



EVERFLON^{ACADEMIC}



— 射出成形ガイド —

EVERFLON

FEP
PFA

ETFE
PVDF

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。

フッ素樹脂は、他の多くの熱可塑性樹脂とは異なり、融点と溶融粘度が高いため、比較的高い加工温度と低い射出速度が求められます。これらの樹脂の成形特性を考慮し、金型設計には特別な配慮が必要です。また、加工設備は耐腐食性材料で製造する必要があります。

射出成形用Everflon™フッ素樹脂の特性

Property	Unit	ASTM standard	FEP 4610	PFA 410	ETFE 4010
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		$>10^{17}$	
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	

装置

Everflon™ フッ素樹脂はラム型射出成形機でも成形可能ですが、スクリー成形機は均一で可塑化された溶融樹脂を生成し、金型に流入する溶融樹脂への圧力伝達効率を大幅に向上させるため、往復スクリー成形機の使用を推奨します。

構成材料

溶融したEverflon™ フッ素樹脂はほとんどの金属に対して腐食性を示すため、溶融樹脂と連続的に接触するすべての部品には耐腐食性金属を使用することが非常に重要です。金属表面に蓄積した腐食生成物が剥離し、最終製品を汚染し、物理的特性に悪影響を与える可能性があります。スクリー、アダプター、ノズルには、「ハステロイ」C、「ハステロイ」C-2761、「ジュロニッケル」、または「モネル」の使用をお勧めします。

シリンダーライニングには、「ザロイ」309、「ブルックス」、「レイロイ」、または「ベルネックス」の使用をお勧めします。高温運転が一般的であるため、機械部品の分解を容易にするために、「Never Seez」などの耐高温ねじ潤滑剤の使用をお勧めします。

金型は樹脂の融点よりも低い温度に維持されるため、金型表面の腐食速度は機械の他の部品よりも低くなります。長期生産を除き、焼入れ工具鋼、焼入れステンレス鋼、または高品質のクロムメッキまたはニッケルメッキ材を使用したメッキなしの金型で十分です。長期生産の場合は、より耐腐食性の高い材料が望ましい場合があります。

スクリー設計

本製品は、全長の25%を占める計量部を持つ計量型スクリーです。スクリーは一定ピッチで、供給部と計量部のフライト深さの比は3:1である必要があります。Everflon™ ETFEの場合は3回転のトランジションゾーン、Everflon™ フッ素樹脂の場合は1/2回転のトランジションゾーンの使用をお勧めします。他のネジ設計も成功裏に使用されていますが、ここで説明する 2 つの設計が推奨されます。

ノズル

デッドスポットや樹脂速度の急激な変化を防ぐため、ボアは可能な限り大きく、テーパ状にする必要があります。コールドスラグの形成を防ぐため、スプルーはノズル内に13~25mm突出させる必要があります。ノズルのテーパ部にある材料がショットと共に排出されるように、4°の開先角が推奨されます。ノズルボアのピーニング（冷却された材料がノズルから排出されなくなる可能性）を低減するため、ノズルオリフィス出口の半径は0.25mmにすることを推奨します。スムーズで途切れのない流路を確保するため、ノズルボアはアダプターに適合し、専用のヒーターと温度制御装置を備える必要があります。

逆止弁

逆止弁またはチェックリング弁は、射出工程中に溶融樹脂がスクリー/フライトに沿って逆流するのを防ぎます。樹脂の滞留や滞留を防ぐため、流路は流線型でなければならず、バルブとスクリーの接合部は滑らかでしっかりと密着していなければなりません。スクリーの先端は、樹脂の流路を流線型にし、射出後のスクリー前面の自由容積を減らすために尖らせる必要があります。バルブの漏れは、成形品の充填と公差の制御不良につながります。

スミアヘッド

逆止弁の代わりに使用できるスミアヘッドは、延長されたランド長にわたってシリンダーとの小さな直径クリアランスを利用することで、スクリーの射出ストローク中のメルトフローの逆流を抑制する装置です。スクリーが後退時に回転すると、メルトは狭い環状部を通して前方に押し出されます。このせん断作用またはスミアリング作用により、メルト温度が上昇し、混合が改善され、有効充填圧力が低下します。逆止弁よりもスミアヘッドの方が好ましい理由は以下のとおりです。

- 樹脂の滞留が少ない
- 金型への過充填（Everflon™フッ素樹脂の場合は剥離を伴う）の可能性が低い
- 成形品に筋が入りにくい
- 比較的軟質の耐腐食性合金の摩耗が少ない

