

# インサート成形の生産性向上のための高機能金型に関する研究(第5報)

## 一 試作金型による連続試験一

山田 俊郎      坂東 直行      浅井 博次  
成瀬 哲哉      生駒 晃大      多田 憲生\*

### A study on a smart mold for insert injection molding (5<sup>th</sup> Report)

#### - Continuous Test of Smart Mold System -

Toshio YAMADA      Naoyuki BANDO      Hirotsugu ASAI  
Tetsuya NARUSE      Akihiro IKOMA      Norio TADA\*

**あらまし** プラスチック射出成形の高品質化・効率化を達成する技術として、スマート金型の開発を進めている。スマート金型は、金型にセンサを組み込み、成形時の型内状態を監視・記録するとともに、成形の良否を判断する機能を搭載した金型である。本年度の研究開発では、スマート金型の機能を拡張する型開きセンサとガスベントセンサを試験型に取付け、成形試験をとおして提案センサの有効性を検証した。さらに、量産を想定した連続成形試験をおこない、3,000ショットを超える成形のデータ収集・分析を実施した。

**キーワード** スマート金型、インサート成形、渦電流式センサ

## 1. はじめに

製造業の現場では、製造過程で得られる各種データを分析して、生産の効率化や製品の設計に活かす取り組みが注目されている。NC加工機等の制御装置が組み込まれた工作機械では、すでに機械制御で使われているデータを取り出すだけであるため、データ収集や分析にコストはかかるものの、技術的には容易に実現が可能である。しかし、金型や手動の加工機など、制御装置を持たない生産設備のデータ収集は困難であり、特に金型では収集する物理量の多様さや使用環境の過酷さから、技術的な困難を伴う。

一方で、金型による部品加工は年々高度化しており、特にプラスチック射出成型の分野では、自動車産業における金属部品の置き換えや、電子産業における部品の微細化など、製品製造に求められる技術が高まっている。高度な樹脂部品の製造には、安定した射出成形が必要であるが、成形機の条件は制御できても、樹脂材料の不均一性や環境温度などの外的要因によって、成形の状態を一定させることは困難である。そのため、成形中の金型内の状態を監視し、突発的な不良品の発見および、適切な成形条件へのフィードバックが求められている。

このような背景のもと、プラスチック射出成形の生産立ち上げの効率化や成形不良の発見を目的に、成形中の

金型内の圧力や温度を監視するスマート金型の開発を進めている<sup>[1][5]</sup>。昨年までの研究において、金型に搭載して圧力・温度・振動を記録する小型測定モジュールを開発し、そのデータ解析からスマート金型の有用性を示すことができた。さらに、検出する物理量の項目を増やすため、渦電流式センサを利用した型開きセンサ、および微細熱電対を利用したガスベントセンサを提案し、基礎的な検証をおこなった。

本年度は、提案したセンサを試験型に実装してスマート金型の機能を拡張し、提案技術の有効性を検証した。さらに、量産を想定した連続成形試験を行い、3,000ショットを超える成形のデータを収集し、その分析をおこなった。

## 2. 試験型の製作と新規センサの検証

### 2.1 量産試験型

射出成型機を連続運転して大量の実稼働データを収集するため、実製品に近い形状の試験用の金型を製作した。成形品の形状は図1(a)に示す結束バンド形状とし、左側のロック部分と右側のベルト部分の間にゲートを配置した。センサ類は可動側の金型に取り付けられており、型内圧力センサ2点(ゲート直近およびベルト部分の流動途中)、型表面温度センサ3点(スプルー近傍のランナーおよびロック部分・ベルト部分の流動末端)を設置した。ゲート直近に設置した圧力センサは、キャビティへの樹

\* 株式会社 岐阜多田精機

脂の充填開始直後から充填完了までの圧力変化を連続的に測定することを目的としている。温度センサは、温度変化によって樹脂の到達を検出することができるため、充填開始を検出するためにスプルー近傍と、充填完了を検出するために充填末端に取り付けた。

