

SUV用四輪駆動力自在制御システムの開発

Development of Super Handling-All Wheel Drive System for SUV

今 村 正 広*
Masahiro IMAMURA

小 西 良 和*
Yoshikazu KONISHI

井 上 真 幸*
Masaki INOUE

要 旨

LEGEND で実現した四輪駆動力自在制御システム(以下 SH-AWD)を技術的ベースとして、SUV車両に適したリヤデファレンシャルユニットを開発した。このリヤデファレンシャルユニットは従来の SH-AWD に対し、高トルク容量化と小型軽量化を達成している。

これは適応車両特性に合わせて、リヤデファレンシャルユニットに対する要求性能を再設定することで、相反する高トルク化と軽量化を高い次元でバランスさせた結果である。達成手法として、最適レシオ(増速比)の設定と、高 μ と低摩耗を両立するクラッチ、および新クラッチを最適にコントロールするアクチュエータ(ソレノイド)があげられる。

ABSTRACT

A rear differential unit suitable for SUV vehicles was developed based on the super handling – all wheel drive (SH-AWD) unit that was mass-produced for the LEGEND. This newly developed rear differential unit has a higher torque capacity and is smaller and lighter than the previous SH-AWD. Redefining the demanded performance of the rear differential unit, according to the characteristics of the vehicle in which it is to be used, resulted in a balance of increased maximum torque and weight reduction. To achieve the development goals, selection of the optimal ratio (speed-increasing ratio), a clutch capable of high μ with low abrasion, and an actuator that optimally control the new clutch were mentioned.

1. はじめに

2004 年モデルの LEGEND で量産されている SH-AWD システムは、四輪の駆動力を自在に制御することにより、ドライバの負担を軽減しながら旋回性能を高めることを実現した。

その後、2006 年に発売された RDX, MDX にも SH-AWD システムが搭載されているが、これには新規開発したリヤデファレンシャルユニットが採用されている。

この新規開発リヤデファレンシャルユニットでは、SH-AWD の特徴であるダイレクト電磁クラッチによるトルクコントロール構造を踏襲するとともに、適用車両特性を加味して 4WD システムに求められる要求性能を設定し、各要素を最適設定することにより、高出力化、軽量小型化を実現した。

ここでは、新規開発リヤデファレンシャルユニットの概要と主要技術を中心に紹介する。

*四輪開発センター

2. 開発のねらい

新規リヤデファレンシャルユニットの開発において、開発目標を以下のように定めた。

「四輪駆動力自在制御を踏襲し、旋回性能 1 ランク向上(従来車両比)」

「高出力化と小型軽量化の両立」

上記を実現するための技術要素として、以下の項目に着目して開発をおこなった。

- (1) 車両特性にマッチしたレシオ(増速比)設定
- (2) 高 μ 、低摩耗を両立する新クラッチ
- (3) 新クラッチに合わせたアクチュエータの設定

3. 基本構造と諸元

外観図と主断面図をそれぞれ Fig. 1, Fig. 2 に示す。全体構造は、Fig. 3 に示す初代 MDX, PILOT, RIDGELINE

に搭載された VTM-4(Variable Torque Management® 4-Wheel Drive System)に酷似しているが、ハイポイドギヤとプラネタリギヤによる2段減速構成はSH-AWDを踏襲している。

