

## 顕微赤外分光法を用いたシール用ゴム材料におけるグリース潤滑膜のその場観察

In Situ Observation of Grease Lubricating Film on Rubber Material for Sealing  
by Micro-Infrared Spectroscopy

NOK (正) \*堀内 貴生 NOK (正) 酒井 陽平 NKL (非) 佐藤 駿介 NOK (正) 青柳 彩子

Takao Horiuchi\*, Yohei Sakai \*, Syunsuke Sato\*\*, Ayako Aoyagi\*

\*NOK CORPORATION, \*\* NOK KLÜBER CO., LTD.

### 1. 緒言

近年、電動化に伴い産業用ロボットの需要が増加している。多くの場合、産業用ロボットの関節部には減速機が使用されており、グリースで潤滑されている。このグリースの漏れを防ぐため、グリース用オイルシールが利用されることが多い。また、オイルシールのような動的シールは通常、直接接触による摩耗を防止するため、しゅう動面に油膜を介在させ、油膜の界面を制御し、漏れを防いでいる<sup>1)</sup>。

油でのオイルシールしゅう動面の潤滑膜については佐藤らが蛍光法による可視化を用いて観察を行っており、密封潤滑機構についてもよく知られている<sup>2)</sup>。しかし、グリース潤滑下でのオイルシールしゅう動面の潤滑膜は可視化されていない。In-situでのグリースの挙動観察には、油膜と増ちょう剤を分けて観察できることからIR in-situや蛍光法が有効であると知られている<sup>3,4)</sup>。そこで、動的シールにおけるグリースの潤滑状態を把握することを目的とし、IRその場観察装置による金属材料とシール用ゴム材料とのグリース潤滑特性の違いを観察した。

### 2. 実験方法

潤滑試験は、Fig.1に示したPin-on-Disk型のEHL試験機を使用した。ディスクに赤外光透過材であるCaF<sub>2</sub>を用い、Pinは直径8 mmのSUJ2鋼球と半球ゴムを用いた。半球ゴムにはフッ素ゴムを使用した。荷重はピンを押し上げることにより印加する。潤滑剤にはLi石鹼グリースを使用した。グリースの物性をTable1に示す。

接触域の観察は、顕微FT-IRを用いて行った。IRスペクトルが得られる1点の測定範囲は100×100 μmであり、Fig.2に示すように接触域中心を原点として700×700 μmの範囲を100 μm間隔で7×7点、すなわち49点のマッピング測定を行った。測定は10分毎に実施し、100分間潤滑試験を実施した。顕微FT-IRから得られたIRスペクトルの3000~2800 cm<sup>-1</sup>のCH伸縮振動の面積強度から油膜厚さを、1700~1600 cm<sup>-1</sup>付近のC=O伸縮振動からLi石鹼の増ちょう剤量を推算した。Li石鹼グリースによって形成されたEHL膜の赤外線吸収スペクトルをFig.3に示す。推算した増ちょう剤量を油膜厚さで割ることにより、濃度として換算した。油膜厚さ及び増ちょう剤濃度についてはそれぞれ検量線を作成し、油膜厚さ及び増ちょう剤濃度を算出する係数を決定した。各試験条件をTable2に示す。金属球とゴム半球との接触面圧をおおよそ同じ値とするため、低いヘルツ接触面圧条件下で試験を実施した。グリースはディスク側に3.0 g、厚さ0.5 mm塗布し、再補給無しで試験を実施した。

