

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)

－ スマート金型システムの機能拡張 －

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 (3rd Report)

- Enhancement 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センサ技術の開発と、現場で利便性向上に関するソフトウェア開発をおこなった。渦電流式センサを用いた型開き検出と、極細熱電対を用いたガスベント検出の機能を組み込んだ試験金型を試作するとともに、成形現場でのデータのみえる化に対応するため、リアルタイム簡易モニタおよび成形機パネルへのスマート金型データの表示機能を開発し、実装した。

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

自動車産業をはじめとする機械産業では、製品の軽量化・低コスト化を目的に、金属部品をプラスチックに置き換える流れが進んでおり、射出成形の高度化が求められている。シリンダヘッドカバーなどのエンジン部品では、高温にも耐える成形が困難な樹脂材料が使われるが、アルミダイキャストと変わらない精度が求められる。また、金属部品を溶接して製造していた部品のステー部分を射出成形で一体成形する型内接合成形では、金属部分と樹脂の接合強度が求められる。このような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、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、成形の状況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^{[1][4]}。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。また、型内接合の監視を目的として、インサート成形品のインサート金物の変位を検出する基礎技術の開発を行ってきた。

本年度は、スマート金型の機能を拡張するセンサ技術の開発と、現場で利便性向上に関するソフトウェア開発をおこなった。センサ技術の開発では、昨年度に開発したインサート金物の変位検出技術を応用して、射出圧によるミクロン単位の型開きを検出する技術を開発した。また、射出による型内のガスの抜け状況を検出するガスベントセンサの開発もおこなった。ソフトウェア開発では、これまでオフラインでしか確認できなかった圧力・温度の波形をスマート金型に接続したPCに表示するソフトウェアを開発した。さらに、スマート金型の測定・分析結果を射出成形機にフィードバックすることも検討しており、その端緒としてスマート金型の計測データを射出成形機の操作モニタに表示するシステムを開発した。

2. スマート金型の機能拡張

2. 1 型開き検出センサの開発

スマート金型システムのセンサ情報を増やし、成形状態をより詳細に測定するため、先行して研究開発を行っ

* 株式会社 岐阜多田精機

ていた金型内のインサート金物の変位計測技術^[4]を基に、インサートを用いない成形においても金型の開きを検出できるセンサの検討をおこなった。

先行研究においては、金型を模擬した鉄ブロックの中に渦電流式の変位センサを取り付けて変位検出をおこない、周囲の金属の影響は受けるものの、 50μ 程度の分解能で変位の検出が可能であることがわかった。この実験では、変位の検出対象をインサート金物の薄板としているが、検出対象が対向する金型であっても同様の結果が得られ、型開きの検出が可能であると考えられる。しかし、汎用のセンサヘッドは、使用温度上限が 60°C であり金型の温度に耐えられないこと、ストレート形状で金型への取り付けが困難であることが課題となった。

金型への取り付けについては、センサの形状を型内圧力センサや型表面温度センサと同様の段付き形状とし、センサの背面からスリーブで押さえて固定する形状を設計した。耐熱温度の向上については、センサ内部の樹脂を耐熱樹脂とした仕様とし、センサメーカーであるセンテックに製作を依頼してセンサヘッドを作成した。耐熱温度が 120°C であるため、高温のエンブラでの利用はできないが、汎用的なPPやPA66などでは使用が可能である。

また、これに合わせて、スマート金型システムに変位センサのデータを取り込むための追加基板を設計した。この基板は既存のスマート金型センサ基板と互換性を持たせてあるため、圧力センサ基板や温度センサ基板と置

き換えてメインのマイコン基板に接続することができる。計測データはI2Cバスでマイコン基板に送られ、他のセンサと時間同期してSDカードに記録される。

今回製作した耐熱型の渦電流変位センサおよびスマート金型に組み込む電子回路を用い、昨年度の基礎検討と同様の実験環境で金型間の距離検出の検証をおこなった結果を図1に示す。距離に応じて変換器の出力値が変化しており、距離が一定の際の測定値の標準偏差(静止時の計測ノイズに相当)は300程度であった。このことから、数 μm 単位の分解能で型間距離の検出が可能であることが確認できた。しかし、昨年度の検証では型間距離に応じて単調に値が変化していたが、今回の検証では、 $275\mu\text{m}$ をピークに値が減少している。これは、センサおよび電子回路の特性によるものと考えられるが、数100Nの締め付け力で閉じている型が $200\mu\text{m}$ 以上開くことは現実的ではないため、 $200\mu\text{m}$ 以下を検出範囲として使用することとする。

