



成形不良に挑むセンサ&成形データ分析と成形AIによる不良予知システムと事例

(株)KMC 佐藤 声喜

1. はじめに

成形業界はさらなる安定生産、特に成形不良、成形機や金型、周辺機器を含めた故障撲滅に向けてセンシング・AIなどデジタル生産へと動きだした。背景には成形現場・生産技術者の人材不足があるが、不良・不具合のメカニズムはいまだに解明されていない。本稿では、最新のソリューションによる不良予知システムの開発と事例を紹介する。

2. 成形不良の要因分析と無線センサ・サーモモニタリング&M2Mセンシングシステム

2-1 成形不良の要因分析：技術コンサルによる分析と特性要因図の事例

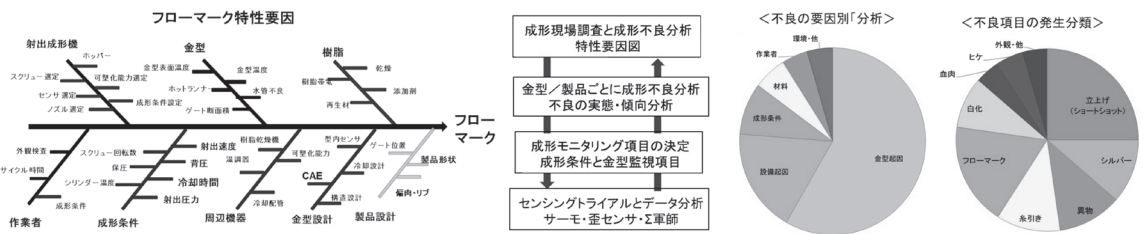
当社は、製造現場のパートナーとしてハード：センサ・M2Mシステムとソフト：IoTシステム、そして現場課題に寄り添う技術支援コンサルの三位一体の開発が特色のDX企業である。樹脂成形や真空成形などの不良削減の相談が多いが、顧客毎に成形機や周辺機器、さらには金型、材料に至るまで個別の生産環境に応じた調査・分析が最初に行う仕事だ。一般的に樹脂成形不良の分析アプローチは、不良の特性要因（第1図）の作成から始まる。

最近、成形機メーカーから成形条件のAI分析機

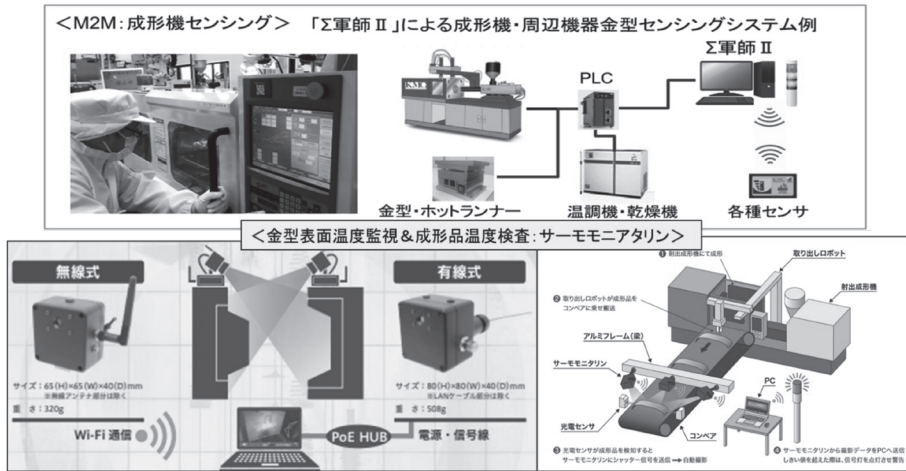
能・成形条件のFBなどの提案もあるが、技術コンサルの経験から成形不良原因は金型起因が70%程度あり、残り成形起因、材料起因となる場合が多い。次に成形・金型センシングの最新ソリューションとその取り組みを紹介する。

