

MDX 用新骨格 6 速 AT の開発

Development of New Honda 6-speed Automatic Transmission for MDX

新堀 勇*
Isamu SHINBORI
高橋 徹*
Tooru TAKAHASHI

武藤 彰 男*
Akio MUTO
齋藤 吉 晴*
Yoshiharu SAITO

武生 裕 之*
Hiroyuki TAKEO
津幡 義 道*
Yoshimichi TSUBATA

要 旨

燃費向上、高効率、コンパクト化をねらいとして、MDX 用新骨格 6 速自動変速機(Automatic Transmission: AT)を開発した。トルク伝達効率の高い従来の Honda 製 AT 同様の平行軸構造を採用し、変速段の多段化、エンジン入力の高トルク対応をおこなった。その一方で、ギヤ列の共用化および入力軸への前後進切り替え構造の配置などをおこなうことで、2007 年モデル MDX 用 5 速 AT に対し全長を 18 mm 短縮した。また、トルクコンバータには別室多板ロックアップクラッチ(Lock-up Clutch: LC)構造を採用することで、LC 容量の向上および LC 制御領域の拡大が可能となり、新油圧制御システムの採用と合わせて 2007 年モデル MDX に対し、5%以上の燃費向上を達成しつつ、動力性能の向上とダイレクト感あふれる走りを実現した。

ABSTRACT

A new Honda 6-speed automatic transmission (AT) for the MDX has been developed with the aims of enhancing fuel economy, raising efficiency, and achieving greater compactness. The unit was built on a parallel-shaft structure similar to the previous Honda AT, which has high torque transmission efficiency. The new AT incorporated an additional gear stage and the ability to handle higher input torque from the engine. Meanwhile, providing for a common gear train and placement of the forward-reverse shift mechanism on the input shaft were performed. As a result of these and other measures, the overall length of the new transmission becomes 18 mm shorter than the 2007 model 5-speed AT for the MDX. A multi-plate lock-up clutch (LC) structure with a separate chamber in the torque converter was also adopted so that LC capacity could be increased and the LC control area expanded. In combination with the new hydraulic control system, this new configuration achieves a 5% or greater increase in fuel economy over that of the 2007 model year MDX while realizing greater power and driving performance with enhanced direct feeling.

1. まえがき

温室効果ガスの増加による地球温暖化は世界共通の課題であり、各産業分野において対策が求められている。自動車に対してはCO₂低減のため、燃費向上に対する要求が急速な高まりを見せており、早急な対応が必要である。その一方、商品性や走り感の向上も求められている。

Honda のトランスミッション領域での燃費向上への取り組みとしては、CVT⁽¹⁾、⁽²⁾および IMA⁽³⁾の適用、LC 領域の拡大などを中、小型車領域を中心におこなっている。今回新骨格として開発した 6 速 AT は、大型車領域での燃費向上をねらいとして開発をおこなった。

*四輪R&Dセンター

本 6 速 AT は燃費向上および全長短縮を達成し、同時に動力性能と走り感の向上を実現した。本稿ではこの新骨格 6 速 AT の開発のねらい、および主要技術について述べる。

2. 開発のねらい

低燃費化をおこなうには、走行時のエンジン回転数を低く抑えることで燃料消費量が減少することから、変速段の多段化がひとつの有効な手法である。従来の平行軸構造に変速クラッチと変速ギヤを追加した構造では全長の増加となり、車体フレームとのクリアランス低減による衝突安全性への影響と、車体搭載性の自由度低下が懸案となる。その

ため、多段化と全長短縮の両立が必要となる。

トランスミッションのトルク容量は、次世代エンジンの高トルク化を考慮し、骨格上限目標トルクを設定した上での設計が必要である。

また、燃費向上が求められる一方、自動車としての走り感、商品性の進化も必要となる。

上記を踏まえ、新骨格の 6 速 AT 開発に際して下記 3 項目を主要なねらいとした。

- (1) 変速段の多段化と全長短縮の両立
- (2) 次世代エンジン対応のための高トルク容量化
- (3) 燃費向上と走り感向上の両立

3. 基本構造と主要諸元

本 6 速 AT の主断面図を Fig. 1 に、車速線図を Fig. 2 に、外観図を Fig. 3 に示す。また主要諸元を Table 1 に示す。

フリクション特性に優れた従来の Honda 製 AT 同様の平行軸構造を採用した上で、(1) 2 速, 3 速, リバースギヤ列の共用化, (2) 4 速, 5 速, 6 速ギヤ列の共用化, (3) 従来カウンタシャフト上に配置していた前後進切り替え構造のサードシャフト配置, (4) カウンタシャフトおよびセカンダリシャフト締結構造のナット締結からボルト締結への変更, (5) 新エンジンブレーキ制御採用によるローホールドクラッチの廃止をおこなった。上記 5 点の採用により、多段化と同時に 18mm の全長短縮を達成した。

