

特別増大号

特集

高精度プレス成形シミュレーションの最前線

巻頭インタビュー

(有)エーワン・プリス 代表取締役 遠藤慎二氏

特別企画

中小部品製造業に必要な M&A の基礎知識

好評連載

キラリ光る塑性加工分野のモノづくり力

Long Sprint NC Roll Feeding Machine A-A Series

モータコア・電磁石鋼板プレス加工用 NCロールフィーダ 600mm幅登場



A40A



A60A

DIMAC ダイマック株式会社

世界初高精度半導体ひずみセンサ搭載の「プレスモニタリン」実践と生産技術視点の不良メカニズム分析～プレス機・金型センシングと最新の金型・生産技術のDX：デジタル製造・管理体制～

(株)KMC 佐藤声喜*
 テンパール工業(株) 田中 優**

プレスの生産技術も製造現場も100年に一度の大変革に突入している。旧来型の作業員頼りの経験と勘の製造からデジタルを活用したデジタル製造へと転換が急速に始まった。一方で、現場熟練技術者だけでなく型設計者、生産技術者も不足し

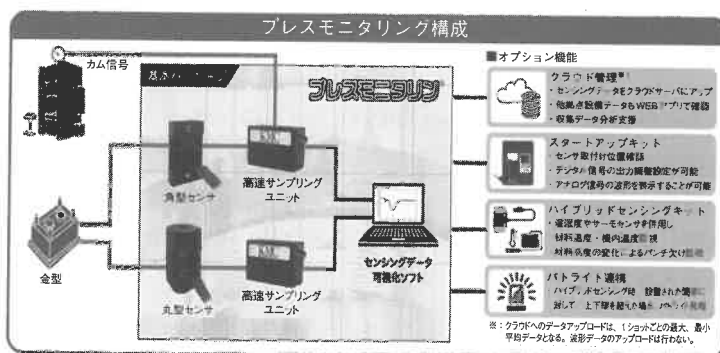
ており、生産技術と金型管理改革を含めたプレス「DX：デジタル製造と金型・生産技術のナレッジ電承、金型IoTによる型保全」のデジタル化が一気に進んでおり、本稿では、最新のプレス設計・製造・管理システムとその取組みを紹介する。

* (さとう せいき)：代表取締役社長
 〒213-0012 川崎市高津区坂戸3-21-
 TEL：044-322-0400

** (たなか まさる)：工場総括部 大州工場部品担当
 マネージャー
 〒732-0812 広島市南区大州3-1-42
 TEL：082-282-1341

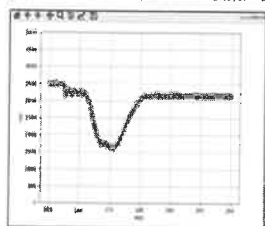
プレス製造工程のDX製造に向けた「半導体ひずみセンサとプレスモニタリン」&システム

1. 世界初の半導体ひずみ（圧力）センサを用いたプレス金型（ひずみ）センシングシステム「プレスモニタリン」の紹介



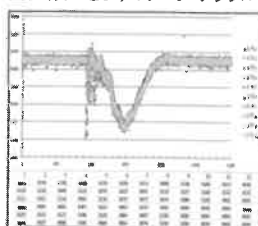
センサ本体仕様	
項目	仕様
ケーブル出力	デジタル：シリアルIN、OUT、チップセレクト、クロック アナログ：アナログ出力
電源電圧 (VDD)	3.3V/5.0V 対応
使用温度	-20℃～70℃
デジタル通信方式	SPI (独自仕様のため純正 SPI ではない)
最小分解能	±μe (0.5μe)
デジタル出力	A/Dコンバータ搭載 (12bit 分解能～10kps)
アナログ出力	フルスケール：0.5V～5V (アナログアンプを用いる場合は、2.5V付近を中立点としプラス-2.5V) 8段階ゲイン設定：0.50[mV/μe]～61.0[mV/μe]
オート調整	出力で夏のオフセットを調整可能
その他	①デジタル温度センサ搭載 ②オフセット温度リフト補正機能 ③ひずみ感度微調整機能 ④チップ内で配線が完結しておりソールに強い

