

プレス金型へのIoTの活かし方

(株)アデック 久野拓律*

IoTという言葉が耳に入るようになり久しい。IoTにはモノがどのような状態にあるかを教えてくれるセンサが不可欠である。金型には以前よりセンサが取り付けられ、センサから発信される信号により金型の状態を「見える化」してきた。代表的なものは、金型保護に使われるダイプロテクション機器がある。

ダイプロテクションの代表的なものはミスフィードセンサやかす上がりセンサが挙げられる。

IoTに参加する信号と参加しない信号

さて、このようにプレス金型には以前よりセンサが使用されているが今後のIoTを睨んだとき

*(きゅうの たくのり)：代表取締役
〒252-0134 相模原市緑区下九沢 1511-8
TEL：042-713-1584 FAX：042-713-1585

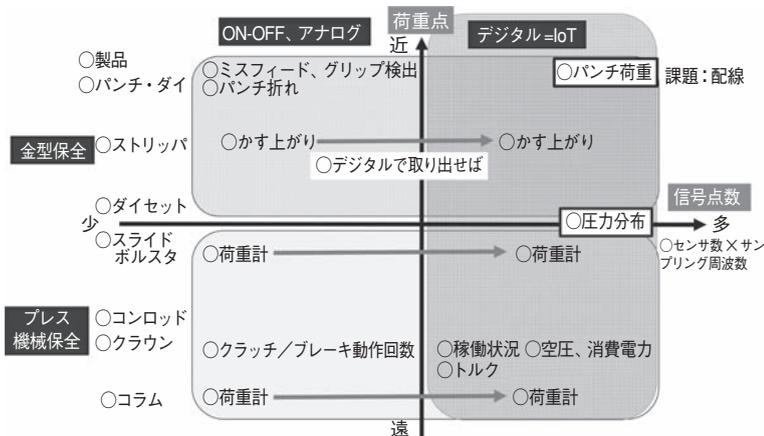


図1 金型に使用されるダイプロテクション装置の分類

どのようなセンサがどこに設置され、どのように使えばよいのかを考えてみた。図1に示す。縦軸には力の伝達の順に荷重点からセンサまでの距離を示している。上方が荷重点に近く、下方が荷重点から遠いとした。図の左側におおよそそのセンサ取り付け位置を示してある。最も近いのは製品であり、次にパンチ、ダイになりストリッパになり、ダイセットプレートと続く。その後の力の伝達はプレス側に引き継がれ、スライドやホルスタ、コンロッドやベッド、クラウンとなり、最後にコラム(フレーム)となる。

横軸は1ショットの計測にかかるデータ量、つまりセンサの数とそのサンプリング周波数の積とした。右に行けば1ショットの計測にかかるデータ量が多く、左に行けば少なくなっている。

全体を眺めると第1、2象限は金型の保全を行っている領域を示しており、第3、4象限はプレス機械の保全を行う領域を表している。また、第1、4象限をデジタル信号領域と分けすれば、第2、3象限はON-OFFやアナログ信号の領域としてみることができる。こうしてみると現在のかす上がりセンサなどは折角アナログの波形を取り込んでいるのでその波形をデジタルへAD変換してデータ化すればIoTに参加できる準備ができることがわかる。同じようにプレス機械についている荷重

計も同じである。

後ほど事例紹介するがアナログ信号を AD 変換しておき、ビッグデータの解析を行うことで解決が困難な、チョコ停、不具合の未然検知、金型寿命の予測など、どこから手をつけて良いかが明確でない課題に対して使用できる可能性がある。

つまり、プレス機械に関する信号の種類は 2 種類あり、IoT に参加せず、一刻も早くダイプロテクションするなどといった高速通信の信号と、IoT に参加することで今まで解決できていなかった課題を数多くの信号波形を解析することで解決する低速通信の信号に区分けすることができるのではなかろうか。

