

高圧油圧用シールシステム

1. はじめに

高圧で使用する油圧シリンダとして代表的なものとしては、油圧ショベルの油圧シリンダがある。建設機械の多くを油圧ショベルが占めており複雑な作業が可能であることから、様々な工事に使用され、災害による復興作業にもおおいに貢献している。油圧ショベルは近年、地球温暖化防止、環境への負荷低減への活動が行われており、¹⁾ 省エネルギー化、クリーン化が進みシステムの効率化、機器類の小型化などによる軽量化が進められてきている。油圧ショベルには、掘削作業を行うための油圧シリンダが使用され、この油圧シリンダのシールは、様々なエラストマー製品が使用されており重要な役割を果たしている。油圧シリンダは油圧ショベルの改良とともに改良され高圧化に伴う温度上昇等で使用条件が過酷になってきており、シールには、より耐圧性、耐摩耗性、耐熱性の向上が必要となってきている。²⁾ また、環境への負荷低減としてシリンダからの油の外部漏れを抑制するため密封性の向上も必要となる。

本報では、この度、当社が開発した高圧領域用のシール技術、及び製品の紹介をする。

2. 油圧シリンダ用シールの構成例

油圧ショベルの油圧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シールと部品が使用されている。

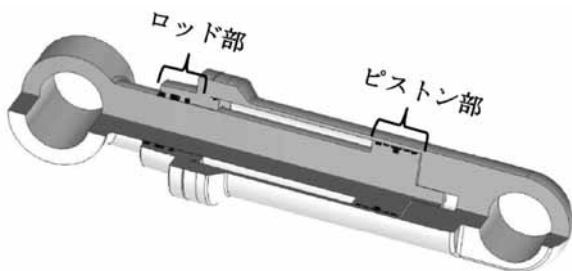


Figure1 油圧シリンダの構成

2-1)ピストン部のシールシステム構成

ピストン部はFigure2で示す構造とシールで構成されている。

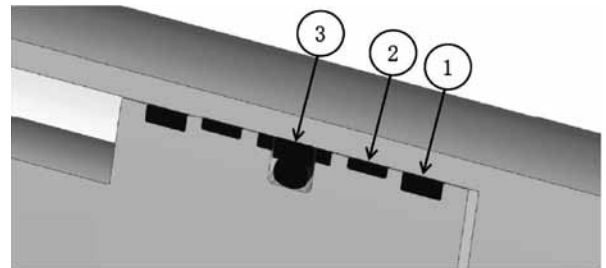


Figure2 ピストン部のシールシステム構成

①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部に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。

②ウェアリング

シリンダ作動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。

③ピストンシール

シリンダを作動させるためのメインのシールであり、摺動リング、バックリング、バックアップリングの複数の部品から構成されている。

2-2)ロッド部のシールシステム構成

ロッド部はFigure3で示す構造とシールで構成されている。

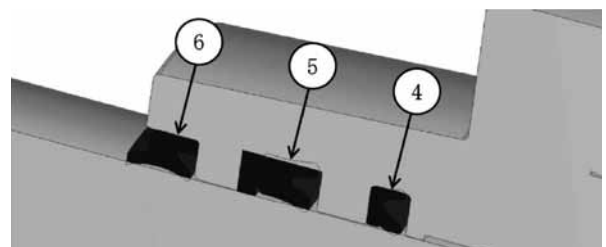


Figure3 ロッド部のシールシステム構成

④バッファリング

初期の高圧を受けることでメインシールであるロッドシールへの負荷を抑制するためのシールでありバックアップリングが併用される。

⑤ロッドシール(Uパッキン)

油を密封するためのメインのシールであり、油をシリンダの外部に漏れさせないための、重要なシールでありバックアップリングが併用される。

⑥ダストシール

外環に金属を使用し、ハウジングに圧入する構造を採用しており、外部からの異物、土砂などをシリンダの内部に侵入させないためのシールであり、ロッドシールからの微小な漏れを防止する機能も同時に果たす。

この様に油圧ショベルの油圧シリンダのような高圧用シリンダには多種の製品が使用されており、当社では新たに高圧シリンダ用のシールとしてラインアップしている。次章から油の外部漏れに対して重要なシールであるロッドシール(Uパッキン)に関する技術について述べる。

