

制御型電動ポンプ式油圧パワーステアリングの開発

小幡佳史 寺前宜則 山本和弘

Development of Electrically Controlled Electro-Hydraulic Power Steering System

Y. OBATA Y. TERAMAE K. YAMAMOTO

Within a frame of development of ecological power steering systems, we have completed the development of a power pack type (electric motor driven type) hydraulic power steering system, equipped with not conventional brushed motor but brushless motor controlled by ECU, which has achieved further energy saving. The following describes the content of this system.

Key Words: energy saving, hydraulic power steering system, brushless motor

1. はじめに

近年の地球環境保全の問題から、自動車の燃費向上や日本の自動車NOx法を初めとした排出ガス規制が世界的に重要な課題となってきている。

各国環境保全の動向としてその規制や課税を挙げると^{1), 3)},

欧州・・・諸国で炭素税導入

日本・・・2000年からの燃費規制

米国・・・C A F E(企業平均燃費)規制強化
E P A(環境保護庁), A R B(大気資源局)の動き

などがある。

現在のガソリンエンジンやディーゼルエンジンを動力源とする自動車では、エンジン駆動式油圧ポンプを動力供給源とする油圧式パワーステアリング(以下N P Sと称す)が一般的である。

このシステムではパワーステアリングの動力を必要とするしなやかにかかわらず、油圧ポンプはエンジンの回転速度に比例しており、ハンドルを操作しない直進時や高速走行時でも高速回転で回るため、常時無駄なエネルギーを消費している。このように自動車の燃費の中でパワーステアリングシステムにより消費されるエネルギーは約3%といわれており、パワーステアリングシステムの省エネルギー化への要求は今後もますます強くなっていくと思われる。

従来のエンジン駆動式油圧ポンプにおいても、低流量高圧化や省エネルギー型ポンプの開発など種々の試みが行われてきた。しかし、これらはある限定された条件下では効果があるものの画期的な燃費向上には至っていない。このような要請に

応えるため、我々は画期的な燃費向上の実現が可能なエンジンと独立した動力源を持つ電動ポンプ式省エネルギー型パワーステアリングシステムを開発した。

以下に、電動ポンプ式油圧パワーステアリングシステム(以下H-EP Sと称す)について述べる。

2. 電動ポンプ式油圧パワーステアリングシステム(H-EP S)の概要

2.1 第2世代型H-EP S

当社では1989年からフランスで、高効率のギヤポンプを使用した電動ポンプ(第1世代型、制御なし)を生産しており、その後1998年から直流ブラシ付きモータを別体型コントローラでその回転速度を制御した電動ポンプ(第2世代型)を生産している。このタイプは外部センサを使用せず、コントローラ内部のモータ電流検出回路で検出し、モータ電流値の変化量を演算する³⁾。これにより操舵状態を判断し、モータ駆動電圧を変化させてモータ回転速度の制御を行う。これは低コスト型コントローラにより電動ポンプユニットを効率的に制御することで省エネルギー化を図っている。

この制御方法は、非操舵時にはモータ回転速度は低速回転(スタンバイモード)に制御し、パワーアシストを必要とするハンドル操舵時にはモータを高速回転させて(パワーモード)パワーステアリングシステムを機能させる。スタンバイモードからパワーモードへの移行は、操舵時の昇圧によるモータ電流値の変更量および変化スピードによりモータ回転速度を制御している³⁾。ただし、この方式ではモード移行時の応答性が悪く、操舵フィ

ーリングの悪化を招きやすい．このためにスタンバイ回転速度を高く設定するなどの対策が必要で，省エネルギー性への効果が少ない．

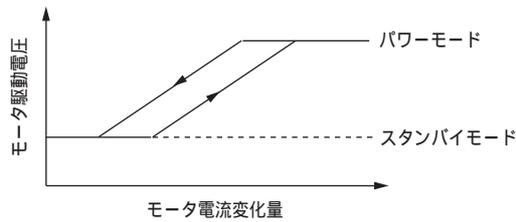


図1 第2世代型電動ポンプの制御チャート³⁾
Control chart of 2nd generation electric pump

この第2世代型電動ポンプに対し応答性の改善，省エネルギー化を狙ったシステムとして，直流ブラシレスモータにコントローラを一体化させた第3世代型電動ポンプを開発した．本ポンプは今年春に発売されるP S Aの307(306の後継車)の排気量1.4Lから2.0Lの車両に搭載されることが決定している．

