

フラーレン添加潤滑油の境界潤滑特性における基材性状依存性の解明

Elucidation of Dependence of Boundary Lubrication Properties of Fullerene Added Lubricants on Metal Material

名大・工（兼）JST さきがけ（正）*伊藤 伸太郎, 名大院・工（学）エン 子昂

名大・工（正）福澤 健二, 名大・工（兼）JST ACT-X（正）東 直輝, 名大・情（正）張 賀東

Shintaro Itoh^{1,2}, Ziang Yan¹, Kenji Fukuzawa¹, Naoki Azuma^{1,3}, Hedong Zhang¹

¹Nagoya University, ²JST PRESTO, ³JST ACT-X

1. はじめに

潤滑油にフラーレン(FLN)を添加することにより, 境界潤滑において低摩擦化, 耐摩耗性向上などの効果があることが報告された¹⁻³⁾. さらにラジカルトラップ効果による潤滑油劣化の抑制や⁴⁾, FLN の分子修飾によるフッ素系潤滑油への応用⁵⁾, グリースへの添加効果⁶⁾などが報告されている. FLN は新奇な機能を有する添加剤として今後の応用拡大が期待されているが, その添加効果のメカニズムは未だ十分に解明されていない. 近藤らは動的光散乱法を用い, 均一に分散されながらも油中でフラーレンの凝集体が形成されており, その直径は数 100 nm~数ミクロンであることを確認した⁷⁾. 著者らは界面近傍においてフラーレンを添加した潤滑油の粘度が増大することから, その凝集体が固体表面に吸着して潤滑性を発現する可能性を示唆する結果を得た⁸⁾. さらに先行研究で使用された基板材料を比較すると, 基材の種類により潤滑効果が異なることが推察された. そこで本研究では, 境界潤滑条件において, 各種金属表面での FLN 添加潤滑油の摩擦・摩耗特性を測定し, 基材の各種性状に対する依存性を解明することを目的とした.

2. 実験試料と摩擦・摩耗の試験法

基油(ポリアルファオレフィン)に FLN が 10 ppm の濃度で添加された潤滑油(PAO+FLN)を用いた. また比較のために基油(PAO)のみも用いた. 基材には 8 種類の純金属 (マグネシウム(Mg), アルミニウム(Al), チタン(Ti), 鉄(Fe), ニッケル(Ni), 銅(Cu), 亜鉛(Zn), モリブデン(Mo)) と 6 種類の合金 (ジュラルミン(A2017P, A5052P, A7075P), ステンレス(SUS304), 高炭素クロム軸受鋼鋼材(SUJ2), 青銅(CAC902C)) を用意した. 基板の表面は鏡面研磨した.

摩擦試験にはピンオンディスク型摩擦試験機を用いた. しゅう動子として SUJ2 球を用いた. 荷重は 0.2 N ~ 5 N とし, しゅう動速度は約 13 mm/s とした. これらは境界潤滑条件に相当する. 各荷重で 200 秒間測定した摩擦力の平均値と荷重との関係から摩擦係数を得た. 摩耗の評価のために, 荷重 3 N で摩擦試験した摩耗痕幅を光学顕微鏡で測定した.

3. 実験結果と考察

代表的な結果として, Al 基板および Ti 基板において荷重 100 g, 直径 8 mm のしゅう動子で測定した摩擦係数の時間変化を Fig. 1(a)(b)に示す. Al においては, フラーレンの添加による摩擦係数の低下がみられた. 一方で, Ti 表面ではフラーレン添加の効果はみられなかった. このように本研究で用いた合計 14 種類の基板ではフラーレン添加の効果に差があり, その結果を Table 1 にまとめた. Table 1 には, 基油のみと FLN 添加潤滑油の摩擦係数(COF)および摩耗痕幅の測定結果をそれぞれ示す. また表中には, FLN の添加による摩擦係数の減少率および摩耗痕幅の減少率を算出し, それぞれ $\Delta\mu$, ΔW として併記した.

Table 1 より, Ti, Cu, 青銅以外の金属表面で, 低摩擦化あるいは耐摩耗性向上の効果があった. ただし定量的にみると, 減少率は基材への依存性があることが明らかとなった. なかでも Al 表面で最も添加効果が高かった. 基材の性

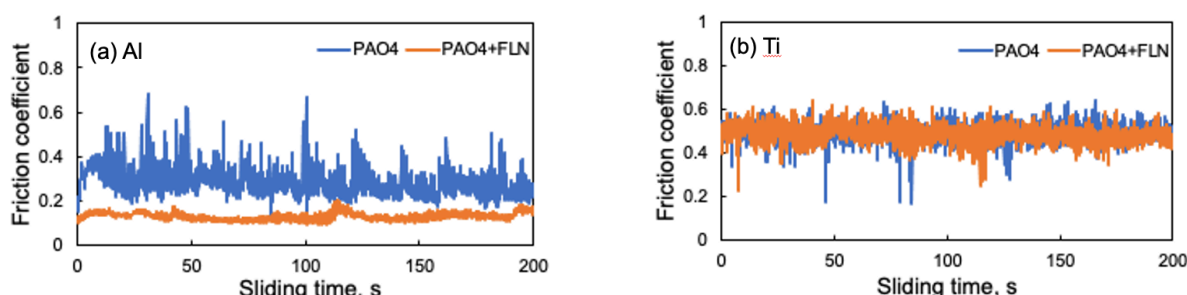


Fig. 1 Change in coefficient of friction with sliding time measured with/without fullerene additive (PAO4+FLN/PAO4) on (a) aluminum (Al) and (b) titanium (Ti) surface. The load was 100 g, and the diameter of the pin was 8 mm.

