

ミニバン用 4WD システムの開発

Development of 4WD System for Minivan

新井 健太郎*
Kentaro ARAI

山岡 崇樹*
Takaki YAMAOKA

要 旨

ミニバンの走破性能や操縦性能と燃費性能を両立させるための、FF 車をベースとしたトルクオンデマンド 4WD システムを開発した。走破性能や操縦性能を確保するために、前後輪差回転速度に対するトルクの応答性に注目した。前輪が滑った時の後輪に伝達するトルクの応答性を上げるために、あらかじめ前後輪をつないでおくプリセットトルクを付加する手法が考えられる。Honda のデュアルポンプシステムを例にとり、雪上での必要駆動力計算値とタイヤの駆動力特性の実測値より最適トルク特性を求めた結果、最大必要トルクの 25% 程度のプリセットトルクを付加すればよいことがわかった。その最適トルク特性とデュアルポンプシステムのトルク特性を、車輛の雪上発進シミュレーションで比較した結果、効果が確認できた。最適トルク特性は、デュアルポンプシステムのリヤファイナルドライブユニットに、ワンウェイ構造のカムとプリセット式のパイロットクラッチを追加するという簡素な機械式の構造で実現した。またリヤファイナルドライブユニットのギヤ比の設定で燃費性能が確保できることがわかった。以上の結果を適用した新開発のミニバン用 4WD は、4WD システム重量 54kg とクラス最軽量を達成し実車の目標性能を満足した。

ABSTRACT

A torque on demand 4WD system has been developed with a front engine front drive vehicle as a base to balance traction performance and handling characteristics with fuel efficiency in a minivan. The response of torque to front-rear wheel rotation speed difference were studied to ensure superior traction performance and handling characteristics. The use of an initial torque between the front and rear wheels was considered as a method of improving the response of torque transmitted to the rear wheels when the front wheels slip. Using the Honda dual pump system as a reference, the results of calculations of the required traction force on snow and actual measurement values for tire traction characteristics were employed to find the optimal torque characteristic. As a result, 25% of maximum necessary torque was established as the ideal initial torque. A comparison of the optimal torque characteristic with the torque characteristic of the dual pump system in a simulation of vehicle starting on snow confirmed the effectiveness of the initial torque. It was possible to achieve the optimal torque characteristic with a simple mechanical structure. A one-way cam and a preset pilot clutch were added to the rear final drive unit of the dual pump system. Good fuel efficiency was ensured through setting an appropriate gear ratio for the rear final drive unit. As a result, the newly developed minivan 4WD system meets vehicle performance requirements while weighing only 54kg, making it the lightest in its class.

1. まえがき

近年、国内では、日常やレジャでの使い勝手の良さから、乗車定員の多いミニバンが人気を集めている。ミニバンのベース車輛には、乗り心地や室内の広さから、FF 乗用車を用いることが多い。また 4WD システムには、軽量かつコンパクトで燃費性能にすぐれたシステムが求められ、その上、乗車人数の変化に対応した駆動力特性が必要とされる。本稿では、こうしたニーズに対応したミニバン用 4WD システムの開発について記述する。

2. 開発のねらい

ミニバンは一般乗用車に対し乗車人数の変化が大きく、また重心高が高い車輛であるため、走行状況により前輪の接地荷重変化が大きい⁽¹⁾。そのため滑りやすい路面において、前輪が空転しやすく、発進時の駆動力や旋回加速時の操縦性を確保するのが困難である。駆動力を確保するためには、後輪に伝達するトルクの応答性向上が考えられる。電子制御を使えば応答性の確保は容易であるが、センサーや ECU 等を持つことにより、システムが複雑になるというデ

*栃木研究所

メリットがある。またフルタイム 4WD なら常に後輪にトルク伝達しているため応答性に問題ないが、センタデフアレナシ機構を持つことや、常時前後輪にトルク伝達しているに伴い耐久性を確保するためなどにより、システム全体の小型化ならびに軽量化が困難であり燃費性能が悪化するというデメリットがある。そこで本開発では、ミニバンに適用する軽量かつコンパクトでシンプルな 4WD システムとして、前後輪差回転速度に応じて後輪にトルクを伝達するパッシブ型トルクオンデマンド 4WD システム(以下パッシブ型 4WD システム)を前提に、シミュレーションにて最適トルク特性を求め下記項目を両立することをねらいとした。