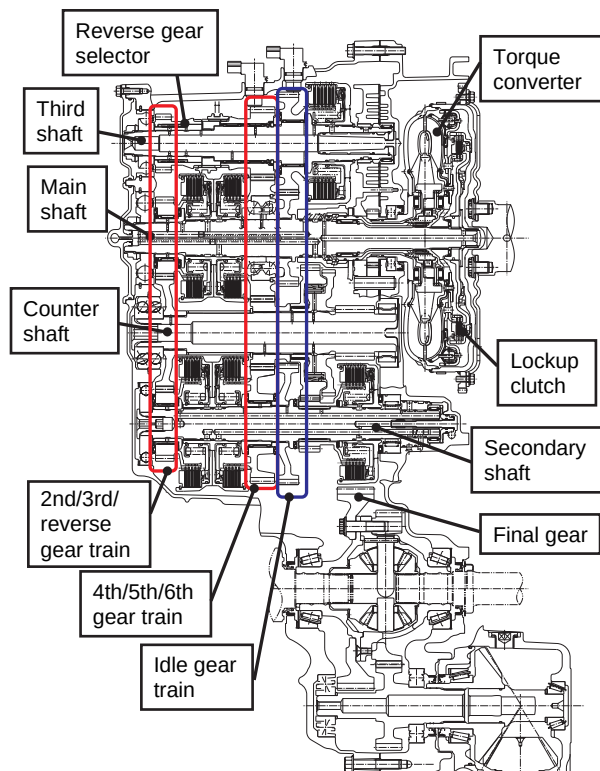


Fig. 1 Main section of Honda 6AT

Table 1 Specifications of 6AT

Transmission type		6-speed automatic
Torque capacity [Nm]		400
Ratios	1st	3.359
	2nd	2.094
	3rd	1.484
	4th	1.065
	5th	0.754
	6th	0.555
	Reverse	2.269
	Idle	1.282
Final		4.250
Ratio range		6.05
Overall length [mm]		375

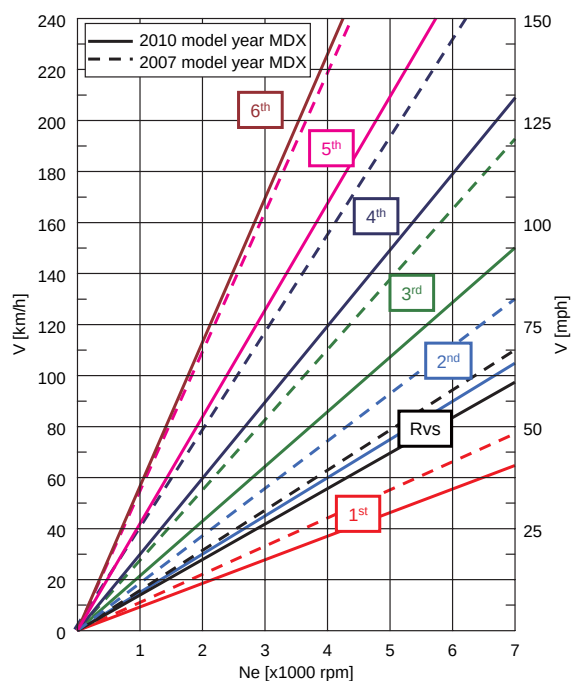


Fig. 2 Vehicle speed map

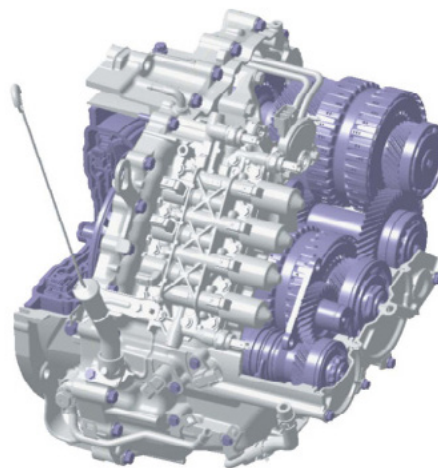


Fig. 3 Appearance of Honda 6AT

変速段の多段化に伴い、ギヤレシオのワイドレンジ化とローレシオ化が可能となった。2007年モデルMDXに対し、1速の17%ローレシオ化、最上段(6速)の3%ハイレシオ化をおこなった。このようなギヤレシオ設定とすることで、燃費向上と走り感の向上を両立した。

LCは薄型大径の湿式多板クラッチ⁽⁴⁾を配置することで、LC容量の向上およびLC制御領域の拡大⁽⁵⁾が可能となり、高トルク容量化と燃費向上を実現できた。

4. 主要技術

4.1. ギヤ、シャフトおよびケースの強度検討

CATIA V5 を用いて 3D フルモデルでの剛性解析をおこない、ギヤ、シャフトの倒れやベアリング荷重の精度の高い予測が可能となった⁽⁶⁾。この解析により、ケースと多軸噛み合い構造ギヤの仕様最適化による全長短縮およびギヤの噛み合い状態の改善がはかれた。

ギヤ、シャフト、ケースなどの動力伝達および支持部品をすべて 3D モデル化し、各部品のクリアランスなどを考慮した状態での最大エンジントルク入力時の剛性解析をおこなった。解析モデルを Fig. 4 に示す。ギヤの倒れ、シャフトのたわみなどが考慮された状態となり、ケース応力解析が実機に近い条件となるため発生応力の予測精度が上がり、開発のフロントローディングが可能となった。ケース応力解析結果を Fig. 5 に示す。

また、上記解析より求められたギヤおよびシャフトの倒れを考慮した状態でのギヤ歯面の面圧分布と歯元累積応力を求め⁽⁶⁾、単体ギヤテストを用いて得られた材料強度マップに照らし合わせることで各変速ギヤおよびファイナルギヤの強度を検証し、ギヤ耐久性予測をおこなった。同時にクルーズトルク入力時の歯当たり状態を同様の手法を用いて求めることで、ギヤ音への影響予測もおこなった。Fig. 6 にファイナルギヤの面圧分布を示す。Fig. 6(a) は歯形修正前におけるフルトルク伝達時の全変速段累積面圧分布を示す。

