

蛍光法による圧力シールの密封性能の考察

楼 黎明 白井良昌

Investigation of Seal Pumping Rate by Using Fluorescent Method

L. LOU Y. SHIRAI

The seal pumping rate measurement is established by using the fluorescent substance contained in mineral oil. In this paper, the principle of the measurement method and measuring system are explained in detail. Furthermore, the selection of collecting liquid and the agitation method of oil in collecting liquid, the optimization of excitation wavelength, and the calibration method are also explained. Finally the relation between seal pumping rate and pressure and the relation between seal pumping rate and lip wear width, which are difficult to measure by conventional method, are investigated using new measuring method. The results show that helix lip seal has large pumping rate compared with plain lip seal under all test conditions. Therefore, it can be said that helix lip seal is very useful for the usage where pressure is existed.

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. はじめに 2. 測定方法 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 測定装置 2.2 回収液の選定 2.3 回収液の攪拌 2.4 励起光波長の設定 2.5 検量線の作成 3. 測定条件 | <ol style="list-style-type: none"> 4. 結果および考察 <ol style="list-style-type: none"> 4.1 圧力によるポンプ量の変化 4.2 摩耗の進展によるポンプ量の変化 5. おわりに |
|---|--|

1. はじめに

オイルシール(以下シールと称す)は各種機械に使用されている潤滑油の外部への漏れを防ぐために広く使用されている。近年、技術の進歩により機械の高性能化や長寿命化などが顕著に進み、機械要素の1つであるシールに対する性能向上の要求も年々厳しくなっている。そこで、筆者らは特にシールの動的密封効果(以下ポンプ作用と称す)を上げるための研究に精力的に取り組んできた¹⁻⁶⁾。本報では、圧力のかかる場所で使用されるシール(以下圧力シールと称す)の密封性能の向上を目指して、油中に含まれる蛍光物質を利用し、従来測定が困難とされた圧力シールのポンプ作用測定法を確立して、現在圧力シールの大半を占めるプレーンシールの代わりにヘリックスシールの使用可否ならびにそのメリットの有無について検討することを目的としている。

なお、ポンプ作用とはシールが空気側に漏れて

くる油を軸の回転により油側に送り返す作用のことをいう。一般的に単位時間当たり送り返せる最大油量をポンプ量と呼ぶ。ポンプ量の測定には従来よく重量法が用いられていた。重量法とは回収した油の重量を測ることにより、油量に換算する方法のことである。しかし、その重量法では、油を手動で回収する必要があるために、大気圧でしか測定できず、シールに圧力がかけられないため圧力シールのポンプ量は測定できなかった。

2. 測定方法

鉱油にはクリセン、フローレン、ピレンなどの芳香族炭化水素が含まれている⁷⁾。それらの芳香族炭化水素が紫外線や可視光の照射により蛍光を発する。油量が多いほど発する蛍光の強度が高くなる(図1)。本研究では、その特性を利用して油の定量測定を図ることとした。

