

# 電動式パワーステアリング(EPS)システムの数値シミュレーション

## Numerical Simulation of Electric Power Steering (EPS) System

シモン・パトリック S. PATRICK

*An EPS system simulation program has been developed in Koyo steering Europe S.A.S (KSE) based on the software AME Sim.*

*The aim of this simulation is to simulate the complete system dynamic behavior regarding vibration problems and steering feeling.*

*Mechanical parts, motor and ECU are modeled and a correlation work has been done with bench testers.*

**Key Words:** electric power steering, AME Sim, system simulation

### 1. はじめに

電動式パワーステアリングシステム(以下EPSと称す)のシミュレーション技術をプログラムソフトAME Simを用いて開発した。本目的は振動問題や操舵感覚に関する挙動を完全にシミュレートすることであり、機械部品、モータ、ECUをモデル化し、台上試験との相関性について考察した。

### 2. 導入

システムのモデル化およびシミュレーションの利用は開発期間の短縮および複雑なシステム設計や小形化検討のため、自動車工学においてますます拡大している。

さらに、車両全体のシミュレーションプログラムを開発し、電気や油圧を用いた複雑なシステム(EPSシステム、ABSシステム等)を評価するために使用している自動車メーカーも見られる。

現在、自動車メーカーのなかには、部品メーカーに車両全体のシミュレーションプログラムを展開していくため、システムのモデル化を要求しているところも見られる。

これらの理由により、EPSシステムの挙動を再現するためのEPSモデル化プログラムの開発を進めた。

### 3. モデル化

#### 3.1 機械部品

ハンドルおよびコラム(図1)

ハンドルを慣性ばねでモデル化し、またコラムの粘性摩擦と乾燥摩擦を考慮した。

ドライバアーム(図2)

いくつかの自動車メーカーのモデル基準により、ドライバアームを剛性ばねとしてモデル化し、電動機で動作させた。

ラック&ピニオン(図3)

ラック&ピニオンマニュアルステアリングを粘性摩擦、乾燥摩擦を含めたギヤレシオ、ラックの重量を考慮したピニオン慣性ばねとしてモデル化した。

電動モータ部品(図4)

電動モータ部品を粘性・乾燥摩擦を含めた慣性ばねで動くトルク発生機としてモデル化した。

ウォーム・減速機(図5)

減速機をギヤレシオでモデル化し、またすべての乾燥摩擦、粘性摩擦をモータ慣性として取り入れた。ギヤ剛性を回転ばねとしてモデル化した。

トルクセンサ(図6)

トルクセンサをトーションバー剛性ばねでモデル化し、トルクをトーションバーの捩れ角度と剛性ばねを用いて計算した。

#### 3.2 電気部品

トルクセンサ(図7)

トルクセンサの電氣的挙動を等価の伝達関数で示した。

モータの電氣的挙動(図8)

