

実用 ATV「TRX650FA」用 3 速オートマチック トランスミッション付きエンジンの開発

Development of an Engine with 3-speed Automatic Transmission for “TRX650FA”

堀 良 昭*

Yoshiaki HORI

俵 秀 幸*

Hideyuki TAWARA

濱 岡 誠 二*

Seiji HAMAOKA

中 沢 健*

Takeshi NAKAZAWA

要 旨

Honda の実用 ATV (All Terrain Vehicle) シリーズの最高峰 TRX650FA 用として、ATV としては世界初のトルクコンバータを搭載したエンジンを開発した。トルクコンバータ特有のアイドリング時のクリープ現象をリニアソレノイドバルブと油圧クラッチでコントロールし、従来のATVの湿式自動遠心クラッチと同等の発進性能を確保しながら、トランスミッションには電子制御式 3 速オートマチックを採用し乗用車感覚の快適な走りを実現した。また、トランスミッションの潤滑系をエンジンと共用して、既存の生産ラインでの組立てを可能とする一方、各部品の最適化設計により大幅な軽量化を達成した。

ABSTRACT

The world's first engine with a torque converter has been developed for the paramount TRX650FA in Honda's utility oriented ATVs (All Terrain Vehicle). A linear solenoid valve and a hydraulic clutch control the creep phenomenon at an idling peculiar to the torque converter. The start-ability is equal to a wet automatic centrifugal clutch for conventional ATVs. A pleasant running like automobiles was realized by employing electronically controlled three-speed automatic transmission. To assemble the transmission and the engine using an existing production line was enabled because the lubrication systems of both the transmission and the engine were designed in common. A substantial mass reduction was achieved by the optimizing design of each part.

1. まえがき

近年、米国を主体としたATVの市場においては、快適性と走破性の両立を目的とし大排気量化、およびオートマチック化が加速されている。Hondaにおいても、2000年に静油圧式無断変速機⁽¹⁾を搭載したTRX500FAを市場投入したが、さらにオートマチックモデルのラインアップを充実させるために、より排気量の大きなモデルが望まれてきた。一方、ATVに求められるオフロードでの機動性を重視し操縦安定性を向上させるためには、軽量化が最も効果的である。TRX650FAでは、エンジンの排気量増とともに、四輪独立懸架、二輪・四輪駆動切替え機構など主要装備を向上させながらも、TRX500FAと同等の車両質量にするという高い目標を掲げた。TRX650FAの外観をFig. 1に示す。エンジンとしては、軽量化に加えATVに求められる走行性能にふさわしいトルク特性を得るために、ATV専用の小型トルクコンバータを搭載した3速オートマチックトランスミッションを開発した。

2. 開発のねらい

車両としては、シリーズ最高峰のモデルにふさわしい快適性と走行安定性を高次元でバランスさせると共に、これまでのモデルに対しレジャーユースでの扱いやすさを重視する設定とし、デザインコンセプトも一新した。

エンジンとしては、トルクコンバータによって大排気量車にふさわしいスムーズで力強い発進性能を与える一方、トランスミッションはATVの運転未経験者にも受け入れやすく、またマニュアルトランスミッションに近いスポーティーな変速フィーリングを演出するために3速オートマチックトランスミッションを選択した。

トルクコンバータの出力トルク特性は、トルク増幅の効果によって強力な発進駆動力を発生させる一方で、車速の増加に伴いトルクコンバータのすべり率が小さくなって出力トルクが減少するために、すべりやすい路面ではタイヤのグリップ力を安定させる働きをする。この特性は路面状態が常に変化する状況下で、走行を安定させるために頻繁

*朝霞研究所

なスロットル開閉操作が求められるATVでは、これまでに無い良好な走行フィーリングをもたらす結果となった。エンジンの基本形態は、Honda の四輪駆動 ATV 用エンジンの特徴であるクランクシャフトを車両の進行方向に対し縦置きとするレイアウトを採用した。この形態はクランクシャフトと最終出力軸が平行であるので、エンジン内部の最終減速機構としてベベルギヤを持つ必要がなく軽量化に対し有利である。

3. エンジンの概要

エンジン主要部品の基本配置は、生産ラインでの組付け性を考慮し従来の ATV 用エンジンと同様の形態を採用した。エンジン後方にジェネレータとスタータモータ、前方部にトルクコンバータ、オイルポンプ、ウォータポンプなどを配置した。また、クランク軸下部のオイルを専用ポンプで吸い出すことで、油面を下げクランク軸中心の位置を低く設定できた。その結果、前方投影形状を TRX500FA とほぼ同等まで小型化することが可能となった。エンジンのカットモデルの外観を Fig. 2 に示す。



