

射出成形機の技術変遷と将来展望

Technological Transition and Future Prospect of Injection Molding Machine



面林 孝英*
Takahide Omobayashi



井上 博之*
Hiroyuki Inoue



安江 昭*
Akira Yasue



博士(工学) 越智 清史**
Dr. Kiyoshi Ochi

要 旨

当社の射出成形機事業は、1960年の独)アンケル・ベルク社との小型射出成形機の技術援助契約、1963年の独)クラウス・マッファイ社との大型射出成形の技術提携からスタートし、半世紀以上の月日が経過した。その間、継続的な新シリーズの開発・ラインナップ拡充を重ね、2015年には5世代目となるJ-ADSシリーズを市場投入し現在に至っている。その間の最も大きな変化は、高精度・安定成形、かつ省エネ性のニーズを満足すべく、油圧駆動から電動駆動へ遷り変わったことであり、当社は1987年に、業界に先駆けて全電動射出成形機を開発し、1989年に初号機を出荷した。また、射出成形機の基幹技術であるスクリュー・シリンダ技術や制御技術についても、開発・改良を推進し、新シリーズ発売の度に差別化技術として市場に投入してきた。また、装置開発と並行してプロセス技術開発にも力を注いだ。当社固有技術であるDSI法や、それをさらに進化させたHP-DSI法、環境負荷低減に有効な物理発泡成形法などの様々な高付加価値化技術に取り組んできた。直近では近い将来を見据え、普及および進化が急峻に進んでいるIoT技術を射出成形機に応用すべく一早く取り組みを開始し、J-WiSeソリューションの展開を始めている。本報では、上記のそれぞれについて概説する。

— Synopsis —

Over half of a century has passed since we began our injection molding machine business operations in technical collaboration with the German companies Ankerwerk in 1961 and Krauss Maffei in 1963. In injection molding machines, hydraulically-driven has changed to electrically-driven in order to meet the needs for high precision stable molding and energy-saving that provide precise, stable molding conditions. JSW also developed an all-electrically-driven injection molding machines ahead of the industry in 1987, and launched the fifth generation J-ADS series on the market in 2015. Screw and barrel technologies and control technologies are the core technologies of injection molding machines, and we have continued to develop, improve, and bring to the market these technologies along with the releases of new machines to stand apart from our competitors. We also focused on process technologies development in parallel with the manufacture of injection molding machines. We have been working on various high value-added technologies such as we advanced our proprietary DSI process technology to create the HP-DSI process, and the physical foam molding method, which is effective in reducing the environmental load. Most recently, with the spread and evolution of IoT technologies, we have begun efforts to apply them to injection molding machines as quickly as possible, and are developing J-WiSe solutions. In the future, we will continue to promote technological development so that customers can use injection molding machines and other molding equipment systems with peace of mind.

*: 広島製作所 射出機械部
Injection Molding Machinery Engineering Department,
Hiroshima Plant

** : 広島製作所 射出電装部
Injection Molding Machinery Electrical Engineering Department,
Hiroshima Plant

1. 緒 言

当社の射出成形機事業がスタートして、半世紀以上が経過した。その間の最も大きな変化は、高精度安定成形かつ省エネ化のニーズを満足すべく、装置の駆動方式が油圧から電動に切り替わったことである。最初の電動駆動の射出成形機が市場に投入され四半世紀が経過し、その間、電動射出成形機の基幹部品であるボールねじの高負荷対応、高寿命化、サーボモータの大容量化などの進化を図ってきた。一方、国内外を含めて、射出成形機の基本構造に関する技術革新は見られず、コモディティ化が進み価格競争が激化した。そのため当社も2004年J-ADシリーズを市場投入した後は、差別化技術確立を目的としたHP-DSIやMuCellといったプロセス技術、当社オリジナルの制御技術、さらにIoT技術などのプロセスやソフトウェア面の強化にもいち早く取り組んできた。

本稿では、当社の射出成形機の変遷として、事業立ち上げ初期から2015年3月に市場投入された電動駆動5世代目となる最新のJ-ADSシリーズまでの装置開発の紹介に加え、J-ADシリーズが市場投入された2004年から現在までのプロセス技術・スクリュ技術・制御技術について紹介させていただく。

2. 射出成形機の技術発展

2.1 射出成形機のシリーズ変遷

当社の小型射出成形機は(独)アンケル・ベルク社との技術援助契約、大型射出成形機は(独)クラウド・マッファイ社との技術提携を経て生産を開始した。当時、射出成形機の可塑化方式は、プランジャ方式からスクリュ方式への技術革新の時期にあった。当社が技術導入した上記両社は、ともにシングルスクリュ・インライン式を採用しており、世界の射出成形機業界をリードしていた。これは当時の業界の需要に適合し、機械の性能、ならびに成形品の品質において高い評価を得た。この結果、当社は、プラスチック加工機械の総合メーカーとしての第一歩を踏み出した。

その後、日鋼アンケル・ベルクVシリーズを皮切りに、N、NA、N-BII、J-S、J-SII、J-E、J-EII、J-EIIIといったシリーズ変遷を辿り、長きにわたる小型から大型までの射出成形機の開発・製造の中で独自技術を蓄積し、射出成形機業界での確固たる地位を築いてきた(図1)⁽¹⁾。

