

高出力2ピニオンEPSの開発

筒井 隆明 ・ 村瀬 智幸

1 はじめに

電動パワーステアリング（Electric power steering, 以下EPS）は、現在多くの乗用車に採用され、EPS搭載率は年々上昇している。主な採用理由として車両の燃費性能向上が挙げられるが、操舵フィーリング向上、高出力化も採用増加の一因となっており、小型車から大型車まで車両特性に合わせた様々な方式のEPSが開発され搭載されている。今回2ピニオンEPSを開発し、2016年よりKYB岐阜北工場にて量産を開始した（図1）。次項より2ピニオンEPSの特長を説明する。

2 2ピニオンEPSについて

当社は1989年に世界に先駆けて2ピニオンEPSの量産を開始した。

その後、1ピニオンEPSをラインアップに加え2ピニオンタイプを中心に開発、量産してきた。1ピニオンタイプはハンドル軸にアシスト機構が構成されている。一般的に部品点数が少なく、コンパクトな構造となる反面、ハンドル軸周りが大型化し、搭載

性が問題となる場合がある。またドライバからの操舵力とモータからのアシスト力を全て1つのラック&ピニオンで受け持つため、高出力を必要とする場合、ラック&ピニオンに掛かる負荷はより大きなものとなる。

それに対して2ピニオンタイプは、ハンドル軸とアシスト軸がそれぞれ2つの軸に分かれている。ハンドル軸はドライバからの入力トルクを検出するトルクセンサ部と操舵力を伝えるラック&ピニオンで構成される。アシスト軸は、モータの回転を減速するウォーム減速機部とアシスト力を伝達するラック&ピニオンで構成される。そのため1ピニオンタイプに比べてハンドル軸周りをコンパクトに出来る。さらにアシスト軸は左右位置、回転位相を自由に設定できるため搭載性に優れている。この自由度を生かし、高出力モータと高減速比を採用することにより、10kN以上の高出力EPSの構築が可能となる。

またハンドル軸にアシスト機構がなく、ラックに直接アシスト力を加えるためにダイレクトで自然な操舵フィーリングを実現できるといったメリットがある。

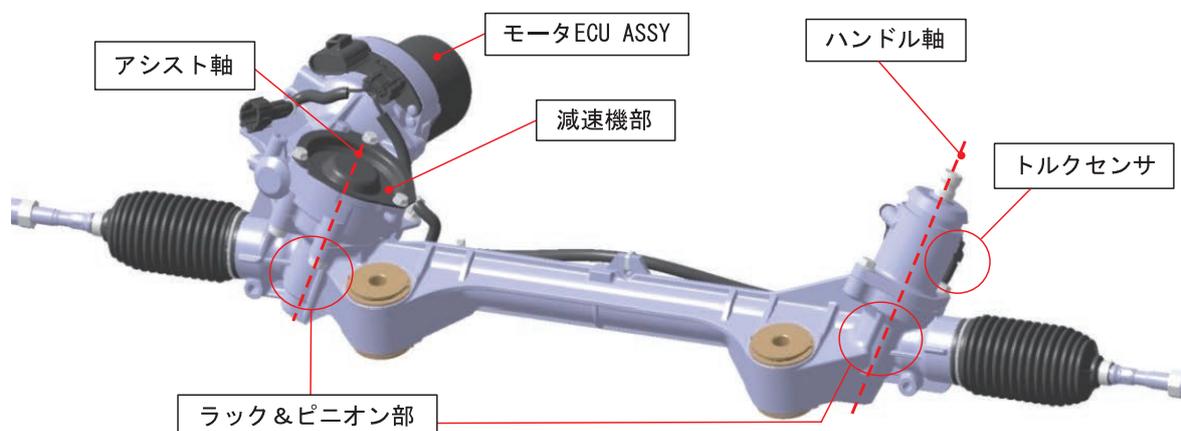


図1 2ピニオンEPS

3 製品の紹介

当社が2ピニオンEPSを量産開始してから四半世紀以上が経過した。その間培ったブラシレスモータの採用、高出力化、静粛性、操舵フィーリングの向上、多様な制御仕様の追加など多岐にわたる要素技術を基にして、本製品は以下を重点にシステム開発を行った。