モータの電氣的性能は誘導、抵抗、起電ルーブで表わされる。

電気モータの一般モデルを用いた。

ECU

いくつかECUを研究してきたが、4章では

停車シミュレーションにのみ適用できる最も簡単なものでモデル化した。

位相補償, アシストカーブ, 慣性補償とモータ制御をこのモデル化に採用した。

5章ではシミュレーションと試験結果との相関を良くするため, すべての E C U 機能を適用してモデル化した。



図1 ハンドルおよびコラムモデル  
Steering wheel and column model



図2 ドライバアームモデル  
Driver arm model



図3 ラック&ピニオンモデル  
Rack and pinion model



図4 電気モータ部品モデル  
Electric motor mechanical model



図5 ウォーム・減速機モデル  
Worm and reduction gear model



図6 トルクセンサモデル  
Torque sensor model

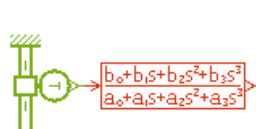


図7 トルクセンサ  
Torque sensor

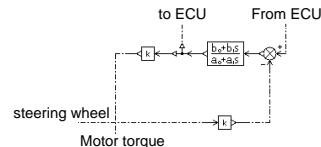


図8 電気モータモデル  
Electric motor model

## 4. シミュレーション結果と試験との相関

### 4.1 相関モデル

図9-1, 9-2にシミュレーション結果と試験結果の相関を見るために, モデル化した結果を示す。

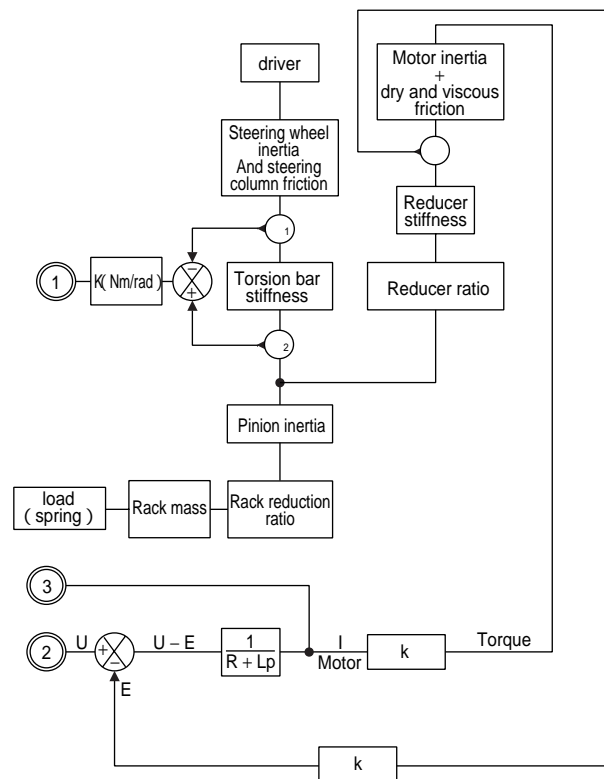


図9-1 相関モデル

Modeling used for correlation

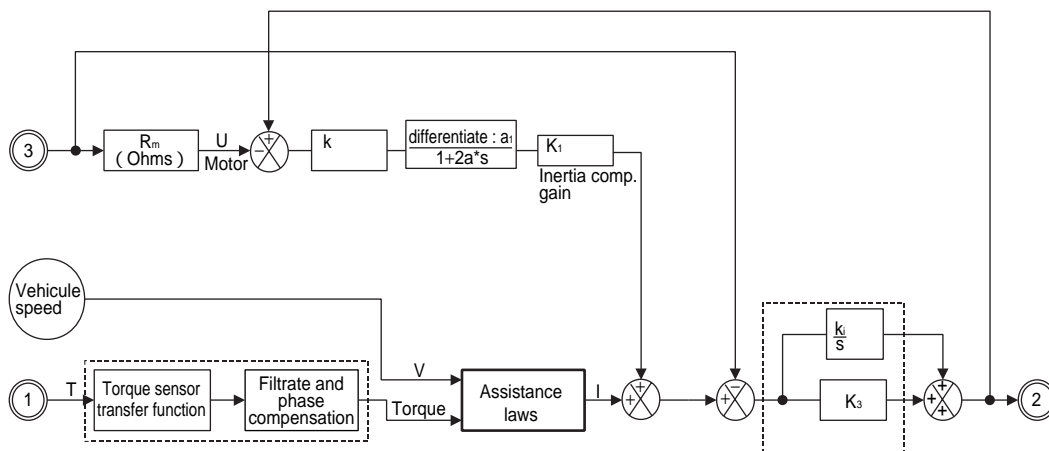


図9-2 相関モデル

Modeling used for correlation

4.2 A M E Sim表示

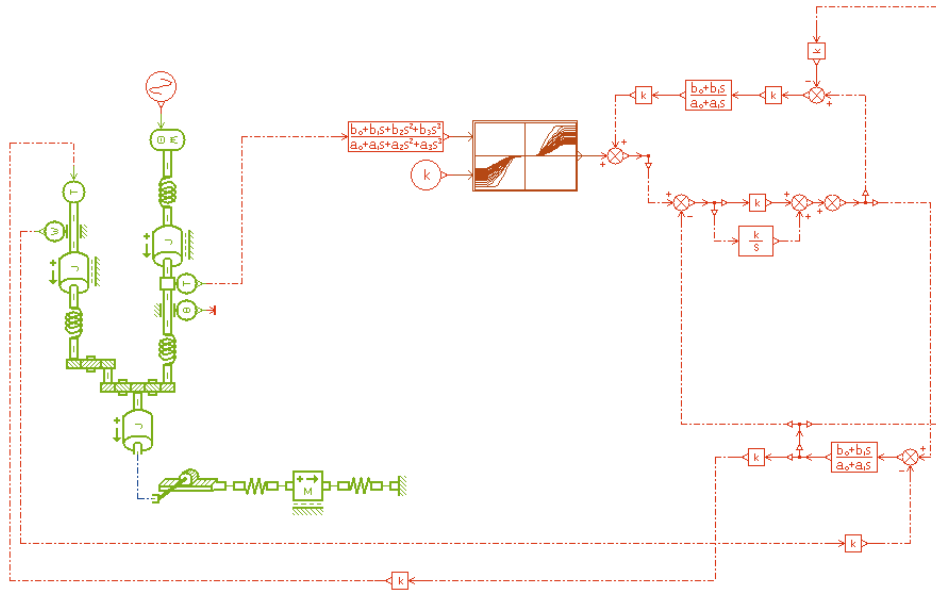


