

〈製品紹介〉

耐薬品性・耐熱性・純粋性に優れたふっ素樹脂チューブ
「ナフロン® チューブ」

工業製品事業本部 配管・機器部品技術開発部

1. はじめに

ふっ素樹脂は各種プラスチックの中でも、特に耐熱性、低摩擦性、電気絶縁性、耐薬品性、非粘着性、耐候性など数々の優れた特長を有しています。弊社ではふっ素樹脂を原料とした製品をナフロン® 製品と呼んでいますが、本稿では前号でご紹介した「ナフロン® 素材」に引き続き、チューブ状に成形した製品「ナフロン® チューブ」について特長および種類などをご紹介します。

2. 「ナフロン® チューブ」について

弊社はふっ素樹脂の優れた特性にいち早く注目し、我が国において他社に先駆けてその製品を開発してきました。チューブ状製品に関しては1957年に押出成形機を輸入、翌1958年から生産販売を開始し現在に至っています。このような長年にわたる成形、加工技術の蓄積に基づくクリーンな製造環境、独自の高い成形技術により「ナフロン® チューブ」は製造され、半導体・液晶などのエレクトロニクス分野、医薬・食品分野、ファインケミカルなどをはじめとした各種先端分野から、石油化学・一般工業まで幅広い分野でご使用いただいております。

2.1 「ナフロン® チューブ」の原料

「ナフロン® チューブ」は、用途に応じてポリテトラフルオロエチレン (PTFE)、ポリテトラフルオロエチレン-パーフルオロアルキルビルエーテル共重合体 (PFA)、パーフルオロエチレンプロペンコポリマー (FEP) を用いて製造

されております。それぞれの構造と特性を表1に示します。

表1 「ナフロン® チューブ」の原料と特性

| 名称 | 構造式 | 特性 |
|------|--|--------------------------------------|
| PTFE | $\left[\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right]_n$ | 耐熱性、耐薬品性、電気的特性、非粘着性、自己潤滑性に優れる。 |
| PFA | $\left[\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right]_m \left[\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{ORF} \end{array} \right]_n$ | PTFEに匹敵する特性を持ち、かつ複雑な形状でも熱溶解成形ができる。 |
| FEP | $\left[\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right]_m \left[\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{CF}_3 \end{array} \right]_n$ | PTFEに比べ耐熱性は若干劣るが、他の特性は同等で、熱溶解成形ができる。 |

2.2 「ナフロン® チューブ」の一般的特長

「ナフロン® チューブ」は、以下の特長を有しています。

- ①耐薬品性
強酸、強アルカリ、溶剤など、市販のほとんどすべての腐食性流体に侵されません。
- ②使用温度範囲
-40℃ から200℃ (FEP)、260℃ (PFA, PTFE) までの広範囲な温度領域での使用が可能です。
- ③非粘着性 (低摩擦性)
高い非粘着性を有し、高粘度流体でもほとんど付着しません。
- ④純粋性
可塑剤や添加剤などを含みません。また、使用流体への不純物の溶出が極めて少量です。

⑤電気絶縁性

優れた絶縁特性をもち、幅広い温度および周波数範囲で安定しています。

⑥耐候性

耐候性に優れ、経年変化（劣化）がほとんどありません。

3. 製品概要

「ナフロン®チューブ」には半導体、医薬・食品、ファインケミカルなどクリーンな環境での使用を目的とし、充填剤、可塑剤などの添加剤を含まない純粋なふっ素樹脂チューブと、電気絶縁性や熱伝導性などを向上するためにふっ素樹脂に充填剤を加えて改良したチューブなど、お客さまの多種多様なニーズに対応するため、多彩なラインアップを取り揃えています。以下に各製品についてご紹介します。

3.1 「ナフロン®チューブ」

TOMBO™ No.9003「ナフロン®チューブ」(図1)は、充填材、可塑剤などの添加剤を含まない純粋なふっ素樹脂チューブです。PTFE, PFA, FEP製をラインアップしており、用途に応じてご選択いただけます。



