

SUV 用 4WD システムの開発

Development of a 4WD System for SUVs

黒田 耕治*
Koji KURODA
堀 剛*
Takeshi HORI

中野 和宏*
Kazuhiro NAKANO
西田 健三*
Kenzou NISHIDA

小西 良和*
Yoshikazu KONISHI
小林 和典*
Kazunori KOBAYASHI

要 旨

米国で好評なスポーツユーティリティビークルの使われ方を調査した結果、市街地走行がほとんどであることがわかった。しかし、大半のSUVはトラックをベースとしておりオンロードでの操縦性、使い勝手よりもオフロードでの走破性能を重視しているものが多い。そこでFF乗用車シャーシを流用しリヤファイナルドライブユニットへの機能集約、後輪左右軸上へのクラッチユニット配置、電子制御によるトルクコントロール、トルクリミット制御等の手法を用い「SUVとしての必要十分な走破性能と乗用車としての操縦性の両立」をクラス最軽量のシステム重量97kgで達成した。

ABSTRACT

Surveys of sports utility vehicle (SUV) use in the United States, where they are extremely popular, show that they are mostly driven on streets in urban areas. However, most SUVs are based on a truck chassis, and they emphasize off-road driveability and staying power over on-road controllability and efficiency. Therefore, this system was created using an FF passenger car chassis with functions integrated in the rear final drive unit, clutch units installed on the axle for the left and right rear wheels, electronically controlled torque control, torque limit control, and so on. The result combines the rough road performance required for an SUV with the controllability ease of a passenger car, and achieves these goals in a system weighing only 97 kg, making it the lightest in its class.

1. はじめに

近年の米国自動車販売台数においてスポーツユーティリティビークル(以下SUVと記す)といわれるカテゴリの車が年々増加傾向にある。SUVが選ばれている理由を調べてみると視線の高さによる安心感、レジャでの使い勝手の良さ等が上げられる。

現状のSUVはトラックベースの車両が多くオンロードでの操縦性よりもオフロードでの走破性能を重視したものが多い。この様な背景により実際のSUVの使われがってに合わせた4WDシステムが必要とされていた。

確保されていれば実用上充分であること、さらに舗装路での操縦性を乗用車並みにすることでユーザにより使いやすいSUVとすることができたことがわかった。以上より今回の開発のねらいを「SUVとしての必要十分な走破性能と乗用車としての操縦性の両立」と定めた。

走破性能を確保するためには前後左右輪の駆動力を車両の状況に応じて最適にコントロールする必要がある、また操縦性を確保するためには乗用車なみのシャシ性能と車両の軽量化が重要である。以上のような観点から本4WDシステムの開発をおこなった。本システムをVariable Torque Management-4(以下VTM-4と表記)と名づけた。

2. 開発のねらい

SUVは、その使用目的により様々な走行状況が考えられるが使われ方を調査した結果、走破性能としては砂利道や雪上登坂、またポート牽引登坂における駆動力性能が

*栃木研究所

3. 4WD システム

SUVの走破性能と乗用車の操縦性を達成するために必要とされる機能を検討した結果以下の項目が重要であることがわかった(Fig. 1)。

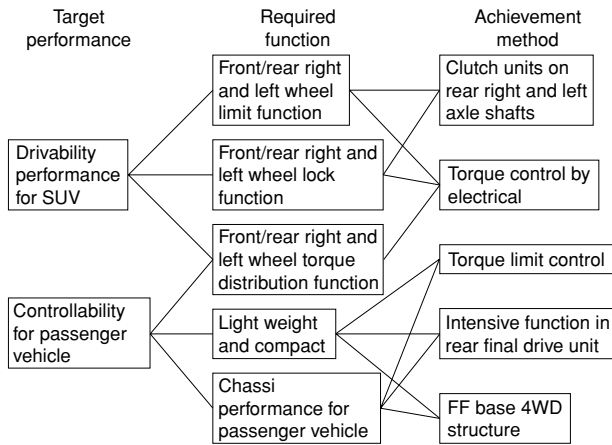


Fig. 1 Target performance and achievement method

4WDシステムはフルタイム、直結タイプ、センタクラッチタイプなどさまざまな構造が存在する (Table 1)^{(1), (2)}が今回の必要機能を最小限の要素数で軽量かつコンパクトに実現できる手法を検討し 4WD 基本システムを下記のように決めた (Fig. 2)。

