

# プラスチック射出成形技術の合理化（第2報）

—成形条件とプロセスコントローラの一考察—

望月 政夫\* 中島 秀樹\*\*

## 1. 緒言

現在、成形用プラスチック材料は、汎用樹脂、エンジニアリングプラスチック（エンブラ）、スーパーエンブラ（特殊エンブラ）等があり、各々の材料のなかにも各々グレードがある。これらを合わせると、数万種類という膨大な数のプラスチックがあるといわれている。また、各々一つ一つに特性があり、成形条件も各々違っているのが現状である。そこでこれらのプラスチック材料による射出成形が、簡単な条件設定で対応ができるために、成形条件と品質の関係を明らかにし、射出成形技術の合理化の一助にしたい。

また、三次元座標測定機で得られる高精度データを利用することによって、一般成形機による高品質成形のための成形条件の把握等を目指したいと考えている。

本年度は、三大汎用樹脂及びエンブラ数種について試験を実施した。成形条件として主に加熱筒温度（成形温度）設定に主眼を置き、プロセスコントローラの設定値と実際測定値との係わり方を考慮して、成形温度と成形品品質との関係を得たので報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 成形材料

- (1) ポリプロピレン（PP） MB社製、一般タイプ  
ポリエチレン（高密度）（HDPE）AH社製、耐衝撃タイプ
- (3) ポリスチレン（PS） IM社製、一般タイプ
- (4) ポリカーボネイト（PC） MK社製、低粘度タイプ
- (5) ポリブチレンテレフタレート（PBT）TR社製、非強化タイプ
- (6) 変性ポリフェニレンエーテル（PPE） AK社製、良流動、難燃タイプ
- (7) ガラス入りポリエチレンテレフタレート（GPET）TG社製、非難燃タイプ

### 2.2 試験

#### 2.2.1 射出成形機用金型の略図と寸法測定結果

三次元座標測定機 PA-400A（㈱東京精密）を用いて、金型の寸法を測定した。

図1に金型（キャビティ）の概略図を示す。

#### 2.2.2 メルトフローレート

メルトフローインデックス P-01（㈱東洋精機製作所）を用いて、加熱筒温度（表1前部温度）と同じ温度設定で測定を行った。また、測定した樹脂は、エンブラ2種類（PC、PBT）について、荷重を6段階（2.16、3.61、5.00、6.31、7.59、10.0kg）に変化させた時のそれぞれのMFR値を測定した。

#### 2.2.3 射出成形

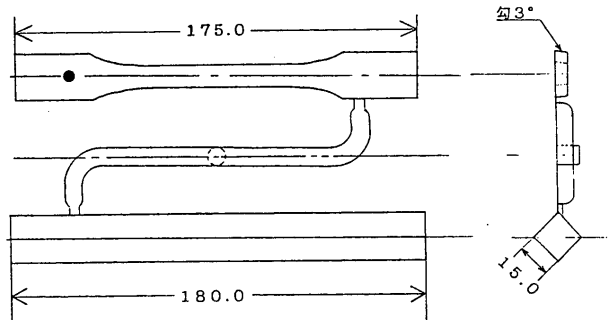
(1) 成形機：データ解析機能付射出成形機 FE80S12AS（日精樹脂工業㈱）型締力80TON、直圧式、インラインスクリー式。

(2) 射出成形試験の加熱筒温度設定

各種材料に指定された成形温度範囲を上下限帯温

\*繊維工業指導所

度として、各々の樹脂について4段階の温度を設定した。表1に示した値は、ノズル、前部、中部、後部の順になっている。



ノズル、前部、中部、後部の温度設定方法については第1報<sup>1)</sup>を参照。

図1 金型（キャビティ）の略図

樹脂	加熱筒温度 ℃			
	設定1	設定2	設定3	設定4
PP	190,190,185,180	200,200,195,190	210,210,205,200	230,230,225,220
HDPE	180,180,175,170	190,190,185,180	200,200,195,190	210,210,205,200
PS	200,200,195,190	210,210,205,200	220,220,215,210	230,230,225,220
PC	275,275,270,265	290,290,285,280	305,305,300,295	320,320,315,310
PBT	240,240,235,230	250,250,245,240	260,260,255,250	270,270,265,260
PPE	225,225,220,215	240,240,235,230	255,255,250,245	270,270,265,260
GPET	260,260,255,250	270,270,265,260	280,280,275,270	290,290,285,280