中央部分(以下センタセクションと呼ぶ)には専用レシオが設定されたハイポイドギヤと潤滑用ポンプが配置されて

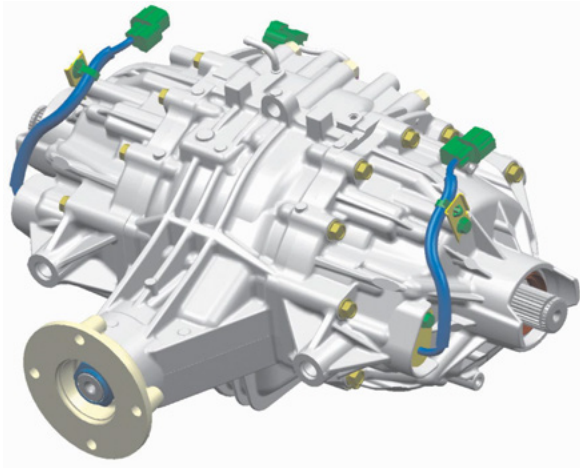


Fig. 1 View of newly developed rear differential unit

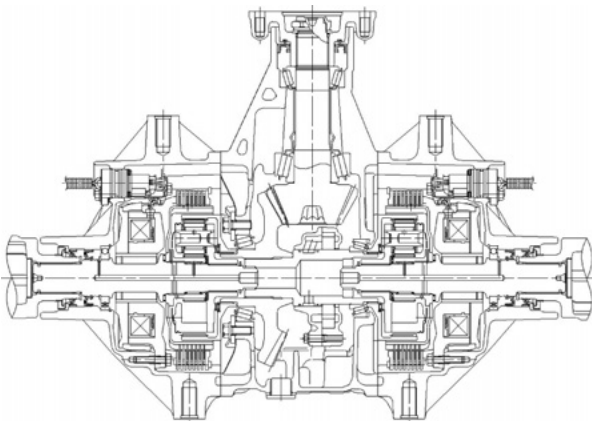


Fig. 2 Cross-section view of newly developed rear differential unit for RDX and MDX

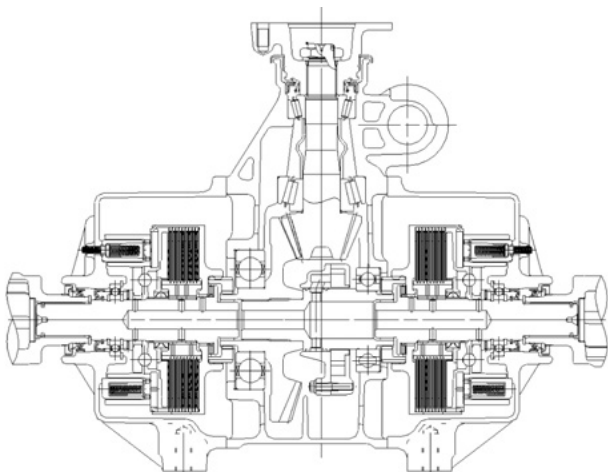


Fig. 3 Cross-section view of previous rear differential unit VTM-4

いる。ケース構成はVTM-4と同様の前後2分割構造で、製造方法も同じハイプレッシャーダイキャストで生産される。

VTM-4に対するセンタセクションの変化点はハイポイドリングギヤの支持をボールベアリングからテーパローラベアリングに変更した点があげられる。目的はギヤ支持剛性の向上とベアリング小型化による軽量化である。

