



EVERFLON™ PFA

# 機能ガイド

Polyfluoroalkoxy

EVERFLON ACADEMIC

# はじめに

Everflon™ PFAは、テトラフルオロエチレン (C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>) とパーフルオロアルコキシエチレンの共重合体です。下図に示すように、Everflon™ PFAの基本構造では、すべての炭素原子がフッ素原子と強く結合しています。

その結果、Everflon™ PFAは、広い温度範囲において、優れた化学的、電氣的、機械的、および表面特性を有しています。さらに、Everflon™ PTFEと比較して、熔融状態で流動性を示すため、射出成形、押出成形、ブロー成形、転写成形などの熔融成形方法に適しています。

この技術パンフレットは、Everflon™ PFAの特性を活用した様々な用途の開発を支援するために提供されています。この資料は、Everflon™ PFAの材料特性と、成形プロセスにおけるこの樹脂の使用方法について包括的に説明しています。

# 市販のEverflon™ PFAフッ素樹脂

| Everflon™ ETFE Grade | Resin Characteristics        | 用途  |
|----------------------|------------------------------|---|
| 403/S                | 成形および押出成形用低MFR樹脂             | チューブ<br>パイプライニング<br>フィルム<br>射出成形／ブロー成形部品                  |
| 410/S                | 成形および押出成形用中MFR樹脂             | 薄肉電線絶縁材<br>複雑形状／小型射出成形部品                                  |
| 420/S                | 射出成形および押出成形用高MFR樹脂           | チューブ<br>電線・ケーブル<br>射出成形部品                                 |
| 430/S                | 射出成形および押出成形用超高MFR樹脂          | 薄肉電線絶縁材<br>複雑形状／小型射出成形部品                                  |
| GC403                | 成形および押出成形用高応力亀裂耐性低MFR樹脂      | チューブ・配管<br>成形部品およびライニング<br>高純度用途の容器および化学薬品供給システム用シートライニング |
| GC410                | 成形および押出成形用中MFR樹脂             | 高純度用途の射出成形部品およびチューブ                                       |
| GC420                | 成形押出成形用高MFR樹脂                | 高純度用途の射出成形部品(継手、バルブ本体、フィルターハウジングなど)                       |
| GC430                | 射出成形および押出成形用超高MFR樹脂          | 薄肉電線絶縁材<br>複雑形状／小型射出成形部品                                  |
| C403                 | 低MFR静電気拡散性樹脂                 | 静電気拡散性能を必要とするチューブ、ライニング、および成形部品                           |
| C410                 | 中MFR静電気拡散性樹脂                 | 静電気拡散性能を必要とするケーブル、チューブ、ライニング、および成形部品                      |
| C420                 | 高MFR静電気拡散性樹脂                 | 静電気拡散性能を必要とするケーブル、チューブ、ライニング、および成形部品放熱性能                  |
| CC04                 | PFAバージン樹脂配合カラーコンセントレート       | ケーブル、チューブ、ライニング、そして様々な色彩が求められる成形部品                        |
| JP04                 | 特殊用途向けパウダー                   | コンパウンド成形や圧縮成形に最適  |
| GS04                 | 自由流動性、高純度の回転成形および回転ライニングパウダー | 中空部品<br>複雑な形状<br>ライニング                                    |

# Everflon™ PFAの特性

## 優れた持続的機械的強度

Everflon™ PFAは、-200℃から+260℃までの広い温度範囲で機械的強度を維持し、この温度範囲において製品は安定した形状を維持します。

## 優れた耐薬品性

ほとんどの溶剤に耐性があり、Everflon™ PFAは薬品と併用しても非常に安定した材料です。

## 優れた電気特性

Everflon™ PFAは、非常に低い誘電率と誘電正接を示すため、優れた電気絶縁材料として、エレクトロニクス分野における信頼性の向上に貢献しています。

## 優れた難燃性

Everflon™ PFAは、酸素指数が95%以上という難燃性を有し、様々な分野で広く使用されています。

## 優れた表面特性

低摩擦性、非粘着性、撥水性・撥油性など、優れた表面特性に加え、Everflon™ PFAは高い信頼性と低い流体抵抗も備えています。

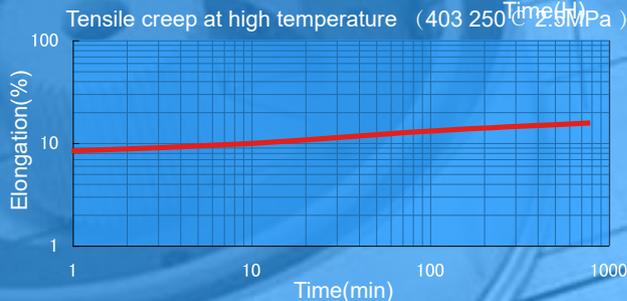
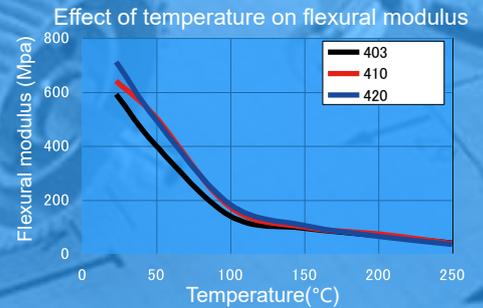
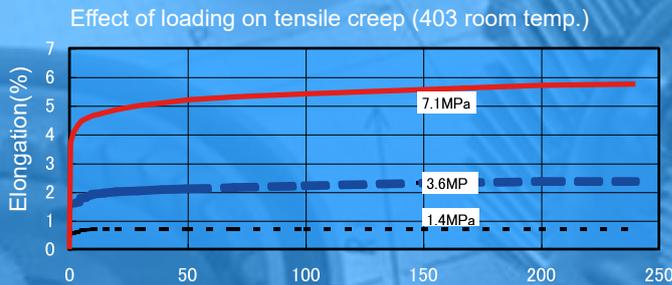
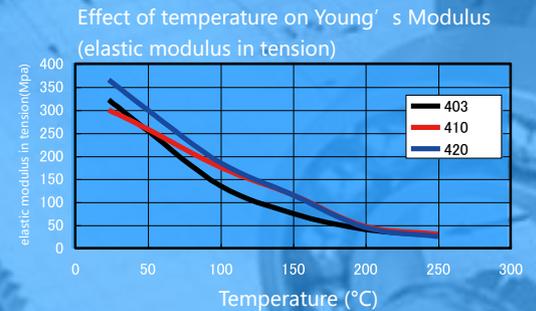
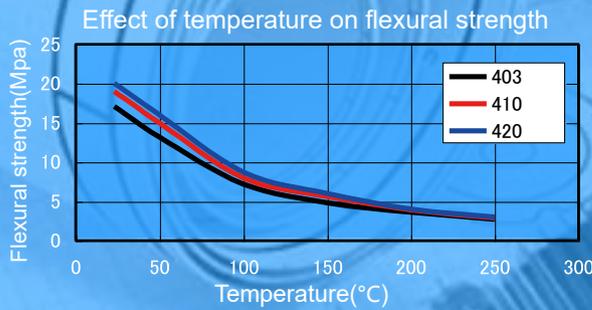
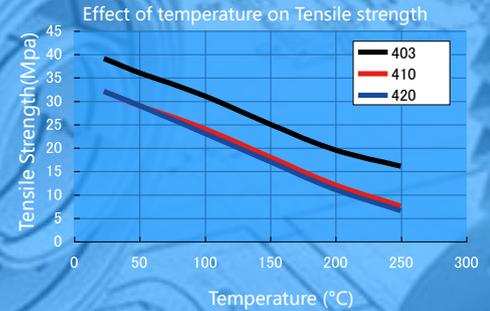
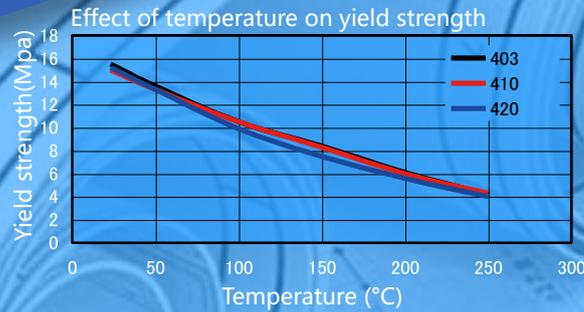
## 優れた耐候性

