

●近未来を切り拓くシーティーイーの次世代技術

複合樹脂コンパウンド用特殊二軸押出機 HTM型の特徴と応用技術

目 次

1. HTM型二軸押出機の概要・開発目的と特徴	1
1.1 HTM型二軸押出機の概要	1
1.2 HTM型二軸押出機の開発目的	2
1.3 HTM型二軸押出機の特徴	2
1.3.1 高混練性	3
1.3.2 熔融樹脂の低温コントロール化と高吐出化	4
1.3.3 フィードネック現象	5
1.3.4 樹脂流量調整バルブ	5
1.3.5 ギアボックスの強度	6
2. HTM型二軸押出機の応用技術	6
2.1 PP/木粉の無乾燥コンパウンド装置	6
2.2 その他の装置	6
(1) 自動車用高ファイラーマスターバッチ	6
(2) 電線用ノンハロゲン難燃コンパウンド	7
(3) 硬質PVC/木粉コンパウンド	7
(4) 硬質PVCと高配合無機ファイラー	7

複合樹脂コンパウンド用特殊二軸押出機 HTM型の特徴と応用技術

伊藤 康文*

はじめに

近年の日本におけるプラスチックコンパウンドの現況は、正に現日本経済の縮図の感がある。バブル期崩壊以前は量的にもコスト面からも右肩上がりの成長をしてきたが、バブル崩壊以降は家電製品をはじめとする多くの労働集約型製造業各社は、中国をはじめ東南アジア諸国へその製造拠点をシフトしてきた。その結果、かなりの数量のプラスチックコンパウンドもそれらの諸国にシフトされていった。

現在の日本におけるプラスチックコンパウンドは、自動車用コンパウンドなどに代表される高い技術を要求される複合コンパウンド（ハイフローPP/微粒タルク/エラストマー）などのはか、電線用ノンハロゲン難燃コンパウンド（PP、PE、EVAなどの樹脂に水酸化マグネシウムなどが重量比50～70%くらい配合されたもの）などがある。また、エコロジー対応型リサイクル絡みのコンパウンド、特に建材など加工時及びスクラップされた家屋などから発生する廃木材などを木粉に加工し、それらをプラスチック（PP、PVC、PSなど）と複合コンパウンド化して新建材などに再生利用するエコロジー型のコンパウンド事業などは、まだ成長の見込め

る大きな市場として存在している。しかし、それら高い技術を要求される複合コンパウンドにおいて、従来型二軸押出機（同方向回転/深溝/噛合い式スクリュ）ではうまく解決できない機械的な問題点が幾つかある。

代表的事例として、

- ①投入複合原料の押出機への均一な食い込みの不良（フィードネック現象）
 - ②複合材料の高混練保持と樹脂温度の低温コントロール化の実現
 - ③熔融粘度及び熔融温度の違う複合材料の高混練・高分散化
 - ④ベント部からの水分、発生ガスなどの十分な脱気効果
 - ⑤経済的かつ採算ベースに見合う高生産性（高押出量）の確保
- 等々の問題点である。

