

# 射出成形支援システムの開発

## Development of Injection Molding Assist System

技術本部 黒田 英夫\*<sup>1</sup> 戸田 直樹\*<sup>2</sup>  
 名古屋機器製作所 下平 勝義\*<sup>3</sup> 鹿瀬 義雄\*<sup>4</sup>  
 荻谷 俊彦\*<sup>5</sup>

プラスチックの射出成形において、従来熟練者知識が必要であった成形条件出しに関して、成形者を支援して条件を最適化するシステムを開発した。本システムはパソコンを使用し、成形機と通信接続することによりオンラインで運転することができる。本システムでは、成形試験したデータについて独自の非線形重回帰分析を行い、その重回帰式を用いて複数の評価品質を総合した最適化を実施している（特許出願中）。実成形への適用例では、成形条件出し工数を45%低減し、また成形時間を13%短縮するという効果が得られた。

In the injection molding of plastics, expert knowledge has been required to set the molding conditions. For these settings, we have recently developed molding assist system, which enables the optimization of the molding conditions. In this system, our original analysis of non-linear multi-regression is carried out for molding test data, resulting in total optimization of several evaluation qualities through the use of multi-regression functions. As the application test examples, we obtained the good effect of a 45 % reduction in the time required to set the molding conditions and a 13 % shortening in the production molding time.

### 1. ま え が き

プラスチックの射出成形は、射出成形機に取付けた金型内に溶融樹脂を射出して固化させることにより、プラスチック部品を生産する成形方法である。この射出成形においては、各成形品により形状・寸法、樹脂などが異なるため、成形品ごとに射出成形機の運転条件、金型の温度条件などを適切に設定する成形条件出しが非常に重要な作業になる。

このため、当社では、成形条件出しを容易にすることを主眼として、パソコン使用の射出成形支援システムを開発した。本システムは、初心者でも成形不良対策や成形条件設定を実施でき、さらに熟練者が従来より能率的かつ的確に成形条件を最適化できることをねらいとしている。

### 2. システムの構成と機能

図1にシステムと射出成形の関係を示す。同図のように、ポータブルパソコンを射出成形機（当社 MAC-VI 制御装置付）と接続して、データ通信を行う。

本システムの基本構成と各機能項目を表1に示す。このうち、成形不良対策と標準条件ガイドは主に初心者用で、成形条件最適化は主に熟練者用である。成形不良対策は、成形不良が発生した

ときに不良低減の成形条件を指導するものである。標準条件ガイドは、使用する樹脂や成形品形状・寸法などに応じて、最初の成形トライ条件を教示するものである。また、成形条件最適化の

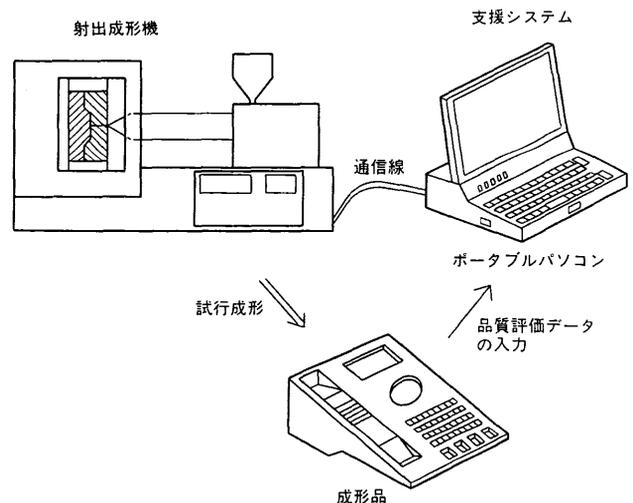


図1 システムと射出成形の関係 射出成形場所における本システムの持続及び作業関係を示す。  
 Relation of assist system with injection molding

