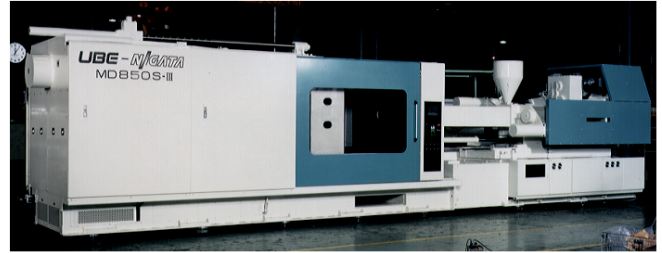


1. はじめに

環境の世紀といわれる21世紀は、あらゆる面で地球環境保護の取組みが求められ、プラスチック成形加工業界においても例外ではなく、成形機及び成形技術の改善による環境負荷低減対策が迫られている。このような背景を受けて、射出成形機は油圧駆動式から全電動駆動式へと転換が進んできた。さらにここ数年は電動成形機の大型化が急激に普及し、大物成形加工分野においても、省エネ、ハイサイクル、低騒音、クリーンなどの環境負荷低減の改善効果が可能となってきた。同時に表面加飾成形、型内一体成形などの高機能・複合成形による工数削減、部品点数の削減効果によりトータルコストダウン、製品の軽量化、モジュール化、リサイクル対応などの要求も高まってきている。こうした成形加工ユーザにとって有益な成形機及び成形技術を提供していくことが、機械メーカの使命と考えている。



350～1400ton(世界最大)までラインナップ

写真 1 電動ダイプレスト成形機(MD-DPシリーズ)

当社はこれまで培ってきた大型トグル成形機の実績を活かして、いち早く大型成形機的全電動成化に取組み、型締力350～1400トン(世界最大)までの全電動化を最初に達成した(新潟成形機(株)と共同開発¹⁾²⁾)。さらに当社の複合経営形態(樹脂&機械メーカ)の特色を活かした研究開発活動から生まれた、精密型締多段制御により高機能・複合成形を可能とするダイプレスト成形技術を組込んだ、電動ダイプレスト成形機(MD-DPシリーズ)を開発上市した(写真1)。

本講演では、電動ダイプレスト成形機による高機能・複合成形、及び大物成形加工分野での環境負荷低減対策への取組みについて、事例を交えて紹介する。

2. 電動ダイプレスト成形機の特徴

電動ダイプレスト成形機の特徴は、大型機でありながら全電動駆動式である点と、精密型締多段制御特性にある。図1に電動成形機の構造図を示す。型締機構はトグルタイプの型締機構の倍力発生原理を利用して、小出力で大きな型締力を発生することができ、電動成形機の大型化を可能にしている。さらに複数のサーボモータとボールネジを配置し、メカ面での同期駆動機構とするとともに、複数のサーボモータを同期駆動制御する「NISMMOR = Niigata Synchronized Multi Motor drive(ナイスマー)システムの組合せにより、型締力1000トンを超える超大型機の全電動化へも十分に対応できた。

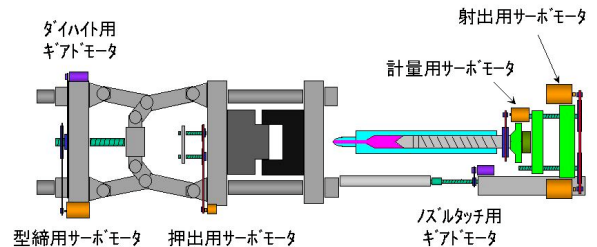
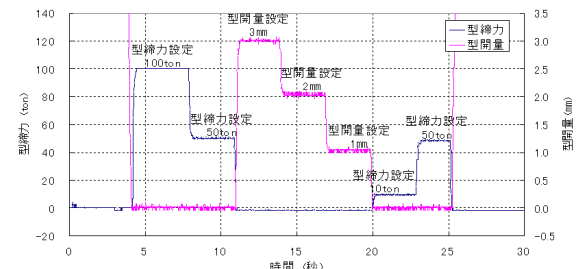


