

# 安全・環境・快適運転を支える シャシー制御システム

Chassis Control Systems for Safety, Environmental Performance, and Driving Comfort

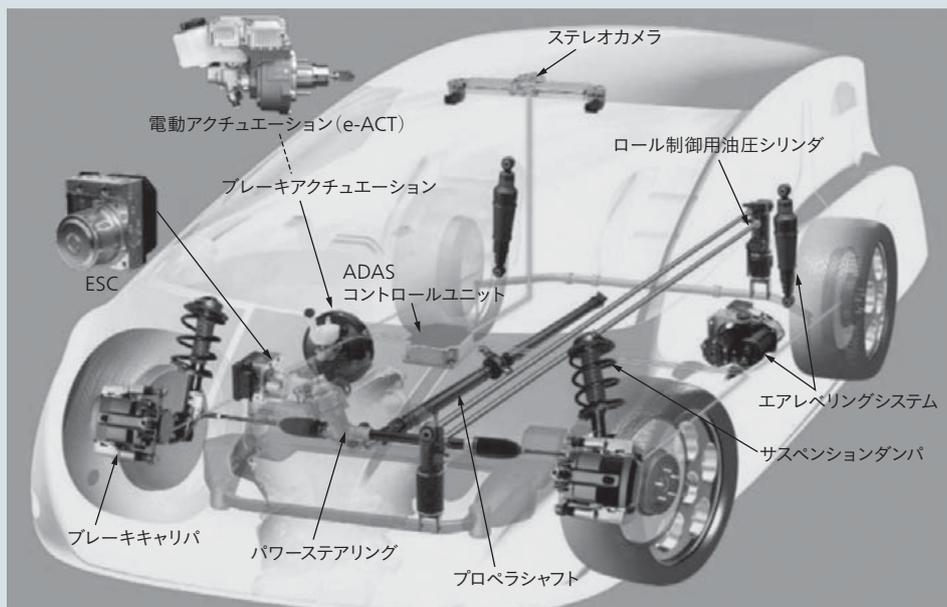
野上 忠彦   樋熊 元宏   甘利 泰彦  
Nogami Tadahiko   Higuma Motohiro   Amari Yasuhiko  
山岡 史之   佐々木 光雄  
Yamaoka Fumiyuki   Sasaki Mitsuo

サスペンション、ステアリング、ブレーキをはじめとするシャシー系製品は「走る」、「曲がる」、「止まる」の性能を左右する重要なデバイスである。日立グループは、これら幅広い製品を提供し、コンベンショナル製品で培った技術の上に電子電動化を進めてきた。ハイブリッド電気自動車（HEV）や電気自動車（EV）の電動パワートレイン、低燃費化が進むエンジンパワートレインとの協調制御技術を一層高め、さらに、カーナビゲーションシステムやカメラなどの情報・認識系デバイスとの連携やシャシー系デバイス相互の協調制御システムの開発、さらには自動運転を実現できるシステムの開発など、日立グループの総合力を結集することで、より安全で、より環境に配慮し、より快適な自動車をグローバルに提供するサプライヤーをめざしていく。

## 1. はじめに

交通事故の撲滅は社会の不変の要請であり、ドライバーの高齢化なども背景に、事故を回避するシステムのニーズが高まっている。横滑り防止装置（ESC：Electronic Stability Control）に続いて、緊急時の自動ブレーキを義務化する動きもある。

また、地球温暖化による環境意識の高まりからHEV（Hybrid Electric Vehicle）、EV（Electric Vehicle）の普及が進み、これらの電動車両ではモータを使った回生ブレーキと協調して制御する摩擦ブレーキのシステムや、エンジンの回転力や負圧を必要としない電動式のパワーステアリングやブレーキが必要となる。さらに、エンジン駆動車でも革新的な低燃費化が進み、エンジンを止める領域をアイド



注：略語説明 ESC (Electronic Stability Control), e-ACT (Electrically-assisted Actuation), ADAS (Advanced Driver Assistance System)