NシリーズからJシリーズへのモデルチェンジの背景として、成形品に対して加工精度向上のニーズの高まり、成形業界からの省エネ化や生産性向上などの要求へ

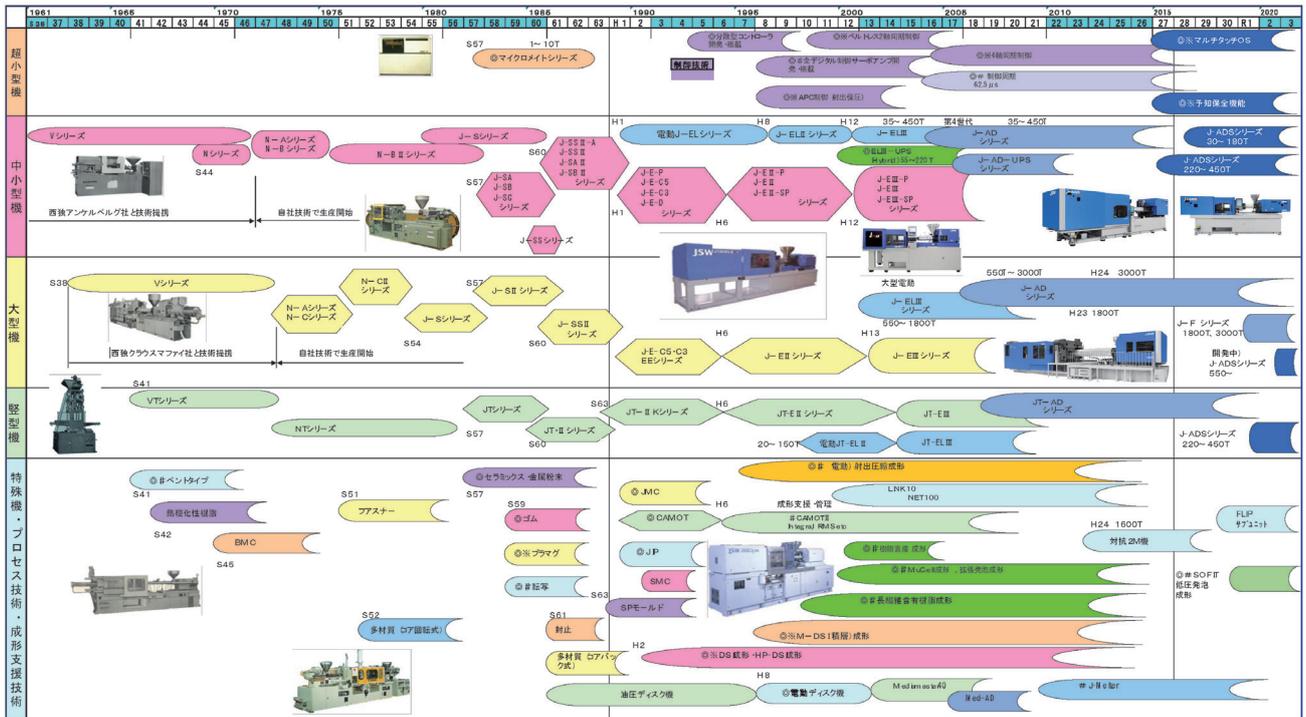


図1 射出成形機のシリーズ変遷

の対応があった。中でも1975年に上市したN-BIIシリーズでは、スクリュ駆動の油圧モータ化、制御システムには、射出速度や保圧などのパターン制御機能を搭載したN-TACSおよびN-PACSをオプション装置として搭載するなど、制御精度向上、ハイサイクル化が図られ、約8年間のロングセラー機となった。

1979年に上市したJ-Sシリーズは、全面的モデルチェンジにより世に先駆けたマイクロコンピュータを装備した制御装置を搭載するなど、業界の注目を集めた。このJ-Sシリーズは、オーディオカセットやVHSビデオカセットの成形に採用され、用途が拡大した。

1985年には、8ビットマイクロコンピュータを用いたコントローラμPACS-3000を搭載したJ-S IIシリーズを発売、さらにJ-S IIシリーズをフルモデルチェンジし、μPACS-5000コントローラを搭載したJ-Eシリーズを1989年に上市した。

1994年には、大型機、電動機、堅型機などの拡大する機種構成に対応するため、効率的に制御回路を構築できる分散型コントローラSYSCOM1000を新たに開発し、これを搭載したJ-E IIシリーズを上市した。

上記の変遷の間、企業の社会的責任として環境負荷低減が重要視されるようになり、1984年、当社は省エネ、作動油レスなど環境性能に優れた電動式射出成形機の開発にいち早く着手し、4年後の1988年に全電動射出成形機J-ELシリーズの販売を開始した。当時、射出成形機の電動化にはさまざまな技術的課題があったが、改善・改良を繰り返して1995年にはJ-EL IIシリーズ、2000年にはJ-EL IIIシリーズ、2004年にはロングセラーとなった4世代目のJ-ADシリーズの販売を開始した。射出成形機全体のラインナップにおいても、装置の駆動方式の主力は油圧から電動に移行し、2012年初頭の油圧駆動の堅型射出成形機の製造を最後に油圧式射出成形機は電動式射出成形機にその地位を譲ることとなった。

現状は全ラインナップが電動射出成形機となっている(特殊機を除く)。最新機種としては、2015年に5世代目となるJ-ADSシリーズ(型締力220tf～450tf)の販売を開始し、2016年には型締力30～180tfの小型機を、2019年には堅型JT-ADSシリーズをラインナップに加えた。

現在、型締力550tf以上の大型J-ADSシリーズを開発中であり、本機種の上市により小型機から大型機までのJ-ADS全シリーズが完成する予定である。

2.2 電動射出成形機 J-ADS シリーズ

前シリーズJ-ADは小型から超大型、堅型までの市場ニーズにマッチした多彩なラインナップで、射出成形機業界において稀に見るロングセラーとなった。

近年、射出成形機市場のニーズは変化してきており、性能が高いことが当然であり、それに加えて使いやすさやメンテナンス性、成形安定性、ランニングコストなどスペック表には現れにくい性能が重視されるようになってきている。

これらのニーズに応えるため、「全てのお客様に最大限の安心を」をコンセプトに掲げ、J-ADSシリーズを開発した。

2.2.1 中型 J-ADS 機

J-ADSシリーズの第1弾として2015年3月に型締力220tf～450tfの中型機4機種を市場に投入した(写真1)。J-ADSシリーズは高剛性、高精度型締装置、新開発コンパクトシリンダおよび新コントローラSYSCOM5000iを採用し、お客様の「安心」を迫及した機械となっている。

