

VFR1200F 用デュアルクラッチ トランスミッションの開発

Development of Dual Clutch Transmission for VFR1200F

田 中 政 隆*
Masataka TANAKA
深 谷 和 幸*
Kazuyuki FUKAYA

荒 井 大*
Dai ARAI
橋 高 栄 治*
Eiji KITAKA

渡 辺 純 也*
Junya WATANABE
土 谷 政 彦*
Masahiko TSUCHIYA

要 旨

ABSTRACT

スロットル操作に対するダイレクト感を持ちつつ、変速時の駆動力切れの無いモータサイクル用 Dual Clutch Transmission (以下 DCT と呼ぶ) を開発し、VFR1200F に搭載した。

本システムは、二つのクラッチに対し独立した二系統の油圧回路を設定し、個別に制御する構成とした。発進前の弱クリープ制御、減速度追従シフトダウン制御、コーナリング推定制御などにより、モータサイクルに求められる優れた発進、変速性能を達成した。これにより、ライダスキルに依存することなく、ライディングの楽しさを味わうことが可能となった。また、DCT システムのコンパクト化を実現させたことにより、同時開発していた VFR1200F のマニュアルトランスミッション仕様とクランクケース素材の共有化を実現し、同一のフレームに搭載した。

The dual clutch transmission (DCT) for motorcycles that provides direct response to throttle operations without interruption of traction at shift was developed and installed on the VFR1200F.

This system has two separate hydraulic circuits for two clutches to provide individual controls. Weak creep control at departure, deceleration adaptive shift-down control, predictive cornering shift control, and other controls were developed to achieve the advanced performances in the vehicle departure and the shift change characteristic that are demanded for motorcycles. With those performances, riders can enjoy the pleasures of riding without depending on rider's skills. Compact design of this DCT system has made it possible to share the same crankcase raw casting materials with manual transmission (MT) type which is developed in parallel, and this design has enabled the installation on the common frame with MT system.

1. まえがき

大型モータサイクルのオートマチックトランスミッションとしては、スクータタイプに採用されているベルトコンバータと、DN-01 に搭載されている HFT (Human Friendly Transmission)⁽¹⁾ の二通りの機構が知られている。これらはいずれも、CVT (Continuously Variable Transmission) と呼ばれる無段変速トランスミッションで、滑らかな変速による快適な走行性能を持つ。一方、モータ

サイクルの FUN 要素である、スロットル操作に対してリニアでダイレクトな駆動伝達から得られるスポーティなフィーリングという面では、依然マニュアル操作の有段トランスミッションが好まれる傾向にある。これら相反する二つの要求の両立を実現し、ライダのスキルに依存しない新しいオートマチックモータサイクルの価値観の訴求を目指して、世界初となるモータサイクル用 DCT⁽²⁾ を開発し、VFR1200F に搭載した。本稿では、その技術ポイントについて述べる。

*二輪 R&D センター

Table 1 VFR1200F specifications

Dimensions (L × W × H) (m)	2.250 × 0.755 × 1.220
Wheel base (m)	1.545
Weight (kg)	267
Engine type	Liquid-cooled 4-stroke OHC 4 valve 4-cylinder V-type
Engine displacement (cm ³)	1,236
Bore and stroke (mm)	81.0 × 60.0
Compression ratio	12.0
Max, power (kW/rpm)	127/10000
Max, torque (N·m/rpm)	129/8750
Fuel system type	Electronic fuel injected (PGM-FI)
Front tire size	120/70ZR17M/C(58W)
Rear tire size	190/55ZR17M/C(75M)

2. VFR1200F の機種概要

VFR1200F (Fig. 1) は先進技術と独創的なスタイリングを高次元で融合させた大型二輪スポーツツアラをねらいとして開発した。



Fig. 1 VFR1200F with dual clutch transmission



Fig. 2 External view of V4 engine with newly developed dual clutch transmission

エンジン (Fig. 2) は一つのカムシャフトで吸気、排気バルブを作動させる「UNICAM」⁽³⁾を採用しコンパクトなシリンダヘッドとすることでマスの集中と低重心を実現した。シリンダバンク角 76 度の V 型エンジンは、28 度位相ピンクランクシャフトとの組合せにより、バランスを搭載することなく一次振動を打ち消し、低回転域では力強くフラットなトルク特性を発揮し、高回転域でもスムーズな吹け上りを実現するとともに、V 型 4 気筒エンジンの独特な鼓動感と排気音を実現した。

