

高速・高応答ベルトレス電動射出成形機

High Speed and High Response Belt-less Electric Injection Molding Machine

水野 貴 司 黒丸 廣 志 前川 明 寛
松村 憲 明 大 沼 均



家電や自動車を始め幅広い分野で用いられているプラスチック射出成形品の薄肉・軽量化ニーズにこたえるべく、高速・高応答射出を実現する中型電動射出成形機MEシリーズ(型締力350~450t)を製品化した。本機は射出軸ボールねじを減速機構無しにモータ軸と直結するダイレクト駆動方式を採用し、当社従来機の1.5倍の最大射出速度と3倍の速度立ち上がり応答性能を有する。本機には当社独自のエレクトロニクス技術を駆使して開発した小型高トルク低慣性のサーボモータ、同期ベルトレスでの2軸ボールねじ同期制御を搭載している。また良品成形条件を迅速に得るためのユーザ支援システムも併せて開発した。

1. はじめに

近年、生産・販売の国際化に伴う価格競争と長引く景気低迷の中にあって、自動車部品、家電製品、OA機器等のプラスチック成形加工業を取り巻く事業環境は厳しい。国内では高生産性と精密安定成形ニーズが高い中、特に省エネ、クリーンを目玉にした射出成形機の電動化が急で、小型市場では約90%が電動化されており、その波は中・大型にも及び始めた。一方、プラスチック成形品は、コストダウンにつながる生産性向上と成形品の軽量化がますます求められてゆくと推測される。特にノートパソコン等のOA機器分野では、成形品の軽量化ニーズが高く、プラスチック材料の曲げ強度改善によりノートパソコンボディ等の薄肉化が実現可能となっている。そのほか、自動車部品や大型家電等の分野においても薄物製品の精密安定成形に対するニーズは非常に高い。

当社の高速・高応答電動射出成形機“MEシリーズ”は、省エネ・ハイサイクルを実現しつつ、薄物成形品によるコスト低減を図るべく開発したものである。また、多品種・小ロット生産によって多発する型替えの効率化や、スキルを持ったベテランの技術伝承をねらい、迅速に良品成形条件を得ることを目的としたユーザ支援システムを開発した。

2. 高速・高応答射出型電動射出成形機

電動射出成形機における従来の射出装置は、汎用のACサーボモータにて、プーリとベルトを用いた減速機構を介してボールねじを回転させることにより、プラスチック樹脂を可塑化するスクリーを前後進させ射出動作を行う。射出装置の射出速度・立ち上がり応答性は、駆動系の総イナーシャとサーボモータのトルク・回転数出力特性で決まる。

図1にMEシリーズの射出装置の構造を示す。高速・高応答射出を実現するためには、総イナーシャ低減とサーボ

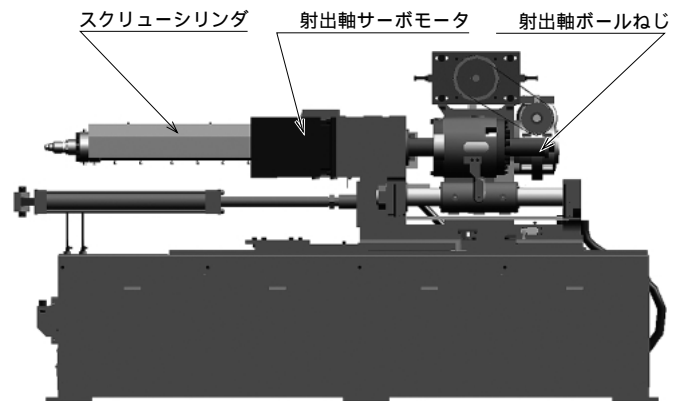


図1 MEシリーズの射出装置構造 射出軸サーボモータとボールねじの配置を示す。

モータの高トルク化が必要であるため、減速機構を介さず射出軸サーボモータの出力シャフトと射出軸ボールねじを直結する構造を採用して大幅にイナーシャを低減させ、かつ、射出専用の高トルクサーボモータを開発、搭載している。また、スクリーの前後進には2本のボールねじを用いており、機械的な同期ベルト無しに2軸を同期駆動させるための新たな同期制御方式を採用している。

