

A. NOK ハイドロリックシーリングシステムとは

■ ハイドロリックシーリングシステムとは

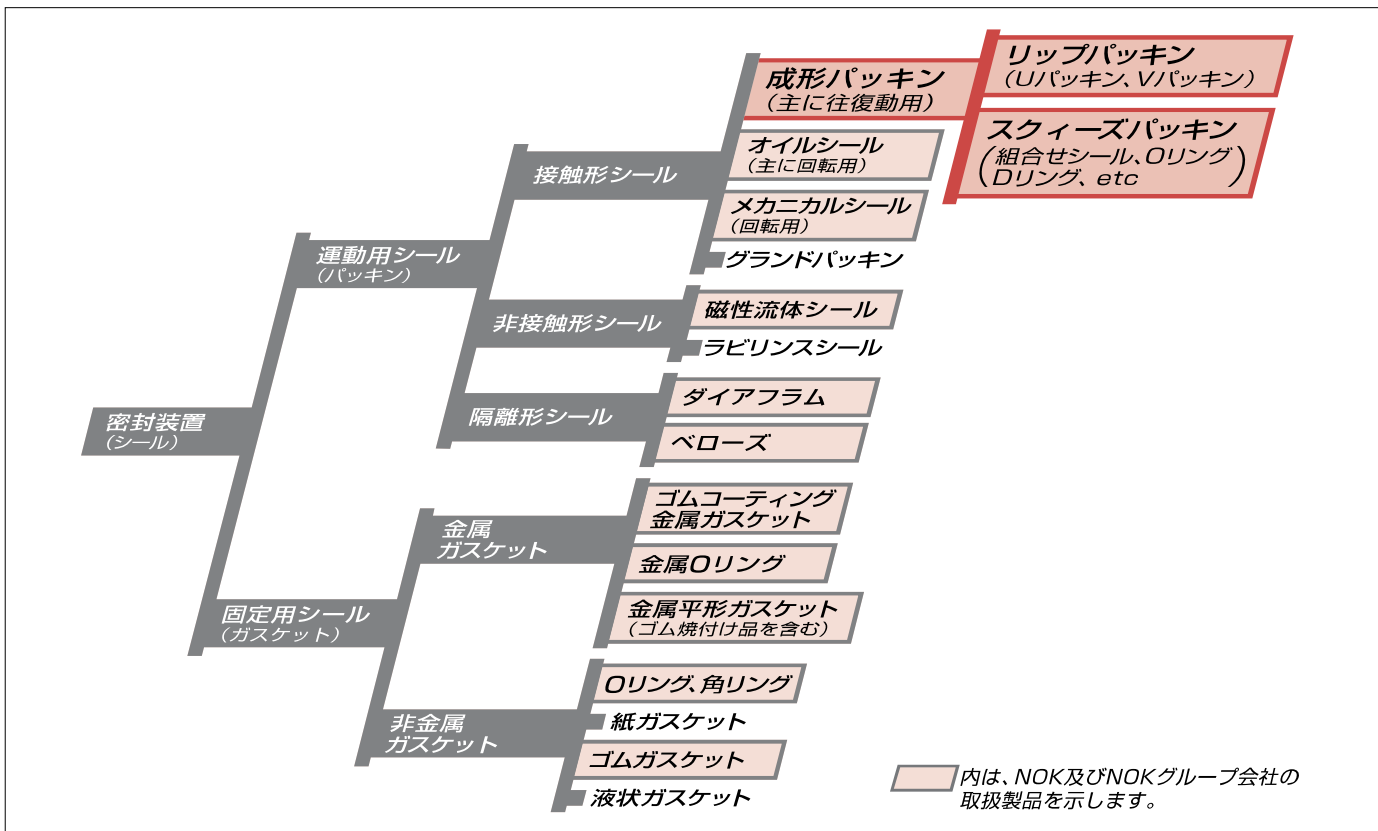
油圧機器の運動部（主として往復動）に使用される密封装置（シール）の総称で、用途に応じて各種シールを組み合わせて使用します。

