

低トルク No. 1 を目指した HUBLFT II の開発

HUBLFT II : HUB Unit for Low Friction Torque

中川義浩 Y. NAKAGAWA 本庄卓也 T. HONJO 戸田拓矢 T. TODA

Hub units are used worldwide as automobile wheel bearings. We have carefully examined the function and performance of the labyrinth seal and completed development of a low torque hub unit called “HUBLFT II” which has improved sealing performance. This paper will introduce the technology of this development.

Key Words: axle bearing, hub unit, low torque, labyrinth structure, gutter lip

1. はじめに

自動車業界は 100 年に一度の変革期を迎えている。大きくは BEV（電気自動車）や FCEV（燃料電池自動車）に代表される電動化および自動運転化への移行である。とりわけカーボンニュートラル化の背景もあり、ハブユニットにおいては回転トルク低減が急務となっている。BEV においては、充電一回当たりの走行可能距離を伸ばすため、車両の走行抵抗を削減することが重要であり、これに伴いバッテリー重量の削減も可能となる。さらにバッテリーにかかる費用の削減も可能になり、これは顧客の費用負担にも直結している。そのため自動車会社などからハブユニットの回転トルク低減に対する要望はきわめて大きい。当社は過去に回転トルク従来品比 44% 低減した HUBLFT I¹⁾ を販売開始してい

る。HUBLFT は当社の商標で「HUB unit (bearing) for Low Friction Torque」を示し、低回転トルクハブユニットベアリングのことである。

今回、HUBLFT I からのさらなる進化として、ハブユニット周辺の泥水の流れを模擬した流体解析を活用して、ラビリンス構造および樋リップを採用したインボード側とアウトボード側シール²⁾を開発した。これにより回転トルク従来 HUB 比 58% 低減を達成し、HUBLFT II の開発に成功したので結果を報告する。

2. ハブユニットの使われ方と低トルク化の取り組み

ハブユニットとは、図 1 のとおり車両のホイール内に配置され、車両重量を支えつつホイールが円滑に回転するように、転動体と内外輪軌道を有する「軸受部」と乗

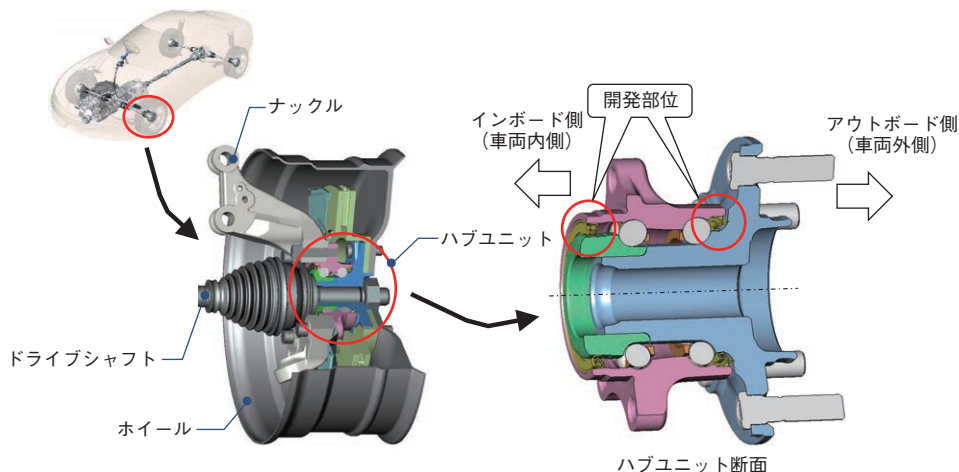


図 1 ハブユニットの配置と断面
Placement and cross section of hub unit

用車側と締結するための「フランジ部」で構成されたユニット軸受である。軸受部のインボード側とアウトボード側の両側にタイヤが巻き上げる泥水を遮断し、軸受部を守り、かつ潤滑グリースを外に漏らさない機能を持つシールを備えており、車両の寿命まで軸受の円滑な回転機能を有するように、メンテナンスフリー化されている。

図 2 には従来 HUB と HUBLFT I の性能および HUBLFT II の開発目標を示す。ハブユニットの摩擦損失は軸受部とシール部に分けられ、トルク割合はおおよそ軸受部が 50%、シール部が 50% である。まず HUBLFT I においては、従来 HUB に対して軸受部に低トルクグリースを採用し、シール部においてはリップ部形状を変更、さらにシール部に低トルクグリースを採用し、リップしゅう動部には表面改質を施した。これにより従来 HUB に比べ、アッセンブリで 44% の低トルク化を実現している。