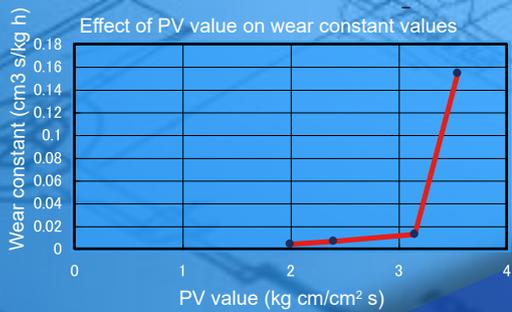
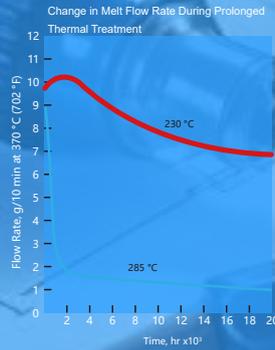
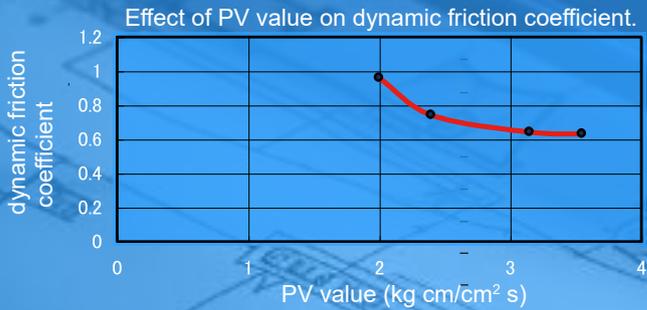
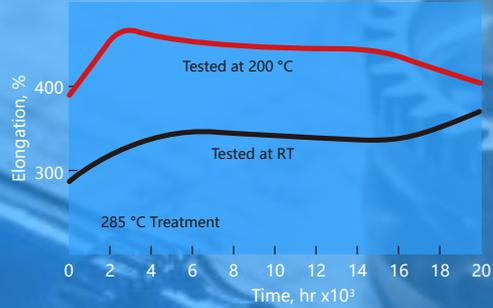
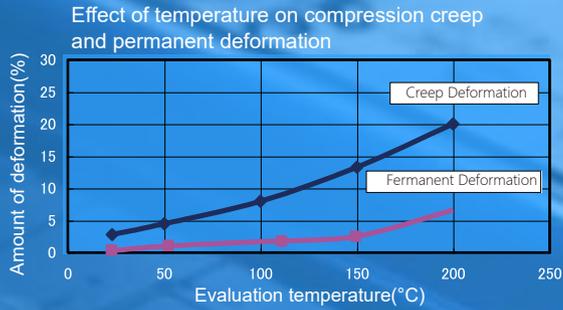
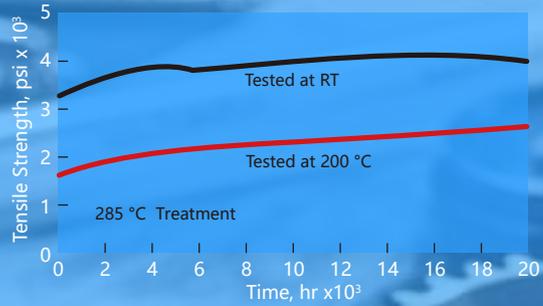
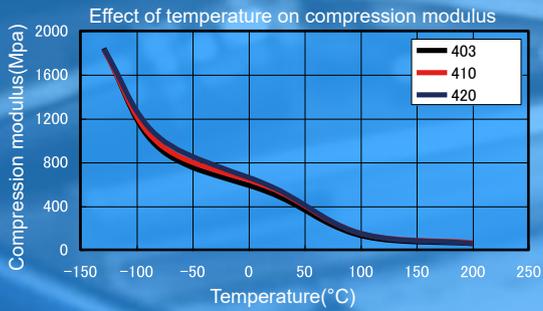
Everflon™ PFAは、直射日光、風雨、排気ガスなどの過酷な環境にも耐え、性能低下や劣化を起こさず、屋外に長時間さらされてもその特性は損なわれません。