Fig. 1 External view of TRX650FA

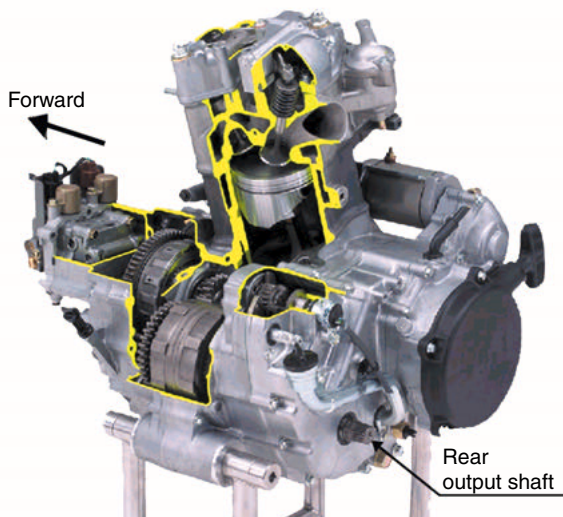


Fig. 2 Cutaway model of TRX650FA engine

排気量は、オフロードスポーツ用モータサイクルの XR650R との部品共用化を考慮し、ボア×ストローク 100mm × 82.6mm の 648cm³ に設定した。出力特性は、最大出力を 27.3kW/5 500r/min, 最大トルクを 49.9Nm/4 500r/min で発生させ、トルクコンバータとのマッチングと扱いやすさを優先した低速トルク重視型の設定とした。エンジン性能曲線を Fig. 3 に、主要諸元を Table 1 に示す。

4. トルクコンバータ

4.1. 基本仕様

一般の乗用車用トルクコンバータはエンジンとトランスミッションの間のドライ室に配置され、入力と出力位置がトルクコンバータ本体を挟んで反対側になる。

Fig. 4 で示すように、TRX650FA で採用したトルクコンバータは従来のATVの自動遠心クラッチの代わりにクラン

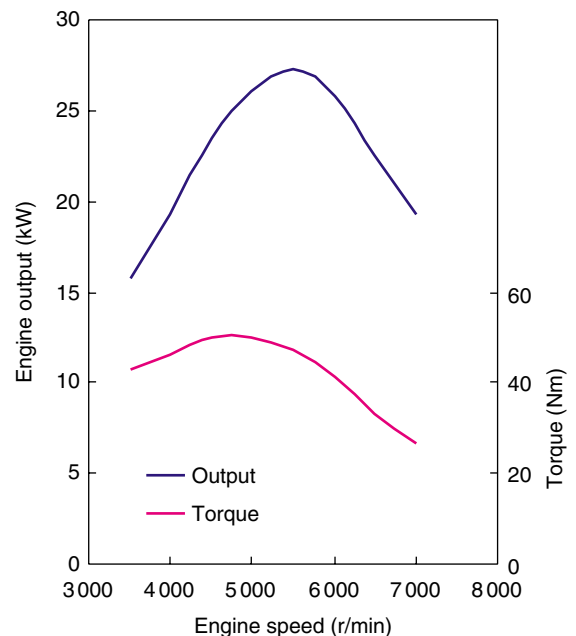


Fig. 3 Engine performance curve

Table 1 Specifications of engine

Engine type	Liquid cooled 4-stroke single cylinder	
Displacement (cm ³)	648	
Bore × Stroke (mm)	100 × 82.6	
Compression ratio	9.2 : 1	
Valve layout	OHV 4-valve	
Max. output (kW/r/min)	27.3/5 500	
Max. torque (Nm/r/min)	49.9/4 500	
Engine mass (kg)	59.8	
Torque converter	3-element, 2-phase	
Creep control system	Direct hydraulic controlled system by linear-solenoid	
Transmission type	Constant-mesh type 3-speed automatic	

