

LIFE 用新コンパクト 4 速自動変速機の開発

Development of New Compact 4-speed Automatic Transmission for Honda LIFE

内 田 代志春*
Yoshiharu UCHIDA

丸 山 徹 郎*
Tetsurou MARUYAMA

宮 本 修 秀*
Osahide MIYAMOTO

酒 井 和 明*
Kazuaki SAKAI

大 谷 哲 也*
Tetsuya OTANI
谷 本 誠 司*
Seiji TANIMOTO

要 旨

次世代コンパクトクラス向けとして新規に電子制御 4 速自動変速機を開発し、新型 LIFE へ搭載した。この 4 速自動変速機は、4 速段・ロックアップ機構を追加しながらも、平行 3 軸式構造とし偏平トルクコンバータやサイドカバーを省略したケース構成を採用し、制御システムの集約化をおこなう事で、クラス最短となる全長 334mm のコンパクトさを達成した。同時にロックアップ制御にアクティブロックアップ II を採用した事により、ドライバビリティを損なう事なくロックアップ制御領域を大幅に拡大した。この制御領域の拡大は、4 速化および各部のフリクションを 30% 低減した効果と合わせ、燃費向上に大きく貢献した。

更に、リニアソレノイドによるクラッチ圧ダイレクト制御・アイドルギヤ列を各軸中央配置する構造や登降坂制御を採用する事などで、高品位かつ品質安定性に優れた変速商品性・静粛性およびドライバビリティの向上を実現した。

ABSTRACT

A new electronically controlled 4-speed automatic transmission has been developed for use in next-generation compact class vehicles and employed in the new Honda LIFE. In addition to new fourth gear shift and lock-up mechanisms, the new AT features a parallel triple-shaft structure with a squashed torque converter and a case with no side cover, and the control system components are also concentrated. These have made the unit more compact, the shortest in its class at 334 mm in overall length. The employment of Active Lock-up II to provide lock-up control has significantly increased the lock-up control area with no loss of drivability. In combination with the addition of a fourth gear and the reduction of friction by 30%, this expansion of the control area has contributed significantly to improved fuel economy.

In addition, the employment of direct control of clutch hydraulic pressure using a linear solenoid, center positioning of idler gear trains on each shaft and climbing and descending control, among a variety of other technologies, has resulted in a smooth and very stable shift feeling, superb quietness and improved drivability.

1. はじめに

当社は 1986 年モデル TODAY のオーバードライブ付きホンダマチックで軽乗用車市場に再参入し、1988 年モデル TODAY のフルモデルチェンジにて、平行 2 軸式油圧制御 3 速自動変速機(以下 3AT)を設定した。これ以降、このクラスでは 3AT を採用してきたが、近年の更なる環境保護・省資源化ニーズに応えるべく、また 2004 年モデル LIFE のフルモデルチェンジに合わせ、新型 LIFE の開発コンセプトを具現化するため、自動変速機としては、4 速化および電子制御化をおこなった。この電子制御 4 速自動変速機(以下新 4AT)は、次世代コンパクトクラス向けとして、その基本

骨格から全てを新規に開発したものである。

ここでは、この新 4AT に採用された主要技術を中心に紹介する。

2. 開発のねらい

「次世代コンパクト AT」としての新 4AT 開発において、その開発目標を「コンパクト」・「低燃費」・「クラスを超えた商品性」に設定した。これらを具現化するため、次に挙げる 3 項目を開発のねらいとした。

(1) 衝突安全性能の確保とキャビンスペースの拡大を両立させる、AT 全長・前後長のコンパクト化

* 栃木研究所

- (2) クラストップレベルの低燃費性能を実現させる, 3AT 同等のフリクション値達成とロックアップ制御領域の拡大
- (3) 高速道路・郊外路も含めて快適な走行性能を実現する, スモールクラス同等の変速商品性と静粛性の達成

3. 基本諸元と基本構造

Fig. 1 に新 4AT の主断面図を, Table 1 に主要諸元を示す.

新 4AT は Fig. 1 に示した様に, 1 速段にワンウェイクラッチを配した平行 3 軸式 4AT とし, 3 速ギヤ列とアイドルギヤ列を共用する構造とした.

