

回転用低トルクシール

1. はじめに

近年、様々な産業で盛んに取り組まれている地球温暖化対策に関連して、各種生産設備や装置類の省電力化・低発熱化などが求められるようになってきている。その中でも、日本が技術で世界をリードする工作機械は、数多くの市場を支える重要なものとして幅広く活用されていることから、グローバル規模での効果が期待されている。

このような背景を受けて、工作機械を含む回転機器の省電力・低発熱を実現するために、回転用低トルクシールとしてLFR SEAL[®]を開発した。

本報では、低トルクとする技術、及びLFR SEAL[®]について紹介する。

2. 求められる特性

回転機器の省電力・低発熱を実現するために求められる特性をTable1に纏める。

Table1 求められる特性

特性	内容
低トルク	回転トルクの低減
省スペース	取付けスペースのコンパクト化

3. 技術紹介

3-1) 低トルク

回転用シールを低トルクとするためには、摺動抵抗を低くする必要があるが、摺動抵抗は摩擦係数、及び相手シール面(回転軸)との接触面積、緊迫力に関係性がある。

トルクの算出式を次に紹介する。

- ・[トルク] $T = F \times d / 2000$
- ・[摺動抵抗] $F1 = \mu \kappa \times A \times Pg$ (圧力負荷時)
 $F2 = \mu \kappa \times Pf$ (非圧力負荷時)

- T : トルク [N・m]
- F : 摺動抵抗[N]
- d : 摺動部直径[mm]
- μ : 摩擦係数
- κ : 側圧係数
- A : 接触面積[mm²]・・・ $\pi \times d \times H$
- Pg : 内圧[MPa]
- Pf : 緊迫力[N]

このことから、LFR SEAL[®]は、 $\mu \cdot A \cdot Pf$ を低減することで低トルクとしている。

製品構成をFigure1、製品写真をFigure2に示す。

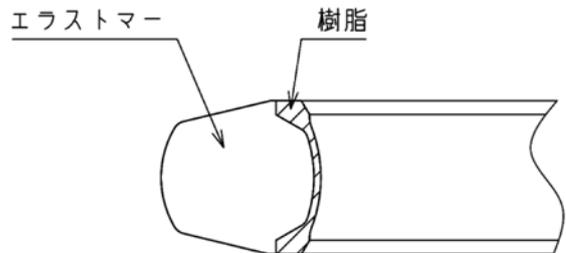


Figure1 LFR SEAL[®]の構成



Figure2 LFR SEAL[®]

① μ : 摩擦係数

回転軸と接触するシールの内面に摩擦係数の低い樹脂

を、エラストマーと同時成型することで複合化する。

② A: 接触面積

流体圧力が作用した場合でも、非圧力側のテーパ面が溝側面に接触するセルフシール時の傾きにより、回転軸と接触する円弧状シール面の接触面積をコントロールする。(Figure3参照)

こうすることで、圧力の上昇に伴う接触面積の増加を抑える。(Figure4参照)

③ Pf: 緊迫力

基部となるエラストマーの外径ボリュームを小さくし、シール面となる内面と外面を円弧状とすることで緊迫力を低減する。(Figure5参照)

