

新低GWPふっ素液体に対応する エラストマー材料について

1. はじめに

総務省にて令和7年5月に「DX・イノベーション加速化プラン2030」¹⁾が公開されたが、我が国でイノベーション創出を行い、経済成長を実現させるために、AI活用を始めとする社会DXの加速化が不可欠と判断している。そのデジタルインフラ整備の中心的役割を果たすのがデータセンターである。データセンターはサーバーやネットワーク機器を設置・管理し運用する施設であるが、国内のクラウドサービスやAI技術の進歩に伴いその重要性が高まり、国内外において急速に増え続けている。データセンターの設置が増えれば使用電力が非常に増え、省エネが叫ばれることとなるが、その消費電力の内、比較的多くはサーバーの高温化を防ぐための冷却に用いられる。一般的には空冷が主として用いられてきたが、空冷は冷却効率に難があり、水冷は空冷より冷却能力に優れているため、水冷の普及が進んでいる。しかしながら水冷は継続的な冷却を続けるために、大量の工業用水を必要とするという懸念点²⁾がある。対して液浸冷却は直接サーバーをふっ素流体に浸漬することで、高い冷却効率を実現させることが可能である。これはふっ素流体が、優れた絶縁性、化学的安定性を有するために実現出来る機構であり、冷却で昇温したふっ素流体は、外部で再び冷却されれば、またサーバーに戻すことが可能であり、水冷のような多量の工業用水を必要とすることが不要となる。当然、ふっ素流体を長期にわたって使用するためには、初期導入コストは増加するものの、将来的に非常に有効的な冷却手段となると考えられる³⁾。

ふっ素流体はフロンとよく混同されるが、明確に異なるものである。ふっ素流体、フロンともに炭素とふっ素結合により構成されたふっ素化合物であり、化学的には近似するものと言えるが、フロン⁴⁾は液体⇄気体に形態を変化させることで熱エネルギーを移動させ、エアコンや冷蔵庫の機能を具現化しているのに対し、ふっ素流体⁴⁾は形態の変化を起こさず、流体のまま使用するものである。つまり、使用方法、使用目的が全く異なっている。ふっ素流体の使用箇所としては、過去

から半導体の洗浄、冷却が真っ先に挙げられる。3M社のフロリナート⁵⁾は非常に信頼性が高く、広く、多くのユーザーに使用されていた。近年、特に注目を挙げているのは、上記データセンターへの液浸冷却としての使用である。

ふっ素流体は以下の特徴により半導体洗浄、冷却、データセンターなどの重要な部位での使用が可能となっている。
①電気絶縁性が高い、②熱伝導率が高い、③化学的安定性が高く不活性、④不燃、⑤表面張力が低い、などの優れた特性を有しているためである。

通常であれば、3M社のフロリナートが過去からの使用実績から、今後も主として使用されると考えられるものの、2025年末をもって生産を終了されており、以降の使用は不可能となってしまった。また、フロリナート自身は、オゾン層破壊係数ODPこそ0であるものの、地球温暖化係数GWP⁶⁾としては数千を超え、昨今の地球環境を考慮すれば、どちらにしても使用は困難であったと考えられる。

よって、今後使用されるふっ素流体は、フロリナートが抱えていたGWPという問題をクリアする必要があるが、この問題をクリアしたのがダイキン工業社製「DAISAVE」⁷⁾である。以下Table1にDAISAVE基本特性を示す。

Table1 DAISAVE基本特性

	DAISAVE SS-54	DAISAVE SS-110
組成(化学式)	HFE (Hydrofluoroether) C ₄ H ₄ F ₆ O	Perfluoroalkene
分子量	182.06	非公開
沸点(℃)	54	110
凝固点(℃)	-92	<-130
引火点(℃)	無	無
熱伝導率(W/m・K)	0.081	0.064
絶縁耐力 [2.5mmgap]kV	26	>40
オゾン層破壊係数(ODP)	0	0
地球温暖化係数(GWP)	101	<100(計算値)

