

二軸押出機 TEX[®] 用特殊混練スクリュ

Special Kneading Element for Twin Screw Extruder TEX[®]



森 雅之
Masayuki Mori



佐賀 大吾
Daigo Saga

要 旨

従来のニーディングディスク (KD) よりも優れた混練性能を有する特殊混練スクリュ“V ニーディング” (VKD) について、その性能評価を行った。性能検証試験として、PP とフィラーを用いた PP コンパウンドプロセスに適用し、VKD を用いたスクリュ形状の方が KD を用いたスクリュ形状よりも Esp (比エネルギー；単位押出量当たりの消費動力) が約 10 % 向上し、VKD の V 字型の山頂部の存在が樹脂に対する高せん断作用付与に有効であることが確認された。また、VKD を用いたスクリュでは、可塑化部の入口から可塑化開始点までの距離が KD を用いたスクリュ形状よりも最大で 50 % 短縮されており、VKD は樹脂の効率的な可塑化に対しても有効であることが確認された。

— Synopsis —

Performance of a special kneading screw, "V-Kneading Disk" (VKD), which has superior kneading performance to the conventional kneading disc (KD), has been evaluated. As a performance verification test, VKD was applied to a PP compounding process using PP and filler, found out that the screw configuration with VKD had about 10 % higher Esp (Specific energy input) than that with the KD, confirming that the V-shaped screw tip of the VKD is effective in providing high shear energy to polymer. In addition, the distance from the inlet of the plasticizing section to the initial melting point was up to 50 % shorter with VKD compared to KD, confirming that VKD is also effective for efficient melting of polymer.

1. 緒 言

持続可能な開発目標 (SDGs) が浸透した昨今、環境問題に対する関心が世界的に高まりを見せている。廃棄樹脂を適切に処分・再利用することが重要視され始めている中、地球環境への負荷が小さい廃棄樹脂の再利用の手法として、噛み合い型同方向二軸押出機を用いたメカニカルリサイクル (マテリアルリサイクル) やケミカルリサイクルに大きな期待が寄せられている。

二軸押出機は、セグメント化されたスクリュの外形およびその組み合わせを工夫することによって、これまで幅広

い分野において優れた混練性能と吐出性能を示してきた。昨今、押出機に求められる強い期待に応えるためには、従来のスクリュよりも様々な面で優れた混練性能を持つ特殊スクリュの開発が不可欠となっている。

メカニカルリサイクルは、廃棄樹脂を樹脂のまま原料として製品に再生する手法であり、ケミカルリサイクルは化学反応によって廃棄樹脂を低分子量化させて、その分解物を再利用する手法である。これらのリサイクルプロセスでは、多くの場合、廃棄樹脂は形・大きさが不均一な粉碎品であり、場合によっては複数種類の樹脂が混合されていることもある。そのため、これらのリサイクルプロセスにお

いて高い吐出量を得るには、廃棄樹脂を均一かつ効率的に可塑化することが必要である。また、ケミカルリサイクルでは、廃棄樹脂への熱エネルギーの付与が高い吐出量を得る上で重要である。

二軸押出機では、シリンダ外壁面に取り付けられた電気ヒーターを用いて、樹脂に熱エネルギーを加えることが可能である。これは、シリンダ内壁面を介して樹脂に熱伝達を行う外部加熱方式であり、樹脂の性状(粒子径、嵩密度、熱伝導率など)によって熱伝達効率が大きく変化する。そのため、性状が多様な廃棄樹脂を対象としたリサイクルプロセスでは、熱伝達によって十分な熱エネルギーを廃棄樹脂に加えることができないため、高い吐出量を得ることができない。また、二軸押出機のシリンダに装着可能な電気ヒーターの容量にはシリンダ外壁面の面積などの影響で限界があるため、ケミカルリサイクルでは吐出量の向上を図る上でボトルネックとなることがある。

一方、二軸押出機は、スクリュ回転によって樹脂に圧縮とせん断を加え、樹脂に熱エネルギーを加えることも可能である。これは樹脂に自己発熱を生じさせる内部加熱方式である。スクリュ回転は減速機を介してモーターよりもたらされるが、近年では二軸押出機の減速機・スクリュ軸の高剛性化が進んでいるため、高トルクおよび高動力モーターを採用することが可能となっている。これによって、二軸押出機の混練性能が向上するため、優れたエネルギー伝達を実現することができ、高い吐出性能が得られると期待される。

本報では、従来のニーディングディスク(KD)よりも優れた混練性能を有する特殊混練スクリュ“V ニーディング”(VKD)について、その性能評価を行ったので報告する。

