

(解説)

ポリオレフィン用大型混練造粒機LCMシリーズ

LCM Mixing and Pelletizing System for Polyolefin



仲田好明*
Yoshiaki Nakata



山崎伸宏*
Nobuhiro Yamasaki



安田章二*
Shoji Yasuda



入谷一夫*
Kazuo Iritani

Based on a new catalyst and the trend toward higher production efficiency Kobe Steel designed a single line high capacity mixing and palletizing system for a polyolefin plant. Kobe Steel developed and placed the LCM series on the market as a higher capacity machine in order to cope with recent developments in special and standard grade polyolefin. Kobe Steel is currently improving its pelletizing system. This paper reports on the LCM series for polymer mixing and palletizing systems and the LCM-EX series for special grade polyolefin.

まえがき = 近年のプラスチック製造業界は、2003年度全世界で年率6.2%増、生産量はおよそ2億トン以上に達したと推定され、需要は堅調に推移している¹⁾。また、ポリプロピレン(以下PPと記す)、ポリエチレン(以下PEと記す)といった、汎用ポリオレフィンプラントでは近年の触媒技術の進展、生産効率の向上志向により、1ラインあたりの生産能力は年々大型化してきている。当社は、1981年にギヤポンプシステムを納入して以来、こうしたニーズに応えながらこれまで150台以上の連続混練造粒装置を製作・納入してきた。

今日では、当社の連続混練造粒装置は高く評価され、世界シェアNo.1を維持している。本稿では、これら装置の各機器の概要及び大型機への展開について紹介する。

1. 連続混練造粒装置の概要

連続混練造粒装置の概要を下記に示す。また、当社が納入する装置全体の標準フローを図1に示す。

上流機器であるリアクタ(反応機)で精製された材料は通常パウダ(粉体)状で、連続混練機(Long Continuous Mixer, 以下LCMと記す)のホッパー部より供給される。供給された材料は、モータによって回転するロータによりフィード部から混練部に送られ、ここで強いせん断力が加えられて溶融する。このとき、添加剤の混合・分散も同時に行われる。溶融した樹脂は、ギヤポンプで昇圧され、スクリーンチェンジャに送られて不純物が除去される。次に、細穴が多数開いたダイプレートを通り、アンダウォータペレタイザ(以下ペレタイザと記す)に達した樹脂は、循環水中で米粒大のペレットにカッティングされ、循環水とともにドライヤに送られる。ドライヤで脱水・乾燥されたペレットは、振動ふるいのでその大きさを選別され、規格に合ったものが製品ペレットとして

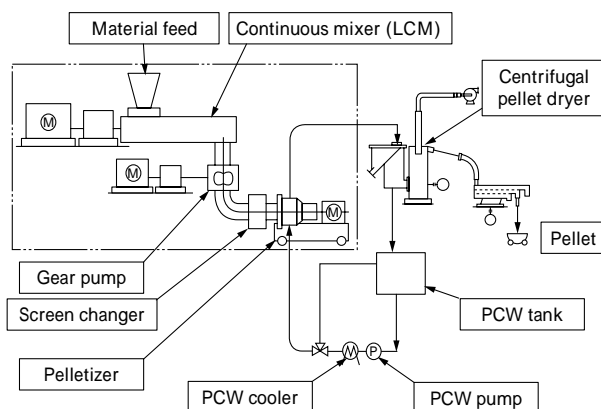


図1 連続混練造粒装置全体フロー
Fig. 1 Flow chart of polymer pelletizing system

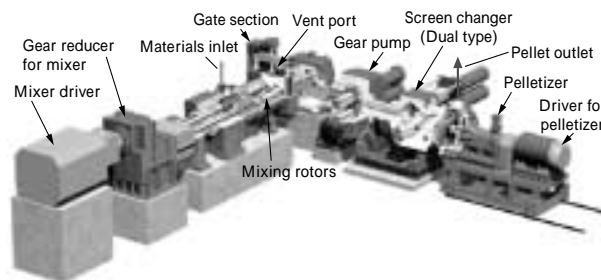


図2 LCMライン全体図
Fig. 2 Outline of LCM series

出荷される。これら一連の工程は24時間連続で行われるのが通常で、高い機械信頼度が要求される。

上記ラインのうち、LCM・ギヤポンプ・スクリーンチェンジャ・ペレタイザが、当社で設計・製作する範囲である(図2)。次章以降で各機器の役割・特徴を述べる。

2. 連続混練機 LCM (写真1)