たとえば、かす上がりの信号はダイプロテクションのために現在と同様、ショットごとのアナログ信号でかす上がりを検知しながら決められたショットごとに (たとえば 100 ショットごとなど) デジタル波形を取得しておく。この波形の蓄積はかす上がりが発生した段階でかす上がりが発生する何ショット前の波形であるかがわかることになる。このかす上がり前の波形蓄積が数多くある場合、これらの波形を AI (Deep learning) にて学習させることで、かす上がりや波形に何らかの相関関係があれば、かす上がりのタイミングを予測することができる可能性がある。

注意として、この ON-OFF 信号やアナログ信号を IoT に参加させるがために現在のダイプロテクション機能を外してはいけない。ダイプロテクションは危険が生じた場合、少しでも早くプレス機械を停止させることが第一命題であるので、ダイプロテクションのために AD 変換に時間を費やすのは不合理である。ON-OFF やアナログ信号の良いところは残しておくべきだ。

図 1 に今回紹介する IoT に参加する信号の事例 2 つをプロットしてみる。

最初に第 1 象限に位置する打抜きパンチ荷重を高速なサンプリング周期で取得する事例を紹介する。これは金型保全とデジタル信号の第 1 象限に位置し、今後金型 IoT のメインとなる位置づけである。しかし実はこの第 1 象限のエリアの IoT

オイルスマッシャー

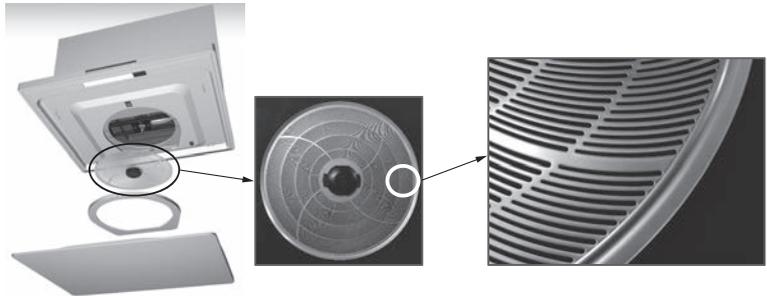


図 2 オイルスマッシャー写真

化には「センサからでる配線」という物理的な大きな課題がある。金型からでる配線は頻繁に行う金型交換の邪魔になるので現場で非常に嫌われる。前述したかす上がりセンサでさえ、配線せず生産している現場を見かける。

現場でスムーズに配線接続することは金型の IoT が普及する命題である。その 1 案である無線化については当社でも取り組んでおり、ワッシャ型力センサの無線化を例に本誌のツール解説の項で紹介する。

本稿で紹介する打抜き金型は金型チェンジが頻繁に行われない専用機なので配線の段取りが少なく IoT 化しやすかった。

次に第 1 象限と第 4 象限の境界に位置する圧力検出プレートを紹介する。圧力検出プレートはスライドやボルスタを圧力検出スライドや圧力検出ボルスタにしても良いし、後付でスライドやボルスタとダイセットの間に設置することもできる。この圧力検出プレートのサンプリング周期は前述の打抜きパンチ荷重波形程、早くなくてよいが、センサ数が多くなる。このプレートの特徴は金型側でもプレス機械側にでも配置することができ、プレス機械側に配置すれば配線の心配をしなくて良いメリットが挙げられる。またプレス機械保全と金型保全の中間に位置するので使用方法によってはプレス機械の経年変化の保全への適応も考えられる。

事例紹介

1. 打抜きパンチの寿命予測

(1) 背景

図 2 に富士工業(株)が生産するキッチン用レン

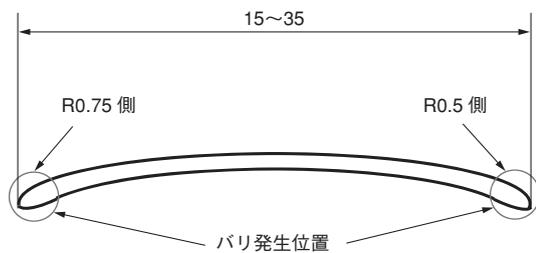


図3 打抜き穴詳細

ジフードの中にあるオイルスマッシャーの写真を示す。本部品は1分間に1500回転することでレンジフード内のファンまで油が進入することをブロックしている部品である。このオイルスマッシャーはSUS304で板厚は0.8mmであり、そこに数百個のスリット状の穴が開いている。穴の詳細を図3に示す。スリット穴は4つの曲線から出来ており、小さなR側のRはR0.5とR0.75であり、スリット長さは15~35mmである。