図10 A M E Sim表示  
AME Sim representation

4.3 相関用A M E Simモデルパラメータ

(1)パラメータ

台上では、ステアリングシステムにばねで荷重を与えた。

その他のパラメータは以下に示す。

パラメータ：ドライバアーム剛性，モータ慣性，ハンドル慣性，トーションバー剛性，減速比，ピニオン慣性，減速機剛性，ラックとピニオン径，ラック質量，ラック剛性

摩擦：ハンドル，モータ，ラック

(2)E C Uのモデル化

E C Uのモデル化を図11に示す。

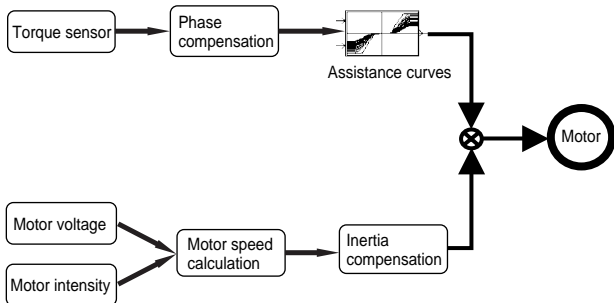


図11 E C Uモデル  
ECU model

E C Uのパラメータを以下に示す。

位相補償

伝達関数はトルク伝達関数と計算位相補償を含む。

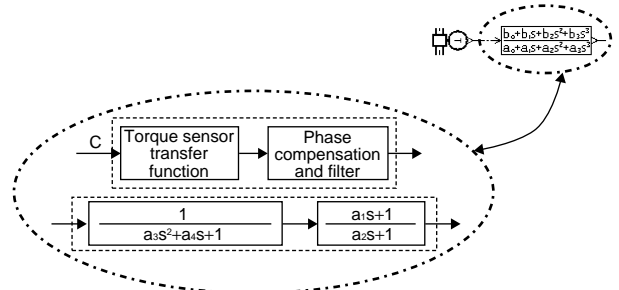


図12 位相補償  
Phase compensation

慣性補償

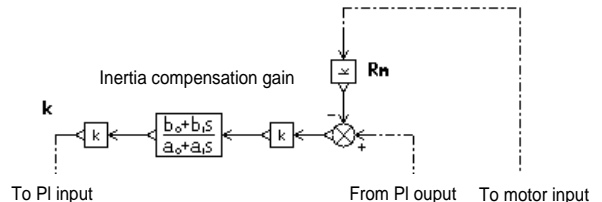


図13 慣性補償  
Inertia compensation

P I 制御ループ

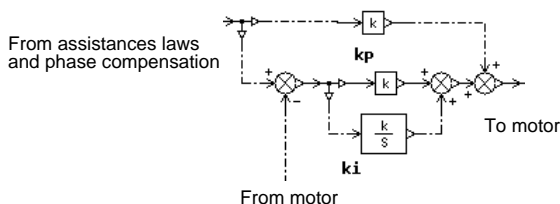


図14 P I 制御ループ  
PI control loop

電気パラメータの相関係数

電気パラメータの相関係数を表2に示す。

表2 電気パラメータの相関係数

Electrical parameters used for the correlation

パラメータ	値
モータ感度	$k$ ( N.m )
連続電気モータの伝達関数	$\frac{b_0 + b_1 s}{a_0 + a_1 s}$ $b_0$ $b_1$ $a_0$ $a_1$
トルクセンサ後の伝達関数	$\frac{b_0 + b_1 s - b_2 s^2 + b_3 s^3}{a_0 + a_1 s - a_2 s^2 + a_3 s^3}$ $b_0$ $b_1$ $a_0$ $a_1$ $a_2$ $a_3$
アシスト法則	
P I 係数	Ki Kp