図1 電動トグル射出成形機の構造

またトグル型締機構のトグル倍力特性を利用し、金型の移動量<クロスヘッド移動量(例えば、金型移動量=8mm)に対してクロスヘッド移動量=100mm)であるため、微小制御範囲を拡大して制御できるので、クロスヘッド移動量の位置制御に対して非常に精密な金型移動量の制御が可能となる。この結果、型締力1000トンクラスの大型成形機においても、±0.01mm台の型開閉位置制御精度を実現している。さらに電動サーボモータの高精度な位置・速度制御により、スムーズで高い応答性立上り早さと、高い繰返し再現性の型締多段制御性能を実現している。また油圧成形機に見られる作動油温度の時間差、季節差による粘性変化などによる外乱影響を全く受けない。図2に電動ダイプレスト成形機(MDS III-DP850)の型締多段制御結果を示す。



型開閉パターン	型締 980KN (100T)	型締 490KN (50T)	型開 3.0mm	型開 2.0mm	型開 1.0mm	型締 98KN (10T)	型締 49KN (5T)
偏差	1.6KN (0.16T)	1.9KN (0.19T)	0.05mm	0.05mm	0.05mm	1.5KN (0.15T)	2.4KN (0.24T)
最大-最小	0.5KN (0.05T)	0.8KN (0.08T)	0.01mm	0.01mm	0.02mm	0.4KN (0.04T)	0.5KN (0.05T)

図2 電動ダイプレスト成形機の型締多段精密制御

3. 高機能・複合成形事例

電動ダイプレスト成形機は、成形対象製品に応じて適切な成形モードの選択ができるように1台で複数の成形モードを装備しており、図3に示す高機能・複合成形を容易に可能とした³⁾4)。

(1) 表皮加飾成形(ダイプレスト成形法)

表皮加飾成形は、使用する表皮材の種類により表面加飾表現の選択自由度が広いことから、自動車の内外装部品をはじめ家電・OA機器部品やレジャー部品などの製造に幅広く利用されている。しかしながら従来の成形法では、成形中の充填樹脂圧力や樹脂熱の影響により表皮材はダメージを受け、必要とする表面加飾性能が得られにくいという問題点も抱えていた。

ダイプレスト成形法は、成形中に金型を微小型開(ダイプレスト型開制御)させることで、表皮材の損傷回復を可能とすると同時に基材樹脂の成形性を確保するという、従来にない新しい発想の成形方法である⁵⁾。成形中の表皮材の温度変化履歴と熱特性に着目し、表皮材のダメージ回復に必要な表皮材の温度管理を、型開量と型開タイミングによって正確に制御することにより、以下の効果を得る。

- ① 空気断熱層の形成により、表皮材と金型間の伝熱を遮断させる。
- ② 表皮材への加圧力が開放されると同時に、表皮材のダメージ回復の隙間が確保される。
- ③ 表皮材の温度が基材樹脂の潜熱により加熱されて、表皮材が軟化状態となり、分子が動き易い状態となり、表皮材のダメージが自己回復される。

ダイプレスト成形法の実施例を写真2に示す。ピラー、ドアトリムなどに使用される起毛織布や不織布は、ダイプレスト成形により起毛感触を維持している。またグローブボックスやドアトリムなどに多用されているレザー調発泡層付表皮材の場合には、ダイプレスト成形によりオリジナルの表皮材に対して約70%まで発泡層が維持できることで、従来成形法で使用していた表皮材より薄手の表皮材が使用でき、表皮材のコストダウンにもつながる(図4)。

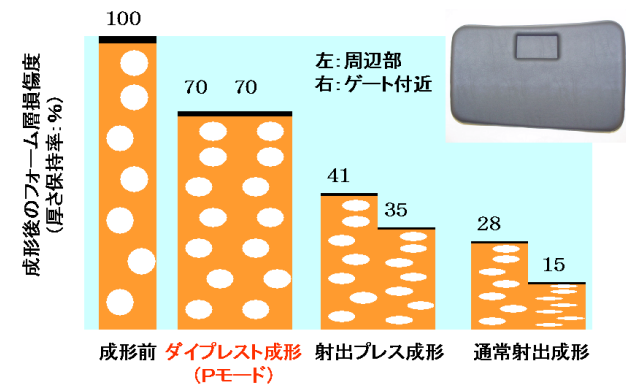


図4 ダイプレスト成形の効果(DP-P-Mode)

