

1. JIS 油漏れ量の規定について (旧 JIS B 8354 :1992)

■ピストンパッキン(内部油漏れ)

旧 JIS B 8354 :1992 では、右に規定する条件で、『ピストン静止状態の片側に最高使用圧力をかけ、ピストンの反対側に漏れる油の量を測定した場合、その値は **表 H-1** 以下でなければならない』としています。

なお、組合せシール (SPG, SPGW) を使用する場合の内部油漏れ量は、**表 H-1** の値の 2 倍までとしています。

試験条件

試験用油：試験用油は、特に指定のない限り JIS K 2213 2 種 (添加タービン油) の粘度グレード ISO VG32、または VG46 とする。

油の温度：油の温度は特に指定のない限り $50 \pm 5^\circ\text{C}$ とする。

ピストン速度：0

〈表 H-1〉ピストンパッキン内部漏れ量

単位：ml/10min

内径 (mm)	油漏れ量	内径 (mm)	油漏れ量	内径 (mm)	油漏れ量
32 (31.5)	0.2	100	2.0	200	7.8
40	0.3	125	2.8	220 (224)	10.0
50	0.5	140	3.0	250	11.0
63	0.8	160	5.0		
80	1.3	180	6.3		

※ただし、組合せシールはこの表の値の 2 倍までとする。

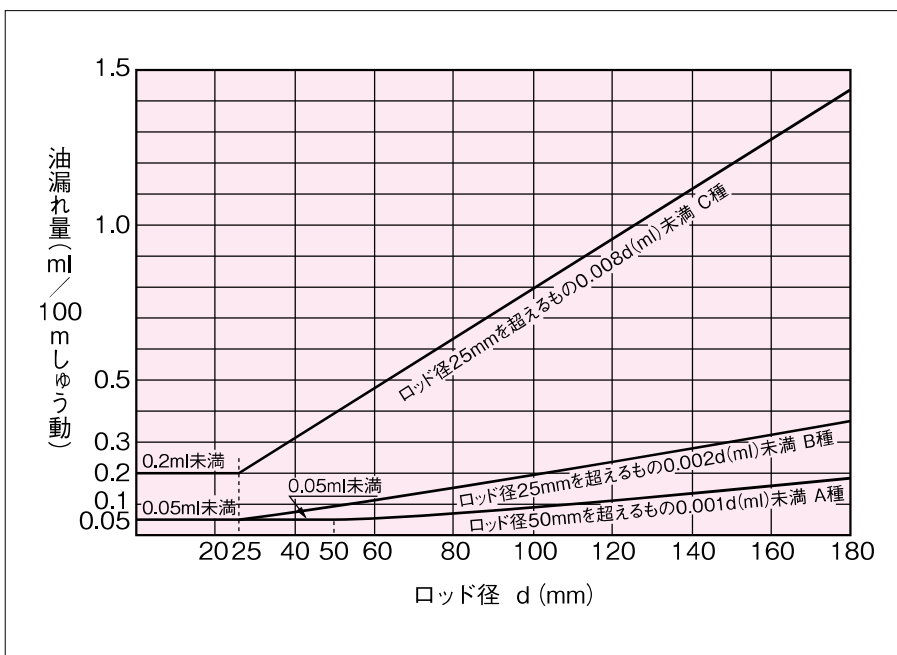
■ロッドパッキン(外部油漏れ)

旧 JIS B 8354 :1992 では、『油圧シリンダの外部油漏れは、下記に規定する条件でピストンが往復運動したとき、最高圧力までの範囲にわたり、いかなる作業状態においてもロッド部以外からの漏れがあってはならない』と規定しています。そして、ロッド部からの油漏れは **図 H-1** のように A 種、B 種および C 種に区分されています。

〈表 H-2〉ピストン速度

シリンダチューブ内径 (mm)	ピストン速度 (mm/s)
32 40 50 63	8 ~ 400
80 100 125	8 ~ 300
140 160 180 200 220 250	8 ~ 200

〈図 H-1〉外部油漏れ量



試験条件

試験用油：試験用油は、特に指定のない限り JIS K 2213 2 種 (添加タービン油) の粘度グレード ISO VG32、または VG46 とする。

油の温度：油の温度は、特に指定のない限り $50 \pm 5^\circ\text{C}$ とする。

ピストン速度：ピストン速度は、シリンダチューブ内径による。

(表 H-2)

内部圧力：シリンダに発生する内部圧力は、試験中いかなる場合にも最高使用圧力を超えてはならない。ただし、耐圧試験の場合を除く。

2. ピストンパッキンの摩耗量と油漏れ量

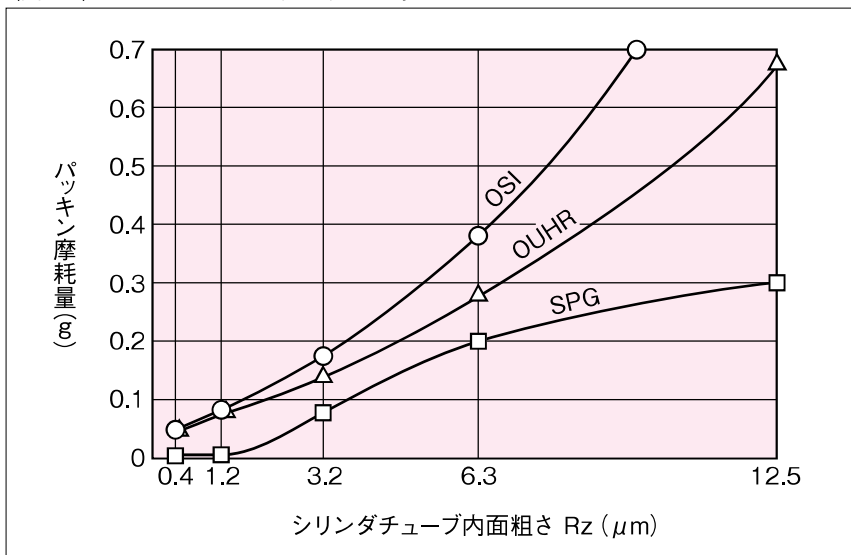
■ シリンダチューブ内面粗さと摩耗量との関係

ピストンパッキン(SPG, OSI, OUHR)のシリンダチューブ内面粗さとパッキン摩耗量との関係を図H-2に示します。

試験条件

圧 力：17.7MPa {180kgf/cm²}
(一定)
ストローク：100mm
ピストン速度：100mm/s
試験用油：タービン油2種
温度：60～70℃(タンク内)
チューブ内径：φ100
測定：80km しゅう動後

〈図H-2〉 シリンダチューブ内面粗さと摩耗量



- しゅう動中の内部油漏れを許容できる油圧シリンダには、摩耗量の少ないSPGパッキンが適しています。
- シリンダチューブの内面は0.4～3.2μmRzで仕上げてください。

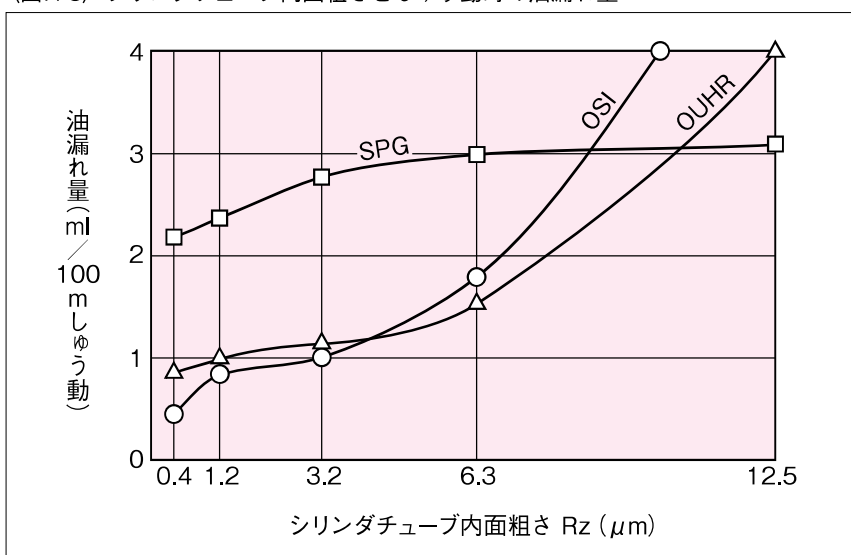
■ シリンダチューブ内面粗さと油漏れ量との関係

ピストンパッキン(SPG, OSI, OUHR)のシリンダチューブ内面粗さとしゅう動時の油漏れ量との関係を図H-3に示します。

試験条件

圧 力：17.7MPa {180kgf/cm²}
(一定)
ストローク：100mm
ピストン速度：100mm/s
試験用油：タービン油2種
温度：60～70℃(タンク内)
チューブ内径：φ100
測定：80km しゅう動後

〈図H-3〉 シリンダチューブ内面粗さとしゅう動時の油漏れ量



- 旧 JIS B 8354:1992 では静止時での内部油漏れを表 H-1 の様に許容していますが、この試験では、全パッキンとも内部油漏れは認められませんでした。

