

(解説)

ポリオレフィン用連続混練機及び二軸押出機

Continuous Mixers and Twin-screw Extruders for Polyolefin Finishing



宝谷 晋*
Shin HOTANI



黒田好則*
Yoshinori KURODA

World scale polyethylene and polypropylene plants are becoming more and more common, for reasons of economy of scale. Accordingly the finishing system has become an ever more important part of the modern polyolefin plant. This paper explains the structure of a continuous mixer and a twin-screw extruder and describes the mixing phenomena associated with these two different technologies. Also we describe recent trends, prospects and future requirements of customers.

まえがき = 世界のプラスチック生産量は、2007年に2.5億トンを超えており、発展途上国を中心に年率5%以上の伸びが予想され、今後も着実な成長が見込まれている¹⁾。汎用ポリオレフィン系樹脂であるポリエチレン(以下PEという)とポリプロピレン(以下PPという)の需要は、BRICsや経済成長が著しい発展途上国での消費の増大や、従来からの樹脂消費大国である欧米諸国の需要の伸びに支えられ、堅調に推移している。これに伴い、BRICsや中近東を中心とした産油国で大型のPE、PP製造プラントの建設ラッシュが続いている。

当社が製造、販売する混練造粒装置は、PE、PPプラントの最終工程である造粒工程に設置され、昨今のプラントの高生産量化や樹脂製品の多様化に伴い、近年、その役割はますます重要となっている。混練造粒装置は大きく分けると混練押出機と造粒機で構成されるが、混練押出機はプラントの最終製品であるペレットの品質に大きく影響を与える重要装置である。

本稿では、混練押出機の2種類のタイプである二軸連続式混練機(continuous mixer、以下連続混練機という)と二軸混練押出機(twin-screw extruder、以下二軸押出機という)について、それぞれの特徴、機能、差異をソフト面、ハード面から解説し、最後に本装置の展望について触れたい。

1. ポリオレフィン用混練造粒装置の概要

PE、PP製造プラントでは、反応器(リアクタ)での重合反応により得られた粉体状のPE、PPに滑剤や酸化防止剤などの添加剤や充填剤を混ぜ、最終的にハンドリングしやすい一次加工品であるペレットにするため、混練造粒装置が設置される。混練造粒装置は、粉体状の樹脂を溶融させ混練する混練押出機と、溶融した樹脂を下流へ押出すためのギヤポンプ、樹脂中の不純物をろ過す

るスクリーンチェンジャ、溶融樹脂を水中でペレットにカッティングする造粒機(ペレタイザ)で構成される。造粒機で作られたペレットは乾燥機へ運ばれ、ふるい分け機を通して製品ペレットとして袋詰めされる。

混練押出機は、供給機から投入された樹脂を溶融させると同時に、添加剤、充填剤を樹脂に練込み混練する機能があり、構造及び混練メカニズムの違いにより、連続混練機と二軸押出機に大別できる。当社は、連続混練機としてLCMシリーズ、二軸押出機としてLCM-EXシリーズを製作、販売しており、ポリオレフィン用途に多数の販売実績を有する。1981年にギヤポンプと組合せた連続混練機を納入して以来、世界各国に170台以上の納入実績を持ち、当社の混練造粒装置は高く評価されている²⁾。

2. 連続混練機と二軸押出機

混練押出機は、PE、PPプラントの製造プロセスや生産樹脂グレード、運転条件に応じて、連続混練機、二軸押出機のどちらかのタイプを選定する。以下にそれぞれの特徴、差異を述べる。

2.1 構造

2.1.1 連続混練機

連続混練機は、バッチ式混練機を連続化したところから発展した。回転体である2軸のロータは、互いに異方向に回転し樹脂を混練する。ロータの両軸端は軸受により支持されており(図1)、ロータ外周とバレルの間には適切な隙間がある。このため高粘度の樹脂の混練においても、ロータはバレルに接触することなく、高速で回転させることができる。

