

ピニオンアシストタイプ電動式パワーステアリングシステムの開発

Development of Pinion-Assist Type Electric Power Steering System

大須賀章朗 A. OSUKA 松岡祐樹 Y. MATSUOKA
 筒井高志 T. TSUTSUI 小幡佳史 Y. OBATA
 アルノー・ドゥルレー A. DROULERS

Within the frame of development of ecological electric power steering systems, Koyo has succeeded in development and mass-production of a pinion-assist type electric power steering system. This system is equipped with a high-power motor and can be packaged under hood, while conventional column-assist type systems have been mounted inside the passenger compartment.

Key Words: electric power steering, ecology, engine compartment

1. はじめに

各産業分野において省エネルギー化が必要とされる現在，地球環境にやさしい製品開発が急務となっており，自動車産業もその一つである．当社はこのニーズに応えるべく省エネルギー製品として，直流モータによる操舵補助機能を備えた車室内搭載のコラムアシストタイプ電動式パワーステアリング(C-EPS)を世界に先駆け1988年から生産している．このたびEPSの小型車への採用拡大に対応し，モータの出力向上，搭載位置の自由度を広げ，エンジンルームに搭載可能なEPSシステムを開発し，欧州の小型車向けにピニオンアシストタイプ電動式パワーステアリング(以下P-EPSと称す)として生産を開始したので紹介する．

2. ピニオンアシストタイプ電動式パワーステアリングの概要

2.1 開発の狙い

エンジンルーム内への搭載システムのため，下記3点を開発のポイントとした．

- 1) 軸方向寸法の縮小
- 2) 高温作動雰囲気への対応
(- 30 ~ + 95)
- 3) 防水構造

本システムの構成図を図1に，断面図を図2に示す．

トルクセンサ，減速機，モータを一体化したEPSユニットを従来のラック&ピニオンタイプのマニュアルギヤに組み付けた構造としている．本構造によりEPSユニットの状態でアシスト特性の管理を可能とした．

