

新世代 4WD システムの紹介

Introduction of New-Generation 4WD System

八木 康*1

Yasushi Yagi

松室 義隆*4

Yoshitaka Matsumuro

三戸 英治*2

Eiji Mito

沢崎 朝生*5

Tomoo Sawazaki

石田 一之*3

Kazuyuki Ishida

要約

新世代 4WD システム開発では、他の SKYACTIV TECHNOLOGY と同様のアプローチで、4WD システムの理想である「タイヤの駆動力を最大に活用できる駆動力マネジメント」を追求した。4WD 制御面では、刻々と変わる路面状態をリアルタイムで把握し、ドライバーが車輪のスリップを感じる前に前後輪の駆動力配分を高精度で制御する新制御システムを構築した。また、ユニット、コンポーネントハード面では、必要とされる後輪駆動力を徹底的に研究、設計・製造の考え方も全面的に見直し、従来システム比 43%の軽量化と、25%のトルク伝達効率改善を実現した。

これらにより、CX-5 では優れた 4WD 走破性能と低燃費など高い環境性能の実現に貢献できた。

Summary

During the development of the next generation 4WD system, like the same approach of other SKYACTIV TECHNOLOGY, we pursued the ideal 4WD system with "precise torque management that makes best use of wheel torque". The new control system detects road surface conditions in real time and distributes torque to front and rear wheel before a driver can feel slip of wheels. By analyzing required rear torque precisely and improving the concept of design and production process, we also achieved 43% weight reduction of the hardware system and 25% torque transfer efficiency compared to the current system. These enabled superior drivability and high environmental performance of CX-5.

1. はじめに

CX-5 をはじめとする新商品群に搭載する新世代の 4WD システムを開発するに当たり、4WD システムの理想を再定義した。それは、前後タイヤの駆動力を最大限に活用することである。その理想を実現するためには、前輪/後輪への駆動力配分を自在にコントロールし、必要な時に必要十分な駆動力を後輪に伝える駆動力マネジメントが鍵となる。それにより、求められる 4WD 走破性を向上させ、燃費など環境性能を最大化させることが可能となり、ユニット、コンポーネントの小型・軽量・高効率化にも貢献できる。

本稿では、駆動力マネジメントと、4WD システムを構成する 4WD 制御デバイスやユニット、コンポーネントについて紹介する。

2. 駆動力マネジメント

2.1 駆動力マネジメントコンセプト

Fig.1 は、市場の舗装路走行における前後加速度頻度を示している。路面 μ の大きな舗装路において、その低加速度域に頻度は集中している。路面 μ の小さな雪路等では、低加速度域集中が更に顕著になると推測する。これらを踏まえ、市場走行における後輪駆動力が必要なシーンを Fig.2 に示す。滑りやすい路面で急加速する等のエンジン駆動力が前輪グリップ容量を超えるシーン (Fig.2 斜線部) では、エンジン駆動力を分担するため後輪への駆動力伝達が必要である。もし、実際に前輪グリップ容量を超えてしまうと 4WD 走破性を喪失してしまう。一方で、前輪グリップ容量に余裕のあるシーンでは、後輪駆動力をゼロ

*1~5 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

としても4WD走破性能に影響がない。

よって、後輪駆動力が必要な時をエンジン駆動力が前輪グリップ容量を超える直前とし、必要十分な後輪駆動力を、前輪グリップ容量を超えさせない最小限の後輪駆動力配分とする。すなわち、駆動力マネジメントコンセプトは「必要な時に必要十分な駆動力を後輪に伝える」である。これにより、後輪駆動力を必要最小化し、その頻度も極限まで低くできるため、ユニットの小型・軽量化に貢献でき、更に小型化によって、ユニットのエネルギーロス低減、高効率化にも貢献できる。

