

高出力コラムタイプ電動式パワーステアリング (C-EPS[®]) システムの開発

Development of High Power Column Type Electric Power Steering System

永橋 豊 Y. NAGAHASHI 川久保 暁威 A. KAWAKUBO 辻本 泰介 T. TSUJIMOTO
景井 勝典 K. KAGEI 長谷川 純 J. HASEGAWA 角谷 智司 S. KAKUTANI

Recently, demands have increased for column-type electric power steering (hereinafter "C-EPS[®]") that can be installed not only on small vehicles but also on medium-size and large vehicles and features high output and quiet operation in view of the need to promote environmental protection and energy conservation on a global scale. Also, as the demand for systems increases, the need for C-EPS[®] to possess high technical capability and performance is increasing.

This paper introduces following elemental technologies developed and applied to C-EPS[®].

- Electronic control device equipped with a booster pump circuit
- Brushless motor
- Core-to-core-distance adjustment mechanism type reduction gear
- Hall IC torque sensor
- Manual gear
- Assist control

Key Words: electric power steering, manual steering gear, torque sensor, assist control, motor

1. はじめに

エンジンパワーのロス削減し、エンジンルーム内のポンプや配管配置への配慮が不要となることから軽自動車向けにコラムタイプ電動式パワーステアリング（以下C-EPS[®]と称す）が1988年に実用化された。

近年、搭載性、地球環境保全や省エネルギーの観点から、小型車は言うまでもなく中型車や大型車へのC-EPS[®]搭載のニーズが拡大してきており、C-EPS[®]に対して高出力かつ静粛性も必要とされている。

また、C-EPS[®]システムでの需要が拡大していく状況下でシステムの適合を行うための技術力、およびそれに見合ったシステム全体の高性能化が必要とされる。

今回、昇圧回路を組み込んだ電子制御装置（以下ECUと称す）、ブラシレスモータ、ホールIC式トルクセンサを搭載した高出力C-EPS[®]システムを開発したので紹介する。

2. 開発の狙い

今まで困難であったラック軸力12 000Nまで対応可能なC-EPS[®]の開発を狙いとした。

開発したC-EPS[®]システムの出力量特性を図1に示す。

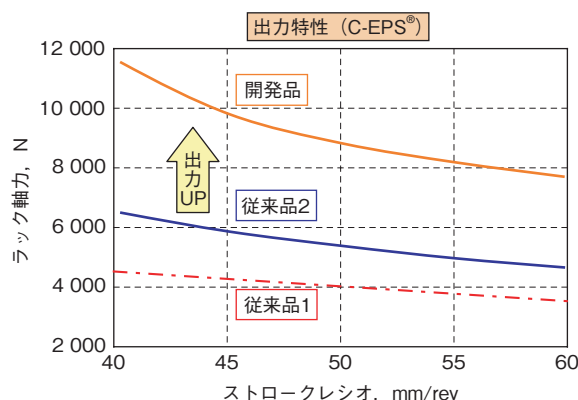


図1 開発したC-EPS[®]の出力量特性
Output characteristic of developed C-EPS[®]

3. モータとECUについて

希土類（ネオジウム）マグネットを使用することによりモータの高トルク・小型化を達成し（図2）、さらに、ECUには入力（バッテリー）電圧を昇圧させる回路を採用することにより、応答性向上を実現することができた

(図3).

従来、出力特性（回転速度×トルク）に対応させてモータと ECU の設計をとともに変更していたが、今回開発した技術では、昇圧回路を 2 系統とすることにより（図4）、素子を載せない場合には 1 系統だけにする事ができ、ECU のみで回転速度（出力特性）への対応が可能になっている。トルク（出力特性）に対しては、モータをタイプ別にシリーズ化して、軸方向の長さの異なるものを同一ラインで製造することにより、対応している。

