

# 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)

## － 金型内インサート金物の移動検出に関する基礎的考察 －

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 mold for insert injection molding (1<sup>st</sup> Report)

- Feasibility study on insert metal sensing -

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型の高品質化・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。本年度の研究では、スマート金型をインサート成形に対応させるべく、インサート金物の状態検出のための基礎的な検証をおこなった。周囲が金属に囲まれた金型内においても、渦電流式のセンサが利用可能であることを検証し、適切にセンサを配置すればインサート金物の微小な移動(0.05mm)や微小なコネクタピンの欠落の検出が可能であることが確認できた。

**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いる。従来のプラスチックは金属に比べて強度や耐熱性が低く、用途が限られていたが、樹脂材料や成形方法の革新が進み、従来プラスチック化が困難であった部品にまで置き換えの範囲が広がっている。樹脂材料の用途拡大に伴って、生産技術の高度化が進む射出成形分野では、生産の効率化や高品質化を実現する技術が求められている。

このような背景のもと、プラスチック射出成型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][3]</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た。また、測定データから成形不良や金型のキャビティ間のアンバランスなどの状態が検出できることが確認でき、スマート金型の有用性を示すことができた。

本年度からの研究では、これまで樹脂のみの成形を対象としていたスマート金型をインサート成形に拡張する。一般的にインサート成形は、プレス成形した金属の薄板や埋め込みナットなどの小型の金属部品を金型内に配置

して、そこに樹脂を流し込み、金属と樹脂が一体となった成形品を製造する。さらに、近年では大型の金属部品の周囲に樹脂を巻き付けるように成形することで、金型内で金属と樹脂が一体となった製品を製造する、型内異種材料接合技術も開発されている。金属部品の溶接や組み立てで製造していたような複雑な形状の部品を1回の射出成形で製造できれば、工数と重量が大きく削減できるため、実用化の期待の大きい技術である。

このような型内異種材料接合の実用化を念頭に置いて、本年度は従来型のインサート成形において課題となっているインサート金物のずれを検出する技術の基礎的な考察をおこなった。

## 2. インサート金物検出方法の検討

金型内のインサート部品は、樹脂が充填される空隙に面して配置されるため、強固な固定が困難である。そのため、注入される樹脂の圧力によって微小な変位が生じ不良が発生することがある。特に薄板プレス金物の場合、スプリングバックの量などプレスに起因する予測不可能な変形によって、インサート金物が想定以上の樹脂圧を受けて変形が拡大することがある。これら金型内のインサート金物の変位や変形を検出する手段を検討した。

金属部品の微小変位を検出するセンサには、接触変位

\* 株式会社 岐阜多田精機

計やレーザー変位計、渦電流式変位計などが考えられる。金型内に組み込んで使用することや成形品の寸法精度から必要となる計測制度等の条件を勘案すると、1. 小型であること、2. 0.05mm程度の分解能があること、3. 高温環境下（100℃程度）で使用できること、が必要である。しかし、既存のセンサは高温環境下での使用が想定されていないため、最も小型で安価であり、原理的に高温対応の可能性が高い、渦電流式の変位センサを検討することとした。

渦電流式の変位センサは、高周波磁界を発生するコイル（センサヘッド）に金属が近づくと金属内に発生する渦電流によってコイルのインダクタンスが変わることを利用して、センサと金属間の距離を測定する仕組みである。その測定原理から、市販の変位計では、検出対象の金属はセンサ径より十分大きく、センサ近傍には検出対象以外の金属が存在しない環境を条件としている。しかし、今回対象とするインサート金物の変位検出では、センサ周囲が大きな金属の塊でありかつ検出対象であるイ

ンサート金物は小さな部品であることが多い。インダクタンス変化の測定にあたっては条件の悪い環境であるため、センサ回路設計のデータが公開されている変換デバイスを用いて、基本的な条件変化の検出から検証をおこなった。

