

生産性向上に資する射出成形スマート金型の開発

— センシングシステムの設計と試験金型の試作 —

山田 俊郎, 坂東 直行, 平湯 秀和, 棚橋 英樹,
丹羽 厚至*, 窪田 直樹*, 多田 憲生**

A study on a smart injection mold

- The sensing system design of the injection mold and an experiment with a prototype -

Toshio Yamada, Naoyuki Bando, Hidekazu Hirayu, Hideki Tanahashi,
Atsunori Niwa, Naoki Kubota, 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のかを判別することが可能となる。本報では, センサシステムの設計および試作した実験金型を用いたデータ取得実験について報告する。実験データの解析から, 提案システムで得られるデータが成形状態の同一性を確認するための指標となり得ることが示唆された。

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業界では, 成形品の微細化や樹脂の多様化などにより, 成形条件は複雑なものとなっているが, 温度や圧力などの成形時の金型内部状態を客観的なデータとして得ることが難しく, 成形条件の決定は作業者の経験に大きく依存している。高機能・高精度の射出成形品を高い生産性で製造するためには, 従来経験に頼っている部分を論理的に解明するとともに, 金型内の状態を基に適切なショットが行われたかを常時監視する技術が求められている。

これまでも, 金型内に温度や圧力のセンサを取り付けて射出成形時のデータを取る試みが行われており, 国内工場の良品製造パターンと同じになるように海外工場の成形条件を設定するなど, 成形時の金型内データの活用が始まっている^[1]。しかしながら, これらデータの活用は立ち上げ時の一時的な利用に留まり, 継続的なデータの活用はほとんど行われていない。これは, データ取得にパソコン等の設備を要し, 日常的な生産では使いづらいシステムであるところが大きい。連続的にデータを取得し, データから異常を発見することで, 現在目視検査に頼っている不良発見を自動化できることが期待され

ている。また, 金型の経時変化も取得でき, 金型メンテナンスへの活用も期待される。

軽量で強い素材として注目されているカーボンファイバ等を混入した繊維強化樹脂の成形では, 繊維の方向(樹脂の流れ)が製品強度に関係しており, 単に形状ができているというだけでなく, 型内の樹脂流動状態が設計どおりであることが必要である。金型内の状態を定量化することでショットごとの流動状態を確認することができ, 製品の品質をデータで示すことが可能になる。また, これらのデータを保管することで製品のトレーサビリティにも利用が可能であり, 品質管理を強化する手段として期待できる。

このように, これまでブラックボックスであった金型内の状態を継続的に取得・蓄積する技術は, 生産の立ち上げ時間の短縮化や不良品発見に効果が期待できる技術である^[2]。本研究では,

- ・ 金型の各種データ(温度, 圧力, 振動など)をパソコンで取得し, 金型上で処理
- ・ 取得データのビッグデータ解析によって成形異常を自動判定

ができる知的な金型(スマート金型)の開発を目標とする。

本報では, スマート金型実現のための第1ステップとして試作した試験金型について報告するとともに, 試験金

* 岐阜県産業技術センター 環境・化学部

** 株式会社 岐阜多田精機

型を用いた成形実験の結果について報告する.

2. センサ付き射出成形金型の設計

射出成形において、金型内の樹脂の状態に影響を与えると考えられるパラメータとしては、温度、圧力、流速、流れ方向などが考えられ、温度については、樹脂そのものの温度や金型表面の温度、内部温度など、複数の測定ポイントが考えられる。さらには、射出成形機側の各種条件や材料のコンディションなど、成形の成否に関わるパラメータは無数に存在する。これらの考えられるパラメータを可能な限り収集して成形条件にフィードバックすることが理想ではあるが、本研究では、量産現場での使いやすさを考慮して「金型上で完結するシステム」をコンセプトにシステムを設計した。

2. 1 センサシステム

金型内の樹脂の挙動を知るには粘性流体である樹脂そのものを測定することが最も効果的であるが、樹脂内部の状態を成形品に傷をつけることなく測定することは不可能である。金型表面に取り付けたセンサのデータから間接的に樹脂の挙動を推定することになるが、型表面のセンサには溶融した樹脂が直接触れることになり、高温、高圧下にさらされる。このような条件の下では繊細なセンサの使用は困難であり、本研究では射出成形型用開発された型内圧力センサ、型表面温度センサを使用することとした。また、型の深部温度を測定する温度センサ、コア側の型振動を測定する加速度センサも使用することとした。使用したセンサを表1に示す（金型上のセンサ配置は次節で説明する）。