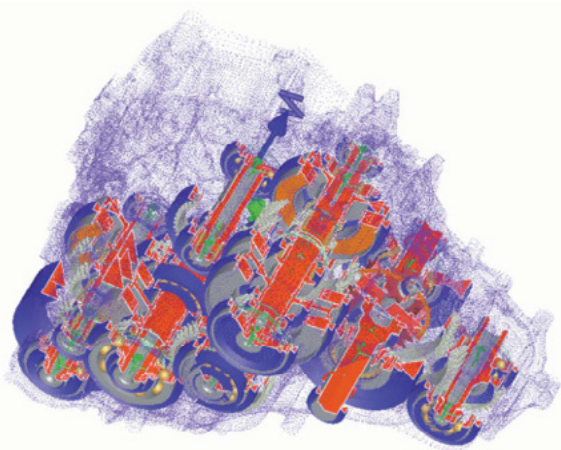


Fig. 4 Analysis model

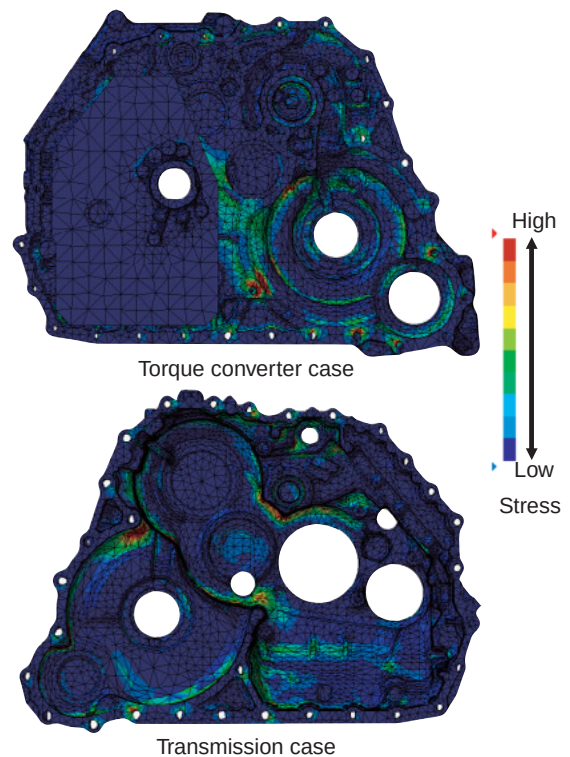


Fig. 5 Stress analysis result for cases

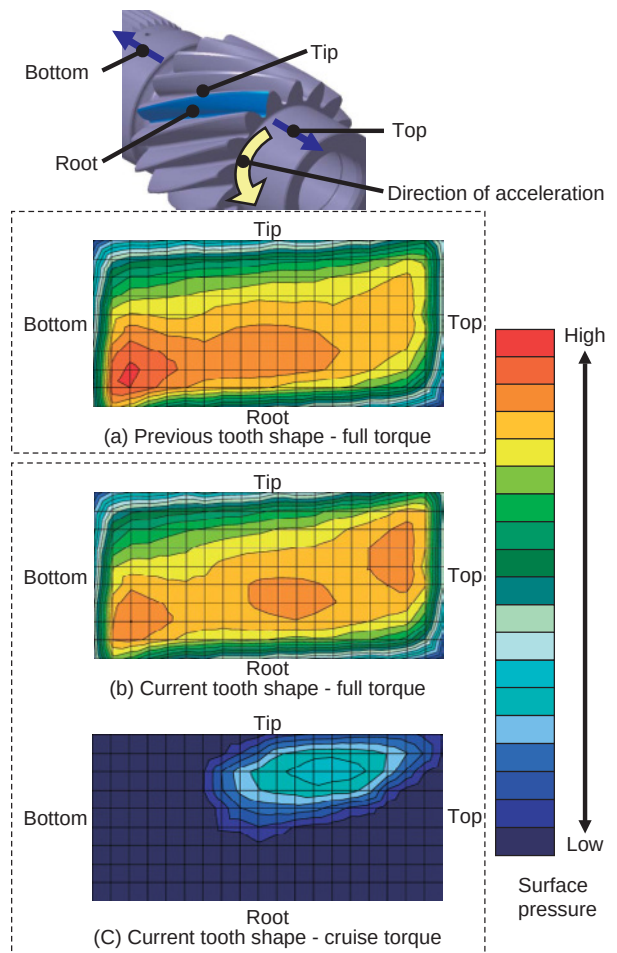


Fig. 6 Pressure map of final gear

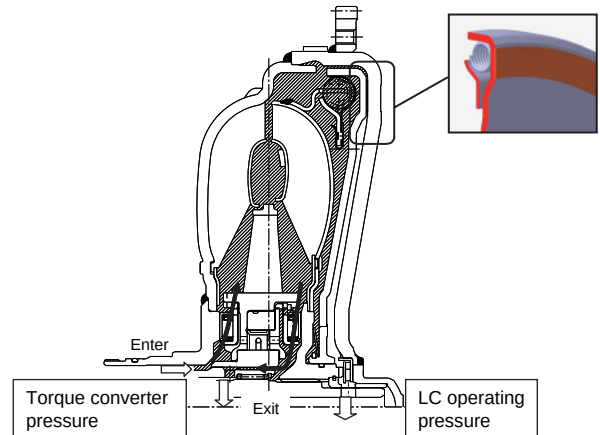
歯面の偏った箇所に面圧が集中し、ピーク面圧も高い位置付けとなっている。Fig. 6(b) は、上記解析結果を考慮し、歯形を修正した状態でのフルトルク伝達時の全変速段累積面圧分布を示す。歯幅全体に面圧を分散させることで局所的な面圧集中はなく、ピーク面圧も低減しており、耐久性の向上した歯形設定であることがわかる。また、Fig. 6(c) は歯形を修正した状態での 6 速クルーズトルク伝達時の面圧分布を示す。耐久性を考慮した歯形であると同時に、常用域での噛合い状態が点当たりではないことがわかる。Fig. 7 にファイナルギヤの NV 測定結果を示す。フルトルク伝達時およびクルーズトルク伝達時の歯当たり状態を予測した歯形形状での NV 測定結果において、目標値を満足する結果が得られた。

