

斜板式油圧ピストンポンプに用いられるスリッパ摺動面の油膜可視化

Oil film visualization on sliding surface of slider in swash plate type piston pump

コマツ、東工大（正）*川北 成美 東工大（非）加藤 壮 東工大（正）田中 真二

東工大（正）京極 啓史 東工大（非）菊池 雅男 コマツ（非）山本 浩

Shigeyoshi Kawakita*, So Kato**, Shinji Tanaka**, Keiji Kyogoku**,

Masao Kikuchi** and Hiroshi Yamamoto*

*Komatsu Ltd., **Tokyo Institute of Technology

1. 緒言

斜板式油圧ピストンポンプはその出力密度の高さから、油圧ショベル等の建設機械に数多く使用されている。建設機械では、ライフサイクルにおける CO₂排出量の多くを製品使用中の CO₂排出が占めているため、環境を意識して燃費向上への要求が高まっている。そのため斜板式油圧ピストンポンプにおいても効率向上へのニーズが高い。斜板式油圧ピストンポンプはスリッパ/斜板間、ピストン/ボア間、シリングダブロック/バルブプレート間の 3 つの重要な摺動部を持つ。その中でもスリッパ/斜板間は変動高負荷かつ摺動速度が速く、摺動による損失の低減と安定した動作が要求される。スリッパの摺動挙動計測に関する研究はスリッパに設置した変位センサを用いたものや^{1,2)}、斜板に埋め込んだ変位センサから通過するスリッパを計測したものがある^{3,4)}。これらの研究はいずれも数カ所の変位からスリッパの姿勢を推定したものである。しかし、スリッパの摺動面はテープ形状になっているもの等、平面ではないものも多く存在している。またスリッパには摩耗や、油圧や接触による弾性変形も発生しており、その場合も摺動中のスリッパは平面ではない。そのため、スリッパと斜板間の潤滑状態を正確に把握するためには、スリッパ摺動面における油膜の膜厚分布計測が必要となる。しかし斜板式油圧ピストンポンプにおいてスリッパ摺動面の膜厚分布を計測した研究例はほとんどなく、スリッパの潤滑状態に関しては不明な点が多い。

そこで本報では、実働状態を再現できるスリッパ/斜板間油膜計測装置を開発して、LED を光源とした蛍光法によるスリッパの摺動面の膜厚分布計測を試みた。

2. 実験方法

スリッパ/斜板間油膜計測装置の概略図を Fig.1 に示す。主な構成は高圧の作動油をピストンに供給する油圧ポンプ、プレートを回転させるモータ等からなる。スリッパとアッセンブリされたピストン 2 本をシリングダ内の油圧でプレートに押付け、プレートを回転させる。計測用のピストンは押付比 1.03 のものを使用した。プレートは斜板角 0° に対応する回転円板とした。プレートはサファイアガラスでできており、ホルダに設けた窓部よりスリッパ/プレート間の油膜を観察した。油圧配管には油温を計測するための熱電対と供給圧力をモニタする圧力センサを設けた。タンクにはヒータとチラーを備え、任意の油温で試験を可能とした。

本研究の油膜厚さ分布の計測は、蛍光剤を添加した油の蛍光輝度が油膜厚さに応じて変化するという従来の LIF 法の油膜厚さ計測と同じ原理である。スリッパの摺動面全体という広範囲に励起光を照射するために、光源にはレーザではなく高出力の UV-LED を用いた。Figure 2 に撮影光学系の概略図を示す。UV-LED は 365nm を中心波長とするものを使用し、バンドパスフィルタ（中心波長 370nm、半値全幅 40nm）を通して波長を制限した。また拡散板を用いてなるべく均一に照射できるようにした。ダイクロイック

