

特集 路面負荷に基づく新たな電動パワーステアリング制御*

Development of Electric Power Steering Control based on Alignment Torque

渡部 大治

片岡 資章

藤井 丈仁

岩崎 誠

Daiji WATANABE

Motoaki KATAOKA

Takehito FUJII

Makoto IWASAKI

Recently, Electric Power Steering (EPS) has become widely used because of its good fuel efficiency and its ease of installation in vehicles, when compared with Hydraulic Power Steering (HPS). However, the steering feel of current EPS systems is the same or inferior to that of HPS, although EPS has an advantage of excellent flexibility for the steering feel adjustment. Therefore, in order to improve the steering feel, the review of the essential performance of EPS is required. This paper presents a new EPS control system and appropriate design methods for EPS. The proposed control system has been developed to improve the driver's steering feel and to simplify the control structure. First, we focused on alignment torque as the essence of the EPS control, and set the purpose of the EPS control as being to reduce alignment torque. After that, the control structure was designed based on the alignment torque. This control structure has three components, the Alignment Torque Estimator, Assist Torque Turner, and Stabilization Controller. In particular, to respond to changing of the assist torque, the stabilization controller is designed as a scheduling controller. The effectiveness of the proposed system was verified using simulations and vehicle experiments. Consequently, it was proved that the simplification of the EPS structure and the improvement of the flexibility of the steering feel were realized.

Key words: Electric power steering , Alignment torque , Driver's steering feel , Vehicle

1. まえがき

近年、自動車用の電動パワーステアリング装置（以下、EPS）は、燃費向上効果、搭載性の観点から装着率が高まっており、今後も増加が予想されている。EPSのメリットとして操舵フィーリングの自由度がある。しかし現状のEPSの操舵フィーリングは油圧式と同等、又は若干劣るとされ、本質的な性能向上が求められている。操舵フィーリングにおいて重要な役割を担う情報の一つに路面負荷情報がある。例えばドライバはタイヤと路面の接地状態、つまり路面負荷をハンドルから直接感じ、運転操作をしている。路面負荷をドライバに伝達する研究は多く存在するが、Fig. 1のように現状のEPS制御に付加する構造となっており、各制御が干渉しその効果が限定的になると考えられる。そこで本稿では、現状のEPS制御構造を抜本的に見直し、路面負荷の存在を前提に、負荷に応じてアシスト量を調節する制御法を提案する。まずこの制御系の全体構成を具体化し、構成要素である3種の機能の制御設計をする。最後に構成、及び制御器の有効性をシミュレーション、及び実車で検証する。

2. 制御系全体構成

前述した通り、元来EPSでアシストをする理由は路面負荷低減のためである。すなわち、ジャッキアップ等、タイヤを接地させない状態ではアシストの必要はない。そのため、

EPS制御では路面負荷を推定し、それに基づいてアシスト量を調節する仕組みを構築すれば良い。

制御系の全体構成をFig. 2に示す。制御系には路面負荷を推定する部分、負荷に応じてアシスト量を調節する部分、アシスト量に応じて変化する共振特性を抑える、つまり安定