2-2 金型センシングと成形機・周辺設備、成形条件監視M2Mシステムとデータ分析

前述の成形不良の特性要因図は、①射出成形機②金型③樹脂④周辺機器⑤成形条件⑥作業員そして開発源流の⑦金型設計/CAEと⑧製品設計に原因は大別される。本項では設計系要因以外のセンシング可能な変動因子についてシステム化されたΣ軍師システムを紹介する。成形不良の分析にはその因子のセンサ・センシングが欠かせない。成形機から成形条件を取得することは重要だが、不良にかかわるすべての変動因子を捉えないと不良原因の追及にはならない。そのためには第2図に示すM2M：成形機と周辺機器・金型のセンシングが必須要件となり、当社ではM2M「Σ軍師」システムとしてハイブリッドセンシングシステムを提供している。特に不良の原因となる因子センシングには複合的な分析が必要となり、かつ24時間の生産時間に対応した自動でリアルタイムな常時監視システムが求められる。



第1図 成形不良分析に向けた成形不良の特性要因図例と技術コンサルフローと不良発生起因の分類



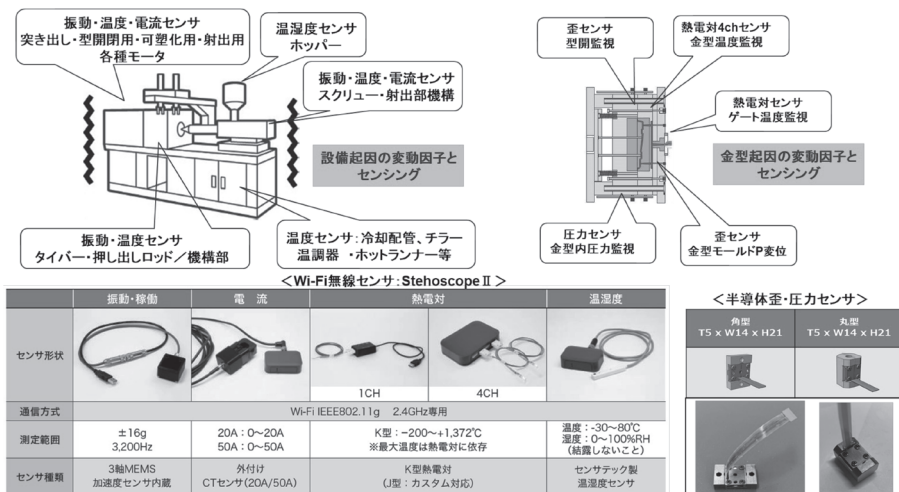
第2図 「成形M2Mシステム」&「サーモモニタリン」によるハイブリッドセンシング

成形不良の70%が金型起因といわれており、金型センシングの引き合いが非常に高い。特に現状でも行われている金型表面温度監視はハンディの赤外線カメラや高価な高解像度のカメラセンサまで運用されているが、どちらもリアルタイム性やサイズ・自動データ取得に課題が指摘され、量産現場でのモニタリングには不向きとされている。サーモモニタリンは無線式サーモセンシング方式で12カ所のエリアデータ取得・放射率設定機能・異常警告などのソフトウェアが充実しており、24時間生産に対応できる量産中の金型表面温度監視/冷却効率監視システムとして普及している。

金型内センサとしては、FUTABA “モールドマージャリングシステム” が普及しており、当社でも

M2Mシステムと上位の「Σ軍師II」との連携実績もある。当社のセンサの特色は無線式センサにあり、Wi-Fi無線センサ「Stethoscope II」や「無線サーモモニタリン」と高精度「歪センサ」によって金型内の温度・圧力・型開などをセンシングするセンサを販売している。たとえば、型内温度は、①無線式熱電対4chセンサ、②ホッパー内無線式温湿度センサ、③設備稼働部・モータ異常監視には振動・電流センサ、④型開き型内圧などの異常監視には歪センサが活用されている(第3図)。