今回、HUBLFT II の開発にあたっては、シール部トルクをさらに低減させることにより従来比 58% の低トルク化を目指す。なお目標設定にあたっては、環境規制の厳しい欧州の CO₂ 削減率と同一とした。よって、本報告は従来 HUB のシールとの性能比較としている。

3. シールの回転トルクの内訳とハブユニット／シールの使われる環境

前述のとおり、ハブユニットは車両の足回りに使用され、外部からの泥水浸入を防止するシールを採用している。今回の低トルク化の対象として、そのシールに着目した。シールの回転トルク (Ts) 計算式は、式(1)で表される。

$$T_s = \mu Pr \frac{D}{2} \tag{1}$$

μ : 摩擦係数, Pr : リップ反力,

D : リップしゅう動径

式(1)のとおり、低トルク化には摩擦係数低減とリップ反力低減の手法がある。摩擦係数低減に関しては、前述の HUBLFT I でシール用低トルクグリースおよびリップしゅう動部表面改質にて実施済みである。そこで、HUBLFT II ではリップ反力をさらに低減できないかに注力する。

なお図 3 に示すように、市場返却品は錆腐食が進んでいる。タイヤやホイールによる泥水の巻き上げや、寒冷地で路面の凍結防止のために散布される塩や塩化カルシウムを含む泥水の影響で、鋼で構成されるハブユニットのシールしゅう動部の発錆が促進される。また洪水によるタイヤやホイールおよびハブユニットが冠水した影響


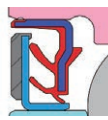
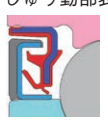
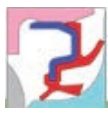
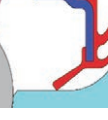
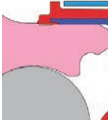
従来 HUB	HUBLFT I (開発済)			HUBLFT II (目標値)		
	低トルク技術	低減率 単体	低減率 アッセンブリ	低トルク技術	低減率 単体	低減率 アッセンブリ
ハブユニットアッセンブリ (100%)	—	—	▲44%	—	—	▲58%
軸受部 (トルク割合 : 50%)	・軸受用低トルクグリース	▲40%	▲20%	←	▲40%	▲20%
インボード側シール (トルク割合 : 25%) 	・リップ形状変更 ・シール用低トルクグリース ・リップしゅう動部表面改質 	▲55%	▲14%	・リップ反力減 ・リップ枚数減 ・シール用低トルクグリース ・リップしゅう動部表面改質 	▲75%	▲19%
アウトボード側シール (トルク割合 : 25%) 	・リップ形状変更 ・シール用低トルクグリース 	▲40%	▲10%	・リップ反力減 ・リップ枚数減 ・シール用低トルクグリース ・リップしゅう動部表面改質 	▲75%	▲19%

図 2 従来 HUB と HUBLFT I の性能比較、および HUBLFT II の開発目標

Performance comparison between conventional HUB and HUBLFT I, and development goals of HUBLFT II

も考えられる。低トルク化を推進するためには、これら泥水環境への対応を考慮する必要がある。



図3 市場返却品と使われる環境

Market return products and environment used

4. 低トルク化の具体的手法と二律背反のブレークスルー手法

ここからはインボード側とアウトボード側の部位に分け、今回採用した回転トルク低減手法について具体的に述べる。図4が開発コンセプトである。インボード側シールとは車両内側に配置されるシールである。従来使用されているのはパックシールとも呼ばれる2部品の集合体である。回転トルクの一因であるリップ反力の低減のため、従来アキシャル2リップの接触(図2のHUBLFT II参照)から、アキシャル1リップの接触+

非接触の樋リップの構成とした。外部からの泥水を遮断するシール性は損なわれる懸念があるが、ラビリンス効果でそれを補うことをねらった。具体的には、スリンガ形状を従来のL字断面形状から、コの字断面形状に変えることで、大きくラビリンス効果が向上することが解析結果から分かっている。詳細は流体解析結果の5章で述べる。

アウトボード側シールもおおむね同じコンセプトであり、従来は軸の機械構造用炭素鋼をしゅう動部に用いていたが、インボード側同様、ステンレス鋼を用いたスリンガを新設し、軸に圧入することで、シールリップしゅう動部の耐錆性向上およびラビリンス構成を実現している。