2.2 第3世代型H-EPSの構成

本システムの構成例を図2に示す．

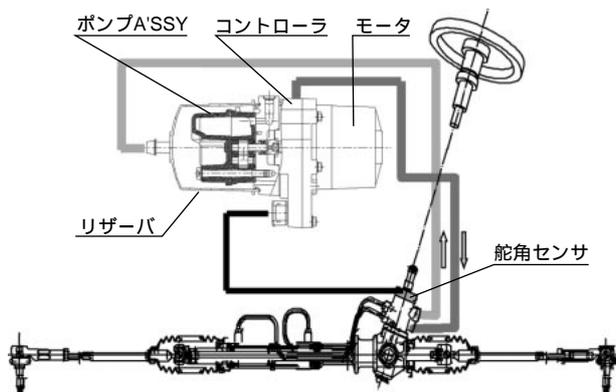


図2 電動ポンプ式油圧パワーステアリングシステム構成図
Structure of hydraulic power steering system with electric pump

ステアリングギヤはN P Sのギヤと同じで，油圧供給源のみがバッテリーを電源とする直流ブラシレスモータによって駆動する電動ポンプ方式に変更されている．このシステムでは従来のN P Sと同じスムーズな操舵フィーリングを得ることが可能となった．

また，従来の第2世代型より省エネルギー効果を高めるために舵角センサとブラシレスモータを組み合わせたものを使用し，より正確かつ迅速にステアリングギヤに必要なオイルを供給することを目的としている．

2.3 電動ポンプユニット構造

電動ポンプユニットの構成はブラシレスモータ，コントローラ，ギヤポンプ，リザーバをユニット化することで，どこにでも搭載できる自由度を有している．コントローラをポンプ部とモータの間に配置することにより，コントローラおよびモータの電装部品の発熱をポンプ本体の油冷効果を活かして抑えることができた．

第2世代から第3世代型において，ポンプの構造の見直しを行い，部品点数を減らしコストダウンを計った．

表1 第2世代型と第3世代型ポンプの部品数

Number of components of 2nd and 3rd generation pumps

	部品の種類	部品点数
第2世代	34種	45点
第3世代	29種	43点

また，ポンプ形式は第1世代と同様の圧力バランス式のギヤポンプを採用しており，通常のベーンポンプに比べ効率が非常に良くなっている．電動ポンプのギヤポンプ部を図3に示す．

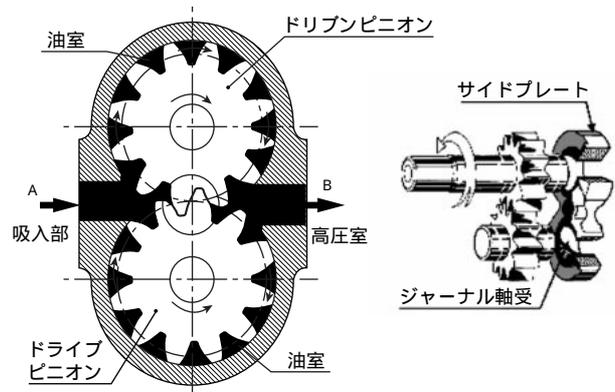


図3 ギヤポンプの基本構造
Structure of gear pump

ポンプの作動原理²⁾は一般のギヤポンプと全く同じであり，モータの駆動力でドライブピニオンとドリブンピニオンが回転した時，吸入口から流入した作動油を歯溝に吸引し，連続的に吐出口側に運ぶ構造である．この中で，大きな特徴は図3に示す構造中，サイドプレートに軸受機能を持たせて，ピニオンを浮動構造としたことである．これにより軸受フリクションを最小限に抑えることができる．また軸受部には，油溝を設け高圧のリーク油が還流する油路を形成することで流体潤滑状態を作り，軸受摩耗の増加を防止している．さらに，サイドプレート背面に高圧油を導き，歯面側と圧力バランスをとることで，サイドプレート

