

# 電動パワーステアリング用制御定数設計・適合ツール

## Parameter Design and Tuning Tool for Electric Power Steering System

高松孝修 T. TAKAMATSU 富田健仁 T. TOMITA

The installation of Electric Power Steering (EPS) for automobiles has expanded rapidly in world thanks to its advantages in energy efficiency/saving. Such trend has been enhanced owing to its easiness of realizing integrated control with brakes and lane-keeping assistance. Moreover, automakers require fitting of the system as well as tuning of steering feeling for the vehicles under development. As the installation of EPS increases further, vehicle types to be tuned increase accordingly, and moreover, the system tuning has to be carried out efficiently in short period, despite the skill requiring so much experience in achieving this task. In accordance with this environment, tools to support easy designing of the control parameters and efficient system tuning have been developed.

**Key Words:** power steering, parameter design, tuning, fitting

### 1. はじめに

電動パワーステアリング(以下EPSと称す)は、エネルギー効率が良く、省エネ効果に優れているため、世界中の自動車メーカーで採用が急激に拡大してきた。最近では、ブレーキとの協調制御や、レーンキープ時のガイダンスなどの実現しやすさからも、さらに採用が拡大している。

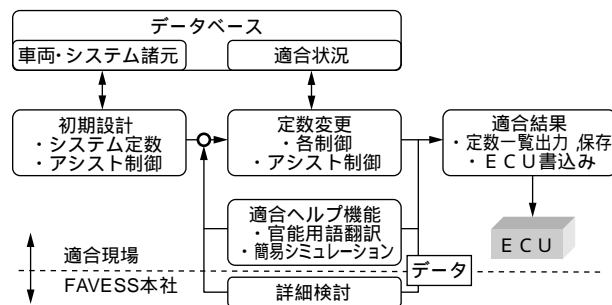
また、自動車メーカーにおけるEPSの開発形態も、仕様提示によるシステム発注に移行しつつある。車両への搭載検討に始まり、各開発車両に対するシステム適合だけでなく、操舵フィーリングの適合まで要求されている。

EPSの採用が拡大すると、適合車種も増加する。これらに対応するには、実車適合を、効率的に短時間で完了させる必要がある。従来の官能評価を中心とした実車適合では、多くの適合時間を必要とし、適合時間は経験に左右される。

適合時間を短縮するには、経験の少ない人には、簡易に初期設計値が計算できる機能や、人為的ミスを一掃できる機能の提供が重要である。経験豊富な人には、使いやすく、適合に付随する業務を効率化できる機能の提供が重要である。

今回、上記目的に対し、EPSの制御定数設計・適合ツール(以下単に適合ツールと称す)を開発したので紹介する。

を基に初期設計を行う。定数変更部で初期設計値を基に定数適合を行う。定数変更の効果は、簡易シミュレーション機能で確認できる。フィーリングが上手く作れない際には、ヘルプ機能にて対応手法が参照できる。適合結果は、ECUに通信で書き込まれる。また、仕様書などに出力することも可能で、人為的ミスを排除できる。



項目	内容
データベース	各諸元, 適合状況などを記録
初期設計	各諸元, 実測値から初期設計
定数変更	実際に定数を変更する機能
適合ヘルプ	官能用語 制御への翻訳 操舵特性の簡易計算 詳細検討はFAVESSで対応
適合結果	ECUへの定数転送データ作成 適合結果の出力, 保存機能

図1 ツール構成  
Tool composition

### 2. 適合ツールの概略仕様

図1に適合ツールの構成, および内容を示す。様々な情報をデータベースに入力し, 入力データ

### 3. データベース

設計に使用した車両・システム諸元や、適合時の状況、コメントなどを一元管理できるようにデータベース化した。

図2にデータベース入力画面の1頁目を示す。車両諸元、コラム諸元、ギヤ諸元、トルクセンサ仕様、ソフトウェアバージョンなどを保存することができる。定数設計には、これらの値を使用する。入力画面には2頁目があり、システムの出荷成績データを保存することができる。

