

フィット用新CVTの開発

Development of a New Compact CVT for the Fit

角 誠*
Makoto SUMI
一條 秀治*
Shuji ICHIJO

國井 久史*
Hisashi KUNII
長谷川 隆*
Takashi HASEGAWA

藤本 修一*
Shuichi FUJIMOTO
福島 幸彦*
Yukihiko FUKUSHIMA

要 旨

ABSTRACT

新世代パワープラント用の軽量コンパクトな新CVT ホンダマルチマチックSを開発し、「フィット」に搭載した。このCVTは、新しい構造のフライホイール、オイルポンプ、クラッチ、及びトランスミッションケースなどを採用して部品点数を15%削減すると同時に、低フリクション化も行い、伝達効率を99年モデル「ロゴ」比5%向上した。また、新しい電子制御として、走行状態に応じた最適なクリープ力制御、及び変速スケジュールの自動切替えを行うことにより燃費低減と、ドライバーのさまざまな要求に対応した走行フィーリングを両立した。

Honda has developed a new continuously variable transmission (CVT) for use with new-generation power plants, and this compact, lightweight CVT, known as the Multimatic S, has been installed on the Fit. The redesigned flywheel, oil pump, clutch, and transmission case used in this CVT reduce the number of parts by 15% while simultaneously lowering friction and improving transmission efficiency by 5% over the 1999 model Logo. The new electronic control also provides creep control optimized for cruising conditions and automated switching of the shift schedule. These have yielded both improved fuel economy and a feeling of responsiveness to a wide range of driver demands.

1. まえがき

地球環境保護、省資源が世界的に注目される中、自動車の省燃費性能に対する要求は年々高まっている。ホンダは燃費効率に優れたホンダマルチマチックを96年モデルのシビック、及び98年モデルの「ロゴ」へ搭載した。さらには、高効率、コンパクトCVTのホンダマルチマチックSを99年モデルのハイブリッドカー「インサイト」に搭載した。⁽¹⁾

今回、「ロゴ」に代わる新世代ニュースモール「フィット」用CVTの開発にあたり、インサイトで採用したコンパクト化技術をベースに改良を行った。

ここでは、この新技術について紹介する。

2. 開発のねらい

「フィット」のコンセプトを実現するため、本CVTは、下記の性能向上及び生産性向上を追求した。

*栃木研究所

- (1)「広い室内空間」と「クラスでトップの衝突安全性能」を両立するショートノーズパッケージングレイアウトに対応するコンパクト設計。
- (2)「クラスで世界一の低燃費性能」に寄与する低フリクション、高効率化、及びCVT制御の改良。
- (3)ドライバーの感覚にマッチした「スムーズさと走る楽しさ」を満足する発進及び変速制御。
- (4)部品点数の削減による生産性の向上。

3. 基本レイアウトと主要諸元

Fig. 1, Fig. 2 に本CVTの主断面と外観図を、Table 1 に主要諸元を示す。

99年モデル「ロゴ」(以下旧モデル)からの主な変更点は、プーリ軸間の短縮、オイルパンの廃止(オイルパンレス構造)、制御系の配置変更、トロコイドポンプ採用と駆動チェーン廃止、及びシングルマスフライホイールの採用である。

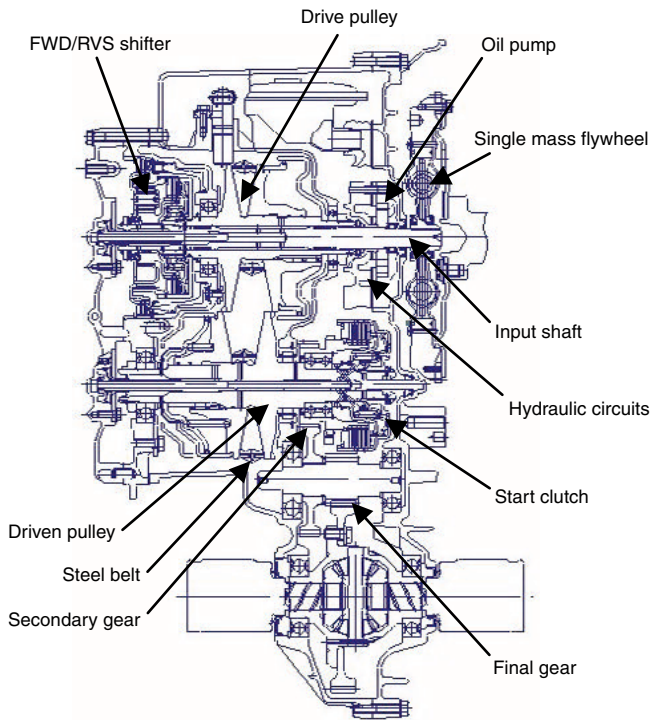


Fig. 1 Main section of CVT

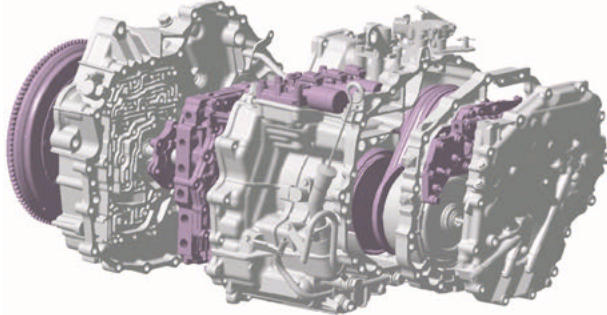


Fig. 2 View of CVT for Fit

その結果、旧モデル比、全幅で6.2%のコンパクト化、重量で7.3%の軽量化を達成した。部品点数も770点から655点へ、15%削減している。Fig. 3に旧モデルとの部品点数及びウェイト比較を示す。

