

生産性向上に資する射出成形スマート金型の開発(第5報)

— 量産試験における効果検証 —

山田 俊郎, 坂東 直行, 浅井 博次, 久富 茂樹,
棚橋 英樹, 多田 憲生*

A study on a smart injection mold (5th Report)

- The verification of benefits on mass production trial -

Toshio Yamada, Naoyuki Bando, Hirotsugu Asai, Shigeki Kudomi
Hideki Tanahashi, Norio Tada

あらまし プラスチック射出成形における生産立ち上げ時間の短縮化, 不良成形品の発見を目的に, 複数のセンサを取り付けた金型システム(スマート金型)を開発している。成形時に変化する型内の圧力や温度など時系列データを取得し, ビッグデータ解析することで現在のショットが良品と異なるかを判別することが可能となる。本報では, 前年までに開発した測定システムを用いて大量の製品成形のデータを取得し, その分析について報告する。成形のショット間の測定データを比較解析することで, 樹脂の充填不足などの成形不良を検出できることが確認でき, 成形の良否判定に有効な技術であることを確認した。

キーワード 射出成形, 金型, センシング, ビッグデータ

1. はじめに

プラスチック射出成形の成形条件決定の迅速化や製品の不良発見, さらには流動解析シミュレーションとの比較検証を行うため, 金型内にセンサを取り付け, 成形状態の監視ができるスマート金型の開発を進めている。一昨年度の研究^[1]において, JISの引張り試験片が成形できる金型に各種のセンサを取り付けた金型を試作し, データ取得の検証を行った。この金型でデータ取得実験を行ったところ, 同一成形条件下でのデータ再現性, 不具合時の異常データ検知の可能性が確認でき, 生産現場で有効なシステムとなり得ることを確認した。また, 流動解析シミュレーションとの比較検証においても, モデルの詳細度を高くするとシミュレーション結果が測定データに近くなる傾向が確認でき, シミュレーションの精度向上にも有効であることがわかった。

昨年度の研究^[2]では, 射出成形金型の測定に特化した回路構成でシステムを構築することで測定装置の小型化を図り, 金型に搭載できるサイズの装置を開発するとともに, 新たな試験金型を試作した(図1)。開発システム(図2右A:型内圧力4Ch.,型表面温度8Ch.,型内部温度4Ch., B: 型内圧力8Ch.,型表面温度12Ch.,型内部温度4Ch.)の測定データを従来の汎用システム(図2左)で測定したデー

タと比較し, 小型簡略化されたシステムであっても従来装置と同等のデータが得られることが確認できた。

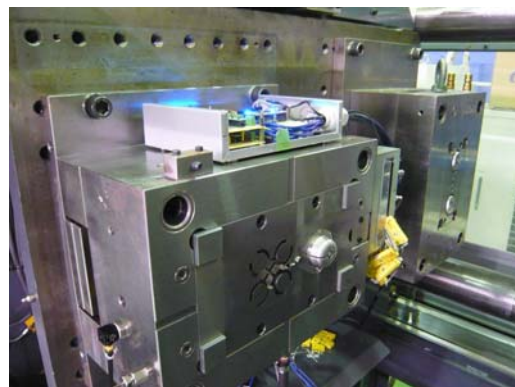


図1 測定装置を搭載した試験金型



図2 汎用システム(左)と開発システム(右)

* 株式会社 岐阜多田精機

本報告では、試作金型を用いて収集した約1,000ショットの測定データの分析について報告する。成形試験は同一の金型で材料条件を変えて実施し、不良検出の検証を行った。不良検出にあたっては、測定データからデータの特徴を抽出する特徴量を定義し、定常値から外れるものを不良とした。特徴量判別によって検出された不良品判定の事例を示し、システムの有効性について検証した。

2. 試験金型

試験金型には図3に示すように、成形品表面の圧力を測定する圧力センサが3点 (P1~P3) 表面温度を測定する温度センサが7点 (T1~T7) 取り付けられており、図4の形状の試験品が成形できる。成形機から射出される樹脂は、2つの成形品の間から型に注入され、ランナを通してそれぞれのキャビティに注入される。通常、複数個取りの金型は同形状のキャビティとするが、試験のため特徴の異なる異形の2個取りとした。1つはパイプを接合する

