

## 蛍光法を用いたオイルシールにおけるグリース潤滑膜のその場観察

### In Situ Observation of Grease Lubricant Film on a Radial Seal by Fluorescence Induced Microscopy

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

Takao Horiuchi\*, Yohei Sakai\*, Hosonuma Norimasa\*, Sato Syunsuke\*\*, Yanagisawa Nobuaki\*\*, Ayako Aoyagi\*

\*NOK CORPRATION, \*\*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。油潤滑におけるオイルシールの機構は、様々な著者によって研究されており、比較的よく理解されている<sup>1)</sup>。しかし、グリース潤滑下での揺動運転におけるオイルシールの機構については、解明されていない部分が多い。グリースは一般に基油、増ちょう剤、添加剤を含んでおり、増ちょう剤には基油の保持と摩擦を低減させる働きがある。グリース潤滑状態を把握するためには、基油と増ちょう剤を別々に観察する必要がある。過去に佐藤らが、LIF (Laser Induced Fluorescence : レーザー誘起蛍光法) を用いて油潤滑下でのオイルシールの潤滑膜を観察した<sup>2)</sup>。しかし、グリース潤滑下でのオイルシール上の潤滑膜は観察されていない。膜厚と増ちょう剤を別々に観察できることから、グリースの潤滑膜をその場観察するには顕微赤外分光法や蛍光法が有効であることが知られている<sup>3,4)</sup>。過去の研究では、増ちょう剤粒子がしゅう動面に存在し、シールの性能に影響を及ぼしていることが示唆されている<sup>5)</sup>。しかし、オイルシールのグリース潤滑膜の膜厚と増ちょう剤を実際に別々に観察した結果はない。そこで本研究では、グリース潤滑下でのオイルシールのシール面を、蛍光顕微鏡を用いてしゅう動面の膜厚分布と増ちょう剤分布を観察した。

#### 2. 実験方法

試験装置の概略図を Fig. 1 に示す。光源には水銀キセノンランプと波長 426 nm のレーザーを用いた。光源から蛍光剤が励起する波長の光を取り出すために励起フィルターを用い、蛍光のみを観察できるように蛍光フィルターを用いた。試験サンプルにはフッ素ゴムのオイルシールを用い、潤滑剤には Li 石鹼グリースを用いた。潤滑剤の詳細を Table 1 に示す。蛍光剤は膜厚分布の評価に Pyrene を、増ちょう剤の観察に Coumarin6 を用いた。Pyrene を励起させるため水銀キセノンランプを、Coumarin6 を励起させるためにレーザーを利用した。レーザーはライン化し、しゅう動面に垂直に当てることにより、しゅう動面の蛍光輝度分布を取得した。Li 石鹼グリースに Pyrene を 1 wt. %, Coumarin6 を 200 ppm 分散させたサンプルを作製した。ポンプ作用中の挙動を観察するため、意図的に大気側にグリースを漏れさせた後に 0.13 m/s で回転させ吸い込み挙動を観察した。観察された画像を Fig. 2, 3 に示す。

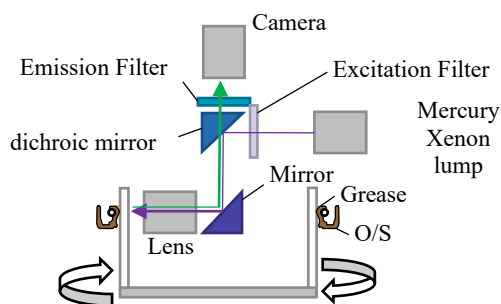


Fig. 1 Schematic of Fluorescence observation

Table 1 Schematic of Fluorescence observation

Lubricant	
Li soap grease	
Base oil	PAO
Base oil viscosity(cst@40°C)	30
Thickener	12-Hydroxystearic acid lithium salt
Worked Penetration	285

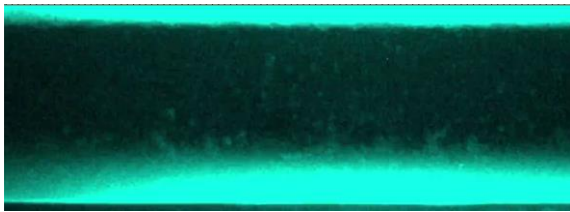


Fig. 2 Observation image on sliding surface (Pyrene)

