

# ふっ素系エラストマーの紹介

## 1. はじめに

有機ふっ素化合物 (Per and poly fluoroalkyl substances : PFAS)は、耐熱性、耐油性、耐薬品性、耐オゾン性、耐候性などに優れた特性を有するため、様々な用途で使用されてきた。PFASの使用用途分野と製品例<sup>1)</sup>をTable1に示す。

Table1 PFASの使用用途分野と製品例

分野	製品例
エネルギー	太陽光発電 リチウムイオン電池 燃料電池及び水電解(水素製造) バイナリー (地熱)発電
半導体	薬液配管/洗浄部材 エッチング用途 高性能フィルター 製造部材
電子・電機・通信	電線被覆材 防汚/塗料コーティング プリント基板 液晶材料
輸送 (自動車/航空機/鉄道)	ベアリング/ガスケット/シール材 電線被覆材 配管/ホース 空調用冷媒
医療 (医療機器/医薬品)	医療部材 薬包フィルム 保護衣/保護具 医薬品
建築/インフラ	塗料 発泡剤 空調用冷媒 膜構造物

出展：日本フルオロケミカルプロダクト協会ウェビナー資料より筆者作成

ヨーロッパ諸国を中心に米国や日本を含め38か国の先進国が加盟する経済協力開発機構 (Organization for economic co-operation and development : OECD)によると、PFASは、「少なくとも1つの完全なふっ素化メチルまたはメチレン炭素原子(H/Cl/Br/I原子が結合していない)を含むふっ素化合物、すなわち、いくつかの例外を除いて、少なくともパーフルオロメチル基(-CF<sub>3</sub>)またはパーフルオロ化メチレン基(-CF<sub>2</sub>-)を持つ化学物質<sup>2)</sup>」と定義されている。

PFASは、空調用冷媒として使用される低分子量ガスから、シール材として使用されているふっ素ゴムポリマーまで含まれており、その対象は10,000種を超えると言われて<sup>3)</sup>。

Figure1に、PFASとして多く使用されてきたPerfluorooctane sulfonic acid (PFOS)、及び Perfluorooctanoic acid (PFOA)の化学構造式を、Figure2にPFASの分類図<sup>4)</sup>を示す。

Table1で示したように、様々な用途で使用されているPFASであるが、その優れた特性を有するがゆえに、自然環境下で分解しにくく、一部のPFASでは生物蓄積性や毒性が懸念されている。

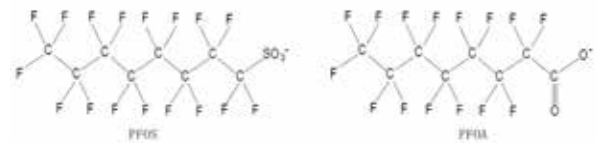


Figure1 PFOS、PFOAの化学構造式

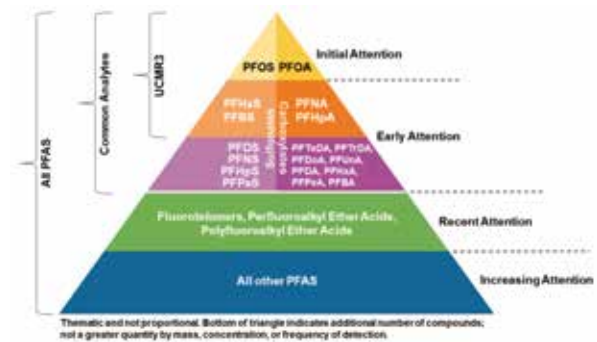


Figure2 PFASの分類

出展：ITRCのPFASに関するwebsite\_Figure2-16

特にPFOS、PFOA、及びPerfluorohexane sulfonic acid (PFHxS : C<sub>6</sub>F<sub>13</sub>SO<sub>3</sub>H)については、残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約 (Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants : POPs条約)において、製造、及び使用の廃絶、もしくは制限が決定されている<sup>5)</sup>。

また、米国環境保護庁 (U.S. Environmental Protection

Agency :USEPA)も、PFASについて規制強化の方針を発表している<sup>6)</sup>。

日本では、化審法に基づき、PFOS は 2010年、PFOA は2021年に化審法第一種特定化学物質に指定し、製造・輸入などを原則禁止した。PFHxSについても、化審法第一種特定化学物質に指定し、製造・輸入などを原則禁止することが審議されている<sup>7)</sup>。

