

J-WiSe 押出成形機の IoT ソリューション

Development of J-WiSe Solutions for Extrusion Molding Machine



博士(工学) 富山 秀樹*
Dr. Hideki Tomiyama



戸田 賢二**
Kenji Toda



沖本 翼*
Tasuku Okimoto



小岩 哲也***
Tetsuya Koiwa



吉井 佳介****
Keisuke Yoshii



松下 英和*****
Hidekazu Matsushita



仁井 貴文**
Takafumi Nii



山澤 隆行***
Takayuki Yamazawa

要 旨

JSW としての IoT ソリューションの総称である J-WiSe は、押出成形機および射出成形機に対して 4 つのコンセプト (生産管理、サービス・保全、運転支援、生産自動化システム) を掲げ、お客様の生産性向上に寄与するソリューション提供を目指している。本稿では、押出成形機の J-WiSe に対し、4 つのコンセプトに基づいた開発アイテムについて紹介を行う。

— Synopsis —

J-WiSe, which is a generic term for the Internet of Things solutions as JSW, has four concepts (Production management, service and maintenance, operation support, and production automation systems) for injection and extrusion molding machines to promote the provision of solutions that contribute to improvement the productivity for customers. This paper introduces the development items based on four concepts for the J-WiSe of extruder.

1. はじめに

当社の IoT ソリューションは“J-WiSe”と称しており、押出成形機および射出成形機へそれぞれ搭載すべく AI (人工知能) なども活用したシステムの開発を進めている。J-WiSe では、①生産管理、②サービス・保全、③運転支援、④生産自動化との 4 種のコンセプトを定めており、当社製品を購入いただいたお客様が安心して操

業できることを目的に、早期実用化に向けた開発を実施中である。

押出成形機については、図 1 に示すように①生産管理を“NET-100EX”、②サービス・保全を“Abnormal Diagnosis”、③運転支援を“Assist Mode”、そして④生産自動化を“Automatic Starting up Function”とそれぞれシステムの名称を定義している。これらは、造粒・コンパウンド機、フィルム・シート成形機から中空成形機

* : 広島製作所 技術開発部
Technical Development Department, Hiroshima Plant

** : 広島製作所 電装技術部
Electrical Engineering Department, Hiroshima Plant

*** : 広島製作所 樹脂製造機械部
Plastics Machinery Department, Hiroshima Plant

**** : (株)タハラ 技術部
Technical Department, Tahara Machinery Ltd.

***** : 横浜製作所 電装技術部
Electrical Engineering Department, Yokohama Plant

に至る、当社が手がける全押出成形システムで常時生産品の品質を安定化でき省人・省力化を達成できるソリューションの提供を目的としている。本稿では、これら4種のシステムについてその詳細の説明を行う。

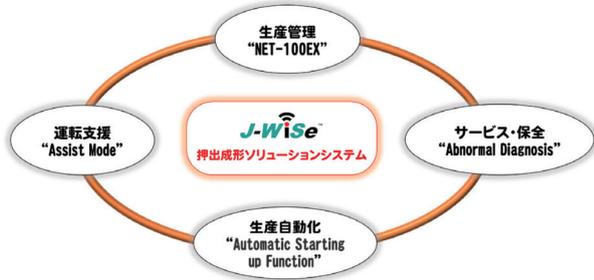


図1 J-WiSe 押出成形ソリューションシステム

2. 生産管理 “J-WiSe NET-100EX”

コンパウンダーでは、複数の押出機を稼働させ、それぞれの押出機の稼働状態と品質管理を行うことが多い。統括担当者が工場全体の稼働状態を把握しプロセスを管理するにはネットワークを活用したデジタル化が必須とされる。この生産管理が可能となれば、各押出機にオペレータがそれぞれ配置し運転操作を行う必要はなくなり、定常生産時には複数の押出機を1人のオペレータが稼働監視を行うだけで良くなるため、省力化・省人化も可能となる。“NET-100EX”は、これらを目的に開発を行った集中管理システムであり、押出機に備えたLANコネクタへケーブルを接続するだけで、遠隔にて複数台の稼働監視が可能だけでなく、常時データの収集が可能となる機能を備える(図2)。