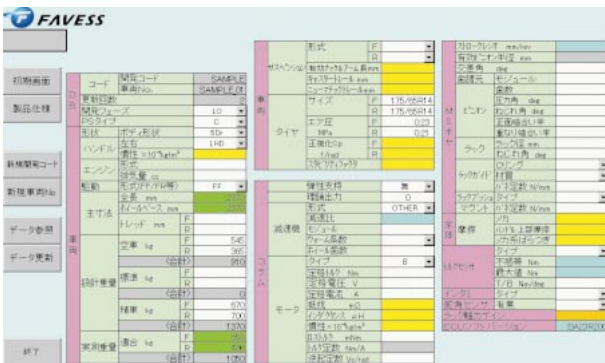


図2 データベース入力画面

Data base input screen

### 4. 初期設計

#### 4.1 システム定数設計

##### 4.1.1 P I 制御

図3に電流制御部ブロック図を示す。電流制御には様々な方法がある。ここでは、一般的なP I制御を採用した場合について紹介する。P I定数は、モータ諸元(インダクタンス, 抵抗)と応答周波数から設計する。従来, ステップ応答や周波数応答によって性能検証を行っていたが, 本ツールにより実測不要となった。

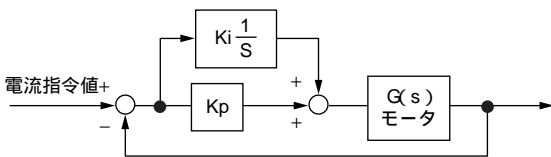


図3 電流制御部ブロック図

Block diagram of current control

図4にP I制御設計画面を示す。モータ諸元を入力し、図中A部のスライダで、ゼロ - 極配置およびボード線図でシステムの安定性、応答性を確認しながら、ステップ応答が振動的にならないように調整する。

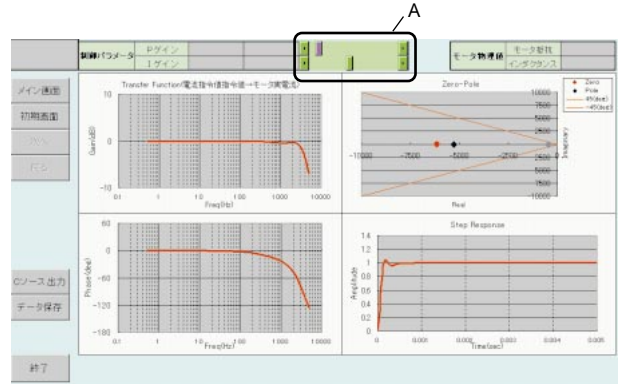


図4 P I 制御設計画面

PI control design screen

##### 4.1.2 位相補償

E P S には、低剛性のトーションバー(以下 T / B と称す)が存在する。T / B 上側と下側の位相差が大きくなると、システムに振動が発生する可能性がある。位相補償は、T / B 上側位相に対する下側位相の周波数特性を調整し、システムの安定性を確保、振動を抑制する。

図5にトルクループブロック図を示す。

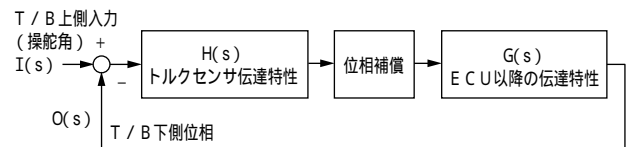


図5 トルクループブロック図

Block diagram of torque major loop

図6に位相補償設計画面を示す。位相補償フィルタの特性は、図中B部のボード線図を見ながらA部のスライダで調整する。次に、C部で安定性が確保されているか確認しながら最適な特性設計を行う。