3. ロッドパッキンの摩耗量と油漏れ量

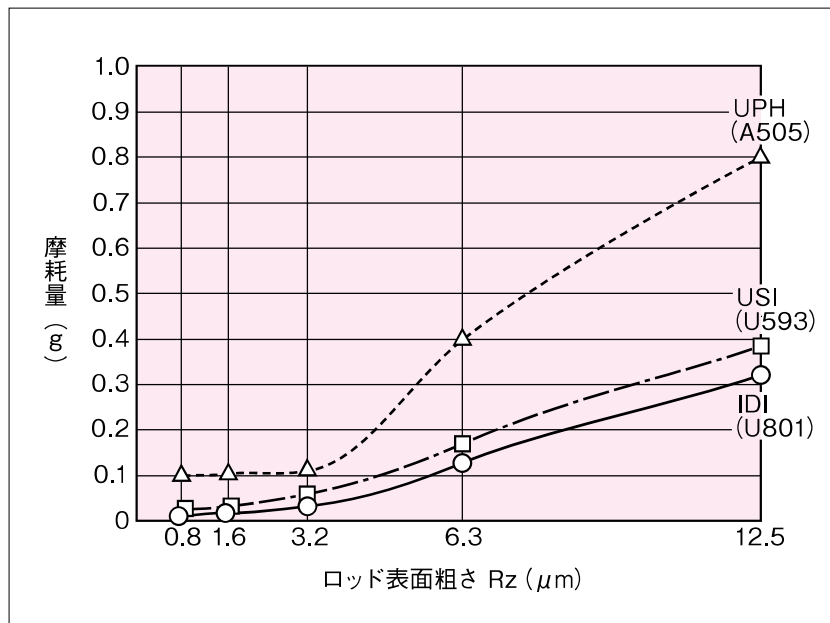
■ ロッド表面粗さと摩耗量との関係

U パッキン (UPH, USI, IDI) のロッド表面粗さとパッキン摩耗量との関係を図 H-4 に示します。

試験条件

圧 力：0～13.7MPa
 {0～140kgf/cm²}
 ストローク：200mm
 ロッド速度：500mm/s
 試験用油：タービン油2種
 温度：100℃
 ロッド径：φ50
 測定：1000km しゅう動後

〈図H-4〉 ロッド表面粗さと摩耗量



● ロッドの表面が粗すぎると、ロッドパッキンの摩耗量が増加しますので、0.8～1.6μm Rz で仕上げてください。

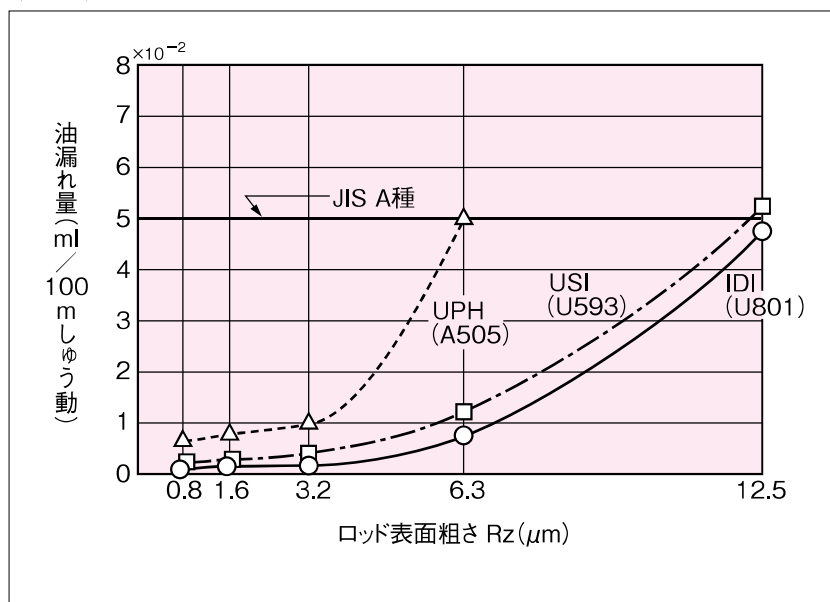
■ ロッド表面粗さと油漏れ量との関係

U パッキン (UPH, USI, IDI) のロッド表面粗さと油漏れ量との関係を図 H-5 に示します。

試験条件

圧 力：0～13.7MPa
 {0～140kgf/cm²}
 ストローク：200mm
 ロッド速度：500mm/s
 試験用油：タービン油2種
 温度：100℃
 ロッド径：φ50
 測定：1000km しゅう動後

〈図H-5〉 ロッド表面粗さと油漏れ量



● ロッドの表面粗さは、油漏れに影響しますので、0.8～1.6μm Rz で仕上げてください。

4. 最低作動圧力

ピストンパッキン (ODI, UPI, UPH, OUHR, SPG)の最低作動圧力の測定例を図H-6 に示します。

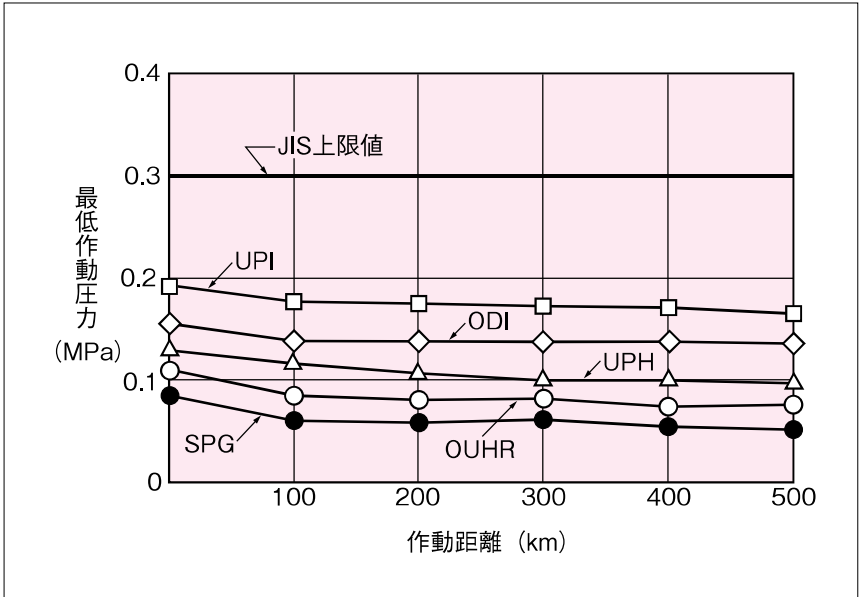
試験条件

チューブ内径：φ100
ロッド径：φ70
ロッドパッキン：UPH 70×90×15
ダストシール：DKB 70×84×8×11
加圧ポート：ヘッド側

シリンダ作動条件

ストローク：650mm
速度：650mm/s (平均)
試験用油：タービン油2種
油温：80℃ (最高)

〈図H-6〉 最低作動圧力測定例



● SPGパッキンは、しゅう動材にNOKレアフロンを使用しており、また、OUHRパッキンは潤滑性を改良しているので、作動圧力が低い値となっています。

最低作動圧力とは…

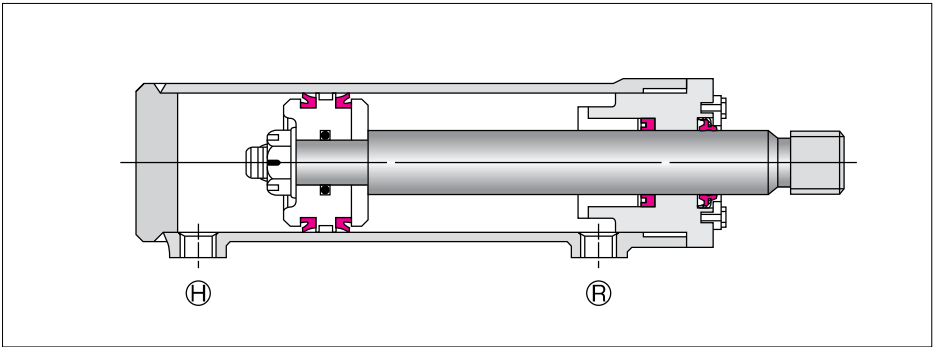
シリンダの作動を保証できる最低の圧力のことです。

図H-7のような無負荷状態のシリンダのヘッド側Ⓔあるいはロッド側Ⓕから圧力を作用させて、ピストンがH-2ページ

圧力を必要とする場合には、受渡当事者間の協定によって、その値を変更しても差し支えない。」ということになっています。

の表H-2の最低速度 (8mm/s) で円滑に作動するときの最低圧力を最低作動圧力といいます。旧JIS B 8354:1992では、この最低作動圧力が規定されております。表H-3に、ヘッド側から圧力を供給する場合の最低作動圧力を示します。旧JIS B 8354:1992によれば「この値 以下の最低作動

〈図H-7〉 最低作動圧力測定シリンダ例



〈表 H-3〉 JIS 最低作動圧力 (ヘッド側から圧力を供給する場合)

単位：MPa

ピストンパッキン形状	呼び圧力	ロッドパッキン形状		備 考
		Vパッキン以外	Vパッキン	
Vパッキン	3.5 , 7	0.5	0.75	ロッド側から圧力を供給する場合の最低作動圧力は、ロッドの径区分により規定されています。
	14 , 21	呼び圧力× 6%	呼び圧力× 9%	
U, Lパッキン Xリング、Oリング 組合せシール	3.5 , 7	0.3	0.45	
	14 , 21	呼び圧力× 4%	呼び圧力× 6%	
ピストンリング	3.5 , 7	0.1	0.15	
	14 , 21	呼び圧力× 1.5%	呼び圧力× 2.5%	

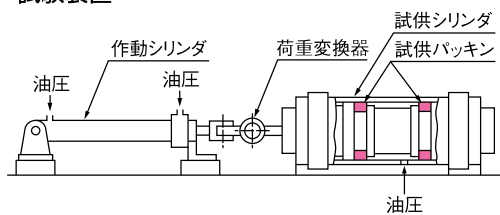
5. しゅう動抵抗

ピストンパッキン (SPG, UPH, OUHR) のしゅう動抵抗の測定例を図H-8に示します。

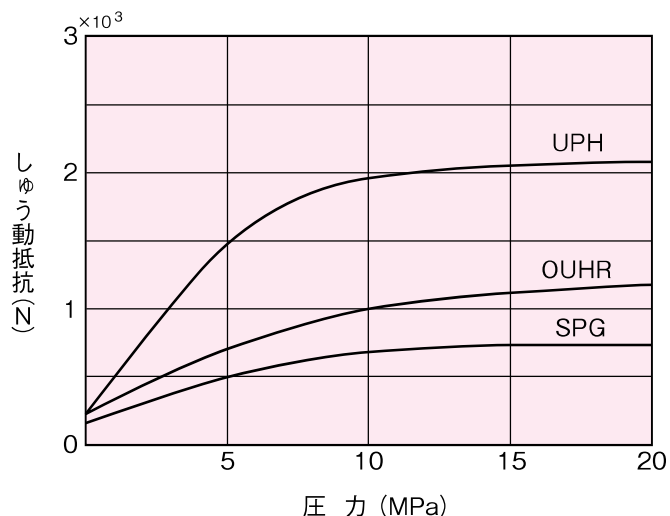
試験条件

チューブ内径：φ100
ピストン速度：300mm/s
試験用油：タービン油2種 (ISO VG46)
油温：60℃

試験装置



〈図H-8〉 しゅう動抵抗と圧力 (パッキン2個分のしゅう動抵抗値)