■1ショット単位ひずみデータ収集/表示



・アナログ波形については、1ショットごとの波形データを表示することが可能
 ・ショットごとの波形を重ね合わせ、ショットごとのひずみに違いがないか確認することも可能

■ショットごとひずみデータ デジタル出力



・1ショットごとのひずみデータをデジタルデータとして可視化ソフトPC内指定フォルダに出力
 ・出力されたデジタルデータをもとに、グラフ表示することにより、ひずみの遷移を確認することが可能

図1 超小型・高精度ひずみセンサを用いた「プレスモニタリン®」システム構成と仕様

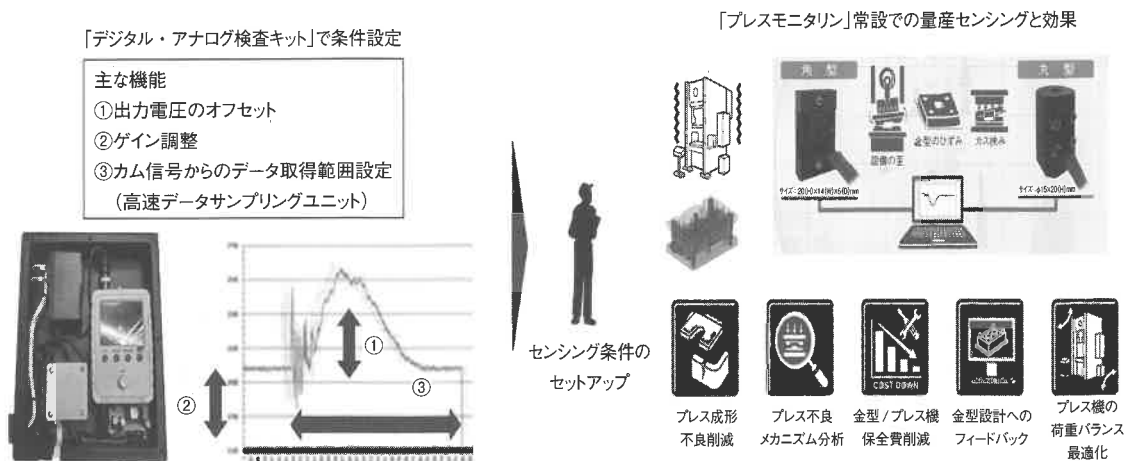


図2 「デジタル・アナログ検査キット」によるプレスモニタリンのセットアップとセンシング期待効果

新開発の高精度半導体ひずみ（圧力）センサは、小型で最小分解能が $\pm 1\mu\epsilon$ （1mm / 100万）と高性能なセンサで微小なプレス機と金型の変位をモニタリングができる。「プレスモニタリン」システムは、ひずみセンサに接続された高速サンプリングユニットにてカム信号データと連携してデータ収集が行える。取得データを、エッジPC「Σ軍師」にてデータ表示と保存を行うシステムとなっている（図1）。

ひずみセンサには角形と丸形が用意され、具体的なセンシング事例としては、角形センサの場合は金型のダイプレートなど表面に取り付けて挙動ひずみ測定などに利用される。丸形センサの場合は金型パンチの荷重変動などの単発利用のほか、丸形センサを“センサプレート”に組み込んだプレートセンシング方式による金型全体圧力測定などに実績がある。また、プレス機本体の変位は角形センサを用いて左右フレームの2～4カ所のひずみを金型センサと同期してモニタリングできる。従来、当社もプレス機や金型のひずみセンシングはロードセルやひずみゲージなどで行っており、温度ドリフトやプレス荷重に適合するロードセルサイズを選択に苦労していたが、本システムでは1種類でまかなうことができ解消された。さらに、リアルタイムにアナログとデジタルデータがモニタリングでき、グラフ化や閾値設定などが行えるエッジPC・Σ軍師と警告灯やPLCなど簡単に連携設置が可能なオプションも用意してある。