Fig. 4に旧モデル(輪郭)との外観形状の比較を示す。

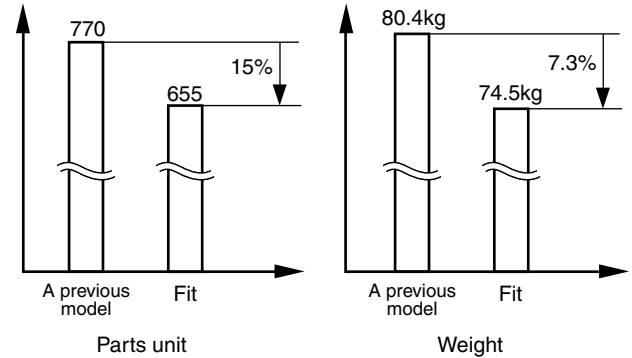


Fig. 3 Comparison of complete parts unit and weight

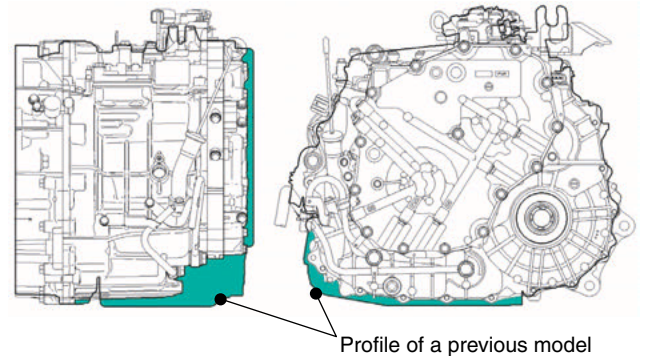


Fig. 4 View of CVT for Fit

4. 採用技術

4.1. シングルマスフライホイール

4.1.1. 適用背景

旧モデルでは前後進切り換え用プラネタリギヤから発生するリバースアイドルリング時のギヤラトル音を防止するため、減衰性能の高いデュアルマスフライホイール採用して

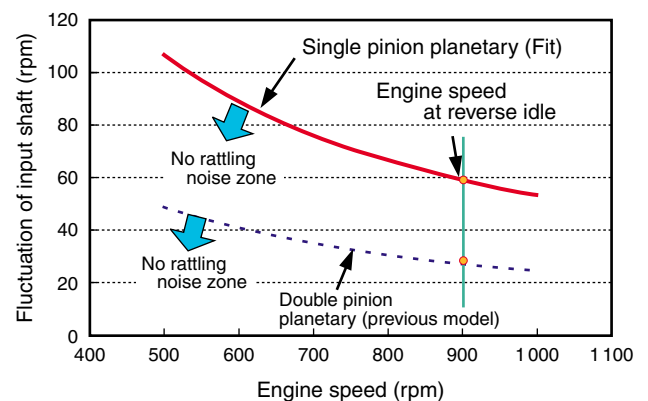


Fig. 5 Rattling noise zone chart

Table 1 CVT Specification

		2002 model Fit	1999 model Logo
Engine Specification	Type	1.3L 2VLV	1.3L 2VLV
	Max. power (kW/rpm)	63/5 700	49/5 500
	Max. torque (N·m/rpm)	119/2 800	103/2 500
Ratio	LOW	2.367	2.466
	}	}	}
	OD	0.407	0.449
	Secondary	1.333 (52/39)	1.333 (52/39)
	Final (2WD)	4.333 (65/15)	4.357 (61/14)
	Final (4WD)	4.714 (66/14)	
Dimension	Reverse	4.226~2.367	2.466
	Overall length (mm)	349	372
	Pulley axis length (mm)	143	155
Weight (Wet)	2WD (kg)	74.5	80.4

いた。プラネタリギヤをダブルピニオン形式からシングルピニオン形式に変更した事と、プーリ軸間距離の短縮によるプーリイナーシャ低減の2つの効果により、回転変動によるギヤトル音の発生限界が従来比2倍以上となり、シングルマスフライホイールの採用が可能となった。Fig. 5にシングルとダブルピニオンプラネタリギヤのリバース時ギヤトル音発生限界を示す。

4.1.2. 基本構造

シングルマスフライホイールは慣性質量を分割していないため、デュアルマスフライホイールに対し、シンプルな構造となっている。部品点数で比較するとデュアルマスフライホイールの39部品に対して29部品となっている。Fig. 6にシングルマスフライホイールの構造を示す。

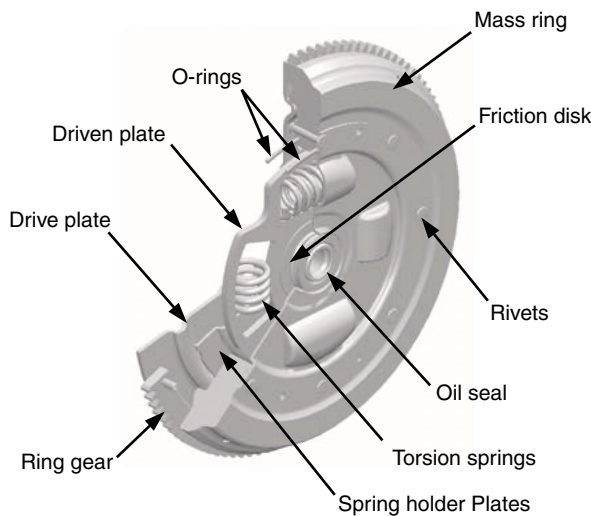


Fig. 6 Structure of single mass flywheel

ねじり特性は Fig. 7 に示すように3種類のスプリングを各2個使用した3段特性で、最大ねじり角が ± 25 度でトルク容量が207Nmのロングトラベルタイプとしている。