5. シール性を補完するラビリンス性の検証～流体解析手法とその結果～

低トルク化の手法として、しゅう動部へ接触させるアキシャルリップ2から1枚への削減と、それに伴うシール性の低下を補う手法として、ラビリンス性の向上を述べてきた。この章では泥水の流れを模擬した流体解析の方法およびその結果からラビリンス性を検討する。ハブユニットの両側のシールが被水する条件は、①タイヤ・ホイールによる泥水の巻き上げを想定した条件および②洪水や渡河時の冠水を想定した条件である。図5は

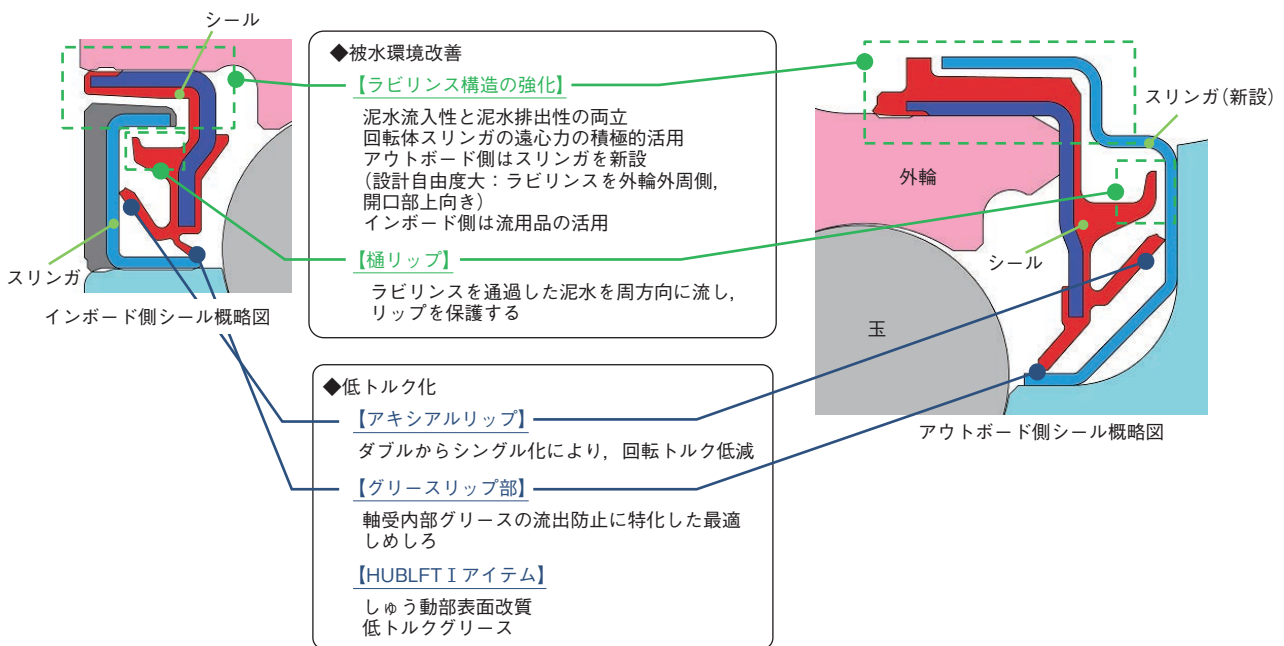


図4 開発コンセプト
Development concept

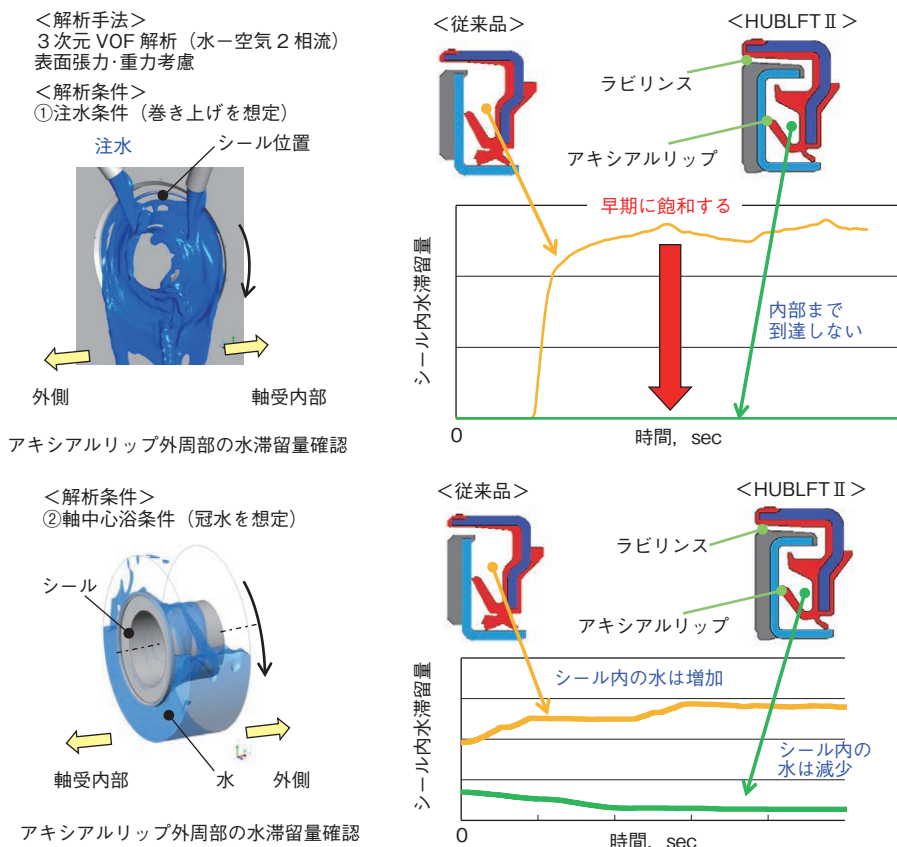


図5 流体解析結果の比較
Comparison of fluid analysis results

シール内の水滞留量を比較した流体解析結果である。従来品は注水開始直後にシール内部に水が到達し、リップしゅう動部周辺に水が満たされるのに対し、HUBLFT IIではリップしゅう動部付近に水が到達しない結果となっている。これは泥水の入り口を狭くしたこと、またその流路をより長く構成したラビリンス効果の影響が大きいと考える。また、軸中心まで泥水に浸った条件からスタートする②の冠水を想定した軸中心浴条件では、従来品は回転直後にリップ周辺の泥水量が増加するが、HUBLFT IIはシール内部の水が減少していく結果となった。