(1) 半導体ひずみ（圧力センサユニット）とプレスモニタリンのシステム紹介

プレス機の回転数は1,600spmまで対応し、プレス機のカム信号に応じて測定範囲を設定することができる。オプションで油圧プレスへの対応も可能で、角形ひずみセンサ・丸形圧力センサを選択できる。データは高速サンプリングユニットを経由し、グラフ表示ソフト「Σ軍師」が用意されている。

(2) スタートアップキット「デジタル・アナログ検査キット」

「デジタル・アナログ検査キット」（図2）は、さまざまなプレス荷重に対するひずみセンサの電流値などの適正化に向けたゲイン調整を行う装置である。使い方として、ひずみセンサを簡易的に貼り付け、ただちにその変位部を確認することができるキットである。また、荷重に応じた電圧出力の適正化（ゲイン調整）や基準値を簡単にその場でオフセットできる。さらに、組立て完了後に現場でただちにセットアップすることができる画期的な装置であり、1台あれば使い回しや、個別のひずみ測定・テストなどにも自由に活用できるため非常に便利である。

(3) ハイブリッドプレスモニタリンシステムの紹介

① 振動・温度・温湿度 無線センサ「Stethoscope II」とのハイブリッドセンシング

プレスモニタリンは、プレス機・金型のひずみ



図3 半導体ひずみセンサ「プレスモニタリン」と様々なセンサと連携したハイブリッドセンシング例

センシングとともに、振動センサや温度（熱電対）センサへの要望が多い。ひずみと振動・温度データを同時にモニタリングすることでより正確な変動を監視することができる。

②かすはさみ検知に向けた金型内圧ハイブリッドセンシング

かすはさみ検知には、独自の丸形圧力センサを用いた金型内圧センシング（個別対応方式）とセンサプレート方式による型内圧センシング方式がある。個別対応方式では、パンチ排圧、パンチ温度などプレス金型内のセンシングが大幅に進化した。「センサプレート方式の型内圧センシング」は、プレス機のスライドと金型の間にセンサプレートを新設し、プレート内に4から最大16個の丸形センサを配置することにより、かすはさみや2枚抜きなど金型内の圧力変化をとらえ、異常時にはプレス機を停止させ、不良の拡散を防止するシステムがすでに実用化されている。また、金型全体にかかる荷重の変化を丸形センサで排圧計測し、パンチ抜き力変化の計測や曲げ、絞り部位の金型圧力分布を全体的に監視するものである。さらに、小型無線式温度センサでパンチの刃先温度も手軽に測定することができ、抜き、曲げ、絞りの変化を捉えることができる。

パンチ欠損や2枚抜きなどの監視も可能となった。また、プレス板金の表面温度の計測に無線式非接触温度センサ「Stethoscope I」を用い、板厚のばらつきをセンシングするために板厚センサ

も装備する。これらのハイブリッドセンシングにより製造過程の変化の状態を捉える取組みが始まっている。

不良削減はいかに良品状態を維持でできるかにかかっており、さまざまなセンサによるハイブリッドセンシングは、特に高精度プレスのコアやコネクタなどの精密金型に多く見られる。また、高精度、高速プレスの場合は、金型温度変化、板厚のばらつき、材料温度（特に絞り温度は重要）などを複合的に監視する必要がある。さらに、材料のミスフィードセンシングなども有効である。新開発のひずみセンサをパイロット穴に内蔵したパイロット穴検出ピンにより、材料の送り位置の遅れ・進みなどを重要視し、1～4chで前後、左右のズレを検出する試みなども始まっている（特許申請中）。