さらに、ガスベント溝に極細熱電対を利用したガスベントセンサを設置し、キャビティ横には渦電流式変位センサを利用した型開きセンサを設置した。ガスベントセンサと型開きセンサは前年度の研究で構造を提案し、基本性能を確認したものである。

また、圧力センサBより末端寄りのベルト部分に、キャビティの体積を変化させるための可動ピン(Φ3.0, 突き出し量0.3mm, 体積2.1mm<sup>3</sup>)を配置して、キャビティ状態を故意に変化させることができるようにした。このピンは固定側の金型に取り付けられており、ピンの出し入れによって、ベルト部分の製品の厚さ(1.25mm)に対して24%厚さが増加し、全体積(1266 mm<sup>3</sup>)に対して0.017%体積が増加する。

## 2. 2 型開きセンサの検証

従来のスマート金型システムで取得できる、圧力、温度と時間同期して型開き量を取得するため、スマート金型システムに型開きセンサ用が接続できるよう拡張をおこなった。渦電流式変位センサは、金属の接近によるセンサのインピーダンス変化を利用しているため、インピーダンスを計測してデジタル値に変換するデバイス(Texas Instruments LDC1614)を用いた入力回路を設計し、スマート金型システムに組み込んだ。ただし、このデバイスを用いたインピーダンス測定は条件によって数msの時間がかかるため、型開きセンサのサンプリング間隔は、温度・圧力センサのサンプリング間隔(通常1ms)に対して10倍のサンプリング間隔(通常10ms)に設定し

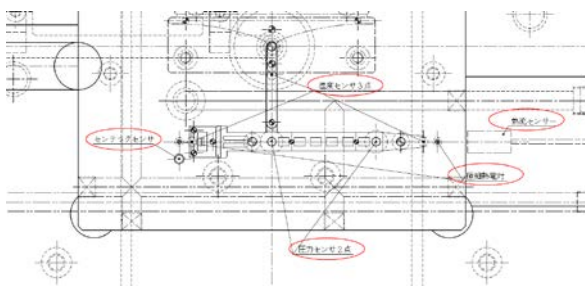
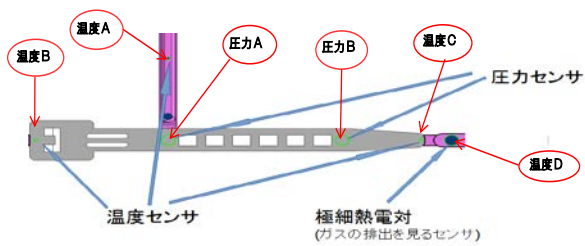


図1 量産試験金型

た。なお、型開きセンサは、製品のロック部分のキャビティの外側に配置した(図1(b)ではセンテックセンサと表記)。

ポリプロピレン(PP)を材料とした成形を行った際の型内圧力(圧力センサA)および型開きセンサの出力を図2(c)に示す。型開きセンサは設置状態によってインピーダンスが変わるため、型開き量を長さの単位(μm)で求めるためにはキャリブレーションが必要となる。しかし、今回センサを設置した金型内では、実寸を測ることができないため、デバイスの出力値をそのまま使い、グラフでは無単位としている。

PPの一般的な成形条件で成形したサンプルの部分拡大写真を図2(a)に示す。通常の成形条件では、成形品の状態が良く、図2(c)のグラフから金型内の圧力が増加しても型開きセンサの出力に変化が現れていないことがわかる。