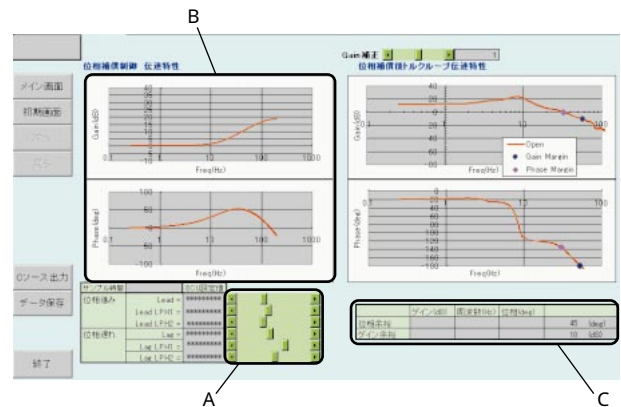


図6 位相補償設計画面

Phase compensation design screen

4.2 アシスト制御設計

4.2.1 アシスト制御構成

図7に代表的なアシスト制御構成を示す．ここでは，基本アシスト制御とダンピング制御の設計ツールについて説明する．

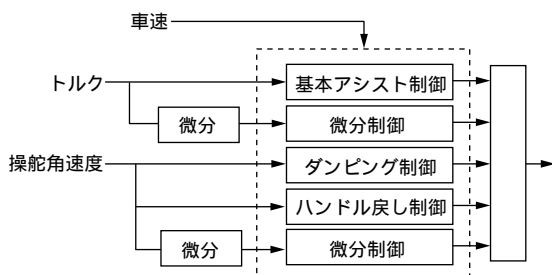


図7 アシスト制御部構成  
Composition of assist controls

4.2.2 基本アシスト制御

基本アシスト制御は，静的な操舵力を決定する．摩擦および効率を無視すれば，アシストトルク  $T_a$  は式(1)にて計算できる．

$$T_a = RF \cdot R_p - T_h \tag{1}$$

ここで， $RF$ ：ラック軸力， $R_p$ ：有効ピニオン半径， $T_h$ ：ハンドルトルク．

低トルク域では，実測ラック軸力をハンドルトルクで  $RF = aT_h$  と近似し，式(2)でアシストトルクを計算する．

$$T_a = (aR_p - 1)T_h \tag{2}$$

高トルク域では，高次の式で近似し，同様にアシストトルクを計算する．

初期設計では，車速100km/hにおける設計を最初に行う．図8に，車速を変化させた時の，ある舵角におけるラック軸力を示す．20km/h以下でラック軸力が急増するので，この増加量に応じて，低速の設計値補正を行う．

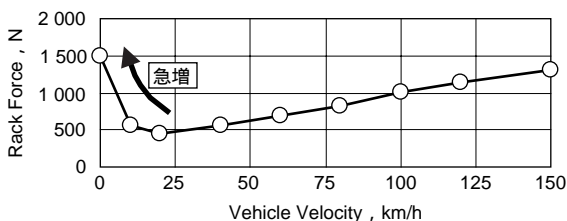


図8 車速によるラック軸力の変化  
Rack force on vehicle velocity change

図9に基本アシスト制御設計画面を示す．実測データを入力すると，アシストマップが自動計算

される．摩擦，トルクセンサ諸元などは，データベースから自動的に引用される．

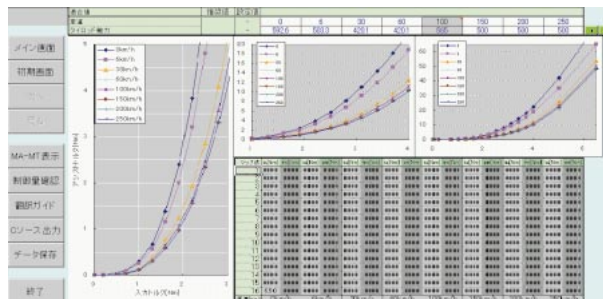


図9 基本アシスト設計画面  
Base assist control design screen

4.2.3 ダンピング制御

EPSには，油圧パワーステアリングのシリンダ，バルブ，配管などで発生する管路抵抗・オリフィス抵抗といった粘性抵抗が存在しない．ダンピング制御は車両の収斂性・安定性向上を目的に，操舵角速度に応じて，操舵角速度とは逆方向に粘性抵抗相当分をアシストする．

