

ステアリングシステムにおけるインタミディエイトシャフトの技術動向

Technical Trends of Intermediate Shafts in Steering Systems

植田博二 H. UEDA

Recently, along with the rapid spread of column type electric power steering (C-EPS) systems for automobiles, demands for high-performance intermediate shafts have also increased. Here, technical challenges for high-torque transmission requirements on intermediate shafts in C-EPS systems, together with our current and future approaches, are described.

Key Words: intermediate shaft, main shaft, joint, slide triggering load, torsional rigidity

1. はじめに

電動式パワーステアリング(以下EPSと称す)は、当社が1988年にステアリングコラムに直流モータによるアシスト機能を一体に組み込んだ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)を世界に先駆けて軽四輪車用として商品化し、普通車へと適用が拡大してきた。

欧州においても、パワーステアリングの搭載率の増加に伴ない、小型車を中心として1996年からC-EPSが採用されはじめた。また、米国でも2002年に米国生産車として小型SUVに当社製C-EPSが搭載され、今後は、中、大型車においてもEPSの適用が検討されている¹⁾。

このようにC-EPSの中型大型車両への搭載が急速に増大する中で、インタミディエイトシャフトに対する技術的要求も、従来衝突安全性、操舵安定性が重視されていたが、搭載性に加えてC-EPSの高出力化や快適性に対応した性能が重要となってきた。

本報では、インタミディエイトシャフトの現在の状況と今後の動向について報告する。

2. C-EPSシステムにおけるインタミディエイトシャフト

2.1 C-EPSシステム

図1にC-EPSシステムの構成を示す。

インタミディエイトシャフトは図2に示すようにジョイント部とメインシャフトより構成されている。

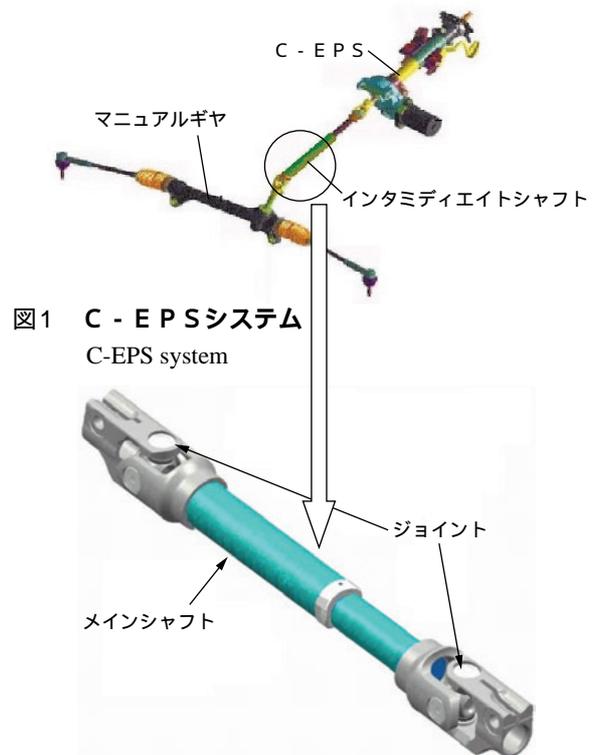


図1 C-EPSシステム
C-EPS system

図2 インタミディエイトシャフト
Intermediate shaft

2.2 伝達トルク

図3にC-EPSシステムにおいてインタミディエイトシャフトが伝達するトルクを模試的に示す。伝達トルク T_I は次式で表される²⁾。

$$T_I = T_H + T_A$$

T_H ; ドライバーがハンドルを操舵する時に発生するトルク

T_A ; アシストトルク(モータ出力トルク × 減速比 × 減速機効率)