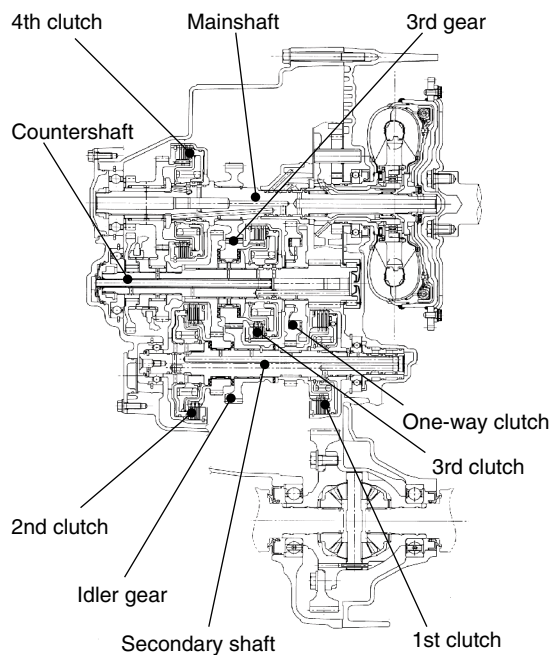


Fig. 1 Cross-section view of newly developed 4AT

Table 1 Transmission specifications

		Newly developed 4AT		Previous 3AT	
Engine specifications	Displacement (Type)	660cm ³ (NA)	660cm ³ (Turbo)	660cm ³ (NA)	660cm ³ (Turbo)
Dimensions (mm)	Overall length	334	334	328	347
Axis center distance (mm)	M/shaft ~ C/shaft	80	80	77	77
	C/shaft ~ S/shaft	80	80	—	—
	C/shaft ~ Differential	110	110	110	110
Torque converter	Diameter of flow path	φ190	φ190	—	—
	Lock-up clutch	Yes	Yes	—	—
Overall gear ratio	1st	15.282	13.448	15.341	13.975
	2nd	8.487	7.702	8.047	7.654
	3rd	5.358	4.938	4.940	4.483
	4th	4.068	3.488	—	—
	Rvs	9.997	8.792	10.873	10.873

Note: M/shaft: mainshaft, C/shaft: countershaft, S/shaft: secondary shaft

また 4.3.1 節で後述する様に, 自然吸気仕様エンジン(以下 NA エンジン)車でのロックアップ機構採用を前提としたため, これを基本とする構造・制御システムを全バリエーションで採用した. これにより基本構造を踏襲したまま, 660cm³ NA エンジンから 660cm³ ターボチャージャー付きエンジンまで対応できる構成としている.

4. 主要な技術と結果

4.1. コンパクト構造

コンパクト化の目標に対しては, ギヤ音の静粛性向上と両立させるため, 平行 3 軸式レイアウトを採用し 4.4.3 節で後述する様に, 3 速ギヤ列と共用化したアイドルギヤ列を, 各軸中央に配置する構造とした.

全長短縮に関してはトルクコンバータを偏平タイプに設定したほか, サイドカバーを省略したケース構成とした. また, 前後長短縮に関しては, デファレンシャル軸をエンジンセンタ下側に潜り込ませるレイアウトとした. 合せて, 4.4.1 節で後述の制御システムの集約化もおこなった.

4.1.1. 偏平トルクコンバータ

新 4AT の「コンパクト」目標を具現化するため, 限られたスペースにトルクコンバータトラス断面とロックアップ機構を配する必要がある, トルクコンバータの偏平化は必須課題であった.

トラス断面の偏平化は, 内部循環するオイルの剥離現象を発生させ, トルク比と容量特性が低下し, 発進性能や燃費及び冷却性能に影響を及ぼす事が知られている⁽¹⁾.

上記懸案に対し, 一次元角運動量理論を基本とした独自開発の設計パラメータの最適化手法⁽²⁾及び標準 $k-\epsilon$ モデルによる三次元粘性数値流体計算⁽³⁾を活用する事でポンプ及びタービンプレードの最適化をおこなった.

Fig. 2 は偏平率 92% の従来トルクコンバータと偏平率 81% の新開発トルクコンバータでの, 乱流エネルギー計算結果である. Fig. 2 に示す様に, 新開発トルクコンバータは, 流体損失の大きさを表現する乱流エネルギーの分布が, 従来品と同等である事が確認された.