3. ロッドシール (Uパッキン) の技術開発

シリンダが作動する際に、シールと相手面の間に油膜が発生する。この油膜は、油の漏れに密接に関係している。ロッドシール(Uパッキン)からの油の漏れはFigure4のシリンダの引き工程の際に油膜がシリンダに戻せないために起こるとされている。シールが油膜をかきとることでシリンダ作動の繰り返しによって油膜をシリンダに戻しきれず外部漏れになると考えられる。一般的にシールの密封性には吸い込み/かき出しの特性が密接に関係しており吸い込み特性が良いものが密封性が良好なシールとされている。³⁾

このロッドシールの油膜の吸い込み特性はFigure5のリップの形状や相手面へ接触する応力勾配の大ききで決まり、ヒール側よりリップ側の応力勾配が大きいことが吸い込み特性が良いとされる。³⁾

このように、密封性はシールのリップとその接触状態が密接に関係しているとされているが、当社が開発したシールは

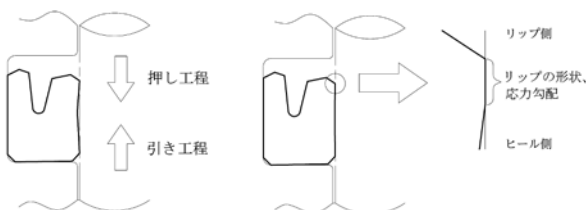


Figure4 シリンダの作動

Figure5 リップの応力勾配

吸い込み特性はリップの形状ではなくヒールの内径側の形状に関係するという仮説をたて検証を進めてきた。ヒール形状が吸い込み特性に影響を与えるという仮説に至った経緯を述べていく。初期評価として当社の標準的なUパッキン(UHR)の高圧シリンダへの適合性の評価をFigure6で実施したところ、外部漏れが多く発生し適合は困難という結果となった。

項目	条件
試験圧力	押し工程50MPa、引き工程0.6MPa
試験速度	押し工程約116mm/s、引き工程：142mm/s
ストローク	440mm
支持姿勢	水平
試験距離	30km
試料	UHRとダストシール(DHS)を装着し評価

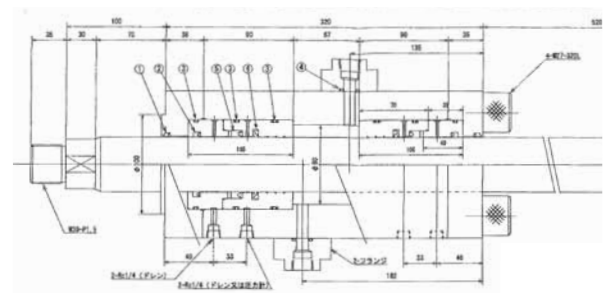


Figure6 標準的なUパッキンの評価

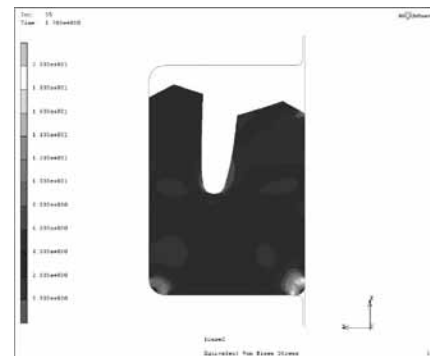


Figure7 FEM解析

当社の標準的なUパッキンのヒール形状はFigure7の形状をしており内径側のヒール形状がC面取りである。この形状の場合、FEM解析(有限要素法解析) Figure7の結果から面圧分布がFigure8の分布となる。

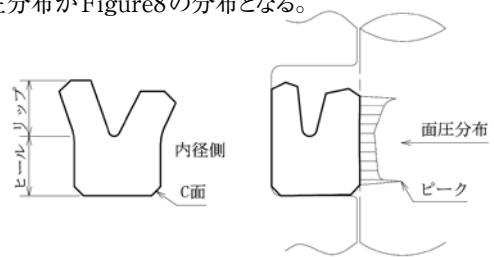


Figure8 標準Uパッキンのヒール形状、面圧分布

この面圧分布からヒールのC面取り部に面圧のピークが発生していることがわかる。当社は密封性に影響するのは、これまでの技術及び経験からリップカット時のカット角度も密封性に影響すると考えられていたこともあり、密封性を確認するためリップの角度とFigure8の内径ヒールのC面取り部の面圧のピークに着目しヒールの形状も複数にてTable1に示す条件下で評価した。

