



EVERFLON<sup>ACADEMIC</sup>



— 加工ガイド —

**PTFE**

F100	F500
F1000	F2000

ポリテトラフルオロエチレン微粉末

---

# はじめに

Everflon™ PTFEファインパウダーは、乳化重合によって形成された分散液から分離した乳白色のポリマーです。炭素原子とフッ素原子のみからなる分子構造 ((CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>)<sub>n</sub>) を有しています。

Everflon™ PTFEファインパウダーは、あらゆるプラスチックの中で最も低い摩擦係数と、最も優れた耐熱性、耐薬品性、電気特性、非粘着性を備えています。

Everflon™ PTFEファインパウダーは有機溶剤を容易に吸収し、ペースト状になるため、容易に押し出すことができます。絶縁電線、スパゲッティチューブ、細径ロッド、非焼結テープなどの製造に広く使用されています。

## 市販のEverflon™ PTFEファインパウダー

Properties	PTFE F100	PTFE F500	PTFE F1000	PTFE F2000
粒子径 (μm)	500	500	500	500
見かけ密度 (g/ml)	0.45	0.45	0.45	0.45
融点	328	328	328	328
比重	2.2	2.2	2.2	2.2
引張強度 (MPa)	25	25	25	25
伸び (%)	350	50	350	350
縮率	100	600	1500	2000
	非焼結テープ; シーリングテープ	小径および大径チューブ; 収縮チューブ AWG16より大きい太い電線および被覆チューブ	ラッピングテープ フラットケーブルをラッピングするためのテープ チューブ 低比重テープ AWG16より細い電線	小径チューブ スパゲッティチューブ 低比重テープ AWG12より細い電線

# 主な用途

Everflon™ PTFEは優れた電気特性を有するため、電線絶縁材として最適です。また、優れた耐熱性と耐薬品性も兼ね備えています。主な用途は以下のとおりです。

- 航空機、ロケット、ミサイルなどの電気配線
- 電気回路用変圧器および電動モーターの配線各種電子産業用配線
- 発電所、電気炉、真空管付近など、高温にさらされる配線
- 化学工業で使用される強力な薬品の影響を受ける配線

Everflon™ PTFEの優れた耐熱性、耐薬品性、非粘着性は、以下の用途で活用されています。

- ジェットエンジン燃料およびロケット燃料用配管
- 化学プラントや原子力発電所における高温または腐食性流体用配管
- 食品や薬品を含む流体用配管
- 蒸気ホース粘性物質の輸送配管、
- 油圧制御機器用ホース、電子機器の断熱材など。

Everflon™PTFEは、優れた電気特性、耐熱性、耐薬品性を有し、ポンプ・バルブ部品、端子、ブッシング、外装絶縁体などの製造に利用されています。

## (1) シール用途

非焼結PTFEテープは、ねじ継手のシール材として最適です。ねじ部に巻き付けると、優れた耐薬品性、耐熱性を備えた強固なシールを形成します。また、自己潤滑性により容易に取り外しができ、配管内部の汚染を完全に防ぎます。

## (2) 絶縁用途

非焼結テープを電線やコイルに巻き付け、330℃ (626°F) に加熱すると、カレンダー方向に約33%収縮するため、対象物を完全に覆うことができます。テープ層同士が融着し、隙間のない完全な密封絶縁体を形成します。非焼結テープは、Everflon™PTFEフラインパウダーを使用した押出絶縁電線の接続や補修にも使用されます。

## (3) フィルム

非焼結テープを張力下で焼結するとフィルムが生成され、絶縁材料として使用されます。

# 特性

## 絶縁電線

## パイプ チューブ

## 細棒

## 非焼結 テープ

# Everflon™ PTFEファインパウダーの特性

## 熱的特性

Everflon™ PTFEは、260℃までの連続使用が可能で、さらに高温でも短時間使用できます。また、優れた低温強度を有しています。これらの優れた熱的特性により、Everflon™ PTFEファインパウダーを使用した電気・電子機器部品、配管ライニング、絶縁電線などの製品は幅広く使用されています。

