

# シリンダ用ピストンシールシステムの 鳴きトラブルの原因と解決方法

## 1. はじめに

近年、油圧機器への要求として、油圧システムの効率化に伴う高圧化、高温化、小型・軽量化など、多様な使用条件への対応がある。そのため油圧シリンダをはじめ、油圧シリンダ用パッキンに求められる性能も多種多様となり、各種パッキンの性能向上のため改良が行われている。

当社においても、建設機械市場向けに油圧ショベル用シリンダのメンテナンスキットとして、高圧シリンダ用シールシステムを開発している。この開発段階の実機評価において、ある特定の条件でシリンダに鳴き(スティックスリップ現象)が発生することがわかった。シリンダの鳴きとは、シリンダ動作時に往復動パッキンの接触部にてスティックスリップ現象が生じ、異音や振動などを発生させることを言い、油圧シリンダにおける問題として認識されている。

今回の鳴きトラブルでは、パッキンと相手面との接触部に油膜成形不良が生じたことが要因と判断し、パッキンの設計により油膜の吸い込み特性を向上させ、改善した事例について紹介する。

## 2. 油圧シリンダ用パッキンの構成例

油圧ショベル用シリンダのような高圧用シリンダには、一般的にFigure1で示すような複数のパッキンと部品が使用されている。<sup>1)</sup>

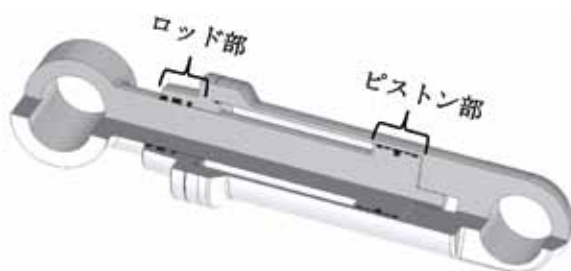


Figure1 油圧シリンダの構成

### 2-1) ロッド部のシールシステム構造

ロッド部に使用されるパッキンは、シリンダの性能として重要視される外部漏れ防止に対し、重要な役割を担っている。ロッド部のシールシステム構造をFigure2に、構成部品の概要をTable1に示す。

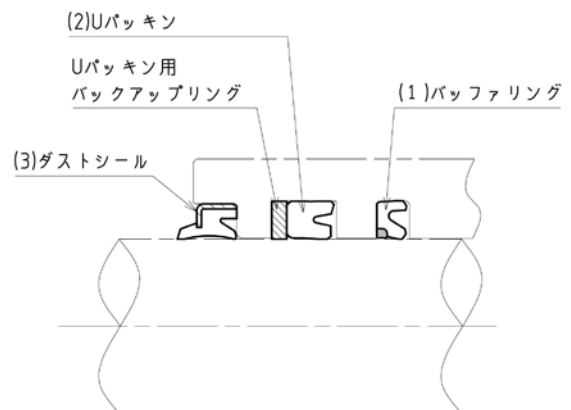

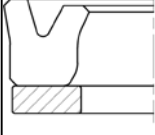



Figure2 ロッド部のシールシステム構成

Table1 ロッド部のシールシステム構成部品概要

(1) バッファリング	 初期の高圧を受けて、Uパッキンへの負荷軽減用のパッキン。高強度樹脂材のバックアップリングを併用させることで耐圧性を確保。
(2) Uパッキン	 外部への油漏れ防止のためのメインシール。高強度樹脂材のバックアップリングを併用させることで耐圧性を確保。
(3) ダストシール	 外部からの異物、土砂などの侵入防止用のパッキン。Uパッキンからの微小な漏れを防止する機能も備えている。

## 2-2)ピストン部のシールシステム構成

ピストン部に使用されるパッキンは、油圧を保持し、ピストンに適正な推力と荷重保持能力を与え、シリンダを作動させる役割を担っている。<sup>2)</sup> ピストン部のシールシステム構造をFigure3に、構成部品の概要をTable2に示す。

