

# EPS 消費エネルギー推定手法の開発

## Development of EPS Energy Consumption Estimation Method

泉谷圭亮 K. IZUTANI 冷水由信 Y. SHIMIZU

In order to improve the fuel efficiency of vehicles equipped with electric power steering (EPS), it is necessary to grasp average EPS energy consumption during vehicle operation and reduce this. Conventionally, the only way to know EPS energy consumption during vehicle operation has been to take measurements during operation, but this requires many development man-hours. Now, by constructing a general vehicle operation database, improving the method of estimating rack force during low-speed driving, and utilizing the electric power relationship between battery input power and rack output force, we have developed a technique that allows us to estimate energy consumption accurately and in a short period of time without on-vehicle measurements.

**Key Words:** steering system, electric power steering, energy consumption, estimation method

### 1. はじめに

環境問題へのグローバルな取組みとして CO<sub>2</sub> 削減が必要となっている現在、ステアリングシステムにおいては油圧式パワーステアリングシステムから車両の燃費向上に有効な電動パワーステアリング(以下、EPS と称す)システムへと移行しつつある<sup>1)</sup>。

EPS 搭載車両の燃費をさらに改善するためには、実際の市場走行時における EPS の平均消費エネルギーを把握し低減する必要がある。従来は消費エネルギーは実車での計測が必要で、車両の先行開発・企画段階では予測ができなかった。また、実車の走行試験には、データ計測や解析、まとめて多大な開発工数(例:1台当たり延べ約4週間)が必要で、EPS システムの諸元や車両の変更時には再度実車計測が必要という課題があり、開発効率を改善するために正確な消費エネルギーの推定手法が求められている。次章で述べるように EPS 消費エネルギーは低車速走行やすえ切り時に大きくなるが、従来技術ではその領域での推定精度が低いという問題があった。

本報では、特に低車速域での消費エネルギー推定精度を向上させることで、実車での一般走行時の消費エネルギーを実際に走行しなくても精度良く推定する手法について紹介する。

### 2. EPS消費エネルギーの現状調査

実車での EPS 消費エネルギーの特徴を把握するために駆動方式や排気量の異なる車両で、市街地、高速道路、山岳路などでの走行試験を行い、車速と消費電力との関係を調査した。その結果、図1に示すように高車速域ではほとんど電力を消費しないのに対して、低車速域での消費電力が大きく、EPS 消費エネルギーは低車速域の寄与率が高いことが分かった。また、これらの走行試験結果から図2に示すような EPS 消費エネルギーの推定の際の基になる実車データベースを構築した。

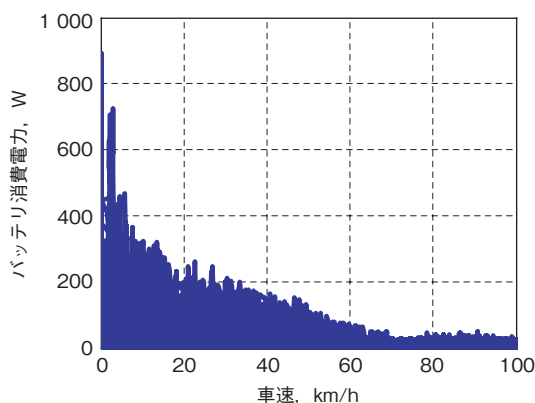


図1 車速と最大消費電力の関係 (ミニバンの場合)  
Relation between vehicle speed and maximum electric power consumption (ex. Minivan)

車両	ミニバン, 小型セダン, 普通セダン, ……
EPS	コラムブラシ付きEPS, コラムブラシレスEPS, ラック同軸EPS
走行路	市街地, 高速道路, 山岳路, 社内テストコース, ……
実車データ	軸力, 操舵角, 操舵速度, 操舵トルク, 横加速度, 車速, バッテリ電圧/電流, モータ電流, ……

