くなる為、同じ肉厚でも長く流れ易くなる。但し、流動距離は樹脂の粘度や温度、金型仕様によっても左右される為、単純に圧力に比例するわけではない。樹脂の流動は、一般的にハーゲン・ポアズイユ流れのように考えられて、流動長 (L) は射出圧 (P) の2乗根に比例する様な関係が近似的に成り立つ。

例) PC材、射出圧：90 MPa、流動比：90の場合、射出圧が100 MPa時の流動比は、下記式になる。

$$\text{射出圧が100 MPa時の流動比} : \frac{\sqrt{100}}{\sqrt{90}} \times 90 \approx 100$$

一般的に深さが20 mm以上は深物、10 mm以下は浅物になり、10~20 mmは中間的範囲になる。

$$\text{深物/浅物判別式} : \text{深さ} \div \sqrt{\text{投影面積}} \geq 0.1$$