

IoT-Visualization を活用した金型 IoT の取り組み

Overview of IoT System for Die Production using IoT-Visualization

松 林 毅, 大 塚 洋

要 約 成形加工（プレス加工，樹脂成形加工）では，新材料対応や成形の高精度要求により，これまでの勘と経験によるものづくりが通用しなくなり，IoT による加工のデジタル化や可視化への期待は高い．UEL はパートナーと共に金型関連のセンサーを開発し，センサーで取得したデータを IoT-Visualization で3次元的に可視化して，金型設計の最適化や保守時期の予測に活かしている．また，データを分析する機能として金型 IoT プラットフォームをユニアデックスと共同開発し，成形加工に関する業務の効率化に寄与している．

Abstract For Die manufacturing, now that the craftsmanship based on intuition and experience is no longer applicable due to new material and higher precision requirement, digitalization and visualization of die behavior with IoT sensor are helpful for die design and manufacturing. UEL is working with its partners to develop die-related sensors, and is using IoT-Visualization to visualize the data collected by the sensors in 3D to optimize die design and predict maintenance period. Additionally, the company has jointly developed a die IoT platform to analyze data with Uniadex, which is helping to improve the efficiency of operations related to dying processing.

1. は じ め に

製造業における勘と経験を拠り所とした従来のものづくりのやり方から，IoT によってモノの挙動を見える化することで，デジタル情報に基づいた様々な活動ができるようになった．昨今，超ハイテン材に代表される新素材に対して経験に頼ったものづくりが通用しなかったり，EV 関連部品で成形要求精度が一段と高くなったり，そもそも勘と経験を有するベテラン人材が不足したりしている状況を，デジタル情報を活用した業務によって改善できるという期待が益々高くなっている．

金型加工業務において，設備の稼働状況等の情報を取得して稼働監視や定期点検に活用する事例や，加工実績を収集する事例が紹介されており，所謂 Smart Factory/Smart Manufacturing を実践している．これに対してプレス加工や樹脂成形で発生する不具合の分析や各種予兆検知等の事例はまだ少ない．設備からの情報や製品の状態だけでなく，金型の内部で生じている現象もデジタル化して活用することが求められている．

UEL 株式会社（以降，UEL）とユニアデックス株式会社（以降，UAL）は，「かしこい金型研究会」^{*1} や「岐阜大学スマート金型拠点開発プロジェクト」^{*2} に参画しながら，IoT 関連ソフトウェアにこれらの活動で得た知見を織り込んでいる^[1]．本稿ではそのうち，CADmeister^{*3} のオプションモジュールとして開発した IoT-Visualization と，UAL と共同開発した金型 IoT プラットフォームについて述べる．まず2章にて金型関連業務における IoT の活用について述べ，3章で IoT-Visualization を，4章で金型 IoT プラットフォームを説明する．

2. 金型関連業務と IoT

金型の設計から製作，本番業務適用に至る業務フローは図1の通りである．この一連の業務においてIoTは様々なケースで活用できる．本章の各節で説明する．

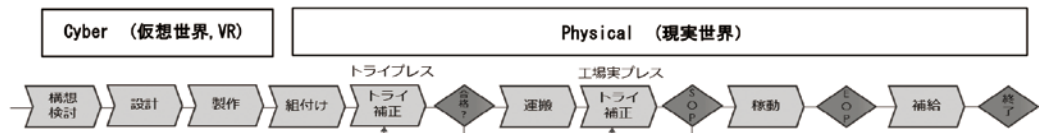


図1 プレス金型関連業務フロー

2.1 IoTによる不具合検知

工場実プレスを利用した「稼働」プロセス（図1）において，プレス機械や樹脂成型機等の加工機にセンサーやカメラを設置して不具合を監視し，不具合を検知したら装置をストップさせるなどの制御を行う．プレス加工においては，カス上がりやスクラップ詰まり，2枚打ち^{*4}などの不具合が発生すると，金型などの設備の故障原因になるので設備をストップする．これらの不具合を検知するためにセンサーやカメラを使用する．「かしこい金型研究会」では，穴あけ用のピースポンチ荷重を計測するセンサーを取り付けて，ピン折れの検知だけでなく，2枚打ち，カス上がりなどの不具合も検知できることを検証済みである．