本報では、各国での規制対象物質となっているPFOA、PFOS、PFHxS、及び今後規制対象となる可能性を持つ Perfluorohexanoic acid (PFHxA、C<sub>5</sub>F<sub>10</sub>CO<sub>2</sub>H)を含有しないふっ素系エラストマーとして、一般産業向けFFKM材 TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75、耐酸性FKM材 TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70、及びJIS B2401 FKM-70 適合材 D3770について紹介する。

## 2. TOUGHUORO<sup>®</sup> -HT75

TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75は、一般産業向けに開発した耐熱性、及び耐薬品性に優れたFFKM材料である。以下に特性を記載する。

### 2-1) 耐熱特性

シール材の耐熱性の指標の1つとして、圧縮永久ひずみ率が用いられている。同一環境下においては、圧縮永久ひずみ率が小さいほど良好なシール材として、より長期間の使用が期待出来る。圧縮永久ひずみ率の測定、及び算出方法をFigure3に示す<sup>8)</sup>。

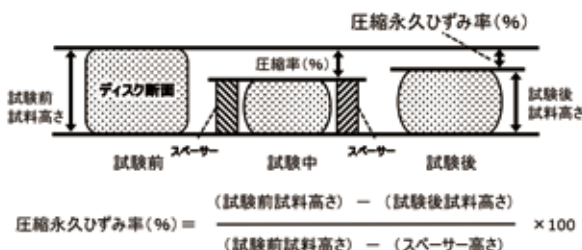


Figure3 圧縮永久ひずみ率の測定、及び算出方法

一般的に圧縮永久ひずみ率80%が、評価した温度帯でのシール材に用いられる材料の寿命として用いられている<sup>9)</sup>。

TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75の、200℃、及び270℃における空気中の圧縮永久ひずみ試験を実施した。270℃環境下においても、短期間であれば、圧縮永久ひずみ率は非常に小さく、優れた耐熱特性を有することが確認された。試験結果をFigure4に示す。

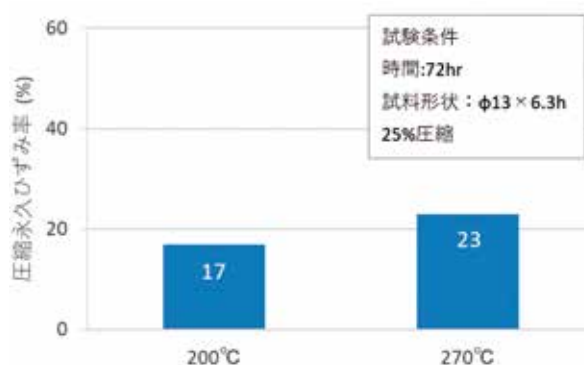


Figure4 TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75の圧縮永久ひずみ率

### 2-2) 耐水蒸気特性

200℃水蒸気環境下における耐性の評価を実施した。TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75は、評価期間中の物性変化はほぼ見られなかった。また、圧縮永久ひずみ率も小さく、シール限界には到達していないことから、高温水蒸気環境においても耐性を有することが確認された。試験結果をTable2に示す。

Table2 TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75の耐水蒸気試験結果

試験項目	単位	TOUGHUORO <sup>®</sup> -HT75
硬度変化	Point	±0
体積変化率	%	-1
圧縮永久ひずみ率 25%圧縮 φ13×6.3h	%	23

試験条件: 200℃×70h、飽和水蒸気

### 2-3) 耐アンモニア特性

アンモニアガス(99.9%)環境下における耐性の評価を実施した。TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75は、弊社標準FKM-70と比較し、評価期間中に大きな硬化が認められず、各試験項目における物性変化率も小さかった。そのため、耐アンモニアガス特性についてはTOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75に優位性があることが確認された。試験結果をTable3に示す。

Table3 TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75の耐アンモニア性試験結果

試験項目	単位	TOUGHUORO <sup>®</sup> -HT75	FKM-70
硬度変化	Point	-1	+15
引張強度変化率	%	±0	+5
伸び変化率	%	-4	-56
体積変化率	%	±0	+1
質量変化率	%	±0	±0

試験条件: 120℃×168h、アンモニアガス99.9%

## 2-4) 耐薬品特性

TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75は、FKM材では使用できなかったケトン類、アミン類においても優れた耐性を有する。Table4にTOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75の各種薬品での浸漬試験後の体積変化を示す。

