

## 番外編 金型内計測システムを使うと何が出来るのか

— モールドマーチャリングシステム —

★樹脂製品の射出成形加工とは、

2枚の型がつくる空間に樹脂を流し込んで固めて、型がつくる空間の形状を樹脂でコピーする加工である。

### はじめに

これまで5回に渡って、射出成形加工による樹脂製品の製造工程を「樹脂の目線」でご紹介しました。成形加工時の要素を全て勘案して製作された金型と、樹脂製品の仕様や機能から選択された樹脂材料を組み合わせ、樹脂製品を合理的に量産するところに成形加工工程の難しさがありました。与えられた条件の中でベストな成形条件を設定し、最短の時間で必要個数の良品を生産することが求められます。その時に、金型内の樹脂の流れをコントロールする方法は4つあります。

- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| a) 水あめ状樹脂の流し易さ      | : 可塑化条件            |
| b) 金型への充填スピード       | : 射出速度             |
| c) 樹脂の熱が奪われる速さ      | : 金型温度             |
| d) 金型内樹脂流路の空気の抜けやすさ | : 金型設計、ガスベントの調整・追加 |

ところが、設定した成形条件を適正化するための客観的な情報が意外と少ないのです。樹脂が固まった状態の「成形品」の形状、意匠が意図するものであることを確認しながら、成形に関わる諸条件を調整する方法が一般にとられています。そのため、「成形品」を観察しながら金型内の樹脂の流れを想像し、その流れを理想に近づけられるように調整すべき項目と調整量を判断できる「経験」と、経験に基づいた「勘」が求められます。



このような成形条件を調整する作業は、生産の都合から金型を別の射出成形機に載せ替えた際にも行う必要があります。さらに生産数量を重ねても「成形品」が「良品」である状態を維持するために、設定した成形条件を微調整することがあります。量産開始時の「射出圧」、「クッション量」からの変化で金型内の樹脂の流動状態に変化が生じていることを間接的に把握し、樹脂の流動状態を「良品」成形に適した状態に維持します。

### 金型内計測システム

射出成形機、金型温調器などの成形品に依存しない装置には、制御機能とその制御状態を知るための計測機能が搭載されています。一方、成形品毎に必要な金型には「制御機能」や「計測機能」が搭載されておらず、金型内の樹脂の状態を知ることができませんでした。そこで、「成形品」そのものや、射出成形機から得られる情報で間接的に樹脂の状態を想像していたわけです。

では、この金型にセンサを搭載して樹脂の状態を知ることが出来たら、何が出来るのでしょうか？

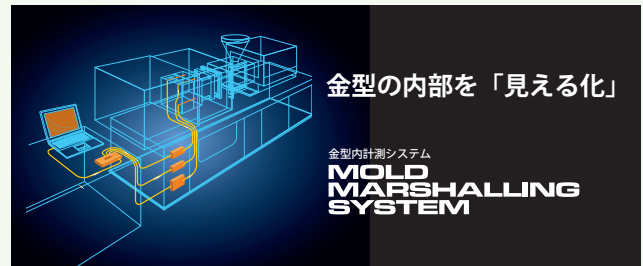
・・・フタバの金型内計測システムを例として、金型内の樹脂挙動をセンサで計測すると「出来る」ようになる代表事例をご紹介します。

## モールドマーチャリングシステム (MMS) ~フタバの金型内計測システム~

### 1) 成形現場に向き合ったシステム —最小限の追加工—

双葉電子工業は、1967年から射出成形用金型用器材の製造・販売を行っています。射出成形用の金型内計測システムであるモールドマーチャリングは、1999年から販売を行い今日までに多くのお客様に量産状況の監視や、成形条件設定のアシストなどにご活用いただいております。

モールドマーチャリングシステム (MMS) は、既存の金型に「無加工」でセンサが設置できる「エジェクタピン」形状のセンサから始まりました。今でも既存の金型のエジェクタプレートのみを加工して、既存のエジェクタピンを経由して「樹脂圧力」を検知できる「ボタン」形状のセンサの拡充を図っており、射出成形で量産を行う現場で使い勝手が良い製品の開発・提供に努めております。



