

TEX の自動運転支援システム “ASSIST MODE”

“ASSIST MODE” for Automatic Operation Support System of TEX



小岩 哲也*
Tetsuya Koiwa



馬場 貴之**
Takayuki Baba



佐賀 大吾*
Daigo Saga



上田 能貴**
Yoshiki Ueda



仁井 貴文**
Takafumi Nii



栗原 正夫*
Masao Kurihara

要 旨

運転員の技量に依らず二軸押出機の安定した装置の立上げとトラブルを排除した運転の安定性確保を目的とし、その運転支援システム“ASSIST MODE”を開発した。これは、開発を推進している AI/IoT プラットフォーム“J-WiSe”の「生産自動化システム」に類するソリューションであり、当社製品ユーザーの方々の DX（デジタルトランスフォーメーション）支援が可能である。“ASSIST MODE”には、立上げを支援する“ASSIST START”、停止運転を支援する“ASSIST STOP”、そして清掃運転を支援する“ASSIST CLEANING”の3種の機能を有する。検証運転の結果、手動操作よりも立上げ時間が早く各種計測値もスムーズで安定することがわかり、生産運転条件に到達直後から樹脂物性が安定状態にあることが示唆された。

— Synopsis —

The operation support system “ASSIST MODE” was developed for the purpose of starting up a stable device of a twin-screw extruder regardless of the skill of the operator and ensuring the stability of operation by eliminating troubles. This is a solution similar to the “production automation system” of the AI / IoT platform “J-WiSe” that is being developed, and it is possible to support DX (digital transformation) of our product users. “ASSIST MODE” has three types of functions: “ASSIST START” to support start-up, “ASSIST STOP” to support stop operation, and “ASSIST CLEANING” to support cleaning operation. As a result of the verification operation, it was found that the start-up time was faster than the manual operation, and various measured values were smooth and stable, suggesting that the resin physical properties were in a stable state immediately after the production operation conditions.

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

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

1. 緒 言

二軸押出機を用いた複数原料のコンパウンドプロセスでは、複数のフィーダやベントシリンダが装着されているケースが多く、ベレタイザーを含む下流機器に至る装置の立上げ手順は煩雑性を伴う。そのため、これら機器操作による装置の立上げでは運転員の経験と知識が必要とされ、なおかつ熟練した運転員でも稀に機器操作手順を誤り不慮のトラブルを発生させるヒューマンエラーが発生する。これは押出機の立上げが手動操作に依存しているためであり、立上げ時のパラメータ変更タイミングとその設定値の判断は運転員の技量に委ねられ、その技量は結果的に原料の廃棄量や時間のロスに直結する。

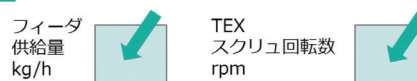
廃棄プラスチックの削減問題がクローズアップされる現在、運転員の技量に依らず安定した装置の立上げとトラブルを排除した運転の安定性確保は、大量の樹脂を連続生産する押出プロセスにとって喫緊の課題である。この課題に対応すべく、当社では二軸押出機の運転支援システム“ASSIST MODE”を開発した。これは、当社が開発を推進している AI/IoT プラットフォーム“J-WiSe”の「生産自動化システム」に類するソリューションであり、当社製品ユーザーの方々の DX（デジタルトランスフォーメーション）支援を目的に開発を進めている（図1）。“ASSIST MODE”は、押出機のコントローラ“EXANET”に入力した押出機の生産運転条件をもとに、最適な各機器の立上げパラメータと運転曲線を自動で決定し、それら関数に従って自動で生産運転まで立上げを行うシステムである（図2）。

本“ASSIST MODE”の開発目標と特長を以下に示す。

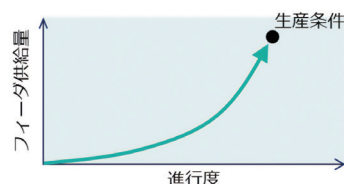
- 1) 運転曲線に従って操作を行うため、最適な立上げ運転を誰でも毎回再現する事が可能。
- 2) 数回の操作のみで生産運転を開始出来るため、運転者の負荷を軽減し、短期間で操作技術が習得可能。
- 3) 運転条件は樹脂品種毎に保存 / 読込が出来るため、入力ミス等のヒューマンエラーを防ぐ事が可能。
- 4) 操作ミスが無く、短時間で生産運転を開始出来るため、廃棄樹脂や生産ロスを低減する事が可能。

