

EVERFLON<sup>ACADEMIC</sup>



— 押し出しガイド —

EVERFLON

FEP  
PFA

ETFE

熔融性フッ素樹脂

---

# はじめに

溶融加工可能なフッ素樹脂は、射出成形や押出成形といった従来の熱可塑性樹脂加工技術で加工可能な製品において、Everflon™ PTFEの優れた特性を提供することで、製品ラインを拡充します。

用途は、設計者やエンドユーザーが、極度の高温および低温環境下での使用において、優れた化学的安定性、誘電特性、非粘着性、機械的強度を備えた熱可塑性樹脂を必要とする分野に及びます。

この汎用性の高い溶融加工可能なフッ素樹脂ファミリーは、Everflon™から提供されており、特定のエンドユーザー要件と加工ニーズに対応します。

- Everflon™ FEPは、200℃までの使用定格で、Everflon™ PTFEフッ素樹脂の耐薬品性と誘電強度を維持します。
- Everflon™ PFAは、優れた溶融加工特性と独自の熱安定性を備えた高性能樹脂です。高温強度と剛性、優れた耐応力亀裂性、長い屈曲寿命、そして優れた電気特性を備えています。高温使用定格は260℃で、ほぼすべての薬品に耐性があります。
- Everflon™ ETFEは、他のEverflon™フッ素樹脂に匹敵する耐薬品性、電気特性、耐老化性を備えた、強靱で強靱な材料です。150℃までの使用温度範囲で、Everflon™ ETFEは従来の熱可塑性樹脂を用いた加工性に優れています。

Everflon™フッ素ポリマー樹脂は、ほとんどの熱可塑性樹脂よりも高い融点と溶融粘度を有しています。本ガイドに記載されている技術を用いて加工することで、優れた歩留まりと生産速度が得られます。

## 押出成形用Everflon™フッ素ポリマーの特性

Property	Unit	ASTM standard	FEP	PFA	ETFE
融点	°C	DSC	260	310	260
MFR	g/10min		6-12	6-14	6-12
比重	--	D792	2.15	2.15	1.7
引張強度 (23℃)	MPa	D2116	24	26	45
伸び (23℃)	%	D2116	330	350	400
衝撃強度 (アイゾット)	kg-cm	D256A		No Break	
硬度 (ドロメーター)	--	D2240	D56	D60	D70
曲げ弾性率	Mpa	D790	550	580	1200
体積抵抗率	Ω-cm	D257		>10 <sup>17</sup>	
誘電率	1 MHz	D150	< 2.1	< 2.1	< 2.6
誘電正接	1 MHz	D150	0.0007	0.0001	0.0007
絶縁耐力	kV/mm	D149	78	78	70
燃焼性	--	UL94		V-0	
酸素指数	--	D2863		>95	
耐薬品性				Excellent	
吸水性	%	D570		< 0.03	

## 着色剤

Everflon™ FEPおよびPFA、ならびにETFEは、Everflon+™から入手可能な市販の着色剤を使用して着色することができます。添加量は様々ですが、通常はフッ素樹脂の最終用途における機械的特性に顕著な影響を与えない程度に少量です。ただし、カラーコンセントレートは、レットダウン時に使用されるベース樹脂と同じ樹脂に混合することが重要です。

最近の連続押出成形では、市販のカラーメーター添加システムが使用されています。このようなシステムを使用する場合は、メーターメーカーの操作手順に従ってください。メーカーの指示がない場合には、以下の手順を使用できます。

以下の手順は、カラーコンセントレートペレットをEverflon™フッ素樹脂ペレットにドライブレンド（「レットダウン」）するためのものです。

1. カラーコンセントレートを、通気オープンまたは真空オープンで95℃で数時間乾燥させます。バルク樹脂を乾燥させる必要はありません。ただし、冬季に暖房のない保管場所から樹脂を持ち込んだ場合、温かい押出エリアに入ると結露が発生する可能性があるため注意が必要です。使用前に樹脂を平衡化させてください。
2. 処理する樹脂に必要な割合（例：1%）になるように濃縮液を計量します。
3. 清潔で乾燥した容器に入れたバルク樹脂に着色濃縮液を加えます。
4. 樹脂と着色濃縮液を少なくとも15分間、または十分に混ざるまで攪拌またはタンブルします。混合物を押出機ホッパーに供給します。使用中は蓋またはアルミホイルで覆ってください。
5. 未使用の着色濃縮液ペレットは、気密容器に入れて保管してください。そうでない場合は、再使用する前に再乾燥してください。

# 装置

## 押出機

押出機の機能は、熱可塑性ペレットを熔融樹脂に変換し、均一な速度と温度で熔融樹脂を供給することです。

フッ素樹脂の加工には、従来の単軸スクリー押出機が使用されます。長さや直径の比（L/D）は20/1から30/1の範囲です。しかし、長さや直径の比が28/1以上の長い押出機が最も効果的であることが分かっています。これらの長い機械は、高生産速度でもより安定した出力を得ることができます。樹脂を可塑性のために必要なエネルギーは、回転スクリーウの機械的作用によって生じる粘性抵抗と、バレルヒーターから伝わる外部熱によって得られます。回転スクリーウは熔融樹脂を混合し、計量部の寸法と相まって、押出機の熔融樹脂出力を決定します。所望のよく混合された熔融樹脂の出力を得るためには、押出機のサイズを適切に決定することが成功の鍵となります。

直径の小さい機械では、低速で大型の押出機の出力を得るために、より高速なスクリーウ回転数が必要です。しかし、20~50回転程度の適切な回転数（RPM）が最適です。

小型で短い押出機では、所望の出力を得るために高温・高回転数で運転する必要があるため、熔融強度の低下などの加工上の問題が発生することがあります。同様に、大型の機械でも低速運転の問題が観察されています。混合不良や滞留時間が長いと熔融状態が不安定になり、延伸性能が低下する可能性があります。

## 構成材料

熱可塑性ポリマーの熔融加工では、樹脂の分解と副産物の生成が起こります。熔融フッ素樹脂から発生する副産物は、ほとんどの金属に対して腐食性があります。腐食は樹脂の分解によって促進されますが、過度に高い運転温度を避け、樹脂流路を流線型にすることで最小限に抑えることができます。滞留箇所やデッドコーナーなどには樹脂が閉じ込められ、長時間高温にさらされると劣化する可能性があります。

したがって、耐腐食性に優れた高ニッケル・低鉄合金製の押出機を使用する必要があります。

バレルライナー、スクリーン、ブレイカープレート、アダプター、クロスヘッド、ツールなど、すべての接触機器はこれらの合金で製造する必要があります。クランプなどの露出機器は、高品質のニッケルメッキで保護する必要があります。このような機器は市販されており、販売業者はフッ素ポリマーとの適切な使用方法についてアドバイスを提供します。