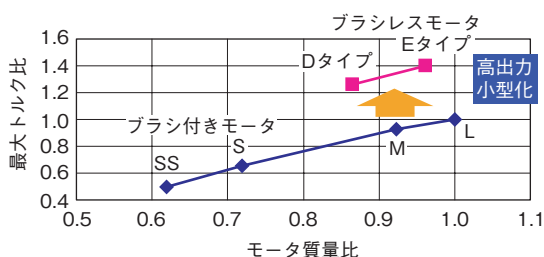


図2 モータ最大トルクと質量
Max. torque and mass of motor

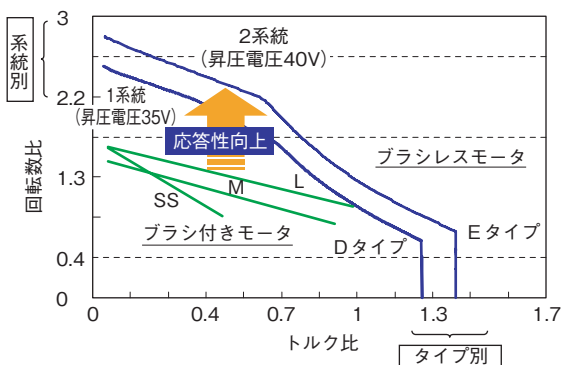


図3 出力特性
Output characteristic

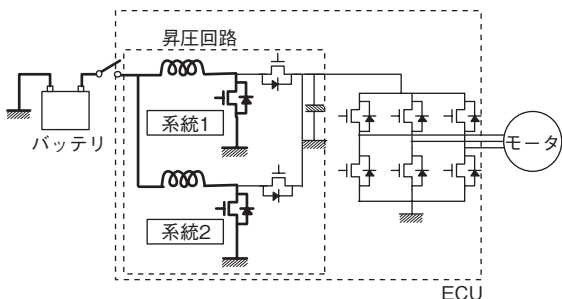


図4 ECU (昇圧) 回路
ECU (booster pump) circuit

4. コラムについて

減速機の構造としては、フリクションと歯打ち音を両立させ、さらに温度による影響を低減させるために新材料を用いたリダクションギヤおよび芯間調整機構を採用した。これによりモータの出力向上に対応することができ、操舵感と異音を両立させることが可能となった。

図5に今回搭載した芯間調整機構の断面図を示す。従来機構はウォームとウォームホイールの芯間距離は固定されているのに対し、開発品ではエンド側軸受とハウジングの間にすきまを設け、図に示すスプリングを組み込むことにより支点の A 側の軸受のすきまおよび曲率により A を支点にウォームが動くようになっている。そのため、温度による樹脂の膨張や摩耗による芯間距離の変化を吸収し、かみあい部のバックラッシュを無くす構造となっている。

また、高出力化に伴い従来のウォームホイール部の樹脂材では、必要強度と摩耗低減の両立が困難であるため、開発品では強度で 40% 向上させ、吸湿による強度低下を生じない樹脂材に変更し、また、モータの慣性による操舵感（ステアリングホイール上での慣性感）への影響を低減させるための減速比の最適化を行った。

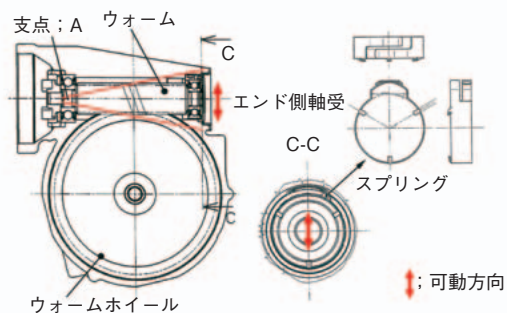


図5 減速機構造
Structure of reduction gear

5. ホールIC式トルクセンサ

従来方式のトルクセンサに対して、温度変化による特性変動を低減させ、フェールセーフの面から完全 2 重系構造とした新方式（ホール IC 式）のトルクセンサを採用した。

新方式（ホール IC 式）のトルクセンサは、デジタル演算機能、揮発性メモリ、温度補正機能を 1 チップに内蔵した高機能ホール IC を採用したことで、トルク検出精度が向上し、温度特性にも優れ、エンジンルーム内で

の高温使用環境下でも安定した操舵感を得ることが可能となった。温度特性では30%向上させ、振れ回り変化量を1/3に低減するなどトルク検出精度および信頼性を向上させた。また、ホールICチップを2個搭載し、両者の出力差を監視することで、故障検出機能の完全二重系を達成し、2010年以降に制定予定の「欧州新安全規格」を先取りした信頼性の高い製品となっている。さらに、部品点数が少なく構造がシンプルなコンパクト設計で、従来方式より軸方向の長さを約10mm短縮し、搭載性にも有利な構造となっている。

図6に開発したホールIC式トルクセンサの構造を示す。

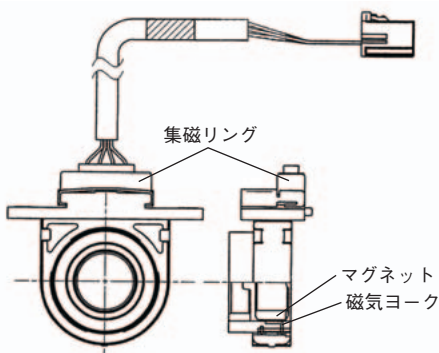


図6 ホールIC式トルクセンサ構造図
Structure of hall IC torque sensor

ステアリングホイールが操舵されていないときは、ヨーク歯部がマグネットの表面磁束を短絡しており、ホールICに磁束が伝わらない(図7上)。

操舵力が加わると、トーションバーで連結されたマグネットと磁気ヨークに角度差が生じ、マグネットの磁束が磁気ヨークから集磁リングに伝達される。集磁リングの突起部に挟まれたホールICにトーションバーのねじれ角に比例した磁束が伝わることで操舵トルクを検出する(図7下)。