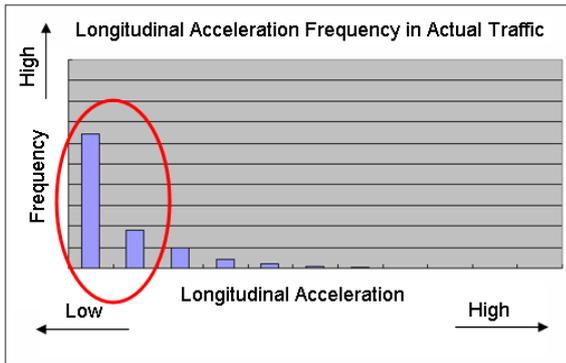


Fig.1 Longitudinal Acceleration Frequency (Dry Asphalt Road)

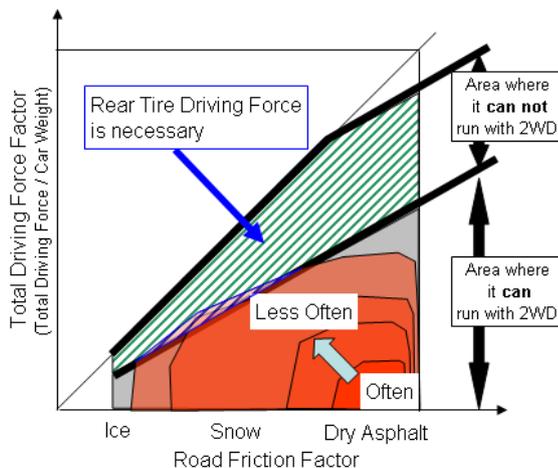


Fig.2 4WD Scene in Actual Traffic

2.2 4WD 制御の狙い

駆動力マネジメントコンセプトを換言すれば、前輪がスリップする直前に後輪に駆動力を配分して前輪スリップを未然に防ぐということである。従来システムでは、前輪スリップを後輪速度と前輪速度の差と定義していたが、本システムでは、前後それぞれのタイヤ自体のスリップ比として求める。前輪スリップ比は車体速度に対する前輪タイヤのスリップ比とし、後輪タイヤのスリップ比も同様に扱う。タイヤはスリップ比に応じた摩擦力を発生させ、スリップ比と車速、摩擦力等によってタイヤのエネルギーロスが求められる。前後輪タイヤのエネルギーロス（スリップロス）の他に、PTO (Power Take Off) とリヤデフユニットそれぞれのエネルギーロス（機械効率ロスとスピロス）があり、これらの総和を4WDシステムのエネルギーロス総和と定義する。そして、この総和を最小化することが4WD制御の狙いである (Fig.3のBがそのポイント)。Fig.3のA点は、後輪駆動力配分過小により前輪スリップロス増加し、エネルギーロス総和が増大しており、逆に、Fig.3のC点は、後輪駆動力配分過大によりユニット機械効率ロスが増加して、エネルギーロス総和が増大している。このエネルギーロス総和の最小点は、路面 μ やエンジン駆動トルク等の変化により時々刻々変化し続ける。

時々刻々変化するエネルギーロス総和の最小点をトレースするために、その肝といえるリアルタイムのスリップ比推定と路面に応じたタイヤモデルの推定に取り組んだ。その過程で、雪路走行中のタイヤのスリップ比-摩擦力の特性とドライバーのスリップを感じる特性を計測すると、タイヤが駆動力を伝えてスリップ比が発生する現象において、ドライバーが気付くスリップ比はある程度大きいことが判明した。そこで、スリップ比検知しながらスリップ比コントロールのため4WD制御の介入できる余地「不感帯」があることを見出し (Fig.4)、ドライバーに不安感を与えることなく、エネルギーロスを最小化し、タイヤの駆動力を最大に活用できるスリップ比に制御できる技術を構築した。

ここで、このエネルギーロス総和を最小化すると、4WD走破性能を向上させ、自ずと燃費など環境性能は最大化されていることになる。従来までは、4WD走破性能を向上させるとユニットのエネルギーロスが増加するため、燃費など環境性能と相反すると考えていたが、タイヤまで含めた4WDシステムエネルギーロス総和の常時最小化を狙うことで、4WD走破性能と燃費など環境性能の双方を高めるというブレークスルーを実現した。

