

欧州製エンジンの balaner シャフトシステムに使用される 転がり軸受に関する技術動向

Technical Trends Regarding Roller Bearings Used with Balancer Shaft Systems in European Engines Applications

スヴェン・メッシャー S. MESCHER

While needle, ball, or roller bearings are sometimes seen in automotive and heavy-duty engines the majority of engines for these applications use primarily plain bearings. The usage-factor of plain bearings will decrease for automobiles because plain bearings are replaced by rolling bearings. This is due to the more stringent CO₂-emission standards by the European government and the customer wish of improved fuel consumption of the car, which require an increase of the utility with simultaneous reduction of energy demand and reduction of friction losses and thereby emitted emission of the engine. This convertible of the bearing technology lead to an increasing demand on rolling bearings for automotive engines. So we JTEKT have developed and designed special bearings for automotive engines and this process is introduced in this journal.

Key Words: automotive, engine, balancer shaft, roller bearings, low friction, CO₂-emission reduction

1. はじめに

自動車業界は現在、構造的および技術的な変化について大きな課題に直面している。その課題の一つが、欧州政府が新たに定めたより厳しいCO₂排出基準である。そのため、欧州における自動車メーカーの最大の目的は、内部摩擦損失を低減して出力を向上させることでエンジン効率を向上させることである¹⁾。もう一つの重要な目的は、エンジンの快適性と回転のスムーズさをさらに向上させることである²⁾。これらの目的を達成するために欧州の自動車メーカーが取り組んだことは、balaner シャフト、カムシャフト、クランクシャフトに採用されているすべり軸受の、転がり軸受への切り替えであった。これらの取り組みにより、エンジン用針状ころ軸受、玉軸受などの転がり軸受の需要が高まっている^{3), 4)}。そこで当社は、自動車用エンジンの不快な振動やノイズの低減といった市場のニーズを満たすべく、自動車エンジン用として特別設計した軸受を開発している。一例として、自動車用 balaner シャフトを対象とした転がり軸受による摩擦低減、振動、ノイズ低減の取り組みについて以下に紹介する。

2. 欧州製エンジンで使用されている balaner シャフトのデザインコンセプト

現代のディーゼルエンジンおよびガソリンエンジンでは、不快な振動およびノイズが低減されているが、これは balaner シャフトおよび balaner シャフトユニット（エンジン外部取り付け）が開発された結果である。balaner シャフトとは質量補正システムであり、点火したエンジンの回転プロセスの結果生じる二次質量力を低減、除去するためのものである。エンジン構成部品 CAD に基いて FEM 解析を実施し、自動車メーカー、balaner シャフトサプライヤ、軸受サプライヤ間での協力のもと、balancing システムによる振動・ノイズ低減効果と、剛性・強度・質量の最適設計を行う。

balaner シャフト用軸受は、L2, L3, L4 あるいは V6 エンジンなどのさまざまなエンジン構造で採用されている（図1）。

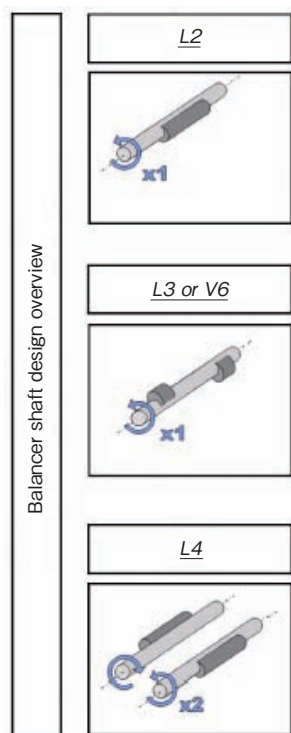


図1 バランサシャフト構造概略
Balancer shaft design architecture overview

使用するバランサシャフトの本数や回転速度は、そのコンセプトによって異なり、1本または2本のシャフトが、エンジン回転速度と同期または2倍の回転速度で回転する。エンジンメーカーは、摩擦損失の低減とエンジンの軽量化を目標としている。そこで、エンジンメーカーは、質量を低減しつつ、バランサシャフトの変形を抑制するため、バランサシャフトの最適設計に取り組んでおり、その一例として断面を半円（180度）形状としたシャフトが開発されている。

バランサシャフトのシステム構造については、市場には二つのコンセプトが存在する。第1のコンセプトは、バランサシャフトシステムをエンジンに組み込むというもので、このシステムはトンネルアセンブリと呼ばれている（図2）。

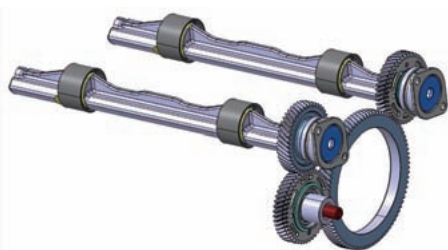


図2 エンジン組み込み型バランサシャフト
Balancer shaft tunnel system

第2のコンセプトは、バランサシャフトモジュール（図3）であり、エンジンの外部に取り付けられる。バランサシャフトのコンセプトによって、軸受の種類や個数、材質や内部設計を検討する。