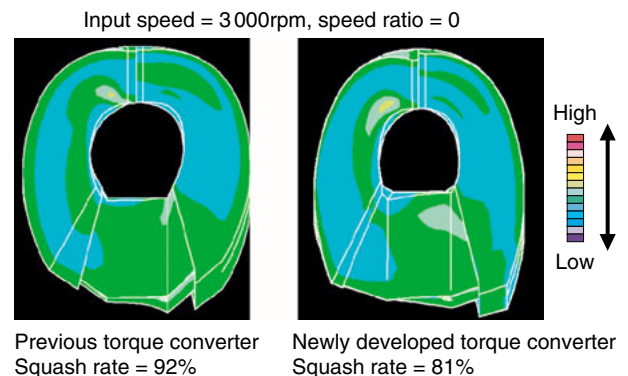


Fig. 2 Results of calculation of kinematic turbulence energy

以上の手法により Fig. 3 に示す従来比-6 mm の流路幅短縮を実現させつつ、性能は従来品同等の高ストールトルク比 = 2.5 を達成し、更には速度比 0.3 - 0.7 の領域において従来品以上のトルク比特性を達成した。

4.1.2. サイドカバーを省略したケース構成

(1)全長短縮 AT 全長に関しては、新型 LIFE のエンジンルームに搭載するために、350mm以下とする必要があった。

これに対し、従来の一般的なサイドカバーを有する構成では、サイドカバーに必要な締結剛性や膜面剛性を確保しようすると目標値を超えてしまう。また、シャフト支持ベアリングのハウジング間に生じる応力が、強度目標値を超える事も予測された。

このため Fig. 4 に示す様に、サイドカバーの機能をトランスミッションケースに持たせ、サイドカバーを省略したケース構成を採用した。この結果、全長は目標値以下とする事ができ、上記の高応力部位についても、当該部の断面積確保と周辺剛性の確保により、応力を当初予測に対し52%低

減する事ができた。Fig. 5 にトランスミッションケースのCAE 解析結果を示す。

(2)前後長短縮 新型 LIFE のロングルームパッケージを具現化するため、前後長短縮をねらい、デファレンシャル軸をエンジンセンタ下側に配置するレイアウトを採用した。

本レイアウトでは Fig. 6 に示す様に、ファイナルギヤ噛み合い反力が従来の下方向に対し、前方向のトランスミッションケース膜面へ入力される事が懸案となった。

新 4AT では、Automatic Transmission Fluid(ATF) ストレーナの配置により、ケース膜面剛性の確保が困難であったため、Fig. 7 に示す様にファイナルギヤ反力ベクトル上に、ボルトとノックピンを配置するセンタボルト方式を採用した。これによりATF ストレーナ手前で反力を受け、それ以降のケース肉厚を鋳造必要肉厚まで薄肉化する事ができた。

