

電動駆動ユニット向け低リーク・低トルクシールリングの開発

Development of Leakage and Friction Reduction of Seal Ring for Electric Drive Unit

NOK (正) *小林 謙太 (正) 吉田 勇介 (非) 渡部 浩二 (正) 水田 裕賢

Kenta Kobayashi, Yusuke Yoshida, Koji Watanabe, Hirotaka Mizuta

NOK CORPORATION

1. はじめに

近年、自動車の電動化が加速しており、電動駆動ユニット内のシール部品においても高効率化への貢献が求められている。油圧保持を目的とした樹脂製回転用シールリング(以下S/Rと呼ぶ)は、駆動ユニットのシャフト部分に複数個使用されており、特に常用領域となる低圧、高速しゅう動環境下での低リーク化、並びに低トルク化が求められている。

S/Rは、Fig. 1に示すように軸側に付与した溝へ装着する為、カット部分を有しており、シール媒体である油によりハウジング内周部(A面)と軸側面部(B面)に押し付けられ、油を封止しながら軸側面としゅう動する¹⁾。しかしながら、低圧環境では油圧による押し付けが小さく、S/R外周面とハウジング内周面に隙間を生じやすく、リーク量低減が難しい。本検討では、ハウジングへの追随性向上を目的にS/Rの形状検討を行うとともに、しゅう動面にFig. 2に示すようなテクスチャ形状^{2,3)}を付与することで、低リークと低トルクの両立を実現できたため、これらの検討結果を報告する。

2. シールリング(S/R)の低リーク化

一般的に、S/Rは低リークの観点からS/R外径をハウジング内径よりも大きく設計するため、ハウジングに挿入した際に曲率差を生じ、特にカット部近傍で隙間が生じやすい。そこで、カット部近傍へ向かってS/R断面剛性を低減するよう円周方向に非対称とすることで、ハウジングへの追随性を向上(外周隙間を低減)させる検討を行った。

外周隙間量は、Fig. 3に示すような円周上1ヶ所を径方向にストレートにカットしたS/Rのモデル試験片を用いて比較した。Table1に示す条件でS/Rをハウジングに装着し、投影機の光の漏れから隙間を計測(観察)した。また、同じ条件でFEM解析を実施した。

Figure 4に2種類の形状の解析結果と計測結果を示す。解析結果から、従来品の最大隙間量約0.02mmに対して、検討品は約0.002mmであり90%低減した。また、実際の観察でも絶対値は異なるが、解析と同様に検討形状で約90%の隙間低減が見られることから、非対称断面形状化によるハウジングへの追随性の向上を確認した。

3. シールリング(S/R)の低トルク化

テクスチャによる低トルク化^{2,3)}を非対称形状S/Rに適用する検討を行った。テクスチャを付与したS/R検討モデル形状をTable2に示す。S/R側面に付与するテクスチャは流体潤滑を前提にした数値計算にて検討を行った。数値計算では、最小膜厚を仮定して、テクスチャ1カ所のしゅう動面を対象とし、有限差分法によるレイノルズ方程式にて負荷容量を求めた。解析条件をTable3、解析結果をFig.5にそれぞれ示す。