Fig. 4 および Fig. 6 は開発リヤデファレンシャルユニットを、Fig. 5 は VTM-4 構造を示す。

開発リヤデファレンシャルユニットにはベアリングセットプレートとそれをケースに対して締結する M8 フランジボルトを追加している。

テーパローラベアリングを正常に機能させるためには、プレロードと呼ばれるアキシャル荷重が必要である。しか

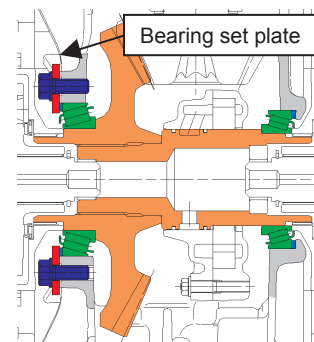


Fig. 4 Developed structure

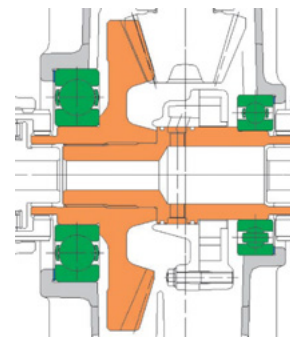


Fig. 5 Previous structure

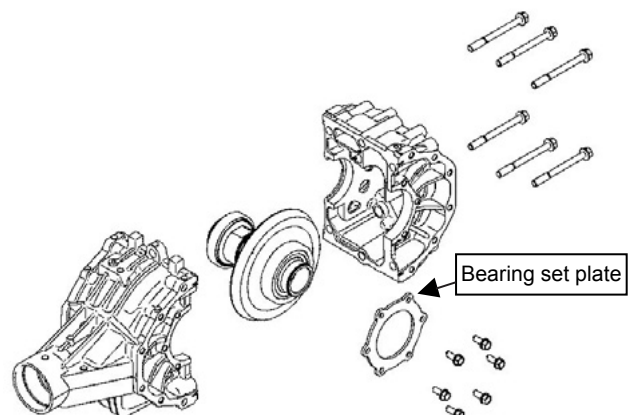


Fig. 6 Developed structure

し前後分割ケースでは組立時にベアリングを圧縮する装置(治具)が必要となる。そこでベアリングセットプレート構造によりケース結合後にプレロードを付加できるようにし、組立性を確保しながら支持剛性の向上を達成した。

左右クラッチのコントロール部分は従来の SH-AWD 構成(Fig. 7)と同様である。コントロール部分は、以下の3要素から構成される。

- (1) プラネタリギヤ Assy
- (2) 湿式多板クラッチ
- (3) 電磁ソレノイド

プラネタリはリング、キャリア、サンの三つの要素を持ち、リングから入力され、キャリアが出力となる。残りの要素であるサンギヤのトルクをコントロールすることで、出力トルクを0から最大出力まで自在制御が可能となる。この機構自体は従来のSH-AWDで開発された物と同一であるが、それぞれの部品はプラネタリのレシオ設定を除いて新設計され、小型軽量化を達成している。

最大出力トルクは従来のVTM-4およびSH-AWDに比べ増大させている。

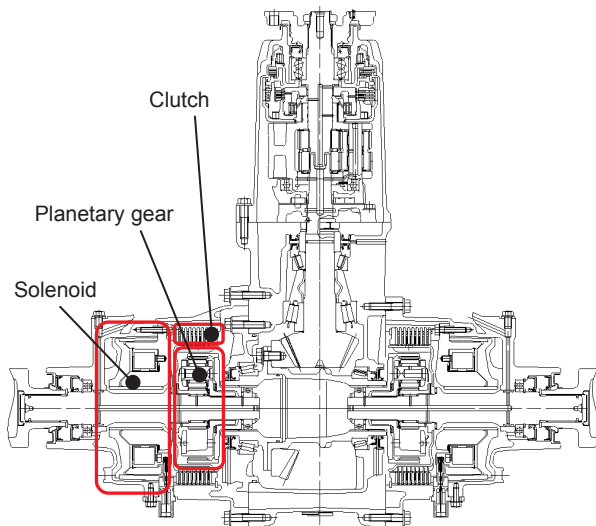


Fig. 7 Cross-section view of rear differential unit SH-AWD for LEGEND

4. レシオ(増速比)設定

本システム開発にあたり、適用ターゲット車両をRDXとMDXとした。どちらも車両カテゴリーで表すとSUVとなるが、車両コンセプトからスポーツセダン並みの走行性能が強く求められている。

しかしながら、一般的にSUV車両はセダンに比較して重心高が高く、旋回性能を高めることは容易ではない。この性能向上対策のひとつとして位置付けられたのがSH-AWDシステムである。

SH-AWDシステムは前輪回転数よりもリヤデファレン

シャルユニット内部回転を高く設定することが必要である。これは前輪中央の旋回半径よりも後輪外輪の旋回軌跡が大きい状態で、後輪外輪に駆動方向のトルクを与えるための条件である⁽¹⁾。