表1 樹脂と加熱筒温度

### (3) 成形条件の測定例

DLA（データ・ロガー・アナライザ-）を用いて、成形時における加熱筒温度、キャビティ内の圧力、射出圧力及びスクリー位置の測定を行った。キャビティ内圧力測定箇所は、図1の「」印のある箇所、内圧センサ-（ニレコ製）にて測定。

### 2.3 成形品の各種性能評価試験

2.2.3(2)の条件設定のもとで成形した試験片（ダンベル）を使用して、以下の試験測定を行った。

#### (1) 引張強度、曲げ強度

疲労試験機 EHF-ED-n-1-20L（㈱島津製作所）を用いて、引張、曲げ速度共に10mm/minにより行った。

#### (2) 硬度測定

ロックウェル硬度計 ARK-F1000（㈱アカシ）を用いて、汎用樹脂はR硬度、エンブラはM硬度により測定した。

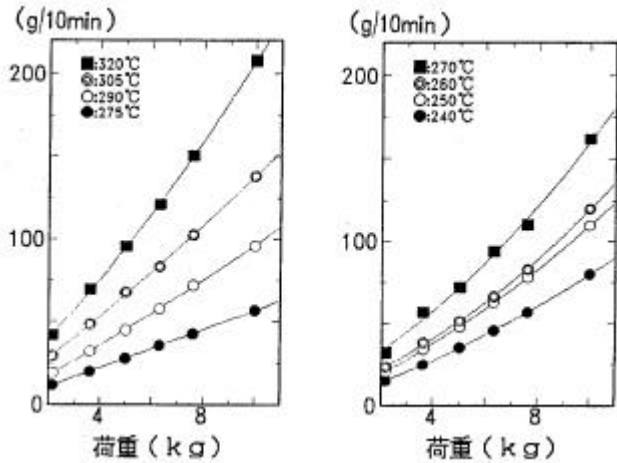
#### (3) ピカット軟化点温度

エンブラについて、熱変形試験機 S-3MEH（㈱東洋精機製作所）を用いて、120 /hの条件により、下限温度30より測定を開始した。

3. 結果及び考察

3.1 メルトフローレイト

それぞれの測定結果をグラフで示したのが図2, 3である。また、これらの曲線の回帰曲線を求めた結

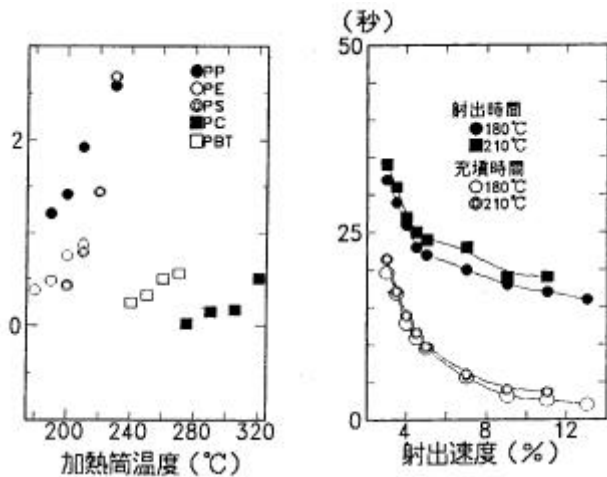


果、汎用樹脂と同じように<sup>1)</sup>2次関数で表されるのが分かった。

図2 PCのMFR曲線

図3 PBTのMFR曲線

図4は、3大汎用樹脂とエンブラのMFR曲線の2次係数を比較したものである。測定温度を高くした場合、PP, PSの値が特に急に大きく変化している。これらの樹脂は、温度変化にかなり左右され易い樹脂であるといえる。それに比べるとエンブラは、温



度変化に安定した樹脂であるといえる。

図4 MFR曲線の2次係数

図5 射出速度と充填、射出時間 (HDPE)