2.2 デジタルツインによる金型設計

金型を設計する際には，CAEの解析機能を利用して仮想的（Cyber）に計算し，成形性見込み等の予想をする．この解析結果を基に設計課題を改善し，これを繰り返して設計完成に至る．しかしながらCAE解析と現実世界（Physical）は一致しないという声をよく聞く．そこでIoTを用いて現実世界の状況をデジタル化し，CAEの解析結果と比較してその差異をなくすように解析条件を調整すれば，現実世界を反映した解析結果になり，高精度な金型設計が実現できる（図2）．UELが開発，販売するCADmeisterでは，デジタルツインによる現物のデジタルデータを活用し，金型の設計者が高精度な金型を設計するための支援をしている．

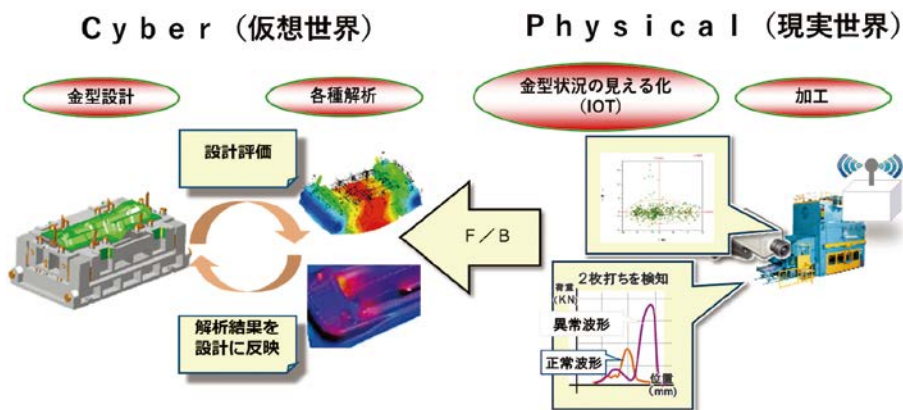


図2 デジタルツインによる金型設計

2.3 荷重分布によるトライ補正の期間短縮

トライプレス機におけるトライ補正作業を実施して合格すると、実工場に金型を運搬し、実プレス機に設置して再びトライを行う。実工場では、環境や材料などの条件が異なり、それに加えてプレス機械も異なるため所謂機差が発生し、1回のトライで合格することは少なく、工場でもトライ用のプレス機と同様なトライ補正作業が発生する。

このような状況において、トライプレス機の荷重状態を可視化し、実工場での補正作業に利用できれば、ベテランの経験値に依存せず対策が立て易くなり収束も早くなる(図3)。実際にトライプレス機と本番プレス機の荷重分布が大きく異なり、差異の大きな試験品が製造された例もある。このような場合の補正作業では、荷重状況が可視化されることにより修正方針が立て易くなる。また別の工場では、過剰な荷重をかけていることが分かり、加圧を弱くしても同質の部品が製造でき、CO₂削減につながるケースがあるなど、適切な加圧の決定にも寄与できた。

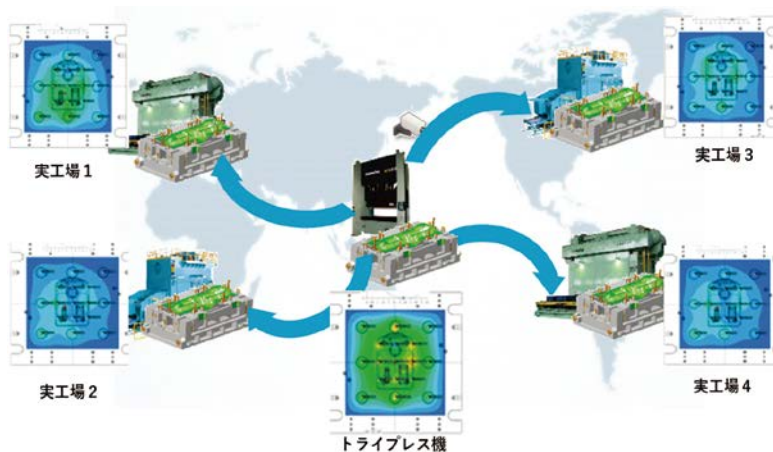


図3 実工場におけるトライプレス機の荷重状態可視化の利用例

3. CADmeister/IoT-Visualization の概要

UEL は、金型のトライ環境や量産環境におけるセンサーデータの可視化を行うだけではなく、これらのデータを分析して不具合や保守時期を予想するとともに、可視化や分析結果を活用して金型設計の最適化を目指す(図4)。

