

自動車ホイール軸受用シールの技術開発（泥水性能, 低温環境, 超低トルク）

Technical Development of Automotive Wheel Bearing Seals

(Muddy Water Resistant Seal, Low-Temperature Environment Seal, Super Low-Torque Seal)

滝本将生 M. TAKIMOTO 石川鉄也 T. ISHIKAWA 原田勝之 K. HARADA

In regard to automotive wheel hub units, customers traditionally have sought improvements such as longer service life, higher rigidity and reductions in size and weight, but in recent years, demands have been increasing for such seal-related requirements as improved muddy water resistance and lowered torque. The seal is an important hub unit component that functions to prevent water and foreign matter from entering the bearing interior. This report introduces seal-periphery rubber molding processing, which is a muddy water intrusion prevention measure, a low-temperature seal for securing muddy water resistance in cold regions, and a super low-torque seal with muddy water resistance maintained.

Key Words: hub unit, seal, muddy water, low torque, low temperature

1. はじめに

軸受用シールは、一般に軸受内部への異物侵入や軸受用グリースの漏れ防止の目的で装着される。自動車用、とりわけSUVや商用トラック用ハブユニットに装着されるシールは、砂漠から極寒地までのあらゆる過酷な外部環境で使用される。そのため、たとえシールの装着部周辺にさびが発生した場合でも軸受の大敵であるダストなどの異物、あるいは泥水や凍結防止剤（塩化カルシウムなど）を含んだ水が軸受内部に浸入するのを防止しなければならない。しかしながら、単にシールリップのしめしろを増やすだけではしゅう動トルクや温度が上昇してしまうばかりか、シールリップ摩耗も進行し、逆にシールやハブユニットの信頼性を低下させることもあるため、適切なアプローチが必要である。

一方、乗用車用ハブユニットにおいては、外部環境はSUVほど過酷ではないが、耐泥水性能は最も重要である。そのうえ、近年の地球環境問題の対応から、耐泥水性能を維持しつつ、しゅう動トルクを低減させ、CO₂削減に貢献することも必要である。

本報では、車両の使用環境に対応した自動車用ハブユニットの泥水浸入防止、低温環境用シール、および地球環境保護に対応した超低トルクシールについて紹介する。

2. 泥水浸入防止

2.1 軸受内部への泥水浸入経路

軸受内部の潤滑を維持し、信頼性を確保するため、重要な機能を担っているシールにより軸受の密封性を確保している。ホイール部品からハブユニット本体へ泥水が到達した後の軸受部への泥水浸入経路は、シールと外輪とのはめあい部（毛細管現象による浸入）と、シールしゅう動部（シールリップの摩耗による浸入）の2か所である。その詳細を図1に示す。

通常、シールリップ部はリップ形状、リップ角度、およびしめしろ（シールリップとハブシャフト間のはめあいしめしろ）が適正に設計されており、十分な密封性を確保できている。しかし、シール外径のはめあい部からの浸入に対してはさらなる改善が必要であり、評価を通して最適仕様を検討した。

シール外径のはめあい面からの水浸入防止のため、シールリップ成形時にシール外径面にもゴムをモールドしているが、市場での被水環境が極めて過酷な場合に当部位から金属はめあい面を通り軸受内部へ水が浸入し、潤滑不良になり軸受部から異音が発生するという事例が報告されている。図2に水浸入例を示す。

