

解説 ①

「かしこい金型研究会」が取り組む 独自機能金型の開発

(株)アデック 久野 拓律*

当社は創業 10 周年になるが、起業とほぼ同時期に「かしこい金型研究会」が発足し、そのメンバーの一員として活動させていただいている。よって、この研究会も 2025 年末で 10 周年を迎える。かしこい金型研究会は「物言わぬ金型」から「かしこい金型」へをスローガンに活動しており、本稿において、われわれの活動内容を報告する。

かしこい金型の定義は、以下のとおりである。われわれは、この定義をもとに開発を進めている。

- ① 危険状況や生産品の不具合などを検知し、自らで即応処置できる金型。
- ② 危険状況や生産品の不具合などを検知し、緊急警告を発することのできる金型。

*Takunori Kyuno：代表取締役
〒252-0131 相模原市緑区西橋本 1-26-11-2
TEL (070) 5450-9149

- ③ 自らの出生や過去の不具合、生産動向およびメンテナンス情報の履歴を蓄積し、そのデータを告知できる金型。

「ボルトセンサ」と「P.D.P.S.」

当社は以前より、図 1 に示すボルト型の力センサを開発・販売しており、「ボルトセンサ」と呼んでいる。ボルトセンサにも 2 種類あり、ノーマルボルトセンサとセミコンボルトセンサがある。このノーマルボルトセンサはボルトセンサ用に開発したひずみゲージを使用しているが、セミコンボルトセンサは半導体ひずみゲージを使用しているのが特徴的で、理論上、ノーマルボルトセンサの 50～60 倍の感度をもつ。このボルトセンサをプレスマシンのスライドに常に設置しておくプレートに締め付けるとスライドにかかる圧力分布が計測できる。

これを当社では「圧力検出プレートシステム (Pressure Detection Plate System)」と命名しており、頭文字をとり、「P.D.P.S.」と呼んでいる。P.D.P.S. に使用するボルトセンサがノーマルタイプの場合とセミコンタイプの場合での比較を行ったグラフを図 2 に示す。これは同図に示すようにプレート中にセンサを埋設させ、その埋設されたセンサ直下にロードセルで荷重を与えたときのセンサから検出されるひずみの値を比較したグラフである。縦軸はボルトセンサのひずみの値を、横軸は負荷した荷重を示す。P.D.P.S. の場合もひずみゲージの種類差で約 56 倍の感度差が生じているのがわかり、最近の P.D.P.S. は

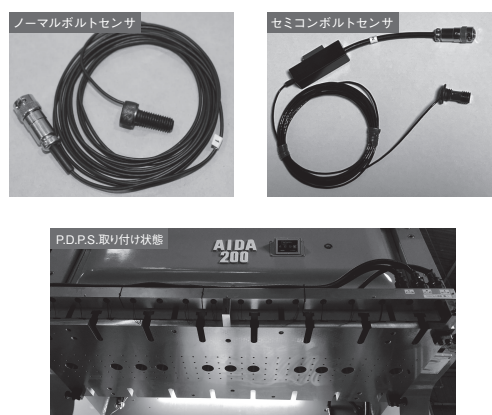


図 1 ボルトセンサと圧力検出プレート (P.D.P.S.)

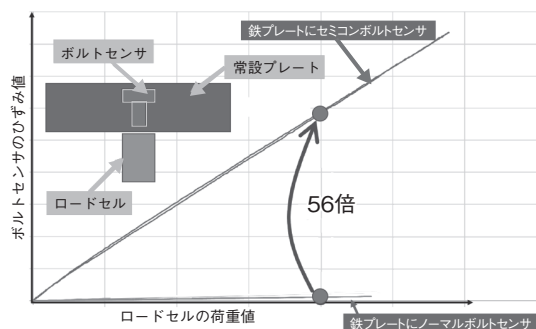


図2 異なるセンサによるP.D.P.S.感度差

セミコンボルトセンサを用いたものが多い。

「L.D.P.S.」

大型のプレスマシンは大面積で成形面圧も高いのでP.D.P.S.が使用されるが、小型のプレスで抜き主体の順送加工のプレス成形は成形面圧が低く、エリアも小さいことが多く、P.D.P.S.よりさらに感度の高いシステムが求められている。この要求に応えるべく、成形荷重をすべてロードセルで受圧する「荷重検出プレートシステム (Load Detection Plate System)」すなわち「L.D.P.S.」を開発した。このシステムも常にプレスマシンのスライドに設置した状態で使用するので、金型からの配線はなく、今までと同じ金型をプレスマシンに設置さえすれば順送加工における各工程付近の成形荷重のグラフが取得できる。