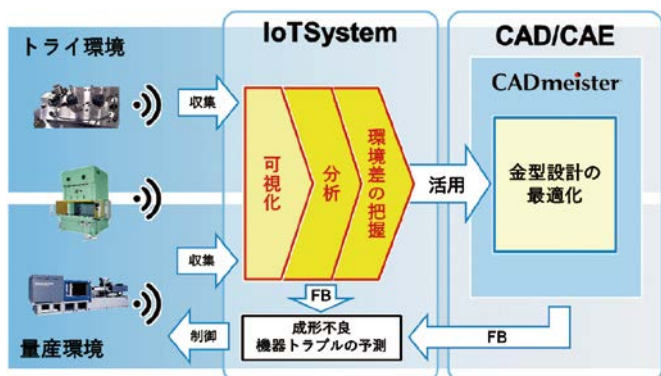


図4 IoTSystem と CADmeister と工場におけるトライ補正利用例

IoT-Visualization モジュールは CADmeister のオプションモジュールとして開発した。金型や設備の CAD データにセンサーデータを重ねて、3 次元的な可視化を行う。CADmeister には CAE 解析機能及び解析結果を表示するポスト機能があり、これらの機能を有効活用して実装した。これにより金型の挙動を可視化し、据付調整期間を短縮すると同時に設計、製作を最適化できる。本章の各節で、IoT-Visualization の主な機能を説明する。

3.1 PDPS と荷重分布表示

「かしこい金型研究会」では、様々なセンサー部品を開発して金型内部の挙動をデジタル化する取り組みをしており、特にこれまで見ることはできなかった金型の荷重状況を可視化するためにボルトセンサーと圧力プレートシステム (PDPS) を開発した (図 5)。

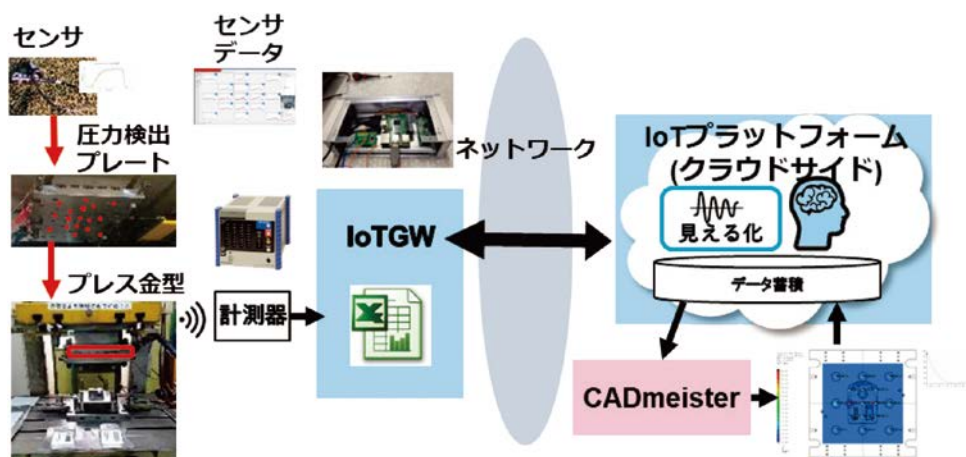


図5 圧力プレートシステム (PDPS)

ボルトにひずみセンサーを内蔵して加圧量を測定するボルトセンサーを開発し (図 5 左上)、それを圧力プレートに格子状に穴をあけて設置して (図 5 左中)、そのプレートを金型と一緒にプレス機に設置する (図 5 左下)。1 ショット分プレスする度、500 ～ 5000 回/秒の短いタイミングでセンサー値を収集し、CSV に変換して PC に転送する。PC 側では CADmeister でそのデータを読み込み、センサーの加圧値から荷重分布を算出してカラーマップとして金型 CAD データと重ね合わせて可視化する (図 6)。