●低摩擦のピストンパッキンには、SPG, SPGW をご使用ください。

しゅう動抵抗と密封性に及ぼすUパッキンリップ先端形状の影響

Uパッキンのリップ形状により、しゅう動抵抗と密封性能は、図H-9、図H-10のように変化します。

	OUHR (φ120) パッキン	USH (φ120) パッキン
供試 パッキン		

しゅう動抵抗測定条件

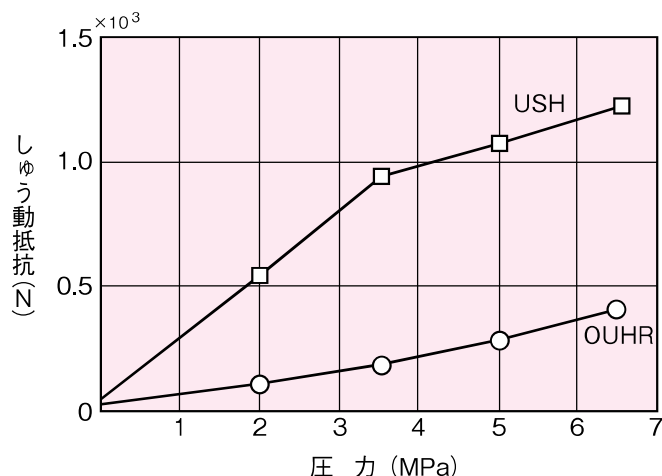
温度：常温、80℃
圧力：0、2、3.4、4.9、6.4MPa
{0、20、35、50、65kgf/cm²}
速度：75mm/s
ストローク：20mm
試験用油：タービン油2種 (ISO VG46)

インパルス耐久試験条件

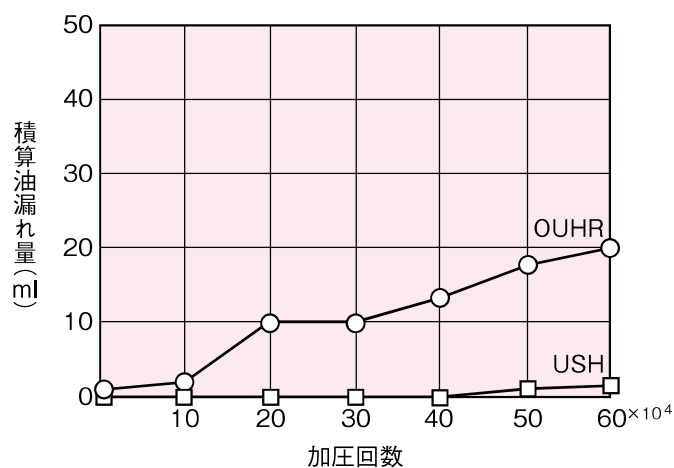
温度：100℃
圧力：0～24.5～36.8MPa
{0～250～375kgf/cm²}
加圧頻度：70c.p.m.
加圧回数：60万回
速度：150mm/s
ストローク：150mm
試験用油：タービン油2種 (ISO VG46)

●低摩擦のピストンシール用Uパッキンには、潤滑性を改良したOUHRパッキンをご使用ください。

〈図H-9〉 しゅう動抵抗と圧力



〈図H-10〉 加圧回数と油漏れ量



■パッキンのしゅう動抵抗の求め方

しゅう動抵抗は(5)式で求められます。

$$F = f \times Pr \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし

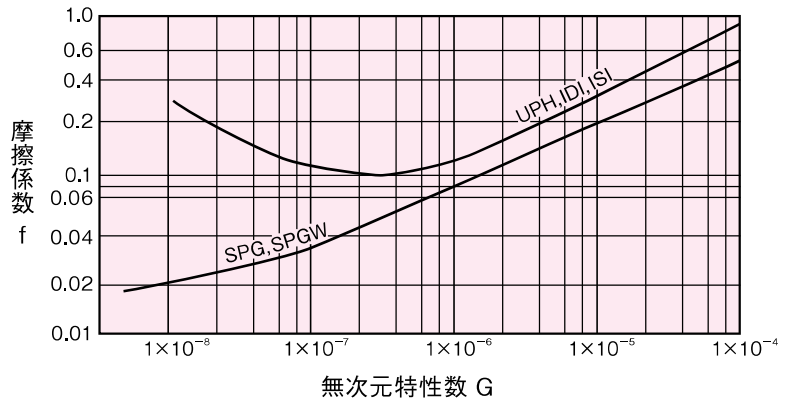
F：しゅう動抵抗 (N)

f：摩擦係数

Pr：緊迫力 (N)

したがって、しゅう動抵抗を求めるには、パッキンの摩擦係数と緊迫力の値を知る必要があります。摩擦係数fは、図H-11の無次元特性線図を用い、使用条件からGを求め、fを読み取ってください。

〈図H-11〉 無次元特性線図



●無次元特性数 G の算出方法は 11 ページをご参照ください。

圧力が作用したときのパッキン緊迫力は、(6)式で求めてください。

$$Pr = \pi dbp + Pro \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし

d：ロッド径 (m)

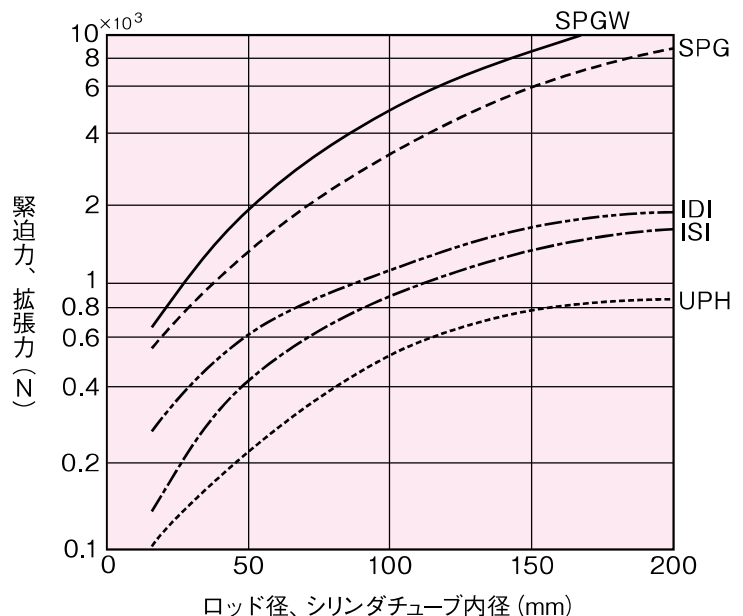
b：接触幅 (m)

p：作用圧力 (Pa)

Pro：大気圧下でのパッキン緊迫力 (N)

（Proはパッキンの形状、材料により異なります。目安として、図H-12に代表的なパッキンの緊迫力と拡張力の測定例を示します。作用圧が高くなると、(6)式の πdbP に対し、Proは無視してもよい値になります。）

〈図H-12〉 緊迫力、拡張力 (大気圧)



6. 耐寒用パッキンについて

NOKパッキン標準ゴム材料(材料記号 A505, U801)の低温使用限界温度は、約-30℃を目安としています。

低温域では、パッキン材料のゴム状弾性が低下しますので、密封性が不安定になります。特に、ロッド偏心に対するパッキンリップの追随性が低下しますので、ロッドの偏心量を小さくする事が重要となります。

-30℃以下の低温域で使用されるときは、ロッドの偏心量を小さくし、耐寒用パッキンをご使用ください。

試験条件

試料：ロッド径φ 75用 Uパッキン
(試験前油中浸せき 100℃、70H)

圧力：2MPa {20kgf/cm²} (一定圧)

ストローク：20mm

サイクル：1c.p.s.

試験用油：極低温油圧作動油

試験時間：各温度で15時間放置後15分間作動

■低温密封性に及ぼす偏心の影響

表H-4 および表H-5に耐寒用Uパッキンと標準用Uパッキンの試験結果例を示します。

偏心量は低温密封性に影響しますので、軸受のはめ合いは、H9/f8 としてください。

〈表H-4〉 耐寒用 Uパッキン

供試 パッキン	IUH 75 85 6 (A567) 耐寒用ニトリルゴム					UNI 75 88 10 (① U801 ② S813)				
	偏心率 (TIR)	①	②	③	④	①	②	③	④	⑤
偏心率 (TIR) (°C)	-40	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	-45	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	-50	○	○	○	○	○	○	○	○	○
偏心率 (TIR) (°C)	-55	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	-60	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.15mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○
偏心率 (TIR) (°C)	0.30mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.45mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.60mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○

〈表H-5〉 標準用 Uパッキン

供試 パッキン	IUH 75 85 6 (A505)					ISI 75 85 6 (U801)				
	偏心率 (TIR)	①	②	③	④	①	②	③	④	⑤
偏心率 (TIR) (°C)	-15	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	-20	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	-25	○	○	○	○	○	○	○	○	○
偏心率 (TIR) (°C)	-30	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	-35	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.15mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○
偏心率 (TIR) (°C)	0.30mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.45mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.60mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○…油漏れなし △…しゅう動時油漏れ ●…静止時油漏れ