Table1 形状の違いによる密封性の評価

項目	条件
試験圧力	14MPa
シリンダ	140H-8D
試験速度	300mm/s
ストローク	300mm
支持姿勢	水平
試験距離	1,000km
試料	ダストシールは装着せずUパッキンのみ装着し評価

複数の形状で評価した中でFigure9に示す形状が、漏れ量が最も少ない結果が現れた。この結果から、リップカット角度よりも内径部のヒールの形状が吸い込み特性に影響を与えていることが実証された。両者の漏れ量をFigure10に示す。両者では漏れ量の差が明確に出ている。

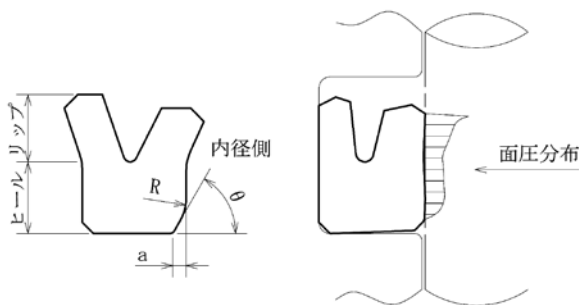


Figure9 開発品のヒール形状、面圧分布

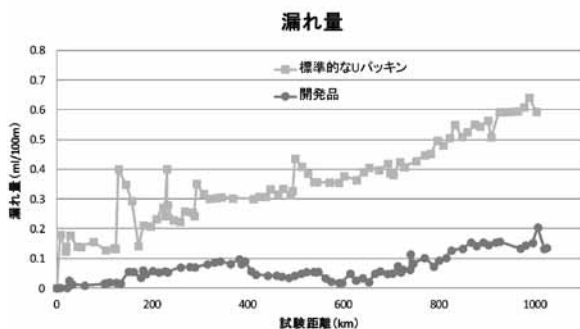


Figure10 標準的なUパッキンと開発品(Figure 9) (ヒール形状の違い)による漏れ量の比較

この漏れ量の差は標準的なUパッキンの形状Figure8のヒール部のC面取りの部分が油をシリンダに戻す際の抵抗となり、吸い込み特性を悪くしていると考ええる。対し、Figure9の形状は、FEM解析の結果からヒール部に面圧のピークが発生しておらずブロードの面圧分布を示している。この面圧分布にするためにはFigure9で示しているヒール部のRとa及びθが重要となり、このヒール形状を最適値に設定することで吸い込み特性の良いシール、すなわち密封性の良いシールが開発可能であることが検証出来た。

4. 高圧シリンダ用ロッドシールへの技術展開

前章までは基礎的な技術開発及び検証であり、前章で得た技術を実際に高圧シリンダ用のシールとして高圧シリンダの仕様に耐え得るパッキンへの技術展開及び評価による検証を実施した。シールの形状はFigure9のヒール部を基本とし吸い込み特性を重視し、更にロッドシール自体の密封性も向上できるリップ部を最適設計とした。しかし、形状だけでは仕様に耐えられるシールの開発が達成できないことがFigure6の標準的なUパッキンの評価結果から得られている。そこで、シールの材料を標準のR5590ではなく、圧縮永久ひずみ特性に優れたR6390を適用した。

R5590とR6390の物性の比較をTable2に示す。R6390はR5590より圧縮永久ひずみが良く耐熱性⁴⁾に優れていることから高圧シリンダの過酷な温度条件においても使用可能、かつ、長寿命化が図れると考えた。

Table2 R5590とR6390の物性比較

項目	単位	R5590	R6390	
常態物性	硬さ	JIS A	89	93
	引張強さ	MPa	41	42
	伸び	%	420	510
	100%引張応力	MPa	9	12
空気老化試験 120°C×70h	硬さ変化	Point	-1	±0
	引張変化率	%	+32	+25
	伸び変化率	%	+11	+5
圧縮永久ひずみ(80°C×70h)	%	40	22	

