

ステアリングコラムの技術動向と製品への展開

Technical Trend and Development of Steering Column

神藤宏明 H. SHINTOU 平櫛周三 S. HIRAKUSHI

With higher performance of vehicles, requirements of steering columns have become stricter and stricter and then the designs of them must be improved.

This paper shows first the recent trends of requirements of columns from the points of collision safety, steer feel, and strength of various parts. And, secondly, improved steering column designs to meet these requirements are described. Then, finally, the authors propose the future trends of steering column designs.

Key Words: steering column, intermediate shaft, collision safety, steer feel, electric power steering

1. はじめに

ドライバが車に期待することは、“より安全に”、“より快適に”運転ができることだろう。ステアリングコラムは、車の基本性能の1つである“曲がる”に直接的に関連し、車の重要保安部品の一つとなっている。ステアリングコラムに求められる機能(要求特性)としては、衝突安全性、操舵フィーリング(コラム剛性)、盗難防止性能(キーロック強度)などがあり、コラムがこれらの機能をどれだけ満足しているかがコラムの完成度の指標とされている。

近年、安全性、環境保護という時代のニーズからコラムを取り巻く新技術の開発が加速的に進んでいる。それらはエアバックや電動パワーステアリングに代表されるものである。コラムは、これらの新技術とともにステアリングシステムを構成する一部品として、同時に発展していかねばならない。さらにコラムメーカーは価格競争時代の中であって、低コスト化を実現できる新しいデザインや生産面での新技術を積極的に投入し、客先に提供していかなければならない。このような見地か

ら本稿ではインタミディエイトシャフトも含めたコラム系の最近の技術トレンドを概説し、今後の製品への展開について述べてみたい。

2. エアバック、電動パワーステアリング付コラムの強度要件

本論に入る前にステアリングコラム(以下コラムと称す)を取り巻く最近の技術の代表例としてエアバック、電動パワーステアリング(以下EPSと称す)を取り上げ、これらの新技術製品がコラムの設計にどのような影響を及ぼしているかについて述べる。

2.1 エアバック¹⁾

エアバックは、1980年代の後半からシートベルトの乗員保護補助装置(SRS)として、主に車両前面衝突時の頭部保護の目的で搭載が加速的に進み、現在乗用車ではほとんどの車に装着されている。図1にドライバ席のエアバックが展開している状況を示す。50km/hの前面衝突の場合、衝突瞬間からバックが膨張を開始し、乗員を受け止め、



図1 ドライバ席エアバックの展開

Deployment of driver side air bag

萎むまでの時間が約0.2秒．眼のまばたきと同じ平均0.2秒というから，気がついたらバックが既に萎んだ後というわけである．ここで注意しなければならないのはバックが膨張を続けている間，コラム軸下方に向かって膨張方向と反対方向(車両前方)に，反力として付加的な力が発生することである．ロケットを発射する際地面に作用する噴射反力と類似する．この力は，通常バックのフル膨張時容量が60Lの場合約3 000Nである．この時コラムに組み込まれているエネルギー吸収(以下EAと称す)機構が作動(収縮)してはならない．

2.2 電動パワーステアリング(EPS)

EPSはエアバックと同じく1980年代後半から主に燃費向上の目的で採用され始め，近年，時代の強いニーズから油圧パワーステアリングから本システムに切り替わりつつある．

本章では，コラム系に発生する付加的な力を考慮しなければならないコラムタイプEPS(以下C-EPSと称す〔注1〕)について述べる．

(1) インタミディエイトシャフトに発生する付加的な力

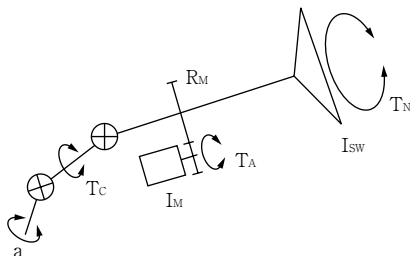


図2 C-EPS模式図
Schematic diagram of C-EPS

図2にC-EPSについて，発生するトルクを模式的に示す．インタミディエイトシャフト(以下インタミと称す)に発生するトルク T_c は次式で示される．

$$i) \text{ ステアリングホイールからの入力の場合} \\ T_c = T_N + T_A \quad (1)$$

T_N : ノーマルコラム(注2)の場合のインタミに付加されるトルク

T_A : モータによるアシストトルク

$$ii) \text{ ステアリングギヤ側からの入力の場合} \\ T_c = (I_{SW} + I_n \times R_M^2) \times a \quad (2)$$