これらのセンサで測定されるデータを同一の時間軸で

表1 試験金型に取り付けたセンサ

種別	点数	レンジ	メーカー・型番
表面圧力	4	200MPa	KISTLER 6157BA
表面温度	8	450℃	KISTLER 6193B
深部温度	4	650℃	汎用シース熱電対
振動	3(軸)	400m/s ²	小野測器 NP-3574

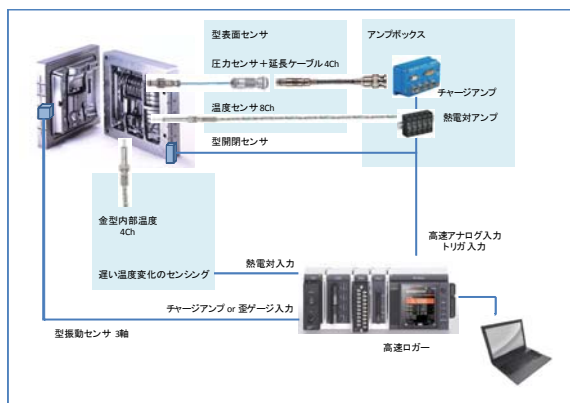


図1 データ記録システムの構成

同期して記録するため、図1で示す構成のシステムを構築した。KISTLER社製のセンサには専用のデータ処理装置が用意されているが、他社のセンサ（振動と深部温度）と時間同期して記録させることが困難である。すべてのセンサデータを汎用のデータロガー（キーエンス社NR-600シリーズ）で記録することで、特定メーカによらない同期記録システムを構築した。

型表面の温度測定には、熱容量が小さい小型の熱電対センサを金型と熱的に絶縁された状態（H7公差のゆるみばめ）で設置している。これによって、充填される樹脂が温度センサに到達すると、10ミリ秒オーダーの短時間で温度変化が検出できる。このセンサを流路に複数設置して、温度変化の時間間隔を検出することで、樹脂の流速を推定することが可能になる。熱電対のデータ取得には熱電対用の入力モジュールが用意されているが、サンプリングが遅く急峻な温度変化を検出することができない。センサからアナログの熱電対アンプを介して高速アナログモジュールに接続することで、熱電対型センサの高速なデータ取得を実現した。開発システムでは、全データを1m秒のサンプリング間隔で取得できる。

2. 2 金型設計

試作金型による成形品の形状は、引っ張り試験で用いられるJIS K7162試験片形状とした。これは、本研究と同時に進めている流動解析の研究での利用を想定したものである。キャビティは図2に示すような製品2個取りの形状であり、表面圧力センサを4箇所（○にP）、表面温度センサを8箇所（●にT）に設置した。深部温度センサは、可動側はパーティング面から20mm、固定側は32mm奥の上下に設置した。

図中の○に×の印は流量調整弁を示しており，成形品のキャビティ内での樹脂の流れ方を変化させ，表面温度センサの立ち上がりタイミングのパターンを変えて評価することを目的としている．また，ウェルドの有無や発生位置も変わることから，成形品の強度比較を行うことも想定している．

試作金型の写真を図3に示す。型表面センサはすべて可動側に設置しており、固定側には深部温度センサ(2箇所)のみ取り付けである。流量調整はランナー幅の異なるブロックを入れ替えることで実現しており、流路断面積が

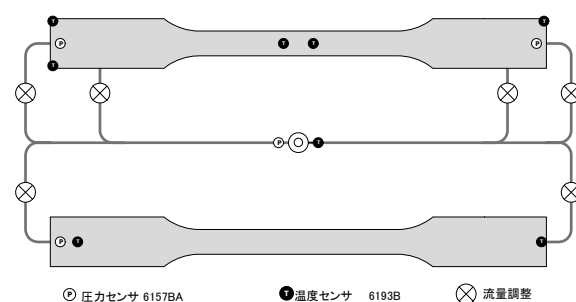


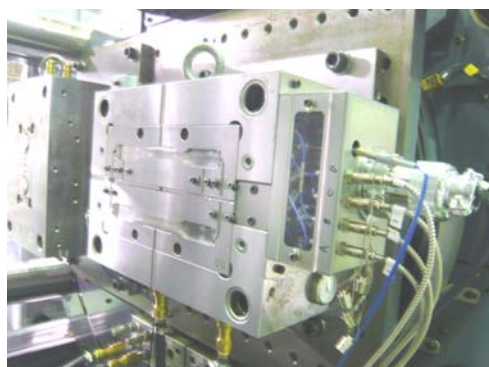
図2 試作金型の基本構造

1, 2/3, 1/2, 0の4段階で切り替えが可能である。また、中央部分にセンサを設置していない下側の製品は、引っ張り試験時の破断部分に傷がつかないように、ブロック押しのエジェクト機構を採用した。