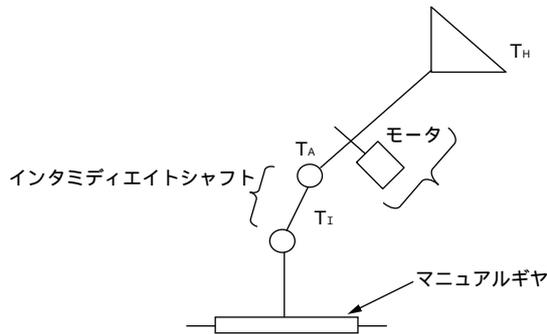


図3 C-EPSシステムの模式図
Schematic diagram of C-EPS system

油圧式パワーステアリングシステムの場合、操舵アシスト力はステアリングギヤ側にあるため $T_I = T_H$ となり、インタミディエイトシャフトに負荷されるトルクは常用最大で $10\text{N}\cdot\text{m}$ 前後であった。C-EPSシステムでは、図4に示すように高出力化の影響もあって、インタミディエイトシャフトへ伝達されるトルクは、油圧式パワーステアリングシステムと比較して10倍以上になる場合がある。

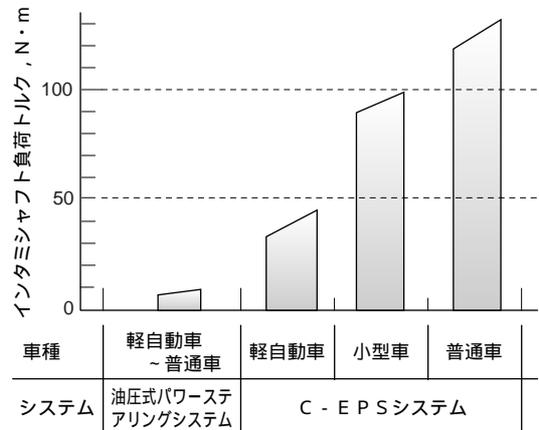


図4 システム別インタミディエイトシャフトへの負荷トルク

Torque on intermediate shafts of various steering systems

3. インタミディエイトシャフト

3.1 種類と特徴

インタミディエイトシャフトは表1に示すように、大別して衝突安全性、操舵安定性などといった機構によって分類される。

表1 インタミディエイトシャフトの種類(代表例)

Types of intermediate shafts (typical examples)

分類	種類	中間軸の構造	特徴
衝撃吸収機構付き	1) コルゲートチューブ付き		<ul style="list-style-type: none"> ・車両衝突時の突き上げるエネルギーをコルゲートチューブで吸収する ・エネルギー吸収するためのチューブ長が必要であり、軽四車、小型車ではレイアウト上成立し難い
	2) 樹脂インジェクション付き		<ul style="list-style-type: none"> ・車両衝突時の突き上げるエネルギーを樹脂インジェクション部で吸収する ・高出力下では、インジェクション部にあそび発生の可能性はある
	3) かしめタイプ		<ul style="list-style-type: none"> ・車両衝突時の突き上げるエネルギーをかしめ部で収縮吸収する
振動、音吸収機構付き	4) 収縮(スプライン)タイプ		<ul style="list-style-type: none"> ・スプライン部を設けて、コラムとステアリングギヤ部の相対を吸収する ・高出力下では、スプライン部にあそび発生の可能性はある
	5) ラバーカップリング付き		<ul style="list-style-type: none"> ・ラバーカップリングにより、音、振動を吸収する ・高出力下では、カップリング部に剛性低下の可能性はある

3.2 高伝達トルク下での課題

図4に示すそれぞれのシステムにおいて、C-EPSシステムのように高トルクがインタミディエイトシャフトに負荷される場合、あそびの発生が懸念される。あそびは、例えば図5に示すようなスリーブとシャフト間のスプライン連結部の摩耗やへたり、またジョイント部の軸受とクロス間の摩耗や予圧抜けなどにより発生することが考えられる。市場におけるあそびの発生は、操舵感の低下につながるばかりではなく、異音の発生も伴う場合があるため、重要な課題であり対策が必要である。