I_M : モータの慣性モーメント

R_M : モータの減速比

I_{SW} : ステアリングホイールの慣性モーメント

a : 角加速度

本式からいずれの場合においてもインタミには，ノーマルコラムの時よりも多くトルクが負荷されることがわかる．

(注1) ドライバの操舵力をアシストする目的で，モータと減速機がコラムの部分に取り付けられているEPSを当社ではC-EPSと呼んでいる．

(注2) 本稿ではEPSを搭載していないコラムをノーマルコラム，チルト・テレスコ機能を持たないコラムをコンベンショナルコラム(以下コンベコラムと称す)と呼ぶ．

(2) EPSモータの反力

図3にモータの回転にともない発生する反力を模式的に示す．図は，ハンドルを左切りの場合を示すが右切りの場合は逆方向となる．この反力がモータの連結部品に繰り返し付加される．ちょうど茶筒を手で締めたり緩めを繰り返している時の動きと類似する．設計者はこの付加的な力(トルク)を考慮して強度設計をしなければならない．

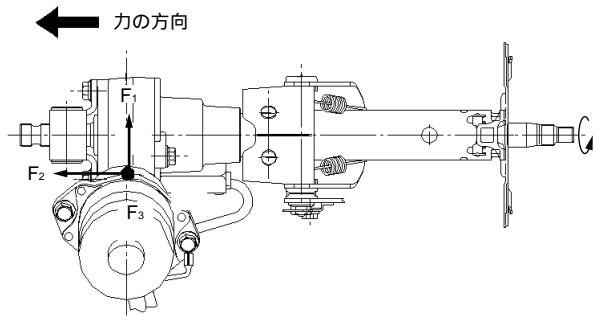


図3 モータ駆動時のコラムに発生する力
(F_3 は紙面に垂直で手前方向に働く)

Force generated at motor driving
(Force F_3 is generated vertically to this paper)

3. ステアリングコラムおよびインタミディエイトシャフトの要求特性と技術動向

コラムに要求される性能は以下の3項目が重要である．

- (1) 衝突安全性の向上(コラムEA特性)
- (2) 操舵フィーリング向上(必要剛性の確保)
- (3) 部品強度の確保(キーロック強度，静的/耐久強度)

表1 ボディブロックによる衝突試験
Collision tests by BODY-BLOCK

項目	適用国				
	日本	米国・カナダ	欧州	オーストラリア	南アフリカ
保安基準11条		FMVSS203 CMVSS203	ECENo12 EEC74 / 297	ADRNo10B	SABSSV 1048-1977
ボディブロック 衝突速度	25 ± 1 km/h	24.1km/h (15mph)	24.1km/h	24.1km/h (6.7m/s)	24km/h
最大荷重	1 111daN以下 (1 135kgf)	1 111daN以下 (25 001b)	1 111daN以下	1 111daN以下 (11.1kN)	1 111daN以下 (11.1kN)
シャープエッジ			シャープエッジ なきこと		シャープエッジ なきこと

表2 実車衝突試験項目(米国でのバリアテスト)
Items of vehicle collision test

試験項目	試験内容	確認項目
正面衝突	50km/h	使用ダミー：A M50 ハイブリットⅢ
斜め衝突	50km/h	顔面圧，H I C，頭部Gがシートベルト単独使用の場合よりも低減されていること
	左30°斜突	H I C 1 000以下
	右30°斜突	胸G 60 G，3 ms以下
		胸たわみ 63mm以下 膝荷重 10KN以下

ここで， m ：ダミーの質量
 v ：ダミーの速度
 F ：コラムE A荷重
 S ：コラムE Aストローク
 ($F \times S$ で吸収エネルギー)
 E_A ：エアバックが吸収するエネルギー
 E_A はバック特性により決まるので，ここでは $F \times S$ に注目する。
 図4に $F - S$ 関係を模式的に示す。

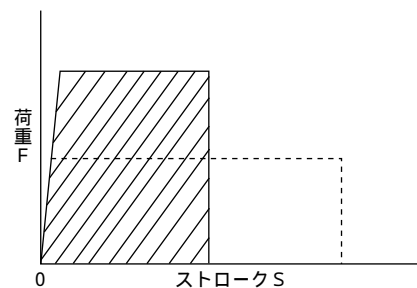


図4 F - S特性
Characteristic of F-S

3.1 衝突安全性の向上

(1)法規制の状況^{2)・3)}

衝突安全性は法規によって性能が規制されており，表1，2に規制の内容を示す．その内容は各国とも殆ど同じである．まず表1に示すボディブロック試験ではボディブロックを決められたスピードでステアリングホイールに衝突させた時にコラムシャフト先端に発生する荷重が一定値以下であることが要求される．