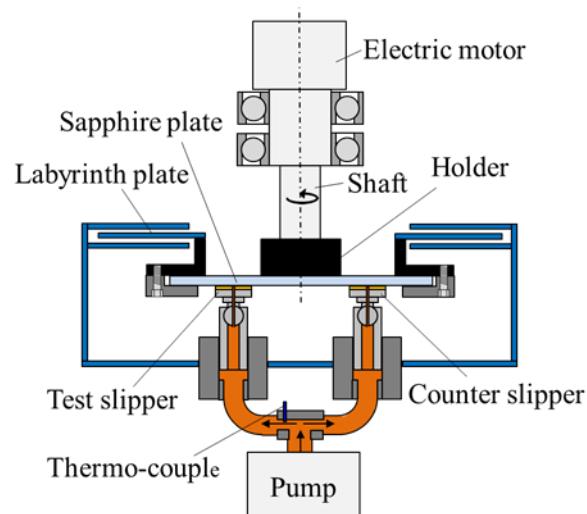


Fig. 1 Schematics of test rig

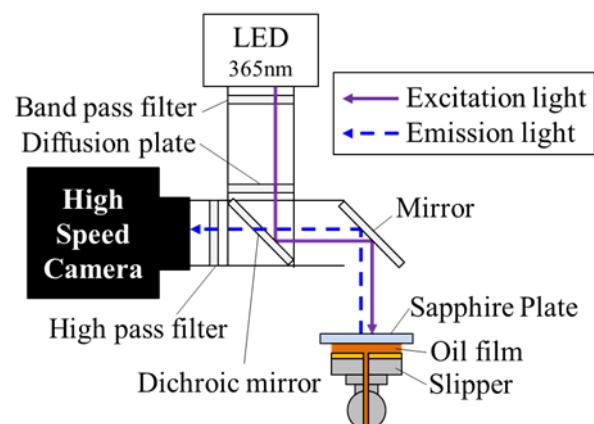


Fig. 2 Schematics of optical system

ミラー (350-380nm $R \geq 95\%$, 412-500nm $T \geq 95\%$) を使用して励起光の照射と高速度 CMOS カメラによる蛍光の撮影を同軸で行った。蛍光剤としてクマリン 1 を 0.0125mol/L の濃度で作動油に溶解させて使用した。カメラには蛍光波長に対応したハイパスフィルタ (カットオフ波長 422nm) を装着した。実験条件を Table. 1 に示す。

3. 油膜厚さの校正方法

本研究では蛍光強度と油膜厚さの関係を求めるために光源補正を実施した。油を塗布したサファイア円板にフィラーゲージを挟んでセラミック定盤をクランプで押し当て均一の油膜を形成した。そこにUV-LEDを照射し、蛍光をカメラで撮影した。得られた画像から各ピクセルの蛍光強度 $I_{ref}(x,y)$ を求め、計測時の蛍光強度 I をピクセルごとに蛍光強度比 I/I_{ref} に変換することで、光源の照射強度のむらの影響を排除した。次に油膜厚さと蛍光強度比の関係を実験的に求めた。計測で使用するピストンと同一の素材で作られた校正用のピストンを用いて、蛍光強度比から油膜厚さへ変換するキャリブレーションデータの取得を行った。校正用ピストンには Fig.3 のように 3 種類の深さの溝をそれぞれ 3 カ所に備える。この校正用ピストンに実験と同じ温度 (30°C) の作動油を供給し、専用の治具を用いてサファイア円板へと押し当てた。溝間の平面部では隙間は 0、各溝部には溝深さ分の油膜が存在していると仮定し、各部位での蛍光を撮影した。蛍光強度を蛍光強度比に変換し、油膜厚さとの関係を求めた。その結果を Fig.4 に示す。3 カ所の溝部での計測結果がほぼ一致していることから、LED の照射強度分布の補正が適切であると考えられる。このグラフの 2 次の近似式を蛍光強度比から膜厚に変換する際に使用した。