# Everflon™ PFAの材料特性

|            | Property           | Unit                                     | ASTM standard | 403               | 410         | 420         | 430         |
|------------|--------------------|--|---------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| 物理的特性      | 融点                 | °C                                       | --            | 305-315           |             |             |             |
|            | MFR                | g/10min                                  |               | 1-3               | 6-12        | 20-30       | 35-45       |
|            | 比重                 | --                                       | D792          | 2.12-2.17         |             |             |             |
| 機械的特性      | 引張強度 23°C          | MPa                                      | D638          | 30                | 28          | 24          | 22          |
|            | 250°C              |  |               | 16                | 8           | 7           |             |
|            | 伸び 23°C            | %  | D638          | 380               | 350         | 330         | 300         |
|            | 250°C              |  |               |                   |             |             |             |
|            | 衝撃強度               | kg-cm/cm (J/M)                           | D256A         | No Break          |             |             |             |
|            | 硬度 (ドロメーター)        | --                                       | D1706         | D60               |             |             |             |
|            | 曲げ弾性率              | 10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> (GPa) | D790          | 5.5<br>0.54       | 6.3<br>0.62 | 6.5<br>0.64 | 6.5<br>0.64 |
| MIT (曲げ寿命) | Times              | D2176                                    | 500,000       | 20,000            | 10,000      | 10,000      |             |
| 熱的特性       | 熱伝導率               | 10-4cal/cm/sec °C                        | C177          | 6.0               |             |             |             |
|            | 比熱                 | cal/°C.g                                 |               | 0.25              |             |             |             |
|            | 線膨張係数              | 10 <sup>5</sup> °C                       | D696          | 14                |             | 15          | 15          |
|            | ボールプレッシャー温度        | °C                                       |               | 230               |             |             |             |
|            | 最高使用温度             | °C                                       |               | 260               |             |             |             |
| 電気的特性      | 体積抵抗率              | Ω-cm                                     | D257          | >10 <sup>17</sup> |             |             |             |
|            | 表面抵抗率              | Ω  | D257          | >10 <sup>17</sup> |             |             |             |
|            | 誘電率                | 60Hz                                     | D150          | < 2.1             |             |             |             |
|            |                    | 10 <sup>3</sup> Hz                       |               |                   |             |             |             |
|            |                    | 10 <sup>6</sup> Hz                       |               |                   |             |             |             |
|            | 誘電正接               | 10 <sup>9</sup> Hz                       |               |                   |             |             |             |
|            |                    | 60Hz                                     |               |                   |             |             |             |
| アーク抵抗      | 10 <sup>3</sup> Hz | D150                                     | < 0.0003      |                   |             |             |             |
| 吸水率        | 10 <sup>6</sup> Hz |  |               |                   |             |             |             |
| その他        | 吸水率                | S  | D495          | >300              |             |             |             |
|            | 燃焼性                | %  | D570          | < 0.03            |             |             |             |
|            | 酸素指数               | --                                       | UL94          | V-0               |             |             |             |
|            |                    | --                                       | D2863         | >95               |             |             |             |

# 機械的特性





データハブ

## 衝撃強度 (ASTM D256)

ノッチ付きアイゾット衝撃試験は、プラスチックの衝撃強度を評価する方法です。この試験では、ノッチ付きのプラスチック片に衝撃を与え、吸収された破壊エネルギーを測定します。Everflon™ PFAは室温では破壊しません。

| Temperature | Unit: J/m   |             |             |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
|             | 403         | 410         | 420         |
| -40 °C      | 700         | 680         | 570         |
| 25 °C       | No breakage | No breakage | No breakage |

Test piece: 64\*12.7\*3.2mm

## 極低温の影響

液体窒素温度で行った試験では、Everflon™ PFAフッ素樹脂が極低温用途において良好な性能を示すことが示されています。

| Property       | ASTM Method | Unit           | Value        |                 |
|----------------|-------------|----------------|--------------|-----------------|
|                |             |                | 室温:<br>23°C  | 極低温:<br>-196°C  |
| 降伏強度           | D1708       | MPa (psi)      | 15 (2,100)   | No Yield        |
| 極限引張強度         | D1708       | MPa (psi)      | 18 (2,600)   | 129 (18,700)    |
| 伸び             | D1708       | %              | 260          | 8               |
| 曲げ弾性率          | D790-71     | MPa (psi)      | 558 (81,000) | 5,790 (840,000) |
| ノッチ付きアイゾット衝撃強度 | D256-72     | J/m (ft-lb/in) | No Break     | 64 (1.2)        |
| 圧縮強度           | D695        | MPa (psi)      | 24 (3,500)   | 414 (60,000)    |
| 圧縮ひずみ          | D695        | %              | 20           | 35              |
| 弾性率            | D695        | MPa (psi)      | 69 (10,000)  | 4,690 (680,000) |

## 接着性

薄膜ホットメルト接着剤として使用されるEverflon™ PFAフッ素樹脂は、様々な耐熱性基材に強力に耐水性に優れた接着を提供します。この技術を用いて、金属、ガラス、その他の耐熱性材料も接着されています。

## 屈曲寿命 (MIT法 ASTM D2176)

応力亀裂に対する耐性を簡単に評価するために、MIT法を用いてPFAの屈曲寿命を測定しました。試験片は1.25 mm×130 mm×0.23 mmの短いストラップで、毎分175回の速度で±135°まで曲げ、破断するまで曲げ回数を記録しました。結果から、Everflon PFAは他社の同等グレードの製品よりも長寿命であることがわかりました。

| Grade  | 403                | 410                 | 420                 |
|--------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Cycles | 50*10 <sup>4</sup> | 2.5*10 <sup>4</sup> | 1.8*10 <sup>4</sup> |

## 硬度

Everflon™ PFAフッ素樹脂の硬度は、デュロメータ硬度55～57です。この結果は、ASTM D2240に準拠した圧縮成形パネルの試験で得られました。

## 熱暴露

Everflon™ PFAフッ素樹脂は、最高260℃の温度で連続使用できます。しかしながら、Everflon™ PFAフッ素樹脂プラーク、引張試験片、被覆線を285℃で長期熱処理した結果、この温度に連続的にさらしても機械的特性や電気的特性が劣化しないことが示されています。

## 摩耗および摩擦データ

ベアリングやシールなどの機械用途における性能レベル（無充填状態）を示すため、Everflon™ PFAフッ素樹脂の摩擦摩耗試験を実施しました。試験は、成形スラストベアリングを用いて、AISI 1018、Rc20、16AA鋼に対して0.7 MPa（100 psi）の圧力で実施しました。試験は、大気中、無潤滑の常温で実施しました。

| Velocity, ft/min | Wear Factor, K x 10 <sup>-10</sup> | Dynamic Coefficient of Friction | Duration, hr |
|------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------|
| 3                | 1,591                              | 0.210                           | 103          |
| 10               | 1,837                              | 0.214                           | 103          |
| 30               | 983                                | 0.229                           | 103          |
| 50               | 694                                | 0.289                           | 103          |