本稿では、それら問題点に十分に対応できる（株）シーティーイーの最新型の高混練HTM型二軸押出機の特徴と応用技術について記述する。

1. HTM型二軸押出機の概要・開発目的と特徴

1.1 HTM型二軸押出機の概要

HTM型二軸押出機は従来型の二軸押出機と比較して、図1に示すように非常にユニークな構造を有している。

HTM型二軸押出機と従来型二軸押出機の機械的構造の違いを幾つか提示する。

- 1) 本機は、2本のスクリュ長が同じ長さではなく長軸スクリュと短軸スクリュの組合せになっており、二軸スクリュ部の先が単軸スクリュ部になっている。

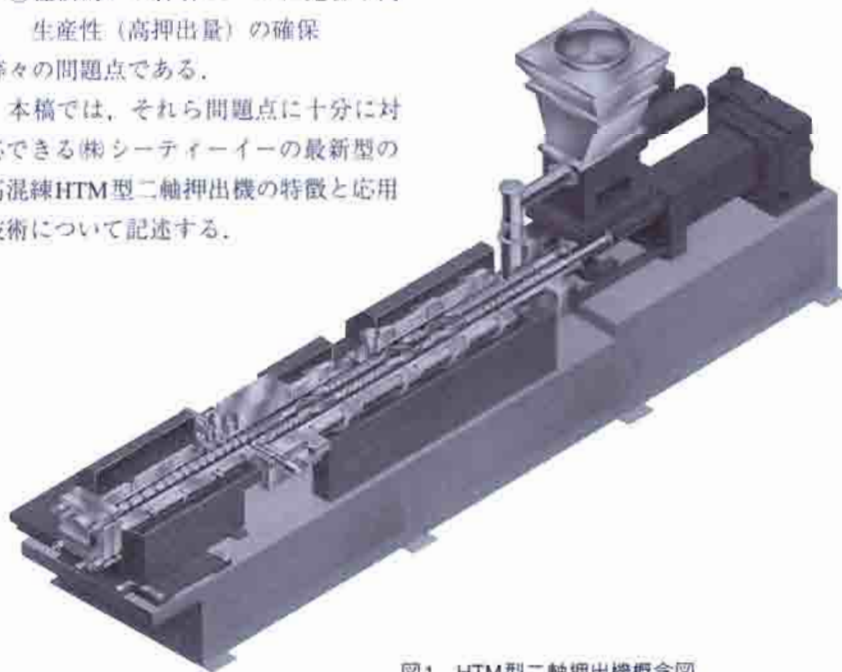


図1 HTM型二軸押出機概念図

* Yasuhumi Ito
（株）シーティーイー
Tel. 03-3351-6500
Fax. 03-3351-6512

表1 HTM型二軸押出機的主要仕様

項目	単位	HTM-38	HTM-50	HTM-65	HTM-78	HTM-90
スクリュ径	mm	38	50	65	78	90
スクリュL/D	—	42:1~60:1	42:1~60:1	42:1~60:1	42:1~60:1	42:1~60:1
スクリュ回転数	rpm	800~1,200	800~1,200	700~1,200	700~1,000	600~900
モータ容量	kW	37~75	75~150	135~300	200~450	250~600

- 2) スクリュ構造は従来型二軸機と同様なスクリュシャフトとセグメントスクリュの組合せ方式である。
- 3) スクリュ回転は非噛合い内回り異方向回転である。
- 4) 2本のスクリュ外形は数mm（スクリュサイズにより異なる）離れている（後述図3参照）。
- 5) スクリュニーディング部には連続多列式ロータを左右対称に配している。
- 6) スクリュ回転数は、スタンダード型では長軸：~800rpm（MAX）、高速型では長軸：~1,200rpm（MAX）
- 7) 長軸スクリュと短軸スクリュは回転数に差を設けている。短軸スクリュのほうが約10%ほど回転数を高くしている。
- 8) 二軸スクリュ最終部に溶融樹脂の通過規制可能な流量調整バルブを設けている。
- 9) ギアボックスの強度が大きく、構造がシンプルである。

表1にHTM型二軸押出機のスクリュ径と主要仕様を示す。

1.2 HTM型二軸押出機の開発目的

当社では多くの多軸押出機のなかからそれらの押出機の技術的特性を比較検討し、新型二軸押出機の開発ターゲットを決めた。

複合コンパウンドに関し、高性能でありながら高い汎用性を持った従来型二軸押出機と、汎用性には問題があるが高混練性を持ったタンデム式連続ミ

キサタイプ押出機を比較検討し、その長所・短所を精査し、短所は改良し長所は更に伸ばしていくことを目標にHTM型二軸押出機を開発を行った。

複合コンパウンドの場合、混練性のみから考察すると、タンデム式連続ミキサタイプ押出機、更に遡ればバッチ式バンパリーミキサにいきつくわけであるが、従来型二軸押出機と比較した場合、それらバンパリータイプ混練機のほうがより高い混練性能を有していることは衆目一致するところである。

しかし、実際のコンパウンド生産にあたり、バッチ式バンパリーミキサは同一ロットを大量に生産するのであれば問題は少ないが、少量多品種しかもカラーを含む複合コンパウンドには不向きである。また、タンデム式連続ミキサも二軸ミキサ部のL/Dが短く、可塑化能力が低く、かつタンデム式のため押出機が2台必要であり、装置価格、機掃性、エネルギー効率など、幾つかの問題点を抱えている。

それらの混練機に対し従来型二軸押出機は、日本はもちろん世界的に見てもその普及率は群を抜いている。

構造的にも2本の深溝スクリュが噛合い、同方向に回転するもので、フィードゾーンを通過した原料はニーディングゾーンに送られニーディングディスクにより溶融、圧縮、混合されオープンメントにより脱気され、更に二次混練を経て強制脱気され、ダイヘッドより押出される。その構造は高度に完成されている。スクリュのセグメント化も最も早くから採用され、様々な複合コンパウンドに対応することができる。スクリュは同方向回転のため、ス

クリュ間のニップ作用がないのでスクリュの高速化ができ、高混練、高吐出化が可能である。用途的にもファイラー、GF、難燃剤、ポリマーブレンドなどのコンパウンドからリアクティブプロセッシングまで、かなり広範囲に対応できる。

