

農建機車両用転がり軸受およびドライブシャフトの信頼性向上への取り組み

Development of High Reliability Rolling Bearings and Drive Shafts for Agriculture and Construction Machinery

廣中哲也 T. HIRONAKA 荒木 聡 S. ARAKI 石橋信行 N. ISHIBASHI

Agriculture and construction machinery support economic development. Equipment used in these markets requires high reliability and multi-functional flexibility while operating in very severe environments. A high priority is placed on the selection of key components such as bearings and drive shafts, which are required to perform with a high level of reliability.

This report deals with the development of high reliability drive shafts seals and long life, low torque, low heat generation bearings for agriculture and construction machinery.

Key Words: construction agriculture reliability robustness bearing driveshaft

1. はじめに

農建機車両は、経済成長とインフラを支える私たちの生活には欠かせない重要な製品であり、市場のニーズに合わせて大型化や多機能化を続けてきた。経済変化と農建機車両の成長を図1に示す。そして、これら農建機車両は非常に過酷な環境で長時間使用されるうえ、車両が故障した際は稼働率の低下や車両の修理費などの莫大な損害が発生する。これらにより、顧客からは特に優れた耐久性や強靭性を合わせ持つ車両を求められており、昨今では、GPSによる稼働状況の遠隔管理や、作業の自動化といった高度なIT技術の活用で、その信頼性とメンテナンス性の向上が図られている。

また、近年深刻化している地球温暖化の問題は、一般の自動車だけでなく農建機車両にもその対応は求められており、排ガス対策技術や低燃費技術の開発も活発化しており、地球温暖化対策に貢献できる技術や、商品への期待も高い。

当社の転がり軸受とドライブシャフトは、このような農建機車両の駆動系において、動力伝達と回転軸支持を担う重要な機能部品として広く使用されている。

農建機車両での転がり軸受とドライブシャフトの使用例を図2に示す。

本報では、当社における農建機車両用転がり軸受およびドライブシャフトの信頼性向上への取り組みと、実用化した商品について紹介する。

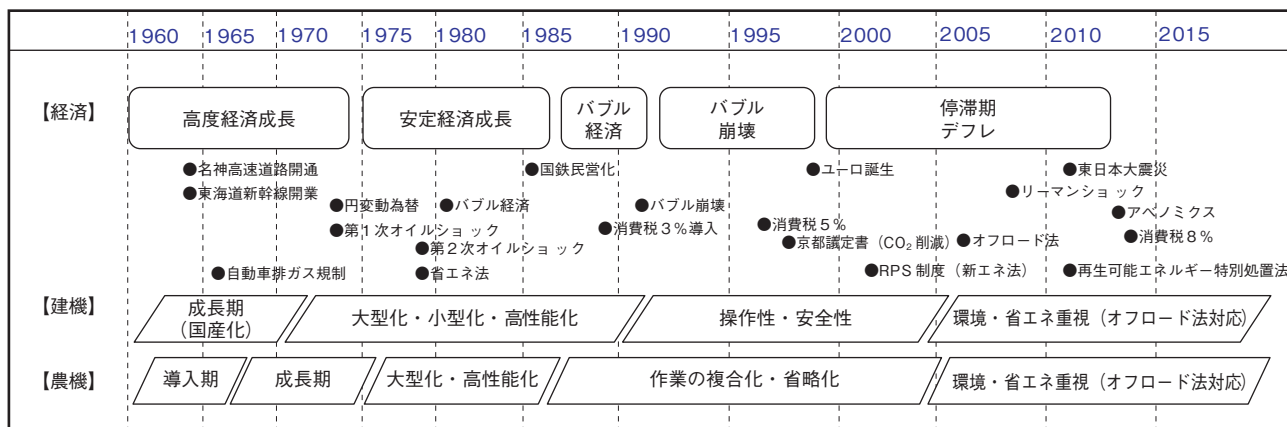


図1 経済変化と農建機車両の発展

History of economic changes and evolution of agriculture and construction machinery