電動ダイプレスト成形機では、使用する表皮材やペイントフィルムなどの種類に応じて最適な成形制御が選択できるように、3種類のダイプレスト成形モード(C-Mode、P-Mode、R-Mode)と2種類の低圧成形モード(射出圧縮、射出プレス)を標準装備している(図5)。

成形技術	構成	効果	用途
インモールド フミネーション	表皮材 樹脂	* 表皮ダメージレス * 表皮材コスト低減 * フィルム転写向上	* 自動車内外装 * 家電製品
コインジェクション との複合成形	多層樹脂	* リサイクル対応 * 硬軟異種材多層 * 薄肉成形、発泡	* 家電製品 * 自動車
発泡成形	発泡樹脂	* 軽量化	* 自動車 * 雑貨
インモールドコート	塗料 樹脂	* 型内一体塗装 * 環境対策	* 自動車、二輪車 * 家電製品
成形性向上		* 薄肉成形 * ひげ防止	* 家電、雑貨 * 自動車

図3 電動ダイプレスト成形機による高機能・複合成形事例



写真2 ダイプレスト成形事例(C-Mode、P-Mode、R-Mode)

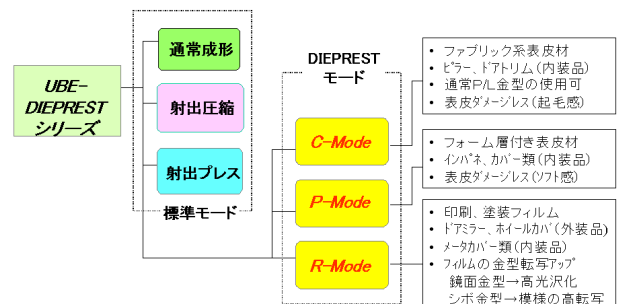


図5 電動ダイプレスト成形機の成形モード

(2) 射出発泡成形への適用

プラスチック成形品の軽量化あるいは機能化(遮音・断熱)対応については、例えば発泡剤添加樹脂を金型内に射出充填させた後に、金型を若干開くことで樹脂圧力を緩和させて発泡させる射出発泡成形が主流となりつつある。図6に射出発泡成形の基本動作を示す。射出発泡成形の成形制御因子の中で、①射出充填時間、②射出充填完了から型開動作までのタイミング、③型開速度、④型開量、⑤射出充填樹脂量、⑥キャビ内樹脂圧、が成形性を左右する重要因子である。

何れの成形制御因子も電動ダイプレスト成形機の最も得意とする技術分野であり、精密型締多段のダイプレスト制御を利用することにより、微細で均一かつ正確な発泡倍率(製品厚み)を有する射出発泡成形が容易に達成できる。また表皮加飾成形と射出発泡成形の組合せにおいても、ダイプレスト成形理論を付与することにより表皮ダメージのない表皮加飾発泡成形品が得られる。

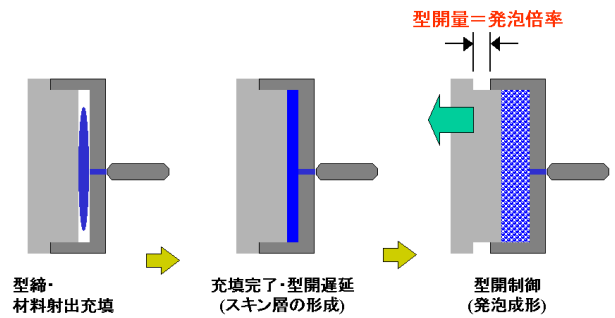


図6 射出発泡成形の基本動作

(3) 金型高転写成形プロセス

金型高転写成形プロセスとは、ダイプレスト制御の高精度型開閉動作を利用して、金型内に樹脂を射出充填した後に素早く微小型開を行ない、表皮材あるいは樹脂(主に射出充填過程で形成されたスキン層)表面を樹脂潜熱により急速に再加熱させて軟化させ、その後再び型締力を負荷して金型を閉じることにより、加熱軟化された表皮材あるいは樹脂表面が金型面に押付けられて、金型面に彫り込まれた微小な模様などを精密に転写させる成形方法である(DP-R-Mode 応用)。