(1) 第二世代フラットプレスプラテン

多くの射出成形機で採用されているダブルトグル式型締装置は、直圧式型締装置に比べて金型パーティング面の面圧分布が外周部に偏りやすい。この偏りを解決するため、J-ADSシリーズでは盤面全体の変形量を均一にする設計を行うことで、金型パーティング面の面圧のばらつきを対従来シリーズで約55%低減した。これにより必要型締力の低減、成形品品質の向上や金型メンテナンスコストの削減などに貢献している。

(2) 省エネシリンダ

射出成形機のシリンダには、射出時の高い圧力に耐えるための強度が必要となる。J-ADSシリーズは当社で開発した、従来比1.5倍の強度を持つ鋼材をシリンダ母材に使用することでシリンダ径の最適化を行った。これにより連続成形時の消費電力は約10%削減される。また、シリンダ昇温時の消費電力は約30%低減、昇温時間は10～25%程度の短縮を達成している。

(3) 新コントローラ「SYSCOM5000i」

新開発のSYSCOM5000iはスマートフォンのような操作性や絵文字を多用し、直感的に操作できるインターフェイスを採用するなど、使いやすさの向上を第一に考えて開発した。加えて、①トラブルによる機械停止時間を最短化させるとともに、機械の稼働時間を最長化させる予知・予



写真1 中型 J-ADS 機

防保全機能、②従来はオペレータに頼っていた記録シートや個人ノートへの各種情報の記録をコントローラ内で一元的に管理することが可能になる各種メモ機能、さらに③メンテナンス履歴とその際の伝達事項や詳細内容などの記録・閲覧を可能とし、射出成形機と成形品のトレーサビリティの強化を図るなど、お客様の生産性を向上させる様々な機能を搭載している。

2.2.2 小型 J-ADS 機

2016年10月に型締力30～180tfの小型J-ADS機の販売を開始した(写真2)。小型J-ADSシリーズは中型J-ADS機の思想を踏襲し、操作性・視認性を向上した新型コントローラSYSCOM5000iを採用した。また、可動盤ガイドのプッシュレス+リニアガイド化による摺動抵抗の低減や、シリンダ径の最適化による消費電力の削減、グリス給脂量の最適化による消費量の削減など、装置のクリーン化・省エネ化を特長としている。これらによりADシリーズに対して約15%の消費電力の削減を実現した。

また、可動盤、固定盤の金型取付面の分割化により、金型に作用する型締面圧を均一化し、成形不具合の防止や成形品の形状精度の向上などの成形品質の改善を図った。



写真2 小型 J-ADS 機

2.2.3 大型・超大型 J-AD 機

現行のJ-ADの大型・超大型機(写真3)は、自動車・OA機器・家電・雑貨分野などにおける成形品の大型化・薄肉化、そしてさらなる生産性向上や成形安定性といった市場ニーズを満足すべく、「ハイサイクル」、「省エネ」、「成形安定性」をキーワードとして開発された。2004年に型締力650tfの販売を開始し、2011年に1300tfまで、さらに2012年には世界最大級の3000tfまでの全電動式射出成形機のシリーズ化が完了した。

さらに2019年には広島製作所の大型電動成形機技術と名機製作所のハイブリッド射出成形機技術を集結し、省スペース・省エネ・ハイサイクルを特長としたタイバロック式2プラテン射出成形機J3000F-15000H(型締力3000tf)を開発した。2プラテン式型締装置により同クラスのトグル式射出成形機と比較して機長を約2m短縮し、大幅な省スペース化を実現した。

J-ADシリーズでは、『ハイサイクル No.1』をコンセプトに、他社との差別化を図ることで業界をリードする存在としてブランドが定着してきた。しかし一方で、国内外の競合他社による電動トグル機の投入が本格化してきており、性能面、コスト面での競争が一層激しくなっている。このような状況の中、他社の追従を許さず、さらに一歩進んだ新シリーズ機J-ADSの早期投入が必要である。

現在、好評のJ-ADシリーズを踏襲して『ハイサイクル性能 No.1』をコンセプトに新シリーズを開発中であり、中型ADSシリーズと同様の環境負荷低減、安全性の重視や、新コントローラSYSCOM5000iによる機能・操作性の向上等のシリーズを通しての開発方針を継承する。

また、ブランド力の基礎となる性能・コスト・品質それぞれにおいてもさらなる強化を図る。

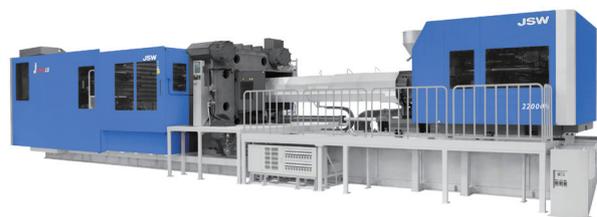


写真3 大型・超大型 J-AD 機

2.2.4 縦型 JT-ADS 機

縦型JT-ADS機は2019年7月より型締力40tf、70tfロータリー機を販売開始した(写真4)。2020年6月には全電動縦型射出成形機としては世界最大級となる型締力220tfロータリー機を発売し、シリーズ化を完了した。

縦型射出成形機はインサート成形を主体とした機械であるため、生産ラインの一部としてインラインに設置されることが多く、作業性・安全性・メンテナンス性・工場内の見渡しやすさなどの観点からテーブル高さの低床化が必要となる。そこでベッド内スペースを占有するトグル機構を見直すことで従来機種よりテーブル高さを10%以上低くし、業界トップクラスの低床化を実現した。

