

電動パワーステアリング（EPS）減速機の芯間調整機構

Backlash Adjustment Mechanism for Reduction Gear of Electric Power Steering System

杉浦友紀 T. SUGIURA

An electric power steering (hereinafter referred to as EPS) system, which was first installed on a subcompact car, has been widely adopted even for a medium duty car. Accordingly, requirements for quietness and good steering feel of EPS system have become more and more severe every year.

Especially, reduction gear, a core mechanism in EPS system, which operates for decelerating the motor speed in favor of assist torque, has sometimes generated a rattling noise when car is driven on a rough road, thus adversely affecting a driver's high-grade comfort, and then some solution for this noise has become essential. In order to response this request, a new backlash adjustment mechanism as described herein has been developed for the reduction gear, which can be comprised in a conventional packaging.

Key Words: reduction gear, worm gear, electric power steering, rattle noise

1. はじめに

電動式パワーステアリング（以下 EPS と称す）は、ハンドル操舵に応じて電動モータからの出力を減速し操舵機構の出力軸に伝達している。コラムタイプ EPS（以下 C-EPS と称す）およびピニオンタイプ EPS（以下 P-EPS と称す）では、その減速機にウォームギヤを採用しており、そのウォームホイールには歯打ち音の低減も考慮し樹脂を採用している。軽自動車への搭載から始まった EPS も現在では中型車にまで搭載されており、悪路走行時のウォームギヤ歯打ち音が高級感を阻害するため改善が望まれている。特に P-EPS は自動車のエンジンルーム内に搭載されるため使用温度範囲に対する要求も厳しくなっている。樹脂ギヤを使用している EPS では使用温度範囲の拡大というのは単純な話ではない。高温時には樹脂ギヤの膨張によりフリクションが増加するため、常温時の減速機には適度なバックラッシュが必要となる。しかしながら、常温時のバックラッシュが歯打ち音を発生させてしまうという背反があり、これらを両立させるのは非常に困難であった。本報では、これらフリクションと歯打ち音を両立させ使用温度範囲拡大にも対応した減速機芯間調整機構を開発したので紹介する。（本機構は P-EPS に採用し量産中）

2. 減速機構造

図 1 に P-EPS のギヤアセンブリ外観を示す。今回紹介するのは、この減速機部の構造である。

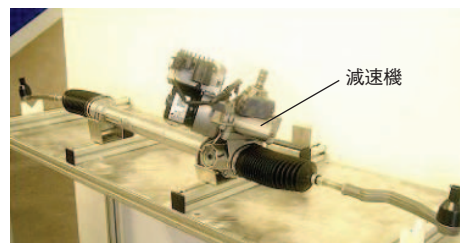


図 1 ピニオンアシスト式EPS
Pinion assist type EPS

2.1 従来構造概要

従来品は図 2 に示すようにウォーム軸の軸受を締結ナットで固定し予圧を与える構造となっており、基本的にウォームは回転方向以外に動かない。歯車であるため、円滑な回転を得るにはウォームとウォームホイールの間にバックラッシュが必要となるが、バックラッシュが大きいと歯打ち音が生じるという背反がある。このバックラッシュ量はウォームとウォームホイールの芯間距離により設定されるが、従来機構では各単品を非常に高い精度で仕上げる必要があった。