この結果、重量増加を伴う事なく、パワートレイン前後長を短縮する事が可能となった。

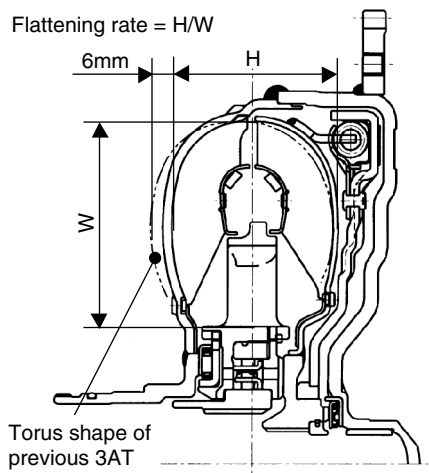


Fig. 3 Cross-section view of newly developed torque converter

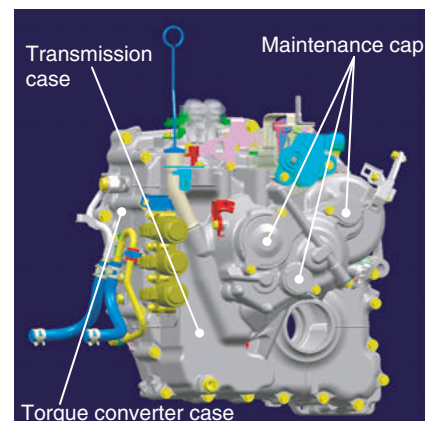


Fig. 4 Newly developed 4AT with side cover-less housing

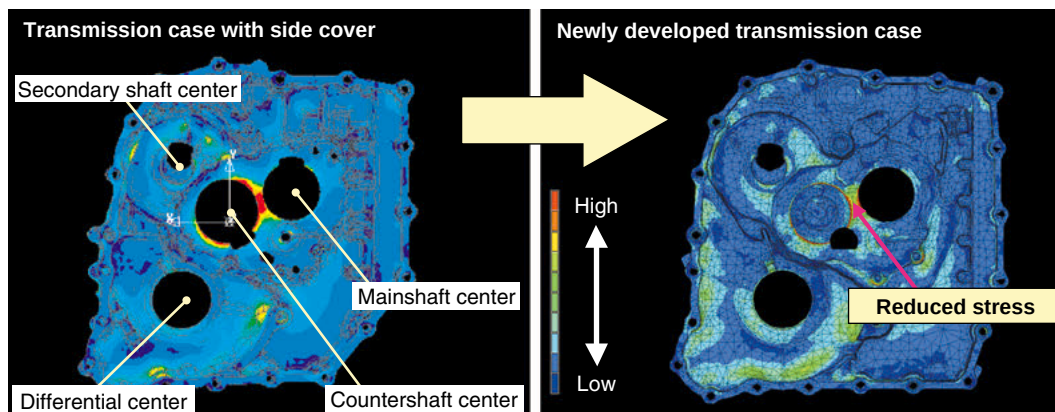


Fig. 5 Results of CAE analysis of newly developed transmission case

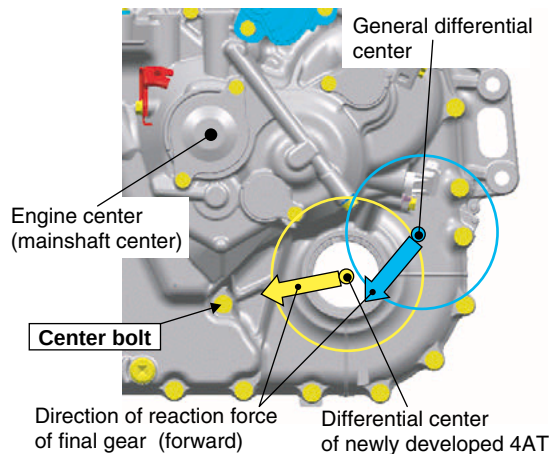


Fig. 6 Direction of reaction force

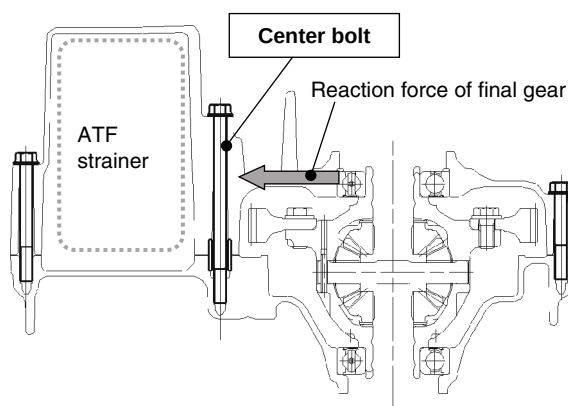


Fig. 7 Center bolt layout

以上により、全長は構成要素を追加しながら334mm、前後方向はエンジンとATを合せたパワートレイン前後長を480mmとし、いずれもこのクラス最短値を達成した。

4.2. フリクション低減

軽自動車クラスでは高回転域の使用頻度が高いことから、フリクション低減の燃費向上への寄与度が大きくなる。このことから、新4ATはクラストップレベルの燃費目標値を具現化するため、4ATながら3ATと同等のフリクション値を達成する事を目標に開発をおこなった。

4.2.1. オイルポンプ損失低減

新4ATでは、電子制御化による電子デバイス追加のため、オイルポンプの要求吐出容量が3ATより大きくなり、オイルポンプ損失も大きくなる。そこで、容量不足が最も顕著にでる高温低回転時の油圧低下を防ぐために、制御バルブ径の小径化・アルミバルブの採用・バルブボデーボルト締め付け時の面圧分布改善をおこない、3AT+15%の容量増に抑える事ができた。

