

## 解説 1

### インプロセス計測・検査

# ボルトセンサを使用した加工状況の見える化事例

(株)アデック 久野拓律\*

プレス加工に求められる重要な事項の一つに品質が挙げられる。この品質をいかに効率よく保ち続けられるか?という課題は大きなテーマであり、IoTやAIが活躍する場であろう。

品質を保つためには検査・測定は必須である。しかし、品質が劣化すると検査・測定までの間に生産された品物は不良となり廃棄され、生産ラインを止めてその原因を探り、改善した後に生産を開始する。そのため多大な労力と時間を費やしてしまう。時には生産に追われる所以不良の原因がわからないまま生産開始し、同じような品質劣化を何度も繰り返しながら生産している場合もある。

このような品質劣化を検査・測定で見つける前に生産ライン上で簡便に検出できることが望まれている。当社は生産ライン上で使用されているボルトをセンサ化するボルトセンサを提案している。本報ではこのボルトセンサの使用例を紹介する。

\*(きゅうの たくのり)：代表取締役  
〒252-0314 神奈川県相模原市緑区下九沢 1511-8  
TEL: 070-5450-9149 FAX: 042-713-1585

図1  
ボルトセンサ



## ボルトセンサとアンプ

ボルトセンサとは図1に示すように六角穴付きボルトにかかる負荷の状況を検出できるセンサ付き(ひずみゲージ)のボルトである。既に使用している生産中に負荷がかかるボルトと置き換えるれば、置き換えたボルトが即センサ化されるので『非常に使い勝手が良い』と好評をいただいている。

しかし、ボルトセンサはひずみゲージを使用しているため、ひずみアンプの用意も必須であり、今までではデータロガーを用意していた。データ



図2 1ch 荷重計ユニット



図3  
乾電池

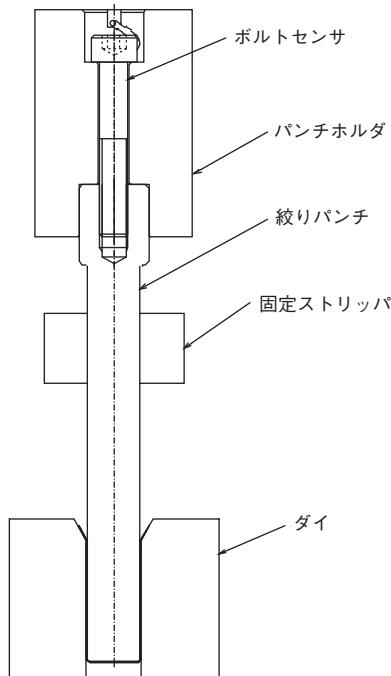


図5  
金型構造

ロガーは多機能だが、アラート機能やトリガのための接点を持たないため、量産現場での使用は難しく、なかなか普及しなかった。

しかし、図2に示すように2020年12月にプレス加工に特化したアンプ内蔵の荷重計が理研計器奈良製作所から1ch荷重計ユニット：NEW SELBER SLとして販売される。これは1チャンネル仕様でチャンネル数に応じて過不足なく増設でき、ローコストに仕上がっている。トリガはプレスのカム信号を使用できるのでトリガ用の信号を用意しなくても良い。異常を検知すると即座に



図4 不良例

プレス機械を停止させることもできる(2000 spmまで対応)。また、通信機能(RS-232 or RS-485)を標準装備し(他にアナログ出力も有)、PCに接続すると専用のソフトウェアでリアルタイム波形が確認できる。

IoT時代に特筆すべきこととして、ユーザーが決めたショット数ごとの波形(例えば100ショットごと)をPCと通信して保存しておくことも可能となった。よって、ボルトセンサとこのSLを使用すれば金型以外のボルトも力センサとなり、異常時にはアラートを出してくれたり、異常が生じる前の正常波形の挙動も振り返ることができたりするので改善活動の手助けをしてくれることに期待を寄せている。

### 絞り製品の不具合監視事例

図3は第一金属工業が生産している乾電池である。乾電池の生産は月に5000万個の生産能力をもつプレス機械を保有しており、特に自社開発した80tの専用機は80 spmの仕様だが、前後2列のトランスマッパー仕様となっているので2個取りの160 spmの生産能力を持つ。この生産の中で非常にごくごくまれに図4のようなフランジ部が重なる「かぶり」と呼ばれる不具合製品が発生する。これが続けて発生すれば何らかの不具合が金型に生じており型修正が可能だが、数千万個のオーダー(0.1 ppm)での発生では生産中の確認は不可能で検査で確認することとなり、0.1 ppmの不良を見つけるための検査工程を設けなければならないという課題がある。