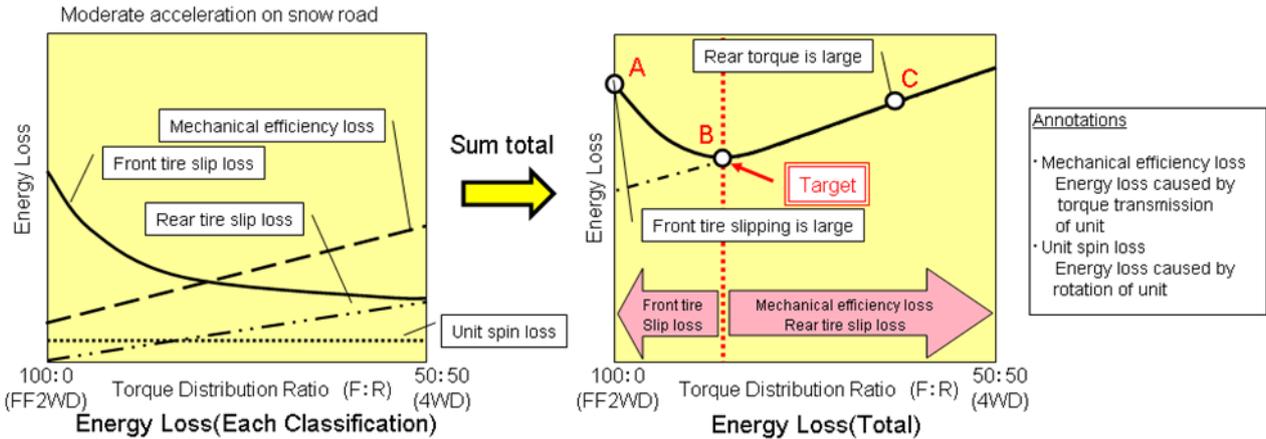


Fig.3 4WD Energy Loss Minimize Concept

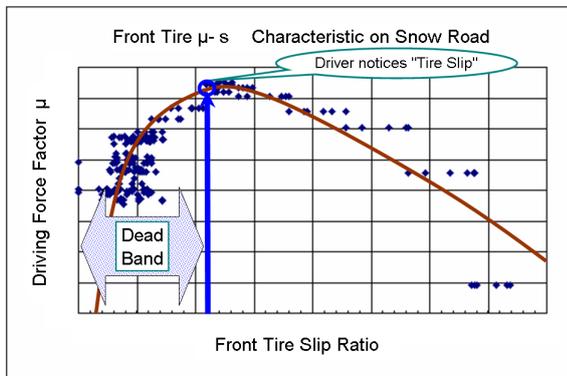


Fig.4 Dead Band on Front Tire μ -s Characteristic

3. 4WD システムの具現化

3.1 4WD システム構成

駆動カマネジメントコンセプトに対応するため、電子制御 4WD カップリングと制御ロジック、構成ユニット、コンポーネントを新規開発した。その 4WD システム構成は、定評のある従来システム（アクティブトルクコントロールカップリング 4WD）を踏襲した上で、駆動カマネジメントの考え方を一新し、4WD 制御用に新たに制御信号を追加、小型・軽量・高効率の PTO ユニット、リヤデフユニット、プロペラシャフトを採用した (Fig.5)。

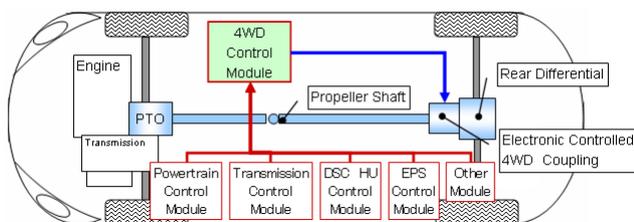


Fig.5 New 4WD System

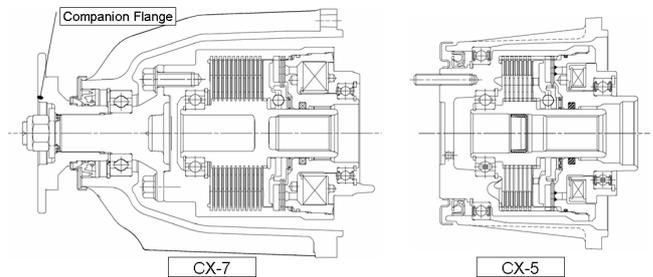


Fig.6 New 4WD Coupling (CX-5)