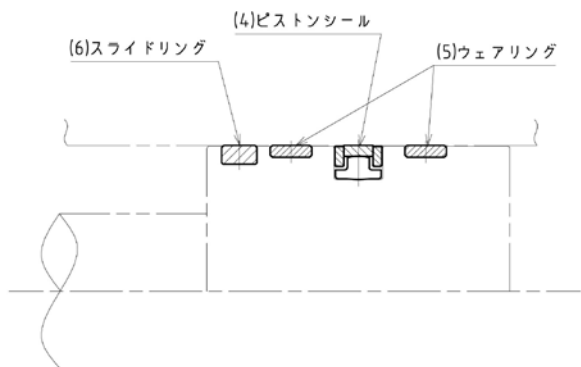
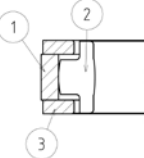




Figure3 ピストン部のシールシステム構成

Table2 ピストン部のシールシステム構成部品概要

(4)ピストンシール	
	シリンダ動作時の圧力を保持させるためのメインシール。以下の複数の部品から構成されている。 ①：摺動特性向上用の摺動リング ②：シール性確保のためのゴム製バックリング ③：耐圧性を補うためのバックアップリング
(5)ウェアリング	
	シリンダ動作時のピストンの軸受機能を果たす。主に材料は布入りフェノール樹脂が使用されている。
(6)スライドリング	
	油中に含まれる異物などがピストンシールへ侵入するのを防止する。主に材料はPTFE（四ふっ化エチレン樹脂）が使用されている。

## 3. 鳴き（スティックスリップ現象）

スティックスリップは、パッキンと相手面との接触する面に働く静止摩擦力と動摩擦力が深く関与しており、静止摩擦力（起動抵抗）が作用するスティック（固着）状態と、動摩擦力（摺動抵抗）が作用するスリップ（滑り）状態が、接触面に瞬間的に、かつ周期的に発生する現象である。<sup>2)3)</sup>

この現象は、油圧シリンダの使用条件によって、主に低速域で生じ、発音現象・振動発生などの問題になるケースがある。この発音現象が、鳴きと呼ばれている。<sup>2)4)</sup>

## 4. 鳴き評価

当社で開発した高圧シリンダ用シールシステムを、実機の油圧ショベルのシリンダに搭載し、シリンダ動作テストを実施した。その結果、低速作動、及び油温が高い場合においてシリンダに鳴き（スティックスリップ現象）が発生した。開発段階での社内評価では、鳴きが発生しないことを確認していたことから、実機での動作状況を再現出来ておらず、鳴き評価の難しさを再認識した。

### 4-1) 社内評価

当社で高圧シリンダ用シールシステムの、開発段階に実施した社内評価（スティックスリップ試験）の内容を以下に示す。試験の結果、鳴きは発生せず、スティックスリップ現象は確認出来なかった。

スティックスリップ現象においては、定量的な評価が難しく、使用状況、環境を的確に再現して、パッキンの特性を十分に把握した上で、試験の計画、実施が必要であることは認識していた。<sup>4)</sup> しかし、社内評価では、シリンダの横荷重、及び油温が高いことによる油の粘度の低下など、実運用を再現出来ていなかった。

Table3 スティックスリップ試験条件

項目	試験条件
油温	常温（成り行き温度、約40℃）
速度	0.01m/sec
重り	25kg
潤滑油	油圧作動油（動粘度（40℃）：46.0mm <sup>2</sup> /sec）
確認方法	シリンダが上下に移動する際の加速度計の波形から判断する