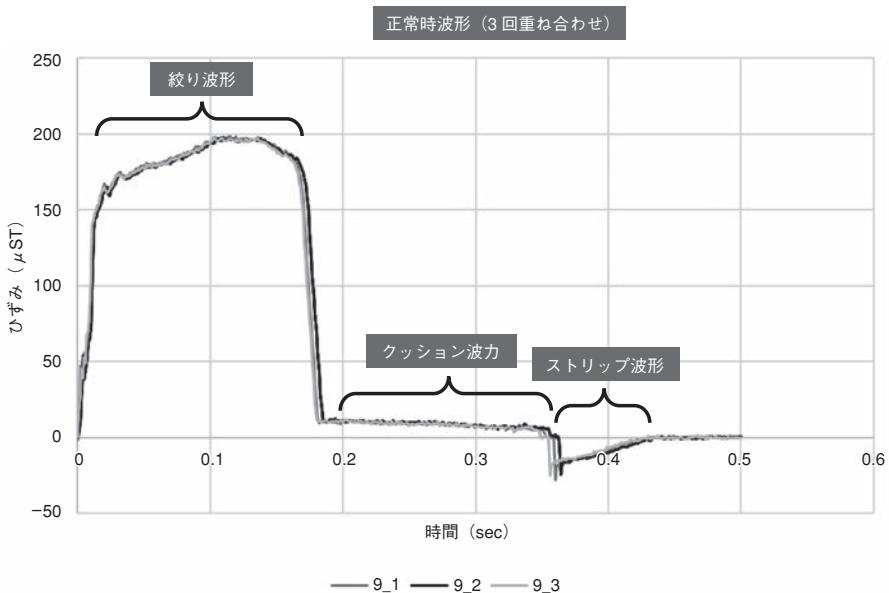


図6 正常時波形 (3回計測)

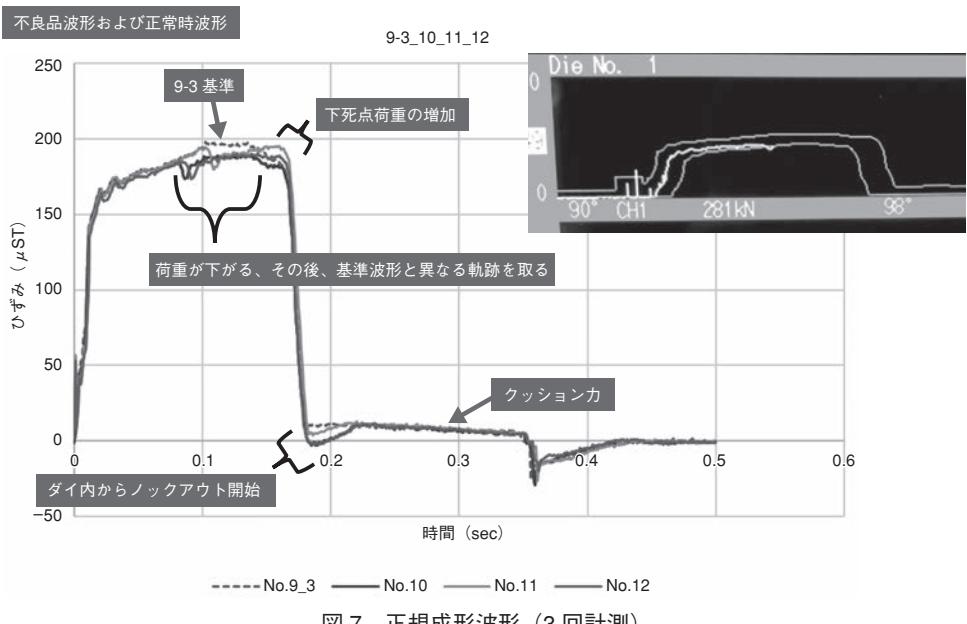


図7 正規成形波形 (3回計測)

そこでボルトセンサを使用し、良品の場合の荷重波形から逸脱した際にプレスマシンをストップさせる機能を附加させた取り組みを行っている。

ボルトセンサは図5のように絞りパンチをパンチホルダに設置するためのボルトをセンサ化しているため、金型構造の変更なく対応している。本成形は板厚が薄いので絞り荷重が低く、ボルト