スリングの回転によって泥水に遠心力が働き、それによりシール内の空間から外部へ排水される泥水の流れが生じた結果と考えている。本解析結果より、リップ周辺に泥水がないため、泥粒子によるリップの摩擦が小さくなり、シール性が向上することが期待できる。また、アウトボード側の解析結果については詳細を割愛するが、メカニズムは前述のインボード側とほぼ同様でリップ周辺に留まる泥水の量は減少する結果であり、こちらも従来品に対し、シール性の向上が期待できる。

6. 評価検証

6.1 低トルク化の効果検証

図6はシール単品での回転トルク比較結果である。今回の開発シール HUBLFT IIは、インボード側シールで74%低減、アウトボード側シールで77%低減（いずれも従来品比）の結果が得られた。本結果は回転速度 $1\,000\text{min}^{-1}$ での結果であるが、ゼロから $1\,000\text{min}^{-1}$ 間のいずれの条件でも同等の回転トルク低減効果が認められており、実車のさまざまな走行状態でも十分に車両の燃費・電費に貢献できるものと考えている。

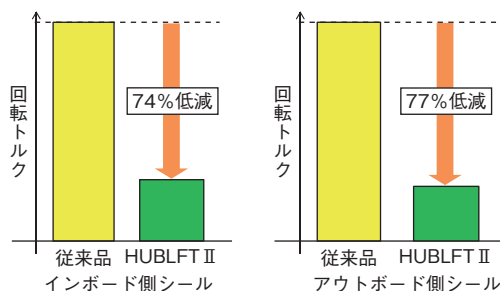


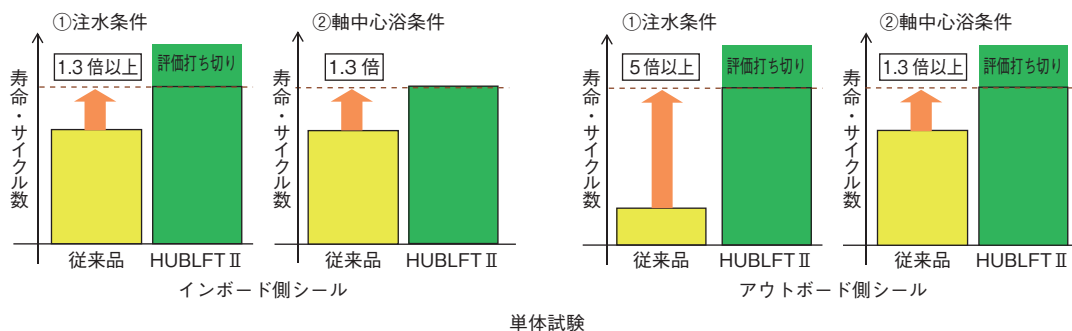
図6 回転トルク比較
Comparison of rotation torque