既存の金型にできるだけ無加工で計測機能を付加できるのは「樹脂圧力」だけではありません。「樹脂温度」を計測することができます。このように、既存の金型のエジェクタピンをエジェクタピン形状のセンサと置き換えることでキャビティ内の樹脂圧力や樹脂温度を知ることができる可能性を提供しています。そのほかのセンサ形状として「フラッシュマウント」があります。これは、金型の樹脂流動面にセンサの表面がツライチになるように設置して使用できるセンサ形状です。入れ子の背面から機械加工でセンサの設置場所を追加工して使用します。こちらのタイプは、樹脂圧力、樹脂温度の他に、金型の樹脂流動面の温度が計測できる「金型表面温度」センサや樹脂の流動先端（フローフロント）の流動速度が計測できるセンサを取り揃えています。



### 2) モールドマーチャリングシステム (MMS) で出来ること

- \* 量産監視：設定した成形状態が維持されていることの確認および記録ができる
- \* 不良品検知：良品成形時と異なる計測値が出たことをトリガに成形品を分類できる
- \* 段取り作業の適正化：捨て打ちショット数の適正化ができる
- \* ESG 経営、SDGs 貢献：産業活動のエビデンスとして活用できる
- \* 改善効果を数値で確認：工程改善などの成果を定量的に把握できる



その他にも、出来ることがありますのでお気軽にご相談ください。

金型内に注入された樹脂をきっかけに生じる「状態変化」をセンサで捉える仕組みなので、センサの種類と設置場所の組み合わせや、データの解釈の仕方を工夫することにより様々な活用方法があります。

個々の事例をご紹介するのは難しいので、モールドマーチャリングシステム (MMS) がラインナップしているセンサ群をご紹介いたします。

## ① 樹脂圧力センサ

下図は、4つの圧力センサの出力を時間軸を合わせて重ね書きしたものです。樹脂が流れてくる方向からランナ部、ゲート後部、キャビティ中心部、キャビティ端部の四か所です。

グラフの上部に射出成形機側の制御を記してあります。速度制御射出 (V) で、時間差はあるものの4つのセンサの出力が一気に上がります。短時間にほぼ満量の樹脂が充填されたことがわかります。そこで、射出圧力制御 (P) に切り換わり「保圧」工程に入ります。

すると、4つの圧力センサは設置位置ごとに特徴のある挙動を示します。顕著なのはゲートよりもスプル側の「ランナ部」と、ゲートを過ぎた「ゲート後」の圧力挙動の違いです。ランナ部の圧力は保圧期間を通じてほぼ一定の圧力を示しているのに対して、ゲート後のセンサは保圧期間の半分程度のところで圧力が下がっています。これが射出成形機側からの圧力で樹脂をキャビティ内に押し込めなくなる「ゲートシール」したタイミングとみることができます。

ゲートシール以降、キャビティ内の「ゲート後」、「キャビティ中心」、「キャビティ端」のセンサが示す樹脂圧力は徐々に低下し、ほぼ一定の圧力を示すようになります。このように樹脂から熱が奪われ収縮していく様子も観察することができます。

成形条件が一定であれば、ここに示した圧力波形もほぼ近似になるはずですが、そこで、この波形を「標準波形」として、毎ショット時に観察される圧力波形と比較することで、良品が成形され続けていることを監視することができます。

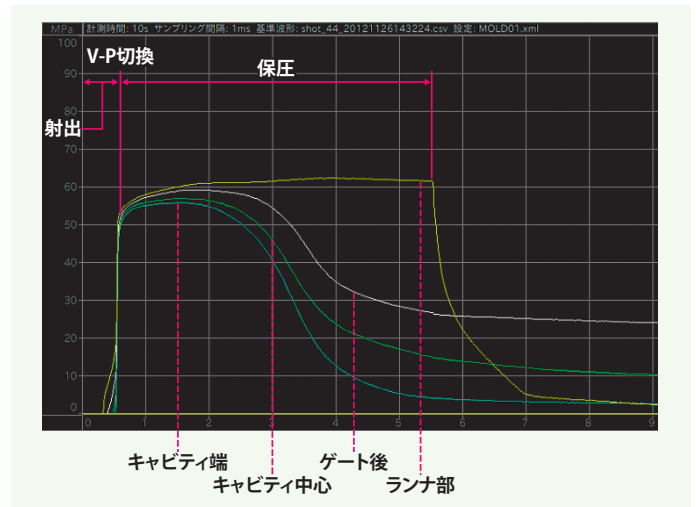


図1 基準波形と金型内の圧力波形

## ② 樹脂温度センサ

金型内に流入してきた樹脂温度を計測することが意外と難しいことは、「測ってみたい」と奮闘された方はご存じなのではないでしょうか。金型内の温度計測に使われることがある「熱電対」では、樹脂温度を計測することができません。高温の樹脂が流動する短時間に、熱電対を樹脂と同じ温度にすることができないために生じる現象です。