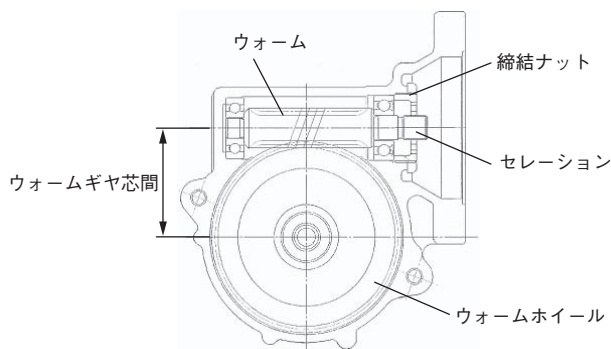


図2 従来の減速機構造
Conventional structure of reduction gears

2.2 減速機芯間調整機構の構造概要

減速機芯間調整機構の構造を図3に示す。本構造では、軸受のすきま・曲率により、Aを支点としウォームが動くようになっている。エンド側軸受とハウジングの間にはすきまがあり、そのすきまには特殊なスプリングが組み込まれている。このスプリングは組付け状態では図4に示す形状となっており、ウォームをホイール側に押し付けバックラッシュを無くすと同時に軸受とハウジングとの打音を防ぐ緩衝材にもなっている。また、ウォームの柔軟な動きを確保するために、ウォームとモータの連結は従来構造にみられるセレーション勘合ではなく、樹脂カップリング（図3のフランジとラバースプリング）を採用している。このように新構造とはなっているが、各単品サイズの最適化により、ハウジングのアウトラインは従来品と全く同じで減速機芯間調整機構を搭載可能とした。

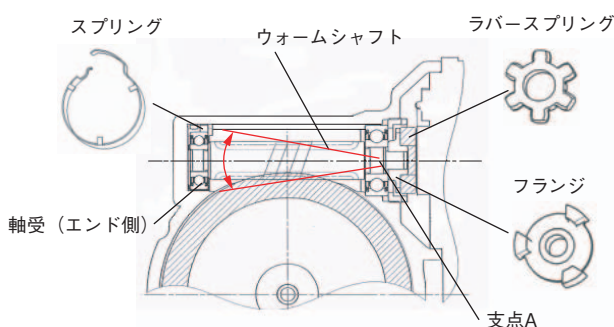


図3 芯間調整機構
Backlash adjustment mechanism

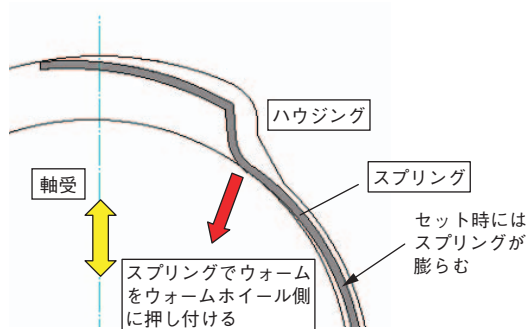


図4 スプリング組付け状態
State of spring as assembled

3. 単品の材料・仕様選定

3.1 スプリング

ウォームはスプリングによりホイール側に押し付けられているが、スプリング荷重が大きいと快適な操舵感を阻害する。また、材質が樹脂あるいはゴムの場合、荷重のばらつき、耐久後のへたりにより十分な性能を確保できないことが過去の試験結果よりわかっている。このため前述のようにスプリングはゴムなどの弾性体ではなくばね鋼を採用している。単純にばね鋼のスプリングを用いた場合、そのスプリングとハウジングの接触により新たな打音を発生させてしまう。また、微少なながらもウォームは縦にも横にも動くため、全周に鉄のばねを機能させて音を防ぐというのは非常に困難といえる。しかしながら、ここに示した特殊形状のばねにより、それを可能にした。また、スプリングはハウジングとの打音を防ぐことは当然のことながら、快適なハンドル操舵となる荷重設定でなければならない。低トルクの操舵域ではフリクション感を抑えるためにスプリング荷重が低い方がよく、高いトルクでの操舵域ではウォームがウォームホイールから離れる力も大きくなるため荷重は大きい方が望ましい。このスプリングの荷重・変位特性を図5のように軸受を垂直方向に動かし測定した。その結果を図6に示す。これにより、スプリングは目標通りの特性を有していることがわかる。この2段特性は、図4に示したスプリングの膨らみにより与えられる。変位が小さいときにはスプリングの膨らみ部はハウジングと接触していないが、変位が大きくなると膨らみ部もハウジングに接触することによりこの特性を得ている。

