

ドライブトレイン用電動ポンプの開発

Development of Electric Oil Pump for Automotive Drivetrain

浅井康夫 Y. ASAI 阪田隆敏 T. SAKATA 行竹康博 Y. YUKITAKE
奥村繁一 S. OKUMURA 伊東大吾 D. ITOU

JTEKT has developed an electric oil pump for drivetrains. This is an internal gear type pump with brushless DC motor and no sensor. Size and cost reduction has been achieved by unitizing the pump, DC motor and controller.

Key Words: electric oil pump, drivetrain, DC motor, brushless motor, sensorless, idling stop

1. はじめに

地球環境問題への対応のため自動車メーカーは燃費の向上やCO₂削減に向けてさまざまな取組みを行っている。

その技術・手段としては、燃料電池車、ハイブリッド車をはじめリーンバーンエンジン、ミラーサイクル、無段変速機（以下CVTと称す）の採用などが挙げられるが、アイドリングストップ技術も比較的簡便で燃費向上効果の大きい技術の一つとして注目されている¹⁾。

しかしながら、オートマチックトランスミッション（以下ATと称す）車やCVT車ではクラッチ係合するための油圧をエンジン駆動によるポンプで発生させているため、アイドリングストップ時には油圧の低下が必至となり、エンジン起動直後の発進時には油圧の応答遅れが変速ショックとなって現れる。この現象を避けるためアイドリングストップ時の最低限の油圧を維持させるための電動ポンプが必要となる。

また、従来のATやCVTを搭載したハイブリッド車で、モータ走行する場合もエンジンが停止しているため油圧駆動源として、電動ポンプが必要となる。

当社では、電動ポンプ式油圧パワーステアリングの電動ポンプ技術を応用して、ドライブトレイン用電動ポンプを開発してきた^{2), 3)}。

本報では、特にアイドリングストップ用への適用を考えてモータとポンプの最適形式を考慮した電動ポンプについて紹介する。

2. 製品コンセプト

2.1 コンパクト化

ドライブトレイン用の電動ポンプは、アイドリングストップ用の他に、2輪駆動と4輪駆動の切換えクラッチ用、自動マニュアルトランスミッション用、自動クラッチ用などに一部で実用化されている。これらの電動ポンプは、モータ部とポンプ部が別部品となっており、両者はジョイントを介して一体化されている構造が多い。また、車載用のモータは通常、ブラシモータを使用している。

普及台数の多い小型FF車でアイドリングストップシステムを念頭に置くと、エンジンルーム内に配置されることになる電動ポンプに与えられるスペースは狭いため、電動ポンプにはより一層のコンパクト設計が要求される。本開発では、その体格目標（体積）として従来比1/2を目標として取り組んだ。従来の電動ポンプと開発目標の関係を図1に示す。

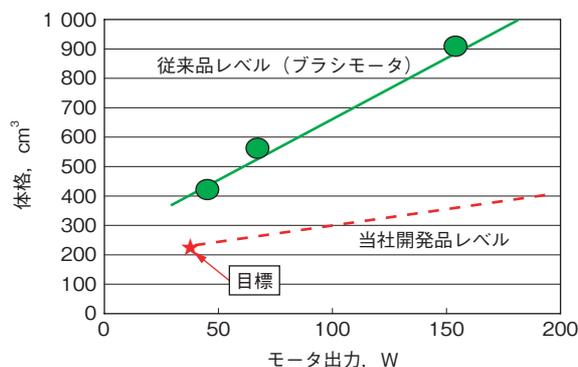


図1 開発目標
Development target

2.2 低コスト化

アイドリングストップは、わが国のような渋滞の多い交通事情のもとでは、大きい燃費向上効果を得ることができるが、その燃費向上効果に対応したコストが必要とされる。

アイドリングストップのシステムは、電動ポンプの他にリチウムイオンバッテリー、アイドリングストップシステムコントローラなどで構成されるが⁴⁾、電動ポンプがシステム全体のコストに占める割合は大きい。したがって、電動ポンプのコスト目標はシステムから許されるコストを念頭において開発を進め、コスト目標レベルとして従来比 0.8 を目安とした。