本稿では、この“ASSIST MODE”について、その開発内容と実際の機能について紹介を行う。

1 生産条件を入力します



2 立ち上げ運転曲線が作成されます



3 ASSIST MODE が運転曲線に従い、機器の立ち上げ運転操作を行います

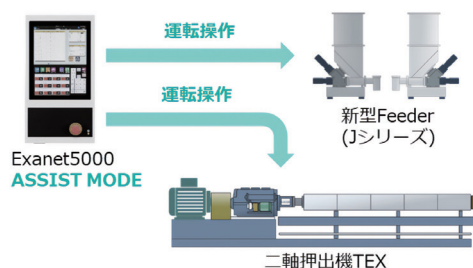


図2 “ASSIST MODE” の概略



図1 当社が推進する AI/IoT ソリューション“J-WiSe”

2. “ASSIST MODE”の基本動作

“ASSIST MODE”には、表1に示すように3つの機能がある。以下にこれら機能についてそれぞれ述べる。

表1 “ASSIST MODE”の3つの機能

ASSIST START	押出機TEXの立ち上げ運転操作を支援する機能
ASSIST STOP	押出機TEXの停止運転操作を支援する機能
ASSIST CLEANING	押出機TEXの清掃運転操作を支援する機能

2.1 “ASSIST START”

“ASSIST START”の操作概要は、まずオペレーションシステムへフィーダ供給量とスクリュ回転数の生産条件を入力する。すると、起動から生産条件までの最短かつ最適な立ち上げ運転曲線が自動作成される。その後、オペレーションパネル上で押出機の起動ボタンをタッチするだけでフィーダとスクリュ回転が立ち上がり、生産条件まで自動的に移行するものである。このシステムを採用することで技能によらず常時最適な起動が行えることに加え、押出機起動時に生じやすいベントアップ等のトラブルが解消できるなど、生産面の保全にも有用である⁽¹⁾。

押出機を運転する際、Q（フィーダ供給量）とNs（スクリュ回転速度）の比（Q/Ns）が同じであれば押出機シリンダ内の樹脂充満率は同程度となる為、混練挙動も同程度となることが期待できる。この特性を利用して、押

出機の立ち上げ時に適したQ/Nsを維持する運転曲線（図3）を設定する。“ASSIST START”はこの運転曲線に沿って二軸押出機TEXとフィーダを操作し、停止状態から生産条件に到達するまでQとNsを滑らかに上昇させる事が出来る。図4にTEX44aⅢによる“ASSIST START”を適用した際のフィーダとモータ電流値のデータを示す。生産条件はスクリュ回転数が550rpm、総フィーダ供給量は250kg/h（PP：58%、Talc：40%、添加剤：2%）である。この結果から、各種機器は停止状態より生産条件到達時まで大きな変動が無く滑らかに上昇していることがわかる（本運転の詳細は次章で述べる）。

“ASSIST START”は、基本的にフィーダを含めた二軸押出機単体を迅速に起動するためのシステムであるが、ストランドダイから吐出された樹脂の処理を自動化するために、当社では（株）タナカと提携を行い、ダイからの吐出ストランドを自動でカッターまで搬送しペレット化までを行う“ストランド自動ペレット化システム”の開発も行った⁽²⁾。本システムの概略を図5に示し、この中でも特徴的な装置を表2に示す。このシステムの特徴は、二軸押出機のオペレーションシステムで原料供給からペレット製造までの生産データを一元管理できることにあり、前記“ASSIST START”を組み合わせたプログラムとすることで押出機の起動から良品ペレット製造までを最短時間で実施でき、廃棄プラスチックの低減が可能なることにある。また、必然的に運転員の負担が低減でき、運転員によらず製造条件の再現とペレット品質の安定化も可能である。