モータ内部抵抗	R m( )
微分係数	$\frac{b_0 + b_1 s}{a_0 + a_1 s}$ $b_0$ $b_1$ $a_0$ $a_1$
係数 k	$k = 1/K_C$
慣性補償感度	k

4.4 相関試験

操舵角度またはラック力を入力として、ハンドル角度、ハンドルトルク、ラック力とラック変位を出力としていくつかの試験を行った。

1) 第一ステップ：機械的相関試験

第一ステップは機械モデルの相関をみるために、操舵角入力で行う試験と、ラック力での試験を行った。固有周波数、振幅、反応時間に関する機械モデルは相関がよかった。

相関がないのは、ラックとピニオンの接触、ラックとブッシュの接触、ウォームとギヤの接触で摩擦モデルが特に重要であることを示した。

2) 第二ステップ：全システム相関試験

全システム( 機械モデル、アシストモデル )で

試験を行ったが、シミュレーション結果と試験結果でよい相関が見られた。

(1)アシストあり、ロックtoロック操縦

条件

目的：ロックtoロック操縦相関(アシストあり)

入力：操舵角度( 正弦信号0.5Hz, 60° 振幅 )

出力：ラック力, ラック変位, モータ強度

シミュレーション結果と試験結果は相関がよく、ラック力とラック変位は同じ振幅、同じ周波数であったが相違点はモータ電流の信号、摂動周波数をシミュレートしていないことである。

その理由としてECUは全システムモデルと対比し非常に簡潔なモデルだということである。モータ電流を検出することではなく、正確な出力(ラック力、ラック変位またはハンドルトルク)をとることを目的としているためである。

より精密なECUのモデルであれば、そのモータ電流のシミュレーション結果は測定したモータ電流とよく近似できる。

相関結果

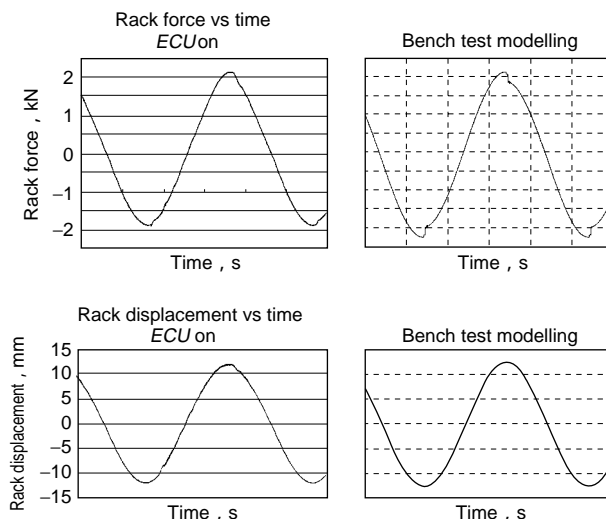


図15 相関結果

Correlation results

(2)アシストあり、総合操縦

条件

目的：アシストあり、総合操縦の相関

入力：操舵角度( - 50 から 50 と 0.9秒間 0° フラットの四角信号0.25Hz )