また、生産性向上のために成形動作の高速化も要求されている。そこでオプションとして、ショックアップソーバーの追加と制御方法を変更することでテーブルの回転時間を約17%短縮し、成形サイクルの短縮に寄与する機能を追加した。

その他、機械サイズのコンパクト化、装置の剛性アップなど、使いやすさと生産性の向上に応える装置となっている。



写真4 縦型 JT-ADS 機

2.2.5 高負荷・高速射出仕様機 J-ADS-EHD仕様

中型射出成形機が用いられる分野では、成形品の種類が多岐に渡り、より複雑かつ様々な形状の成形品に対応することが求められており、各成形機メーカーは、多様な機械仕様をラインナップしてこの要求に応じている。

このような状況の中、1台の成形機で様々な製品に対応できるよう、高速射出性能に加えて長時間保圧性能を併せ持つ、従来にない幅広い射出動作レンジを備えた高負荷高速機(EHD仕様)を開発した(写真5)。

最大の特長は、薄肉成形に必要な高速射出速度と、厚肉成形に必要な長時間保圧能力を兼ね備えていることである。これは、成形で求められる性能や特性を熟知した当社が、射出装置専用に独自開発したサーボモータを搭載するとともに、射出成形機全体の最適設計を行うことで実現した。

駆動部は射出装置にサーボモータを直接組み込んだダイレクト構造となっており、タイミングベルトレス、モータベアリングレス機構により高速高応答を実現した。

さらに、スクリュが接続される射出軸の動作を直接検出して制御できるため、成形動作の指令値に対する追従性や再現性が向上し、結果として成形品の品質安定性はより高いレベルで達成される。

一方、高負荷時に必要となる長時間保圧力性能を満足するため、ダイレクトモータの放熱特性を向上させている。モータステータ部の発熱を効率的に射出フレームに伝熱させ、外部に放熱させる構造とした。さらに巻線内に高電流を通電しても、モータ本体の温度が急激に上昇しない(巻線の高電流密度化)技術を開発し、モータ本体のコンパクト化も実現した。

これらの独自技術を融合して開発したEHD仕様機は、成形品内に厚肉部分と薄肉部分が共存する偏肉成形など、複雑な形状の成形品を含む幅広い成形に対応し、加えて品質安定性および生産性改善をより高いレベルで達成できる射出成形機となっている。



写真5 高負荷高速射出仕様機 J-ADS-EHD

3. 成形プロセス技術

当社は、お客様ニーズに応えるための『ものづくり』の効率化に主眼を置き、新たな成形プロセス技術や複合成形技術の開発に注力・開発をおこなっている。その事例を解説する。

3.1 物理発泡射出成形システム⁽²⁾

近年、地球温暖化や異常気象の原因として環境問題への関心が高まっており、プラスチック製品の軽量化による省エネや使用樹脂量の削減の手段として、発泡成形が注目されている。当社は、従来技術に比べて装置構成が簡単な物理発泡射出成形システム「SOFIT (Simple Optimized Foam Injection molding Technology)」を開発し、2018年11月より販売を開始している。本節では、本技術のガス溶解機構とその特長を紹介する。

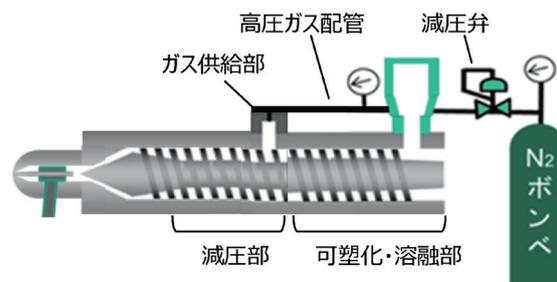
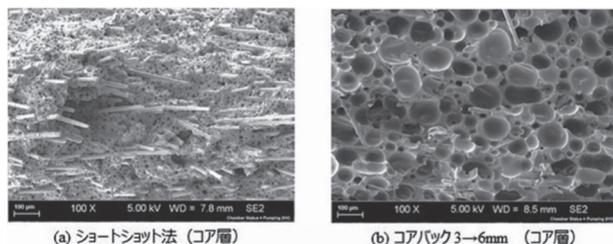


図2 SOFITのガス溶解機構の模式図

SOFITのガス溶解機構の模式図および装置外観を図2に示す。SOFITは可塑化・熔融部の下流側に減圧部と不活性ガスを導入するためのガス供給口を配置した専用のスクリュ・シリンダを搭載している。減圧部には10MPa以下の低圧の不活性ガスをボンベから直接供給する。SOFITでは、ガス溶解量は減圧弁によるガスの圧力調整により制御できる。そのため、ガスの昇圧装置やガス注入量を制御するための機器は不要となり、従来法に比べてインシャルコストを低減できる。

自動車部品では金属部品の樹脂化が進められており、エンジン周りなどの高温部や配管類などを中心にポリフェニレンサルファイド(PPS)やポリアミド(PA6, PA66など)などのエンジニアリングプラスチック、スーパーエンジニアリングプラスチックが使われている。これらの成形にSOFITを適用することで、軽量化、反り・ひけの改善、バリの低減などの効果が得られる。図3にPA6+GF 30%のSOFITでの成形事例を示す。ショートショット、コアバック成形ともに100 μ m以下の微細な気泡構造が得られている。これらより、材料費の高いエンジニアリングプラスチック、スーパーエンジニアリングプラスチックをSOFITで成形する場合、軽量化だ

けでなく、材料費の削減にも寄与する。



(a) ショートショット法 (コア層) (b) コアパック3→6mm (コア層)

射出ユニット	1400H (スクリュー径φ66mm)
樹脂	PA6+GF30%
成形品	平板 (縦250mm、横360mm、厚み3mm)
成形法 (軽量化率)	ショートショット法 (10%比重減) / コアパック 3→6mm (発泡倍率2倍)