例えば表皮貼合せ加飾成形でのシボ流れ成形不良対策や、金型に彫り込まれたシボ模様・ロゴマークなどの転写不良対策、導光版の乱反射用微細模様の樹脂表面への精密転写成形などに適用される。図7に金型転写性の比較データを示す。

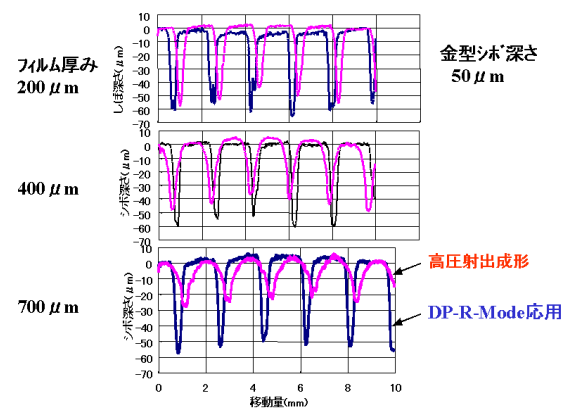


図7 金型高転写成形プロセスの効果

(4) ヒケ低減成形プロセス

リブやボスなどの製品の平均肉厚に対して局部的に厚肉部分が混在する成形品の場合では(ほとんどの製品が対象となる)、樹脂の冷却固化収縮程度の差により、リブやボス部の表面が凹む(ヒケ)成形不良の発生頻度が高い。通常射出成形では、射出側からの保圧充填制御で樹脂の冷却固化収縮量に応じた樹脂量を補充してヒケ不良対策を試みているが、ゲートから遠い部位については保圧充填流動が作用せず、微小なヒケが残存したままとなる。特に成形後にメッキなどの光輝塗装をした場合や、木目調光輝フィルムを使ったフィルムインサート成形では、樹脂成形のみの時点では目立たなかった極微少なヒケでも強調されて製品不良となるケースがある。

ヒケ低減成形プロセス(DP-S-Mode)とは、ダイプレスト制御の高精度型開閉動作と射出充填(特に保圧充填)を複合的に組合せて、樹脂の冷却固化収縮量に見合う保圧動作を型締側で行なうことにより、ゲートからの距離に関係なく製品全面のヒケ低減が可能となる。図8にリブ部のヒケ低減効果の比較データを示す。

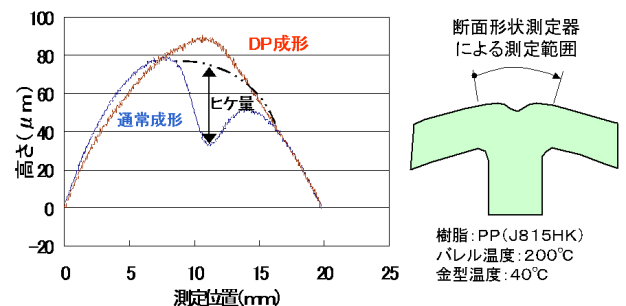


図8 ヒケ低減成形プロセスの効果(DP-S-Mode)

(5) ダイプレスト成形とコ-インジェクション成形の複合

異種材の複合同時成形(コインジェクション成形)は、従来から加飾成形やリサイクル成形への対応技術として注目されており、複数の射出ユニットを配置する特殊成形機を用いる。これに精密型締多段制御のダイプレスト制御を型締側に組込むことによって、樹脂の組合せや型開閉動作の組合せで多種多様な複合成形品が