2. VKD の特徴

図1にVKDとKDの三次元モデルを示す。KDは一般的に各ディスクの山頂部はスクリュ軸方向に平行に設計されるが、VKDの山頂部は順送り方向・逆送り方向にそれぞれ振じった2種類の形状を組み合わせたV字型となっている。

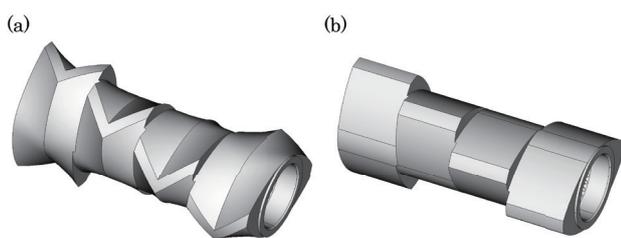


図1 (a)VKDと(b)KDの三次元モデル

図2にVKD内およびKD内における樹脂流動を示す。KDの場合、山頂部上を流動するよりも上流および下流のディスク間の隙間を流動する方が抵抗が小さいため、山頂部上を通過する樹脂量を確保しにくい。一方、VKDの場合、スクリュ回転で生じる樹脂の流れが山頂部によって堰き止められるため、山頂部手前に樹脂溜まりが形成される。この樹脂溜まり内に存在する樹脂は、上流および下流のディスク間の隙間を流動することがないため、山頂部上を通過せざるを得ない。その結果、VKDは、KDよりも高せん断作用を受けた樹脂の割合を高くすることができる期待される。

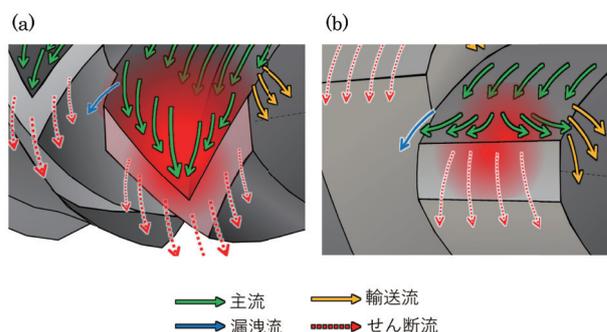


図2 (a)VKD内および(b)KD内における樹脂流動のイメージ

KDは、ディスクの枚数、ディスクの厚み、ディスクのずらし角度、ディスク外径(シリンダ内壁と山頂部のクリアランス)の調整によって混練作用を制御している。一方、VKD内での混練作用は、これらの形状因子に加え、山頂部のV字型を形成する2種類の振じり量(リード)およびL/D (L:スクリュ長、D:シリンダ内径)にも依存する。VKDにおける山頂部リードは、山頂部のV字型の開度に関わる形状因子であり、振じりリード(ピッチ)をシリンダ径で除して無次元化した値を用いる。山頂部リードが大きくなるほど山頂部のV字型の開度が大きくなることを意味する。(図3)

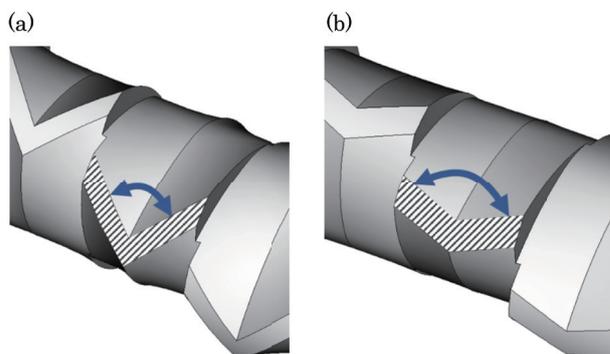


図3 山頂部リードが異なるVKDの三次元モデル
(a)山頂部リード：3D, (b)山頂部リード：8D

3. VKD の性能検証試験

3.1 試験材料

本開発では、VKD の性能検証試験として、PP とフィラーを用いた PP コンパウンドプロセスを採用することとした。マトリックス樹脂には PP (プライムポリマー社製 J709QG, MFR = 55 g/10 min) を用い、フィラーにはタルク (浅田製粉社製 JM209, 高密度 0.274 g/cc) を用いた。また、この検証試験ではタルクの添加量は押出量に対して 40 wt% とした。