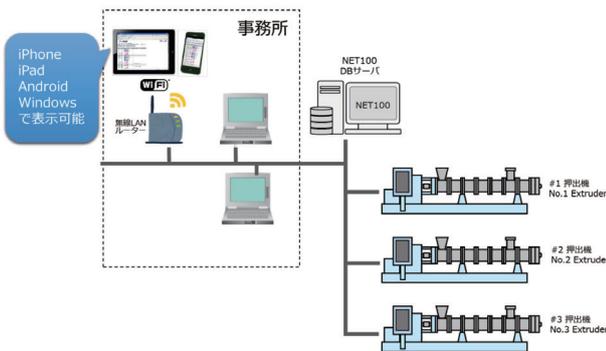


図2 NET-100EXのシステム概要

NET-100EXでは、無線LANルーターを介してタブレットやPCの画面で稼働状況の監視が可能である。この閲覧にはWebブラウザを用いるため、Windowsの他にAndroidやiPad、iPhoneなどで表示が行える。また、特定のメールアドレスを登録しておけば、アラームが発

生した場合にメール通知を行う機能も有する。稼働状況の監視については、最大240項目のデータ収集が可能であり、それらデータの一括表示やブラウザ上で履歴のグラフ表示が行える。さらに、CSVファイルへのデータ出力機能を有するため、Microsoft Excelなどでのデータ処理が可能である。オプション機能として、Windows上でコントローラ画面をリアルタイムで表示が行え、管理者モード限定ながらこのWindowsパソコン上で設定条件の変更が可能である(図3)。



図3 Windowsパソコン上で閲覧・操作可能なコントローラ画面イメージ

また、このNET100-EXでは、コンパウンダーのお客様が独自に構築しているデータベースをはじめとする生産管理システムとTCP/IPを介したデータ共有が可能である。この“NET100 web API”は、お客様システムからNET100-EXサーバへhttpリクエストを送信することで、各種データがXMLおよびCSV形式で返信される。汎用性が高いhttpプロトコルを利用することで、多様なお客様システムからの安定したNET100-EXシステムへのアクセスが可能となっている(図4)。

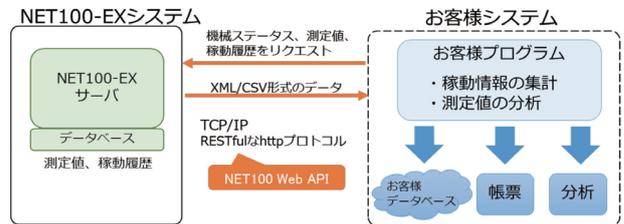


図4 NET100 web APIシステムの概要

3. サービス・保全 “J-WiSe Abnormal Diagnosis”

押出機は、高容量のモータ動力を伝達源としてスクリュを回転させることで、樹脂の熔融可塑性と吐出を行う。図5に押出機の主な装置構成を示す。この押出機の中で最もエネルギー消費が激しい部分は、スクリュの第一混練部で樹脂の熔融可塑性を行うところである。これは樹

脂の溶融エンタルピーが非常に高いためであるが、主にスクリュの回転によってそのエネルギーを付与するために多大な機械的負荷が生じる。これは、結果として長年にわたり進行するスクリュの摩耗や、減速機内の軸受けやギア類の摩耗や損傷などの機械ダメージへと蓄積される。スクリュの摩耗状況は定期メンテナンスの際にスクリュを引き抜いて直接計測を行うことで管理ができるが、減速機の場合はその状態を確認するには大規模なメンテナンス工事を必要とするため容易ではない。そのため、定期点検では潤滑油の劣化状態確認と交換、通常運転時の異常音や振動を計測することでその異常状態を推測するしかない。図6に破損したギアと摩耗限界を超えたスラストベアリングを示す。これらの状態に至った場合、押出機の駆動時に減速機が異常振動を生じるか、あるいは明らかに異常な周波数の音が聞こえる。このように、人間の感覚に依存する場合、異常と察知した段階では既に破損に近い状態であることが多く、本質的な異常の状態予測を行うことは極めて難しい。