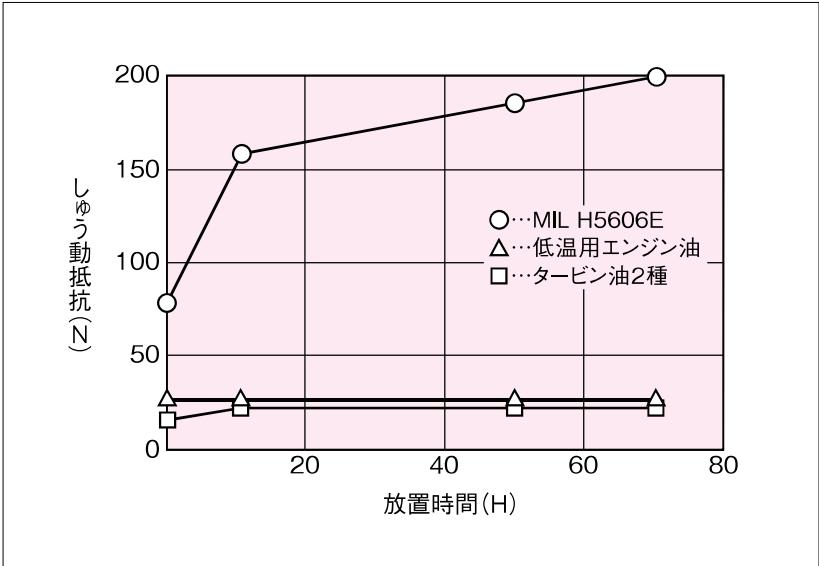
■始動摩擦抵抗におよぼす低温用作動油の影響

低温用作動油の中には、油膜が乾燥すると特殊な添加剤のためにロッド表面が粘着性を帯びて、パッキンの始動摩擦抵抗を増加させる作動油があります。

図H-13に低温用油による始動摩擦抵抗測定結果を示します。

供試 パッキン	IUH 型パッキン (材料：A567)
------------	------------------------

〈図H-13〉 始動摩擦抵抗測定結果



試験条件

温度：25℃

圧力：大気圧

速度：250mm/s

ストローク：50mm

試験用油：① MIL H 5606E
② 低温用エンジン油
③ タービン油 2 種 (ISO VG32)

放置時間：0、12、48、72 (H)

放置条件

ロッドを数回ストロークさせてロッド表面に油膜が付着した状態のまま、室温放置。

7. バッファリングについて

バッファリング(HBY, HBTS)は、ロッドパッキンの圧力側に装着され、ロッドパッキンを保護し、耐久性向上に大きく寄与します。また、微小ストローク条件下でのロッドパッキンの異常摩耗防止にも効果があります。

バッファリング 3つの効果

- (1) 油圧シリンダのロッド側に発生する衝撃圧力を緩衝します。
- (2) ロッドパッキンへの油温伝達を抑制します。
- (3) ロッドパッキンの摩擦抵抗としゅう動発熱を軽減します。

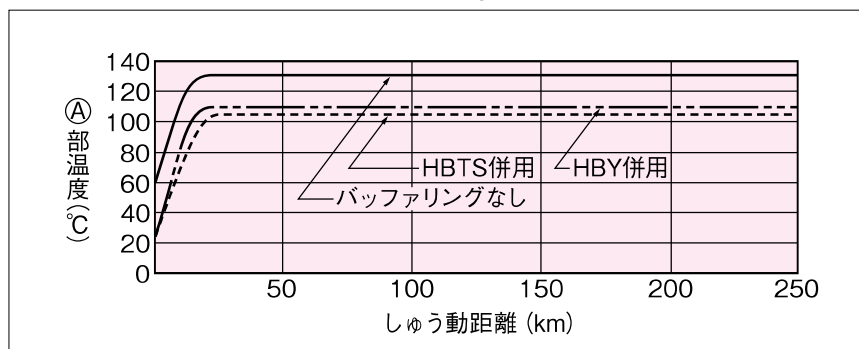
バッファリングは、背圧リーク特性により、ロッドパッキンとの間に蓄圧を発生させません。

■衝撃圧力の緩衝効果例

試験条件	構造 (ロッドシーリングシステム)	試験後の状態
ロッド径: $\phi 70$ 圧力: $0 \sim 41.2 \text{ MPa}$ $\{0 \sim 420 \text{ kgf/cm}^2\}$ 速度: 530 mm/s ストローク: 900 mm 試験用油: タービン油2種 (ISO VG46) 油温: $90 \pm 5^\circ \text{C}$ (タンク内) 測定: 250 km しゅう動後	バッファリングあり 	
	バッファリングなし 	

■しゅう動部温度の軽減効果例

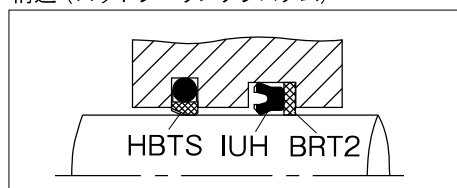
〈図H-14〉 しゅう動部温度測定例 (試験条件、A部温度は上表による)



- 衝撃圧力やタンク内の油温が高い場合には、バッファリングによって圧力の緩衝としゅう動部温度の軽減が可能です。
- パッキンとバッファリングとの併用をおすすめします。

■しゅう動抵抗の低減効果例

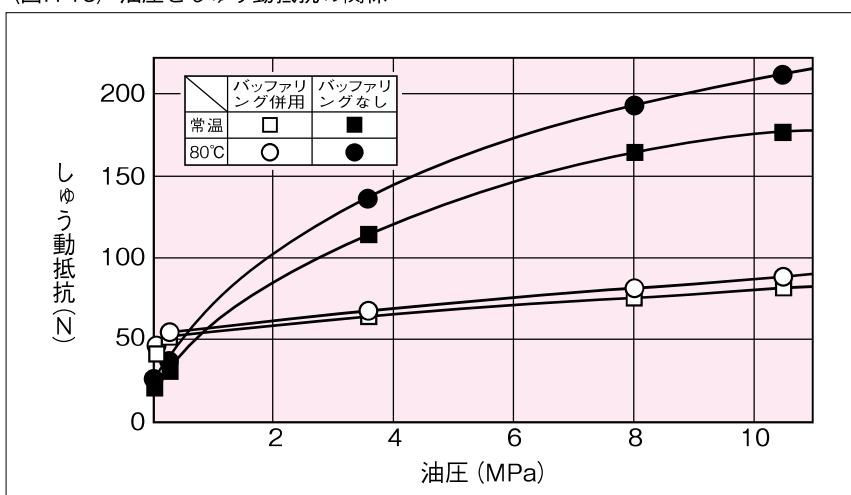
構造 (ロッドシーリングシステム)



試験条件

圧力: $0 \sim 9.8 \text{ MPa}$
 $\{0 \sim 100 \text{ kgf/cm}^2\}$
 速度: 30 mm/s
 ストローク: 100 mm
 試験用油: 一般作動油
 温度: 常温、 80°C

〈図H-15〉 油圧としゅう動抵抗の関係



8. 微小ストローク用パッキンについて

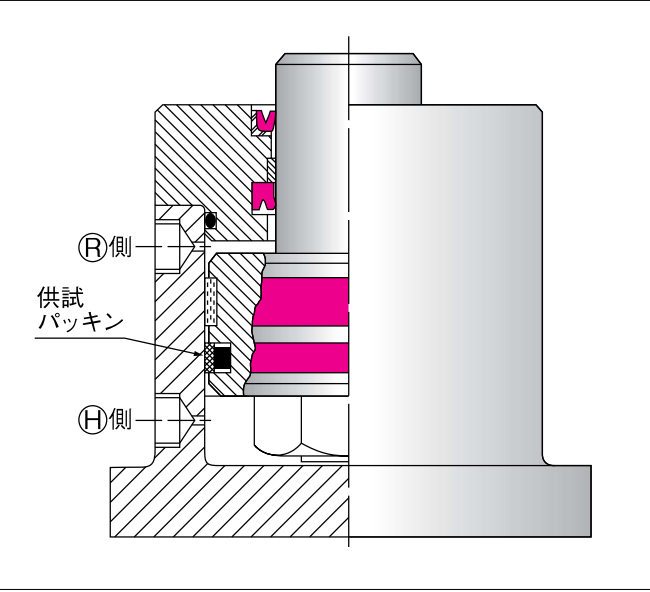
微小ストロークでパッキンを使用すると、油膜破断（潤滑油ぎれ）が生じ、パッキンの異常摩耗が発生しやすくなります。この異常摩耗の発生を防止するためには、潤滑油膜が形成されやすいようにパッキン形状を設計し、さらに耐摩耗性のよい材料を使用する必要があります。

■ピストンパッキン

試験方法

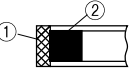
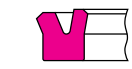
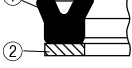
ここに定めた試験条件で作動させ、25万回、50万回、75万回、100万回の各々の時点で内部油漏れ量を測定しました。供試パッキンの内部油漏れ量は、図H-16のようにロッド側⑧ポートより所定の圧力 34.3MPa {350kgf/cm²}を10分間加圧させて、ヘッド側⑨ポートからの油漏れ量をメスシリンダで測定しました。

〈図H-16〉 試験装置



微小ストロークとは、旧JIS B 8354:1992 で定められた『最小ストローク25mm』を下まわった時を目安としています。

供試パッキン

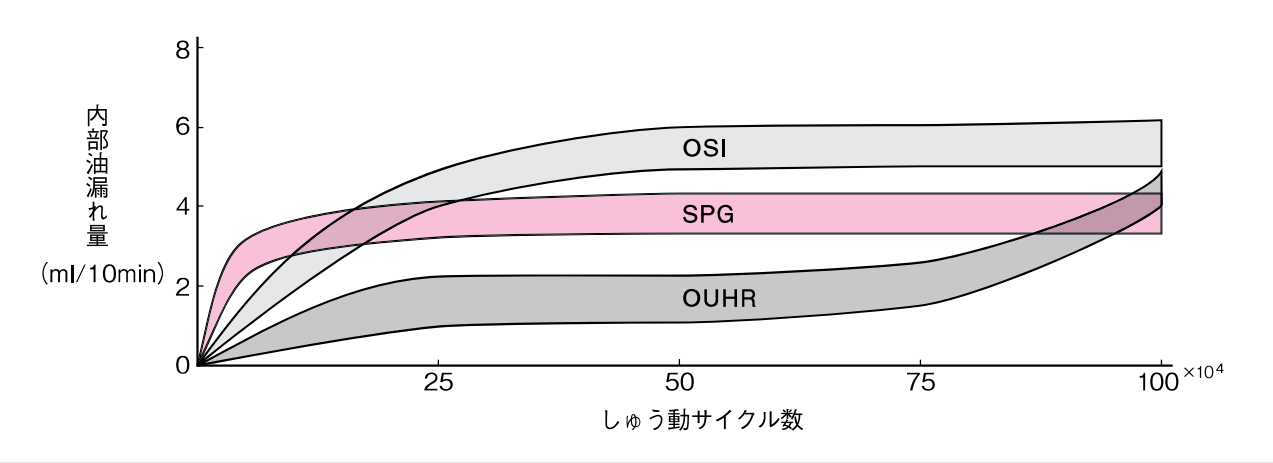
シール断面形状	型式寸法	材 料
	SPG 94 110 7.3	① 19YF ② A980
	OSI 110 95 9	U801
	OUHR 110 95 9 BRT2 95 110 3	① A567 ② 19YF