また、オイルポンプドライブギヤ端面に、加工溝を追加した事と、研摩工程用逃げ溝の加工幅の最適化をした事により、メカニカル損失を10%低減する事ができた。

4.2.2. デフ撹拌損失低減

デファレンシャルケース及びファイナルドリブンギヤとATケースの間に介在するオイル量を、適度に制限する事で対策をおこなった。

このためにまず Fig. 8 に示した様に、AT ケース下面側のボリュームを拡大する事で、オイルポンプのエアレーション限界を低下させる事なく、オイル油面高さを低下させた。更に、トルクコンバータケースとデファレンシャルケース、及びファイナルドリブンギヤとトルクコンバータケース間の隙間設定を最適化した。

この結果、デフ撹拌損失を13%低減する事ができた。

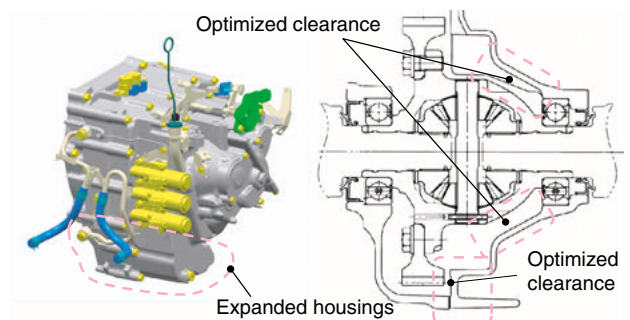


Fig. 8 Optimized area

4.2.3. クラッチ引き摺り低減

各クラッチパックは、フリクションプレートによる潤滑油のせん断力低減を図り、オイルの保持機能を確保しつつ排出性を最大限改善する事を目標とした。このためにまず、潤滑油排出経路のチューニングなど従来手法を活用し、引き摺りを低減した。

次にNAエンジン用新4ATの2・3・4速クラッチでは、フリクションプレートの摩擦材溝形状に新形状を採用し、クラッチプレートのウェーブ化と組み合わせで適用した。この結果、更に潤滑油の排出性を向上でき、引き摺りを1/2以下に低減する事ができた。新旧溝形状でのフリクション差を Fig. 9 に示す。

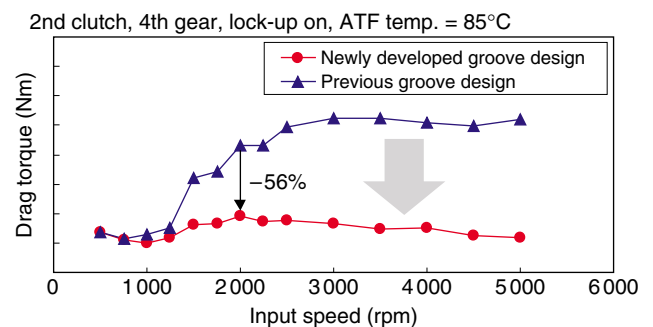


Fig. 9 Drag torque comparison

以上、オイルポンプ損失・デフ撹拌損失・クラッチ引き摺りの低減対策により、フリクションを30%低減する事ができ、新4ATでは3AT同等のフリクション値を達成した。Fig. 10に対策前後の各要素のフリクション解析結果を示す。

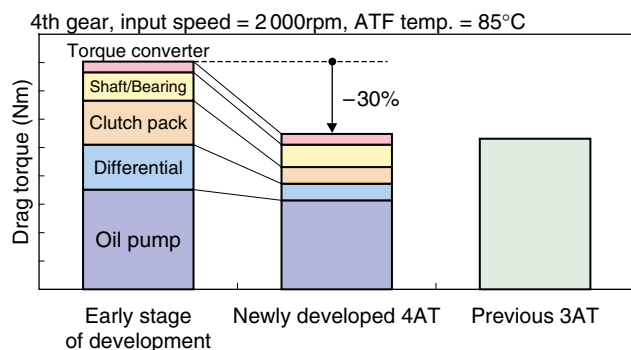


Fig. 10 Results of friction factor measurement

4.3. 走行性能と燃費性能

4.3.1. 4速化とロックアップ

新4ATの構想段階での燃費シミュレーション結果をFig. 11に示す。この図に示す様に、単なる4AT化だけでは大きな燃費性能向上は期待できず、燃費目標の達成には、ロックアップ機構の適用が必要となった。