## スクリー設計

従来のシングルスクリー設計のほとんどは、フッ素樹脂に十分に機能します。性能はスクリー設計によって異なります。長い供給部、約3:1の圧縮比、コアプログレッシブプロファイル、低せん断溶解混合エレメントを備えたスクリー設計は広く使用されており、好ましい選択肢です。限られた経験ではありますが、可変ピッチスクリーやバリア型スクリーもフッ素樹脂に使用できることが示されています。しかし、押出機オペレーターはこのような設計には注意が必要です。

「スクエアピッチスクリー」では、フライト1回転でスクリーがバレル径1つ分下降します。17.7度の一定角度ピッチのスクエアピッチスクリーが一般的です。

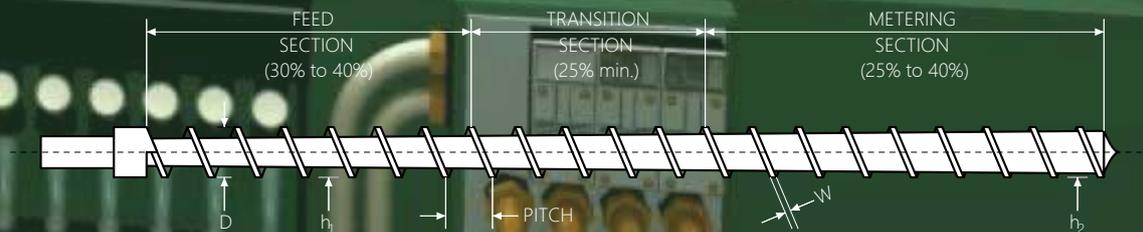
これは便宜的に、L/D比がスクリーセクション（供給、移行、計量、混合）に割り当てられる回転数に等しいことを意味します。例えば、長さ直径の比が28/1のスクエアピッチスクリーでは、割り当てられる回転数は28回転です。

樹脂キューブの搬送、熔融、混合は供給部で行われます。少なくとも8回転の長い供給セクションは、必要な滞留時間を確保します。機械的粘性抵抗とバレルヒーターからのエネルギー入力を適切なバランスに保つことが重要です。これはスクリーの回転速度によって実現されます。フライトの深さは、樹脂ペレットが圧縮されるのに十分な深さでなければなりません。コアの機械的強度を確保するために十分な直径を確保する必要があります。

コアの漸進的遷移セクションは、供給セクションと計量セクションを接続します。遷移または圧縮は、3~4回転のフライトで発生します。フライトの深さが徐々に浅くなるにつれて、熔融が完了し、空気またはガスがバレル内を逆流して供給スロートから排出されます。これにより、計量セクションに入るフライトチャンネルが容積的に満たされます。これは、一定の熔融出力を実現するために不可欠です。

熔融材料は、スクリーの計量セクションに沿って表面摩擦によって搬送されます。出力はスクリーの回転速度に正比例します。通常、5~7回転の計量セクションは、スクリーン、ヘッド、およびツールを通して熔融材料を搬送するのに十分な圧力を生成します。計量セクションのフライト深さは浅く、表面積と容積の比率を最大化します。これにより、圧力上昇による熔融樹脂の逆流も最小限に抑えられます。これは容積測定プロセスであることを理解することが重要です。出力は、計量セクションの断面寸法とスクリー回転数によって決まります。

大口径で深い計量チャンネル設計では、小口径で浅い計量チャンネル設計の機械よりもはるかに低い回転数が必要になります。新規機械、または既存機械に新しいスクリーを選定する際は、まず、必要なアプリケーション出力を考慮し、中程度の回転数での計量セクション寸法を計算します。この計算結果を基に、標準的な圧縮比（例：3:1）を用いることで、他のスクリー寸法を容易に決定できます。



## ホッパードライヤー

フッ素樹脂は吸湿しません。しかし、特に冷蔵室から高温処理室に移す際には、表面の水分を吸収します。着色濃縮物は吸湿性があるため、樹脂と濃縮物の乾燥は水分に起因する欠陥の除去に効果的であることが証明されています。押出前のバッチ乾燥は効果的ですが、大量の樹脂を処理する場合は面倒な場合があります。フッ素樹脂は除湿空気を必要としません。高温の空気を一回通過させることで表面の水分を除去できます。一般的に、120~160℃の温度で1~2時間のホールドアップタイムが効果的です。ホッパーからの排気は安全に排出する必要があります。フッ素樹脂用のパッケージ型ホッパーヒーターユニットは市販されています。

## スクリーンパックとブレイカープレート

ブレイカープレートとスクリーンパックは、フッ素樹脂の押出に使用できます。これらは、顔料や充填剤を熔融樹脂によく分散させるために、背圧を高めます。プロセスは、篩分けによる汚染物質や着色凝集物の除去を必要としないほどクリーンである必要があります。ブレイカープレートの穴は、樹脂の滞留や鋭利なエッジによるせん断を防止するため、両面に面取りを施す必要があります。120メッシュ (0.125 mm) のスクリーンを2枚の80メッシュ (0.177 mm) のスクリーンで挟むのが一般的な構成です。スクリーンは、フッ素樹脂グレードの耐腐食性合金製である必要があります。

## アダプター

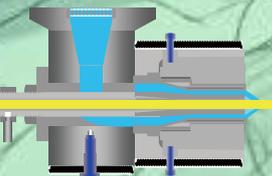
クロスヘッドと押出機バレルを接続するアダプターは、適切なメルトフローを確保するために、内部を流線型にする必要があります。円錐状の断面縮小は、最大30°の夾角で行う必要があります。また、温度コントローラー付きのヒーターバンドも必要です。アダプターの温度不足をバレル温度の上昇で補うと、劣化や起動時の安全上の問題につながる可能性があります。アダプター内部で固化した樹脂は、押出機からのメルトフローを阻害します。

## クロスヘッド

従来の押出機クロスヘッド設計が一般的に使用されていますが、その他の設計も利用可能です。チューブなどの連続形状の押出には、インライン型またはストレート型のヘッドが使用されます。多くの市販のヘッドが利用可能です。

ヘッドは、滞留スポットのないシンプルな流線型のフローパターンを持つことが重要です。サイズは、希望する押出最終製品によって異なります。しかし、最終製品のニーズを満たす、最小の容積と最短の滞留時間を持つヘッドが最良の選択です。この文書で後述するメルトフラクチャー（熔融破壊）は生産速度を制限する可能性があります。しかし、Everflon™フッ素ポリマーは優れた熔融強度を備えているため、大きなドロウダウン比でメルトフラクチャーの影響を最小限に抑えることができます。

同様に重要なのは、フッ素ポリマーグレードの耐腐食性材料を指定することです。ベンダーは、耐腐食性、加工性、およびフッ素ポリマー使用後の外観のバランスを考慮して、様々な合金を使用しています。



## ヒーターバンド

ヒーターバンドは、動作中に最高温度425℃まで加熱できる十分な容量が必要です。4.65 W/cm<sup>2</sup>以上の電力密度を使用できます。比例・積分・微分（PID）温度調節器、または同等の装置は、安定した溶融押出出力を得るために必須です。