次に表2に代表例として，米国での実車衝突試験内容を示したが，実車を50km/hでバリアに衝突させた時にダミーの頭部，胸部および膝部に発生する衝撃レベルの限度が決められている．

(2)コラムのE A性能

ドライバがステアリングホイール(エアバック)に衝突する際のエネルギーは，主にエアバックやコラムの収縮エネルギーで吸収される．

すなわち，

$$(1/2)mv^2 = F \times S + E_A \quad (3)$$

(3)式からも明らかなように， F は直接人体に付加される荷重であり，大きい場合は内臓破壊や肋骨の破損に至る．このため法規では最大荷重(11,123N以下)が規定されている．またエアバック車においては，近年40km/h程度以下の中・低速衝突での作動を重視する傾向にあり，そのような場合，低荷重(F を小さく)でE A機構を作動させねばならない．

以上E A荷重の上限値が存在することを考察したが，以下に述べるように下限値も存在する．

例えば，エアバック車においてはバッグ膨張時にコラムを収縮させようとする反力が生じ(2章)，この力に勝る F が設定されていなければならない．さらに後述のガタ，振動などを抑

制する面から、Fの下限値が存在する。

次にストローク(S)という面から考えると $F \times S$ を一定量確保するため、Sを必要分取れるようなコラム設計をしなければならない。C-EPSでは、モータがコラム下方に取りついている関係から衝突時の膝当たりを回避できる配置を考えねばならない。

3.2 操舵フィーリングの向上(必要剛性の確保)

(1)ガタの低減

図5に一般的に用いられるガタの定義を示す。ガタは同時に異音の発生を伴う場合がある。最近の自動車の快適性志向にともないガタに対する要求特性が益々厳しくなっている。

よく問題に挙がるのはインタミ部ジョイントのガタである。各社の製品をベンチマークすると、このガタを抑えるため色々な設計的工夫がこらされている事がわかる。図6に2~3の例を示す。

一方コラムで特に問題となるのはシャフトを回転保持しているアッパ、ロア2ヶ所の軸受部に発生するガタである。最近ではVA/VEの目的でロア側を樹脂ブッシュ構造とするケースがあるが、車体構造によってはガタを抑制するためにコストアップとなる軸受を使わざるを得なくなるケースがある。

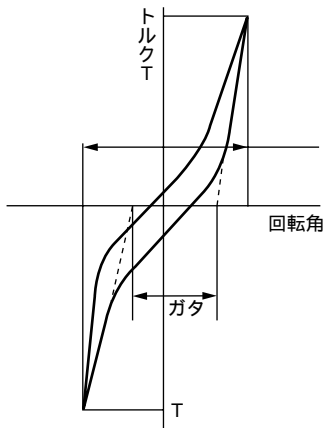


図5 ガタの定義
Definition of looseness

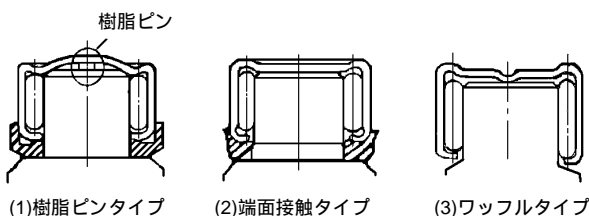


図6 各種のジョイントガタ防止構造

Various structures for joint looseness prevention

(2)コラム系ねじり剛性のアップ

コラムではシャフトの径アップ、ボディへの取り付けブラケットの剛性アップ、インタミではプレスヨークから鍛造ヨークへの切り替え、ダンパーゴムのばね定数アップなどが実施される。

ここで注意が必要なのは特にノーマルコラムの場合、剛性を上げすぎるとフラッタやキックバックなどの背反現象が生じることであり、これらが両立するよう設計に十分配慮しなければならない。

(3)摩擦の低減

軸受として樹脂ブッシュからベアリングへの切り替え、低 μ グリスの採用などが図られている。但しノーマルコラムの場合、極端にこれを追求していくと、前述のようにフラッタ、キックバックが悪化してくるので注意を要する。EPSの場合は、モータの持つ慣性力によりフラッタ、キックバックの悪化は通常心配はない。一方モータ、減速機などの摩擦成分が付加されてくるため、操舵フィーリング向上という立場からシステムとしてのトータルトルク低減の要求が強くなってきている。