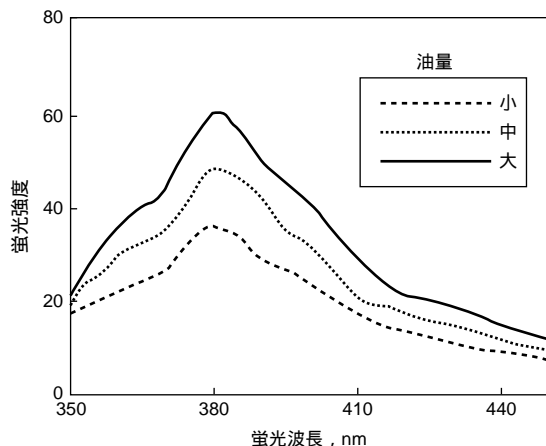


図1 蛍光スペクトル
Fluorescent spectrum

2.1 測定装置

図2に測定装置の原理図を示す．測定装置には油槽とその油槽から漏れ出す油を回収するための回収液槽を設けている．油槽には実際に使用されている潤滑油を，回収液槽には蛍光物質の入っていない液体をそれぞれ入れてある．シールのリップと軸との間から流れ出す油は回収液槽に流れ込むように設計しており，回収液槽に流れ込む油は自動的に回収液と均一に混ざるように工夫している．回収液槽内の油の濃度を検出するために，蛍光測定器を使用した．サンプルの採集時間を省くために，回収液槽から自動的にサンプル液体を吸い取り蛍光測定器に送り込むポンプを備えている．蛍光濃度を測定終了後，サンプル液体は再びポンプで自動的に回収液槽に送り返される．蛍光測定法の測定精度は多くの要因に左右される．次に，回収液の選定や回収液の攪拌方法，励起光波長の設定および検量線の測定について紹介する．

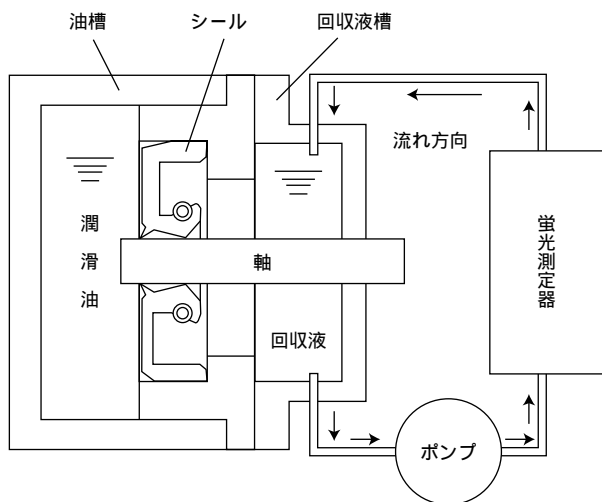


図2 測定装置の原理図
Principle of measuring system

2.2 回収液の選定

回収液は油を回収でき，しかも，シールゴムに悪影響を及ぼしてはならないという制限条件があるために，その選定に当たり，下記のことを考慮に入れた．

- ゴムの性能に悪影響が小さい
- 油との相溶性がよい
- 蛍光物質を含有しない
- 洗浄性がよい
- 安価

本報では合成油を選定使用した．

2.3 回収液の攪拌

回収液槽に流れ込む油の量を正しく検出するために，回収液中の油を均一化する必要がある．本研究では，回収液の粘性と軸の回転を利用して油の均一化を図った．すなわち軸の回転により，粘性をもつ回収液が絶えず軸回りに流動する．それより，油槽から流れ出す油を回収液中に均一に溶けるようになる．粘性の持たない回収液を使用する場合には別途攪拌装置を取り付ける必要がある．

2.4 励起光波長の設定

油を含んだ回収液の蛍光スペクトルを計測する際に，励起光の波長選定は非常に重要である．励起光の波長により蛍光スペクトルは大きく変化する．本研究では，蛍光強度が最も強くなる時の励起光波長(345nm)を使用した．

2.5 検量線の作成

回収液槽に流れ込む油の定量測定を行うために，回収液中の蛍光強度と油量との関係を表す検量線をあらかじめ作成しておく必要がある．検量線を作成することにより，測定可能な油の濃度(すなわち，油量)範囲を把握できる．本研究では，回収液槽に既知の油量を少しずつ注入することにより図3に示す検量線を作成した．そして，本研究の測定条件下において，検出可能な最小油濃度は1 ppmであることが分かった．