図1 TOMBO™ No.9003 「ナフロン®チューブ」

〈特長〉

- ・非粘着性に優れ、汚れやスケールが付着しにくい
- ・高温・高湿での絶縁特性の低下が極めて少ないため、電気絶縁の用途として最適
- ・耐候性に優れている

3.2 「ナフロン® PFA-HG チューブ」

TOMBO™ No.9003-PFA-HG 「ナフロン® PFA-HG チューブ」(図2)は、溶出ふっ化物イオンの少ない原料を用い、かつPFAの高次構造（球晶の微小化）をコントロールすることにより、チューブ内面の平滑化を可能にしたPFAチューブです。

ウルトラクリーン化を要求される半導体・液晶産業分野での用途に最適です。

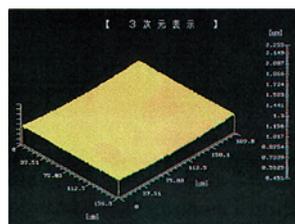


図2 TOMBO™ No.9003-PFA-HG 「ナフロン® PFA-HG チューブ」

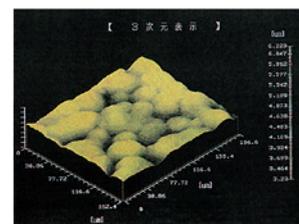
本品は、従来のPFA製チューブの性能に加え、以下の特長があります。

〈特長〉

- ・チューブ内表面が平滑 (Rt=0.2 μm 図3)
- ・パーティクルや薬液の滞留低減
- ・クリーンアップ（洗浄時間）の低減
- ・チューブ内の表面積減少による薬液浸透量の低減
- ・透明性の向上 (図4)
- ・絶縁耐力の向上
- ・溶出ふっ化物イオンの低減
- ・応力環境下での耐ストレスクラック性向上 (ex. 硫酸過水, 発煙硫酸)



▲ナフロンPFA-HGチューブの内表面イメージ図



▲一般PFAチューブ（他社品）の内表面イメージ図

図3 チューブ内表面のイメージ



図4 透明性の比較

3.3 「ナフロン® PFA-SG チューブ」

TOMBO™ No.9003-PFA-SG「ナフロン® PFA-SG チューブ」(図5)は、「ナフロン® PFA-HG チューブ」の特長を備えつつ、PFAの分子構造を変えたことにより、さらに薬液・ガスの透過量を低減させたチューブです。半導体・液晶製造工程において、透過・浸透性の高い薬液(塩酸, ふっ酸, 硝酸, オゾン, アンモニア過水, アミン系薬液, ふっ素系界面活性剤など)や高温プロセスでの透過ガス低減による逆浸透や雰囲気中のケミカル汚染低減に効果が期待されます。



図5 TOMBO™ No.9003-PFA-SG
「ナフロン® PFA-SG チューブ」

〈特長〉

- ・薬液の透過量が少ない(図6)
一般PFAチューブに比べて約50%の透過量である「ナフロン® PFA-HG チューブ」に対して、さらに約60%(塩酸, 窒素, 酸素で測定)に低減

- ・ふっ化物イオンの溶出が少ない
- ・チューブ内表面が平滑(「ナフロン® PFA-HG チューブ」と同等)

単位: (10⁻²μg/cm²)

| 試験期間 | PFA-SGチューブ | PFA-HGチューブ | 透過量比 |
|------|------------|------------|------|
| 7日 | 4.47 | 7.17 | 62% |
| 14日 | 8.86 | 13.8 | 64% |
| 30日 | 17.7 | 27.2 | 65% |

分析方法:

1tのシートを用いて、下図のような試験装置を組立て、中央の直管に35%塩酸を入れ、両端の直管にクリーンエアを封入し、ヒーターで70℃に保持する。
7、14、30日後にそれぞれ、封入したエアを純水中に捕集し、Cl濃度をイオンクロマトグラフィにて測定して、累積塩化水素透過量を算出します。