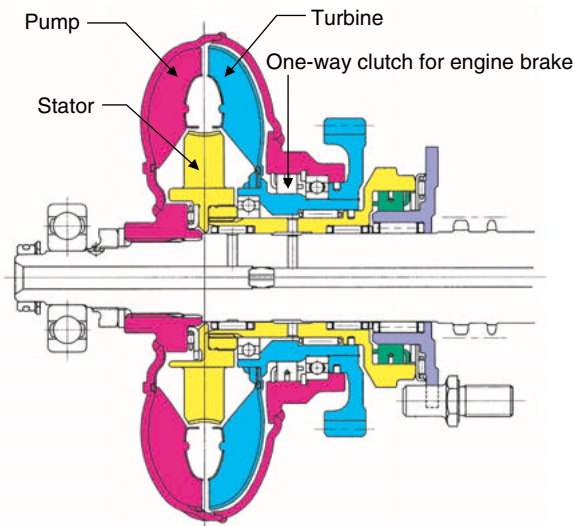


Fig. 4 Structure of torque converter

ク軸上に配置されるので、入力と出力が同一の方向になる。また、トルクコンバータはクランクケース内のウェット室に配置されるので、軸受け部の潤滑用として若干のオイルリークを許容するためにシール構造が簡単になる反面、入出力の軸受け構造は複雑な二重軸受け式になる。トルクコンバータの構造は Fig. 5 に示すように一般的な 3 要素 1 段 2 相型で、ポンプはクランクシャフトにナットで締結され、タービンにはプライマリドライブギヤが溶接固定されている。ステータの回転は、インナシャフトを通して、ステータワンウェイクラッチに伝えられ、カップリング時の正回転方向はフリーに、ストール時の逆回転方向はインナカラーを介して、クランクケースに固定されたロックピンが反力を受け、トルク増幅を行う。トルクコンバータの主要諸元を Table 2 に、特性線図を Fig. 6 に示す。ATV は一般の乗用車に比べて車両質量が圧倒的に軽いために、大きなトルク比を必要としない。ATV が必要とする最大駆動力と、低圧タイヤの最大伝達力から速度比 $\varepsilon = 0$ のトルク比 κ は 1.8



Fig. 5 Cutaway model of torque converter

Table 2 Specification of torque converter

Hydraulic diameter	(mm)	146.5
Number of blades	Impeller	28
	Turbine	23
	Stator	15
Torque converter dry mass	(kg)	3.0
Max. torque	(Nm/r/min)	49.9/4500
Vehicle dry mass	(kg)	273
Torque mass ratio	(kg/Nm)	5.5
Used oil type		Engine oil

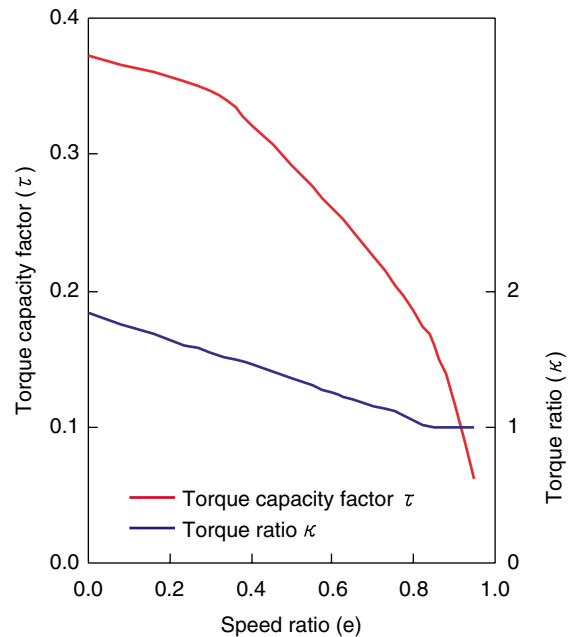


Fig. 6 Torque converter performance curve

と低めに設定した。また、エンジントルクとのバランスから速度比 $\varepsilon = 0$ の容量係数 τ も 0.38 と設定した。

一般に、ATV が走行する不整地では走行抵抗の変化が大きいために一定速度でのクルージング頻度が非常に少なく、スロットルの開閉が頻繁である。このような条件下で変速回数を少なくしてスムーズな走行ができるように、速度比の増加に対する容量係数の特性変化を緩やかな右下りとした。エンジン回転に伴うタービントルクの変化を Fig. 7 に示す。この結果、トルク増幅量の減少に伴いエンジン回転数と車速の両方が緩やかに増加する特性になるために、実車上では滑らかな加速感が得られる。

4.2. 小型軽量化

実車のドライバビリティの評価には定常特性だけではなく過渡特性が重要となる。前述の設定条件に対し、理想的なトラス形状を求めるために三次元数値流体計算⁽²⁾を行った。さらに、Table 3 の主要諸元および Fig. 8 の特性線図に示される 3 種類のトルクコンバータを試作し、計算と特性チューニングを繰り返し行い細部仕様を決定した。この結果から、流路径は目標を達成した 146.5mm に決定した。