当社では過酷な被水環境に十分対応可能な軸受を提供するため、軸受密封性向上に継続的に努めている。その取組み内容を紹介する。

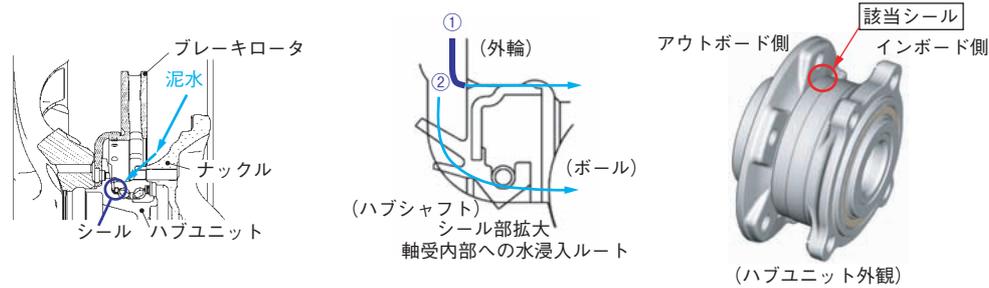


図1 ハブユニットへの泥水浸入経路
Intrusion route of muddy water into hub unit

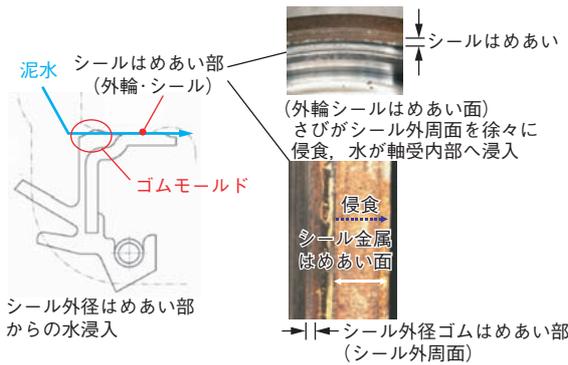


図2 シールはめあい部からの水浸入
Water intrusion from seal fitting portion

2.2 泥水浸入対策

市場での実績からシールの耐泥水性能を現行品より50%向上させることを目標とし、シールはめあい部の最適化を検討した。

実験計画法に基づきはめあい部の最適仕様を選定し、複合腐食試験にてその効果を検証した。

2.2.1 最適仕様

耐泥水性能向上策として、寄与度が高いと考えられる4項目について数種の組合せの仕様を選定した。組合せを表1に示す。

表1 仕様
Specifications

項目	内容	仕様
1	シール外径ゴムはめあいしめしろ (径方向)	計3パターン
2	シール外径ゴムはめあい長さ	計3パターン
3	外輪シールはめあい面粗さ	計2パターン
4	外輪シールはめあい面真円度	計2パターン

2.2.2 対策効果

各仕様の効果確認および最適仕様の選定は実験計画法に基づきL₂₇直交試験にて実施した。試験は軸受相当の治具にシールを圧入し、シールへ塩水を噴霧する方法で軸受内部へ水が浸入するまで実施した。

試験方法を図3に示す。

- ・複合腐食試験

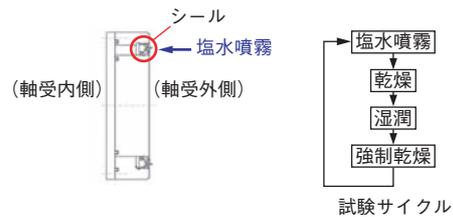


図3 試験方法
Test method

試験完了後のシール外径はめあい部の状況を図4に示す。市場での水浸入の発生状況と同様、シール外径ゴム部から水が浸入し、金属はめあい部を腐食させた後、軸受内部への水浸入が見られた。



図4 試験完了後のシール外径はめあい部（一例）
Example of seal outside diameter fitting portion after test

試験結果から、各対策の効果を検証するため、分散分析を実施した結果、シール外径ゴムはめあい長さとしめしろが耐泥水性能に大きく寄与することが判明した。分散分析結果を表2に、浸水までの試験サイクル数を図5に示す。

表2 分散分析結果（複合腐食試験結果）

Dispersion analysis results (combined corrosion test result)

因子	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	寄与率	判定
A：シール外径ゴムはめあいしめしろ	269.6	2	134.8	110.3	0	18.4	**
B：シール外径ゴムはめあい長さ	548.7	2	274.3	224.5	0	37.6	**
C：外輪シールはめあい面粗さ	96	1	96	78.6	0	6.5	**
D：外輪シールはめあい面真円度	66.7	1	66.7	54.6	0	4.5	**
E：外径ゴムはめあいしめしろ×外径ゴムはめあい長さ	198.4	4	49.6	40.6	0	13.3	**
誤差	19.6	16	1.2			19.7	
合計	1 198.9	26				100.0	

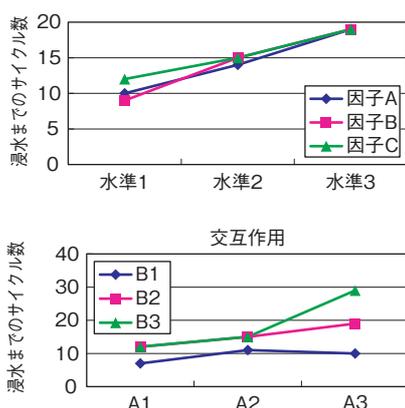


図5 浸水までの試験サイクル数

Number of test cycles until water immersion

シール外径ゴムのはめあいしめしろが大、はめあい長さが大、および外輪シールはめあい面粗さが小に伴い、シールの特性値が大となり、シール外径ゴムのはめあいしめしろ、およびはめあい長さが大きいほど、耐泥水性能が向上する結果となった。