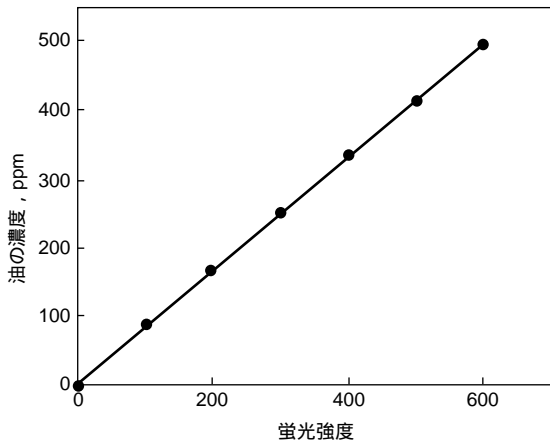


図3 検量線
Calibration curve

3. 測定条件

主な測定条件を表1に示す。

表1 測定条件
Measurement conditions

| | | | |
|--------------------|----------------------|-----------|---------------------------|
| シール寸法 (外形×内径×幅) | 30×20×7 | 加圧方法 | 空気圧 |
| 種類 | ヘリックスシール | 圧力負荷 | 0, 49, 98, 196, 392kPa |
| シール材質 | FKM | シールリップ摩耗幅 | 0, 0.3, 0.7mm |
| 潤滑油 | エンジンオイル 7.5W-30SE | 摩耗方法 | 強制摩耗 |
| 温度 | 室温 | 励起光波長 | 345nm |
| 回収液 | 合成油 | 組付偏心 | 0.05mm以下 |
| 回収液量 | 400ml | 軸偏心 | 0.05mm以下 |
| 測定時間 | 3分間 | 回転数 | 450~3000min ⁻¹ |

4. 結果および考察

4.1 圧力によるポンプ量の変化

図4, 5に, 新品時のプレーンシールとヘリックスシールの測定結果を示す。図4から, プレーンシールの場合, ポンプ量は圧力の増加に従い著しく減少することが分かる。そして, 圧力が98kPaを超えると, ポンプ量はほぼゼロになっている。それに対して, ヘリックスシールの場合には図5から, 圧力によるポンプ量の大きな変化は認められなかった。これはヘリックスシールの場合, 圧力をかけても, リブによるポンプ効果は低下しないことを意味する。そして, ポンプ量そのものはヘリックスシールの方がプレーンシールに比べて200倍以上も大きいことが分かる。

図6, 7に摩耗幅0.3mm時の測定結果を示す。図6からプレーンシールの場合, 摩耗幅0.3mmの時に, ポンプ量はすでに非常に小さいのに対して,

図7からヘリックスシールの場合には大きなポンプ量を有している。しかも, プレーンシールの場合には圧力の上昇によりポンプ量が低下するのに対して, ヘリックスシールの場合には逆に増えている。

