

大型商用車向けコラム同軸操舵アクチュエーターの開発

Development of Column Coaxial Steering Actuator for Commercial Vehicles

吉岡加寿也 K. YOSHIOKA 山内知行 T. YAMAUCHI 野々口裕三 Y. NONOGUCHI

The field of commercial vehicles is seeing expanding use of automatic operation systems and practical application of advanced driver assistance systems. We are developing a Column Coaxial Steering Actuator to meet increasing needs in this area. This actuator provides ADAS functions for large commercial vehicles, can be installed with minimal vehicle modifications, and contributes to both safety and comfort.

Key Words: steering actuators, commercial vehicles, ADAS, coaxial motor

1. はじめに

近年、先進運転支援システム（以下、ADAS）の普及と自動運転の実用化に向けた開発が加速している。しかし、大型の商用車は、操舵時に必要な出力が大きいため、油圧パワーステアリング（HPS：Hydraulic Power Steering）が搭載されており、HPS単体の機能ではADAS対応が困難である。そこで、ボールねじ式油圧パワーステアリング（RBS：Recirculating-Ball Steering）が搭載されている大型のトラックやバスを対象とし、アクティブに角度を制御可能なコラム同軸操舵アクチュエーター（以下、同軸 Act.）の開発を進めてきた¹⁾。従来のコラムタイプ電動パワーステアリング（C-EPS：Column type Electric Power Steering）は、ウォーム減速機構造のため、ステアリングコラム軸に対しモーターが飛び出す構造となっており、運転者の足元のスペース確保が困難である。本システムは、減速機不要の中空モーターをステアリングコラムシャフトの同軸上に配置した、ダイレクトドライブ方式の電動アクチュエーターをステアリングコラムに搭載することで、最小限のステアリングコラム搭載部の車両設計変更で商用車にADAS機能を加えることができ、さらに高い静粛性と良好な操舵感を実現させた。本報では、世界で初めて中空モーターをステアリングコラムシャフトの同軸上に搭載したステアリングシステムの開発内容を紹介する。

2. 開発の狙いと課題

2.1 開発の狙い

商用車用システムの開発にあたり、以下の点を考慮した。

- (1)商用車は乗用車と比較して耐用年数が長いため、将来の自動運転高度化へ車両をそのまま対応させることを想定し、LKA（Lane Keeping Assist）からLv4自動運転までソフトウェアのアップデートで実現可能な冗長構成ハードウェアを採用
- (2)既存車両も含めて、キャブやボディータイプのバリエーションが豊富な大型のトラックやバスに対応できる高い搭載性を実現するため、ダイレクトドライブモーターのシステムを採用
- (3)システム追加による背反の抑制および同軸 Act. と HPS を連結したシステムにおける操舵性能（ハンドル戻しなど）を向上する制御技術の構築

2.2 開発の課題

同軸 Act. と従来の操舵アクチュエーター（C-EPS）の相違点は、HPSが搭載されている商用車に対し、大幅なコックピットレイアウトの変更なく追加搭載できることである。C-EPSタイプでは、モーターを搭載するスペースの確保が必要であるが、同軸 Act. はモーターが同軸に配置された構造のため、大幅なレイアウト変更なく搭載可能である。これを実現するには、以下の課題解決が必要である。

- (1)中空のダイレクトドライブモーターの高トルク化
- (2)電動アクチュエーターの搭載スペース確保
- (3)制御安定性の向上

(1)減速機を用いないシステムのため、低速・高トルクモーターの設計が必要となる。

(2)マニュアルコラムが搭載されているスペースに、最小限の車両（設計変更）で搭載できる形状設計が必要となる。

(3)HPS と同軸 Act. がそれぞれトーションバーを有するダブルトーションバー構造に起因して、操舵トルクに振動が発生する可能性がある。また、同軸 Act. から HPS の出力状態が不明なため、HPS の出力変化で負荷が変動する可能性があり、操舵 Act. の制御の安定化が必要となる。

3. 開発コンセプト

本システムの開発コンセプトは、上記のように商用車への ADAS 機能の要求に柔軟に対応するため、マニュアルコラム搭載時の周囲のスペースを可能な限り確保した状態で、電動アクチュエーターを搭載できるようにすることである。本開発では、減速機不要の中空モーターをステアリングコラムシャフトの同軸上に配置することで、搭載性に優れたシステム構成とした。ECU も搭載場所を柔軟に対応可能な別体タイプとした。また、ECU は電源電圧 24V に対応させ、ECU やモーターが故障した際の縮退運転実現のため、冗長機能をもたせた設計とした。

