

電動化小型射出成形機用6軸「S-MAC」の開発

木村 良則

深澤 英貴

Yoshinori Kimura

Hideki Fukasawa

1. まえがき

小型射出成形機用の「S-MAC」コントローラを、テクマン工業株式会社殿と共同開発した。省エネルギー、低騒音化を実現するため、射出成形機が必要とする制御軸すべてを油圧シリンダからサーボモータに置き換えた。

操作性と高再現性を実現するため成形条件のデジタル設定化と成形条件記憶機能を備えており、多品種小ロット成形にも十分対応できるシステム構成になっている。制御装置としてはオープンアーキテクチャのPCベースコントローラ「S-MAC」を採用し、制御ソフトは「AML 言語」で記述することにより開発期間の短縮が図れた。また、本コントローラは機能アップなど各種のチャレンジ中であるが、本稿ではその概要を紹介する。

2. 本システムのソリューション概要

電動化の問題点と解決手段について述べることで、本システムのソリューションの概要を示す。

大型射出成形機の電動化方式については、10 年来の歴史があり、決定的とはいえないまでも、各社とも種々の工夫をしており、特許として権利化している。方式としては図1に示した3方式に分けられる。これらの方式はPCベースコントローラが一般化する以前の方式であり、ハードウェアでの解決策をとっている。

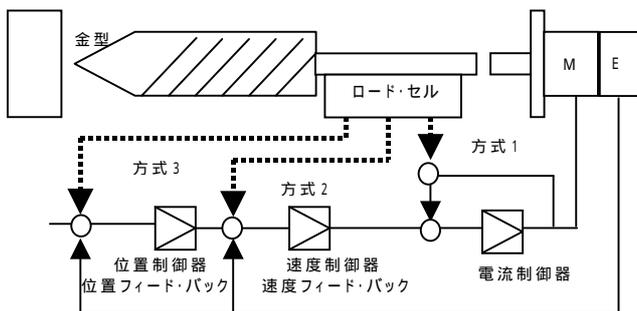


図1 大型射出成形機の制御方式

2.1 [方式1]: 電流ループへのフィードバック

この方式は、従来より油圧サーボバルブの制御で使用されている方式をそのまま置換えたものである。モータドライバに直接ロードセル信号をフィードバックする方式で、安全確実な方法である。

2.2 [方式2]: 速度ループへのフィードバック

電動化射出成形機の制御方式としては代表的なもので、設定圧力までは速度制御を行い、設定圧力を超えた時に圧力制御に切り替える。この方式はロードセル信号をモータドライバに戻す方法と、コントローラに戻す方法の2種類がある。

2.3 [方式3]: 位置ループへのフィードバック

設定圧力までは位置制御を行い目標位置または設定圧力に達した時に圧力制御に切り替える方式である。今後の主流となる制御方式と考えられており、本システムも大別すればこの方式に含まれる。

2.4 本システムで採用した方式

本システムの AML プログラムは試行錯誤を重ねるうちに方式2と方式3のミックスしたものになった。その理由と解決方法は以下のとおりである。通常の産業機械はサーボにのっての負荷トルクや負荷イナーシャに大きな変動はない。これに対し射出成形機では、樹脂の温度や型の形状、射出間隔などにより負荷状態の過大な変化が存在する。樹脂の温度変化や射出間隔の違いでは樹脂の粘性が変化し、これが樹脂の流れ安さに変化を与える。また、型の形状では、型の細い部分と太い部分とでの樹脂の流れ安さの違いや、射出中に冷却される部分で圧力の変化が発生する。この負荷状態の変化により、射出のある段階では制御のゲインが不足し追従が悪くなり、またある段階ではゲインが高すぎて発振してしまう現象が発生する。実際のインジェクションマシンでは、圧力を一定に保つためにサーボゲインを上げる必要があるが、このような現象が発生するためにゲインを上げることはできない。これを解決するために、以下の点に注意してプログラムを作成した。

- 1) ループ速度(サンプリング)を高速化する。
- 2) サンプリングから演算結果の出力までの時間を短縮する。
- 3) 射出工程の途中で適正なゲインに設定を変化させる。
- 4) ロードセルからのアナログ入力、およびアンプへのアナログ出力などの制御ループの演算速度に影響のあるシステムは、最優先タスクとする。