また、ヒステリシストルクを発生させるため、スプリングホルダプレートとドリブンプレートの間に樹脂製のフリクションディスクを各1枚設け、スプリングホルダプレートの弾性変形を利用してフリクションディスクの押し付け荷重を発生させている。

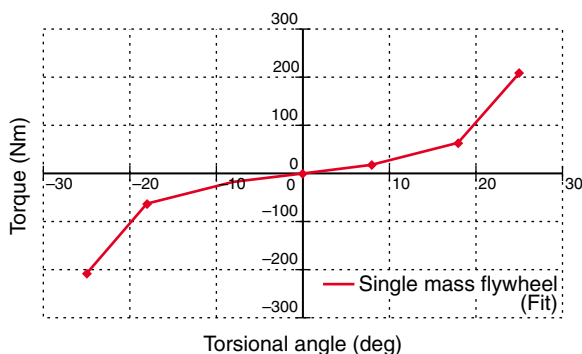


Fig. 7 Torsion characteristics

4.1.3. NV性能向上効果

デュアルマスフライホイールで1次側と2次側に分割されていた慣性質量が、シングルマスフライホイールでは一体となり、エンジン側慣性質量を増加することができた。その結果、エンジンの回転変動が低減し、サージ、こもり音などのNV性能が向上した。

Fig. 8 に両フライホイールのエンジン回転変動を示す。

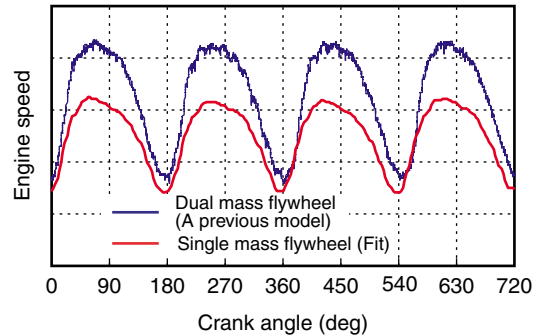


Fig. 8 Cycle irregularity

4.2. 直動トロコイドオイルポンプ

4.2.1. 部品点数削減(合理化設計)

旧モデルは、入力軸からチェーンでポンプ軸を駆動していた。本CVTでは入力軸で直接ポンプを駆動する方式を採用しチェーン、スプロケットなどを廃止して部品点数を削減した。

ポンプ形式は焼結ロータを用いたトロコイドポンプとし、インナロータを入力軸のスプラインで駆動する方式とした。

旧モデルとの構造比較をFig. 9に示す。

4.2.2. 高圧化対応

本CVTは3.5MPa以上の吐出圧を使用するため、ポンプボデーの変形による吐出性能低下の課題がある。そこで、FEM解析を用いてポンプ各部品の形状を最適化するとともに、ポンプボディを鋳鉄製として変形を少なくすることにより高圧状態での吐出性能を確保した。

Fig. 10にFEM解析結果を示す。

またポンプロータとボディの膨張係数がほぼ同等なため、温度変化に対してサイドクリアランスの変化が少なく、安定した吐出性能が得られた。

4.2.3. 吐出性能

オイルポンプ吐出性能をFig. 11に示す。理論吐出量を9cc/revとし、高油温、低回転速度において従来と同等以上のポンプ吐出量を確保した。

4.2.4. フリクション低減

トロコイドポンプの多くはインナロータにつばを設けブッシュにて支持する構成としている。この構成では油圧によるインナロータへの荷重とそれを支えるブッシュのずれによりモーメント荷重が発生する。