得られる。

例えば、スキン材とコア材の2種類の樹脂をシーケンシャルに金型キャビ内に射出充填して、コア材を成形品内部に埋め込むサンドイッチ成形に、ダイプレスト制御の型締圧縮動作を加えることにより、①コア材の充填挙動の改善、②超薄肉のサンドイッチ成形化、が達成できる。PP樹脂で肉厚1mmのサンドイッチ成形を達成した(図9)。

また1層樹脂と2層樹脂の2種類の樹脂を2種類の流動回路を介してシーケンシャルに金型キャビ内に射出充填して、1層樹脂と2層樹脂を積層あるいは部分的に接合させる積層成形法の場合においても、ダイプレスト制御の精密型開閉動作を利用することで、各々の樹脂層厚みが正確に制御された積層成形品が得られる。また2層樹脂に発泡剤添加樹脂を使った場合は、2層樹脂を射出充填した後に発泡型開制御を行なうことで、多層発泡成形品が得られる(図10)。さらに2層樹脂表面に表皮材を金型内で貼合せ一体化させることで、表皮加飾多層発泡成形品が容易に得られる。

(6) 型内塗装成形(TP-IMC成形法)

熱可塑性樹脂での射出成形と同時に金型内で樹脂成形体の表面に塗装処理を行なう型内塗装技術(インモールドコーティング成形、TP-IMC成形法)を、当社と大日本塗料(株)とで共同開発した⁶⁾。図11にTP-IMC成形システムの概略図を示す。

従来成形後の後工程で塗装されている自動車、二輪車、家電・OA機器などの意匠部品は、塗装工程で品質維持管理に多くの工程を経ており、コスト高になっていた。TP-IMC成形法では、型内での一体成形によるコストダウンや無溶剤性の特殊塗料を使用して、金型内完全密閉系で塗装できることによりVOC(有機溶剤排出)が全くないなど、環境に配慮した成形法である。図12にTP-IMC成形法と従来塗装処理の工程比較を示す。

4. 環境負荷低減の成形事例

電動成形機による省エネ、ハイサイクル成形な

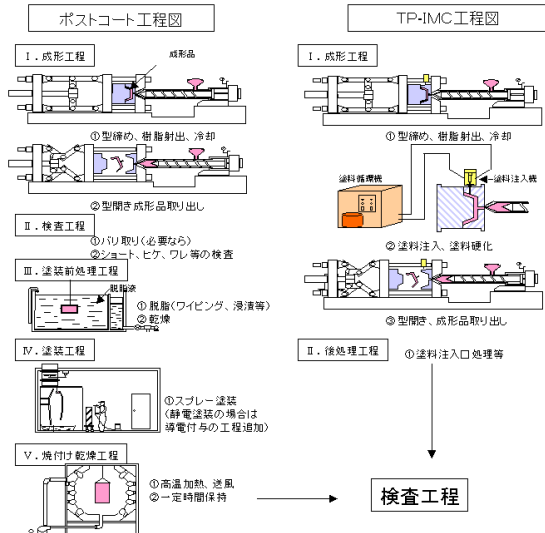


図12 工程比較(TP-IMC vs ポストコート)

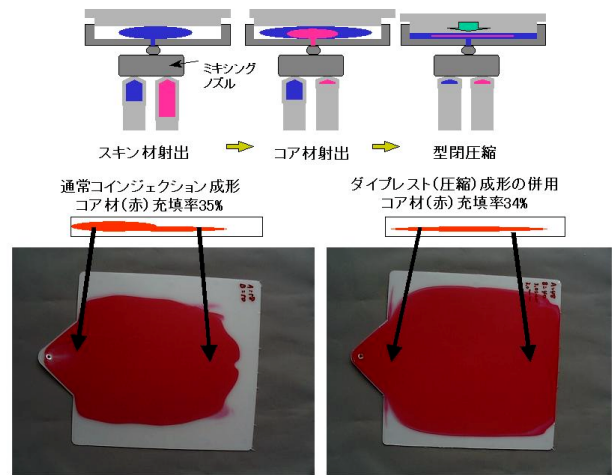


図9 ダイプレスト・サンドイッチ成形事例

A(Skin)とB(Core)の組合せ例

目的	A(Skin材)	B(Core材)
リサイクル	バージン材	リサイクル材
コストダウン	高価材	安価材
多機能化	エラストマー	繊維強化材
高強度化	繊維強化材	ナチュラル材
異種材接合	ナチュラル材	繊維強化材
軽量化	バージン材	発泡材