本ツールでは，標準サイズの油圧パワーステアリングの粘性抵抗計算値を基準に，各種補正を行う．図10に基準ダンピング制御量を示す．

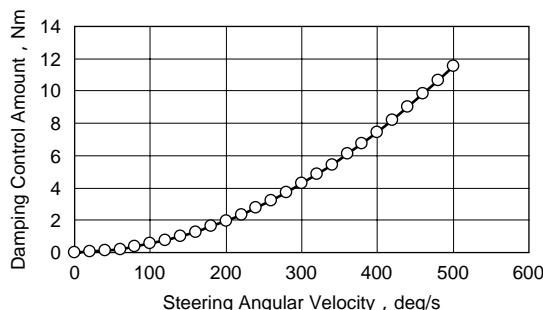


図10 基準ダンピング制御量  
Reference damping control amount

車両の回転系運動方程式を，慣性  $I$ ，粘性項  $C$ ，ばね項  $K$  で表すと，粘性項  $C$  は式(3)となる．

$$C = \zeta I \sqrt{4IK} \tag{3}$$

ここで， $\zeta$  は減衰係数で，整定時間と速応性から0.6を採用した．制御量の補正は，慣性  $I$  とばね項  $K$  の違いに応じて行う．基準の粘性項  $C_0$  と，補正したい条件における粘性項  $C_1$  の比を求めることで，補正量が計算できる．

図11にダンピング制御設計画面を示す．データベースの車両諸元より，制御量，車速係数が自動計算される．

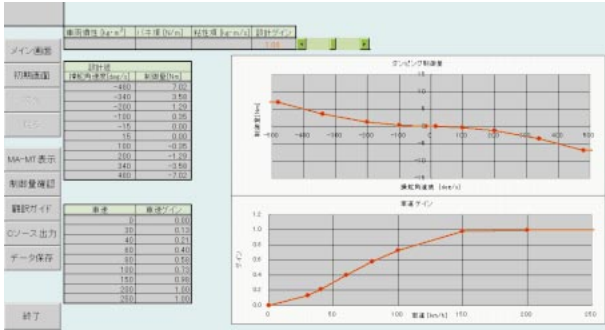


図11 ダンピング制御設計画面  
Damping control design screen

## 5. 定数変更

フィーリングの適合を行う場合、各制御定数の微調整を行う。図12に定数変更のメイン画面を示す。ここでは、主要情報、代表的な適合定数が表示される。

実際に定数を変更する場合、メイン画面から各制御画面に移動し定数変更を行う。

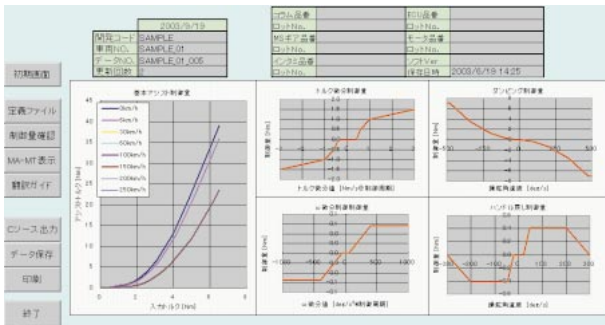


図12 メイン画面  
Main screen

## 6. 適合ヘルプ機能

### 6.1 官能用語翻訳機能

適合経験の少ない人は、評価者の官能用語(要求)に対して、変更すべき制御の知見が不足している。そこで、最適な制御を早急に見出すことを目的に、過去の適合知見をまとめた官能用語翻訳機能を提供している。

図13に画面一例を示す。図中A部の選択1で操舵域と官能用語を選択する。B部の選択2に対策制御が効果順に表示される。対策制御を選択すると、操舵特性、制御量、および解説が表示される。

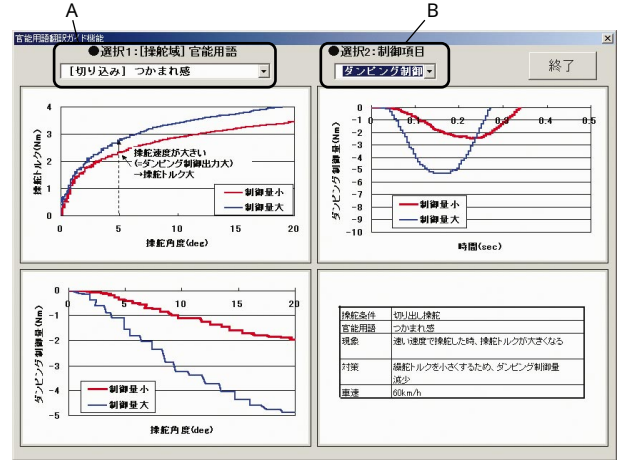


図13 官能用語翻訳機能

Function to translate indication of feeling

### 6.2 簡易シミュレーション機能

制御定数変更による効果を、実車評価前に確認するため、簡易シミュレーション機能を提供している。入力データベースのパラメータ、適合定数を基準に、定数変更による効果を確認することができる。図14に、一例として操舵角 - 操舵トルク特性の簡易シミュレーション結果を示す。