図1 | シャシー制御システム製品

日立グループは「走る」、「曲がる」、「止まる」の性能を左右するシャシー系の幅広い製品を提供している。

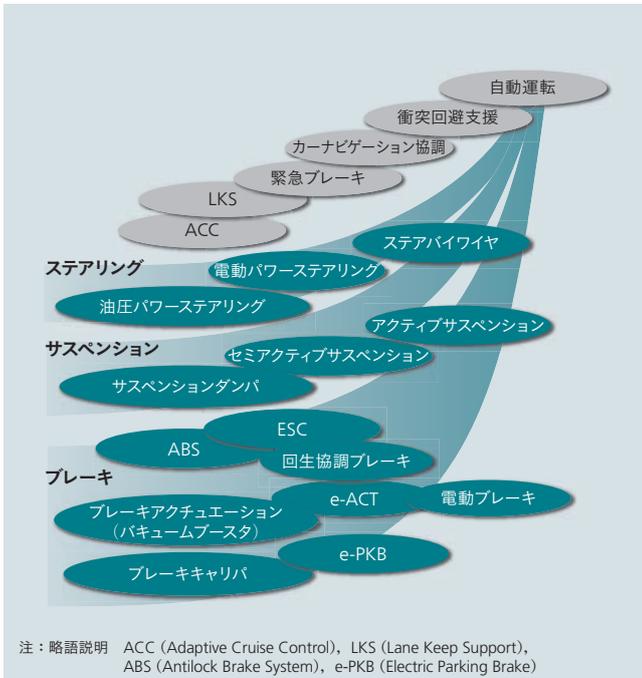


図2 | シャシー制御システムの進化

コンベンショナル製品で培った技術の上に電子電動化や協調制御の技術を高め、より安全で、より環境にやさしく、より快適なクルマを実現していく。

リング時だけでなく、車両が止まる前や定速で惰行するときまで広げるニーズが高まっている。

セミアクティブサスペンションやアクティブサスペンションは乗り心地や操縦安定性を高めるだけでなく、事故を回避するための緊急動作の際に、車両の運動を安定化することが回避動作の確実性と乗員の安心感を高める。

また、カーナビゲーションシステムの地図情報や、カメラ、レーダなどの認識情報、車-車間通信や路-車間通信の情報を活用して安全性をさらに高める開発も進んでおり、自動運転システムの実現も視野に入れた技術開発が活発化している。日立グループはこれらとシャシー制御システムを協調させて統合的に制御することによって、自動車の安全性、環境性能、快適性を一層高めるシステムの開発を加速していく(図1, 図2参照)。

ここでは、シャシー制御システムの開発状況と将来展望について述べる。

## 2. ブレーキシステム

### 2.1 ブレーキの技術動向

ブレーキシステムは、走行中に運転者がブレーキペダルを踏み込んで制動力を発生させる「サービスブレーキ」と、駐車中の車両を保持する「パーキングブレーキ」とに大別される。制動と駐車に加えて、車輪ロックや車両横滑りを防止するABS (Antilock Brake System), ESCの搭載が標準化されてきており、ブレーキにはより高い安全性が求められるようになってきた。さらに、運転者の制動操作力を倍