シール外径ゴムのはめあいしめしろ、およびはめあい長さの増加による背反を考慮した最適仕様と現行仕様品の耐泥水性能比較試験結果を図6に示す。

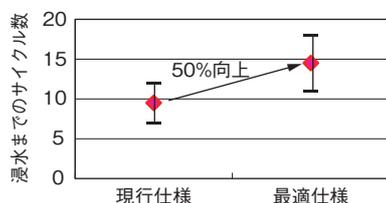


図6 最適仕様と現行仕様との耐泥水性能比較試験結果

Comparison of muddy water resistance testing between optimum specifications and current ones

最適仕様のシール性能は現行仕様より50%向上し、目標を達成した。

3. 低温環境対応シール

ロシアでは2008年まで自動車の年間販売台数が年々増加してきたが¹⁾、道路事情が悪いうえに温度環境が -40°C 以下に達する極寒地域もある。このような極寒地（ロシア、アラスカ、カナダなど）環境においてもシール機能を失わないことが必要と判断し、材料チューニングから効果の検証までを行った。目標は、低温環境におけるシール性能を従来比5倍とした。

3.1 水浸入に至る理由

軸受内部に水が浸入する理由はさまざまある。被水環境条件が厳しいアクスル構造、シールの製造不具合、シールの取付け不具合、長期使用による劣化などが挙げられる。ロシアで使用された製品の特徴として軸受の泥付着が著しい場合が多い。つまり、被水環境条件が厳しいと推定された。

周辺構造を見直し、被水環境条件を緩和することで大幅な性能向上が期待できるが、同時にシールの耐泥水性能も向上させることで一層の対策効果が期待できる。当社ではロシア市場と市場回収された現品の調査観察から、以下のように水浸入のメカニズムを推定した。

- (1) 冬季に気温が下がる
- (2) 低温により、シールゴム材（ニトリルゴム）が硬化・ぜい化する
- (3) 硬化・ぜい化により、シールリップ反力が低下する
- (4) 走行時に、泥塩水にさらされる
- (5) 泥塩水が、シールリップ部から軸受内部に浸入する
つまり、冬季（低温時）にシールゴム材が弾性を失うため、シール性能を発揮できないものと推定した。

3.2 ゴム特性

低温環境においてもシールゴム材が硬化・ぜい化しないようにゴム材料を改良するため、目標特性を以下のように設定した。

- (1)弾性 10% 回復温度 (TR10) $\leq -40^{\circ}\text{C}$
- (2)その他の物性値（硬さ、引張り強さ、伸び、耐油性）は従来品と同等

TR：Temperature-retraction.

TR 試験：伸張後低温で凍結された試験片が、温度上昇に伴い弾性を回復して一定の収縮率を示す温度を測定することによって、低温特性を評価する試験（JIS K 6261）。

改善されたゴム材の TR 線図を図 7 に示す。

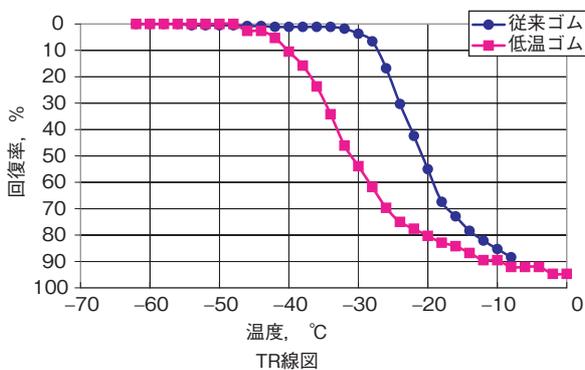


図 7 TR線図
TR diagram

3.3 評価結果

シール単体で耐久試験を実施し、以下の結果を得た。評価シールの断面を図 8 に示す。

シール寸法： $\phi 63 \times \phi 76.9 \times 4.9$ (mm)

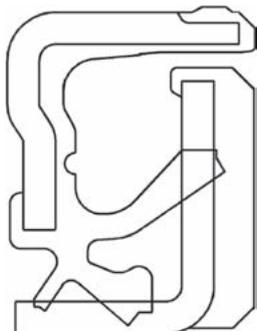


図 8 評価シールの断面
Cross section of tested seal

試験条件を表 3 に、結果を図 9 に示す。

表 3 低温泥塩水耐久条件
Conditions for low-temperature muddy saltwater durability

試験	シール単体試験
回転速度	$0 \Leftrightarrow 500 \text{min}^{-1}$
温度	-20°C
密封対象	関東ローム粉, NaCl, 水 (質量比 1 : 2 : 7)
塩水量	軸中心高さまで塩水を充填