部品をイメージした形状であり、一部が欠けたC字型の円弧形を4つつないだものである。全体が肉厚の要素で構成されており、体積は27.3cm³である。以下ではこれをクリップ形状と呼ぶ。もう一方は小型機械のカバーをイメージした形状であり、潰した半球状のシェルの周囲にフランジがつき、内部にリブがある形状である。全体が薄肉で構成されており、体積は10.0cm³である。以下ではこれをドーム形状と呼ぶ。体積差が2.7倍あり肉厚にも差があるため、それぞれのキャビティ内の流動特性は異なるが、充填完了タイミングが同じになるようゲートサイズを調整している。

センサの配置は、それぞれのキャビティのゲート近くに圧力センサ (P1,P2) と温度センサ (T3,T4) を配置し、充填末端に温度センサ (T1,T2,T7) を配置した。また、薄肉部分の流動状況を測定するため、ドーム形状には圧力センサ (P3) と温度センサ2点 (T5,T6) が設置してある。

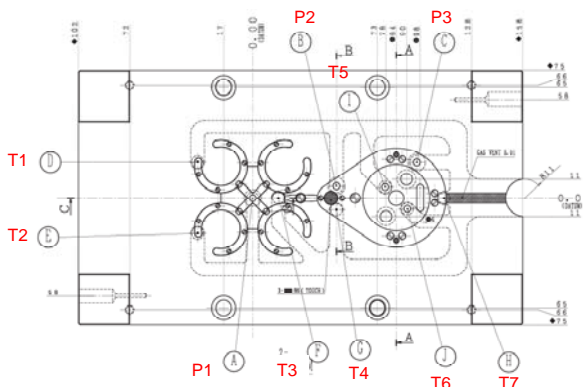
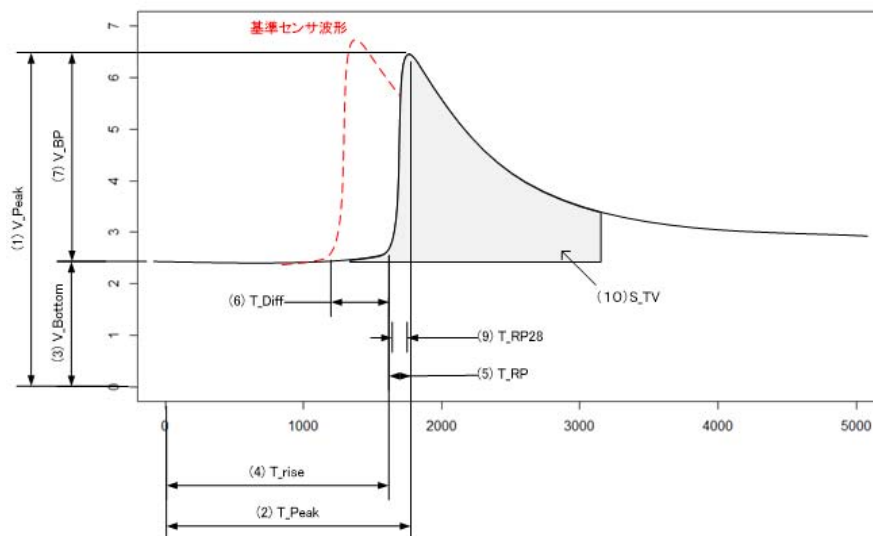


図3 試験金型のセンサ配置



図4 試作品の例

(左 : PC, 中央 : PC+CF10%, 右 : PC+GF10%)



1. V_Peak : センサの最高値
2. T_Peak : 最高値が出た時間
3. V_Bottom : センサの初期値(100サンプル平均)
4. T_Rise : センサ値が立ち上がった時間
5. T_RP : 立ち上がりからピークまでの時間
6. T_Diff : 基準センサの立ち上がりからの時間差
7. V_BP : センサ値の最大変化量
8. COR : 基準波形との相関係数
9. T_RP28 : 20%→80%変化時間
10. S_TV : 一定時間の積分値

図5 特徴量の定義

3. 特徴量の定義

昨年度までの成形実験において、複数のショットの時系列データをグラフ化し、それらを重ね書きして比較する(図7)ことで、他とは異なった成形状のショットを発見することができた。人がデータを見て判定を行う場合、グラフ形状の比較による判別は効果的であるが、金型に搭載するマイコンで判定を行うには時系列データは情報量が多く、パターン認識のような高負荷の処理は現実的ではない。時系列データから状態変化の特徴を表す特徴量を抽出することで、良否判定につながる情報を残したまま全体の情報量を削減し、軽い処理で良否判定が行えるようにした。

特徴量には様々なパラメータが考えられるが、射出成形の充填・保圧の状態を示す波形の立ち上がり注目して、図5に示す10項目の特徴量を定義した。なお、時間は型閉センサが反応した時点を基準(0)としている。