## 局所排気装置

熱可塑性フッ素ポリマーを含むすべての熱可塑性ポリマーの溶融加工では、ある程度の劣化が起これ、健康に有害であったり、不快な臭気を発生させたりする可能性のあるガス、蒸気、または煙が発生することがあります。これらの排出物を制御する最も効果的な方法は、発生源で「捕捉」し、作業場の空気中に拡散する前に排気換気によって除去することです。この「捕捉」技術は、局所排気装置（LEV）と呼ばれます。

LEVIは、作業場全体または工場全体の空気を入れ替えるために必要な膨大な量と比較して、プラスチックから放出される空気中の化学物質を「捕捉」して除去するために必要な空気量が比較的小さいため、効果的です。さらに、汚染物質を発生源で「捕捉」することで、作業員の化学物質への曝露を事実上排除することができます。

# 押出機

# の操作

押出機の操作を成功させるには、多くの細部に細心の注意を払う必要があります。例えば、供給材料の品質と流量、ポリマーの劣化や装置および作業者の安全を損なわない起動および停止、必要な生産速度で所望の熔融温度を達成・制御する押出機の温度プロフィール、適切な局所排気装置、そして樹脂の取り扱いなどです。

## 樹脂の取り扱い

樹脂表面に結露が生じないように注意してください。顔料や核剤などの添加剤の中には、水分を吸収するものがあります。使用前に樹脂を作業場に最大24時間馴染ませてください。

樹脂を汚染から清潔に保つことを強くお勧めします。樹脂の入った袋やその他の容器は、使用前に密封してください。蓋付きのホッパーや保管容器を使用することで、汚染を回避できます。汚染物質は、電線絶縁材のスパーク不良など、押出製品の不具合の原因となることがよくあります。

## メルトフロー

フッ素樹脂は、推奨加工温度において、他のほとんどの熱可塑性樹脂よりもかなり粘度が高くなります。熔融粘度とメルトフローレート（MFR）は、一定の圧力と温度下で10分間に所定のオリフィスを通過する熔融物の量（グラム単位）であり、熔融ポリマーの流動性を表す用語です。これらの特性は、標準かつ規定されたせん断および温度条件下で測定されます。

ASTM規格は、これらの値と測定方法を定義しています。これらのフッ素樹脂の粘度（一定せん断応力下）は、温度に反比例して変化します。Everflon™ FEPおよびPFAフッ素樹脂は、小さなダイオリフィスや類似の成形金型を通過する際に、高い熔融粘度と低い「臨界せん断速度」によってメルトフローが制限されます。しかし、これらのフッ素樹脂は十分な熔融強度を有しており、大型金型からの押し出しと、その後の必要なサイズへの延伸が可能です。Everflon™ ETFEフッ素樹脂は、Everflon™ FEPおよびPFAよりも熔融強度が低いため、それほど大きなドロウダウンはできません。しかし、Everflon™ ETFEフッ素ポリマー熔融樹脂は「臨界せん断速度」が高いため、同等の押出速度を実現できます。

## メルトフラクチャー

熱可塑性樹脂がダイまたはプロファイルオリフィスを通過すると、熔融樹脂は滑らかな表面を呈します。押出量が増加すると、流動速度は表面粗さが確認できる速度に達します。この粗さは「メルトフラクチャー」と呼ばれ、熔融樹脂と金型壁面との摩擦によって生じます。押出量が低い場合、摩擦によって金型壁面における流動速度が低下します。押出量が高い場合、摩擦は流動を「停止」させようとしますが、プロセス圧力によって熔融樹脂が前方に押し出され、この摩擦は克服されます。その結果、不規則な、あるいは「表面乱流」のような流動が発生し、表面粗さが生じます。熔融樹脂の粘度、金型サイズ、および装置温度に対して押出速度が高すぎるのが、メルトフラクチャーの最も一般的な原因です。

メルトフラクチャーは、ポリマー熔融樹脂の「臨界せん断速度」を超える流量で発生します。この速度は温度に依存するため、熔融温度を上げることで出力をいくらか増加させることは可能です。ただし、熔融温度は常にポリマーの劣化を引き起こす温度より低くする必要があります。

顔料や核剤を使用している場合、コーンは不透明であるため、メルトフラクチャーは外表面にのみ確認できます。メルトフラクチャーが発生しない条件で押し出しを行うことが重要です。

着色されていない樹脂を用いた実験は、最初にこれらの条件を判断するのに役立ちます。押し出された製品の内外を検査することも、メルトフラクチャーの存在を明らかにするのに役立ちます。

水分、汚染物質、または充填剤の存在による粗さは、メルトフラクチャーと間違われる可能性があります。表面粗さの原因がメルトフラクチャーである場合、処理量を短時間減らすことで、メルトフラクチャーを軽減または除去できます。逆に、低い出力速度でも粗さが続く場合は、水分の存在または汚染物質を適切に補正する必要があります。



典型的なチューブ押出成形品を真空サイザーに引き入れているところです。チューブは光沢があり、表面は滑らかで透明です。メルトフラクチャーは見られません。



同じ押出成形品をより高い処理速度で押し出したところ、コーン部に明らかなメルトフラクチャーが見られました。

## せん断応力とせん断速度

図は、熔融温度とダイ温度が一定である場合の、Everflon™ FEP&PFAフッ素樹脂の起こり得る流動条件のマップを示しています。Everflon™ ETFEフッ素樹脂は、この領域パターンを示しません。このマップは、せん断応力とせん断速度の関係を示すもので、せん断速度の増加に伴ってせん断応力が増加する様子を示しています。

このマップは、押出挙動の4つの領域を定義しています。出力速度が非常に低い場合、熱誘起による樹脂劣化が発生する可能性があります。

領域Iは、ほぼすべての押出が行われる通常運転の広い領域です。

領域IIは、金型を通る樹脂の流量を増加させることで、滑らかな押出物から粗い「メルトフラクチャー」押出物へと変化する領域を表しています。この遷移の間、熔融ポリマーは「臨界せん断速度」を超えます。この臨界せん断速度は、特定の押出条件に適用されません。

領域III（通常「スーパーせん断」領域と呼ばれる）では、再び滑らかな押出物が得られます。超せん断は、ポリマー-熔融体の流動が金型表面への接着力を失ったときに発生します。この現象は、押出ヘッド圧力の大幅な低下を伴い、熔融体の流動阻害を低減します。この方法では押出量を増やすことができますが、通常、得られた製品の測定された機械的特性は変化します。

領域IVでは、押出物は再び過度に粗くなります。

所定のプロファイル金型形状において、熔融体出力が増加するとせん断速度は直線的に増加します。せん断応力は圧力が増加すると増加します。

多くの非フッ素樹脂熱可塑性樹脂熔融体と同様に、Everflon™ ETFEフッ素樹脂のせん断応力は、せん断速度の増加に伴ってほぼ直線的に増加します。分子量と加工温度に依存しますが、これらのEverflon™フッ素樹脂は、10~100往復秒という低いせん断速度でメルトフラクチャーを起こし始める可能性があります。MFR 22のEverflon™ FEP 4622を熔融温度400°Cで押し出すと、約500秒逆数でメルトフラクチャーが発生します。同様に、Everflon™ ETFEフッ素ポリマーの様々なグレードは、200~3,000秒逆数でメルトフラクチャーが発生します。