センサに負荷されるひずみ量も小さいが、ひずみ感度を増幅させる仕掛けも使用している。

図6に正常に絞られた波形を3回計測したものを重ね合わせた図を示す。3つとも同じような波形を示し、絞りの波形、ダイからノックアウトしている際のクッション力波形、固定ストリップで製品をストリップしている際のストリップ波形

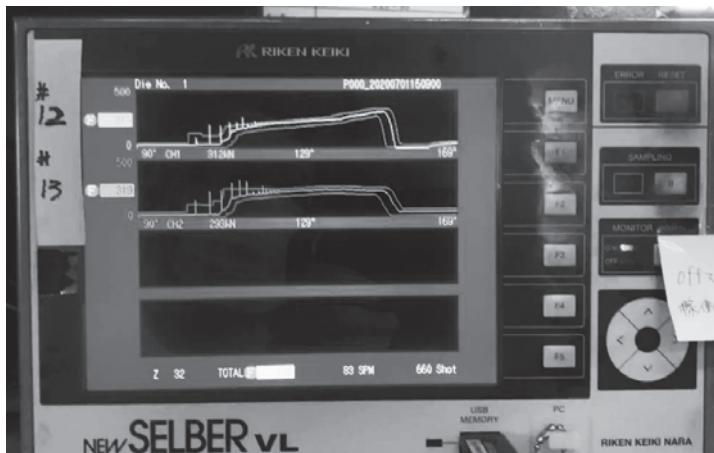


図8 波形監視状態

が確認できる。ボルトセンサは予め引張力を与えた状態で設置されているので、パンチに圧縮力が負荷される成形力以外にパンチに引張力がかかるストリップ力も検出できている。

図7に前工程絞り品のフランジにハサミで切り込みをいれた不良品を成形した時の波形3パターンと正規波形1パターンを重ねた波形を示す。

点線が正規波形であり、実線が不良品の波形である。成形工程においては、絞り初期は正規と同様な波形を示すが、絞り後期には不良品の絞り荷重が低下しているのがわかる。これは縮みフランジ成形力がフランジに切り込みを入れるために低下していることにより発生していると考えられる。下死点荷重においては、3個中2個が正規波形より高い荷重を示している。これは、下死点近傍では切り込みを入れたフランジ部分が重なり金型クリアランス以上の板厚となり、しごき成形を行っているために荷重が増加しているものと考えられる。下死点通過後のダイ内からノックアウトが開始する際の波形は不良品の方がパンチに引張り力を与えているのがわかる。これは不良品の方がダイ内に重なったフランジがあるためにノックアウト力が増加したことを示している。

このようにパンチに負荷される力を検出すると成形の状況がよく把握でき、良品、不良品の選別が1波形の中の複数箇所で確認できることが分かる。

図7の右上に理研計器奈良製作所のSELBER\_VLにて不良検知した画像を示す。これはあらか

じめユーザーが設定できる最大波形と最小波形のバンドを持った正規バンド帯を登録しておけばそのバンド帯から外れた場合にプレスマシンに急停止信号を発することができる金型保護装置である。このVLを使用し、前後2列のトランスマスフライ線のある絞り工程を監視している状態を図8に示す。

本装置を設置し、もうすぐ1年になり、1000万個以上生産しているが、まだ一度も急停止しておらず、不良品も発生していない。

実際に不良品を検出できるかはまだ未知であるが他のプレスマシンへの展開も図り検証する予定である。

## ブレーカスルー

自動車の軽量化にとって必須である板鍛造成形やハイテン成形の増加に伴い、ブレーカスルーによる型破損検知の問い合わせが増えている。

ブレーカスルーの検出方法はパンチにひずみゲージを貼る方法が一般的だが、パンチからひずみゲージの配線が出てくるので取り扱いにくい。当社ではバッキングプレートを細工してロードセル化する方法や、パンチをボルトで引っ張る方法など、環境に応じて複数の方法を提案している。図9は、図5のようにボルトセンサを使用し、パンチをボルトで引っ張るタイプの仕掛けでブレーカスルーを取得した波形である。この方法も今までの型構造を変更せず、配線の取出し溝だけ追加工すれば計測可能なので簡便である。

ブレーカスルーの計測は現象が一瞬であるため、プレスマシンにおける計測で最も難しい。図9のサンプリング速度は100 kHz (100万分の1秒間隔の計測)で行っており、図より抜き加工自体の現象は0.01秒以下であることがわかる。つまり、サンプリング速度が100 Hz (0.01秒間隔)の場合、この抜きの現象自体が計測できることになる。さらにブレーカスルー拡大を見ると、その現象は0.00025 secなのでブレーカスルー現象は1 kHz (0.001秒間隔)でも取得できないことが