4.2. 多板ロックアップクラッチ

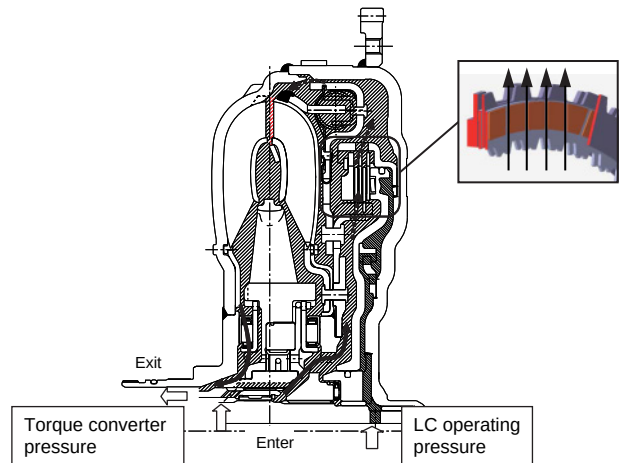
エンジン入力の高トルク化に対応するため、別室多板構造のロックアップクラッチを採用した。2007 年モデル MDX 用および本 6 速 AT のトルクコンバータの LC 係合時におけるオイル流れを Fig. 8 に示す⁽⁵⁾。従来方式の単板 LC に対し、係合面積拡大のため変速クラッチと同構造の湿式多板構造とした。また、多板化に際し、スペース確保のためトルクコンバータの扁平率を 2007 年モデル MDX の 65% に対し、51% までさらに扁平化をおこなった。単板 LC がトルクコンバータ内圧のみの調圧で LC 制御をおこなうのに対し、多板 LC ではトルクコンバータ内圧を一定に調圧し、変速クラッチ同様にピストン背圧を調圧することで LC 容量制御をおこなう。

従来の単板 LC 構造では、LC 係合時の LC フェーシング冷却はトルクコンバータ内を流れるオイルでおこなうことができなかった。しかし、新しい LC 制御手法と潤滑溝付の LC フェーシング形状をした多板 LC 構造を採用することで、トルクコンバータ内を流れるオイルによる LC ディスクの冷却が可能となり、LC の冷却性および許容発熱量が向上し、スロットル全開領域などの過渡状態でも LC を係

合することが可能となった。Fig. 9 にロックアップクラッチの作動領域を示す⁽⁵⁾。スロットル高開度、低車速領域の LC 作動領域を拡大することで、燃費向上とダイレクト感あふれる走りを実現した。



(a) 2007 model year MDX



(b) 2010 model year MDX

Fig. 8 Structure of torque converter

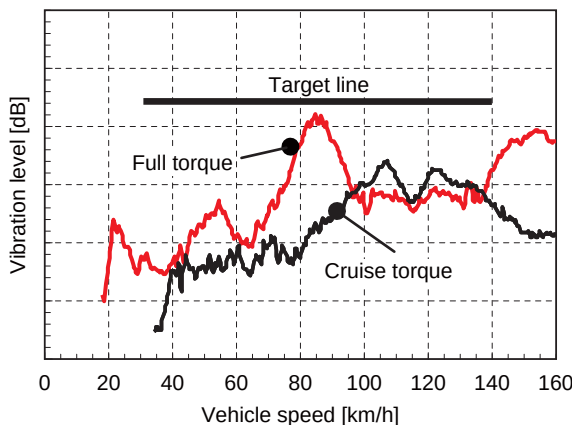


Fig. 7 Final gear NV

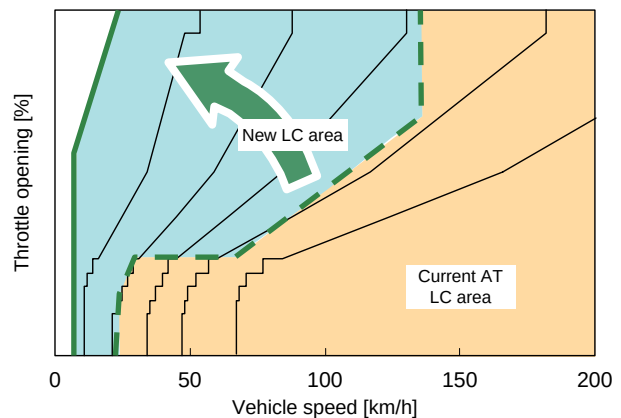


Fig. 9 Lock-up clutch map

4.3. フリクション低減油圧回路

燃費向上と信頼性向上を目的として、新しい油圧制御回路を採用した。本6速ATの油圧制御回路をFig. 10に示す。

2007年モデルMDXではライン圧一定調圧、Dレンジでの潤滑圧ON/OFF制御、P、R、Nレンジでの潤滑カットをおこなっていた。本6速ATでは、ライン圧Hi/Lo 2ステージ切り替え制御によるオイルポンプ負荷低減、潤滑圧調圧による安定潤滑供給、P、R、Nレンジ時の潤滑制御、チョークによる低温時潤滑量制限をおこなっている。これにより高負荷時のメカ部品の耐久保証と、低負荷時のオイルポンプ負荷低減および潤滑油によるクラッチフリクション低減による燃費向上とを両立している。