# 化学的性質

Everflon™ PFAフッ素樹脂は、化学薬品への曝露後も高い機械的性能を維持することが知られています。実際、完全フッ素化されたEverflon™ PFAフッ素樹脂シリーズは、反応性末端基を持たないため、最高レベルの化学的不活性度を有することが知られています。

- 化学プロセスで一般的に使用される化学系によって劣化しません。

- 以下の物質に対して不活性です：

- 強鉱酸、無機塩基、無機酸化剤、塩溶液

- 以下の有機化合物に対しても不活性です：

- 有機酸、無水物、芳香族、脂肪族炭化水素、アルコール、アルデヒド、ケトン、エーテル、エステル、クロロカーボン、フルオロカーボン、上記化合物の混合物

他のパーフルオロ化製品と同様に、Everflon™ PFAフッ素ポリマー樹脂は、フッ素を含む特定のハロゲン化錯体によって侵される可能性があります。これらには、三フッ化塩素、三フッ化臭素、五フッ化ヨウ素、およびフッ素自体が含まれます。Everflon™ PFAフッ素ポリマー樹脂は、特に熔融状態において、ナトリウムやカリウムなどの金属によっても侵される可能性があります。微粒子フッ素樹脂をアルミニウム、マグネシウム、バリウムなどの微粒子金属と混合する際には、発火または高温加熱により激しく反応する可能性があるため、細心の注意が必要です。これらの金属とアンモニアまたはナフタレン（いずれの溶媒でも）との特定の錯体も、製品を侵します。

実際、これらの錯体は、Everflon™ PFAフッ素樹脂のフィルムまたはチューブに接着可能な表面を付与するために使用されます。ボラン (B $\times$ H $\times$ )、塩化アルミニウム (AlCl $\times$ )、特定のアミンなどの特定の金属水素化物も、高温でフッ素樹脂を侵すことが観察されています。

Everflon™ PFAフッ素樹脂で製造された製品の不具合の最も一般的な原因は、様々な化学物質が成形品の壁面に吸収されること（特にサイクル温度との組み合わせ）、急激な圧力変化、および機械的損傷による物理的損傷です。

表は、Everflon™ PFAフッ素樹脂の加工品を無機化学媒体に浸漬した後の引張試験における性能と重量増加を示しています。一般的な無機試薬は、Everflon™ PFAフッ素樹脂の引張特性に測定可能な影響を与えませんが、影響を与える場合は、測定可能な重量増加または重量減少が観察されます。塩化スルフリルは、「ハイブリッド」化合物が加工品に吸収され、特性保持率が低下する特殊なケースです。上記のいずれの場合も、化学的に劣化する相互作用は観察されませんでした。

表はまた、Everflon™ PFAフッ素樹脂の加工品を、様々な典型的な化合物を代表する有機液体にさらした場合の引張特性の変化と重量増加を示しています。Everflon™ PFAフッ素樹脂は、同等以上の耐薬品性を備えています。

これらのデータは、樹脂を濡らす液体は、特に高温に加熱された場合、重量増加が大きく、引張強度の保持率が低下する傾向があることを示しています。

Everflon™ PFAは、他の無機酸、塩基、および有機溶剤に対して優れた耐薬品性を備えています。ただし、PTFEや他のフッ素樹脂と同様に、アルカリ金属（金属ナトリウム）およびフッ素と反応する性質があることにご注意ください。

| 化学薬品      | Temp  | 日数 | 割れ数 |
|-----------|-------|----|-----|
| 非化学熱サイクル  |       | 21 | 0/5 |
| トルエン      | 100°C | 7  | 0/5 |
| ニトロベンゼン   | 100°C | 7  | 0/5 |
| アセトフェノン   | 100°C | 7  | 0/5 |
| パークロロエチレン | 100°C | 7  | 0/5 |
| 塩化スルフリル   | 23°C  | 7  | 0/5 |
| 四塩化炭素     | 75°C  | 7  | 0/5 |

## Everflon™ PFAシリーズフッ素樹脂に対する薬品浸漬の影響 (168時間)

| 薬品        | 試験温度           |     | 残留率 (%) |            |               |     |
|-----------|----------------|-----|---------|------------|---------------|-----|
|           | °C             | °F  | Tensile | Elongation | % Weight Gain |     |
| 無機化学品     |                |     |         |            |               |     |
| 鉱酸        | 塩酸 (濃)         | 120 | 248     | 98         | 100           | 0.0 |
|           | 硫酸 (濃)         | 120 | 248     | 95         | 98            | 0.0 |
|           | フッ化水素酸 (60%)   | 23  | 73      | 99         | 99            | 0.0 |
|           | 発煙硫酸           | 23  | 73      | 95         | 96            | 0.0 |
| 酸化酸       | 王水             | 120 | 248     | 99         | 100           | 0.0 |
|           | クロム酸 (50%)     | 120 | 248     | 93         | 97            | 0.0 |
|           | 硝酸 (濃)         | 120 | 248     | 95         | 98            | 0.0 |
|           | 発煙硝酸           | 23  | 73      | 99         | 99            | 0.0 |
| 無機塩基      | 水酸化アンモニウム (濃)  | 66  | 150     | 98         | 100           | 0.0 |
|           | 水酸化ナトリウム (50%) | 120 | 248     | 93         | 99            | 0.4 |
| 過酸化物      | 過酸化水素 (30%)    | 23  | 73      | 93         | 95            | 0.0 |
| ハロゲン      | 臭素             | 23  | 73      | 99         | 100           | 0.5 |
|           | 臭素             | 59  | 138     | 95         | 95            | 0.5 |
|           | 塩素             | 120 | 248     | 92         | 100           | 0.5 |
| 金属塩溶液     | 塩化鉄 (III)      | 100 | 212     | 93         | 98            | 0.0 |
|           | 塩化亜鉛 (25%)     | 100 | 212     | 96         | 100           | 0.0 |
| その他の無機化合物 | 塩化スルフルル        | 69  | 156     | 83         | 100           | 2.7 |
|           | クロロスルホン酸       | 151 | 304     | 91         | 100           | 0.7 |
|           | リン酸 (濃)        | 100 | 212     | 93         | 100           | 0.0 |

## 透過性

unit  $\times 10^{-10} \text{cm}^3 \text{cm/sec cm}^2 \text{cmHg}$

|    |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|
|    | 403 | 410 | 420 |
| 酸素 | 4.4 | 3.6 | 3.6 |
| 窒素 | 1.5 | 1.4 | 1.6 |