## 化学的特性

Everflon™ PTFEは、一般的に使用されるあらゆる薬品に対してほぼ完全な耐性を示す優れた特性を有しています。ただし、溶融アルカリ金属、高温・高圧フッ素ガス、トリクロロフルオロカーボンガスなど、極めて過酷な条件下で一部の特殊な薬品と併用した場合、若干の変化が生じる可能性があります。ただし、高温における一般的な酸、アルカリ、酸化剤に対しては、Everflon™ PTFEは完全に安定しており、有機化合物と接触しても溶解や膨潤は発生しません。Everflon™ PTFEが化学産業において、パイプライニング、ワイヤーブレードホース、ガスケット、チューブ、ベローズなど幅広い用途で使用されている主な理由は、その化学的不活性性にあります。

## 電気特性

Everflon™ PTFEの分子構造は非極性であるため、広い温度範囲で使用可能であるだけでなく、広い周波数範囲にわたって低く均一な誘電率と誘電正接を示すことから、高周波絶縁材料として最適です。

Everflon™ PTFEファインパウダーは、航空機、電気配線、小型同軸ケーブル、産業用制御ケーブル、スパゲッティチューブ、ラッピングテープなどの絶縁被覆材の製造に使用されています。

## 低摩耗性と非粘着性

通常の使用条件下では、Everflon™ PTFEは固体の中で最も低い摩擦係数を有しています。さらに、その優れた非粘着性により、ほとんどの粘着性物質が付着するのを防ぎます。Everflon™ PTFEファインパウダー製のチューブは、液体接着剤の輸送チューブ、ケーブルウェイ管、自動車産業などの機械産業、その他類似の用途に使用されています。さらに、Everflon™ PTFEファインパウダー製の非焼結テープは、非常に柔らかく展延性が高いため、ボルトのねじ山にしっかりと密着し、優れたシール効果を発揮します。

# 製造ガイド

## ペースト押出

一般的な成形用粉末と比較して、Everflon™ PTFEファインパウダーは分子量が小さく（3,000,000～5,000,000）、極めて微細な粒子で構成されています。そのため、Everflon™ PTFEファインパウダーと有機溶剤との親和性に優れ、押出助剤として一般的な石油系溶剤を添加することで、オルガノゾル状に成形することができます。Everflon™ PTFEファインパウダーの一般的な成形プロセスを以下に示します。

カレンダー成形

カレンダー成形

押出助剤の除去

溶媒抽出

完成品

未焼結テープ

原材料

ふるい分け

押出助剤の混合

混合

予備成形

押出

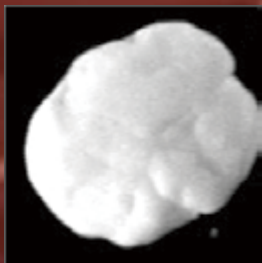
押出助剤の除去

乾燥

焼結

完成品

絶縁電線  
細管  
細棒

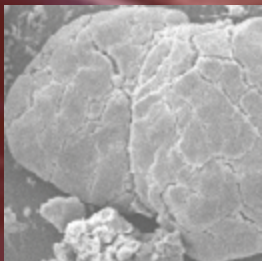


-200um-

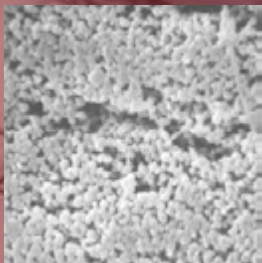
Everflon™ PTFEファインパウダーは、直径約500 $\mu$ m、比重500g/lの「ポテト状」の二次粒子で構成されています。空間充填率は25vol%で、PTFEファインパウダーは750mlの空気で満たされた細孔を有しています。

二次粒子は、約1010個の一次粒子が統計的に球状凝集体を形成して充填されています。充填密度は55 vol%です。同一サイズの球を統計的に球状に充填した場合、球径に関わらず、最大充填率は62 vol%に達します。球状の一次粒子は、極めて狭い粒度分布を有しています。一次粒子に含まれるPTFEは、高度に結晶化した状態です。