③ハイブリッドセンシングープレス部品と金型の温度センシング

プレス品の絞り割れ・傷の変化点を捉えることは長年の夢であり、当社は素材温度監視用「サーモモニタリン」と温湿度無線センサによるプレス機内・プレス工場の温湿度監視システムの組合せで実績がある。特にプレスの絞り割れの変化点監視には、材料およびパンチの温度監視が有効である。割れ・傷のメカニズム解析に向けたセンシングである。オーステナイトからマルテンサイトの塑性変化を温度で捉えることで割れ・き裂の変化点ポイントが見えてくる。プレス現場でよく言わ

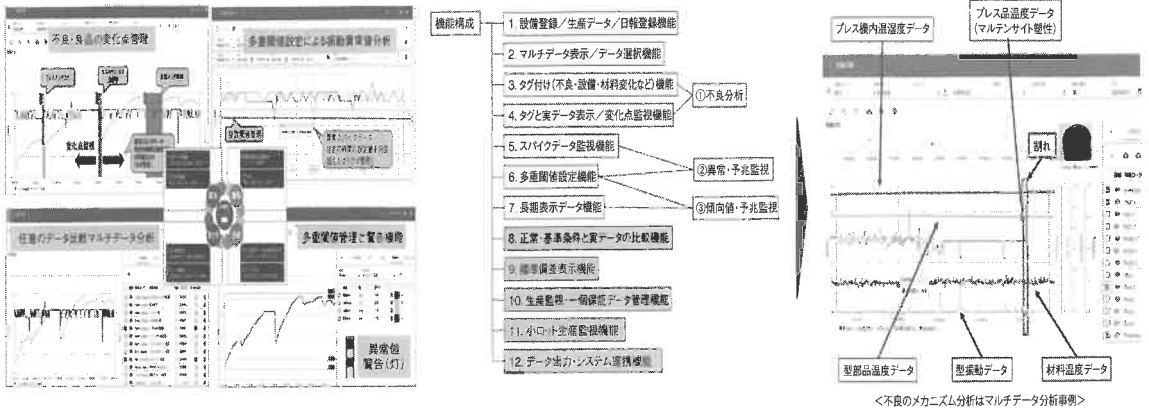


図4 「Σ軍師Ⅱ」によるプレスセンシングデータの分析・不良/不具合の予知・予防システムと分析事例

れる春夏秋冬の季節要因の不具合も温度監視することで不良を防止できる可能性が見えてきた。材料はその温度により伸び率が大きく異なるため監視が重要である。

2. データ分析・不良や不具合の予兆管理ソフト「Σ軍師Ⅱ」

プレスの不良削減に向けてプレスモニタリンとプレスハイブリッドセンシングを用いることで、プレス機・金型・材料のデータ取得・監視モニタリングによる不良拡散防止に効果がある。大事なことは、その不良がなぜ起こるのか、センシングデータの分析、すなわち不良・不具合のメカニズムの分析が必要だ。取得したデータをどう分析し、そのデータをどう活かすか、常に生産技術が格闘するテーマである。

「Σ軍師Ⅱ」はその問いに応える画期的なメカニズム分析・予兆監視ソフトウェアである。図4にΣ軍師Ⅱの機能構成とプレスモニタリンのマルチデータ分析例を示す。100種くらいの異常因子からの不良直結因子の特定、温度の傾向値管理、振動のスパイク分析、各種センサの組合せ分析、統計処理などさまざまな分析機能と予兆監視が可能であり、従来、データ処理でEXCELと格闘している生産技術者にとってはその根拠を科学的に素早く解明する重宝なソフトである。