図8, 9に摩耗幅0.7mm時の測定結果を示す。

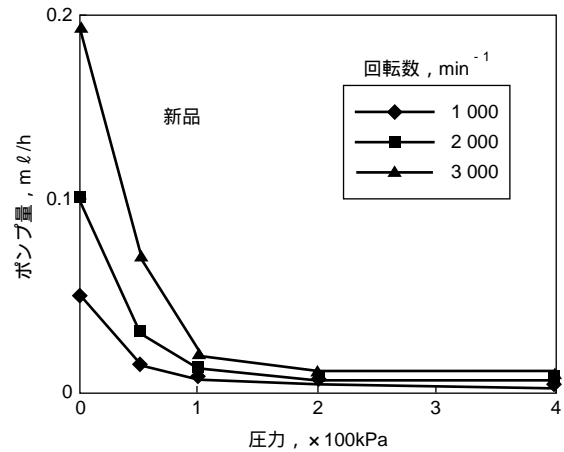


図4 ポンプ量の変化(プレーンシール)
Pumping rate vs. pressure

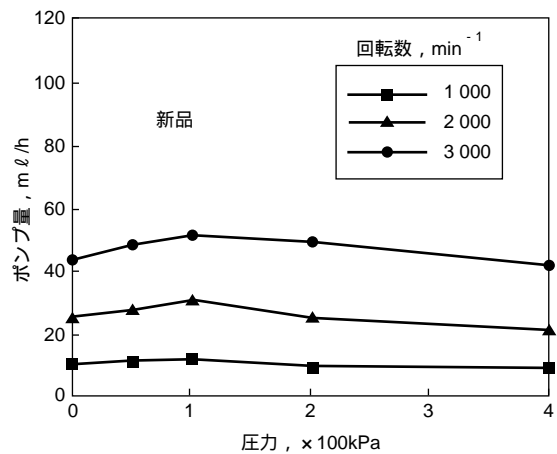


図5 ポンプ量の変化(ヘリックスシール)
Pumping rate vs. pressure

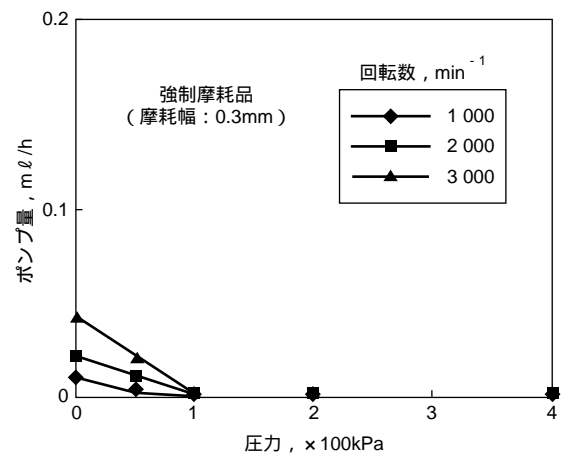


図6 ポンプ量の変化(プレーンシール)
Pumping rate vs. pressure

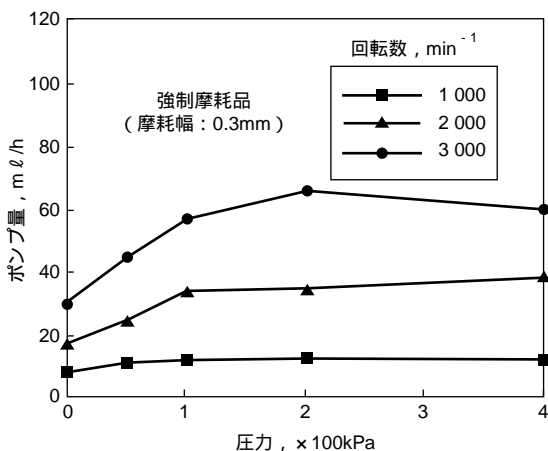


図7 ポンプ量の変化(ヘリックスシール)
Pumping rate vs. pressure

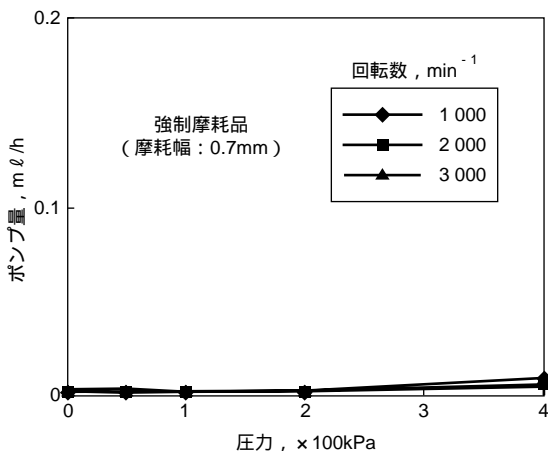


図8 ポンプ量の変化(プレーンシール)
Pumping rate vs. pressure

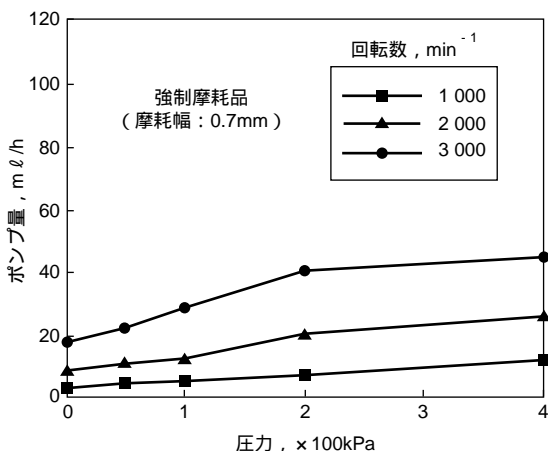


図9 ポンプ量の変化(ヘリックスシール)
Pumping rate vs. pressure

摩耗幅0.7mmの時に、プレーンシールの場合にはポンプ量がほぼゼロになっているのに対して、ヘリックスシールの場合には比較的大きなポンプ量を有している。この場合でも、ヘリックスシールのポンプ量は圧力の上昇により増加している。

なぜ、圧力によるポンプ量の変化がプレーンシールとヘリックスシールが全く異なるのであろうか。その原因は、シールに圧力をかけると、ポンプ量に次の2つの相反する働きが作用するからと考えられる。