※上記数値は実測値であり規格値ではありません。

※透過量比は、PFA-SGチューブ/PFA-HGチューブ透過量の比率を示します。

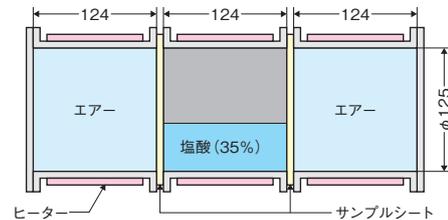


図6 塩酸透過試験測定結果

3.4 「ナフロン® PFA-NE チューブ」

TOMBO™ No.9003-NE「ナフロン® PFA-NE チューブ」(図7)は、「ナフロン® PFA-HG チューブ」の外表面部にストライプ状導電性PFA部を備えたチューブです。従来、PFAチューブに導電性被覆材を巻いて使用していたチューブの作業性

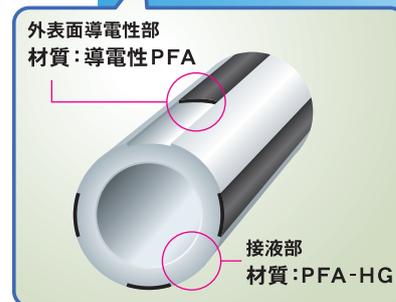


図7 TOMBO™ No.9003-NE「ナフロン® PFA-NE チューブ」

改善と、安全性向上を目的に開発されたチューブです。導電性PFA部の遮蔽効果により、可燃性ガス雰囲気中からチューブ外表面への火花放電による火災事故防止に最適です。

〈特長〉

- 導電性PFA部の遮蔽効果により
 - ・着火危険に結びつくような火花放電を防止
 - ・電気絶縁雰囲気中からの放電によるチューブ絶縁破壊を防止
- 接液部は「ナフロン® PFA-HGチューブ」であるため
 - ・液体中へのふっ化物イオンの溶出が少ない
 - ・薬液の透過、滞留が少ない
 - ・PFAと同じ耐薬品性・耐熱性・強度を備える

3.5 「ナフロン® PFA-AS チューブ」

TOMBO™ No.9003-PFA-AS「ナフロン® PFA-ASチューブ」(図8)は、「ナフロン® PFA-HGチューブ」の内・外層にストライプ状導電性PFA部を備えたチューブです。有機溶剤、燃料、冷媒、粉体、蒸気などの移送によるチューブの絶縁破壊を防止でき、かつ内部流体が見えるチューブです。ふっ素樹脂は絶縁性が高いため、用途によっては稀に絶縁破壊による漏れ不具合が発生することがあり、この対策として開発されたチューブです。

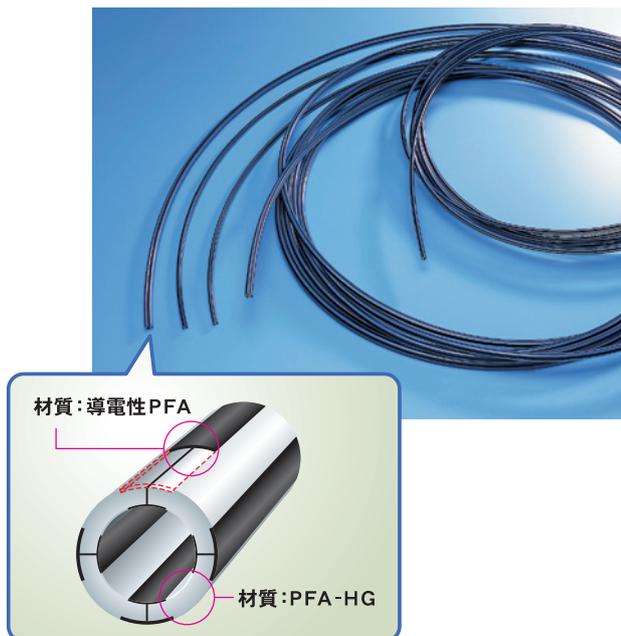


図8 TOMBO™ No.9003-PFA-AS
「ナフロン® PFA-ASチューブ」

〈特長〉

- ・PFAチューブと同等の耐薬品性、耐熱性、耐候性を備える
- ・帯電防止機能を備えており、流体との摩擦帯電によるチューブ絶縁破壊を防止
- ・内部流体が見える