スロットル・バイ・ワイヤ (以下 TBW と呼ぶ) によるスロットルバルブの電気的な制御と、電子制御燃料噴射装置 (以下 PGM-FI) により、常にライダーの意思に即したエンジン出力を得ることを可能にした。

スウィングアームはプロアーム式を採用。ピボットとプロペラシャフトをオフセット配置し、サスペンションの上下運動にともなう軸長の変化をプロペラ軸上に配置した等速ジョイントで吸収する構造とすることで、スポーツツアラとして操縦安定性と乗り心地の両立をはかった。

加えて、DCT の採用により、市街地では煩わしいクラッチ操作から開放され、ワインディングロードでは容易にスポーツ走行を楽しむことを可能にした。

Table 1 に、VFR1200F の主要諸元を示す。

3. DCT の開発のねらい

DCT は、四輪車では既に市販されている変速機構である。しかし、これをモータサイクルに搭載するにあたっては、エンジン搭載スペースに収容可能なサイズにしつつ、車体姿勢変化にも対応 (バンク角確保) しなければならない。また、パーツ配置による前後左右の重量配分バランスを阻害しないことも重要である。加えて、マニュアルトランスミッション (以下 MT と呼ぶ) 搭載車⁽³⁾をベースとしたため、エンジン基本構造におけるパーツコモンリティに

Table 2 Comparison of specifications of manual transmission and dual clutch transmission

		Dual clutch transmission	Manual transmission
Clutch type		Hydraulic dual	Mechanical single
Trans-mission gear ratio	Low	2.466	2.600
	2 nd	1.789	1.736
	3 rd	1.409	1.363
	4 th	1.160	1.160
	5 th	1.032	1.032
	Top	0.939	0.939
Number of main shafts		2 (Inner + outer)	1
Center distance (mm)		75	75
Engine oil capacity (lit.)		4.9	4.0
Clutch control pressure (kPa)		900	-

も配慮が必要である。これらを解決し、モータサイクルに最適な機構とするために、以下の開発目標を定めた。

- (1) スムーズな発進特性と、車体挙動の乱れを誘発する変速ショックに配慮した機構と制御にすること。
- (2) ライダに違和感のないシフトマネジメントとすること。
- (3) MT 車に対し、軸配置、軸間距離、クラッチ、トランスミッション、シフト機構の基本配置を変更せず、クラシクケースの素材を共用とし、MT 車と同一のフレームに搭載すること。

4. DCT システムの構成

4.1. システム概要

今回開発した、エンジンの断面図を Fig. 3 に、MT 車と DCT 車の諸元比較を Table 2 に示す。

DCT 車は MT 車のレイアウトに対し、クラッチを二つ装備、2 本のメインシャフトを二重構造、シフトフォークを 1 本追加 (3 本から 4 本) したが、ミッションの幅と軸配置は MT 車と同一とした。