分かる。

よって、ブレーカスルー現象を計測する方法は、まずサンプリング速度をなるべく短い間隔で取得する必要があり、経験的に 20 kHz (0.00005 秒間隔) 以上の速度は欲しい。

次にフィルタが重要である。一般的な計測の際にはフィルタを用いるが、ブレーカスルー計測の場合はフィルタを用いることでピーク値を取り逃がすことがあり、当社ではフィルタを用いていない。経験上、ノイズ対策をしっかり行っていないとブレーカスルーの取得は困難であると感じている。当社ボルトセンサや計測器はなるべくノイズが乗らないような対策を十分行って計測しているが、それでもプレス工場の環境やプレスマシンにおいては波形取得できない場合もあるのが実情である。

## ガスクッション

ハイテン化に伴いガスクッションを多用する金型が増えた。ガスクッションはコンパクトな領域で簡便に高圧を得られるので型設計者には非常に重宝する。

一方、現場では複数本あるガス圧が一本減少しただけで寸法変化を及ぼすような繊細な成形をしており、ガスクッション圧の管理方法には各社基準を設け、非常に気を使っている。またガスクッションに限らず、気体、流体を使用したクッションは上型と接触した瞬間にサージ圧と呼ばれる設計圧以上の高圧が付加され、次の瞬間には逆に低圧側に触れる圧力変動を取るのが一般的で、金型ではこの不安定領域をクッションの空送領域にする工夫などがなされているがプレス速度でも空送領域幅が変わるために、空送領域を何 mm に設定

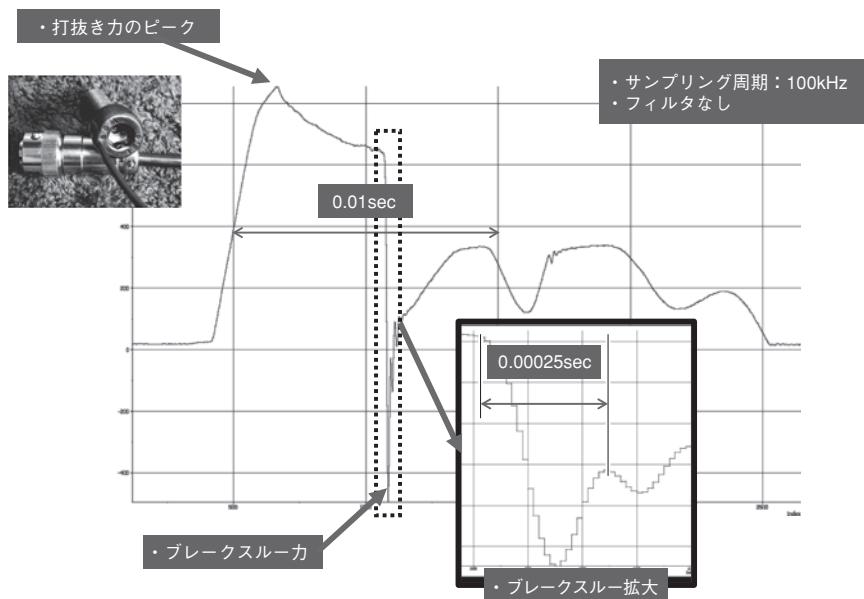


図9 ブレーカスルー波形

すればよいのか見える化したいという要望がある。

また、このサージ圧はプレス機械のトルク能力にも関係するのでプレス機械のクッションに追加して多くのガスクッションを使用する場合は注意が必要である。

図10にガスクッションを締め付けるボルトをボルトセンサに変えた状態の波形を示す。成形初期にサージ圧が立っていることが分かり、スライドの位置も同時に計測しておけば空送距離を何 mm に設定するのがベストかが確認できる。

また、この波形を先に紹介したアンプ (SL) を用いて監視すれば、ガス圧が減少した時にアラートを出すこともできるし、加えて、製品に割れが生じた時やプランクの 2 枚投入時もガスクッションの挙動が変化するのでプレスを急停止させることができ、適応範囲は広い。

## 圧検出プレートシステム

(Pressure Detection Plate System: PDPS)

図11に示す圧力検出プレートシステム (PDPS) とは、複数のボルトセンサを用い、プレスマシンのスライドやボルスタに作用する圧力分布を時々刻々と金型図面上にマッピングすることができるシステムである。