3.2 射出成形とプロセスコントローラの一考察

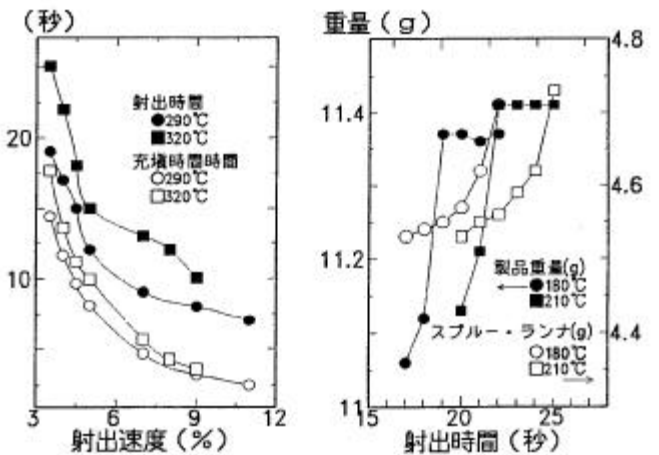
HDPEとPCを使用して、射出時間、充填時間、製品重量及びスプルー・ランナー重量との関係等を試験した結果を以下に示す。(1速2圧成形とする。保圧:HDPE60%, PC50% 型温:HDPE45, PC75)

(1) 図5, 6は、製品重量が一定になるようにした場合の、射出速度と射出時間、充填時間を示したものである。これらの図に示したように、射出速度を大きくすれば、射出時間、充填時間が減少する。ま

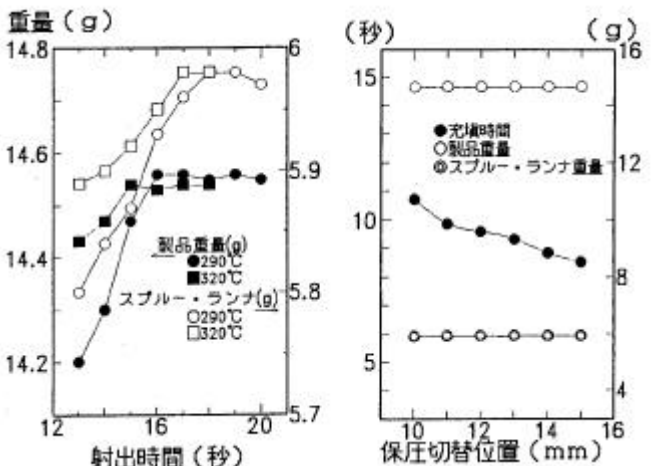
た、射出速度を大きく取ることによって、射出時間の短縮が得られるといえる。しかし、ある以上の射出速度を越すとジェットングのように、製品に対して何らかの悪影響が出て来るため、速度をあまり大きくすることはできない。

また、加熱筒温度による違いを見るため、HDPEは180, 210, PCは290, 320について試験を行った。図に示したように、射出速度が同じで、加熱筒温度が高くなれば、射出時間が大きくなるといえる。

HDPEの場合、それぞれの温度で一番外観の良い条



件を取り出してみた場合、2つの温度ともに、射出速度が7%で成形した製品が良かった。このことからこの時点では、180, 7%の射出速度で成形すれば、一



番効率が良いといえる。

図6 射出速度と充填、射出時間 (PC)

図7 射出時間と重量 (HDPE)

図8 射出時間と重量 (PC)

図9 保圧切替位置

(2) 図7, 8は、(1)で得られた、速度の中で製品の的外観が一番良好なものについて、射出速度 (HDPEで7%, PCで4%, 5%)を一定にし、射出時間(射出時間マイナス充填時間は保圧時間を表す)を変化させて、製品重量及びスプルー・ランナー重量の変化を見たものである。図に示したように、ある時間から製品重量がほぼ一定になり、それに対してスプルー・ランナーの重量がわずかであるが増加している。この変曲点のことをゲートシールと言う。ゲートが