Honda では ATV (All Terrain Vehicle) 用 DCT⁽⁴⁾ を搭載

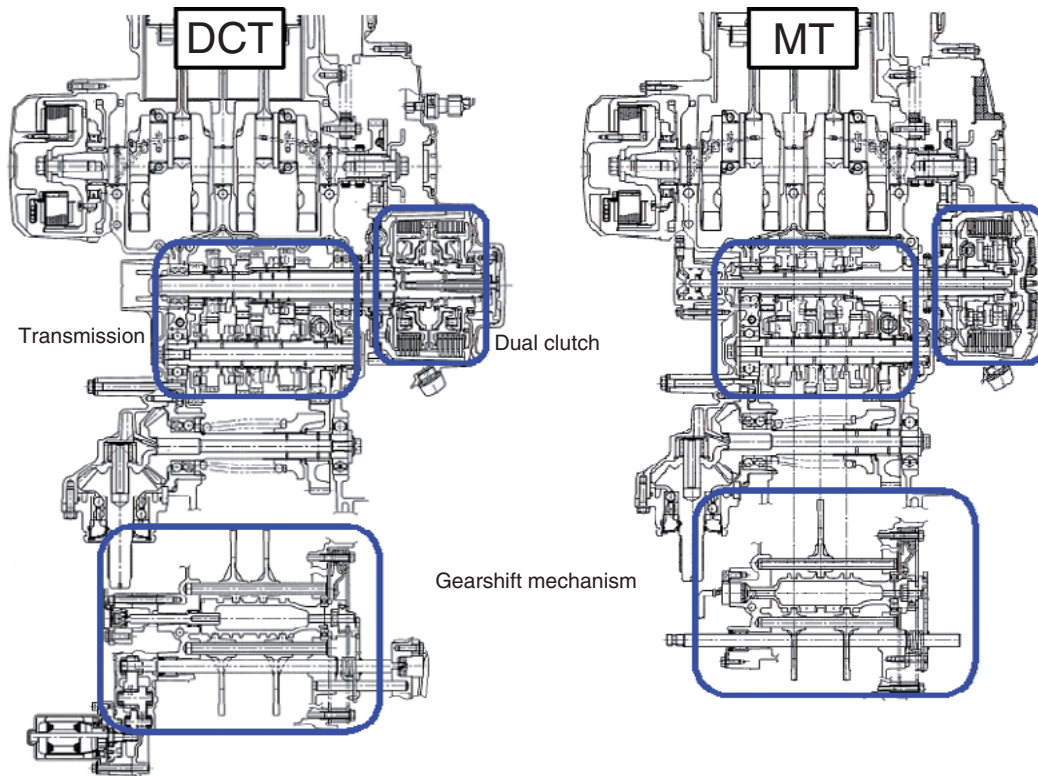


Fig. 3 Comparison of engine cross-sectional drawing

した TRX420FA (Fig. 4) を 2008 年に発売した。ATV 用の DCT では発進専用の遠心クラッチを装備しているのに対し、モータサイクル用では軽量、コンパクト化を目的として奇数側クラッチ（#1 クラッチ）を発進と変速兼用とした。また、ATV のシステムでは一つの油圧制御回路をバルブ切り替えにて二つのクラッチに分配する構成を取っているが、モータサイクルに要求される緻密な発進制御・変速制御を満足させるために、二つのクラッチにそれぞれ独立した二系統の油圧制御回路を設けた。

4.2. クラッチ部の特徴

クラッチは油圧式で、油圧ゼロ時はリターンスプリングにより切断されている。制御油圧をインナメインシャフト端部よりフィードパイプで印加することで接続する構造とした。

クラッチ推力を発生する油圧ピストンは、遠心推力をキャンセルするキャンセラ室と対向して配置している。主要パーツは、放熱性と軽量化を考慮してすべてアルミ鋳造製とした (Fig. 5)。

#1、#2 クラッチの基本構造は同じであるが、発進で使用する #1 クラッチ側の発熱量が大きいいため、クラッチプレートの板厚を変更して対応している。

4.3. トランスミッション部の特徴

DCT 車は、MT 車のトランスミッション部を基本的に踏襲したレイアウトとし、軸間、ミッション幅を同一とする



Fig. 4 TRX420FA

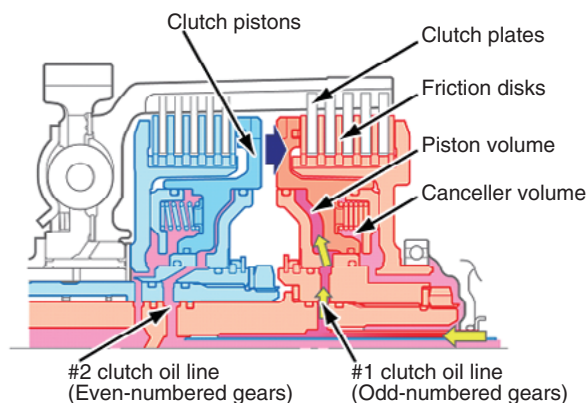


Fig. 5 Structure of dual clutch

ことで、クランクケースの素材共用化を可能とした。#1 クラッチには、インナメインシャフトと1速、3速、5速の奇数段ギヤ列、#2 クラッチには、アウトメインシャフトと2速、4速、6速の偶数段ギヤ列が接続されている (Fig. 6)。シフト動作において、ギヤ自体を左右に移動させ直接ドグを噛み合わせる手法も MT 車と同様である。

DCT 車では、実際の駆動力変化が発生するクラッチの油圧切り替えによる変速がおこなわれる前に、あらかじめ次変速段のミッションの接続、いわゆる予備変速をおこなう必要があるが、ドグクラッチタイプトランスミッションでは四輪のシステムのようなシンクロ機構がないため、予備変速時にドグ結合されるギヤ、シャフトの急激な回転変化に伴う打音が発生する。この打音は MT 車でも同じように発生するが、オートマチック車においてはライダーの操作と無関係なタイミングで発生するため、MT 車よりも気になる音として認識される傾向にあり、この打音の低減が重要である。対策として、1速から3速ギヤのレシオの見直し (Table 2)、DCT 専用の駆動系ダンパの設定、また、音の伝達系の最適化を図ることにより、打音を低減させた。また、これらは変速時のショック低減にも貢献している。