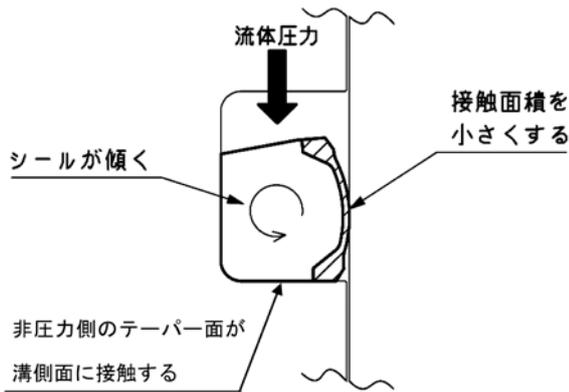


Figure3 接触面積のコントロール

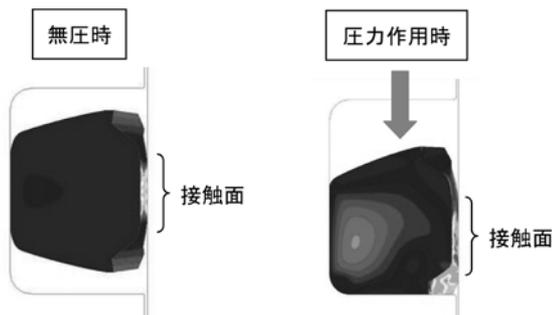


Figure4 接触面積の低減

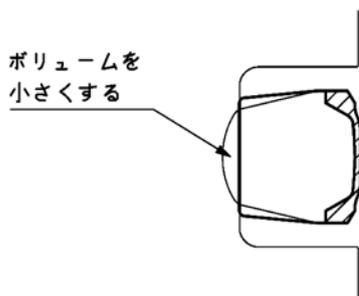


Figure5 エラストマー部の外径形状

3-2) 省スペース

LFR SEAL[®]は、回転用シールの取り付けスペースとして、汎用性が高く、規格が定められている溝寸法に適合するものとしている。

[適合溝]

- ・ JIS B 2406-P
- ・ ISO 3320

4. 機能評価

機能評価を回転軸φ100mmのFigure6に示す試験機にて、Table2の条件下で実施した結果、LFR SEAL[®]は低トルクで摺動特性に優れていることが検証された。評価結果をTable3、並びにFigure7～8に示す。

機能評価によって得られたLFR SEAL[®]の特徴を以下にまとめる。

- ・ 起動時のトルクが低い
- ・ 起動時と摺動時のトルク差が小さい
- ・ 圧力上昇に伴うトルクの増加が少ない
- ・ 長期にわたって漏れ量が極めて少ない
- ・ 回転速度3m/sでも良好なシール性能が得られる

(注) 連続回転時は発熱を抑えるための冷却が必要

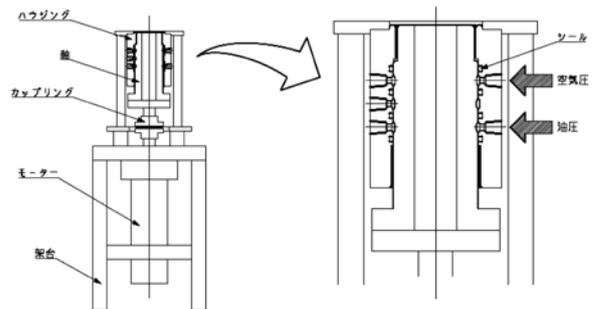


Figure6 試験機(概略図)

Table2 評価条件

溝寸法	Oリング溝 JIS B2406-P [φ100×φ110×G7.5]
シールサイズ	LFR 100
シール材質	NBR [B2560]+PTFE [3U8]
流体	作動油 空気
圧力	油圧 0 ⇔ 14 MPa 繰り返し 空気圧 0 ⇔ 0.7 MPa 繰り返し
温度	成り行き [~105°C]
速度	0.52m/s [回転数 100 min ⁻¹] 注: 初期評価では~3m/sまでの評価を実施
走行距離	1000km

Table3 評価結果

回転トルク 【油圧】 〔1pcあたり〕	起動トルク	6.6N・m〔0MPa〕
		20.7N・m〔7MPa〕
		25.1N・m〔14MPa〕
	摺動トルク	5.6N・m〔0MPa〕
		20.4N・m〔7MPa〕
		24.5N・m〔14MPa〕
漏れ量	作動油	0.03cc/100m 以下
	空気	1cc/min 以下
耐久性	走行距離	1000km 以上
装着性	—	JIS Oリングと同等