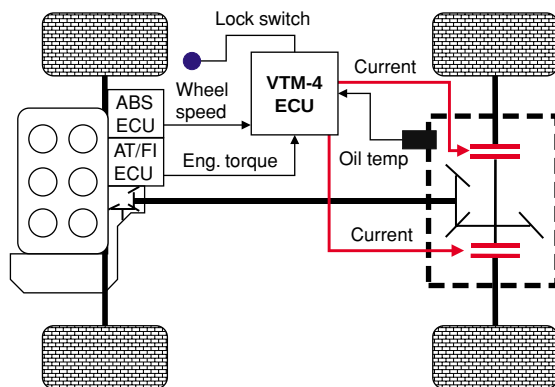


Fig. 2 VTM-4 system

3.1. パワーテークオフ (PTO)

自動変速機(AT)から駆動力を取出すPTOについてはFFベースのエンジンルームへの適合性のために、デファレンシャル上からヘリカルギヤで増速し、その後ハイポイドギヤで駆動力の方向を変える方式とすることにより駆動力取出し部の位置を下げることで軽量化をはかった。PTO断面図を Fig. 3 に記す。

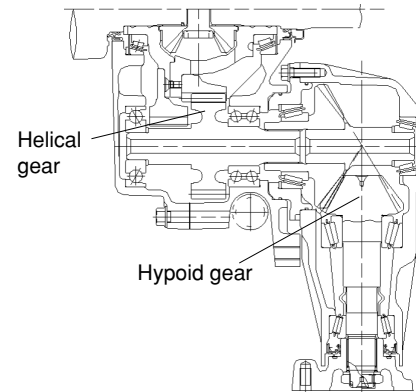


Fig. 3 PTO

3.2. プロペラシャフト

軽量化を目的としてプロペラシャフトは2ピースタイプとし (Fig. 4), 更に PTO とリヤファイナルドライブユニットのギヤレシオにより回転速度を調整することによりジョイントサイズとパイプ径を最適化した。また、プロペラシャフトから発生する回転振動を押さえるためにプロペラシャフトの回転重量バランスを一定値以下に押さえると共にリヤファイナルドライブユニットのインプットフランジとの組付け位相を調整した。これにより走行中の騒音、振動を向上させた⁽³⁾。

Table 1 Respective functions of 4WD type and the number of elements

		VTM-4	Competitor A	Competitor B	Competitor C
Function	Driving force distribute Function (front to rear)	○	○	○	○
	Driving force distribute Function (rear left & right)	○	×	○	×
	Front and rear rock function	○	○	×	×
	Rear left and right lock function	○	×	×	×
Element	Differential	1	2	3	2
	Clutch	2	1	1	1

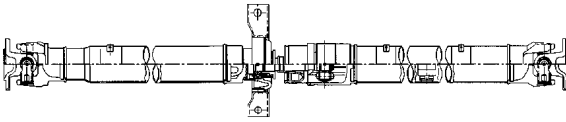


Fig. 4 The propeller shaft with 2 pieces structure

3.3. リヤファイナルドライブユニット

システムの軽量化と FF ベース車両への搭載を目的としてリヤファイナルドライブユニット内にトルク制御機能を集約させた。トルク制御方式としては油圧式や電磁式などの手法が考えられるが、今回の目標性能を達成するためには前後輪の回転差が少ない状態での制御性の確保が重要であった。油圧でクラッチを制御する方式では別体の油圧発生源が必要となりシステムが複雑になってしまう。よってVTM-4においてはトルク制御方式に電磁コイル式クラッチを採用し簡素な構造で十分な制御性を確保した。