ジャガイモのような形状の二次粒子は、流動性を確保しています。粒状の島状の二次粒子構造は、統計的に充填された球状凝集体であることを示しています。粒子は、10<sup>10</sup>個の一次粒子が「ブドウ状凝集体」を形成しています。



-100um-



-1um-

# ペースト押出の現象

## ペースト混合

潤滑剤を添加することで、二次粒子の細孔空間が充填されます。潤滑剤としては、PTFEを湿潤させる有機流体が使用され、主に高沸点炭化水素（ベンゼン類）が用いられます。実用的には、PTFE 100重量部に対しベンゼン20重量部を混合します。潤滑剤を添加することで、二次粒子内部の空気が置換されます。二次粒子のジャガイモのような形状は変化しません。添加剤を添加したペーストは流動性を維持しますが、比重は約700 g/lに増加します。二次粒子間の空気充填空隙は500 ml/l程度です。

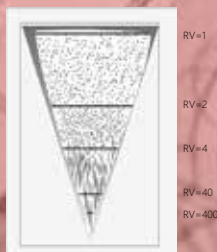
## プリフォームの製造

二次粒子間の空気は、シリンダー内で約30～50 barの圧力で圧縮することにより除去されます。これにより、潤滑剤を含む材料の密度は1650 g/lに増加します。これにより、二次粒子と一次粒子の形状が維持されます。こうして得られた円筒状の棒は、プリフォームまたはビレットと呼ばれます。測定された密度から、充填率は約63 vol%です。レオロジーの観点から見ると、ビレット内の微粉末はペースト状の状態にあります。レオロジー的には、ペーストは、固定された流体と塑性変形可能な固体からなる不均質な2成分系として定義できます。この系は、ある最小力を超える力が加わると流動し、不可逆的に変形します。固定された流体は潤滑剤（マトリックス）となり、変形した一次粒子は充填物質となります。

## ファンネルフロー設計によるペースト押出

ビレットは円筒形の金属ホッパーに移され、同じく金属製のファンネルを通して、ペースト押出圧力と呼ばれる一定の圧力で押し出されます。ファンネル内の断面積の狭まり具合は、ファンネル入口とファンネル出口の面積比である縮小率（RR）によって特徴付けられます。ファンネル出口には、いわゆるガイドと呼ばれる非常に短いパイプが取り付けられており、このガイド内でペーストが「静まり返り」ます。ホッパー内では、ビレットは金属壁に付着しないため、プラグフロー挙動を示します。レオロジーの観点から見ると、実際の流動プロセスは、図に流動系として示されている漏斗入口でのみ始まります。流速は、RR断面の狭まりに正比例して増加します。流動系の密集により、流れの方向にせん断勾配が生成されます。これにより、ペースト材料は不可逆な塑性変形を強いられます。押し出された材料は、潤滑剤を含む湿潤状態と乾燥状態の両方で、変形により機械的安定性、いわゆる「グリーン安定性」を獲得します。

湿潤押し出し材料の密度は約1.8 g/cm<sup>3</sup>ですが、乾燥押し出し品の密度は1.6 g/cm<sup>3</sup>で、空間充填率は70 vol %です。これは、同一サイズの球体の理論上の最大充填密度にほぼ達していることを意味します。



## 二次粒子の崩壊

二次粒子の破碎はペーストの解織とも呼ばれます。図は漏斗状の円錐の縦断面を示しています。ペーストを調製する前に、微粉末を染色した二次粒子を含む潤滑剤と混合します。使用した染料はベンゼン不溶性です。これにより、染色された二次粒子が縮率RRの増加に伴って「縦方向の円筒」に変形する様子を見ることができます。

縮率（RR）が高くなるほど、円筒の断面積は小さくなります。断面積の減少はRRに反比例します。これは、解織する二次粒子の先端に向かって流れ方向に輸送される大きな一次粒子クラスターが、バケット状に再集合する結果です。クラスターの輸送は、一次粒子の位置移動と必然的に連動します。これにより、一次粒子は真珠の糸のように整列します。二次粒子は破碎されています。