固まってもうこれ以上射出時間（保圧時間）を増やしても無駄であり，すなわち，製品部分にはなんら影響を与えないという位置である。HDPEは，180 で19秒，210 で22秒，PCは290 で16秒，320 で15秒ぐらいが，ゲートシールである。これより，HDPEの場合180 ，射出速度7%，射出時間19秒が省エネの立場からも，良品を得る最善の成形条件だといえる。

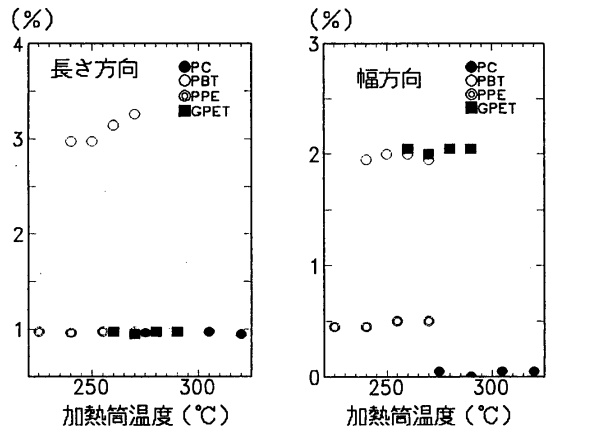
図9は，樹脂PCで，加熱筒温度320 ，ゲートシール条件である射出速度5%，射出時間15秒で，速度保圧切り換え位置を変化させた場合の充填時間と製品重量の関係を示したものである。速度保圧切り換え位置を変化させても，製品重量に対する影響は見られない。よって，320 における成形条件として充分であるといえる。したがって，射出速度，時間，速度保圧切り換え位置，保圧が決まれば，切り換え位置が変わっても，条件は一定であるといえる。

ここでいう速度，保圧は絶対値にたいする比率で表している。速度100%は，約125cm<sup>2</sup>/S，圧力100%は，約1860kg/cm<sup>2</sup>である。よって射出速度7%は9.8cm<sup>2</sup>/S，保圧60%は1116kg/cm<sup>2</sup>である。

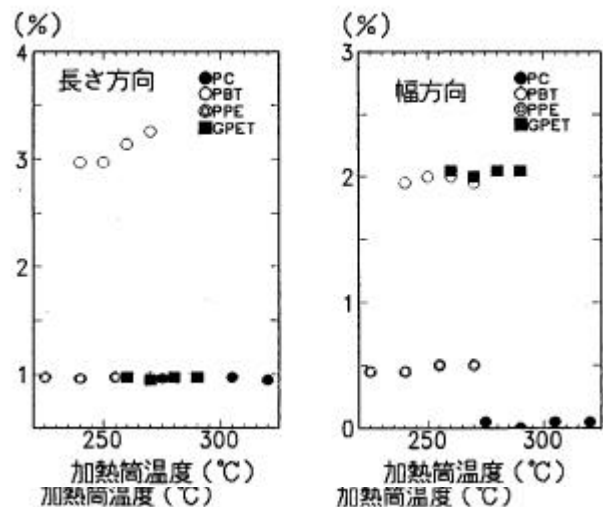
### 3.3 成形品の性能評価試験

#### (1) 成形品の収縮率

図の10, 11, 12は，エンブラによる成形品の長さ，



幅，厚さ方向について，収縮率を測定した結果を示



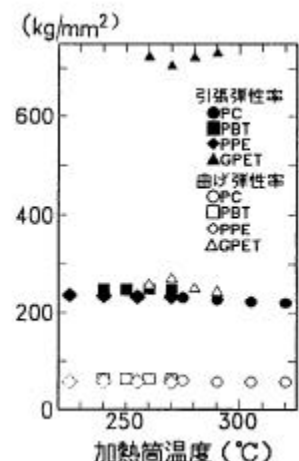
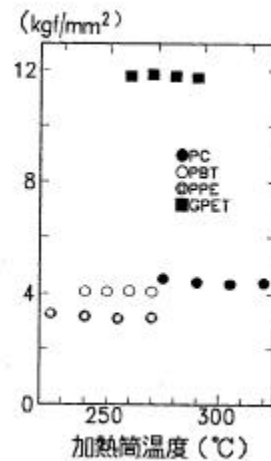
したものである。それぞれの方向とも，加熱筒温度設定による寸法の変化はあまり見られない。また，厚さ方向の収縮率は特に小さいといえる。厚さ方向は，樹脂の流れに対して垂直方向である。