サーモモニタリン等Wi-Fi無線式は、配線・工事レスなど移設も簡単になるため好評であるが、一方で工場内Wi-Fiが多用され通信環境が心配な場合や海外工場向けには有線式(POE:電源・通信の同軸



第3図 Wi-Fi無線式センサ「Stethoscope」と高精度「歪センサ」による型内異常・成形機異常監視センシング

ケーブル採用)も販売している。

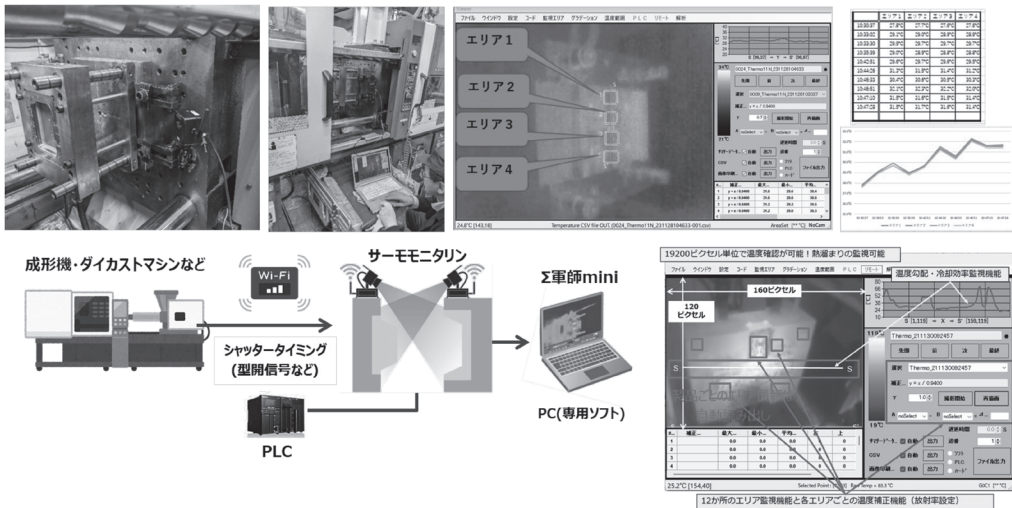
第4図は、(有)東邦プラテックにおける金型表面温度の実証実験の記録であり、立ち上げ時のショートショット(不良)の削減に向けた取り組み事例である。立ち上げ時の金型温度分布を標準化することで、シングルショットでの量産スタートの目的が達成されることが実証された。また、金型メーカーのトライ成形機と客先の量産成形機の機差問題も大きな課題であり、今後この金型表面のエリア温度の計測値を出荷・引き渡し基準とし、客先でも同様の検査を行い“機差”の解消に向けた取り組みが始まっている。

2-3 開発源流の成形解析・金型設計と成形現場不良を結び

リアルタイムセンシング事例

金型設計は、CAEによる樹脂流動解析や金型温度解析などを行い、成形不良等の過去トラと照らし合

わせて型設計するのが一般的である。近年、前述のような成形状態のリアルタイム・デジタル監視ができるようになり、成形現場の現トラと金型設計をリアルタイムにつなぐ試みがスタートしている。自分が設計した金型の成形現場での冷却状態を見て不良実態を知ることができれば生きた水管設計の良否を判断でき、今の設計に役立つ。また、金型ごとの成形不良データを一括監視するΣ軍師IIとも連携できるため、量産工場で起きている不良傾向や各種成形条件から金型温度の上昇や冷却効率を傾向値管理されたデータで入れ子部などの温度上昇対策の設計に役立つ(第5図)。すでに多くのユーザーからその有効性が報告されている。デジタルの時代は、部門最適ではなく設計と現場をデータでつなぎ、一体化することが必要である。