(4)トルク変動の低減

図7にトルク変動の定義を示す。インタミの2個のジョイントが角度(交差角)を有しているため、必ず操舵トルクの変動が生じる。トルク変動を抑えるためには、2個のジョイントの交差角を等しくすることが望ましいが他の部品との干渉を避けねばならず通常はそうはできない。設計者は客先の車両企画(レイアウト検討)の初期段階から検討会に参画し、このような条件が満たされるよう要望することが必要である。

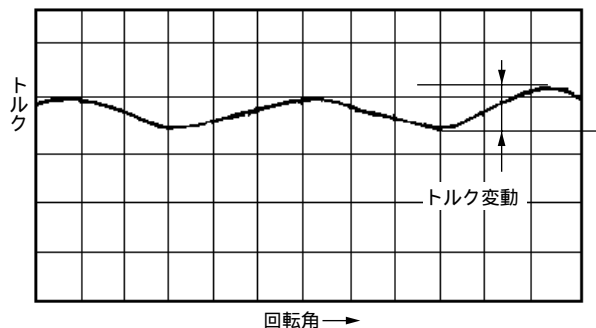


図7 トルク変動の定義
Definition of torque deviation

3.3 部品強度の確保

(1)キーロック強度⁴⁾

1995年のECEの規格改正により従来より大幅に必要強度がアップした。表3に改正内容を示す。このためコラムとしては以下の改善がなされている。

- i)キー挿入部のシャフト肉厚のアップおよび焼入れによる強度アップ
- ii)シャフトセレーション部の強度アップ

表3 キーロックテストの改良内容
Improved contents of KEY-LOCK test

従来内容	ステアリングシャフトの軸のまわりで、静的条件下で200Nmのトルクをかけられた時、ステアリングメカニズムに異常なきこと
改良内容	<p>当不正使用防止装置は、以下基準のいずれか1つを満たすこと</p> <ul style="list-style-type: none"> ・静的条件にてステアリングスピンドル軸に300Nmのトルクを負荷した時に、異常なきこと ・当装置は、最小100Nmのトルクを負荷した時に連続的に或いは断続的にシステムが耐えられるようにたわんだりスリップする機構を持つこと

(2)C - E P S 部品の強度確保

2章に述べたようにC - E P S コラムでは、モータ反力による3方向の繰り返し荷重(トルク)がコラム部に付加的に加わり、またインタミにはアシストトルクが付加的に加わるので、各部品の静的/動的強度検討に際しては、これらを十分考慮して進める必要がある。

4. ステアリングコラム系への今後の技術展開

4.1 当社コラムの歴史

当社は1972年よりGM技術を導入したボールスライド式エネルギー吸収方式コラムを市場に導入した。このGM方式のコラムは当時としてはE/A特性の安定さでは画期的な方式であり、各社が同一の構造を採用した。しかし本方式は多様な衝突形態に対し、必ずしも十分対応できないことやコスト高も影響し採用車種が減少していった。それに代わり、その後某自動車メーカーでコスト優先の安価コラムが導入され、“性能確保かつ安価”コラムの時代に入っていった。1980年代後半になると乗員保護、環境保護という立場からエアバック、EPSなどの新技術が開発され、これを取り付け

るコラムに対する要件が新たに加わってきたことは2章で述べた通りである。

さて今後のコラムに期待される項目を整理すると次の4点である。

- (1)3章で述べた各種性能が満足され、かつ軽量で安価に提供できること。
- (2)商品力の向上。
ユーザーからの多機能化の要求に応えるよう、コンベコラム以外にチルト、チルト&テレスココラムもラインアップ製品の中に揃えること。さらに、そのような商品の採用車種拡大を図ること。
- (3)それらのコラムおよびインタミが標準型であり、結果として大幅な種類削減が可能なこと。
- (4)環境負荷物質の低減

4.2 高性能・軽量・安価コラム

図8に当社で検討中のかしめ方式を主体としたコラム構造を示す。本方式は以下の特徴を持っている。

- (1)かしめ構造によるE/A機構がジャケットのみで構成されるため新規部品がなく安価・軽量である。
- (2)かしめ径をコントロールすることで、E/A荷重のコントロールができる。
- (3)寸法公差内で荷重が決まり、ばらつきが少なく、安定したE/A荷重が得られる。