今回開発した“Abnormal Diagnosis”は、減速機をはじめとする駆動システムの軸受け部品の消耗度合いを監視し、その故障を予測することで保全を促すシステムである(図7)。ベアリングをはじめとする消耗部品の

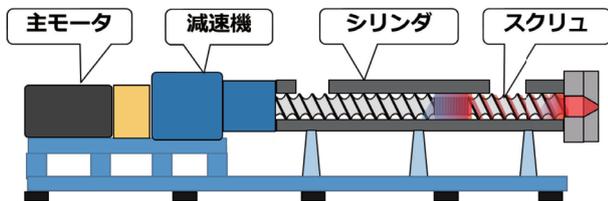


図5 二軸押出機の主な装置構成



(a) ギア歯車 (b) スラストベアリング

図6 損傷した減速機の内部部品

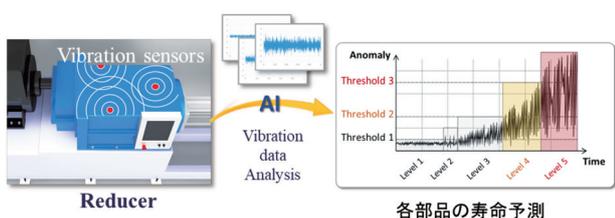


図7 Abnormal Diagnosis による減速機の予防・保全システム

摩耗度合いを異常検知するシステムは多くの産業機械メーカーが開発が進められているが、潤滑油に常時浸された部品の状態監視を直接的に行うことは困難性が伴う。当社システムの大きな特徴は、減速機内部の構造を完全3Dモデル化し、その各所に配置されている軸受けベアリングの固有振動をFEM解析によって求めることで減速機のケーシングに伝播される共振点を求め(図8)、その位置へ実際に振動センサを装着することで各所のベアリングの異常状態を検知することにある(図9)。これらによって、センサが検知する振動波形から異常が生じるベアリングの位置を特定することができるが、一方でその異常度合いを判断するためにはその波形の強度がある閾値を超えるか否かを見極

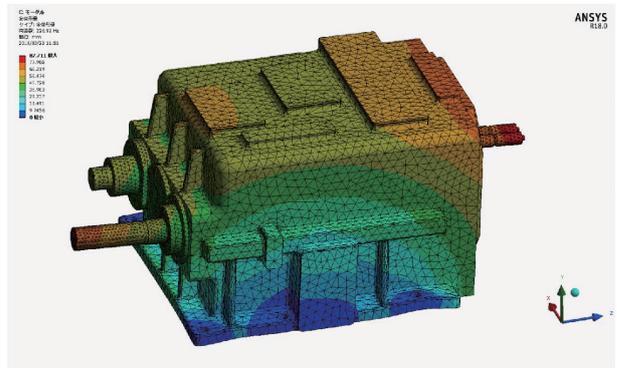


図8 減速機モード解析による内部軸受けの共振点予測



図9 減速機に装着した加速度センサ

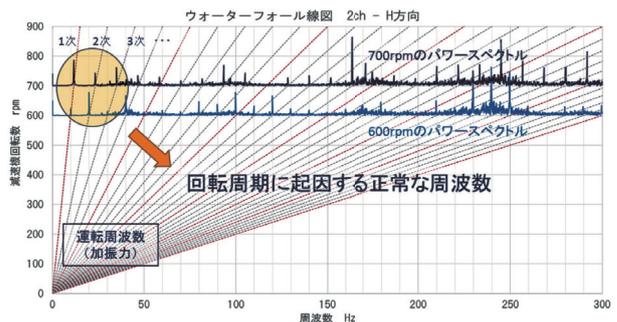


図10 ウォーターフォール線図を用いた周波数解析例

める必要がある。ただ、その閾値を決定することは容易ではなく、多くの蓄積された経験値(データ)から決定しなければならない。そこで、本システムでは人工知能(AI)を用い、その閾値を収集データから決定を行うソフトウェアを自社独自に開発した。その解析手法は一般的なフーリエ変換(FFT)に基づくものであり、各軸の回転数とそれが持つ固有振動数に基づく周波数帯と強度を算出するウォーターフォール線図から判断するものである(図10)。AIでは、ある程度消耗が進んだベアリングが装着された状態で駆動された振動データを採取し、それらデータから深層学習を行って閾値を決定する必要がある。ただ、押出機だけのデータ採取量では深層学習を行うほどのビッグデータを収集することは多大な時間を要し、閾値決定は早急に行えない。そこで、当社では押出機だけではなく他の事業部製品の軸受け振動データを大量に採取し、それらデータから効率よく各種軸受けサイズによる異常領域を察知する閾値決定を達成できた。