一次粒子の真珠のような配列は、 $10\mu\text{m}$ 未満の範囲まで均一であることが理想的であり、より大きな「ブドウのような」不揃いなクラスターは避けるべきです。このようなクラスターは、焼結後の最終製品の表面が不規則で滑らかでない状態（オレンジの皮のような状態）につながります。

## 一次粒子の可逆変形

ペーストの押出成形は、押出物の拡大を伴います。つまり、押出物の直径がガイドよりも大きくなります。これは、弾性エネルギーを蓄えることができるのは一次粒子だけであるため、一次粒子に弾性変形が生じたことを示しています。流動方向のせん断勾配により、球状の一次粒子は楕円形に変形します。一次粒子は混練されます。ガイドから離れると、弾性張力が緩和され、一次粒子は元の球形に戻ります。これは、変形が可逆的であることを意味します。残るのは、よりコンパクトな構造だけです。

# Everflon™ PTFE

## 微粉末処理の基礎

### 包装と保管

Everflon™ PTFE微粉末は、電子制御プロセス（プロセス制御システム）で製造され、クリーンルーム環境（クリーンルームクラス100）下で充填されます。充填量は20kgで、密閉可能なプラスチックドラムに充填されます。

PTFE製造設備と、蓋とシールを備えたドラム容器の品質により、ドライバッグが不要となり、ドライバッグの破損による汚染の可能性も回避されます。材料は19℃以下の温度で充填・保管されます。年間を通して高温となる時期には、輸送中や熱による凝集を防ぎ、微粉末の良好な流動性を維持するため、通常は冷蔵トラックで輸送されます。

これらの粉末特性を維持するために、製品を冷蔵室で保管することをお勧めします。可能であれば、結晶が変化する19℃以下の温度で保管してください。

室温は15℃にすることをお勧めします。これらの予防措置にもかかわらず、微粉末が塊になっていたり凝集体が含まれている場合は、後者をふるい分けることができます（注意：粒子に圧力をかけたり、粉末を汚染したりしないでください）。分離された凝集体は、5～10℃の温度で2～3日間冷蔵し、その後、凝集体を分解するために振ってください。次に、凝集体が自由に流れる粉末に分解される19℃未満の温度でふるいにかける必要があります。微粉末材料が次の処理の準備ができるまでには24時間以上かかり、材料を5℃まで冷却するには約3日かかります。より実用的な解決策は、PTFEを15℃まで冷却するのに数日かかる15℃の冷房です。

## 押出混合物の調製

最終製品の欠陥を防ぐために、微粉末はせん断に非常に敏感であるため、加工中は粉末に過度の機械的ストレスがかからないよう注意が必要です。粒子の粉碎を防ぐため、粉末を慎重に振るか、すくい取ることをお勧めします。

## 粉末のふるい分け

微粉末を混合容器に投入する前に、凝集塊を砕き、ほぐすためにふるいにかける必要があります。ふるいの目開きは3~4mmとしてください。リドルシフターを使用することで、硬い凝集塊を砕くこともできます。砕けない大きな塊はふるいから取り除き、別の容器に集めてください。分離された凝集粒子は、冷却して再度ふるい分けを行うことで再加工できます。開放ふるい分け工程では、最大限の清浄度を保つことが重要です。空気中の結露による吸湿を防ぐため、ドラムを室温に保ち、粉末を取り出した後は直ちにドラムを再び密閉してください。PTFEは優れた電気絶縁体であるため、PTFEを添加する際には、材料が静電気を帯び、潤滑剤と混合して爆発する可能性があるため、高速注入を避ける必要があります。

## 潤滑剤との混合

ペースト押出成形用の潤滑剤として、沸点範囲の異なる脂肪族炭化水素が有用であることが実証されています。

潤滑剤の選択は、押出成形材料の種類によって異なります。沸点範囲の高い潤滑剤は、通常、カレンダー加工を必要とするフィルムなどの薄肉用途に使用されます。沸点範囲の低い潤滑剤は、ライナーなどの厚肉押出成形材料に使用されます。