また、渦電流式変位センサは、その構造上温度によって特性が変化することが知られている。金型内で使用する際に、温度によって出力がどの程度変化するのか検証した。先の検証の上型を取り外し、型の両面に温度センサを取り付け、 75°C の温度環境下に置いて変化を観察した結果を図2に示す。右上がりの濃色の線が温度変化(両面の温度センサの平均値)を示し、波打ちながら右下がりとなっている淡色の線が変換器の出力を示す。温度の上昇に伴って、出力値が下がっていることが確認でき、おおむね 50°C の温度上昇に対して25,000の減少となっている。この量は、型開きにおける $150\mu\text{m}$ の出力変化量に相当するが、射出時(数秒間)の変化量を見るため、温度変化の影響は少ないと考えてよい。しかし、測定値は非常にノイズの多いものとなっており、先の検証では静止時出力の標準偏差が300程度であったのに対し、今回は温度一定時(2,000秒~2,500秒)においても出力の標準偏差が3,700ほどとなり、金型間の距離検出検証時の標準偏差に対して12倍も大きな値となっていた。これは、恒温槽代わりに使用したFDM 3Dプリンタのコンプレッサーの振動および電気ノイズの影響が考えられる。金型で使用する場合には、ケーブルや電子回路のノイズ対策を施すとともに、成形機や工場内の環境による影響を検証する必要がある。

2. 2 ガスベントセンサの開発

スマート金型システムのセンサ情報を増やし、成形状態をより詳細に測定するため、ガスベントの状態を検出する技術の検討を行った。金型内に樹脂が射出されると、樹脂が充填される空隙にあった空気は型設計において制御された排出路から型の隙間を通して排出される。この排出ガスには、空気のみでなく気化した樹脂も含まれており、成形を繰り返すうちにタール化した樹脂によって排出抵抗が増える傾向になる。また、樹脂充填の状況によっても、ガスの排出状態が異なる可能性もある。これ

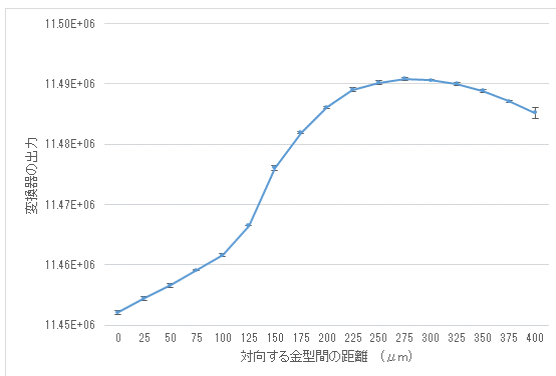


図1 型開き距離と変換器出力

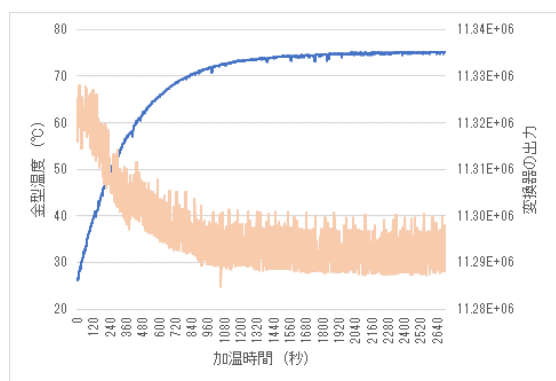


図2 温度による変換器出力の変化

らのことより、ガスの排出状態をセンシングすることで、成形状態を知ることが可能であると考えられる。

ガスの流れを検出するには、一般に流量センサが用いられるが、金型内に設置することは困難である。そのため、流量そのものを検出するのではなく、簡易な方法で流れの状態を検出する方法を検討した。型内の空気は、樹脂の射出によって圧縮されるため、温度が型温よりも高くなると考えられる。熱応答の良い温度センサをガスの排出路に設置することで、ガスの流れによる温度変化を感知し、排出状態をセンシングできるのではないかと考えた。この考えのもと、熱容量が小さいΦ0.1の熱電対を検出部とする先端径4.0mmの小型センサを考案した(図3)。