低粘度樹脂を射出成形する場合は、チェックリング式逆止弁の使用をお勧めします。Everflon™ PFAおよびFEP、またはETFE 4010を成形する場合は、通常、逆止弁の代わりにスミアヘッドを使用します。

チェックリングは、ハステロイCまたはモネル400で製造できます。チェックリングの材質として絶対的に壊れにくいものは知られていないため、チェックリングの摩耗を監視する必要があります。

温度制御

シリンダー用に3つの独立した制御ヒーターゾーン、アダプター用に1つのヒーターゾーンを使用することをお勧めします。ノズルには別のコントローラーを使用してください。ヒーターコントローラーは、Everflon™ ETFEでは最高371°C、Everflon™ FEPおよびPFAでは最高427°Cまで、正確な温度制御が可能でなければなりません。このレベルの制御には、ヒーターのワット密度4.6~6.2 W/cm²が必要です。

油圧システム

Everflon™フッ素樹脂を射出成形する場合、表面または内部のメルトフラクチャー（溶融破壊）を回避するために、非常に低速の射出速度が必要となることがよくあります。そのため、油圧システムは、1ショットあたり60秒という非常に均一で制御されたラム速度を実現できる必要があります。

合理化

最も重要なのは、樹脂が機械内を流れる経路全体を合理化し、滞留領域をなくすことです。往復スクリー成形機の逆止弁には局所的な滞留が発生する可能性があり、これが樹脂の熱劣化や不良生産につながる可能性があります。

射出成形機のサイズ選定

通常の成形条件において、成形品とランナーの重量に加え、以下の溶融密度を考慮することで、適切な射出成形機のサイズを選定できます。

— Everflon™ FEPおよびPFAの場合：約1492 kg/m³（約0.054 lb/in³）

— Everflon™ ETFEの場合：約1298 kg/m³（約0.047 lb/in³）

型締力は、キャビティ金型圧力と、型締力に対抗する金型キャビティ面積に応じて適切に設定する必要があります。Everflon™フッ素樹脂で成形品を成形する場合、投影面積1平方インチあたり5 tonの型締力で十分と考えられます。

金型設計

構成材料

金型キャビティは、ハステロイC、モネル、ジュラニッケルなどの耐食性材料で製造できますが、これらの材料は通常必要とされるレベルをはるかに超える耐食性しか備えていません。

保護されていない工具鋼または硬化ステンレス鋼を使用する場合は、錆や孔食を防ぐため、保管前に中程度のアルカリ性物質（例：アンモニア水）で金型を徹底的に洗浄し、乾燥させた後、防錆剤を塗布する必要があります。この手順は、特に湿度の高い環境では重要です。錆や孔食を防ぐには、金型にニッケルまたはクロム（Everflon™PFAにはクロムを使用しないでください）を0.013~0.025 mmの厚さでめっきします。めっきが金型から剥がれるのを防ぐため、ピンホールのない高品質のめっきを使用してください。

スプルーブッシング

スプルーブッシングの直径は、メインランナーより少なくとも1.6 mm大きく、ノズルオリフィスよりわずかに大きくする必要があります。一般的に、4 mm/mまたは6 mm/mの標準テーパーが使用されます。

ランナー

熱損失と圧力損失を最小限に抑えるため、できるだけ短い長さの、大径で完全な円形ランナーを使用する必要があります。次に好ましいのは、円形ランナーよりも機械加工が容易な台形ランナーです。ランナー壁は、いかなる制約もなく、ゲートに滑らかに溶け込む必要があります。一般的に、成形品の厚みが増すほど、ランナーは大きく短くする必要があります。平均厚み（最大約12.7 mm）の部品では、ランナー径は6.4 mm以上が必要です。それより厚い部品では、ランナー径は部品の厚みの1/2~1倍にする必要があります。ランナーの長さやレイアウトは、スクラップ発生量と圧力損失に影響します。ランナーシステムは、キャビティとスプルー間の樹脂流動距離が等しい場合、「バランスが取れている」状態です。キャビティ数が多いために樹脂流動が複雑または長くなる場合は、「バランスの取れた」ランナーシステムは推奨されません。「ラテラル」ランナーシステムは、ほとんどの場合、樹脂流動距離が短い場合も長い場合も使用できます。