図3に(株)ミスズ工業、(株)ニチダイ、ダイキン工業(株)、長野県工業技術総合センターと共同実験を行った金型構造を示す。これは打抜きの順送金型で、抜きパンチが各工程に並んでいる。スライドと上型の間にロードセルを設置し、ロードセルのみで打抜き荷重を受圧する構造を工夫した。市販のロードセルは測定物と点接触なので接触箇所の面圧が増加し、へこんでしまうデメリットがあるのに加え、許容荷重があり、プレスの不慮の事故の際はロードセルが壊れてしまう場合もある。また、円筒型やリング型のロードセルは偏心荷重に弱い。当社のシステムはこのようなデメリットをすべて改善し、プレス能力の最大負荷が生じてても破損せず、偏心荷重に強いロードセル構造となっている。

今回は下抜き工程用ロードセルは通常の箔ひずみゲージを使用したノーマルタイプのロードセルとし、シェービング工程用は半導体ひずみゲージを使用したセ

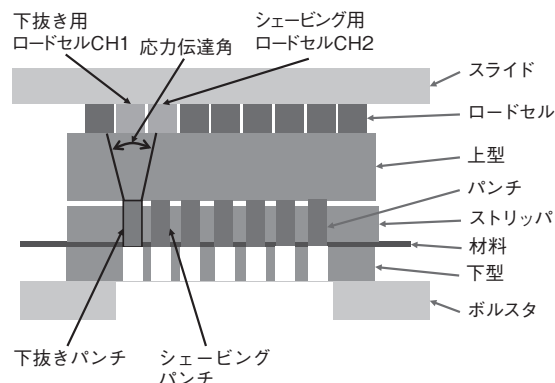


図3 荷重検出プレートシステム (L.D.P.S.) と実験金型構造モデル

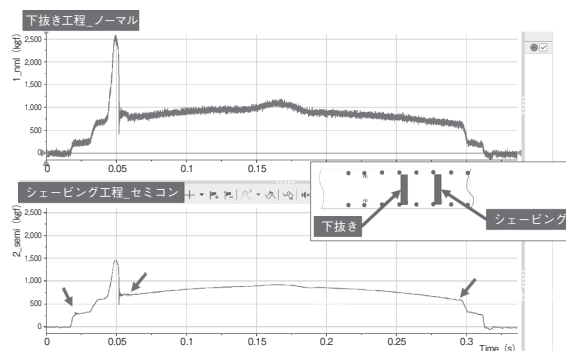


図4 下抜き時の各工程の波形

ミコンタイプロードセルとした。本成形は打抜き成形であり、ブレイクスルー現象も取得しなかったため、信号はフィルタ処理を行わず、50 kHzで取得している。

図4に下抜きを行った際の各工程のロードセルの波形を示す。縦軸が荷重で、横軸が時間である。同図上が図3における下抜きパンチ直上に設置したノーマルタイプロードセルで、同図下がシェービングパンチ直上に配置したセミコンタイプロードセルの波形である。双方の荷重値より下抜き工程直上のロードセルの方が高い値を示していることがわかる。これは、図3に示すように下抜き力はある応力伝達角をもって上型の中を伝搬していくため、下抜き力は下抜きパンチ直上の荷重が高いが、隣のシェービング工程にも荷重が伝搬しており、荷重が検出されているためである。

また、上下のグラフを見比べると、上のノーマルタイプロードセルより下のセミコンタイプロードセルのデータの方が細かい線で計測されている。これが箔ひず

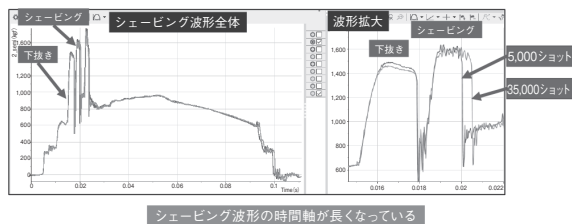


図5 シェーピング波形

みゲージと半導体ひずみゲージの感度差であり、ロードセルの分解能を意味している。このため、矢印をつけた箇所のような細かい現象を捉える目的の場合はセミコンタイプロードセルを選択するのが望ましい。今回は主にシェーピング工程の変化を捉えなかったため、シェーピング工程にセミコンタイプロードセルを配置した。