3. インジェクションマシン

開発したシステムの小型射出成形機外観を図2に示す。

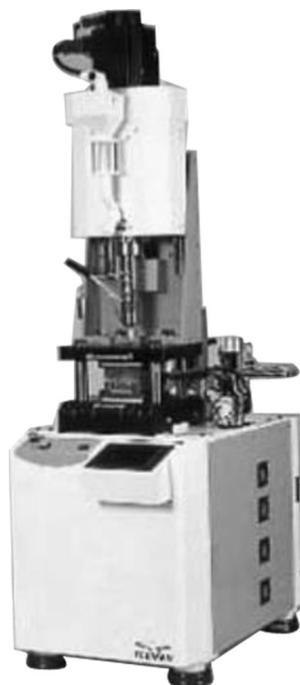


図2 10ton 縦型射出成形機の外観

3.1 サーボ軸構成

今回開発した小型射出成形機は縦型 10ton(100kN)仕様のもので、サーボ軸構成は、射出軸、スクリー軸、型締め軸、ノズルタッチ軸、イジェクト軸の計5軸構成となっている。(今回のシステムでは、2つのサーボモータを同期運転させ、型締め軸の型締め力のUPをはかっているため、全軸で6軸構成となっている。)

各軸の動作と駆動モータ出力は以下のとおり。軸の動作図を図3に示す。

1) 型締め軸

上型を上下させ、型の開閉を行い、また型締め時には一定の型締め力にて型を閉じ、樹脂成形中はその圧力を保持させる。(4.5kW 2軸)

2) ノズルタッチ軸

射出ノズルを上下させ、型への接続および、切断を行う。(1kW 1軸)

3) イジェクト軸

型が開いている時に、型からワークの取り出しを行うために、イジェクトピンを上下させる。(0.75kW 1軸)

4) スクリー軸

樹脂量の計量時に、スクリーを回転させて、樹脂をノズル先端へ供給する。(2kW 1軸)

5) 射出軸

射出スクリーを上下させ、射出時には一定量の樹脂を型内に流入させ、計量時には樹脂量が一定になるまでスクリーを引き上げる。(5.5kW 1軸)

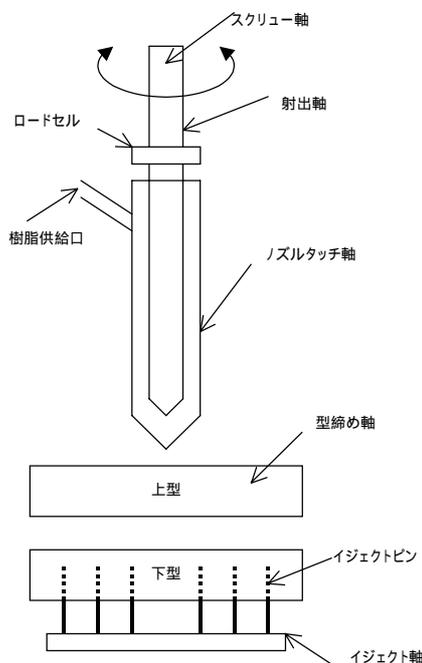


図3 軸の動作図

3.2 射出工程のサーボ化

射出動作の工程は以下の順序で行われる。単純なシーケンシャル動作であり、射出ノズル部をサーボ化した。図4に射出ノズルの構造を示す。

1) 樹脂量の計量

スクリー軸を回転させることにより樹脂をノズル先端に送り込み、その作用により上昇するノズル内の樹脂圧力を一定に保つように射出軸を上昇させ、射出軸が規定量上昇した時点で計量工程を終了する。

2) 射出ワークの取り出し

ノズルタッチ軸を上昇させ、ノズル先端を型から切断する。次に型締め軸を上昇させて型を開け、イジェクト軸を上下させることにより、射出ワークを型から外し取り出しを行う。その後型締めとノズルの接続を行う。