SH-AWDシステムで重要な増速レシオ設定にあたり、いろいろな走行モードで検証をおこなった結果、旋回半径30m以上で後輪外輪が駆動できれば十分なメリットを得られることがわかった。この結果より本開発では1.7%の常時増速とし、従来のSH-AWDに採用されている2段変速をおこなう増速機部分を廃止した。この設定理由は上記SUV車両特性から転舵角が大きくなるにつれて前輪のスリップ率が増加し、実質の増速比が大きくなると予想したからである。前輪のスリップ率を0.8%と予想し、これを加味して机上検討した結果、1.7%増速で十分な性能を発揮できると予想した。

検討結果をFig. 8に示す。前輪スリップ率0.8%状態では、旋回半径28.4m以上で後輪外輪を駆動できることを示しており、上記検証で確認した旋回半径30m以上で後輪外輪を駆動する要求をクリアしている。

その証明をおこなった結果をFig. 9に示す。通常舗装路および雪上で実走確認した結果、机上計算で加味した0.8%以上の前輪スリップが発生しており、旋回半径30m以下で

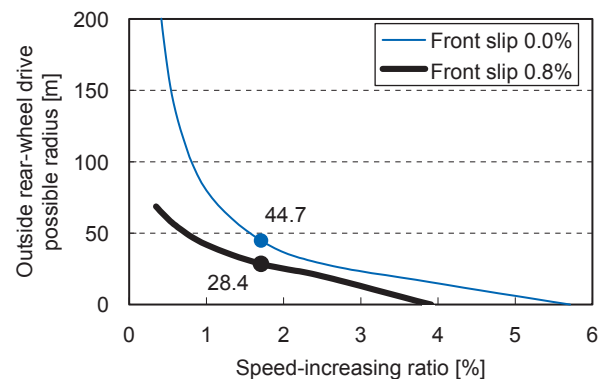


Fig. 8 Relation between speed-increasing ratio and drive possible radius

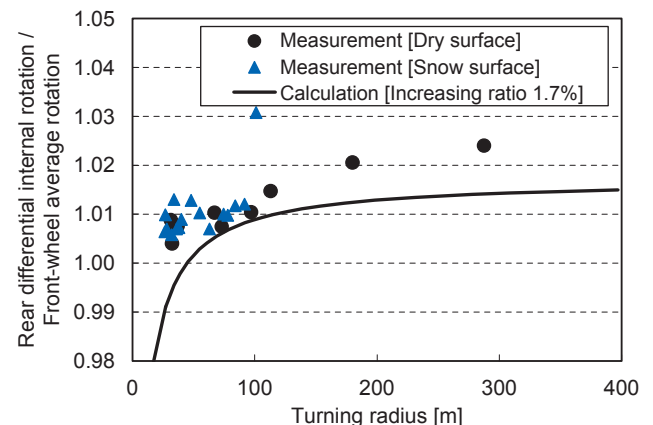


Fig. 9 Measurement result of rear differential internal rotation

も十分に後輪外輪を駆動できることを示している。

以上のように車両特性に着目してレシオ設定をおこなった結果、増速機による2段変速無しで十分な左右駆動力配分効果を実現することができた。

以上のように SH-AWD の増速比は旋回性能を決定する重要な要因である。また5章で説明するクラッチ摩耗量に大きく影響することも同時に考慮している。

5. 高 μ 、低摩耗クラッチ

リヤデファレンシャルユニットのトルク容量(最大出力トルク)を決定する要素として、クラッチの μ 値および特性があげられる。SH-AWDシステムのクラッチは常にスリップ制御をおこなっているため、 μ の絶対値に加え低摩耗量を要求される。この摩耗量は6章で説明するアクチュエータ(以下、電磁ソレノイド)の形式に影響する。

本開発では、従来の SH-AWD で開発したクラッチに対し、材料の見直しに留まらず製造方法の変更まで踏み込んで開発した結果、 μ 値向上と低摩耗量の両立を実現した。