これら減速機の予防保全システムは既に数社のお客様へ設置しており、実際にその保全に役立っている。今後も導入顧客を増やし、高負荷運転でも機械のトラブルを未然に防止し、安全に押出機を稼働できる環境を提供していく所存である。

4. 運転支援 “J-WiSe Assist Mode”

コンパウンディングプロセスでは、複数台のフィーダ操作や多段ベントでの真空度調整を行うことが多いが、装置の起動時は各種センサの数値を監視しながらそれら機器やスクリュ回転数の負荷を徐々に高める操作が必要になる。これら煩雑操作にはある程度の経験値を有するオペレータの存在が必要となるが、それでもごく稀に操作ミスからベントアップやフィードネックなど不慮のミスを生じることがある。

“Assist Mode”は、あらかじめ操作パネルで生産運転の条件を入力するだけで、押出機の起動時はボタンを1度タッチするだけで生産運転まで自動で押出機を起動できるシステムである(図11)。



図11 運転支援システム “Assist Mode”

図12に Assist Mode のシステム概略を示す。まず、所定プロセスのフィーダやスクリュ回転数などの生産条件を入力する。その入力完了すると、コントローラ内で押出機起動時から生産条件までの理想的な立上げ曲線が自動演算により生成される。その後、操作パネル上の起動ボタンをクリックすると、運転曲線に従って機器の自動起動が開始される。このシステムの特徴は、通常の手作業による立上げではフィーダとスクリュ回転数を徐々に高負荷へ設定する、いわゆるステップ起動を行うことに対し、最適化された関数に従ってこれら機器の負荷を連続的に高めることにある(図13)。この連続起動による恩恵は、装置起動時に頻発しやすいベントアップやフィードネックの発生リスクを排除できることにあり、本システムが完成し上市を始めた2018年度以降これまでにこれらのトラブルが発生した事例がないことが大きな利点といえる。

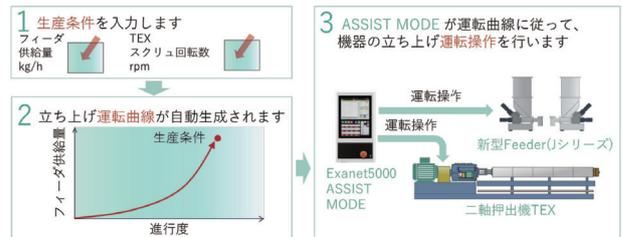


図12 Assist Mode の概略

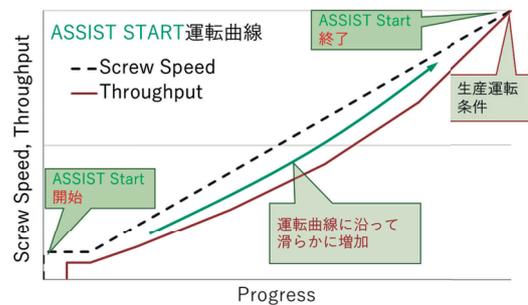


図13 生産運転条件をもとに自動設定された立上げ曲線

図14に、TEXの標準操作システム“EXANET”による条件設定画面を示す。生産条件の入力は、トータル原料供給量と各フィーダの供給比率、そしてスクリュ回転数などである。この入力終了した段階で、前述の最適起動曲線が算出される。なお、原料の構成や生産量に変更が生じない場合は、これら条件設定は一度行うだけで良く、起動の都度設定する必要はない。押出機の起動では、従来のマニュアル起動と Assist Modeのいずれかを選択可能であるが、本システムを用いる場合は「アシスト」を選択する。その後、開始ボタンをクリックするだけで各機器の負荷が自動で上昇する。なお、この起動時には5段階のステージが設けられており(各ステージの到達条件は自動設定される)、