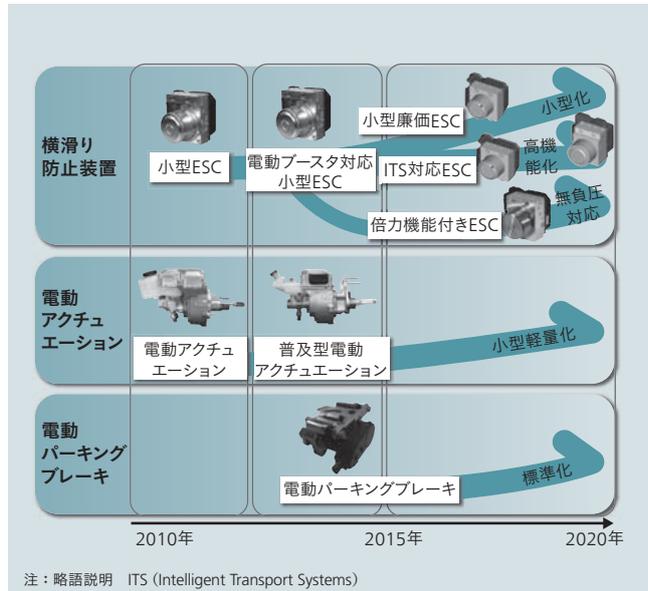


図3 | 制御ブレーキロードマップ

横滑り防止装置、電動アクチュエーション、電動パーキングブレーキをそろえ、通常領域から限界領域までカバーするブレーキシステムを提供していく。

力する装置や駐車ブレーキ機構も電動化が進み、制動力を最適に制御することで、自動車の安全性、快適性、環境性を向上させてきた。今や自動車の性能を語るうえで制御ブレーキは重要なキーパーツになっている。日立グループは、このような動向を背景にESC、電動アクチュエーション、電動パーキングブレーキを開発している(図3参照)。

### 2.2 ESC

ESCは車両が不安定となるタイヤのロック、空転、車両横滑りをセンサーで監視し、各車輪の制動力を制御することで安定化させるシステムである。日立グループは、2003年より液圧センサレスの小型ESCを製品化してきた。坂道発進補助や横転防止などの機能拡張した小型ESCは2007年に製品化している。現在、ESCは小型軽量と機能拡張の要求が高く、新興国向け、小型車両向けに、現行タイプより20%小型軽量の廉価版ESCシステムを開発している。

一方、コーナリング中に制動力を発生させて車両を安定化させる機能やカメラ・レーダなどと組み合わせた自動ブレーキ機能の標準化が進むなど、常用域まで作動領域を拡大している。ESCにはさらなる静粛性、高応答性、耐久性が必要になってきており、独自技術としてギヤポンプを採用したシステムを開発中である。

小型車やHEV, EV, 低燃費環境対応車の普及に伴い、エンジン負圧に依存しないブレーキ倍力機構のニーズが高まっている。日立グループは現在、倍力機能を実現した小型車向けESCシステムを開発中である。機能集約によりブレーキシステム全体で小型軽量化が図れ、搭載性が向上

することから、普及が進むと考えられる。

### 2.3 e-ACT

日立グループは、従来のブレーキアクチュエーションに代わるエンジン負圧を必要としない倍力装置として、電動モータによりブレーキ操作時のペダル踏力をアシストする独自の電動型ブレーキアクチュエーションを開発し、世界で初めて量産化した。

e-ACT (Electrically-assisted Actuation) は、HEV、EVの回生ブレーキと協調する機能を有する(図4参照)。電動モータによる高い制御性能によって摩擦ブレーキの制動力を最適に制御することで回生ブレーキのエネルギー回生量を大幅に増して、燃費の向上に貢献している。また、e-ACTの高い制御性能により、カメラ・レーダなどのセンサーと組み合わせることで、自動ブレーキなどのITS (Intelligent Transport Systems) 機能も実現し、自動車の安全性、快適性を高めている。さらに、ソフトウェアによるペダルフィーリングの変更も可能であり、従来のブレーキシステムにはない付加価値を提供できる。

HEV、EVおよびITS機能の普及に伴い、高い制御性を有するブレーキアクチュエーションのニーズが高まっている。今後はより多くの車種に対応するため、小型軽量で搭載性が高く、低価格のe-ACTを開発して普及を進め、燃費低減と安全・快適性向上に貢献していく。