表1 システムの基本構成と機能  
 Fundamental structure and functions of assist system

ハード・ソフトの基本構成		システムの機能	
項目	内容	機能	内容
パソコン	NEC PC 9801 相当(メインメモリー:640kバイト)	1. 成形不良対策	熟練者手順型エキスパートシステム 成形不良10種類に対応
記憶媒体	ハードディスク(20Mバイト)		
OS	MS-DOS Ver 3.1~3.3	2. 標準条件ガイド	汎用の成形条件ガイド 成形品の冷却計算を含む
使用言語	Quick BASIC	3. 成形条件最適化	(1) 理論解析利用 (2) データ解析利用
データベースソフト	サザンパシフィック(株)“dBOX”(dBASE IIIと互換)		
		4. データベース	樹脂データ、成形実績データ、試験データほか

\*1 名古屋研究所高分子・化学研究室主査 \*4 産機工作部組立二課  
 \*2 名古屋研究所高分子・化学研究室 \*5 産機技術部射出成形機設計課  
 \*3 産機技術部射出成形機設計課主務

“(1) 理論解析利用”は、簡易な樹脂流動解析により、理論的に最適条件を算出するものである。さらに、成形条件最適化の“(2) データ解析利用”は、対象成形品の成形試験を行い、その試験データを解析し最適条件を求めるもので、以下で説明する。

### 3. データ解析利用の成形条件最適化の方法

#### 3.1 全体手順

本最適化は成形品ごとに実施する。最適化の全体フローを図2に示す。同図に示すように、まず対象成形品について本システムで実験計画を組み、それに従って成形試験する。次に試験結果のデータにより、複合因子重回帰分析を行い、非線形重回帰式を用いて最適化計算する。最後に、最適条件を成形機へデータ送信して成形機の運転条件を自動設定する。

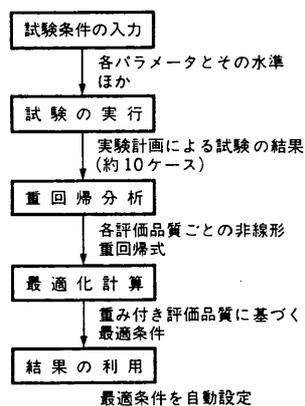


図2 最適化の全体フロー  
成形条件最適化の全体手順を示す。  
Total flow of optimization

#### 3.2 複合因子重回帰分析

一般の重回帰分析では、特性値(評価品質に相当)  $y$  を各説明変数(パラメータ変数に相当)  $x_i$  の1次式で表している。しかるに射出成形では単純な1次式で表せないことが多く、たとえば成形品質に対して射出速度は速くても遅くても悪影響を及ぼす。このような非線形現象に一般の重回帰分析を使用すると、評価品質の予測誤差が大きくなり、成形条件最適化の計算と実際が合わなくなる。この問題点を解決するため、当社では複合因子重回帰分析手法を開発した。複合因子重回帰では、1次変数を組合せた下記9種類の複合因子すべてについて、重回帰の適合度を調べ、最も適切な非線形の重回帰式を算出する。

- 〔複合因子〕 (1)  $x_i^P$  (2)  $1/x_i^P$  ( $P=0.5, 1, \dots, 3$ )  
 (3)  $x_i x_j$  (4)  $x_i/x_j$  (5)  $1/(x_i x_j)$   
 (6)  $x_i^2 x_j$  (7)  $x_i^2/x_j$   
 (8)  $x_j/x_i^2$  (9)  $1/(x_i^2 x_j)$

#### 3.3 成形試験のパラメータ

パラメータ ( $X: x_1, x_2, \dots$ ) は成形機の運転条件変数の中からユーザが選択する。選択可能な運転条件変数は約50個あるが、成形試験のパラメータとして通常使用するものは、後述の適用事例で示す5~6個の変数である。

さらに、選択した各変数について3個の試験水準をユーザが設定する。この3水準は、経験的に上限と下限を決めてその平均を中間水準とする。各変数の3水準を設定したら、本システムが自動的に各変数水準のランダムな組合せを所要ケース数だけ計算し、

