

縦型射出成型機におけるホッパーの形状の最適化

○ 日大生産工(院) 櫻井 基樹 日大生産工 大澤 紘一
ツムラ(株) 矢野 耕也

1. はじめに

プラスチック製品は我々の日常生活に深く浸透しており、現代の生活には不可欠な存在となっている。その種類も多種多様で、種類や製品によりいろいろな加工方法で製品化がなされている。その中でも大半が射出成型という加工方法で作られている。

ここで、射出成型工程における問題の1つとして、材料であるペレットがホッパーからスクリーンへ供給される際にバラツキが発生し成型品に影響を及ぼす問題がある(図1)。また、ホッパー内でペレットが詰まってしまう「ブリッジ」という現象も技術者を悩ませている。

射出成型機における品質工学の研究は金型寸法と成型品寸法の転写性についての評価が多く、成型機のパフォーマンスやペレットの性能に関しては評価されてこなかった。

そこで、当研究では縦型射出成型機のホッパーの形状について品質工学のパラメータ設計を行い、ホッパーの形状の最適化を試みた。実験については、はじめから実機で行うのではなく、経済的なテストピースを用いて行った。

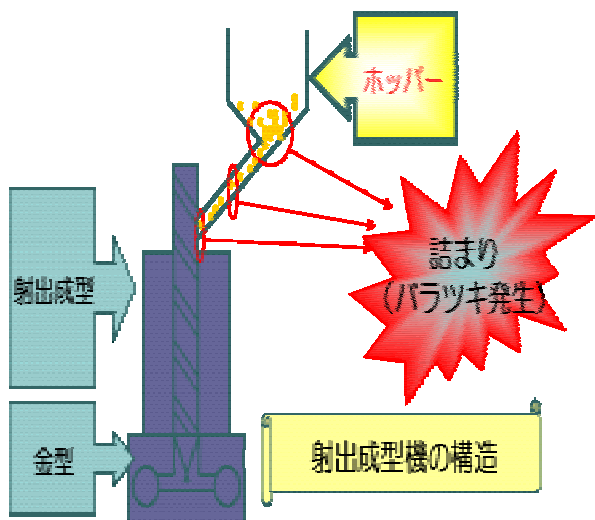


図1. 射出成型機の構造

2. 基本機能

射出成型工程において、ホッパーから投入されたペレットが均一にスクリーンに供給されること、即ち単位時間あたりの落下量が均一になることが理想である。そこで、基本機能を経過時間に対する落下重量とした。(図2)

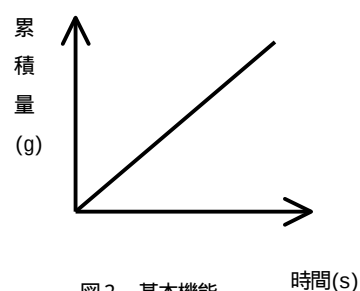


図2. 基本機能

3. 実験計画

3.1. 制御因子

制御因子はホッパーの基本機能にかかわるペレットが通過する部分の形状についてである。表1のように今回の実験では、ホッパーを上部と下部に分け、それぞれについて辺の長さ、面積変化や形状、また表面の摩擦係数を考慮し画用紙の表・裏そしてOHP用紙を使用して実験を行った。

表1. 制御因子

制御因子	水準		
	1	2	3
A 断面積	小	大	-
B 下部面積変化	1倍	1.5倍	2倍
C 上部面積変化	1倍	1.5倍	2倍
D 下部の長さ	短い	中間	長い
E 上部の長さ	短い	中間	長い
F 材質	OHP用紙	画用紙(表)	画用紙(裏)
G 断面形状	○	□	

3.2. 誤差因子

通常射出成型において、ペレットはバージン材と呼ばれる粒の揃っているものと、成型したものを再生機にかけた再生材と呼ばれる粒が不揃いなものを混ぜて使用する。この異なる形状を掛け合わせて使用することで詰まりなどが発生することからバージン材である PP と PS に加え、再生材を誤差因子とした。(表2)