※本データは規格値ではない。

4-1) FEM解析による机上評価

FEM解析によりシールが異常変形を起こさないか、ヒール部にピークが発生しないかを評価した結果、問題ないことをFigure11で確認出来ている。

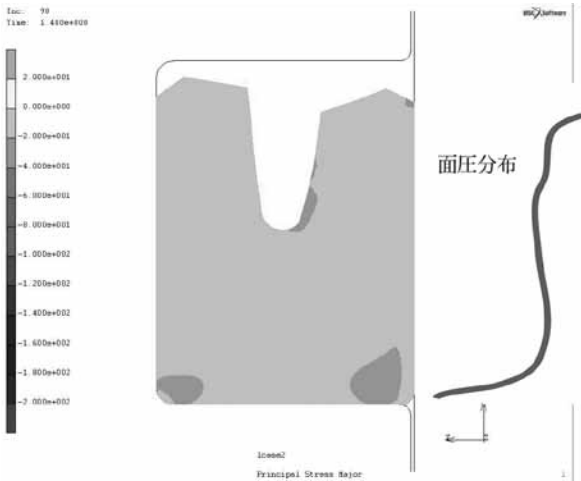


Figure11 開発品のFEM解析結果

4-2) 模擬シリンダによる耐久評価

模擬シリンダにより密封性の評価を実施した。評価は、シリンダからの外部漏れと、ピストン部に装着されるシールから漏れが発生した場合、シリンダが正常に作動しなくなる内部漏れ(圧力保持状態)を実施した。Figure12の500km耐久試験における、外部漏れ量をFigure13、ピストン部の内部漏れ量をFigure14に示す。耐久評価後のいずれのシールも密封性に影響を与えるような異常はみられず十分に継続使用が可能な状態であることから密封性、及び耐久性において問題ないことが確認出来ている。

項目	条件
試験圧力	37.2MPa
逆圧(背圧)	19.6MPa
シリンダ	模擬シリンダ
試験速度	400mm/s
ストローク	400mm
支持姿勢	水平
試験距離	500km