各組合せの条件を整列した実験計画を作成する。

成形試験のケース数は選択された成形機変数の数によっても異なるが、通常は約10ケース程度を設定し、最適化計算結果が得られた後、必要に応じてケース数を追加していく。

#### 3.4 評価品質と評価関数

評価品質 ( $Y: y_1, y_2, \dots$ ) は、対象成形品の要求事項に応じて、各種不良項目、寸法、重量や成形時間などからユーザが選択する。そして、成形試験の際、各評価品質をユーザが計測して入力する。成形試験後に前述の重回帰分析を行い、次式のように各評価品質  $y_k$  をパラメータ ( $X: x_1, x_2, \dots$ ) の非線形関数  $F_k$  として表す。

$$y_k = F_k(x_1, x_2, \dots) \quad (1)$$

また、複数の評価品質を総合評価するため、各評価品質  $y_k$  を標準評価ランク  $y_{kR}$  に変換し、さらに重み  $w_k$  を付け次式の評価関数  $G$  により最適化計算を行う。

$$\text{最大化 } G = \sum_{k=1}^{n_y} (w_k y_{kR}) \quad (2)$$

ただし、

- $n_y$ : 評価品質の数
- $w_k$ : 重み (1~5)
- $y_{kR}$ : 標準ランク値 (10点法)

標準評価ランクへの変換は図3(a)に示すように、品質の実測値と標準ランク(通常10点満点)とを線形で関係づけ、2点P、Qを設定して行う。この標準ランクとの関係づけや重み  $w_k$  は各成形品によって異なる。

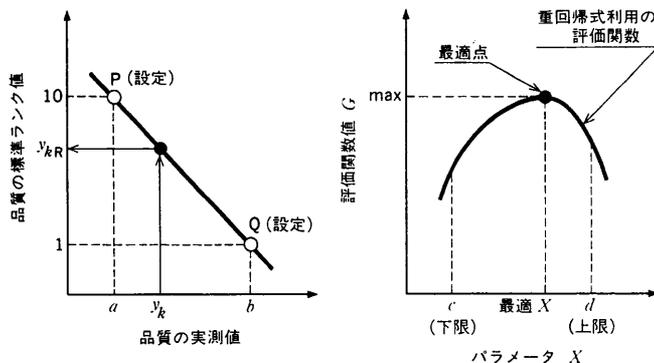


図3 最適化計算の要点説明図  
品質の実測値を標準ランクに換算する方法と、評価関数を最適化する考え方をグラフで説明した図。  
Essential explanation of optimizing calculation

#### 3.5 最適化計算

上記の式(1)と標準ランク換算、及び式(2)により、評価関数  $G$  はパラメータ  $X$  の非線形式で表される。したがって、図3(b)のように、各変数  $x_i$  の変域を限定して、通常最適化手法により最大の  $G$  を得ることが出来る。また、評価品質の値をある許容範囲に制約して最適化することも可能である。

### 4. 適用試験

本システムにより成形条件最適化を行った2件の試験例を報告する。

#### 4.1 事例1

成形品の略図と評価品質を図4に示す。本成形品の成形条件出しについて、当社80MSP射出成形機を使用して、従来方法と

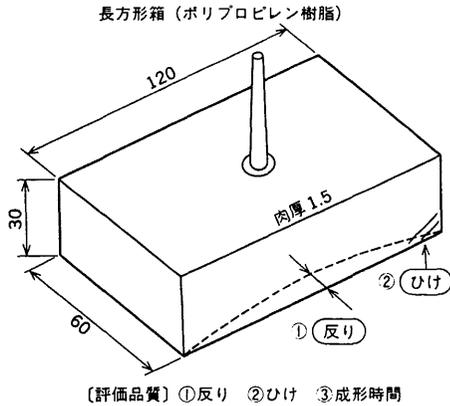


図4 事例1の成形品略図と評価品質 適用試験の事例1の成形品と評価品質項目を示す。  
Product sketch and evaluation qualities in example 1

表2 事例1のパラメーター変数  
Parameter variables of example 1

変数名	3水準
シリンダ温度 (°C)	210, 230, 250
金型温度 (°C)	10, 30, 50
射出速度 (%)	20, 60, 99
射出保圧時間 (s)	1, 5, 10
射出保持圧力 (%)	10, 25, 40
冷却時間 (s)	5, 10, 20