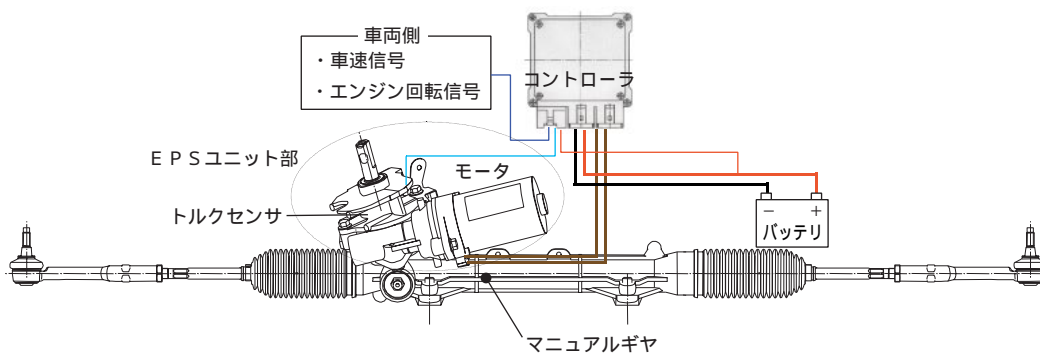


図1 P-EPSシステムの構造

Structure of P-EPS system

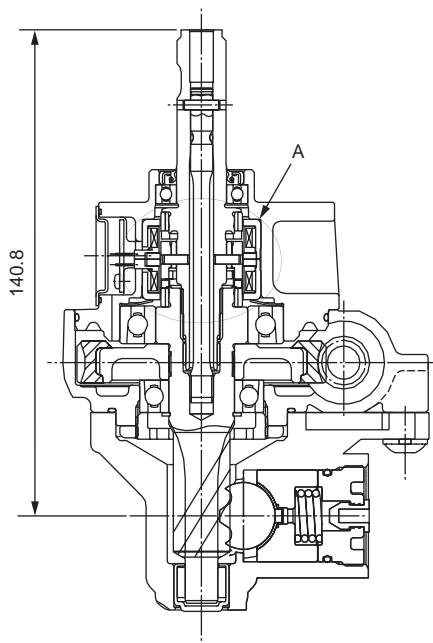


図2 EPSユニット，マニュアルギヤ部断面
Cross Section of manual gear of EPS-unit

2.2 小型トルクセンサ

トルクセンサ部の構成を図3に示す．従来の量産品に比べ軸方向で7.0mm，径方向で3.5mm小型化している．以下に部品別の特徴について述べる．

1) コイルアッシー：

軸方向取り出しのリード線 + コネクタタイプから，径方向ピン出しタイプに変更．ポピンへの銅線自動巻きによる巻き線密度向上により，径方向に 3.5mm縮小．

2) ディスタンスピース：

1)により廃止．

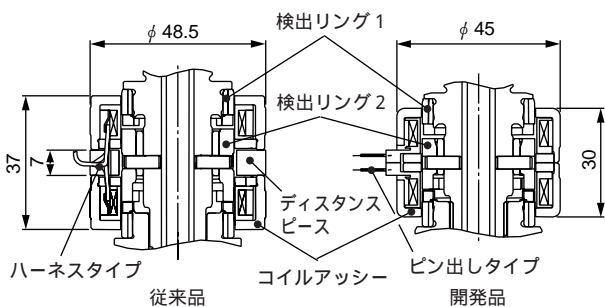


図3 トルクセンサ(A)部比較
Comparison of torque sensor (A) areas

図4にコイルアッシーと検出リング間の磁場解析結果を示す¹⁾．この図において，青色部から赤色部に変化するにつれて，磁束密度(T : テスラ)が大きくなっていることを示している．図の右側

が検出コイル側で，ハンドルからの入力トルク(検出リング間の相対捩れ)に応じて磁気回路の磁束密度の増減，つまり検出コイルのインピーダンス変化が生じ，入力トルクに応じた電気信号を検出する．図の左側が，雰囲気温度の変化によるインピーダンス変化の相殺を目的とした温度補償コイル側で，磁気回路の磁束密度は常に一定である．

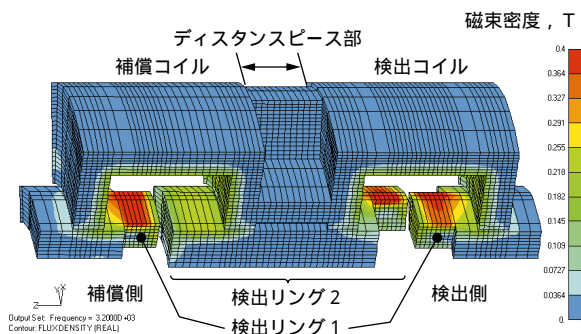


図4 トルクセンサ磁束密度解析
Analysis of magnetic flux density for torque sensor

この解析結果から，ディスタンスピース部は検出側と補償側の相互磁場によって影響されないで廃止可能と判断した．

3) 検出リング2：

2)により組み付け位置を検出リング1の方向に7.0mm移動．

4) トルクセンサ用制御基板固定方法：

従来のタッピングねじ2本による固定のものから，タッピングねじ + スペース(弾性体)に変更．

この固定方法は，1)のピン出しコイルアッシーへの変更に伴い，熱衝撃によるコイルアッシーと制御基板部のはんだ付け部の応力を緩和することを目的としている．制御基板固定方法を図5に示す．

これらの改良を加えたトルクセンサは，図6に示すように従来と同等の温度特性を得られた．

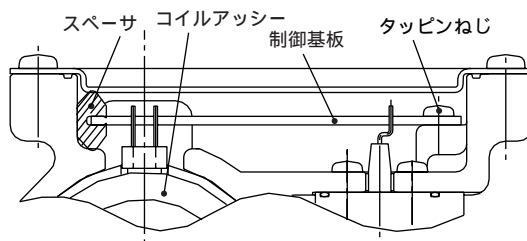


図5 制御基板固定方法
PCB fixing

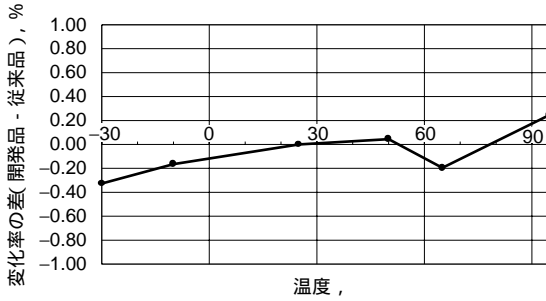


図6 トルクセンサ出力の温度特性
Torque sensor output with temperature

2.3 高出力用、耐熱樹脂材減速機

減速機は電動式パワーステアリング用として実績があり、高減速比が得られるウォームギヤを採用した。ギヤ材料は次の要求を満足する樹脂材料を開発した。

- 1) 電動式パワーステアリング搭載車種が従来の軽自動車から普通乗用車への拡大採用となったため、モータの高出力化に対応した高強度、および耐摩耗性に優れた材料。
- 2) エンジンルーム搭載のため耐熱性を有する材料。
- 3) 射出成形可能な材料。