この部品の型メンテ時期は小R部のR0.5側とR0.75側に発生するバリ高さを基準にしている。このバリ高さは予備実験の結果よりパンチの出来により大きく左右されることがわかっていた。パンチ各部の寸法や面粗度などを調査しても、しきい値を超えるショット数は数万~数10万と大きくばらつく。よって、安定生産を考えると、最低ショット数の数万ショットで型メンテする基準

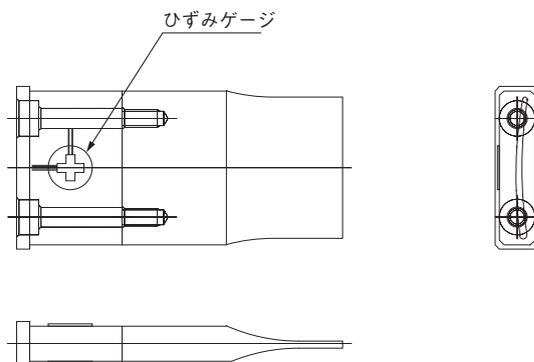


図4 打抜きパンチ

としたいが、それでは生産数が増えるに依り、パンチ製造コスト、型メンテ工数が増加するという課題があった。

以上よりショット数ばらつきの原因究明も進めているが、まずは数10万ショットもつパンチは長寿命に、数万ショットしか持たないパンチは短寿命で、という個々のパンチのできにより型メンテの時期を変えることによってパンチの製造コストや型メンテの工数を削減することに取り組んでいる。

(2) 実験方法

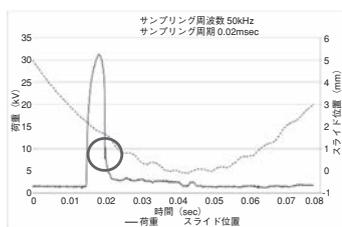
パンチごとのメンテ時期を変える指標はバリ高さになるが、バリ高さのインライン計測は難しく、打抜き加工終了後の製品を抜き取りにより人手で確認する必要があるので工数がかかる。よって、

バリ高さと同関があり、インラインで計測できるデータとして打ち抜き荷重波形があるので、バリ高さと同関関係の有無を調査した。バリ高さはR0.5側とR0.75側の決められた2カ所にテコ式ダイヤルゲージを用いて計測した。

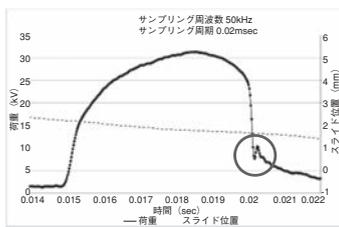
打抜き荷重波形の取得方法は図4に示すようにパンチにひずみゲージをはり、同時にスライドの位置もレーザ変位計を用いて取得した。

(3) サンプルング周期

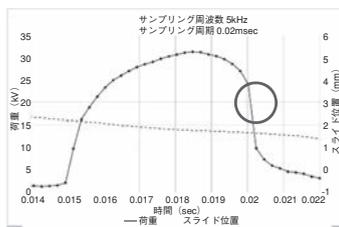
本パンチによって打ち抜かれた波形を図5に示す。はじめ



(A) サンプルング周波数50kHzの打抜き波形



(B) サンプルング周波数50kHzの打抜き波形拡大



(C) サンプルング周波数5kHzに間引いた波形

図5 サンプルング周波数による打抜き波形の比較

に打抜き荷重波形がプロット抜けなく取得できるかサンプリング周期の検討を行った。図5(A)にサンプリング周期0.02 msecで取得した打抜き波形とスライド位置の関係を示す。左縦軸は打ち抜き荷重を示し、右縦軸にはスライド位置を示し、横軸は時間を示している。打抜き荷重はパンチに貼られたひずみゲージの信号をあらかじめ荷重に変換するように校正してある。