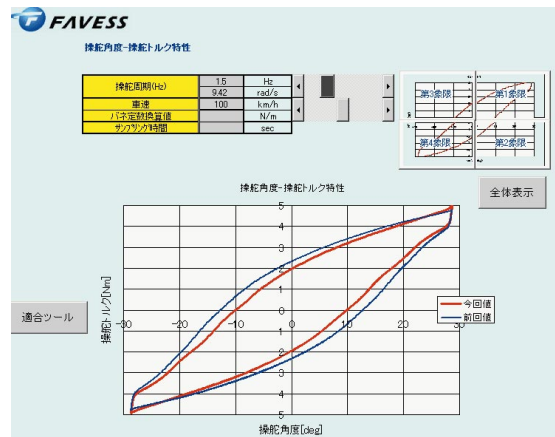


図14 簡易シミュレーション画面  
Simple simulation screen

### 6.3 詳細検討・シミュレーション

適合現場で解決できない問題が発生した場合、適合定数および制御状態測定結果をFAVESS本社に送付する。本社では、データを元に詳細シミュレーション、詳細検討を行い、対策方法を現場作業者に指示する。



## 7. 適合結果

### 7.1 ECUへの適合定数書き込み

適合結果をECUに書き込む場合、転送ボタンをクリックするだけで、通信によって自動的に行われる。通常の定数適合はCPUのRAM領域で行われるため、イグニッションをオフにすると消えてしまう。そこで、適合定数をCPUにフラッシュ書き込みを行う機能も提供している。

### 7.2 保存と仕様書出力

適合結果は任意のタイミングで保存可能である。過去定数を任意のタイミングで呼び出すことも可能である。

適合が完了すると、適合ツールから、定数一覧表や仕様書を直接出力する。これを、顧客やソフト担当者に提出する。直接出力することで、転記ミスなどの人為的ミスを防止することができ、工数削減も可能である。

## 8. おわりに

EPSの採用拡大、車両適合件数増加に対応するため、制御定数設計・定数適合ツールを開発した。このツールによって、未経験者でも容易に定数設計が可能となった。経験者では効率アップによる、適合時間削減が可能となった。

しかし、今後もEPSの採用は拡大すると予想されるので、さらなる機能向上を目標に、次バージョンを開発中である。

次バージョンでは、計測機能の充実を図っている。高速バス通信を採用し、ECU内部の制御状態を詳しく計測することができる。また、AD入力も備えており、ECU内部制御状態と、操舵角力計やヨーレートなどのアナログデータを、同期して計測することが可能である。図15に、次バージョンの適合ツールイメージを示す。

また、MATLABに代表されるシミュレーションソフトともデータ共有が可能となっている。適合現場で、MATLABを使った詳細検討も可能となっている。

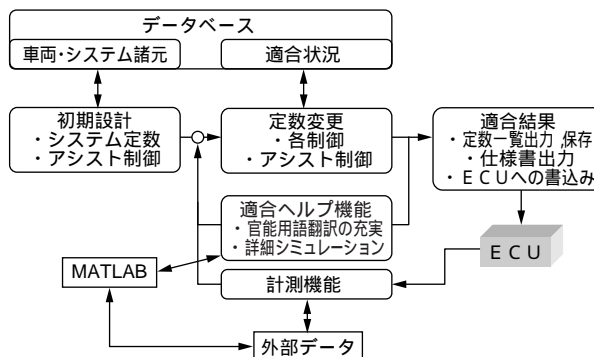


図15 次バージョン適合ツールイメージ  
Image of next version design and tuning tool

## 筆者



高松孝修\*

T. TAKAMATSU



富田健仁\*

T. TOMITA

\* 株式会社ファース 開発統括部