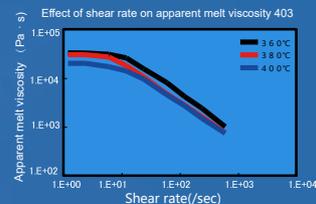
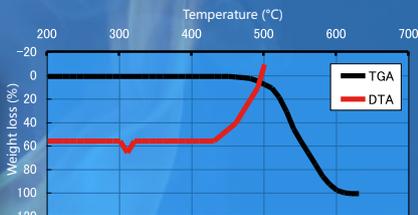
| 薬品            | 試験温度           |     | 残留率 (%) |            |               |     |
|---------------|----------------|-----|---------|------------|---------------|-----|
|               | °C             | °F  | Tensile | Elongation | % Weight Gain |     |
| 有機化学品         |                |     |         |            |               |     |
| 酸 / 無水物       | 氷酢酸            | 118 | 244     | 95         | 100           | 0.4 |
|               | 無水酢酸           | 139 | 282     | 91         | 99            | 0.3 |
|               | トリクロロ酢酸        | 196 | 384     | 90         | 100           | 2.2 |
| 炭化水素          | イソオクタン         | 99  | 210     | 94         | 100           | 0.7 |
|               | ナフサ            | 100 | 212     | 91         | 100           | 0.5 |
|               | 鉱油             | 180 | 356     | 87         | 95            | 0.0 |
|               | トルエン           | 110 | 230     | 88         | 100           | 0.7 |
| 官能性<br>芳香族化合物 | o-クレゾール        | 191 | 376     | 92         | 96            | 0.2 |
|               | ニトロベンゼン        | 210 | 410     | 90         | 100           | 0.7 |
| アルコール         | ベンジルアルコール      | 205 | 401     | 93         | 99            | 0.3 |
|               | アニリン           | 185 | 365     | 94         | 100           | 0.3 |
| アミン           | n-ブチルアミン       | 78  | 172     | 86         | 97            | 0.4 |
|               | エチレンジアミン       | 117 | 242     | 96         | 100           | 0.1 |
| エーテル          | テトラヒドロフラン      | 66  | 151     | 88         | 100           | 0.7 |
|               | ベンズアルデヒド       | 179 | 355     | 90         | 99            | 0.5 |
| ケトン<br>アルデヒド  | シクロヘキサノン       | 156 | 312     | 92         | 100           | 0.4 |
|               | メチルエチルケトン      | 80  | 176     | 90         | 100           | 0.4 |
|               | アセトフェノン        | 202 | 396     | 90         | 100           | 0.6 |
|               | 濃リン酸           | 220 | 392     | 98         | 100           | 0.3 |
| エステル          | ジメチルフタレート      | 220 | 392     | 98         | 100           | 0.3 |
|               | n-ブチルアセテート     | 125 | 257     | 93         | 100           | 0.5 |
|               | トリ-n-ブチルホスフェート | 200 | 392     | 91         | 100           | 2.0 |
| 塩素化<br>溶剤     | 塩化メチレン         | 40  | 104     | 94         | 100           | 0.8 |
|               | パークロロエチレン      | 121 | 250     | 86         | 100           | 2.0 |
|               | 四塩化炭素          | 77  | 171     | 87         | 100           | 2.3 |
| ポリマー溶剤        | ジメチルホルムアミド     | 154 | 309     | 96         | 100           | 0.2 |
|               | ジメチルスルホキシド     | 189 | 372     | 95         | 100           | 0.1 |
|               | ジオキサン          | 101 | 214     | 92         | 100           | 0.6 |

# 熱特性

## 熱分解

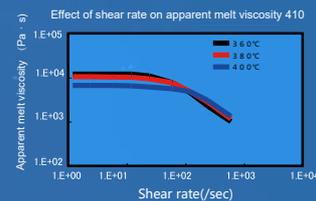
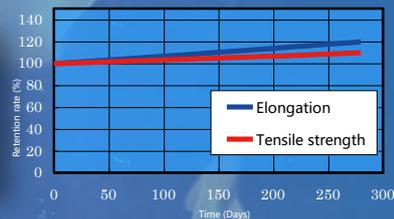
400℃付近までは重量減少なく優れた熱安定性を示しました。さらに、700℃でも分解残渣は認められませんでした。

|                     | Unit: (°C) |     |     |
|---------------------|------------|-----|-----|
| Grade               | 403        | 410 | 420 |
| Initial weight loss | 400        | 400 | 400 |
| 10% weight loss     | 510        | 510 | 510 |
| 50% weight loss     | 540        | 542 | 539 |



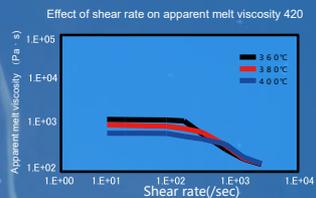
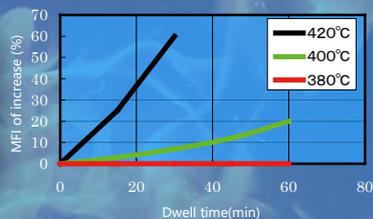
## 熱老化

280℃で280日間保持した後、引張強度と伸びは実験開始時の値よりも向上しました。



## 熱安定性

これらの温度で規定の時間保持した後、MFRを評価しました。380℃で1時間以上保持した後、樹脂のMFRに変化は見られませんでした。



## 熱変形温度

0.45 MPaおよび1.81 MPaの荷重下で試験片を2℃/分の速度で昇温した際に、試験片が0.254 mmの曲げを示した温度です。

## 熱変形温度 (℃)

|         |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|
| Loading | 403 | 410 | 420 |
| 0.45MPa | 91  | 92  | 93  |
| 1.81MPa | 56  | 57  | 57  |

## ビカット軟化温度

試験片の中心に直径1 mm、荷重1 kgの針を置き、50℃/hの速度で昇温した際に、針が試験片に1 mm突き刺さった温度です。

|      |      |      |
|------|------|------|
| 403  | 410  | 420  |
| 287℃ | 281℃ | 270℃ |

## 線膨張係数

| 温度範囲<br>℃ | 403 | 410 | 420 |
|-----------|-----|-----|-----|
| -100~-75  | 9   | 9   | 8   |
| -75~-15   | 12  | 11  | 12  |
| -15~100   | 14  | 14  | 15  |
| 100~150   | 16  | 16  | 17  |
| 150~210   | 21  | 21  | 21  |

# 電気的特性

電気用途としては、様々な電線構造、ヒーターケーブル、厚肉コンジット、ケーブル被覆、地質調査ケーブルなどの押出コーティングが挙げられます。Everflon™ PFAフッ素樹脂は、電気スイッチ部品、コネクタインサート、絶縁ブッシング、スタンドオフ絶縁体などにも射出成形されています