3.2 試験方法

図 4 にこの性能検証試験で利用した試験装置の模式図を示す。この検証試験では、二軸押出機 (TEX44aⅢ, L/D = 52.5) を用い、PP およびタルクは 2 種類の重量式フィーダー (J-NX-T45) を用いてそれぞれ最上流のシリンダの投入口から供給した。また、図 5 にこの性能検証試験で使用したスクリュ形状を示す。山頂部リードが 3D および 8D である 2 種類の VKD、および VKD の比較対象である KD をそれぞれ可塑化部である比較混練部に導入し、その L/D は 12 とした。比較混練部以外のスクリュ形状は同一とした。山頂部リードが 8D の VKD を使用したスクリュをスクリュ 1、山頂部リードが 3D の VKD の場合をスクリュ 2、そして KD を使用した場合をスクリュ 3 と称することとした。

吐出量 100 kg/h、スクリュ回転数 200 rpm、シリンダ設定温度 230 °C の操作条件において、単位押出量当

りにモーターから樹脂に付与されるエネルギーを示す比エネルギー (Esp)、および二軸押出機内での可塑化開始点の観察から前記の 3 種のスクリュ形状の混練性能を評価した。なお、可塑化開始点の観察では、安定運転状態の二軸押出機内に少量の着色ペレット (越谷化成社製 9031P 汎用 MB) を投入し、その後、二軸押出機を停止して即座に可塑化部分のベントプラグを取り外すことで実施した。

3.3 試験結果

図 6 に 3 種のスクリュ形状をそれぞれ用いた場合の Esp を示す。リードに依らず、VKD を用いたスクリュ形状 (スクリュ 1、スクリュ 2) の方が KD を用いたスクリュ 3 よりも Esp が約 10 % 向上しており、VKD の V 字型の山頂部の存在が樹脂に対する高せん断作用付与に有効であることが確認された。また、VKD の山頂部

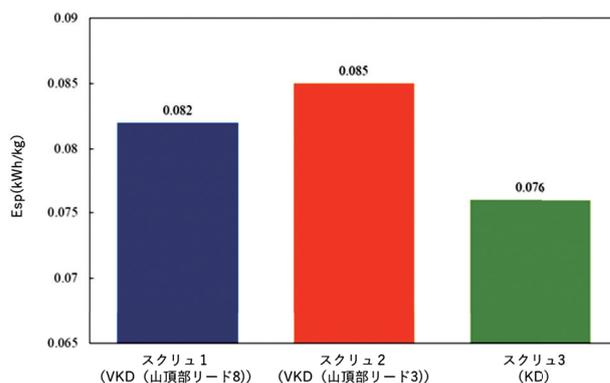


図 6 3 種のスクリュを用いた場合の Esp の比較

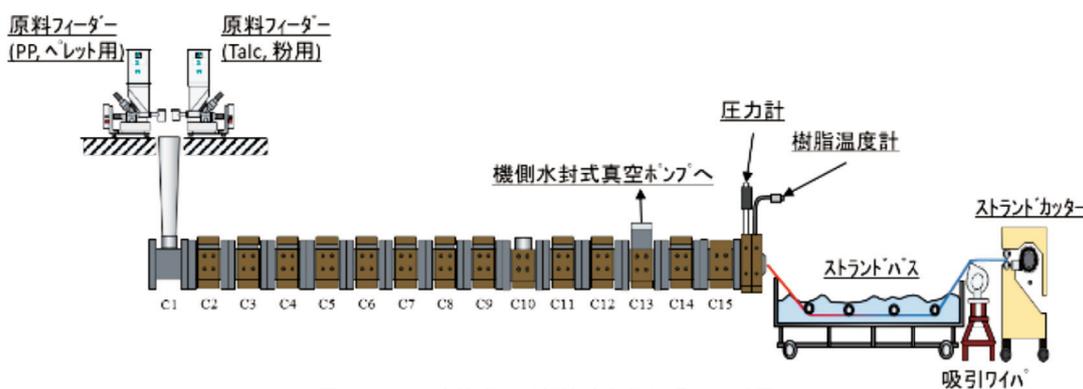


図 4 性能検証試験で利用した試験装置の模式図

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
L/D	0.15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
リード角度	60	0.75	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50

比較混練部 (VKD/KD) は C11 から C13 の範囲に相当する。

図 5 性能検証試験で利用したスクリュ形状

リードは小さい方が、Esp が高くなる傾向が見られた。VKD の V 字型が鋭利となる山頂部の方がディスク間の隙間の樹脂流動を抑制する効果が高いため、山頂部上を通過する樹脂量の増加が得られることを示唆するものとする。