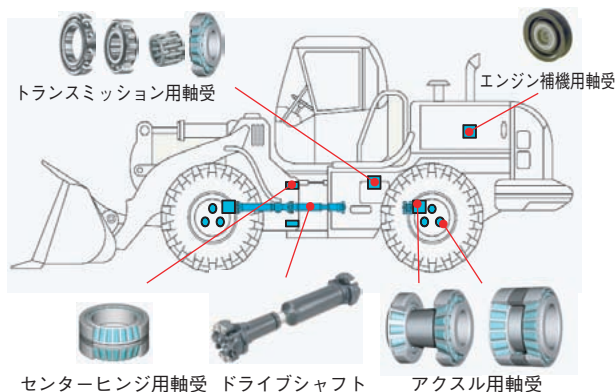


図2 農建機車両で使用される転がり軸受と駆動軸
 Bearing and drive shaft for agriculture and construction machinery

2. 円すいころ軸受信頼性向上への取り組み

農建機車両用の転がり軸受（以下、軸受）に求められるニーズと必要技術を図3に示す。

農建機車両としてのトレンドは自動化や情報化による生産性の向上と排ガス規制対応であるが、軸受には機能部品としての高信頼性への期待度が最も高い。

当社調べ		
農建機車両へのニーズ	軸受へのニーズ	軸受への必要技術
生産性向上 自動化 情報化 故障減少 低燃費 地球環境保全 排ガス規制・騒音 安全性	高信頼性 高耐久性 耐衝撃性 低昇温 低トルク メンテナンスフリー 組立性の向上 など	長寿命材料・熱処理 設計最適化 解析精度 最適クラウニング 高負荷容量 低昇温・低トルク 精度向上 ユニット化 クリープレス 高G対応 など

図3 農建機車両用軸受へのニーズと必要技術
 Needs and required technologies for agriculture and construction machinery bearings

次に、農建機車両用軸受の破損モードの分析結果を図4に示す。

本結果より、傾き大と異物侵入および潤滑不良に起因した破損が破損全体の75%以上を占めている。よって、これらの破損に有効な軸受性能の向上が市場不具合の抑制には効果的である。

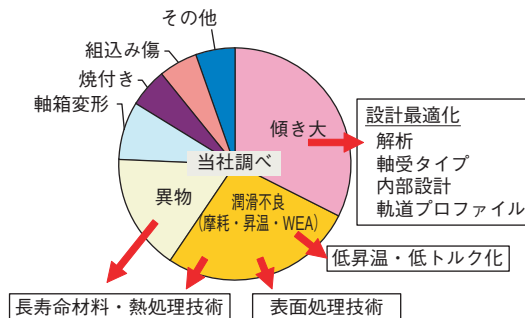


図4 農建機車両用転がり軸受の破損モードと対策技術
 Failure mode analysis of agriculture and construction machinery bearings

当社は、農建機車両用として特にニーズの高い円すいころ軸受について、軸受の信頼性を向上した高性能円すいころ軸受（図5）を開発し、市場への導入を推進している。

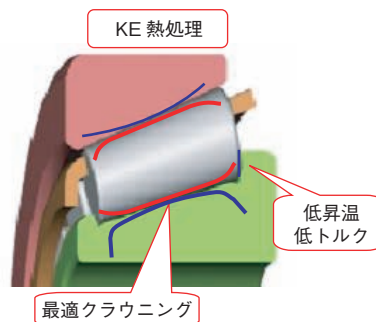


図5 高性能円すいころ軸受
 High performance tapered roller bearings

以下に、高性能円すいころ軸受に適用した軸受性能を向上させるための当社の技術と商品を紹介する。

2.1 長寿命材料と特殊熱処理技術

軸受の剥離の種類と、有効な対策を図6に示す。

その中で、農建機車両で最も問題となるのは、潤滑不良に起因する軌道表面の損傷による表層起点剥離や圧痕起点剥離である。

その理由として、農建機車両駆動系の潤滑方法が、油浴やはねかけ給油であり、機構上クラッチ、ブレーキおよびギヤと軸受が同じ潤滑油を使用していることが挙げられる。そのため、積極的な潤滑油の発熱抑制と異物侵入抑制を困難としている。