6.2 シール性能試験結果～泥水評価結果とその考察～

シール性能を確認するため、前述のとおり、①タイヤ・ホイールによる泥水の巻き上げを想定した注水条件および②冠水を想定した軸中心浴条件の2条件を台上模擬試験機にて、従来品と寿命比較をした。結果を図7に示す。本結果はシール単品での評価結果である。インボード側シール・アウトボード側シールともに、いずれの条件でも従来品と同等以上の寿命（シール性）を確認することができた。

また、注水条件については、ハブユニットアセンブリでの塩水条件および泥水条件の試験も実施した。本試験結果も従来品に対し同等以上のシール性を持つことが

確認できた。特筆すべきは耐久後シールの観察結果である（図7の下側写真）。インボード側シールの最外部に位置するシールリップに塗られたグリースの観察結果であるが、グリースは塗られた直後の新品同様の外観を維持していた。これは流体解析の5章で述べたとおり、シールリップ周辺に泥水が到達せずリップを攻撃していないことを示している。アウトボード側シールの評価結果の詳細は割愛するが、アウトボード側の最外部のシールリップのグリースの状況も同様に新品同様の外観であることを確認している。



ハブユニットアセンブリ試験（注水条件）

図7 シール性能試験比較
Comparison of sealing performance

7. おわりに

ハブユニットアセンブリの回転トルク効果を図8に示す。結果として、図2に掲げた開発目標値を達成した。接触させるリップの枚数を削減し、それによるシール性の低下を補う目的で、シール構造を見直しラビリンス効果を最適化した。その結果、低トルク化とシール性向上の両立に辿り着けたことは大きな技術の進歩だと考えている。

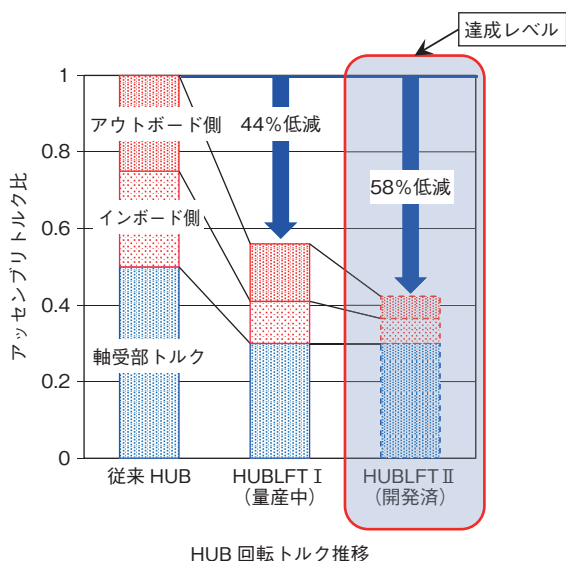


図8 HUBLFT II の達成レベル
Achievement level of HUBLFT II

エンジン車におけるハブユニットが占める燃費率は一般的には1%（4輪）といわれ、ハブユニットの回転トルクを半減すると0.5%の燃費向上に貢献できることになる。電動化に伴い、エンジン・トランスミッションの消費エネルギーが減少していくため、車両全体に占める摩擦損失のハブユニットの割合は増大していく傾向にある。今後もさらなる低トルク化技術の絶えまない改善に向けてまい進することで、低炭素社会・カーボンニュートラル化に貢献していきたいと考える。

* HUBLFT は、株式会社ジェイテクトの登録商標です。

参考文献

- 1) 山根伸志, 荻本健治: 低トルク No. 1 を目指した HUBLFT の 開 発, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1014(2016)64-68.
- 2) 横田邦彦: 自動車用軸受の技術動向と展望, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1017(2019)25-35.

筆 者



中川義浩*
Y. NAKAGAWA



本庄卓也*
T. HONJO



戸田拓矢**
T. TODA

* 自動車事業本部 ハブユニット技術部

** 産機・軸受事業本部 解析実験部