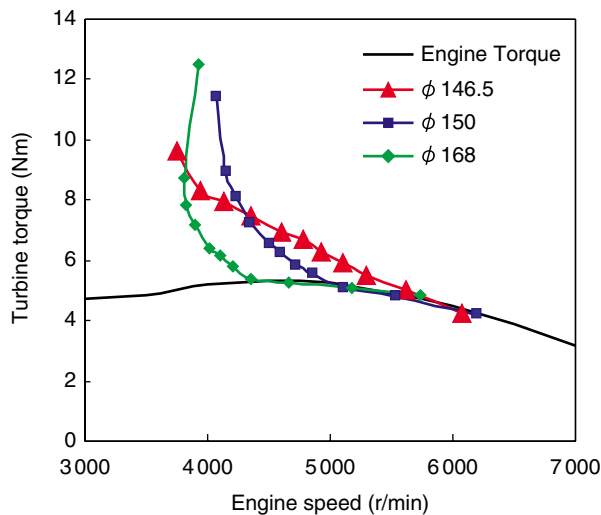


Fig. 7 Turbine torque performance curve

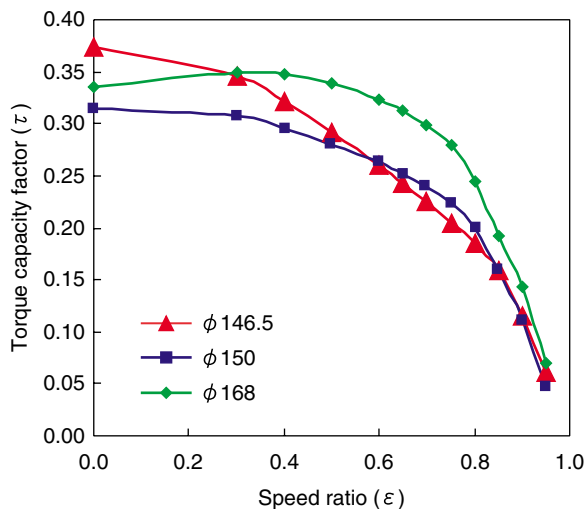


Fig. 8 Torque capacity factor curve

Table 3 Comparison of torque converter size

Hydraulic diameter (mm)		146.5	150	168
Number of blades	Impeller	28	23	23
	Turbine	23	21	21
	Stator	15	11	11
Torque converter dry mass (kg)		3.0	3.3	4.0

また、伝達効率の向上と軽量化を目的としてブレード厚さ0.5mmを検討した。各部の肉厚についても強度と、プレス、溶接、ろう付け等の生産性とのバランスを取りながら最適化を行った。その結果、初期の仕様に対し25%の軽量化を達成することができた。

4.3. エンジンブレーキ用ワンウェイクラッチ

ATVの使い勝手上、ギヤレシオに応じた安定したエンジンブレーキの確保は重要である。一般的な油圧制御式のロックアップ機構は、制御システムとトルクコンバータへの油圧供給の構造が複雑になる。また、スロットルを閉じた

瞬間にエンジンブレーキを効かせるための油圧クラッチの作動応答性も課題となる。本開発では、構造がシンプルで確実な作動性を確保できることから、エンジンブレーキ用として機械式のワンウェイクラッチを採用しトルクコンバータに内蔵させた。ワンウェイクラッチは多くのATVのエンジンブレーキ用として、自動遠心式の発進クラッチ部分に採用されており、作動上の信頼性が高い。外観を Fig. 9 に示す。

4.4. 統合潤滑システム

トルクコンバータを作動させるオイルはクランク軸の内部から供給され、コネクティングロッドベアリングへの潤滑と共用である。オイルポンプから吐出されたオイルは、クランク軸の上流側に配置されたオリフィスを通過する際に流量が制御され、合わせて減圧される。クランク軸内部からは、トルクコンバータとコネクティングロッドベアリングへの潤滑回路が分岐し、それぞれオリフィスによって流量が配分される。トルクコンバータから排出されたオイルはクランク軸に戻され、オリフィスで分岐されたオイルと合わせて全量がコネクティングロッドベアリングに供給される。コネクティングロッドベアリングに供給されたオイルは、ピストンやクランク軸支持のベアリングの潤滑にも利用され、クランク軸下部のオイル回収室に蓄えられた後に、専用のオイルポンプにてオイルタンクへ吸い上げられる。このようにしてトルクコンバータへの潤滑回路をシンプルにしながら、オイルを効果的に回収することができた。

5. クリープ制御システム

5.1. 構造概要

クリープは、発進時の駆動トルク変化を穏やかにさせ、スリップしやすい路面での発進性、坂道発進性等の向上に効



Fig. 9 External view of one-way clutch

果があり、乗用車では常識化しているトルクコンバータに特有の現象である。一方、ATV では発進クラッチとして機械式の自動遠心クラッチを使用している場合が多く、エンジンがアイドリング状態にある場合にはクラッチの引きずりトルクによって車両が動き出すことは無い。

クリープは走行性能上では有用であるが、ATV としては市場の他機種との使い勝手を同一にすることを優先し、アイドリング停車時にクリープを遮断する制御システムを開発した。トランスミッションの概略図を Fig. 10 に示す。TRX650FA には 3 速オートマチック用として三つの油圧クラッチを搭載し、変速時は電子制御によりクラッチへの油圧回路を切替えることで、それぞれのギヤ列に駆動力を伝達する。ニュートラル状態と同様に、エンジンがアイドリングで停車状態にある場合には、全てのクラッチへの油圧を遮断することでクリープの発生を制御している。