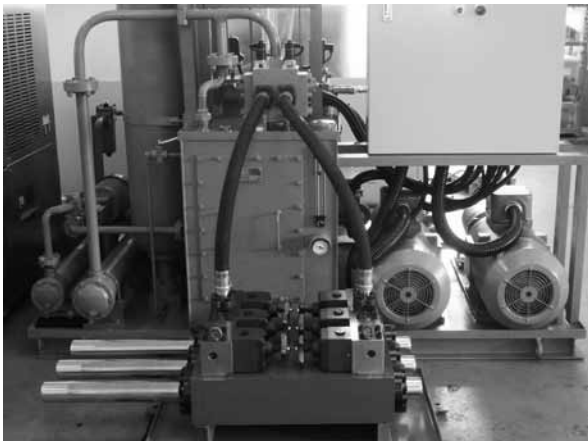


Figure12 開発品の耐久試験条件、試験機

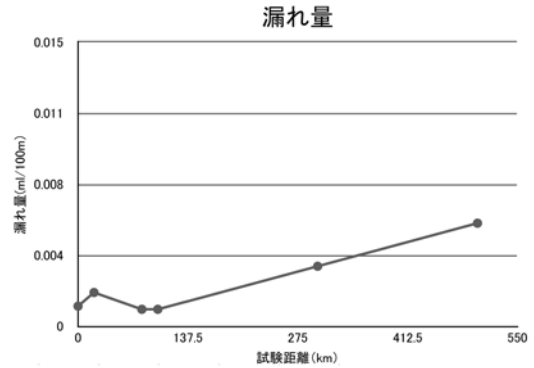


Figure13 開発品の外部漏れ評価結果

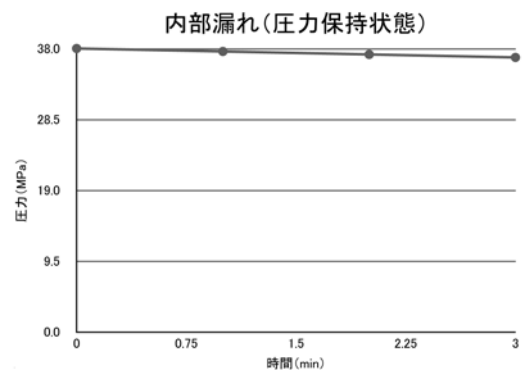


Figure14 開発品の500km試験後の内部漏れ評価結果

4-3) 模擬シリンダによる耐圧評価

模擬シリンダにより高圧力負荷時のシールの耐圧性を評価するため、Figure15の耐圧評価を実施した。結果は50MPaの高圧負荷の100万回の繰り返しに対して、いずれの製品も密封性に影響を与えるような異常はみられず十分に継続可能な状態であることから耐圧性に関しては問題がないことが確認出来ている。

項目	条件
試験圧力	50MPa
加圧サイクル	約2秒毎
試験回数	100万回

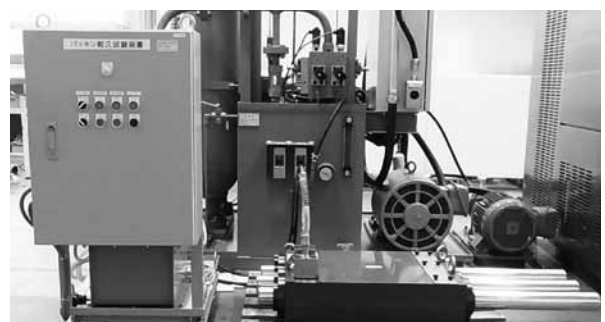


Figure15 開発品の耐久試験条件、試験機

4-4) 模擬シリンダによる環境評価

模擬シリンダにより低温環境下に始動させた場合を想定し油漏れが発生しないかの確認、及び高温環境下の作動を想定しシリンダからの外部漏れとピストン部の内部漏れ(圧力保持状態)の評価をそれぞれ恒温槽 Figure16 を使用し低温評価は Table3、高温評価は Table4 で実施した。低温評価における始動時の油漏れは発生せず密封性は問題がない結果となった。高温評価においては外部漏れが Figure 17、ピストン部の内部漏れが Figure18 の結果であり評価後のいずれの製品も密封性に影響を与えるような異常はみられず十分に継続使用が可能な状態であることから密封性及び高温環境下での使用に問題ないことが確認出来ている。



Figure16 恒温槽

Table3 低温評価条件

項目	条件
試験圧力	37.2MPa
逆圧(背圧)	19.6MPa
シリンダ	模擬シリンダ
試験速度	400mm/s
ストローク	400mm
支持姿勢	水平
試験距離	100m
環境温度	-20℃

Table4 高温評価条件

項目	条件
試験圧力	37.2MPa
逆圧(背圧)	19.6MPa
シリンダ	模擬シリンダ
試験速度	400mm/s
ストローク	400mm
支持姿勢	水平
試験距離	100km
環境温度	110℃

漏れ量

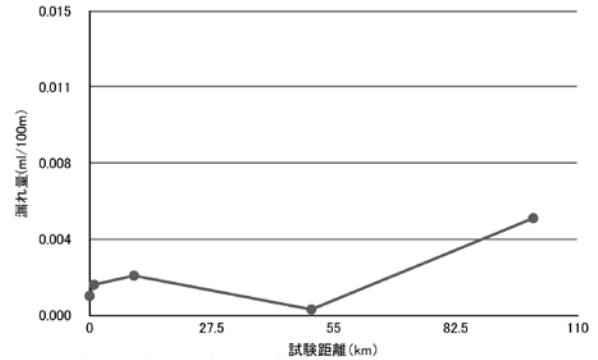


Figure17 高温評価の外部漏れ評価結果

内部漏れ(圧力保持状態)