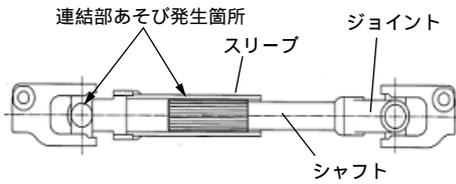


図5 スプラインタイプ
Spline type

4. 高伝達トルク対応技術

4.1 メインシャフト

搭載性、操縦安定性などの点から近年スライドタイプのインタミディエイトシャフトの装着が増加傾向にある。このような中で、C-EPSシステムに組み込まれるメインシャフトは、高出力条件下で、先に示したあそび防止を含め次の特性が必要とされている。

- 1) あそびがない
- 2) 捩り剛性が高い
- 3) スライド荷重が低い
- 4) 耐久性がある(あそびの増加，剛性低下が小さい)

しかし、従来のスプライン構造で「あそびがない」「捩り剛性が高い」という仕様を満足させるためには、スプライン部のすきまを減少させる必要があり、スライド荷重の増加、および長期使用による特性変化の増加につながる。これは、「スライド荷重が低い」と「耐久性がある」とは相反するものであった。

4.1.1 新構造メインシャフトの開発 (ボールスライド機構+スプライン構造)

これらの課題を考慮して開発したボールスライド機構を図6に示す。スプラインタイプと同様に高トルク伝達時はスプラインはめあい部で受けるが、使用頻度の高い低トルク伝達時はばねで支持されたボールで受けることから、スプライン部の摩耗が少なく、ばねにより常時予圧が加えられているために、あそび感を抑制することができる。

1) 構造

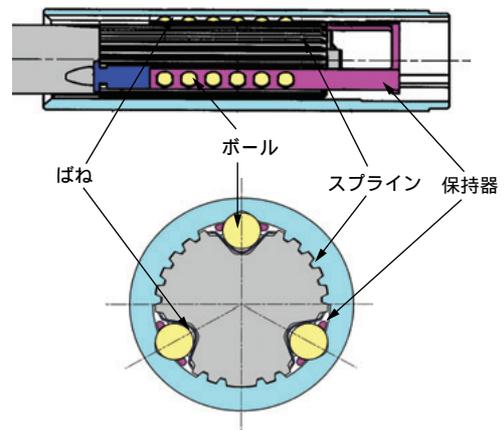


図6 ボールスライド機構+スプライン構造
Ball-sliding mechanism + spline structure

2) 特徴

要求性能に対する機能上の特徴を表2に示す。

表2 ボールスライド機構+スプライン構造の特徴
Features of ball-slide mechanism + spline structure

要求特性	特徴
1) あそびがない	ばねにより常時予圧が与えられているため、あそび感を抑制
2) 捩り剛性が高い	ばねにより常時予圧が与えられているため、一定の剛性を維持
3) スライド荷重が低い	低トルク伝達時は、ボールの転がりにより低スライド荷重を維持
4) 耐久性がある	使用頻度の高い低トルク伝達時はボールで受けるためスプライン部の摩耗が少ない

3)性能

メインシャフトの性能を表3に示す。

表3 メインシャフト性能
Performance of main shaft

項目	結果
スライド荷重	10~20N(無負荷時) 40~50N(3N・m負荷時)
ストローク	±7mm(組付け時25mm)
耐久性 (振り剛性)	トルク - 振り角度 (T -) 特性にて耐久前後で実あそびなし

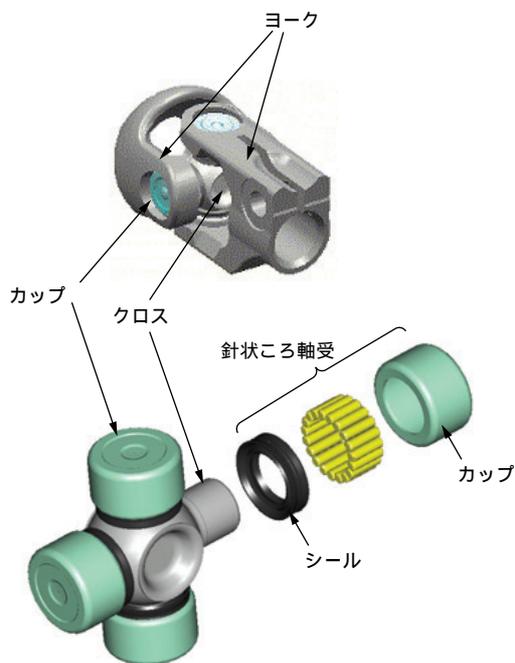
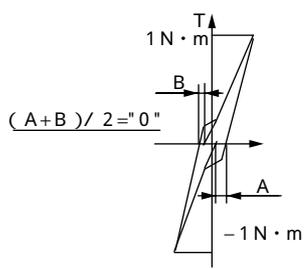