2.1.2 二軸押出機

ポリオレフィン分野に使用される二軸押出機は、一般的に同方向回転かみあいのスクリュ押出機である。回転体である2軸のスクリュは同方向に回転し、左右のスク

*機械エンジニアリングカンパニー 産業機械事業部 産業機械技術部

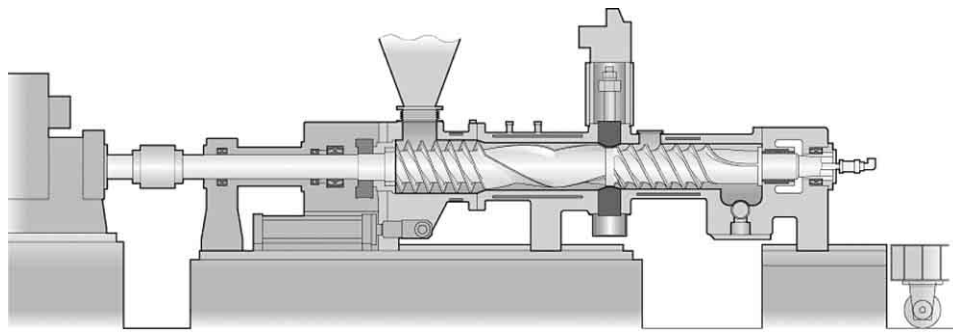


図1 連続混練機 LCM
Fig. 1 Continuous mixer LCM

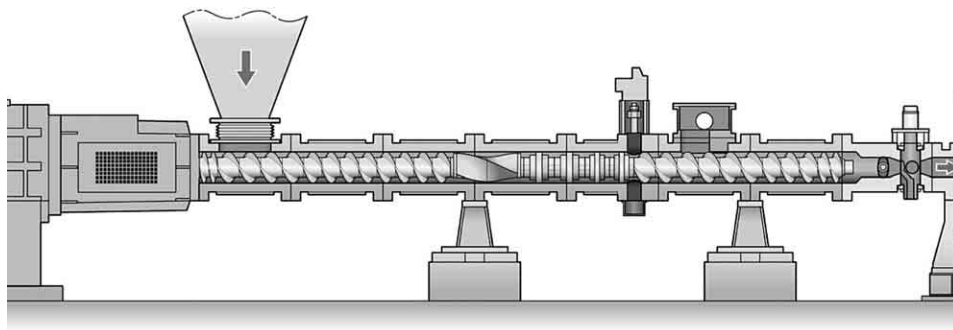


図2 二軸押出機 LCM-EX
Fig. 2 Twin-screw extruder LCM-EX

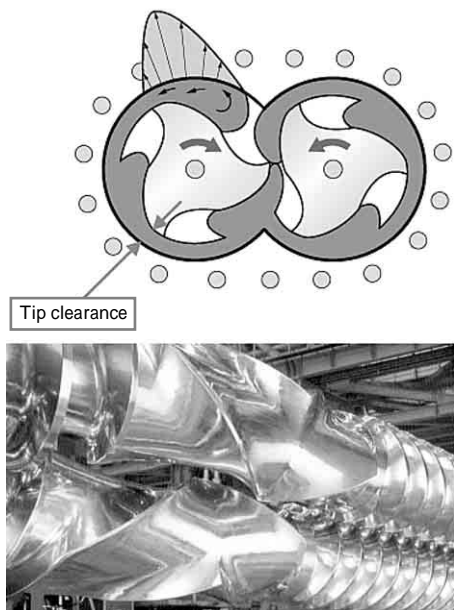


図3 連続混練機のロータ形状
Fig. 3 Rotor configuration of continuous mixer



図4 二軸押出機のスクリュ形状
Fig. 4 Screw configuration of twin-screw extruder

リュ同士は互いにかみあう。スクリュは駆動側のみが軸受で支持され、反駆動側は支持されず自由な状態である(図2)。スクリュ外周とパレルの間は適切な隙間があり、また用いられるスクリュは特殊なボールネジ形状をしており、スクリュとパレル間及び左右のスクリュ同士の接触を防ぐ構造となっている³⁾。連続混練機と比較し、スクリュ回転速度は一般的に緩やかであり、長いスクリュ長と相まって二軸押出機内での混練時間を長くすることができる。

2.2 混練メカニズム

2.2.1 連続混練機

連続混練機のロータは、楕円形状(2翼構造)もしくは

は図3に示すような特殊な三角形(3翼構造)をしており、前方のスクリュ、後方のスクリュと排出翼とを合わせ、連続したロータ翼を形成している⁴⁾。ロータとパレル内壁面間の隙間はチップクリアランスと呼ばれ、混練する樹脂に応じて最適な隙間が選定され、これが連続混練機の大きな特徴となっている。樹脂はチップクリアランスで強いせん断を受け、短時間に樹脂の可塑化、溶融が行われる。樹脂は反復してチップクリアランスを通過するので、充填材の凝集体が分散したり樹脂中のゲルが消去される、いわゆる分散混合性能に優れている⁵⁾。またロータは軸方向にねじれ方向が異なっており、前後方向の樹脂の移動と左右ロータ間の樹脂の受渡し作用により、樹脂の流れの攪拌と分配混合も行われる⁶⁾。

2.2.2 二軸押出機

同方向回転かみあいの二軸押出機のスクリュ軸は、楕円形の二翼のねじ形状のフルフライトスクリュや、ニーディングディスクと呼ばれる混練エレメントなどを組合わせて構成される(図4)。二軸押出機へ供給された樹脂は、スクリュのかみあい部で相手側フライトに仕切ら