4.4. シフト機構部の特徴

シフト機構は、MT の構造をベースに、シフトスピンドルへの入力方法を、足で操作するシフトペダルから、リダクションギヤ列を装備したコントロールモータに変更したものである。シフトドラムは、ニュートラルポジション、1速から6速ポジション、および、隣り合ったギヤを同時に準備するポジションの12ポジションを有する (Table 3)。

本システムでは、シフトアップとダウンの双方に同等な変速応答時間を確保すると共に、非駆動側クラッチのフリクションロス低減による燃費向上を目的として、非駆動側のギヤ列はニュートラル状態で待機する仕様を採用した。

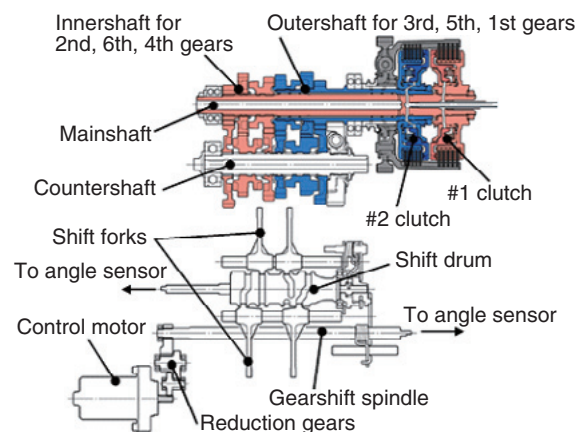


Fig. 6 Transmission and gearshift mechanism

Table 3 Shift drum position and gearshift conditions

Shift drum position #	Gearshift conditions	Engaged gear	
		Odd-numbered gears	Even-numbered gears
1	Neutral	N	N
2	Start, 1st	1	N
3	1st⇔2nd shift	1	2
4	2nd	N	2
5	2nd⇔3rd shift	3	2
6	3rd	3	N
7	3rd⇔4th shift	3	4
8	4th	N	4
9	4th⇔5th shift	5	4
10	5th	5	N
11	5th⇔6th shift	5	6
12	6th	N	6

4.5. 油圧回路の特徴

クラッチピストン推力を制御する油圧は、DCT 専用のオイルポンプで発生したものを分岐し、二つのクラッチのそれぞれの回路に設けたりニアソレノイドバルブで調圧している。それぞれの油圧回路には、独立した油圧センサを装備している。それにより、クラッチ油圧をより緻密にフィードバック制御することで、作動油であるエンジンオイルの油種の違いと温度による粘度変化に対応している。これらの油圧回路を右側のエンジンカバーに集約させることで、MT 車とのクランクケース共用を実現した (Fig. 7, Fig. 8)。