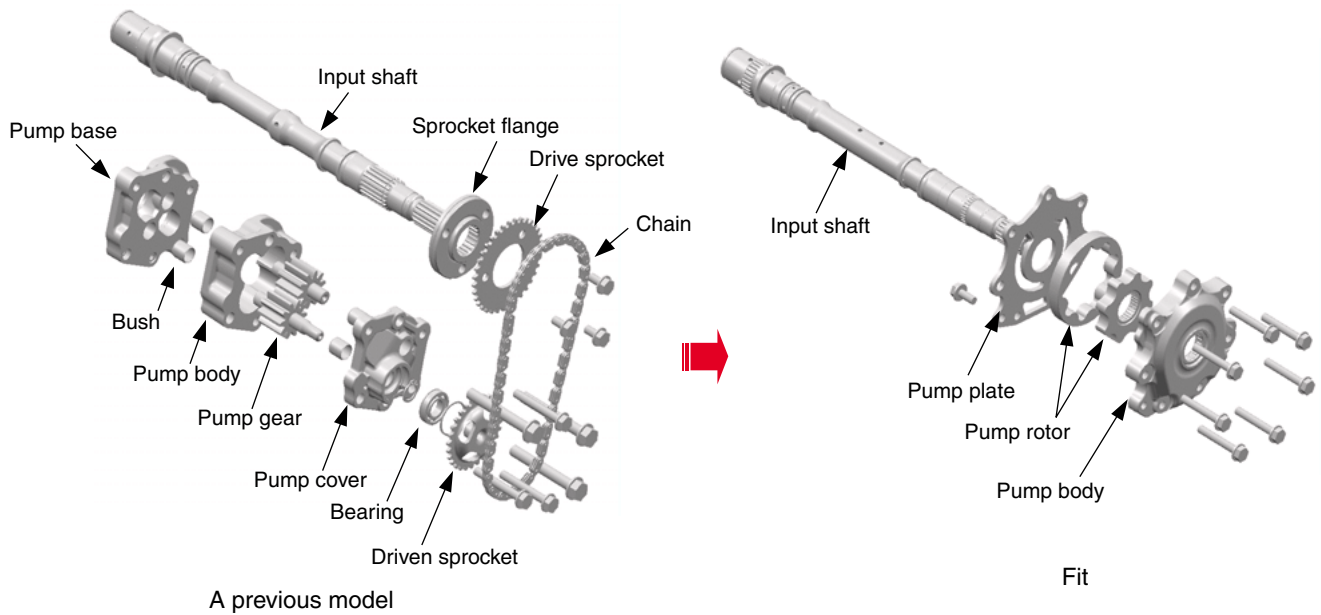


Fig. 9 Oil pump structure

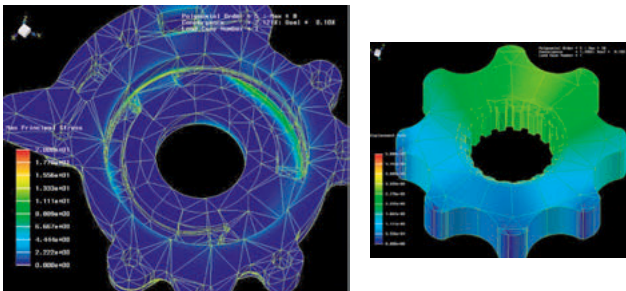
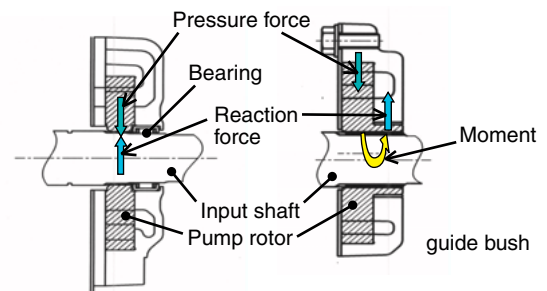


Fig. 10 Pump body stress analysis with FEM



Trochoid pump for Fit Conventional trochoid pump

Fig. 12 Reduction of oil pump rotor friction

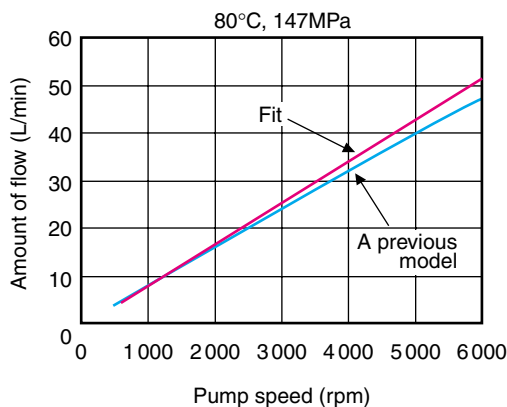


Fig. 11 Oil pump delivery performance

本オイルポンプではこの偏荷重によるフリクションを無くするため、入力軸にインナロータを支持し、ポンプボディにニードルベアリングを設けて入力軸の位置決めを行う構成とした。

Fig. 12 に、従来構造との比較を示す。

また、ポンプ駆動用チェーンの廃止により駆動フリクションとオイルかくはんによるフリクションの両方を削減した。

4.2.5. ポンプ騒音低減

ポンプ音の改良は、ポンプ自体の発生する放射音低減と、ポンプ振動の車体への伝達低減が必要となる。

ポンプ単体放射音の改良として、吸入ポートタイミングの進角量を吸入負圧と吐出性能がバランスする設定とし、吸入ポートから吐出ノッチまでの間の与圧縮量と、吐出ノッチ1段目フラット部分のタイミング、幅、及び深さの設定により吐出音対策を行った。さらに2段目の円錐形状の設定により吐出時の圧力変化を緩やかにしキャビテーション音の発生を防止した。Fig. 13 に吐出ノッチ形状を示す。

伝達騒音対策として、フライホイールケースのリヤマウント取付け部にリップを設けポンプ振動の車体への伝達を低減し、車体客室騒音を低減した。

4.2.6. 生産性向上

(1) 加工性 インナロータにつばを持たないため、ロータサイド面の研磨加工を両頭研磨機により同時に加工することが可能となり、寸法精度及び加工スピードを向上することができた。

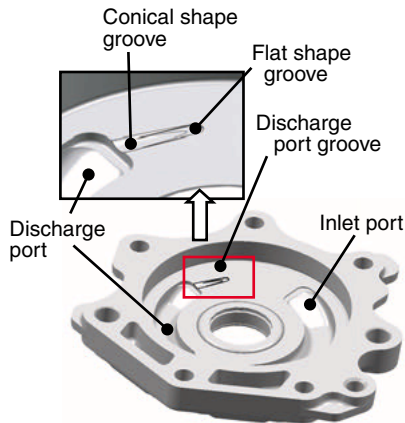


Fig. 13 Shape of discharge port notch

(2) 組み付け性 本CVTでは、オイルポンプを取り付けたバルブボデーをフライホイールケースに直接配置してインプットシャフトから直接駆動する方式とした。

これにより駆動用チェーン、スプロケット等がなくなり組み付け性が向上した。また、ポンプボデーとロータプレートを小組構造化しポンプ単品での機能保証を可能にした。

4.3. オイルパンレス構造

従来はCVT側に配置されていたスタータモータをエンジン側に、そのスペースにオイルパンの中にあった制御ボデーをレイアウトすることにより、オイルパンを廃止し、ケース部品点数を削減した。