れ、くさび効果によるせん断作用と、切返しによる攪拌作用を受ける。スクリュ溝中の樹脂は、フライトの回転によりかみあい部でもう一方のスクリュ溝中へと輸送され、2本のスクリュ回りを8の字型にらせん状に回転しながら輸送される⁶⁾。スクリュはセルフクリーニング作用を持つ。

二軸押出機では、混練度を調整するため、スクリュに適切なニーディングディスクを組合わせて使用する。ニーディングディスクはスクリュと同じ断面形状をしており、図5に示すようにディスクの回転方向位相をわずかずつ変え、ディスク面相互間でのせん断作用と、不連続なディスクによる切返し効果による分配混合作用によって、混練、混合を行う⁶⁾。

2.2.3 各タイプの特徴

連続混練機と二軸押出機の混練メカニズムの違いから、その混練性能はそれぞれに特徴を持つ。一般的に、連続混練機は強い繰返しのせん断による短時間の混練、二軸押出機は比較的緩やかなせん断で長い滞留時間をとる混練が特徴となる。粘度が高いPEは高いせん断で混練する必要があり、連続混練機が適している。一方、粘度が低いPPは二軸押出機を使用することが多い。PPに過酸化合物(パーオキサイド)を添加し、PPと反応させて粘度を変えるクラッキングと呼ばれる運転では、パーオキサイドとの反応に一定の滞留時間が必要であるため、滞留時間が長くとれる二軸押出機が適している場合がある。このように製造プロセスや生産樹脂、運転条件に応じ、連続混練機または二軸押出機を選定することになる。いずれの場合も、最適な形状のロータ、スクリュを用いることが重要であり、混練技術上のノウハウである⁷⁾。

2.3 吐出能力

混練押出機の吐出能力は、ロータ、スクリュの輸送能力と機械自体の持つ最大許容トルクにより決まる。輸送能力は、機械サイズ(口径)とロータ、スクリュの回転速度により決まり、ロータ、スクリュの回転速度が高いほど輸送能力が高いが、混練品質の観点から回転速度に

は限界がある。一方、機械の最大許容トルクは、ロータ、スクリュの軸強度や二軸間に配置される軸受の容量、減速機の歯車強度等から決まり、その最大許容トルクを超えない容量のモータを搭載しなければならない。混練押出を行うために必要なエネルギー消費量は、樹脂を可塑化させ所要の温度まで上げるエンタルピー増加分に該当する熱エネルギーと、機械の熱損失である⁸⁾。この必要エネルギーと生産量から、混練押出機に搭載すべきモータの容量(動力)が決まる。搭載するモータ動力が機械の最大許容トルクを超える場合は、さらに大きいサイズの混練押出機を使用することになる。

連続混練機、二軸押出機は構造の違いにより輸送能力、最大許容トルクが異なるため、吐出能力も異なる。当社のLCMシリーズ及びLCM-EXシリーズの公称能力を表1に示す。

2.4 昇圧機能

連続混練機は、ロータとパレル間に大きなチップクリアランスを設け、ロータの回転により樹脂を溶融、混練する装置であり、溶融樹脂を下流へ圧送するため図6のように下流にギヤポンプが設置される。昇圧機能をギヤポンプで賄うので、連続混練機の内部圧力は低く、先端排出部は0.1~1MPa程度の低い樹脂圧力で運転される。したがってロータに作用する軸方向(スラスト方向)荷重は小さい。

二軸押出機は、スクリュとパレル間の隙間が小さく、またスクリュ軸長に対する軸径の比L/Dが大きいため、スクリュは高い昇圧能力を有する。先端排出部では最大25~30MPaまで昇圧可能であり、一般に下流にギヤポンプを設置する必要はない。一方、先端排出部の樹脂圧力によりスクリュ軸には大きなスラスト方向荷重が作用するので、駆動部に大容量のスラスト軸受が設けられている。

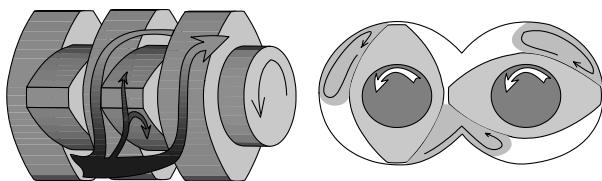


図5 ニーディングディスクの形状
Fig. 5 Configuration of kneading disk

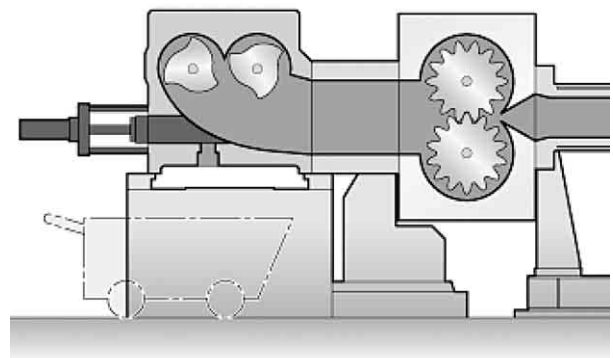


図6 連続混練機と下流のギヤポンプ
Fig. 6 Continuous mixer and gear pump

表1 連続混練機 LCM シリーズ, 二軸押出機 LCM-EX シリーズの公称能力
Table 1 Main specification of LCM and LCM-EX series