4. システム構成

4.1 システム概略

図 1 にシステム構成を示す。主な構成部品は、ECU、電動アクチュエーター、接続する電源・信号ハーネスである。

同軸 Act. は、ADAS ECU からの指令に基づいて操舵制御を行い、インターミディエイトシャフト²⁾を介して出力したトルクを HPS へ伝達する。

制御に必要な角度やトルク情報は、電動アクチュエーターのモーター、トルクセンサーの検出値より演算する。

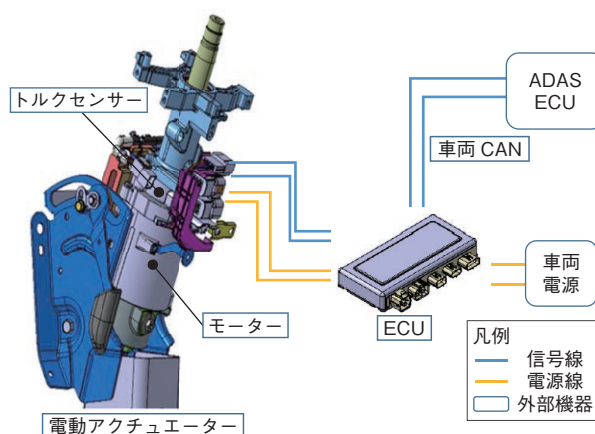


図 1 システム構成
System configuration

4.2 ECU

図 2 に ECU システム構成を示す。商用車搭載にあたり、電源電圧 24V 対応の ECU を新規開発した。さらに ECU のマイコン、モータードライバー、CAN を冗長構成とし、系統 1 と系統 2 に分けて独立に配置したことで、故障が発生した際にも正常なシステムを使用し、操舵機能の継続が可能である。

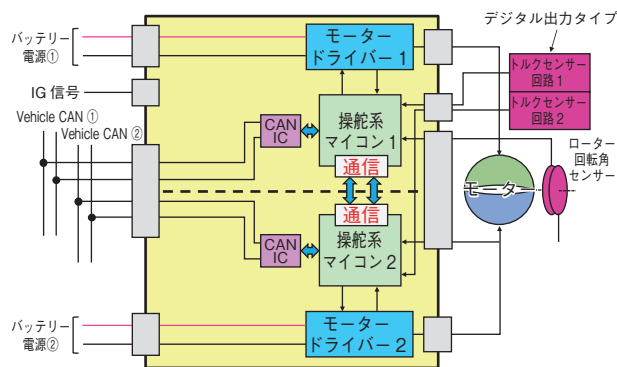


図 2 ECU システム構成
ECU system configuration

4.3 電動アクチュエーター

コラムシャフトの同軸上に中空モーターが配置され、トルクセンサーが組み込まれたシステムとなっている。モーターは、巻線、回転角センサーが冗長構成となっており、ECU と同様に系統 1、系統 2 に分けて独立配置している。モーターは 2 系統のモーター巻線がそれぞれ発生する起磁力で一つのローターを駆動する。従来の EPS では減速機を用いてモーターのトルクを増幅していたが、中空モーターにてトルクを出力することで、同

軸 Act. の搭載性を向上できた。これにより、高応答、低慣性、静粛性の高いシステムとなっている。

トルクセンサーも冗長となっており、運転者のトルク検出以外に、操舵感制御、手放し検出などに使用している。

5. 電動アクチュエーターの制御

5.1 制御概要

図3に制御構成を示す。操舵感制御、操舵角指令制御、手放し検出で構成される。

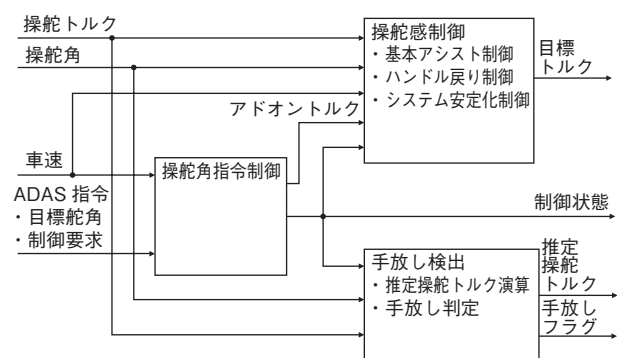


図3 制御構成
Control configuration

5.2 操舵感制御

操舵感制御は、基本アシスト制御、ハンドル戻り制御、システム安定化制御で構成される。各制御の出力と操舵角指令制御の出力の合算値を目標トルクとし、同軸 Act. の出力を制御する。