そこで当社は、前述したタンデム式連続ミキサの長所と従来型二軸押出機の長所を取入れるという大胆な発想で、特殊二軸押出機HTM型を開発を行ったわけである。

1.3 HTM型二軸押出機の特徴

以上に述べた考えを具現化し、それらを実際に装置化するには様々な問題があった。このような二軸機をコンパウンド目的に用いる発想は他にあまり類を見ないため、従来の経験があまり役に立たず、また、押出機専門書などにも参考になる事例がほとんどなかったためでもある。

機械的には、特に二軸部から単軸部へ溶融樹脂をいかに移動させるか、連続のニーディングロータをいかに組合せるか、ロータの形状は如何するのか、ギアボックス設計時、2本のスクリュのトルクはどのくらいの比率なのか等々、様々な問題点があった。しかし、それらを一つ一つ解決していった結果として、タンデム式二軸連続ミキサの二軸部と単軸押出機部を同軸にドッキングした構造になった。

その主要機械的特徴を、図2の構造概念図として示す。

以下に、幾つかの特徴を紹介する。

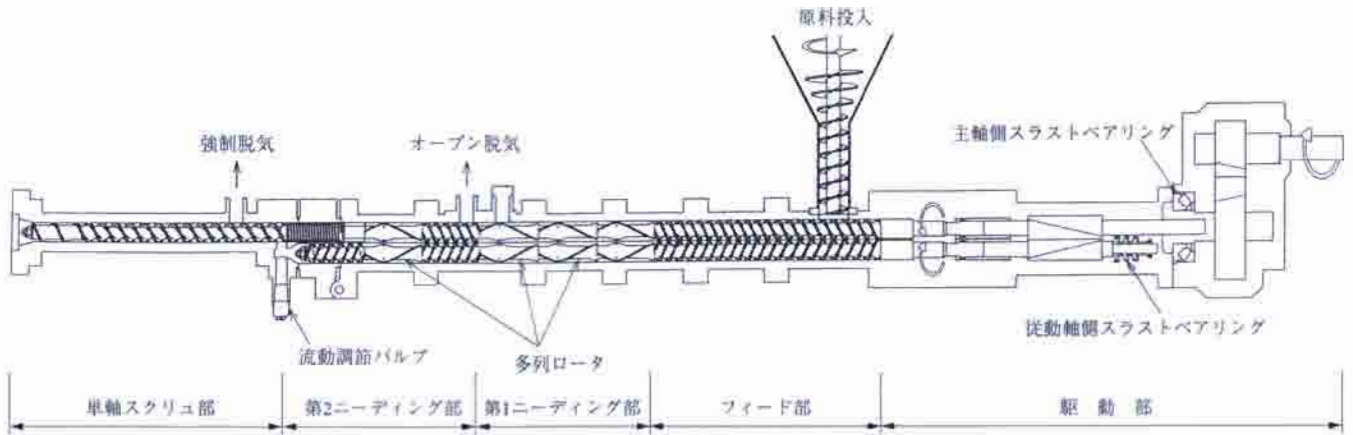


図2 HTM型二軸押出機の構造概念図

1.3.1 高混練性

(1) せん断力の比較

従来型二軸機のニーディングディスクとHTM型二軸押出機のニーディングロータのせん断力を比較すると、本機の高い混練性は、熔融原料を高回転するニーディングロータのフライトとシリンダ内面で連続的に圧縮、播潰し、開放するバンバリー型せん断にある。一方、従来型二軸押出機の混練は、熔融原料を高圧縮をかけながら2軸スクリュの噛合った互いのニーディングディスク間でのせん断によるものである。

(2) 混練度の比較

従来型二軸押出機の場合、前述したように樹脂の熔融混練は主にニーディングディスクで行うが、仮にスクリュデザイン設定が悪く樹脂がフルフライト部で溶融が開始されるとフィラーなどの分散不良となりやすい。よってここでは、従来型二軸押出機のニーディングディスク（図3）とHTM型二軸押出機のニーディングロータ（図4）のみで比較する。

混練度合については、その指標であるせん断速度で比較する。

a. 従来型二軸押出機の場合

樹脂のせん断の場としては、スクリュ同士のニップなども考えられるが、大半の樹脂が均等にかかる場合は、図3の溝深さ H_1 及びニーディングディスク

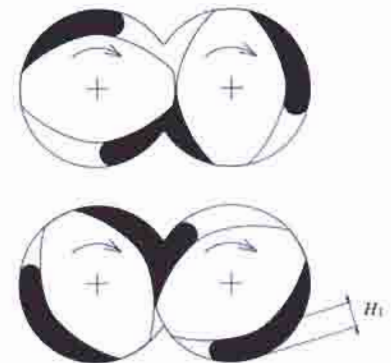
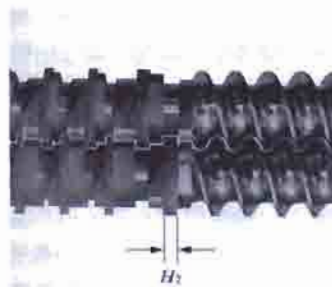