3) 樹脂を型内へ射出

一定量の樹脂を一定の圧力で型内に射出する。

4) 一定時間保圧を行う

射出した樹脂が凝固するまで射出軸の圧力を一定に保ち、冷却にて発生する樹脂収縮によるワークの変形を防ぐ。

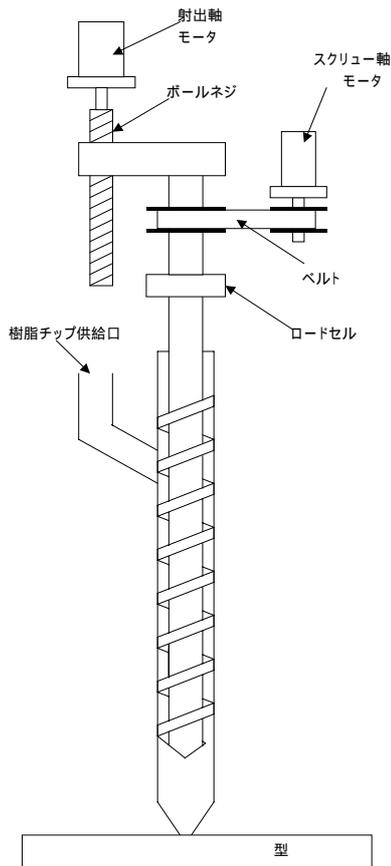


図 4 射出ノズルの構造図

3.3 計量工程のサーボ化

従来の油圧方式での動作波形と同じものがソフト制御でも実現できるかどうかに着目して開発した。図 5 に計量行程時の動作波形を示す。計量工程は、スクリー軸と射出軸の 2つの軸を使用して行う。まずスクリー軸を一定回転にて回転させ、樹脂をノズルの先端部分へ流し込みを開始する。型内には前回の射出による樹脂が充填されており、ノズル先端は封鎖された状態であるためにノズル内の樹脂圧力は上昇する。すると、その圧力によりスクリー軸が上方に押し上げられ、ロードセルによりその圧力を検出する。この圧力が計量目標圧力を越えた場合に、射出軸を上昇させノズル内の圧力を下げる。これを繰り返すことにより一定圧力で計量を行い、樹脂量の一定化を図る。実際の制御では、そのロードセル圧力と目標圧力との差に応じた速度にて、射出軸を上昇させている。その後、射出軸がある一定の位置まで上昇した時に射出軸、スクリー軸ともに停止させ、計量工程の終了となる。

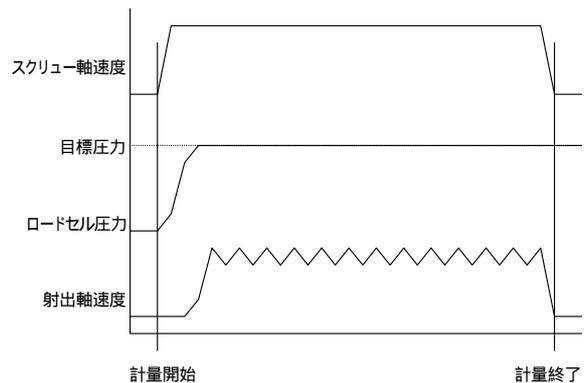


図 5 計量行程時の動作波形

3.4 射出工程 / 保圧工程のサーボ化

従来の油圧機での動作波形と同じものがソフト制御でも実現できるかどうかに着目して開発した。図 6 に射出・保圧行程時の動作波形を示す。射出工程は、スクリー軸を使用しないで、射出軸のみを使用して行う。射出軸を下降させると樹脂が型内に流し込まれるが、この時樹脂の粘性や型内の形状により流入を阻止する反抗圧力が発生する。しかし、樹脂を一定の密度で製品を製造するためには、一定の圧力にて射出する必要があるため、射出目標圧力を定め、この目標圧力とロードセルからの圧力を比較し、その差に応じた射出速度で射出軸を下降させる。その後、射出目標位置に射出軸が到達した場合、そのまま保圧工程に移行する。保圧工程では、射出目標圧力とは違った、保圧目標圧力を設定し、射出軸の位置を変化させることにより、ロードセル圧力がその保圧目標圧力になるように制御を行う。

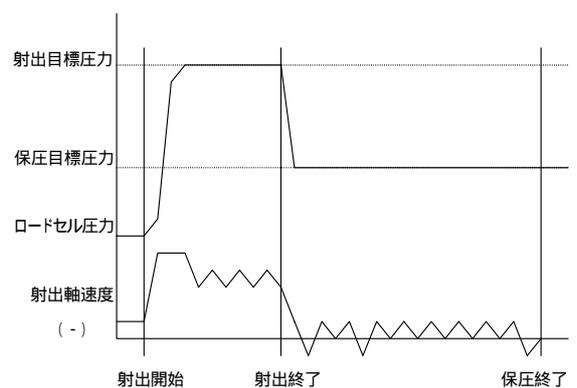


図 6 射出・保圧行程時の動作波形

4. システムの構成要素

6軸の制御をするため、「S-MAC」システムを採用し、制御の特性から図 7 に示すような構成にした。「S-MAC」システムおよび「SMS-10」の詳細については各々当社「Technical