潤滑不良による剥離発生の場合は、期待寿命に対して著しく短寿命になることから、対策の必要性は非常に高い。

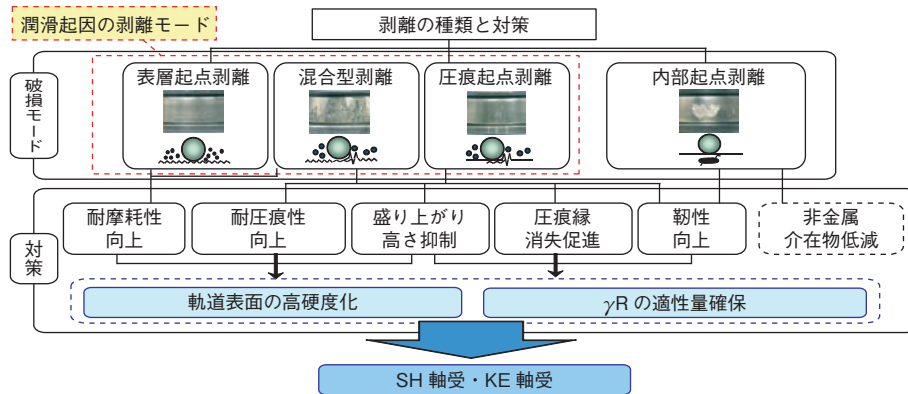


図6 軸受剥離モードと対策³⁾
Bearing flaking types and countermeasures

当社は過去の研究開発により、異物油中の表面起点剥離に対して“表面硬さ”と“残留オーステナイト”の適正化が有効であることを確認し、これらの技術を適用したSH軸受（主に、玉軸受や針状ころ軸受）とKE軸受（主に、円すいころ軸受）を商品化している^{1)~3)}。

KE軸受（KE熱処理）とSH軸受（SH熱処理）の異物混入油中での寿命評価結果を図7、図8に、耐ピーリング性能の評価結果を図9に示す。なお、ピーリングとは表面起点型損傷の一つで、転走面の油膜形成が不十分な場合に発生する微小な剥離が密集した状態をいう。本評価結果のように開発品は異物油中の長寿命化と貧潤滑条件での耐ピーリング特性の向上が期待できるため、トランスミッション、デファレンシャル、プラネタリ減速機で使用される軸受として最も適している。

試験装置	合成荷重寿命試験機
軸受	深溝玉軸受 φ30×φ62×16
荷重	Fr=9kN
回転速度	2 500min ⁻¹
異物	750HV, 125μm, 0.2g/L

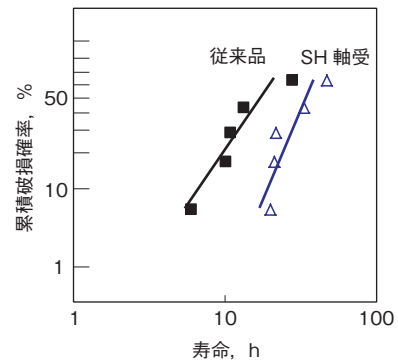


図8 SH軸受の異物油中での寿命評価結果
Life test results of SH bearing in contaminated oil

試験装置	合成荷重寿命試験機
軸受	円すいころ軸受 φ30×φ72×20.75
荷重	Fr=20.6kN, Fa=13.7kN
回転速度	2 000 min ⁻¹
異物	830HV, 27μm, 0.55g/L 700HV, 125μm, 0.55g/L