検証用に作成した実験装置の写真を図1に、模擬金型ブロックの構成を図2に示す。センサヘッドは金型表面と同一面に設置することとし、金型を模した鉄ブロックに埋め込む形で配置した。金型を模した2つの鉄製のブロック（上型、下型）の間に樹脂プレートやステンレスの薄板を挟み、センサとインサートの相対位置を移動させて変位の検出を検証する。

上型はセンサヘッドが埋め込まれた厚さ15mmの金型材ブロックで、直径の異なる2つのセンサヘッドが互いの測定に影響しないよう25mmの間隔をあけて配置してある。また、昇降ユニットによって、下型との平行を保ったまま上下に移動ができ、移動量は光電式変位計によって測定ができる。下型は樹脂プレートおよびインサート金物を配置するため中央部分が3mm削り込んであり、上型が下りると削り込み部分に隙間なくはまり込む構造となっている。また、XYテーブルによって前後左右に移動が可能であり、移動量はマイクロメーターで設定ができる。

センサヘッドにはomron社製のFA向け近接センサを用いた。センササイズによる検出量の違いを検証するため、 $\Phi 5.4$ のセンサ1（E2C-C1A 3M）と $\Phi 3.5$ のセンサ2（E2C-CR8A 3M）を上型に取り付けた。センサヘッドはTexas Instruments社製のインダクタンスデジタルコンバータ（LDC1614）に接続し、PCでデータを取得した。

このように、3軸の精密移動機構によって金型を模した環境下でセンサとインサートの位置関係を変化させ、インダクタンス変化によるインサートの変位検出の可能性を検証した。