基本アシスト制御は、車速と運転者の操舵トルクに基づくアシストを行うことで、HPS では困難であった低車速時の車両の取り回しと高車速での手応えの両立を実現した。また、舵角指令制御中は専用のアシストを行うことで容易に運転者が介入操舵を行えるようにした。

ハンドル戻り制御は、操舵角から求めた目標操舵速度と実操舵速度の偏差に応じたトルクを付加することでスムーズなハンドル戻りを実現した。

システム安定化制御は、同軸 Act. をコラム軸上に搭載し、インターミディエイトシャフトを介して HPS に接続することにより、トーションバーが同一軸上に2個ある構造に起因する振動を抑制し、制御安定性を向上した。

5.3 操舵角指令制御

操舵角指令制御は、ADAS ECU から受信した目標舵角に対し、実舵角を追従させるために必要なトルクをフィードバック演算により算出し、アドオントルクとして出力する。また、制御要求に応じて制御の開始と終了を判定する。HPS の出力により操舵負荷は変動するが、電動アクチュエーターは負荷状態によらず、安定性を確保し、実用条件で十分な応答性が得られるフィードバックゲインを設定した。

5.4 手放し検出

手放し検出は、推定操舵トルク演算と手放し判定で構成される。推定操舵トルク演算は、操舵トルクを基にトルクセンサーからハンドルまでの慣性、粘性、回転中心と質量中心の差から生じるトルクの偏りを補償した推定操舵トルクを演算する。

手放し判定では、推定操舵トルクがしきい値以下の状態を所定時間以上継続した場合、手放し状態と判定し ADAS ECU に通知する。

図4に同軸 Act. と他社で商品化されている油圧 RBS 一体タイプを示す。同軸 Act. はトルクセンサーがハンドル直下に配置されているのに対し、HPS 直上にアクチュエーターを搭載した油圧 RBS 一体タイプは、トルクセンサーとハンドル間にマニュアルコラムとインターミディエイトシャフトが介在する。そのため、同軸 Act. は慣性や摩擦の影響が少なく、精度の高い操舵トルク推定が可能であり、手放し検出性で優位である。

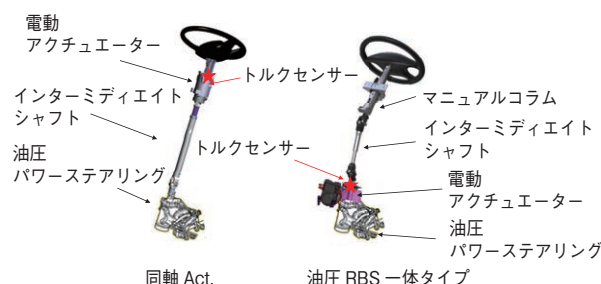


図4 トルクセンサー搭載位置の違い
Difference in torque sensor position

6. おわりに

前軸荷重が大きく HPS の EPS 化が難しいトラック、バスなど大型商用車のコラムに同軸 Act. を搭載することで、HPS を活用した ADAS 機能を実現した。安全性向上や将来の自動運転へ対応できるよう、ハードウェアの冗長化を行った。また、同軸 Act. は C-EPS と異なり、減速機を用いない構造のため、高い静粛性の確保と高応答の操舵アクチュエーターを実現した。今後は、EPS 化が難しい商用車に対して最小限の車両設計変更でマニュアルコラムからの置き換え可能である同軸 Act. を ADAS 対応ソリューションとして拡販する。

参考文献

- 1) 阪田勝利：自動運転へ向けたステアリングシステム技術の展望, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1017 (2019) 9.
- 2) 川田善一：小型軽量コラムタイプ電動パワーステアリング(C-EPS)の開発, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1010 (2012) 40.

筆者



吉岡加寿也*
K. YOSHIOKA



山内知行*
T. YAMAUCHI



野々口裕三*
Y. NONOGUCHI

* 自動車事業本部 先行システム開発部