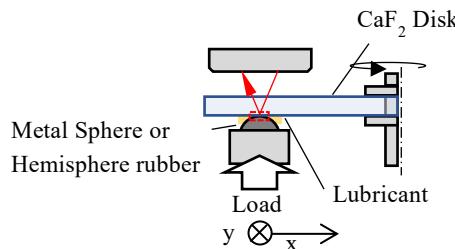


Fig. 1 Schematic of tester

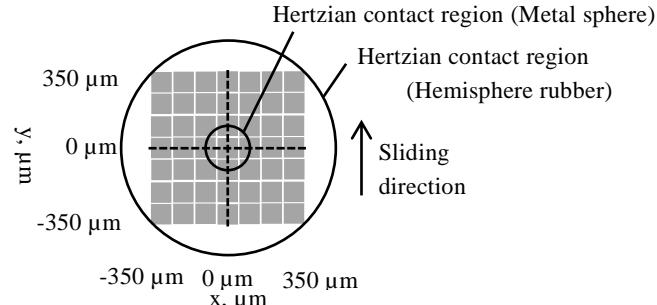


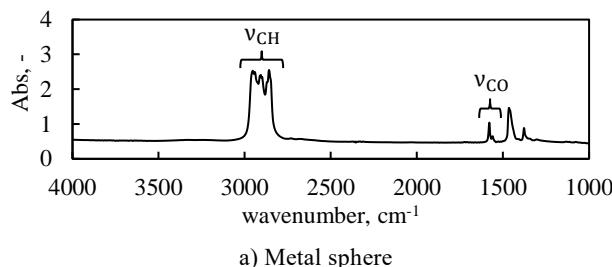
Fig. 2 Position of IR measurement around EHL

Table 1 Properties of Grease

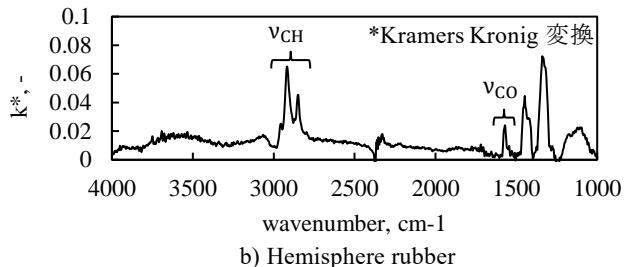
Lubricant	Li-Soap Grease
Base oil	Poly alpha olefin
Base oil viscosity (40°C), mm <sup>2</sup> /s	30
Thickener type	12-Hydroxystearic acid lithium salt
Thickener shape	Long fiber
Thickener concentration, wt%	6.6
Worked penetration	285

Table 2 Conditions for lubrication test

	A	B	C	D
Test piece		Metal Sphere	Hemisphere rubber	
Sliding speed, m/s			0.1	
Hertzian contact pressure, MPa	1.34	0.72	0.61	0.47
Ambient temperature, °C			25	



a) Metal sphere



b) Hemisphere rubber

Fig. 3 Typical IR Spectra of EHL film of Li-soap grease

### 3. 結果

接触域中央の膜厚と増ちょう剤濃度の経時変化を Fig.4 に示す。ゴム半球上の膜厚は面圧の変化によらずおおよそ 3  $\mu\text{m}$  である。一方、金属球の膜厚は面圧が高いほど膜厚が薄くなっている。接触域中央の増ちょう剤濃度は、金属球の場合、A 条件では約 29 %、B 条件では約 0.7 % となる。膜厚で見ると A 条件の膜厚が B 条件より薄いことから、膜厚が薄い方が増ちょう剤濃度は濃い傾向にある。また、ゴム半球の場合には面圧の低い D 条件のほうが C 条件よりも増ちょう剤濃度が高い結果となった。

B,C 条件での 100 分経過時のしゅう動中の膜厚分布、増ちょう剤分布を Fig.5 に示す。おおよそ同面圧であるにも関わらず、金属球とゴム半球で膜厚分布、増ちょう剤濃度分布が異なった。金属球の場合、接触域内は一様な濃度で増ちょう剤が存在しているのに対し、ゴム半球の場合、接触域中央の油膜の薄い部分に増ちょう剤が多く存在している。またゴム半球の場合、接触域左部および右部は接触中央部に比較し厚い油膜を形成した。

### 4. 結言

IR その場観察を用いてゴム半球と金属球におけるグリース潤滑膜の膜厚、増ちょう剤濃度を測定した。結果、ゴム半球と金属で膜厚分布、増ちょう剤分布に大きな違いが見られた。