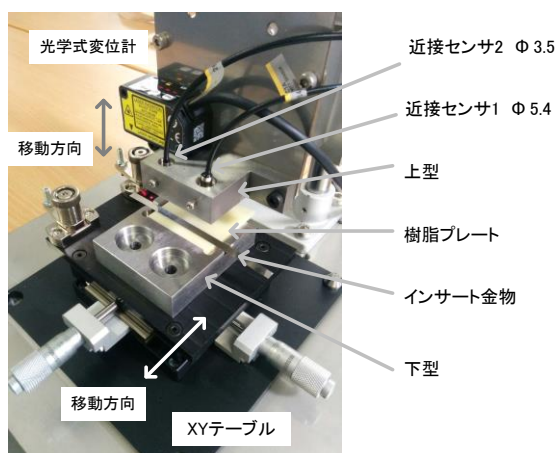


図1 金型内変位検出の実験装置

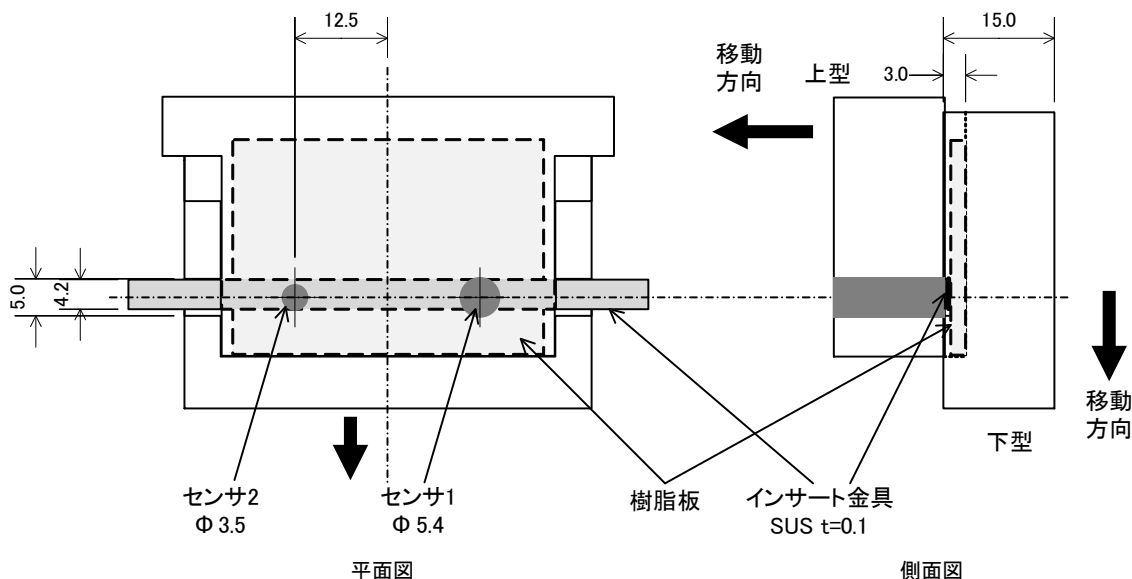


図2 模擬金型ブロック

### 3. 検出実験

#### 3. 1 インサート金物の検出可能性の検証

インダクタンスの測定は、オープン以外各条件において上下型の開閉を5回おこない、それぞれで20サンプル分（合計100サンプル）をその条件の測定値とした。その平均と標準偏差を図3グラフに示す。各グラフ（図3～6）の縦軸はインダクタンス( $\mu\text{H}$ )である。

まず基本的な条件として、上型と下型の距離が十分に開いている場合（オープン）と接している場合（クローズ）の比較をおこなった（図3 オープン、クローズ）。センサ1( $\Phi 5.4$ )、センサ2( $\Phi 3.5$ )とも、2つの条件下での測定の平均値に差異が確認できている。クローズ時には測定値のばらつきが大きくなるのが標準偏差から見て取れるが、平均値の差に比べて十分小さなばらつきであり、金属に埋め込まれたセンサであっても、金型の接触・開放の検出が可能であることが確認できた。

次に、上下型間の充填条件（空隙、樹脂プレート：ABS、PA、PP）と間隔（1mm、2mm）とを変えて同様に測定したところ（図3 Air 1mm～PP 2mm）、どの条件においてもオープンと差異の無い結果となった。このことから、肉厚が1mm以上の成形であれば樹脂材料や対向する金型の状態によらずオープン状態と同等（一定の測定結果となる）とみなしてよいことがわかった。

さらに、インサート成形の状況を模して、図2に示す配

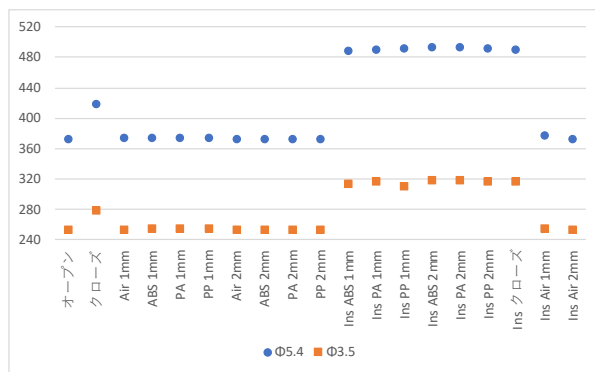
置で上下型の間に樹脂プレートと帯板（SUS304  $t=0.1\text{mm}$   $w=4.2\text{mm}$ ）を挟み込んで測定したところ（図3 Ins ABS 1mm～Ins PP 2mm）、どの条件においてもインサート金物が無い状態との差異が確認できた。クローズ時のインダクタンスとも大きな差が現れているが、これはセンサが対向する金属の材質の違い（模擬金型：鉄系、インサート：SUS304）によるものと考えられる。