4.4. モジュール構造バルブボデー

小型化、品質と性能の向上およびメンテナンス性の向上を目的として、電装デバイスのモジュール化をおこなった。

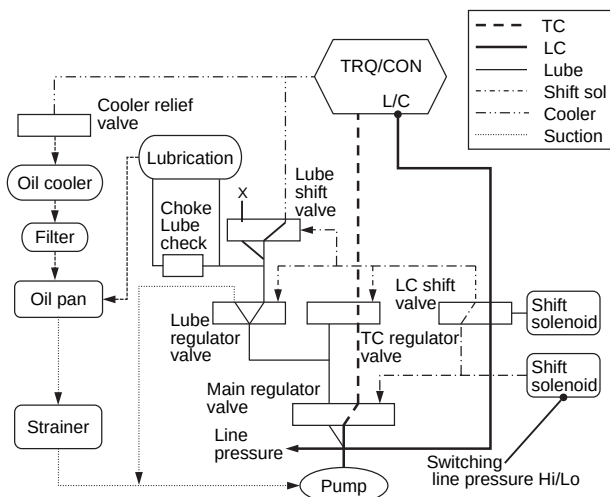


Fig. 10 Hydraulic circuit

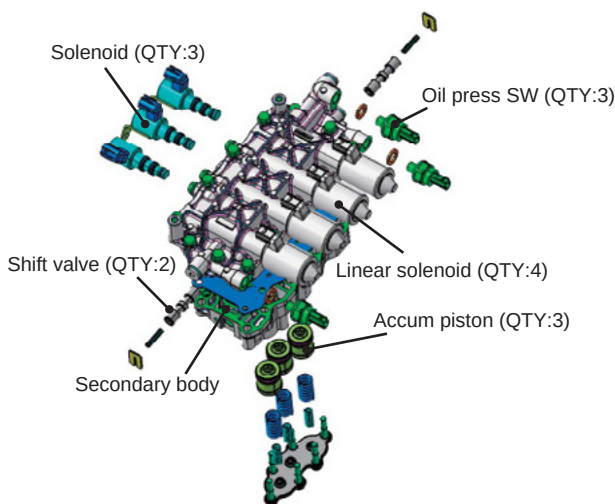


Fig. 11 Secondary valve body assembly

Fig. 11にモジュール構造バルブボデー(セカンダリバルブボデー)を示す。リニアソレノイドおよびシフトソレノイドを集約したボデーと、アキュムピストンを含むバルブボデーの背面合わせ構造となっている。

2007年モデルMDXではリニアソレノイド単体でのクラッチ圧調圧をおこなっていたが、このようなモジュール構造とすることで、シフトバルブやアキュムピストンなどの油圧回路構成部品を組み込んだ状態での調圧と油圧保証が可能となり、より高精度なクラッチ圧保証が可能となった。Fig. 12にモジュール状態でのリニアソレノイド調圧方法を示す。セカンダリボデーのライン圧油路より元圧を供給し、所定電流をリニアソレノイドに印加した状態で、出力油路の油圧が規定値になるまでアジャストキャップを圧入し、スプリングセット荷重を調整する。このような調圧をおこなうことにより、クラッチ圧精度が向上し、変速ショックを低減することができた。

4.5. 潤滑オイルマネジメント

フリクション低減とエアレーション抑止による冷却効率向上および飛沫オイルの利用によるギヤ歯面潤滑をおこなうため、樹脂一体成形によるバッフルプレートをケース内に設置している。Fig. 13にバッフルプレートを、Fig. 14に組付け状態および潤滑オイルの流れを示す。

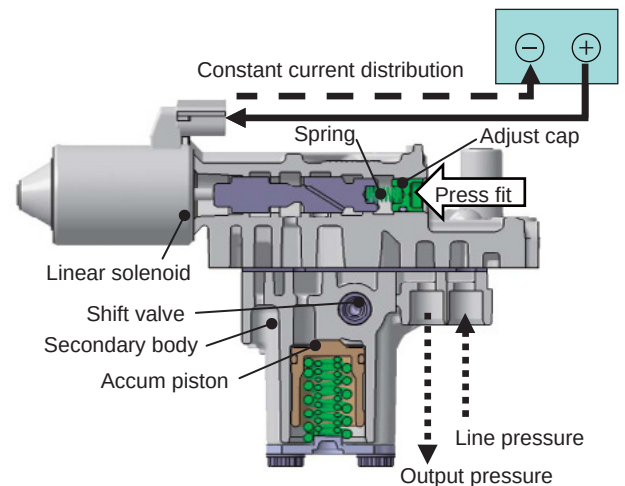


Fig. 12 Linear solenoid pressure regulation method

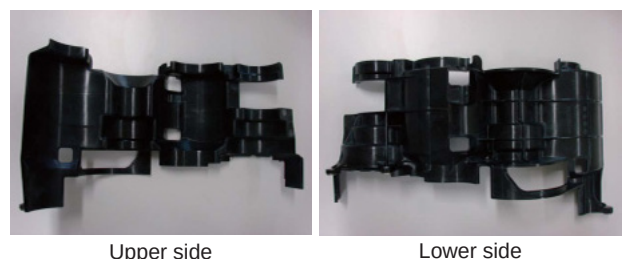


Fig. 13 Baffle plate

主要シャフトの下面側を覆うようにバッフルプレートを設置し、ケースのリップをデファレンシャルまわりに設置することで、ケース内をメカ室、デファレンシャル室、ストレーナ室の 3 室に分離している。このような配置により、シャフトからクラッチ、ギヤ、ベアリングに供給される潤滑オイルが直接ストレーナ周辺の油面をたたきつけることを防止し、オイルのエア噛みを抑制する効果が得られた。また、各変速ギヤに沿った形状とすることで、バッフルプレート上を流れるオイルによる歯面潤滑が可能となり、ギヤ耐久性向上に寄与している。