3.2 4WD 制御デバイス

電子制御 4WDカップリングは従来システムの基本構造をベースに、4WD走破性能目標に応じて容量を最適化、駆動カマネジメントコンセプトに基づいて内部構造を見直し、更にコンパニオンフランジとそれにつながるインプットシャフトを廃止してカップリングとプロペラシャフトを直付けすることで小型・軽量化（質量 34%低減）した。また、カップリング容量最適化に加えて、カップリングと ECM (Electronic Control Module) とを一对のペアにした制御電流値調整によってトルク補正することにより、トルクばらつきを従来比 68%低減させた (Fig.6)。

前述の 4WD 制御の狙いを Fig.7 の制御モデルに具現化した。前輪スリップ比やエンジン駆動トルク信号等をモニタして、エネルギーロス総和が最小化されるようにカップリング指令トルクを決定している。タイヤスリップ比推定やタイヤモデル推定のロジックを新規開発し、採用した。

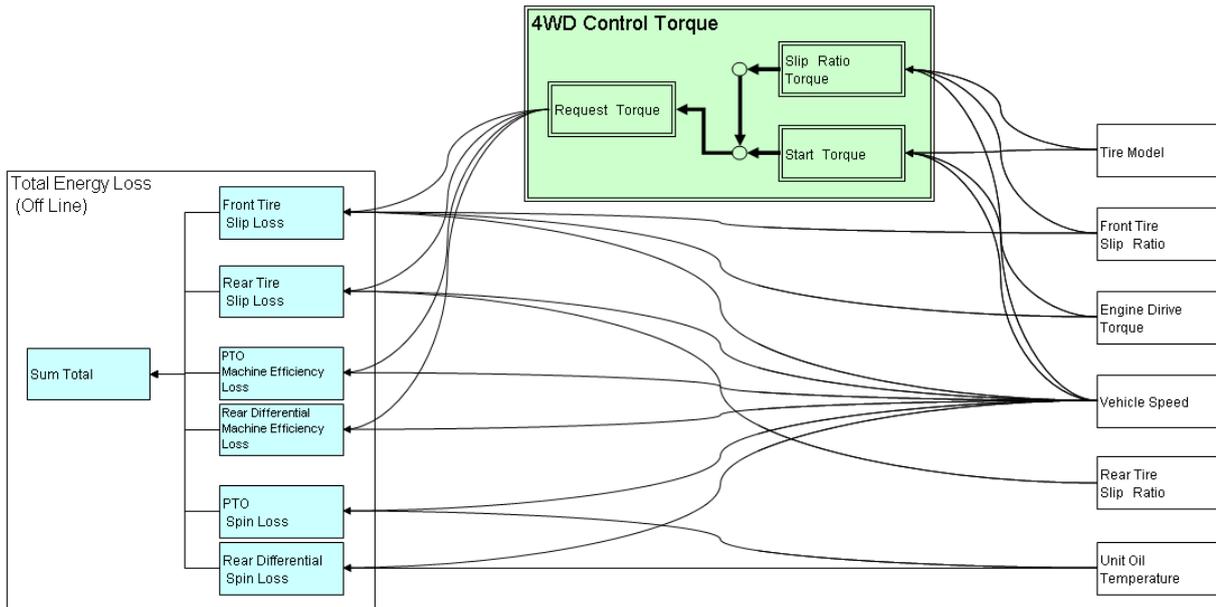


Fig.7 New 4WD Control Model

3.3 ユニット, コンポーネント

(1) PTO, リヤデフユニット

新開発の PTO, リヤデフユニットは, 駆動力マネジメントコンセプトを前提に, 必要な構成要素の最少化と, CAE (Computer Aided Engineering) による極限まで部品の縮小・薄肉・小容積化を行うことで, 従来システムに対して劇的な小型・軽量・高効率化を図った (Fig.8, 9)。