Capacity (t/h)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
LCM (LLDPE)	Model	LCM250	LCM280	LCM320	LCM360	LCM400	LCM450	LCM500	LCM560											
	Motor power (kW)	2,600	4,200	6,000	8,000	10,000	12,500	15,000	21,000											
	Rotor speed (rpm)	670	660	600	550	500	440	400	360											
LCM-EX (PP)	Model		LCM250EX	LCM280EX	LCM320EX	LCM350EX	LCM380EX													
	Motor power (kW)		8,100	9,900	13,000	16,500	19,400													
	Rotor speed (rpm)		400	350	310	280	260													

二軸押出機は、先端排出部の高い樹脂圧力のため、連続混練機に比べ先端排出部で樹脂温度が上昇しやすい。この樹脂圧力を制御したり樹脂温度上昇を軽減する目的で、下流にギヤポンプを設置する場合もある。

2.5 混練度調整機構

多数のグレードの樹脂を生産したり混練押出機への供給量（生産量）を変える場合の対応として、混練度、すなわち樹脂温度の調整が必要となる場合がある。混練押出機のロータやスクリュ形状を変えずに、運転条件を変えることにより混練度を調整、操作するには、次の方法がある。

- 1) 樹脂に与えるせん断速度を変化させる
- 2) 混練押出機内の樹脂の充填率を変化させ、滞留時間を変化させる
- 3) 外部から樹脂に与える熱量、樹脂から奪う熱量を変化させる

1)は、ロータ、スクリュの回転速度を変化させることにより達成できる。2)は、混練押出機の中央や先端排出部に絞り装置を付け、流路面積を変化させることにより可能となる。3)は、パレルに備えた電気ヒータによる加熱やその温度設定、パレルに設けたジャケットへの蒸気または冷却水の供給の制御により行われる。

大型の生産機では装置コストの観点から、ロータ、スクリュ回転速度を変える可変速装置ではなく、固定速の駆動装置が採用される場合が多く、したがって2)のような混練度調整機構が備えられる。図7は当社が連続混練機に採用しているゲートと呼ぶ絞り装置で、ゲートの開度を変えてゲート上流の混練部での樹脂の充填率を変化させ、混練度を調整する装置である⁹⁾。グラフは、ゲート装置の操作により消費エネルギーを広範囲で調整でき、低生産量から高生産量まで、ロータ回転速度を変えずに混練度を調整できることを示している。

また、ギヤポンプの吸込み圧力を変化させることでも、混練押出機内の樹脂の充填率を変化させることができ、混練度を調整できる。

2.6 駆動装置

連続混練機、二軸押出機ともモータを駆動源とし、減

速機を介して出力トルクを増加させ、2軸が異方向もしくは同方向に回転する構造である。二軸押出機に使用する減速機は、2軸の出力軸を同じ荷重分配で同方向に回転させる機構が必要であるため、連続混練機の減速機に比べ複雑な構造となる。また2.4節で述べたように、大容量のスラスト軸受が狭い軸間距離の間に備えられている。

2.5節で述べたように、ロータやスクリュの回転速度を変えることにより混練度調整を行う場合は、可変速の駆動装置が必要となる。最も単純なものは、誘導モータの一次周波数制御による可変速運転方式（VVVF制御）である。この場合、ロータやスクリュの回転速度が任意に変えられ、減速機もシンプルな構造となる。しかしながらVVVF制御方式は高価であるため、通常は減速機に高速歯車、低速歯車の2段を備え、手動クラッチにより切替える2速切替方式が使用される。

また、図8に示すような差動遊星減速機を用いた2モータ方式による可変速機構がある¹⁰⁾。大容量の主モータ（固定速）と小容量の副モータ（可変速）の2台で駆動され、高速領域と低速領域の一部で一定の出力トルクに