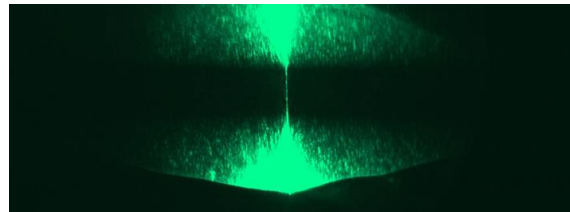


Fig. 3 Observation image on sliding surface (Coumarin6)

### 3. 結果と考察

観察画像の内、しゅう動面のみ輝度をマッピングした結果を Fig. 4 と Fig. 5 に示す。輝度はそれぞれ油厚と増ちょう剤量に比例する<sup>4)</sup>。よって、Fig. 4 の輝度分布はグリース膜厚分布を、Fig. 5 の輝度分布は増ちょう剤量分布を示している。Pyrene を使用した際、グリース側の輝度は 40~50 なのに対し、大気側に近づくほど低くなり大気側では輝度は 20~10 と大幅に減少していた。つまり、グリース潤滑時のしゅう動面の膜厚分布は大気側に行くほど薄くなっていることがわかる。この結果は、オイルシールの油潤滑時の膜厚分布と類似している<sup>2)</sup>。一方、Coumarin6 使用時、しゅう動面ではグリース側から大気側まで輝度は 40~20 の間であった。よって、増ちょう剤の分布は膜厚分布とは異なり、増ちょう剤量は接触面上ではほぼ一定に見える。また、輝度の高い物体が時折しゅう動面に侵入する様子が観察された。増ちょう剤の凝集物がしゅう動面に侵入した様子であると示唆される。これらの結果から、オイルシールしゅう動面での膜厚と増ちょう剤の分布は異なり、それぞれについて評価、モデルの構築が必要ということがわかった。また、潤滑膜に分布が現れるのはオイルシールリップの圧力分布と循環流による影響と示唆されることと今回の結果を合わせて考えると、オイルシールのしゅう動面では主にグリースの基油成分がしゅう動面内で流動していると考えられる。

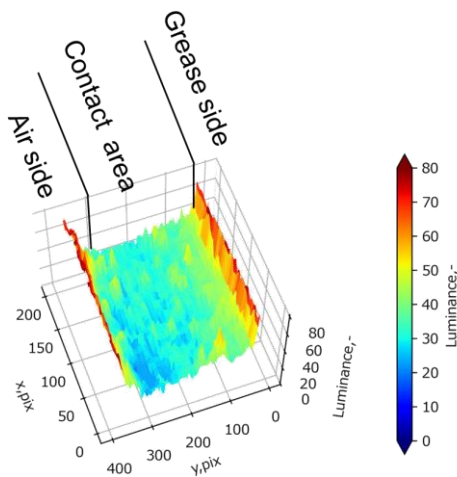


Fig. 4 Distribution of film thickness on sliding surface

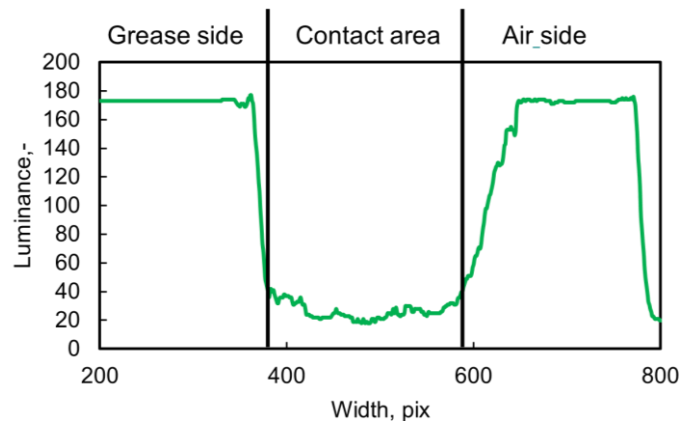


Fig. 5 Distribution of thickener on sliding surface

### 4. 結言

産業用ロボットのオイルシールの潤滑・密封機構を解明するため、グリース潤滑におけるシール性能試験と蛍光法によるシール面観察を行った。オイルシールしゅう動面での膜厚と増ちょう剤の分布は異なり、それぞれについて評価、モデルの構築が必要ということがわかった。

### 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・杉山・山本: オイルシールしゅう動面の油膜形成と摩擦特性に関する研究, トライボロジスト, 48, 6, 494~502 (2003).
- 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).
- 5) M. Sommer, W. Haas, A new approach on grease tribology in sealing technology: Influence of the thickener particles, Tribology International, 103, 574-583(2016).