3. プレス製造現場のDX:金型管理システム「金型IoT:金型電子カルテ」の紹介

プレス現場では、プレス金型管理はセンサ・センシングによる状態監視とともに両輪のように重

要だ。プレスの不良削減、金型の突発故障（ドカ停・チョコ停）による生産停止とその未然防止、金型保全など、職人頼りでデジタル化に手がかからない企業も多い。人手不足や現場の熟練作業者の減少によりデジタルでの金型管理システムの需要が急拡大し、引き合いが増加している。金型管理は、製造部門、金型メンテナンス部門、品質管理部門、さらには購買部門まで部署横断的な情報連携、すなわちIoTシステム・クラウド管理が有効である。現状、日報や不具合・チェックシート履歴などは紙管理が主体であり、Excelマクロなどで社内構築されたシステムも見受けられるが、維持メンテナンスや拡張性に課題があり、パッケージソフトへのニーズが高い。また、生産管理ソフトの延長での金型管理ソフトもあるが、現場のニーズは満たしていない。

当社の「金型IoT:金型電子カルテ」は、20年耐性の金型用「QR銘板」を用いた金型管理システムとして特許化（金型電子カルテシステムを使った金型の管理方法:特許公報6425198号）されている。主な機能として以下が挙げられる（図5）。

- ①金型の所在管理:数千型、数万型に及ぶ金型台帳管理と所在管理が金型QR、交換部品QR、棚QRコードで管理が可能
- ②購買のサプライヤー貸与先金型管理:資産管理:貸与先の金型も「QR銘板」で金型管理し、廃棄処理通知、棚卸機能で国・工場・エリア管理と資産管理



図5 開発プロセス適用ソリューションと金型IoT：金型電子カルテのシステム特色

- ③金型不具合メンテ管理：不具合発生時やメンテ時の記録、チェックリスト記録をタブレットで簡単記録し、集計、不具合分析、不良費用分析も可能
- ④ショット数・計画メンテ・予備品管理：タブレットで型保全記録、ショット数連携で金型部品交換、予備品管理、メンテ計画、メンテ通知機能、予備品在庫管理
- ⑤現場の書類のデジタル化：作業日報・機械日報・チェックシートなど手書き、Excel集計を廃止、タブレットでコメント・写真・画像も一括記録管理
- ⑥新開発ワークフロー管理：業務フローに応じた金型管理機能が有機的に運用可能なシステム、ISOなどの対応も可能
- ⑦新開発トランスファプレス対応機能：単発、順送金型だけでなく、トランスファプレスの多工程の金型管理が可能
- ⑧設備保全機能、金型設計へのFB機能（別売：ナレッジ電承）、QR工具・治具管理システムへの拡張などの機能強化
- ⑨QR銘板：金型の識別管理には20年耐性の「専用QR銘板」が用意されている（表面のガラスコーティングによりさび、油、溶剤、こすれなどに強い）

最近、金型設計者不足の相談が多く、オプション機能として後述の金型設計の設計支援と金型不具合を金型設計に直結させ、上流から不具合を撲滅する「金型ナレッジ電承」との連携も可能である。製造現場、特に金型メンテ現場に出向く時間がなく、本当の不具合をリアルタイムに現場と情

報連携できることで金型設計品質を向上させることができる」と期待されている。

「プレス金型設計ナレッジ電承」と金型管理システムDX・金型IoT：金型電子カルテ

1. プレスモニタリングの現場データを金型設計へFB・「金型設計ナレッジ電承」

大企業では、“設計-生技/金型-製造現場-品証/購買”と部門間の個別最適化が進み、その部門障壁が大きな問題となっている。また、中小企業では金型設計者の高齢化と若手設計者の育成が追い付いていない現実がある。開発IoT「ナレッジ電承」は、当初、アルプスアルパインとその部門の壁をIoT：デジタル情報連携で“同じ失敗を繰り返さない伝承システム”として手戻り68%削減や金型製作・立上げ期間の短縮効果があり、設計者の実質工数削減など大きな効果が得られ、社表彰に輝いた。中小企業の“金型・生産技術”者向けにコンパクトに活用できる「金型設計ナレッジ電承」の要望が多く寄せられ、システムのダウンサイジングを行った。中小企業の課題は、“ナレッジがベテランの頭の中にあり、聞き出せない・エビデンス化できない”ことや“システムに疎くナレッジ構築する人がいない”など課題が寄せられ、その対策としてKMCのオリジナル“標準ナレッジ”を組み込み、“構築・運用サポートサービス”を用意し、難しいDX：ナレッジシステムを短期間で導入立ち上げを実現した。

