

商用車向けボールねじ電動パワーステアリング（BS-EPS） 開発におけるボールねじの耐久性向上技術

Technology for Improving Ball Screw Durability in the Development of Ball Screw Electric Power Steering (BS-EPS) for Commercial Vehicles

1. はじめに

近年、物流量の増加や運転者不足の深刻化を背景にバス・トラックといった商用車の省エネルギー化と運転負荷の低減が求められている。また、環境規制の強化に伴う燃費性能の向上や、高度化する安全運転支援技術への対応も必要となっている。そのため、エネルギー効率に優れ、機能拡張性の高い電動パワーステアリング（Electric Power Steering：EPS）が求められている。

中型以上の商用車には、ボールねじ油圧パワーステアリング（Recirculating Ball Screw Hydraulic Power Steering：RBS-HPS）と別体の油圧ポンプが採用される場合が多い。なぜなら、RBS-HPSは油圧シリンダーのみで構成され、減速機およびモーターが必要なEPSに比べて小型だからである。商用車では現行のRBS-HPSギヤに適合するよう周辺部品が配置されており、EPSを適用する場合、限られた空間内に減速機とモーターを配置する必要がある。したがって、周辺部品を含めた搭載性が課題となる（図1）。さらに、商用車には乗用車よりも高い耐久強度が求められるため、搭載性と耐久性の両立が重要な技術課題となる。

これらの要求に対応するため、当社ではバス・トラック向けボールねじ電動パワーステアリング（Ball

Screw Electric Power Steering：BS-EPS）の開発を進めている。本報では、耐久性の向上に重要なボールねじの開発について紹介する。

2. 開発品の特徴と課題

2.1 システム構成

BS-EPSは、当社が1960年代から量産しているマニュアルタイプのボールねじステアリングに電動アシスト機能を付加した構造となっている。

電動アシスト機能の基本構成は、従来の当社製EPSと同様である。運転者の操舵入力（た）をトルクセンサーで検出し、その信号をマイクロコントローラー（Microcontroller Unit：MCU）で演算して必要なアシストトルクを算出する。モーターによって発生したアシストトルクは減速機で増幅された後、ボールねじを介して出力軸へ伝達される。

当社では、減速機としてウォームホイールタイプを多く採用している。しかし、商用車の減速機には高出力および高耐久性が要求されるため、BS-EPSにはトランスミッションなどの高負荷用途で実績のある2段はすば歯車を採用した。これにより、減速機の搭載性と耐久性の向上を図った（図2）。