の側面を押す力が、低圧域から高圧域まで常時一定した押し力となるように設計している。

このような構造とすることで、図4に示すようにベーンポンプに比べて非常に高い効率を得られるようになり、小型化が図れ、省エネルギー性に優れたポンプとなった。

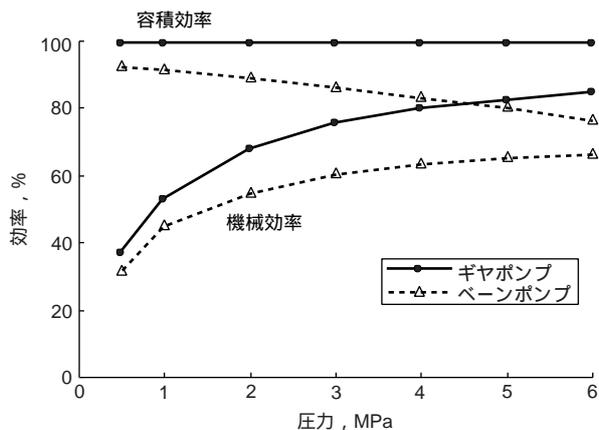


図4 ギヤポンプとベーンポンプの効率比較
Efficiency comparison of gear and vane pumps

2.4 ポンプ脈動

実車のアイドリング回転状態で、ハンドルを操舵しない時の脈動値を本電動ポンプ装着時とエンジン駆動式ポンプ装着時で比較した結果を図5に示す。エンジンがアイドリング回転時には電動ポンプはスタンバイ制御となっているため、吐出流量が少ない。そのため、エンジン駆動式ポンプよりも脈動値が低くなり、ポンプ・グー音にも有利である。また、異音の低減も容易になる。配管については、脈動値が低くなると振動値も低くなるため、配管自体の構造が簡素になり、フレキシブルチューブの廃止、クランプなど配管廻りの部品の簡略化といったコストダウンが見込める。

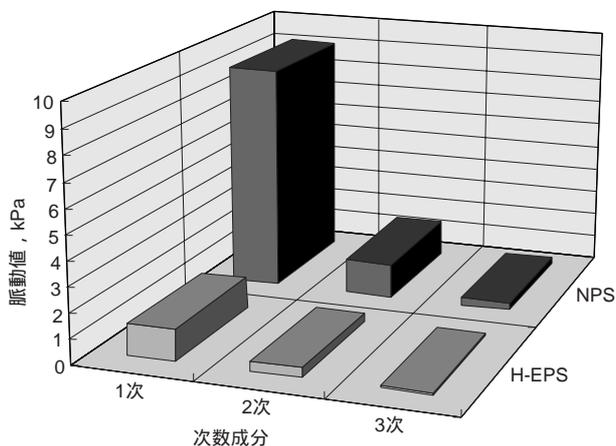


図5 ポンプ脈動値
Pulsation of pump

3. H-EPS用モータ制御の概要⁴⁾

H-EPSシステムの制御は、油圧ポンプに接続された動力源であるモータを制御するために最適化したシステムである。コントローラは、図6に示すような制御ブロック図でハンドル舵角センサ、車速センサ信号をもとにモータ回転速度の目標値を決定する。そして、モータ回転速度を目標値に一致させるため回転センサ(ホールセンサ)信号によるフィードバック系ループ制御を行うことで油圧ポンプに適切な回転を伝達し、最適な操舵フィーリングが実現できた。以下にその内容について述べる。

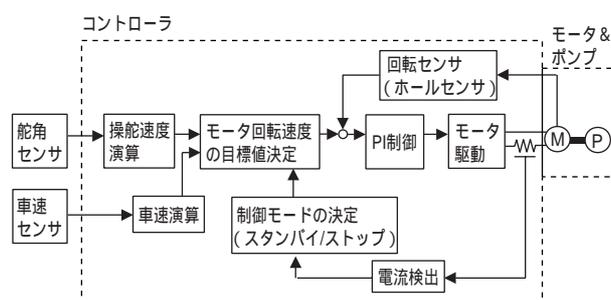


図6 H-EPSシステム制御ブロック図
Block diagram of H-EPS system control

制御仕様については、前述のスタンバイ制御の応答性、省エネルギー性をさらに改善するため、モータには起動特性の優れた低慣性のブラシレスモータを使い、外部センサに舵角センサを使用したストップ&ゴー制御の開発を行った。

システム制御の基本はスタンバイ制御と同様で、直進走行時や停車時などのハンドル非操舵時にはモータを停止させる。そして、ハンドル操舵時はモータを停止状態からすばやく目標回転速度まで立ち上げる必要がある。このため、舵角センサより出力される信号を使い演算した操舵速度から最適なアシスト力を発生するモータ回転速度を瞬時に決定し、目標回転速度まで立ち上げている。