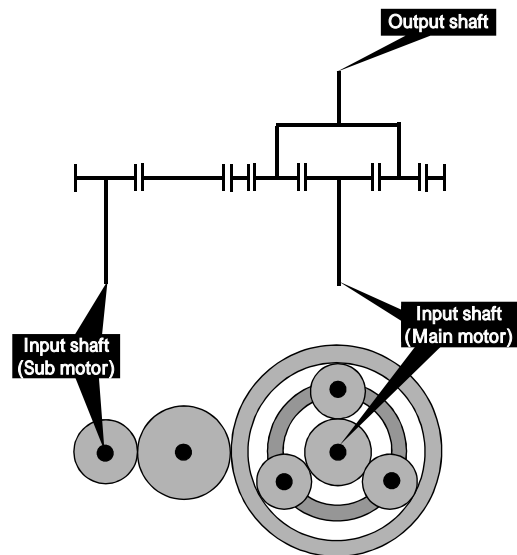


図8 差動遊星減速機による2モータ方式の構造

Fig. 8 Construction of 2 motor system using superimpose gear reducer

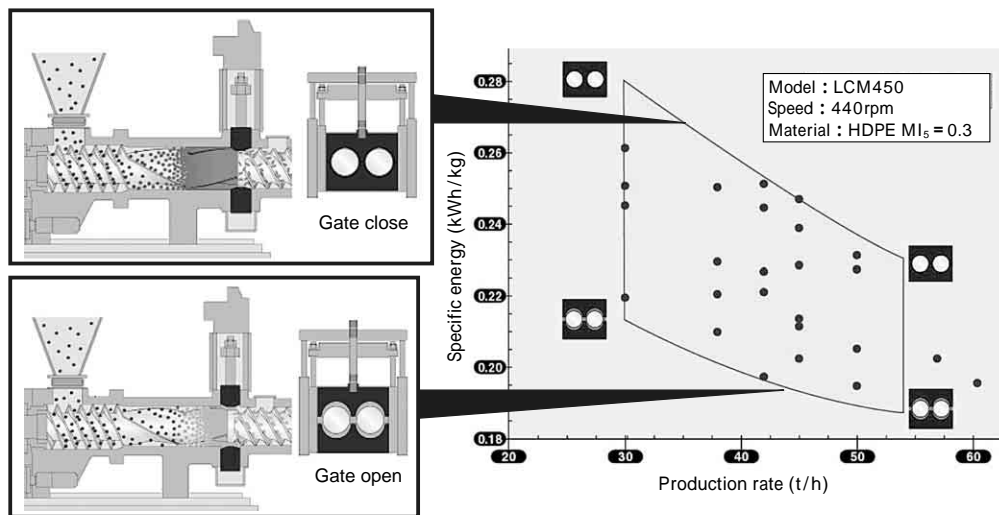


図7 連続混練機のゲート装置
Fig. 7 Gate on continuous mixer

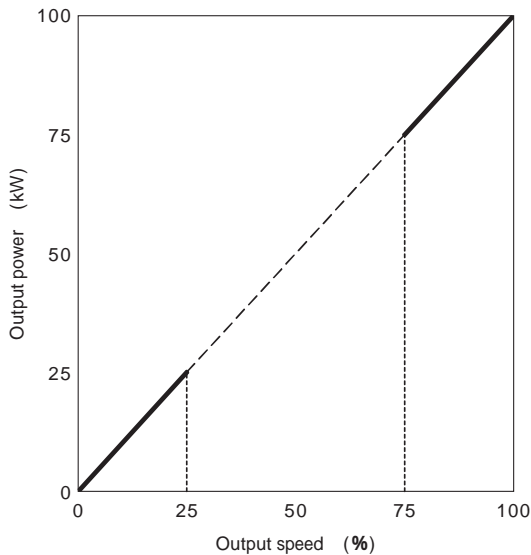


図9 2モータ方式の仕様トルク線図
Fig. 9 Torque curve of 2 motor system

よる可変速運転が可能となる(図9)。

3. 混練技術の実用

ここでは、ポリオレフィン用連続混練機と二軸押出機における、理論や実験に基づいた混練技術の実用について述べる。

3.1 連続混練機のバイモダルPEのゲル消去

連続混練機は、バイモダルとよばれる2成分系高密度ポリエチレンの均質化(ホモジナイジング)に適しており、当社の連続混練機 LCM は多数のユーザで使用されている。粘度の異なる2成分系の樹脂の混合(ポリマーブレンド)を例にとり、連続混練機の混練特性を述べる¹¹⁾。

ロータの回転により混練物に加えられるせん断速度及びせん断応力は下記で表される。

$$= DN/h \dots\dots\dots(1)$$

$$= \mu \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 D : ロータ外径

N : ロータ回転数

h : チップクリアランス

μ : せん断速度における粘度

チップクリアランスを流れる混練物の流量 q は、図10に示すようにチップ部のせん断歪とロータの混練部長さ L から形成される三角柱の容積を求めればよいので、

$$q = 3(\text{tips}) \times 2(\text{rotors}) \times (1/2 \times hL \cdot DN) \dots\dots(3)$$