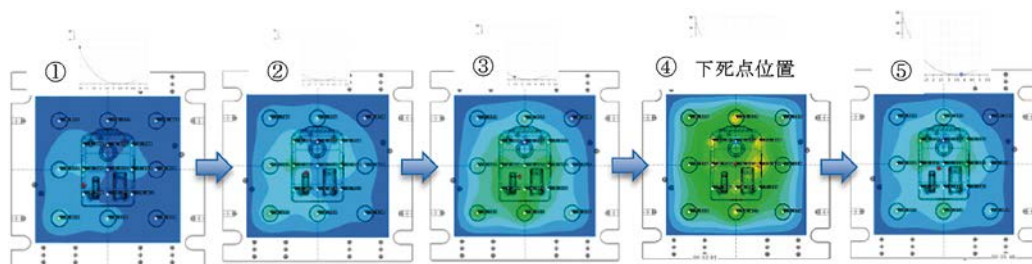


図6 荷重分布カラーマップ

図6は1ショット分の加圧状況の遷移を示す。①でパネルに荷重が掛かり始め成形が始まる。

②, ③と荷重が強くなり, ④(下死点位置)で荷重が最大になる。①の段階では左下側に荷重が偏っていることが分かる。④の下死点位置ではバランスの取れた荷重になる。実際の可視化の機能は, これらの推移をアニメーション表示し, それを動画として保存することもでき, 繰り返し荷重分布の変化を確認できる。この荷重分布カラーマップは, 17本のセンサーからのデータを可視化しており, センサーのない場所では, 補間処理を行いその値を利用することで連続的な表示になる。図7は17本のセンサーのデータをグラフ表示したものである。このようなグラフからでは金型の加圧状態の推移が分かりにくいので, 実際の適用では, 荷重分布カラーマップを見ながら具体的に対策を検討している。

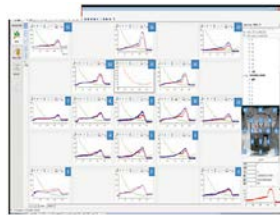


図7 加圧グラフ

3.2 センサーデータ可視化

「かしこい金型研究会」では, 前節の圧力プレートだけでなく, 図8に示す様々なセンサーを開発している。



図8 様々なセンサーと設置位置

これらのセンサーを金型の様々な位置に個別に設置し, そこから得た情報を可視化する機能を開発した。センサー値は, 図9に示すように, センサーが設置されている位置(+向き)に矢印の色と長さで表示する。これまでの加圧力の可視化だけではなく, 温度センサーの温度を表示することもできる。

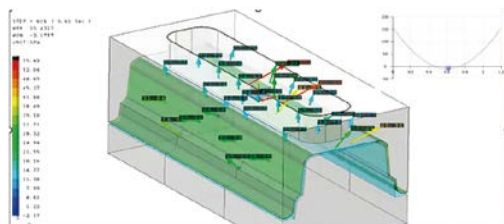


図9 センサー情報可視化

3.3 変位計測センサーとその可視化

近年、プレス加工の板材に高硬度軽量素材を採用するケースが増加し、加圧力が強くなり、金型及びプレス機械が撓（たわ）む課題が発生している。この課題に対応するために、ADDQ 社^{*4}はプレス機械（ボルスタ）及び金型（下型）内部の変位を計測するセンサーを開発し販売とサービスを開始した。これまでカメラ画像で変位を計測する取り組みはあったものの、金型内部の変位を計測することはできなかった。

変位計測センサーをプレス機に取り付けられたボルスタの溝（T 溝）に設置し（図 10 左上）、プレス加工により撓んで変形するプレス機や金型の変位を計測する。IoT-Visualization ではこの変位量を入力してボルスタの変形をカラーマップ表示する（図 10 右上）。またコマンドのスライドバーを移動させて加工の任意の時点を行き来して変位の状況を確認できる（図 10 左下）。本センサーはボルスタの変位を計測すると同時にボルスタに設置する金型の底面の変位も合わせて計測する（図 10 右下）。