3. 開発品の概要

3.1 ポンプ

自動車のドライブトレインに使用されている油圧ポンプは、外接ギヤ式、内接ギヤ式、ベーン式などがある。それぞれの特徴を表1にまとめる。

表1 各ポンプの特徴
Characteristics of each pump

	外接ギヤ	内接ギヤ	ベーン
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・構造が簡単、安価 ・高圧向 (サイドプレート) ・コンタミに強い ・衝撃圧に強い ・騒音大 (かみあい音) ・脈動大 	<ul style="list-style-type: none"> ・構造簡単、安価 ・小型軽量 ・騒音が低い (閉込現象小) ・漏れが大きい ・内接ギヤは脈動小 	<ul style="list-style-type: none"> ・効率が良い ・容積パフォーマンスが高い ・複数流路可能 ・可変容量可能 ・高圧対応可能 ・部品点数が多い、コスト高 ・コンタミの影響を受けやすい

アイドリングストップ用のポンプにおいては、油圧が 0.5MPa という低圧仕様であり、エンジン停止条件下での使用を考慮して低騒音、コンパクト、低コストを重視して選択する必要がある。ベーンポンプは部品点数が多く、コストが高い。

図2に圧力、粘度、回転速度を一般化したパラメータと効率の関係で、安価なタイプとして考えられる外接ギヤポンプと内接ギヤポンプとの比較を示す。図におけるそれぞれの効率特性よりアイドリングストップの領域では内接ギヤポンプの方が高効率となる。また、図3に内

接ギヤポンプと外接ギヤポンプの騒音の周波数分析結果を示す。外接ギヤポンプはギヤのかみあい回数に対応したピークが顕著で、騒音も聴感で大きく感じられるのに対し、内接ギヤポンプは振動ピークが小さく、騒音に対して有利である。

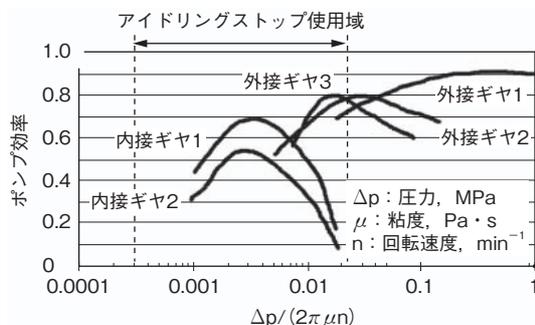


図2 内接ギヤポンプと外接ギヤポンプの効率比較
Efficiency comparison between internal gear pump and circumscription pump

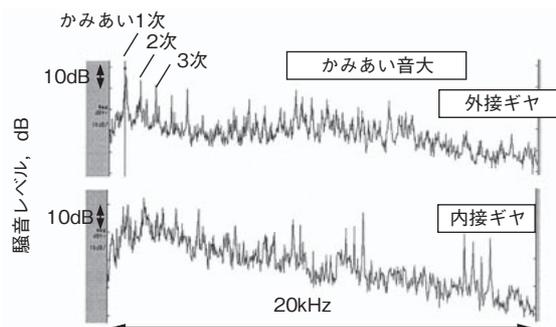


図3 周波数分析結果
(0.5MPa, 3 500min⁻¹, 油温80°C)
Noise level comparison between internal gear pump and circumscription pump

低圧における効率、騒音、コンパクト、コストなどの観点から、本電動ポンプの油圧ポンプは内接ギヤポンプとした。また、一層の効率向上のために、シャドーポート、圧力バランス、すきま、ハウジング剛性なども考慮した。

3.2 モータ

近年の自動車は電動化が進み、多数のモータが使用されている中、大半がブラシモータである。ブラシモータは安価なためコスト面で有利であるが、ブラシ部からの騒音、機械的ロス、ブラシ摩耗による使用限界、使用最高温度の限界などの技術的課題もある。