そこで、樹脂が発する「赤外線」を計測し、流れる「樹脂温度」を8m秒という高速で計測できるようにしています。最近、よく使われる非接触式体温計やサーモグラフィーと同じ考え方で「樹脂温度」を計測しているのです。

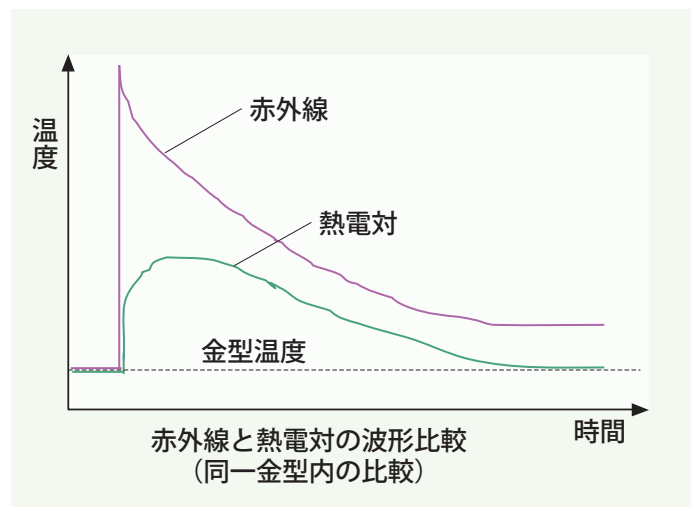


図2 樹脂温度センサの高速応答性

この高速な応答性を機器制御用の「トリガ」として使える機器も用意しております。瞬間的な温度変化を捉えて樹脂の到達を検知し、成形機のV-P切替を行うなどの制御が可能です。

### ③ 金型表面温度センサ

短時間に流れていき、かつ金型に熱を奪われていく「樹脂温度」は測定できませんが、「熱電対」も樹脂流路の金属の樹脂接触面の温度変化を観察する手段として重要です。樹脂の熱が金属内部に拡がってしまうので、樹脂接触面から1mmの距離に「熱電対」を設置して安定した観察を可能にしました。

右図では、金型温度を安定させるための「捨てショット」と金型温度の関係を示しています。樹脂温度を計測することはできませんが、ショット毎に樹脂の熱で金型表面の温度が上下する様子が観察できます。ここで着目するのは、下がってきたときの温度（図中の緑の点）です。捨てショット毎に徐々に温度が上がり、この例では4.3℃上昇したところで安定しています。

つまり、4.3℃になるショット数が無駄のない「捨てショット数」の下限値とわかります。

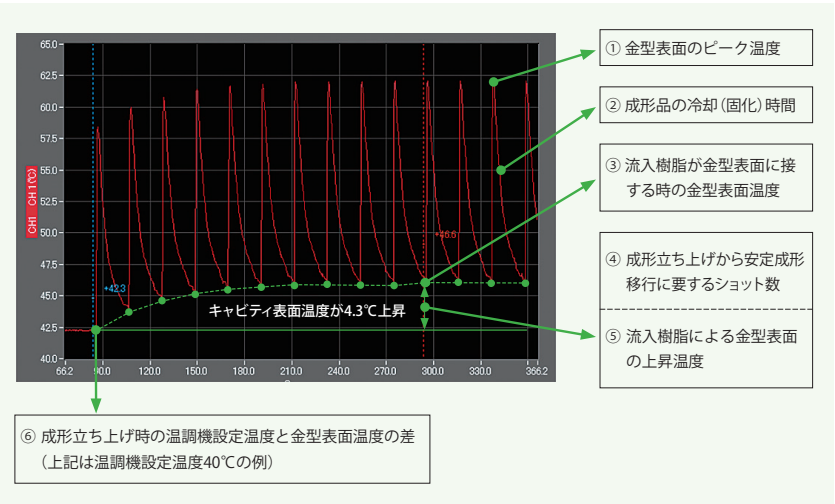


図3 金型表面温度の波形の見方

### ④ 型開き計測センサ

樹脂流入時のパーティングラインの「型開き」をミクロン単位で計測できるセンサもラインアップしております。樹脂の射出圧力の上限值設定を定量的に行う際の情報としてご活用いただけます。