これらの検証の結果、インサート金物の検出に渦電流方式が有効であることが確認できた。

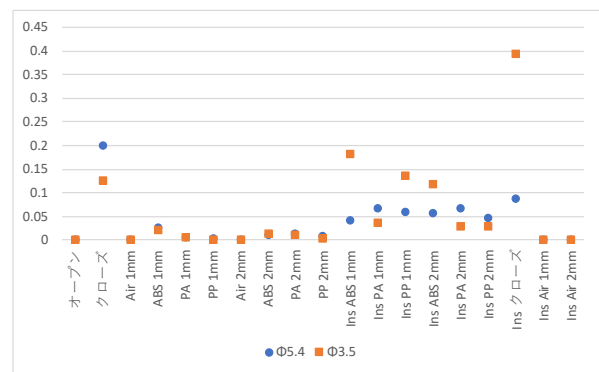
#### 3. 2 インサート金物の変位による計測値の変化

前節において、インサート金物の有無の検出が可能であることが検証できたため、次にインサート金物の変位が検出できるか検証をおこなった。樹脂材料の違いによる測定値の差異は認められなかったため、この検証ではインサート成形で多く使われるABS材（プレート厚2mm）のみを対象とし、インサート金物は前節と同じSUSの帯板を同じ位置に配置した。

インサート成形中の金物の浮きを想定した条件として、模擬金型が密着した状態から型が開く方向（z方向：図1の上下方向）に0.05mmずつ移動させてインダクタンスを測定した。移動させるたびに20サンプル測定したインダクタンスの平均値と分散を図4に示す。測定結果から、移動距離に応じてインダクタンスが減少することが確認でき、0～0.5mmの範囲では0.05mmの分解能が得られている。インサート金具が近い位置にあるときは測定値のばらつ

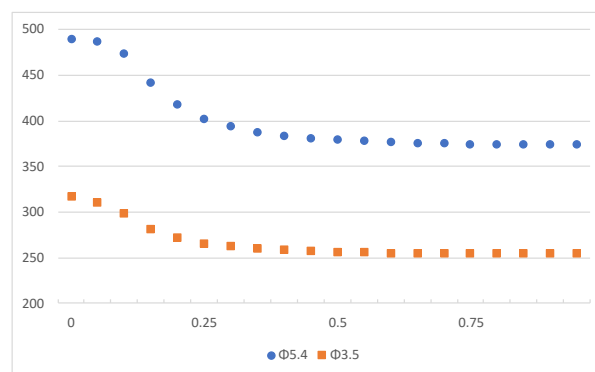


(a)平均値

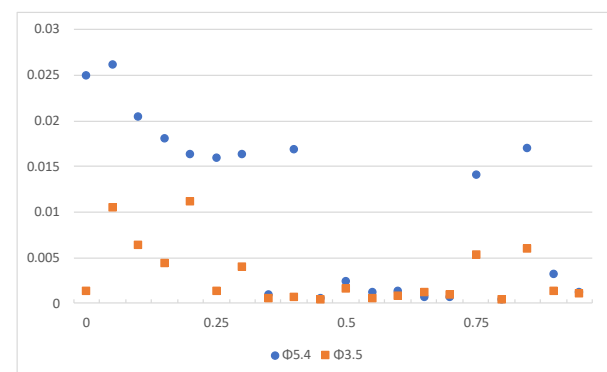


(b)標準偏差

図3 条件によるインダクタンスの変化



(a)平均値



(b)標準偏差

図4 z方向の変位によるインダクタンスの変化

きが比較的大きいが、十分小さな値であり、分解能への影響はない。

次にインサート金物の横ずれを想定した条件として、インサート金型をY方向（図1の前後方向）に移動させてインダクタンスを測定した。インサート金物のみを正確に微小移動させることが困難であったため、下型ごと手前に引き抜くように移動させた。本来、z方向は密着であるべきであるが、型および試験体を移動させるために0.05mm上げた状態で下型を移動させ、測定を行った。移動させるたびに20サンプル測定したインダクタンスの平均値と分散を図5に示す。