図2 構築した実車データベース  
Vehicle operation database

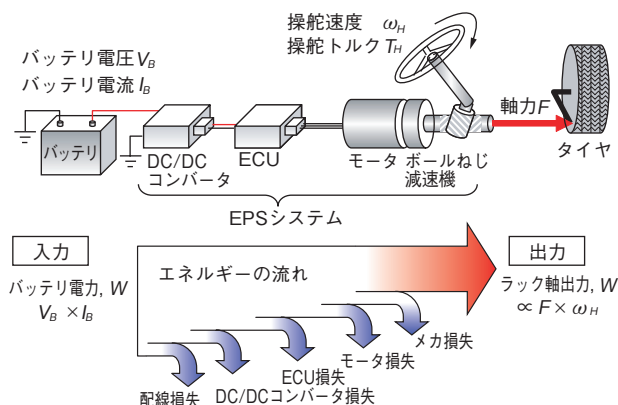


図3 EPS消費エネルギーフロー概要  
Outline of EPS energy consumption flow

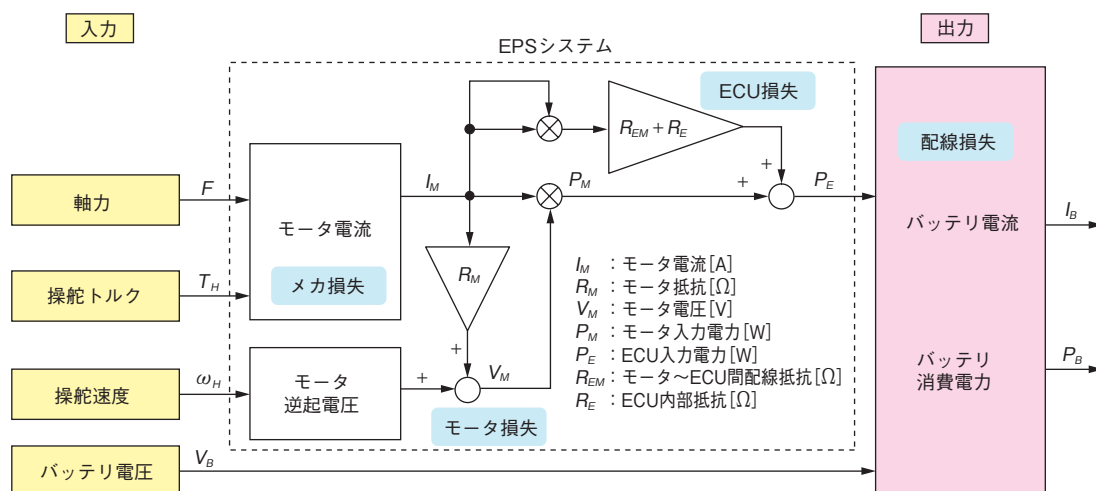


図4 バッテリ消費電力推定ブロック図<sup>2)</sup>  
Block diagram of battery power consumption estimation

### 3. EPS消費エネルギーの推定

#### 3.1 推定手法

EPSで消費されるエネルギーフローの概要を図3に示す。バッテリーから入力された電力は、配線や各コンポーネント部品の損失により失われた結果、残ったエネルギーがラック軸出力として軸力と操舵速度の積に比例する形で出力される。そこで、出力側のデータを基に、エネルギー収支の関係から入力側のバッテリー消費電力を推定することを考えた。この関係を用いて消費エネルギーを推定する手法を図4に示す。

#### 3.2 消費エネルギー推定時の課題と対策

図4に示すバッテリー消費電力の推定において、EPSシステムのモデル化は従来から可能であったが、入力に

用いる軸力は走行場面やサスペンション形式により大きく変化し、また実測値を使う場合でも端当て時は誤差が大きという課題があった。そこで軸力の推定方法を検討した。

##### 3.2.1 低車速時の軸力推定

車両の横加速度と軸力との関係は、タイヤが空転するような状況を除けば、車両ごとに一次式で近似することができる。この関係を用いて、実車走行試験を行ったときの横加速度データから軸力を推定すると、図5に示すように低車速域では横加速度が発生しないため、軸力の推定誤差が大きくなることが分かった。そこで横加速度推定ではない軸力の推定方法を検討した。低速走行中のタイヤ特性は非常に複雑であり短時間で精度良く求めることは現状では困難であるため、すべり特性での代用

を検討した。図6に示すようにベース車両と対象車両のすえ切りデータから舵角に対する軸力比のマップを作成し、これとベース車両の軸力データから軸力を推定した結果、低車速域（約30km/h以下）での推定精度が向上した。さらに、低車速域での軸力比による推定と、それ以上の中高車速域での横加速度情報による推定とを組み合わせることで、図7に示すように全車速領域で精度の良い軸力推定が可能になった。