DAISAVEは、フロリナートが有していた優れた特性を全て有していると言って過言ではない。電気絶縁性の高さ、熱伝導率の高さ、化学安定性、不燃性も有しており、オゾン層破壊係数ODPが0なのも当然である。また表面張力が低いことで、電子基板への馴染も高く、液浸冷却を効率的に行うことが可能である。更に、明らかにフロリナートより優れているのが、全グレードでGWPが100近傍、もしくは下回っている点である。まさに環境に配慮したふっ素流体であり、また、回収による再生も可能であるため、データセンターにおける長期使用に対して、コスト面にも配慮しており、非常に有用なふっ素流体ということが出来る。そのため、当該DAISAVEは、今後、その使用範囲を大きく拡大出来る可能性が高いと考えられる。当社シール材との相性検証を行うことで、ふっ素流体のシール材への影響が少ないことを証明することが出来れば、DAISAVEを使用するためのハードルを下げることが可能となるため、各種評価を実施し、結果を報告することとした。

2. 評価内容

2-1) 評価試料

評価試料に関しては、重要なのは高低温での使用環境に対しての適合性であり、併せて低溶出性、低膨潤性を兼ね備えていれば、シール材として更に好ましい。また、フロンのように炭化水素系の冷凍機油と混合して使用されることもないことから、過去からフロンやふっ素流体に対し、高い実績を有しているEPDMが最も適していると考えられる。当社としてふっ素流体に対し実績のある配合番号H0970が評価対象として挙げられる。ただし、使用環境の高温化に伴い、優れた耐熱性を有したシール材を切望されることも多く、HFC（代替冷媒：ハイドロフルオロカーボン）、HFO（環境配慮型新冷媒：ハイドロフルオロオレフィン）冷媒に実績のある、耐熱性を有した高機能EPDMとして配合番号H0880も同時に対象とした。

しかしながら、新ふっ素流体シール材としての可能性を検証するためにも、固定観念を排除し、複数の材質による評価を行うこととした。

以下 Table2に評価用試料一覧を示す。

Table2 評価試料一覧

配合番号	材質	選定理由
B0570	NBR	一般工業用JIS70度品 黒
D0270	FKM	耐高温油用JIS70度品 黒
E0770	VMQ	高純粋用JIS70度品 白
H0970	EPDM	ふっ素流体高実績品JIS70度品 黒
H0880	EPDM	高耐熱、フロン実績品JIS70度品 黒
J0170	CR	フロン実績品JIS70度品 黒
TOUGHUORO-SS70	FEPM	耐蒸気、酸、アルカリ用JIS70度品 黒

NBRとFKMは汎用性の高いグレードを選定し、VMQは純粋性の高いグレードを選定した。CRに関しては、HNBRと並んでフロン用として実績の高いグレードを比較用として選定した。FEPMは高温の蒸気、酸、アルカリに対する耐性に優れた材料である。ふっ素系エラストマーでありながら、EPDMの特性を兼ね備えていることから、DAISAVEに対してFKMより相溶性が悪く、耐性が高い可能性が考えられ、評価対象とすることとした。

2-2) 評価方法

シール材の健全性確認を行うためには、短期のデータ取得だけでは不十分であり、複数の時間条件でのデータ取得により、傾向を把握することが必須である。また、広い温度範囲で使用される可能性が高いため、複数の温度帯による傾向も確認することが必要である。長期劣化挙動を把握するため、以下の試験を実施することとした。

2-2-1) 浸漬試験(硬度、体積変化率、抽出率)

試料の健全性を確認するために、DAISAVEへの浸漬試験(JISK6258に準用)を実施し、各種合成ゴムとの相溶性を確認することとした。相溶性が悪い材料であれば、体積膨潤や膨潤起因の硬度低下が非常に少なく、シール材としては良好な状態と判断出来る。逆に相溶性が良い材料の場合、一定の体積膨潤と硬度低下が確認されるため、シール材としての適合性に問題が生じる可能性が考えられる。また、ふっ素流体による材料からの抽出物の有無を確認するため、同時に、抽出試験を実施する。材料の種類によっては、可塑剤などを多量に配合するものもあり、可塑剤の抽出により、硬化、伸びの低下、低温性の劣化などを引き起こすことも想定されるため、抽出傾向を確認することは重要と考えられる。