LCMはフィード部と混練部を有する2本のロータが

*機械エンジニアリングカンパニー 産業機械技術部



写真1 LCM450 と LCM280
Photo 1 LCM450 and LCM280

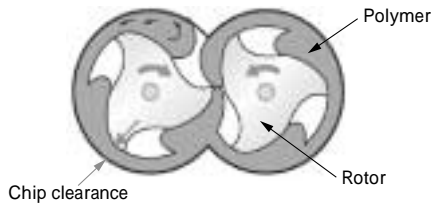


図3 混練部断面図
Fig. 3 Cross section drawing of mixing zone

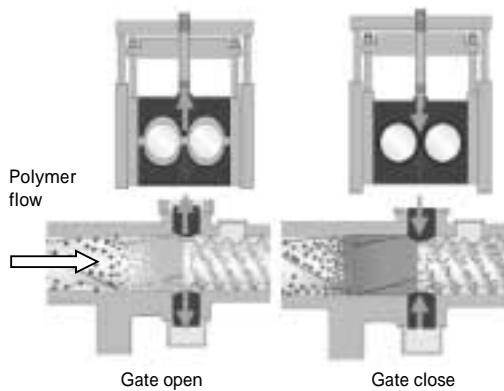


図4 Gate 機構
Fig. 4 Mechanism of LCM gate

ら構成され、モータから減速機を介してこれら2本のロータを互いに異方向に回転するように動力が伝達される。混練部断面は三角形状をしており、三角頂部と混練室(チャンバ)との隙間(チップクリアランス)とロータ回転によるせん断力により、材料を溶融・混練する機械である(図3)。LCMには以下の特徴がある。

2.1 混練度調整

混練度調整機構として、LCMは混練翼の下流にGate機構と、LCMの吐出口にサクシオン圧コントロールによる2段階の混練度調整機構を有している。

図4にGate機構の説明図を示す。Gate機構とは、混練部出口の流路面積を無段階に変化させることができる機構で、練りの強弱を自由にコントロールすることができる。流路面積を小さくすれば混練部の充填率は上昇し、滞留時間は長くなって、強練りになる。流路面積を大きくすれば混練部の充填率は下がり、滞留時間は短くなるため、弱練りになる。Gate部分は、油圧モータを介して開閉動作をさせるので、樹脂の温度変化や、消費エネルギー変化などを見ながら運転中に最適な混練条件の調整を

表1 混練度一覧表
Table 1 Table of mixing degree

	Gate close	Gate open
Suction press. high	Strong mixing	Middle
Suction press. low	Middle	Weak mixing

することができる。

もうひとつの混練度調整機構として、LCMの吐出口に、ギヤポンプのサクシオン圧コントロールを備えている。ギヤポンプのサクシオン圧コントロールとは、パウダのフィード量及びギヤポンプサクシオン(吸入)圧に応じてギヤポンプロータの回転数を自動的に加減するシステムであり、サクシオン圧を高く設定すれば、混練機滞留時間が長くなって強練りになり、低く設定すれば、滞留時間は短くなって弱練りになる。この2段階のシステムで混練品質を幅広く調整でき、多様なグレードに対応することができる(表1)。

2.2 両端支持ロータ

LCMのロータは、減速機側と反減速機側の2箇所ではベアリング支持する構造により、ロータ自身にかかる負荷が軽減され、互いに非接触で回転しながら材料にせん断を加える構造である。このため、高トルクでせん断を作用させても回転振れが抑えられ、チャンバとの接触も無く、機械信頼度が高い。大型化による高トルク化にもそのメリットが発揮され、信頼度を損なうことなく高生産量ニーズにも対応している。

3. ギヤポンプ(写真2)

ギヤポンプは溶融樹脂を下流機器に圧送する役割を担っている。かつては主に単軸の押出機がその役割を果たしてきたが、近年の大型化に際しては、高効率で昇圧、押出ができ、機械寸法もコンパクトにできるため消費エネルギーが小さくて済むギヤポンプが標準的に採用される。