Fig. 14は従来のオイルパン方式CVTとの比較である。図に示すように、ドライブ及びドリブンプーリ用及びスタートクラッチ制御用の三つのリニアソレノイドバルブボデーを一体化しCVT上部外側に配置し、また、リバースインヒビタソレノイドバルブも外付け配置として電子制御部品の

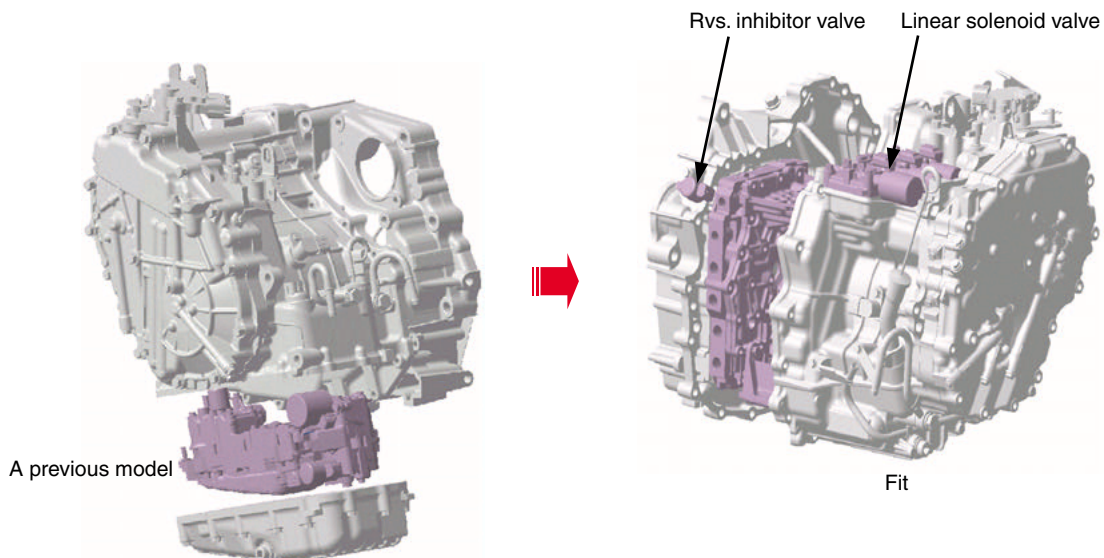


Fig. 14 Oil pan-less casing and valve body layout

メンテナンス性を向上した。また他の油圧制御部はオイルポンプと組合せて、フライホイールケースへ直接取り付けられるように配置した。フライホイールケースとその左側にあるプーリ室とのスペースには、従来、オイルポンプと駆動部品が配置されていたが、駆動チェーン、スプロケットを無くし、ポンプを制御ボデーと組合せることで従来オイルポンプのあったスペースへ油圧制御系を配置することが可能となった。

この変更により、オイル充填容量が増加した結果、油面レベルを低く設定できるようになり、かくはん抵抗が低減できた。

4.4. スタートクラッチの改良

4.4.1. ボンデッドシール

従来のクラッチピストンは別体のオイルシールを圧入しているが、本クラッチでは、ピストンとオイルシールを一体化したボンデッドシールピストンを用いている。

これによりスタートクラッチのコンパクト化及び部品点数削減が可能となった。

Fig. 15に旧モデルのクラッチピストンとの比較を示す。

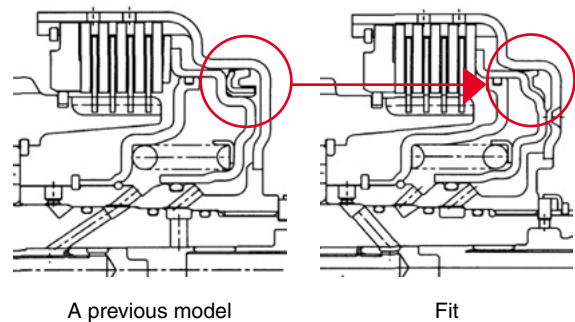


Fig. 15 Structure of start clutch

4.4.2. 摩擦材の改良

今回適用した摩擦材は従来の摩擦材に対し高耐熱繊維を追加し、他の成分の配合量についても見直しを行うことで、耐久性を向上しつつ良好な摩擦特性を確保した。

この新材の適用により、さらにスムーズな発進性能が得られた。Fig. 16は摩擦材表面を拡大したものである。Fig. 17に摩擦特性の比較を示す。全域で摩擦特性が向上している。