また、非操舵時に流量を低減したことによるパワーステアリングフルードの温度上昇が少なくオイルクーラが不要となる。

ストップ&ゴー制御では、以下の制御を採用している。

操舵速度制御：操舵速度に対応してモータ回転速度を変化させることで油圧を発生させるバルブへの供給流量が一定となるように補正を行う。図7に操舵速度に対するモータ回転速度制御チャートを示す。

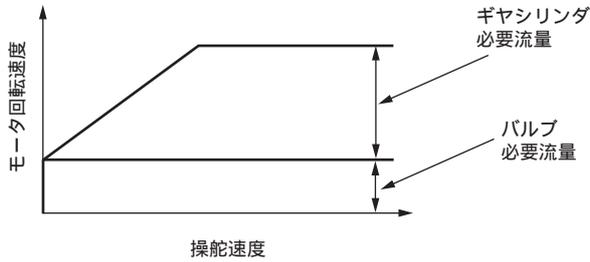


図7 ハンドル操舵速度に対するモータ回転速度制御

Motor rotation speed control with steering speed

モータ起動制御：操舵速度に応じてモータ起動電圧を変化させ、極低速操舵時には、緩やかにモータを起動，高速操舵時には即座にモータを起動させる．図8に操舵速度に対するモータ起動電圧制御チャートを示す．

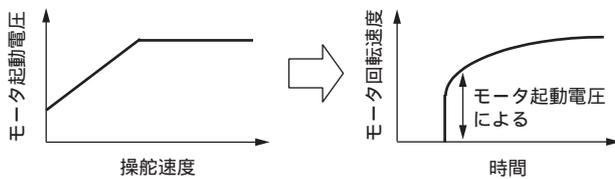


図8 操舵速度に対するモータ起動電圧制御

Motor-starting voltage control with steering speed

車速制御：図9に車速に対するモータ回転速度制御チャートを示す．

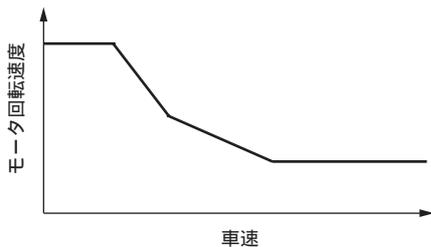


図9 車速に対するモータ回転速度制御

Motor rotation speed control with vehicle speed

PSシステムでは、モータ回転速度を制御することにより、低速走行時には操舵力を軽くし、高速走行時には操舵安定性を持たせるために操舵力を重くすることでより良い操舵感を達成している．

4. H-EPSの評価結果

4.1 電動ポンプ基本性能

電動ポンプの圧力と流量，モータ回転速度，電流の特性関係は図10に示す．

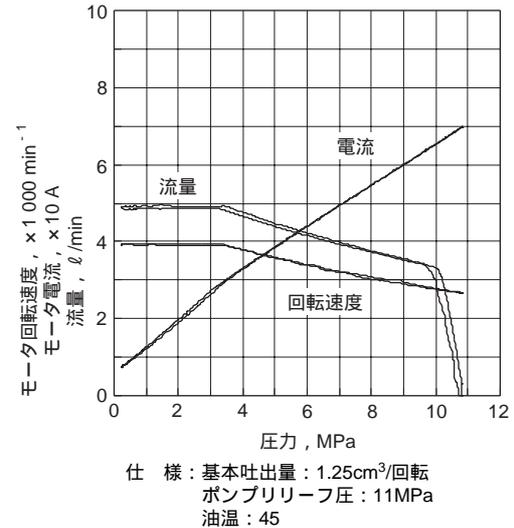


図10 圧力と流量，モータ回転速度，電流特性

Characteristics of flow rate/motor rotation speed/motor current vs pressure

図11代表例として車速20km/h時の操舵速度とモータ回転速度，電流，流量の特性関係を示す．

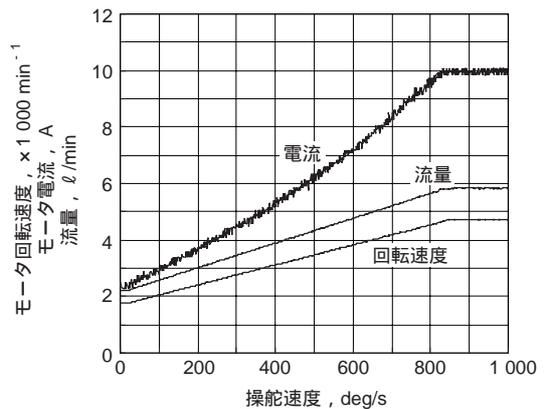


図11 操舵速度とモータ回転速度，電流，流量特性

Characteristics of motor rotation speed/motor current/flow rate vs steering speed