当社のギヤポンプはモータからタイミングギヤを介してロータに伝達しているため、2本のロータは互いに非

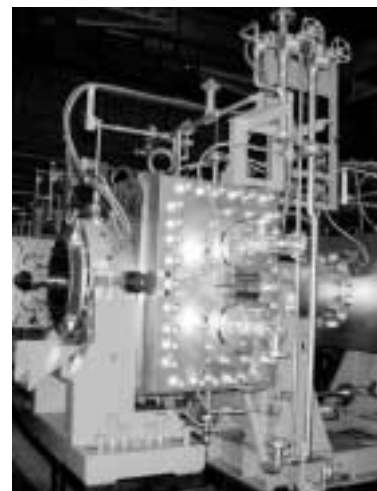


写真2 ギヤポンプ
Photo 2 Gear pump

接触で回転する。このため、機械的な磨耗が無いので長寿命である。ギヤポンプのロータ軸受部には溶融樹脂を潤滑剤とするすべり軸受を採用している。潤滑に使用された樹脂は、内部のポートを通り、サクション（吸入）側に戻される構造を有しており、無駄の発生を抑えている。ベアリングとロータ間の狭い隙間を通過していくため、ここでも樹脂はせん断を受けて発熱する。この発熱によって樹脂が劣化し、潤滑性能が損なわれるため、劣化を抑える冷却技術がキーポイントとなる。大型化に際しては、効率的な冷却システムと機械工作精度の向上により、コンパクトな機械サイズでより高能力・高効率の押出能力を有している。

4. スクリーンチェンジャ（写真3）

スクリーンチェンジャは樹脂流路内の異物を取除くフィルタの交換を容易にするための機械である。スクリーンチェンジャでは、溶融樹脂の圧力損失が発生するため、いかに低く抑えるかがポイントとなる。圧力損失が高いと、押し出しに必要なエネルギーが増大、すなわちギヤポンプやモータの巨大化、ポンプ吐出効率の低下が発生し、大型機に展開する場合、圧力損失をできるだけ低く抑える必要がある。圧力損失を抑える方法として、ろ過面積の増大や、スクリーン保護に必要なブレーカプレートの低圧損化がキーポイントとなる。

ろ過面積の増大は機械サイズの大型化につながるが、当社のスクリーンチェンジャは、コンパクトで、効率良く広いろ過面積を取ることのできる、デュアルバー型としている。デュアルバータイプとは、2本の丸棒（スライドバー）に樹脂流路用の穴が開いており、そこに異物採取用のスクリーン（金網）を取付けたものである。スライドバーにはおのおの油圧シリンダが取付けられ、運転中にスクリーンの交換が容易にできるよう個別に動作させることができる。低圧損化を図るために、ブレーカプレートをカーブ型にし、ろ過面積を大きく取るとともに、ブレーカプレートも単純丸穴形状と比較して低圧損のスリット穴形状を採用している。

5. アンダウォーターペレタイザ（写真4）

ペレタイザは溶融した樹脂をペレット状にカットする機械である。主な構造として、ダイプレート・水

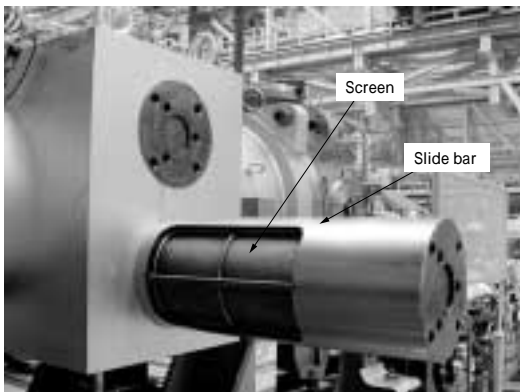


写真3 デュアルバー型スクリーンチェンジャ
Photo 3 Dual bar type screen changer

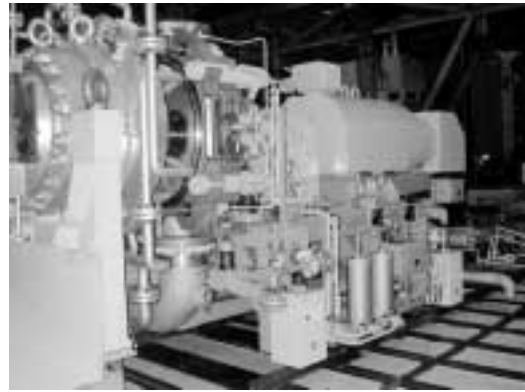


写真4 アンダウォーターペレタイザ
Photo 4 Under-water pelletizer

室・カッタ（ナイフ）・駆動部・台車で構成される。溶融樹脂は前述のスクリーンを経て、細い穴（2～3mm）が多数開いた多孔板（ダイプレート）を通り、その先の水室内において、循環水が流れる水中で、穴の先で回転するナイフによって切断され、粒（ペレット）になる。このペレットが製品となり、出荷される。当社のペレタイザは下記特徴を有している。