3. 試作型による成形実験

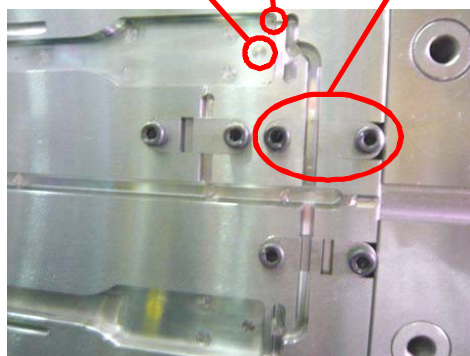
試作した金型を用いて、3種類の充填パターンにおいてデータ取得の実験を行った。使用した樹脂材料はポリカーボネイト(PC)およびPCにカーボンフィラー(CF)を10%, 20%, 30%入れたものの4種類である。成形機は住友重機(株)製SE280HS-CIを用い、合計で約300ショット分のデータを収集した。PC材の成形で得られたデータの一例を図4に示す。このときの充填パターンは、図5(a)に示すように左下の流量制御弁を全開、右上の流量制御弁を1/2開、他の流量制御弁は閉としたものであり、製品キャビティに対して1方向から樹脂が充填されるパターンである。成形品(ランナー付き)は図5(b)に示す形状である。

すべてのセンサデータは図4(a)に示すように時間同期して記録ができており、樹脂の充填・冷却に伴って型表面の圧力(図4(b))・温度(図4(c))が変化していることが確認できる。型深部の温度は、型の熱容量が大きく1回の成形サイクル中に大きな変動は見られなかったが、長時間の繰り返し運転では緩やかな時間的な変動が確認



(a) キャビティ側全体

型内圧力 センサ 表面温度 センサ ランナー切替 ブロック



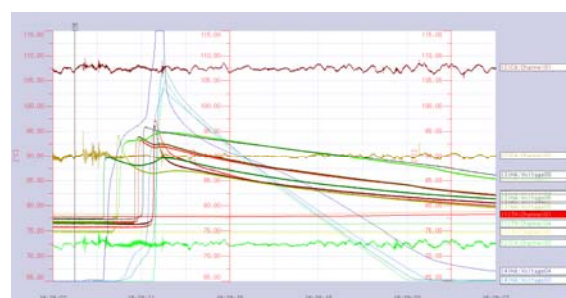
(b) ランナーおよびゲート部分

図3 試作金型

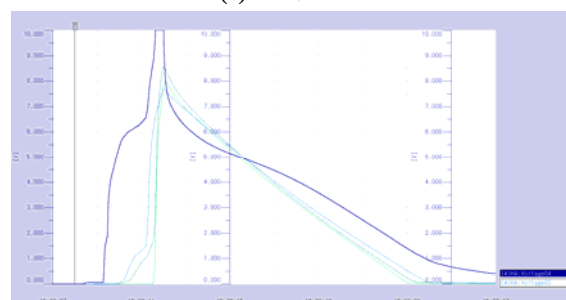
された。また、型振動(図4(d))については、型の移動や成形機の運転に伴って発生する振動が記録されているが、非常に小さな加速度であり同じ工場内にある他の機械の振動の影響も受けていると考えられる。

型表面温度の取得に用いたセンサには、前章で述べたように熱容量の小さなものを採用しているため、図7に示すように温度変化に対して素早い時間応答が得られることが確認できた。センサデータの立ち上がり時間をみることで、樹脂がセンサ間を通過する時間が分かり、充填状態を評価する指標となることが確認できた。