プロペラシャフトからリヤファイナルドライブユニットに入力されたトルクはハイポイドギヤで方向を変換され左右に独立配置された電磁コイル式クラッチに伝えられる。Fig. 5 にリヤファイナルドライブユニットの断面図を示す。

電磁コイル式クラッチはパイロットクラッチとメインクラッチから構成されており、電磁コイルに電流を流すとアーマチュアがロータに押し付けられ摩擦トルクが発生する。摩擦トルクは内側に配置されたボールカムの働きによりスラスト力に置換されメインクラッチの押付け力となる。Fig. 6 に電磁コイル式クラッチの断面図を示す。

メインクラッチで制御されたトルクはアウトプットシャフトを介しアクスルシャフトへ左右独立に伝達される。

左右のトルク伝達がばらつくと車両の直進性等に影響を与える。そこでクラッチについて各要素のトルク伝達バラツキに与える影響を調査した結果、パイロットクラッチ部クリアランスがもっともトルク伝達量に影響を与えている

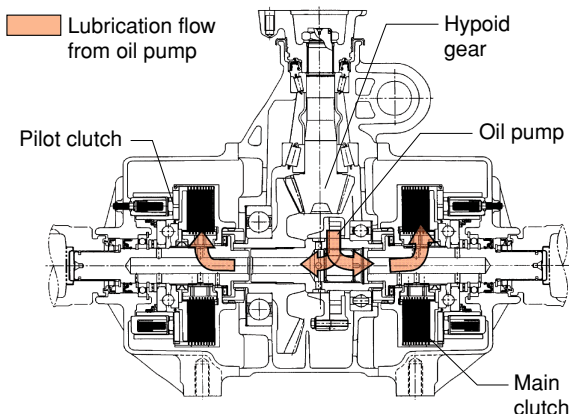


Fig. 5 Rear final drive unit cross section

ことがわかった。Fig. 7 にパイロットクラッチ部クリアランスとトルク伝達量の関係を示す。本システムにおいては、アーマチュアとロータの部摺動面クリアランスを最適化することにより左右のトルク差と制御性を確保した。

また、ハイポイドギヤと同軸上にオイルポンプを配置しクラッチへの潤滑をおこなっている。オイルポンプは左右クラッチのほぼ中央に配置することによりクラッチに均一な潤滑がおこなわれる構造とした。潤滑用オイルはオイルポンプからシャフト内を通り内側から左右のクラッチに供給される。オイルはクラッチの摩擦特性を安定化させるために専用オイルとした。

ロックモードについては車両の走破性能に必要な駆動力を確保した上で、過剰な駆動力を抑制し、軽量化をはかるためにメカニカルな結合ではなく電磁コイル式クラッチの最大電流を常時流す手法とした。

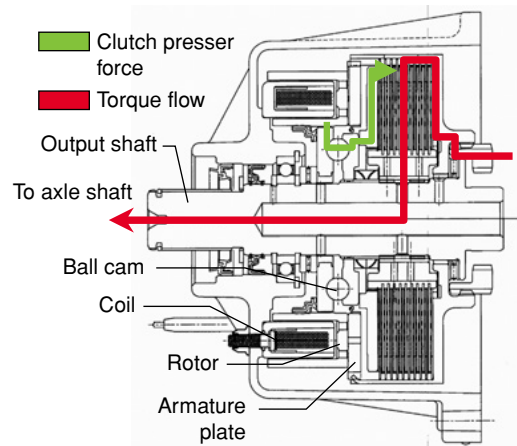


Fig. 6 Clutch unit Cross section

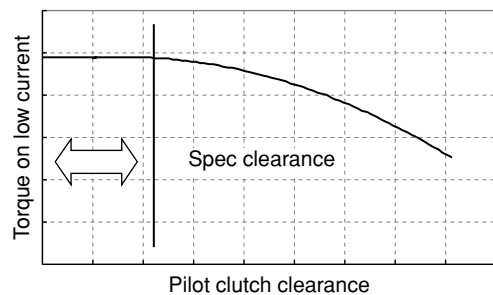


Fig. 7 Clearance and torque

4. システム制御

本 4WD システムの目的を達成するために制御に求められる機能は下記 2 項目である。

- ① 走破性能／操縦性向上のために必要な時に最適な駆動力を後輪に分配する。

② 軽量コンパクト及び燃費向上のために必要の無い時は駆動力を伝えない。

以上を実現するためにオートモードとロックモードの二つのモードを設定した。さらにオートモードにおいては車両加速度制御、差回転制御及び坂道発進制御を組合わせた。Fig. 8 に制御モード及びフロー概要を示す。