## 誘電率および誘電正接（ASTM D150）

Everflon™ PFA樹脂の誘電率は、幅広い周波数、温度、密度において2.1未満です。

Everflon™ PFAフッ素樹脂の密度はわずかに変化し（2.13～2.17）、この範囲での誘電率はわずか約0.03単位です。これは、すべての固体材料の中で最も低い値です。湿度はEverflon™ PFAフッ素樹脂の誘電率に測定可能な影響を与えません。

## 絶縁破壊強度

すべてのEverflon™ PFAフッ素樹脂の絶縁破壊強度（短期）は、ASTM D149に基づき0.25mm（10ミル）のフィルムで測定した場合、80kV/mm（2,043V/mil）です。

FEP樹脂の薄膜でも同様の結果が得られますが、PTFEフィルムでは通常47kV/mm（1,200V/mil）で測定されます。

他のフッ素樹脂と同様に、Everflon™ PFAはコロナ放電が発生すると絶縁破壊強度が低下します。

## 誘電正接

Everflon™ PFAフッ素樹脂の誘電正接は、周波数と温度によって異なります。低周波数（10<sup>2</sup>～10<sup>4</sup>Hz）での誘電正接は、温度が高くなると増加します。10<sup>4</sup>～10<sup>7</sup>Hzの周波数範囲では、誘電正接の温度による変化はほとんどありません。周波数が10<sup>4</sup>～10<sup>7</sup>Hzまで増加すると、誘電正接は着実に増加します。増加は室温で測定した場合に最も大きくなります。また、約3×10<sup>9</sup>Hzで最大値を示すことも示されています。Everflon™ PFAフッ素ポリマー樹脂は、末端基が完全にフッ素化されているため、高周波領域でも誘電正接が低くなります。Everflon™ PFAフッ素ポリマー樹脂は、高周波領域における電気絶縁材料としての使用に適しています。

# 電気抵抗率

フッ素樹脂の体積抵抗率と表面抵抗率は高く、時間や温度の影響を受けません。

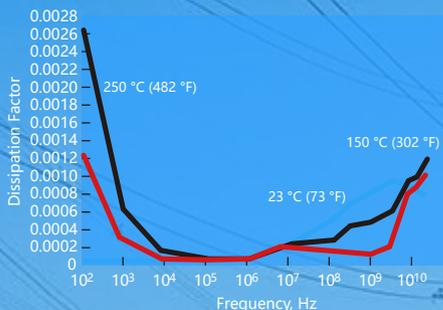
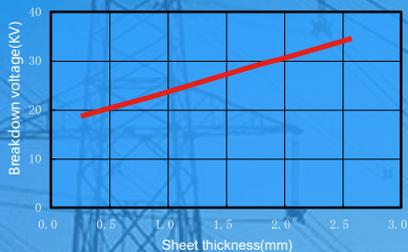
ASTM D257に規定された方法を用いてEverflon™ PFAフッ素樹脂の体積抵抗率を測定したところ、1018Ω・cmを超える値が得られました。表面抵抗率は1018Ω/平方インチを超えました。

ASTM D495に規定された方法を用いてステンレス鋼電極を用いてEverflon™ PFAフッ素樹脂を試験したところ、試験時間（180秒）中、トラッキング現象は観察されませんでした。これは、樹脂が炭化した導電パスを形成していないことを示しています。

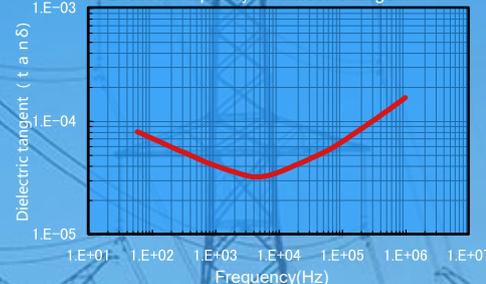
## Effect of temperature on volume resistivity ASTM D257

| Temperature (°C)         | 23                 | 50                 | 100                |
|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Volume resistivity (Ωcm) | 3*10 <sup>17</sup> | 5*10 <sup>17</sup> | 3*10 <sup>17</sup> |

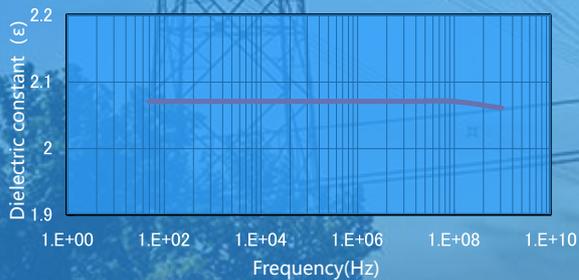
Insulation  
Dependence of insulation breakdown voltage on material thickness.



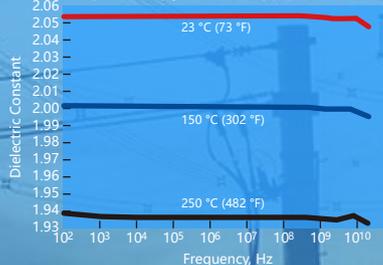
Effect of frequency on dielectric tangent



Effect of frequency on dielectric constant

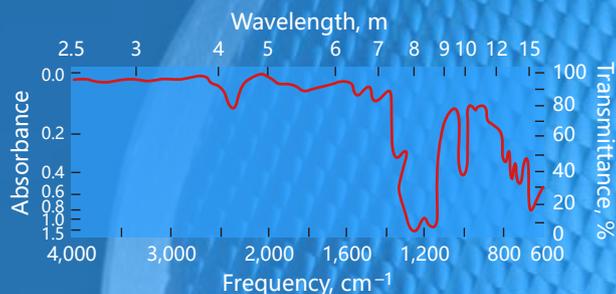


Dielectric Constant at Various Frequencies and Temperatures (by ASTM D150)



## 光学特性

フィルム状のEverflon™ PFAフッ素樹脂は、ASTM法による測定で低いヘイズ値を示す優れた光学特性を有しています。各波長における透過率 (%) の具体的な値は表に示されています。Everflon™ PFAフッ素樹脂で製造されたフィルムの屈折率は、波長546 nm (緑色光) および室温で測定されています。Everflon™ PFAフッ素樹脂の赤外線スペクトルを図に示します。この「指紋」は、他のフッ素系ポリマーと区別する際に役立ちます。



| Property             | Test Method                         | Value  |
|----------------------|-------------------------------------|--------|
| 屈折率                  | ASTM D542-50                        | 1.350  |
| ヘイズ                  | ASTM D1003-52                       | 4%     |
| 光透過率                 |                                     |        |
| 紫外線 (0.25 ~ 0.40μm)  | (Cary Model 14)                     | 77-91% |
| 可視光線 (0.40 ~ 0.70μm) | Spectrophotometer,                  | 91-96% |
| 赤外線 (0.70 ~ 2.4μm)   | 100-gauge (0.025-mm) film thickness | 96-98% |