試験条件
試験用油：一般作動油
圧 力：⑧側
0～34.3MPa {0～350kgf/cm²}
⑨側
0～2MPa {0～20kgf/cm²}
ストローク：2mm
サイクル：16c.p.m.（平均速度 4mm/s）
しゅう動サイクル数：100×10⁴ 回
温 度：95±5℃（シリンダ壁温）
シリンダ内面粗さ：3.2 μm Rz

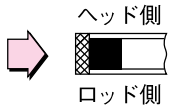
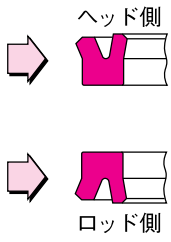
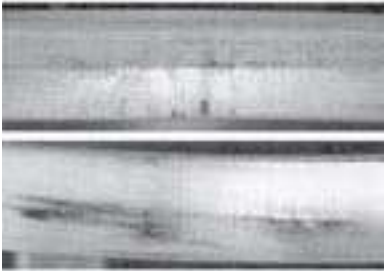
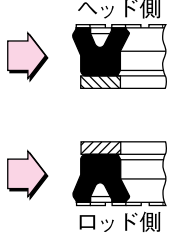
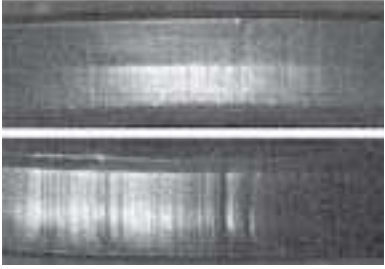
試験結果

〈図H-17〉 内部油漏れ量変化

※ SPGW の内部油漏れ量は、SPGと同程度です。



〈図H-18〉 しゅう動面状態

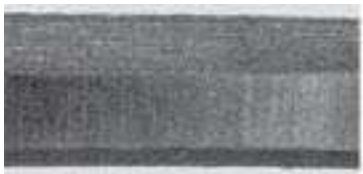
型式寸法	写真撮影方向	表 面 状 態	備 考
SPG 94 110 7.3			しゅう動面に特に異常は認められない
OSI 110 95 9			しゅう動面に摩耗、および“しゅう動痕”の発生が認められる
OUHR 110 95 9			しゅう動面に摩耗、および“しゅう動痕”の発生が認められる

●微小ストロークには、しゅう動材料にNOKレアフロンの用いた組合せシール (SPG, SPGW) をおすすめします。

■ロッドパッキン

微小ストロークで試験を行ったロッドパッキンとバッファリングのしゅう動面状態を図H-19に示します。

〈図H-19〉 しゅう動面状態

型式寸法 (材料記号)	写真撮影方向	表 面 状 態	
		バッファリング併用の場合	バッファリングなしの場合
〈バッファリング〉 HBTS 75 90.5 5.9 (19YF, A626)			
〈ロッドパッキン〉 IUH 75 85 6 (A505)			

●ロッドパッキンについても、油膜破断による異常摩耗が発生する場合がありますので、シーリングシステムとして対策する必要があります。低圧、高圧にかかわらず、微小ストローク下でのご使用に際しては、ロッドパッキンの異常摩耗を防ぐためにバッファリング (HBTS, HBY) の併用をおすすめします。

9. 焼損現象

ピストンパッキン(Uパッキン,SPG,SPGW)やウエアリングが局部的に焦げて炭化したり、溶融したりする場合がありますが、これは油圧シリンダ内の空気が抜け切らない状態で急激に圧縮されて高温の熱が発生したためです。

例えば、ピストンパッキンとしてUパッキンを使用した場合、Uパッキンのポケット部には空気がたまりやすく、始動時には空気と油が入れ替わらずに急激に圧縮され、**図H-20**のようにポケット部周辺で発熱し、局部的に焦げて炭化したり材料によっては溶融します。

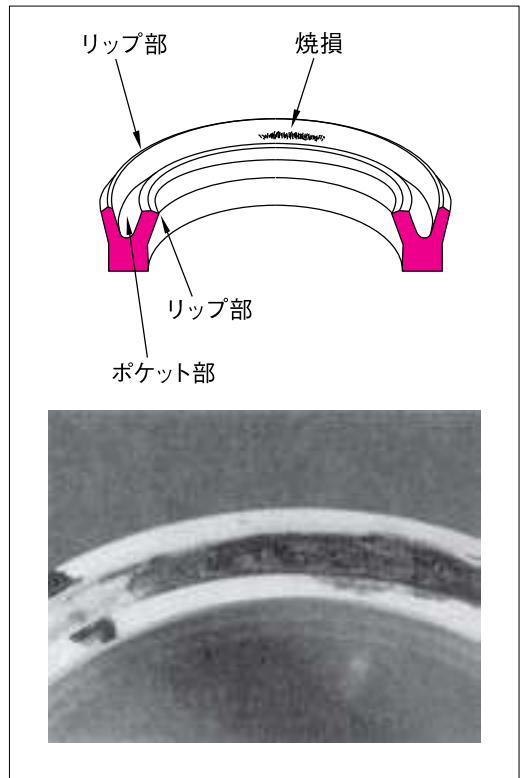
ロッドが上向きの場合には、**図H-21**のようにヘッド側のUパッキンAのポケット部に空気がたまり、焼損がみられることがあります。

また、**図H-22**のようにピストンパッキンだけではなく、ウエアリング(WR)も焦げる場合があります。

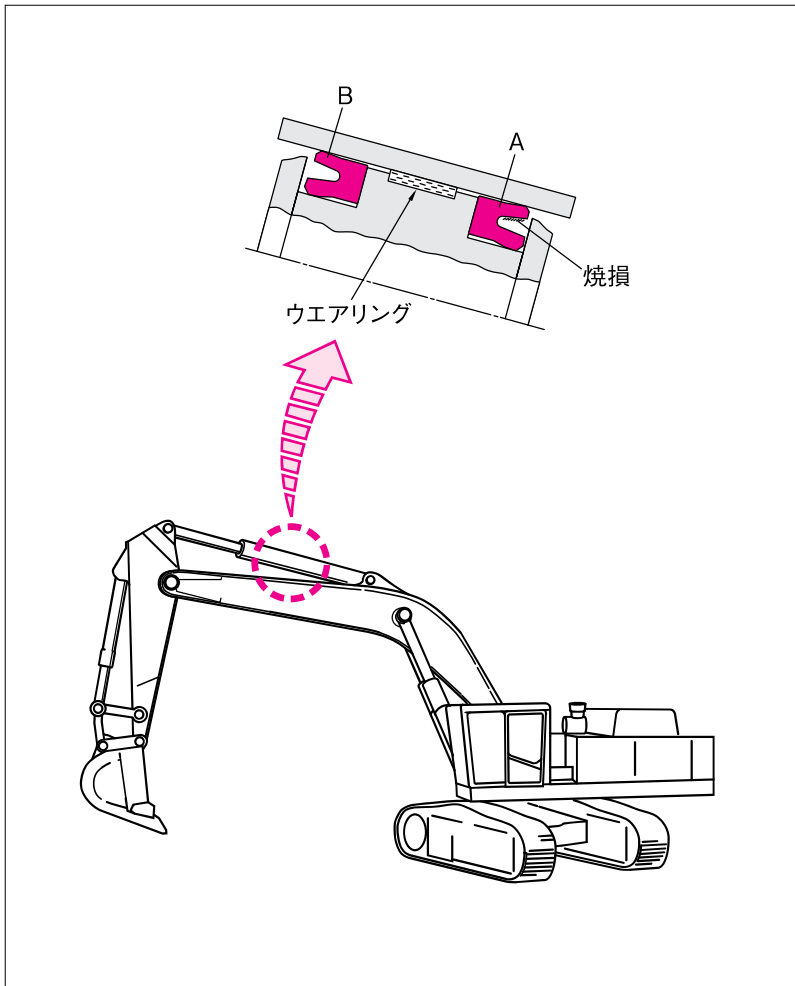
この焼損現象は、油圧シリンダを始動させるときに発生しやすく、稼働中にはほとんど発生しないようです。

空気の断熱圧縮による発熱は、短時間ですが600～800℃にも達し、瞬間的にパッキン材料の耐熱限界を超えてしまいます。

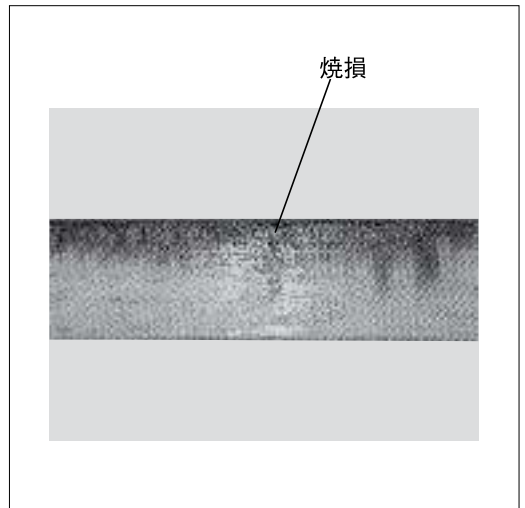
〈図H-20〉 Uパッキンの焼損例



〈図H-21〉 焼損発生箇所の例



〈図H-22〉 ウエアリングの焼損例



断熱圧縮による温度上昇計算式

実際の油圧シリンダでは、ロッド表面やチューブ壁面からの伝熱、拡散などがあり完全な断熱圧縮とはいえませんが、上昇温度は(7)式で計算できます。

$$T_2 = T_1 \times \frac{P_2 \cdot V_2}{P_1 \cdot V_1} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \dots\dots\dots (7)$$