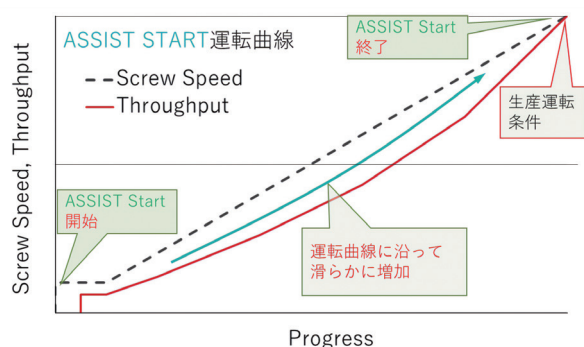


図3 “ASSIST START”による運転曲線の自動決定

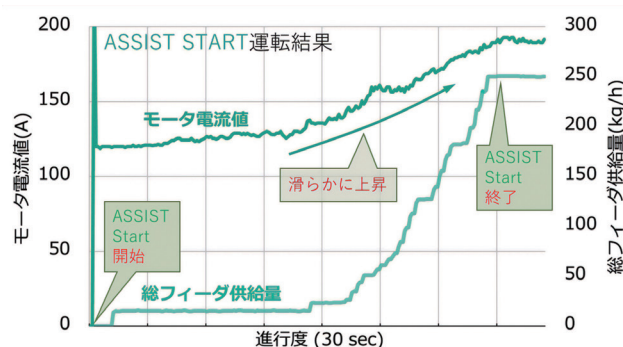


図4 TEX44aⅢによる“ASSIST START”使用時の各種運転データ

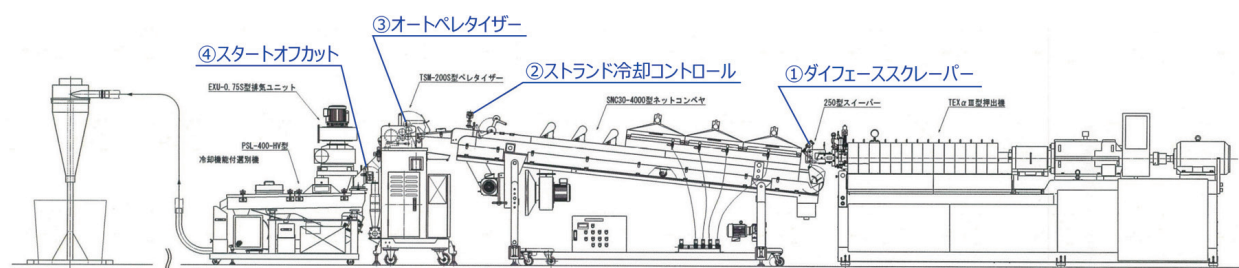
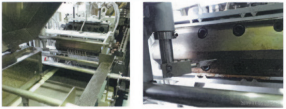
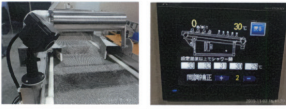
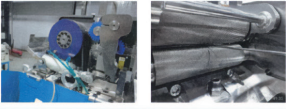
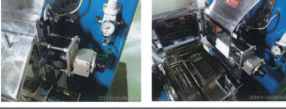


図5 （株）タナカとの提携により開発したストランド自動ペレット化システム

表2 スtrand自動ペレット化システムの特徴的な装置

装置	概要	特徴
①ダイフェーススクレーパー		Strandがペレット化できる状態になると、床面に落としていたStrandをダイフェースカッターで切断し、ターンカバーが反転しStrand先端をコンベヤに移し冷却搬送を開始。
②Strand冷却コントロール		コンベヤ排出端に設けた熱画像センサーでStrandの温度を検知し、冷却水の水量をコントロールすることでStrandのペレタイザーに入る温度を一定に保持する。
③オートペレタイザー		Strandの太さをセンサーで検知し、常に同じ太さになるように引き取り速度を制御。このとき、ネットコンベヤの速度も同調させる。
④スタートオフカット		初流のオフペレットは排出シュートに設けた自動ダンパにより系外へ排出。また、初流のペレットはエジェクターでオフ品タンクへ空気搬送を実施。

2.2 “ASSIST STOP”