潤滑剤は、微粉末によく吸収され、押出成形後に同様によく除去されるものでなければなりません。また、焼結中に変色を引き起こさないものでなければなりません。用途と潤滑剤の種類に応じて、潤滑剤の含有量は、Everflon™ PTFE微粉末100重量部に対して17~25重量部となります。潤滑剤の量は、説明を簡潔にするために重量部で記載しています。しかし、PTFE微粉末には、一次粒子間の空隙を埋める必要があるため、最適な量の潤滑剤を添加するという方が正確です。ここで、潤滑剤の密度（約10~15%変化する場合があります）が影響します。潤滑剤は、混合容器の端ではなく中央の粉末に添加します。

微粉末は19℃以下の温度でより良好な流動性を示すため、混合工程は19℃以下の温度で行う必要があります。ミキサーの種類（ドリーミキサーまたはタンブリングミキサー）に応じて、混合時間は20~30分で、速度は毎分20~30回転に設定します。粉末混合物は、混合容器内で流動し、飛び散らないようにする必要があります。潤滑剤は粉末に均一に吸収されます。蒸発損失を防ぐため、混合容器はしっかりと密閉する必要があります。良好な混合を得るために、混合容器は最大で容量の2/3まで潤滑剤を充填してください。

微粉末と可燃性潤滑剤を混合する際は、潤滑剤蒸気の発火リスク（静電気による発火など）があるため、アース接続が重要です。作業室内のベンゼン濃度は、適切な室内空気モニタリング装置を用いて監視する必要があります。また、十分な換気も行ってください。

## 着色

粉末ペーストの着色には、以下の手順が推奨されます。液状着色懸濁液を使用する場合は、粉末ペーストと混合する前に、潤滑剤に添加してください。顔料を乾燥状態で粉末ペーストと混合する場合（例：帯電防止用途、カーボンブラック染色）、顔料を粉末上に直接ふるい分け、その後、乾燥状態で転動させて均質化します。

## 押出混合物の熟成

混合物を「熟成」させることで、PTFE中の潤滑剤の均一な分散が得られます。この熟成工程は、密閉容器内で一晩、または最長24時間以上かけて行います。それ以上の時間は必要ありません。

## プリフォームの圧縮

この処理工程では、Everflon™ PTFEファインパウダーと潤滑剤の混合物をプリフォームプレスに投入し、円筒形のプリフォームに圧縮します。圧縮の目的は、粉末ペーストと潤滑剤の混合物に含まれる空気を除去し、押出シリンダーに問題なく供給できる形状にすることです。粉末は体積の1/3まで圧縮されるため、プリフォームプレスのシリンダーはプリフォームの3倍の長さが必要です。

粉末と潤滑剤の混合物は、プリフォームシリンダー内の混合物から空気が完全に抜けるように、ゆっくりと圧縮する必要があります。このプロセスは、通気孔を真空にすることでサポートできます。プリプレスは約30～50 barの圧力で数分間かかります。完成品の品質は、とりわけ、ひび割れのないプリフォームに左右されます。したがって、圧縮圧力はゆっくりと下げ、プリフォームをプリフォームシリンダーから取り出す際には注意が必要です。圧縮成形された部品は、表面からの潤滑剤の蒸発を最小限に抑えるため、直ちに加工する必要があります。

潤滑剤の不均一な分布は、最終製品の品質と寸法のばらつきにつながります。プリフォームはペースト押出機に供給されます。この押出機のシリンダー径は、プリフォームの外径より1mm大きくする必要があります。