通常の成形の条件では型開きセンサに変化がなかったため、型締力のみ1,500kNから500kNに落として成形をお

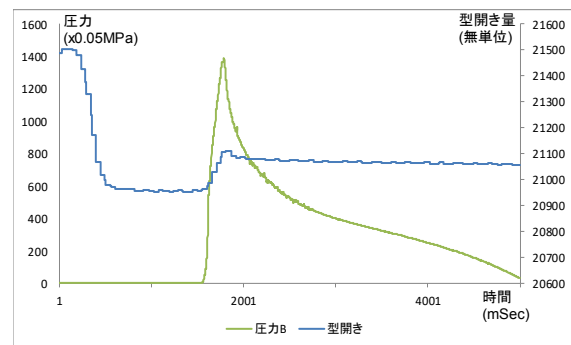
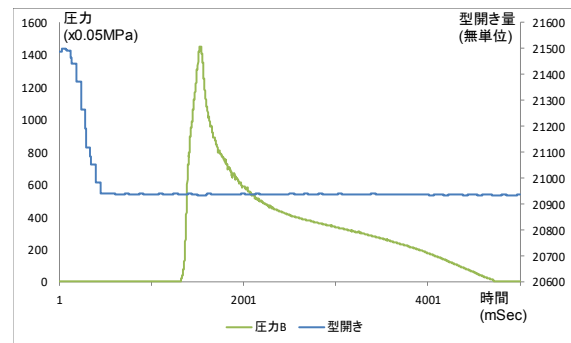
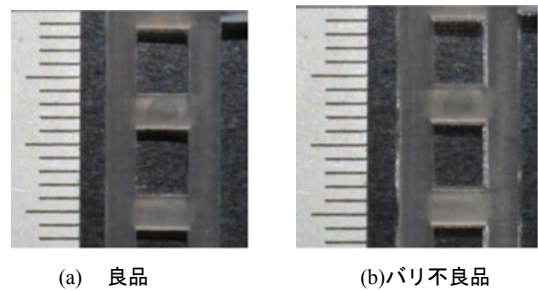


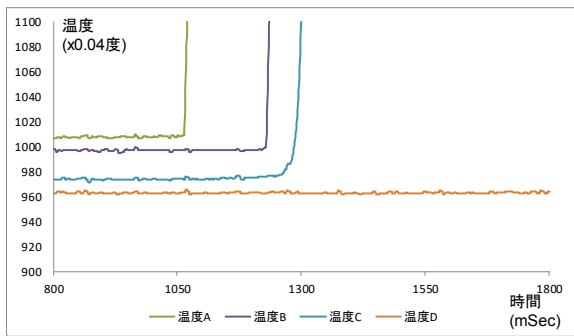
図2 型開きセンサの比較検証

こなった。この条件では図2(b)に示すように製品にバリが発生し、図2(d)に示すように、型内の圧力増加に対して開きセンサが変化を示している。製品のバリは射出圧によって金型が開くことで発生するため、提案の型開きセンサで金型の型開きが検出できていることが検証できた。

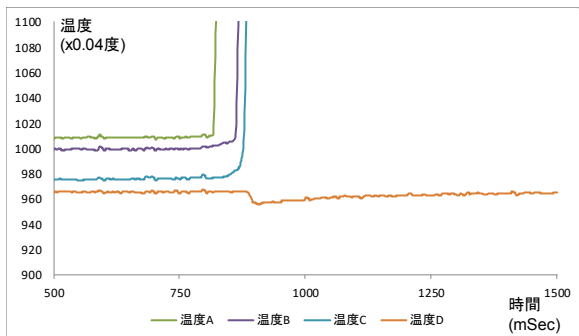
### 2. 3 ガスベントセンサの検証

ガスベントセンサは、空気の流れによる温度変化を極細熱電対で検出するものであり、前年度の研究報告書で仕組みを提案し、その構造を報告した。電気的な構造がスマート金型システムの温度センサと同じであるため、システムの温度センサのポートに接続して使用できる。試験金型では、ベルト部分の先にガス抜けを良くするための浅い溝（ベント溝）が設けられており、ベント溝のキャビティ寄り中央にセンサ表面がベント溝の底と同一面となるようにガスベントセンサを設置した。