表2. 誤差因子

	形状	大きさ
PS(ポリスチレン)	円柱	2mm
PP(ポリプロピレン)	球状	2mm
再生材	バラバラ	2～6mm

3.3. 実験方法

実験装置については図3に示すようなホッパーからスクリューまでの筒状の管及び装置をボール紙で作成した。重量の測定は(株)エー・アンド・デイの上皿電子天秤 GX-200 を PC と接続し、単位時間に対する測定データを常時 PC に転送するかたちでデータを採取した。測定時間間隔については 0.5 秒間隔でおこなった。装置には、直交表 L18 の割り付け(表3)に基づいて作成したホッパーのテストピースを設置し、出口を塞ぎ上部からペレットを投入し、出口の開放とともに電子天秤にて単位時間当たりの落下重量を観測した。ここで、斜面からホッパーを落とすピーカーには、ホッパーの落下衝撃を吸収するために衝撃吸収材を使用した。



図3. 実験装置

表3. 直交表 L18 割り付け

No.	A	B	C	D(下部)	E(上部)	F	G
1	小(3×3)	1倍	1倍	短い(7cm)	短い(7cm)	OHP	○
2	小	1倍	1.5倍	中間(10cm)	中間(10cm)	画用紙(表)	□
3	小	1倍	2倍	長い(13cm)	長い(13cm)	画用紙(裏)	
4	小	1.5倍	1倍	短い	中間	画用紙(表)	
5	小	1.5倍	1.5倍	中間	長い	画用紙(裏)	○
6	小	1.5倍	2倍	長い	短い	OHP	□
7	小	2倍	1倍	中間	短い	画用紙(裏)	□
8	小	2倍	1.5倍	長い	中間	OHP	
9	小	2倍	2倍	短い	長い	画用紙(表)	○
10	大(5×5)	1倍	1倍	長い	長い	画用紙(表)	□
11	大	1倍	1.5倍	短い	短い	画用紙(裏)	
12	大	1倍	2倍	中間	中間	OHP	○
13	大	1.5倍	1倍	中間	長い	OHP	
14	大	1.5倍	1.5倍	長い	短い	画用紙(表)	○
15	大	1.5倍	2倍	短い	中間	画用紙(裏)	□
16	大	2倍	1倍	長い	中間	画用紙(裏)	○
17	大	2倍	1.5倍	短い	長い	OHP	□
18	大	2倍	2倍	中間	短い	画用紙(表)	

4. 実験結果

4.1. SN 比と感度の計算

実験方法に従い、L18 実験を行い No.1～18 までの実験ごとの SN 比、感度を算出した。

実験 No.1 を例に計算式を以下に示す。

全二乗和

$$S_T = 2.482^2 + 40.738^2 + 65.34^2 + 20.225^2 + 43.78^2 + 47.503^2 + 1.283^2 + 9.16^2 + 25.153^2 = 11235.56$$

有効除数

$$r = 0.5^2 + 1.0^2 + 1.5^2 = 3.5$$

線形式

$$L_1 = 0.5 \times 2.482 + 1 \times 40.738 + 1.5 \times 65.34 = 139.989$$

$$L_2 = 0.5 \times 20.225 + 1 \times 43.78 + 1.5 \times 47.503 = 125.147$$

$$L_3 = 0.5 \times 1.283 + 1 \times 9.16 + 1.5 \times 25.153 = 47.531$$

比例項の変動

$$S_\beta = \frac{(L_1 + L_2 + L_3)^2}{3 \times r} = \frac{(139.989 + 125.147 + 47.531)^2}{3 \times 3.5} = 9310.538 \quad (f=1)$$