## 耐候性

Everflon™ PFAフッ素樹脂は非常に疎水性が高く、ほぼ完全に水をはじきます。室温の水に24時間浸漬した後、沸騰水中に2時間浸漬した後の吸湿率は0.03%未満であることが報告されています。また、酸素、オゾン、可視光線、紫外線の影響もほとんど受けません。試験サンプルは、長年にわたりほぼあらゆる気候条件に曝露され、Everflon™ PFAフッ素樹脂が完全に耐候性を有することが実証されています。この曝露後、引張特性、比重、メルトフローレートに有意な変化は認められませんでした。また、老化や脆化も認められません。加工時に可塑剤、酸化防止剤、その他の添加剤を使用していないため、物質の溶出は発生しません。

## 耐放射線性

Everflon™ PFAはパーフルオロ樹脂であるため、大量の放射線に曝露されると、共重合体構造の主鎖が切断されやすく、引張強度と引張伸びが低下します。

# 製造ガイド

## 押出成形

Everflon™ PFAフッ素ポリマーは、耐腐食性合金を備えた押出機を使用することで、他の熱加工性プラスチックに通常適用される押出成形技術を用いて押出成形できます。L/D比が20:1～30:1の押出機が推奨されます。押出機には、最高450℃まで正確に温度制御できる独立制御ヒーターを装備する必要があります。

様々なスクリー設計が使用できます。シングルフライトスクリーが推奨され、バリアフライトスクリーは避けてください。一般的なスクリー設計は、長いフィードセクション（少なくとも12フライト）、それに続く2～6フライトのトランジションセクション、そして5～7フライトの計量セクションで構成されます。カラーマスターバッチを使用する場合でも、プレーカープレートとスクリーンパックは通常使用されません。

ケーブル押出成形における温度、工具、および装置の要件の概要を表に示します。

設定温度は、押出機のサイズと最大流量に応じて選択および調整する必要があります。一般的に、流量が高いほど温度プロファイルを高くする必要があり、押出機の長さが短いほど温度プロファイルも高くなります。熔融温度、ひいてはダイの圧力とライン速度を変化させるのに最も効果的な温度は、計量ゾーンの温度であることに留意してください。

Everflon™ PFA樹脂で達成可能な実用的な最大ライン速度は、メルトフラクチャーまたはドロワー共振の発生によって制限されます（チューブ押出成形では、メルトフラクチャーは通常、コーンの内面で最初に発生します）。この現象は、ダイ内の温度をプリスターまたは熱劣化の影響が発生するまで上昇させることで軽減できます。また、内側の先端を加熱することでも、メルトフラクチャーをわずかに軽減できます。ポリマーの臨界せん断速度は、最大押出速度を予測するための優れたパラメーターと考えることができます。この値が高いほど、達成可能なライン速度は高くなります。

例えば、温度372℃において、Everflon™ PFA 410の臨界せん断速度は50~70 sec-1の範囲であるのに対し、Everflon™ PFA 403では10~15 sec-1の範囲です。

|        | [°C]    |
|--------|---------|
| Z1     | 250     |
| Z2     | 320     |
| Z3     | 355     |
| Z4     | 360     |
| Z5     | 380     |
| フランジ   | 380     |
| アダプター  | 380     |
| クロスヘッド | 380     |
| ダイ     | 400     |
| 熔融温度   | 390-400 |

| Grade            | Wall Thickness | DDR     |
|------------------|----------------|---------|
| Everflon PFA 403 | 0.80-1.20 mm   | 50-25   |
|                  | 1.20-2.00 mm   | 25-5    |
| Everflon PFA 410 | 0.10-0.25 mm   | 250-100 |
|                  | 0.25-0.45 mm   | 100-50  |

DRBは1に近く維持する必要があります。

$$DDR = \frac{D_{die}^2 - D_{tip}^2}{d_{wire}^2 - d_{copper}^2}$$

$$DRB = \frac{D_{die}/D_{tip}}{d_{wire}/d_{copper}}$$

|                        | Value     |
|------------------------|-----------|
| ケーブル径                  | 6 mm      |
| 肉厚                     | 0.25 mm   |
| ドロワーダウン比               | 25        |
| ドロワーダウン比バランス           | 1         |
| ワイヤ予熱                  | -         |
| スクリー速度                 | 5 rpm     |
| 圧力                     | 40 bar    |
| ウォーターギャップ              | 200-400mm |
| ライン速度                  | 5 m/min   |
| スクリー径 = 35 mm、L/D = 25 |           |

|                        | Value     |
|------------------------|-----------|
| ケーブル径                  | 1.5 mm    |
| 肉厚                     | 0.25 mm   |
| ドロワーダウン比               | 110       |
| ドロワーダウン比バランス           | 1         |
| ワイヤ予熱                  | 180 °C    |
| スクリー速度                 | 20 rpm    |
| 圧力                     | 21 bar    |
| ウォーターギャップ              | 200-400mm |
| ライン速度                  | 61 m/min  |
| スクリー径 = 35 mm、L/D = 25 |           |

# 製造ガイド

## 成形

### トランスファー成形

Everflon™ PFAは、トランスファー成形によりライニング付き製品を製造するために使用できます。この技術は基本的に以下の工程で構成されます。

- 溶融および可塑化
- 高温金型への射出成形
- 充填および冷却

トランスファー成形に用いられる代表的な樹脂は、Everflon™ PFA 403などの低MFIグレードです。

金型温度は通常、樹脂の融点よりも高く設定されます。これは、金型温度をはるかに低く保つ射出成形とは対照的です。最良の結果を得るには、通常、低速射出速度で成形し、冷却前に一定の保持時間を設けます。その後、急速冷却が推奨されます。

成形条件は、個々の用途ごとに最適化する必要があります。例えば、大型製品や樹脂をオーブンで溶融・可塑化する場合は、低い溶融温度が推奨されます。一方、薄肉部品や押出機で溶融・可塑化する場合は、高い溶融温度が推奨されます。