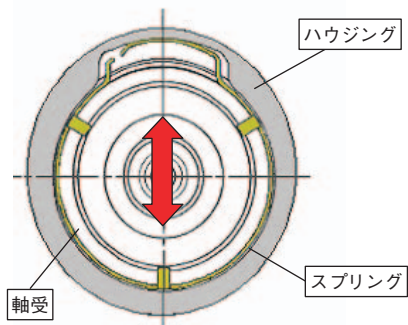


図5 スプリング荷重測定方法
Method of measuring spring load

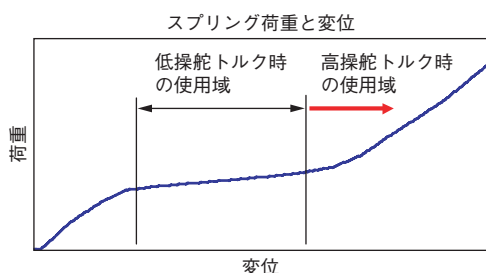


図6 スプリング荷重・変位特性
Load-displacement characteristics of spring

3.2 ラバースプリング

従来品はウォームとモータはセレーション勘合となっていたが、芯間調整機構ではウォームの柔軟な動きが必要であるため、ラバースプリング（樹脂カップリング）を採用した（図7）。機能上、このラバースプリングは軟らかい材料にする必要があるが、あまりに軟らかいとトルク負荷時の圧縮率が大きくなり変形、破断してしまう。そこで、材料は圧縮率が許容できる適度な硬度のものを使用し、ウォームの柔軟なチルトを確保するためにフランジとの接触面は円弧状にしている。一般的に歯車や連結部というのは一方向に回転している状態であれば打音に対して特別厳しい条件ではない。ステアリングは操舵の切り返しが多く、操舵していない時も多いのが特徴的な製品であり、タイヤからの反力をダイレクトに受ける。その特徴ゆえに、音に関しては非常に厳しい設定が要求される。従来品ではセレーション勘合となっているが、そのはめあい公差も同様である。今回の芯間調整機構では、樹脂カップリングでウォームとモータが連結されるため、今までのような厳しい公差設定は必要なくなった点も大きなメリットといえる。

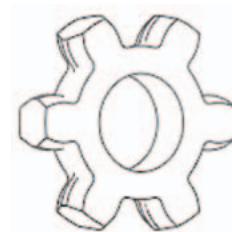


図7 ラバースプリング形状
Design of rubber spring

4. 従来品との性能比較

以下、歯打ち音、回転トルクなどの性能について従来品と比較した結果を示す。

4.1 温度と歯打ち音

温度と歯打ち音の測定結果を図8に示す。樹脂は線膨張係数が大きいいため、従来品では、低温時に樹脂ホイールが収縮することにより音悪化が確認されるが、芯間調整機構ではウォームが追従するため音悪化は認められない。

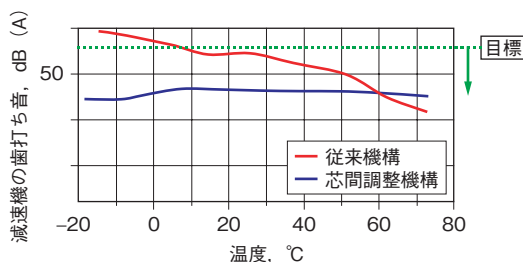


図8 温度と歯打ち音
Rattle noise and temperature

4.2 温度と回転トルク

P-EPSは高温時の使用頻度が多いため、高温時のフリクション増加は極力小さくなくてはならない。その温度と回転トルクの間接関係を図9に示す。高温時には樹脂ホイールが膨張するために回転トルクが増加するが、芯間調整機構ではスプリングによりそれを緩和するため、高温時の回転トルク変化は従来機構の約半分である。