射出専用サーボモータと高速演算処理機能を有する制御装置を組み合わせることで、多段速度制御、圧力制御等の射出プロセス制御の応答性改善にも大きく寄与することができた。

MEシリーズの主要性能諸元を表1に示す。薄肉・軽量化ニーズに対応するため、高速・高応答射出による当社従来比1.5倍の高射出率仕様Uタイプをラインナップしている。

3. 射出軸ダイレクト駆動用サーボモータ

電動射出成形機の高速度・高応答射出性能を実現するための

表1 ME シリーズ主要性能諸元

型 式		(単位)	350 MEII				450 MEII						
			35		50		35		50		70		
			標準	増圧	標準	増圧	標準	増圧	標準	増圧	標準	増圧	
射 出	スクリュ径	(mm)	62	57.15	70	62	62	57.15	70	62	80	70	
	理論射出容量	(cm ³)	935	795	1345	1055	935	795	1345	1055	2010	1540	
	最大射出圧力	(MPa)	177	206	177	206	177	206	177	206	177	206	
	射出率	S H U	(cm ³ /s)	455	385	480	375	455	385	480	375	630	480
				605	515	615	485	605	515	615	485	805	615
				905	770	960	755	905	770	960	755	-	-
可塑化能力 (PS)	(kg/h)	230	180	250	180	230	180	250	180	320	230		
スクリュ回転速度	(rpm)	270		210		270		210		200			
型 締	型締力	(kN)	3430				4410						
	タイバー間隔 (H×V)	(mm)	752×752				810×810						
	型締ストローク・最大	(mm)	650				800						
	デーライト・最大	(mm)	1320				1550						
	金型厚さ	(mm)	300～670				350～750						
そ の 他	ヒータ容量	(kW)	15.5		20.5		15.5		20.5		26.6		
	機械寸法 (L×W×H)	(m)	7.0×1.9×2.1		7.4×1.9×2.1		7.6×2.0×2.2		8.0×2.0×2.2		8.3×2.0×2.2		
	機械質量	(t)	17.2		18.2		21.9		22.9		24.5		



図2 サーボモータ外観

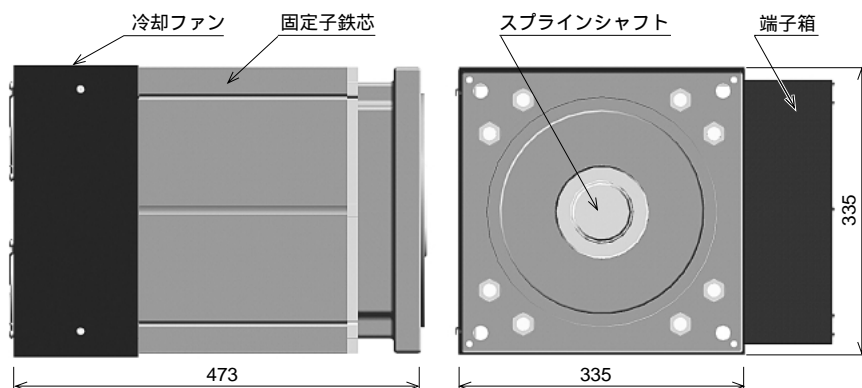


図3 サーボモータ外形 サーボモータの外形と基本構成を示す。

本サーボモータの開発課題は、減速機構を介する従来方式に用いられている汎用サーボモータに比べ、高トルク化、低慣性化すること、また、射出成形機の機械構造に合わせて外形寸法を小型化することである。これら課題を解決するため、射出成形機の使用条件（運転条件、環境条件等）を基に、モータの電磁気・発熱冷却・構造強度など多面的な解析評価による設計と検証を行った。

高トルク出力を得るためには、駆動電流、巻線ターン数の増加や回転子磁石の高磁束密度化などが必要であるが、巻線電流密度や鉄芯磁束密度の増加はジュール損や渦電流損などの増加につながるため、射出成形機の使用条件を基に冷却性能評価と併せた低慣性小型化設計が必要となる。

本サーボモータは回転子磁極を多極化（16極）することにより1極当たりの磁気回路の磁束を低減して固定子鉄芯を小型化し、また、集中巻線方式により巻線端部の小型化と損失低減を図っている。さらに、トルク発生効率を向上させるため、回転子磁石磁束に加えて回転子鉄芯部磁束を利用できる埋込み磁石（IPM）方式を採用し、固定子・回転子鉄芯形