チップ部のせん断速度容積を全混練物の流量 Q で除した値が平均チップ通過回数 N となるので、

$$N = q/Q \dots\dots\dots(4)$$

混練押出機内では、せん断回数分布や滞留時間分布が存在し、せん断回数分布はポアソン分布であると仮定して¹²⁾次式で表される(図11)。

$$f_n = \left(\frac{n^N}{N!}\right) \cdot \exp(-n) \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 f_n : 体積分率

n : チップ通過回数

N : 平均チップ通過回数

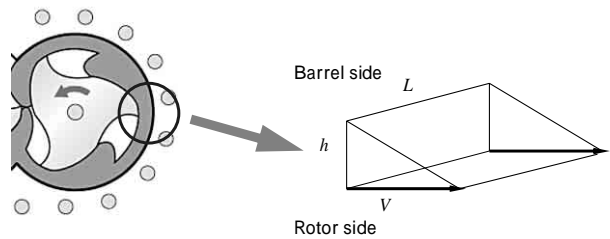


図10 チップ通過量の計算

Fig.10 Calculation of passage number through rotor tip

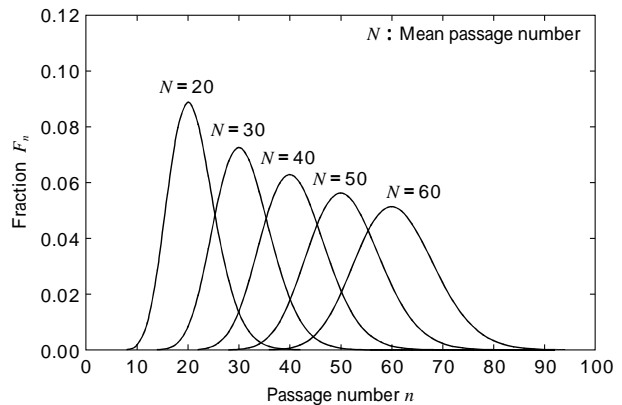


図11 平均せん断回数と実際のせん断回数分布

Fig.11 Distribution of mean passage number and actual passage number

混練物がロータの回転によるせん断ひずみで微細化していく過程を考える上で様々なモデルが提唱されているが、ここでは1回の臨界せん断ひずみによって、ドメイン相は1/2の容積、すなわち半分に分裂すると仮定する。 n 回の臨界せん断ひずみによってドメイン相の直径 d_n は、下記となる。

$$d_n = d_0 \cdot \left(\frac{1}{2^n}\right)^{1/3} \dots\dots\dots(6)$$

ここで、 d_0 : 当初のドメイン相直径

当初の直径が1.0mmであるドメイン相が1.0 μ mサイズとなるためには、式(6)よりおよそ30回の臨界せん断ひずみを与える必要がある。さらに前述のせん断回数分布の考えを用いると、体積分率90%以上の混練物が30回以上の臨界せん断ひずみを受けるためには、平均チップ通過回数は50回以上であることが必要条件となることが図11より予想できる。

これをもとに、当社の連続混練機 LCM450 におけるチップ通過回数を計算してみると表2のようになる。いずれの条件においても、50回以上の平均チップ通過回数確保されていることが分る。

マトリックスポリマー相のせん断応力と分散ポリマー相(ドメイン相)の粒子径 d の関係は、Weber数と呼ばれる次式で表される。

$$We = \frac{F_m}{F_d} = \frac{\sigma_m \cdot d}{\sigma} = \frac{\sigma \cdot d}{\sigma} \dots\dots\dots(7)$$

ここで、 F_m : マトリックス相ポリマーのせん断応力

F_d : ドメイン相ポリマーの凝集力

σ_m : マトリックス相ポリマーの粘度

σ : 2ポリマー間の界面張力

マトリックス相のせん断応力がドメイン相の凝集力を

表2 連続混練機 LCM450 の平均チップ通過回数計算値

Table 2 Calculated mean passage number for continuous mixer LCM450

Production rate (t/h)	Q (cm ³ /s)	Rotor speed (rpm)	q (cm ³ /s)	Mean passage number N
30	1.11E + 04	350	1.12E + 06	101.0
30	1.11E + 04	400	1.28E + 06	115.5
35	1.30E + 04	350	1.12E + 06	86.6
35	1.30E + 04	400	1.28E + 06	99.0
40	1.48E + 04	350	1.12E + 06	75.8
40	1.48E + 04	400	1.28E + 06	86.6
45	1.67E + 04	400	1.28E + 06	77.0
45	1.67E + 04	450	1.44E + 06	86.6