### 圧縮成形

Everflon™ PFAは、圧縮成形によりシート、ロッド、フィルムなどの半製品を得ることができます。成形プロセスと最終製品の形状に応じて、最適な成形条件を選択する必要があります。いずれの場合も、成形温度は340～380℃の範囲となります。

# 製造ガイド

## 射出成形

Everflon™ PFAは、通常の熱可塑性樹脂と同じプロセスで射出成形できます。低粘度グレードは、特に複雑な形状の射出成形用に設計されています。

バレル用に3つの独立制御ヒーターゾーン、アダプタ用に1つのヒーターゾーンを使用することをお勧めします。ヒーターコントローラは、最高450℃まで正確に温度制御できる必要があります。

適切な可塑性を保証し、ポリマーの停滞と熱劣化を低減するために、往復スクリー装置の使用をお勧めします。スクリーは、短い移行部、一定ピッチ、および供給部と計量部間のフライト深さの比が約3:1である必要があります。

従来型の逆テーパノズルの使用をお勧めします。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。逆弁は、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。

部品の層間剥離を低減するため、金型温度は180℃（355°F）以上に設定する必要があります。金型温度の最適化は、収縮、表面外観、およびサイクルタイム全体を最小限に抑えるため、部品の厚みを考慮する必要があります。

射出圧力は、成形品の種類に応じて可能な限り低く設定する必要があります。一般的に、射出圧力を低くすると反り変形が低減し、寸法安定性が向上します。射出圧力は、成形品の種類、板厚、ウェルドラインの有無などを考慮して設定する必要があります。多くの場合、収縮とボイドの発生を抑えるために保圧をかける必要があります。射出速度は適度に低速に設定することで、表面粗さを抑え、良好な外観を得ることができます。

逆に、射出速度が低すぎると充填段階に悪影響を与えるため、避けなければなりません。一般的に回転速度は低く抑える必要がありますが、背圧を適度に低く設定することで未溶融粒子のない均質化が促進されます。背圧を上げる場合は、溶融樹脂温度の上昇を防ぐため、慎重に検討する必要があります。

熱劣化を防ぐため、射出シリンダー内の温度プロファイルは、後述するように、後部からノズルにかけて上昇させる必要があります。溶融樹脂温度は400°C (750°F) を超えないようにし、最高温度で運転する場合は、ホールドアップ時間または滞留時間を大幅に短縮する必要があります。

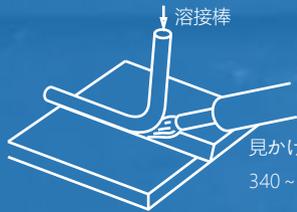
### Everflon™ PFAの標準的な成形条件

|         | Units                    | 410         | 420         |
|---------|--------------------------|-------------|-------------|
| Z1      | °C                       | 300         | 320         |
| Z2      | °C                       | 325         | 345         |
| Z3      | °C                       | 335         | 355         |
| Z4      | °C                       | 340         | 360         |
| ノズル     | °C                       | 360         | 380         |
| 溶融樹脂温度  | °C                       | 380         | 380         |
| 金型温度    | °C                       | 200–240     | 200–240     |
| 射出圧力    | kg/cm <sup>2</sup> (psi) | 270 (3,850) | 345 (4,900) |
| 保圧      | kg/cm <sup>2</sup> (psi) | 270 (3,850) | 345 (4,900) |
| スクリー速度  | cm/s (mil/s)             | 0.2 (80)    | 0.2 (80)    |
| スクリー回転数 | rpm                      | 21          | 21          |
| サイクルタイム | s                        | 100         | 100         |

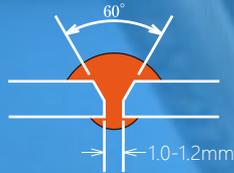
金型寸法: 102 mmディスク、厚さ3 mm

# 製造ガイド

## 溶接



見かけの溶接温度  
340 ~ 450°C



見かけの溶接温度



ガン先端から5mm離れた炎の中心温度

Everflon™ PFAは、PEやPVCなどの一般的なプラスチックに用いられる標準的な溶接技術を用いて溶接できる熱可塑性材料です。特に、Everflon™ PFAライナーの熱溶着には、高温ガス溶接が日常的に用いられています。溶接継目の引張試験では、溶着部が元の材料と同等の信頼性を持つことが実証されています。Everflon™ PFAライナーの高温ガス溶接には、以下の一般的な推奨事項が適用されます。

## 装置

900～1,000W以上の加熱出力と、最高650℃までの温度制御が可能な溶接ガンを使用してください。均一な溶接結果を得るには、適切な温度測定が不可欠です。ノズル出口から5～7mmの位置で、ノズル内部のガス流温度を測定することをお勧めします。

溶接に空気を使用する場合は、空気が清浄かつ乾燥していることを確認してください。様々な溶接チップをご用意しています。一次溶接には高速溶接チップを使用し、ライナーの各セクションを仮止めするチップも使用できます。

## 溶接

溶接するプロファイルと同じグレードのEverflon™ PFAで作られた丸型溶接棒を使用してください。異なるグレードのプロファイル同士の溶接は推奨しません。

溶接面を丁寧に削り取ってください。布張りシートを使用する場合は、繊維の混入を防ぐため、溶接線に沿って布を剥がしてください（シート1枚あたり2～3mm）。溶接する2枚のシートを0.5～1mm以内の間隔で位置合わせして保持してください。

適切なスクレーパーを使用して、2枚のシート間の溝をV字型に削り取ってください。間に合わせの工具を使用すると、溶接ビードが不規則になる可能性があるため、使用しないでください。溶接箇所と溶接棒を徹底的に清掃してください。

溶接ガンのノズルを真鍮ブラシで清掃し、空気流量を50～60標準リットル/分に調整し、溶接ガンの温度を下表に示すように設定してください。

溶接は、ガンを45～60°の角度で保持し、溶接棒と板材が同時に溶融するように溶接圧力と速度を調整して行います。溶接速度は通常、5～30cm/分（2～12インチ/分）の範囲が適切です。

速度が低すぎると、溶接棒が過熱して破損する可能性があります。一方、速度が高すぎると、溶接棒が適切に溶融せず、2枚の板材間の溝が溶融材料で十分に充填されません。同様に、溶接圧力が低すぎると、2枚の板材間の溝が完全に充填されず、過度の力によって溶接ビードにディンプルが生じ、最終的に応力集中の原因となる可能性があります。



# Everflon Academic Center

Tel: +86-185-7168-9228

[info@everflon.com](mailto:info@everflon.com)

[www.everflon.com](http://www.everflon.com)

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