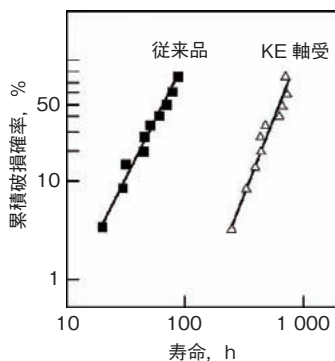


図7 KE軸受の異物油中での寿命評価結果²⁾
Life test results of KE bearing in contaminated oil

接触応力	2 260MPa
回転速度	駆動円筒 1 000min ⁻¹ 従動円筒 駆動円筒による従動のみ
駆動円筒	通常熱処理 (SUJ2) 目標粗さ Rmax 5
従動円筒	通常熱処理 (SUJ2), SH熱処理, KE熱処理 目標粗さ Rmax 0.2
潤滑	VG32 (タービン油)
温度	常温
評価時間	1.2×10 ⁶ rev

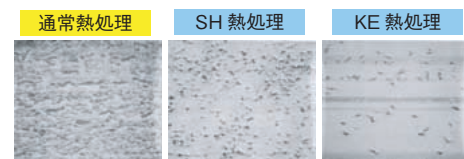
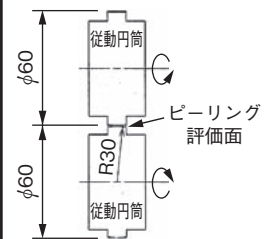


図9 耐ピーリング特性の評価結果
Test results of peeling characteristics

2.2 軸受設計の最適化

デファレンシャルピニオンギヤ部の軸受使用事例を図10に示す。

軸受をオーバーハング荷重で使用するアプリケーションのギヤ側軸受は、シャフト傾きの影響を大きく受ける。そのため、軸受の内部設計が不適切な場合は図11に示すようなエッジロードに起因する剥離が短時間で発生する。

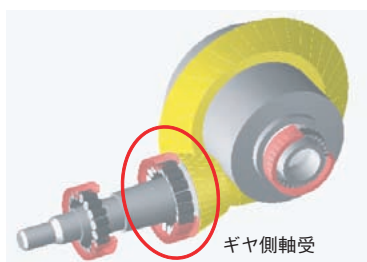


図10 デファレンシャルピニオンギヤ用部の構造例
Structure of differential pinion gear

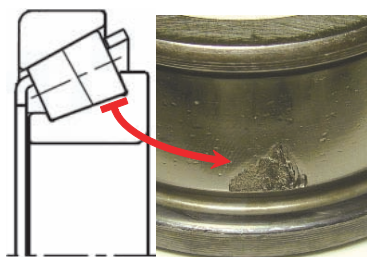


図11 円すいころ軸受の内輪破損例
Example of flaking on bearing inner ring

エッジロードに起因する軸受の破損を未然に防止するには、設計段階での、内部設計と軌道形状の最適化⁴⁾が必要不可欠である。

当社では、自社開発の軸系解析ソフト (SSAP: Shaft System Analysis Program) を軸受設計に活用し、設計と軌道形状の最適化による軸受の信頼性向上を推進している。