ゲート

ゲートは可能な限り大きくするか、完全に除去する必要があります。ゲートのランド（長さ）は非常に短くする必要があります。金型キャビティ内に大きく広がる長方形のタブゲートまたは扇形ゲートは、樹脂の応力をより効果的に低減できるため、丸形ゲートよりも推奨されます。丸形ゲートは一般的に部品から取り外しやすですが、長方形ゲートほどキャビティ充填とゲート固化時間を個別に制御することはできません。ゲートの厚さ（直径）は、部品の厚さの1/2~1倍にする必要があります。ランナーからゲート、そして部品への遷移は滑らかで、樹脂流動方向が急激に変化しないようにする必要があります。

ダイヤフラムゲートまたはリングゲートは、同心度が重要となる円筒形部品の成形や、ウェルドラインの発生が許容されない成形に使用できます。Tefzel™フッ素樹脂のように、非常に高速に射出成形される小型部品の成形を除き、ピンポイントゲートの使用は避けてください。トンネルゲート。

ゲート位置は以下の点にする必要があります。

- 使用中に曲げや衝撃によって部品に大きな応力がかからない場所
- ウェルドラインが重要でない箇所に発生する場所
- ゲート位置の仕上げが不要または安価な場所
- ヒケを最小限に抑え、樹脂が薄肉部から厚肉部へ流れ込むのを防ぐため、最も厚肉部に近い場所に配置する
- ベント要件を満たす場所（通常、ウェルドラインまたはブラインドキャビティの底にベントが必要です）
- 円形部品の中心

その他の考慮事項

部品の機能要件と外観要件が決まったら、最終的な部品設計では以下の点に留意する必要があります。

- 十分なフィレット加工
- 流線型の角度と交差
- 均一な肉厚（異なる肉厚が必要な場合は、可能な限り段階的にブレンドする）
- シンプルさ（全体の設計は可能な限りシンプルに）

さらに、以下の点も考慮すべき優れた点です。

- 部品への穴あけなどの成形後工程は、通常、ピンの組み込みよりも好ましい方法です。
- 部品の複雑さが増すにつれて、キャビティ数を減らす必要があります。
- ジェットイング（金型キャビティを横切る薄い樹脂流の急速な流れ）は避けるべきです。

金型加熱

金型は通常、高温循環式オイルヒーターを使用して加熱できますが、射出成形プロセスで金型温度が191℃を超える必要がある場合は、電気加熱を使用する必要があります。熱損失を低減するため、金型の両半分はプラテンから断熱する必要があります。この目的には、厚さ6.4mmの「トランジット」ボードが適しています。

寸法に関する考慮事項

公差

精密な公差成形を実現するには、シリンダーへの樹脂供給量、シリンダーと熔融樹脂の温度、ラムまたはスクリュウの速度、圧力、そしてサイクル全体といった動作パラメータを正確に制御する必要があります。これらのパラメータはすべて一定に保たれなければなりません。金型設計もまた、規定の公差を満たす上で重要な要素です。

あらゆる製造プロセスにおいて、公差要件が厳しくなるほど、プロセスはより複雑でコストも高くなります。

一般的に、プラスチック部品は、プラスチック本来の高い弾性により、金属部品よりも広い公差で動作させることができます。

公差に関する一般的なコメントと注意事項は次のとおりです。

- 公差は必要以上に狭く設定しないでください。
- 部品の複数の寸法に狭い公差を設定すると、コストが増加します。
- 肉厚に大きなばらつきがある部品には、狭い公差を設定しないでください。
- パーティングライン全体、または可動コアやスライドカムによって制御される寸法に、微細な公差を設定することは推奨されません。

収縮

フッ素樹脂射出成形部品の収縮に影響を与える基本的な要因を以下に示します。

- 部品の厚みまたは金型温度のいずれかを上昇させると、部品の収縮が増加します。これは、このような変化によって部品の冷却速度が低下し、結晶化度（秩序度）が高まり、内部応力がいくらか緩和されるためです。
- ほとんどのプラスチック部品は方向によって収縮率に差があります。樹脂の流動方向では、分子配向が比較的高いため、部品の収縮率は最も低くなります。一般的に、流路が直線的であるほど収縮率は低くなります。したがって、寸法公差の制約が最も大きい方向に最も直線的な流路が形成されるように部品を設計し、ゲートを配置することが推奨されます。
- 射出圧力の上昇は収縮率を低下させます。
- 一般的に、成形品の温度が高いほど、成形収縮率は高くなります。
- 充填材を添加すると、成形収縮率は低下します。