圧力をかけると、油側から油を漏らそうとする圧力勾配が増える。また、リップの軸に対する締め付け力が増えることにより、リップと軸の間に油が通過しにくくなり、これがポンプ量を低下させる方向に働く。

一方、圧力をかけると、リップの軸に対する締め付け力が増えて、リップに設けたリブの軸に対する接触部分が大きくなる。それより、リブのポンプ効果が増加し、シールのポンプ量を増加させる方向に働く。

プレーンシールの場合にはリブが設けていないので、前記の働きでポンプ量が低下する。しかし、ヘリックスシールの場合には、相反する2つの働きが同時に作用するので、シールとしてのポンプ量の増加あるいは減少はこの2つの働きのどちらが勝るかにより決まる。本報の実験条件下において、リブのポンプ効果が勝っているものと思われる。

そして、ヘリックスシールのポンプ量がプレーンシールに比べて非常に大きくなる理由は次のように説明できる。プレーンシールの場合にはしゅう動部の表面粗さによりポンプ量が発生するが、その表面粗さが一般的に非常に小さいために、そのポンプ効果も非常に小さくなる。表面粗さが大きくなると、静的密封効果が低下し、静止時あるいは低速時の油漏れを引き起こす可能性が大きくなるから、しゅう動部の表面粗さを大きくすることができない。一方、ヘリックスシールのポンプ作用はしゅう動部の表面粗さによるものとリップに設けたリブによるものから成り立っている。通常、リブの方が表面粗さに比べて非常に大きいため、そのポンプ作用も圧倒的に大きくなる。

図10に圧力によるリブ接触幅の変化の測定事例を示す。図10から、リブ接触幅が圧力の増加と共に増加することが分かる。ここで、リブ接触幅はシールを中空の透明軸に取り付け、顕微鏡で透明軸の中からしゅう動部を観察することにより測定した。図11にシールしゅう動部の観察事例を示す。