このため、全バリエーションでのロックアップクラッチ採用を前提とし、燃費向上とドライバビリティの両立を狙い、アクティブロックアップⅡ⁽⁴⁾を採用した。

本システムの採用と同時に、ロックアップクラッチにロングトーションダンパを適用した事で、エンジントルク変動を減衰した。このトルク変動減衰効果と本システムのリニアソレノイドによる高精度なフィードバック制御により、クルーズ領域と加速中のロックアップ可能領域の下限速度を引き下げ、2速12km/h以上からのロックアップ作動を可能とした。この結果、従来このクラスで採用されていたロックアップ制御領域に比較して、特に低・中速域で大幅にその制御領域を拡大する事ができた。

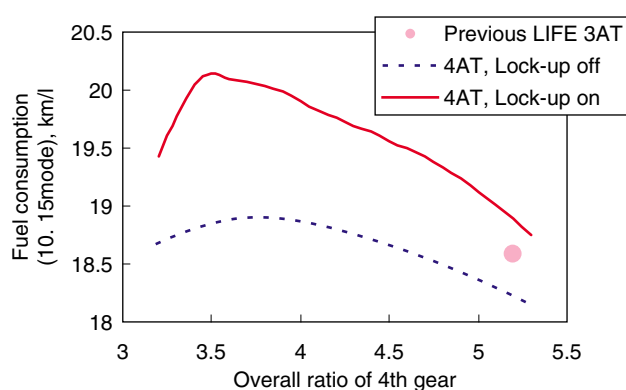


Fig. 11 Results of fuel consumption simulation

4.3.2. ギヤレシオ設定

ギヤレシオ設定では、特にNAエンジン用ATでの燃費性能と4速段でのドライバビリティを両立させる事を目標とした。このため4速レシオは、高速道路での登坂も含めた100km/hクルーズ性能を考慮し設定した。1速ギヤレシオについては発進、登坂性能を重視した設定とし、ロックアップによる燃費向上を考慮して2・3・4速間をクロスレシオ設定とした。新4ATのギヤレシオ設定を、3ATと比較してTable 1に示す。

以上、ロックアップ制御・ギヤレシオ設定・フリクション低減の燃費向上対策により、10.15モード燃費において3AT比7%の燃費向上を達成した。

4.4. 商品性向上

4.4.1. 変速商品性

新4ATは、スモールクラスでも通用する滑らかで高レスポンスな変速フィーリングをねらいとした。この目標を具現化する制御システムは、同時に、高精度が要求されるロックアップ制御システムと合せてコンパクトに構成する必要があった。このため、当社上級車種にて採用実績のあるクラッチ圧ダイレクト制御システム⁽⁴⁾を基本に、一部改良を加え採用した。

この改良の結果、当社従来システムに対し、ON/OFFソレノイドバルブ2個、ATF温度センサ1個、油圧スイッチ2個を省略する事ができ、制御システム全体での集約化を達成した。これによりコンパクトさを維持したまま、ダイレクト制御とアクティブロックアップⅡを新4ATへ適用する事が可能となった。Table 2に他制御システムとの比較結果を示す。

本制御システムは、クラッチ圧をリニアソレノイドでダイレクト制御するものであり、その制御ロジックは次の2つの制御で構成される。

- (1) クラッチおよび油路の状態に応じてクラッチ準備を安定的におこなうクラッチ応答圧制御

Table 2 Comparison of control systems

	Newly Developed 4AT	Honda LIFE/DUNK Previous 3AT	Honda STEP WAGON 4AT
Clutch control	Direct control	Indirect control	Direct control
Lock-up control	Active lock-upⅡ	—	Active lock-upⅡ
Number of control valves	15	15	14
Number of one-way clutches	1	1	0
Number of on/off solenoids	2	0	4
Number of linear solenoids	3	0	3
Number of ATF temp. sensors	0	0	1
Number of pressure switches	0	0	2