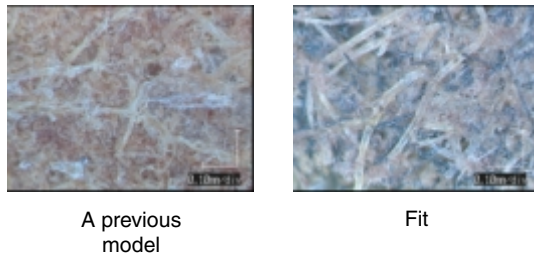


Fig. 16 Magnified disc surface

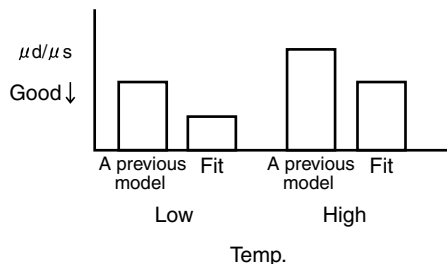


Fig. 17 Disc characteristic

4.5. クリープ制御

クリープは、発進のスムーズさと容易性から、いわゆるオートマチック車(CVT車を含む)の必須機能となっているが、一方で、ブレーキ停止時に駆動力が発生していることから、燃費、及び車体振動へ影響がある。本CVTでは、スタートクラッチのクリープ制御を改良し、クリープ機能を確保しつつ、アイドリング時の燃費及び車体振動の低減を図った。

制御の改良にあたり、まず発進時にクリープが必要とされる走行状態として、

- ・登坂路での途中発進
- ・渋滞走行でのノロノロ走行や発進、停止繰り返し
- ・車庫入れや縦列駐車時のインチャング

を洗い出し、これらを判別できる検知手段として、各々

- (1) 勾配判断
 - (2) 車速履歴判断
 - (3) シフトポジション判断
- を設定した。

登坂路検知について、従来の勾配判定方法ではある程度以上の車速(発進クラッチが完全に締結)を必要としたため、低車速では判定できなかった。本制御では発進クラッチ制御圧から伝達トルクを算出しクラッチ滑り領域の駆動力を

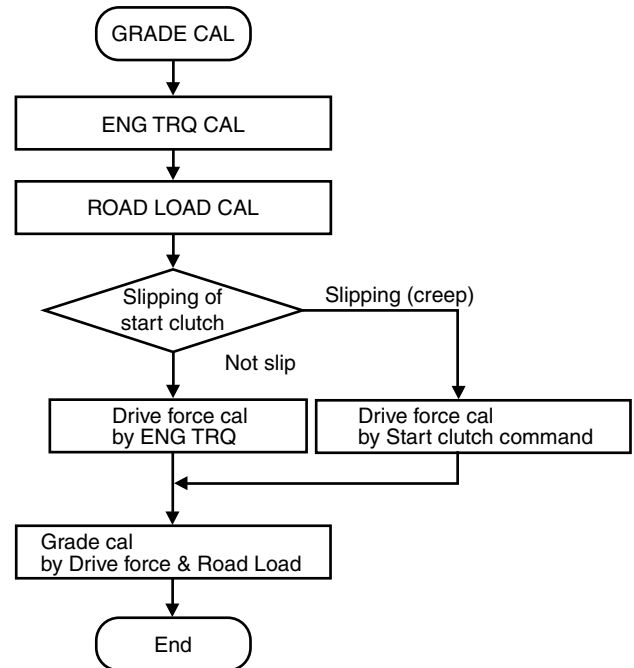


Fig. 18 Flow chart of grade calculation

推定することによって、低車速領域においても勾配判定が可能となった。

Fig. 18 は勾配判定のフローチャートである。

以上のように、クリープ駆動力を適切に判別することにより、クリープ性能を確保しつつ、停止アイドリング時の燃費及びシート振動の低減が可能となった。

4.6. 変速制御

4.6.1. 変速応答性の向上

「フィット」では、「インサイト」と同じプリー圧ダイレクト制御方式⁽¹⁾を採用し、ドライブとドリブンのプリー圧を個別に制御、変速速度を自在に設定できる。これにより迅速なキックダウン応答が可能となり、緩加速から急加速まで、ドライバーの感覚にマッチしたリニア加速フィーリングを実現した。(Fig. 19)

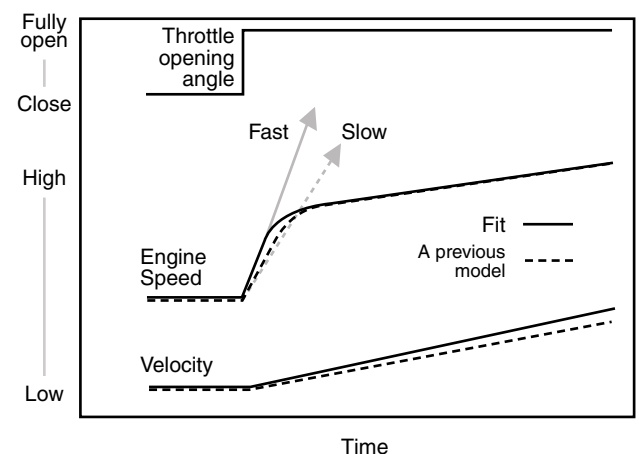


Fig. 19 Kick down response

4.6.2. 変速スケジュール

ドライブレンジの変速スケジュールは、一般道や市街地、及び高速道での流れに乗った走行などで軽快に走行できる設定としている。しかし、郊外や山岳路などドライバーがより積極的に加減速を行って走りたい(アグレッシブな走行)状況では、このD1レンジ変速スケジュールよりもエンジン回転速度を高め(ローレシオ側)に設定した変速スケジュールが望ましい。そこでフィットではドライブレンジに、D1とD2の2つの変速スケジュールを設定し、ドライバーの走行指向によってこれらの切り換えを自動的に行う制御を採用した。