具体的な変更項目は以下の通りである。

- (1) フェーシング材料の変更
- (2) 成型工程の変更

スリップ回転数ごとの μ 特性実測値をFig. 10に示す。従来のクラッチに比較して μ 値が向上したことを示している。ここで重要なポイントは回転数の増加に伴い μ 値が上昇する特性である。この特性が失われるとスリップ制御時に不具合が発生する場合が多い。不具合の具体例として振動や異常音があげられる。

μ 値向上はフェーシングを構成する原材料配合比率の最適化と表面平滑性向上で達成した。 μ 値の向上により、クラッチ枚数を減らすことができ、軽量化とコストダウンにも貢献している。

摩耗量低減は製造方法の変更により摩擦材硬度を向上させることにより達成した。Fig. 11は使用開始直後の初期摩耗量と24万km相当使用後の摩耗量を示す。従来クラッチに比較し、新開発クラッチは初期摩耗、耐久摩耗ともに低

減できたことを示している。

生涯のクラッチ摩耗量を予測するために、クラッチ吸収エネルギーを使用した。これは走行中の出力トルクとクラッチ回転数から計算することができる。あるモードを実走した時の吸収エネルギーを生涯分に換算することで生涯摩耗量設定のベースとしている。

また、摩耗量は4章で説明した増速比に大きな影響を受けるため、この側面からの検討も同時におこなった。Fig. 12はその机上検討結果を示す。

吸収エネルギーと増速比は基本的には比例関係にあるが操縦安定性から要求される左右配分制御量によっても変化するため、車両制御側との整合が必要である。

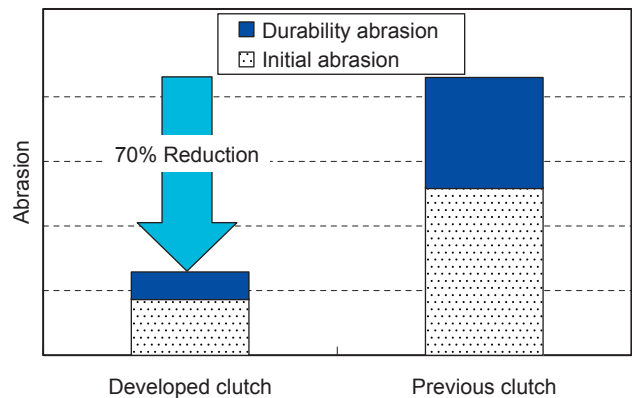


Fig. 11 Abrasion comparison

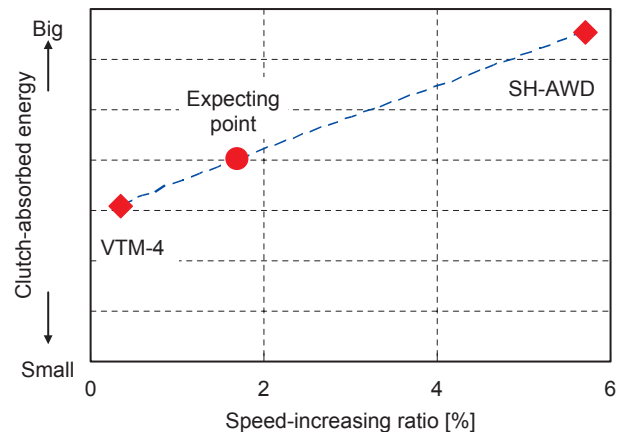


Fig. 12 Relation between speed-increasing ratio and clutch-absorbed energy

6. アクチュエータ設定

クラッチをコントロールするアクチュエータ(以下、電磁ソレノイド)は、最適増速比設定とクラッチ摩耗低減により、フラットギャップを採用して小型軽量化を達成した。具体的な変更内容は以下の通りである。