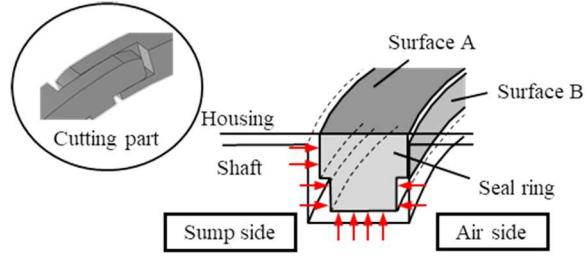


Fig.1 Cross section of seal ring¹⁾

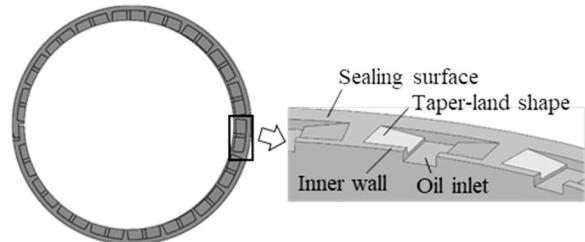


Fig. 2 Schematic of the developed seal ring

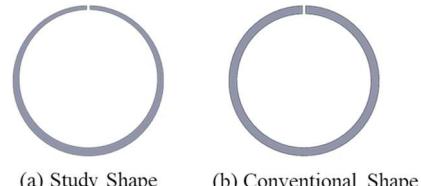


Fig. 3 Schematics of the modeled seal ring specimen

Table 1 Gap analysis and observation conditions

Conditions	Analysis	Observation
S/R outer diameter, ϕ	30.4	←
Housing inner diameter, ϕ	30	←
S/R elastic modulus, GPa	4	←
Temperature, °C	25	←

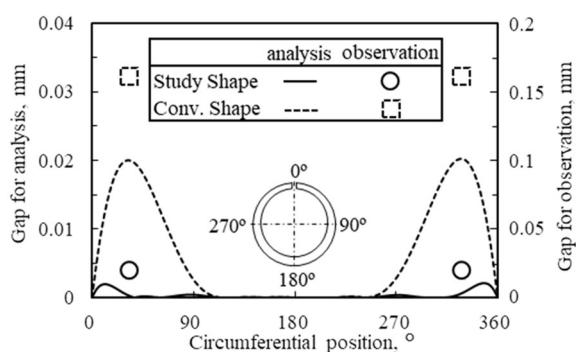


Fig. 4 Gap analysis result

検討モデルの Type-A および Type-C(従来テクスチャ S/R)は内周側のテクスチャの内壁を残した形状であり、Type-B はカット部の動圧溝幅を拡大するため、Type-A よりも T の比率を小さくして内壁を除去した形状である。Figure 5 に示すように、検討モデル Type-A では、カット部近傍で負荷容量が約 30% 低下する。円周上の負荷容量の偏りは、S/R の偏摩耗の懸念がある。これに対して、テクスチャ形状を見直した Type-B ではカット部近傍でも負荷容量の低下を 10% 程度まで改善した。

4. 低リーク・低トルク S/R の性能評価

検討モデル形状を作製し、リーク試験としゅう動試験を実施した。Table 4 に評価条件、Fig. 6 に評価結果を示す。Figure 6(a) に示すように、非対称形状化により、Type-B は、Type-C 対比、最大で約 50% のリーク量低減効果が認められた。また、Fig. 6(b) に示すように、しゅう動トルクはテクスチャ S/R (Type-C) とほぼ同等の結果となり、従来品(T 字断面)に対し、最大で約 70% のトルク低減効果が認められた。Figure 6(c) に示すように、摩擦係数と軸受特性数 G ($G = \eta u L / W$ η : 流体粘度 u : しゅう動速度 L : 接触幅 W : 接触荷重) の関係においても、Type-B は Type-C 同様、 G の増加とともに摩擦係数が一旦低下し、その後増加に転じる傾向を示した。高 G 領域 ($G > 10^{-7}$) における G 増加に対する摩擦係数の増加は、Fig. 6(c) 中に示す流体潤滑を前提とした数値計算結果とほぼ同じ傾きを示すことから、Type-B は従来テクスチャ S/R 同等の油膜形成能力が得られていると考える。

5. まとめ

S/R 断面形状を円周方向に三日月形となる非対称形状とし、その形状に適したテクスチャ形状を付与する事で、低圧時のリーク量を従来 S/R ならびに従来テクスチャ S/R 対比約 50% 減し、かつトルクを約 70% 低減する(テクスチャ S/R 同等とする) ことができた。今後、電動駆動ユニット以外の分野においても適用を検討し、ユニットの環境負荷低減に貢献したい。