T₁：圧縮前の絶対温度 (°K)
T₂：圧縮後の絶対温度 (°K)
P₁：圧縮前の圧力 (MPa)
P₂：圧縮後の圧力 (MPa)
V₁：圧縮前の空気の色積 (cm³)
V₂：圧縮後の空気の色積 (cm³)
κ：断熱指数 (空気の場合、κ = 1.4)

断熱圧縮による発熱温度をこの式を使って計算してみます。

油圧シリンダ内の圧力は、1～42MPaの間で変化するとします。例えば、1MPaのときの油温を80℃と仮定すると、断熱圧縮による絶対温度 T₂ は

$$T_2 = (273 + 80) \times \left(\frac{42}{1} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \div 1027 (°K)$$

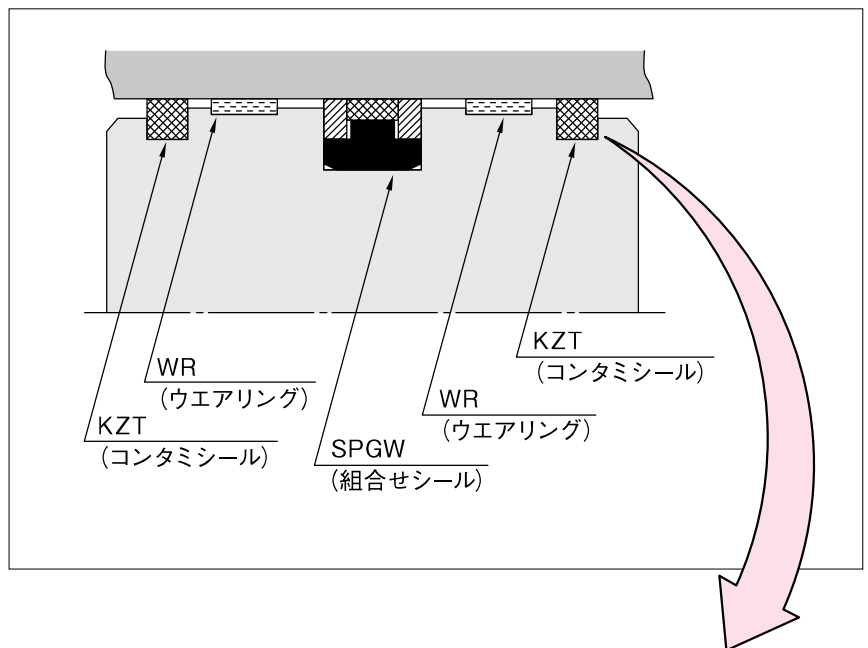
となります。この温度は754℃に相当します。この値は断熱効率やその他の損失を無視した計算結果ですが、この点を考慮しても、パッキンは瞬間的ですが高温にさらされていることがわかります。

焼損の防止

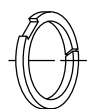
このような断熱圧縮による焼損を防止するには、次の点に注意してください。

- (1) 油圧シリンダを始動させるときには、エア抜きを十分行うこと。
- (2) 油圧シリンダを始動するとき、急激にフルストロークまで動かさないこと。
- (3) Uパッキンを使用する場合、ポケット部をグリースで埋め、空気だまりを少なくすること。
- (4) ピストン部の構造を図H-23のようにし、ウエアリング(WR)の外側に耐熱性のよいレアフロン製のシール(型式KZT:コンタミシール)をご使用ください。

〈図H-23〉 パッキンの焼損対策例



● 焼損対策として最も効果のあるピストン部シーリングシステムを図H-23に示します。



油中の異物除去と断熱圧縮による焼損防止用として、KZT（コンタミシール）のご使用をおすすめします。

10. スティックスリップについて

■現象

スティックスリップ (stick-slip) は、滑り面に瞬間的な固着、すべりが周期的に発生する現象です。パッキンの場合、ゴム状弾性体のパッキンと相手面の金属との接触面でこのスティックスリップが発生し、振動と発音現象 (共鳴音) が生じることがあります。

油圧シリンダに生じるスティックスリップ現象は、パッキンの他に軸受の種類、シリンダ固定方法、負荷量などの複合作用による油圧機器全体の振動系により発生します。

また、発音現象の音質も低周波から高周波まで、多種多様です。

■発生しやすい条件

油圧シリンダのスティックスリップによる振動や発音現象は、定量的にはまだ解明されていませんが、定性的には次のような条件のときに発生しています。

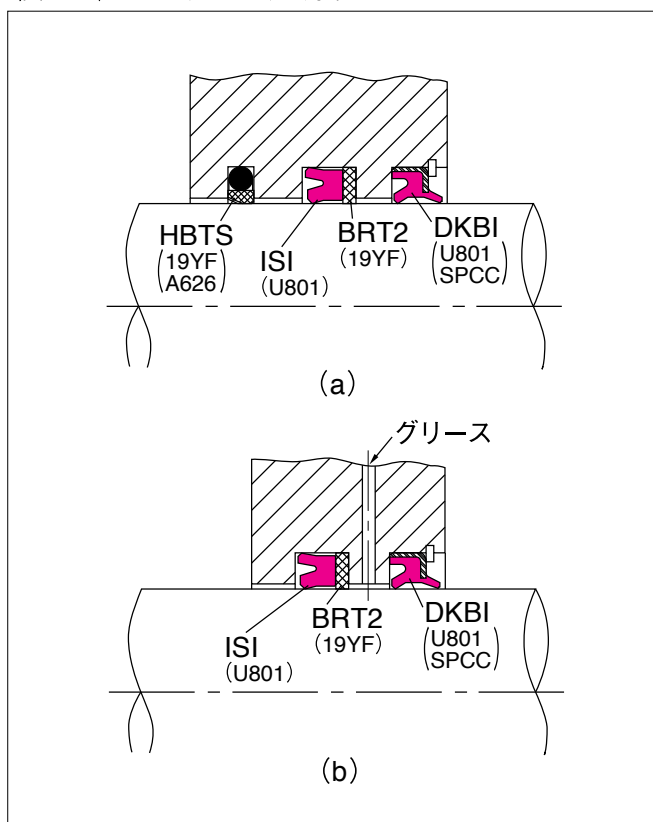
- (1) パッキンや軸受材料の静摩擦係数が高いとき。
- (2) 金属表面が適切な粗さでないとき。
- (3) 使用油の油性がよくないとき。(油の添加剤が不適切なとき)
- (4) 高压、高温、低速作動で滑り面の潤滑油膜が破断しやすいとき。
- (5) 極端に肉圧の薄いシリンダチューブや、中空ロッドを用いたり、剛性の低い油圧ホースを使用したとき。

■対策

このように、油圧シリンダのスティックスリップ現象をパッキンのみで完全に対策することはできませんが、低摩擦の材料、例えばレアフロンを用いた組合せシール (SPG, SPGW) や、潤滑性を改善したUパッキン (OUHR) を使用すると効果があります。

また、高压によるロッドパッキンの油膜破断を防止するため、**図H-24 (a)**のように潤滑性のよいバッファリング (HBTS) を併用したり、**図H-24 (b)**のようにロッドパッキンとダストシール間にグリースを注入すると効果があります。