図12にSSAPの主な機能、図13に技術検討手順、図14にSSAPを使用した接触応力の解析例を示す。

本解析ソフトを使用することで、設計段階での問題点の把握と、内部設計の最適化が短時間で可能となる。

図15に最適設計品と従来品の傾き耐久寿命評価結果を示すが、最適設計品は従来品の3倍以上の長寿命があることを示している。

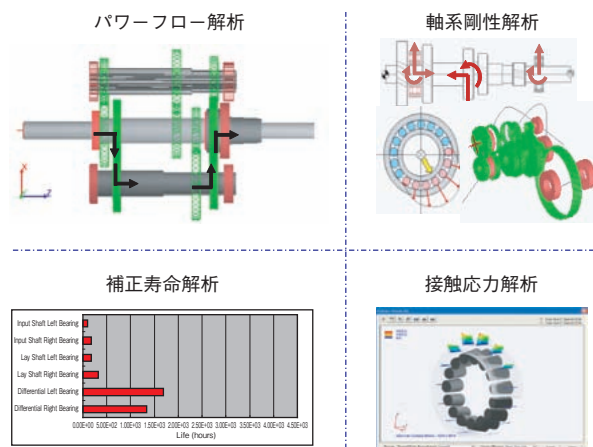


図12 軸系解析ソフト (SSAP) の機能
Function of SSAP

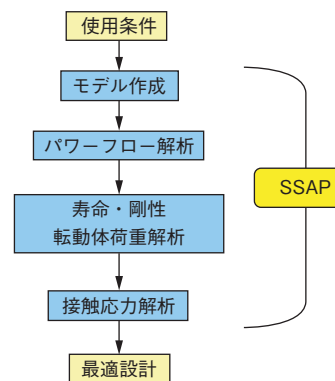


図13 最適設計のための解析手順
Process flow for optimized design

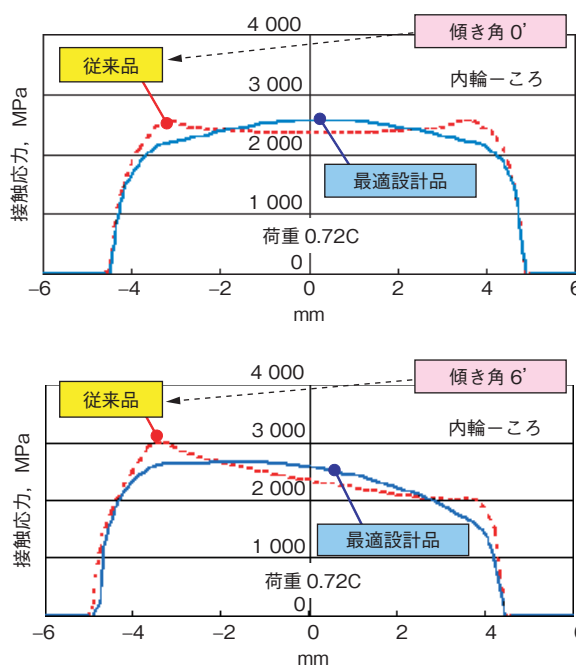


図14 接触応力分布の解析例
Contact stress calculation results

試験装置	合成荷重寿命試験機
軸受	円すいころ軸受 φ50×φ110×29.25mm
ラジアル荷重	24kN
アキシアル荷重	50kN
回転速度	1 500min ⁻¹
ミスアライメント量	0.0044rad
潤滑油	5W-30 軸芯油浴

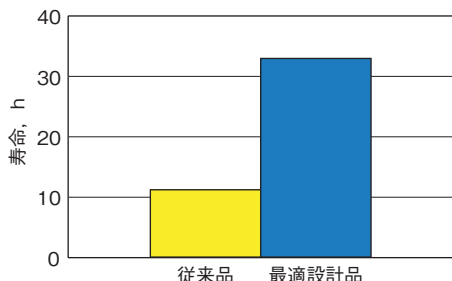


図15 傾き耐久寿命評価結果

Life test results in misalignment condition

試験装置	合成荷重寿命試験機
軸受	円すいころ軸受 φ50×φ110×29.25mm
ラジアル荷重	20.35kN
アキシアル荷重	20.35kN
回転速度	500 ~ 2 500 min ⁻¹
潤滑油	5W-30 軸芯油浴