このようなシールする働きを持つ装置は

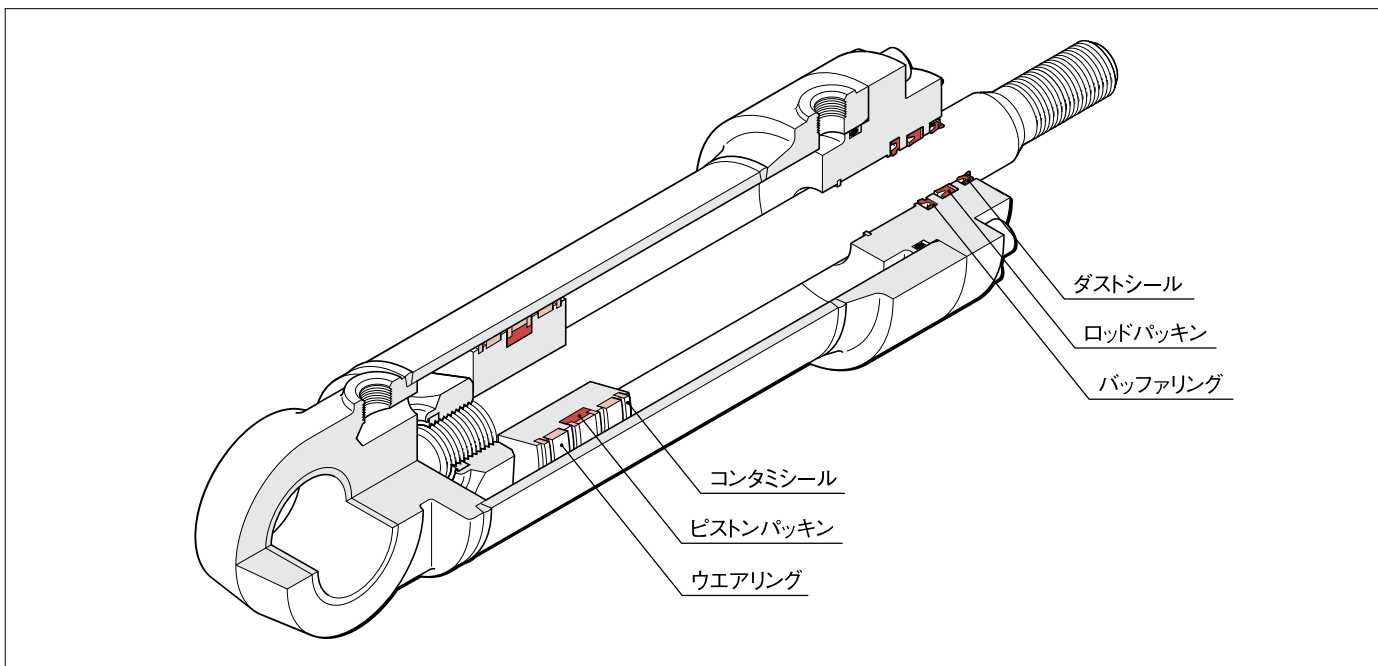
その用途、形状、材料に応じて次のように分類されています。なかでも、リップパッキンは往復動部分に最も多く使用されているシールです。

なお、油圧シリンダに使用された例を図A-1に示します。

密封装置の分類



〈図A-1〉 油圧シリンダに使用された例



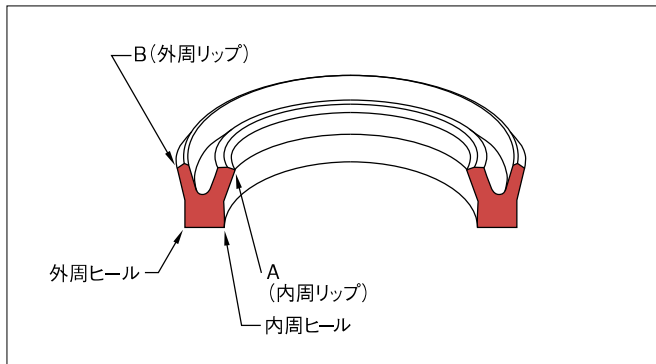
NOK はハイドロリックシーリングシステムとして使用条件や用途に応じた各種の密封装置を効果的に組み合わせた使用方法をおすすめています。

■リップパッキンとはどのようなパッキンでしょうか

代表的な U パッキンを例にとり説明します。

U パッキンとは名前のとおり、断面が図A-2のようにU字形に凹んだ溝がついたパッキンの総称です。このパッキンのAの部分を内周リップ、Bの部分を外周リップといいます。リップの反対側をそれぞれ内周ヒール、外周ヒールといいます。