“ASSIST STOP”は、“ASSIST START”とは逆に二軸押出機とフィーダを生産運転状態から停止状態までの自動操作する機能である。図6に概略を示す。コンパウンドプロセスでは複数原料とそれに伴う複数台のフィーダが用いられるが、添加剤などの副原料が押出機内に残留した状態で停機を行うと、次回立上げ時にそれらが酸化し変色するため、樹脂置換に時間を要しロスを招く。そのため、熱安定性の良い樹脂(主には主原料)を一定時間単体で排出させ、押出機内を清掃しつつ停機させることが好ましい。“ASSIST STOP”では、この清掃運転と排出運転も同時に実施しながら最終的に停止状態に移行する機能を搭載している。

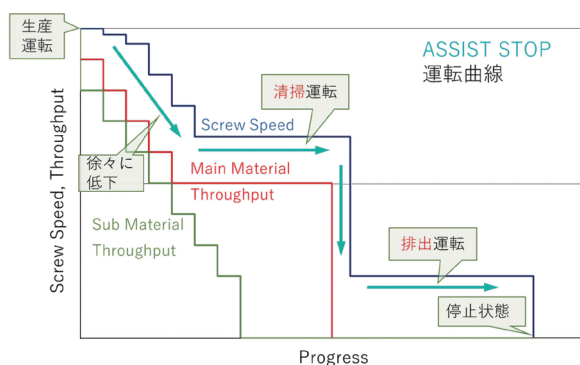


図6 “ASSIST STOP”の運転概略

2.3 “ASSIST CLEANING”

二軸押出機では生産樹脂グレード変更の際にスクリュ交換を行うことも多く、スクリュ交換後は生産運転前に押出機内部の清掃(パージ)運転が行われる。“ASSIST CLEANING”ではその清掃運転を容易に行うことが出来るシステムである。図7にその概略を示す。このモードでは、パージ運転のスクリュ回転数とフィーダ供給量、

そしてパージ運転の維持時間を予めコントローラへ入力しておく必要があるが、“ASSIST START”や“ASSIST STOP”と同様にパージ運転条件までの起動と運転後の停止は曲線に基づく自動操作が行われる。“ASSIST CLEANING”終了後は、押出機内部の清掃及び樹脂の初期充填が完了しており、直ぐに生産運転(“ASSIST START”)が実施可能である。

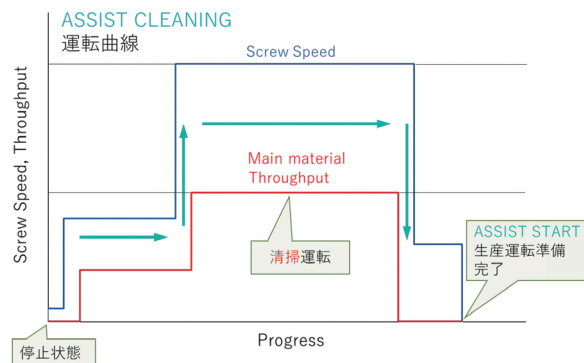


図7 “ASSIST CLEANING”の運転概略

3. “ASSIST MODE”の立上げ運転機能 “ASSIST START”の試験検証

“ASSIST MODE”の実行のためには、TEXの操作画面“EXNANET”に予め各種生産運転条件を入力・設定しておく必要がある。図8にその画面構成を示す。設定が必要な画面は図中左側に表示されているパネルのみであり、目標の総供給量とスクリュ回転数、そして各種フィーダの供給比率(%)だけを入力すれば良い。設定完了後は“EXANET”が自動的に立上げステップ(Stage)を設定し、運転員が「アシスト運転開始」スイッチを押すと自動的に運転が開始される。運転員は処理量の増加に伴い不

慮の諸問題が生じないかを確認しつつペレット製造の支援監視を行うだけで良く、最終 Stage の移行が完了した時点で生産開始の判断を行えばよい。

図 9 (a) に、TEX44aⅢで実施した“ASSIST START”の試験結果を示す。生産運転条件は、2.1 節でも述べたとおり、スクリュ回転数が 550rpm、総フィーダ供給量は 250kg/h (PP : 58%、Talc : 40%、添加剤 : 2%) である。「アシスト運転開始」ボタンを押した後、停止状態から約 200 秒 (0 ~ 110 秒は初期充填時間、120 ~ 200 秒は原料供給量を増加) で、生産条件まで問題なくスムー