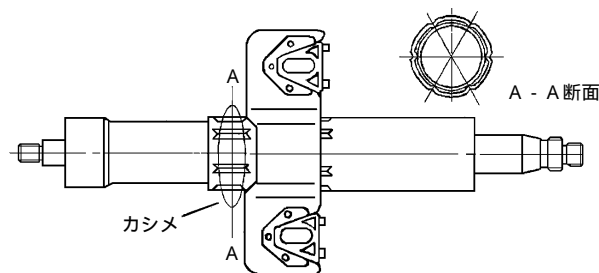


図8 カシメ式コラム
Calking type steering column

4.3 商品力の向上

図9に当社が開発したテレスコピックコラムのシャフト構造を示す。シャフトはテレスコ操作により低荷重で摺動する必要がある。摺動力を小さくするには出来るだけ噛み合い部の抵抗を小さくすることが必要であるがシャフトにガタが出てくる状態までになると、操舵フィーリングが悪化する。当社ではシャフトに特殊樹脂をコーティングし、摺動力とガタ低減を両立させた。



図9 シャフトへの樹脂コーティング
Resin coating on the shaft

図10にトラック用コラムとして量産中の当社開発のチルト&テレスコピックコラムを示す。コラム軸の搭載角度が約65°と大きく、また要求される強度要件も乗用車の数倍であるが、FEMによる強度解析などによりトラック特有の厳しい各種要件を満足する構造を開発した。

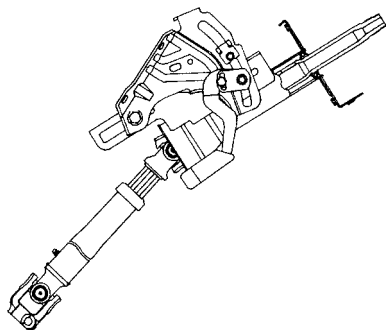


図10 トラック用コラム
Column for a track

4.4 種類削減

コンベ、チルト、チルト&テレスコを含めたコラムの標準化により大巾な種類削減活動が必要であることは前述の通りであるが、インタミに対しても種類削減の要求が強い。

(1)ヨークの種類削減

熱間鍛造ヨーク、冷間鍛造ヨーク、プレスヨークの統一およびスプライン諸元の統一

(2)十字スパイダの種類削減

スパイダとニードルベアリング間のクリアランス低減の目的でスパイダの外径公差が、特に高級車において厳しくなっている。現在は選択組み付けを実施しているが、今後はばらつきを小さくする生産技術面の開発が必要となってくる。

(3)シールの統一

4.5 環境負荷物質低減

規制の対象として議論されているのは鉛、水銀、カドミニウム、6価クロムの4種であるがこの内現在コラム材料に関係するのは鉛である。鉛フリ

ー化対応として軸受のメタルブッシュ、熱鍛ヨークの素材である鉛快削鋼、鉛系極圧剤添加グリース、ホーン接点の鉛フリーはんだなどがあり、鉛に代わる新材料への変更を検討している。

5. おわりに

以上、ステアリングコラムが現在置かれている現状をもとに、将来のコラムのあり方を提言してきた。今後コラムに求められる機能は一段と増大するものと思われる。本文に触れなかったが、衝突安全1つとってみても、近年各車の安全レベルの格差をより明確にする為、JNCAP、NCAPと言った公的機関による実車衝突試験が法規制条件以上の厳しい条件で行われ、ランキングが発表されている。これらは公開されるデータであり評価が悪いと自動車会社の姿勢が問われ、また車の販売台数にも影響を与えかねない。一方EPSについても、高出力モータの要求が高まり、コラムに対する要件は益々厳しくなっている。同時にコスト低減、軽量化技術開発へのニーズも一段と増大している。このような厳しい環境下において今後期待に答えられるコラムの設計に向け努力していきたいと思う。

参考文献

- 1) TOYOTAサービス部広報資料、SRSエアバックの働き(1994)。
- 2) 自動車技術、vol. 55, no. 1(2001)82。
- 3) 自動車技術会、自動車技術シリーズ6(自動車の安全技術)、(株)朝倉書店(1996)15。
- 4) ECE(Economic Commission for Europe)規格No. 18(01)。

筆者



神籾宏明*

H. SHINTOU



平櫛周三**

S. HIRAKUSHI

* ステアリング事業本部 ステアリング技術センター
ステアリング第2技術部 工学博士

** ステアリング事業本部 ステアリング技術センター
ステアリング第2技術部