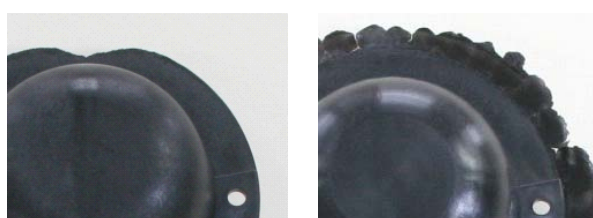
4. 量産試験における不良品検出

試験金型を用いて、各種の材料において約1,000ショットの成形試験を行った。試験に用いた材料は、ポリカーボネート(PC)、カーボンファイバーフィラー10%入りポリカーボネート(PC+CF10%)、グラスファイバーフィラー10%入りポリカーボネート(PC+GF10%)、再生ポリプロピレン(PP)、ナイロン6(PA6)の5種類である。1回目の成形実験はPC、2回目はPC+CF10%およびPC+GF10%、3回目(2日間)はPPおよびPA6で行った。射出成型の不良^[3]には様々なタイプのものがあるが、以下開発システムで検出できた不良の種類と特徴量の変化について事例を紹介する。

4.1 ショートショットおよびバリ

図6に示すようなショートショットおよびバリの不良は、射出成型の典型的な成形不良である。成形試験は良品を成形する成形条件で行っており、試験中にこれらの不良が発生しなかったため、PC+CF10%の材料において成形機の条件を調整して故意に不良を発生させて検証した。

ショートショットは、充填末端部分まで樹脂が到達しない不良であり、末端部分に設置した温度センサ(T7)のピーク値(V_{Peak})が良品と比較して極めて小さな値



(a) ショートショット (b) バリ

図6 典型的な成形不良

を示した。また、バリは樹脂の過充填によって発生する不良であり、すべての圧力センサ(P1~P3)が良品よりも大きなピーク値(V_{Peak})を示した。これらのことから、ショートショットやバリのような顕著な不良はセンサのピーク値の違いで検出できると考えられる。

4.2 微小ショートショット

PC材での成形において、リブ部分に図7に示すような窪みの発生が認められた。窪みのサイズは様々であるが、大きなものでも、幅1mm、深さ0.5mm程度の微小なショートショットであった。成形品と測定データを比較すると、ドーム形状のゲート近くの圧力センサ(P2)のピーク値(V_{Peak})によって成形状態に違いがみられた。図7のグラフは、P2の時系列データを32ショット分重ね書きしたもので、ピーク値の高いものほどショートが大きく、低いものは良品となっていた。このような微小な欠陥であっても、センサデータから検出ができることが確認できた。

ところが、この結果は経験則から得られているショートショットの感覚から外れている。一般的に「ショートショット=充填不足=圧力が足りない」と考えられており、圧力の高いものがショートショットというのは経験則に反している。そのため、シミュレーションによって充填状況を検証した。シミュレーションのタイムスパンを細かくして解析すると、このリブに対して中央の円筒のリブとシェルの両側から樹脂が流れ込んでいることが分かり、このリブの中央も充填末端となり得ることが分かった。そのため、キャビティ内の空気が抜けきれず、最後にリブの部分で圧縮されて残った空気が窪みを発生させることがあると考えられた。PC材での成形は初回の成形実験であったため、この結果をもとに金型を改修し、

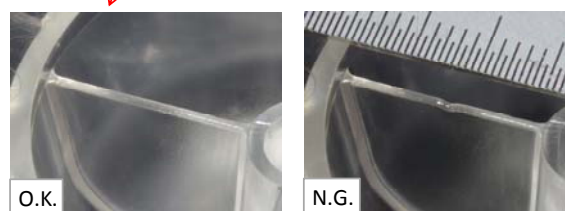
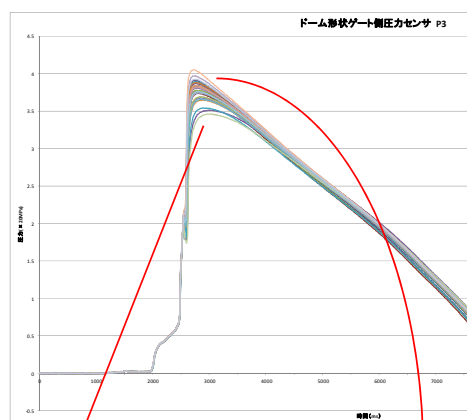