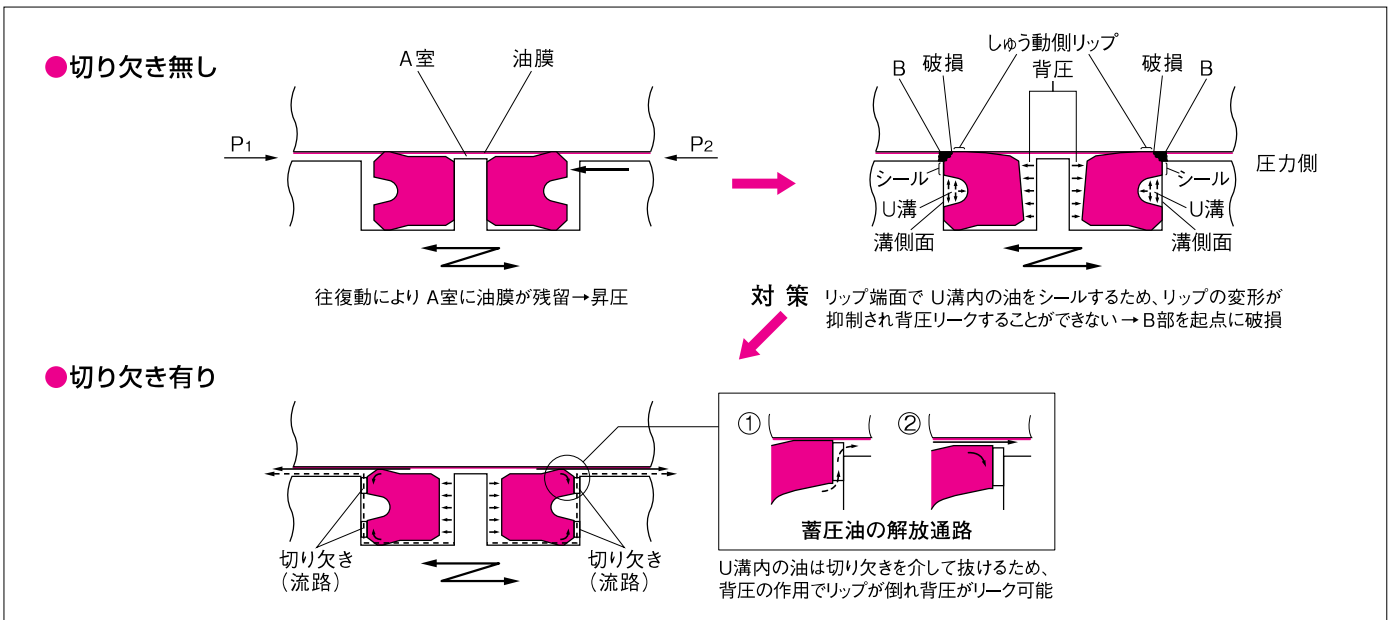
〈図H-24〉 スティックスリップ対策例



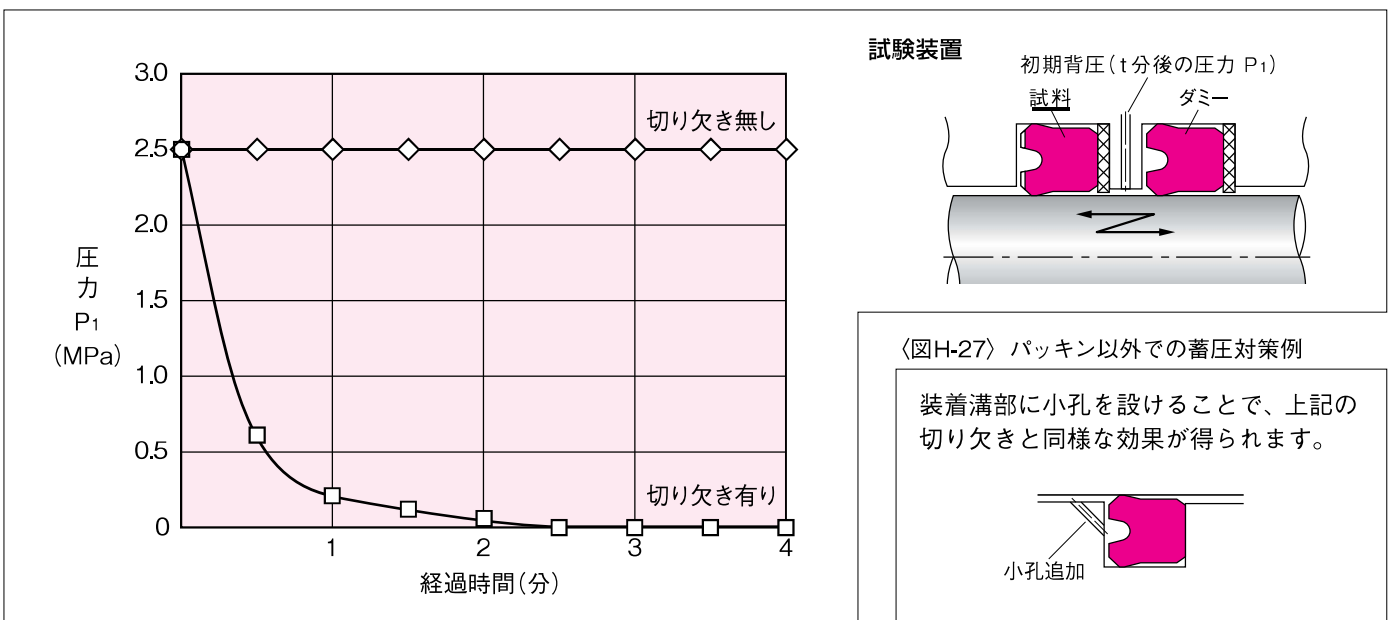
11. 蓄圧破損について

リップパッキンをピストン用として2個背中合わせに使用する場合等に、2個のパッキン間に生じる蓄圧でパッキンの破損が起こることがあります。これは、往復運動により、パッキンを通じた油膜がパッキン間に滞留し、徐々に昇圧することによる現象です(図H-25参照)。尚、複数のパッキンを使用する場合にはこのケースに限らず、蓄圧の可能性を考慮する必要があります。対策としてはリップの先端に切り欠き(流路)を設けたパッキンを使用するのが効果的です。切り欠きなしでは背圧の作用で、リップ端面と装着溝側面が接触(シール)し、U溝内の圧力が抜けず、しゅう動側リップが相手しゅう動面に密着した状態となります。その結果、背圧をリークでき

〈図H-25〉 蓄圧破損メカニズムと対策



〈図H-26〉 切り欠き有無での背圧リーク性能差



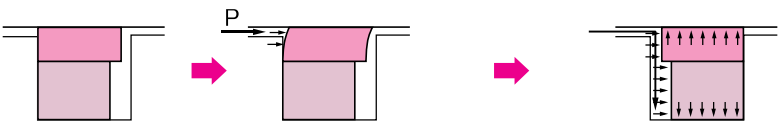
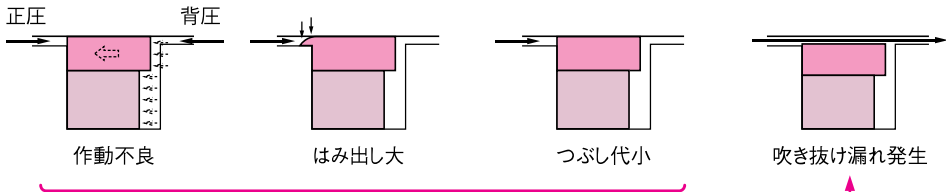
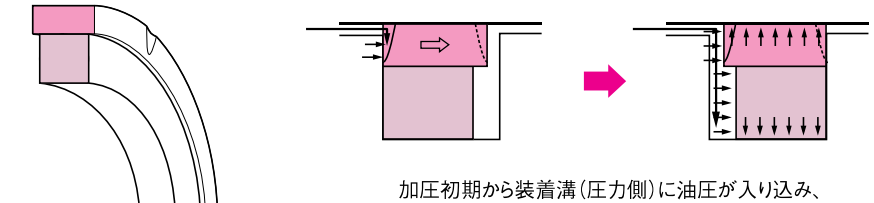
12. 吹き抜け漏れ (パッシング) について

パッキンは、初期には自身の緊迫力で相手面に密着することで油を密封し、加圧後には更に油圧による拡張力を得ることで、高圧の油圧をもシールすることが可能となります。従って、パッキンが密封性を維持するためには、装着溝内に油圧が導入され、油圧の拡張力を得ることが重要です。吹き抜け漏れ(パッシング)は、上記の状態の時に装着溝内への油圧がスムーズに導入されない場合にまれに発生することがあります。そして、一旦発生すると、多量の漏れが長時間続く場合もあり、かつ原因究明のための再現試験においても必ずしも再現できないことから、非常に厄介な現象です。吹き抜け漏れの代表的な事例としては、パワーステアリングのシリンダ用ピストンパッキンで、組合せシールの両方向に圧力が作用する場合が挙げられます。図H-28に示すように、例えば右方向からの背圧が作用している状態で左方向から正圧が作用した

場合に発生します。パッキンは、背圧で装着溝内の左側溝側面に押し付けられた状態にあるため、左方向からの正圧が溝内に入り難くなります。その結果、油圧による拡張力を得られずに、吹き抜け漏れを生じるというものです。対策としては、装着溝内への油圧の導入をスムーズにすればよく、シールリングの側面に『油圧導入スリット』を設けると効果的です。なお、吹き抜け漏れは、圧力によりシールリングにはみ出しが生じた場合や、パッキンのしめ代が低下した場合にも発生しやすくなり、これらの場合にもスリットは有効であることから、結果として、信頼性のみならず、寿命延長の効果も期待できます。

※スリット付きの組合せシールは、カタログ外の特種品となりますので、別途 NOK にご相談ください。

〈図H-28〉 組合せシールの吹き抜け漏れと対策

正常作動時	 油圧でパッキンが反圧力側に移動し、装着溝内に油圧が導入される 油圧及び緊迫力でパッキンがしゅう動面と溝底に強く押し付けられてシール面を確保
吹き抜け漏れ発生時	 正圧 背圧 作動不良 はみ出し大 つぶし代小 吹き抜け漏れ発生 装着溝(圧力側)にスムーズな油圧の導入がされない
対策	 油圧導入スリット(シーリング) 加圧初期から装着溝(圧力側)に油圧が入り込み、パッキンの反圧力側への移動がスムーズになる

13. 膨潤メカニズムについて

膨潤とは、油分子がポリマー分子の間に入り込み、分子間を広げようとする力と、架橋された網目の弾性とが釣り合った状態です。

また、膨潤の大小は油とポリマーとの親和性に依存し、両者の親和性がよいほど膨潤は大きくなります。

親和性の目安として、SP値(Solubility Parameter, 極性を示す値の近いものどうしほど親和性がよい)がよく用いられるが、分子構造の似ているものは親和性がよいといえます。

<例 1> EPDM と鉱油（親和性が良い）→ 膨潤大きい

EPDM SP 値：8 (極性小)	鉱 油 SP 値：6 ～ 8 (極性小)
$ \begin{array}{c} [\text{CH}_2 - \text{CH}_2]_n [\text{CH} + \text{CH}_2]_m \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} $	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$

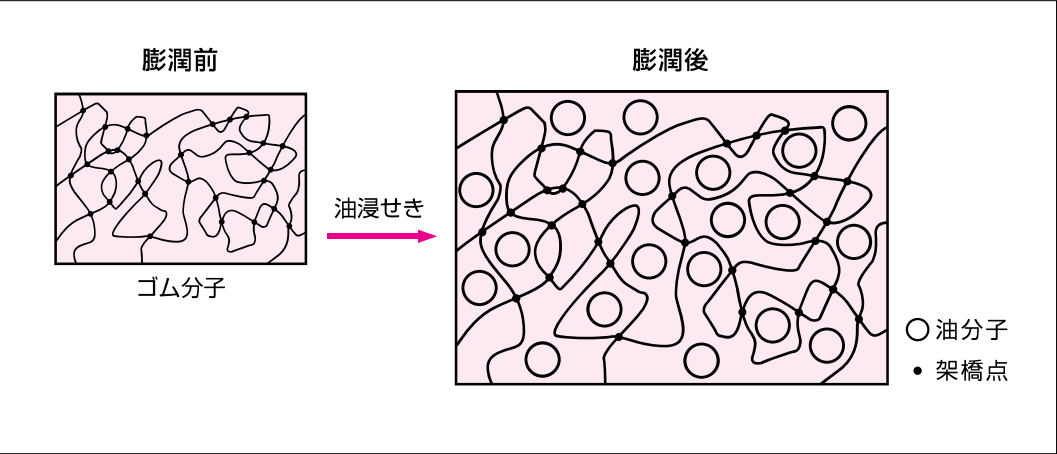
→ EPDM と鉱油は、構造が似ており(CとHのみ極性基がない)、親和性がよいため膨潤が大きい。