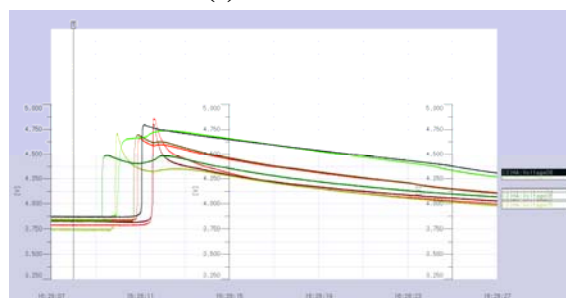
ショットごとで得られるデータの安定性を検証するた



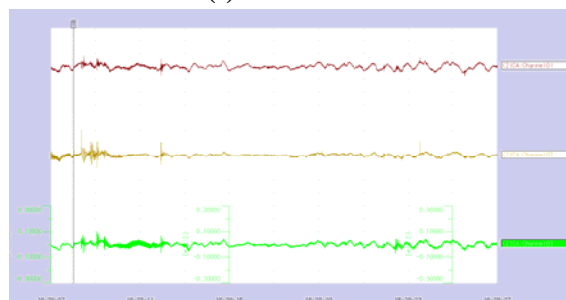
(a) 全データ



(b) 型表面圧力



(c) 型表面温度

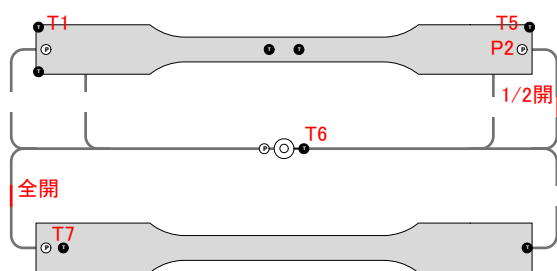


(d) 型振動

図4 測定データの波形

(深部温度はほとんど変化が無いので個別グラフを省略)

め、16ショット分のデータを重ね書きした、グラフを図7,8に示す。図中のAのラインは故意に不良を発生させた場合(重量充填率98%)のものである。図7は型表面圧力センサ(図5(a)におけるP2)のデータである。A以外はほぼ同じ波形、ピーク圧が得られていることが確認できる。また、図8は型表面温度センサ(図5(a)におけるT1, T8)の立ち上がり部分を時間拡大したものである。Aは大きく外れているが、その他の場合の立ち上がり時間は20m秒以内に収まっていることが確認できた。なお、B,Cのラインはしばらく型が開いた後の1回目、2回目のショットのデータであり、型表面の温度が定常状態に達していないことが確認できた。このように、同一の成形条件であればばらつきの少ないデータ取得が可能であること、成形条件が変われば測定データも変化することが確認でき、本システムで異常発見が可能であることが示唆された。



(a) ランナーパターンとセンサ番号



(b) 成型品

図5 データ比較評価のサンプル形状

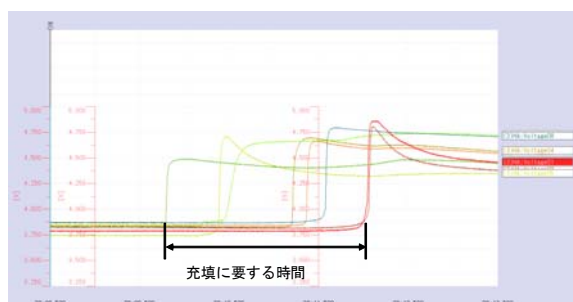


図6 温度センサによる流動時間評価

4. まとめ

プラスチック射出成型における立ち上げ時間の短縮、不良成形の発見を目的としたスマート金型システムを提案し、センサシステムの設計および実験金型を試作した。試作した金型を用いたデータ取得実験から、提案システムで得られるデータが成形状態の同一性を確認するための指標となり得ることが示唆された。

今後は、さらなる成形データの取得・解析を進めるとともに、金型上で完結するコンパクトなシステムの開発を進める。

文 献

- [1] “キスラー プラスチックブック”, 日本キスラー株式会社, 2012.
- [2] 北川和昭, 中野利一, “実践 射出成型不良対策事例集”, 日刊工業新聞社, 2010.

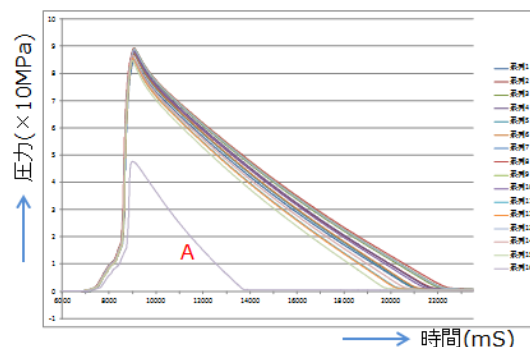


図7 圧力センサ(P2)の波形

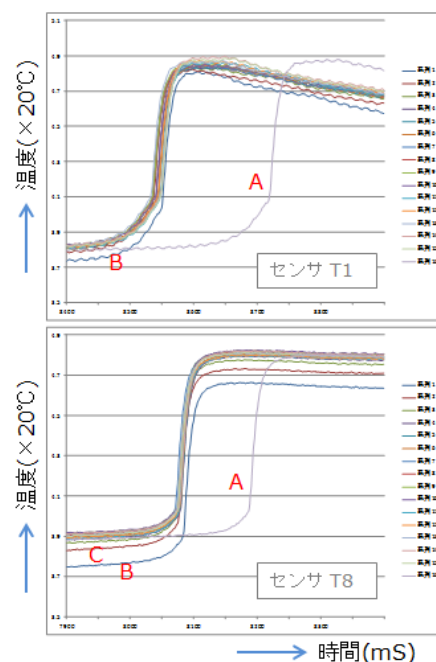


図8 型表面温度センサの立ち上がり