比例項の差の変動

$$S_{N \times \beta} = \frac{(L_1^2 + L_2^2 + L_3^2)}{r} - S_\beta$$

$$= \frac{(139.989^2 + 125.147^2 + 47.531^2)}{3.5}$$

$$- 9310.0538 = 1408.858 \quad (f=1)$$

誤差変動

$$Se = S_T - S_\beta - S_{N \times \beta}$$

$$= 11235.56 - 9310.538 - 1408.858 = 516.1632$$

誤差分散

$$Ve = \frac{Se}{7} = \frac{516.1632}{7} = 73.7376$$

プールした誤差分散

$$V_N = \frac{S_{N \times \beta} + Se}{7 + 1} = \frac{1408.858 + 516.1632}{8}$$

$$= 240.6277$$

SN 比

$$\eta = 10 \log \frac{(S_\beta - Ve)}{3r}$$

$$= 10 \log \frac{(9310.538 - 73.7376)}{3 \times 3.5} = 5.62987$$

感度

$$S = 10 \log \frac{(S_\beta - Ve)}{3r}$$

$$= 10 \log \frac{(9310.538 - 73.7376)}{3 \times 3.5} = 29.4433$$

L18 実験の SN 比、感度の算出データから以下図 4、5 に SN 比と感度の要因効果図を示す。

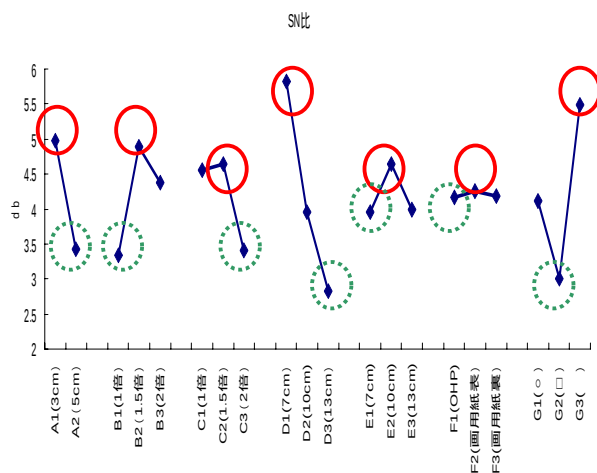


図4.要因効果図(SN比)

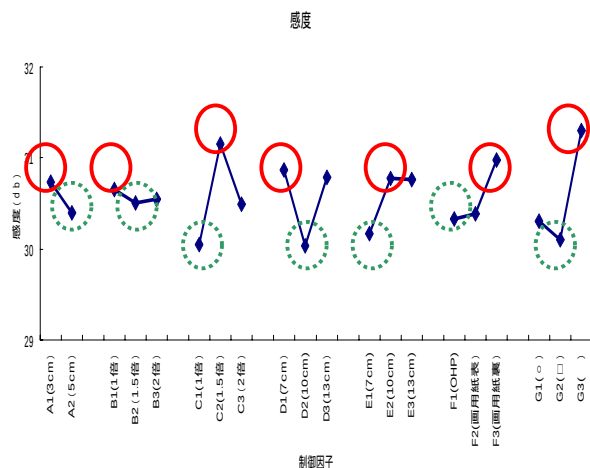


図5.要因効果図(感度)

4. 2. 最適条件と最悪条件の選定と確認実験

図4, 5の SN 比、感度の要因効果図より最適条件と最悪条件を選定した。(表4)

表4. 最適条件・最悪条件

SN 比	最適条件	A1B2C2D1E2F2G3
	最悪条件	A2B1C3D3E1F1G2
感度	最適条件	A1B1C2D1E2F3G3
	最悪条件	A2B2C1D2E1F1G2

また、最適条件と最悪条件それぞれについて SN 比・感度の推定値を算出し、最適条件と最悪条件で確認実験を行った結果を表5に示す。

表5. 確認実験結果

	SN比		感度	
	推定	確認	推定	確認
最適条件	5.66	6.13	32.98	32.22
最悪条件	1.93	4.58	28.45	30.29
利得	3.73	1.55	4.53	1.92

表5より、今回の実験においては SN 比の利得は推定値 3.73 に対して確認値が 1.55、感度の利得は推定値 4.53 に対して確認値が 1.92 という結果となった。

確認実験では、利得の再現性があまり得られなかった。このことは、要因効果図で山・谷になっている部分に強い相互作用が存在していると考えられる。

5. 考察

5. 1. SN 比の要因効果図における山・谷の出る因子を変えて再実験

結果より、SN 比の要因効果図で相互作用が出ていない山・谷となっている B(下部面積変化)因子、E(上部の長さ)因子に着目して他の制御因子の水準は最適条件にし、B・E 因子に対して表 5 のようにすべての組み合わせの追加実験を行った。