### 2.4 e-PKB(Electric Parking Brake)

操作の簡単化、車室内レイアウト性の向上を目的にパークングブレーキの電動化が進んでいる。日立グループは、クランプ力の保持性能と伝達効率を両立する独自のアクチュエータ機構を採用して、駐車ブレーキ解除速度の向上、作動音の抑制を実現し、自動パークングブレーキを可能にした。これにより、「衝突防止/軽減システム」、「アイドリングストップ」に対応するとともに、キャリパやモータの小型軽量化によってブレーキシステム全体の軽量化を

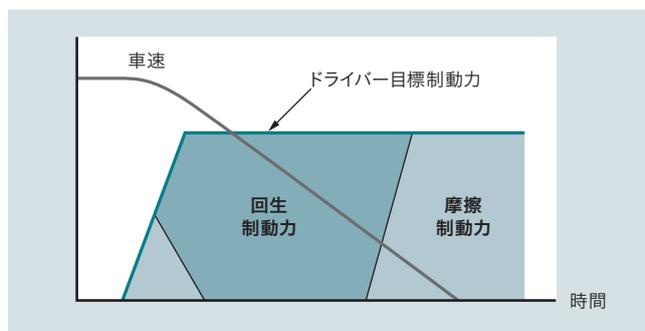


図4 | e-ACT 回生協調制御

e-ACTは回生ブレーキと協調して摩擦ブレーキを調整し、両者を合わせて運転者が意図した制動力となるように制御する。

図り、安全と環境への配慮を実現した。

## 3. サスペンションシステム

### 3.1 サスペンションの技術動向

サスペンションは乗り心地、操縦安定性に寄与し、しっかり感、安心感、疲労軽減などによって快適運転を支える重要なシステムである。中でも、操縦安定性と乗り心地を高いレベルで両立する制御サスペンションは、セミアクティブサスペンションを中心に小型・低価格車へ採用が拡大する一方、ほかのシャシー制御システムとの協調・統合制御による高性能化も進みつつある(図5参照)。

### 3.2 セミアクティブサスペンション

セミアクティブサスペンションは車体の動きに応じてダンパの減衰力特性を制御することで、車体の低周波数の揺れを抑えながら人の感度の高い(不快に感じる)周波数帯(2 Hz~8 Hz)の振動を低減する。日立グループはこれまで、独自の制御バルブ構造により、幅広い減衰力可変幅と高応答性を実現したセミアクティブサスペンション用ダンパを開発し、高級車を中心に採用を拡大してきた。今後は、小型・低コスト化により、さらに採用拡大をねらうとともに、事故回避動作の確実性、安心感の向上などをねらい、制御ブレーキなどとの協調制御システムの開発を進める(図6参照)。