# トラブルシューティングガイド

問題	考えられる原因	推奨される解決策
半製品の汚染	汚染された潤滑剤が添加された	<ul style="list-style-type: none"><li>潤滑剤を濾過する</li><li>潤滑剤のバッチを交換する</li></ul>
	粉末ドラムの開封時	<ul style="list-style-type: none"><li>開封前に、ドラムの外側の汚れを取り除いて汚染を防ぐ</li><li>ドラムをアースして静電気を防ぐ</li><li>準備室を清掃する</li></ul>
	以前の押出成形品に充填剤が含まれていた	<ul style="list-style-type: none"><li>押出機を清掃する</li></ul>
半製品の茶色化	潤滑剤が完全に除去されていない	<ul style="list-style-type: none"><li>乾燥時間を長くする</li><li>乾燥温度を上げる</li><li>沸点の低い潤滑剤を使用する</li><li>オープン内の吸引力を改善する</li><li>焼結を繰り返すと、ほとんどの場合、褐色は消えます</li></ul>
押出成形品が脆い	押出圧力が低すぎるため、成形体強度が低すぎる	<ul style="list-style-type: none"><li>圧下率を上げる</li><li>潤滑剤の量を減らす</li><li>押出圧力の高い材料を使用する</li><li>押出速度を上げる</li></ul>
半製品が押出方向に裂ける	成形体状態での機械的損傷	<ul style="list-style-type: none"><li>押出物をより丁寧に扱う</li><li>沸点の高い潤滑剤を使用する</li><li>ダイに機械的損傷がないか確認する</li></ul>
焼結半製品は引裂抵抗が低いが、破断時の密度と伸びは高い	半製品の焼結時間が長すぎる、または焼結温度が高すぎる	<ul style="list-style-type: none"><li>焼結炉の温度プロファイルを確認する</li><li>焼結温度を低くする(360~380℃)</li><li>炉の故障がないか確認する</li></ul>
ライナーが押出方向の縦方向と横方向に裂ける	内部支持パイプが大きすぎる	<ul style="list-style-type: none"><li>内部支持パイプを小さくする</li></ul>
	焼結後の冷却が不均一	<ul style="list-style-type: none"><li>冷気の均一な分布を確保する</li><li>炉または冷却装置の故障がないか確認する</li></ul>
	冷却が速すぎるため、内部張力または収縮が不均一	<ul style="list-style-type: none"><li>冷却プロセスを遅くする</li><li>炉または冷却装置の故障がないか確認する</li></ul>
	焼結中に半製品が接触面に付着した	<ul style="list-style-type: none"><li>接触面に粗さや欠陥</li></ul>

## 問題

## 考えられる原因

## 推奨される解決策

半製品が破裂する

乾燥温度が高すぎる

- 乾燥温度を潤滑剤の沸点と焼結温度の間の範囲に下げる
- オープンの不具合がないか確認する

水分

- 潤滑剤を乾燥させる
- 粉末ドラムを開ける際に結露が発生する場合は、ドラムを室温に戻す

プリフォーム製造中の空気の巻き込み

- 機械パラメータ(圧力、時間、閉速度)を確認する
- 通気孔を開ける

チューブ径が部分的に先細りしている、または押し出しが波状になっている(「蛇のような」形状)

潤滑剤が多すぎる

- 潤滑剤含有量を減らす
- 押し出し機を清掃する

半製品に白い点がある

以前の押出成形品からの汚染物質またはPTFE残留物

- 押し出し機を清掃する

粉末ペーストの絞り出し

- 粉末をより丁寧扱う
- 潤滑剤レベルを確認する
- 凝集物をふるい分ける

部分的に筋が入っている

潤滑剤の過剰

- 潤滑剤レベルを下げる

粉末ペーストの絞り出し

- 粉末をより丁寧扱う
- 凝集物をふるい分ける

潤滑剤の不均一な分布

- 混合時間を延長する
- 潤滑剤と粉末の混合物を30℃で一晩放置する

半製品の表面が鱗状になっている(オレンジの皮のような)

押出ダイのせん断力が低すぎる

- 減速比を上げる
- 押出速度を上げる

金型の粗い仕上げ

- 研磨する
- 側面研磨を行う場合は、縦方向も研磨する

潤滑剤不足

- 潤滑剤レベルを上げる

表面が不規則

潤滑剤不足

潤滑剤の不均一な分布

- 潤滑剤レベルを上げる
- 潤滑剤と粉末の混合物を30℃で一晩放置する

乾燥および焼結条件の不均一

- オープンの不具合がないか確認する

ドライミックスされた微粉末コンパウンド中のフィラーの凝集a

- フィラー粒子径を小さくする
- 半製品の寸法を大きくする製品
- 充填剤を粉碎、破砕、またはふるいにかける
- 充填剤または充填剤添加剤の耐熱性が不十分



# 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。