図3 従来型二軸押出機のニーディング部

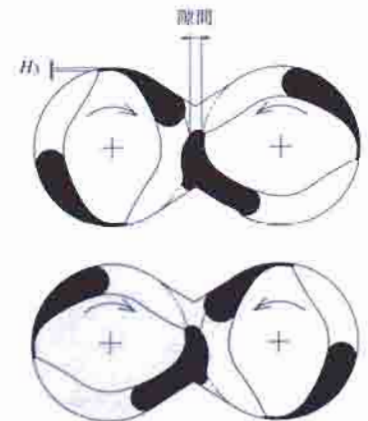
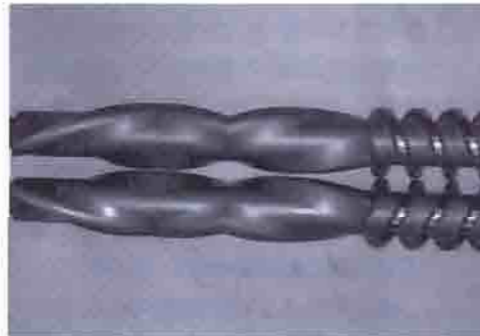


図4 HTM型二軸押出機のロータ部

の厚み H_2 である。

せん断速度は、[速度（スクリュ回転数）÷溝深さ]であり、同じ速度であれば溝は浅いほど高せん断となる。 H_1 は二軸スクリュの噛合い率で決まるので、従来型二軸押出機は近年の高吐

出化に伴いスクリュが深溝化してきたため、この箇所での高せん断は期待できない。

H_2 は機械強度が許す限り薄くすることかでき、高せん断が期待できる。

従って従来型二軸機の最高せん断速

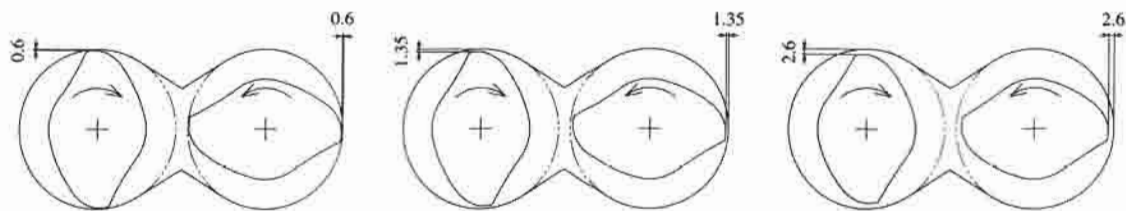


図5 チップクリアランスの違うロータ

度は

$$\gamma = 2 \times V/H_2$$

となる。

注) 速度を2倍としたのは噛合い部では流れの方向が逆になるため。

b. HTM型二軸押出機の場合

樹脂はすべて図4のニーディングロータのチップクリアランス H_3 を通過し、均等に混練される。 H_3 は機械強度に関係なく小さくすることができるため、高せん断化を容易に行うことが可能である。

従ってHTM型二軸押出機の最高せん断速度は

$$\gamma = V/H_3$$

となる。

c. 2機種と比較検討

H_2 については、生産機ベースで考えると5mm程度が妥当と思われる。これ以上薄くするとディスクの破損が心配される。

従来型二軸機の最高せん断速度の式に当てはめると

$$\gamma = 2 \times V/5 = 0.4V$$

となる。

一方、 H_3 は理論上は限りなく小さくできるが、せん断のかけすぎによる樹脂の劣化/発熱などを考え、当社は経験的に最小値は0.5mmとしている。

従ってHTM型二軸押出機の最高せん断速度は

$$\gamma = V/0.5 = 2V$$

となる。

それは実に、従来型二軸機のほぼ5倍のせん断速度となる。

以上のように、スクリュのせん断力から判断すると大きな差があることが

分かる。

更にHTM型二軸押出機は様々な複合材に対応できるように、せん断力を任意に設定できるチップクリアランスの違うニーディングロータをいくつか取揃えて、これらのロータを連続的に組合せることにより高品質の複合コンパウンドができるようになった。

図5にチップクリアランスの違うニーディングロータを示す。

基本的にこれらロータは、3個一組(送り/送り/戻し)で連続的に組合せ、第1ニーディング部に左右対称3組、その後オープンベントの後、第2ニーディング部に一組の組合せを基本としている(図2参照、場合により第1~第2ニーディングまでオールロータも可能)。