ズに立ち上げることが出来た。また、モータ電流値はほとんど変動が無く滑らかに上昇することが確認でき、これに伴いフィードネックやベントアップなどの不慮のトラブルが生じる予兆も皆無であった。これに対し、図 9(b) に同様の生産運転条件まで手動立上げ (4 段階のステップ入力) を実施した結果を示す。本操作は経験豊富な運転員によるものであるが、生産運転までの条件設定までに 240 秒を有し、さらに生産条件の設定完了後に電流値と圧力値が安定して生産開始の判断に至るまで更に約 30 秒を有した。また、手動操作ではスクリュ

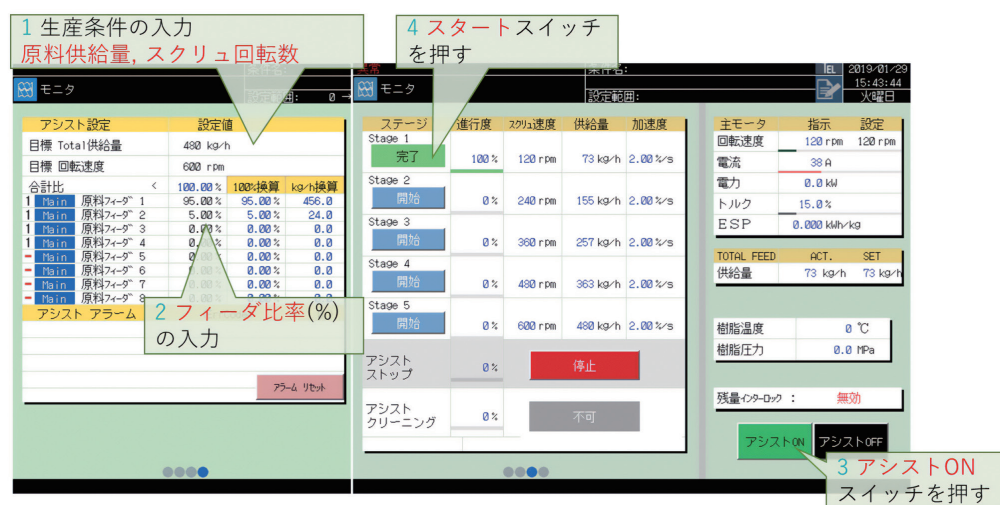


図 8 “EXANET” での“ASSIST MODE”の設定・操作画面

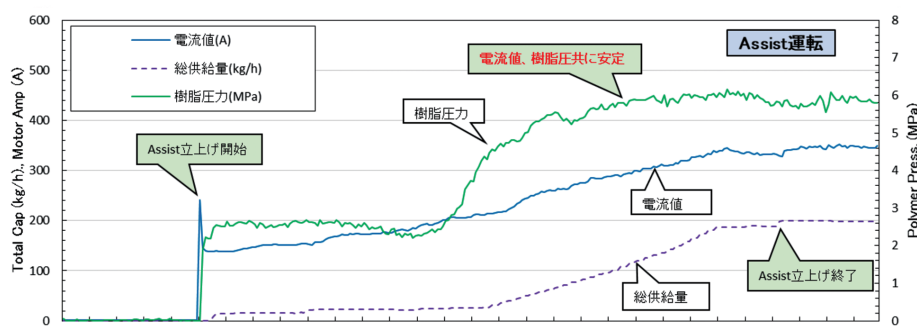


図 9 (a) ASSIST MODE

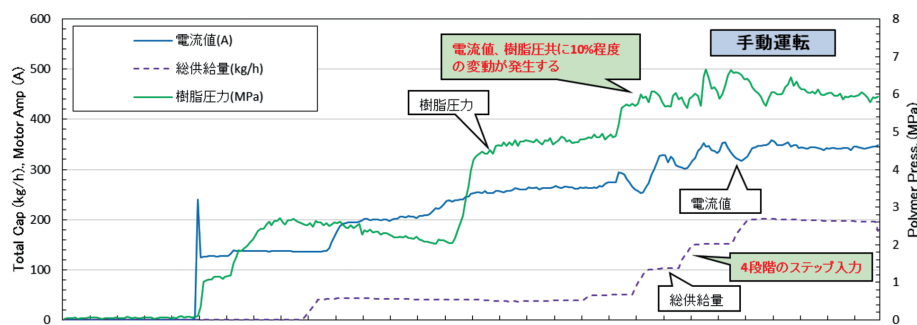


図 9 (b) 手動操作

図 9 各種操作方法による TEX44aⅢの立上げ運転トレンド

回転とフィーダ供給量の設定は段階的に実施するため、条件設定後は電流値と圧力値ともに変動が見られ、押出機内部の樹脂挙動が不安定状態にあることが推定できる。ベントアップなどの不慮のトラブルは押出機の立上げ時に最も生じやすく、またスクリュや減速機への負荷もこの際に高くなることが知られている。そのため、“ASSIST MODE”を採用することで、長期的な押出機の保全のためにも有効なシステムであることが示唆される。

“ASSIST MODE”では、シリンダ設定温度やフィーダ比率、そして本システムの設定パラメータを含む全ての運転条件を保存し読み込む機能を搭載している。図10にその設定画面を示す。生産する樹脂の種類や配合など、コンパウンドするグレードに応じこれらを設定しておけば運転員による設定値の入力ミスを防ぐことができ、運転員の技能レベルに依らず常に安定した押出機の実操作が可能になる。