- (1) 雪上において、電子制御 4WD 同等の走破性能、操縦性能を確保する。
- (2) 乗用車用 4WD 同等の燃費性能を確保する。

3. 最適 4WD トルク特性の検討

今回ベースとなるパッシブ型 4WD システムとして、Hondaのデュアルポンプシステム⁽²⁾(以下DPS)を用いて説明する。パッシブ型 4WD システムにおいて、後輪に伝達するトルクの応答性を上げる手段として、あらかじめ前後輪をつないでおくプリセットトルクが考えられる。必要なプリセットトルクの値を求めるため、2400ccクラスのミニバンの雪上登坂発進を例にとり、Fig. 1に示すモデルで必要駆動力の検討をおこなった。

Fig. 2 に示すように、雪上での必要駆動力計算と、フロントタイヤの駆動力特性の実測値から、リヤタイヤの必要駆動力領域が求まる。これを DPS の前後輪差回転速度—トルク特性(以下トルク特性)上に換算し、重ね合わせたグラフを Fig. 3 に示す。DPS のトルク特性で不足した領域を、DPS の最大必要伝達トルクの 25% 程度のプリセットトルクを付加することでカバーできることがわかった。そしてそのプリセットトルクがタイトコーナブレーキング現象の起こる引きずりトルク領域や、軽量化のために不必要なトル

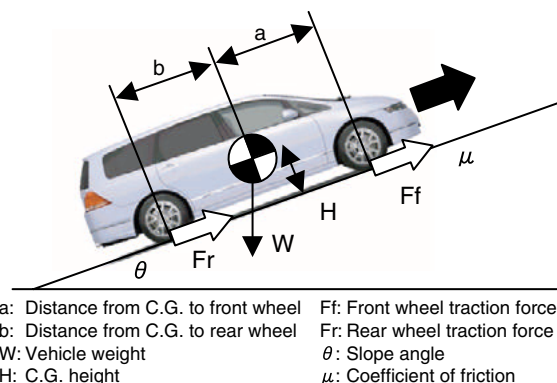


Fig. 1 Study model

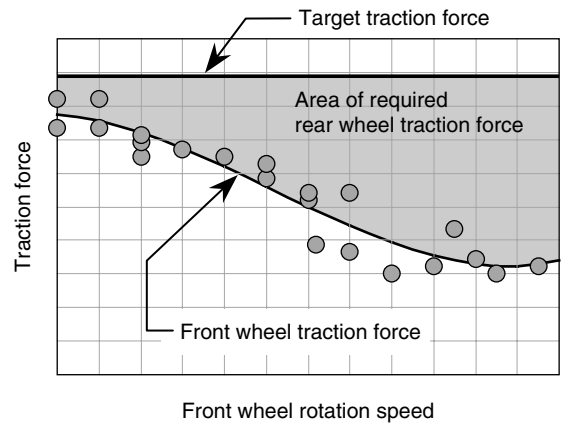


Fig. 2 Tire traction force characteristic on snow

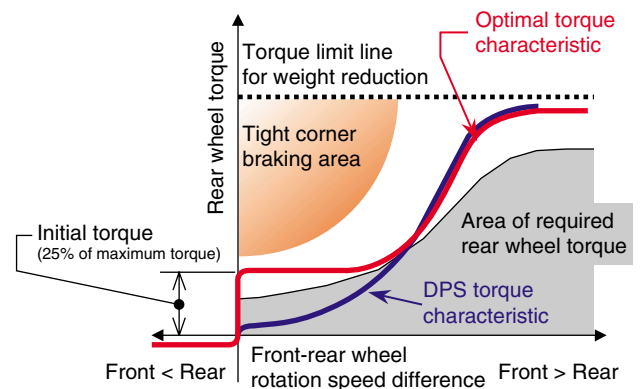


Fig. 3 Torque characteristic

クをカットしたトルクリミット機能⁽³⁾に干渉しない領域で設定できた。以上より最適トルク特性が求められた。

次に、DPSのトルク特性と最適トルク特性の雪上発進性能に及ぼす影響を、Fig. 4に示すようなカップリングで前後輪をつなぐ 4WD 車輻モデルと、Fig. 5 に示すカップリングの特性でトルク特性を決める 4WD システムモデルにて、シミュレーションをおこない確認した。結果はFig. 6, Fig. 7 に示すように、DPS のトルク特性では、後輪トルクの遅れにより、発進加速度に落ち込みができるのに対し、最適トルク特性では後輪トルクの立上りが早く、発進加速度が滑らかにつながっているのがわかる。