図5にシェーピングパンチ直上に設置したセミコンロードセルの波形推移を示す。これは5,000ショット後の波形と35,000ショット後の波形を比較したグラフである。左側のグラフはストリッパが下型に接触してから離れるまでの波形全体で、右側が下抜きとシェーピング波形の拡大である。抜きタイミングが同じ金型の場合は各工程の波形が重なって表示されるため、解析が少し複雑になるが、この金型の場合は下抜き工程のタイミングとシェーピング工程のタイミングがずれているため整理しやすい。5,000ショットより35,000ショットの方がシェーピングにかかる時間が伸びているのがはっきりわかる。

このように、金型内のパンチ荷重を計測しているわけではなく、スライドに常時取り付けてあるセンサにてその工程の荷重の変化が見える化できることがわか

った。これは金型内にセンサを設けないので、型交換時の断線の心配や型設計の煩雑さがなくなり、L.D.P.S.が設置してあるプレスマシンに載せた金型の荷重分布が計測できる可能性を示唆している。今後はこの変化が何と相関があるのかを調査していき、今までの不具合が発生したあとに対策する事後対策ではなく、前もって製品の寸法変化を予測したり、金型のメンテナンス時期を計画したりと、なるべく事前対策ができるような取組みを行えるようにしたいと考えている。そうすることでムダな工数が省け、コストダウンになり、人材不足も補えるのではなかろうか。

カラーグラフ

前述したように、「毎ショット取得されるグラフデータを量産の中でどのように見せるのか」という方法は難しかったが、ニチダイはAEセンサの信号を「カラーグラフ」という方法で見える化しており、金型寿命管理に利用している¹⁾。このカラーグラフは、3次元(3D)グラフやヒートマップとも呼ばれているが、統一されていないようで、本稿ではカラーグラフの呼び名で進める。カラーグラフとは2Dデータの個々の値を色や濃淡として表現した可視化グラフの一種である。この方法を使用して量産データをわかりやすく修正した複数ショットを見える化した例を図6に示す。

同図左上のグラフは打抜き波形のグラフである。このグラフのY軸の値、つまり計測値を色で表すことにする。例えば、同図ではモノクロで表現されているが、値が低い場合は青色、高くなるに従って青→緑→黄→赤となり、ショット順にそのグラフを並べてみると同図下のようにになる。X軸方向にショット順に従

ってグラフを並べると、今度はY軸が時間軸(2DグラフのX軸)となり、測定値(2DグラフのY軸)はZ軸となり、色で表現される。これをZ軸方向の真上からXY平面を見ると右上のような図が確認でき、これをカラーグラフと呼んでいる。カラーグラフからはショット数の最後の方は抜き始めのタイミングが早くなっていることに気づきがあり、「素材の板厚が厚くなっているのでは」と想像することができる。