5.2. システム概要

変速制御系を含めた油圧回路は Fig. 11 に示すとおりで、変速用の油圧切替えバルブの上流にリニアソレノイドバルブを設定し、車速、スロットル開度、エンジン回転数、油温などのパラメータにより、必要に応じた油圧を段階的に発生させている。クリープの断続を違和感無く制御するためには、エンジン回転数に対するクラッチ係合の応答性を向上させることが課題となる。そのために、Low クラッチまでの油圧経路をできるだけ短く設定し、クラッチ内のチェックバルブは応答性の良いフリーボール式を採用した。さらに、リニアソレノイドバルブから微小な油圧(スタンバイ油圧)を供給し、途中の経路にオイルを充滿させている。また、低温時の確実なクリープ遮断と油温変化に伴う接続フィーリングの変化を無くすために、スタンバイ油圧の油温補正を行っている。この結果、自動遠心クラッチと同等の

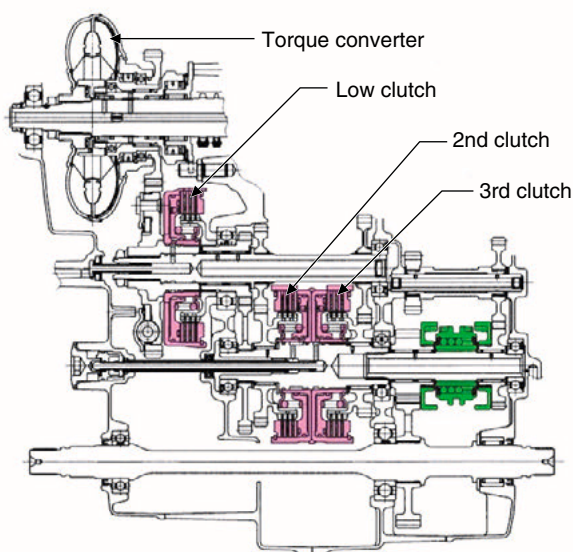


Fig. 10 Structure of transmission

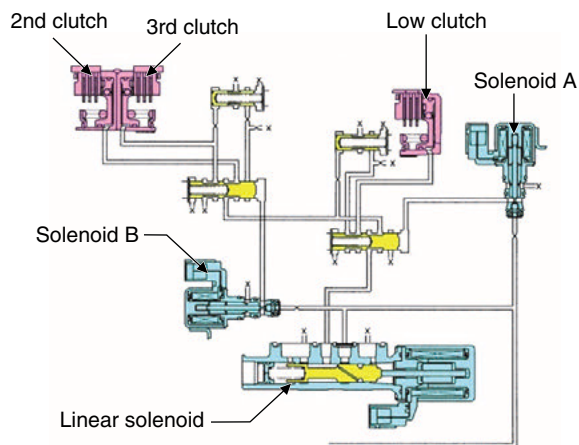


Fig. 11 Structure of hydraulic circuit

クリープ断続の応答性と接続フィーリングを得ることができた。接続特性線図を Fig. 12 に示す。

6. 自動変速システム

6.1. 基本構成と構造

今回開発したトランスミッションは三つのクラッチと機械式シフト機構の計四つの係合要素から構成されている。前進では三つの変速段をそれぞれのクラッチが係合し駆動力を伝達する。また、後進時には Low クラッチと機械式シフトを“ R ”位置に係合する。これらの変速段とクラッチ作動の関係を Table 4 に示す。ニュートラル“ N ”とドライブ“ D ”およびリバース“ R ”の各走行レンジの切替えはダボによる機械式で、手元のコラム式レバーからコントロールケーブルを介して、クラッチの下流に配置された切替え機構を作動させる。切替え前後はクリープが発生しない状態にあり、リニアソレノイドによって全てのクラッチ油圧を遮断させているために、スムーズに走行レンジの切替えが可能である。

6.2. 変速制御システムの概要

変速制御の油圧回路は基本的には一般の乗用車と同様で

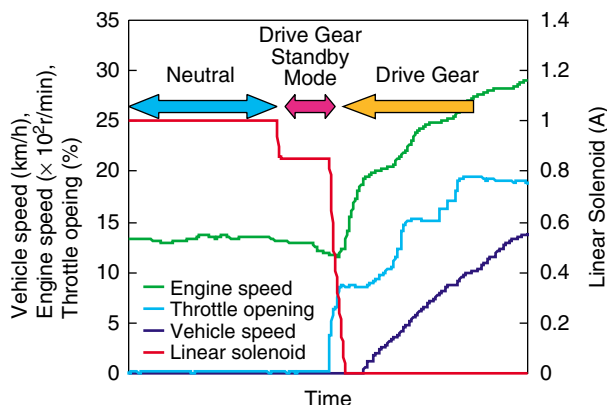


Fig. 12 Creep engage performance curve

あるが、ATVの要求商品性に合わせて単純化した。ATV特有の低圧タイヤは不整地での走破性を良好なものにすると同時に、変速時のショックの緩和にも大きく寄与している。このために油圧回路においては、クラッチ切替え時の油圧変化を制御して変速ショックを低減させるアキュムレータなどを大幅に削減することができた。変速は二つのオン・オフソレノイドバルブの組合せによって制御を行っており、ソレノイド信号の組合せは Table 5 に示す通りである。システム異常時はソレノイドへの通電をリレーにより遮断し、ソレノイド A、B ともにオフにすることで 2nd 固定となる。また、ソレノイド駆動回路の不良に対処するために、ソレノイド B がオンのときにはソレノイド A がオフとなるような回路構成とした。これらにより、故障による 3rd から Low への飛び越し変速を防止している。回路構成を Fig. 13 に示す。