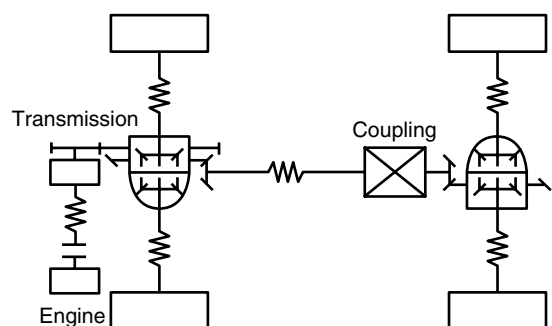


Fig. 4 Vehicle model

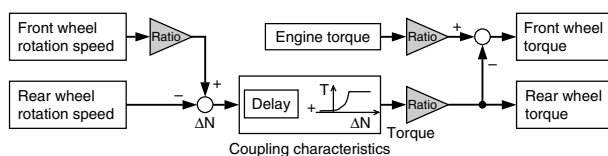


Fig. 5 4WD system model

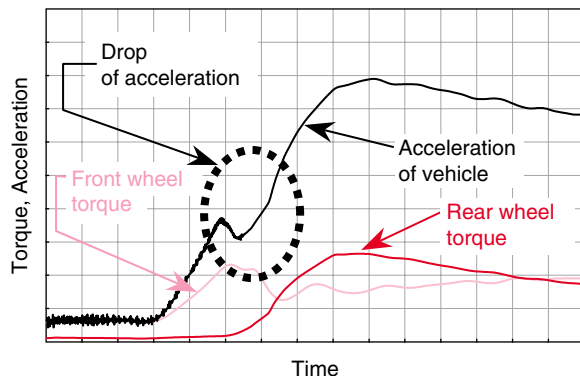


Fig. 6 Simulation data for DPS torque characteristic when starting on snow

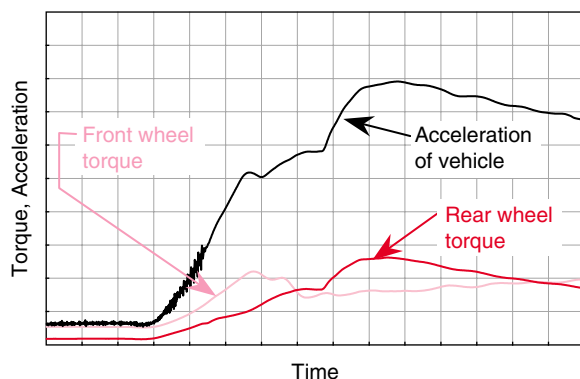


Fig. 7 Simulation data for optimal torque characteristic when starting on snow

4. 4WD システム

本開発の、システム構成図を Fig. 8 に示す。

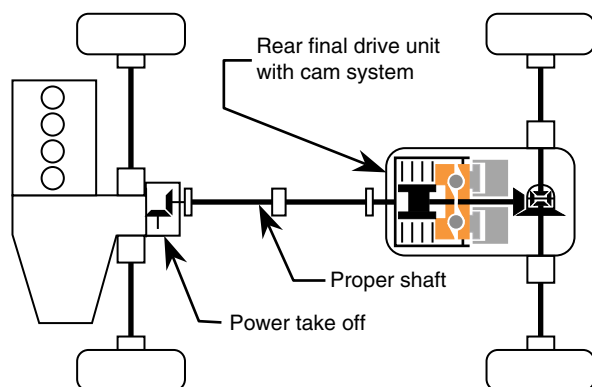


Fig. 8 4WD system

4.1. リヤファイナルドライブユニット

パッシブ型 4WD システムのリヤファイナルドライブユニットにはDPSタイプの他に、ビスカスカップリングや直接油圧でトルク伝達するカップリングがある⁽⁴⁾。ビスカスカップリングは制御自由度のなさ、油圧トルク伝達方式はトルク容量を確保するためには大型化するというそれぞれ課題がある。そこで今回の開発は、前後輪差回転速度感応型の油圧機構で多板クラッチを押し付けトルクを伝達するDPSにプリセットトルクを付加する方式を採用し、簡素な機械式の構造で最適トルク特性を実現した。プリセットトルクを付加する機構は、Fig. 9に示すように、一定トルクを発生するパイロットクラッチと、加速時のみクラッチを押し付けるワンウェイ構造のカムからなる。Fig. 10に示すように、このワンウェイ構造のカムは、加速時は前後輪に締結されているカムのわずかな角度差で反応し、ボールがカム面を転がり、瞬時にクラッチを押し付けプリセットトルクを発生する。またブレーキ時はカムに角度差がつこうとしても、ボールが直立の壁に当り押し付け力を発生させずにABS適合性を確保している。本開発のリヤファイナルドライブユニットとDPSの単体特性の実測値をFig. 11に示す。