状及び磁極構造の最適化により、トルク出力特性の改善と効率改善（駆動電流の低減）及び低慣性化を図った。冷却構造面では、冷却用通風孔を固定子鉄芯内に設け、巻線を熱伝導性の良い材料でモールドすることにより、冷却性能の向上と小型化を図った。また、モータ駆動用のサーボアンプに安価な汎用品を2並列で適用できる巻線仕様にしている。

開発したサーボモータの外観を図2に、外形と構成を図3に、出力特性を図4に示す。同等体格の汎用サーボモータに比べ最高回転数は低いが最大トルクが高い出力特性である。また、図に示すモータ以外に、射出容量や射出速度の異なる成形機用に、鉄芯断面形状は同一で固定子鉄芯部の軸長と巻線仕様の異なるシリーズ機種も開発した。

4. 射出2軸同期制御

従来、当社の射出軸制御では、図5に示すように、個別のモータで駆動される2本のボールねじ軸間に、機械的な同期ベルトを設け、成形運転時に発生する2軸間の位置ずれを抑制しており、制御系は2軸間の速度（射出時）及び圧力（保

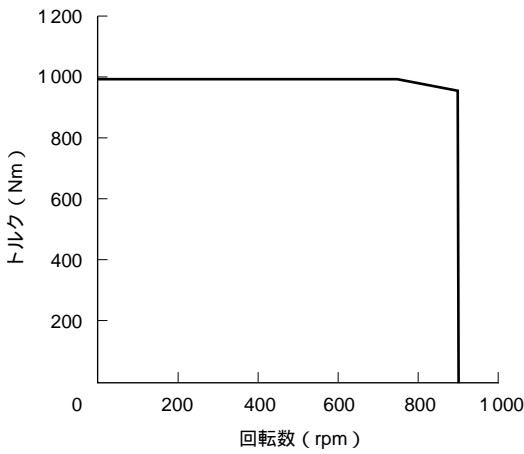


図4 サーボモータ出力特性 トルク - 回転数特性を示す。

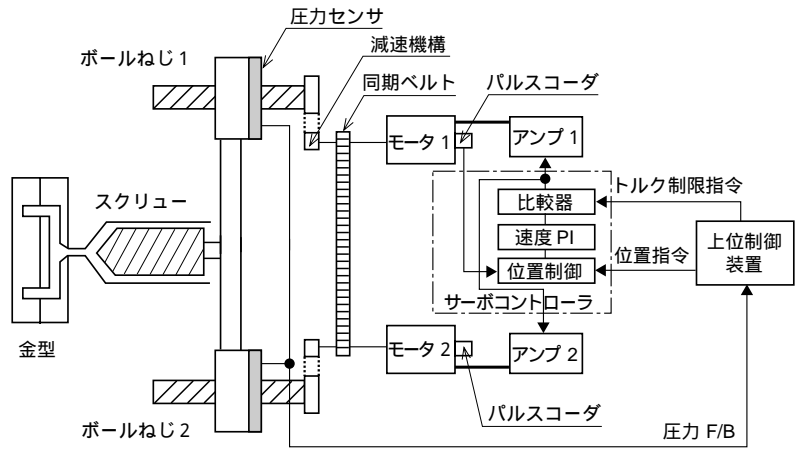


図5 従来の射出制御概要ブロック図 2軸間の位置ずれは同期ベルトで抑制する。

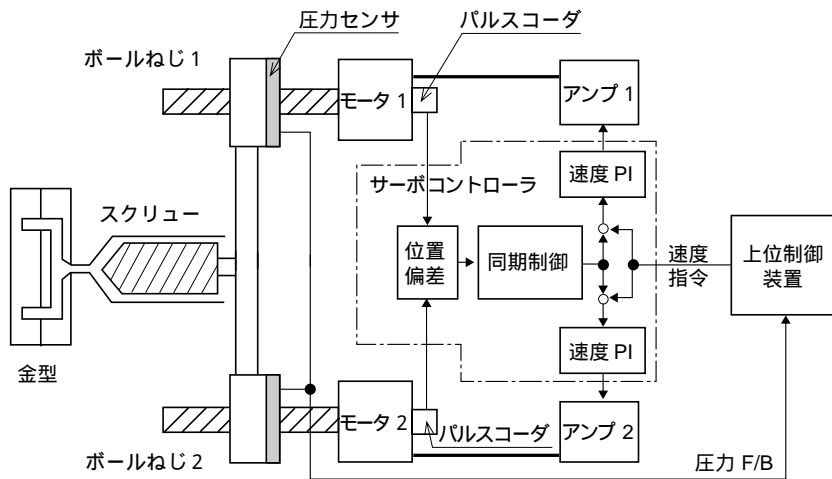


図6 開発した射出制御概要ブロック図 同期ベルト無しに2軸間の位置ずれを制御系で補正する。

圧時)の追従性のみを制御していた。開発した2軸同期制御は、図6に示すように機械的な同期ベルトを設けずに2軸間の位置ずれ量を、ボールねじ寿命及び機械の安全性を保証し得る値以下に制御、抑制する。