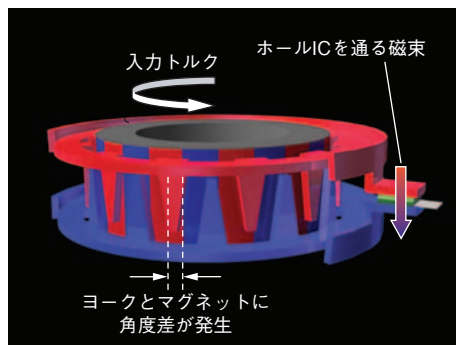
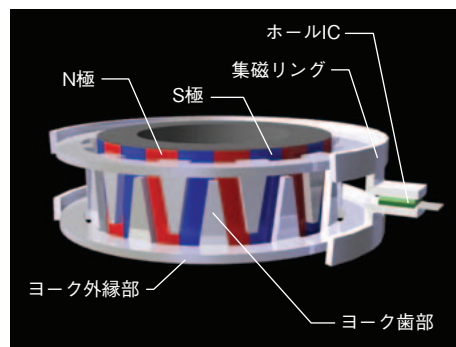


図7 ホールIC式トルクセンサ検出原理
Detection principle of hall IC torque sensor

6. マニュアルギヤについて

高出力化に対応するために、ピニオン支持構造を最適化するとともに、操舵感を向上させるために、ギヤ諸元と各部のしゅう動部摩擦配分およびその最適化を実施した。

図8にマニュアルギヤの構造を示す。ピニオン支持構造は、トルク低減・軽量化・コスト低減の観点から、玉軸受と針状ころ軸受の組合せが最適と判断し採用した。高出力対応のため、従来品よりピニオン軸径を大きくした。

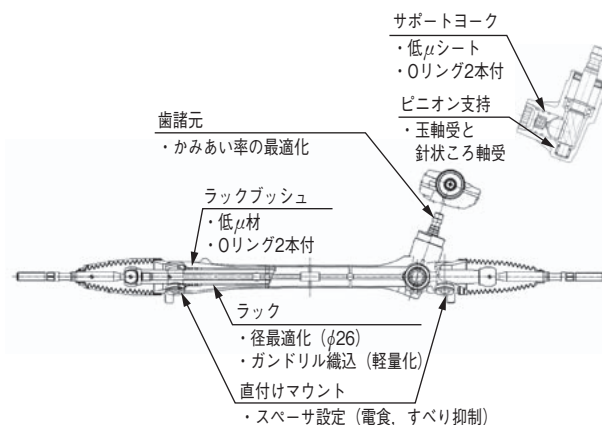


図8 マニュアルギヤ構造
Structure of manual gear

ベンチマークおよび実車を用いて最適諸元を検討し、ギヤのかみあい率の最適化を実施した結果、ラック軸力で12 000Nまで対応できるように、横展開可能な歯諸元のシリーズ化を行った。

サポートヨークシートおよびラックブッシュには摩擦係数の低い材料を採用することによりしゅう動摩擦を極力低減し、結果として、ラックとピニオンのかみあい側はコイルばね荷重で、ラックブッシュ側はラックブッシュの外周に装着されたOリングのしめしるで摩擦力の配分を行うことが可能な構造となっている。

その他、ノイズ低減に配慮してサポートヨーク外周にはOリングを設定し、また軽量化のためラックにガンドリル加工を織り込み、操舵感向上のため、サスペンションメンバ直付けマウント構造を採用した。

直付けマウント構造採用により、台上での操作安定性評価と実車での操作安定性評価の差の要因となっていたマウント部分のブッシュゴム弾性が排除できた。その結果、操舵感については、ギヤの内部摩擦配分検討だけで台上試験による改善が可能となり、ピニオン切り始め時の立ち上がりトルクとピニオン回転角に応じて定常域に達するまでのトルク配分の最適化を行うことが可能となった(図9)。