減速機耐久試験後のバックラッシの増加量は、樹脂材料の相対粘度に反比例しており、その成形性も相対粘度に反比例していることが分かっているため、成形性を考慮した相対粘度の上限設定をしている。また、減速機耐久試験後のバックラッシの増加量も従来と同等レベルである。

選定材料と各種強化材料の強度、耐久性比較を図7に、減速機耐久試験後のバックラッシ増加量を図8に示す。

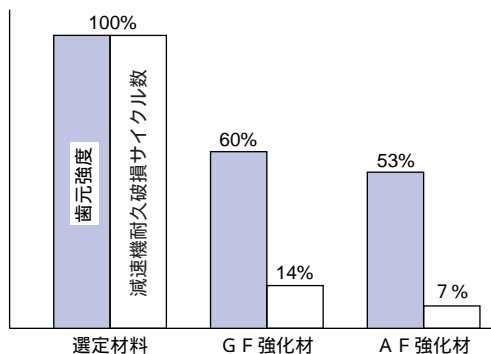


図7 減速機材料と強度、耐久性
Strength & Durability of the material for reducer

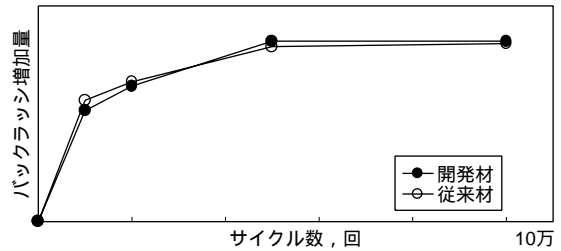


図8 減速機耐久試験後のバックラッシ増加量
Backlash increase after endurance test

2.4 P - E P S 仕様

P - E P S の諸元は以下の通りである。

表1 P - E P S 諸元
Specifications of P-EPS

項目	諸元	
理論ラック軸力	7 747N	
ラックストローク	144mm	
ストロークレシオ	45.335mm/回転	
ラック&ピニオン部	モジュール ピニオン歯数	2.3 6 枚
減速機	タイプ 減速比	ウォーム&樹脂ホイール 15 : 1
モータ	タイプ 定格電圧 定格電流値 定格トルク 定格回転数	D C ブラシ付きモータ 12V 65A 3.4N・m 1 180min ⁻¹

2.5 P - E P S 用コントローラ

現在C - E P S 用として車室内搭載型コントローラは量産中である。

今回、環境条件が厳しいエンジンルームに搭載するため、従来のコントローラに、温度感応式過熱保護制御、防水構造を追加した。図9に基本制御ブロックダイアグラムを示す。

1) アシスト制御

現行のコントローラと同様、トルクセンサにより検出された操舵トルクに応じて適切なアシストを行った。また、適切なアシスト特性が得られるようP - E P S 搭載の実車とのマッチングを取り、各々の実車に適合したアシスト特性マップ、補償制御マップの設定を行った。

2) 過負荷保護制御

コントローラおよびモータは作動に際して熱を生じる。この発熱からE P S システムを保護するのが過負荷保護制御であり、発熱に大きく起因しているモータ電流に制限をかけ、ある一定以上の温度上昇を避けることを可能とした。