本システムとで最適化試験を実施した。6個のパラメータ変数とその試験水準を表2に示す。また、3個の評価品質のうち、ひげは目視でランク評価し、他のものは測定器で実測した。

本試験の結果、良品成形までの試行ケース数は従来の20(評価関数値 max 90.6)から本システムの11(評価関数 max 92.5)まで45%低減した。

(注) 従来方法：各条件変数の中間水準を基準とし、1変数ずつ上下に振って、初回に13ケース試行し、その最良のものを基準にして、次回に7ケースを試行。  
本システム：初回に実験計画で10ケース、次回に最適化の1ケースを試行。

#### 4.2 事例2

当社190MSP射出成形機による実生産品プリンタカバー(ポリスチレン樹脂)について、本システムで最適化試験を実施した。本システムの最適化計算結果の画面例を図5に示す。同図に示すように、パラメータ変数X、評価品質Yとも5個ずつである。13ケースの成形を試行し、最適条件を算出した。評価関数値は従来値が70.0に対して、最適値は83.6と13.6点向上した。ただし、この評価関数値は式(2)の値を100点満点に換算し直したものである。本最適化の結果、他の成形品質を維持又は向上した上で、成形時間を従来生産の47.7sから41.3sへ13%短縮することができた。

### 5. 考察

#### (1) 最適化計算結果のパラメータ変数値

図5においてパラメータ変数Xの従来値と最適値を比べる

***** データ解析利用最適化プログラム *****			
* 重回帰利用の最適化 *			
***** データファイル: PRCOVER1 プリンタカバー *****			
最適化計算結果			
項目	従来値	→	最適値
X (シリンダ温度) °C	220		210
X (射出速度) %	25		15
X (射出保圧時間) s	4		2.8
X (射出保持圧力) %	25		34
X (冷却時間) s	28		22
Y (成形品重量) g	166.7		166.1
ランク (重み 5)	4.1		4.9
Y (反り) mm	120		125
ランク (重み 5)	7.5		7.4
Y (ひげ) 3点満点	2.5		2.95
ランク (重み 5)	8.3		9.8
Y (全長誤差) mm	180		102
ランク (重み 5)	9.5		10.0
Y (成形時間) s	47.7		41.3
ランク (重み 5)	5.6		9.7
評価関数値	70.0		83.6

図5 事例2の最適化計算結果(画面例) 適用試験の事例2における最適化結果の画面を示す。  
Computed optimization result of example 2 (Display illustration)

と、5個の変数すべてが変化している。5個の変数のうち、シリンダ温度、射出速度、冷却時間の3個は、各変数の変域の下限値が最適値になっている。その他の事例においても、最適値が変数の変域の上限又は下限となる変数の数は、採用したパラメータ変数の5~7割程度ある。これは、変数の変域の取り方が最適条件に大きく影響していることを示している。

#### (2) 本システムの実用性

適用試験の結果から、本システムの成形条件最適化は、成形条件出し工数を大幅に低減し、かつ最適条件により従来よりも成形時間を短縮できることが分かった。実際の成形品では、4.2節の事例のように多くの品質を評価しなければならない。その場合、熟練者といえども、同時に多数の品質を考慮しながら成形条件を改善していくことは至難の業である。上例で5個の評価品質でも従来生産を上回る最適条件を見だせており、本システムは実際の成形品で十分な適用効果が得られると考えられる。

### 6. まとめ

パソコンを使用し、射出成形の成形条件出しを容易化する射出成形支援システムを開発し、実際に成形条件最適化の適用試験を実施した結果、次の成果を得た。

- (1) 対象成形品の成形試験データを使用し、複数の評価品質について総合的な成形条件最適化を行うシステム技術を実用化した。
- (2) 本システムを実際の射出成形に適用した結果、良品成形までの試行ケース数を従来方法より45%低減し、また成形時間を従来生産に比べ13%短縮するという効果があった。

なお、本システムは今後当社射出成形機のオプション仕様として販売していく予定である。