4.1. オートモード

① 車両加速度制御

車両が大きな駆動力を必要とするのは発進加速時であり、一定速で走行している時には大きな駆動力は必要ない。よって、車両加速度に応じて後輪への駆動力を最適に配分することにより走破性能と操縦性を確保した。また、発進加速時以外は駆動力を後輪に伝達させないことによりシステ

ムの軽量化を図ると共にコーナリング時のブレーキ現象を押さえ、更に燃費悪化も防いだ。

本システムにおいてはエンジントルク、トルクコンバータ特性、車速、ギヤポジション等により車両の加速度を算出し後輪への駆動力配分量を決定する。Fig. 9に車両加速度に対する後輪配分駆動力を示す。

② 差回転制御

悪路、雪道など滑りやすい路面状況においては、走破性能の確保のために後輪により大きな駆動力が必要となる場合がある。本システムにおいては車両加速度制御に加え、前後輪の回転速度比に応じ後輪の駆動力をさらに増加させ走破性能を確保した。Fig. 10に前後車輪の滑り比に対する後輪駆動力量を示す。

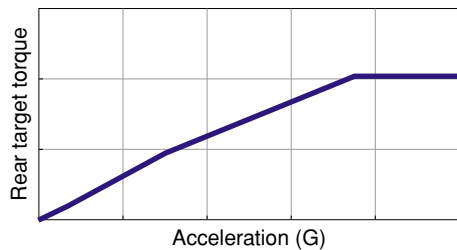


Fig. 9 Vehicle acceleration vs. rear wheel torque

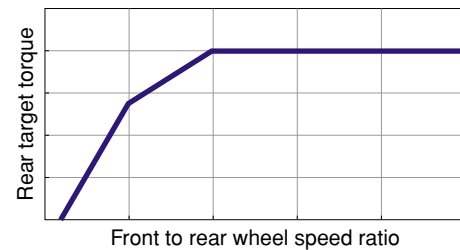


Fig. 10 Wheel speed ratio vs. rear wheel torque

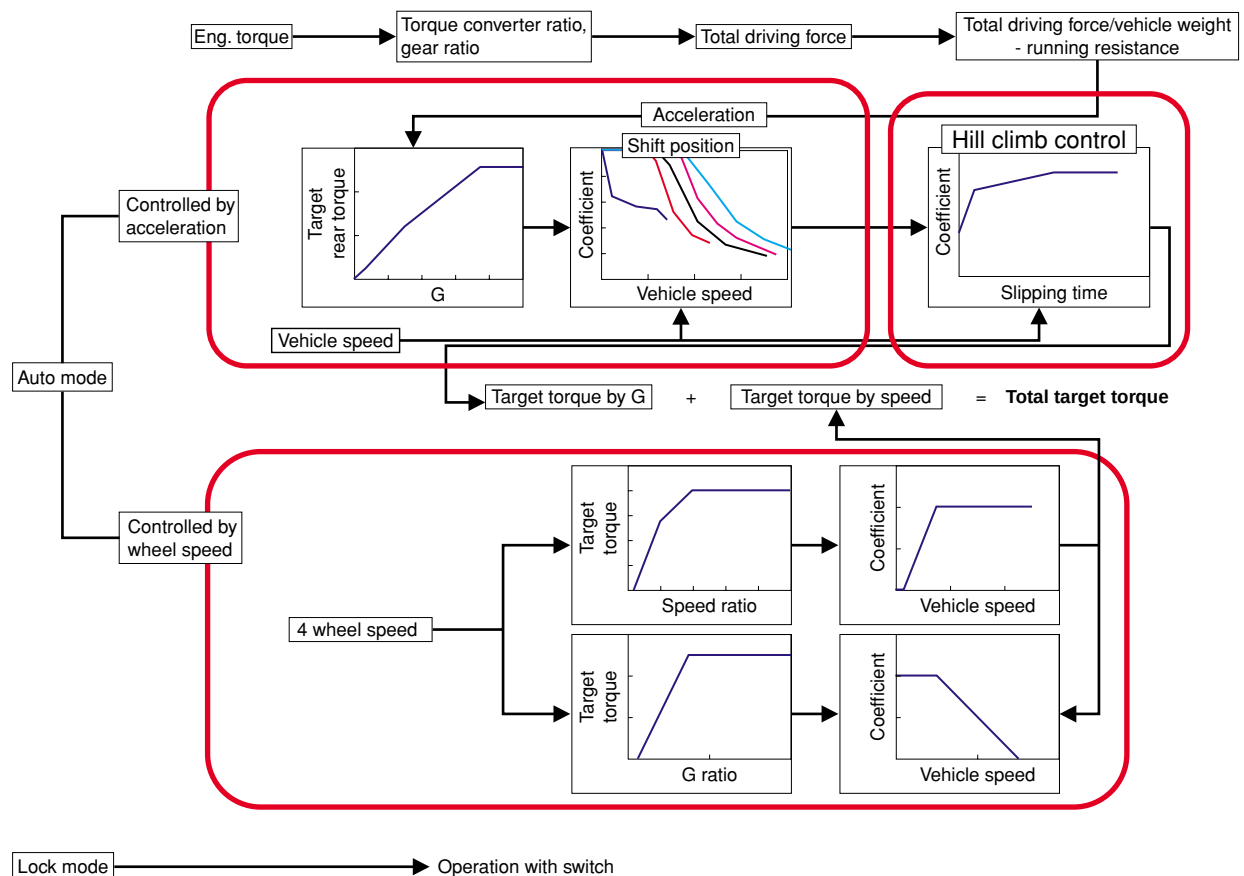


Fig. 8 The outline of control

③坂道発進制御