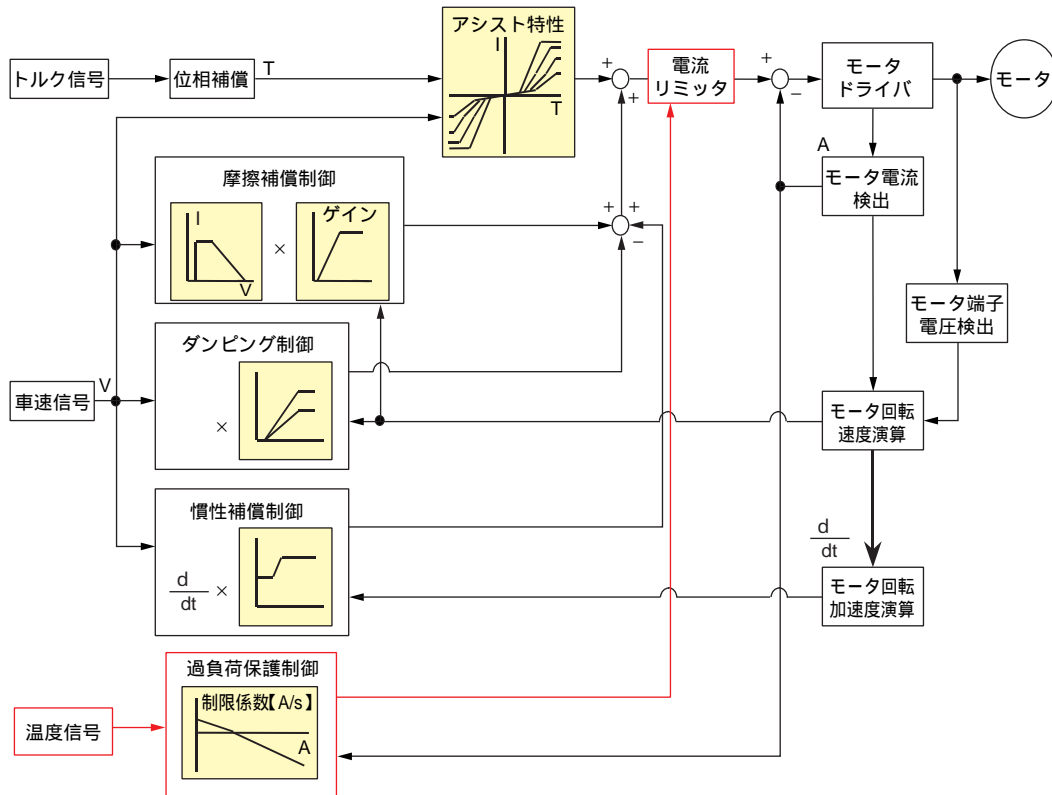


図9 基本制御ブロックダイアグラム
Block diagram of basic control

3) 温度感応式過負荷保護制御

現在量産中のコントローラは各モータの使用最大温度と最大電流値通電時間との相関で電流リミッタが設定される過負荷保護制御が搭載されている。

今回はエンジンルーム内搭載となるので、保存温度も車室内搭載に比べ120 と高く設定されている。このため使用温度範囲が広い分、一定の過負荷保護制御では効率が悪く、温度感応式を追加した。

本機能により、EPSシステムの雰囲気温度をトルクセンサ上に配置したサーミスタにて検出し、コントローラにてEPSシステム周辺温度(使用環境)に適合した過負荷保護制御を行うことができる。

具体的には、基本制御ブロックに示した温度信号を過負荷制御ブロックに読み込み、以下の制御を行っている。

- (1) EPSシステム周辺温度に基づき、各パラメータ値[a], [b], [c], [d]を選定。図10, 11参照。

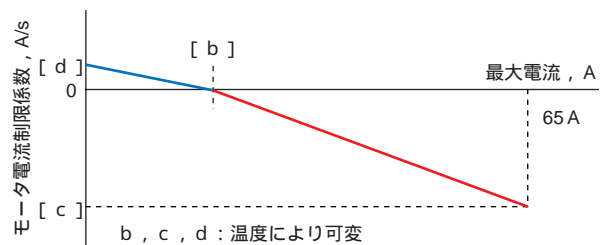


図10 モータ電流制御係数(赤線)と復帰係数(青線)

Motor current control coefficient (red line) and restoration coefficient (blue line)

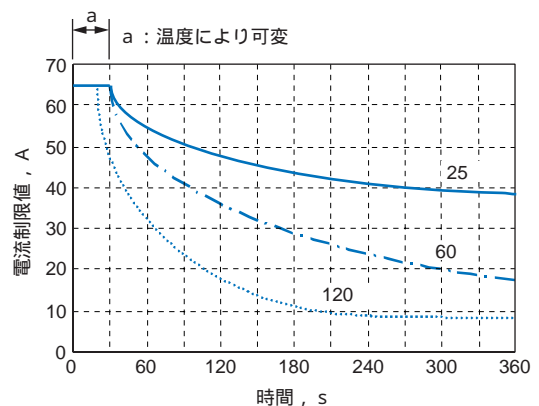


図11 温度別電流制限パターン(最大電流通電時)
Current limit pattern per temp. (max. current)

(2)モータ電流検出ブロックにより検出された電流値が [b] より大きい場合は , [c] の割合でモータ電流制限値を初期値から電流リミッタにより漸減する .