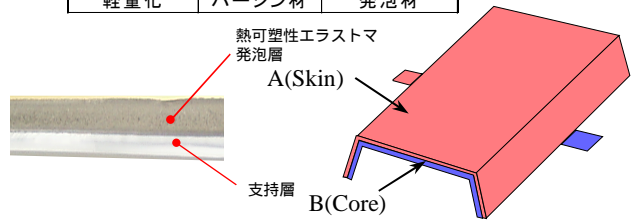


図10 ダイプレスト・積層成形の実施例

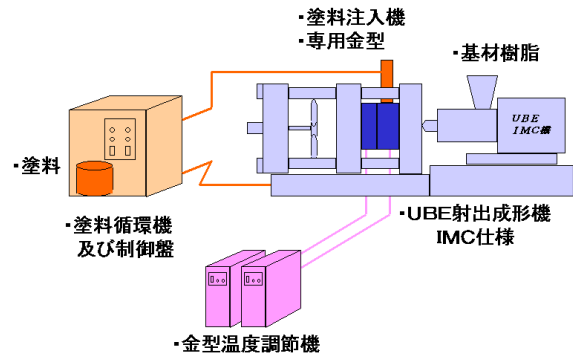


図11 TP-IMC成形システム概要図

どの環境負荷低減の効果は、成形機サイズが大型になるにつれて比例して大きくなる(図13)。ここでは特に、大物成形品の顕著な改善効果事例に焦点を絞って紹介する⁷⁾⁸⁾。

(1) ハイサイクル成形

クイック&コンパクトなトル型締機構の採用により、ボールネジストロークを短縮することで高速型開閉動作を可能にすると共に、電動サーボモータによる高精度位置・速度制御により加速減速特性や停止位置精度による型開閉時間の短縮、各サーボモータは独立駆動制御であることを利用した同時動作による遅れ時間を排除した制御でサイクル短縮を

図っている。これによって大型成形機でありながら最高型開閉速度は1000mm/sを超え、ドライサイクルでは油圧機に比べて約20%の短縮を実現し、生産性の向上に大きく寄与している。今までの数々成形実績において、サイクル短縮で大きな効果が確認できている(表1)。同型締力の油圧成形機と比較して平均サイクル短縮率は15%以上の成形実績がある。

表1 大型電動成形機による成形サイクル短縮事例

成形品	材料 質量	成形サイクル(s)			
		油圧機	電動機	差	短縮率
MD850S-III OA機器フレーム	PPO+G35 1450gr	33	28.4	4.6	13.9%
MD650S-III OA機器カートリッジ	PS 430gr	32.8	30.1	2.7	8.2%
MD850S-III 二輪車パネル	PP 654gr	63	54	9	14.3%
MD850S-III 自動車ランプ部品	PC 1012gr	58	44	14	24.1%

(2)省エネ効果

電動成形機の最も大きな特長は、消費電力が同型締力の油圧成形機比較して小さい点にある。成形機サイズが大型になるほど動力伝達効率の違い、及び電動成形機は必要動作のみモータを稼働させることから、消費電力の差は比例して大きくなり、型締力1000トンクラスで同クラスの油圧成形機と比較して1/3~1/4の省エネ効果を成形事例で確認している(表2)。

消費電力の低減化効果の他に、1)作動油を必要としないことによる経済的及び環境的改善効果、2)冷却水的大幅削減などによる経済的改善効果、3)ハイサイクル成形による生産性向上効果、4)成形品質の安定化による無駄ショットの削減、など多くの省エネ効果を発揮する。