PDPS の構成は、プレスマシンに常設される常

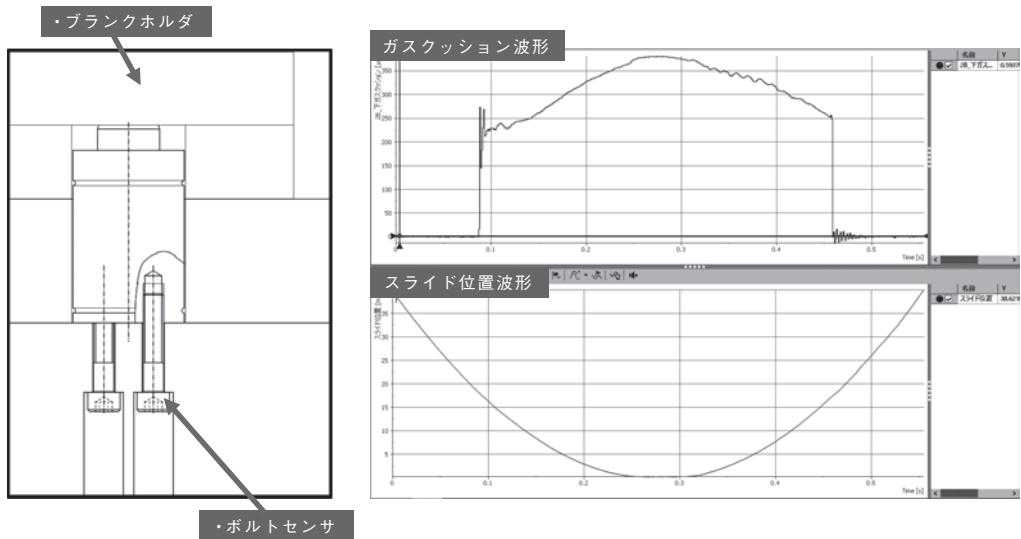


図 10 ガスカッショング波形

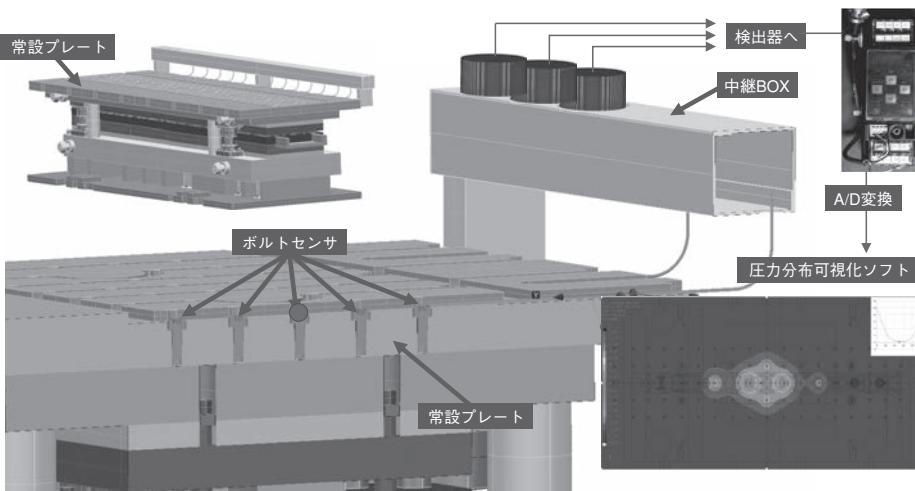


図 11  
圧力検出プレート  
システム：PDPS

設プレート、ボルトセンサ、中継 BOX、アンプ (SL)、圧力分布可視化ソフト (CADmeister の IoT -Visualization) で構成されている。

本システムの使用により、TRY プレスと量産 プレスの圧力分布差を確認し、TRY 玉成時間の 短縮を図る試みや、量産中の製品不良の検出などに適応する取組みがなされている。本システムは ボルトセンサを数十本使用することもあるため、 グラフ表示ではなかなか現象が理解しにくい。そ こで、圧力分布を図 11 の右下のようにコンター 図で可視化すると現象が把握しやすい。

## おわりに

プレス加工における監視は金型中にセンサを設 置する形で古くから行われてきたが<sup>6</sup>、現在、使 用されているものはフィンガのクランプ検出、フィ ード確認、パンチ折れ検出、かす上がり検出が代 表である。これらが使用され続けているのは金型 をプレスから降ろす際に簡単にセンサとアンプを 切り離しできるからである。今後のセンサ開発も 作業者が簡単に扱えるものでないと受け入れても らえないと感じている。