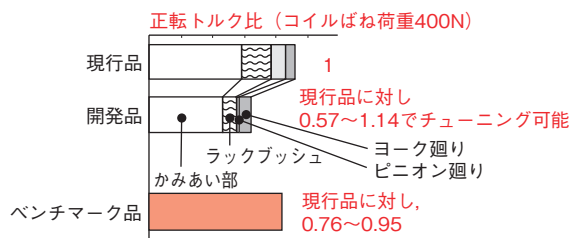


図9 摩擦配分
Friction distribution

7. アシスト制御部について

本システムのEPS制御アルゴリズムは当社オリジナル『J-ISM』である。J-ISMの特長として、以下2点を紹介する。

7.1 位相補償の構成

位相補償とは、EPSシステムの慣性、ばね、アシストなどにより発生する自励振動を抑えシステムを安定化させるための補償制御である。

従来までの制御では、図10のように基本アシスト特

性に関係なく、高トルク域に合わせ一定の位相補償を行っていたが、J-ISMでは図11のように基本アシスト特性に応じて必要な量の位相補償を行う制御ロジックとした。

このロジックにより、低トルク域の位相補償量を低減させることができ、その結果、車両としてニュートラル付近の操舵感のコントロール性を向上させることが可能となった。

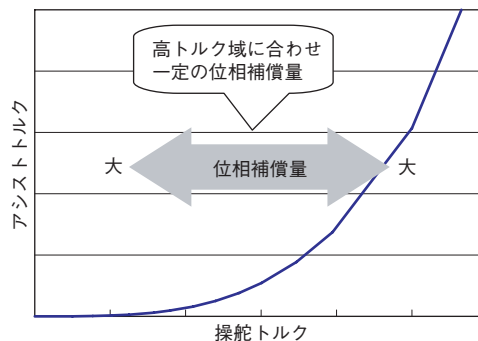


図10 基本アシストに対する位相補償 (従来)
Phase compensation in relation to basic assist (conventional)

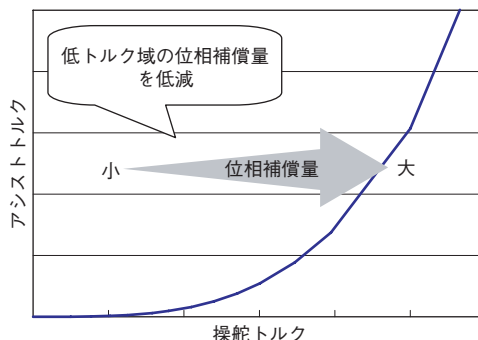


図11 基本アシストに対する位相補償 (J-ISM)
Phase compensation in relation to basic assist (J-ISM)

7.2 外乱抑制効果

EPSの高出力化に伴いモータがブラシレス化され低慣性になったことにより操舵感が向上するが、背反としてフラッタ、ブレーキ振動などの逆入力に対する感度が大きくなった。

J-ISMでは、逆入力振動成分をトルク微分値として検出し、振動を打ち消す方向にアシストすることで、その振動をステアリングホイールに伝えない制御を導入した。

図12は、タイロッドからスイープ加振した時のステアリングホイール周方向加速度を示した結果である。フラッタ、ブレーキ振動の周波数帯において、ステアリン

グホイール周方向加速度が大幅に低減されていることが分かる。

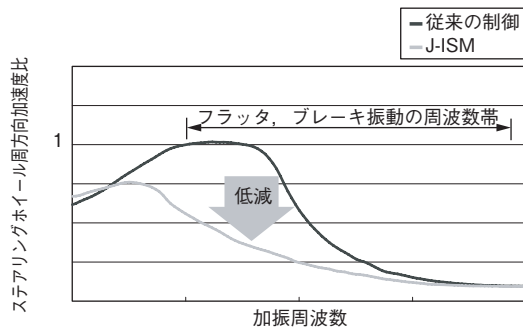


図12 外乱に対する抑制効果例

Example of suppressing effect for disturbance

8. おわりに

搭載性、省エネルギーの利点から軽自動車用への搭載から始まったC-EPS®は、今では大型車用としての需要が高まってきている。

今回、C-EPS®として初めてブラシレスシステムを手掛け、車載用としての静粛性等の特性にも改良を加え、量産するまでに至った。今後、更なる高出力化へ向け機械的な強度へも配慮しつつ、効率向上を目指した製品を開発していきたい。

参考文献

- 1) 杉浦友紀：JTEKT Engineering Journal, no. 1001 (2006)73.

筆者



永橋 豊*

Y. NAGAHASHI



川久保暁威**

A. KAWAKUBO



辻本泰介***

T. TSUJIMOTO



景井勝典***

K. KAGEI



長谷川 純****

J. HASEGAWA



角谷智司*

S. KAKUTANI

- * ステアリング事業本部 第1システム技術部
 ** ステアリング事業本部 NV技術部
 *** ステアリング事業本部 第1電子技術部
 **** ステアリング事業本部 システム開発部