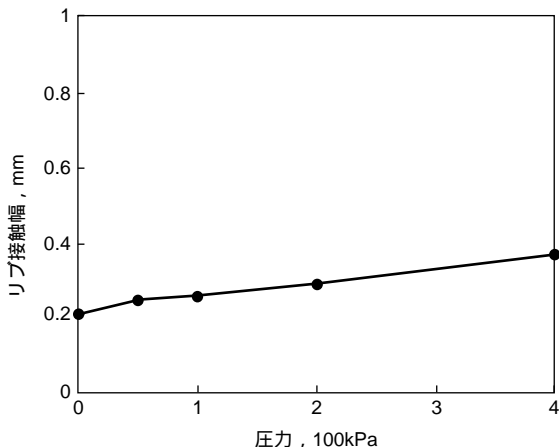


図10 リップ接触幅の変化
Lip wear width vs. pressure

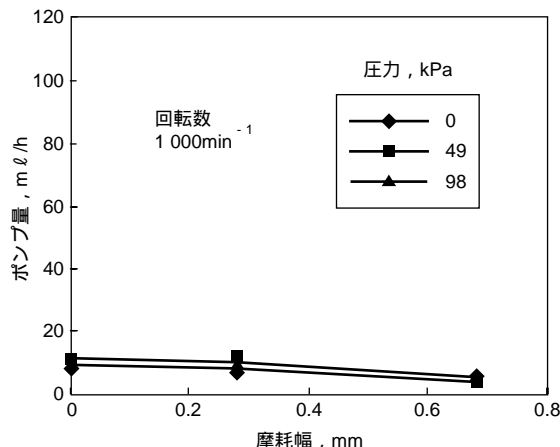


図13 ポンプ量の変化(ヘリックスシール)
Pumping rate vs. lip wear width

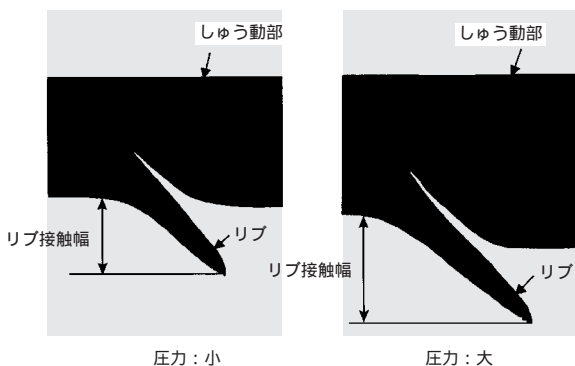


図11 しゅう動部の接触状態
Contact situation of lip

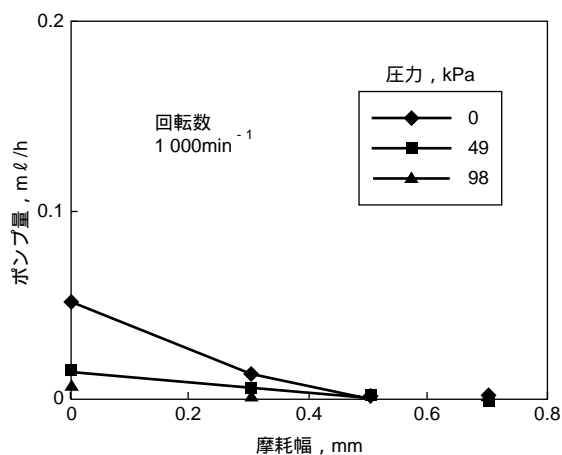


図12 ポンプ量の変化(プレーンシール)
Pumping rate vs. lip wear width

4.2 摩耗の進展によるポンプ量の変化

図12, 13に, 回転数が $1\,000\text{min}^{-1}$ の時の摩耗幅によるポンプ量の変化を示す. ここで, 摩耗幅は強制摩耗により得たものである. 図12はプレーンシールの場合であり, 図13はヘリックスシールの場合である. 図12と図13から分かるように, プレーンシールとヘリックスシールの双方が摩耗の進展によりポンプ量が低下している. しかし, 摩耗によるポンプ量の低下率はプレーンシールの方が大きい. ヘリックスシールの場合は摩耗の進展によりポンプ量は低下するものの, その低下率は比較的少ない.

図14, 15に, 回転数が $3\,000\text{min}^{-1}$ の時の摩耗によるポンプ量の変化を示す. $1\,000\text{min}^{-1}$ の場合と同様に, ヘリックスシールの場合は摩耗の進展によるポンプ量の低下率はプレーンシールに比べて非常に低く, ポンプ量の値もプレーンシールに比べて圧倒的に大きい. プレーンシールの場合は摩耗幅 0.5mm 以後, ポンプ量はほぼゼロになっているのに対して, ヘリックスシールのポンプ量は 20mℓ/h 以上となっている.