図3 SOFITでのエンプラ成形事例

3.2 多色成形・複合成形

3.2.1 多色成形

多色成形は、成形品の意匠性を高めるなどの高付加価値化を、組立工数を増やすことなく実現できる成形技術である。従来、本技術は多色成形専用の射出成形機が必要なため、機械本体が高額で、さらに広い設置面積も必要となり、設備導入の障壁となっていた。

一方欧州では、専用の射出成形機ではなく、汎用の射出成形機にサブ射出ユニットを追加搭載して多色成形するケースがほとんどで、実際、サブ射出ユニットのみを販売するメーカーも少なくない。

そこで、お客様の既に保有されている汎用射出成形機に搭載が可能で、かつ簡便に多色成形が可能なサブ射出ユニット「FLiP (Flexible Light Injection Package)」を開発したので、以下に特長を紹介する。

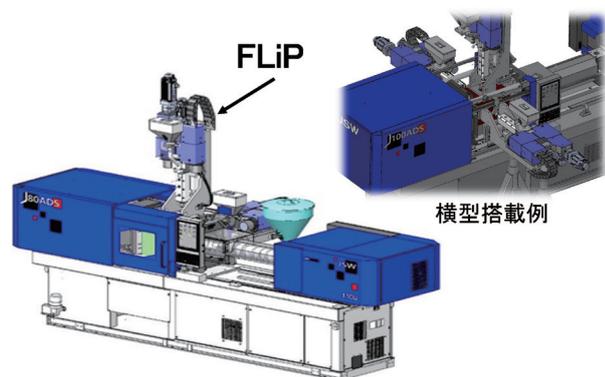


図4 サブ射出ユニット「FLiP」搭載例

FLiPは、金型廻りに複数台設置されることを想定し、装置全体を可能な限りコンパクトに設計した。一般的なサブ射出ユニットは、全長を最短にすべく型締装置の幅に収まる範囲で構成部品を配置するが、FLiPはあえて長手方向に構成部品をレイアウトし、金型との取付部の

面積を最小にした。また、FLiPには縦射出型と横射出型の2タイプをラインナップし、金型の上面や側面を含め、様々な姿勢でも容易に取付けて使用することができる(図4)。

3.2.2 複合成形

複合成形の分野では、効率良く高品質の成形品を得るために様々な方法が生み出されている。当社は以前より独自技術「DSI (Die Slide Injection) 成形」を開発し、中空成形、積層成形など複合成形の技術向上に取り組んできた。

図5にDSI成形法のプロセスを示す。まず1次射出で1次成形品(中空品の半割り体)を成形して金型を開く。ダイスライド機構で金型内の1次成形品を移動させ、互いに向き合う状態にする。再度金型を閉じ、1次成形品同士の合わせ部に樹脂を2次射出して合わせ部を樹脂で締結・溶着して成形品を一体化する。このように、1次成形直後に温度が下がりきることなく金型内で融着されるため、熱収縮による接合面の寸法変化の心配もなく高精度な成形品を得ることが可能である。

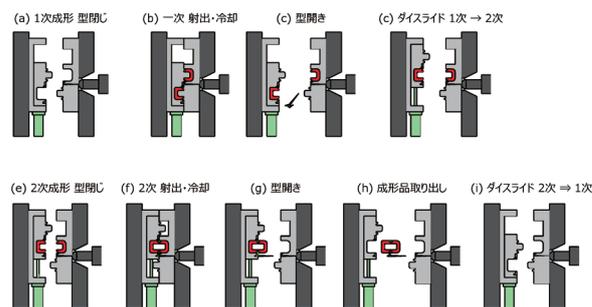


図5 DSI成形法

DSI成形法は寸法精度の高い中空成形品を製造する画期的な工法であるが、一体化する際の融着部は中空体の外周部のみであり、中空体内部にリブが存在する場合、その融着は困難である。また、融着性の悪い樹脂は本工法を適用することが難しい。

上記の課題を解決できる工法がHP-DSI成形法である。図6にHP-DSI成形法のプロセスを示す。

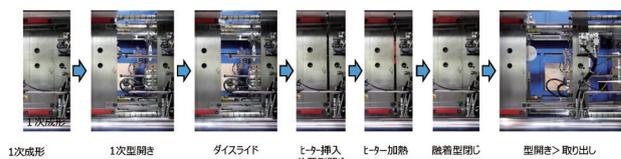


図6 HP-DSI成形法

HP-DSIのプロセスは、まず1次射出で1次成形品(中空品の半割り体)を成形し金型を開く。ダイスライド機構で1次成形品を金型内で移動させ、1次成形品同士が

向き合う位置に移動させる。この後、対向する金型のパーティング面間の距離が設定された隙間になるまで金型を閉じ、ヒータを挿入して1次成形品の接合面を加熱する。ヒータを抜去後、再度金型を閉じて1次成形品同士を接触させることで融着して成形品を一体化する。ヒータ加熱法を採用したHP-DSI法は、振動溶着法など他の手段に比べて優れた接合強度を発現できることも確認している。

HP-DSI 成形法の特長を以下に示す。

- ①中空体内部のリブも融着可能。
- ②平面以外の3次元形状接合融着が可能。
- ③成形直後に金型内で融着一体化するため、外乱影響による融着品質の不良を低減できる。
- ④金型内で一体化可能なため、工程数が削減できる。
- ⑤1次成形品の中間在庫レスが図れる。

1次成形品の接合面の加熱をヒータのみに頼ると、成形品形状毎に専用ヒータの設計が必要であること、ヒータの最小曲げ半径では表現できないような複雑なリブ形状には対応できないことなどの課題が生じる。この課題を解決するのがスイング式ヒータである。写真6に一例を示す。ヒータ前後進と偏芯カムをモータで駆動させることによりヒータをスイング動作させる。このヒータのスイング動作により、成形品形状毎の専用ヒータが不要になるとともに、溶着部を均一に加熱することが可能である。