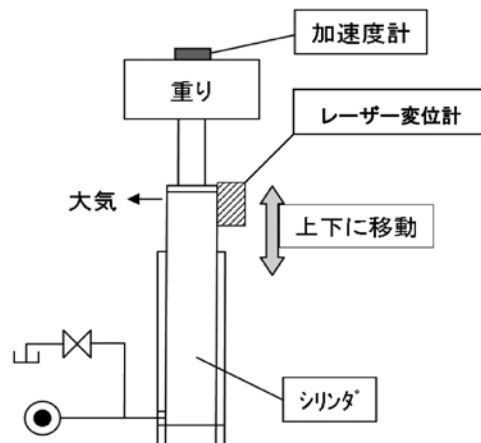


Figure 4 スティックスリップ試験装置

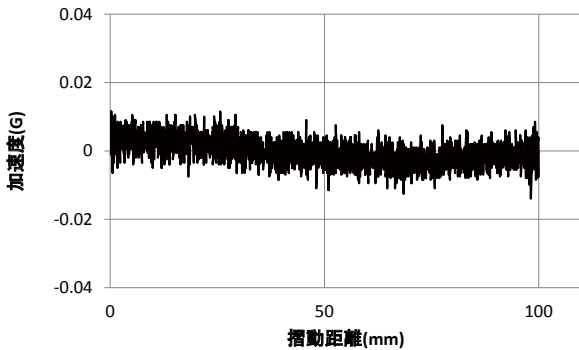


Figure5 スティックスリップ試験結果

## 5. パッキンのスティックスリップと油膜の関係

パッキンのスティックスリップ現象は、接触面の潤滑不良による摩擦抵抗の影響が関係しており、接触面の固着と、滑りの周期的な繰り返しにより発生するものである。このときパッキンは、固着状態では自身が変形して留まろうとし、外力などによって強制的に滑らされると元の形状に戻ろうとする。パッキンのスティックスリップ現象は、温度、速度、圧力、表面粗さ、作動油の粘度、油性などの因子の影響を受けるが、定量的に究明されていない。しかし、定性的には、高压・低速作動のとき、潤滑剤が不十分なとき、作動油の粘度が低く潤滑幕の破断が生じやすいときなどがある。<sup>5)</sup>

パッキンでスティックスリップ現象を改善させる対策は、摩擦抵抗全体を小さくすることがある。パッキンの摩擦抵抗を小さくする手段としては、相手面との摺動面に介在している油膜を適正に確保することによる改善がある。<sup>2)</sup>

### 5-1) パッキンの油膜形成

一般的な往復動用パッキンが摺動面に適正な油膜を維持するには、パッキンの流体入口側、及び大気側の面圧分布の圧力勾配が大きく関係している。<sup>6)</sup> 圧力勾配の大小で、油膜を吸い込むか、または油膜を掻き取るかが決まり、油膜厚さとシール性に影響を与える。

当社では、高压用ロッドシール(Uパッキン)開発時にヒール側の形状とヒール部の面圧分布の圧力勾配にも着目し、これらを最適値に設定することで吸い込み特性の良いシールが開発可能であることが検証出来た。<sup>1)</sup>

### 5-2) ピストンシールシステムへの油膜形成手段の展開

鳴きが発生したシリンダのロッドシールシステムには、前述の当社が開発したUパッキンを採用しており、適切な油膜が維持されていることから、ピストンシールシステムにて発生して

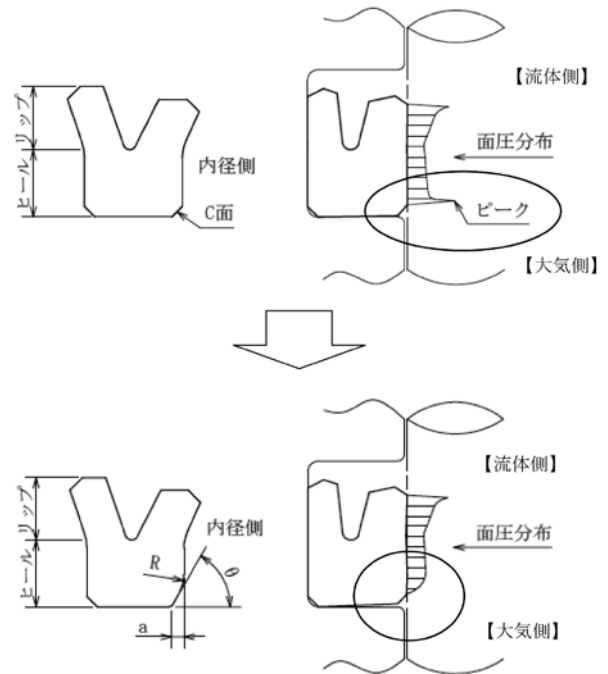


Figure6 開発品における油膜吸い込み技術

いると考えた。

実機の鳴き評価の結果から、鳴きは油温が高いことにより油の粘度が低い状態で、かつ、ピストンシールシステムに横荷重が負荷されている場合に発生していた。横荷重が負荷されると、軸受けのウェアリングが相手面に強く押し付けられ、接触面にピーク面圧が発生し、圧力分布の圧力勾配も大きくなると推定する。以上より、鳴きはウェアリングが油膜を掻き取り、摩擦抵抗が高くなったことで発生したと推定される。