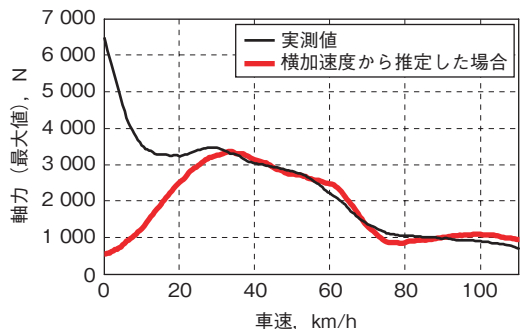


図5 横加速度を用いた軸力推定結果<sup>2)</sup>

Axial force estimation result using lateral acceleration

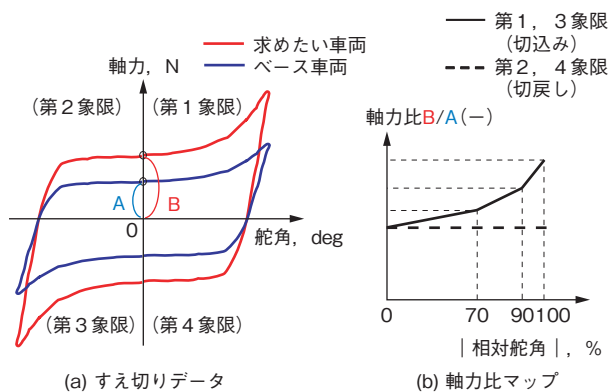


図6 すえ切り特性による軸力比マップ

Map of axial force ratio by parked-state characteristics

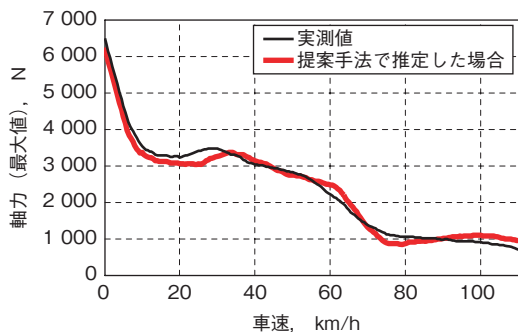


図7 軸力推定精度の改善<sup>2)</sup>

Improvement of axial force estimation accuracy

### 3.2.2 端当て時の軸力推定

実測した軸力データを用いてすえ切り操舵時の消費エネルギーを推定すると、図8に示すようにハンドルを左右ロック位置に当てた端当て時（○部）の誤差が大きくなるのが分かった。この原因は、端当て時の軸力はギヤ内部で発生するため、図9に示すようにタイロッドに貼るひずみゲージでは端当て時の軸力を計測できないためである。そこで端当て時はモータ電流実測値から算出した軸力を用いるようにした結果、図10に示すように端当て時の軸力計測誤差を低減でき、精度良く消費電力を推定できるようになった。

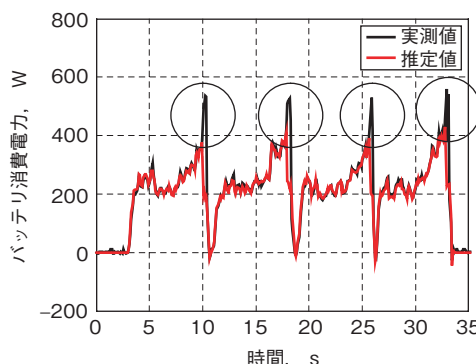


図8 すえ切り操舵時の消費エネルギー推定結果 (改善前)

Result of energy consumption estimation during parked-state steering (before improvement)

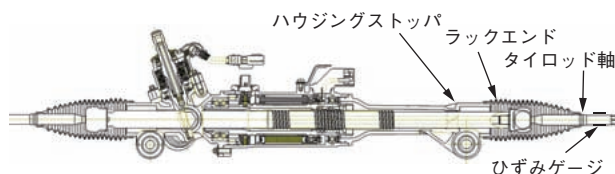


図9 ひずみゲージを用いた軸力計測

Axial force measurement with strain gauge

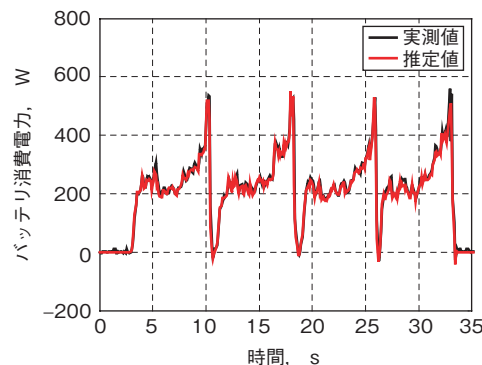


図10 すえ切り操舵時の消費エネルギー推定結果 (改善後)