### 3.3 乗り心地の質感向上

乗り心地向上に向けた要素技術の1つとしてFCD

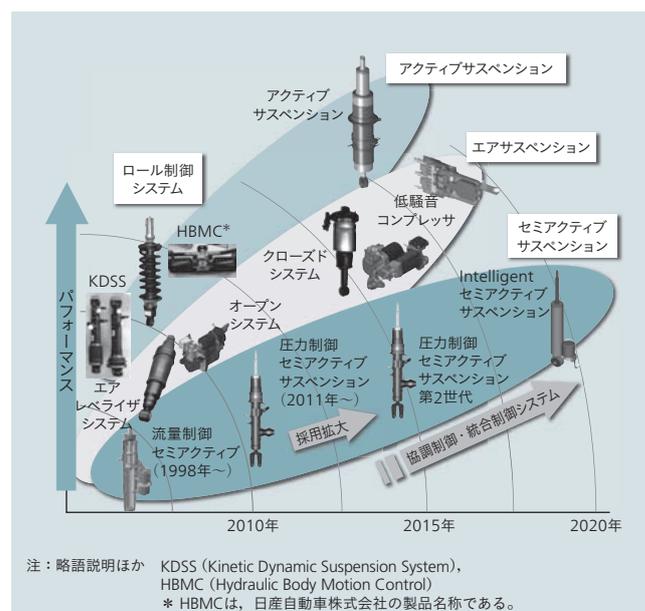
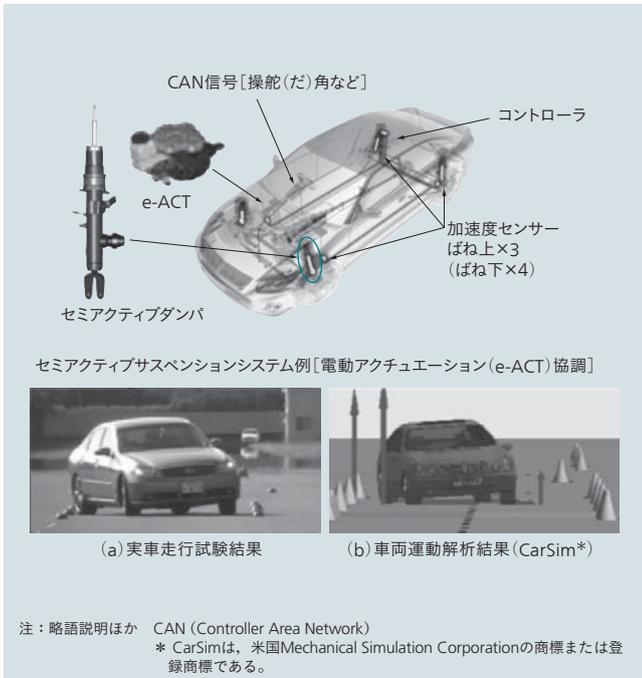


図5 | 制御サスペンションロードマップ

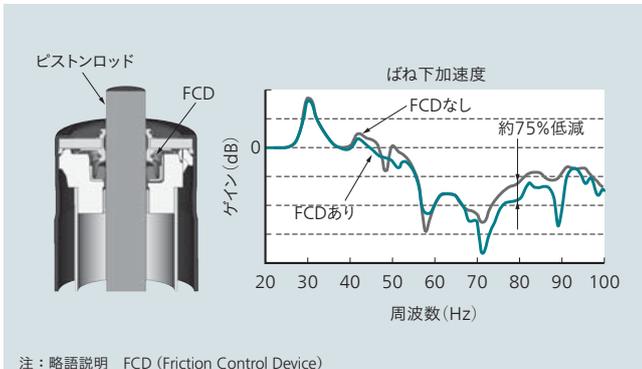
セミアクティブサスペンションを中心に高級車から小型・低価格車へと拡大し、他のシャシー制御システムとの協調・統合制御による高性能化も進んでいく。



**図6** | セミアクティブサスペンションと制御ブレーキ協調制御システム  
 セミアクティブサスペンションをブレーキ (e-ACT) と協調して制御することにより、緊急操作時の車両の挙動を安定化することができる。

(Friction Control Device) について述べる。乗り心地の質感向上には、油圧の減衰力では制御困難な高周波振動 (30 Hz以上) の低減が重要であり、FCDはこの領域で有効に作用する。具体的効果として、走り出しの滑らかさ、突起乗り越し時のショック低減、タイヤのパターンノイズ低減などがあり、乗り心地の質感向上に寄与することができる。近年の採用例では、燃費向上策である空気圧の高いエコタイヤの乗り心地悪化を防止する手段として軽自動車に採用したケースや、安全性に貢献するランフラットタイヤの乗り心地改善とパターンノイズ低減の手段として用いたケースもある。日立グループは、すでに10年以上のFCD生産実績があり、採用を拡大してきたが、さらなる乗り心地要求の高まりに対応し、改良型を開発した (図7参照)。