Report 第4号と第6号に掲載済みである。⁽¹⁾⁽²⁾ 一般的に射出成形機の制御では、特に油圧システムからサーボシステムへ置き換える場合には、ロードセルからのフィードバック信号の処理が問題になる。本システムでは、ロードセルからのフィードバック信号に対して、ソフト演算処理する都合から射出軸のみ独立したコントローラにしてある。これは、射出軸の制御ソフトのパフォーマンスを、他の軸とは切り離して確認するためにとった方策で、評価テストの短縮を図るためでもある。商品化の段階では、射出軸専用コントローラは、メイン制御用コントローラの1軸として「SMS-10」に組込む予定である。オープンアーキテクチャのコントローラとしての最大の特長は、この例のように分散システムで、各々のソフトウェアの開発を併行して進めておき、ソフトウェアがある程度固まった段階で統合するという開発方式がとれることである。制御言語である「AML 言語」も、分散システムで開発しておいて、後から統合するという方式に対応できる構造になっている。詳しくは当社「Technical Report」第7号に掲載済みである。⁽³⁾

本システムは、図7のようにメイン制御コントローラ(AMLプログラム1)と射出軸制御コントローラ(AMLプログラム2)の2つのサブシステムの組合せになっている。各々のコントローラに分散して担当させた機能は次のとおりである。

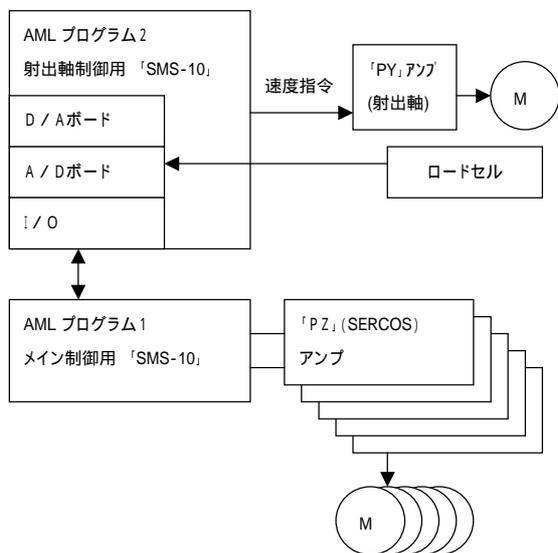


図7 制御システムの構成概略図

4.1 メイン制御コントローラ(AML1)ハードウェア構成

メイン制御用コントローラでは、射出各工程のシーケンス制御およびスクリー軸、ノズルタッチ軸、型締め軸、イジェクト軸の制御、およびHMIパネルの管理を行っている。その他射出軸用コントローラへの起動・停止の操作をI/O信号を使用して行っている。制御軸用コントローラでは、メイン用コントローラから送られた起動信号により射出工程・保圧工

程・計量工程・その他射出軸の動作についての制御演算を行っている。

4.2 射出軸制御用コントローラ(AML2)

射出軸の制御演算を独立して行うコントローラで、「SMS-10」にA/D、D/Aボードを付加して構成してある。

5. AMLソフトウェア構造

「AML 言語」で組んだソフトウェアの概要を各工程毎にブロック図で示す。図8に通常停止時の制御プログラムの構造を、図9に射出工程時の制御プログラムの構造を、図10に保圧工程時の制御プログラムの構造を示す。また図11には計量工程の制御プログラムの構造を示す。各工程毎に別々の演算プログラムをもち、その工程に最適なループゲインが計算される。