極低 μ 路登坂等の発進において車両加速度も発生せず前後輪の回転速度比も大きくならない状況が発生する場合がある。そのような状況において走破性能を確保するために、一定時間微少な前輪空転が続いた場合その時間に応じて後輪への駆動力配分を増加させる制御を追加した。Fig. 11 に空転時間に対する駆動力配分増加係数の関係を示す。

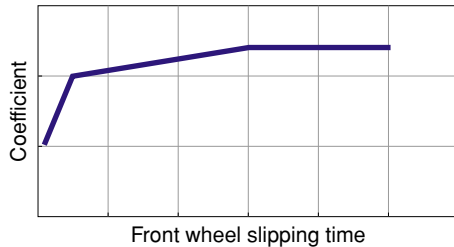


Fig. 11 Hill climb control

4.2. ロックモード

車両がスタックした場合や限界登坂等の走行においては前後輪、後輪左右を直結状態としたほうがより高い走破性能を得ることができる。しかしながらこの状態は車輪間の差動が制限されておりコーナリング時に強いブレーキ現象等が発生し車両の状態が不安定になり易い。また駆動系に大きな負荷が入りシステム重量増にもつながる。実際にこのような走破性能が必要とされるのは低車速状態に限定されるため、本システムにおいては車速が上昇した場合徐々にオートモードに切り替わるようにすると共にロックモードの使用をATシフトレバーがL(1速固定)、2(2速固定)、R(後進)の位置ある時に限定した。Fig. 12に車速に対する後輪配分トルク量を示す。

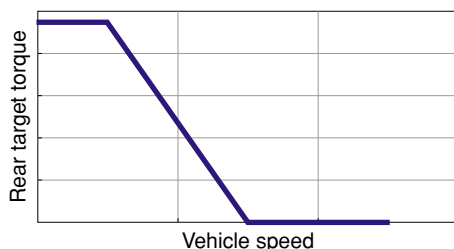


Fig. 12 Vehicle speed vs. rear wheel torque

5. システム重量

Fig. 13 に VTM-4 を 2000 年モデル Acura MDX に適用した場合と他機種のシステム重量を比較したグラフを示す。機能の集約化、トルクリミット機能、車両加速度制御等によりクラス最軽量のシステム重量 97kg を達成することができた。