スライドの降下にしたがいで下死点上2 mm程度から荷重が上昇し、下死点上1.5 mm程度から荷重が急激に下がっているのが確認でき、同時にこの打抜きの振動によりスライドが上下にゆれながら移動しているのがわかる。(B)に(A)の打抜き波形部分を拡大したグラフを示す。この横軸より打抜きにかかった時間は約0.005 sec(5 msec)であったことがわかる。サンプリング周期は0.02 msecであるので打抜き波形を描画しているプロット点数は約250点である。

0.02 sec付近に材料破断が生じたと考えられる急激に荷重が減少する領域が確認できる。この荷重減少中に7点のプロットが確認できる。打抜きの現象で、最も高速になる現象はこの破断領域のはずだからその領域を複数点で検出していることより0.02 msecのサンプリング周期はほぼほぼ妥当といえる。これに対し、(C)にサンプリング周期を0.2 msecまで間引き、プロット数が25点になったデータを示す。この波形の破断時のプロットを確認すると2点しか確認できない。このように最も高速な現象が現れる個所のプロット点数が2点しかない場合、データを取り逃がしている場合が多い。実際、(B)の丸で囲った個所の波形が(C)では消えていることがわかる。打抜き荷重の波形解析は荷重の上昇開始からピーク値までの波形も大事だが、急激に荷重減少する破断個所以降の波形はその穴の打抜き穴内面状況を考えるのに非常に役立つ。よってサンプリング周期は0.02 msecとした。

(4) 結果

打抜き試験は30万ショット行い137個のバリ高さと打抜き荷重波形を取得した。ただし、打抜き波形とバリ高さは同じ製品内のデータであるが、

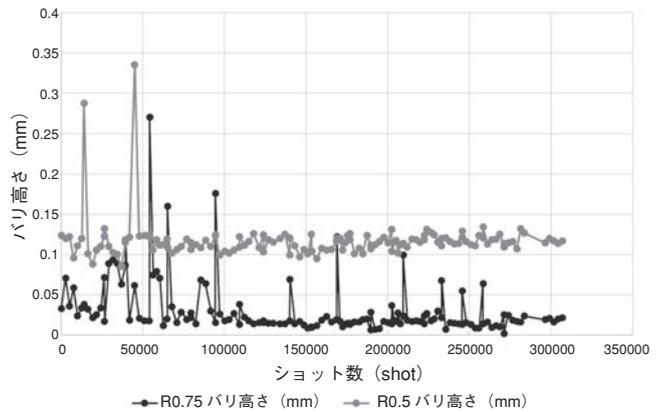


図6 30万ショットのバリ高さ推移

同一穴ではない。その結果を図6に示す。当初バリ高さはショットごとに増加すると考えていたが、打抜き始めも30万ショット後もバリ高さの変化はほとんどなかった。よって、バリ高さと打抜き荷重波形の相関をさまざまな方向から検討したがすべてのデータを網羅するような相関を見つけることができなかった。

このような多くのデータから全データにおいて理屈の通る説明をつけるのは非常に難しい。データがビッグデータ化すればするほど人間が解析するのは難しくなるのではなからうか？そこで慶應大学青山研究室にてAI(Deep Learning)をもちいて検討を行った¹⁾。

306800ショットの打抜き成形から、適当な間隔で137ショットのバリを測定した。137ショットのデータより13個のデータを抜き取り、検証データ(実験するデータ)とした。残りの124個を教師データ(AIに学習させるデータ)とし、さらに、教師データ数を増やすため、同教師データ1個に対し±10%の乱数を乗じた擬似データを3つずつ生成し、合計で372個の教師データを生成した。

AIの構築では、サンプリング周期0.02 msecごとの荷重の値である1951個(荷重が上昇し始めた後の0.039 sec間)を入力層とした。また、打抜き形状で重要な2カ所(R0.5側とR0.75側)における0.01 mm~0.35 mmまでの0.01 mmごとのバリ高さを出力層とした。このようにして学習させたAIにて検証データ13個を入力層に設定したところ、実データのみで学習した