ドライブトレイン用の電動ポンプは、ATまたはCVTに付加されるので、高温と振動に耐えることがまず要求される。さらにアイドリングストップ用では、工

ンジン停止時に作動するので、バッテリーへの負荷軽減のために高効率であることが望まれる。そこで本製品に適用するモータとしては、信頼性と効率を考慮してブラシレスモータとした。

ブラシレスモータは、レゾルバ、ホールICなどの回転位置センサと併せて使用されるが、コンパクト、耐熱性、低コストを考慮して、センサレスモータとした。ブラシレスモータのセンサレス駆動は家電用で実用化されているが、車載用での実績は少ない技術である。

3.3 コントローラ

コントローラは、バッテリーより12Vの電源供給を受ける。モータ駆動部には、3相インバータ回路を採用し、逆起電圧を検出するセンサレス駆動方式とした。

FET (Field Effect Transistor) はNチャンネルとPチャンネルの二種類がある。NチャンネルFETはPチャンネルFETに比べてオン抵抗が低く、広く使用されているが、昇圧回路が必要である。本開発では、ハイサイド側に低オン抵抗のPチャンネルを使用してゲートドライブ回路を簡略化し、基板をコンパクト化した。

上位ECU (Electronic Control Unit) よりPWM (Pulse Width Modulation) で駆動指示を受け、モータ回転数の可変駆動を可能とした。電動ポンプ故障時にアイドルストップモードへの移行を禁止するフェールセーフ機能を持たせるために汎用CPU (Central Processing Unit) を使用してソフトウェアで制御する。

ソフトウェアは、後から機能の追加が容易になるように、簡易的なOS (Operating System) を用いたタスク構造を基本として構築した。

3.4 インテグレート化

上記、ポンプ部、モータ部、コントローラ部を一体化構造として、コンパクト化と部品点数の削減を図った。基本構造を図4に示す。

ポンプ軸とモータ軸を兼用して、ジョイントを廃止したことでモータのエンドプレートとポンプハウジングを兼用することができる。

通常、モータケースには、鉄の深絞り品が使用されているが、モータとコントローラを一体化するために、ケースは任意形状の出し易いアルミダイカストとした。これは放熱においても有利である。

モータとコントローラ一体化の課題は電気的接続と機械的接続の処理、およびFETの放熱対策である。

電気的接続方法は、はんだ、ヒューズング、抵抗溶接などがあるが、狭いスペース内では電極ヘッドが入らないため、これらの手法は困難となる。そこで、モータ側からバスバーをコントローラ室へ貫通させて、基板上でU、V、W相をねじ固定する構造として電気的接続と機械的接続を兼用し、長手方向のコンパクト化を図った(図5)。