電子制御サスペンションの進化とともに、このような要



**図7** | FCD の構造と効果  
 FCDを設けることによってばね下の高周波振動が大幅に低減し、乗り心地の質感向上に効果が大きい。

素技術の改良進化も重要な課題であり、今後も電子制御システムとメカニカルな要素技術の両方を発展させ、組み合わせることで顧客ニーズに即した製品開発を進める。

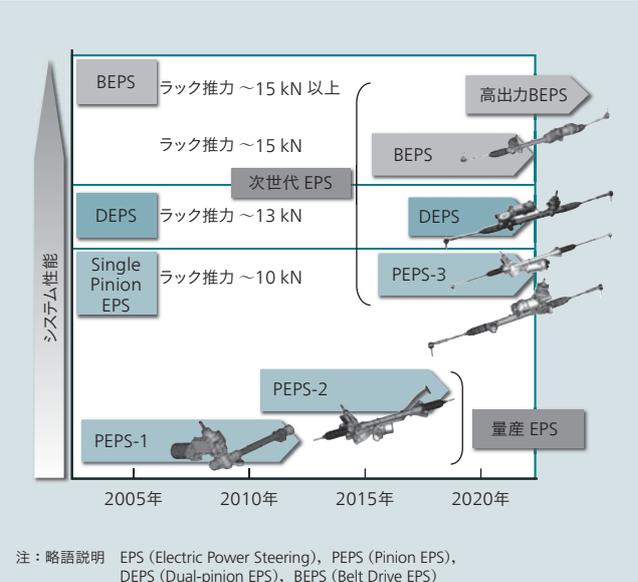
#### 4. ステアリングシステム

##### 4.1 ステアリングの技術動向

電動パワーステアリング (EPS : Electric Power Steering) は1980年代後半に軽自動車採用されて以来、拡大の一端をたどっており、2015年には全世界で自動車全体の約50%がEPS化されると予想されている。これは近年の原油価格高騰、エコ意識の向上から車両の低燃費性能がクローズアップされ、EPSは3%~4%の燃費改善効果が見込まれるためである。さらに日本に至っては、HEV、アイドリングストップ車両の車種拡大によって2015年には約80%がEPS化されると予想されている。このような環境の中、日立グループはピニオンEPS (PEPS) を中心に展開しており、さらに高出力、高操舵 (だ) 感をねらってデュアルピニオンEPS (DEPS), ベルトドライブEPS (BEPS) を開発している (図8参照)。

##### 4.2 高操舵感EPS

EPS化された自動車も近年では2代目、3代目となる車両が増加しており、これに伴いEPSに対する操舵性能向上の要求や、車両からくる軽微な不具合挙動の軽減の要求が高まっている。これに対応するために独自のロジックを開発している。外乱抑制制御の効果を示したデータで、路面からのキックバックや、シミーによるハンドル振動を低減させる制御ロジックの採用により、約30%低減している