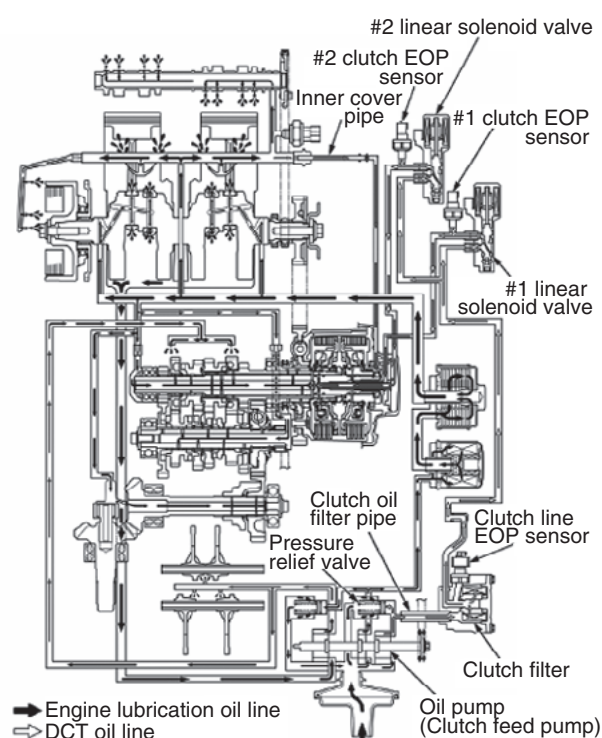


Fig. 7 Hydraulic circuits

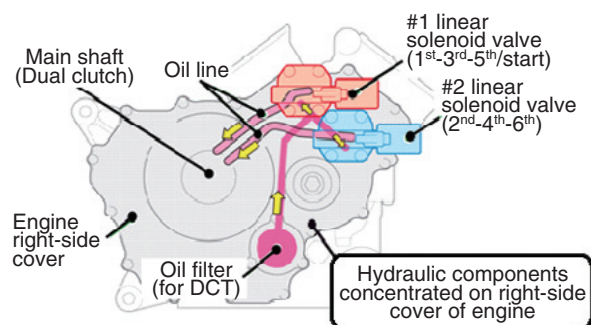


Fig. 8 Engine right-side cover layout

5. DCT の制御について

5.1. 制御システム概要

Fig. 9 が、ECU への入力 (スイッチおよびセンサ) と出力信号をまとめたものである。ライダーの意志 (スロットル開度、各入力スイッチ)、エンジンの運転状態 (エンジン回転数)、走行状態 (車速) と、DCT の作動状態 (各シャフトの回転数、シフト機構の角度、油温、クラッチ油圧等) をモニタし、変速マップと照合しながら目標ポジションを算出、クラッチ油圧とシフト機構の動作信号として出力している。

5.2. エンジンオイルへの対応

モータサイクルにおいては通常、トランスミッションの潤滑油をエンジンオイルと共用化しており、本システムにおいてもエンジンオイルをシステムの作動油および潤滑油として用いている。しかしながら一般的にエンジンオイルは温度に対する粘度の変化が ATF (オートマチックトランスミッションフルード) に対し大きい為、粘度変化に柔軟に対応する必要がある。

そこで本システムではクラッチへの油圧を常時モニタする油圧センサを用いた油圧フィードバック制御を採用するとともに、油圧応答特性からオイルの粘度を推定する機能を追加した。推定されたオイル粘度に基づいてフィードバックゲインを切り替えることで、油温や粘度変化に対し柔軟に対応できる構成となっており、粘度変化が発進や変速フィーリングに与える影響を最小化するとともに、油圧制御系の応答を高めることができた。

5.3. 発進制御

モータサイクルは停止状態では車体を足で支える必要があるため、インギヤでの停止中にスロットルを閉じた状態においてはクラッチを切断し、クリープトルクを発生させないシステムとする必要がある。しかし、油圧制御式の発進クラッチにおいて、停止状態でクリープトルクを与えない制御とすると、発進開始直後にクラッチピストンを短時間に大きく移動させる必要があり、クラッチ伝達トルクを緻密に制御することが難しい。