Table4 TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75の耐薬品性試験結果

薬品名	試験条件	評価
メチルアルコール	40°C×168h	A
アセトン	40°C×168h	A
メチルエチルケトン	40°C×168h	A
ジエチルエーテル	25°C×168h	A
トルエン	40°C×168h	A
エチレンジアミン	40°C×168h	A

評価基準\_A:変化率10%以内、B:変化率20%以内、C:変化率30%以内、D:変化率31%以上

## 2-5) 製作可能形状

TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75は、Oリング(バルカーNo.4640)、Vパッキン(バルカーNo.4631)、異形シール成型品(バルカーNo.4060)など、様々な断面形状についても製作可能である。また、送り成型にも対応可能なため、大口径品の製作も可能である。

## 2-6) 用途

TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75は、優れた耐熱性、および耐薬品性を有することから、下記のような様々な市場向けシール材として適用が期待できる。

1. 半導体市場
2. 新エネルギー(水素・アンモニア)市場
3. 医薬、飲料・食品機器市場  
食品衛生法 厚労省告示第380号に適合
4. 化学プラント市場
5. 分析機器・装置市場
6. その他、耐熱性および耐薬品性が要求される装置、部位のシール材

## 2-7) 機械的特性

TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75の常態物性試験結果をTable5に示す。ゴム硬度75度の材料で、引張強度が20MPaを大きく超えており、機械的強度に優れている材料である。

Table5 TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75物性試験結果\*

試験方法	試験項目	単位	TOUGHUORO <sup>®</sup> -HT75
常態物性	硬度	ShoreA	76
	引張強度	MPa	23.8
	伸び	%	200
	100%引張応力	MPa	8.4

\*数値は実測値であり、規格値ではありません。

## 3. TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70

TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70は、耐酸性、および純粋性に優れたFKM材料である。以下に特性を記載する。

### 3-1) 耐酸特性

室温環境下において、無機酸への耐性評価を実施した。TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70は、評価期間中の、大きな硬度変化、および体積変化は確認されなかった。当社耐酸性FKM材D2470と比較しても、同等の耐性があることを示した。試験結果をTable6に示す。

Table6 TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70の耐酸性試験結果

試験溶液	評価項目	単位	TOUGHUORO <sup>®</sup> -HAC70	D2470
36%塩酸	硬度変化	Point	-1	-1
	体積変化率	%	+0.3	±0
98%硫酸	硬度変化	Point	±0	±0
	体積変化率	%	+0.3	+0.1

試験条件:rt×168h

### 3-2) 耐熱特性

圧縮永久ひずみ試験にて耐熱性の評価を実施した。TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70は、D2470と比較し、同等以上の耐熱性を有する結果を示した。Figure5にTOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70の圧縮永久ひずみ率を示す。



Figure5 TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70の圧縮永久ひずみ率

### 3-3) 含有金属成分分析

化学薬品などの薬液のシール材に求められる特性の1つに、薬液の汚染を抑制するためにシール材からの溶出成分が少ないことが挙げられる。そのため、TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70のICP-MS法による含有微量金属分析を実施した。TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70は、含有金属成分が少なく、半導体市場向けで使用実績のあるD2470と同等の数値を示した。それゆえ、純粋性に優れた特性を有する材料ということが確認出来た。Figure6に TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70の含有金属測定結果を示す。



Figure6 TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70の含有金属測定結果

### 3-4) 製作可能形状

TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70は、TOUGHUORO<sup>®</sup>-HT75と同様に、Oリング(バルカーNo.4640)以外にも、異形シール成型品(バルカーNo.4060)など、様々な断面形状についても製作可能である。

### 3-5) 用途

TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70は、優れた耐熱性、及び純粋性を有することから、下記のような様々な市場向けシール材として適用が期待出来る。

1. 半導体 wet 市場
2. 飲料・食品機器市場  
食品衛生法 厚労省告示第380号に適合
3. 化学プラント市場
4. 分析機器市場
5. その他、FFKMではオーバースペックな耐酸性が要求される装置、部位のシール材

### 3-6) 機械的特性

TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70の常態物性結果をTable7に示す。ゴム硬度70度の材料で、機械的特性に優れる材料である。