(3)型締力クラスダウン

型締力クラスダウンとは、同じ成形品を成形するのに今までより低い型締力の成形機で成形できることを意味する。型締力クラスダウンにより、設備スペースの縮小、設備コスト低減を図ることができ、大型成形機では特に重要な要素を占める。①高速射出、②CPF制御(Constant-Pressure-Filling Control)、③電動サーボモータによる高精度加減速特性の採用により、トータル樹脂圧力の適正化を図り、その結果として型締力クラスダウンが達成できる(図14、図15)。同型締力の油圧成形機と比較して、金型キャビ内平均樹脂圧力は約100kgf/cm²(PP樹脂の場合)の低圧化を実現し、2500トン型締力(油圧機)の製品を1400トン(電動機)で成形できた実例がある。

高速射出(短時間充填)による効果は、樹脂のせん断発熱による樹脂温度の上昇と樹脂粘性の低下を利用するとともに、金型キャビ面での樹脂の固化によるスキン層の形成が遅れ、金型キャビ内樹脂流動面積が確保されることでキャビ内樹脂流動抵抗が減少(低圧化)が達成でき、トータルの効果で型締力を下げることができ。

また射出から保圧工程へ移行する段階で充填樹脂圧が急激に高くなりピーク圧が立つと、バリの発生や成形品の反り、変形などの原因となるが、CPF制御では圧力が設定圧力に達すると射出速度制御から圧力制御に切替るとともに、射出速度を自動的に減速し

消費電力低減	油圧成形機の1/3~1/4
成形サイクル短縮	油圧成形機の10~20%短縮
型締力クラスダウン	油圧成形機の20~30%ダウン
冷却水使用量低減	油圧成形機の1/20
低騒音	作業環境の改善
油漏れなし	メンテナンスフリー 汚染対策不要
消防法適用外	設置場所の自由度大

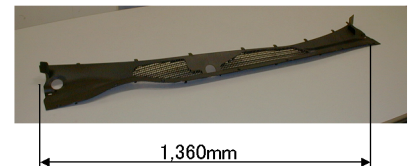
図13 大型電動成形機による環境負荷低減効果

表2 大型電動成形機による消費電力低減事例

成形品	材料 質量	消費電力(kW)			
		油圧機	電動機	差	低減率
MD850S-III OA機器フレーム	ABS 1370gr	51.0	22.1	28.9	1/2.3
MD850S-III 自動車タイヤ部品	ABS 400gr	44.3	14.0	30.3	1/3.2
MD850S-III 家電インクボディ	PS 1260gr	46.0	19.4	26.6	1/2.4
MD650S-III OA機器カートリッジ	PS 430gr	57.6	13.4	44.2	1/4.3
MD850S-III 自動車ランプ部品	PC 1010gr	59.6	21.7	37.9	1/2.7

MD850S-III成形事例

成形品:ルーバー
樹脂:変性PP
質量:400g
平均肉厚:2mm
射出時間:1.9sec
型締力:600T→300T



高速射出 → *樹脂のせん断熱で流動性向上 *スキン層ができず樹脂の流路の確保 → 低キャビ圧

図14 高速射出による型締力クラスダウン成形事例

MD850S-III成形事例

成形品:大型グリル
樹脂:ABS
質量:1,260g
型締力:1250T→800T

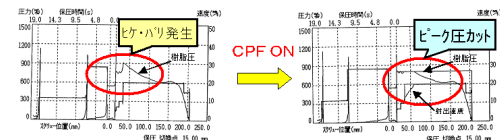
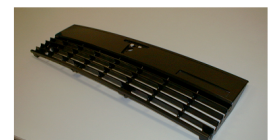


図15 CPF制御による型締力クラスダウン成形事例

てピーク圧の発生を抑えてスムーズな保圧工程への移行を実現することにより、適切な充填樹脂圧設定が自動的に得られる。

(4) 成形品質の安定化

電動成形機は、成形品精度に影響する型締及び射出動作の全てがフィードバック制御され、かつ油圧成形機に見られる作動油温度の時間差、季節差による粘性変化などによる外乱影響を全く受けないことから、抜群の成形安定性を示す。電動機と油圧機の成形安定性(重量バラツキ)の比較データを図16に示す。電動機は油圧機の概ね1/3~1/4のバラツキと言える。