リヤファイナルドライブユニットの大きさは、DPSのリヤファイナルドライブユニットに対し、追加部品をスペース効率よく配置し、BRGサイズの最適化やポンプ部分及び油圧制御部分の全長短縮により、同等にできた。

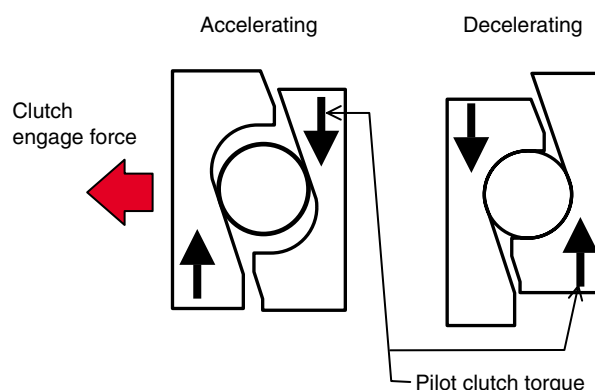


Fig. 9 Working of cam

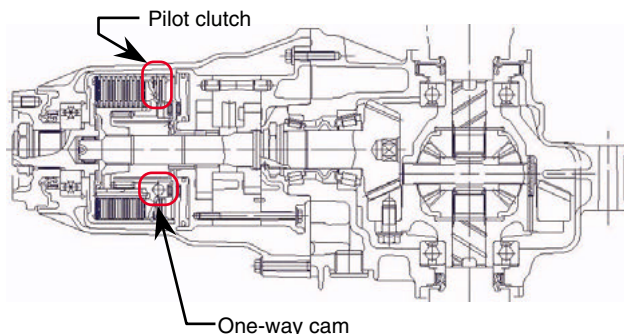


Fig. 10 Sectional view of rear final drive unit

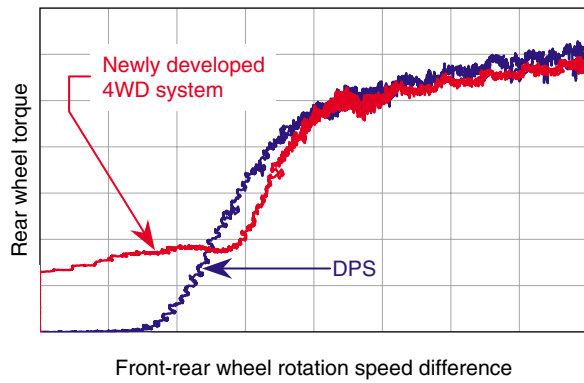


Fig. 11 Torque characteristic

4.2. 燃費対応

DPSは、通常走行時後輪へのトルク配分を低減して軽量化や低燃費化をおこなっていて、通常走行時の前後輪回転速度の比率が1%程度違いがあっても、引きずりトルクの大きさは変化しない。後輪伝達トルクの応答性を向上した場合、Fig. 12 の Modified 1 に示すように、前後輪回転速度の比率がわずかに違っても後輪へのトルク配分が増加することにより、フリクショントルクが増し、燃費悪化する問題がある。これを解決するために、前輪からプロペラシャフトまでのギヤレシオとリヤファイナルドライブユニットのギヤレシオの比率を見直した。通常走行時は、カム機構への前輪側からの入力回転速度が、後輪側に対し0.5%程度低くなるようレシオ設定し、カムがクラッチの押し付け力を発生しないよう Fig. 12 の Modified 2 に示す特性にした。これにより後輪のフリクショントルクの絶対値を、DPSと同等に低減することができた。このギヤレシオの設定は、雪上での4WDの必要な前輪のスリップ率ではカム機構が作動する側に入れ替る設定としているため、応答性には影響がない。