バッフルプレートに潤滑オイル供給穴を設け、デファレンシャル潤滑供給やストレーナ吸口周辺部への潤滑オイル戻しをおこなうことで、駆動時の油面最適化および変速ギヤによる攪拌抵抗を低減することが可能となった。

4.6. 新エンジンブレーキ制御

AT車でエンジンブレーキをおこなう際、シフトレバーを操作し、Lレンジにシフト変更をおこなうことで、ATの駆動ギヤは1速に固定される。1速ギヤ下にワンウェイクラッチを有するATで1速に駆動ギヤを固定する際、減速時はワンウェイクラッチが空転してしまうため、ローホールドクラッチを係合し、1速ギヤを固定する必要がある。

本6速ATでは、ギヤレシオ設定およびエンジンブレーキ時の変速およびLC制御をおこなうことで、ローホールドクラッチを廃止することが可能となった。Lレンジでの

新エンジンブレーキ制御内容を Fig. 15 に、2007 年モデル MDX との減速駆動力比較を Fig. 16 に示す。

新エンジンブレーキ制御ではLレンジ走行時、低車速状態では1速で走行し、高車速時は2速へ変速をおこなう。また、加速駆動力が必要となる状態においては2速から1速へのキックダウンをおこなう。降坂時またはアクセルペダル全閉時など、エンジンブレーキが必要となる状態においては、2速駆動に固定することでワンウェイクラッチの空転を回避した。減速時の駆動力を確保するため、2速ギヤレシオを2007年モデルMDXに対し、22%ローレシオ化した。また、多板LC化により減速時のLC係合が可能となり、LCを係合していない状態に対し、7%減速駆動力が増加した。2速ギヤレシオのローレシオ化およびLCを係合することで、ローホールド無しでも2速駆動での最適な減速駆動力設定とすることができた。また、従来のLレンジ降坂時、車速の高い状態を維持しようとする、アクセル操作および1速 - 2速間の手動切替え操作を頻繁におこなう必要がある。それに対し、本6速ATの2速ギヤレシオは車速に対しリニアな減速駆動力設定となっており、頻繁なアクセル操作および手動切り替え操作が不要であるためドライバビリティが向上している。

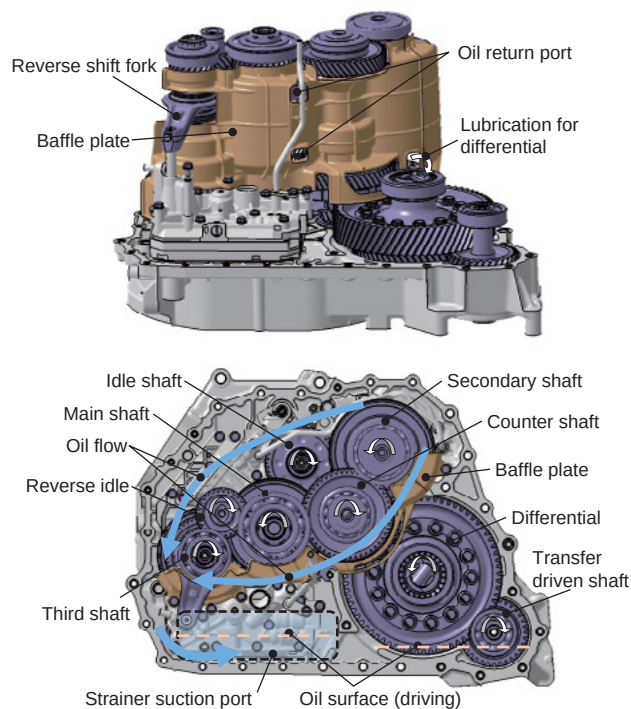


Fig. 14 Assembled baffle plate

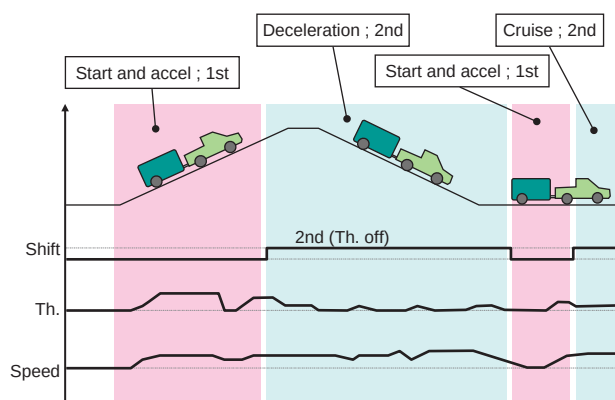


Fig. 15 New engine brake control

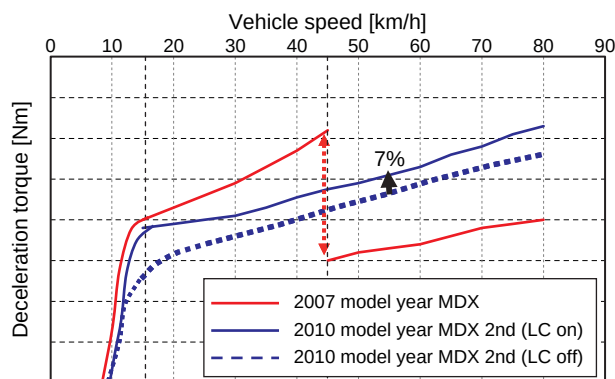


Fig. 16 Deceleration torque

Table 2 New control of mode protection targets

Mode protection target	Protection items	Control	Control target
In-P on ice by mistake	Parking	Speed limit	FI coordination (F/C)
Normal drive	Clutch	Shift limit	AT (shift)
	LC	Slip ratio limit	AT (LC)