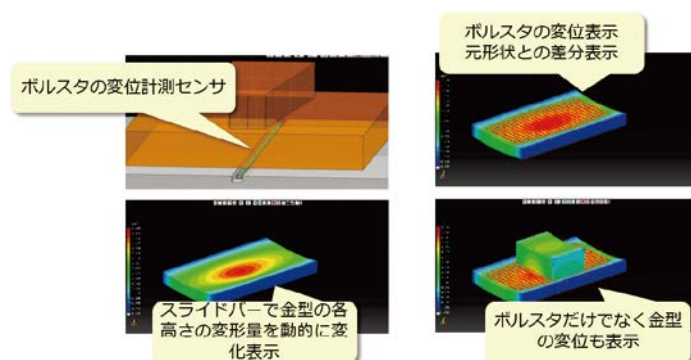


図 10 変位計測センサーと可視化

4. 金型 IoT プラットフォーム

最近では、金型内部の可視化に加えて、実ラインで定期的にセンサー情報を取得して、不具合検知やメンテナンス時期の最適化などに活かしたいという要望や、様々な条件を組み合わせで試行し、加工の傾向を分析したいという要望を受ける。

このような要望を実現するためには、センサーデータを蓄積して、それを分析活用する IoT プラットフォームの仕組みが有効である。UEL は、「かしこい金型研究会」や「岐阜大学スマート金型開発拠点プロジェクト」に参画しながら、センサーデータを継続的に収集したり、収集したデータから各種特徴量を算出したり、この特徴量からどんなことを予兆できるのかを検討したりしながら知見を蓄積している。金型 IoT プラットフォームは、UAL の研究成果である分析基盤ソリューションをベースに UAL と共同で研究、開発している。本章では金型 IoT プラットフォームの特徴と、加工分析への活用について述べる。

4.1 金型 IoT プラットフォームのコンセプトと特徴

金型 IoT プラットフォームは、図 11 のようにセンサーデータを格納する BIG DATA を中核として、センサーデータを収集、管理する機能と、BIG DATA に格納されたセンサーデータを活用して可視化・分析する機能から構成される。

センサーデータを収集管理する機能では、時系列データから1ショット単位に切り出し、算出した特徴量と合わせての管理や、ラベルの付与、収集の中断再開の制御等を行う。

可視化・分析の機能では、BI^{*6}と同様な多視点での可視化、大量データの高速表示に加えて、ショット波形に対するユーザ固有の特徴点検出手続きの定義、この手続きの大量ショットへの一括適用ができる。またショットに付与されたラベルを用いて機械学習モデルを構築することで、ショット単位の分析や判断の自動化ができる。

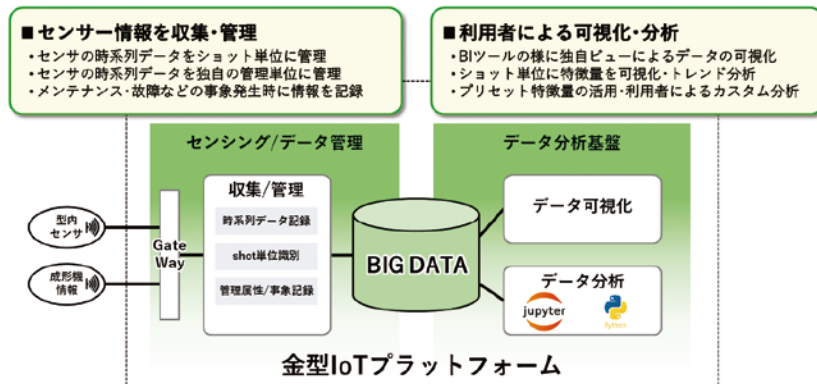


図 11 金型 IoT プラットフォームのアーキテクチャ

4.2 プレス加工分析例

プレス金型では、挙動を分析するために1ショット分の荷重波形から様々な特徴量を算出する（図12）。加工の工程毎に異なる荷重の推移を、連続するセンサーデータから確実に1ショット分のデータとして切り分け、そのセンサー波形から、加工中に発生する物理現象に相当する特徴点を検出する。