4.3. システム重量

今回開発した4WDシステムを2004年モデルのオデッセイに適用した場合の重量と、他機種の4WDシステム重

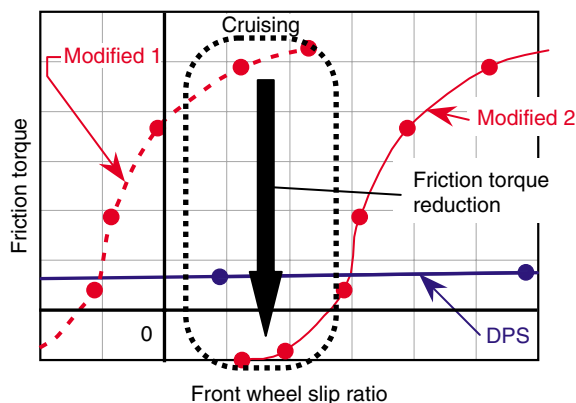


Fig. 12 Friction torque when cruising

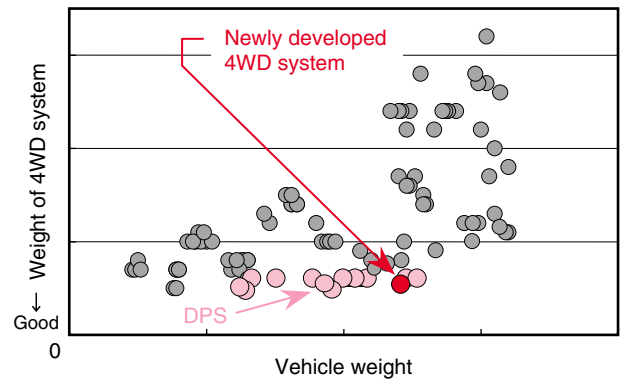


Fig. 13 Weight of 4WD system

量との比較を Fig. 13 に示す。DPS の特徴である軽量を維持し、4WD システム重量は54kg と、クラス最軽量レベルを達成することができた。

5. 実車性能

5.1. 雪上走破性

Fig. 14 の雪上での発進の加速度データと、Fig. 15 の登坂可能勾配データが示すように、本システムはDPSに対し、走破性が向上しているのはもちろんのこと、電子制御4WDと同等の走破性能が得られた。