Result of energy consumption estimation during parked-state steering (after improvement)

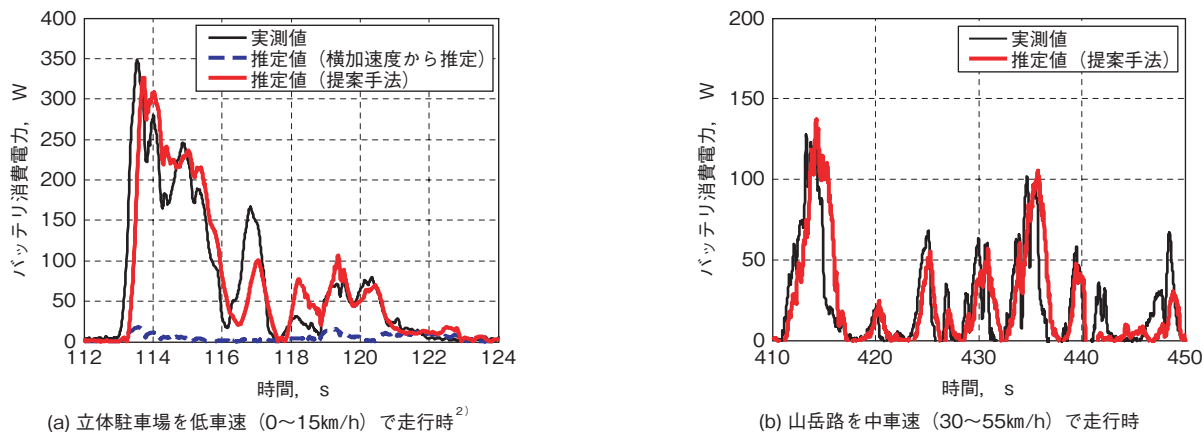


図11 消費エネルギー推定結果例  
Examples of energy consumption estimation

### 3.3 消費エネルギー推定結果

前節で示した方法で推定した軸力などのデータを用いて、各走行条件での消費エネルギーを推定した。例として (a) 立体駐車場を低車速 (0 ~ 15km/h) で走行した場合と、(b) 山岳路を中車速 (30 ~ 55km/h) で走行した場合の結果を図11に示す。いずれも平均値の推定誤差は3%以内であり、実測値に対して精度良く消費エネルギーを推定できることが確認できた。また推定に要する工数は1台当たり約3日以内を可能とし、開発期間の短縮も実現できた。

## 4. おわりに

低車速走行時の軸力推定方法を改善することにより、実走行しなくても、停車すえ切りから高車速走行におけるEPS消費エネルギーを短時間で精度良く推定できる手法を開発した。その結果、開発車両の企画段階からEPSの消費エネルギーを予測することが可能になった。今後、EPS設計時のバッテリー消費電力、システム効率最適化の検討において本開発手法を活用し、省エネルギーで環境に優しいEPSを提供できるようにしていく。

### 謝辞

本開発を進めるにあたり、有益なご助言・ご協力をいただきましたトヨタ自動車株式会社シャシー開発部山下正治氏、後藤武志氏に深く感謝致します。

### 参考文献

- 1) 谷口敏克：ステアリングについての技術変遷・動向・将来展望，自動車技術，vol. 59, no. 1 (2005) 63.
- 2) 山下正治，後藤武志，泉谷圭亮，冷水由信：高出力電動パワーステアリングシステムの高効率化検討，社団法人自動車技術会 学術講演会前刷集，no. 59-08(2008)11.

### 筆者



泉谷圭亮\*  
K. IZUTANI



冷水由信\*\*  
Y. SHIMIZU

\* ステアリング事業本部 システム開発部  
\*\* 研究開発センター 電子システム研究部