現在どのステージにあるかをモニタリングできる。



図 14 EXANET での Assist Mode の条件設定画面

図 15 に、TEX44aⅢで Assist Mode を用いて立上げを行った際の、各種機器の負荷とセンサ類のログングデータを示す。原料構成は、58wt% のポリプロピレン、40wt% の Talc と 2wt% の添加剤を各種フィーダによって供給を行うプロセスである。生産条件は総供給量を 250kg/h、スクリュ回転数を 550rpm とした。起動直後は押出機内が空隙のため電流値も低いままであり、その間フィーダの供給量は低い状態を保持する。その後、各種センサによって樹脂が押出機内に満たされると自動判断すると、フィーダ供給量が徐々に高まり、押出機のモータ電流値も次第に上昇する。その後加速度的にフィーダ供給量が増加され、起動開始後 200 秒で生産条件に到達した。この起動時間は手動操作と比較しても非常に早く、トラブルが生じるリスクも排除した本起動システムは、原料や労働力のロスを極力抑えることが可能と判断できる。

また、本 Assist Mode には押出機の自動立上げだけではなく、自動立下げ(停機)も可能である。立下げの場合は、原料の供給量を徐々に低下しながら押出機内の樹脂を排出する必要があるため、立上げよりも時間を要する。本システムの立下げは樹脂圧力やモータの電流値をスムーズに低下させ、押出機の負担を極力低下させた運転が行える。



図 15 Assist Mode にて自動立上げを行った際の各種データ

5. 生産自動化

“J-WiSe Automatic Starting up Function”

本節では、中空成形機のスタートアップ機能についての紹介を行う。従来の中空成形ラインの立上げでは、劣化樹脂の排出から樹脂置換後のパリソン(中空状の吐出樹脂)状態が安定するまでの時間はオペレータが常時吐出状態を確認する必要があった。また、その間のパリソンはその場で凝縮塊を形成するため粉碎機に投入することが出来ず、そのまま破棄せざるを得ないため原料の無駄も多く発生する課題が生じていた(図 16 (a))。今回、押出機を自動で起動し、ブローアップと冷却までを早期に開始することで、オペレータの手動操作の介在を極力排除したシステム“Automatic Starting up Function”を開発した。これは、図 16 (b)に示すように、今回新たに Flex-Cycle Molding Mode と称したパリソンの状態監視機能を追加したことに特徴を有する。この機能は、昇温完了直後の押出機起動時からブローアップ成形を開始し、パリソンの状態安定操作を行いながら成形品を粉碎・再生ラインに運ぶものである。このシステムの適用により、前述で課題に上げたパリソン凝縮樹脂の廃棄を抑制でき、粉碎原料としてリサイクルが可能になる。

立上げ時のパリソン状態の自動安定化について述べる。パリソン状態が不安定になる要因の一つに、原料に使用する粉碎材の形状にばらつきが多く、それに伴う押出機内での樹脂の溶融可塑化量の変動がある(図 17)。

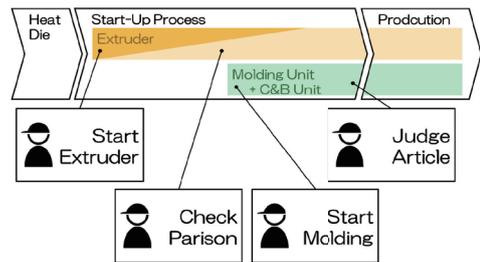


図 16 (a) 従来の中空成形装置のスタートアップ手順

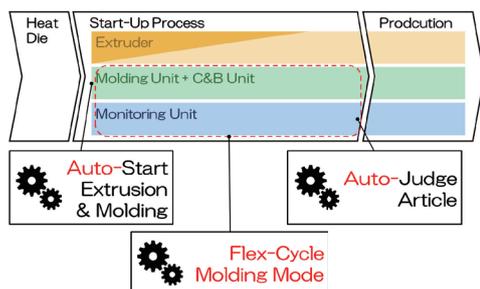


図 16 (b) 新開発の“Automatic Starting up Function”によるスタートアップ手順

オペレータはこの原料形態により変動する吐出量を把握し、成形可能な条件へと設定変更を余儀なくされるが、この操作には多くの時間を消費し多大なロスを生む要因となっていた。