1.3.2 熔融樹脂の低温コントロール化と高吐出化

(1) 樹脂低温コントロール化

二軸押出機は近年、高トルク化、高回転化により小型機での高吐出が可能になってきた。その反面、高回転化に伴い樹脂温の低温コントロール化が難しくなってきた。

HTM型二軸押出機と従来型二軸押出機の樹脂温度(ダイヘッド部)を比較してみると、押出機の設定条件(スクリュ径、回転数、吐出量など)を同様にした場合、前者のほうが約10~20℃くらいの低温化が可能である。これはすべてのコンパウンドにあてはまるわけではないが、当社ユーザーから同様な評価を多く得ている。

その主な理由としては次の事項が考

えられる。

a. 従来型二軸押出機の場合

1) ニーディング部での発熱……高速運転時において投入された原料は、フィード部よりニーディング部へ送られ溶融・混合されるが、ニーディングディスク数が多く、かつ高速・高圧縮状態のまま連続的に高いせん断がかかるため発熱が大きい。

2) ヘッド部での発熱……溶融・混合され強制脱気された原料は、それ以上混練する必要がないにもかかわらず、ヘッド部まで二軸になっているためヘッド部で圧がかかり、充満した溶融原料が再度、二軸高速状態で混練してしまうため発熱が大きい。

その他の要因も考えられるが、以上の要因が大きいと考えられる。

b. HTM型二軸押出機の場合

1) ニーディング部での発熱……従来機と同様に高速運転時において投入された原料は、フィード部よりニーディング部へ送られ溶融・混合されるが、ニーディングがロータで行われるためロータの構造上、せん断力は大きいがせん断時間がごく短い。更に圧縮の次は解放作用と繰返されるために発熱が少ない。また、溶融粘度の高い原料の時は、ロータチップクリアランスの大きなロータを組込むことでも発熱が少なくなる。

2) ヘッド部での発熱……溶融・混合され強制脱気された原料は、二軸部より流量調整バルブを通過し単軸押出機へ送られる。ヘッド部で圧がかかり充満した溶融原料でも、ヘッド部が単軸のため発熱が少ない。

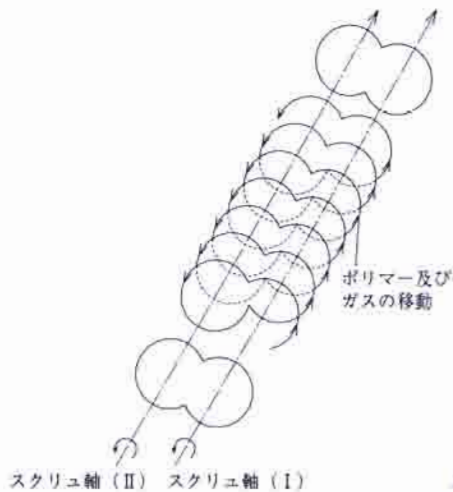


図6 従来型二軸押出機の樹脂及びガスの移動

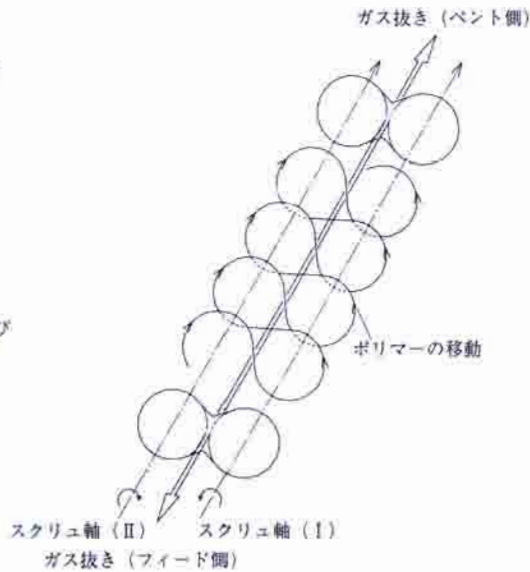


図7 HTM型二軸押出機の樹脂及びガスの移動

以上の理由により、本機は溶融樹脂の低温コントロール化が可能である。

(2) 高吐出化

一般的に二軸押出機で運転を行う場合、高速運転を行うとスクリュデザインを組替えてもそれに比例して樹脂温度は上がるはずである。しかし上記の理由により本機は、高速運転においても低溶融粘度から高溶融粘度樹脂まで低温コントロール化が大きく改良されているため、樹脂の劣化が少なく、物性低下が抑えられる傾向にある。

それらの理由により本機は、様々な複合コンパウンドにおいて高速運転/高吐出化が可能であると言える。

1.3.3 フィードネック現象

冒頭に、我が国でこれからもある程度の市場が期待できる複合コンパウンドとしては、高い技術が必要な自動車用、電線用、エコロジー用などがあると述べた。

これらコンパウンドは、その配合比においてフィラーリッチ傾向にあり、更にフィラー粒子が微粒である場合が多い。フィラーが微粒になればなるほど含有空気や水分が増え、樹脂に対して空気が断熱層となって、ヒータ加熱