Extrudate Appearance in Flow Regions I, II, III, IV

## 伸長破壊

ポリマー溶融体が金型を通過する際、せん断を受けます。このせん断速度が臨界せん断速度を超えるとメルトフラクチャーが発生します。溶融体は金型から排出されるとすぐにコーン状に引き下げられます。この引き下げによって、さらなるせん断が誘発されます。

せん断限界を超えると、コーンは曇って見え（顔料を使用していない場合）、メルトフローにピンホールや裂け目が生じます。極端な場合には、コーンが破損します。

伸長速度も重要です。引き下げ速度が速すぎると、穴、裂け目、コーンの破損が発生します。

このプロセスにおいてポリマーが耐えられるせん断の総量は、「せん断バジェット」と呼ばれます。このバジェットは、せん断に影響を与える3つのプロセス段階、すなわち金型せん断、伸長せん断、および伸長せん断速度のそれぞれによって部分的に消費されます。これらの段階のいずれか、または3段階すべてがポリマー溶融体のせん断耐性を超えると、プロセスは不安定になります。しかしながら、溶融体への仕事のバランスを金型せん断から伸長せん断へ移行させる柔軟性はある程度あります。伸長せん断と伸長速度せん断を加えることで、「プロセス臨界せん断速度」は効果的に低下します。

MFR 22のEverflon™ FEP 4622を400 °Cで押し出した溶融物は、金型からパージされた際に（つまり金型せん断のみ）、約550往復秒でメルトフラクチャーを起こします。ワイヤー上に引き伸ばされた状態（つまり金型せん断、伸長せん断、および伸長速度せん断を適用）では、プロセスは350往復秒に相当するスループットに制限されます。これが、フッ素ポリマー加工業者が、ポリマーの臨界せん断速度で表される潜在的な押し出しスループットをほとんど達成できない理由です。

## ドローダウン比

ドローダウン比（DDR）は、金型ギャップの断面積と完成品プロファイルの断面積の比として定義されます。

電線・ケーブルの絶縁体または被覆は、ほとんどの場合、引抜チューブ押し出し成形です。管状成形は最も一般的なフッ素樹脂押し出し成形方法であり、チューブやホースの製造は引抜チューブ成形プロセスです。この種の管状成形では、円形のチップ（またはマンドレル）を円形のダイス内にセットし、共通の中心を持つ環状ギャップを形成します。したがって、断面積は、ダイスの円周で表わされる面積からチップの円周で表わされる面積を差し引いた値となります。同様に、製品プロファイル（電線上のチューブまたは管状絶縁体）の断面積は、外周で表わされる面積から内周で表わされる面積を差し引いた値となります。これら4つの断面積は、基本的な幾何学的公式から簡単に計算できます。しかし、共通の項は互いに打ち消し合うため、DDRは直径の2乗項を用いて非常に簡単に計算できます。

ドローダウン比を高めると、金型のせん断力が低下します。メルトフラクチャーは、より高いスループットが達成されるまで発生しません。これにより、プロセスはライン速度を向上させる可能性が生まれます。DDRが高いほど、先端の垂れのリスクも低減します。いくつかの限定的な実験では、DDRが高いほどポリマーがワイヤーに密着するため、電気特性が向上しました。

ドローダウン比が低いと、金型のせん断力が増加し、メルトフラクチャーの発生が早くなります。しかし、DDRが低いほど、ドローダウンコーンはより安定します。これにより、コーンの破損傾向が低減し、直径制御の一貫性が向上します。

実用的な生産速度は、ライン速度と最終製品に必要な品質との間で許容できるバランスが取れた速度です。通常、細いワイヤー構造は太いワイヤー構造よりも速く生産され、直径制御と肉厚の同心性が非常に重要なチューブ製造は、常に低いDDRと低速のライン速度で実行されます。

## ドロー比バランス

ドロー比バランス (DRB) は、ドローダウンコーンの外側が下がる速度をコーンの内側が下がる速度で割った値として定義されます。完全なバランスは1.00です。

Everflon™フッ素樹脂溶融押出におけるツールの問題で最もよくある原因は、DRBの不適切さです。DRBが1.0を大幅に上回ると、プロファイルの外側に過剰なポリマーが付着し、破れが発生します。DRBが1.0を大幅に下回ると、プロファイルの内側に過剰なポリマーが付着し、折り重なります。したがって、ツールのサイズを正しく設定することは、良好な押出を実現するために不可欠です。

## コーン長さの制御

電線コーティングでは、クロスヘッドコアチューブに開けられた穴を通してコーンの内側に真空をかけることで、コーンの長さを短縮および制御します。

この穴は導線が通過する穴です。真空は真空ポンプから簡単に得られ、ニードルバルブで制御できます。

コーンを短くすることで、溶融樹脂のドローダウンにかかる時間を短縮できます。これにより伸長速度が上昇し、コーンが短くなるにつれて、穴、裂け目、コーンの破損につながります。コーンの長さが長くなると、

コーンの振動やぐらつきが目立ち、最終製品の直径に変動が生じます。真空は通常、オペレーターが調整可能で、コーンの長さが長い場合と短い場合の中間の安定したプロセスを実現します。

チューブ製造において、コーンの長さは、ツール面から真空タンク内のサイジングダイまでの距離によって決まります。真空タンクは通常調整可能です。

ドローダウンを促進するために、コーンの内側に真空を適用する場合があります。ドローダウン率が小さい場合、またはコーンをより大きな直径に引き出す場合は、サイジングダイを完全に満たすために、コーンの内側に空気を送り込みます。

## 溶融温度

溶融温度がポリマー粘度とその延伸特性に与える影響は、Everflon™ FEP、PFA、およびETFEの溶融押出において重要な要素です。

オペレーターは、プロセスを実行する際の溶融温度を選択する必要があります。構造化実験により、溶融温度とドローダウン比が、出力と品質を左右する2つの最も重要なプロセス設定要因であることが示されています。

フッ素樹脂は、計量セクションに入る直前に完全に溶融する必要があります。計量セクションに溶融樹脂が十分に充填されていないと、出力が変動する可能性があります。

プロセス接触式溶融温度プローブは不可欠です。スルーブットが変化すると溶融樹脂温度は大きく変化しますが、「熱プロファイル」は一定に保つ必要があります。

## 電線予熱

電線被覆工程の制御とその後のケーブル性能は、ポリマー溶融物が電線上に塗布される際の電線導体の温度に大きく影響されます。導体温度が低いと、先端部からも熱が奪われ、コーン内側でメルトフラクチャーが発生しやすくなります。

そのため、電線を予熱することをお勧めします。これは通常、インライン誘導予熱装置を用いています。

しかし、経験上、150℃前後で動作温度範囲が限られることが分かっています。導体へのポリマーの接着性は、真空度と予熱制御によってある程度調整可能です。

## クエンチ距離

チューブプロファイルは、通常、温度制御された循環水を真空タンク内で冷却します。電線被覆は空冷した後、クエンチ水を用いて冷却します。Everflon™ FEP、PFA、ETFEは、再び固体に冷却されると収縮します。