この問題を解決するため、パリソンの長さを検知するセンサを設置し、自動的に条件設定の変更を行うことで装置立上げをスムーズに行うシステム開発を行った。これは、図18に示すようにセンサをパリソンの長手方向へ複数台設置し、各センサがパリソンを検知するまでの時間を監視することでパリソンの長さを判定するものである。センサ検知によってパリソンの到達長さに変動が生じたと判断された場合、単軸押出機のスクリュ回転速度を自動で調整を行い、吐出量の速やかな補正を行う。これにより、オペレータによるパリソン状態監視と条件調整の手間を完全に解消でき、不良発生率の大幅低減が可能となった。

以上で説明した自動立上げおよび吐出量の自動調整システムにより、中空成形のスタートアップ時や生産中にオペレータが行っていた手作業の自動化が可能となり、オペレータの負荷低減が達成できる。また、スタートアップ時にパリソンを破棄する量が減り、生産中の良品率も向上するため、原料ロスの削減が可能となるメリットを有する。

6. おわりに

当社のIoTソリューション“J-WiSe”について、①生産管理、②サービス・保全、③運転支援、④生産自動化の4種のアイテムについてそれぞれ紹介を行った。これらシステムはいずれも製品化を達成済み、あるいは今年度中の上市を計画しているものであり、実用化の目処がついているものばかりである。今後はこれらソリューションを導入いただいたお客様の声を聞きながらシステムの改善を図り、真に使いやすいIoTシステムへと完成度を高めていく予定である。お客様からは、しばしば国内と同じ装置を海外に導入したが生産品の品質が異なる、などの課題を抱えているとのご意見を耳にする。本ソリューションを導入すれば高度なオペレータの操作支援が可能になるため、世界中で同一の品質を維持できる可能性を有する。我々は今後もJ-WiSeの開発に注力し、世界中で使いやすい押出成形システムの提供を目指す所存である。

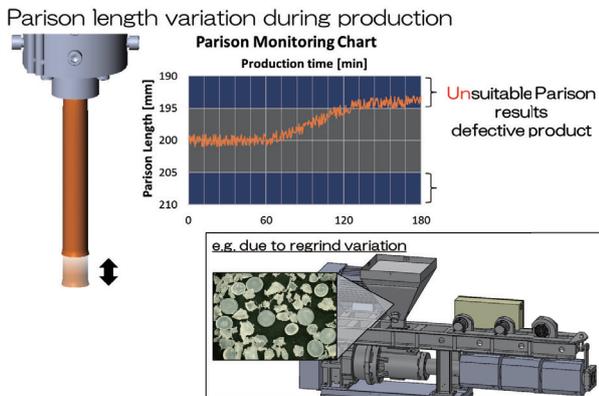


図17 原料形態によるパリソンの吐出量変動イメージ

Closed-loop adjustment with Extruder

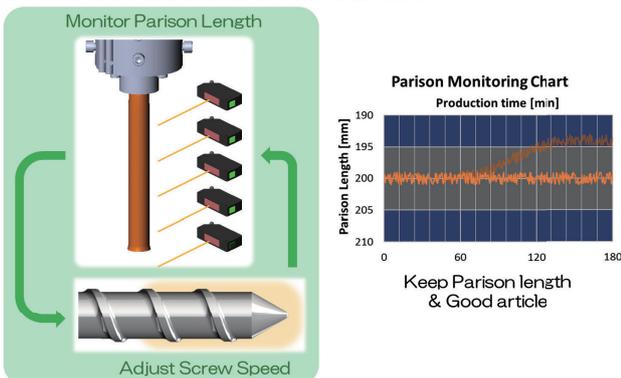


図18 パリソンの吐出量変動抑制の自動操作概略