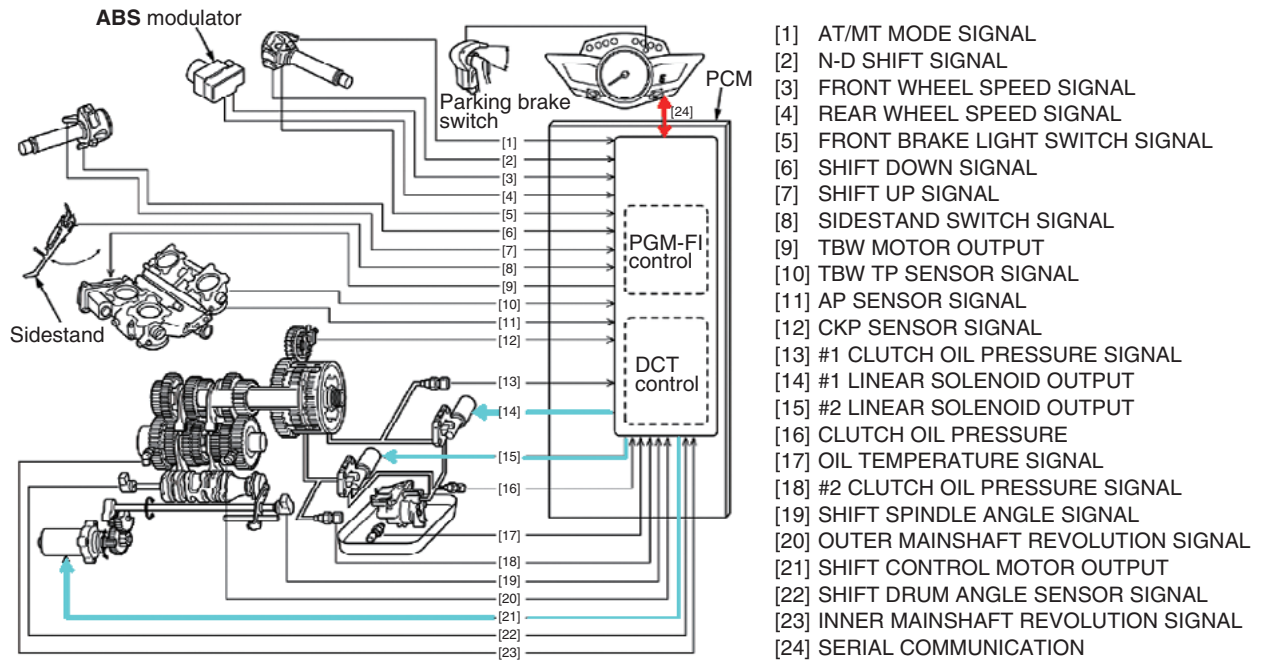


Fig. 9 Diagram of control system

上記の課題を解決するために、本システムでは、弱クリープ制御を追加した。弱クリープ制御とは、スロットルが開くタイミングから、エンジン回転が実際に上昇するまでのタイムラグに着目し、その時間内にクラッチピストンの移動を終了させる制御とした。まずスロットルが開いたことを検出すると、クラッチ制御目標油圧を弱いクリープが生じる状態まで上昇させる。このとき、スロットルはすでに開いた状態であるため、車体がクリープ状態で前進することは使い勝手にも問題がない。その後エンジンの出力応答があり、エンジン回転が上昇した後に、スロットル開度とエンジン回転数に応じて目標伝達トルクをクラッチに与える制御としている (Fig. 10)。このような制御シーケンスをとることにより、停止中には確実なクラッチ切断を実現しながらも、エンジン回転が上昇する前に、クラッチがトルクを伝達し始める状態に移行させることが可能となり、スムーズな発進性能を確保することができた。

5.4. 変速動作

DCTの変速動作は、以下の順におこなわれる。

- (1) 変速指令により、待機側のギヤを結合させ、奇数と偶数段ギヤを同時結合状態に移行する (予備シフト)。
- (2) クラッチ油圧のかけ替えにより駆動側と非駆動側クラッチを切り替える。
- (3) 非駆動側となったクラッチ制御油圧の低下完了を油圧センサが検知し、非駆動側のドグを切断することでニュートラル待機状態とし変速動作を完了する。

モータサイクルのギヤシフト機構はドグクラッチタイプであり、DCTのシフト機構として用いた場合は四輪車で一

般的に使われているシンクロタイプの機構に比べ予備シフトにかかる時間が短いという長所がある。そのため、本システムにおいては予備シフト完了までのタイムラグが 70 ms 程度となっており、違和感ない変速応答特性を実現できている。

しかしながら一度に2速以上の変速をおこなう、「飛びシフト」は構造的に実現できない。そこで、各センサの出力を常時監視し、シフト送り系の制御と油圧制御を連携させ、変速時間を短縮した。

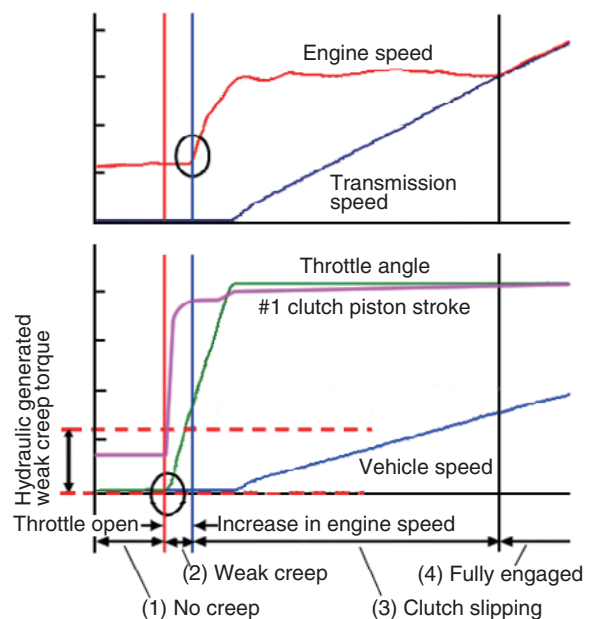


Fig. 10 Time chart during starting

このように各作動の連携を取りながら所要時間を可能な限り短縮させることで、連続的な変速要求受付のインターバル時間 500 ms 以下を実現した (Fig. 11)。

また、MT 車は変速時にクラッチ操作およびスロットル操作により駆動力を切断してシフトチェンジをおこなう必要があるのに対し、DCT 車では二つのクラッチを連続的につなぎかえることにより、駆動力を切断することなく変速が可能である。このイメージを Fig. 12 に示す。この特徴を最大限に生かすために、変速時にはエンジントルクの推定値および変速前後のレシオ差から最適なクラッチ容量を決定し、後輪駆動力がスムーズに繋がるように制御している。それにより、連続的な加速の持続、変速時の車体ピッチング挙動の低減が可能となった。