このセンサは、軽く息を吹きかけた程度で反応するため、ガスベント状態の検出が可能であると考えられる。また、センサ自体は熱電対であるため、スマート金型システムでは、既存の型表面温度センサのチャンネルに接続して測定することができる。

2. 3 試験金型の試作

前記の渦電流式変位センサによる型開き検出機能、極細熱電対によるガスベント検出機能を組み込んだ試験金型を岐阜多田精機で製作した(図4)。試作品の形状は結束バンド形状とし、バンド側のPL面にガスベントセンサ(図中では極細熱電対と表記)を取り付け、ロック側のPL面に型開きセンサ(図中ではセンテックセンサ)を取り付けた。試験型には、これらのセンサのほかに、型表面圧力センサをゲート直近と充填中間点の2点に、型表面温度センサ

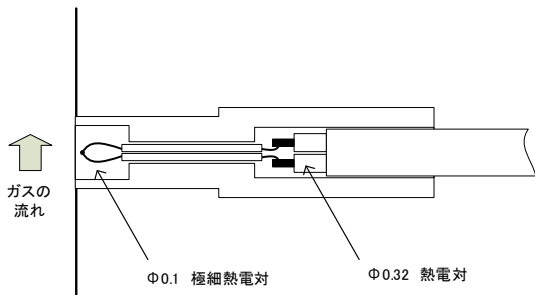
をランナと充填末端の3点に組み込み、さらにガスベント状態のセンシングのため、熱流センサも組み込んである。なお、この型を用いたデータ取得実験は今後行い、型開きセンサ、ガスベントセンサの有効性を検証する予定である。

3. 現場向け見える化ソフトウェアの開発

3. 1 リアルタイム波形ビューアの開発

これまでのスマート金型開発では、詳細な測定データはデバイス内蔵のSDカードに記録し、接続したパソコンでは測定の状態と代表的な測定データの数値を見ることしかできなかった。圧力や温度の波形観察には、SDカードのデータを抜き出して、パソコン上のデータ解析アプリケーションでの描画が必要であった。デバイスの開発段階では、SDカードにデータが保存されていることが確認でき、波形観察等の分析はオフラインでおこなっても問題はなかったが、成形実験で用いるには現場で波形を確認する必要があった。

SDカードには、最大で1ショット約2Mbyteのデータ(16bit×32チャンネル×1kHzサンプリング×30秒間)が蓄積される。このデータをそのままショットごとにPCに送ると、通信に時間がかかり、次のショットのデータ取得ができなくなる。成形現場では波形全体の概形が分かればよいので、PCの1画面に表示する程度のデータ量に間引いてデータを送信することとした。1kHzサンプリング、30秒間では、時間方向に30,000点のデータが取得で