図7 微小ショートショットの検出

2回目以降の実験ではこの不具合は現れていない。このように、測定データを基にして不具合の原因究明を行うと、成形品のみを見て経験的に判断するよりも確かな判断が可能であることが示された。

4. 3 縞状痕

PC+CF10%材での成形における特徴量を検証したところ、圧力・温度センサの立ち上がり時間に関する特徴量 (T_Rise, T_Diff) に差異が認められるショットが発見できた。変化が認められた特徴量の一例として、横軸にショット番号、縦軸に温度センサの立ち上がり時間差 T_Riseをプロットしたグラフを図8(a)に示す。147ショット目および153ショット目に他とは異なる値が得られており、147ショット目の成形品に不良が認められた。なお、153ショット目は成形機停止に伴うものであり、不良検出とは関係がない。

147ショット目の成形品を前のショットと比較したものが図8(b),(c)である。147ショット目の成形品には、図の右下から左上にかけて薄い縞模様が現れている。縞状の模様および温度の立ち上がりが他とは遅れていることから考察すると、不良の原因としてフィラー材料の不均質状態による流動性の低下が考えられる。

4. 4 異物混入

PP材での成形において、成形試験中に前の材料が混入する不具合 (図9(b)) が現れた。材料供給装置中に残っていたPA6のペレットが混入したものと考えられ、PA6の融点が高いことから粒形状を保ったまま成形品に混入した。この成形試験の温度センサの立ち上がり時間 (T_Rise) をグラフ化したものが図9(a)であり、最初に異物混入が認められた743ショット目に変化が現れている。粒形状を保っているため、ゲートを通過する際の抵抗が大きく、それぞれのセンサ位置への樹脂の到達タイム

グがずれたものと考えられる。その後、760ショット目以降の成形にもPA6の混入が多発したため、実験を中止した。なお、711ショット目はノイズによる異常値である。

PPにPA6が混入した場合は、融点が異なるため流動タイミングに違いが現れたが、融点に近い材料の混入は検出できなかった。図9(c)はPPにABSが混入した例であり、異物が溶け込んでおり特徴量の差は認められなかった。

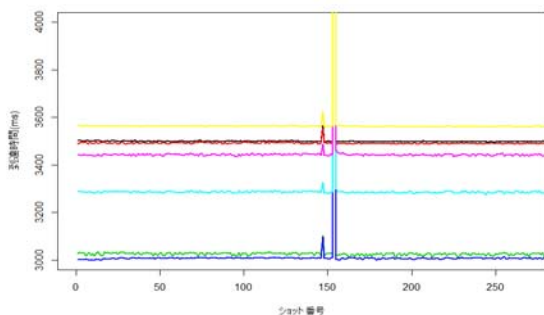
4. まとめ

プラスチック射出成形の製品製造現場で使用することを目的として、金型に搭載可能な小型のデータ収集装置を開発し、成形不良発見の効果を検証した。ショートショットや異物混入などが検出できることが確認でき、スマート金型の効果を示すことができた。

今後は成形の事例を重ねて、不良検出や金型保全の実績を増やしていく。

文 献

- [1] 山田, 坂東, 平湯, 棚橋, 丹羽, 窪田, 多田, “生産性向上に資する射出成形スマート金型の開発”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第15号, pp. 21-29, 2014
- [2] 山田, 坂東, 平湯, 棚橋, 丹羽, 窪田, 多田, “生産性向上に資する射出成形スマート金型の開発 (第3報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第16号, pp. 1-4, 2015
- [3] 北川, 中野, “実践 射出成型不良対策事例集”, 日刊工業新聞社, 2010

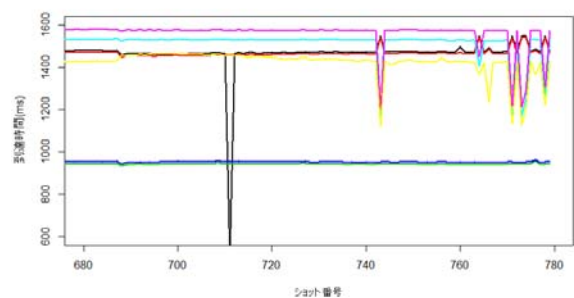


(a) 温度センサの立ち上がり時間 (T_Rise)



(b) 146ショット目 (良品) (c) 147ショット目 (不良品)

図8 縞状痕の不良成形例



(a) 温度センサの立ち上がり時間 (T_Rise)



(b) 検出例 (743ショット目) (c) 検出不可例

図9 異物混入の不良成形例