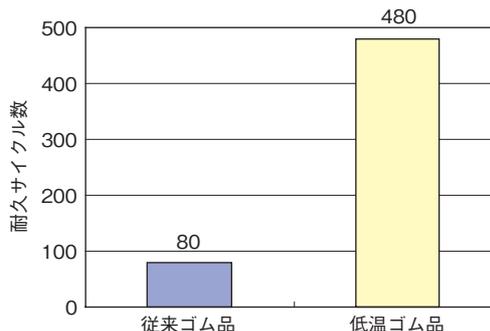


図 9 低温泥塩水耐久試験結果
Low-temperature muddy saltwater durability

低温ゴム品は -20°C におけるゴム弾性回復率向上の効果により、従来ゴム品の 5 倍以上の耐久性を示した。

常温においては、従来ゴム品と同等の耐泥水性能が確認された。

また、高温域の強度低下やしゅう動トルク変化などが懸念されたが、当社の標準試験法で評価を実施したところ、従来ゴム品と同等性能を有することが確認された。

4. 超低トルクシールの開発

地球温暖化防止の強化推進策として、欧州では 2012 年より新車の CO_2 排出量は $120 \text{g}/\text{km}$ 以下に法規制される。また、米国での CAFE 燃費規制は 2020 年まで毎年段階的に強化され、世界の自動車市場では燃費向上が急務となっている²⁾。

当社では、自動車の燃費低減にこたえるために、ハブユニットの低トルク化に取り組んでいる。図 10 にハブユニットにおける各要因のトルクへの寄与度³⁾を示したが、シールトルクの寄与度は非常に高い。したがって、ハブユニットの低トルク化を図るためにはシールの回転トルクを低減させることが有効である。

当社では、これまでもハブユニット用シールの低トルク化に取り組んでおり、シールトルク 40% 低減（従来シール比）の低トルクシールの開発を完了し、量産化

している。今回、低トルクシールに対し、さらなるトルク低減と同時に耐泥水性能を向上させた超低トルクシールを開発した。

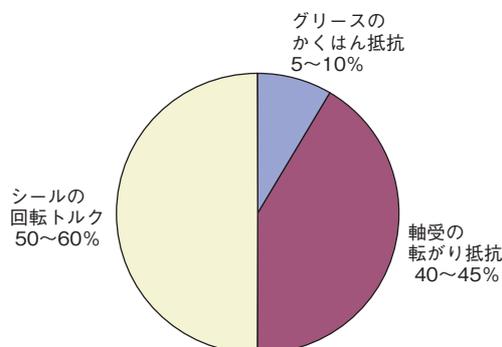


図10 ハブユニットにおけるトルク寄与度
Torque contribution ratio of each factor in hub unit

4.1 目標性能

取り巻く環境の変化から年々ニーズが高まるトルクの低減と、ホイール用軸受で市場不具合が最も多い軸受内部への水浸入に対してさらに性能を向上させるため、以下の目標を設定した。

- ・低トルク化：70% 低減
(従来シール比，低トルクシール比では 50% 低減)
- ・耐泥水性能：50% 向上

4.2 シール構造

図11，図12は各シールリップの接触荷重（トルク），および泥水性能への寄与度を示している。このデータより，トルクへの寄与度が高いラジアルリップの改良または廃止と，泥水性への寄与度が高いアキシアルリップの追加により，トルク低減と耐泥水性能向上の両立を図ることとした。

図13は従来シールの構造を示しているが，各リップ形状の最適化による接触荷重の低減だけでは，開発を完了している低トルク品からさらにトルクを低減し，超低トルクシールの目標トルク低減率を達成させることが困難であったため，シール構造を見直した。