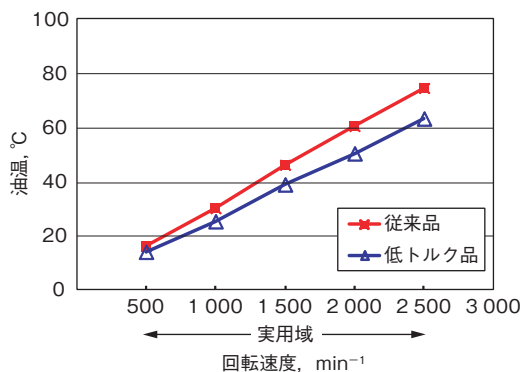


図16 油温測定結果

Oil temperature measurement results

2.3 低昇温化と低トルク化技術

農建機車両用の軸受は、120℃を越える高温域でも使用されることがあり、低昇温化や潤滑性向上のニーズが高い。当社のLFT軸受^{5)~7)}は低昇温と低トルクに優れた軸受であり、オーバーヒートの抑制などによる信頼性の向上に貢献が可能である。

図16、図17は低粘度オイル条件下における従来品とLFT軸受の昇温およびトルク比較試験結果である。

本評価では実用回転域において3~10℃の低昇温化と30~70%の低トルク化を確認した。

当社では、農建機車両の信頼性向上を目的として、LFT軸受をこれら車両へ適用拡大中である。

試験装置	縦型トルク測定器
軸受	円すいころ軸受 φ50×φ110×29.25mm
アキシアル荷重	10kN
回転速度	50 ~ 2 500 min ⁻¹
潤滑油	5W-30 強制潤滑 0.6L/min

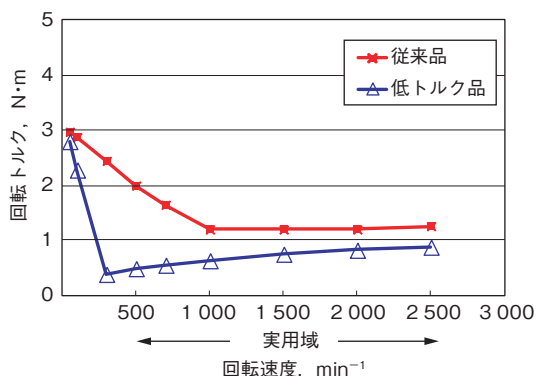


図17 トルク測定結果

Bearing torque measurement results

3. ドライブシャフト信頼性向上への取り組み

建設機械用ドライブシャフトを図18に示す。建設機械用ドライブシャフトも軸受同様、厳しい使用環境に対

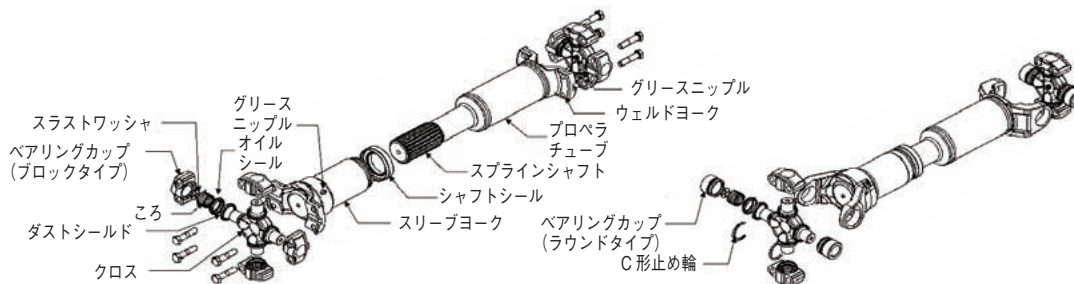


図18 建設機械用ドライブシャフト

Drive shaft for construction machines

応していくため、信頼性向上のための改良に取り組んできた。ここでは、クロスベアリングの強度と寿命向上およびスプラインシール耐泥水性の向上への取り組みについて紹介する。

3.1 長間隔給脂クロスベアリング

3.1.1 取り組みの背景

当社では図19に示す標準品と無給脂品2種類のシール構造のクロスベアリングを製造していたが、標準品は250時間毎の頻繁な給脂を必要としていた。一方、無給脂品はメンテナンスが不要であるが、非常に高価にも関わらず12,000時間でクロスベアリング単位での交換が必要なため、給脂をしてベアリングの寿命到達まで使用することができないという課題があった。