現在は、当社が開発したAI（人工知能）アルゴリズムを本“ASSIST MODE”へ搭載し、お客様が生産する個別のコンパウンド原料種別に応じた最適運転曲線の決定を可能とし、さらなる起動時間の短縮と廃棄ロスなどの低減に繋がるシステムの成熟化を進めている。

れるわけではないため、その操作時には運転者による状況確認が必要である。ただ、運転者の負荷低減に寄与するシステムであることは明確であるため、幅広いTEXユーザーに使用してもらいたいと考えている。

参考文献

- (1) 富山秀樹, 戸田賢二, 沖本翼, 小岩哲也, 吉井佳介, 松下英和, 仁井貴文, 山澤隆行: “J-WiSe 押出成形機のIoTソリューション”, 日本製鋼所技報, No.70(2019), p.51
- (2) 富山秀樹: “二軸押出機によるコンパウンドプロセスへのデジタルツールの適用”, プラスチックスエージ, Vol.67 (2021) No.6, p.50

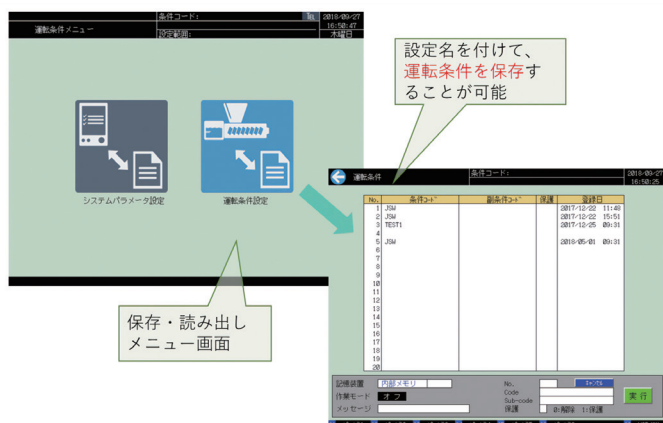


図10 “EXANET” 上での“ASSIST MODE”の全運転条件の保存・読み込み機能

4. 結 言

運転員の技量に依らず二軸押出機の安定した装置の立上げとトラブルを排除した運転の安定性確保を目的とし、その運転支援システム“ASSIST MODE”を開発した。これには、立上げを支援する“ASSIST START”、停止運転を支援する“ASSIST STOP”、そして清掃運転を支援する“ASSIST CLEANING”の3種の機能を有する。検証運転の結果、手動操作よりも立上げ時間が早く各種計測値もスムーズで安定することがわかり、生産運転条件に到達直後から樹脂物性が安定状態にあることが示唆された。本システムの機能にはまだ限界があり、全てのコンパウンドプロセスで必ずしも安定化が図ら