やスクリュ回転による負荷がかかりにくくなり、樹脂が溶融しにくくなる。従来型二軸機にてそれらを加工する場合、2本のスクリュは互いに噛合っており、その溝は連続している。そのため樹脂及び空気はその溝に沿ってのみ移動する。

図6に、従来型二軸押出機の樹脂及びガスの移動を示す。

樹脂と一緒にフィードされた多くの空気を抱え込んだ微粒フィラーは、樹脂の溶融過程において空気、ガスなどが絞り出され、この溝に沿ってフィード側へ戻ろうとするが、その分量が多いため、供給しようとする原料を押し戻す作用をする、それがフィードネック現象として現れるわけである。

また、微粒木粉の高充てんコンパウンドなどでは含有空気のほか、含有水分が非常に多いため、更にコンパウンドが困難になる。

それらフィードネックしやすい原料の加工時、生産量を上げようとしてスクリュ回転数を上げて食いつままないため、更に樹脂温を上げてしまう結果となり、木粉の焼け、変色などが発生する。

それらの問題点に対して、本機は次

のような優位点を持っている。

1) 2本のスクリュは非噛合いで、スクリュ間に一定の間隔を設けている(図4参照)。

2) 投入された樹脂はスクリュの溝に沿って先へ送られ、それに対しガス、空気などはスクリュの隙間を通してフィード側及びベント側に逃げる。

図7に、HTM型二軸押出機の樹脂及びガスの移動を示す。

投入された樹脂の溶融過程において発生するガスとフィラーなどとともに運ばれてきた空気は、スクリュ間の隙間をショートパスしてフィード側及びベント側に逃げるため、原料の食い込み低下が少なく、微粉フィラ

ー高充てんコンパウンドには適していると考えられる。HTM型二軸押出機のような非噛合いスクリュの機械的構造は、深溝噛合い式の二軸機に比べ、空気、ガスなどを無理にフィードすることなくスクリュの隙間から逃がすという大きな特徴を有している。そのために、高い技術が必要な自動車用、電線用、エコロジー用などの複合コンパウンドには最適な二軸機と言える。

1.3.4 樹脂流量調整バルブ

二軸スクリュ最終部に溶融樹脂の通過規制可能な流量調整バルブを設けていることは既に「装置概要」で述べたが、ここでは本バルブの使用用途を紹介する。

主な用途としては、二軸部での溶融樹脂の充満率が低下し、サージ現象が発生した場合に、バルブを締込み溶融樹脂の通過を規制して充満率を安定化することによってサージ現象を改善することが挙げられる。

その他の重要な特徴としては、二軸機にて反応を伴う動的架橋などを行う場合、バルブを締込むことにより二軸シリンダ内に溶融樹脂を長時間滞留させることができるほか、滞留時間を任

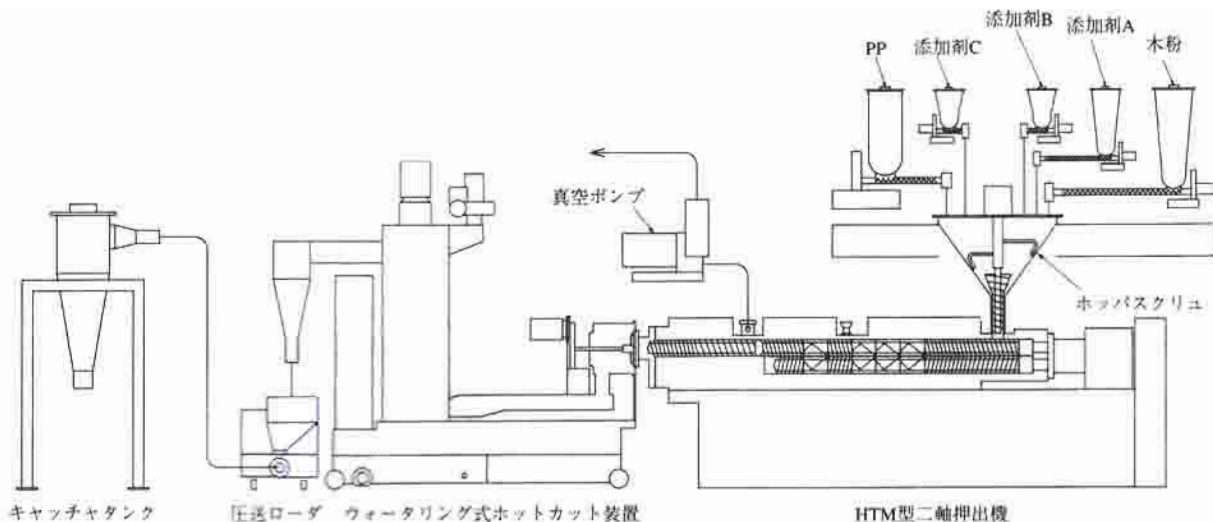


図8 PP/木粉コンパウンド

意にコントロールすることができる。更に、スクリュ間が離れているため、シリンダ内容積が従来機に比べて大きいので滞留ボリュームも大きくなる。つまり本機は、熔融樹脂に高混練をかけ、フィラーなどを十分練込みながらかつ熔融樹脂を長時間滞留させるという、押出機の機能としては相反する押出が可能である。