試料(JISB2401 P22 Oリング1pc)に対し、80gの溶媒を投入して暴露する。所定時間後試料を取出し、容器内の溶媒を乾燥により除去し、抽出率を算出する。



抽出率(%)=(ガラス管残留物[g])×100/(サンプル重量[g])

Figure1 抽出試験方法詳細

上記のように、浸漬試験によりおよその傾向を確認することが出来るため、評価を実施する意義は大きい。

2-2-2) 圧縮永久ひずみ試験(DAISAVE中)

シール健全性の指標である、各種環境における圧縮永久ひずみ試験を実施した。実機での使用を想定し、ふっ素流体中のシール材の傾向を判断するため、DAISAVE中での圧縮永久ひずみ試験とした。圧縮永久ひずみの考え方をFigure2に示す。

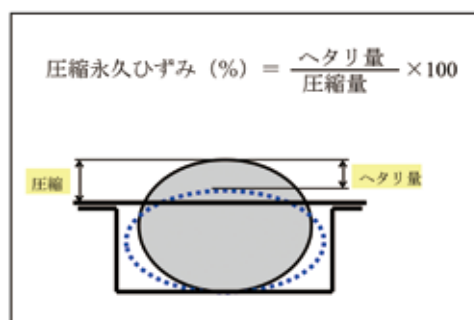


Figure2 圧縮永久ひずみの考え方

測定方法はJISK6262:2013「加硫ゴム及び熱可塑性ゴム—常温、高温及び低温における圧縮永久ひずみの求め方」に準用する。試料形状は試験種が多いため、多数の評価を同時に行う目的でJISK6262規格の小型試験片(外径13mm、高さ6.3mm円柱状試験片)を使用し、圧縮率は25%と設定する。

2-2-3) 試験条件

DAISAVEへの曝露条件は以下のTable3に示す。

浸漬試験、圧縮永久ひずみ試験ともにTable3の通り、低温から高温までの評価を実施した。ふっ素流体の揮発を防

ぐために、圧力容器内に試験試料とふっ素流体を投入して浸漬試験を実施した。

これらの評価結果に関し、次項にて報告する。

Table3 各種試験条件

試験温度	・SS-54 50℃: 全試料対象
	-40℃: H0970、H0880
	-50℃: E0770
	・SS-110 90℃: 全試料対象
試験時間	-40℃: H0970、H0880
	-50℃: E0770
	72h、168h、336h、504h: 全試料対象
	注: 低温試験のみ 72h: H0970、H0880、E0770

3. 評価結果

3-1) 機械的特性

機械的特性の結果をTable4に示す。

H0880の100%引張応力とB0570とJ0170の伸びが、他の合成ゴムより大きくなっている以外は、明確な差異はないと考えられる。

Table4 各種材料基本特性

評価項目	単位	B0570	D0270	E0770	H0970
硬さTypeA	ShoreA	72	71	70	75
引張強さ	MPa	17.9	19.2	7.5	19.8
引張伸び	%	370	245	230	245
100%引張応力	MPa	3.8	5.0	4.9	5.1

評価項目	単位	H0880	J0170	SS70	
硬さTypeA	ShoreA	77	71	71	
引張強さ	MPa	21.3	23.4	23.5	
引張伸び	%	195	345	210	
100%引張応力	MPa	8.0	4.8	5.0	

3-2) 浸漬試験(硬度、体積変化率、抽出率)