3.6 「ナフロン® PFA-HT チューブ」

TOMBO™ No.9003-PFA-HT「ナフロン® PFA-HTチューブ」(図9)は、PFA樹脂に特殊充填材を添加した原料を用いて、押出成形された熱伝導性を向上したチューブです。PFAチューブの耐熱性、耐薬品性を備えつつ、表2のように熱伝導率が通常のPFAチューブより優れるチューブです。熱伝導を要求される熱交換器用チューブの用途に適しています。

表2 熱伝導率の比較 (20℃)

| | 熱伝導率 (W/m・K) |
|------------|--------------|
| PFA-HTチューブ | 0.8 |
| 通常のPFAチューブ | 0.2 |



図9 TOMBO™ No.9003-PFA-HT
「ナフロン® PFA-HTチューブ」

〈特長〉

- ・熱伝導特性に優れる
- ・PFAチューブと同等の耐薬品性、耐熱性、耐候性を備える

3.7 「ナフロン® BT チューブ」

TOMBO™ No.9003-BT「ナフロン® BTチューブ」(図10)は、PTFEチューブの一種で、従来のPTFEチューブに比べて柔軟性、透明性に優れた

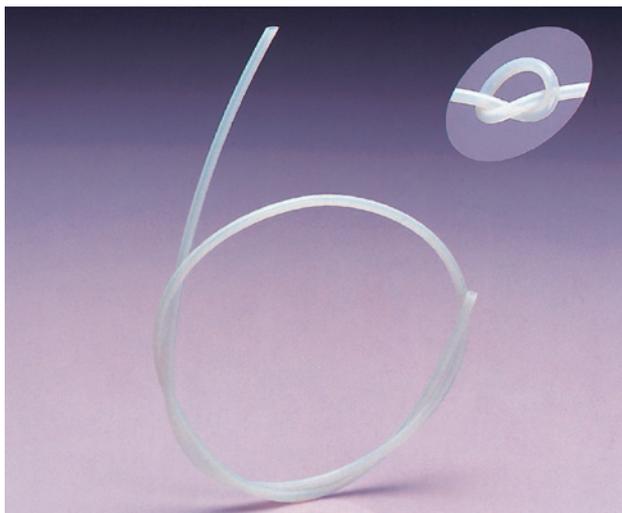


図10 TOMBO™ No.9003-BT [ナフロン® BTチューブ]

製品です。曲げやすく、座屈しにくいいため狭いスペースの配管用に適しています。

〈特長〉

- ・曲げやすく、小さい曲げ半径でも座屈しにくい
- ・通常のPTFEチューブと比較し、透明性がある

3.8 加工チューブ

ロールなどにかぶせ加熱収縮させることでロールに耐薬品性、非粘着性、電気絶縁性を付与することが可能なTOMBO™ No.9051「ナフロン® FEPシュリンカブルチューブ」(図11)や、柔軟性に富み、曲げ半径が小さく、低摩擦性、非粘着性に優れたTOMBO™ No.9003-RPL「ナフロン® RPLチューブ」(図12)など「ナフロン®チューブ」の特長を活かしてお客様のニーズに

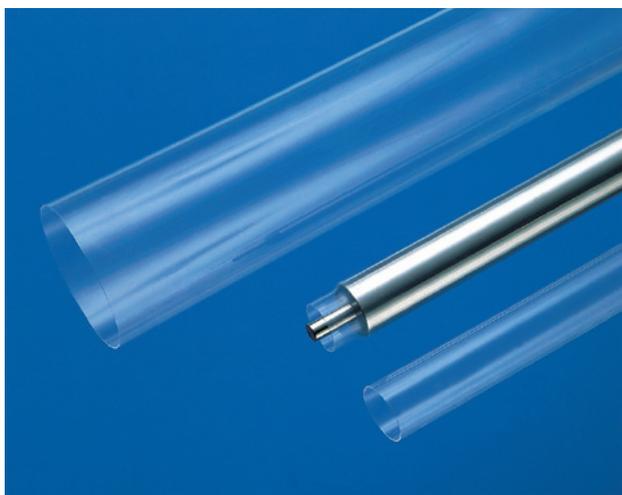


図11 TOMBO™ No.9051 [ナフロン® FEPシュリンカブルチューブ]



図12 TOMBO™ No.9003-RPL [ナフロン® RPLチューブ]