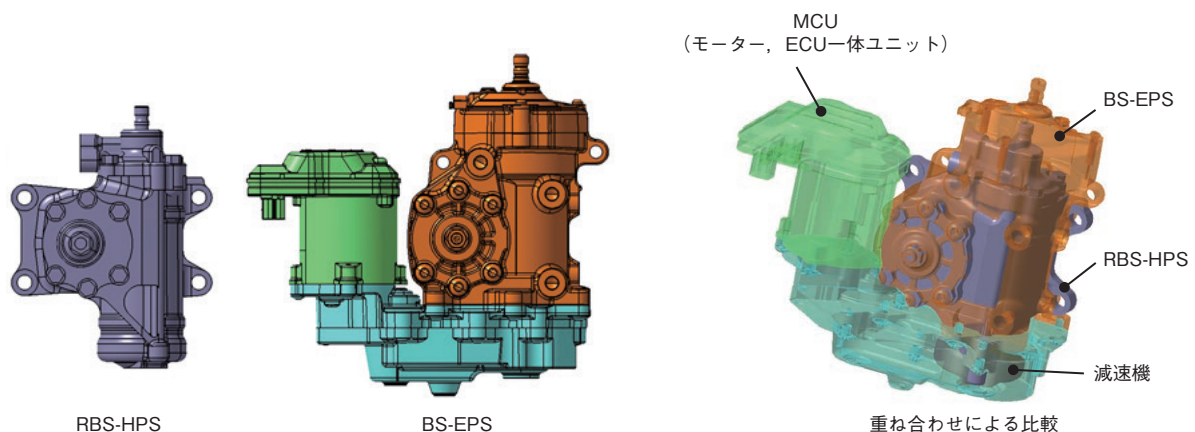


図1 RBS-HPSとBS-EPSのサイズ比較
Size comparison between RBS-HPS and BS-EPS

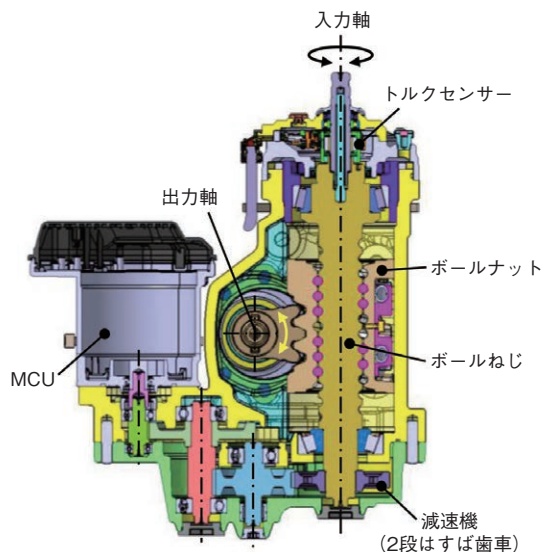


図2 BS-EPS システム
BS-EPS system

2.2 ボールねじ開発における課題

一般にボールねじは入力トルクに起因するアキシャル荷重を受けるが、複数のボールで荷重を分担することで安定した力を伝達している。一方、BS-EPSに適用したボールねじでは、有限要素法（Finite Element Method：FEM）解析および実機評価の結果、各ボールに作用する荷重に偏りが確認された。この荷重の偏りの原因として、セクターギヤに発生する分力（ラジアル荷重）によってボールナットが傾くことが考えられる（図3）。

ボールナットに傾きが生じるとボールナット両端のボールはウォームシャフトに拘束され、これらのボールに作用する荷重が増大する。また、ラジアル荷重は出力トルクに比例するため、大出力を必要とする操舵エンド付近ではラジアル荷重が増大し、ボールに作用する荷重の偏りも大きくなる。したがって、BS-EPSにおけるボールねじの耐久性を向上させるには、各ボールの荷重分担の均等化が重要な課題である。

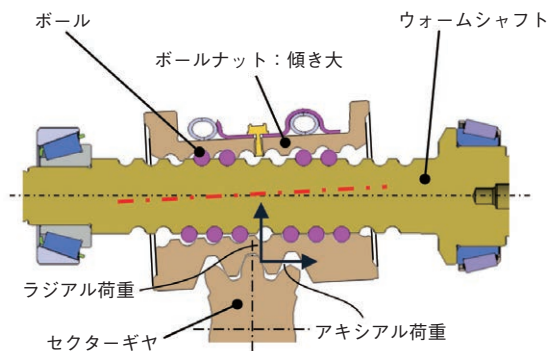


図3 ボールナットの傾き
Ball nut tilt

3. ボールねじ耐久性の改善手法

前章で述べた課題に基づき、本章ではボール荷重の偏りを低減する手法について述べる。

BS-EPSにおけるボール荷重の偏りを低減するには、以下に示す二つの観点が重要である。

- (1) ラジアル荷重の影響の低減
- (2) 各ボールへの荷重の均等分散

本開発では、ボールナットの傾き低減に着目し、RBS-HPSと同様にボールナット外径をハウジング内径で支持する構造（以下、ボールナット背面当て）を採用した（図4）。この構造により、セクターギヤから入力されるラジアル荷重の一部をハウジングへ分散できる。