(1) D1 スケジュール 燃費に重点をおいた変速スケジュールで、アクセルの低中開度領域でエンジン回転を抑えエンジントルク主体で走行する設定としている。

中開度以上では変速を素早く行うキックダウンモードにより応答性を確保している。

(2) D2 スケジュール 中程度のアクセル開度領域の回転速度をD1スケジュールよりも高く設定して駆動力を高めつつ、低アクセル開度領域はD1との差を小さく設定してクルーズ走行時のエンジンブレーキ効きすぎによるアクセル操作の繁忙感と燃費低下を防止している。

Fig. 20 にD1とD2変速スケジュールの比較を示す。

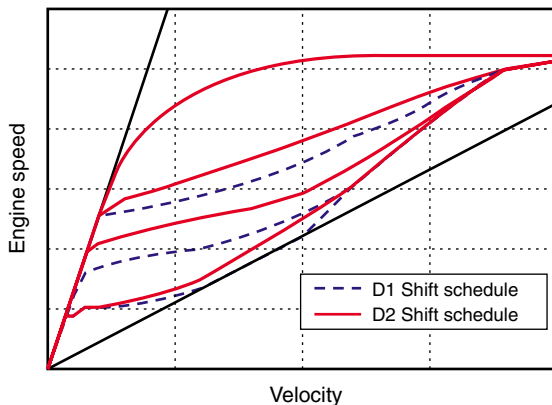


Fig. 20 D1 and D2 shift schedule

4.6.2. 変速スケジュールの自動切替え

Fig. 21 は、運転者の走行意図とスロットル(アクセル)開度との関係のイメージ図である。

運転者が一般的な流れに乗った走行を行った場合、図中で右下の領域のような低めのアクセル開度における運転状態となる。一方、山坂道など運転者が頻繁に加減速を行うような走行の場合には、アクセルの操作状態が図中で左上の領域に飛び込むこととなる。

Fig. 22 は車体速度とスロットル開度、及び変速スケジュール選択との関係を実測したものである。

図中左下の枠内は市街地を普通に走行した走行状態分布で、D1変速スケジュールが選択されている。

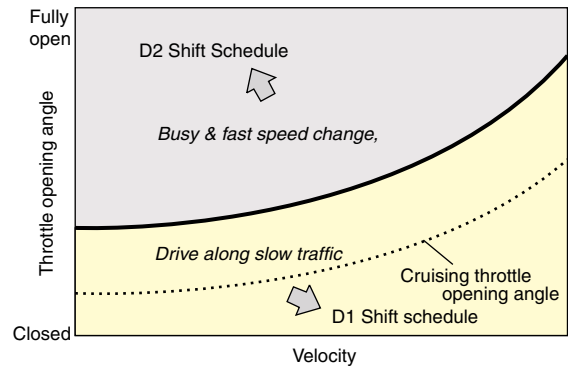


Fig. 21 Condition of shift schedule

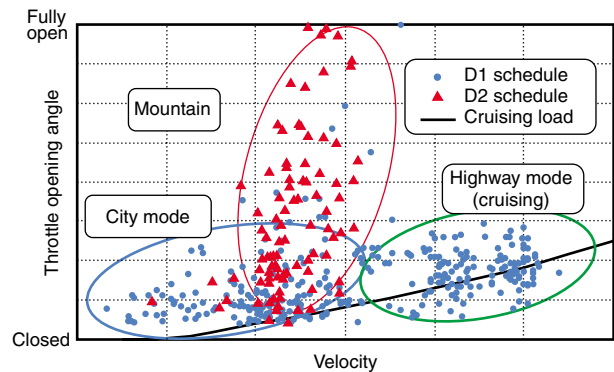


Fig. 22 Throttle distribution chart by shift schedule

図中右下の枠内は高速道路を普通に走行した走行状態分布で、追い越し加速は行わず流れに乗って走行しているののでD1変速スケジュールが選択されている。

図中中央の枠内は山岳登坂路を走行した走行状態分布で、スロットル踏み込み開度が平坦路より大きくなるため、D2変速スケジュールが選択されている。

以上のように、運転者の走行パターンに応じて変速スケジュールの自動切替えを行った結果、切替えを行わなかった場合に比べ、より違和感の少ない走行フィーリングが得られるようになった。

4.7. 効率向上⁽²⁾

伝達効率を低下させる損失トルクには、金属ベルトの回転抵抗、オイルポンプ駆動トルク、オイルかくはん抵抗、などがあり、これらの各要素について低減を図った。

4.8.1. 金属ベルトの回転抵抗低減

金属ベルトは、積層リングの巻付き径差によって生じるリング間のしゅう動抵抗、及び巻き付きに伴う曲げ荷重によって回転抵抗が発生する。今回エンジンの出力特性に合わせ伝達容量の最適化設計を行った結果、リング仕様を従来の12枚2列から9枚2列へ変更が可能となり、ベルトの伝達損失を低減できた。

4.8.2. ライン圧低減によるオイルポンプ負荷軽減

旧モデルの制御方式は一つのリニアソレノイドバルブで高低2つのプリー側圧を作り、四方弁によって高圧側をレ

ベル調整し変速制御を行っているが、プーリの最小必要圧に対し常に最大変速圧を発生させているため、クルーズ走行等でレシオが安定した状態では余剰圧となり、オイルポンプ負荷を増大していた。本CVTではドライブ、ドリブンプーリ圧を個別のリニアソレノイドバルブで直接制御するので、変速要求に応じて自在にプーリ圧を制御でき、クルーズ時の余剰圧を低減することができる。また、この制御方式の採用によってドライブとドリブンプーリの異径化が可能となり、走行中に高圧側となるドライブプーリ側のピストン面積を大きく(ドリブン側の1.3倍)設定することによってライン油圧をさらに低減することができた。