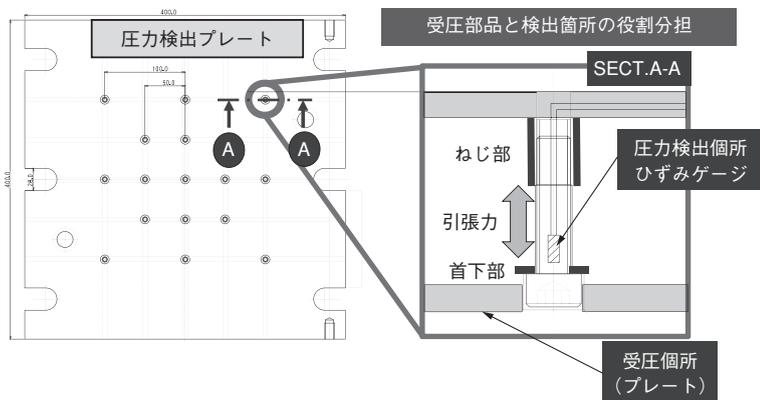


図7 圧力検出プレート

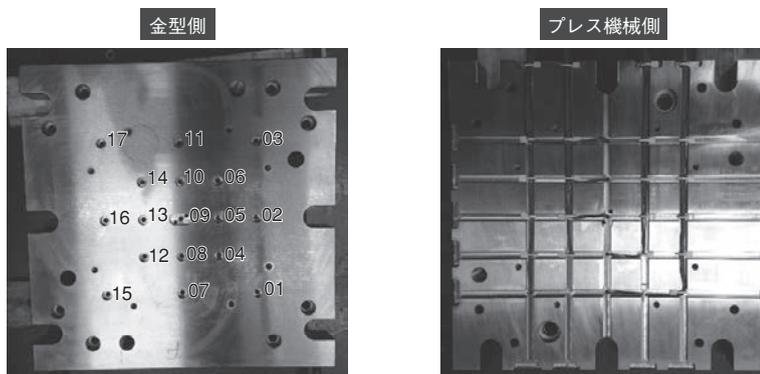


図8 17ch 圧力検出プレート

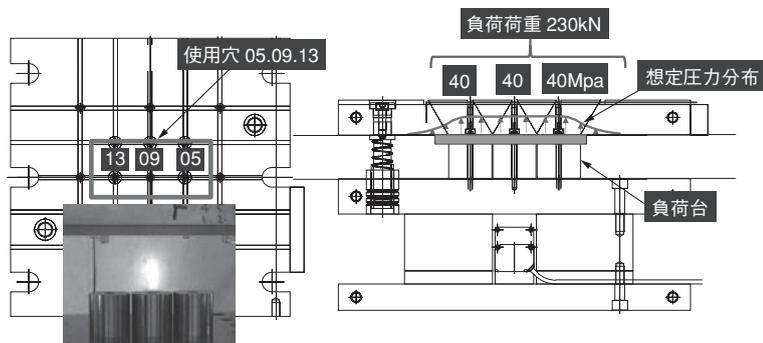


図9 要素試験1

AIも実データ+擬似データで学習したAIも、検証データと完全に一致した正解率は26.9%であった。しかし、バリ高さの許容を ± 0.01 にすると実データのみで学習したAIも実データ+擬似データで学習したAIも正解率は92.3%まで向上した。

実際の生産でバリ高さが ± 0.01 以内で予想で

できればまったく問題ないので今回の実験は今後に期待が持てる結果となった。

今後は実データ数をさらに増やして学習させ、実荷重波形からバリ高さが推定できるか検証していく。それによりパンチのできに関わらず、そのパンチに最適な型メンテ時期の把握を行いたい。

(5) IoT ゲートウェイ

一方、このような作業をIoTとして俯瞰すると、センサ（ひずみゲージやレーザ変位計）から得られる情報をクラウドや社内PCと通信するために必要なIoTゲートウェイの条件が見えてくる。1点目は扱わなければならないデータ量が以外に多いということがわかる。本ケースならば1ショット（0.055 sec）で荷重波形とスライドの変位波形の5,502個を取得し、それを通信する必要がある。2点目としてIoTゲートウェイはデータを取得するデータロガーを遠隔で操作する必要があるということである。データを取得するためにわざわざ現場に出向く行為はIoTと逆行する。よってこの2点が上げられる。今回のIoTゲートウェイは日本ユニシス・エクセリションズ(株)が開発中の試作機を使用した。