(2)ATへの入力トルクおよびフリクションプレート摩擦係数の推定により変速時のクラッチ基準圧を算出するトルクベース制御

このトルクベース制御には、変速時の車体G変化を決定するGデザイン⁽⁴⁾という設定手法を採用している。Fig. 12にアップシフト時の概念図を示す。

この変速制御システムの採用と共に、2・3・4速クラッチに遠心油圧キャンセル機構を採用した事で、クラッチ油圧制御の精度と品質安定性が大幅に向上し、滑らかな変速フィーリングと高い変速応答性を達成した。

4.4.2. 登降坂制御

エンジントルクの絶対値が小さい軽自動車を4AT化するにあたり、登坂路における余裕駆動力不足により変速が頻繁になる事、および降坂路におけるエンジンブレーキ不足が顕著となる事が予測された。そこで、軽自動車では採用例の少ない(NAエンジン搭載車では軽自動車初となる)登降坂制御を全バリエーションで採用した。

登降坂路の負荷に応じ、最適変速段を2・3・4速から選択する PROSMATEC (PROgressive Shift schedule MANagement TEchnology)により、登坂路での不要な変速を抑え、降坂路ではエンジンブレーキのアシストをする事で、軽自動車クラスを超えたドライバビリティを達成した。

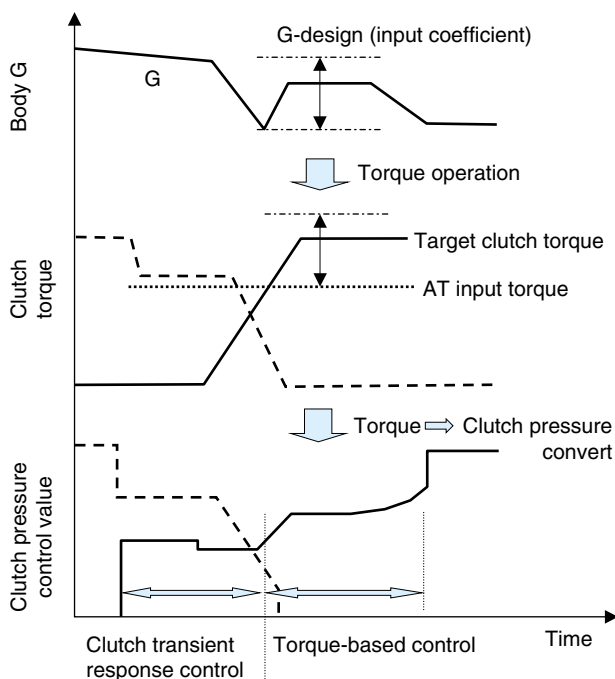


Fig. 12 Overview of new control logic (up-shift)

4.4.3. NV(Noise, vibration)商品性

新4ATは平行3軸式構造とし、1・2速段はアイドルギヤを介し駆動するレイアウトを採用した。ここでアイドルギヤ列を各軸端に配置する従来構造は、駆動力変化による軸撓みの影響を受け、ギヤ倒れによるギヤ音の悪化を防ぐ

ために、歯幅を厚くしたりギヤ倒れを規制するベアリングを採用している。従って従来構造とする事は、新4ATのコンパクト化に対し、大きな懸案となった。

このため新4ATは、多重噛合いとなるアイドルギヤ列を、平行3軸式構造の各軸中央に配置した。これによりFig. 13に示す様に、軸撓みの影響を抑えてギヤ倒れ量を低減する事ができ、コンパクト化の目標を達成しつつ入力負荷変化時のギヤ噛合い精度を向上できた。

同時に、各ギヤの基本諸元値については、総合噛合い率を3AT比で大幅に向上させた設定とした。またCAE解析により、リブ配置の最適化をおこないケース剛性を充分確保した事で、ケースの共振による放射音の発生も抑えた。