図10 長さ方向収縮率

図11 幅方向収縮率

図12 厚さ方向収縮率

図13 加熱筒温度と引張強度



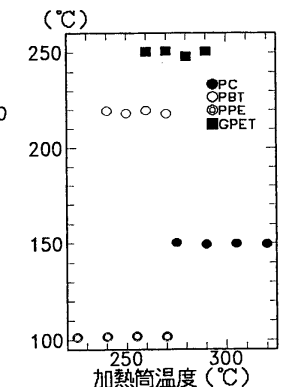
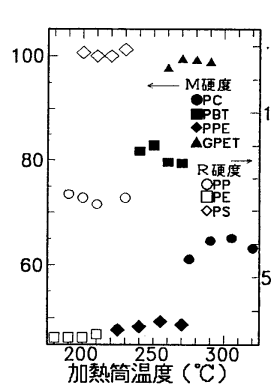
(2) 引張強度，曲げ強度

図13は，汎用樹脂，エンブラの引張強度を示したものである。（図14は，エンブラの曲げ強度）今回設定した，加熱筒温度の範囲内では，引張強度に違いは曲げ強度についても，ほとんど違いは見られない。

図14 加熱筒温度と曲げ強度 図15 加熱筒温度と引張強度

(2) 図15は，エンブラの引張弾性率と曲げ弾性率

図16 加熱筒温度とM, R硬度 図17 加熱筒温度とピカット軟化温度



を示したものである。各樹脂とも加熱筒温度設定による，弾性率の違いは見られない。

(3) ロックウェル硬度測定

図16は，ロックウェル硬度測定の結果であるが，やはり，加熱筒温度設定による硬度の違いは見られなかった。

(4) ピカット軟化点温度

図17は，ピカット軟化点温度を測定した結果である。加熱筒温度設定による軟化点温度の違いは，見られなかった。

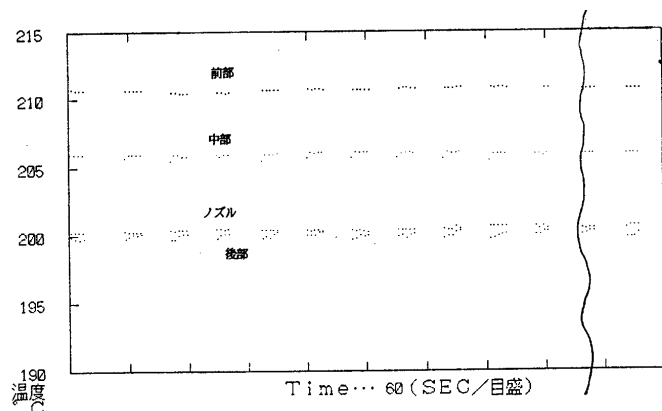
以上の性能評価より，今回設定した加熱筒温度設定の範囲では，加熱筒温度により物性はほとんど変化しないといえる。また，このことから3.2の(2)で求めたHDPEの成形条件として，加熱筒温度180 ，射出速度7%，射出時間19秒は，加熱筒温度設定によ