今回、無給脂品相当のシール構造を持ちながらも、適切なメンテナンスをすることにより、ベアリングの寿命到達まで使用可能な長間隔給脂クロスベアリングを開発した。


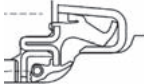

	標準品	無給脂品	長間隔給脂品
シール構造			
シールリップ	2重(押し潰しタイプ)	5重+ばね	4重(たわみタイプ)
給脂間隔	250h	追加給脂不可	2,000~4,000h
コスト	1	5	1

図19 クロスベアリング用シール
Seal of cross bearing

3.1.2 特長

標準品と長間隔給脂品の概略構造を図20に示す。長間隔給脂品は図19に示すシール構造以外に、

- ①ころクラウニングを適正化して、トルク負荷時のころ接触応力を低減させることによる寿命向上。
- ②ベアリングカップ形状を見直して、ころワッシャ廃止によるコスト低減。



図20 クロスベアリングの構造
Construction of cross bearing

3.1.3 評価結果

評価結果を図21に示す。長間隔給脂品は標準品に比べ、給脂間隔を10倍以上に延長することが可能となった。

3.2 スプラインシールの耐泥水性向上

3.2.1 取り組みの背景

スプラインシールについては、従来のフェルトシールタイプからニトリルゴム製軸シールタイプへの変更により、シール性能の向上を図ってきた(図22)。しかし、軸シールタイプには、

- ①シール組付け時にリップを变形させてスプライン大径を乗り越える必要があり、リップ剛性を上げることができない。
- ②シールとスプラインが近接しており、浸入した泥水が容易にスプラインに到達する。

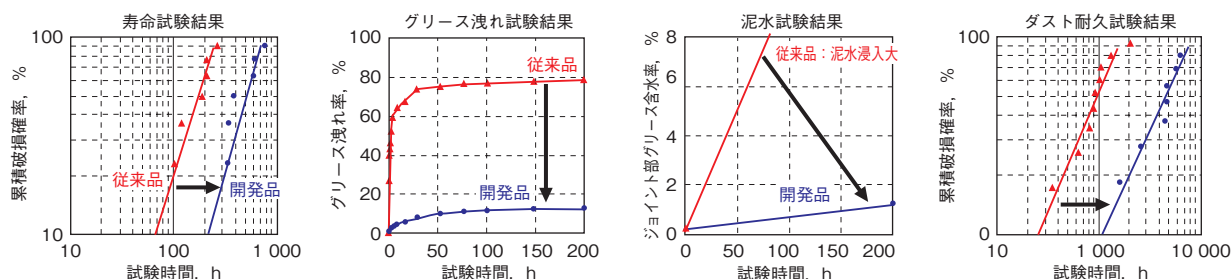


図21 クロスベアリングの評価結果
Test results of cross bearing

という問題点があった。アーティキュレートダンブトラックのように、悪い環境で使用される車両では、泥水の吸い込みによる不具合が散見されるようになったため、さらなる耐泥水性向上に取り組んだ。

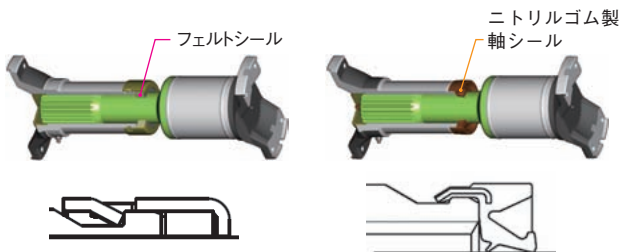


図22 従来のスプラインシールの構造
Construction of conventional spline seal

3.2.2 特長

耐泥水性向上を目的として開発した、カバーチューブタイプスプラインシールを図23に示す。カバーチューブタイプはスリーブ（雌スプライン）外径部をシールする構造により、