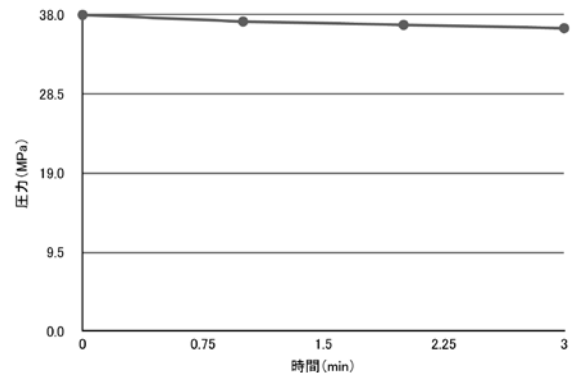


Figure18 高温評価の100km試験後の内部漏れ評価結果

以上にて新たな技術を取り入れて開発した各種シール、及び部品は十分な性能を有することが確認出来ている。

4-5) 製品ラインアップ

当社はシール製品として Table5 をラインアップしており、使用している材料も汎用樹脂などを採用することでコストダウンを図っている。

Table5 製品ラインアップ

シールシステム	製品	呼び番号	材料・特徴
ロッド部	バフアリング	URBF 40~150	R6395 ロングライフグレード
	ロッドパッキン	URHP 40~150	R6390 ロングライフグレード
	ダストシール	DSB 40~150	R5590-S 特殊グレード
ピストン部	ピストンシール	CPL 80~215	PTFE: 摺動リング NBR: パックリング ナイロン: バックアップリング
	ウェアリング	WPG 80~215	ガラス入りナイロン 強化グレード
	スライドリング	SRPG 80~215	ガラス入りナイロン 強化グレード

問合せ先: シール営業本部 テクニカルシールソリューショングループ 村木 弘昌

5. おわりに

今回、紹介した高圧シリンダ用のシールシステムは、当社が技術開発で得たノウハウ、技術を用いて高圧領域で使用できるよう開発した製品であり、かつ、当社のグローバルに展開した生産拠点を活用しコストダウンを行った製品でもある。

既に数社で油圧ショベルの油圧シリンダで採用頂いている。油圧ショベルの油圧シリンダ以外にも高圧領域でのシリンダでも十分な性能を発揮できるものと考ええる。

5-1) 用途例

- ・プレス機
- ・油圧ブレーカー
- ・圧延機
- ・高圧用特殊シリンダ

(Abstract)

Hydraulic shovel is a typical application of high pressure hydraulic cylinder. In construction machinery, hydraulic shovel has been used in the various types of construction work, and also contributed for restoration work after disaster. Valqua has provided sealing products for general purpose cylinders, however, less for high pressure cylinders. In this paper, our new products and technologies for high pressure cylinders were shown. In general, their suction/scrape behaviors are known to influence the sealing performance, and the stress gradient with the contact surface which related with lip shape of sealing is known important factor in the suction behavior. We found the inner side heel design of sealing was more effective for improvement in suction behavior than its lip shape. The new type of sealing product for high pressure cylinder usage has been developed through combination with new design technology and low compression set elastomeric material in Valqua.

Keywords:

hydraulic cylinder, sealing products, high pressure cylinders, suction behaviors, compression set

(摘要)

油圧挖掘机上の油缸是有代表性的高压用油缸。油圧挖掘机也是建筑机械的主力机型，用于各种工程的施工，也为受灾后的重建做出了重大贡献。本公司虽然拥有通用油缸的密封技术，但是在高压领域的密封技术还有所欠缺。本文介绍了本公司研发的高压领域用密封技术及产品。一般来说油封的密封性与其吸入性/挤出性密切相关，唇口部的形状和接触面的应力梯度对吸入性来说比较重要。但是本公司通过研究后发现，内径侧跟部的形状对吸入性也有影响。将这种技术应用到高压油缸用的油封中，结合本公司压缩永久变形特性优异的材料，成功研发出在高压领域中使用的油封。

关键词:

油缸、密封、高压领域、吸入性、跟部的形状、压缩永久变形

6. 参考文献

- 1) 下垣内 宏, 油圧ショベルの技術動向, 建機の施工企画 2007.01.25
- 2) 清水 考悦, シール技術の最近の動向 油圧機器用パッキンの技術動向, 潤滑経済 2012.07.05
- 3) これでわかるシール技術, 工業調査会 1999.12.10
- 4) 中野 健次, バルカーレビュー第38巻第4号, タフレタン®新シリーズ, 1994.4



山下 純一
研究開発本部 開発部