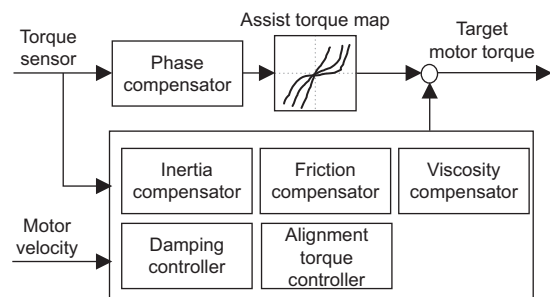


Fig. 1 Structure of the conventional EPS

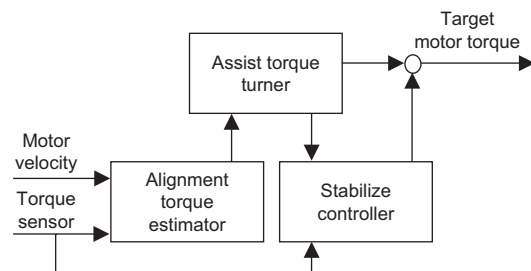


Fig. 2 Structure of the proposed EPS

* (社)電気学会東海支部の了解を得て、「電気関係学会東海支部連合大会講演論文集 (CD-ROM)」巻: 2008 頁: S1-6 より、一部加筆して転載

化する部分からなる。この構造によりシンプル且つ路面負荷に基づいたアシストが実現でき、本来のEPS制御の目的に即した構成となる。

3. 制御系設計

3.1 路面負荷推定

Fig. 3にEPSシステム全体を示す。路面負荷をモータより路面側の負荷と捉え、図中インタミシャフトと呼ばれている部分のトルク T_i を推定する。モータ部の運動方程式は次式で与えられる。

$$J\ddot{\theta} = Ts + Ta - c\dot{\theta} - T_i \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 T_s はトルクセンサ値、 T_a はモータ出力トルク、 $\dot{\theta}$ はモータ回転速度であり、それぞれ観測可能である。そこで、外乱オブザーバを構成し \hat{T}_i を推定する。

$$\hat{T}_i = \frac{1}{\tau s + 1} T_i = \frac{1}{\tau s + 1} (Ts + Ta - (Js + c)\dot{\theta}) \dots\dots(2)$$

3.2 アシスト量調節

アシスト量調節部は、ドライバが自由に操舵フィーリングを調節できる調整要素とする。そこで、推定負荷を入力、アシストトルクとアシスト比を出力するマップを作成する。ここで、アシスト比とはアシストトルクと推定負荷の比であり、次に説明する安定化制御器を併用する。

3.3 安定化制御器

Fig. 4は、アシスト比が0→13(上限値)に変化した際のモータトルクからトルクセンサのボード線図である。図から、アシスト比が大きくなるにつれて共振特性が変化することがわかる。安定化制御器はこの変化する共振特性を抑制し、系を安定化するために設計する。共振特性の変化がアシスト比に依存するため、ここではアシスト比によるスケジューリング制御器を設計する。

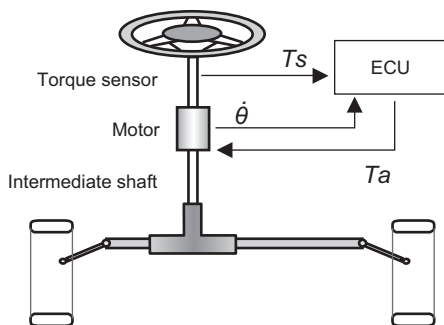


Fig. 3 EPS system

4. シミュレーション評価

設計した制御器をシミュレーションで評価する。Fig. 5に路面負荷推定部を示す。ここでは、ハンドルトルクをステップで与えたときのインタミシャフトに生じている力と推定値を表示している。若干の位相遅れはあるが、精度良く追従できている。Fig. 6の安定化制御器では、アシスト比を変化させた際のモータトルクからトルクセンサの周波数特性を示している。アシスト比によるスケジューリングによって変動する共振特性が適応的に抑制されており、安定化できている。

5. 実車評価

設計した制御器をECUに実装し、実車評価した。Fig. 7の路面負荷推定は、操舵時の実機のインタミシャフトに生じている力を歪みゲージで計測したデータと推定値を示している。高負荷時にヒステリシスの影響で精度劣化する部分があるものの、シミュレーション同様に高精度に推定できている。Fig. 8の安定化制御器評価は、M系列信号をモータに印加し、システム同定した結果を示している。シミュレーション同様、変動する共振特性を抑制できている。若干共振ピークを抑えきれていないが、これはモータの摩擦による影響と考えられる。