非操舵時の車速と流量，モータ電流特性の関係を図12に示す。

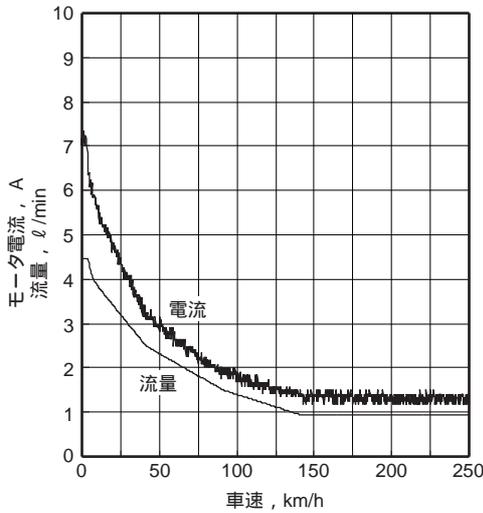


図12 車速と流量，モータ電流特性

Characteristics of flow rate/motor current vs vehicle speed

4.2 電動ポンプの低温始動特性

従来のエンジン駆動式油圧ポンプに比べ低温時の吐出性能が劣ることが懸念されたが，低速回転でも吐出可能なギヤポンプの採用，および温度センサを使用し低温時にモータをフル駆動させる制御を織り込んでいる。

図13に -40 時の時間軸に対する流量，電流特性を示す。

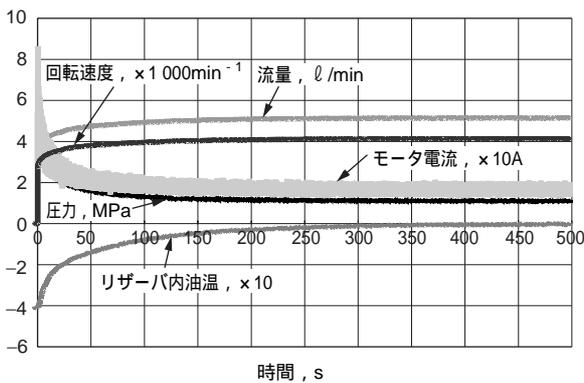
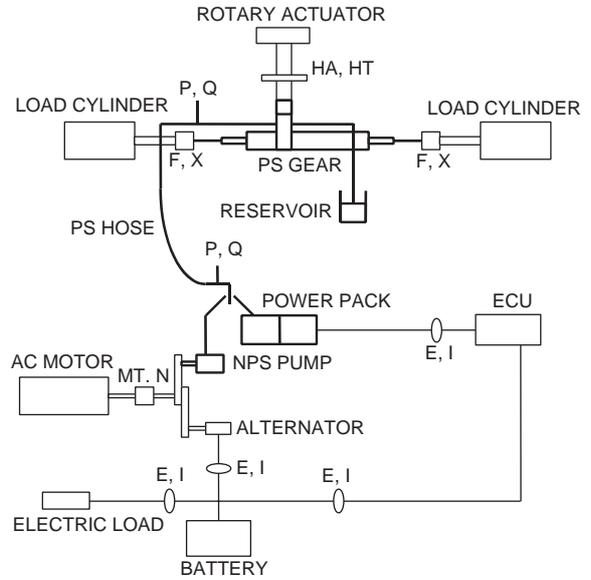


図13 低温始動特性

Starting characteristics at low temperature

4.3 ベンチでの燃費評価結果

図14に示すような燃費測定用の実車相当のシミュレーションシステムをベンチに組み，電動ポンプとエンジン駆動式ポンプそれぞれのシステムでの消費エネルギーを測定した結果を図15に示す。第3世代型電動ポンプシステムの消費エネルギーは，第2世代型の半分であり，エンジン駆動式ポンプの5分の1以下であり，大きな省エネルギー効果が認められる。



備考

HA : 操舵角度	F : ラック軸力
HT : 操舵トルク	X : ラック移動量
P : 圧力	MT : モータ駆動トルク
Q : 流量	N : モータ回転速度