ほとんどのポリマーと同様に、Everflon™ FEP、PFA、ETFEは優れた絶縁体です。電線被覆の外側表面を冷却してポリマー表面を固めると、内側は熱を逃がす速度が遅くなるため、電線から離れて収縮します。これにより導体に沿って発生する不均一な空隙は、ケーブルの性能に悪影響を及ぼします。

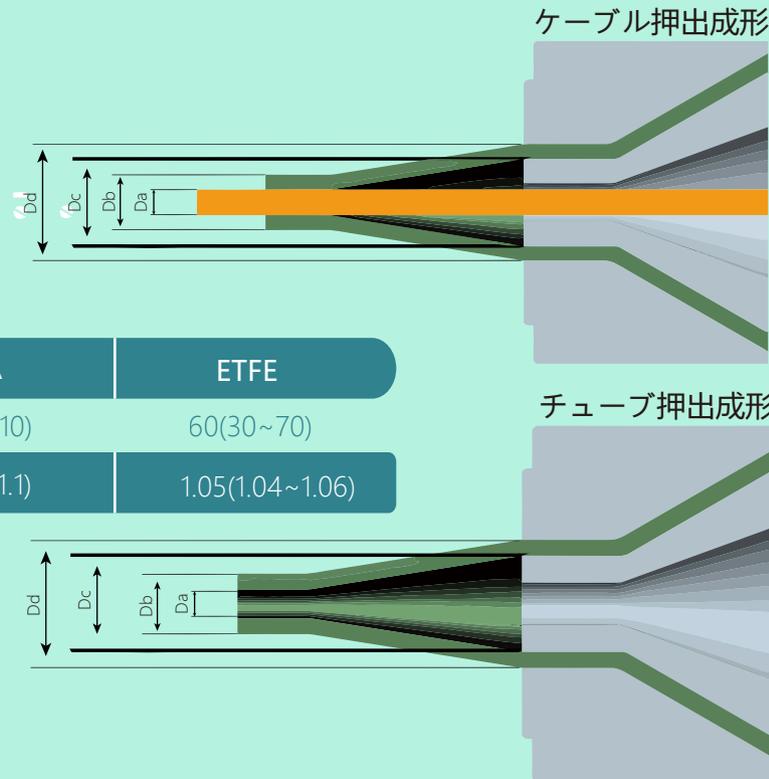
この冷却の不均一性を防ぐには、水冷を行う前に被覆電線をできるだけ長く空气中で冷却することが効果的です。ライン速度が増加すると、ほとんどのプロセスにおいて「エアギャップ」の効果は低下します。エアギャップの前に短時間の温水冷却を行うことで、水冷効果を制御できる場合があります。スペースの制約により長いエアギャップを設けられないライン構成では、導体に沿った空隙の形成を防ぐ最も効果的な冷却システムを決定するために、実験が必要です。

$$DDR=(D^2d-D^2c) / (D^2b-D^2a)$$

$$DRB=(D^2d-D^2b) / (D^2c-D^2a)$$

Everflon™ フッ素樹脂に推奨されるDDRおよびDRB

Materials	FEP	PFA	ETFE
DDR	100(90~110)	100(90~110)	60(30~70)
DRB	1.05(0.9~1.1)	1.05(0.9~1.1)	1.05(1.04~1.06)



# 起動

## 起動前

1. 前回の運転で同じ樹脂が既に機械内に投入されている場合を除き、フィードホッパー、バレル、スクリュー、ブレイカープレート、クロスヘッド、ダイ、チップを含む押出機全体を洗浄する必要があります。スクリーンパックを使用している場合は、洗浄時に交換してください。注：これらの部品はすべて、フッ素樹脂耐腐食性合金を使用していることを確認してください。
2. すべてのヒーターバンドと電気接続の状態と「適合性」を確認してください。
3. 熱電対が正しく設置され、確実に接続されていることを確認してください。
4. 圧力トランスデューサーを点検し、高圧インターロックシャットダウンが設定されていることを確認してください。
5. ヘッドを通るメルトフローパスが塞がれていないことを確認してください。
6. 局所排気装置（LEV）に十分な空気の流れがあることを確認してください。
7. パージする押出物を捕らえるために、クエンチポットに清浄水を部分的に満たしてください。

## 起動手順

1. すべての温度コントローラーを177°Cに設定し、すべての加熱が平衡するまで待ちます。
2. すべての温度が通常の速度で上昇していることを確認してください。ヒーターの焼損または暴走を示す可能性のある偏差がないか確認してください。ストリップチャートレコーダーは、温度コントローラーとサイクルを監視するのに便利な方法です。
3. すべての温度コントローラーを288 °Cに設定し、再びすべての加熱が平衡になるまで待ちます。
4. すべての温度が正常に上昇していることを確認します。
5. 個々の温度を目的の温度プロファイルに設定し、平衡になるまで待ちます。注：このプロファイルは、運転速度に合わせて微調整され、目的の熔融温度が得られます。このプロファイルを「制御」として使用しないでください。特定のプロファイルでは、熔融温度はスループット（RPM）に応じて変化します。
6. すべての温度が設定温度に達した後、少なくとも15分間の「ヒートソーク」時間を設けます。これは、存在するすべてのポリマーが熔融し、スクリュー回転時の過度の圧力上昇を最小限に抑えるためです。
7. スクリューの起動中は、押出機の前に立たないでください。ブローバックの可能性があるため、フィードホッパーを直接見ないでください。
8. スクリューを始動し、約10 RPMに調整します。約10分間パージします。圧力または電流の急上昇に注意し、発生した場合は運転を停止してください。
9. 回転数を約25回転まで上げ、ダイをチップの中心に合わせるように調整します。注：セルフセンタリングヘッドでは必要ありません。
10. 製品の製造を開始し、計画された生産速度で所望の熔融温度になるように温度プロファイルを調整します。

## シャットダウン手順

シャットダウン手順は、機械をシャットダウンして新たな生産工程に移すか、あるいは一定期間停止してから同じ生産工程を再開するかによって若干異なります。

シャットダウンの目的は、樹脂の高温曝露を最小限に抑えることで、次の生産工程への悪影響となるポリマーの劣化を防ぐことです。ただし、同じ樹脂を長期間使用する機械は、定期的に分解して洗浄する必要があります。

同じグレードの樹脂を次の工程で使用し、装置内の樹脂への温度曝露が最小限に抑えられている場合は、通常、洗浄は必要ありません。樹脂グレードを変更する場合は、分解と徹底的な洗浄が必要です。あるグレードの樹脂を別のグレードの樹脂でパージすることで「時間を節約」しようと試みても、失敗に終わります。分解と洗浄は、装置がまだ高温状態にある間に行うのが最適です。