Table 4 Operating conditions

Elements engaged	Clutch			Mechanical shifter
	Low	2nd	3rd	
Neutral				N
Low	○			D
2nd		○		D
3rd			○	D
Reverse	○			R

Table 5 Solenoid application and actual gear

Actual gear	On-Off Solenoid	
	A	B
Low	On	Off
2nd	Off	Off
3rd	Off	On

6.3. 油圧制御バルブボデーユニット

変速制御を行うバルブボデーユニットは油圧切替え用スプールバルブの異物による作動不良を防止するために、クリーンルーム内で組立てを行い品質を管理、維持することが望ましい。本エンジンは既存のエンジン組立てラインでの生産を行うために、ライン上での異物混入の管理を十分に行うことができない。そこでリニアソレノイドバルブ、オン・オフソレノイドバルブ、変速用スプールバルブのすべてを1つのユニットとして構築し、事前にクリーンルーム内で組立てて、ユニット単体での機能保証確認を行っている。さらにクリーンルーム内では、主な高圧のオイル通路を形成するフロントカバーにバルブボデーユニットとオイルフィルタエレメントを組み付ける工程も行い、バルブボデー上流側への異物混入を防止している。

また、バルブボデーユニットをエンジンの外側から簡単に脱着可能としてサービスメンテナンス性にも配慮している。バルブボデーユニットの外観を Fig. 14 に示す。

6.4. 油圧クラッチ

油圧クラッチの基本構造は乗用車用オートマチックトランスミッションで実績のあるものであるが、軽量化のためにピストンをアルミダイキャスト製としている。ピストンに加わる負荷を低減させるために、使用最大油圧の低減、リターンスプリング荷重の低減などを行うことで、鉄製ピストンと同一スペース内に収めながら、三つの合計で0.6kgの軽量化を行うことができた。外観を Fig. 15、従来の鉄製ピストンとの比較構造図を Fig. 16 に示す。