一般的な2軸間の位置ずれ量抑制の制御方式としては、一方のモータをマスタ、他方をスレーブとして、2軸間の位置ずれ量に応じてスレーブ側の速度指令値を補正する方式があるが、スレーブ側のモータ負荷が過大になった時など、位置ずれ補正が遅れ、不具合を生じる場合がある。そこで、マスタとスレーブの位置ずれを相互に補正し、速度制御時、圧力制御時ともに安定な同期制御を可能とする速度 Low-Select 方式を考案した。これは、最終目標位置を指令とした位置制御による速度指令、ユーザ速度設定値による速度指令、圧力制御による速度指令の3つの速度指令のうち、制御量が最も小さくなるものを速度指令値として選択する新たな制御方式である。

図6に示した射出制御モデルによりシミュレーションを実施し、ボールねじ軸間に発生する位置ずれ量がボールねじ寿命を保証するための許容値以内であることを確認した。そのうえで本制御方式を搭載したベルトレス電動射出成形機での

実機検証を実施し、シミュレーション結果と同様、良好な位置ずれ抑制制御性能を確認した。

5. 射出成形機ユーザ支援システム

開発した成形条件支援システムのねらいは、IT技術を活用してユーザに最適な成形条件を迅速に提供することである。対話式に主要10項目の成形不良に対する具体的な良品成形条件をガイドする“MOLDNAVI”と、射出成形機の諸特性を考慮して金型内樹脂の流動解析を行うことで成形不良対策に有益な知見を得る“MOLDANA”の2システムがある。

“MOLDNAVI”は当社成形技術のノウハウを集大成したシステムで、“新金型での初期成形条件”、“安定成形条件の探り方”、“良品成形条件”等のガイドを行う。特に良品成形条件ガイドにおいては、図7に示すように分かりやすい絵表示で成形不良を解説し、実際に不良の発生した成形条件をベースに熟練者による経験則あるいは実験計画法を適用し具体的な良品成形条件提示を行う。また、成形条件のパラメータは経験則により優先度の高い順に自動設定され、試打ち時のデータに多変量解析を適用し、図8のように良品・不良品判別線をグラフ上に表示してビジュアルに良品・不良品の成形条