5.5. 変速タイミング制御の特徴

変速タイミングは、基本的には車速とスロットル開度信号を基に、モード別のベース変速テーブルによって決定される。変速モードの構成としては、市街地走行をターゲットとし、燃費性能にも重点をおいた D モード、ワインディングでのスポーツ走行をターゲットとして、比較的エンジンの高回転領域を使用する S モード、左グリップ部に装備された UP/DOWN スイッチにてライダーがギヤポジションを任意に選ぶことができる MT モードの 3 モードを装備している (Fig. 13)。

モータサイクルに求められるスポーツ走行性能を AT においても実現するためには、コーナへのアプローチから脱

出までの区間においての適切なギヤ選択が重要である。そこで、エキスパートライダーのシフトパターンを解析の上、以下の制御を追加した。

5.5.1. 減速度追従シフトダウン制御

コーナ進入に際し、手前からあらかじめシフトダウンをおこなうことで、適度なエンジンブレーキにより車体の安定を確保すると共に、コーナ脱出時の十分な加速に備えることがスポーツ走行では必須である。そこで車体減速度に応じてシフトダウンタイミングを早めるロジックを採用し、ライダーがマニュアル操作した場合に近い変速パターンを実現した (Fig. 14)。

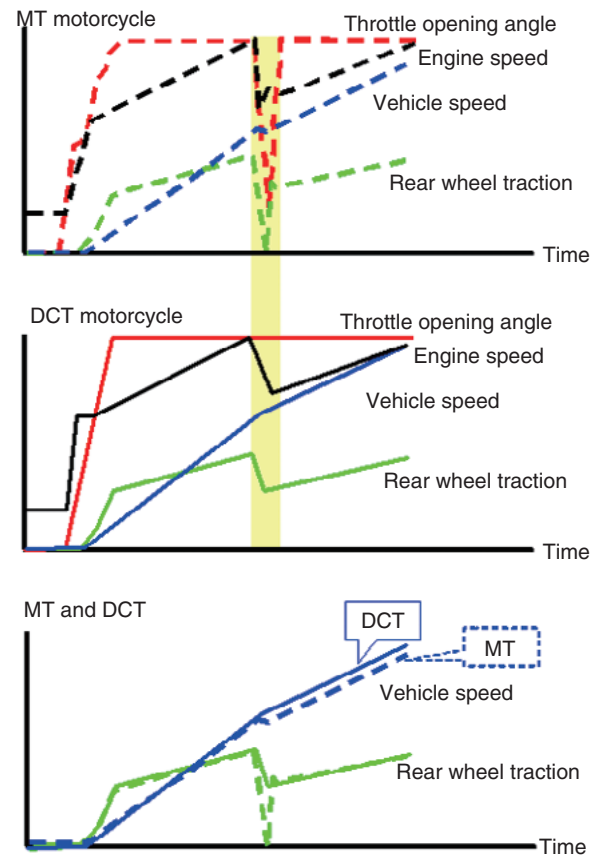


Fig. 12 Comparison between MT motorcycle and DCT motorcycle using time chart of gearshift