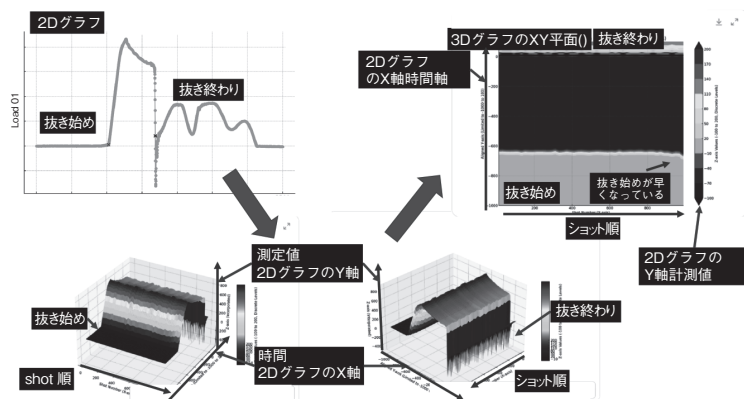


図6 カラーグラフの説明

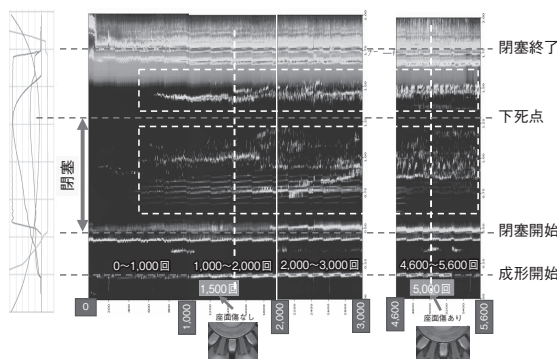


図7 使用回数に伴う AE の変化（カラーグラフ）

このように、1ショットずつの変化は微少だが、その変化が連続的に続いている場合に、1つずつの成形品を見ても気づきにくいことを、連続の成形データを俯瞰して見ることでカラーグラフは新たな気づきを与えてくれる。

ニチダイは金型に AE センサを取り付けることで、図7のようなカラーグラフを取得し、製品座面傷が発生する金型寿命の予測に取り組んでいる。このグラフより閉塞開始から閉塞終了までを注視すると、量産開始から500個程度まではあまり変化がないが、約500個すぎから信号が発生してきており、これが金型に何らかの変化があったことを見える化している信号である。金型の状態は変化しているが、1,500個目の製品は問題なく、5,000個目の製品は座面傷が確認されている。次のステップはこの傷発生の予測をこのカラーグラフより読み取ることである。

ニチダイでは量産プレスの横に本画面があり、1ショットごとにリアルタイムでカラーグラフを生成している。近い将来、これをもとに異常品を検出するのはもちろんだが、金型寿命予測、異常の予兆管理、安定生産するための金型に対する何らかのアクションが行われるのではないかと期待しており、まさに「かしこい金型の定義である①～③のすべてに関係するソフトウェアではないか」と期待している。よって、現在、当社でもプレス成形に特化した形のカラーグラフ生成ソフトを開発中である。開発内容やカラーグラフから得られる情報は次の機会に紹介したい。

かす上がり防止ダイ

上述のようにセンシングし、見える化したあとは「その不具合にどのように対応していくか」が最も重

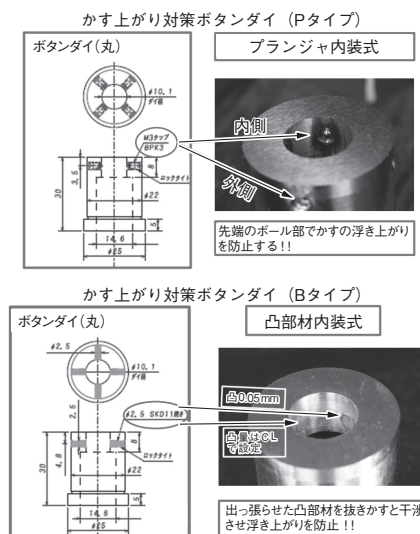


図8 かす上がり防止ダイ

要である。かしこい金型研究会では(株)ハルツがかす上がり防止ダイを開発している。かす上がり防止ダイは他メーカーの商品群にもあるが、ハルツの特徴は大きな金型や異形状の金型でも簡単に対応できる取組みを行っている（特許 6664629）。

ダイの構造を図8に示す。これは実験用の丸形状ダイであり、同図上のPタイプはプランジャが、同図下のBタイプは丸ピンがダイ内部に設置してある。この出っ張り量はパンチ・ダイの金型クリアランス以下に設定してあり、パンチとダイは干渉しない設定にしてある。このプランジャや丸ピンの出っ張りをかすが通過するとその場所はしごき加工になり、かすはダイから側方力を受け、ダイ内部に停留するようになるのでかすが上がらない仕組みである。この方法は大型の金型や異形状のダイでも簡単に制作でき、しかも低コストで対応できるので用途拡大に期待したい。

☆

以上のように、かしこい金型研究会では独自機能をもつ商品群の開発に取り組んでおり、微力ながら金型産業界へ貢献できればと考えている。次の10年を目指し、常に先進的な取組みを行っていきたい。

参考文献

- 1) 森満帆：「AE センサを活用した鍛造金型の寿命予測への取り組み」、ぷらすとす、Vol.7、No.77（2024）、pp. 262-266