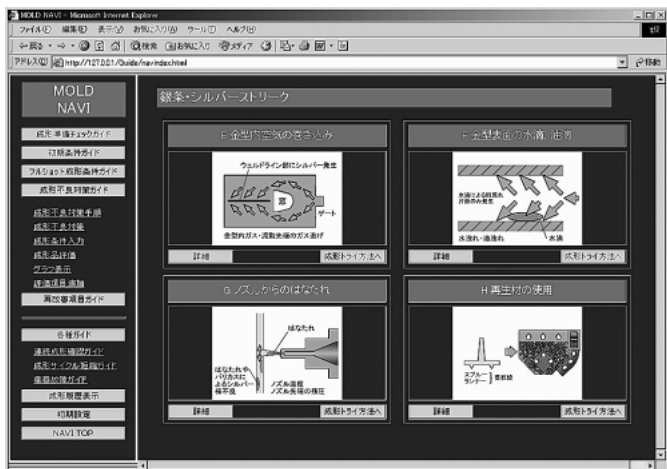


図7 成形不良現象 良品成形条件ガイドの絵表示例。

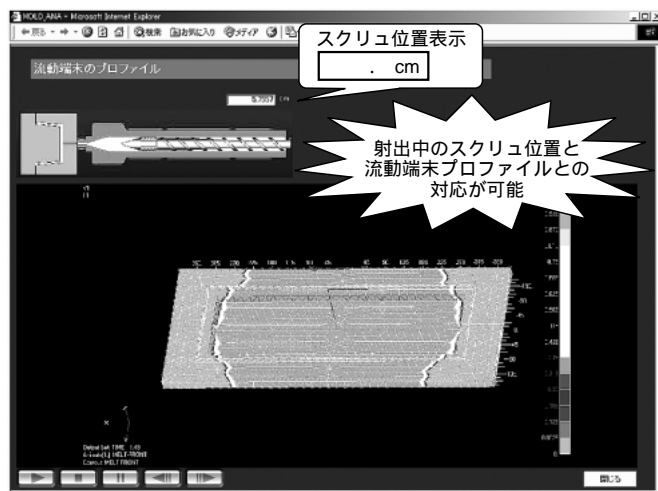


図9 樹脂成形解析結果 型内樹脂の流動末端プロファイルを表示。

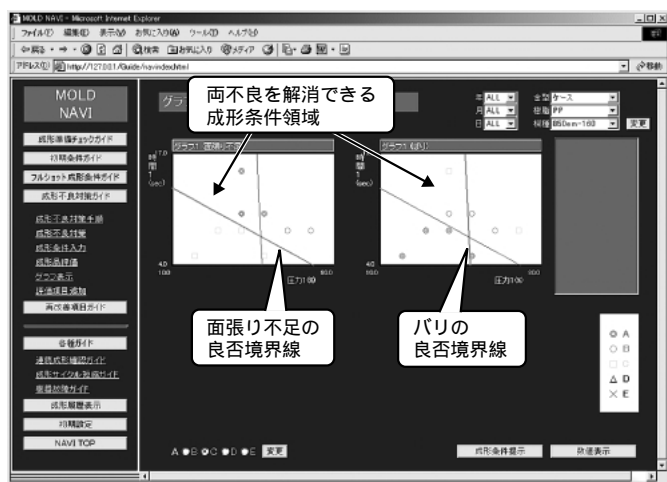


図8 統計解析結果 面張り不足、バリに対して良品成形条件の領域を表示。

件が分かる表示とした。

“MOLDANA”は、解析精度向上のため、金型部の流動シミュレーションと射出成形機機械系シミュレーションを結合している。機械系シミュレーションは、射出成形機の機械構造及び制御特性を考慮しており、実際の成形機スクリュウの動きを精度よくシミュレートできる。流動シミュレーションと結合することで金型への樹脂流動状況を高精度で予測でき金型部における樹脂流動解析を精度良く実施できる。図9に示す解析結果は、スクリュウ位置に対応した流動末端のプロファイルを表示している。

6.ま と め

射出成形品の薄肉・軽量化ニーズにこたえるべく、高速・

高応答の射出軸ベルトレス電動射出成形機ME シリーズを開発、製品化した。本機開発に当たって独自のエレクトロニクス技術を駆使した下記の射出専用サーボモータ、同期制御方式、成形条件支援システムを開発した。

- (1) 高速・高応答射出を実現する小型高トルク低慣性の射出軸ダイレクト駆動用サーボモータ。
- (2) 機械的な同期ベルトを設けずに、ボールねじ軸間の位置ずれを相互に補正して安定な制御を可能とする新しい同期制御（速度Low-Select）方式。
- (3) IT技術を適用し、ユーザに最適な成形条件を提供するシステム“MOLDNAVI”、“MOLDANA”。

今後も小型機から超大型機に至る当社射出成形機の性能向上を始め、操作性、保守性の向上といった、お客様のニーズにマッチした製品開発を行っていく所存である。



水野貴司
産業機器事業部
産器技術部
射出成形機設計課主
席



黒丸廣志
技術本部
名古屋研究所
主幹



前川明寛
技術本部
高砂研究所
制御システム研究室
長 工博



松村憲明
技術本部
名古屋研究所
制御システム研究室
長



大沼均
技術本部
名古屋研究所
プラスチック機械研
究推進室