- (1) エアギャップ形式変更(テーパからフラットへ)
- (2) メインコイル巻き数変更
- (3) サーチコイル巻き数変更

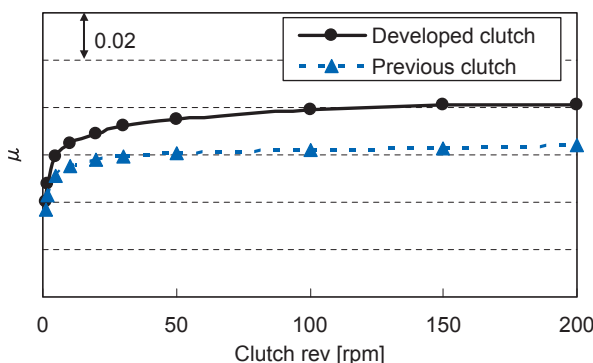


Fig. 10 Clutch μ characteristic

SH-AWD システムの特徴であるダイレクト電磁クラッチは電磁ソレノイドの吸引力をクラッチに直接印加してトルクをコントロールする構造である。吸引力はエアギャップの二乗に反比例するので、小型軽量化に対してはエアギャップを小さく設定することが有効であるが、生涯分のクラッチ摩耗量よりも小さくすることはできない。すなわち電磁ソレノイドが吸引力を出すためにはエアギャップが必要であり、クラッチが摩耗してエアギャップが無くなる（ヨークとアーマチャが接触する）と当然ながら吸引力が発生しなくなる。このことからエアギャップ設定とクラッチ摩耗量が密接に関連していることがわかる。

本開発では最適増速比設定と低摩耗クラッチの開発により、生涯でのエアギャップ変化量が低減できた。その結果、電磁ソレノイドのエアギャップ形式を従来のテーパ形式からフラット形式に変更し、大幅な小型化を実現した。Fig. 13 に同一スケールの断面図を示す。図中の赤い太線がエアギャップを示す。

電磁ソレノイドはエアギャップ変化により吸引力が変化する特性を持っていることは前記したが、エアギャップを決定しているクラッチの厚さは常にスリップ制御されるため、微小ながら摩耗が進行していく。これはエアギャップが変化することを意味し吸引力が変化してクラッチトルクが変化していくこととなる。この変化を検出して電磁ソレノイドに印加する電流値を補正するシステムが磁束検出システムである⁽²⁾。本開発では磁束検出システム自体は従来のSH-AWDを踏襲したが、エアギャップのフラット化に伴い磁束検出精度を向上させる必要が生じた。

対応として、サーチコイル巻き数増大と、検出電流増大をおこない、磁束検出精度を20%向上した。この対応により、従来と同等のコントロール性を確保している。

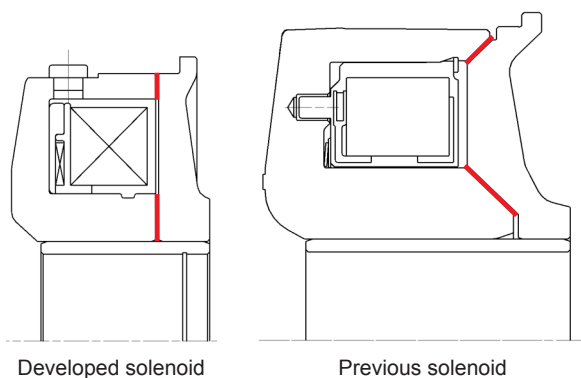


Fig. 13 Cross-section of electromagnetic solenoid

7. 結果

開発目標として定めた「旋回性能1ランク向上」、「高出力化と小型軽量化の両立」に対し以下の結果を得た。

7.1. 旋回性能1ランク向上

開発リヤデファレンシャルユニットを搭載した車両と、初代 MDX を、通常 DRY 路、積雪路、ダート路で性能比較をおこなった。結果は、開発コンセプトとした「旋回性能1ランク向上」を実現したことを示している (Fig. 14)。