ここでは特徴点の例として、荷重の掛かり始めの「①荷重開始点」、最大荷重の「②最大荷重点」、穴の開き始めの「③破断点」と「④ブレイクスルー」を示す。

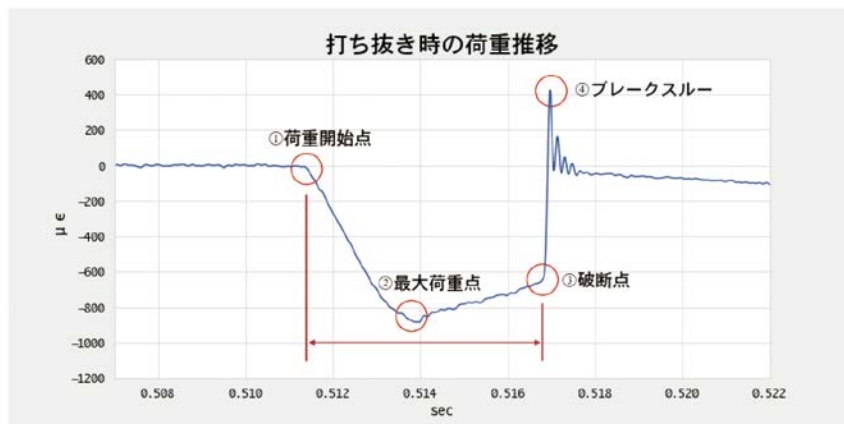


図 12 プレス穴加工における特徴量

また、分析の例として、パネルに穴をあけるピアスポンチ（穴あけ工具 図 13）のケースを考える。穴あけ加工は物理的に強い力を加える工程で摩耗が発生したり、折れたりする課題があり、これらの課題を解決するために、工具に磨きを掛けたり交換したりするタイミングを最適化する。ピアスポンチに掛かる圧力を計測するセンサーを取り付けて圧力状況を継続的に見ながら、以下の仮説を立てた。

- 荷重開始から破断に至るまでの間隔が長くなる
 ⇒ 工具の切れが悪くなる
 ⇒ 磨きのタイミングを計る

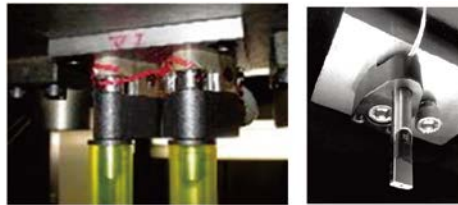


図 13 ピアスポンチ

先の図 12 のグラフは、ピアスポンチに掛かる圧力の推移を示したものである。この荷重開始点および破断点の特徴量から破断-荷重開始時間差をプロットすると、図 14 のようにショットが進むにつれ間隔が長くなっていく。

この間隔の長さとおけた穴の状態（バリ高さ）の関係を把握して、磨きの時期判断の閾値を定義したり、ポンチ折れが発生した時点の間隔との関係を検証して交換時期を定義したりすることで、メンテナンス時期の最適化が実現できる。

このケースのように、現物の状態と特徴量の関係を導き出して、金型 IoT プラットフォームで課題を解決するためのモデルを定義し、収集したセンサー値から、何らかの判断を行う仕組みを構築することができる。

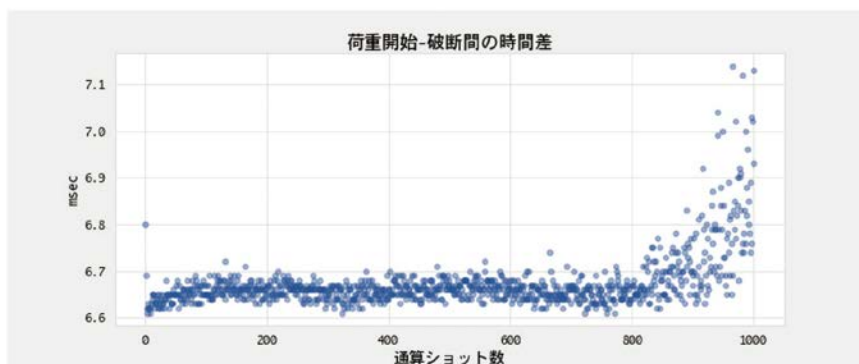


図 14 荷重開始～破断間隔のトレンド分析

5. お わ り に

金型分野における IoT 適用要望はこれまで多数あり、徐々に適用が進んでいる段階と認識

している。設備の稼働情報等と異なり、加工の内部の挙動を取得してそれを分析することは難易度が高く課題も多々あるが、金型関連センサー及び IoT-Visualization を活用して可視化の効果を確認できる適用事例も増えてきた。また、適用分野が増えていくにつれて様々な要望も受けている。