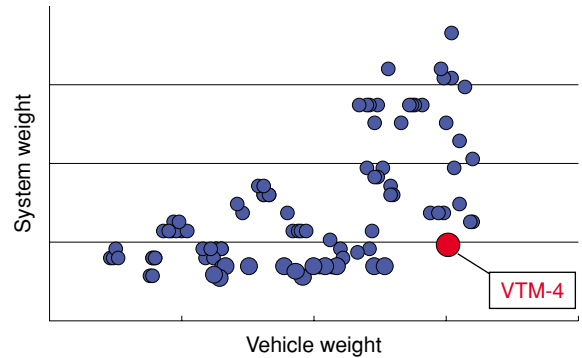


Fig. 13 System weight

6. 実車性能

SUVの実車性能と言ってもその意味する範囲は広く定量的に表現することは難しいのが現状である。即ち車両の使われ勝手、路面状況、積載状態等を考慮した上で走破性能と操縦性を評価する必要がある。従来このような性能に対しては、感応評価を用いて相対的に評価を行うのが一般的で有る。ここでは、MDXを用い、走破性能と操縦性の基本的性能について定量的に評価をおこなった。

6.1. 走破性能

走破性能を確保するために 4WD システムに求められる性能を大別すると以下の3つに大きく分けることができる。

- ① 4 輪総絶対駆動力性能
- ② 駆動力前後配分性能
- ③ 駆動力左右配分性能

① 4 輪総絶対駆動力性能とは、絶対登坂性能やトレラ牽引登坂等に必要な駆動力で有り VTM-4 のような前輪駆動ベース 4WD システムにおいては、後輪に配分する最大トルクの絶対量を決定する一つの指針となる。またそのトルクを前輪のスリップ率が過大になる前にタイミング良く伝える必要がある。

市場調査結果から以下の 2 項目を満足できれば MDX が目標とする市場に対し競争力の有る絶対駆動力性能が確保できると判断した。

- 1) ダート路登坂発進
- 2) ポート牽引時アスファルト路登坂発進

これらの条件下におけるリヤ必要駆動力の測定結果を Fig. 14 および Fig. 15 に示す。

結果としては、狙い通りの必要十分な登坂駆動力と登坂性能が確保できた。またオート及びロックモードにおける後輪駆動トルク発生特性からもわかるように、オートモードにおいては必要十分な登坂性能を確保させながら前輪に適度なスリップ感がありユーザに路面状況を的確に伝えることができる。さらにロックモードにおいては登坂に必要な

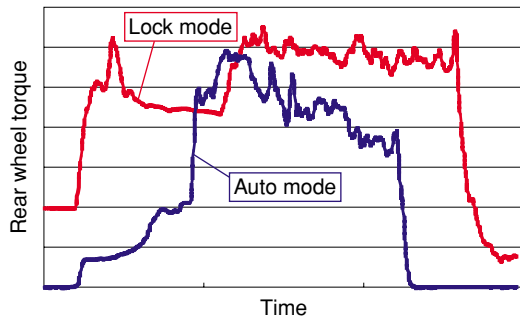


Fig. 14 Rear torque at hill climb on dirt (Auto, Lock mode)

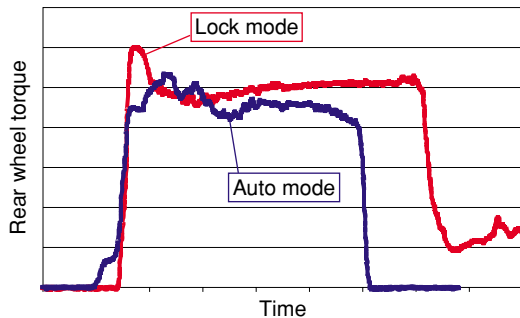


Fig. 15 Slope towing a boat on paved hill (Auto, Lock mode)