表3 連続混練機 LCM450 の We 数計算値

Table 3 Calculated Weber number for continuous mixer LCM450

Rotor speed (rpm)	(1/s)	(dyn/cm ²)	d (μm)	We
400	530.3	2.57E + 06	1,000	> 1
400	530.3	2.57E + 06	100	> 1
400	530.3	2.57E + 06	10	> 1
400	530.3	2.57E + 06	1	> 1
400	530.3	2.57E + 06	0.1	< 1

上回れば、すなわち、 F_m/F_d で表される Weber 数が1以上になれば、ドメイン相は壊れてその粒子径は小さくなっていく。ただし、式(7)からも分かるように粒子径 d が小さくなればなるほど Weber 数は大きくなりにくいので、分散は難しくなる。

連続混練機 LCM450 における臨界せん断応力の計算を行った結果を表3に示す。ドメイン相直径 d が1.0 μm となっても Weber 数はまだ1以上であることから、この分散相は1.0 μm 以下にできることが分る。

3.2 二軸押出機による impact co-polymer PP 中のエラストマ成分の分散

二軸押出機では、例えば自動車部品向けなど射出用途に用いられる PP の分野において、生産性向上の観点から成型サイクルを短縮化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。

前者の例では、低粘度のマトリックス PP 相に少量の高粘度のゴム成分を分散させたいというニーズがある。マトリックス相であるホモポリプロピレン相は溶融して高温になると一気に粘度が低下するため、ゴム成分を十分に分散させるためには、樹脂の溶融部分をできるだけ低温に保ち、ゴム成分に十分な応力が反復して加わるようにすることが肝要である。

ロータのチップクリアランスを周方向及び軸方向に変化させる技術を Various Clearance Mixing Technology (以下、VCMT という)と呼び¹³⁻¹⁵⁾、この特殊なロータ

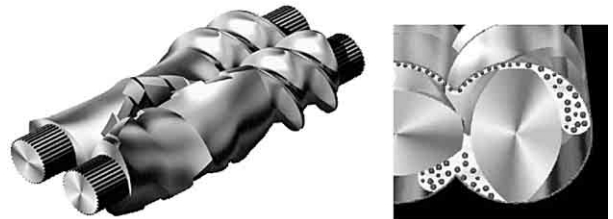


図12 VCMT 技術を応用したスクリュ構成の一例
Fig.12 Example of screw configuration using VCMT

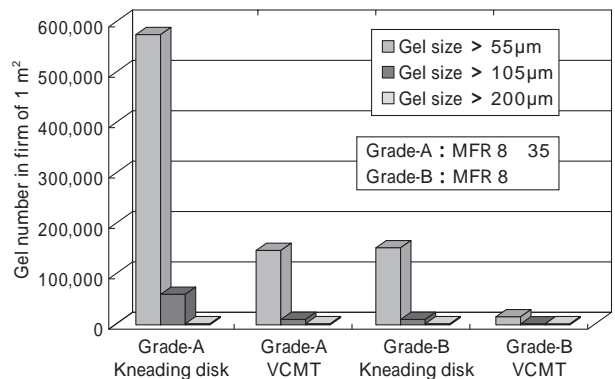


図13 PP のゲルレベルの比較
Fig.13 Comparison of firm gel level in PP

技術を応用した独自のスクリュ構成(図12)を用いることで、block-copolymer あるいは impact-copolymer などの特殊な PP 中のエラストマ成分を高度なレベルで分散させることが可能であることが分り、その高分散性能が評価されている。二軸押出機の小型実験機においてニーディングディスクと VCMT を使用し PP を混練した場合の、成形フィルムの未分散ゴム粒子数の比較を図13に示した。

4. 混練押出機に対するニーズとその対応

ポリオレフィン用混練造粒装置は、PE、PP 製造プラントの市場動向、開発動向を受けて変化、進化が求められる。PE、PP 製造プロセスのライセンスによるプロセスの改良、新しい樹脂の開発に加え、近年はプラントの高生産量化による生産性向上への動きが顕著である。これに応じた混練押出機に対する市場の要求を以下に述べる。

4.1 高生産量化

汎用ポリオレフィンのプラントでは、競争力強化のための大量生産による生産コスト低減志向と、近年の触媒

技術の進展の結果、プラントの生産能力は年々増大している。これに伴い、混練造粒装置の高能力化が求められている。この10年のうちに混練造粒装置に要求される能力は著しく増え、今では毎時60~70トンの生産能力を要求されている。さらには毎時80トンを超すプラントも現れており、混練押出機には20MW級の大容量のモータを搭載することになる。