各種温度条件における硬度変化、体積変化率、抽出率の経時変化グラフをFigure3～8に示す。

外観に関して、全材質ともに、DAISAVE SS-54、SS-110全条件で、傷、凹凸などの異常は確認されておらず、溶解などは確認されていない。

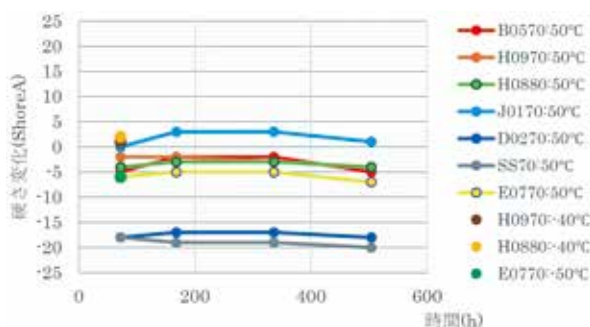


Figure3 SS-54中 硬度変化グラフ

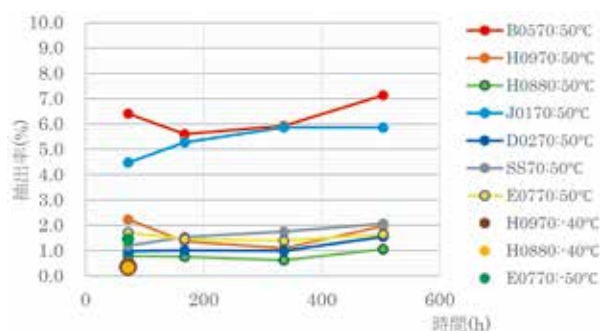


Figure7 SS-54中 抽出率グラフ

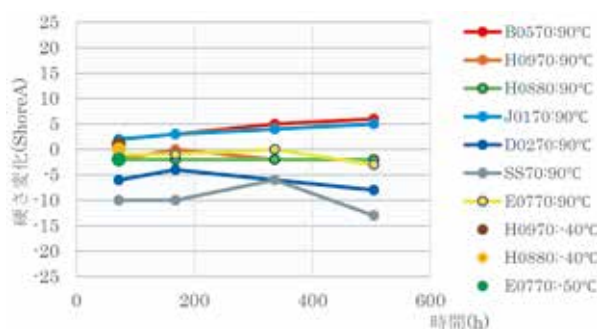


Figure4 SS-110中 硬度変化グラフ

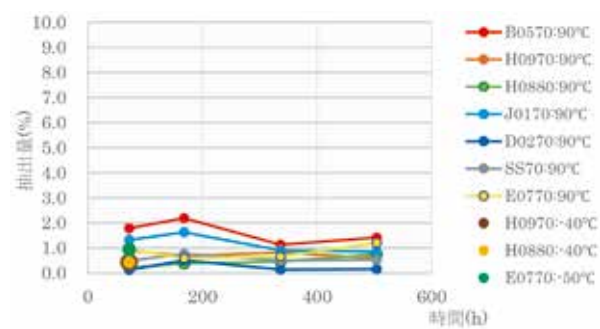


Figure8 SS-110中 抽出率グラフ

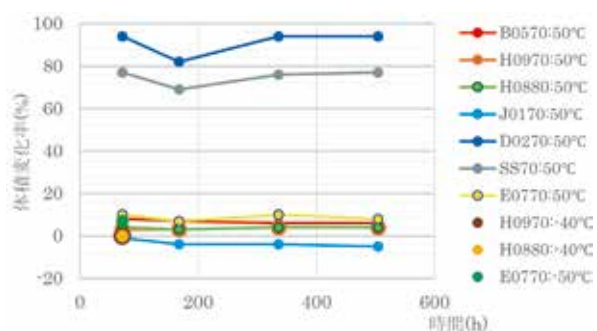


Figure5 SS-54中 体積変化率グラフ

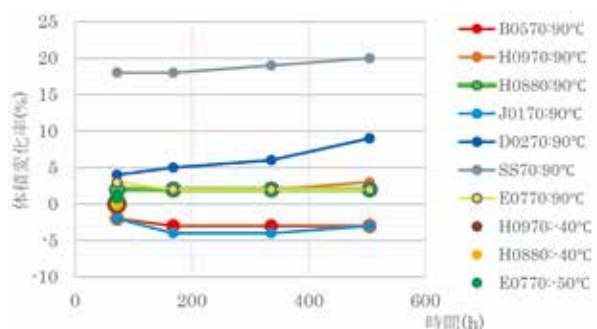


Figure6 SS-110中 体積変化率グラフ

硬度変化、体積変化率、抽出率に関して、D0270、SS70の2材料はふっ素系であり、SS-54、SS-110ともに相溶性が良く、体積膨潤が大きくなっており、特にSS-110よりSS-54の方が、膨潤傾向が強い。抽出自体は軽微であるものの、SS-54に対するD0270、SS70の2材料の膨潤傾向は極めて強く、軟化は膨潤起因で生じていると考えられる。軟化傾向もSS-110よりSS-54の方が大きい。膨潤が大きすぎるため、D0270、SS70のSS-54への使用は困難と考えられる。半面、SS-110では、D0270、SS70ともに膨潤は確認されるものの、膨潤の大きいSS70でも20%にとどまっており、SS-54の膨潤傾向とは大きく異なっている。よってSS-110であれば、時間経過とともに軽微な増加傾向が確認されるため、注意が必要ではあるが、FKM、FEPM系が使用出来る可能性はあると考えられる。