## 押出機の洗浄なしのシャットダウン

適切なシャットダウンを行うには、以下の手順に従ってください。

1. 供給ホッパーの排出シュートから樹脂ペレットを空にし、残っている樹脂ペレットを真空吸引します。
2. ワイヤをコーティングする場合は、ワイヤを切断してクロスヘッドから取り外します。チューブを製造する場合は、サイジングダイからメルトフローを外します。
3. すべての温度設定を、最後に処理した樹脂の融点まで下げます。
4. スクリュー回転数を適度に低速（10～20 RPM）に下げ、熔融樹脂をクエンチ水の入ったバケツ、または熔融樹脂から発生する蒸気を除去または捕捉するための容器にパージします。
5. バレル圧力が大幅に低下した場合、または押出機のパージが空になった場合は、温度設定を177°Cに下げ、スクリューを停止します。  
注：手順4と5は、温度が大幅に低下する前に完了する必要があります。
6. プレーカープレートとスクリーンパックを使用している場合は、ヘッドを外して清掃してください。

## 押出機の洗浄を伴うシャットダウン

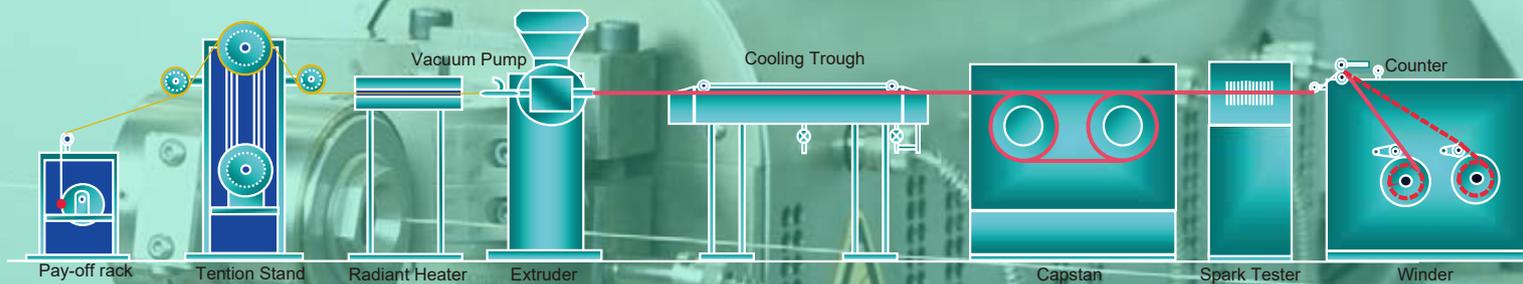
適切なシャットダウンを行うには、以下の手順に従ってください。

1. 上記のように供給ホッパーを空にします。
2. ワイヤをコーティングする場合は、ワイヤを停止し、クロスヘッドから取り外します。チューブを製造する場合は、サイジングダイから熔融樹脂を外します。
3. すべての温度設定を下げます。Everflon™ FEPおよびPFAの場合は約288°Cに調整します。Everflon™ ETFEの場合は約177°Cに調整します。スクリュー回転数を中程度の低速（10～20 RPM）に下げ、熔融樹脂をクエンチポットに排出します。
4. 押出機が空になったように見えたら、スクリューを停止します。
5. ヘッドヒーターの電源を切り、取り外します。
6. ヘッドを分解し、まだ熱いうちに排気フード付きの作業台の下で清掃します。工具とコアチューブを取り外し、銅製または真鍮製のヘラとブラシで洗浄します。すべてのヒーターとサーモカップルを取り外します。小型の機器部品は、適切なマッフル炉で「焼き入れ」できます。プロパントーチで「焼き入れ」しないでください。加熱が不均一になると部品が変形する可能性があります。
7. ワイヤブラシと銅製のスクラブワールで洗浄しながら、ネジを徐々に押し出します。樹脂を「焼き入れ」するためにプロパントーチを使用しないでください。合金の焼き戻しが遅れたり、変形したりする恐れがあります。すべてのネジが取り外されて洗浄されるまで、この作業を繰り返します。
8. バレルを銅製のスクラブワールで洗浄し、リーミングブラシのヘッドに綿のチーズクロスを巻き付けて磨きます。
9. ヒーターをオフにし、プロセス電源を切ります。

前述のように、540°Cに設定した換気式マッフル炉は、小型部品の洗浄に使用できます。

# 電線コーティング

典型的な電線コーティングラインを図13に示します。このラインは、変動や偏りなく、均一な張力で所望の生産速度で電線を搬送できる必要があります。電線繰り出し装置、張力制御装置、予熱装置、および巻取り装置は、通常、様々な電線サイズに合わせて設計されています。長時間の連続電線絶縁は、フライロッドのリールから釣り糸を放出するように設計された「フライ」繰り出し装置によって可能になります。最近の多くの設備には、インライン電線引き機が組み込まれています。これは、同じサイズの電線を非常に長く絶縁する場合に適した方法です。太くて硬いケーブル構造の場合、通常、特別な大径装置が必要になります。



## 大径ケーブルの被覆 - 多芯線

大径ケーブルの被覆には、以下の理由から特別な技術が必要です。

- 長さが有限で、多芯線コアの高抵抗値のため、降伏点が極めて重要です。
- ケーブル径が大きいため、高い引抜比は使用できません。
- ケーブルは硬すぎて、従来のキャプスタンや張力制御装置では扱えません。
- 一次導体は、低温インナーテープでまとめることができます。
- 多くの場合、厚肉化が求められます。

一般的な電線コーティングラインでは、ほとんどの小径導体はプリー上をスムーズに通過します。大径ケーブルの場合、最適な配置は、押出機の前段に張力制御装置を1つ、クエンチトラフの後段（巻取機の直前）にもう1つ設置することです。適切なセンタリングは、溶融押出物を「切断」し、クロスヘッドダイナットを調整して、切断直後に押出物がすぐに流れ出るまで調整することで得られる場合が多いです。始動時の損失は、被覆するケーブルと同径の基材ケーブルまたはロッド上でセンタリングとライン速度を確立することでさらに最小限に抑えることができます。

ツールサイズの見積りは、ケーブルサイズとクロスヘッドの寸法によって決まります。DDRは通常非常に小さいため、生産速度も制限されます。ツールのランド長は、被覆物のウェルドラインを除去するのに十分な背圧を発生させるのに十分である必要があります。被覆物の締め具合や緩み具合は、ヘッドコアチューブの背面に真空または空気圧をかけることで制御されます。ケーブル基材がアラミド繊維などの吸湿性のあるインナーテープで包まれている場合は、被覆押出時の膨れを防ぐため、ケーブル全体を130~150℃で少なくとも10~12時間乾燥させる必要があります。