対応した加工品があります。ご希望の加工がございましたらお問い合わせください。

4. 「ナフロン®チューブ」の品質管理

「ナフロン®チューブ」は前述のとおり、さまざまな用途で用いられており、特に半導体・液晶産業分野や医療分野など高度なクリーン化を要求される場面において厳格な品質管理が要求されます。

弊社では、材料選定に始まり、製造環境からの汚染制御、製造条件、製品の検査、保管・輸送に細心の注意を払ってお客さまの信頼に応えられるように品質の管理を行っております。

このような管理の一例として「ナフロン® PFA-HGチューブ」の内面溶出金属の分析をご紹介します。

弊社では超微量金属測定技術を有し、半導体・液晶産業分野において要求される高度なクリーン化要求に対応しています。これは極微量の金属汚染でも半導体デバイスの電気的特性に悪影響を与えるためです。

図13に「ナフロン® PFA-HGチューブ」と他社製PFAチューブの内面から溶出する金属の測定結果を示します。測定は内径：6.35mm，外径：9.52mm，長さ：約50cmの各社PFAチューブに3.6%塩酸をいれ、室温で20時間静置する方法で繰り返し4回溶出を行い、10日間（1日×3回+7日，溶出液は毎回入れ替え）での減衰挙動を確認した結果です。

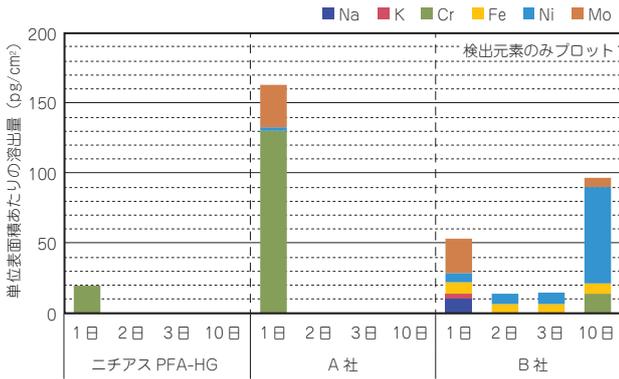


図13 各社PFAチューブ内面の溶出金属の分析結果

図に示すように溶出1回目の総溶出量でPFA-HG<B社<A社でした。溶出2回目以降、「ナフロン® PFA-HGチューブ」とA社は、いずれの元素も定量下限以下となりましたが、B社はFe, Ni等が検出され続けました。これら金属が表面のみに付着している場合、一度目の洗浄で速やかに減衰しますが、チューブに内在していると溶出され続けると考えられます。したがって内

在する汚染を制御することが重要と考えられます。なお、本分析技術を含む弊社のふっ素樹脂におけるクリーン化技術についてはニチアス技術時報2015年1号, 2号にて詳しくご紹介しておりますので併せてご参照ください。

5. おわりに

本稿では、弊社の「ナフロン® チューブ」についてご紹介させていただきました。

今後とも、お客様のニーズに対応し、より使いやすい製品とすべく、新たな技術・品質向上を目指していく所存です。本製品に対するお問い合わせは工業製品事業本部 配管・機器部品技術開発部までお願いいたします。

*「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

*「ナフロン」はニチアス(株)の登録商標です。

ナフロン® PFA理化学容器は、ブロー成形法により成形したふっ素樹脂PFA製容器です。耐薬品性に優れ、かつ使用液体への不純物の溶出が極めて微量です。また、ガラス製に比べて、衝撃に強く、落としても割れにくい容器です。



TOMBO™ No.9948

ナフロン®

PFA理化学容器

特長

- 強酸、強アルカリ、溶剤など、市販のほとんどすべての薬液に侵されません。(カタログ「ふっ素樹脂耐薬品性」をご参照ください。)
- 使用薬液への不純物の溶出が極めて微量です。
- ガラス製に比べて、衝撃に強く落としても割れにくいです。
- 透明なので、液体の量が容易に確認できます。
- ボトルは中栓付なのでシール性に優れます。
- 製品に製造年月を示したデイトマークにより、ロットの追跡を容易にしています。
- 20mL～10Lまでの豊富なラインアップを用意しています。