図 7 に 3 種のスクリュ形状をそれぞれ用いた場合の二軸押出機シリンダ内の樹脂およびタルクの可塑性・複合化状況を示す。山頂部リードが 8D の VKD を用いたスクリュ 1 はスクリュ 3 を用いた場合と可塑性開始点に大差は見られなかった。一方、山頂部リードが 3D である VKD を用いたスクリュ 2 は、可塑性部の入口から可塑性開始点までの距離がスクリュ 3 と比較して 50 % 短縮された。スクリュ 1 では VKD の山頂部リードが大きくなると、山頂部の V 字型が KD の山頂部に類似した形状になる。これによって、KD のように山頂部の上流および下流のディスク間の隙間を優先的に樹脂が流動するようになるため、山頂部上を通過する樹脂量を増加させる効果が高まらないことに起因するものとする。以上のように、VKD は樹脂の効率的な可塑性化に対しても有効であることが判明した。

4. 結 言

本開発では、二軸押出機の新規混練スクリュとして開発した VKD を対象に、その混練性能の評価を検証した。VKD は、通常の KD に比べてより短い L/D で樹脂を可塑性化することができており、スクリュ回転による圧縮とせん断をより効率的に樹脂へ伝達できることが示された。このような混練性能を有する VKD をケミカルリサイクルプロセスに利用することで従来の KD を使用する場合よりも高いエネルギーを樹脂へ伝達することが可能になり、吐出量の向上が期待される。

また、VKD は既に多くのコンパウンドプロセスに適用されており、様々なプロセスにおいて高い分散混合性能を発揮し良好な成果を上げているが、今後も引き続き VKD の特徴・効果について定量評価を実施して、VKD の形状の最適化を行い、ケミカルリサイクルを含めた用途拡大に注力していく所存である。

TEX は株式会社日本製鋼所の登録商標です。

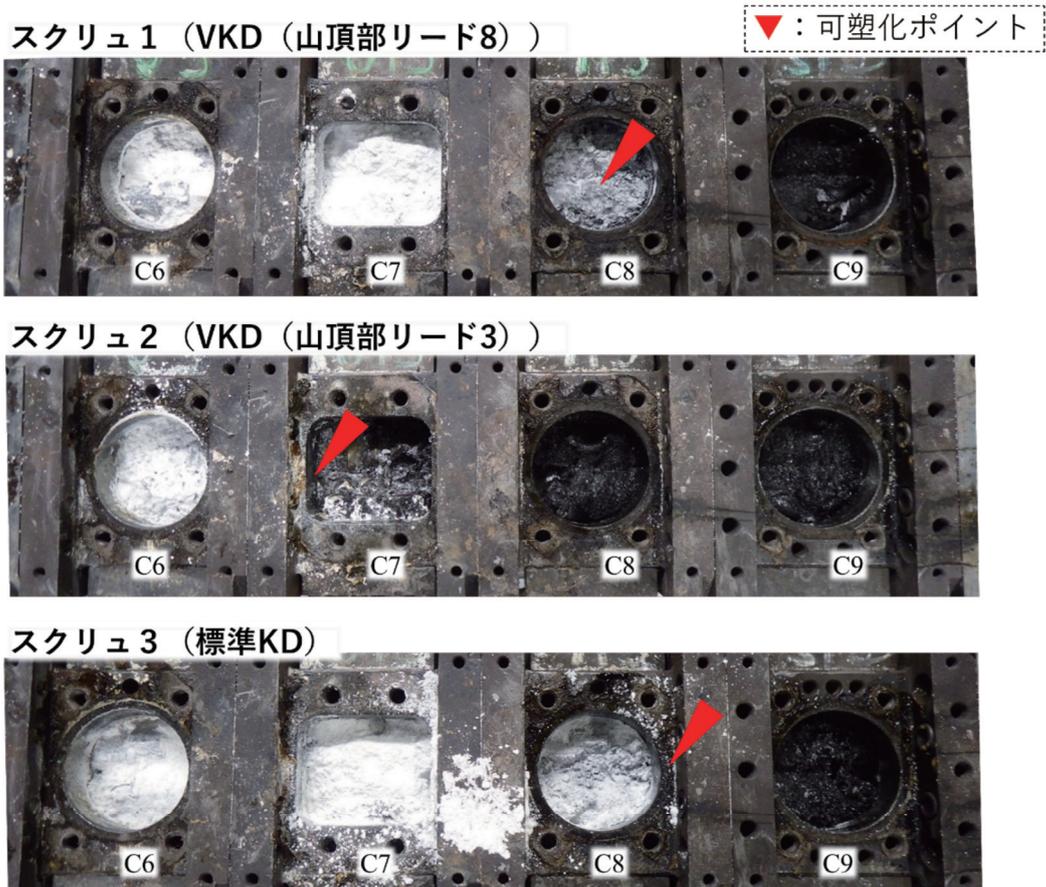


図 7 3 種のスクリュ形状を用いた場合の二軸押出機シリンダ内のタルク入り樹脂の可塑性・複合化状況