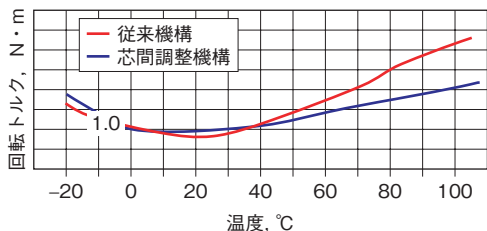


図9 温度と回転トルク
Temperature vs. rotational torque

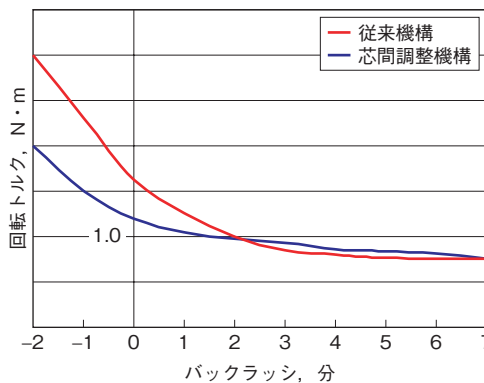


図11 バックラッシと回転トルク
Backlash vs. rotational torque

4.3 バックラッシと歯打ち音

*バックラッシと歯打ち音の関係を図10に示す。芯間調整機構ではバックラッシに対する騒音レベルの変化を生じにくくなっているのがわかる。従来品ではバックラッシが大きくなると歯打ち音も大きくなるため実用域は狭かったが、芯間調整機構では単品精度、組立て精度の緩和が可能である。

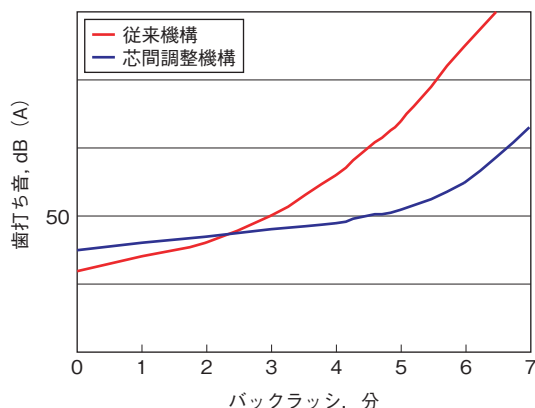


図10 バックラッシと歯打ち音
Backlash vs. rattle noise

4.4 バックラッシと回転トルク

バックラッシと回転トルクの関係を図11に示す。芯間調整機構では、バックラッシが小さい領域において回転トルクの増加を抑えることを可能にしており、高温時、樹脂歯車の吸水時などによるウォームホイール膨張時にもハンドル操舵感への影響は小さい。

5. 実際の使用例

ここまで芯間調整機構の構造、性能に関する概要を示した。ここでは、実際に現在量産しているP-EPSでの実組み付け例を紹介する。減速機は回転トルクと音によりバックラッシ量の上下限が決定される。この型番での設定を図12に示す。

図中の水色部が実際に組立てを行う際に使用している領域である。従来品では、非常に高い精度での組み付けが必要であったが、芯間調整機構では組み付け幅の拡大が可能となっており組み付け時の信頼性が向上している。また、耐久後の樹脂摩耗の許容限界、高温時や吸湿時のフリクション感の許容限界も拡大しており従来品よりも信頼性が格段に向上している。

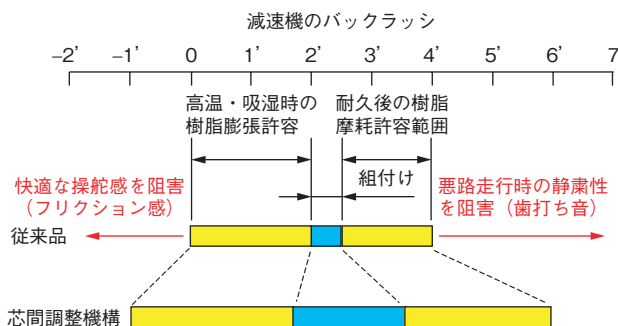


図12 実際の使用例
Example of actual usage

*ここで記載しているバックラッシというのは、ウォームとウォームホイールのすきまをウォームホイールの回転角度で現したものである。芯間調整機構では常にすきまがない状態であるため、単品寸法から算出した値を記載した。

6. おわりに

EPS 電動パワーステアリングは軽自動車、小型車への搭載から始まり、省エネルギーおよび油を使わないことによる環境への配慮を背景に需要が飛躍的に高まっていった。しかしながら現在では車両制御との統合を可能にするステアリングとして高級車にこそ搭載が必要となっており、より一層の操舵感向上、静粛性向上が求められる。市場、客先のさらなる高度な需要に応えることができる様、引き続き芯間調整機構の改良に取り組み中である。

筆 者



杉浦友紀*
T. SUGIURA

* ステアリング事業本部 第1システム技術部