- ①組付け時にリップを変形させる必要がない（高剛性のウレタンゴム使用）。

- ②シールからスプラインの距離を伸ばし泥水がスプラインに到達しにくい。
- という特長がある。

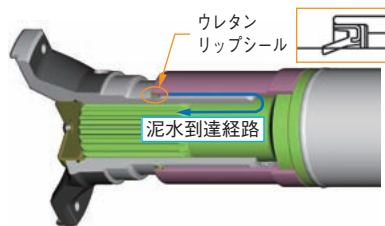


図23 カバーチューブタイプスプラインシールの構造
Construction of cover tube type spline seal

3.2.3 評価結果

スプライン泥水耐久試験結果を図24に示す。カバーチューブタイプは軸シールタイプに比べ、耐泥水性能が大幅に向上している。

試験条件

項目	条件	
スライド長	40mm	
伸縮速度	0.5Hz	
回転速度	1 000min ⁻¹	
グリース	約 60g	
泥水	種類	JIS 8種 12.5wt%
	注水位置	シールリップ部
	注水量	3L/min
	注水時間	注水 2時間 + 乾燥 (60℃) 2時間の繰り返し

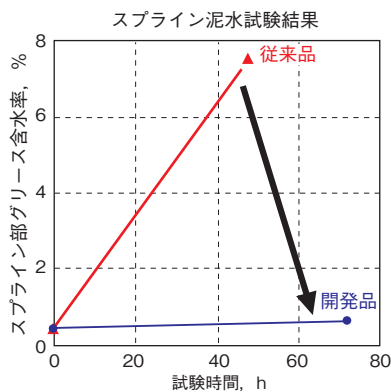
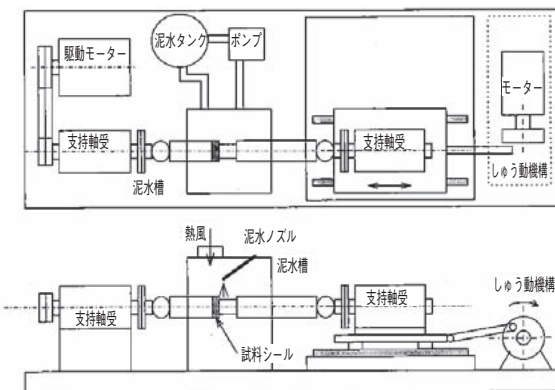


図24 スプラインの泥水耐久試験結果
Muddy water test for spline seal

4. おわりに

昨今は新興国製の農建機車両がシェアを拡大しており、車両メーカー間の価格競争力向上や付加価値向上への取り組みは、今後一層加速することが予想される。こうした車両メーカーの取り組みにタイムリーに対応していくため、当社では個別顧客のニーズを基にした技術開発を行い、解析と実証に基づく高信頼性商品を市場に提供し、農建機車両の信頼性向上と経済の発展に貢献していきたい。

* 1 LFT は、株式会社ジェイテクトの登録商標です。

参考文献

- 1) 戸田一寿, 三上 剛; Koyo Engineering Journal, no. 143(1993)15.
- 2) 戸田一寿, 柴田正道; Koyo Engineering Journal, no. 145(1994)138.
- 3) 星野照男; Koyo Engineering Journal, no. 159(2001)107.
- 4) 漆川賢治, 柴田正道; Koyo Engineering Journal, no. 155(1999)15.
- 5) 浅井康夫, 大島宏之; Koyo Engineering Journal, no. 143(1993)23.
- 6) 松山博樹, 百々路博文, 荻野 清, 大島宏之, 千葉博行, 戸田一寿; Koyo Engineering Journal, no. 167(2005)24.
- 7) 松山博樹, 川口幸志, 上村篤司, 益田直樹; JTEKT ENGINEERING JOURNAL, no. 1007(2009)48.

筆者



廣中哲也*
T. HIRONAKA



荒木 聡*
S. ARAKI



石橋信行**
N. ISHIBASHI

* 軸受事業本部 産業機器技術部

** 軸受事業本部 実験解析部