図7 ジョイントの部品構成
Composition of universal joint

4.1.2 次世代タイプのメインシャフト

新構造メインシャフトにおいて、従来課題とされていたあそびの発生防止や耐久性の向上について一定の成果が得られた。しかし、今後、より高性能な次世代タイプのメインシャフトの開発にあたっては、下記の項目に留意していきたい。

- 高トルク伝達状態での低スライド荷重
- 高トルク伝達状態での高い振り剛性
- 低コスト、軽量

4.2 ジョイント

ジョイントについてもメインシャフトと同様に、下記の特性が求められている。

- 1)あそびがない
- 2)振り剛性が高い
- 3)揺動トルクが低い
- 4)耐久性がある(あそびの増加、剛性低下が小さい)

4.2.1 ジョイントの構造

ジョイントは図7に示すように、ヨーク、クロス、シール、針状ころ軸受により構成されている。

4.2.2 ジョイントのあそび

ジョイント部においても初期および耐久後のあそび発生については、3.2項で示したように操舵感の低下、異音の発生が問題となる。

ジョイント部のあそびが発生する要因として下記の2点が挙げられる。(図8参照)

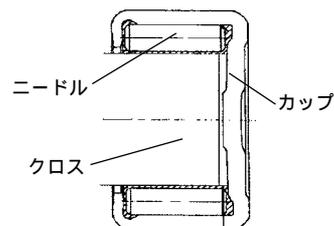


図8 軸受支持部
Bearing support position

- クロスと針状ころ軸受間のラジアルすきま
- クロスとカップ間のアキシャルすきま

ラジアル方向のあそび対策としては、すきまをつめることで効果はあるが、揺動トルクを増加させる方向にあり、規格を満足しない製品が生産される可能性があるため、直行率の低下につながる。

また、アキシャル方向のあそびについては、図9に示すように当社を含め各社があそびを抑えるための色々な設計的工夫を凝らしている。しかし、クロス部アキシャル方向に負荷が加わることによるカップの移動、長期使用による介在物の摩耗などにより初期状態を維持して完全にあそびを防止

するまでには至っていない²⁾。

今後の開発にあたって、下記項目に留意して開発を進めていきたい。

耐久性低下の少ない予圧機構

予圧設定方法

低コスト，軽量

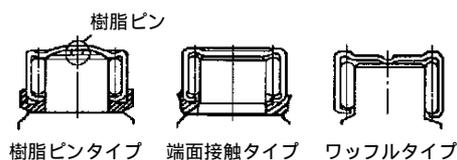


図9 各種ジョイントのあそび防止構造

Anti-backlash designs of various joints

5. おわりに

C - E P Sシステムとして、高トルク伝達性と快適性(操舵感)向上との背反する性質を両立させるには、あそびのないインタミディエイトシャフト性能(高剛性)を確保することが不可欠である。また、相反の関係にある低スライド荷重，低揺動トルク，高寿命の性能を両立させることが必要となる。

本報で示した、相反する特性を現在の設計条件の中で両立させるには、加工技術，熱処理技術なども含めた見直しが不可欠と考えられる。

参考文献

- 1) 井尻和一郎，筒井高志：Koyo Engineering Journal, no. 162 (2002) 28.
- 2) 神藤宏明，平櫛周三：Koyo Engineering Journal, no. 161 (2002) 12.

筆者



植田博二*
H. UEDA

* ステアリング事業本部 ステアリング開発部