7.2. 高出力化と小型軽量化の両立

最大出力の比較を Fig. 15 に示す。従来車両に搭載されている VTM-4 に比較し、10%の高出力化を達成した。

重量の比較を Fig. 16 に示す。同様に VTM-4 に対し、5%の軽量化を達成した。

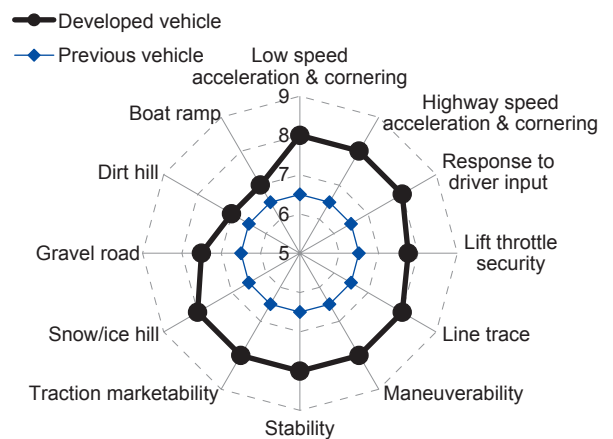


Fig. 14 Evaluation value

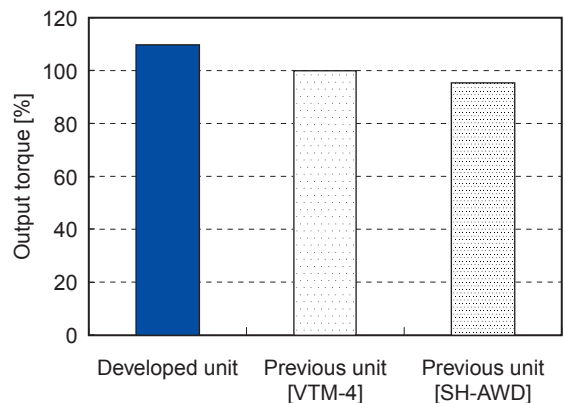


Fig. 15 Output torque comparison

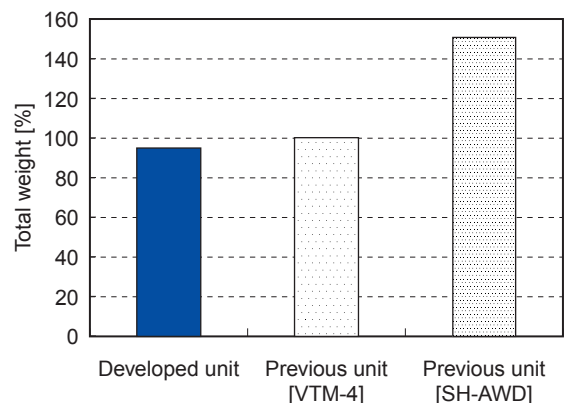


Fig. 16 Weight comparison

8. まとめ

- (1) 車両特性とタイヤスリップ率に着目し、増速比1.7%における外輪駆動可能旋回半径は28.4 mと予測した。また実走においてその確からしさを証明できた。
- (2) LEGENDにて開発した四輪駆動力自在制御を基本踏襲し、SUV車両に最適な設定をおこなった。これにより全走行領域において従来車両に対し1ランク以上の性能向上を達成した。
- (3) 新開発クラッチを主とした容量向上対策により、従来車両に搭載されているリヤデファレンシャルユニットに対し、10%の出力向上を達成した。
- (4) 最適増速比設定によるクラッチ吸収エネルギー低減により電磁ソレノイドの軽量化を達成した。その結果、従来のリヤデファレンシャルユニットに対し5%の軽量化を達成した。

参考文献

- (1) 國井力也，岩崎明裕，渥美淑弘，森淳：四輪駆動力自在制御システム(SH-AWD)の開発，Honda R&D Technical Review, Vol.16, No.2, p.9-16
- (2) 國井力也，菅野裕，岩崎明裕，関谷重信：SH-AWD用ダイレクト電磁クラッチの制御技術，Honda R&D Technical Review, Vol.17, No.2, p.20-25

■ 著 者 ■



今村 正 広



小西 良 和



井上 真 幸