2. 圧力検出プレート

(1) 背景

量産中に突発的に生じる‘絞り成形の割れ’という品質のばらつきを可視化することを目標に、かしこい金型研究会にてプレス成形中の金型にかかる圧力分布を検出する取組みを行っているので紹介する。

プレス金型の圧力分布を計測する方法は感圧紙と呼ばれる圧力測定フィルムが広く使用されている。これは圧力を受けた部分が赤く変色し、感圧紙が触れているすべての個所の圧力を赤色の濃さで計測できる。しかし、不可逆的の反応なので量産への適応は難しい。ほかの可逆的な方法としては格子状の樹脂に感圧導電性インクを印刷した圧力分布計測システムなどもある。感圧紙もそうだが、これらの方法は受圧個所が圧力検出個所となり、そこに低剛性の樹脂が介在しているのでプレス成形の受圧状態を忠実に再現できているか疑問がある。これらプレス金型の圧力分布計測の課題に対し、プレス成形の受圧方法

を極力変化させずに可逆的に計測できる方法の1つとして、圧力検出プレートの開発を進めている。

(2) 圧力分布検出方法

圧力分布の検出方法は、図7（プレススライド側に設置している想定）のSECT. A-Aに示すように、ボルトの軸力が計測できるようにひずみゲージが貼られたボルト（ボルト型力センサ）をプレス成形荷重と同じ方向にプレート内に複数締結しておくシンプルな構造である（現在はワッシャ型力センサを使用しており、本誌のツール解説の項で紹介する）。圧力検出の仕組みを説明する。図7に示すようにボルトをプレートに締結するとボルトは引っ張られ、ボルト軸部には引張力が負荷される。この状態でプレートを圧縮するとボルトの引張力は軽減する。この軽減するひずみ量と圧縮する圧力は線形の関係にあるので、ひずみ量を計測することで圧力の増減を計測できることになる。

(3) 要素試験：プレス機械のたわみ確認

次に放電精密加工研究所製高精度大型サーボ

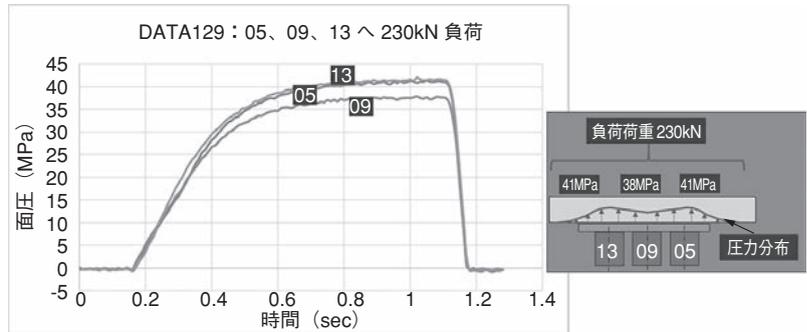


図10 要素試験1結果

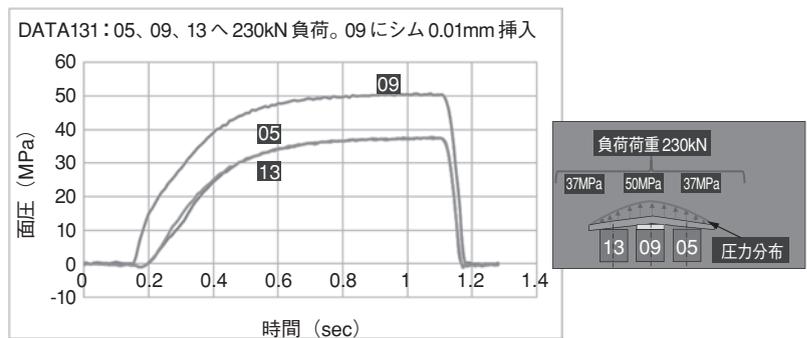


図11 中央に0.01 mm シム挿入

レス：ZENFormer：MPS 8300 DS を使用して要素試験を行った。図8に17chの圧力検出プレートを示す。金型側から17本のボルト型力センサを挿入締結し、プレス機械側で配線をまとめる構造とした。ボルト型力センサはひずみと圧力の関係で校正した。