出力：ハンドルトルク, ラック力, ラック変位, モータ電流

この試験では信号振幅と周波数の相関がよく、測定結果とシミュレーション結果が完全に一致しており、反応時間も同じレベルである。

相関結果

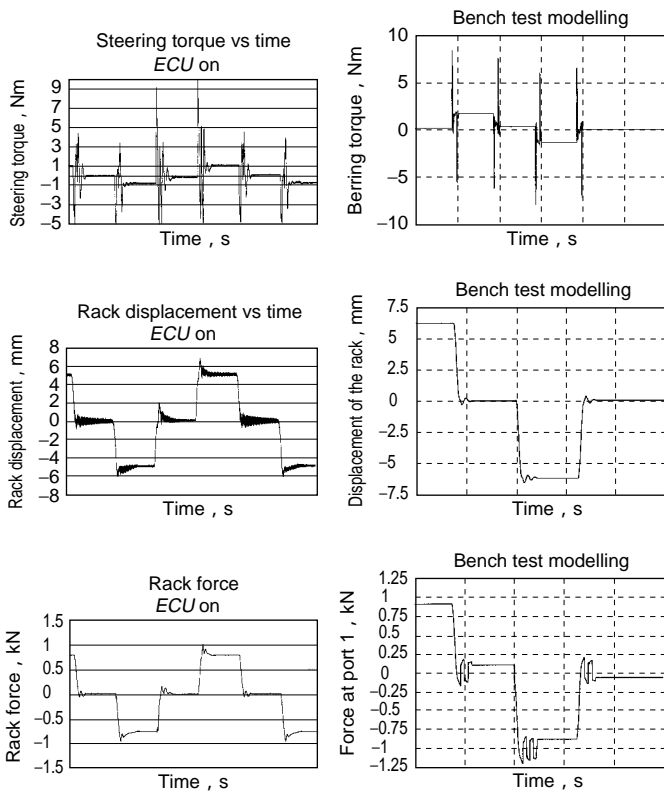


図 16 相関結果  
Correlation results

(3)アシストあり, ラック荷重入力

条件

目的: ラック荷重入力に関するEPS挙動

入力: 正弦信号(周波数0.5Hz 振幅6000N)

出力: ハンドルトルク

シミュレーション結果は測定結果と近似している。

相関結果

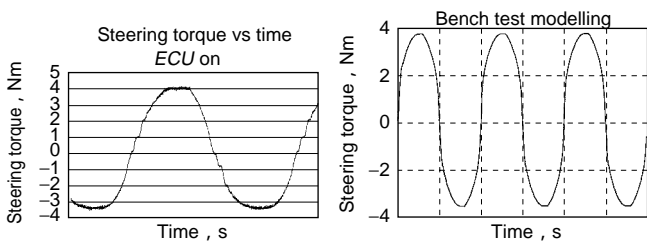


図 17 相関結果  
Correlation results

5. モデルの改良後のシミュレーション  
結果と試験との相関

シミュレーション結果と測定結果を比較することにより, いくつかの改良を行った。

これらの改良は摩擦モデルとECU表示に関するものであり, ECUの剛性, 付加関数にダンピングを行い, 位相補償, トルクセンサ伝達関数等を修正した。

5.1 相関試験 - 1

車両速度を80km/hに一定(ECU入力)とし, ハンドル角度0.1秒に0 から45°(450°/s)の条件での試験では, 図18に示すようにシミュレーション結果と測定結果の相関はよかった。このことよりシミュレーションプログラムの摩擦モデルが重要とわかる。