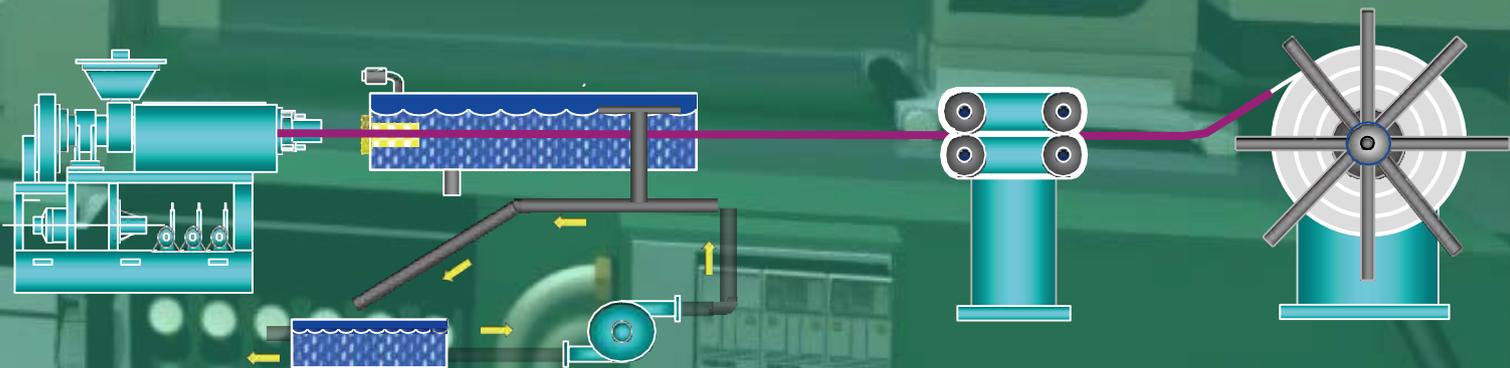
# パイプとチューブ

チューブの押出成形工程は電線被覆工程と類似しています。ただし、詳細な技術は異なり、製造するチューブのサイズと種類によって異なります。クロスヘッド型ダイを使用することもできますが、インライン型ダイの方が一般的に使用されます。

チューブとパイプは、Everflon™ フッ素樹脂から押出成形できます。これらの押出成形品は通常、腐食性化学物質の輸送に使用され、ライニング材としても使用されます（ただし、ライニング材として使用される場合もあります）。

チューブの押出成形は、電線被覆工程と非常によく似ています。加工の詳細は、チューブのサイズと種類によって異なります。チューブは、インライン型ダイとクロスヘッド型ダイの両方で製造できます。Everflon™ FEPチューブは、外径が1mmから20mmを超えるものまで製造可能です。

この範囲は、外径の大きさに基づいて、小、中、大の3つの加工ゾーンに分けられます。サイジングダイによって押出成形品の外径が決定され、ライン速度によって内径が決定されます。巻取速度とダイギャップ、そしてダイの内径と先端の外径の差によって、壁厚が決まります。



## 小径チューブ（スパゲッティ）

小径チューブ（外径<5 mm、肉厚<1 mm）は通常、フリーエクストルージョン法で製造されます。これはワイヤーコーティングに似ていますが、ワイヤーを使用しません。サイズと肉厚は、ツールの寸法と、押出機の出力とチューブの巻き取り量のバランスによって決まります。ツールの選択はワイヤーコーティングに使用されるものと同様ですが、ドローダウン比ははるかに低くなります。DDRは通常7:1~10:1の範囲です。

急冷槽の入口に配置されたサイジングダイを使用して、外径を制御できます。サイジングダイへの充填を確実にするために、テーブル内にわずかな空気圧をかけると効果的な場合があります。

## 中型チューブ

直径10mm以上のチューブは、真空サイジング法で製造されることがよくあります。

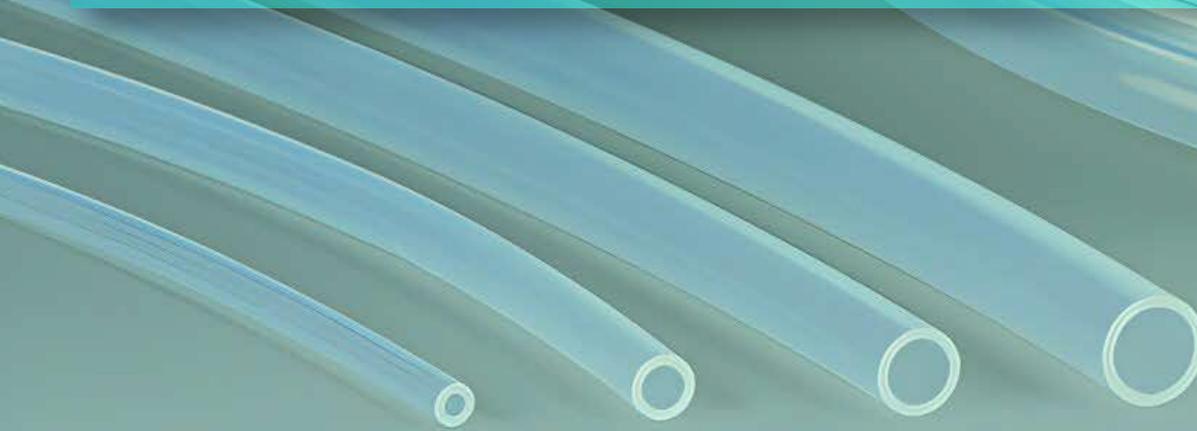
このプロセスでは、ダイを充填するためにチューブ内に追加の圧力をかける必要はなく、ダイ周囲の真空によって充填されます。そのため、製造されるチューブは開放型であり、工程を妨げることなく任意の長さに切断できます。小型チューブに使用されるものと同様のツールサイズを使用できます。後工程でチューブをサイジングする場合は、特にDDRが低いことがコーン内の配向を低下させるため重要です。

溶融配向が高い場合、さらに二次成形を行うと、ポリマーの伸長限界に近づき、破損や破損につながる可能性があります。

## 大型薄肉チューブ

直径12~30mm、肉厚0.3~0.8mmの薄肉チューブは、延長マンドレル法で製造されることがあります。

先細りの真鍮製マンドレル延長部がガイドまたはチップに取り付けられます。ガイドは通常、メルトフラクチャーを防止するために電氣的に加熱され、マンドレルはフッ素樹脂溶融物を固化させて固着を防止するために油で冷却またはわずかに加熱されます。