以上の結果から, 圧力シールの場合, ヘリックスシールのポンプ効果は非常に大きく, それはシールが摩耗した場合においても同様であった. したがって, ポンプ効果の観点から言えば, プレーンシールの代わりにヘリックスシールを使用することにより, シールの密封性能を大きく向上できるものと考えられる. それにより, 圧力シールの寿命も大きく延ばせる可能性があるものと思われる.

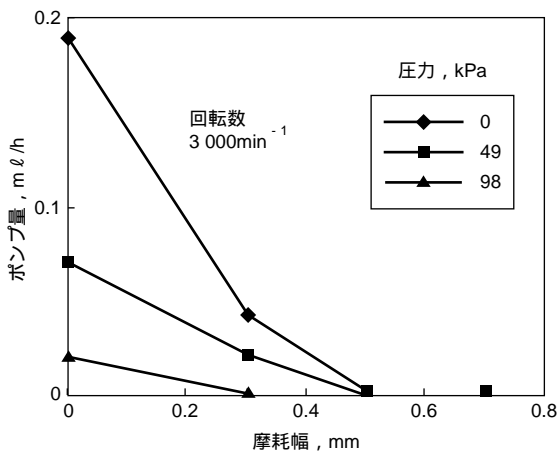


図14 ポンプ量の変化(プレーンシール)
Pumping rate vs. lip wear width

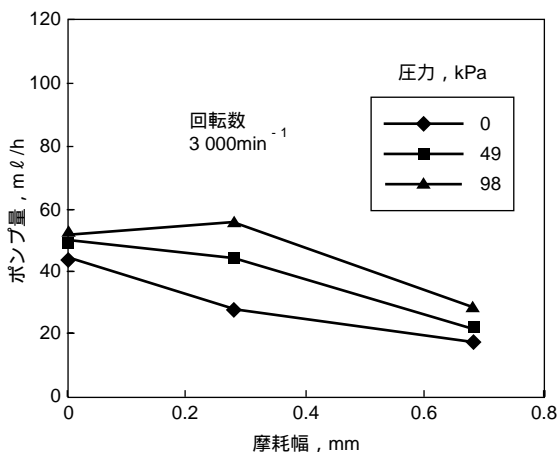


図15 ポンプ量の変化(ヘリックスシール)
Pumping rate vs. lip wear width

5. おわりに

油中に含まる蛍光物質を利用した圧力シールのポンプ量定量測定法を確立できた。その蛍光測定法を利用して従来考察が困難とされた圧力によるポンプ量の変化および圧力がかかる条件下での摩耗によるポンプ量の変化を考察した結果、ヘリックスシールのポンプ量はプレーンシールに比べて非常に大きく、摩耗によるポンプ量の低下率も比較的少ないことが分かった。したがって、ヘリックスシールを圧力シールとして使用するメリットが大きいものと思われる。

参考文献

- 1) Lou Liming, K. Yamamoto, K. Ikeuchi : ASME Journal of Tribology, vol. 120, no. 7 (1998) 476.
- 2) 楼 黎明, 満丸道敏 : トライボロジー会議予稿集, (東京1996) 118.
- 3) 楼 黎明, 満丸道敏, 池内 健 : トライボロジー会議予稿集, (東京1997) 197.
- 4) 楼 黎明, 満丸道敏, 池内 健 : トライボロジー会議予稿集, (大阪1997) 198.
- 5) 楼 黎明, 満丸道敏, 岡田利喜生, 田村委三 : トライボロジー会議予稿集, (東京1998) 462.
- 6) 楼 黎明, 山本和俊, 池内 健 : トライボロジー会議予稿集, (東京1999) 175.
- 7) Perutz : Industrie der Mineralöl(1886)68.

筆者



楼 黎明*
L. LOU



白井良昌**
Y. SHIRAI

* 総合技術研究所 電子システム研究所
電子システム技術開発部
工学博士

** 総合技術研究所 電子システム研究所
電子システム技術開発部