PTO ユニットは, 開発構想段階からエンジン・トランスミッションと一体で機能構成部品の最小化設計に取り組み, 入力軸上に方向変換ギヤを配置する 1 軸式のアドオン構造を採用した。また, 後輪駆動力の必要十分化による PTO ユニット発熱量の低減と, エンジンルーム内の風流れ解析による放熱特性向上により, 従来システムで採用していた強制水冷クーラを廃止した。ケース類においては, アルミダイカスト製法により無駄肉を排除した基本構造を採用するとともに, 効率的かつ効果的に CAE を活用することで求められる剛性・強度・シール性・NV (Noise and Vibration) 性能等の各機能要件を確保しつつ従来比 50%以上の薄肉化を達成し, ギヤ等の構成要素の最小化も併せてユニットトータルで従来システム比 55%減の軽量化を達成した。更に, ユニット内のオイル潤滑については, 樹脂製クリアケースによるオイル流れ可視化技術の活用によりオイル量低減・オイル攪拌抵抗低減, 更に 1 軸化や強制水冷クーラポンプ廃止の抵抗低減も加えて, ユニット損失トルクを従来システム比 28%低減した。

リヤデフユニットは, ファイナルリングギヤサイズは 135mm とし軽自動車並みの小型化を実現。デフキャリア・リヤカバー等のケース構造はサイドベアリング中央部での分割構造を採用した。ユニットトータル質量は従来比 46%低減し, クラス最軽量を達成した。更に, ユニット内オイル潤

滑については PTO ユニット同様に, CAE 解析と併せ樹脂製クリアケースによるオイル流れ可視化技術を活用し, オイル量低減・オイル攪拌抵抗低減を図った。その結果, ユニット損失トルクを従来システム比 34%低減した。

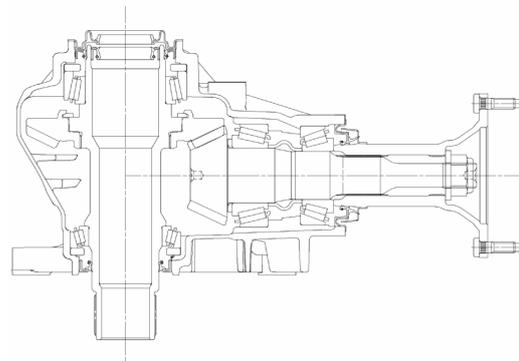


Fig.8 New PTO Unit

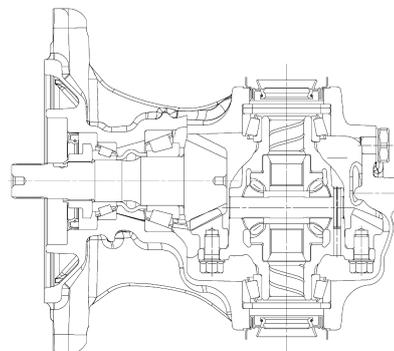


Fig.9 New Rear Differential Unit

(2) プロペラシャフト

プロペラシャフトにおいても、新しい駆動力マネジメントコンセプトに適合させることにより、従来システムと比較して大幅な小型化と軽量化、かつ、高効率化を図った (Fig.10)。基本構成は従来の3本(4ジョイント)構造から2本(3ジョイント)構造とすることで駆動力伝達のロスを低減すると同時に部品点数を減らし、更に、CAEを駆使して信頼性要求と車両全体でのNV性能を高次元で両立させる仕様を追求し、ジョイントなど各種構成部品の小型・軽量化(質量40%低減)を実現した。