この結果Fig. 14に示す様に、AT単体3速ギヤ音では、加減速側共に4dB以上のノイズ低減効果が得られた。

更に、4AT化のメリットと作動領域の広いロックアップの採用により、走行時のエンジン回転数を低減し、実用域・高速クルーズ域でも車両の静粛性に貢献した。

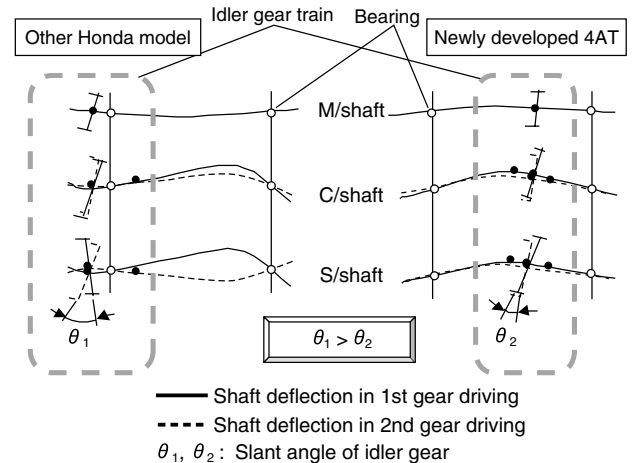


Fig. 13 Comparison of idler gear train

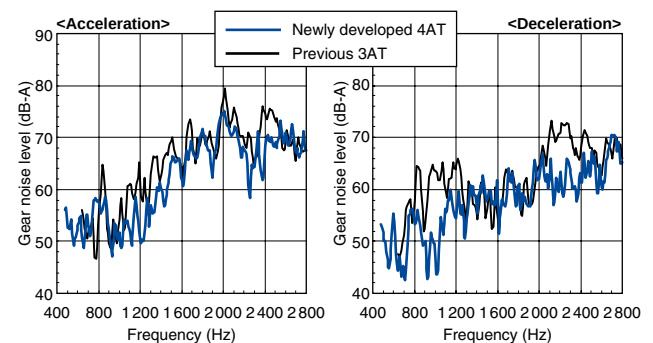


Fig. 14 3rd gear noise

5. まとめ

次世代コンパクトクラス向けとして、基本骨格から全てを新規開発した新4ATを、新型LIFEに搭載し以下の結果を得た。

- (1) 平行3軸式構造・ケース構成・偏平トルクコンバータおよびデファレンシャル軸エンジンセンタ下配置の採用等により、全長・前後長ともクラス最短の334mm・480mmを達成した。
- (2) オイルポンプ損失・クラッチパック引き摺り・デフ搅拌損失の低減等をおこなった結果、4AT化しながら、3ATと同等のフリクション値を達成した。
- (3) ロックアップ制御にアクティブロックアップⅡを適用し、2速12km/hからのロックアップ制御を可能とした。この結果、4AT化・フリクション低減の効果も合わせ、10.15モード燃費において7%の向上を達成した。
- (4) クラッチ圧ダイレクト制御システム・遠心油圧キャンセル機構を採用した事により、高応答性かつ高品位な変速商品性を実現した。また、プロスマテックを適用し、ドライバビリティの向上を達成した。
- (5) アイドルギヤ列各軸中央配置、総合噛合い率向上を採用した結果、4AT化・実用性の高いロックアップ機構の採用も合わせ、軽自動車トップクラスの高品位なNV商品性を実現した。

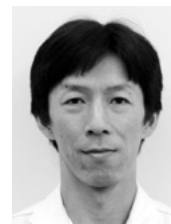
参考文献

- (1) 江尻英治ほか：トルクコンバータの偏平率が流体性能に及ぼす影響，日本機械学会論文集B編，64巻，623号，p.151-156(1998-7)
- (2) 安部浩也，名井信雄，山下徹，白木川孝一：トルクコンバータに於けるステータ翼列流出角修正による簡易性能予測法，自動車技術会学術講演会前刷集，No.951，p.121-124(1995)
- (3) 安部浩也，丸山徹郎，坂藤征利：三次元数値流体計算の活用による超偏平トルクコンバータの開発，Honda R&D Technical Review, Vol.13, No.1, p.75-80(2001)
- (4) 加藤智士，宮本修秀，斉藤吉晴，徳田守昭，堀田高司，砂田悟：ワンウェイクラッチレス5速自動変速機の開発，自動車技術会学術講演会前刷集，No.29-01p.13-18(2001)

■ 著 者 ■



内田代志春



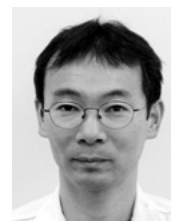
宮本修秀



大谷哲也



丸山徹郎



酒井和明



谷本誠司