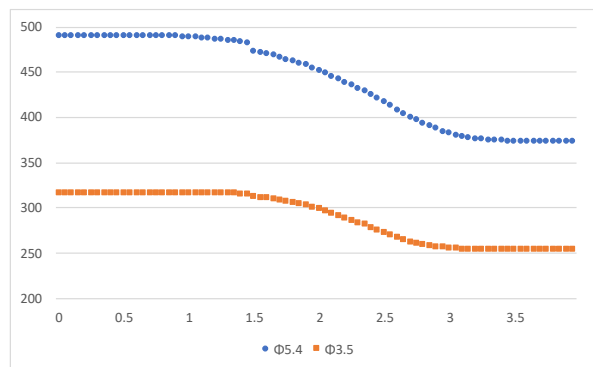
Φ5.4のセンサでは、変位量が0.0~1.0mmの範囲では、インサート金物が移動してもセンサ面に接する金属面の面積の変化が無いまたは小さいため、インダクタンスの変化は見受けられない。1.0~3.2mmの間では、センサ面に正対する金属面の面積が変化することから、変位によってインダクタンスの変化が現れており、0.05mmの分解能で変位検出が可能となっている。Φ3.5のセンサはセンサ径が小さい分変化が現れる範囲が短いが、同様の傾向は得られている。

これらの検証の結果、インサート金物の端面がセンサ面を横切るようにセンサ配置を計すれば、渦電流方式のセンサで0.05mm分解能の変位検出が可能であることが確認できた。

### 3. 3 コネクタを事例とした検証

具体的な製品を想定した事例として、図6 (a) に示す0.5mmピッチのFFCコネクタの不良検出について実験をおこなった。コネクタはΦ3.5のセンサの直下に配置し、コネクタと同じ厚さ（2mm）の鉄板に穴をあけた治具で位置合わせをおこなった。良品コネクタ4個を各2回、1回につき20サンプル（計160サンプル）の測定を行い、次に1つのコネクタのピンを1本引き抜いて不良品コネクタを作り、同一のものであるが取り出しと配置を4回繰り返して各20サンプル（計80サンプル）の測定を行い、差異が検出できるか検証した。

良品・不良品の測定値の平均と誤差範囲（3σ）を図6(b)に示す。不良コネクタが1点のみであったため、誤差範囲が非常に小さいが、仮に正常品と同等の誤差範囲であつ



(a)平均値

たとしても分別は可能であるとみられる。この結果から、幅0.2mm程度の微小なピンの欠落も検出可能であることが示唆されたが、インダクタンスの差が測定値の1/25,000程度であり、安定した検出が可能であるかはさらなる検証が必要であると考えられる。

## 4. まとめ

インサート成形の金物の変位を検出するため、渦電流式センサによる金型内の変位検出について検証をおこなった。金属で囲まれた金型内では、周囲の影響を受けて変位検出が困難であると考えられていたが、条件によって0.05mm程度の分解能で検出できることが確認できた。

今後はセンサを実際の金型内に取り付け、成形品での検証をおこない、本技術の有用性を示す予定である。

## 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

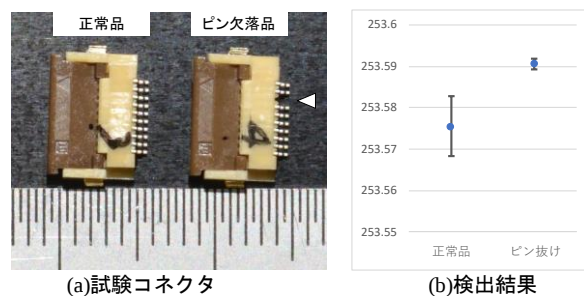
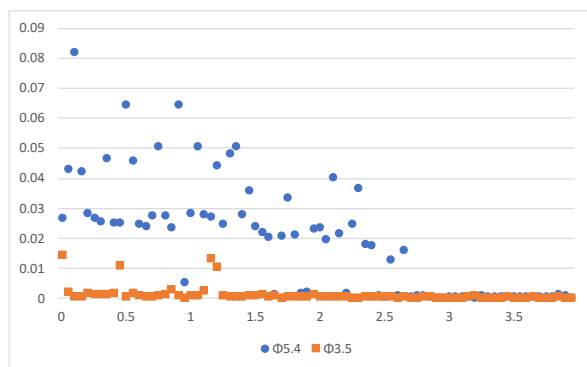


図6 FFCコネクタの不良検出



(b)標準偏差

図5 Y方向の変位によるインダクタンスの変化