# フィルムとシート

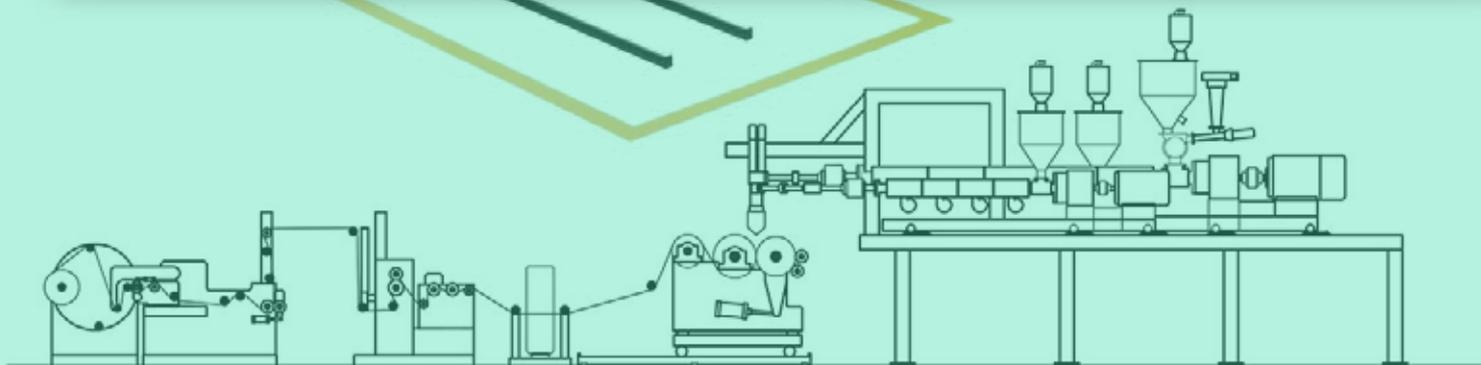
Everflon™フッ素樹脂フィルムは、極度の高温や低温、そして刺激の強い化学物質が使用される用途で使用されています。例えば、エポキシ樹脂やフェノール樹脂を用いた高温部品の圧縮成形における離型シートとして使用されます。また、一般的にはライナーとしても広く使用されています。例えば、製紙などの化学処理産業において、金属ロールを腐食から保護するためのロールカバーとして使用されます。その他の用途としては、ソーラーコレクターのグレーディング、ガスおよび液体サンプルバッグ、医薬品および食品の包装などがあります。部分フッ素化Everflon™フッ素樹脂は、機械的強度が求められる用途において、特に優れた引張強度と弾性率を有するフィルムを提供します。

Everflon™フッ素樹脂の一軸延伸および二軸延伸フィルムは、樹脂を溶融押出して平らなウェブまたはチューブ状に成形することで製造されます。延伸の主な目的は、フィルムの引張破断強度や引き裂き強度などの機械的特性を向上させることです。延伸方法は、通常、最終用途における機械的特性の要件に応じて決定されます。

平坦なフッ素樹脂フィルムを押し出す最も一般的なダイは、コートハンガー型です。図はコートハンガー型ダイの概略図を示しています。Everflon™フッ素樹脂溶融物は、ダイの中央付近から入り、ダイの両端に向かって方向を変えます。溶融物はダイの出口側に向かって傾斜したチャンネルを通して流れ、ダイの幅全体に分配されます。Everflon™溶融樹脂は、ダイの隙間を通して、ダイリップとも呼ばれる出口スロットに向かって流れます。この隙間は2枚の平らな金属板によって形成され、他の種類のダイと同様にランドエリアと呼ばれます。2枚のプレートは通常、複数のセクションで構成されており、それぞれを個別に調整することで、押し出されるフィルム/シートの厚さをより細かく制御できます。

ダイは、チャンネルが溶融物の流れを制限するように設計されており、すべての溶融物が同量のせん断を受けるようになっています。移動距離は、フローチャンネルに設計された拘束具によって均等化されます。

最終的な効果は、ダイの中央と端部での流量が等しくなり、ウェブの厚さが均一になることです。つまり、ダイ中央部の流れが最も制限されます。この方法の利点の一つは、ダイ内での滞留時間が均一であることです。この状態はプラグフローと呼ばれ、ダイを通過する際に溶融金属に内部せん断が発生しません。



# トラブルシューティングガイド

## 加工ばらつき

メルトフラクチャー

押し出し速度

遅すぎる

スパーク不良

ブリストア

キャリパーのばらつき

芯ずれまたは

真円度のずれ

ピンホール、破れ

考えられる原因

問題

考えられる原因	メルトフラクチャー	押し出し速度	遅すぎる	スパーク不良	ブリストア	キャリパーのばらつき	芯ずれまたは	真円度のずれ	ピンホール、破れ
汚染			●					●	●
樹脂が冷たすぎる	●	●						●	●
ダイが冷たすぎる	●	●						●	●
押し出し速度が速すぎる	●		●					●	●
コーンの長さが短すぎる								●	●
溶融樹脂に泡がある			●					●	●
基板が汚れている、濡れている、または粗い			●					●	●
ドローダウンが多すぎる			●					●	●
冷却水の飛散			●						●
ガイドチップが中心にない			●				●		
ガイドチップの中心穴が大きすぎる							●		
水による急冷が不十分							●		
溶融樹脂の張力が不十分							●		
ドロー比のバランスが不適切							●	●	●
樹脂の供給が急上昇						●	●		
スクリーウの設計が不適切		●				●			
ワイヤー速度の変動						●			
真空の変動						●			
コーンの長さが長すぎる						●			
ワイヤー径の変動						●			
リアバレル温度が低すぎる		●							
ドローダウンが低すぎる	●	●							
エアギャップが長すぎる					●				
基板からのガス放出				●	●				
樹脂のホールドアップ時間が長すぎる					●				
樹脂温度が高すぎる					●				
ダイまたはチップの設計が不適切									●
樹脂が濡れている、または顔料				●	●			●	●

# トラブルシューティングガイド

## 押出物の外観

変色  
表面粗さ  
着色不良の構造物  
断熱材のひび割れ  
気泡  
汚染

考えられる原因

問題

腐食生成物						●
局所的な樹脂滞留	●				●	●
樹脂温度が高すぎる	●		●	●	●	●
押出機ホッパーの清掃不足						●
不適切な取り扱いまたは保管				●		●
滞留時間が長すぎる	●			●	●	
締め付けが強すぎる				●		
ストランドの破損または鋭利な基材					●	
空気の巻き込み					●	
ワイヤーの予熱が過剰					●	
樹脂の湿潤					●	
基材の汚れ					●	
不適切な急冷による収縮ポイド						
ダイの温度が低すぎる		●		●		
ダイの拘束性が強すぎる		●				
樹脂温度が低すぎる		●		●		
汚染		●				
ダイ表面の不良		●				
ガイドチップの不適切な位置調整		●				
熔融樹脂の不適切な引き抜き		●		●		
樹脂の吸湿		●				
ベースワイヤーまたはケーブルの粗さ		●				
ウェルドライン (不適切なダイとチップ)		●		●		
不適切なカラーコンセントレート、レットダウン比			●			
顔料の分散不良			●			
押し出し速度が速すぎる		●				
不適切な着色剤			●			

# トラブルシューティングガイド

## 押出特性

耐熱劣化不良

カットスルー不良

ストリップ力高

ストリップ力低

絶縁耐力低

引張強度または伸び低

考えられる原因

問題

ワイヤ加熱不足						●
気泡またはボイド	●				●	●
同心度不良	●	●				
汚染					●	●
コーン長短			●			
コーン長長長				●		
ライン速度に対してエアギャップ短すぎる				●		
ライン速度に対してエアギャップ長すぎる			●			
過度の劣化	●					●
コーティング薄すぎまたは不均一	●	●			●	●



# Everflon Academic Center

Tel: +86-185-7168-9228

info@everflon.com

www.everflon.com

当社、製品、サービスに関する詳細は、ウェブサイト  
[www.everflon.com](http://www.everflon.com) または  
[www.everflonultra.com](http://www.everflonultra.com) をご覧ください。