〈図A-2〉 U パッキン

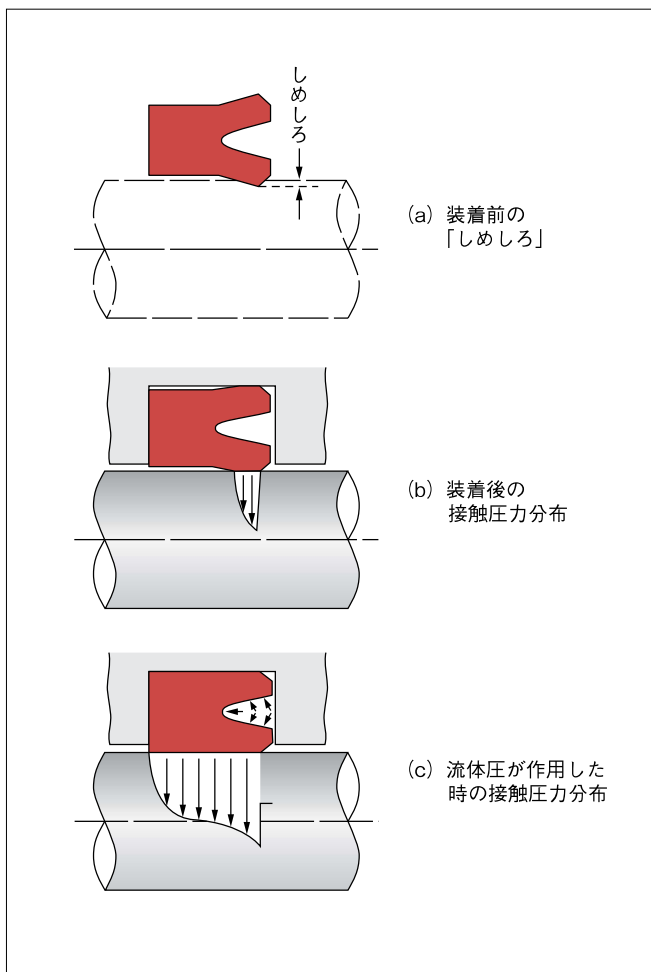


Uパッキンは取付溝に装着されると図A-3のように「しめしろ」分だけ変形し、リップ部がロッドに接触します。さらに、流体圧(油圧)を加えていくと、Uパッキンのヒール部まで変形し、しゅう動面全体がロッド面に密着ようになります。

このリップ部とヒール部の接触圧力分布の状態が、リップパッキンの密封性と密接な関係にあります。

密封性と接触圧力分布形状との関係はA-4 ページで説明します。

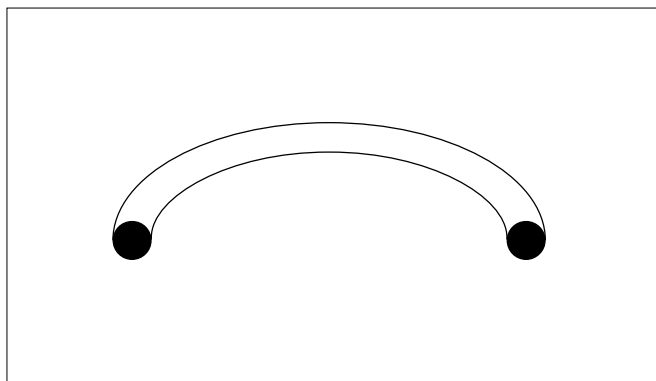
〈図A-3〉 U パッキンの接触圧力分布



■スクィーズパッキンとはどのようなパッキンでしょうか

このパッキンは、名前のようにゴム状弾性体を相手面に圧着させてシールします。

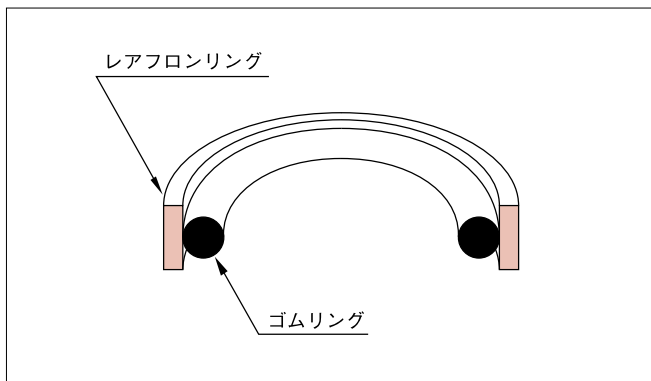
〈図A-4〉 O リング



代表的なスクィーズパッキンには、断面がO形をしたOリング(図A-4)がありますが、断面を圧縮変形させてシールするので接触面に大きな力が作用します。このため、摩擦抵抗が大きく、しゅう動摩擦熱も高くなり、寿命が短くなってしまいます。