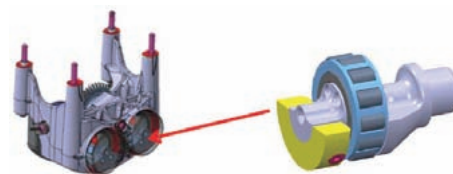


図3 バランサシャフトモジュール
Balancer shaft module

3. 転がり軸受設計開発

バランサシャフトおよびバランサシャフト用軸受を設計する際には、設計の基礎となるすべての条件、バランサシャフトハウジング、ドライブシステム、さらにはオイル供給およびオイルシステムを考慮する必要がある。以下の章では、これらの詳細を記述する。

3.1 解析に用いる使用条件

バランサシャフト用の最適な軸受の解析・開発プロセス（図4）において考慮すべき要素は、エンジンの負荷と回転速度である。これらは、各軸受位置においてシャフトの変形によるミスアラインメントを発生させる。そのため、はめあいや各種幾何公差について非常に厳しく設定、管理する必要がある。さらに、温度および潤滑（オイルグレード、量、汚染など）も考慮しなければならない。

想定されるリスクおよび設計パラメータ

- ①主たる目的は、十分な動定格荷重を持つ軸受を設計することである
⇒目標寿命に対して軸受寸法の最適化
- ②想定される全ての使用条件において軸受にロバスト性を持たせるために、荷重により内輪軌道および外輪軌道に永久ひずみが生じないように設計する
⇒シャフト変形の抑制のためのデザイン向上だけでなく、材質および熱処理の決定、応力が局部的に高くないような軌道および転動体の曲率、クラウニングの決定
- ③軸受の高速回転性能
⇒保持器の最適設計（保持器外径案内または転動体案内）、および転動体サイズの決定

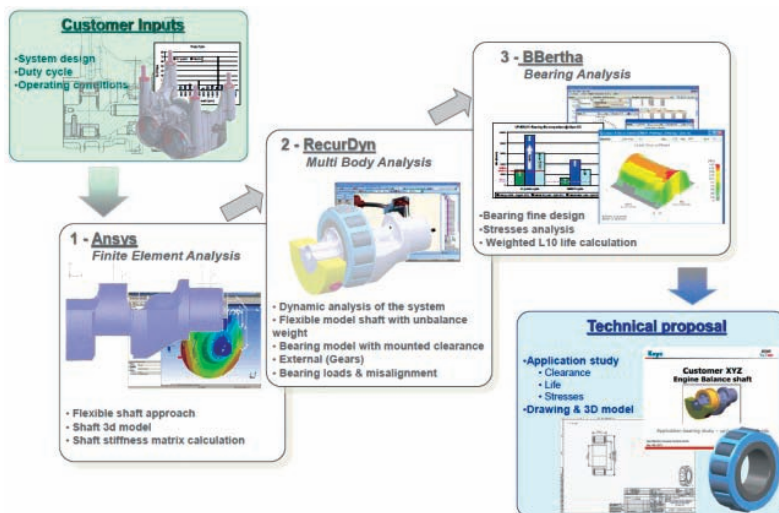


図4 バランシャフト開発過程 (例: バランシャフトモジュール)
Balance shaft analytical development process - e.g. balancer shaft module

- ④ハウジングへの軸受の組込み (クリープ防止, ハウジングはめあいによる応力)
⇒想定される使用条件でのロバスト性を確保するための, 材質, はめあいおよび外輪最小肉厚, ハウジングデザインを最適化
- ⑤すきまの管理
⇒エンジンシステムの形状, 組み立て時の転動体外接円径選択によるラジアルすきま管理
- ⑥ NVH レベル
⇒エンジンシステムの組立, 軌道形状および表面仕上げ, ラジアルすきま妥当性について, 試験によって確認する

4.1 針状ころ軸受

針状ころ軸受は, 純ラジアル荷重を受ける軸受であり, ほとんどの場合において外輪にシェル形外輪を採用している。厚肉シェル形外輪は, アルミニウム製ハウジング / エンジンブロックなどの最も荷重がかかる箇所に使用される。使用速度に応じて, 鉄あるいは樹脂保持器などの, さまざまな保持器設計を適用することが可能である。

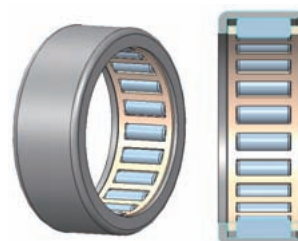


図6 針状ころ軸受
Needle roller bearing

4. バランシャフト用軸受—設計デザインの概略

使用する軸受の種類 (図5) については, 軸受の負荷容量に対する荷重条件と目標寿命, 組み込み条件, 運転時ラジアルすきま, 摩擦・NVHレベルの要求, そして顧客要求により決定する。

Drawn cup bearing with polymer cage	Split polymer cage with drawn sleeve or machined ring. Cage roller or outer diameter guided.	Cylindrical roller bearing with solid race	Ball bearing with an axial load support capability