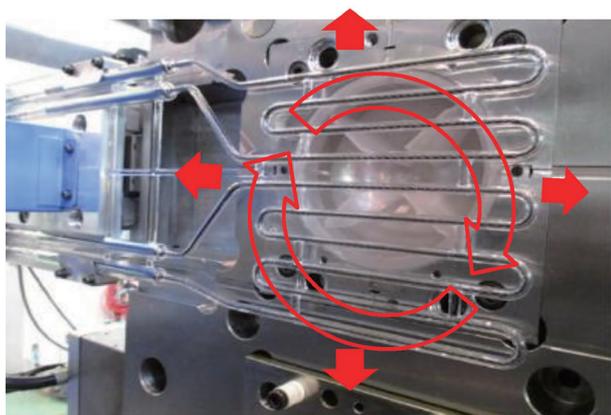


写真6 HP-DSI スイング式ヒータ

4. スクリュ・シリンダ技術

これまでのスクリュ・シリンダの開発は、新シリーズの開発と並行して取り組み、順次市場に投入してきた。近年では、射出成形品の高機能化にともない樹脂材料の多様化が加速しており、樹脂別専用スクリュなどに対応した開発も進めている。

本項では、表1に示すスクリュラインナップの中でも大型機用のMIII-Dスクリュ、樹脂別専用スクリュ開発

の事例としてポリカーボネート(PC)樹脂など光学用成形材料用の不等ピッチ(VP)スクリュを紹介する。さらに、スクリュ摩耗が発生する要因の中で、材質面の改善だけでは解決が困難な熔融過程による要因を対策すべく開発されたContact Less (CL)スクリュを紹介する。

表1 スクリュラインナップ

名称	形状	目的
GP21	シングルフライト	あらゆる汎用樹脂に対応したJSW標準スクリュ
MIII-D	ダブルフライト	高混練・高可塑性能力を有した大型機用の標準スクリュ
M7	ダブルフライト	ハイサイクル成形及び高混練性を両立
MII-K	ダブルフライト	光学樹脂(PC・PMMA)や硬質塩ビ(H-PVC)成形用途
HP	ダブルフライト+ミキシングピース	高倍率のドライカラーやマスターバッチ使用時の色ムラを抑制
CL	特殊フライト形状	スクリュ摩耗抑制・樹脂ヤケ抑制
VP	特殊フライト形状	過せん断による樹脂ヤケ・コンタミ・ガスを防止

4.1 MIII-D スクリュ

一般的にスクリュ・シリンダに要求される性能は多岐にわたるが、MIII-D大型機用新スクリュは、旧シリーズ(J-ADシリーズ)で採用していたMIIIスクリュの長所を継承し、①高分散性能、②高可塑性能力、③低温可塑性性能、④色替性能、⑤樹脂適合性能の主要性能・能力のさらなる向上を実現した。

図7にMIII-Dスクリュの概略図を示す。基本構造は圧縮部および計量部の主フライトのピッチ間に、主フライトよりも若干高さが低い副フライトを設けた構造となっている。



図7 MIII-Dスクリュの概略図

4.2 VP スクリュ

VPスクリュは、PC樹脂など光学用成形材料での炭化・黄色変色といった成形品不良の発生を抑える目的で開発した。図8に標準スクリュとVPスクリュの外観を示す。標準スクリュは上流から下流までフライトピッチは不変だが、VPスクリュは軸方向にピッチを変化させることで流路断面積の急激な変化を避け、樹脂材料に対して炭化・黄色変色の原因となる強いせん断力が作用しないように設計されている。

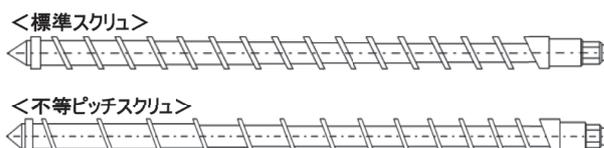


図8 標準スクリュとVPスクリュの外観比較

4.3 CL スクリュ⁽³⁾

スクリュが摩耗すると、樹脂の送り能力が低下し、計量時間が長くなる。結果、生産性を低下させる。摩耗の要因は複数存在するため、要因に応じた対策を講じたスクリュをラインナップしている。

CL スクリュは、摩耗要因のうち、可塑化溶解現象に起因する摩耗への対応を目的に開発したものである。基本メカニズムは、流体潤滑軸受けの原理をスクリュのフライトに応用したものである。図9は、実際の生産工場にてCL スクリュ適用前・後でスクリュ外径を測定した結果である。CL スクリュでない場合、約2年間の使用後はスクリュフライトが摩耗(スクリュ直径が減少)していたのに対し、CL スクリュ適用後は同期間の成形後も摩耗は認められず、本スクリュの有効性を確認している。

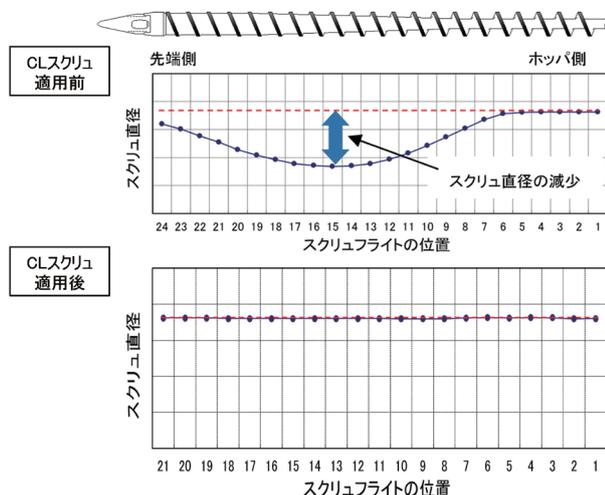


図9 CL スクリュ適用前・後での外形測定結果 (2年間 540,000 ショット後)