4.7. 保護制御

本6速 AT ではユーザのミスユース(ハード保護)に対する保護制御領域を従来 AT 車に対し拡大した。従来 AT 車と同等もしくは改良をして適用している保護制御内容は、前後進切替機構保護のため高回転状態でのインギヤ、後進中の前進切替操作、氷上での前後進切替操作時のトルク制限、車速制限、変速制限、また、連続ストール時の ATF 温度上昇抑制のためのストールトルク制限が挙げられる。

Table 2 に本6速 AT で新しく適用した保護対象モードの制御概要を示す。雪上スタック状態から脱出しようとして前後進切替操作をおこなう際、雪上で駆動輪がスリップしたまま誤ってPレンジへ投入してしまう場合を想定し、パーキングギヤおよびパーキングブレーキポール保護のため駆動輪回転速度制限をおこなっている。また、LCおよび変速クラッチの発熱量抑制のため、新規保護制御を適用している。それぞれ ECU にて発熱量を予測し、保護制御適用可否を判断している。通常のLC制御時は平坦路走行、低回転かつスロットル高開度状態およびキックダウン前のスリップ制御領域の過渡使用領域においては、その他の領域に対し高めの目標発熱量を設定している。しかし、一定時間以上連続して目標発熱量に到達した場合、その他の領域と同様の目標発熱量へと目標値の持ち替えをおこなう。それでもなお、高発熱状態が継続する場合は LC の係合を解除する。また、変速クラッチ保護については、クラッチプレート温度上昇抑制のため変速ディレイ制御などを適用している。これらの保護制御を実車で検証した結果、過剰な制御介入は発生せず、通常の使い勝手への影響がないことが確認できた。

5. 燃費と動力性能

5.1. フリクションと伝達効率

各クラッチの必要伝達トルクに応じたライン圧の Hi/Lo 2 ステージ切替制御や、樹脂一体成形パッフルプレートおよびケース形状を用いたオイル攪拌抵抗低減をおこなうことにより、2007 年モデル MDX に対し車速 100 km/h において、20%のフリクショントルクを低減した。Fig. 17 にフリクショントルクを示す。

また、フリクショントルクの低減に加え、ギヤ倒れを考

慮したギヤの歯当りの適正化をおこなうことで、クルーズ走行時のトルク伝達効率を 0.7%向上させることが可能となった。Fig. 18にクルーズ走行時のトルク伝達効率を示す。

5.2. 燃費

変速ギヤの多段化、多板 LC 採用による LC 領域の拡大、フリクショントルクの低減、およびトルク伝達効率の向上をおこなうことで、2007 年モデル MDX に対し、燃費を 5 %以上向上させることが可能となった。各モードでの2007 年モデル MDX に対する燃費向上率を Fig. 19 に、US コンパインモードでの燃費向上効果の内訳を Fig. 20 に示す。

Fig. 19 の (a) は現行モード、(b) は 2012 年より適用予定の新モードでの燃費向上率を示す。現行モードおよび新モードともに 5 %以上の燃費向上を達成した。特に新モードは実用に近い測定条件であることから、実用燃費も向上していることがわかる。

燃費向上に寄与している要因としては、トルク伝達効率向上、LC領域の拡大、変速ギヤの多段化などが挙げられる。トルク伝達効率向上については、全モードで燃費向上に寄与している。LC領域の拡大については、加減速の少ないハ