<例 2> NBR と鉱油（親和性が悪い）→ 膨潤小さい

NBR SP 値：9 ～ 10 (極性大)	鉱 油 SP 値：6 ～ 8 (極性小)
$ \begin{array}{c} [\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2]_n [\text{CH} - \text{CH}_2]_m \\ \\ \text{C} \equiv \text{N} \leftarrow \text{極性基} \end{array} $	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$

→ NBR と鉱油は、構造が似ておらず、(NBR は極性基をもっている)親和性が悪いため膨潤が小さい。

<図H-29> 膨潤の進行状態



油はゴム分子の間に侵入し、ゴム分子間を広げようとして(膨潤現象)。

ゴム分子間は油膨潤により広がっていくが、架橋している為 ある程度以上は膨潤しません(平衡膨潤)。

<参考：未架橋ゴムでは、膨潤はどんどん大きくなり最終的には溶解する(ゴム系粘着材、スプレーのりなど)。>

14. 相手粗さについて

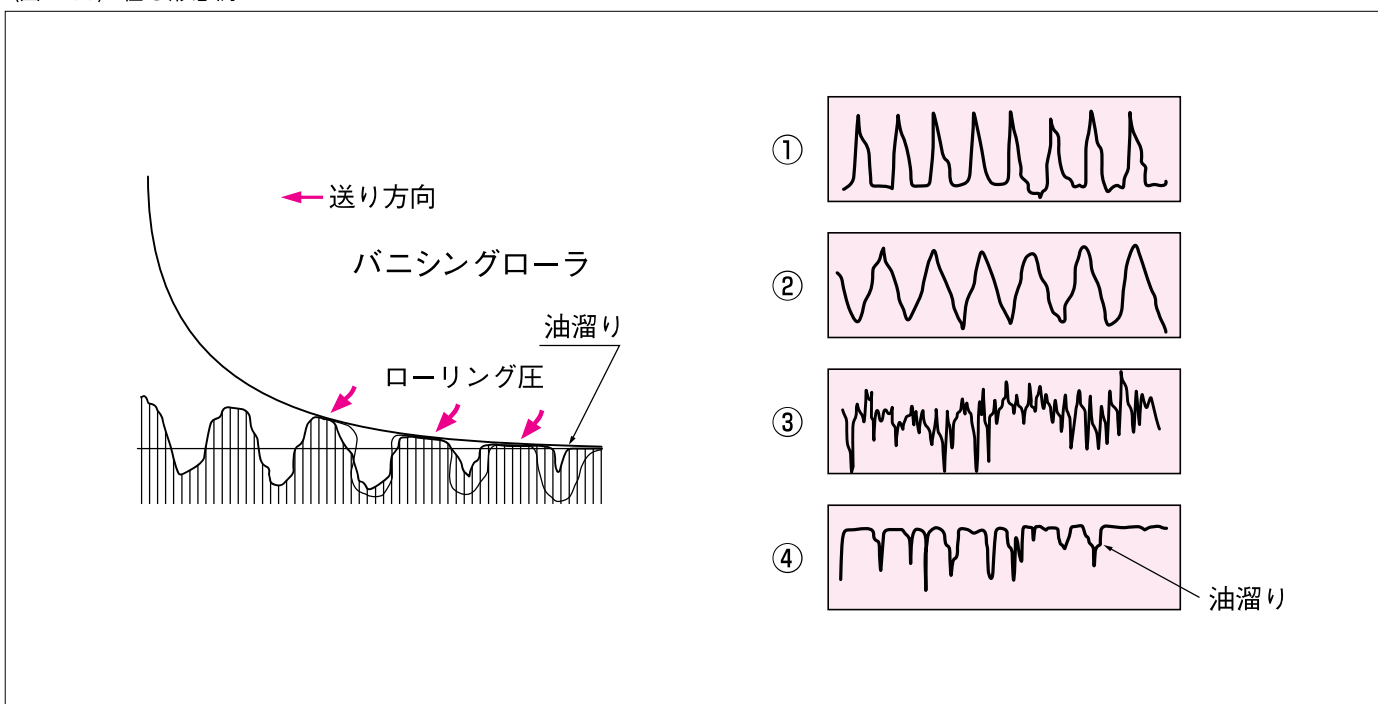
■相手しゅう動面粗さ

表面粗さはシールの性能・効率・寿命に大きく影響しており、粗さの大きさだけではなく、粗さの形態がとても重要になります。表面に山頂部(凸部)が存在するとシールは早期摩耗に至るケースがあります。

逆に谷部(凹部)が存在すると、それが油溜りとなりシールの摩耗が減少し、耐久性が向上します。

このことから、山頂部を塑性変形させて平坦にするために、シリンダチューブ内面にはローラバニシング仕上げ(RLB)、ロッド表面にはバフ仕上げ(SPBF)を推奨しています。

〈図H-30〉粗さ形態例



①～④は、表面粗さの形態例です。

④は、仕上面にローラバニシング仕上げを施した場合の粗さ形態です。

粗さの山頂部(凸部)が塑性変形して平坦になり、谷部(凹部)には油溜りが形成され、シールの磨耗が少なくなり耐久性が向上します。

■溝底粗さ

一般にパッキン装着溝は旋盤で加工されるため、らせん状に連続した加工目(粗さ)を有しますが、パッキン材料は柔軟性を有するため、粗さの谷部を埋めることで、加工目は油漏れの流路となりません。しかしながら、粗さが大きい場合には、粗さの谷部を埋めることができずに流路が形成され漏れが発生します。パッキンのしゅう動面は、パッキンの摩耗問題が生じるため、適切に管理されている場合が多いのに対し、装着溝底面の粗さについては、加工の難易度も高いことから、

十分に小さな粗さ管理ができていない場合、漏れに至る場合があります。溝底粗さの許容値については、柔軟性の高いニトリルゴム等のゴムでは $6.3\mu\text{mRz}$ 以下、比較的剛性の高いアイアンラバーの場合、 $3.2\mu\text{mRz}$ 以下にする必要があります。ただし、相手粗さへの追従性は、ゴム材料以外に、押しつけ力(緊迫力)の影響も受けるため、同一材料でもパッキン形状で差が生じる可能性があります。

※粗さ表示は JIS B 0601:2001 に基づく。

15. シーリングシステム（組合せ効果）について

■建設機械用長寿命システムの例

建設機械用シリンダは油圧シリンダの中でも、圧力、温度等の使用条件が過酷です。また、屋外で使用されることから外部ダスト条件も厳しく、使用されるシーリングシステムは過酷な条件への対応が要求されています。このため、従来のロッド用シーリングシステムは、高強度なアイアンラバーのバッファリング・ロッドシール・ダストシールを組合せたタイプが主流でした。

これに対し、近年 性能向上・寿命延長を狙いとして、ロッドパッキンのニトリルゴム化が進んでいます。ニトリルゴムは、

アイアンラバーに比べ、低温 偏心 追従性やへたり寿命に優れることから、ロッドシールのニトリルゴム化で、低温での密封性、および耐久性が改善されます。

ただし、ロッドパッキンのニトリルゴム化には、ニトリルゴムがアイアンラバーに比べ強度が低いため、バッファリングの併用が前提になります(図H-31・32)。

この例に示す通り、長期に渡り優れた密封性能を確保するためには、個々のパッキン選定のみならず、システム構成についても十分な検討が必要です。

〈図H-31〉 建設機械油圧シリンダ用シーリングシステムの例

ピストン部	ロッド部

〈図H-32〉 材料面での各パッキンの特徴

	形 状	材 料	主な機能	特 徴
ピストン部	① ② ③	① PTFE: レアフロン ② PA: ポリアミド ③ NBR: ニトリルゴム	油圧保持	摩擦摩耗特性に優れる PTFE 製シールリング①を使用。また、PTFE のクリープ特性と耐圧性を補うため、NBR 製バックアップリング③と PA 製のバックアップリング②との組合せ品としている。
		PTFE: レアフロン	油中異物除去	油中異物を掻き落とすのみならず、PTFE の塑性変形性を利用し、自身に埋没させ捕捉することでピストンパッキン部への異物の介在を抑制。
		PTFE: レアフロン	軸受	摩擦特性に優れる PTFE の適用で、スティックスリップの発生を抑制。横荷重の大きな用途には、より弾性の高い布入りフェノール樹脂が使用される。
ロッド部	① ②	① PUR: アイアンラバー ② PA: ポリアミド	ロッドパッキンへの衝撃圧の緩衝	高い圧力が作用することから、強度と柔軟性を兼ね備えた PUR を適用し耐圧性を補うため、PA 製バックアップリング②との組合せ品としている。
	① ②	① NBR: ニトリルゴム ② PTFE: レアフロン	外部への油漏れ防止	クリープ特性に優れる NBR の適用で耐久性向上。耐圧性を補うため PTFE 製バックアップリング②を併用(②が PA では①との強度差が大きく、①にくわれが生じ不適)。
	① ②	① PUR: アイアンラバー ② SPCC	外部からの異物浸入防止	ハードな外部ダストに対応するため、高強度で、塑性変形しにくい PUR を適用。

16. ブリスタについて

■現象

ブリスタは、シールのしゅう動部近傍に発生する水泡、気泡などの発泡現象をいい、シールに浸透した液体がしゅう動発熱により気化し、形成されます。

パッキンの場合、高圧で使用するため、シールのしゅう動面近傍で発生したブリスタは、その近傍部がしゅう動することで、フリクションにより剥離に至ることがあります(図H-33)。

■発生しやすい条件

揮発性の油を使用する場合に、高温となる使用条件下(高温・高速・高圧)で発生することがあります。また、揮発性の異油が使用油に含まれることで発生するケースもあります。

■対策

ブリスタは、使用する油・使用条件によるため、パッキンのみで対策することはできませんが、低摩擦の材料、例えば、レアフロンを用いた組み合わせシールや、潤滑性を改善したUパッキン(例えばOUHR)を使用するとしゅう動発熱を抑えることで効果があります。

〈図H-33〉パッキンでの一例(ブリスタ発生⇒剥離)

