

PFAS 規制強化に備えた非フッ素系低アウトガスグリース

Preparation of Non-Fluorinated Low Outgas Grease for Stricter PFAS Regulations

出光興産（正）*中西 祐輔 （正）吉田 幸生 （正）近藤 剛 （正）高根 孝仁

Yusuke Nakanishi, Yukio Yoshida, Tsuyoshi Kondo, Kouji Takane

Idemitsu Kosan. Co. Ltd.

1. はじめに

フッ素グリースは耐熱性、耐薬品性、低揮発性に優れた潤滑剤として多くの産業で使用されている。特に高温や化学的に厳しい環境でも安定した性能を発揮し、航空宇宙や精密機械などで機器の信頼性を高める。しかし、フッ素グリースを構成する有機フッ素化合物（PFAS）は環境中で分解されにくく、生物に蓄積するため、健康や環境への影響が懸念されており、各国で規制が強化されている¹⁾。

そこで、非フッ素系材料によるフッ素グリース代替の可能性を把握するため、真空分野をターゲットとした非フッ素系低アウトガスグリースを検討した。結果、低揮発性の炭化水素基油を用いることにより、非フッ素系でありながら、フッ素グリースに相当する低アウトガス性のグリースが製造可能なことを確認したため、その特性について報告する。

2. フッ素グリース代替の方向性

フッ素グリースの優れた特性はフッ素の電気陰性度の高さに起因する C-F 結合の強さに由来しており、原理的にフッ素化合物を使わずに同等の性能を実現するのは困難である。更にコスト、流通量などを考慮し、社会実装まで考えたとき、現時点で完全に置き換えられる化合物は存在しないといえる。しかし、フッ素グリースの様々な優れた特性は全ての用途において必要とされるわけではなく、用途ごとに必要とする性能は限られている（Fig. 1）。

例えば真空・半導体分野で使用されるグリースであれば、①低アウトガス、②低発塵、③金属非含有、④潤滑性などの性能が求められるが、使用環境は室温付近から一部高温環境であり、低温特性は必要とされない。このように、必要とされる要素を適切に絞り込むことで、代替材料を見いだせる可能性がでてくる。

3. 試料油

非フッ素系のグリース基油として、耐蒸発性、酸化安定性の観点から炭化水素系の基油を選定し、低アウトガスグリース HCG を作製した。Table1 に HCG 及び、比較対象としたフッ素グリースの性状を示す。フッ素グリースとしては炭化水素油と同粘度で低アウトガスグリースとして実績のある FG-1 及び、低粘度のフッ素油を使用したフッ素グリース FG-2 を用いた。

4. 実験方法

4.1 アウトガス測定

低アウトガス性の評価として、ヘッドスペースガスクロマトグラフィーを用いて、アウトガス成分の定量を実施した（Fig. 2）。本手法はサンプルを容器に入れて所定の時間加熱し、発生したガスを一度にガスクロマトグラフィーに送ることで微量のアウトガス成分でも定量分析が可能となる。

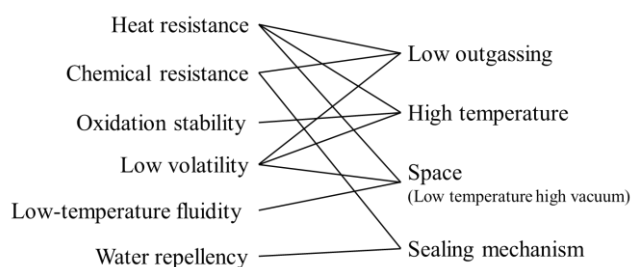


Fig.1 Characteristics and applications of fluorine grease

Table 1 Grease properties

		HCG	FG-1	FG-2
Base oil	Type	Hydrocarbon	Fluorine	Fluorine
	Kinematic viscosity (mm ² /s)	200	200	70
NLGI Grade		No.2	No.2	No.2

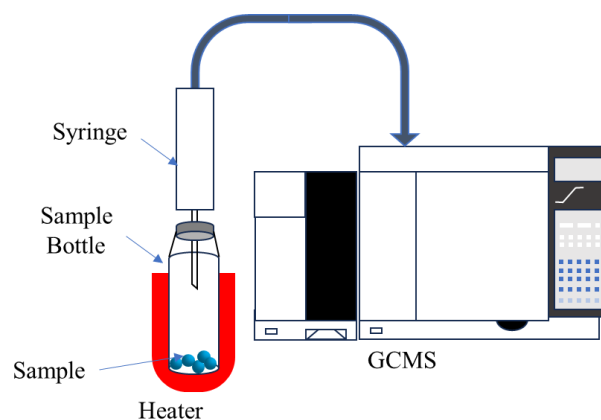


Fig.2 Schematic diagram of headspace gas chromatography

4.2 発塵性試験

Figure3 に実験装置の概要を示す。ISO class2 相当の清浄度を有するクリーンブース内に設置したアクリル製ケース (容積 4.5L) 内で、ボールリテーナータイプのガイドを最大速度 447 mm/s, 加速度 1 m/s^2 で往復運転し、発生した塵埃を 2.83 L/min の流量でパーティクルカウンタに吸引し $0.1 \mu\text{m}$ 以上の粒子を計測した。発塵数の安定していた運転開始後 10 時間から 20 時間において、1 時間当たりの発塵数の平均値を求めて評価した。