これらのセンサを単独や複数組み合わせると、今までブラックボックスだった金型内の樹脂の状態を知る手掛かりが得られます。

右図は、「樹脂圧力」センサ、「樹脂温度」センサ、「金型表面温度」センサ、「型開き計測」センサの計測値と射出成形機の射出圧力の値を同じ時間軸に重ね書きしたものです。射出速度制御 (V) で樹脂が金型内に注入されると型内圧力が急上昇します。V-P 切替え後の保圧工程に入ると型内圧力がわずかに山なりになった後に低下していきます。このときパーティングラインには型を開く力が働くので、型開き量が山なりに変化していることが確認できます。

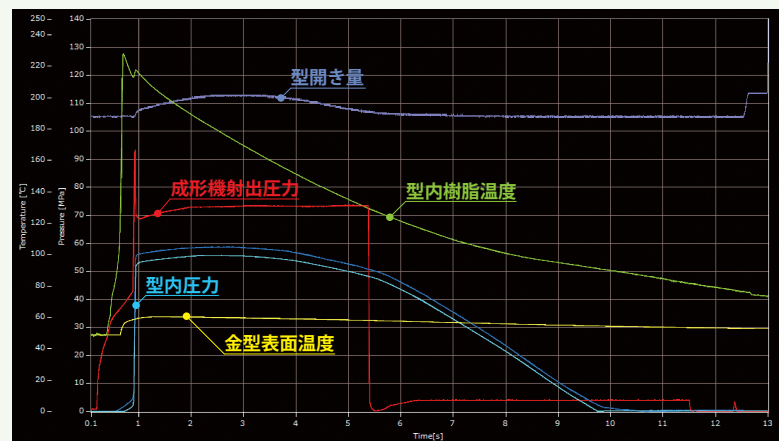


図4 射出成形監視システムの波形

温度変化を観察すると、金型内への樹脂流入とほぼ同時に型内樹脂温度が上昇しているのがわかります。やや遅れて金型表面温度も上昇していますが、上昇温度幅も小さく「樹脂が流入した」という情報しか得られないことがわかります。一方、上昇した温度の下がり方を見ると、金型温度を管理するには「金型表面温度」の計測が有効だといえます。



## おわりに

フタバの金型内計測システム モールドマーチャリングシステム (MMS) は、研究用途ではなく実生産の現場で使用することを前提に製品設計されており、リーズナブルな価格で金型に導入できることを目指しています。

金型内計測システムのハードウェアだけでなく、MT 法 (マハラノビス・タグチ法) を採用した「異常検知」方法や、MMS クラウドサービスなど、より使いやすいシステムとなるようにソフトウェア、IT 環境も含めたソリューションの開発を行っております。これからも、皆様とともに射出成形の現場で発生する課題解決に取り組んで参ります。また、機器の貸出等にも対応しておりますので、お近くの営業所または、下記の連絡先にご相談いただけますと幸いです。お読みいただきましたことに感謝申し上げます。

### ☆ワンポイント☆

### 「MT (マハラノビス・タグチ) 法」



MT (マハラノビス・タグチ) 法とは、似た者同士の集合体に対して、その集合体にどれだけ近似なのかを評価する方法。

一般に、測定値の範囲を決めてその範囲内の数値を示すものを「良品」、外れたものを「不良品」と判別する方法が行われている。

このような「数値の範囲」で判断する方法に対して、MT 法では「集団に属するか否か」の判定を行う。射出成形毎に出来上がる成形品の「良品」「不良品」で考えると、製品の「要求項目」をバラつきの範囲で満足する成形品群が「良品」となる。一方、「不良品」は、ヒケだったりショートだったり、焼けだったりと満足しない「要点項目」が異なる。そこで、何が、どのように満足しないのかを問わず、「良品」群として許容できるかどうかを判定したほうが簡単である。その許容できるか否かの判定にマハラノビス距離 (MD) を用いる。

計測値からマハラノビス距離を計算し、良品群からの乖離が大きいものを「不良品」として判別する方法である。「不良品」と判定されたデータを分析することで、「不良」の原因に寄与している因子を分析することも行われている。この MT 法に準拠したソフトウェアを、金型内圧力計測システム MPS08B に標準搭載している。

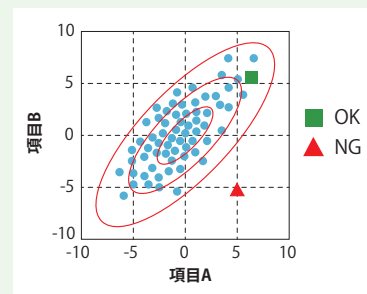


図 5 MT 法の概念