また成形立上げ時の静定性の早さも電動機の特徴である。電動機では金型交換してからの成形立上げ

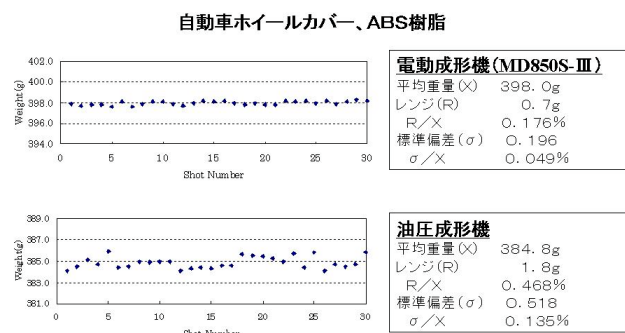


図16 大型電動成形機の成形安定性(重量バラツキ)

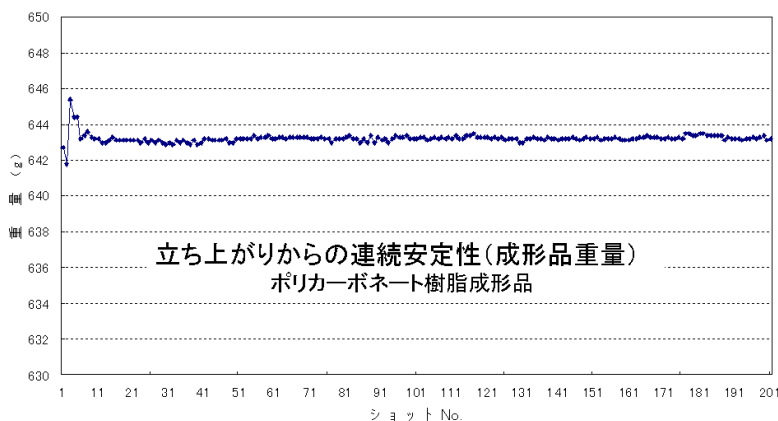


図17 大型電動成形機の成形安定性(連続成形時)

時や、成形中断からの再立上げ時の安定成形までの無駄ショット数が非常に少ない。油圧機では作動油温度が安定するまでの時間を必要とする。電動機の成形立上げ時の成形安定性を測定したデータを図17に示す。8~9ショットで成形品質(重量)が安定しているのがわかる。

5. おわりに

電動ダイプレスト成形機の登場により、プラスチック成形品の高機能・複合成形技術は急速に進歩してきた。紹介した成形事例はほんの一例に過ぎないが、ご参考にしていただければ幸いです。電動ダイプレスト成形機の今後益々の大型化、高精度化を目指し努力を続けていくことにより、新たな応用分野が広がっていくものと期待している。

参考文献

- (1) 新関直也、米原祥二、「世界最大電動射出成形機、MD850S-IIIの紹介」、プラスチック、1999.08
- (2) 新関直也、早川憲司、「電動式射出成形機 MD-SIIIシリーズの制御装置」、合成樹脂、Vol.44.No.11 1998.11
- (3) 岡本昭男、「射出成形による表皮一体貼合せ成形技術—ダイプレスト成形法の特徴、成形技術と今後の市場展開・応用開発事例」、プラスチック工業技術研究会、資料、2000.12
- (4) 岡本昭男、「大型電動ダイプレスト成形機による高機能・複合成形の事例—UBE電動射出成形機 MD-DPシリーズ」、プラスチック成形技術、第18巻、第2号、2001.02
- (5) 岡原悦雄、「射出成形による表皮一体貼合わせ成形技術」、成形加工、Vol.11,No.5,1999
- (6) 米持建司、山本義明、太田賢治、「インモールドコート法と金型」、型技術、第11巻、第13号、1996.12
- (7) 陶山真一、「大型電動成形機、成形事例の紹介」、産業機械、No594,2000.05
- (8) 高取宏幸、「大型電動射出成形機による精密成形、高機能成形の事例」、プラスチック、Vol.51,No8,2000