しゅう動抵抗を小さくし、摩擦熱を低くするには、圧縮変形を小さくすればよいのですが、密封性が低下してしまいます。

〈図A-5〉 組合せシールの例



このような欠点をなくすため、しゅう動面に低摩擦のレアフロン(PTFE)を用いた組合せシール(通称SPシール)が開発されました(図A-5)。

リップパッキンと比較するとシール性は劣りますが、しゅう動抵抗が小さいので、油圧シリンダのピストンパッキンとして多く使われています。

■ 密封機構

往復動パッキンは、どのようなメカニズムで、油をシール (seal, 密封) しているのでしょうか。ここでは、Uパッキンを例にとり説明します。

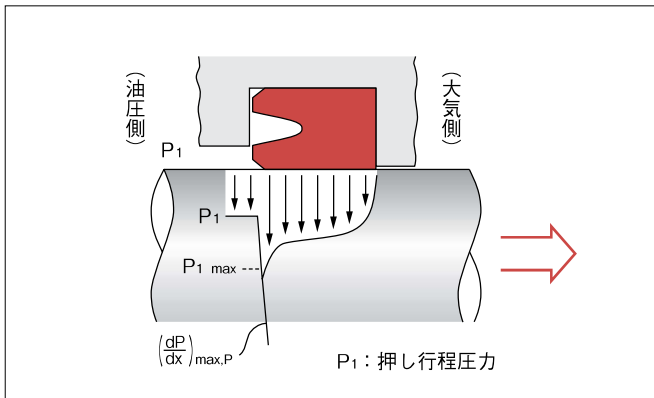
図A-6のようにロッドが右側に運動するとき、Uパッキンは内圧 (P_1) より高いピーク圧 ($P_{1\max}$) の圧力分布でロッドと接触しています。この圧力分布の油圧側の最大接触圧力勾配の絶対値 $|dp/dx|_{\max,P}$ が大きいほど、パッキンを通過する油膜は薄くなります。

反対に、Uパッキンに内圧 (P_2) が作用しロッドが左側に運動する場合 (図A-7) パッキンを通過する油膜の厚さは大気側の最大接触圧力勾配の絶対値 $|dp/dx|_{\max,M}$ に左右されます。

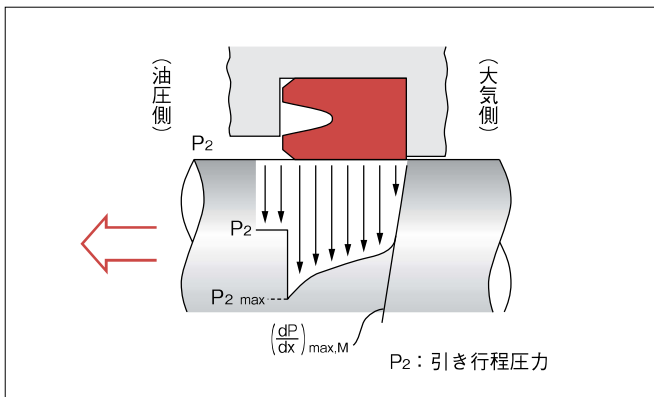
往復動パッキンのしゅう動面には、摩耗を少なくするために油膜が必要です。

このためNOKでは適量の油膜が形成出来るバランスのとれた接触圧力分布のパッキンを設計しています。

〈図A-6〉 接触圧力分布 (押し行程)



〈図A-7〉 接触圧力分布 (引き行程)



しゅう動面の最小油膜厚さ h は、最大接触圧力勾配の他に、速度、油の粘度の影響を受け (1) 式のように求められています。

$$h = \sqrt{\frac{8\mu U}{9|dp/dx|_{\max}}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

μ : 油の粘度
(Pa・s)

U : 速度 (m/s)

$|dp/dx|_{\max}$: 最大接触圧力勾配の絶対値
(Pa/m)

油圧シリンダの場合、押し行程 (ロッドが伸びる行程) で発生する油膜厚さ (h_P) と引き行程 (ロッドが縮む行程) で発生する油膜厚さ (h_M) は (2) 式、(3) 式で与えられます。

$$h_P = \sqrt{\frac{8\mu U_P}{9|dp/dx|_{\max,P}}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$h_M = \sqrt{\frac{8\mu U_M}{9|dp/dx|_{\max,M}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