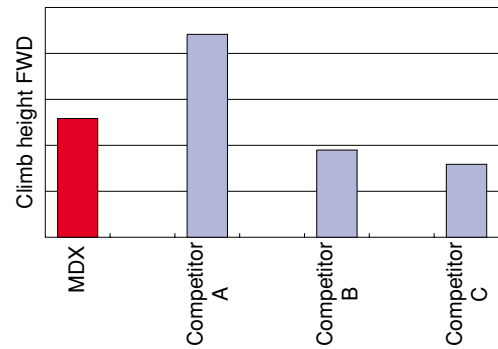


Fig. 17 Height difference for roller drive over (Forward climb)

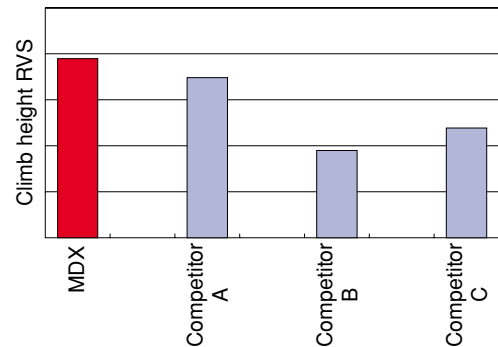


Fig. 18 Height difference for roller drive over (Reverse climb)

な駆動力が瞬時に発生しており、より安心感のある良好な登坂性能が発揮できた。

②前後配分駆動力性能は一般路走行においては、雪上登坂や前後の路面 μ に大きな差が有るような路面あるいは段差乗り越し等の走破性能の指標となる。

この性能を定量的に実車両ベースで評価するために、ローラ付き治具(Fig. 16)を用いて前進及び後進においてどの程度の高さまでそれを乗り越せるか測定を行った。この手法を用いて他のシステムを採用している代表的車両と比較した試験結果を Fig. 17, Fig. 18 に示す。

以上の結果から比較車に対し必要十分なねらい通りの性能が確保できた。

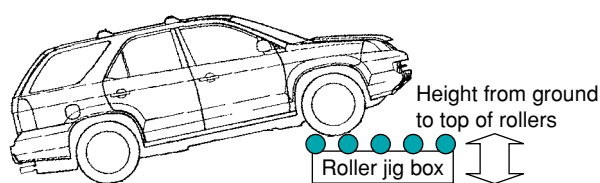


Fig. 16 The method for roller drive over

③左右駆動力配分とは、一般路走行においては、路肩が凍結したようなスピリット μ 路での坂道発進や脱輪脱出等の走破性能の指標となる。

このような状況を定量的に評価するために、前項目同様にローラ付き治具に前後片側車輪を載せ(Fig. 19)牽引力を測定した。代表的な車両と比較した結果を Fig. 20 に示す。

このような状況下において、一般的なプリセットタイプ LSD(Competitor A)に対し約2倍の牽引力を発生することが可能であり実用上必要十分な左右駆動力配分性能が確保できた。

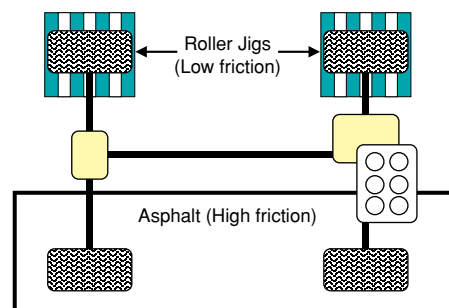
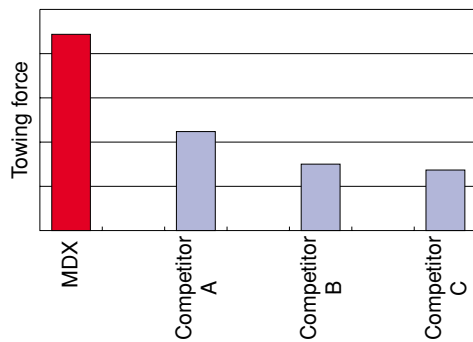