また、現場データは、「金型IoT：不良・不具合データ」と「設備IoT：保全データ」や各種センサデータやセンシングデータとの連携が可能な

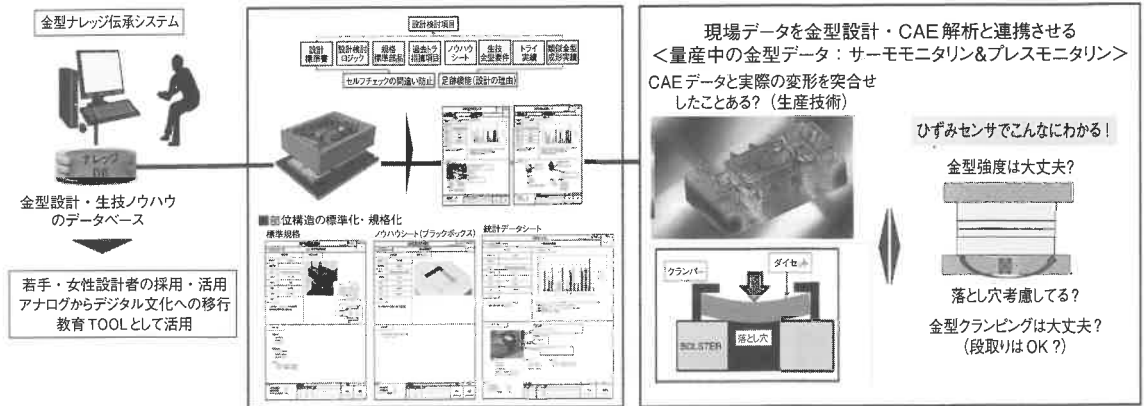


図6 プレス金型設計の技術伝承システム「金型ナレッジ電承」と「プレスモニタリン」の現場データ連携システム

ため、“現トラ”が金型設計や生産技術設計者と生産現場をつなぐツールとして非常に便利なシステムとなっている（図6）。

【特色】

- ・標準オリジナル金型・生産技術ナレッジを実装済み、顧客ナレッジの構築支援サービスあり
- ・オプションで「サーモモニタリン・プレスモニタリン」などの量産中の金型データ取り込み可能
- ・低価格：金型ナレッジ電承 180万円～
- ・標準システムの場合、最短3カ月で導入・運用が可能（導入調査・導入・運用支援）

テンパール工業が推進する
プレス金型センシングと金型管理

1. 導入背景

テンパール工業は、配線用遮断器、漏電遮断器、住宅用分電盤などを製造するメーカーである。当社ではすでにKMCの金型IoT：金型電子カルテを導入し運用している。実際のプレス加工中に起こる、“かじり”や“クラック”による不良に悩まされ、プレスセンシングを模索していた。金型内部でどのような挙動により、それが起きているのかわからないため、KMCの半導体ひずみセンサとプレスモニタリン、振動センサを用いて該当工程のパンチに直接センサを取り付け、まずは見える化するところから開始した。パンチ荷重、振動データはΣ軍師Ⅱというソフトウェアで一元集約し不良の分析ができるように考えた。将来的にはそれらのセンサだけでなくプレス機やアンコイ