ポリプロピレン(PP)を材料とした成形実験において、成形機の射出速度（シリンダの移動速度）を変えて成形を行い、樹脂の充填工程（温度センサの立ち上がり付近）に注目してガスベントセンサの変化の有無を確認した。図3(a)は射出速度が20mm/sと比較的遅成形であり、ガスベントセンサに変化は現れていないが、高速な80mm/sの際には小さいながら変化が現れている（図3(b)）。このことから、キャビティ内の空気がベント溝をある程度の速度で流れるとガスベントセンサが反応することが確認できた。しかし、ベント溝を流れる空気の流速は射出速のみでなく、キャビティ形状やベント溝以外からのガス



(a) 射出速 20mm/s



(b) 射出速 80mm/s

図3 ガスベントセンサの反応

の抜け状況、型や樹脂の温度などが複雑に関係するため、センサが反応する流速を一概に示すことは困難である。

また、センサの端面に極細の熱電対が露出する構造であることから、金型面をクリーニングする際に、熱電対を切断することがあり、実運用上では破損しやすいことが問題となった。ガスベント検出の方法としては有効であると考えられることから、今後センサ構造の改良が必要である。

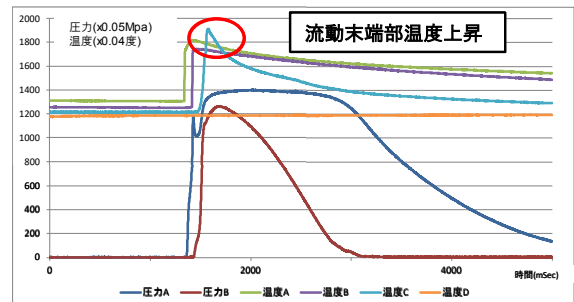
### 3. 量産試験によるデータ収集

#### 3. 1 量産試験

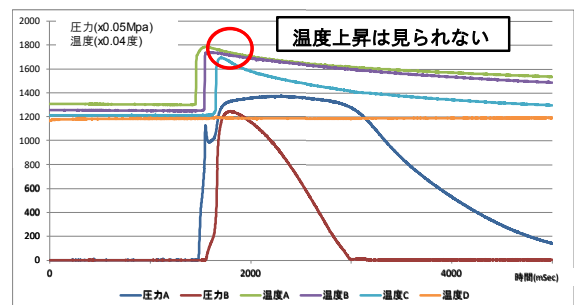
試験型による量産試験では、材料にグラスファイバー30%入りのナイロン樹脂（PA66-GF30）を使用し、2日間に



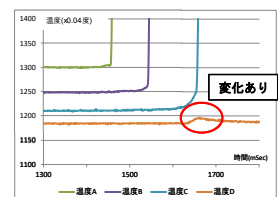
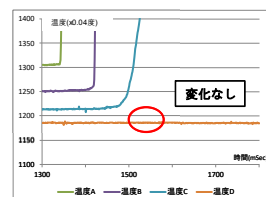
(a) ベルト部分末端の外観



(b) ガス焼け不良発生時の測定波形例



(c) 正常成型時の測定波形例



(d)不良時のガスベント波形 (e)正常時のガスベント波形

図4 成形不良の検出例

わたって約3,200本の成形をおこなった。成形品には番号シールを張り付け、測定データと現品の対応付けを行った。なお、成形は昼間のみとし、2日間の連続稼働ではない。

### 3. 2 成形不良の検出

2日にかけて行った成形実験では、1日目の成形においてベルト部分末端に多くのガス焼け不良が発生した(図4(a))。正常成型の測定波形(図4(c))と不良時の測定波形(図4(b))を比較すると、ほとんどのセンサが同じ変化傾向を示すものの、ベルト部分の充填末端に取り付けた温度センサCのピーク値に差異が見られた。不良発生時は温度の上昇が見られ、そのピーク値は樹脂の供給口であるランナー部分のピーク値よりも高い値を示している。このことから、供給される樹脂の温度よりも末端部分の樹脂温度が高くなり、樹脂が熱分解していることが示唆される。また、ガスベントセンサの反応は、正常成型時には変化があり(図4(e))、不良成形時には変化が現れていない(図4(d))。このことから、不良成形時はキャブティ内のガスの抜けが悪いことがわかる。