4.3 滑り摩擦における摩擦摩耗特性

Ball-on-Disk 摩擦試験機を用いた往復動摩擦試験により、耐摩耗性を評価した。試験条件は温度 100°C 、周波数 10 Hz、最大接触面圧 2.7 GPa、しゅう動時間 5 min とし、ボール及びディスク試験片には SUJ2 を用いた。試験終了後のボール側の摩耗痕をマイクロスコップで観察し、摩耗幅を評価した。

5. 試験分析結果

5.1 アウトガス特性

ヘッドスペースガスクロマトグラフィーによるアウトガス分析の結果を Fig. 4 に示す。HCG 及び FG-1 ではアウトガスが検出されなかったが、低粘度基油で構成された FG-2 はアウトガスが観測された。このことから、HCG は同粘度のフッ素グリースと同等レベルの低アウトガス性を有していることが確認できた。

5.2 発塵特性

Figure 5 に発塵試験の結果を示す。HCG は同粘度のフッ素グリースよりも低発塵性に優れていることが確認できた。このことから、HCG は高真空環境だけでなく、クリーンルーム等での使用にも適している可能性が有る。

5.3 摩擦特性

Figure 6 に往復動摩擦試験の結果を示す。炭化水素系の HCG はフッ素系の FG-1, FG-2 より、摩耗幅が小さく良好な潤滑状態が維持できていることが確認できた。摩耗の大きかった FG-1, FG-2 は摩耗痕が鏡面状となっていることが観察された。フッ素系潤滑剤は境界潤滑領域において腐食摩耗を進行させることが知られており²⁾、本実験でも腐食摩耗が進行したと推測される。

6. まとめ

低アウトガス炭化水素基油を用いたグリースを評価し、同粘度のフッ素グリースと同レベルの低アウトガス性であること、及びより優れた低発塵性、摩擦特性を持つことを確認した。フッ素グリースの全ての特性を併せ持つグリースの開発は困難な課題であるが、用途ごとに必要とされる性能を絞り込むことで非フッ素系へと置き換えられる可能性がある。

7. 参考文献

- 1) ECHA and five European countries issue progress update on PFAS restriction (ECHA, 2024-11-20)
- 2) S. Mori, W. Morales, Wear, 132, 111, (1989)

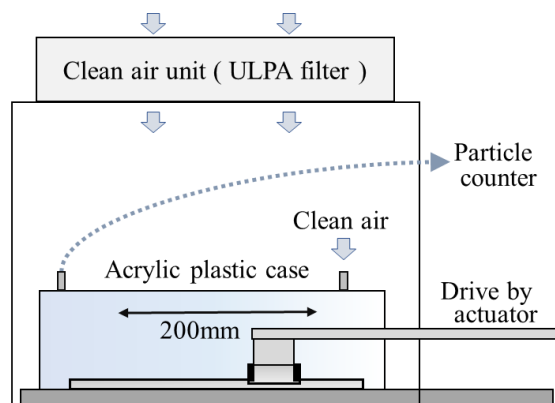


Fig.3 Schematic illustration of Schematic diagram of particle emission tester

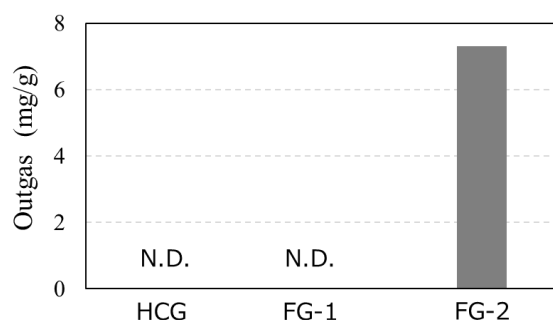


Fig.4 Results of outgassing tests

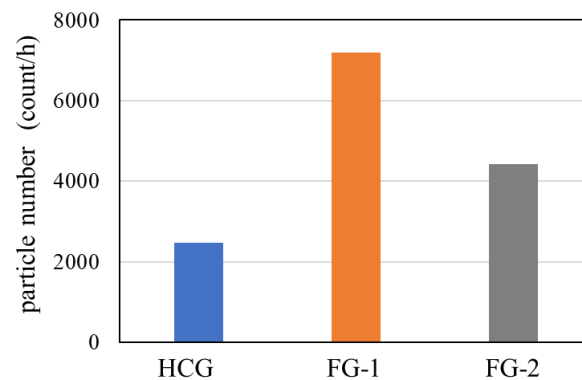


Fig. 5 Particle emission test evaluation results

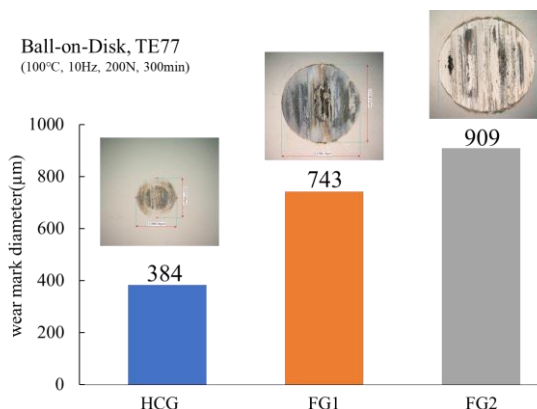


Fig.6 Results of reciprocating friction test