- ①高出力化
- ②静粛性向上
- ③安全性向上
- ④操舵性能向上

本開発品の主要諸元を表1に示す。

表1 主要諸元

項目	仕様・諸元
モータ形式	DCブラシレス
転舵方式	ラック&ピニオン
理論推力	9.6kN
比ストローク	44.66mm/rev
減速比	1/15.5
ストローク	134.4mm
ラック径	φ28

3.1 高出力対応

高出力化により、ラック&ピニオン、減速機の負荷が増大し強度と耐久性向上が要求される。

ラック&ピニオンの対応として、ラック径をサイズアップすることで耐久性向上を実現した。またラックを支持する摺動部材であるプレッシャパッドのシート材質に耐磨耗性の高い材質を採用した。

減速機は、車両周辺部品とのスペースが十分ではなく小型にする必要があったため、減速比を小さく抑えることで達成できた。低減速比と高出力という背反する要求を成立させるため、モータトルクを上げる必要があり、減速機にかかる負荷が増大した。そこで、強度と耐久性向上の対応として、新材料を使用した射出成形ホイールを採用した(写真1)。さらにFEM解析を用いて減速機の歯形形状を最適化し、耐久性を向上させている。

3.2 静粛性向上

EPSの静粛性に対する要求は車室内の快適性が向上するにつれて日々高くなっており、作動音を低減させる必要があった。



写真1 射出成形ホイール

図2にラック&ピニオン部とストロークストップ部を示す。ラック&ピニオン部は、ラックとラックを支持するプレッシャパッドの仕様を見直し、耐久性と静粛性を両立した。また、ストロークストップ部を構成するギヤボックスとインナージョイントASSYの間には樹脂製のダンパーリングを配置し、接触による打音を抑制した。

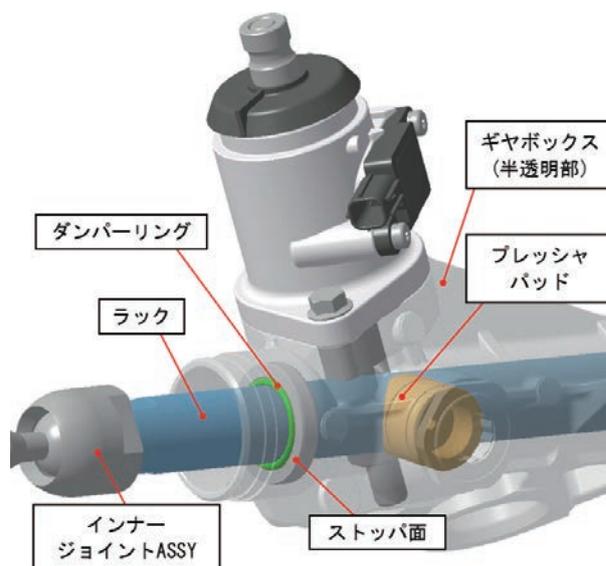


図2 ラック&ピニオン、ストロークストップ部

図3にウォーム減速機部を示す。ウォームとウォームホイールのバックラッシをスプリングとカップリングを用いた調整機構により安定化させ、減速機音を低減した。

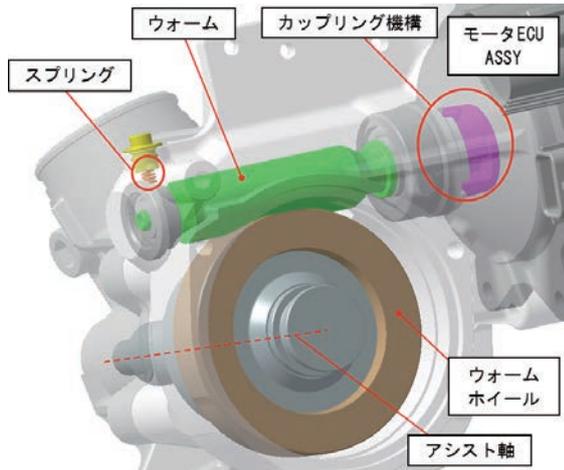


図3 減速機バックラッシ調整機構

3.3 安全性向上

近年安全性への関心の高まりから機能安全対応としてISO26262への対応が求められている。

ISO26262とは、2011年11月に国際規格として発行された自動車向けの機能安全規格である。

EPSシステムは自動車の3つの基本機能の1つである「曲がる」を担っており要求される安全性のレベルは非常に高い。そのためシステムの安全性確保は、開発における最重要課題として位置づけられる。