第4図 サーモモニタリンの機能と東邦プラテックにおける金型表面温度の検証結果



第5図 サーモモニタリンとΣ軍師IIの成形現場センシングデータとCAE・金型設計との連携システム

3. センシング一体型の成形AIによる成形不良予知システムの開発と事例

3-1 センシング一体型の成形AIによる成形不良予知システム

近年、AIを搭載した成形機や画像検査による不良品排斥成形システム、生成AIによる金型内計測システム、Open AI ChatGPTを搭載したAIシステムが開発されている。成形不良と成形条件の因果関係や射出成形の製造条件をAIで自動補正する試みがあるが、市場からは「真の不良原因、不良に至るメカニズムが知りたい」との声が多い。

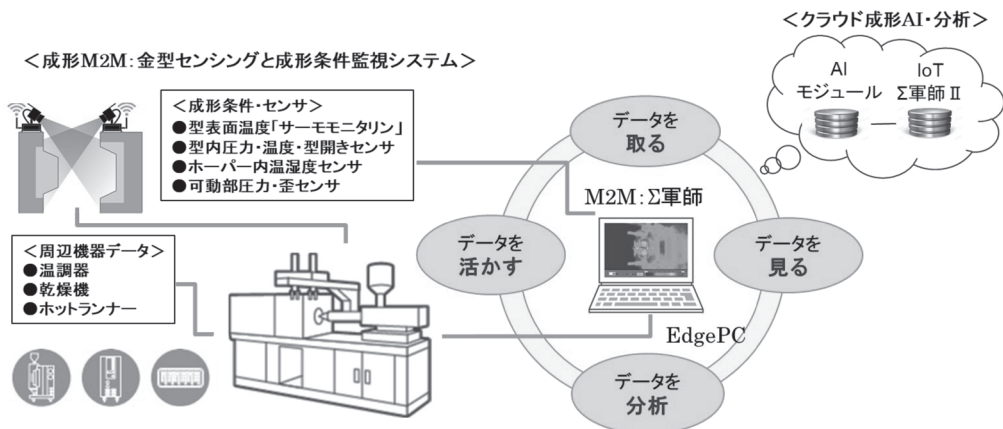
当社は、岡谷鋼機(株)・ブレインズテクノロジー(株)と共同で、前述の成形機/金型:M2Mセンシングシステム「Σ軍師II」とAIモジュールImpulseの機能を連携させたセンシング一体型の成形AIによる成形不良予知システムを開発している(第6図)。システムの特徴は、AIで不良の解を導き出すのではなく、①成形現場で起きている生産条件変動を成形機制御装置と金型等のセンサにて100項目以上の変動因子をリアルタイムにデータ収集し、②クラウド上にアップロードし、③遠隔でΣ軍師IIによるデータ分析とAIモジュールImpulse連携で不良予知とメカニズム分析を行うハード・ソフト一体型AI成形不良予知システムにある。成形条件はEdgePC:Σ軍師にて一括データ管理され、製造現場でのアナログ・デジタルデータ確認することもできる。また、閾値設定で異常データがあれば警告灯にて即時発信機能により不良拡散が防止できる。不良予知やデータ分析は、クラウド上にアップロードされた製造データに対し、前述のΣ軍師IIの各種分析・統計管理機能が使える。構築中の成形AIモジュールは、生産の長