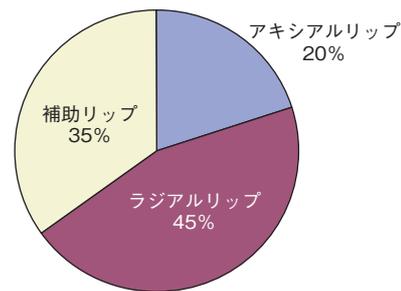


図11 接触荷重割合
Contact load ratio

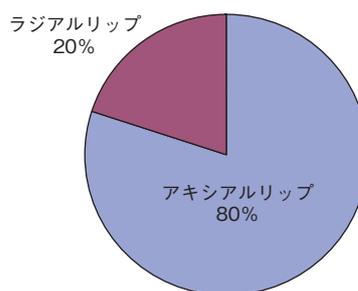


図12 泥水性寄与度
Contribution ratio of muddy water resistance

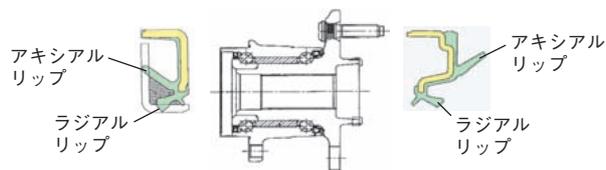


図13 ハブユニットの従来シール構造
Conventional seal structure of hub unit

図14に新シールの構造を示す。しゅう動抵抗割合の高いラジアルリップを廃止し，追随性に優れ，低接触荷重設計が可能なアキシアルリップの2枚構造とすることにより，トルクを低減できた。また，パッキンシールにおいてはスリング表面粗さの適正化により，グリースをスリング表面内に滞留させ，リップとスリング間の油膜を最適化し，トルク低減目標を達成できた。

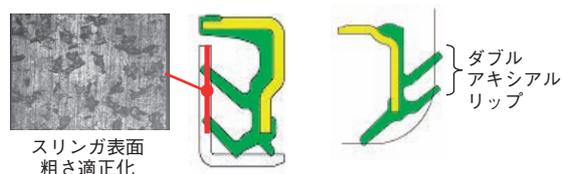


図14 超低トルクシール構造
Super low torque seal structure

4.3 評価結果

4.3.1 回転トルク

表4に示した試験条件にて回転トルクを測定した結果を図15に示す。試験結果より、トルク低減目標である70%低減を達成したことを確認した。

表4 試験条件
Test conditions

回転速度	1 000min ⁻¹
トルク値	トルク定常化まで
潤滑	グリース潤滑
温度	自然昇温
軸偏心	なし

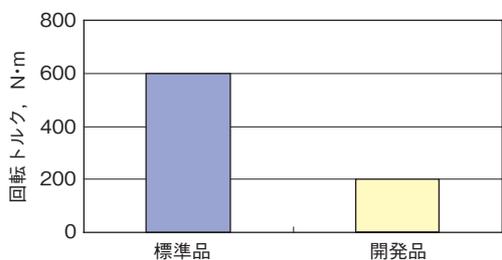


図15 シールトルク比較結果
Seal torque measurement results

4.3.2 泥水試験

図16と表5に示した試験条件にて泥水性能比較試験を行った結果を図17に示す。試験結果より、耐泥水性能は目標である50%向上を上回る2倍を達成したことを確認した。

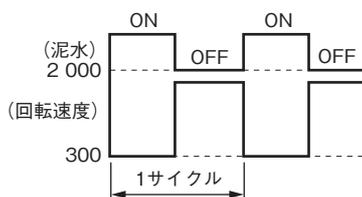


図16 ジェイテクト標準試験条件
JTEKT Standard test conditions

表5 試験条件
Test conditions

回転速度	300 ⇄ 2 000min ⁻¹
温度	自然昇温
泥水量	軸中心位置まで

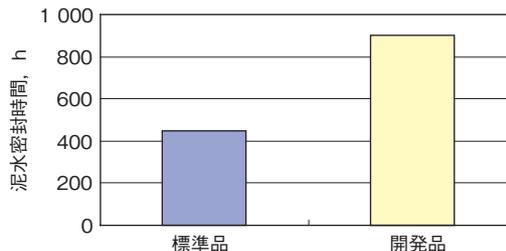


図17 泥水試験結果
Muddy water test results

5. おわりに

ホイール軸受用シールの新技术として、泥水浸入防止、低温環境対応シール、および超低トルクシールを取り上げて紹介した。

今後も世界の自動車メーカーが求めるホイール軸受用シールを提供していくため、高密封、低トルクは当然のこと、広範囲の地域で優れた性能を発揮できるように製品開発を推進することで、世界に貢献していくと同時に当社のシール設計標準を確立していく。

参考文献

- 1) マークラインズ株式会社：自動車情報プラットフォーム、(2010). <http://www.marklines.com/ja/index.jsp>
- 2) 社団法人 自動車技術会：自動車技術, vol. 162, no. 8 (2008)43.
- 3) 沼田哲明：ハブユニット軸受の最新技術動向, Koyo Engineering Journal, no. 168(2005)8.

筆者



滝本将生*

M. TAKIMOTO



石川鉄也*

T. ISHIKAWA



原田勝之*

K. HARADA

* 軸受・駆動事業本部 自動車コンポーネント技術部