図5 バランシャフト用軸受概要
Balancer shaft bearings-design overview

<メリット>

- ・小スペース化が可能
- ・樹脂保持器使用により NVH レベル低減が可能
- ・低コスト

<デメリット>

- ・アキシャル荷重を荷重できない
- ・ころが長い場合, ミスアライメントによる影響を受けやすい
- ・引き抜きによる外輪製造のため, 許容差管理が難しく, NVH 問題が発生する可能性がある

4.2 ラジアル保持器付き針状ころ軸受

ラジアル保持器付き針状ころ軸受は、純ラジアル荷重を受ける軸受であり、分割樹脂保持器が使用される。内輪として硬質の円筒形リングを、また、外輪として削り出し加工リングあるいは引き抜き加工スリーブを使用することが可能である。適切な使用条件を確保するためには、外輪軌道および内輪軌道での転がり接触状態を、熱処理およびラジアルすきま管理により適切にする必要がある。

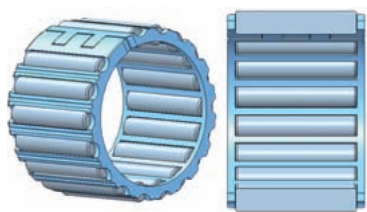


図7 ラジアル保持器付き針状ころ
Cage and roller

<メリット>

- ・分割樹脂保持器使用により、シャフトへの組み込みが容易。シャフトの溝が保持器の案内面となり、軸受のアキシャル方向の位置決めが可能
- ・削り出し加工の外輪と組み合わせることで、ラジアルすきまの管理が容易
- ・樹脂保持器と特別な表面仕上げを施した軌道により、NVHレベル低減が可能

<デメリット>

- ・ころが長い場合、ミスアライメントによる影響を受けやすい
- ・ハウジングの幾何公差による影響を受けやすく、NVH問題が発生する可能性がある

4.3 円筒ころ軸受

円筒ころ軸受は、通常は軌道輪上を転動する大径ころを特徴とし、大きなラジアル荷重が発生する balanサシャフト内で使用される。鉄または樹脂保持器、内輪を使用するもの、あるいは使用しないものなど、複数の組み合わせが可能である。また厚肉シエル形外輪を円筒ころと組み合わせて使用することも可能である。

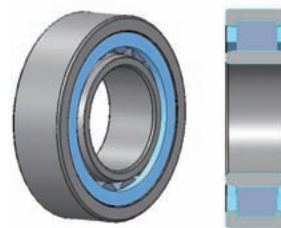


図8 円筒ころ軸受
Cylindrical roller bearing

<メリット>

- ・負荷容量が大きく、高荷重下でも長寿命が期待できる
- ・使用する種類によっては、アキシャル荷重を受けることが可能
- ・削り出し軌道輪のため許容差を厳しく管理することが可能で、すきま管理が容易
- ・削り出し軌道輪、樹脂保持器使用により、低摩擦、NVHレベルの低減が可能

<デメリット>

- ・外径寸法が大きい
- ・軌道輪削り出しのため、高コスト
- ・高速回転時、ころ遠心力による影響が発生。ころと軌道間ですべりが発生する可能性あり

4.4 玉軸受

balanサシャフト用玉軸受には、特殊な材質・熱処理を施し、鉄保持器を使用した単列または複列玉軸受が使用される。

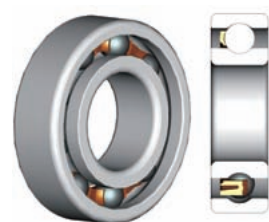


図9 玉軸受
Ball bearing

<メリット>

- ・アキシャル荷重を受けること、アキシャル方向の位置決めが可能
- ・ミスアライメントによる影響を受けにくい
- ・低摩擦

<デメリット>

- ・主寸法が大きい

- ・ 針状ころ軸受や円筒ころ軸受と比較して、ラジアル荷重に対する負荷容量が小さい

5. おわりに

欧州製エンジンで使用される balan シャフト用に特別設計した転がり軸受の開発は、自動車の CO₂ 排出量低減に貢献し、欧州政府が定める排出規制を満たすとともに、自動車の燃費向上に対する市場要求を満たすうえで有用であった。balan シャフト用転がり軸受は現在、欧州で大量生産されている。

欧州テクニカルセンターは、豊富な知識と経験を駆使して、自動車用エンジンで使用される転がり軸受に関する革新的ソリューションと価値の高い技術の開発を今後も進めていく。

参考文献

- 1) Thomas Koch: Paradigmenwechsel in der Automobilindustrie, MTZ worldwide, Volume 63 (2002).
- 2) BMW : The Balancer Shafts on the New Four-Cylinder Deisel Engine from BMW, MTZ worldwide, Volume 63(2002).
- 3) Daimler : Diesel Engines for New E-Class MTZ worldwide, Volume 63(2002).
- 4) K. Hong, B. Dondlinger, Vehicular Engine Design, Powertrain(2016).

筆者



スヴェン・メッシャー*

S. MESCHER

* KOYO BEARINGS DEUTSCHLAND GMBH