このような高生産量の混練押出機を設計するには、2.3節で述べたように機械トルクやロータ、スクリュの回転速度を上げて混練押出機の吐出量を上げるか、機械サイズ(口径)を上げ大型機を目指すことになる。大サイズの混練押出機は、設計のみならず高度な製造技術が必要となる。また混練押出機の下流のギャポンプ、造粒機等の設備の能力も同様に上げなければならない。今後ますます混練造粒装置の要求生産量は増えていくであろう。

4.2 多様化する樹脂、新しい樹脂開発への対応

最近の樹脂製造プロセスでは、幅広い範囲の粘度の樹脂をリアクタで製造できるものがあり、同じプラント内の混練押出機はその混練に対応しなければならない。このような場合、2.5節で紹介した混練度調整機構が有効である。例えば、連続混練機のゲート装置による混練度調整機構を使えば、同一のロータ形状で異なる粘度、成分の樹脂を混練できる。混練押出機の混練度調整範囲は広ければ広いほど様々な樹脂グレードに対応できるというメリットが生かされる。

また汎用ポリオレフィンといえども特殊なグレードが次々と開発されており、それに対応した形状のロータ、スクリュを開発する努力も日々必要であろう。小型の実験機を使用した混練性能実験と同時に、最適なロータ、スクリュ形状の設計を支援するための精度よい混練シミュレーション技術の進展も望まれる。

4.3 生産性の向上

生産効率を上げるためには、生産量を上げるだけでなく、装置の稼働時間を延ばし、停止時間(ダウンタイム)を最小限にすることが効果的である。いうまでもなく混練造粒装置には、安定して運転できる高い機械的信頼性が必要となる。混練押出機の軸受やシール部品、造粒機のナイフ、ダイプレートなどは常に長寿命化が求められ、プラントの生産量が大きくなるに従い、保守、交換時間の短縮による生産性向上が要求されている。

混練押出機は10MWを超える動力を消費して年間を通し連続運転しており、その消費動力の低減は省エネルギーに大きく影響する。混練押出機の消費エネルギー低減に最も効果があるのは、混練樹脂温度を下げる低温混練運転であるが、これを考慮に入れた装置の設計、例えば

ロータ、スクリュのデザインや混練度調整機構がポイントとなる。今後、環境面からも、低エネルギー混練押出機のニーズはますます高まると思われる。

また、プラント稼働の省力化についても強い要望があり、混練造粒装置の起動、停止、運転操作、運転監視における省力化、自動化が進んでいる。分散制御システム(DCS)による混練造粒装置の遠隔操作、監視や、自動シーケンスによる起動、停止などは既に多くのユーザで採用されているが、起動時の排出樹脂の処理など人手で行う作業をいかに省力化、自動化していくかは今後の課題である。

むすび=連続混練機や二軸押出機が現在のような形となって実用化されてから、既に約40年を経ている¹⁶⁾。基本的な機械構造は変わっていないが、その度々の市場の要求により様々な開発、改良がなされてきた。特に生産能力は1970年代に比べると約6~8倍に増大しており、これは大きな技術進歩といえる。混練押出機に要求される技術の質は確実に高くなっているが、4章で述べたニーズに適合させ、顧客の満足する装置を提供するために、今後も混練押出機の改良、最適化を続けていかなければならない。

参考文献

- 1) 金子勇雄: プラスチックス, Vol. 59, No.1 (2008) p.18.
- 2) 井上公雄ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.32, No.1(1982) p.77.
- 3) Klemens Kohlgruber: Co-Rotating Twin-Screw Extruders, (2007), Carl Hanser Publishers.
- 4) 井上公雄: 混練・分散の基礎と先端的应用技術, (2003) p.177, テクノシステム.
- 5) 井上公雄: MATERIAL STAGE, Vol.1, No.5 (2001) p.79.
- 6) 林田建世: 押出機スクリュの混練機能向上と混練理論講座, p.50, p.77, 日本プラスチック加工技術協会.
- 7) 船津和守編: 高分子・複合材料の成形加工, (1992) p.202, 信山社サイテック.
- 8) 村上健吉: 押出成形, (1985) p.25, p.184, プラスチックス・エージ.
- 9) 特許: 第002638258号.
- 10) 特許: 第003706288号.
- 11) Y. Kuroda: Polyethylene Conference PE2003, Zurich, Switzerland, Session 6a 3-1 (2003).
- 12) Z. Tadmor: Mixing and compounding polymers, Chapter 5, (1993) p.149.
- 13) 井上公雄: 成形加工, 第16巻, 第8号 (2004) p.512.
- 14) 井上公雄: 導電性フィラーの新しい混練・分散技術とその不良対策, (2004) pp.47-51, 技術情報協会.
- 15) 井上公雄: 青木固賞 受賞記念講演, 成形加工学会予稿集 (2004).
- 16) James L. White: Twin Screw Extrusion, p.84, p.209, (1991) Carl Hanser Publishers.