<制御例> 65 A システム , 常温 (25) で最大 (65 A) 電流 40 秒間連続通電の場合 ([a] = 30 s , [b] = 18.5 A , [c] = - 0.177 A / s , [d] = 0.0508 A / s)

初期値 : 65 - [a] × [c] = 70.31 A

許容最大電流値 :

$$70.31 + ([c] \times 40) = 63.23 A$$

となり , 過負荷保護のため最大ハンドルトルクを加えても最大電流は 63.23 A に制限されることになる .

(3)モータ電流検出ブロックより検出された電流値が [b] より小さい場合は , [d] の割合でモータ電流制限値を復帰させる . 温度別電流復帰パターンを図 12 に示す .

<復帰例> (2) の条件後 , 電流値 0 A を 30 秒間継続した場合 .

許容最大電流値 :

$$63.23 + ([d] \times 30) = 64.75 A$$

となり , 過負荷保護制御によるモータ電流制限は 64.75 A まで復帰する .

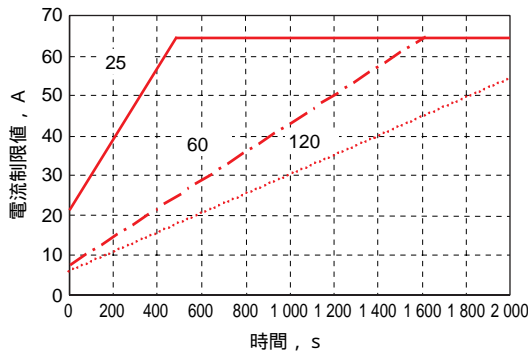


図 12 温度別電流復帰パターン(電流 0 A 継続時)

Current restoration pattern per temp. (at zero current)

2.6 防水構造

本システムの防水構造を図 13 , 14 に示す .

モータは J I S D 1 クラス (一時的に水につかることのある部品の機能試験) , E P S コントローラは , J I S S 2 クラス (直接風雨または水しぶきを受ける部品の機能試験) の仕様とした .