B0570とJ0170に関しては、SS-54のJ0170と、SS-110のB0570、J0170に硬化傾向が確認される。硬化原因は、SS-54のJ0170の場合、評価温度が低いため熱劣化によるものではなく、ゴム中の可塑剤が抽出されたためと考えられる。SS-54のB0570にも抽出は確認されているが硬化していないのは、体積変化率がマイナスではないことから、抽出より膨潤傾向が強いのではないかと考えられる。SS-110は

B0570、J0170ともに体積変化率がマイナスのため、抽出が優位にあると考えられ、その上で、熱劣化の影響も併せて硬化が生じていると考えられる。上記、硬化、抽出などが生じることを理解の上であれば、異常劣化が生じていないことから、NBR、CR系が使用出来る可能性は十分あると考えられる。

H0970、H0880、E0770には、SS-54、SS-110ともに軽微な軟化レベルであり、膨潤、抽出も少なく非常に良好な結果となっている。その中でもE0770は多少の膨潤が確認されることから、VMQではなく、EPDMのH0970、H0880が優れていると考えられる。

3-3) 圧縮永久ひずみ試験

各種条件での圧縮永久ひずみ率の経時変化をFigure9、10に示す。

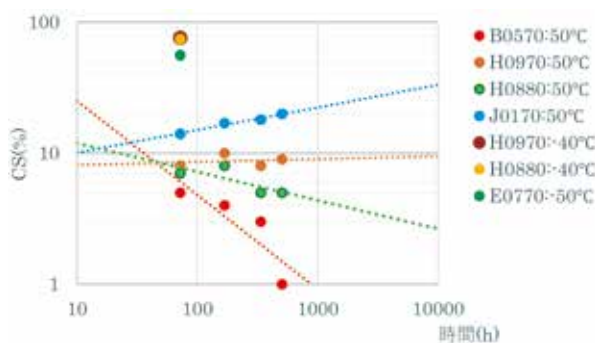


Figure9 SS-54 中圧縮永久ひずみグラフ

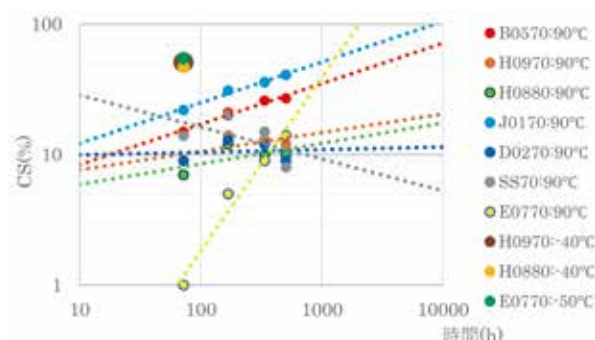


Figure10 SS-110 中圧縮永久ひずみグラフ

SS-54の圧縮永久ひずみ試験に関しては、D0270、SS70、E0770ともに、膨潤が確認される上、熱変形が生じる温度帯で無いことから、変形より膨潤が支配的であり、初期寸法より大きくなってしまい、圧縮永久ひずみがグラフ化出来ない。B0570、H0970、H0880ともに、熱劣化が生じる温度帯で無いから、変形が生じていない上、軽微な膨潤があるため、バ