次に走行試験を実施した。評価ドライバからチューニングが容易、操舵フィーリングが自然といったコメントが得られた。

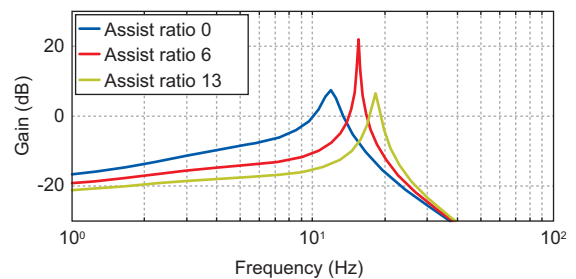


Fig. 4 Frequency characteristics for the assist ratio

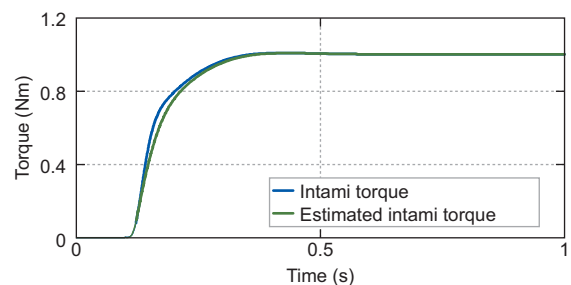


Fig. 5 Simulation result of the estimated intermediate-shaft torque

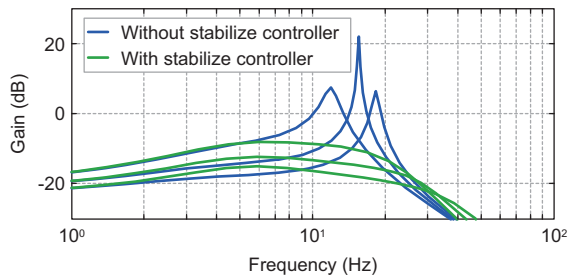


Fig. 6 Simulation result with the stabilization controller

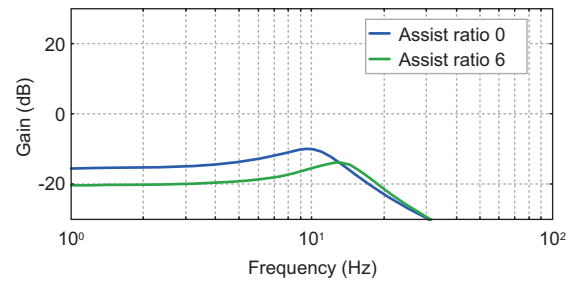


Fig. 8 Experimental results with the stabilization controller

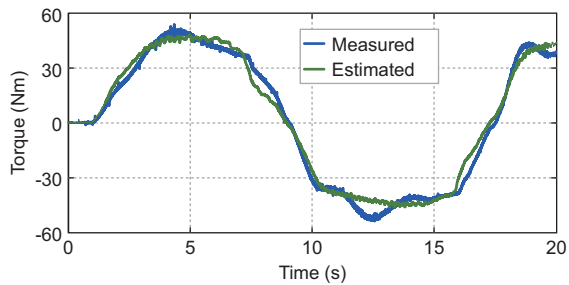


Fig. 7 Experimental results of the estimated intermediate-shaft torque

<参考文献>

- 1) 田中, 他: 日本機械学会第14回交通・物流部門大会 No.2213.
- 2) 大川, 他: 山海堂 自動車のモーションコントロール 技術入門.
- 3) 清水康夫: 日本機械学会 とことんわかる自動車のモデリングと制御 2002.

6. まとめ

EPSの制御目的を路面負荷低減であると捉え、路面負荷をベースとした制御系を構築した。これにより、複雑化したEPS制御を単純化し、性能面でも操舵フィーリングを向上する自由度を実現することが定性的に得られた。

路面負荷推定をタイヤと路面の接地部で実施すること、操舵フィーリングの定量的解析は、今後の課題である。



<著者>



渡部 大治
(わたなべ だいじ)
研究開発1部 第1システム開発室
操舵系制御開発に従事



片岡 資章
(かたおか もとあき)
研究開発1部 第1システム開発室
操舵系制御開発に従事



藤井 丈仁
(ふじい たけひと)
研究開発1部 第1システム開発室
車両運動制御開発に従事



岩崎 誠
(いわさき まこと)
名古屋工業大学 大学院 情報工学専攻
教授 工学博士
モーションコントロール, メカトロニクス, 制御系設計に関する教育・研究に従事