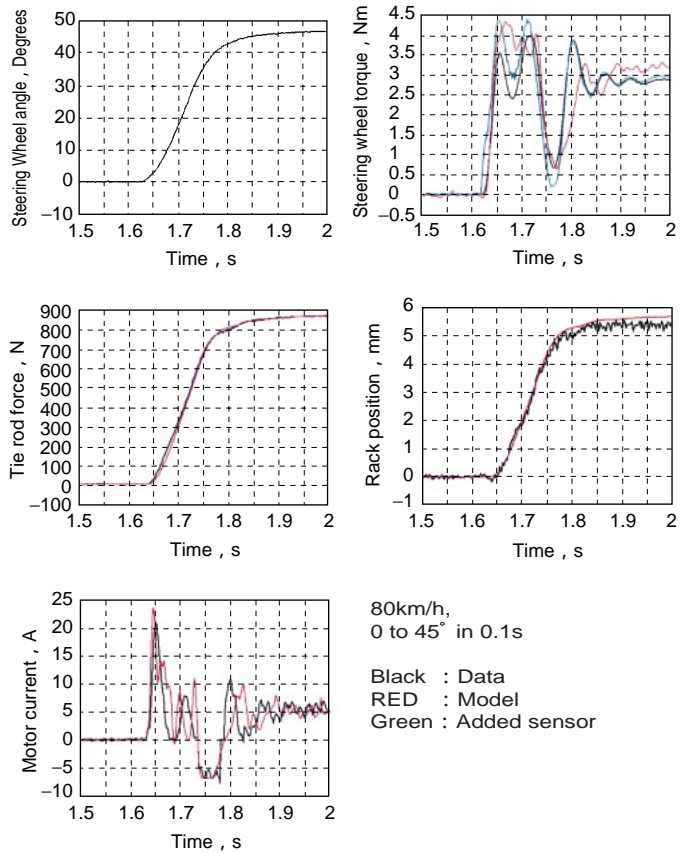


図 18 相関試験 1  
Correlation test 1

## 5.2 相関試験 - 2

車両速度を80km/h( E C U入力), ハンドル角度は1秒に0 から45( 45 %s)に一定としたがこの試験ではハンドル速度は遅い.

この試験は, 最初の試験同様, 測定結果とシミュレーション結果の相関がよい.

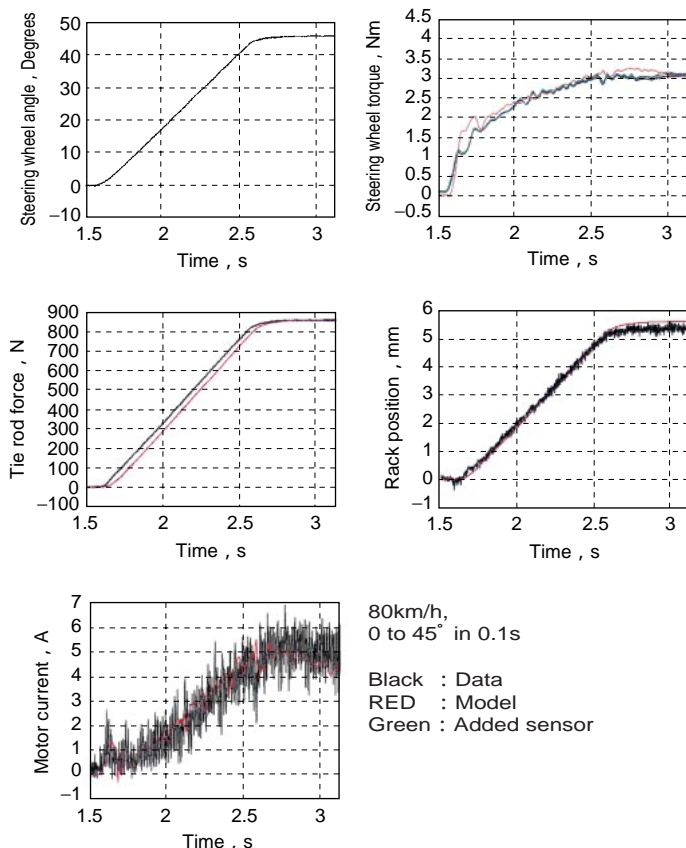


図19 相関試験2

Correlation test 2

## 6. おわりに

開発したプログラムは, 停車状態での台上試験における E P S システムをうまくシミュレートすることができた. このシミュレーションプログラムをさらに改良するため, いくつかの研究に着手している.

- ・ステアリングギヤ, ウォーム, 減速機の摩擦モデルの改良
- ・車両の動的挙動モデル
- ・実車と測定結果との相関

今後の全システムモデル化は標準シミュレーションプログラムを3つの段階で開発することである.

第一段階では顧客の要求に迅速にこたえるため, E P S シミュレーションプログラムを展開していく計画で, 顧客の E P S 搭載車で包括的な走

行をシミュレートすることである.

第二段階では振動の現象や車両の動的挙動に関して顧客と密接に設計を進め, より正確なモデル化を行っていく.

第三段階ではモータ制御や, E C U の開発に対応し, Koyo 独自の複雑な解析についても取り組んでいく.

## 筆者



シモン・パトリック\*  
S. PATRICK

\* KOYO STEERING EUROPE S.A.S  
EUROPEAN TECHNICAL CENTER