ISO26262の規格において「電気電子システムの機能不全のふるまいにより引き起こされるハザードが原因となる、不合理なリスクの不在」と定義されており、車載電気電子システムの故障によるリスクを社会的に受け入れられるレベルまで低減する必要がある。危険なモードの代表事象はハンドルがドライバーの意思に反して勝手に動いてしまうセルフステアやドライバーが操舵したいときにハンドルが動かないステアリングロック等がある。

電気電子システムに要求される安全性レベルはASIL^{注1)}により定義される。システムの機能不全により引き起こされる各ハザードは表2に示す3つの指標により評価され、「A」から「D」の4つのASILレベルに分類される(図4)。EPSシステムにおいては最も厳しいASIL Dでの開発が求められた。

表2 ASILの決定指標

指標	説明
シビアリティ	機能不全が引き起こす障害の大きさ(重傷, 軽傷など)
曝露の確率	動作状況の頻度(高速走行をする状況など)
コントローラビリティ	危険を回避できる可能性(ほとんどのドライバーが危険を回避可能など)

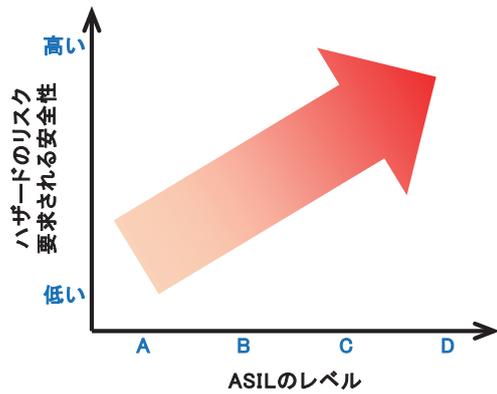


図4 ASILのレベルとリスク, 求められる安全性

機能安全を達成するためには、規格に準拠したプロセスを適用することが求められる。そのため、新たに規格に準拠した社内の開発プロセスを構築し、そのプロセスに従い以下の活動を実施した。

- ①故障モードの分析
- ②安全要求を技術レベルに詳細化
- ③詳細化した安全要求を満たすシステム設計
- ④異常検出し安全状態へ遷移する安全機構開発
- ⑤システムの安全要求達成度検証
- ⑥規格で求められた観点に基づくテスト
- ⑦機能安全アセスメントによる評価

また、ハザードの要因となるシステムの異常を確実に検出する安全機構についても求められる。そのため、本システムではマイコンの監視機能を強化する冗長監視の手法を新たに適用した(図5)。

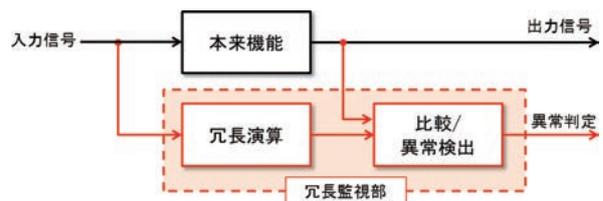


図5 冗長監視ブロック図概略

その結果、機能安全の達成を評価する機能安全アセスメントにおいて、必要な開発プロセスを正しく適用し開発されたこと、またシステムが顧客から要求されている安全要求を満たすことを確認した。

注1) Automotive Safety Integrity Levelの略。自動車の安全度水準のこと。

3.4 操舵性能向上

本車両には以下の制御パラメータを適合した。

- ①基本アシスト制御
- ②位相補償制御

- ③ダンピング制御
- ④摩擦補償制御
- ⑤ハンドル戻し制御

その結果、車両に最適な操舵フィーリングを作り込むことができた。

4 おわりに

2ピニオンEPSは、高出力、車両搭載性、操舵フィーリング等のEPSに求められる性能を高次元でバランスすることが出来る製品であるといえ、今後も需要は伸びると予測する。

本開発により2ピニオンEPSは高出力化、静粛性向上、安全性向上、操舵性能向上を達成した。今回の開発にご協力いただいた方々に対しこの場を借りてお礼を申し上げたい。

著者



筒井 隆明

2004年入社。オートモーティブコンポーネツ事業本部技術統轄部ステアリング技術部。電動パワーステアリングの設計、開発に従事。



村瀬 智幸

2004年入社。オートモーティブコンポーネツ事業本部技術統轄部ステアリング技術部。電動パワーステアリングの設計、開発に従事。