5.1 直角度保持機構

ダイプレートとナイフの当り（直角度）はわずかに変位してもカッティング状況が変わることがあり、安定運転には欠かせない重要な項目である。機械サイズが大型化すると、さらにこの影響が顕著に現れる。水室を流れる循環（冷却）水（Pellet Cooling Water : PCW）は、溶融樹脂やダイプレートからの熱を受けて昇温する。このため、水室の入口（下部）と出口（上部）ではPCWに温度差が出る。当社のペレタイザにはこの温度差が直角度に影響しないよう、駆動部とダイプレートの間をタイロッドで接続し、さらに常時一定温度の水を流すことができる構造を有している。このタイロッドによる直角度保持機構で温度変化に起因する当りの影響を最小限に抑えている（図5）。

5.2 水室分離構造

水室・カッタ・駆動部が台車にコンパクトにまとめられ、基礎に敷かれたレール上を移動することができる（図6）。このため、ダイプレートと水室の切離しが容易な構造であり、油圧シリンダを用いて自動的に分離・結

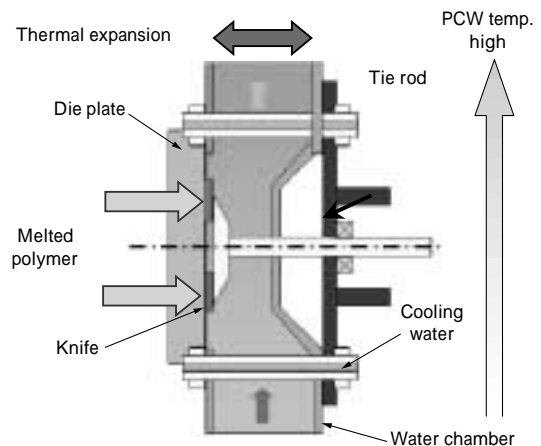


図5 タイロッド冷却システム
Fig. 5 Tie rod cooling system

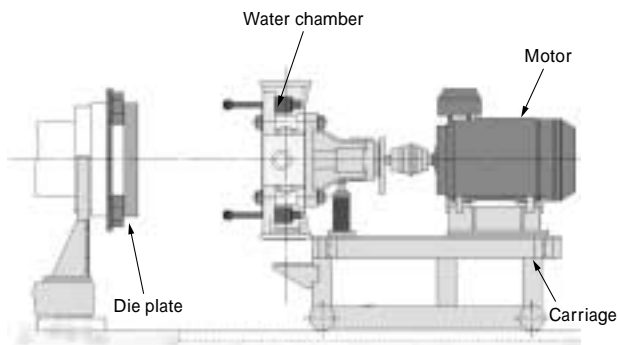


図6 水室 - ダイプレート分離状態
Fig. 6 Water chamber - Die plate disconnecting position

合させることができる。カッピングスタート時に、それまで系内に留まっていた劣化樹脂除去とダイプレート細穴からの樹脂流れが均一かの目視確認を目的としたストランド作業（ダイプレートの細穴から樹脂をカッピングせずに流す作業）が必要となるが、分離可能タイプとすることで、作業スペースを広く取ることができ、ストランド作業やメンテナンス作業が安全に、容易にできる。

5.3 ヒートチャンネルダイプレート

高密度に樹脂穴を配置したダイプレート（写真5）は、ヒートチャンネルダイプレートを採用している。これは、樹脂穴のできるだけ近傍に熱媒を通すジャケットを配置したもので、高温（樹脂温度 200～300℃）から低温（循環

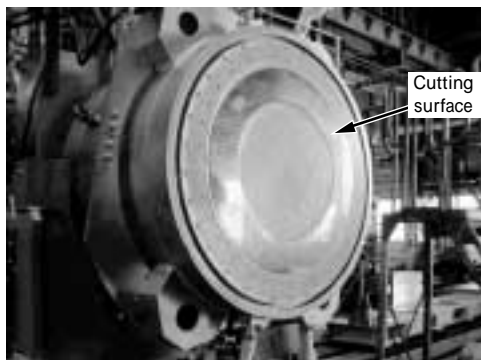


写真5 ヒートチャンネルダイプレート
Photo 5 Heat channel die plate

環水 50～90℃）への急激な温度変化による樹脂穴の目詰まりやペレットサイズ不揃いを抑えている。

また、ダイプレートにおいても圧力損失が発生するが、当社のダイプレートは、低圧損タイプとし、スクリーンチェンジャとともに、押し出しエネルギーの低エネルギー化を図っている。また、カッピング面には、ナイフとの耐摩耗性を高めるため、TIC（チタンカーバイド）Plate や WC（タングステンカーバイド）Plate を採用し、長寿命化を図っている。ペレタイザの大型化には、ダイプレートの穴数増加がひとつのキーとなるが、当社のダイプレートは、ヒートチャンネル配置の最適化により、カッピング面の面積を広げることなく、穴数の増加に対応している。