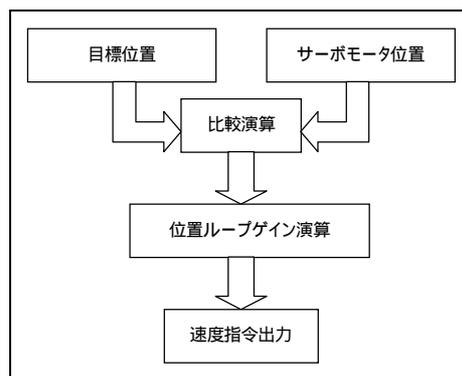


図8 通常停止状態時のソフトウェア構造

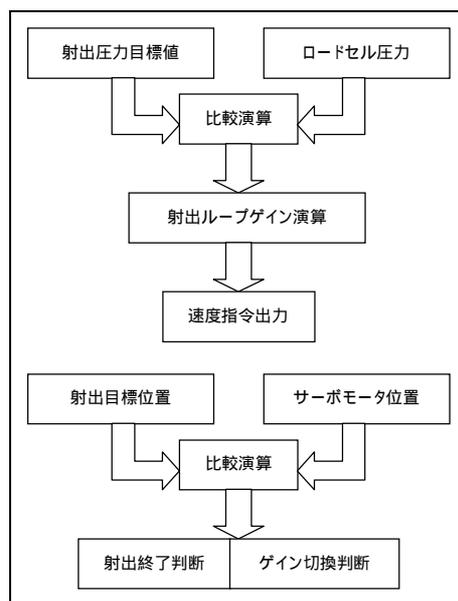


図9 射出行程時のソフトウェア構造

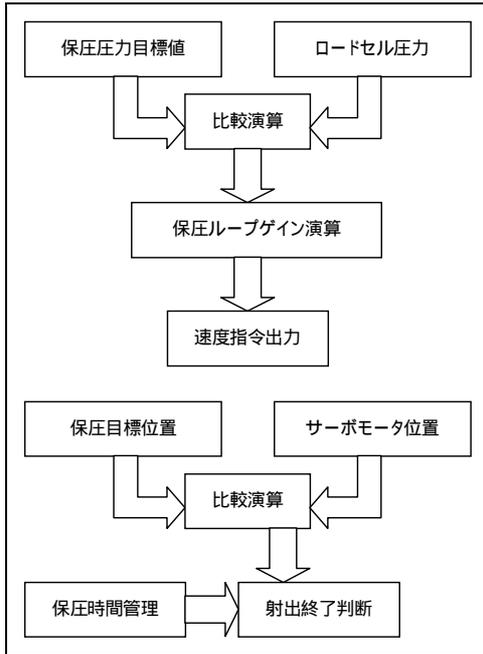


図 10 保圧行程時のソフトウェア構造

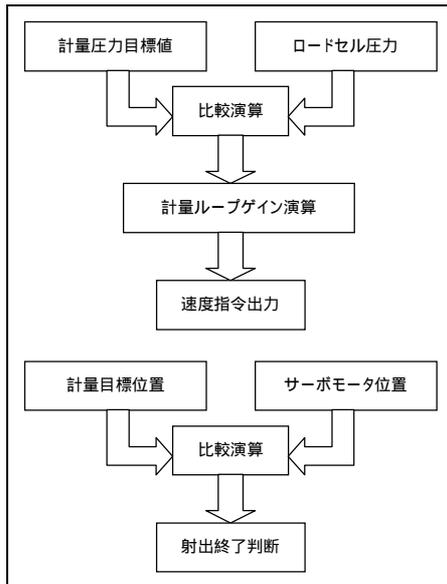


図 11 計量行程時のソフトウェア構造

6. むすび

小型射出成形機的全軸電動化という開発の機会があり、従来はハードウェアで処理されていたリアルタイム制御部分を「AML 言語」を用いてソフトウェアで置き換えた。射出軸の制御品位も、ハードウェア方式と比較して遜色はない。小型射出成形機では、十分実用的なレベルであることが、実測データから分かる。今後は金型や成形材料を変えて実用化テストを重ね、商品化していく。本システムで開発したソフト制御方式は特許申請中である。

なお最後に、本システムの開発、評価に多大な協力をいただいたテクマン工業株式会社 半沢栄一氏、宇治久貴氏に感謝する次第である。

文献

- (1) 吉川：「ネットワークングコントローラ「S-MAC」の開発コンセプト」
SANYO DENKI Technical Report No.4 Nov.-1997
- (2) 佐藤ほか：「Industrial PC「S-MAC PC」の開発と「S-MAC」 components」
SANYO DENKI Technical Report No.6 Nov.-1998
- (3) 吉川：「AML 言語の開発とその特長」
SANYO DENKI Technical Report No.7 May.-1999



木村良則

1985年入社

コントロールシステム事業部ソリューション第1部
デジタルコントローラの開発を経て、S-MACシステムの開発に従事。



深澤英貴

1991年入社

コントロールシステム事業部ソリューション第2部
電源監視装置の開発を経て、S-MACシステムの開発に従事。