り製品の物性に影響がないことが分かったので、この条件で必要かつ充分である。また、PCの成形条件についても同様のことがいえる。

### 3.4 DLAによる測定例

#### (1) 加熱筒温度測定

設定温度と実際の温度にどの程度違いがあるのかを確認する意味で測定を行った。図18に時間と温度



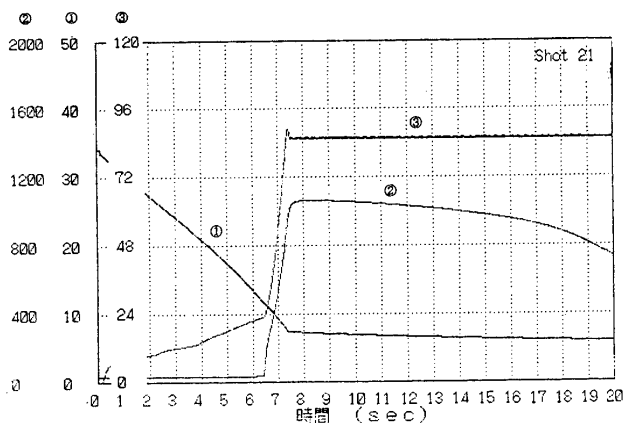
の関係を示した。

全体に設定温度よりわずかに高い値を示している。また、時間に対する変動はほとんど無いといえる。(設定値, 200, 210, 205, 200)。結果としてプロセスコントローラによる設定値と実際値にそれ程差はなく、プロセスコントローラの信頼性を得ることができた。

図18 DLAによる時間と加熱筒温度の関係

#### (2) スクリュー位置, 射出圧力, キャビティ内圧力

図19に測定例を示す。(1)の曲線はスクリュー位置を表し、充填時間まではスクリューの移動が、急速に変化するが、保圧に切り換わると移動が小さい。(2)はキャビティ内圧力を表し、保圧時で最大となり、徐々に減少している。始めは、樹脂がセンサーにまで達していないので零に近く、樹脂が充填されるに従って圧力は急に大きくなる。充填が完了して保圧に切り換わった位置で、圧力が最大値を示す。さらに時間が経過すると、樹脂が冷却による収縮を始めるため、圧力が徐々に減少していくこと



を示している。また、19秒前後で急に減少しているが、これはゲートシール時間を表している。

(3)は射出圧力を表し、保圧かかるとまでは圧力が増加している。保圧に切り換わると、ほとんど圧力

は変化していない。これは保圧が機械特性として信頼できる値であり、成形条件を設定するにも重要な要素である。

図19 DLAによるスクリュー位置, 射出圧力のキャビティ内圧力測定例

## 4. 結 言

本年度は昨年同様、成形条件の中の成形温度(加熱筒温度)に的を絞って、成形品品質に温度設定がどのように影響を及ぼすか、またプロセスコントローラによる設定値の信頼性について探ってみた。今回の試験で得られた結果は以下の通りである。

#### (1) メルトフローレイト

汎用樹脂, エンプラ両方の樹脂とも、荷重-MFR値の曲線は2次曲線となる。

また、汎用樹脂PP, PSの2次係数の値が温度変化により特に急に大きく変化している。このことからPP, PSは温度変化にかなり左右され易い樹脂であるといえる。それに対してエンブラは、温度変化に対して安定であるといえる。

#### (2) プロセスコントローラの信頼性について

図18, 19に示したように、コントローラ設定値と実際値にはそれ程差はなく、コントローラの設定値に信頼性があることがわかった。

#### (3) 成形条件の加熱筒温度設定の依存性

HDPE, PCを使用した試験範囲では、加熱筒温度が低いほど充填時間, 射出時間(プロセスコントローラ設定値及び結果表示)が短いことが分かった。よって成形条件としては加熱筒温度が低い設定温度で、必要充分である。結局、HDPEの場合は、加熱筒温度180, 射出速度7%, 射出時間19秒(保圧60%)が、最適成形条件であるといえる。

#### (4) 成形品の収縮率

エンブラについて測定した結果、今回設定した加熱等温度範囲では、温度変化による収縮率に違いがないことが分かった。また、流れに対して垂直方向である製品の厚さ方向の収縮率が、どの試料も一番小さいのがわかった。

#### (5) 成形品の性能評価

本試験で使用した全ての試料は、今回実施した試験において、設定した加熱筒温度範囲(成形温度)では、設定温度に関係なく、機械的・熱的性能において、成形品品質はほぼ一定であることがわかった。

以上(3), (4), (5)のことから、今回の設定温度範囲の加熱筒温度ならば、加熱筒温度が成形品品質に、ほとんど影響を及ぼさないことが分かった。よって成形温度は、省エネルギー管理から見ても、低い成形温度で必要充分であるといえる。

### 参考文献

1) 望月他 茨城県工業技術センター研究報告 第21号 p134