6. LCM シリーズラインアップ

表2に現在の LCM シリーズのラインアップを示す。まきがきでも述べたが、近年の大型化要請は年々高まっており、これまでの生産能力 30～40ton/hour クラスから 60～70ton/hour へ、さらには 100ton/hour の機械も現実味を帯びつつある。当社では、下記のラインアップにて、これらのニーズに応えることができるようになって

7. LCM-EX シリーズ

昨今の顧客の高付加価値ニーズにより、汎用ポリオレフィンとはいっても特殊なグレードが次々と開発されている。一例を挙げると、自動車部品向けなど射出用途に用いられるものでは、生産性向上の観点から、成型サイクルを短縮するために粘度の低いグレードが用いられるようになってきている。一方で、成型品の強度を上げるために粘度の高いゴム成分や少量の造核剤、あるいは無機フィラーをコンパウンドすることもある。このような粘度の異なるもの同士の混練や無機物のコンパウンディングには、押出機に均一な混練と分散性能が求められる、こうしたニーズに応えるべく、昨年、新たなシリーズとして、LCM-EX を開発・製作した（写真6）。

LCM-EX は主として PP（ポリプロピレン）の特殊グレ

表2 LCM シリーズラインアップ
Table 2 Line-up of LCM series

Plant capa. (kton/year)		100		200		300		400		500		600		700						
Pelletizing capa. (ton/h)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Mixer		LCM 250		LCM 280		LCM 320		LCM 360		LCM 400		LCM 450		LCM 500		LCM 550				
	Main drive(kW)	2 600		4 200		6 000		8 000		10 000		12 500		15 000		18 000				
Rotor speed(rpm)		670		660		600		550		500		440		400		360				
Gear pump		KNT 20		KNT 30		KNT 50		KNT 70		KNT 90		KNT 100		KNT 120		KNT 150		KNT 180		
	Drive(kW)	350		550		700		1 000		1 350		1 600		1 900		2 400		2 800		
Screen changer	Dual type	KSD 210C				KSD 250C		KSD 300C		KSD 355C				KSD 425C						
	Bucket type	KS-12S				KS-15S														
Pelletizer		UP 300N		UP 400N		UP 500N		UP 650N		UP 850N				UP 1000N						
Drive(kW)		55		75		90		130		180				300						



写真6 LCM-EX 全景図
Photo 6 LCM-EX

ードを含む大容量ライン向けとして開発した装置で、従来の LCM シリーズと比較し、チップクリアランスを小さくし、回転方向も同方向となっている特徴がある。

また、スクリュ及び混練翼をモジュール化しており(写真7)、パレルもベントパレル、サイドフィードパレルといった機能別にモジュール化している。これらモジュール化されたスクリュセグメントとパレルを用途や生産量に応じて適宜組み合わせ、最適化も行っている。

また、モジュール化・セグメント化によって、部位ごとに材質・表面処理を変えることができ、自由な材料選定が可能である。メンテナンス上も磨耗、損傷しやすい部位は予測できるため、あらかじめそれらのパーツを準備しておけば、顧客の定期点検、修理時の工期短縮につながるなど、利点も多い。



写真7 ロータエレメント
Photo 7 Rotor element

むすび= LCM シリーズは、石油化学コンビナートにあり、樹脂生産ラインの終盤工程に位置する。運転は24時間連続運転であり、プラント全体の操業を左右する重要機器である。機械の大型化は、その影響がさらに甚大になることもあり、高い機械信頼性が求められているのは当然であるが、現在では省ランニングコスト・省エネルギー・省メンテナンスの要望も強い。

今後も機械メーカーとして、顧客にご満足頂ける機械を提供できるよう、日々努力、邁進していく所存である。

参考文献

- 1) ㈱工業調査会：プラスチック、Vol.55, No.6 (2004) p.26.