Fig. 19 The method for towing strength measurement on split μ

Fig. 20 Towing strength on split μ

6.2. 操縦性

操縦性に関しては、大きくドライ、ウェット路面での性能に別れる。ここでは、一般的な評価手法である加速円旋回特性にてその性能評価を行った。

ドライ、ウェット路面における加速円旋回特性を代表的な乗用車と比較を行った結果、Fig. 21に示すように本システムの目標の一つである乗用車並みの操縦性が確保されている。

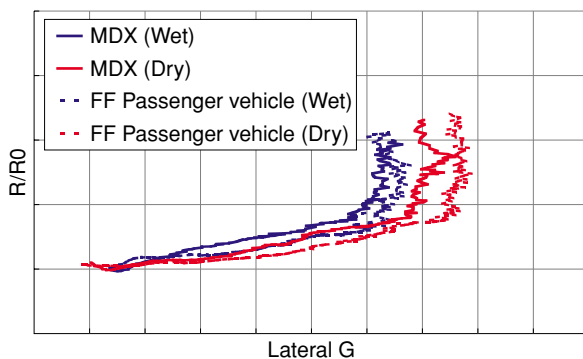


Fig. 21 US/OS Characteristics

7. まとめ

以上の結果をふまえ SUV としての走破性能と乗用車としての操縦性について代表的なSUVおよび乗用車と比較した結果を下記レーダチャート(Fig. 22)に示す。

電子制御によるトルクコントロール、トルクリミット機能、リヤファイナルドライブユニット内に機能集約、後輪左右軸上のクラッチユニット配置、乗用車シャシの流用により本システムの目標である「SUV としての必要十分な走破性能と乗用車としての操縦性の両立」をクラス最軽量のシステム重量 97kg で達成することができた。

本システムは、2001年モデルAcura MDXに適用され2000年9月より北米地区で販売され、お客様から好評を頂いている。

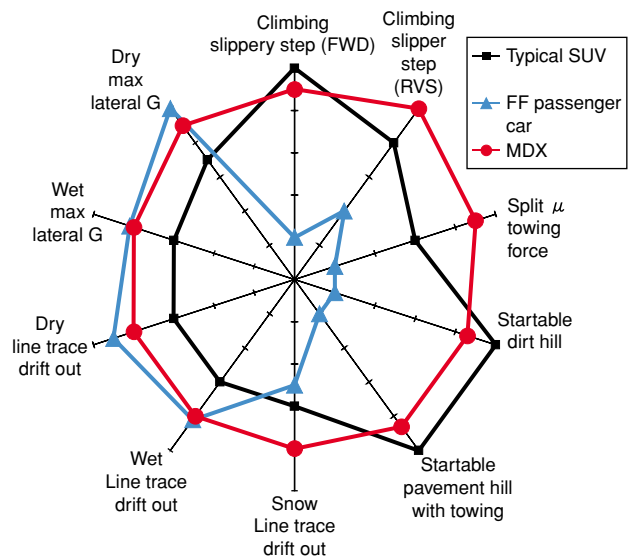


Fig. 22 Radar chart for 4WD performance

最後に本システムの開発にあたり研究所内外で多大なご支援頂いた方々に心より感謝いたします。

8. 参考文献

- (1) 宅野博 他:4WD用新電子制御カップリングの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.75-98, p.5-8 (1998)
- (2) 後藤敦彦 他:FF ベース新型四輪駆動システムの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.97-99, p.1-4 (1999)
- (3) Chulhee Lee: A Study of NVH Phenomenon in SUV Drivetrain caused by Propeller Shaft, JSAE Spring Convention Proceedings, No.43-00, p.17-20 (2000)

■ 著 者 ■



黒田 耕治



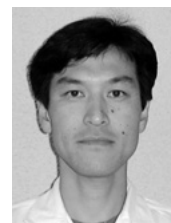
中野 和宏



小西 良和



堀 剛



西田 健三



小林 和典