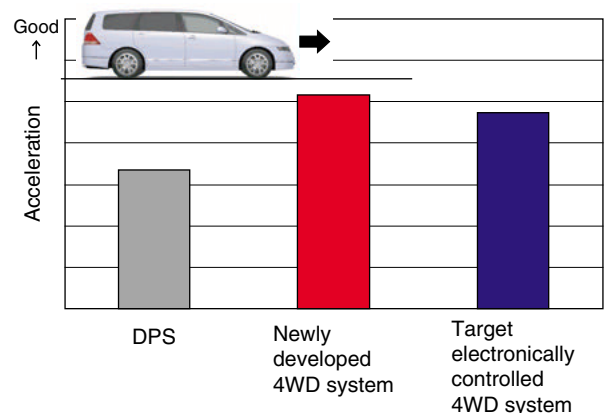


Fig. 14 Starting performance on snow

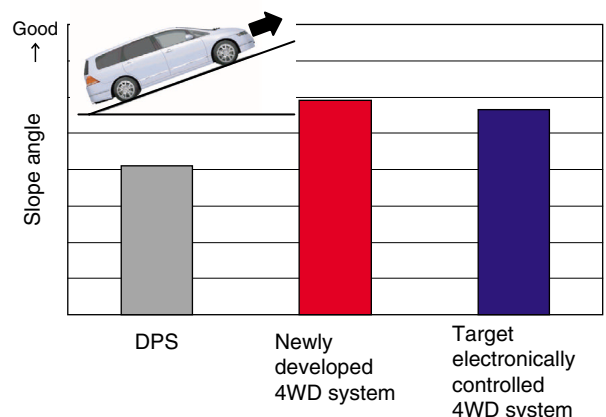


Fig. 15 Slope starting performance on snow

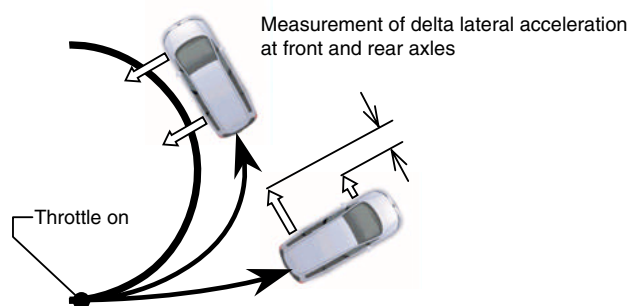


Fig. 16 Cornering test mode

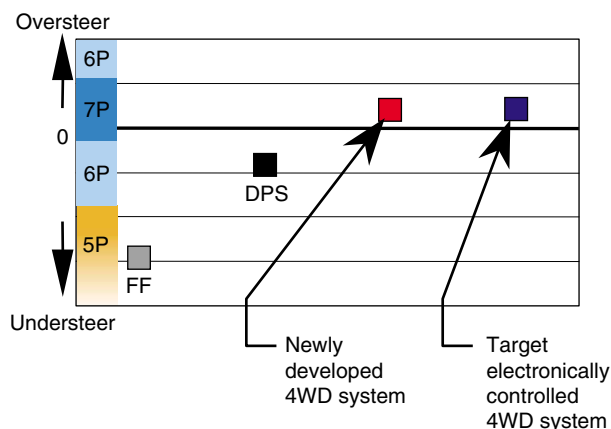


Fig. 17 Cornering performance on snow

5.2. 雪上操縦性

Fig. 16に示すテストモードにて、雪上での旋回性能評価をおこなった結果、Fig. 17に示すように本システムは、電子制御 4WD と同等を確保できた。

5.3. 走行抵抗

燃費に影響するパラメータとして、惰性走行時の走行抵抗がある。Fig. 18 に示すように、本システムは DPS と同等の走行抵抗に抑えられていることがわかる。

カタログ燃費は Fig. 19 に示すように、DPS と同等の燃費性能を達成した。

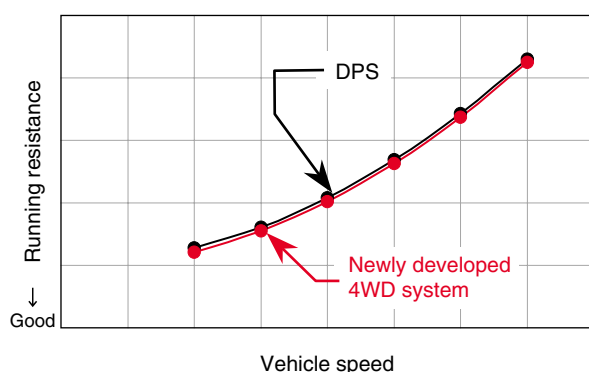


Fig. 18 Running resistance

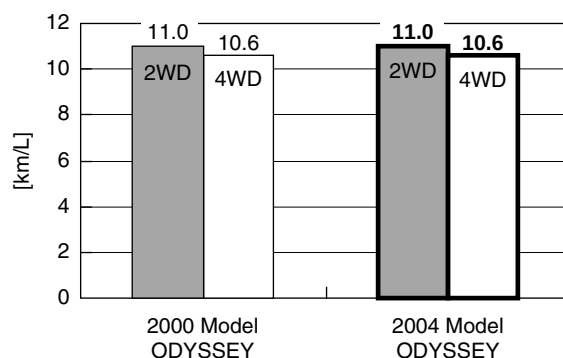


Fig. 19 Fuel efficiency

6. まとめ

ミニバン用 4WD に要求される走破性や操縦性を確保するため、パッシブ型 4WD システムのトルク特性の応答性に注目して、雪上での必要駆動力計算と、タイヤの駆動力特性の実測値より最適トルク特性を求め、実際に開発した結果、次の成果を得た。

- (1) DPS のトルク特性と、最大必要トルクの 25% 程度のプリセットトルクを組み合わせることで、最適トルク特性を達成し、車輪の雪上発進シミュレーションでの効果を示した。
- (2) 最適トルク特性を達成する構造の実施例を紹介し、実際のミニバンに適用して、雪上で電子制御 4WD 同等の走破性能と操縦性能を確保できることを示した。
- (3) 本システムは、通常走行時の引きずりトルクを DPS 同等にすることにより、同等の燃費性能を達成した。
- (4) 走破性能や操縦性能と燃費性能の両立を 4WD システム ウェイト 54kg というクラス最軽量レベルで達成した。

本システムは、2004 年モデルオデッセイに適用され、2003 年 10 月より日本国内で販売され、お客様から好評を頂いている。

7. 参考文献

- (1) 鈴木浩一 他：乗用車用電子制御 4WD システムの開発，自動車技術会，学術講演前刷集，No.75-98，p.1-4 (1998)
- (2) 新井健太郎 他：デュアルポンプシステム(4WD 駆動力配分機構)について，油空圧技術，401，Vol.33，NO.7，p.70-76(1994，7)
- (3) 浜田哲郎 他：前後駆動力配分の最適化による 4WD 軽量化について，自動車技術会論文集，Vol.24，NO.4，p.99-103(October 1993)
- (4) 松野浩二 他：4WD 技術の現状と将来，自動車技術，Vol.57，NO.1，p.70-74(2003)

■ 著 者 ■



新井健太郎



山岡崇樹