実績では、50mm径スクリュを使用し、回転数300rpmにてバルブを絞り込み、3～7分間任意に樹脂を滞留させることができる。

1.3.5 ギアボックスの強度

本機のギアボックスは、スクリュスラスト荷重から見ると機械構造上、長軸スクリュのみがダイヘッドの背圧を受けている。そのため長軸スクリュのスラスト受けは単軸押出機と同様な構造となり、大きなスラストベアリングを使用できる。

つまり、単軸押出機と同様、シンプルなギアボックスで大きなヘッド圧を受けることができるため、強いヘッド圧にも対応ができ強度も大きくできる。

本機は、ギアポンプなしでT-ダイを直接取付け、シートのダイレクト押出も簡単にできる。

2. HTM型二軸押出機の応用技術

前述した特徴を生かした自動車用、電線難燃用、エコロジー用など多くの応用技術がある。

これらのコンパウンドが難しいと言われる理由として、①押出機に食い込みづらい高配合微粒フィラー、②スクリュに絡み付きやすい高配合水酸化マグネシウム、③食い込みづらくかつ大量の水分、ガスが発生する高配合木粉、などが挙げられる。

これらは本機にてコンパウンドを行う場合、装置的にも共通するレイアウトが多いので、代表的事例として「樹脂/木粉の無乾燥コンパウンド装置」について紹介する。

2.1 PP/木粉の無乾燥コンパウンド装置

PP/高配合木粉（重量比50～75%）における従来のコンパウンド方法では、木粉はPPとともに事前に加熱ミキサなどで乾燥するか、二軸押出機の中で事前に連続乾燥する方法がほとんどである。

それらに対して本機は、無乾燥木粉（平均含有水分4～10%）とPPをダイ

レクトに投入し、ペレット化することが十分に可能である。

木粉の事前乾燥が不要になることは、装置の大幅簡素化、建屋の小型化、省エネルギー化などをもたらし、装置コストはもちろんのこと、コンパウンド製造コストにおいても大きなコストダウンにつながる。

更に、木粉が焼けないため製品色が極めて良い（自然木に近い）。PP/木粉の建材用途では、「木粉が焼けない」ことが最も重要なファクターである。

図8にPP/木粉コンパウンドのレイアウトを示す。

2.2 その他の装置

本機は、高配合のフィラー（タルク、木粉：重量比50～80%）の無乾燥でのコンパウンドが可能であるため、図8とほぼ同じレイアウトで、自動車用高フィラーマスターバッチ及び電線用ノンハロゲン難燃コンパウンドなどが可能である。