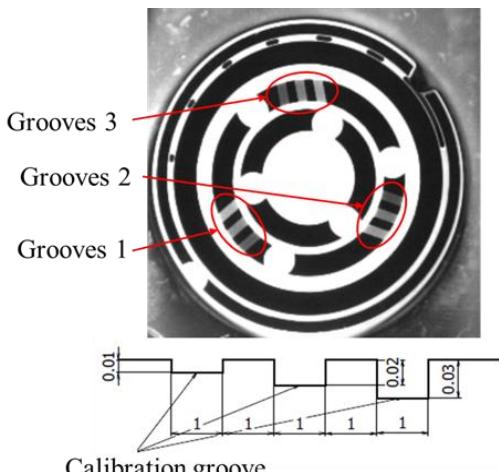


Fig. 3 Slipper for calibration

4. スリッパ摺動面油膜厚さ分布の観察例

摺動中のスリッパの油膜厚さ分布を可視化した結果の一例を Fig.5 に示す (回転数 $N=1000\text{rpm}$, 供給油圧 $P=3.5\text{MPa}$)。油膜厚さはカラー 256 階調で示され、油膜が厚いほど赤く、薄いほど青く表示される。プレートの進入方向よりやや外側で油膜が厚く、この傾向は他の実験条件でも同様であった。これはプレートが進入していく方向でくさび効果による動圧が発生し浮上力を持つが、プレートの回転中心から遠い外縁部では内側と比較して摺動速度が速いために、くさび効果による動圧が高まるためだと考えられる。またパラメータを振った際には、回転数の増加に伴い膜厚が厚くなり、油圧の増加に伴い膜厚が薄くなるという結果を得た。前者はくさび効果による動圧が高まるためであり、後者は油圧による押付力が高まるためだと考えられる。

5. 結言

スリッパの潤滑メカニズム解明のために新たに開発した計測装置により、スリッパの摺動面の油膜を計測し、蛍光法による膜厚分布の可視化が可能であることを示した。

文献

- 1) Iboshi, N., et al. Bulletin of JSME, 26, 219 (1983) 1583-1589.
- 2) Kazama, T., et al. JFPS International Journal of Fluid Power System, 8, 1 (2014) 10-17.
- 3) Hooke, C. J., et al. Institution of Mechanical Engineers, 203, 5, 1989, 343-350.
- 4) Ivantsyn, R., et al. 9th FPNI Ph. D. Symposium on Fluid Power, Florianópolis, SC, Brazil, October 2016,

Table 1 Experimental condition

Oil temperature [°C]	30
Swashplate angle [deg]	0
P.C.D. [mm]	102
Pressure [MPa]	3.5, 6, 12, 18
Rotational speed [rpm]	100,300,1000,2000

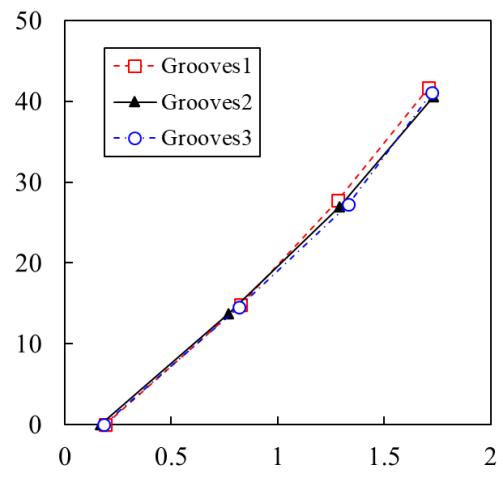


Fig. 4 Results of calibration

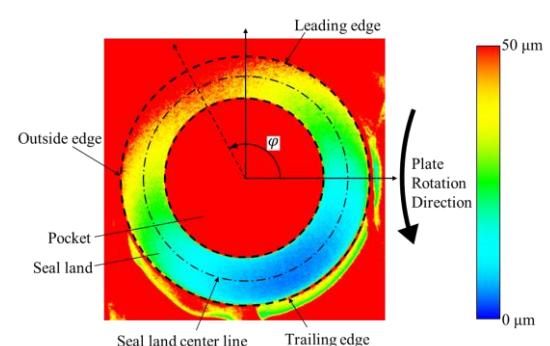


Fig. 5 Oil Film Distribution on slipper