**図8** | 電動パワーステアリングロードマップ  
 ピニオンEPSに加えて、ベルトドライブEPS, デュアルピニオンEPSを開発し、より幅広い車種に対応していく。

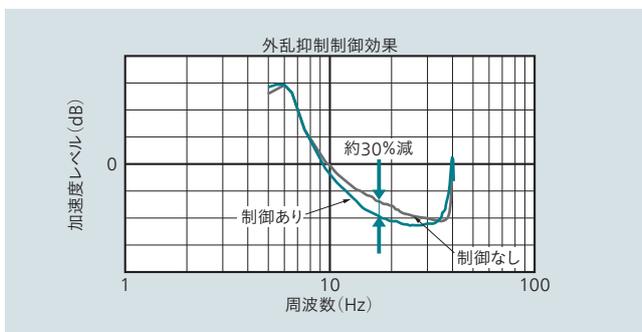


図9 | 外乱抑制制御効果

外乱抑制制御により、ハンドルに伝わる路面からのキックバックや不快な振動を低減し、操舵感が向上する。

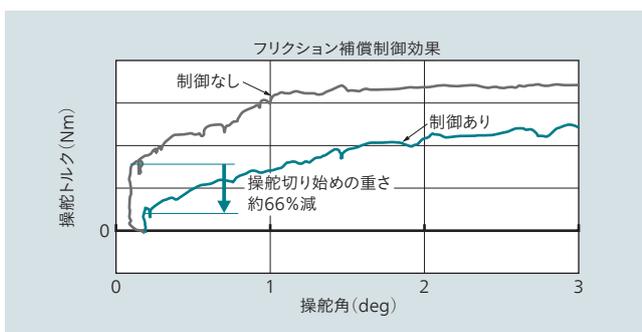


図10 | フリクション補償制御効果

メカ系のフリクションを補償する制御により、中央からハンドルを切り始めたときの操舵トルクが大幅に低減し、滑らかな操舵感が得られる。

例を図9に示す。また、図10は、EPSを構成するメカ系のフリクションを補償する制御ロジックの採用により、操舵初期の操舵トルクを約66%低減した例である。これにより、微小な修正操舵が容易となり快適な操舵感が得られる。さらに、ほかのシステムからの操舵要求に応じたアクティブ操舵やアシスト特性の補正にも対応可能であり、インターフェースやソフトウェア構成は多様な要求に応えられるシステム構成をとっている。

### 4.3 機能安全

2012年に機能安全の国際規格ISO26262が制定され、各国のOEM (Original Equipment Manufacturing) およびサプライヤーがこの安全コンセプトを導入し開発を行っている。EPSのASIL (Automotive Safety Integrity Level) はDレベルがグローバルに共通の見解であり、最高レベルの安全設計が要求される。これに対応するために、主要センサーの冗長化、マイコンのデュアルコア+ロックステップ化などで対応している。また、最近では故障時に操舵アシストを停止させないKeep Assistの要求が高まっており、今後さらに高い安全性の要求に対応できるシステムを開発していく。

## 5. おわりに

ブレーキ、サスペンション、ステアリングを挙げて、シャシー制御システムの開発状況と将来展望について述べた。

シャシー制御システムは重要保安部品が多く、各サブシステムには高い信頼性が求められる。そして、これらをほかのシステムと協調して統合的に制御するには高い機能安全性能が不可欠である。シャシー統合制御システムの進化により、自動車の高い安全性、環境性能、快適性能を実現できる。

### 参考文献

- 1) 根本、外：環境と安全に向けたオートモティブシステムの技術開発、日立評論、91、10、755～759 (2009.10)
- 2) Ohtani, et al. : Development of an Electrically-Driven Intelligent Brake Unit, SAE, 2011-01-0572 (2011.1)
- 3) 平尾、外：G-Vectoringに基づく減衰力制御車両の限界領域性能向上に関する検討、自動車技術会学術講演会前刷集 No.145-11 (2011.10)
- 4) 矢野経済研究所：2010電動パワーステアリングシステム市場の最新動向と将来展望 (2010.9)

### 執筆者紹介



#### 野上 忠彦

1980年日立製作所入社、日立オートモティブシステムズ株式会社 技術開発本部 所属  
現在、自動車システムの研究開発に従事  
日本機械学会会員



#### 樋熊 元宏

1998年株式会社日立ユニシアオートモティブ入社、Hitachi Automotive Systems Europe GmbH Technical center 所属  
現在、ESCの設計開発に従事  
自動車技術会会員



#### 甘利 泰彦

1991年トキコ株式会社入社、日立オートモティブシステムズ株式会社 走行制御事業部 設計本部 ブレーキ設計部 所属  
現在、e-ACTの設計開発に従事



#### 山岡 史之

1977年株式会社日立ユニシアオートモティブ入社、日立オートモティブシステムズ株式会社 エンジン機構事業部 設計本部 シャシー制御システム設計部 所属  
現在、制御サスペンションの設計開発に従事  
自動車技術会会員



#### 佐々木 光雄

1987年株式会社日立ユニシアオートモティブ入社、日立オートモティブシステムズステアリング株式会社 秋田事業部 設計部 所属  
現在、EPSの安全設計に従事  
自動車技術会会員