期データに対し成形不良に至る因子の抽出と不良予知を同時に行うハイブリッドシステムとなっている。

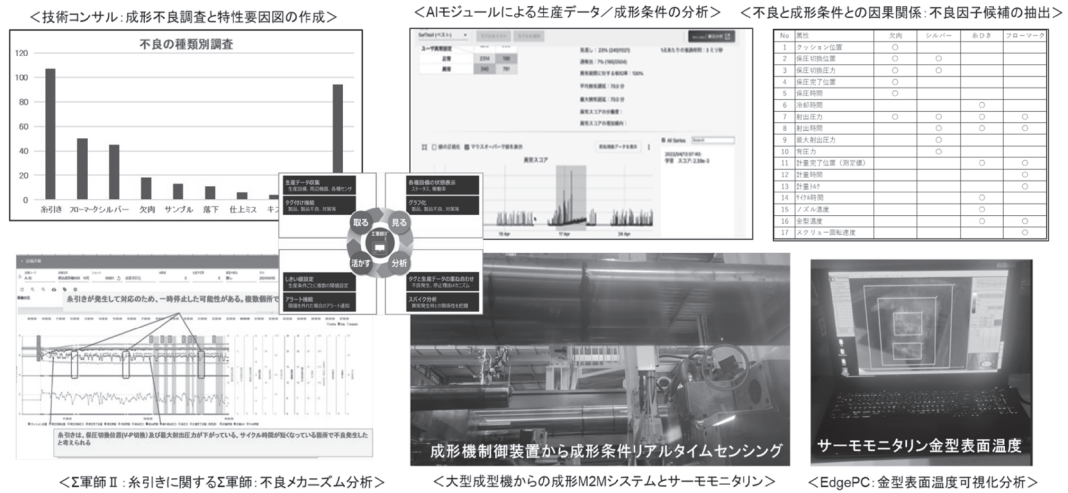
3-2 成形不良撲滅に向けた成形M2MとAI解析システムの実証実験

中部合成樹脂工業(株)は自動車用内装部品などを生産するTier1企業である。センシング一体型成形AIによる不良予知システムを工場の成形機に設置し、成形不良削減、不良予知システムの検証・開発を実施している。対象の成形機は導入後約10年になるJSW650トンで、PLCを介してM2M:Σ軍師にて成形条件データのモニタリングを行っている。成形データが56項目、成形条件データが30項目、計86項目の不良にかかわる因子をリアルタイムでセンシングしており、かつサーモモニタリングで金型表面温度監視のシステムも設置した。

事前の不良調査では、①糸引き、②フローマーク、③シルバー、④欠肉が4大不良となっていた。特性要因図にて目安を立て、まず不良と成形条件の因果関係を成形AIモジュールにて不良因子の絞り込みとΣ軍師IIに蓄積された生産の生データによる成形条件変動の変化点分析を試み、成形AIモジュールの有用性を検証した。数ヶ月におよび蓄積された成形(生産実績)データ検証の結果、実際の糸引き不具合発生時の成形条件と関係する因子変動が抽出できた(第7図)。さらに4大不具合に対する同様の検証を行った結果、不良と成形条件の因果関係を示すような関連性結果が得られることが実証された。また、サーモモニタリングによる金型表面温度監視でも不良時の温度変化が捉えられ、冷却効率を監視モニタリングすることで金型不良の予兆を捉えることも検証された。今後、シルバー不良に対してもホッパー内



第6図 センシング一体型AIによる成形不良予知システムの構成図



第7図 Σ軍師II：成形機制御装置からの成形条件データ取収とデータ分析、成形AIによる不良因子抽出と分析結果

の材料温湿度センサによるセンシングで材料監視による予兆管理も期待できる。

第7図に示すように成形機の条件データで成形AIモジュールにて不良因子が絞り込める。実証分析では糸引き不良の発生日時をΣ軍師IIの不良タグ機能を用いて成形不良発生時刻を冷却時間・射出圧力・射出時間・射出最大圧力・排圧力のデータにマッピングし、不良発生前後のデータ変化を見ることができる。成形AIモジュールでの不良の絞り込みとΣ軍師IIのデータ変化点分析により、不良のメカニズム分析と不良予知が可能であることが実証された。さらに今後、サーモモニタリンの金型表面温度監視や各種金型センサで金型異常・冷却異常・設備異常、材料異常の発見も期待される。

4. おわりに

今後の成形AIは、成形AIモジュールの分析・予知機能を最大化し、製造現場の熟練作業不足を補い、成形技術・ノウハウの蓄積を金型設計に生かすシステムとしたい。また、金型IoT：金型電子カルテ、設備電子カルテなどのメンテナンス情報や、成形重量・材料情報も取り入れていきたい。

【筆者紹介】

佐藤 声喜
 (株)KMC 代表取締役社長