Fig. 23 にプーリ側圧ダイレクト制御システムを示す。

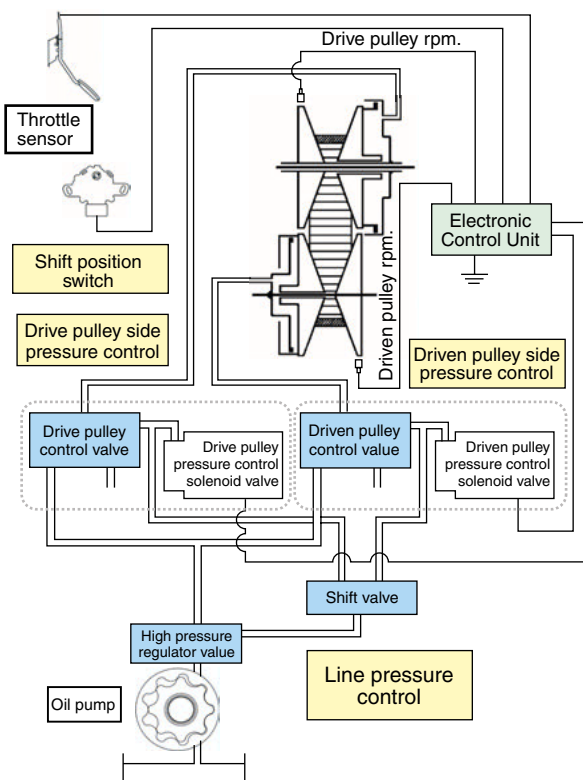


Fig. 23 Pulley side-pressure direct control

4.8.3. オイルかくはん抵抗低減

かくはん抵抗は、回転部分とオイルの接触によって発生し、油面レベルが低いほど小さい。

本CVTは、4.3.で述べたとおりオイルパンレス構造により、油面レベルを低減しているが、さらに低減化を図るため、低油温時のエアレーション対策を行った。

低油温における運転は、オイル粘度が増大し、各潤滑部へ供給されたオイルや、かくはんによって飛散したオイルの戻りが遅くなるため、油面レベル低下が大きい。このため油面レベル設定は、低温でのエアレーション限界によって

行われるが、逆に高油温時には油面レベルが上がりかくはん抵抗増加の原因となる。そこで、低油温時に潤滑圧を下げ、各潤滑部への給油量を減少させ、余剰分をオイルポンプへ直接還流させる潤滑圧切替え制御を付加した。この結果、低油温時にストレーナから吸入されるオイル量が削減され、油面レベル低下量が減少した。これにより、充てん時の油面レベル設定値を、ドライブプーリシャフト中心基準で12%低く(充填油量で8%低減)設定できた。

この油面レベル低減と、オイルポンプ駆動チェーン廃止により、かくはん抵抗を低減した。

以上、4.8.1. から 3. で述べた三つの損失トルク低減の結果、60km/hクルーズ時の伝達効率を5%向上することができた。

Fig. 24 は、旧モデルのCVTとの伝達効率比較である。

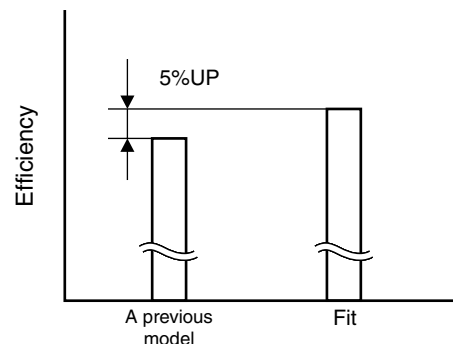


Fig. 24 Cruise efficiency at 60km/h

5. まとめ

「フィット」のコンセプトを実現するべく新しいCVTを開発し、以下の結果を得た。

- (1) オイルパンレス構造、制御系配置変更等のコンパクト設計により旧モデルに対し、全幅で6.2%のコンパクト化を達成した。
- (2) かくはん抵抗、オイルポンプ駆動損失、及び作動油圧の低減により、旧モデルに対し60km/h時の伝達効率を5%向上。また、燃費低減に貢献するクリープ制御を開発した。
- (3) 変速応答性の向上、及び変速スケジュールの自動切替えにより、省燃費性能とあらゆる状況に対応できるリニアな加速性能を両立した。
- (4) オイルパンレス構造、シングルマスフライホイール、及び直動ポンプ等の採用によって、旧モデル比重量で7.3%の軽量化、部品点数も15%削減した。

6. おわりに

今回開発したコンパクト CVT「新ホンダマルチマチック S」は、1.3L クラスだけでなくさらに上の排気量にも対応可能なトランスミッションとして基本設計されている。今後、適用車種拡大の中でさらに高効率化を図るべく研究を続けていく所存である。

最後に、本トランスミッションの開発にあたり、多大なるご協力を頂いた開発メンバーはじめ社内外の方々に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 太田庄次, 國井久史, 角誠, 藤本修一, 山口徹朗: ハイブリッドカー「インサイト」用コンパクト CVT の開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No.2, p.61-70 (2000)
- (2) 角誠, 藤本修一: ハイブリッド自動車用コンパクト CVT の開発, 自動車技術, Vol.54, No.4, p.48-54 (2000)

■ 著 者 ■



角 誠



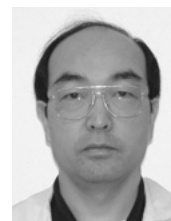
國井久史



藤本修一



一條秀治



長谷川隆



福島幸彦