表 5 . B・E 因子の水準の組み合わせ

実験	B:下部面積変化	E:上部の長さ	SN比
1	1倍	7cm	5.46
2	1倍	10cm	8.04
3	1倍	13cm	7.68
4	1.5倍	7cm	5.21
5	1.5倍	10cm	5.52
6	1.5倍	13cm	6.25
7	2倍	7cm	6.86
8	2倍	10cm	8.5
9	2倍	13cm	3.91

表 5 の組み合わせによる因子 B・E の調整前後で得られた要因効果図の変化を図 6 に示す。

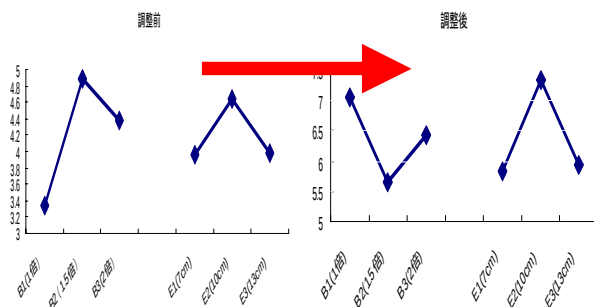


図 6 . 調整前後の因子 B・E の要因効果図

5 . 2 . 感度の要因効果図における山・谷の出る因子を変えて再実験

SN 比と同様に表 6 のような組み合わせで再実験を行い、調整前後で図 7 のような変化が見られた。

表 6 . C・D 因子の水準の組み合わせ

実験	C:上部面積変化	D:下部の長さ	感度
1	1倍	7cm	28.49
2	1倍	10cm	29.57
3	1倍	13cm	30.65
4	1.5倍	7cm	30.53
5	1.5倍	10cm	31.56
6	1.5倍	13cm	32.49
7	2倍	7cm	32.26
8	2倍	10cm	33.31
9	2倍	13cm	32.46

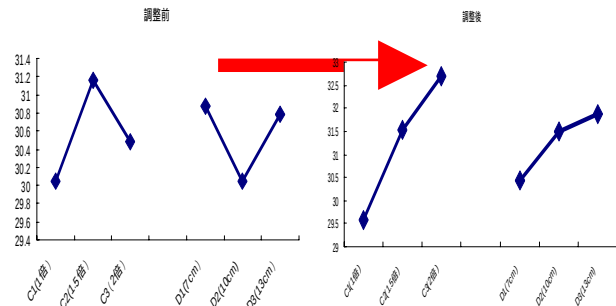


図 7 . 調整前後の因子 C・D の要因効果図

SN 比に関しては山と谷の関係が逆転する結果となり、相互作用を解消することはできなかった。一方、感度に関しては、調整前より山・谷型が改善されている。この結果から相互作用の調整後の SN 比・感度最適条件と最悪条件との差を利得とした確認実験を行った。結果を表 7 に示す。

表 7 . 確認実験結果(調整後)

	SN比	感度	
	推定	確認	推定
最適条件	7.89	7.19	33.61
最悪条件	-0.7	2.12	26.18
利得	8.59	5.07	7.43

表 7 より、今回の研究において一番の目的であるバラツキの SN 比の利得・再現性が改善した。感度に関しては山・谷が改善されたにもかかわらず利得の再現性は得られなかった。落下速度に関してはもともとバラツキが少なく、ゼロ点をペレットの落下した瞬間でとることができなかったことがこの結果の理由に考えられる。

6 . まとめ

今回の実験では SN 比を向上させることはできたが、感度を上げるためにどのようにしてゼロ点をとるかという課題も見つかった。また、テストピースを用いた結果であり、今後は実機での再現性について研究をすすめていきたい。

8 . 参考図書

- 1) 矢野宏 品質工学計算入門 日本企画協会 1998 年
- 2) 常田聡 射出成型機における材料落下口形状の最適化 品質工学 2006 年