図14 パワーステアリング燃焼ベンチ測定装置

Device for on-bench measurement of fuel consumption of power steering

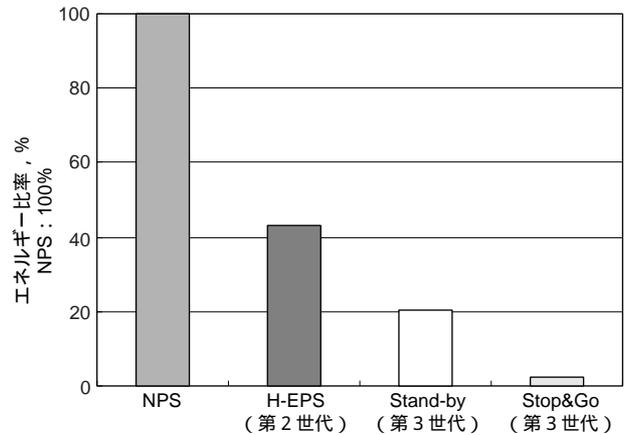


図15 NPSに対するH-EPS各制御モードでの省エネルギー性能

Energy saving by each H-EPS control mode compared to NPS

4.4 実車応答性評価結果

前輪荷重を合わせた実車に電動ポンプユニットとエンジン駆動式ポンプをそれぞれ搭載し，その応答性(据切り操舵)を測定した結果を図16に示す。電動ポンプはスタンバイ制御によって最低限の応答性を確保できるようにポンプの回転速度を設定し，余分な吐出流量を削減しているのので，エンジン駆動式ポンプよりも応答性が低い結果となっている。しかし，パラメータの設定値次第では，

電動ポンプもエンジン駆動式ポンプと同等の応答性を有することができる。すなわち、省エネルギー効果と応答性との両者を満たす条件を設定できる利点がある。

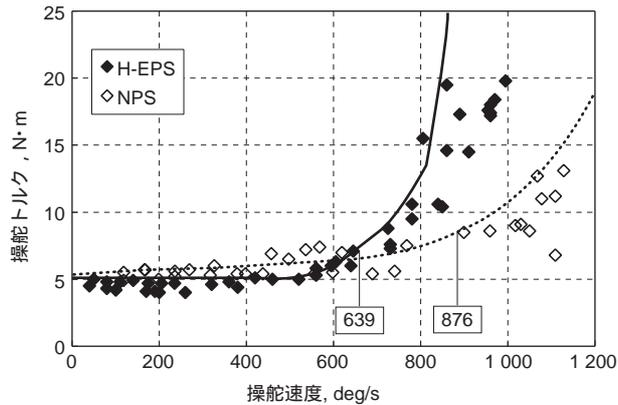


図16 実車応答性
Responsiveness on vehicle

4.5 H-EPSの信頼性試験

電動ポンプの信頼性については、あらゆる実車条件の操舵条件や環境で試験を実施し、エンジン駆動式ポンプと同等の信頼性を有することは確認済みである。

- ・ H-EPSシステム
 - 低温性能試験
 - 正入力耐久試験
 - 昇温特性試験 他
- ・ 電動ポンプ
 - 低温据切り試験
 - 高温据切り試験
 - 低速走行試験(操舵あり)
 - 高速直進走行試験
 - 高温作動耐久試験
 - ヒートショック試験
 - 過渡電圧試験 他

5. おわりに

今回開発した電動ポンプ式油圧パワーステアリングシステムは地球環境保全対策商品として位置付けられ、従来のノーマルパワーステアリングに対して燃費が大幅に改善され、小型乗用車を対象として量産中である。

さらに小型トラックや普通乗用車等中型クラス車への本システムの搭載要求もあり、これに対応するにはモータ出力を上げる必要がある。この場合バッテリー電圧12ボルトを電源としたシステムでは消費電流が大きくなり、コネクタ、ハーネス、バッテリー、オルタネータの負担が大きくなること

になる。そのため従来の12ボルトシステムから世界標準になると考えられる42ボルトに対応した高電圧化システムの開発が急務となっており、当社も高電圧化対応の省エネルギー型パワーステアリングシステムの開発に注力していきたい。

参考文献

- 1) 浜崎善明, 小幡佳史, 藤田和彦: KOYO Engineering Journal, no. 148 (1995) 20.
- 2) 井尻和一郎: 油空圧, no. 9 (1995).
- 3) 松田昭信: KOYO Engineering Journal, no. 153 (1998) 27.
- 4) 藤田和彦: KOYO Engineering Journal, no. 159 (2001) 89.

筆者



小幡佳史*
Y. OBATA



寺前宜則**
Y. TERAMAE



山本和弘***
K. YAMAMOTO

- * 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
- ** ステアリング事業本部ステアリング技術センター
ステアリング実験部