状に対する依存性を検証するために、摩擦係数および摩耗の減少率と金属の各種機械特性(ヤング率、硬さ、引っ張り強さ、剛性率、粗さ)との相関係数を計算したが、いずれも相関は低かった。Al で FLN 添加効果が高かったことから、FLN は凝着摩擦の抑制に効果的である可能性が考えられた。そこで摩擦試験機を改良し、しゅう動子と基材との凝着力を測定可能とした。基材を無潤滑の状態では 10 分間しゅう動したのち、基材からしゅう動子を引き離すのに必要な凝着力をフォースゲージで測定した。Al、ジュラルミン、Zn のみ凝着力が測定され、その他の基材の凝着力は測定感度以下であった。測定された凝着力と摩擦減少率、摩耗減少率の相関図を Fig. 2(a)(b)に示す。凝着力が大きいほど摩擦減少率、摩耗減少率が高いことが明らかとなった。この結果から FLN は固体表面間の直接接触を防止することによって低摩擦化・耐摩耗性の向上に寄与すると考えられる。特に凝着摩擦および凝着摩耗が顕著な基材ほどその効果が現れやすい傾向にあることが分かった。

Table 1. List of substrates used in the experiment and test results of friction and wear using oil with and without fullerene.

Substrate	COF with PAO μ_{PAO}	COF with PAO+FLN μ_{FLN}	$\Delta\mu$ (%)	Wear with PAO $W_{\text{PAO}} (\mu\text{m})$	Wear with PAO+FLN $W_{\text{FLN}} (\mu\text{m})$	ΔW (%)
Mg	0.218±0.023	0.205±0.008	-6.02	578±80	683±45	18.2
Al	0.186±0.008	0.090±0.009	-51.7	663±38	374±1.4	-43.6
Ti	0.248±0.019	0.248±0.012	0.11	497±20	504±21	1.41
Fe	0.173±0.013	0.115±0.008	-33.7	168±7.8	192±10	14.7
Ni	0.131±0.019	0.132±0.024	0.25	377±25	333±94	-11.5
Cu	0.077±0.009	0.129±0.007	67.1	145±6.7	149±38	2.29
Zn	0.189±0.010	0.158±0.007	-16.4	345±82	206±11	-40.1
Mo	0.103±0.011	0.088±0.010	-14.4	212±31	161±46	-23.8
A2017P	0.093±0.005	0.083±0.003	-10.5	160±4.6	124±4.6	-22.3
A5052P	0.114±0.004	0.087±0.012	-24.1	317±4.4	247±38	-22.1
A7075P	0.085±0.003	0.085±0.005	-0.47	189±15	184±7.5	-2.47
SUS304	0.181±0.011	0.131±0.009	-27.7	285±43	344±33	20.6
SUJ2	0.090±0.007	0.080±0.003	-11.2	162±42	134±7.5	-17.5
CAC902C	0.062±0.005	0.088±0.005	41.5	144±8.1	170±14	18.1

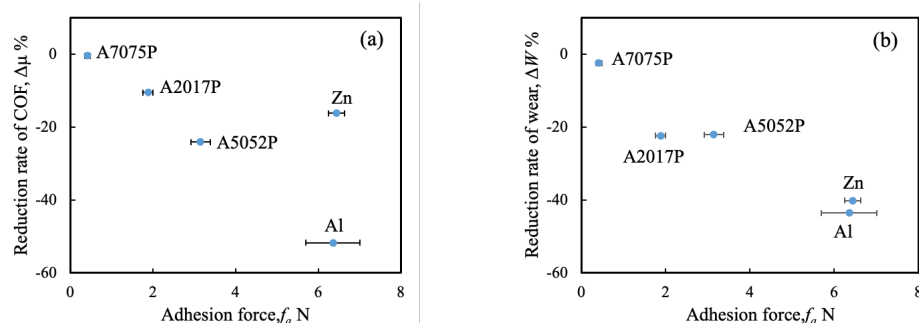


Fig. 2 Relationship between adhesion force and (a) reduction rate of friction coefficient ($\Delta\mu$) and (b) reduction rate of wear (ΔW).

4. おわりに

FLN添加潤滑油の摩擦・摩耗特性を境界潤滑条件で評価した結果、多くの金属に対して摩擦低下・摩耗抑制の効果があつた。潤滑効果は凝着摩擦や凝着摩耗が支配的な基材に顕著に見られることが明らかとなった。

文献

- 1) 近藤・門田・高・栗谷, トライボロジー会議 2019 春東京予稿集, A5
- 2) 門田・近藤・高・栗谷・坂口・上野・島津, トライボロジー会議 2019 春東京予稿集, A6
- 3) 三田村・宇佐美, トライボロジー会議 2019 春東京予稿集, AE12
- 4) 八木・本田, トライボロジスト, 66 巻 9 号, pp. 726-733 (2021)
- 5) 高・門田・栗谷・上田・渡辺・塙・近藤, トライボロジー会議 2018 春東京予稿集, F26
- 6) 今村・門田・近藤・安部, トライボロジー会議 2020 秋別府, A19
- 7) 近藤・門田・安部・今村, トライボロジー会議 2020 秋別府, A20
- 8) 伊藤・永井・福澤・東・張, トライボロジー会議 2020 秋別府予稿集, A22