ラ、フィーダーといった設備からもデータを集約し、予兆検知ができる体制を構築することを目的としている。

なお、当社は2022年から金型IoTソフトウェアを導入し、量産中に発生した不具合や、それに対する修理の履歴をデジタル化しており、今後プレス機のショット数と連携すれば、システムから金型のメンテナンス時期やパンチ、ダイといった金型部品の交換・修繕タイミングをアラートで通知することが可能になる。今回導入した金型センサとセンシングシステムと連携した完全な予防保全の実現も見据えている。

2. 導入したひずみセンサ：プレスモニタリンと振動センサによるハイブリッドセンシングシステム

特色は、プレス不良の箇所のパンチにひずみセンサ・振動センサを直接設置したことである。これにより、プレス量産中のパンチにかかる異常荷重、振動がキャッチでき、そのデータをΣ軍師Ⅱで閾値監視や振動傾向値監視などで異常を事前にとらえ、不良の予防につなげたい（図7）。

3. 今後の展望

プレスセンシングのデータ取りは始まったばかりであるが、作業判断に任せていた異常発見をセンサなどデジタルシステムで補えれば、これからの人手不足やプレス生産性向上、高度化、不良仕損費削減につながることを期待している。そして、新たな製品の受注獲得とデータ分析しながら完全な不良の予防保全まで推進していく計画である。

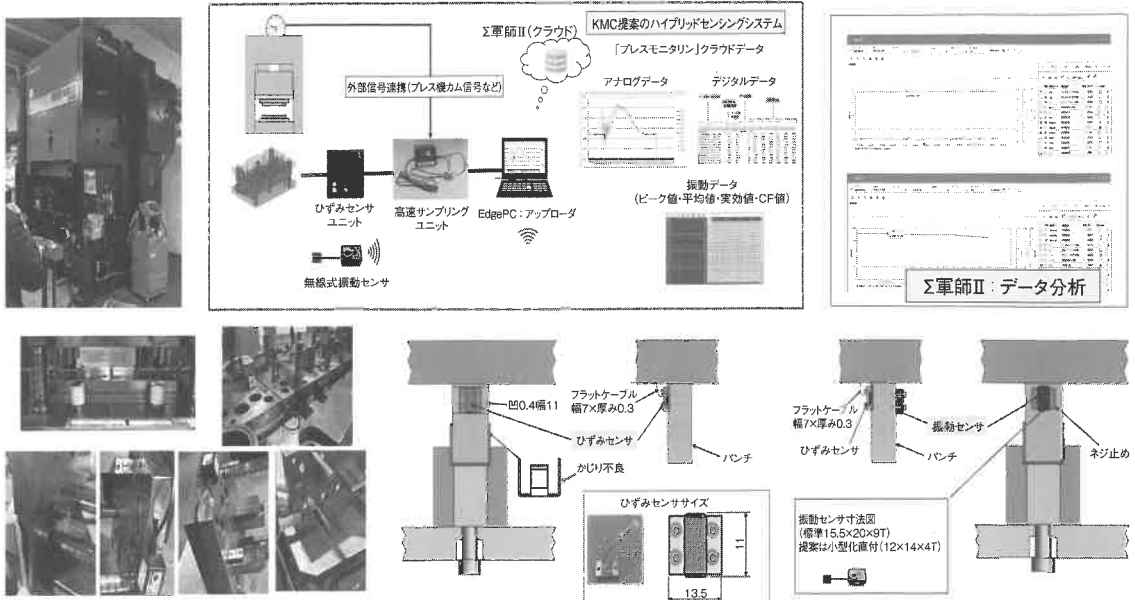


図7 「プレスモニタリン」と無線式振動センサ「Stethoscope」を金型とパンチに組み込んだ状態

☆

☆

プレス現場のプレス機・金型・材料センシングとIoTによる金型管理などDX化が急速に進んできた。従来のアナログからデジタルへの大きな移行は垣根が高いと思われるだろうが、デジタル

データを活用したプレスDX 製造改革はこれからである。まずはセンシングから始めてみてはどうかだろう。 “やってみなはれ” 精神で挑戦企業の現場を応援したい。