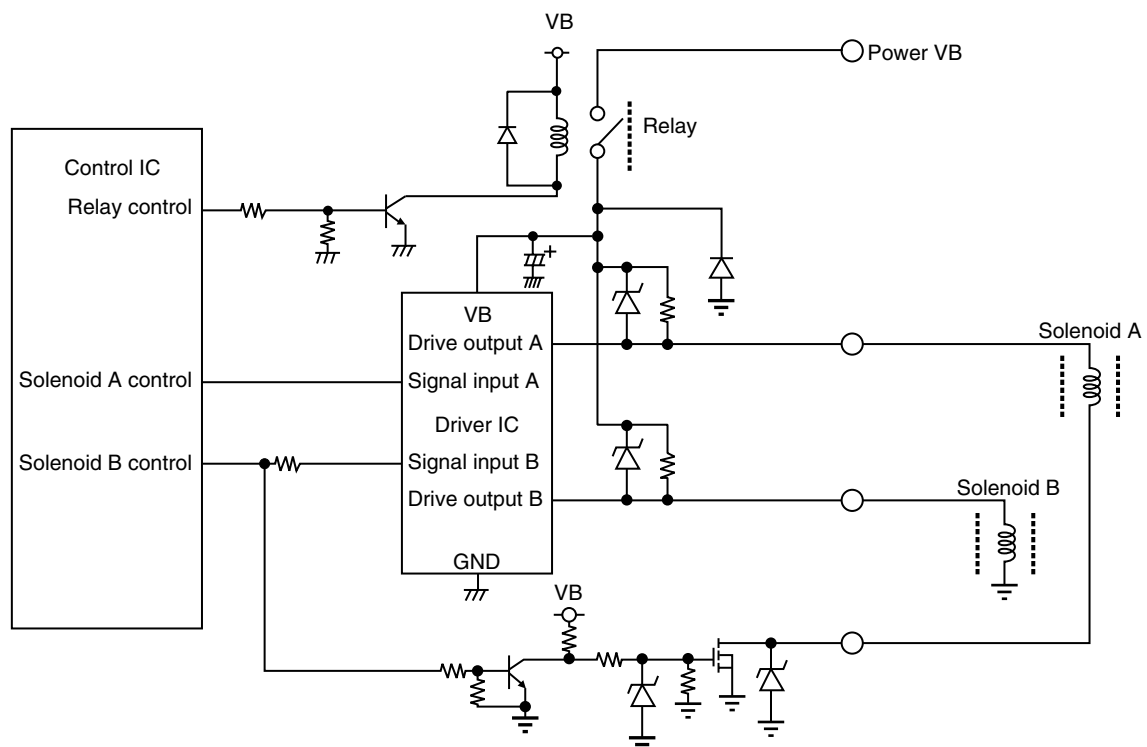


Fig. 13 Solenoid circuit

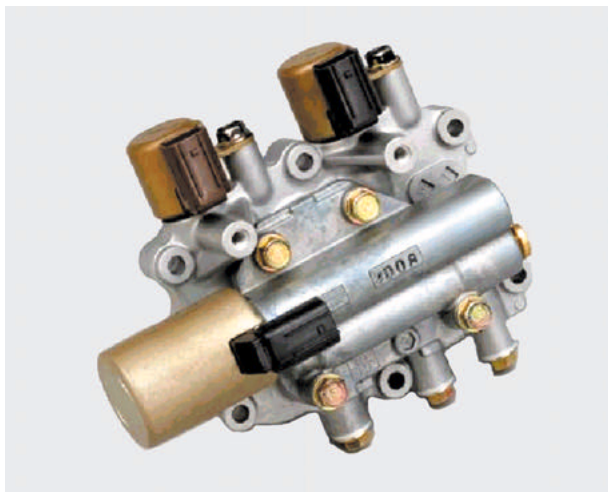


Fig. 14 External view of valve body

チェックバルブの方式はクリープ断続時の応答性を優先し、フリーボール式を採用した。乗用車では、変速時のショック低減のためにクラッチの制御性を高める必要があり、そのためにチェックバルブの方式をボール式から遠心力の影響を低減させた板バルブ式、さらに遠心油圧をキャンセルする方式⁽³⁾と機能を向上させてきた。

ATV用としては、前述の通り低圧タイヤの寄与により変速ショックを伝えにくい利点がある。特に、高速時には車両の挙動変化による影響が変速ショックを上回り、商品性上は問題の無いレベルとなることが分った。一方、発進時のクリープ接続時の応答性は、タイヤのグリップ力が高い上に車体挙動が少ないためにライダーに伝わりやすくなる。このような結果から低速時の応答性を重視し、フリーボール式のチェックバルブを採用した。Fig. 17に変速時の挙動変化を示す。

7. 変速制御システム

7.1. 制御ユニット

量産 ATV の電動チェンジ⁽⁴⁾仕様と基本 ECU を共通化し、クリープと自動変速制御用の拡張ユニットを追加した。ECUと拡張ユニット間で相互通信を行うことで、専用部分に拡張の自由度を持たせながら小型軽量化を実現した。

7.2. スリップ判定

不整地での走行においては、車両の姿勢安定化のためにスロットルの開度変化が大きく、かつタイヤのスリップする頻度が高くなり、一方、滑りやすい路面では簡単にホイールがロックしてしまう。このような状況下では実車速と車速センサの検知値との差が大きくなり、不意なシフトアップ・ダウンを招き変速が煩雑になり走行性能が悪化する。実車速を正確に判断し、設定通りの変速特性を実現するために、時間当たりの車速変化率を判定基準として設定した。これは加速・減速の両方に適用され、車速検知値の急激な増加