(a) ガスベントセンサの構造



(b) センサ外観
図3 ガスベントセンサ

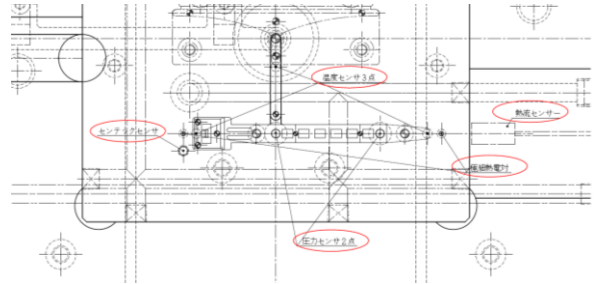


図4 試験金型の正面図

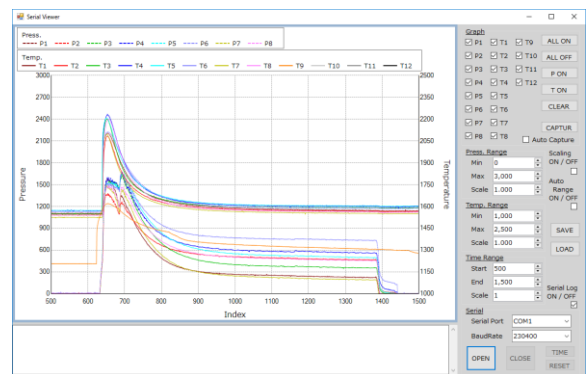


図5 リアルタイム波形ビューア

きるが、画面の解像度を考慮して、時間方向に1/50、600点のデータを送ることとした。すなわち、200Hzサンプリング相当の時間解像度となっている。

図5に開発した簡易モニタの表示例を示す。センサごとにグラフの表示/非表示の切替や、計測値からMPa, °Cへの単位換算、表示範囲の設定ができる。波形の更新はSDカードへの書き込みと同時に進行するため、ショットが終わってから(設定された測定時間が経過したから)となっている。

3. 2 成形機操作パネルへの測定値表示

将来的には、スマート金型の測定データから成形条件を自動的に判定し、成形機を制御するシステムを目指している。スマート金型と成形機間の通信を用いたアプリケーションの第1段階として、スマート金型の測定データを成形機(住友重機械工業 CL7000)の操作パネル上に表示させる機能を実現した(図6)。

成形機とスマート金型の通信は、成形機既存の通信インタフェースであるRS-232Cを通しておこない、通信プロトコルも成形機既存のプロトコルを拡張して対応した。成形機の既存プロトコルは、成形条件のダウンロードや成形後のピーク値の記録など、小容量のデータが想定されているため、通信内容はASCIIコードであり、1つの設定項目ごとに通信確認を行っている。この方法では大容量のデータを送るには時間がかかりすぎるため、表示内容は成形状態の特徴を最も示す、各センサのピーク値およびピークが出た時間のみに限定した。

成形機側は、通信プロトコルの拡張に加えて、操作パネルに新たな表示画面(スマート金型タブ)を追加し、さらに表示値のロギング機能も追加した。スマート金型デバイス側では、成形機向けの通信プロトコルに対応するとともに、データ送信先をPC、成形機、両方に切り替えられるよう、スイッチ機能を追加した。成形機との通信では通信確認が入るため、接続されていないと確認待ちで通信がブロックする。また、スマート金型のマイコンの性能上、ロギングとデータ通信が同時に行えないため、通信に時間がかかると、短いサイクルタイムの成形

に対応ができない。スマート金型の利用シーンに柔軟に対応するため、通信先の切替機能を盛り込んだ。

4. まとめ

スマート金型でより多様な測定をおこなうため、型開きセンサとガスベントセンサを提案した。型開き検出センサは、10 μ m程度の分解能を持つことが確認できた反面、環境のノイズの影響を受けやすいことが分かった。

また、作業現場での利便性を向上させるため、スマート金型とPCを接続して、ショットごとにセンサ波形を確認できるビューアを開発した。さらに、スマート金型と射出成形機を接続して、成形機の操作パネル上でも測定結果を簡潔に表示できる監視画面を開発した。

今年度は、新たなセンサを組み込んだ試験型の設計・製作まではおこなったものの、成形実験まで行うことができなかった。今後は早急に成形実験を行い、センサの有効性を確認するとともに、成形データを蓄積し、データ分析を進める予定である。

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] 山田, 坂東, 浅井, 久富, 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

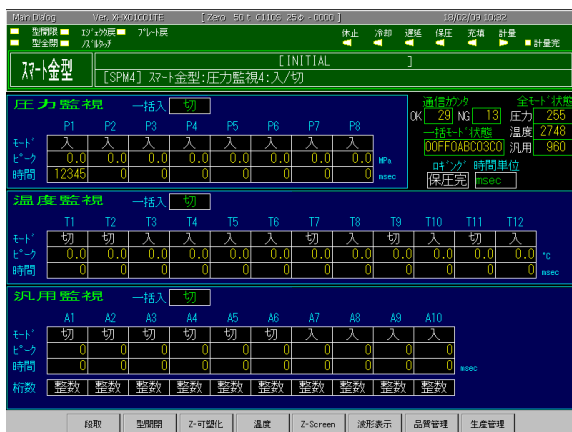


図6 成形機操作パネルへのスマート金型測定値表示