IoT と CAE を連携させて、金型設計の最適化につなげる取り組みは「技術研究会」*7 を始めとする共同研究にて推進しており、今後もこの取り組みに着目して金型設計の最適化に寄与する予定である。

また IoT と AI の連携に関しても UAL やリファレンスユーザと共同で研究を継続しており、これを継続しながら実用化を目指していきたい。

-
- * 1 「かしこい金型研究会」とは、金型の付加価値向上を目指して金型と IoT の融合を図る金型業者などの研究組織である。
 - * 2 「岐阜大学スマート金型開発拠点プロジェクト」とは、岐阜大学が複数のものづくり企業と立ち上げた、IoT や AI を使って新しい金型の研究開発に取り組む共同研究講座である。
 - * 3 CADmeister とは、UEL 株式会社が開発・提供する CAD/CAM システムのこと。
 - * 4 カス上がりは、穴あけ加工で抜きカスが落ちずに金型の上に戻ってしまうこと。スクラップ詰まりは、抜きカスが金型の穴に溜まって詰まること。2 枚打ちは、加工後の製品が排出されずにもう一度プレスしてしまうこと。
 - * 5 ADDQ 社は、金型向け IoT センサー装置を開発販売する会社であり、かしこい金型研究会のメンバーで、UEL の IoT ビジネスにおけるパートナーである。
 - * 6 BI は「Business Intelligence (ビジネス・インテリジェンス)」の略で、企業の各部署がそれぞれに蓄積している膨大なデータを収集・分析・加工し、経営戦略のための意志決定を支援することを指す。
 - * 7 「技術研究会」とは、UEL 株式会社と CADmeister ユーザが共同で共通課題のテーマで議論をしてソフトウェアの進化につなげる活動である。

- 参考文献**
- [1] 顧客のデータ分析内製化を支援するデータ分析基盤ソリューションの概要と金型 IoT への応用, BIPROGY 技報, BIPROGY, Vol.42 No.3, 通巻 154 号, P47-62, 2022 年 12 月
 - [2] 久野拓律, “プレスマシンにおける機差計測法の提案”, 型技術, 日刊工業新聞社, VOL35 NO7, 2020 年 7 月, P86-87
 - [3] 近藤大輔, 久野拓律, “かしこい金型自動欠損検知を装備するピアスポンチユニットの開発”, 2016 年 型技術者会議 講演論文集, 一般社団法人型技術協会, P193-194
 - [4] 松林毅, 藤本泰士, “IoT を活用した「かしこい金型」”, 型技術, 日刊工業新聞社, VOL31 NO13, 2016 年 12 月, P24-25
 - [5] 松林毅, 吉本昌平, 藤本泰士, “金型 IoT プラットフォーム紹介”, 型技術, 日刊工業新聞社, VOL36 NO7, 2021 年 7 月号, P102-103
 - [6] プレス加工におけるデジタルトランスフォーメーションに関する戦略策定 報告書 一般財団法人 機械システム振興協会 2022 年 3 月
 - [7] プレス加工 DX を支援する金型 IoT の可視化と分析 素形材, 一般財団法人 素形材センター, Vol63, No9, 2022 年 9 月, P49-54

執筆者紹介 松 林 毅 (Takeshi Matsubayashi)

1980 年日本ユニバック(株)入社。お客様向け専用 CAD/CAM システムの開発を担当。1995 年より日本ユニシスグループの CAD/CAM/CAE プロダクトの開発、サービスに従事。2014 年より日本ユニシス・エクセリューションズ(株)に出向して Viewer の企画及び CAD/CAM/CAE システムと IoT, AI の連携に注力。



大 塚 洋 (Hiroshi Ohtsuka)

1988 年日本ユニシス(株)入社。ソフトウェア・プロダクトの開発・保守・利用技術を担当。2014 年よりデータサイエンティストとして異常検知サービスの開発、大学との共同研究等に従事。特に回転機械の振動分析、成形金型の圧力・荷重分析への機械学習の応用に注力。