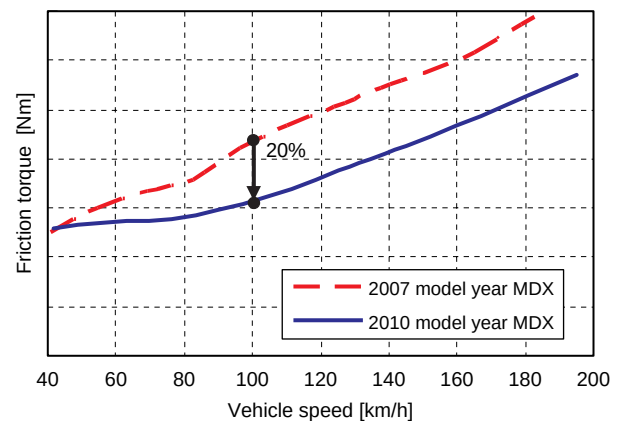


Fig. 17 Friction torque

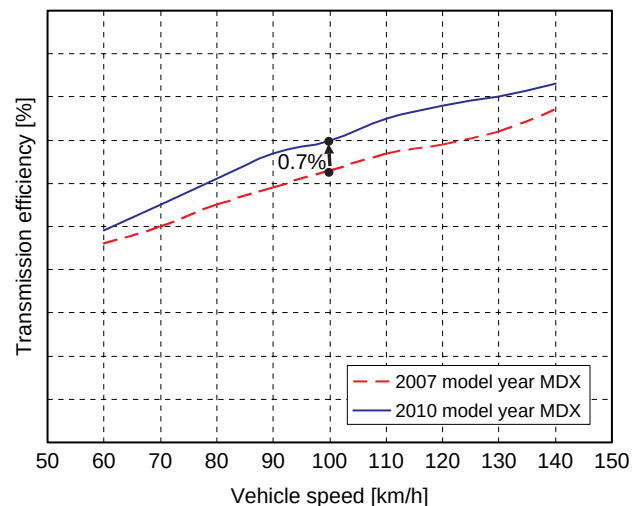


Fig. 18 Transmission efficiency

イウェイモードにおいては貢献度は少ないが、その他のモードにおいては加減速および低温時の LC 領域拡大による燃費向上が確認できた。また、変速ギヤの多段化による入力エンジン回転数の低減とフューエルカット時間延長による燃費向上効果が確認できた。

5.3. 動力性能

2007 年モデル MDX に対し、低変速段ギヤのローレシオ化および LC 直結領域の拡大をおこなうことで、全開加速時の 0 mph から 60 mph に達するまでの時間を 0.8 秒、50 mph から 70 mph に達するまでの時間を 0.9 秒短縮することが可能となった。また、LC 直結領域拡大により、マニュアルトランスミッション車のようなダイレクト感あふれる走りを実現できた。

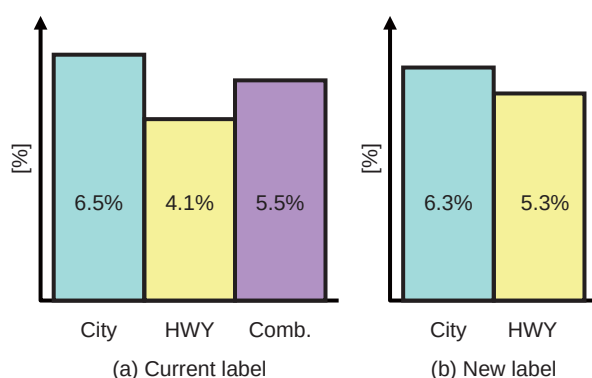


Fig. 19 Fuel economy enhancement

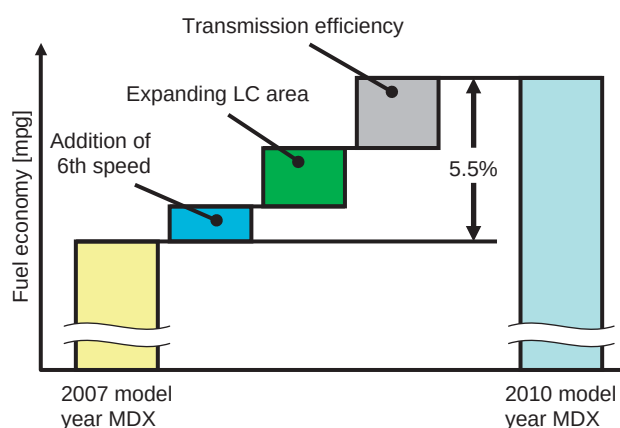


Fig. 20 Detail of fuel economy enhancement

6. まとめ

燃費向上、高効率、コンパクト化をねらいとし、新骨格の 6 速 AT を開発し、以下の結果を得た。

- (1) 変速ギヤ列の共用化、アイドルギヤの別軸配置、前後進切替構造のサードシャフト配置、ボルト型シャフト締結構造の適用、および新エンジンブレーキ制御採用によるローホールドクラッチの廃止をおこなうことで、

多段化および高トルク容量化と同時に 18 mm の全長短縮を達成した。

- (2) 多板 LC 採用による LC 領域の拡大、新油圧制御の採用および潤滑オイルマネージメントによる攪拌抵抗低減をおこなうことで、5 % 以上の燃費向上を達成した。
- (3) 燃費向上を達成しつつ、ギヤレシオのワイドレンジ化、ローレシオ化および LC 直結領域拡大により、動力性能の向上とダイレクト感あふれる走りを実現することができた。

参考文献

- (1) 佐藤洋一, 浦野純司, 大橋章人, 佐久間信次, 山口正明: 新型 Odyssey 用 CVT の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.16, No.2, p.87-94
- (2) 山口正明, 大瀧光郎, 伊藤敬介, 荏澤英夫, 戸塚博彦: 新型 FIT 用トルクコンバータ付き CVT の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.20, No.2, p.11-16
- (3) 福田俊彦, 江口高弘: 新型インサイト燃費向上技術, Honda R&D Technical Review, Vol.21, No.1, p.83-89
- (4) 安部浩也, 高橋徹, 鶴岡政昭, 高野博: 多板ロックアップクラッチ式超々扁平トルクコンバータ, Honda R&D Technical Review, Vol.21, No.1, p.107-112
- (5) 武井寛, 石川豊, 齋藤吉晴, 津幡義道: ロックアップクラッチのファイン制御, Honda R&D Technical Review, Vol.21, No.2, p.141-146
- (6) 館野義和, 古居芳臣, 法田和宏: トランスミッション用外歯車のかみあいミスアライメント予測技術の研究, Honda R&D Technical Review, Vol.19, No.2, p.104-109

著者



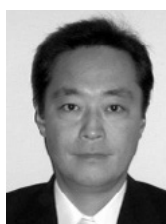
新堀 勇



武藤 彰男



武生 裕之



高橋 徹



齋藤 吉晴



津幡 義道