ラツキが生じ、経時変化が確認されない。J0170に関しては、抽出が膨潤を上回っており、わずかながら経時変化が確認されているが、それでも長期使用が可能な近似曲線となっている。

SS-110の圧縮永久ひずみ試験に関しては、B0570とJ0170に相関係数の高い経時変化が確認されている。SS-110の影響により劣化速度が速まっているわけではなく、NBR、CRの使用温度上限に近いことから、熱による劣化と考えられる。よって、両材料を90℃環境で使用した場合、半年から1年近傍で使用限界に到達する可能性があり、実使用される場合は、当該試験温度未満であれば、長期使用出来る可能性が考えられる。

その他材料に関しては、E0770を除いて、大きな変形は確認されない。E0770に関しても、初期変形が小さすぎるため、劣化曲線の傾きが大きくなり、グラフでは短時間で劣化が進行するように見えるが、恐らく、504時間を超える条件で試験を継続すれば、変形は収束し、劣化曲線の傾きが緩やかになると考えられる。圧縮永久ひずみから判断すると、B0570、J0170を除いた材料は、SS-110の当該試験環境に十分使用出来る可能性が高いと考えられる。

なお、SS-54、SS-110の低温試験に関しては、シール材の凍結により一定レベルの変形が確認されているものの、復元が確認されており、シール代が喪失しているわけではなく、また、抽出、膨潤も確認されていないことから、H0970、H0880、E0770ともに当該温度環境には使用可能と考えられる。

4. まとめ

上記結果からSS-54、SS-110ともに、EPDMのH0970、H0880が好ましく、特に使用温度範囲が広く、抽出の少ないH0880が推奨される。EPDMの使用限界を超えるような低温性が必要な環境においては、VMQのE0770が推奨される。NBR、CRを使用する場合は、自社他社問わず可塑剤が使用されている可能性が高いため、可塑剤が抽出されることを想定し、かつ、使用温度、時間をしっかり考慮して、使用可否を判断する必要がある。FKMやFEPMに関しては、SS-54に対して相溶性が良すぎるため、使用は困難と考えられる。ただし、SS-110の場合は、多少の膨潤にとどまる可能性があり、以降の長期評価は必須ではあるものの、使用出来る可能性は十分あると考えられる。

よって、SS-54、SS-110ともに、特定の合成ゴム限定ではなく、使用環境を考慮した上で、様々な合成ゴムが使用出来る可能性が確認された。

5. おわりに

新規ふっ素流体が、様々な合成ゴムに使用可能性を確認出来たのは、非常に望ましいことである。先に述べたふっ素流体の将来性を考えれば、使用制限がかかることは決して望まれることなく、むしろ拡大使用されるべきである。当社としてその取り組みにかかわることが出来たことは幸いである。

本報掲載にあたり、御協力いただきましたダイキン工業株式会社の関係者各位に心より感謝申し上げます。

6. 参考文献

- 1) 総務省 DX・イノベーション加速化プラン2030 令和7年5月23日
- 2) 経済産業省 第19回工業用水道政策小委員会審議資料 資料2 2025年12月2日
- 3) 経済産業省 METI journal「急増するデータセンターを超効率的に冷やす!「液浸冷却」の可能性」2025.5.12
- 4) 環境省 平成20年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書 第2部参考資料 平成21年8月
- 5) スリーエムジャパン株式会社電子用製品事業部 3MTM プロセス材料 総合カタログ 2017
- 6) 日本原子力研究所 JAERI-Tech 98-038 フルオロカーボンによるトロイダル磁場コイルの冷却 1998年9月
- 7) ダイキン工業株式会社 化学事業部: DAISAVE
<https://www.daikinchemicals.com/daisave/jp/index.html>

※Fluorinert(フロリナート)は3M Companyの商標または登録商標です。
DAISAVEはダイキン工業株式会社の商標または登録商標です。
TOUGHUOROは株式会社バルカーの商標または登録商標です。



鈴木 憲
H&S事業本部
商品企画開発部
エラストマーチーム