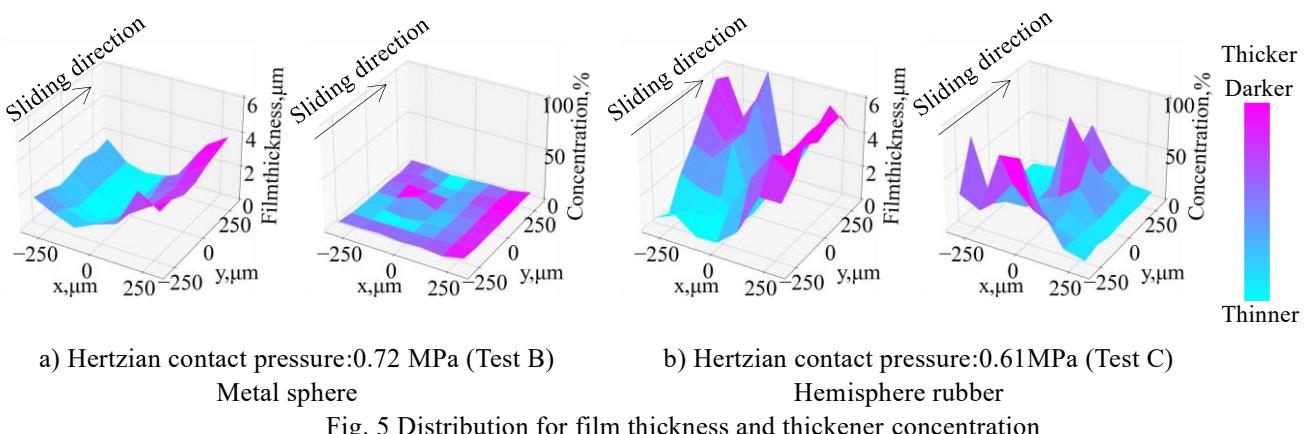
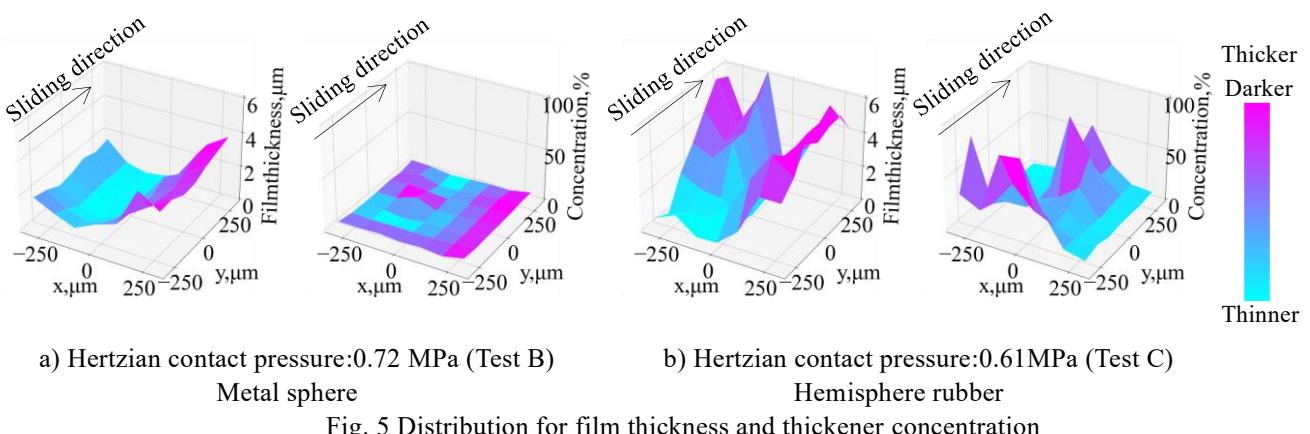


Fig. 4 Time dependence of film thickness and thickener concentration



a) Hertzian contact pressure: 0.72 MPa (Test B)  
Metal sphere

b) Hertzian contact pressure: 0.61 MPa (Test C)  
Hemisphere rubber

Fig. 5 Distribution for film thickness and thickener concentration

### 文献

- 1) E.T.Jagger Rotary shaft seals: the sealing mechanism of synthetic rubber seals running at atmospheric pressure, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 171,1 (1957) 597
- 2) 佐藤：オイルシールの潤滑機構に関する研究, 九州大学 (2001)
- 3) 星・滝渡・七尾・八代・森：顕微赤外分光法によるグリース EHL 膜のその場観察, トライボロジスト, 60, 2 (2015) 153
- 4) D. Kostal, M. Okal, J. Fryza, I. Krupka&M. Hartl, Novel in-situ observation of the grease constituents in elastohydrodynamic contacts by fluorescence microscopy, Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology, 17, 8 (2022)