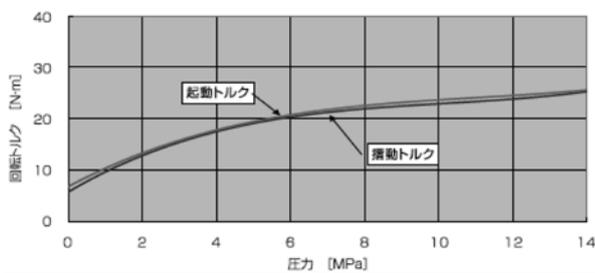


Figure7 回転トルクと圧力の関係(油圧 100min⁻¹)

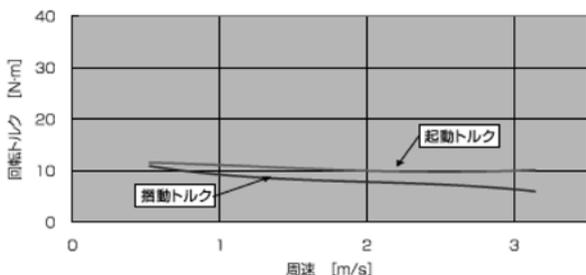


Figure8 回転トルクと速度の関係(油圧 3MPa)

5. 回転機器へのメリット

機能評価の結果に基づいて、LFR SEAL[®]を使用した場合の回転機器へのメリットをTable4に纏める。

Table4 回転機器へのメリット

LFR SEAL [®] の特性	回転機器へのメリット
低トルク	<ul style="list-style-type: none"> 省電力化 低発熱化 回転制御、位置精度の向上
起動時と摺動時のトルク差が小さい	<ul style="list-style-type: none"> 軸のスムーズな動き出し 残留トルクの低減 バックラッシュの軽減
流体圧力の上昇に伴うトルクの増加が少ない	<ul style="list-style-type: none"> 高圧環境下でもスムーズな軸動作 軸動作が流体圧力変動に影響され難い
高速回転まで良好なシール性能	<ul style="list-style-type: none"> 高性能化 高速化 生産能力の向上
長寿命	<ul style="list-style-type: none"> 機器信頼性の向上 メンテナンスの長期化 メンテナンスの削減

6. LFR SEAL[®]のラインアップ

LFR SEAL[®]のラインアップをTable5に紹介する。

Table5 LFR SEAL[®]のラインアップ

シリーズ名		LFR	LFRN
適合溝		JIS B 2406-P	ISO 3320
用途	ロッド用	回転/揺動	← 左同
使用範囲	圧力	~14 MPa	← 左同
	速度	~0.5 m/s	← 左同
	温度	-20~80 °C	← 左同
標準材質	エラストマー	NBR	← 左同
	樹脂	充填材入 PTFE	← 左同
サイズ (軸径) ○: 保有 —: 無	φ22.4	○	—
	φ25	—	○
	φ30	○	○
	φ35	○	—
	φ40	○	○
	φ42	○	—
	φ45	○	○
	φ50	○	○
	φ55	○	—
	φ60	○	○
	φ65	○	—
	φ70	○	○
	φ75	○	—
	φ80	○	○
	φ85	○	—
	φ90	○	—
	φ95	○	—
	φ100	○	—
	φ105	○	—
	φ110	○	—
φ120	○	—	

7. 使用実績の一例

現在、LFR SEAL[®]が使用されている実績の一例をTable6に紹介する。

Table6 使用実績

産業	機器
工作機械	マシニングセンタ
タイヤ	タイヤ成形機
自動車	ロータリージョイント
製鉄	ロータリージョイント
食品機械	ロータリージョイント
半導体	生産装置

8. ロータリージョイントの回転用シール

回転機器の駆動部を通る作動油、並びに空気などの圧力ポートは、Figure9に示すようなロータリージョイントの構造が採用されている。圧力ポートは使用する流体の数に合わせてそれぞれ設けられており、各圧力ポートを密封するために回転用シールが使用されている。一般的なシールとしては、汎用性が高く、コンパクトで取り扱いが容易なエラストマー製Oリングが使用されてきたが、漏れなどのトラブルが多いという問題点もあり、高性能化を阻害する要因となっていた。このような箇所にLFR SEAL[®]を使用することで、溝寸法を変更することなく、低トルクで摺動特性の優れたロータリージョイントとすることが可能となった。