4.4 SG スクリュヘッド⁽⁴⁾

ガラス繊維(GF)で強化したポリフェニレンサルファイド(PPS)樹脂やポリアミド(PA)樹脂は、高い耐熱性や機械強度、優れた耐薬品性と難燃性を有し、自動車部品、電気・電子部品等に幅広く使用されている。これに対し、過酷な腐食・摩耗環境にさらされる逆流防止リングなどのスクリュ関連部品にとっては、汎用的な樹脂に比べてさらに過酷な環境にさらされることとなり、寿命が短くなる可能性がある。

このような問題を解決するため、耐腐食性、耐摩耗性に優れた写真7に示すSG スクリュヘッドを開発した。



写真7 SG スクリュヘッド外観

開発したSG スクリュヘッドは、スクリュヘッド、逆流防止リング、押金の3つの部品から構成される(図10)。SG スクリュヘッドでは、樹脂流路を広くし、かつ直線的にすることで可塑化時に逆流防止リングの内側および上流側の樹脂に発生する圧力が小さくなるように最適化設計した非共回りのスクリュヘッドセットである。

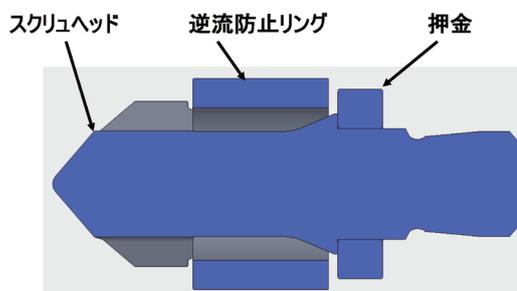


図10 SG スクリュヘッド構造

SG スクリュヘッドの効果検証のため、GFを40%含有したPPS樹脂を用いて、表2の条件で1年間のロングラン成形テストを実施した。その結果、SG スクリュヘッドの逆流防止リングの外径摩耗量は、従来品よりも大幅に軽減されることが確認でき、本テストの環境下での耐久年数は、対従来品で10倍以上になると見込まれる。

表2 ロングラン成形条件

＜ロングラン成形条件＞	
□機種: JT150RAD-230V-K (スクリュ径40mm)	□計量値: 68mm
□樹脂: GF40%+ PPS	□回転数: 80rpm
□背圧: 7MPa	

5. 制御技術

5.1 SYSCOM コントローラ

当社は、1970年代から射出成形機用コントローラとして、マイクロコンピュータを搭載した制御装置の開発を行ってきた。特に、1994年にJ-E IIシリーズから採用した分散型コントローラSYSCOM1000⁽⁵⁾は、効率的に制御回路を構築できるように大幅な仕様変更を行った。以来、現在のSYSCOM5000iに至るまで、四半世紀にわたりSYSCOMシリーズを継承してきた。これは、現在の産業機械の制御装置の基本構成である、マイクロコンピュータ、デジタル化技術、通信技術を自社技術として確立し、その後の電子デバイスの性能向上とともに技術発展した時期に対応している。

SYSCOM コントローラの基本概念は、Human Machine Interface (HMI)、シーケンサ、I/Oコントロールの基本構成要素(基板・基本ソフトウェア)を共通としたまま、様々な射出成形機の機種に対応して

基板の構成や枚数をフレキシブルにアレンジ対応可能としていることである。このコンセプトによって、弊社の小、中、大型、堅型等、様々な機種、オプション構成に柔軟に対応することができ、JSWの射出成形機の対応幅の広さと、コントローラ操作の一貫性確保を可能にしてきた。

J-ADシリーズでは当社のコントローラとしてSYSCOM3000を搭載し、2004年の上市以来、その使いやすさに好評を頂き、実績を築いてきた。そしてさらなる使いやすさの向上を目指し開発したのがSYSCOM5000iであり、2015年発表のJ-ADSシリーズから搭載している(図11)。その特長は、スマートフォンやタブレット端末などで広く使われているマルチタッチOSを射出成形機として初めて導入し、分かりやすい成形条件の設定と、直感的に機械を操作できるユーザーインターフェイスである。また、射出成形機は、長期間使用頂く生産設備機械であることから、寿命予測機能、点検履歴表示機能などの保全機能に対する強化を図っている。また、省エネニーズに対応するため、成形条件に対する消費電力削減支援機能も新たに導入した。



図11 SYSCOM5000i コントローラ

5.2 サーボシステム

1996年から始まった油圧から電動化の技術革新の波の中、電動化に必要なサーボシステムについての内製化を行ってきた⁽⁶⁾。射出成形機は、小型から超大型までの全電動化が進んだことにより、飛躍的な消費電力の低減だけでなく、射出、可塑化、型開閉などの駆動機構に対する、高応答化、ハイサイクル化、高負荷対応能力など、電気制御技術によって、射出成形機の基本性能が左右されるようになった。

JSWの電動化技術の特長は、小型から超大型までのサーボシステムが共通化設計されていることである。その一例として、共通部品で大型機の駆動を実現するために、サーボモータを単に大容量化するのではなく、中小型機で使用している比較的容量の小さなサーボモータを同期して駆動させる並列駆動に

より達成している。特に、超大型全電動射出成形機であるJ2500AD(型締力24,600kN)以上の機械に対しては、当社独自の大容量(並列駆動)サーボシステムの技術が適用されている。

制御システムの構成図を図12に示す。サーボシステムの構成部品は、中大型と同一の構成部品を採用し、超大型機に必要な推力は、4つのサーボモータを同期制御することによって実現している。多軸のサーボシステムは、高速通信によって接続され、機械全体では、13軸のサーボモータを駆動している。また、大電力を最小限の給電で実現するために、大容量高効率コンバータを標準装備し、電源回生機能によって省エネルギーかつ最小の設備容量で動作するシステムとなっている。