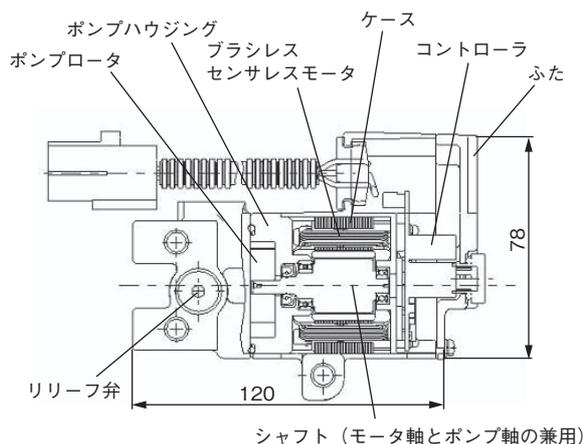


図4 基本構造
Structure

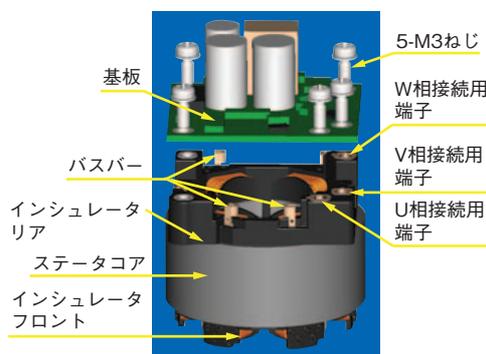


図5 モータとコントローラの接続
Connection of motor with controller

また、FETの放熱対策はアルミ製のふたとFETの間に放熱シートをはさんで、FETの熱がふたより放散しやすい構造とした。また、ふたにはフィンを設けた。

上記対応技術と一体化によって、当初目標の体格1/2(約240cm³)に対して、約200cm³となり目標を達成した。また、コストも当初目標を満足した。

4. 開発品の基本性能

4.1 効率

AT, CVTなどで使用頻度の高い80℃での効率を図6に示す。効率のピークをアイドリングストップ用として使用頻度の高い圧力0.2～0.4MPaにチューニングしている。同じ目的のブラシモータを使用した電動ポンプとの比較も併せて示す。

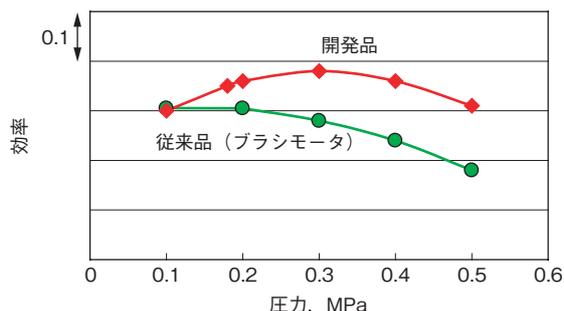


図6 開発品の性能

Performance of developed electric oil pump

4.2 信頼性

本電動ポンプはドライブトレーン用に使用されることから、さまざまな負荷が製品にかかる。代表的な耐久試験・信頼性試験項目を以下に示す。

- (1)作動耐久
- (2)作動-停止耐久
- (3)振動耐久
- (4)泥水耐久
- (5)塩水噴霧試験
- (6)サーマルショック試験
- (7)EMC (Electromagnetic Compatibility)

その他、電圧変動など電気的外乱またその他機械的外乱による影響も確認しており、本製品は上記項目以外においてもアイドリングストップ用に適合している。

4.3 フェールセーフ機能

本電動ポンプが異常な状態のままアイドリングストップした時、発進時に変速ショックが発生する。これを防止するために電動ポンプの異常時にはアイドリングストップに移行しない措置が必要である。

本電動ポンプでは、過電流検出、電圧降下、信号ラインの短絡または断線、起動不良を検知して上位 ECU に送信するフェールセーフ出力を備えた。

5. おわりに

燃費向上のためアイドリングストップシステムが普及しているが、起動直後の再発進時のショックを避けるために最低限必要な油圧を維持するためのもっともコンパクトで、低コストの電動ポンプが開発できた。

今後、この技術を発展させて、更に高性能、低コストな製品の開発を目指していきたい。

参考文献

- 1) 財団法人省エネルギーセンターのホームページ「Let's TRY アイドリングストップ 2002 日本縦断キャラバン」
<http://www.eccj.or.jp/index.html>
- 2) 阪田隆敏, 横井弥壽雄: Koyo Engineering Journal, no. 159(2001)74.
- 3) 服部 昌, 吉浪弘治: Koyo Engineering Journal, no. 164(2003)53.
- 4) トヨタ自動車株式会社: ヴィッツ新型車解説書(2002).

筆者



浅井康夫*
Y. ASAI



阪田隆敏**
T. SAKATA



行竹康博**
Y. YUKITAKE



奥村繁一***
S. OKUMURA



伊東大吾****
D. ITOU

* 軸受事業本部 東部テクニカルセンター (軸受)
 ** 軸受事業本部 ユニット開発部
 *** 研究開発センター PI 研究部
 **** 光洋電子工業株式会社