成形操作

シャットダウンおよび起動手順

適切なシャットダウン手順に従わずに成形装置を停止すると、樹脂の劣化が発生する可能性があります。また、装置が耐腐食性のない材料で作られている場合は、装置の深刻な腐食につながる可能性があります。

清掃を行わずに夜間シャットダウンする必要がある場合は、以下のシャットダウン手順を推奨します。

1. すべての温度調節器を以下の温度まで下げます。

a) Everflon™ PFAまたはFEPの場合：310℃

b) Everflon™ ETFEの場合：280℃

2. すべての温度が手順1で示した温度まで下がったら、装置を乾燥状態までパージし、射出スクリューを前進位置にしたままにして、最後に電源を切ります。

再起動手順は以下のとおりです。

1. ノズル、アダプター、リアバレル、フロントバレル、ミドルバレルの順に、各ゾーンの温度コントローラーを以下の温度まで順次上げます。

a) Everflon™ PFAまたはFEPの場合：310℃

b) Everflon™ ETFEの場合：280℃

すべての樹脂を溶融し、すべての金属部品をこれらの設定温度まで加熱するには、1時間のヒートソークが必要になる場合があります。

2. すべての温度が安定したら、温度コントローラーを動作温度に設定し、機械をゆっくりと起動します。

3. 動作温度に達したら、生産を開始します。

洗浄手順

推奨される洗浄手順は以下のとおりです。

1. 運転温度を維持しながらスクリーを回転させ、ノズルから樹脂が出なくなるまで回転させ続けます。
2. シリンダー温度を以下の温度まで下げます。
 - a) Everflon™ PFAまたはFEPの場合：310℃
 - b) Everflon™ ETFEの場合：280℃
3. スクリーを締め、ノズルとアダプターの両方を取り外します。ノズルは熱いうちに、柔らかい金属製のスクレーパーと銅メッシュを使用して必ず清掃してください。オープンのバーンアウトは不要であり、避けてください。
注：この時点で、Everflon™ FEPまたはETFEを成形するには、粉碎したキャストアクリルまたはポリエチレンのパージコンパウンドを使用できます。
4. 熱いスクリーをシリンダーからゆっくりと取り外し、ワイヤーブラシで清掃します。
5. シリンダー内部をボイラーチューブブラシに巻き付けた銅メッシュでしっかりと清掃し、糸くずの出ない布でシリンダーを拭きます。

耐腐食性金属製の装置で運転する場合、金属を損傷する恐れなく、装置内にパージ材（研磨材、キャストアクリル、またはポリエチレンシート）を一晩放置しても問題ありません。

熔融温度（ノズルから出る樹脂）

- ・ホールドアップ時間が長くなるにつれて、熔融温度を下げてください。
- ・ランナー、ゲート、オリフィスのサイズも考慮すべき要素です。

温度プロファイル

- ・ 熔融温度が高く、ホールドアップ時間が長い（10～15分）場合、樹脂の劣化を最小限に抑えるため、後部ゾーンの温度を前部ゾーンよりも低く設定する必要があります。
- ・ ホールドアップ時間が短い場合、前部ゾーンと後部ゾーンの温度を同じ温度に設定する必要があります。
- ・ ヒーター熱電対の位置、装置のサイズ、射出スクリーの速度と種類、ショットサイズ、サイクルタイムも考慮すべき要素です。
- ・ 熔融樹脂の機械的作用により、熔融温度が高くなる場合があります。
- ・ 後部ゾーンの温度が高すぎると、ブリッジングが発生し、供給が不安定になる可能性があります。
- ・ 後部ゾーンの温度が低すぎると、部分的に熔融した樹脂によって生じる高トルク負荷によりスクリーが停止し、装置の可塑化能力が低下する可能性があります。

射出速度

- ・ 許容ラム速度は、熔融樹脂が通過する最小の流路によって決まります。
- ・ 表面が粗い、または波紋がある場合は、適切な射出速度が使用されていないことを示しています。表面が粗い、または霜が降りたような場合は、射出速度が速すぎたことを意味します。逆に、波紋がある場合は、射出速度が遅すぎたことを意味します。
- ・ ショットサイズ、樹脂温度、金型温度も考慮すべき要素です。

射出圧力

- 通常、射出圧力は可能な限り低くする必要があります。
- 低い射出圧力は、固化応力を低減し、寸法安定性を向上させます。
- ヒケを低減したり、ウェルドラインを改善したりするには、射出圧力を上げる必要があります。
- 設備と部品の設計も考慮する必要があります。