本事象を検証するため、FEAによりウェアリングの面圧分布を確認した結果、両端部のC面取り部にピーク面圧、及び圧力勾配が大きいことが確認された。

この対策として、開発品のUパッキンで確認出来ている油膜の掻き取り、及び油膜の吸い込み特性を応用することにした。分析結果とその対策品検討結果をTable4に示す。

ウェアリングの両端部の形状は、Uパッキンの吸い込み特性を応用し、摺動面に適切な油膜を形成させるため、R状とした。

このウェアリングにて、実機での鳴き評価をした結果、鳴きが発生しなかった。この結果から、適切に油膜が維持出来ていると判断する。

Table4 ウェアリングの分析結果、及び対策品検証結果

項目	分析結果	対策品検討結果
端部形状	C面取り(エッジ) 	R形状 
摺動面の面圧分布	端部のC面取り部に面圧の局所的なピークが発生している。 	端部をR状にすることで、圧力勾配を小さくする。 
材料特性	製品材質は、ガラス繊維入りナイロンである。代表的な材料であるPTFEや布入りフェノール樹脂より安価で、高強度。摩擦特性は、PTFEと比較し劣るため摺動面にローレット加工が施してある製品もある。 <sup>2)</sup>	材料は、コスト上の問題から変更しない。

## 6. 実機シリンダでの鳴き評価

前項で述べた対策前と対策後において、実機の油圧シヨベルで鳴き評価を実施し、鳴きの音を周波数で可視化して確認した図をFigure7に示す。対策後の鳴き評価の結果、鳴きの波形が認められなかったことを確認した。

## 7. おわりに

油圧シリンダ用パッキンにおいて、適切な油膜を維持する

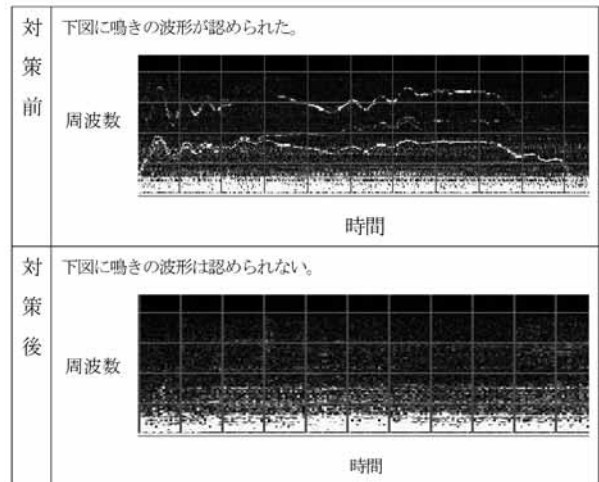


Figure7 シリンダの鳴き評価結果

ことで、鳴きの改善につながる事が検証出来た。適切な油膜を維持するには、油膜の掻き取り、及び油膜の吸い込み特性が、必要不可欠な要素である。この特性を把握することで、他の製品での鳴き改善や摩擦抵抗低減に展開できる技術となる。ただし、使用条件や製品別の適切な油膜厚さなど、数値的な把握にまでは至っておらず、いくつかの課題があり、今後の製品開発で検証していく必要がある。

## 8. 参考文献

- 1) 山下純一, バルカー技術誌, No.30, 3-8, (2016).
- 2) 安藤忠, 油空圧技術, 2003年5月号, 28-33.
- 3) 中野健, 日本ゴム協会誌, 第80巻, 第4号, 134-139, (2007).
- 4) 高牟禮辰雄, 辻和明, 村松晃, 吉田勉, 油空圧技術, 2003年5月号, 34-37.
- 5) 赤井英夫, 油空圧技術, 2003年5月号, 13-20.
- 6) 兼田禎宏, 日本ゴム協会誌, 第72巻, 第4号, 194-201, (1999).



高橋 謙一  
研究開発本部 開発部