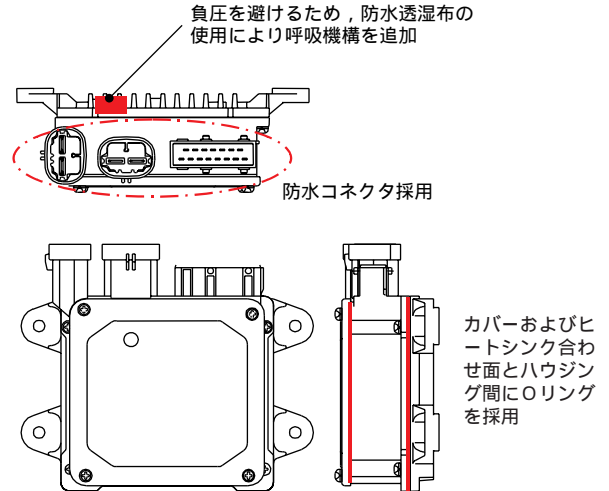


図 13 ECU 防水構造

Water-proof structure of ECU

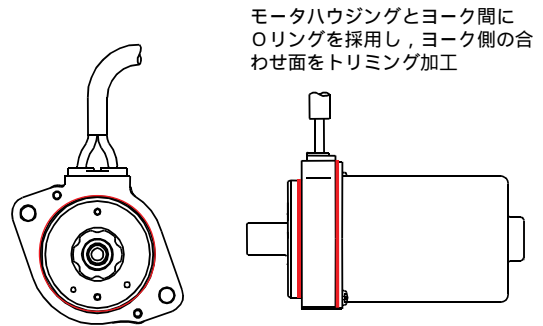


図 14 モータ防水構造

Water-proof structure of motor

3 . システム性能²⁾

1) 逆転しゅう動荷重特性

一般に , システムのアシスト力を向上するためには減速機の減速比を大きくする手法がある . しかしこの手法の場合 , ブラシ付きモータとして避けられない慣性やロストルクがハンドル軸上で増大し , 結果として電動式パワーステアリングの短所であるハンドル戻り不足という問題が生じる . これを解決するために , ステアリングギヤの搭載スペース , 操舵応答性 , 操舵フィーリングやラック軸力等の客先仕様を満足させる条件を考慮し , 減速機の減速比を最大限とした比率とした . また , ステアリングギヤアッシーの逆転しゅう動荷重 (ラック軸側から負荷した場合のステアリングギヤ自身のフリクション) は , 図 15 のように従来比 10% 減を達成し , 舵角センサ等を使用して電氣的にハンドルを中立位置に戻す制御が不要となり , 自然かつ中立感のある操舵フィーリングを得ることができた . この逆転しゅう動荷重の低減を図るために E P S ユニットやラック & ピニオン部の各部品

の摩擦抵抗の低減を行っている。EPSユニットについてはオイルシールの回転トルク，減速機の支持ベアリング予圧調整後の回転トルク，ラック&ピニオン部は，サポートヨークシート材料選定，ラックブッシュの材料および軸受支持構造，コイルばねセット荷重を考慮している。

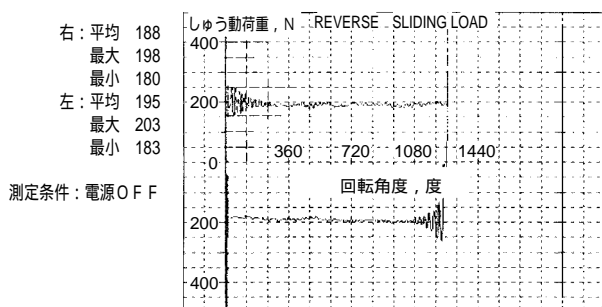


図15 ステアリングギヤアッシーの逆転しゅう動荷重
Reverse sliding load of steering gear

2) アシスト特性

本システムにおける代表的なアシスト特性を図16に示す。

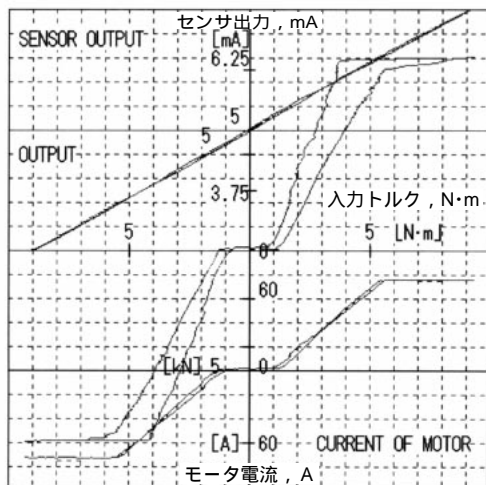


図16 ステアリングギヤアッシーのアシスト特性
Assist performance of steering gear

4. おわりに

ウォームギヤタイプ減速機を使用したP-EPSシステムを初めて本格的に海外向けに量産開始することができた。本システムの開発は，EPSユニット部を日本の技術センターが担当，ギヤ部を欧州のテクニカルセンターが担当し，日欧で分担して1つのシステムに仕上げる初の試みであった。開発当初は言葉，設計思想，文化の差によるコミュニケーションの問題があり，技術面ではし

ゅう動荷重低減のための各要素におけるフリクションの割り振りの問題などに直面したが，IT時代を反映した各種データの交換，TV会議，合同デザインレビューを重ねることによりお互いを理解し，無事，グローバル開発を完了することができた。

今後はこのシステムの現地調達比率向上によるコスト低減，車両に適合した最適チューニングの自由度の向上，更なる大型車への展開の取り組みを行い，また，自動車業界が現在盛んに取り組んでいる高電圧化対応可能なシステムをグローバルな体制で開発に注力していきたい。

参考文献

- 1) 西本光彦，伊後篤志：Koyo Engineering Journal no. 148 (1995) 32.
- 2) 泉谷圭亮：Koyo Engineering Journal no. 152 (1997) 18.

筆者



大須賀章朗*
A. OSUKA



松岡祐樹**
Y. MATSUOKA



筒井高志*
T. TSUTSUI



小幡佳史*
Y. OBATA



アルノー・ドゥルレー***
A. DROULERS

* ステアリング事業本部 ステアリング技術センター
ステアリングシステム技術部

** ステアリング事業本部 ステアリング技術センター
ステアリング電装技術部

*** KOYO STEERING EUROPE S.A.S.