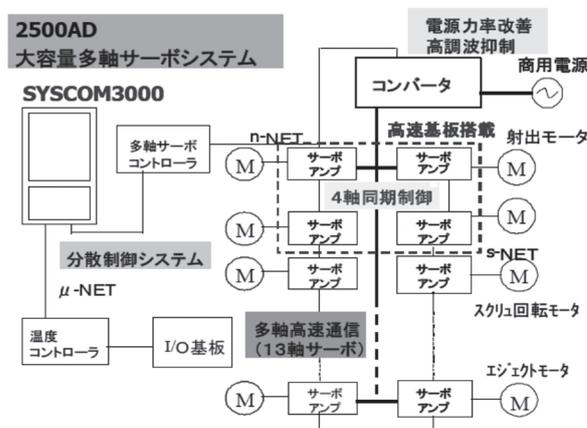


図12 超大型多軸サーボシステム

5.3 シリンダ温度制御

シリンダ温度制御については、昇温開始時の樹脂の焼けや劣化などを防止する同期昇温制御や、より高精度な温度安定性を確保するための制御周期の高速化、さらに自己診断機能を搭載するなど、温度制御基板の制御性能を高め、インテリジェント化を進めている。

5.4 IoTソリューション J-WiSe

射出成形機の生産性改善に寄与するアイテムとしてネットワーク技術の普及とともに、他社に先駆けて自社開発した射出成形機用生産監視システムNET100⁽⁷⁾を世に出して以来、多くのお客様に使用頂いている。一方、昨今のコンピュータ性能、解析技術の加速度的な向上・普及により、射出成形機に対応するIoTソリューションを提供するべく、自社ブランドであるJ-WiSeの展開を進めている⁽⁸⁾(図13)。

2019年には射出成形機専用の生産管理システムProduction Managerをリリースし、成形機ユーザの生産性を改善するためのソリューションとして販売を開始

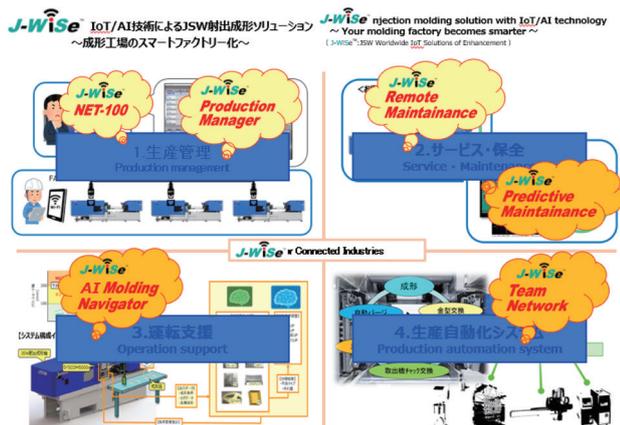


図13 J-WiSe

した。さらに、クラウド技術を活用した SYSCOM5000i コントローラの遠隔監視システム Remote Connect を準備中である。いずれも顧客の生産工場が世界各国に展開される中、遠隔での生産状態の管理、監視を必要とする状況が増加し、ワールドワイドに展開する成形工場のニーズに答えるべく開発を進めている。

さらに、昨今の AI 技術の発展は目覚ましく、その技術を応用した射出成形機の成形条件を自動調整する AI Molding Navigator も試験的に販売を開始する予定である。今後の制御技術の進化に期待されることは大きく、射出成形機の利便性、生産性のさらなる向上に寄すべく開発を進めている。

6. 結 言

本稿では、当社の射出成形機事業の変遷の概要、および J-AD シリーズの販売を開始した 2004 年から現在までの射出成形機の開発、プロセス技術、スクリュー技術、制御技術について概説した。特に 2015 年 3 月の J-ADS の中型射出成形機以降は、差別化技術の主力が、SYSCOM5000i など制御およびソフトウェア技術が中心になりつつある。この傾向は近い将来にわたっても続くと考えられる。このため、急速な進化を遂げた IoT 技術の射出成形機への適用は必須であり、これに対応すべく J-WiSe の開発を加速している。

最後に、お客様に安心して使用いただける射出成形機を継続的に送り出すことは、事業開始から半世紀以上経過した今も昔も不変である。業界 No.1 の対応力をさらに進化させ、お客様に感動を与え、世界で JSW グループのブランドを浸透させるべく、これからも妥協することなく技術開発を強力で推進していく。

参 考 文 献

- (1) 上園裕正, 藤井勝裕, 越智清史, 面林孝英: “射出成形機の技術発展と今後の展望”, 日本製鋼所技報, No.66 (2015), pp.23-33
- (2) 尾辻靖貴: “射出成形技術の現在と未来 物理発泡射出成形技術 SOFIT とサブ射出ユニット FLiP による 2 色発泡成形の事例”, プラスチックス, 71 号 (2020), pp.25-30
- (3) 安江昭, 荒木克之, 中川一馬, 千葉英貴: “可視化観察による成形不良現象の解明”, 日本製鋼所技報, No.64 (2013), pp.93-95
- (4) “SG スクリューヘッドセットの紹介”, 日本製鋼所技報, No.69 (2018), p.93
- (5) 光平国昭, 久保田智晶, 横林武, 山田健二, 山本浩毅, 上垣内裕治: “射出機用分散制御システム”, 日本製鋼所技報, No.49 (1993), pp.47-52
- (6) 光平国昭, 笹村昇, 上垣内裕治, 横林武, 越智清史: “電動射出成形機シリーズの開発”, 日本製鋼所技報, No.53 (1998), pp.70-76
- (7) 小末将吾: “射出成形機集中管理システム NET100 の開発”, 日本製鋼所技報, No.55 (2004), pp.139-142
- (8) 花山和寛, 佐伯明彦, 小末将吾, 越智清史, 本城修, 盛井彰: “射出成形機に対する J-WiSe ソリューションの開発”, 日本製鋼所技報, No.70 (2019), pp.63-69