Fig. 15 External view of clutch piston

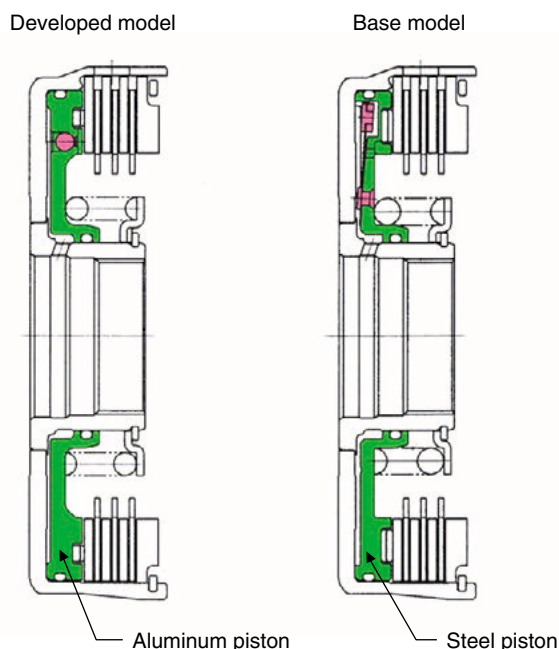


Fig. 16 Structure of clutch piston

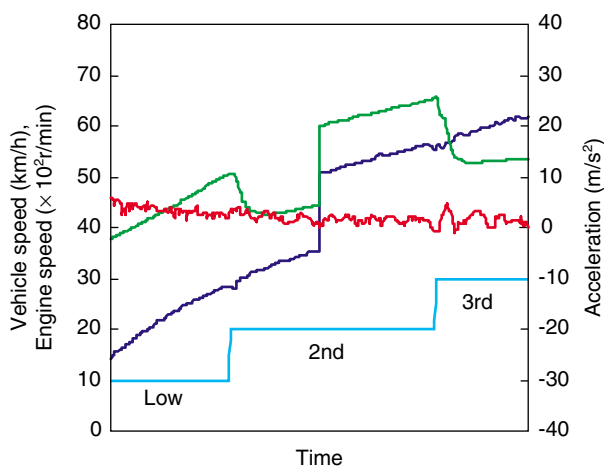


Fig. 17 Acceleration character at shifting

はタイヤがスリップしていると判断し、急激な減少はホイールロックしていると判断して、それぞれ現状の変速段を固定する制御を行って不意な変速を防止した。

7.3. コーナリングモード

スロットル開度が大きい走行状態から、コーナに進入してスロットルを全閉にすると、変速マップに従ってシフトアップしてしまう場合がある。これを防止するために事前の走行状態を判定し変速段を固定する手法もあるが、路面状態の変化が激しいATVでは正確に状況を判定するのは難しい。そこでスロットル開度の変化率に着目して急閉時には変速段を固定する制御を追加し、さらにスロットル開度20%以下では変速ポイントを車速の高い領域に移動させた。

この結果、スロットルを閉じたことによる不意なシフトアップを防止できた。また、低スロットル開度を維持した場合のシフトアップも防止しているので低負荷での一定速走行を安定して行うことができる。

7.4. 降坂モード

降坂時はエンジンブレーキを増やすことと減速後の加速に備えることを目的として、ブレーキ信号に連動して早めのシフトダウンを行う専用の変速マップを持たせた。Fig. 18 にその変速制御マップを示す。

8. まとめ

新開発のTRX650FA用のエンジンは、数多くの新機構を投入しながら、以下の結果を得た。

- (1) 27.3kW/5 500r/min の出力、49.9Nm/4 500r/min のトルクを得ながら、エンジン質量 59.8kg を達成した。
- (2) リニアソレノイドバルブを用いたクリープ制御手法により、従来の自動遠心クラッチと同等の接続特性を実現できた。

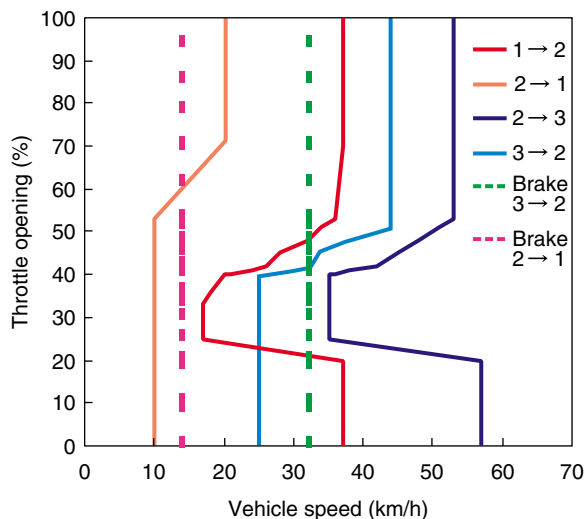


Fig. 18 Shift control performance curve

- (3) スロットル開度、車速に加えそれぞれの変化率を演算することでスリップ状態を正しく認識することが可能になり、ATVの使い勝手にふさわしい変速制御特性を実現できた。

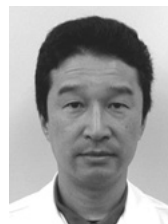
謝 辞

本トランスミッションの開発にあたって、多大なご協力を頂いた(株)ユタカ技研 今坂氏、牧田氏、(株)ケーヒン 加川氏、竜円氏、(株)エフ・シー・シー 西出氏はじめ多くの関係者の方々に深く感謝致します。

参考文献

- (1) 斎藤充：ATV 用電子制御 HMT システムの紹介，日本フルードパワーシステム学会オートムセミナー 2001，p.43-50 (2001)
- (2) 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扁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)
- (3) 大橋達之，矢沢正一，朝付正司，守谷弘史，望月哲也：ワンウェイクラッチレス 4 速自動変速機の開発，HONDA R&D Technical Review, Vol.9, p.61-69 (1997)
- (4) Ota,A., Narita,S.: Utilization of Motor-Driven Gearshift System, SAE Paper 99PC-129 (1999)

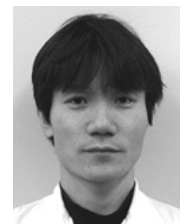
■ 著 者 ■



堀 良昭



濱 岡 誠二



俵 秀幸



中 沢 健