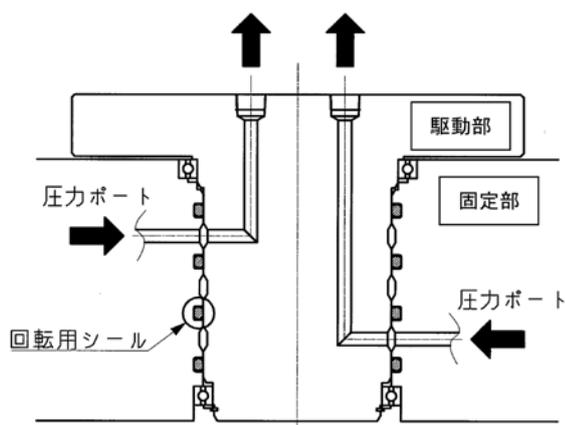


Figure9 ロータリージョイントへの使用例

9. その他の使用例

9-1) 真空用途

- ・ロボットの関節部
- ・半導体生産設備の回転導入部など

9-2) 食品機器用途

- ・攪拌機の軸回転部
- ・自動生産ラインの回転／旋回部など

9-3) 油空圧機器用途

- ・油圧シリンダ
- ・射出成型機
- ・モーター
- ・乾燥機(ドライヤー)
- ・コンプレッサー
- ・各種ポンプなど

10. おわりに

今まで使用されてきた回転用シールでは、実現することが困難であった回転機器の省電力化・低発熱化に対して、LFR SEAL[®]は有効な製品であると考えられる。更には、このLFR SEAL[®]の開発で得られた技術を応用することで、真空／空気圧市場や水圧市場へも用途展開が可能であると考えられる。今後も、様々な回転機器の多様化・高性能化に向けた製品開発を行っていきたいと考えている。

11. 参考文献

- 1) 南 暢, 永野 晃広 バルカー技術誌, No.21, 11-14(2011)
- 2) バルカー油圧用パッキン カタログ, No.LC10, 42 (2010)
- 3) バルカー回転用ローフリクションシール カタログ, No.LA08, 5 (2014)

(Abstract)

Nowadays, every industry is considering power-saving or low heat generation as measures against global warming. Japanese machine tool that is leading the world in technology, from the fact that it is widely used as an important position to support a number of markets, is expected the contribution to a global scale solution for the global warming.

In this paper, we introduced a low-torque technology for power-saving and low heat generation of the rotating equipment in machine tools. In addition, the LFR SEAL[®] using a low torque technology were also introduced.

To make the torque lower of rotating seal, it is necessary to lower the sliding friction. For this purpose, lowering the coefficient of friction and minimizing the contact area and the contact force were important. LFR SEAL[®] was developed by combining elastomer with low friction co-efficient material, controlling contact area by using self sealing mechanism under fluid pressure and reducing radial load by design. LFR SEAL[®] was expected to contribute to power-saving and low heat generation of rotating equipment.

Keywords:power-saving, low heat generation, low-torque, rotating equipment, LFR SEAL[®], rotating seal**(摘要)**

近年来，各种产业为了配合温室效应防治的大力推进，要求生产设备和各种装置省电低热。其中，日本在机床方面的技术处于世界领先地位，作为支撑众多市场的主要产品在各领域被广泛使用，其在全球范围内的效果值得期待。

本文对包括机床在内的旋转机械实现省电低热所需的旋转用密封的低扭矩技术及LFR SEAL[®]进行了介绍。

为了实现旋转用密封的低扭矩，需要降低滑动阻力，因此降低摩擦系数、接触面积和张紧力是非常重要的。因此本公司研发了LFR SEAL[®]，其设计理念为采用低摩擦系数的树脂与弹性体复合，通过流体压力作用时的自密封控制接触面积，采用能够抑制张紧力的形状，通过这种设计可以实现旋转机械的省电低热。

关键词:省电、低热、旋转机械、旋转用密封、低扭矩、LFR SEAL[®]**永野 晃広**

研究開発本部 開発部