スクリュー回転数

- 一般的に、スクリュー回転数は可能な限り低く抑える必要があります。
- 長尺薄肉部品の成形に必要な高い熔融温度を得るために、高いスクリュー回転数と適切な背圧を組み合わせることが時々行われます。

金型温度

- 通常、厚肉部には極端に高温の金型を使用しないでください。
- 樹脂の流路が部品の厚さに比べて長い場合は、通常よりも高い金型温度が必要です。
- 金型温度を上げると、層間剥離の可能性が低下します。
- 金型温度を調整する際には、部品形状、表面仕上げ、圧力損失、サイクルタイムへの影響、応力、部品の突き出し性、収縮率など、相互に関連するパラメータを考慮する必要があります。

背圧

- 通常、背圧は可能な限り低く抑える必要があります。
- ただし、背圧を上げることは、材料温度を上げる効果的な方法となる場合があります。

全体サイクル

全体サイクル時間は、プロセス温度と圧力、部品形状、公差、反り、突き出し性など、相互に関連する多くの製造変数の影響を受けます。サイクル時間は通常、厚さ3.2mmあたり30~40秒で推定されます。薄肉部を除き、サイクルの最長時間はラムの運動に費やされることが多いです。

樹脂の「パッキング」（ラムを加圧したまま前進位置に保つこと）は最小限に抑える必要があります。通常、パッキングは厚肉部の成形時のみ、ヒケやボイドの発生を抑える目的で使用されます。過剰なパッキングは、Everflon™ FEPおよびPFAでは部品の層間剥離を引き起こしますが、Everflon™ ETFEでは通常発生しません。スミアヘッドを使用することで、オーバーパッキングの可能性を低減できます。

Everflon™フッ素樹脂の推奨成形条件

Property	Unit	FEP 4610	PFA 410	ETFE 4010
リアシリンダー	°C	315-330	315-330	270-300
センターシリンダー	°C	330-345	330-345	270-320
フロントシリンダー	°C	371	371	270-320
ノズル	°C	371	371	345
金型温度	°C	>93	149-260	190
樹脂温度	°C	343-382	343-399	300-330
射出速度 低速 低速	-°C-	Slow	Slow	Moderately Fast
射出圧力	Mpa	21-55	21-55	21-100

ヒント

着色

Everflon™フッ素樹脂は、樹脂の成形温度において熱的に安定なEverflon+™着色剤で着色できます。無機顔料が最適です。樹脂を着色する最も簡単な方法は、着色されていない樹脂と着色剤を混合することですが、顔料は次の手順でドライブレンドすることも可能です。

1. 目的の顔料を真空オープンまたは非循環空気オープンで150℃で一晩乾燥させ、吸収されたガスと水分を除去します。
2. 顔料を計量し、より高い不透明度が必要な場合は、着色顔料に適切な量の二酸化チタン顔料を加えて混合します。
3. 樹脂ペレットを元の輸送用カートンなどの清潔な容器に入れ、100メッシュのふるいを通して顔料をペレットに直接振りかけます。
4. 顔料とペレットを15分以上ローリングまたはタンブリングしてドライブレンドします。
5. 着色した樹脂ペレットは30分以内に使用するか、吸湿を防ぐため密閉容器に保管してください。

薄片成形

一般的に、ほとんどの熱可塑性樹脂では、特に比較的大きな表面積を扱う場合、非常に薄い断面を射出成形することは困難です。Everflon™フッ素樹脂では、2.5 mm未満であれば薄片とみなされます。薄片を加工する場合は、フルショット成形が最も重要であるため、ラム速度を高くする必要があります。しかし、フルショット成形と層間剥離のない成形品の両立は困難です。

後者の製品特性は、通常、低速ラム速度でのみ得られます。この運転条件では、薄肉部ではフルショットが得られる前にゲートまたはキャビティ内で樹脂が固化します。

したがって、層間剥離の発生を最小限に抑えるには、204 °C程度の高温金型温度が必要です。パッキングは使用しないでください。つまり、金型が充填されたらすぐにラムを後退させてください。Everflon™ FEPおよびPFAの部品は、熱老化または繰り返し曲げを受けると、見た目も感触も滑らかな部分に層状化が現れることがあります。部品が曲げられた後も良好で滑らかな表面を維持するには、低速ラム速度を許容できる厚さが必要です。

層間剥離はEverflon™ ETFEの特性ではないため、FEPおよびPFA樹脂で層状化を回避するために必要な予防措置は、ETFEの成形では必要ありません。



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 または
www.everflonultra.com をご覧ください。