Table 2 Modeled shapes of the seal ring

Model	Type-A	Type-B	Type-C
Shape			
Cutting part			
T_2	$0.7 \times T_1$	$0.85 \times T_1$	T_1
Inner wall	With	Without	With

Table 3 Conditions for numerical analysis

Size, ϕ	65
Hydraulic pressure, MPa	1
Sliding speed, m/s	27.2
Oil viscosity, Pa·s	6.6×10^{-3}
Min. film thickness, μm	1.5

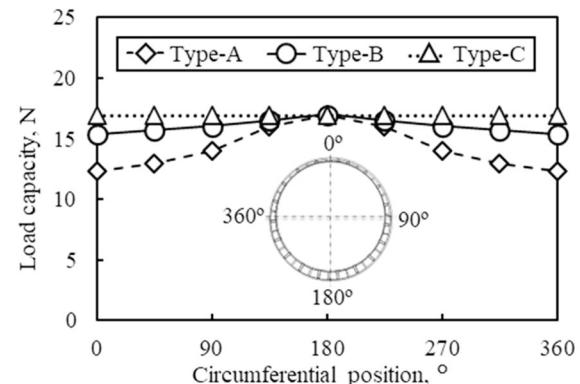


Fig. 5 Numerical analysis results

Table 4 Test conditions

Conditions	Seal test	Sliding test
S/R diameter, ϕ	65	—
Temperature, °C	0~120	80
Hydraulic pressure, MPa	0.02	0.5
Rotation speed, rpm	0	500~8,000
Hydraulic head, mm	136	—
Oil	ATF	—

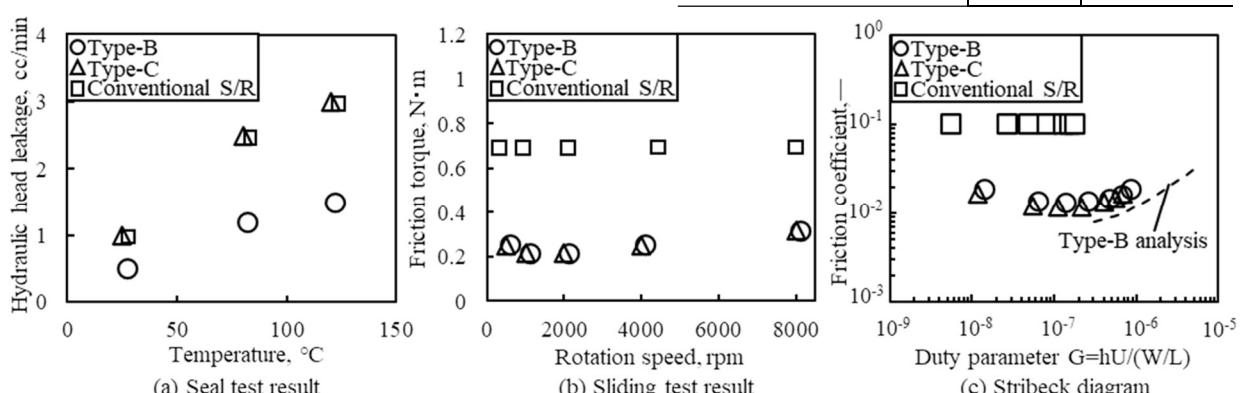


Fig. 6 Test results

参考文献

- 1) T. Kuroki and M. Sowa, "Investigation of Leakage Phenomena and Improvement of Sealing Performance of Seal Rings Used for Rotary Shafts of Automatic Transmissions", SAE Tech Paper 910534, 1991.
- 2) Watanabe, K. et.al. "A Study on the Friction Reduction of Seal Rings for Automatic Transmission by Applying Surface Texture," 19th ISC, 2016 (in Stuttgart, Germany).
- 3) 関, 吉田, 石岡, 細江, 徳永 : テクスチャ付与による自動変速機用低トルクシールリングの開発, トライボロジー会議 2019 春 東京, 2019.