U_P : 押し行程の速度 (m/s)

U_M : 引き行程の速度 (m/s)

$|dp/dx|_{\max,P}$: 押し行程での油圧側の最大接触圧力勾配の絶対値
(Pa/m)

$|dp/dx|_{\max,M}$: 引き行程での大気側の最大接触圧力勾配の絶対値
(Pa/m)

従って、押し行程、引き行程の速度が同じ ($U_P = U_M$) ならば、 $h_P \leq h_M$ が密封の条件となり、

$$|dp/dx|_{\max,P} \geq |dp/dx|_{\max,M}$$

のパッキンはシール性がよいといえます。

■潤滑特性

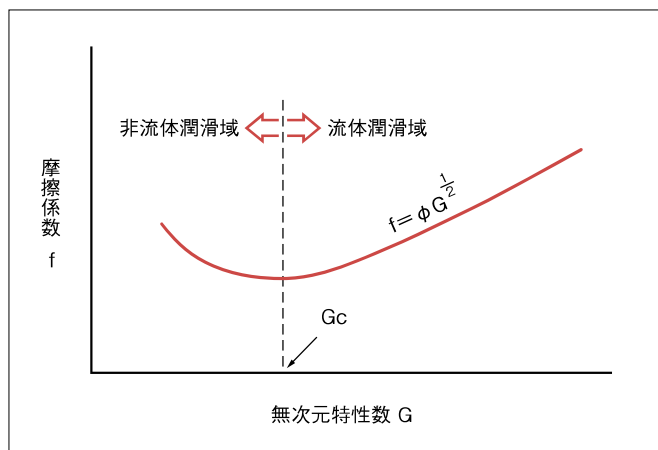
往復動パッキンは、しゅう動面の摩耗が少なく、寿命が長いことが重要な製品特性の1つとなっています。

摩耗を少なくするため、往復動パッキンのしゅう動面には適量の潤滑油膜が必要ですが、使用条件によって潤滑特性はどのように変化するのでしょうか。

往復動パッキンしゅう動部の潤滑状態をマクロ的に把握するためには、作用する圧力、速度、油の粘度を変化させたときの摩擦特性を知ることが必要です。

ここでは、油圧シリンダのロッド用Uパッキンの場合について説明します。Uパッキンの形状、使用条件によって決まる無次元の特性数(摩擦特性数)Gと摩擦係数fとの関係が図A-8のように得られています。摩擦係数が正の勾配になっている領域は潤滑理論において、流体潤滑として説明されています。この領域では、マクロ的にみるとパッキンとロッドとは油膜を介して接触し、相対的な往復運動があってもパッキンの摩耗はなく、長寿命が確保されています。摩擦係数fが負の勾配になっている領域では、パッキンとロッドとの間の油膜は破断され、非流体潤滑域とよばれています。

〈図A-8〉無次元特性線図例 (Uパッキン)



ただし

- f：摩擦係数
- φ：油膜の状態により定まる定数
- G：無次元特性数 ($= \mu LU / Pr$)
- Pr：パッキンの緊迫力 (N)
- μ：油の粘度 (Pa·s)
- L：軸の周長 (m)
- U：速度 (m/s)

流体潤滑域から非流体潤滑域に移行する無次元特性数Gcは、パッキンの最大接触圧力勾配、ロッド表面粗さによって異なり、(4)式で求められます。

$$G_c = \frac{9}{8\pi} \left(\frac{b}{\bar{p}} \right) \left| \frac{dp}{dx} \right|_{\max} \left(\frac{R_z}{b} \right)^2 \quad \dots\dots (4)$$

ただし

- b：パッキン接触幅 (m)
- $\bar{p}$ ：パッキン平均接触圧力 (Pa)
- Rz：ロッド表面最大粗さ (m)

(注) 本カタログの表面粗さ表記は、JIS B 0601：2001 に準拠しています。

※緊迫力、拡張力について

ロッドパッキンやピストンパッキンが取付溝に装着され、相手面(ロッド表面やシリンダチューブ内面)と接触するとき生じる力をそれぞれ緊迫力、拡張力といいます。往復動パッキンの密封性は、押し行程、引き行程の最大接触圧力勾配の大小によって左右されるので、緊迫力、拡張力の大小だけで往復動パッキンの密封性を判断することはできません。