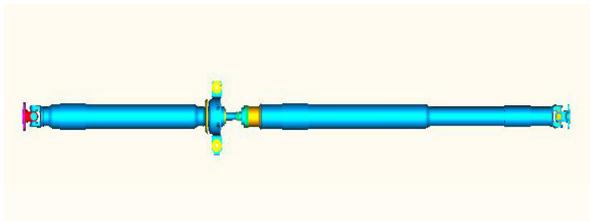


Fig.10 New Propeller Shaft

4. 4WDシステムの貢献

4WDシステムの理想の追求により、ベストインクラスの優れた4WD走破性能を発揮しながら、従来システム比のエネルギーロス大幅低減が実現した。まず、4WD走破性能をFig.11とFig.12に示す。CX-5は、前輪/後輪が人工氷路/コンクリート路である前後スプリット μ 登坂路において、市場要求に対して必要十分な登坂能力を有している。旋回登坂においても前輪スリップロスが小さいことで燃費性能に貢献していることに加えて、前輪の横滑りが抑えられて車両安定性も高められる。次に、実用燃費の社内モード走行時のエネルギーロスは、従来モデルCX-7から約80%低減できた (Fig.13)。これにより、社内モードで16%程度の実用燃費性能向上が見込める。

最後に、雪路緩加速中のエネルギーロスを Fig.14 に示す。CX-5 4WD は、2WD 車のように大きな前輪スリップロスを発生させることなく、後輪駆動力配分によってエネルギーロス総和を小さく抑えている。すなわち、雪路で2WD車よりも高い燃費性能を得られる4WD車CX-5を世に送り出すことができた。



Fig.11 4WD Driving Performance

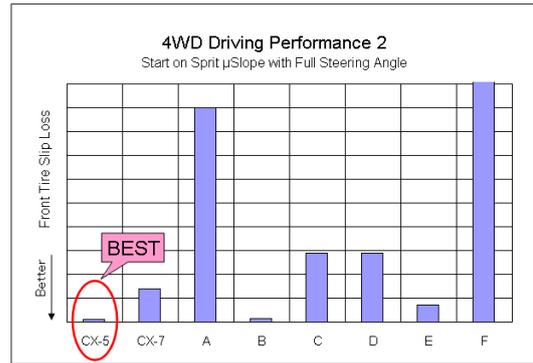


Fig.12 4WD Driving Performance with Full Steering Angle

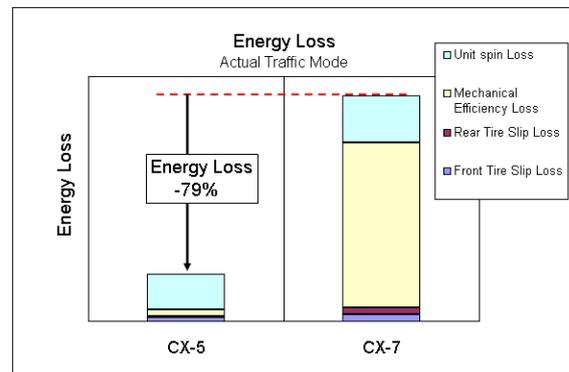


Fig.13 Total Energy Loss (Actual Traffic Mode)

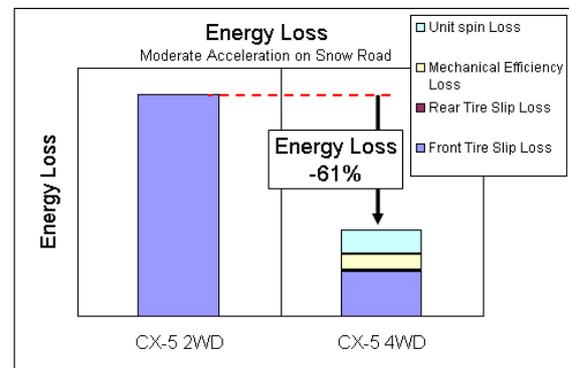


Fig.14 Total Energy Loss (with Winter Tire on Snow Road)

5. おわりに

新規採用した新世代 4WD システムについて、その概要を説明した。CX-5 は、全世界に展開するクロスオーバー SUV として、「ベストインクラスの走破性能を発揮する 4WD・・・なのに低燃費」と、ご満足いただけると自負している。

最後に、開発に多大な協力をいただいた関係各社の皆様に厚くお礼申し上げます。

■著者■



八木 康



三戸 英治



石田 一之



松室 義隆



沢崎 朝生