まず、図9に示すように05.09.13のプレート中心位置に同じ高さのφ49の負荷台を設置し、230 kNの荷重を負荷した。結果を図10に示す。φ49の負荷台には等価な圧力が負荷されるはずであるから図9に示すように3つの負荷台とも40 MPaが計測されるはずである。しかし実際は図10のように05.13の負荷が高く41 MPaで中央の09が38 MPaとなる結果であった。この理由は試験機が4ポイントプレスであり、プレス機械中央がたわむように変形するので中央の圧力が低く計測されたものと考えられる。この不均一な圧力分布を修正する目的で中央の負荷台に0.01 mmのシムを挿入した。その結果を図11に示す。

0.01 mmのシム挿入により中央の負荷台は38

MPa から 50 MPa まで増加し、両隣は 41 MPa から 37 MPa まで減少した。よってこの2つの試験よりプレス機械中央のたわみは約 0.002 mm であ

ったことが想定できる。

このようなプレス機械中央の転写製が良くない現象は経験していると思う。たとえば広い範囲にリストライクをかけようと試みるがどうしてもプレス機械中心が転写できない。よってプレス機械の中心にシムを挿入し、シム量とその範囲を調整しながら金型全面が綺麗に転写できるように調整するのが一般的である。このときにこのような圧