(1) 自動車用高フィラーマスターバッチ

図8の木粉供給部を微粒タルクに置き換えると、自動車用PP/タルク（重量比50～80%）マスターバッチの製造ラインになる。

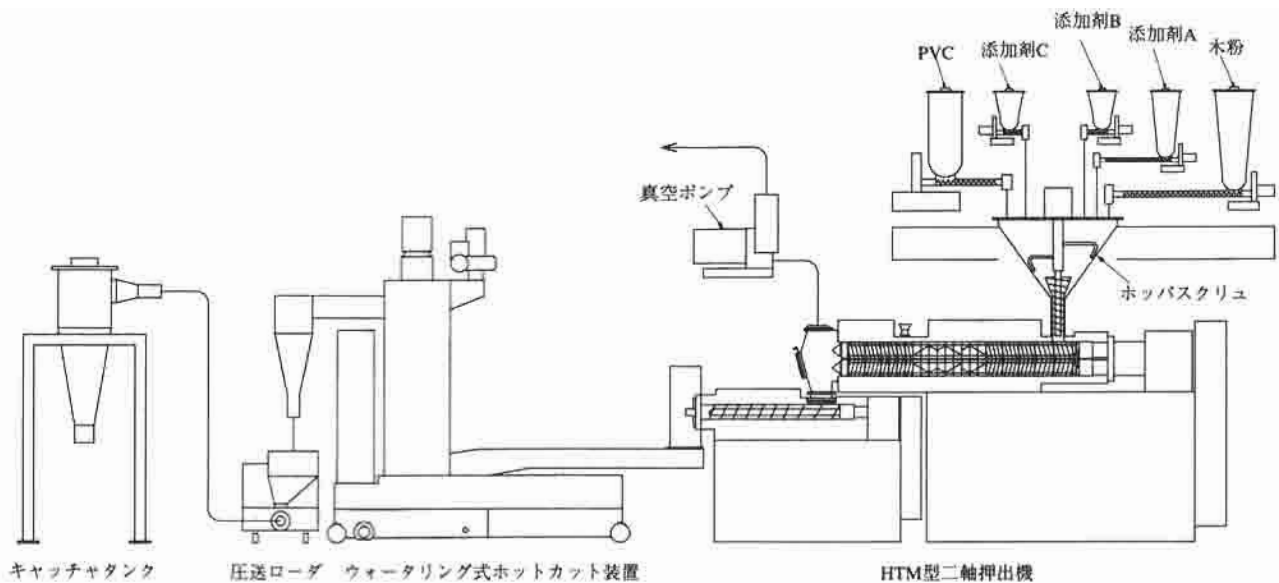


図9 PVC/木粉コンパウンド

(2) 電線用ノンハロゲン難燃コンパウンド

図8の木粉供給部を水酸化マグネシウムに置き換えると、電線難燃用コンパウンド（重量比40～75%）製造ラインになる。

これらは、シンプルなレイアウトであるが二軸押出機分野において非常に画期的な装置であると言える。

(3) 硬質PVC/木粉コンパウンド

コンパウンド用二軸押出機は大きく分類すると、汎用樹脂（エンブラも含む）用とPVC用に分けられる。PVC用二軸押出機は、スクリュL/Dが短く、深溝で回転数も低い。樹脂に高いせん断をかけずに、スクリュ先端数山で溶融押出する装置が一般的である。高せん断をかけるとPVCが分解するためである。

HTM型二軸押出機とは、機械構造も混練方法も正反対の装置である。しかし、本機の持っている樹脂の低温コントロール性を利用し、高せん断・高回転の二軸押出機で硬質PVC/木粉コンパウンドが可能になった。

図9にPVC/木粉コンパウンドのレイアウトを示す。

HTM型二軸押出機の二軸部にて硬質

表2 HTM型二軸押出機の複合材料別スクリュ回転数と吐出量

樹脂/フィラー	機種	スクリュ回転数 (rpm)	吐出量 (kg/hr)
PP+木粉 (60%)	HTM-65	200~300	300
PP+木粉 (60%)	HTM-78	200~300	450
PVC+木粉 (60%)	HTM-65	150~200	300
PVC+木粉 (60%)	HTM-78-140 タンデム	150~200	450
PVC+タルク (50%)		150~200	500
PE+Mg(OH) ₂ (65%)	HTM-65	300~400	400
EVA+Mg(OH) ₂ (50%)	HTM-78	300~400	900

注) Mg(OH)₂: 水酸化マグネシウム

PVCと無乾燥木粉を脱水・混練し、タンデム化して切り離された単軸部にて樹脂温を上げずに押出す二軸機である。

重量比50～80%木粉のコンパウンドが可能である。

(4) 硬質PVCと高配合無機フィラー

図9に示したレイアウトの木粉部を無機フィラーに置き換えると、高配合無機フィラーのPVCコンパウンド装置になる。

重量比40～70%無機フィラーのコンパウンドが可能である。

このことは正に、高速・高回転二軸押出機の常識を超えた高いポテンシャルを持った二軸押出機と言える。

これらコンパウンドにおけるHTM型二軸押出機と吐出量の関係を表2に示す。

おわりに

以上述べた(株)シーティーイー製HTM型二軸押出機の特徴と応用技術は、いずれも他に類を見ない斬新なものであるとともに、従来、二軸押出機では無理のあった分野（技術的、コスト的）への挑戦など、次世代型二軸機と言える。

なお、当社埼玉工場には50mm径テスト機を常設してユーザー各位のトライアルを受け付けている。

CTE 株式会社 シーティーイー

本 社 〒362-0032 埼玉県上尾市日の出3-4-5
TEL 048-778-0393 FAX 048-778-0394
東京事務所 〒160-0004 東京都新宿区四谷2-9 NK第7ビル7F
TEL 03-3351-6500 FAX 03-3351-6512

CTE Co., Ltd.

Headquarters 3-4-5 Hinode, Ageo-city, Saitama 362-0032, Japan
TEL 81-48-778-0393 FAX 81-48-778-0394
Tokyo Office 7F, NK 7th Bldg., 2-9, Yotsuya, Shinjuku-ku, Tokyo 160-0004, Japan
TEL 81-3-3351-6500 FAX 81-3-3351-6512

E-mail : Info@cte-japan.com www.cte-japan.com