Table7 TOUGHUORO<sup>®</sup>-AC70の物性試験結果\*

試験方法	試験項目	単位	TOUGHUORO <sup>®</sup> -AC70
常態物性	硬度	ShoreA	73
	引張強度	MPa	24.0
	伸び	%	450
	100%引張応力	MPa	2.4

\*数値は実測値であり、規格値ではありません。

## 4. D3770

D3770は、JIS B2401 FKM-70に適合した一般産業用FKM材料である。以下に特性を記載する。

### 4-1) 製作可能形状

D3770は、他のふっ素系エラストマーと同様に、Oリング(バルカーNo.4640)以外にも、異形シール成型品(バルカーNo.4060)など、様々な断面形状についても製作可能である。

### 4-2) 用途

D3770は、汎用性に優れた材料のため、下記市場への展開が期待出来る。

1. 一般産業機器市場
2. 飲料・食品機器市場  
食品衛生法 厚労省告示第380号に適合
3. 化学プラント市場
4. その他、他のNBR、EPDMなどの汎用合成ゴムでは対応出来ない耐熱性、及び耐薬品性が要求される装置、部位のシール材

### 4-3) 材料物性

D3770の常態物性、及び各種耐久試験を実施した。試験結果をTable8に示す。

## 5. おわりに

国内外におけるPFASに関する規制は、ますます厳しくなっていくことが懸念される。当社はシールメーカーとして、PFASの新しい情報や、進化する規制についての最新動向をいち早く捉え、変化する状況にも随時対応していく所存である。今後もPFAS代替材料の検討、新材料の開発及び既存材料の改良を進め、地球環境にやさしいモノづくりを行うことで、社会の発展に貢献していきたい。

Table8 D3770の材料物性

	項目	規格値 (JIS B2401:2012)	D3770
標準状態試験	タイプA デュロメーター硬さ	A70±5	73
	引張強さ MPa 最小	10.0	17.8
	伸び % 最小	170	260
	引張応力 MPa 最小 (100%伸びのとき)	2.0	4.9
老化試験	温度及び時間	230℃、72h	
	タイプA デュロメーター硬さ 最大	+5	+2
	引張強さ変化率 % 最大	-10	+1
	伸び変化率 % 最大	-25	-3
圧縮永久ひずみ試験	温度及び時間	200℃、72h	
	圧縮永久ひずみ % 最大 φ29×12.5、25%圧縮	40	13
耐油試験	温度、時間及び試験油	175℃、72h 潤滑油No.1	
	タイプA デュロメーター硬さ変化	-10～+5	-1
	引張強さ変化率 % 最大	-20	-8
	伸び変化率 % 最大	-20	-16
	体積変化率 %	-5～+5	0
	温度、時間及び試験油	175℃、72h 潤滑油No.3	
	タイプA デュロメーター硬さ変化	-10～+5	-1
	引張強さ変化率 % 最大	-20	-10
	伸び変化率 % 最大	-20	-3
	体積変化率 %	-5～+5	+2
低温弾性回復試験	TR10 °C 最大 形状：I型試験片	-10	-16
腐食試験	温度及び時間	70±1℃、24h	
	外観	相手金属を腐食したり、粘り付きを生じてはならない。ただし、金属面の変色は腐食とは認めない。	異常なし

\*数値は実測値であり、規格値ではありません。

## 6. 参考文献

- 1) 日本フルオロケミカルプロダクト協議会、第1回ウェビナー資料、2022
- 2) OECD、Reconciling Terminology of the Universe of Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) : Recommendations and Practical Guidance report、2021
- 3) ECHA、Consultation on a proposed restriction on the manufacture, placing on the market and use of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS)、2023
- 4) Interstage Technology and Regulatory Council (ITRC)、PFAS Technical and Regulatory Guidance Document and Fact Sheets PFAS-1, Figure2-16, 2022
- 5) Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants、COP10、2022
- 6) USEPA、PFAS Strategic Roadmap: EPA's Commitments to Action 2021-2024、2021
- 7) 環境省、ペルフルオロヘキサンスルホン酸(PFH<sub>x</sub>S)について、2021
- 8) 圖師浩文、バルカーテクノロジーニュース、No.36、2019
- 9) 川村敏夫、バルカーレビュー、Vol.26、No.6、1982



**圖師 浩文**  
H&S事業本部  
商品開発部  
エラストマー開発チーム

※ TOUGHUOROは、株式会社バルカーの登録商標です。