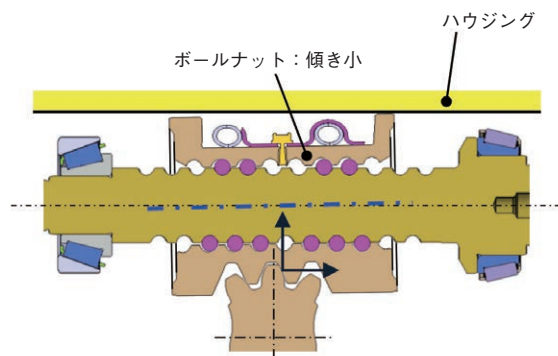


図4 ボールナットの傾き低減方法
Method for reducing ball nut tilt

さらに、ボールナットとハウジングの間隙を小さくすることでボールナットの傾きも低減できる。その結果、ボールへの荷重が均等化される。図5に示すように、ボールナット背面当てを適用しない場合、一部のボールは荷重を分担しないが、隙間を最適化した背面当てを適用した場合は、すべてのボールが荷重を分担することが確認された。なお、ギヤ全体の変形に関する簡易計算は困難なため、ボールナットの面圧計算にはFEM解析を用いた。

JISと過去の耐久試験結果に基づく寿命計算式により、背面当てを適用した場合、ボールねじの寿命は約24倍に向上すると予想された（図6）。

以上の結果より、ボールナットの傾きを低減することによってボールねじ内部の荷重の偏りを低減できた。したがって、本手法はボールねじの耐久性向上に有効である。

4. おわりに

バス・トラックといった商用車の要求性能および使用条件の変化に対応するため、当社はボールねじ電動パワーステアリング（BS-EPS）の開発を進めてきた。本報では、ボールねじの耐久性向上に関する技術を紹介した。今後は本報で得られた知見を活用し、ステアリングの小型化および高性能化を推進する。また、出力制御や異音低減など、EPSに求められる基本性能についても改良を進めていく。

* BS-EPSは、株式会社ジェイテクトの登録商標です。

（自動車事業本部 先行システム開発部）

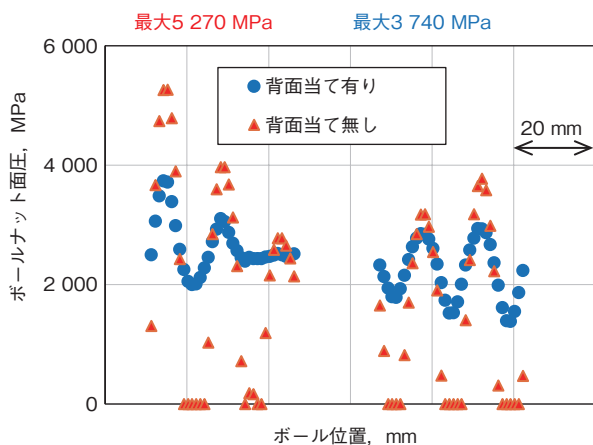


図5 ボールナット面圧の比較
Comparison of ball nut contact pressure

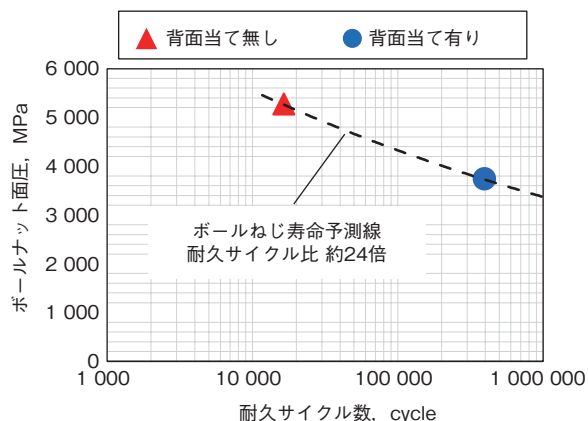


図6 ボールねじ寿命予測線
Ball screw life prediction curve