温度センサCおよびガスベントセンサの変化から、不良成形時はガスベント溝に詰まりが発生してガス抜けが悪くなり、樹脂の射出によってキャブティ内の空気が圧縮されて高温になり、樹脂を加熱分解して焼けが発生したことが推定された。

### 3. 2 特徴量の時系列変化の検証

先に報告した研究において、ショットごとの射出成型データの比較に利用できる特徴量を提案しており、今回もショットごとの特徴量の変化を検証した。成形が安定していたことから、各特徴量に大きな変化は見られなかったが、唯一1日目の成形の温度センサCのピーク値に大きなばらつきが見られた。図5にショットごとの各センサ

(圧力A,B, 温度A,B,C)のピーク値の変化を示す。2日目の成形では温度センサCのピーク値も安定している(途中2か所の落ち込みはチョコ停による)が、1日目は大きくばらついている。この時の成形は前節で示したガス焼けが頻発している。

ガス焼けの原因としては、材料の乾燥不足が考えられた。実験に先立って材料を1晩乾燥させたが、古い材料であったため乾燥が不十分でガスの発生が多くなり、ベント溝を詰まらせ、ひいてはガス焼けになったものと考えられる。2日目の成形試験では、さらに1晩乾燥させたため、ガスの発生が抑えられたものと考えられる。

なお、ピンによるキャビティの体積変化では、測定データに変化が認められなかった。

## 4. まとめ

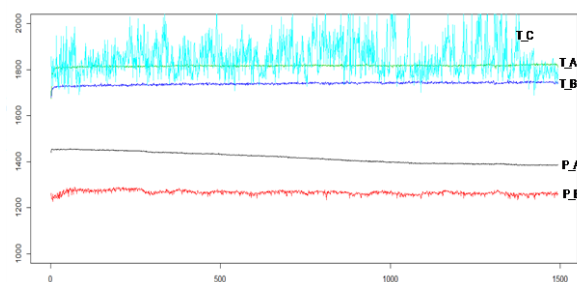
スマート金型に型開きセンサ、ガスベントセンサの計測機能を追加し、試験型による有効性の検証をおこなった。型開きセンサでは製品のバリが検出でき、ガスベントセンサではガス抜けの状態が検出できることが確認できた。しかし、ガスベントセンサには耐久性の面で課題があることが判明した。

また、連続成形試験からは、開発システムの連続稼働が確認できたとともに、材料状態の不良が原因と考えられる成形の不良が検出できた。

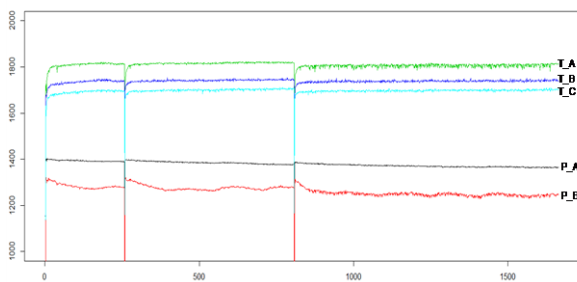
今年度は小型の試験金型による検証ができたが、今後はスマート金型の効果がより顕著に表れると考えられる大型の金型による検証をおこなう予定である。また、計測データの分析に関しても、特徴量比較のみでなく、AIの活用を進めていく予定である。

## 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型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型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] 山田, 坂東, 浅井, 久富, 多田, “生産性向上に資する射出成型スマート金型の開発(第5報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第17号, pp. 16-19, 2016
- [4] 山田, 坂東, 浅井, 久富, 棚橋, 多田, “インサート成形の生産性向上のための高機能金型に関する研究(第1報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第18号, pp. 1-4, 2017
- [5] 山田, 坂東, 浅井, 成瀬, 生駒, 多田, “インサート成形の生産性向上のための高機能金型に関する研究(第3報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第19号, pp. 10-13, 2018



(a) 1日目の成形



(b) 2日目の成形

図5 各センサピーク値