図 12 使用プレスと金型



図 13 テストピース

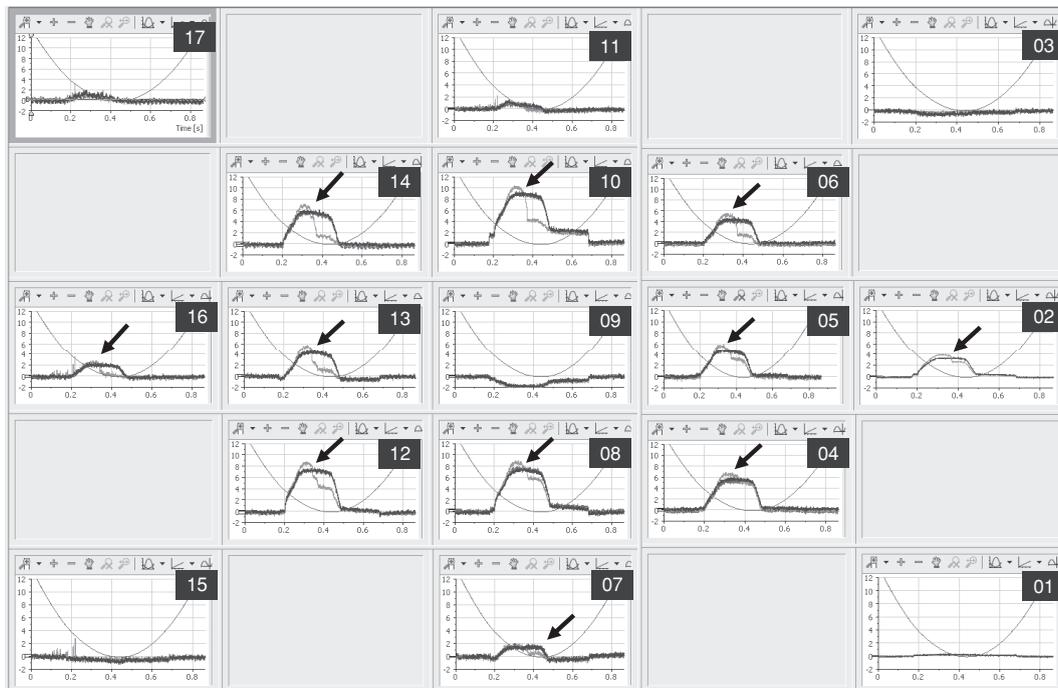


図 14 割れ有無の信号比較

力検出プレートがあれば数字を見ながら調整できるので勘・コツというキーワードを見える化できる可能性がある。

(4) 割れ検知試験

次に圧力検出プレートを用いた割れ検知試験に取り組んだ。図 12 に割れ検知試験に使用したプレス機械 (NC 1-2000 D: アイダエンジニアリング(株) と金型 (富士工業(株): 技術部門所有金型) を示す。この金型は材料の成形性を評価する金型で、ダイハイト、spm、潤滑などを同条件とした状態で SPCC では成形できるが、SGCC では破断が発生する条件にて試験した。図 13 に割れが発生した SGCC を示す。これは紙面の裏方向から光を照射しており、左側面と後面からは光が漏れているので稜線が白くなっているのが確認できる。右側面と前面は破断していない。

図 14 に割れ有無の信号を比較した 17 個のグラフを示す。このグラフの位置は圧力検出プレートの検出個所と同じ位置を示している。縦軸は圧力とスライド位置を示し、横軸は時間を示している。下凸のサインカーブはスライド位置を示しており、0.4 sec 付近が下死点である。グラフに矢印で示してある薄い実線が割れありの SGCC で、濃い実線が割れなしの SPCC を示している。双方の線とも 0.2 sec 位から成形が開始し、割れなしの濃い実線は最高荷重点に達した後下死点までおおよそ一定の値を保っているのがわかる。一方、割れありの薄い実線は最高荷重点に達した後下死点に到達するまでの間に荷重が急激に下がっているポイントがある。ここで割れが発生したことが推定できる。

(5) 圧力分布の見える化

このグラフを色でわかるように圧力値を「見える化」した。図 15 に割れなしの圧力カーブと割れありの圧力カーブの差分を時間ごとに色で表現したマッピングを示す。これは動画になっており、右上のスライドの位置情報とリンクし、差分の値が大きくなったとき、青く見えるようになっていく。画面内に黒く 17 箇所ある窓は圧力検出個所を示し、時々刻々の圧力値が示されている。01、

03、12、14 の位置は紙面上に明記した。誌面は白黒なのでわかりにくいですが最も青色が濃いのが

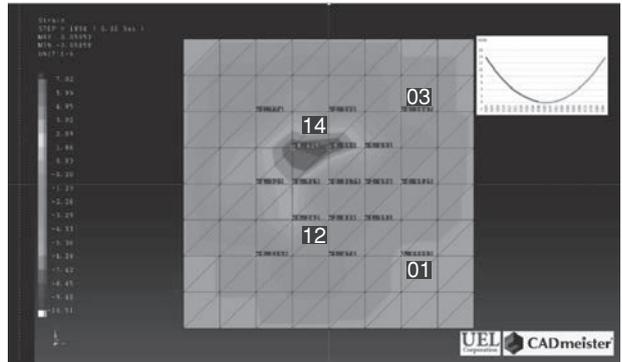


図 15 割れ有無の信号比較

14 であり、次は右となりの 10 で次が 13、12 となっている。これは図 13 に示す割れた個所の左側面と後面に対比しており、実物と割れ位置が合致する。

(7) 課題

目的である「量産中に突発的に生じる“絞り成形の割れ”という品質ばらつきの可視化」という課題はクリアできた。しかし、この機能をダイプロテクションとして使用するにはシステム UP が必要となる。「IoT に参加する信号と参加しない信号」の項で論じたようにダイプロテクションには早さが必要となる。現状は測定信号を直接データロガーに入れているが、ダイプロテクションへのシステム UP 時には 1 ch ごとアナログ波形の波形判定を行った後の信号をデータロガーに受け渡すシステム構築が課題となる。

☆ ☆

IoT に関し、金型の IoT 化は始まったばかりでどこから手をつけてよいのか不安である中、僭越ながら私見を述べさせていただいた。見当違いでご批判も多くあるかと思う。今後も多くの人と議論させていただきながら、金型の IoT は日本発信となれば良いかと思う。

参考文献

- 1) 古田泰大、青山英樹ほか: AI によるプレス工程の圧力変動に基づく成形状態の同定、型技術、Vol.33、No.8 (2018)、pp.92-93