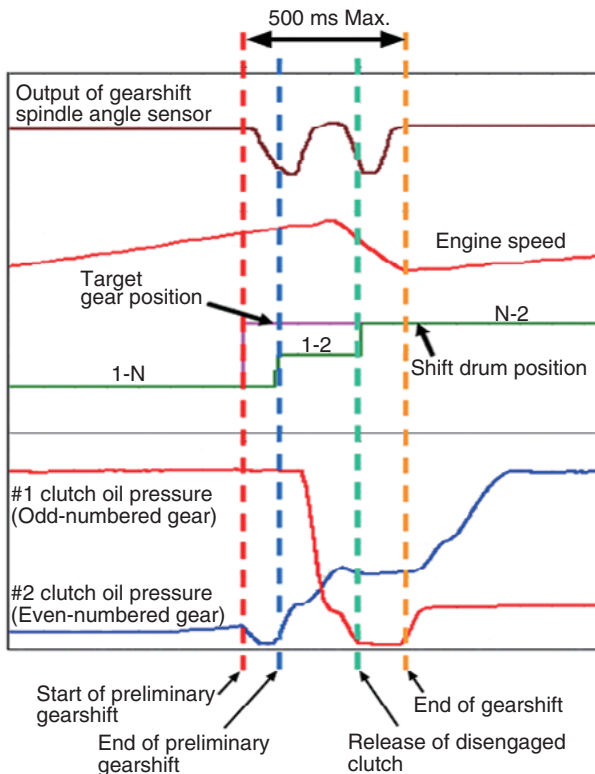


Fig. 11 Time chart of gearshift sequence

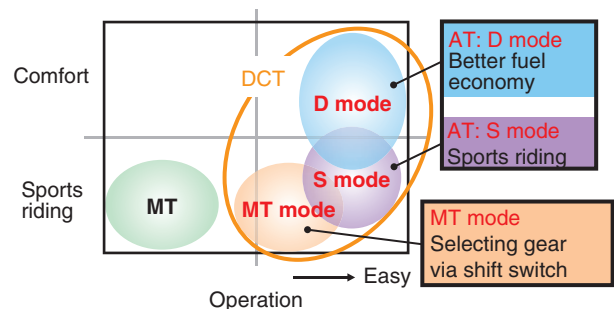


Fig. 13 Gearshift modes

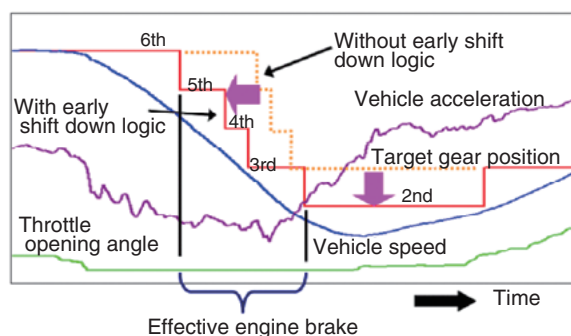


Fig. 14 Early shift down logic during deceleration

5.5.2. コーナリング推定制御

コーナリング中に車体が傾いて走行することがモータサイクルの特徴であり、コーナリング中の不用意なシフトが頻発しないことが求められる。しかし、操舵角や左右輪の回転差で比較的容易にコーナリング状態を検知できる四輪とは異なり、走行中にコーナリング状態を検出することは容易ではない。そこで本システムにおいては、一般的なライディングにおいてはコーナリング中に車体がほぼクルーズ状態になることに着目し、スロットル開度から走行状態を加速とクルーズと減速状態に分け、加速からクルーズ、もしくは減速からクルーズ状態となった場合に、変速スケジュールを動的に変化させることで、コーナリング中のシフトアップを抑制するロジックを導入している。このコーナリング推定ロジックの採用により、バンク角度検出用のセンサ等を追加すること無く、コーナリング中の変速作動を効果的に抑制することができた (Fig. 15)。

5.6. ブリッピング制御

MT モードでは変速開始タイミングにライダーの意思が入るため、AT モードに対し変速時間重視のセッティング

を採用することができる。そこでシフトダウン時には、変速作動中に奇数と偶数の双方のクラッチを切断了状態でTBWシステムとの協調制御をおこなうことにより、エンジン回転を上昇させて次変速段への回転あわせをおこなう、いわゆるブリッピング制御を実現した (Fig. 16)。このブリッピング制御ではATモードでの変速に対し、変速完了までの時間を500 msから170 msに短縮することが可能となった。

さらに、シフトダウン時にビギナーライダーでもエキスパートライダーがおこなうブリッピングを体験できるため、スポーティなフィーリングを演出することが可能となった。

5.7. クラッチ初期学習制御

クラッチ接続性能は、クラッチディスクのクリアランスばらつきや、クラッチリターンスプリング荷重のばらつき

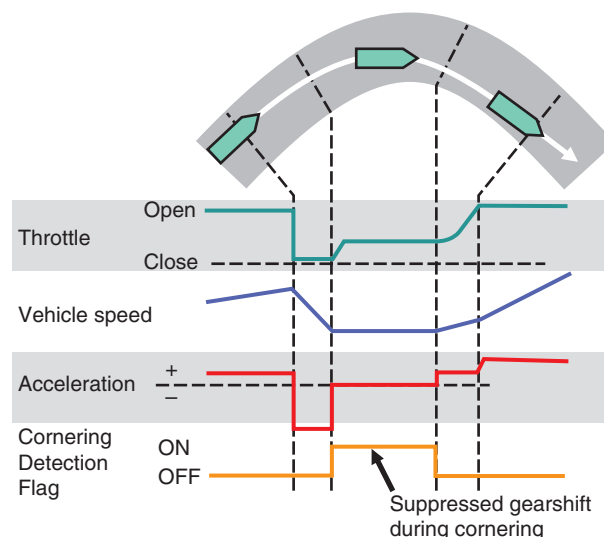


Fig. 15 Cornering detection logic

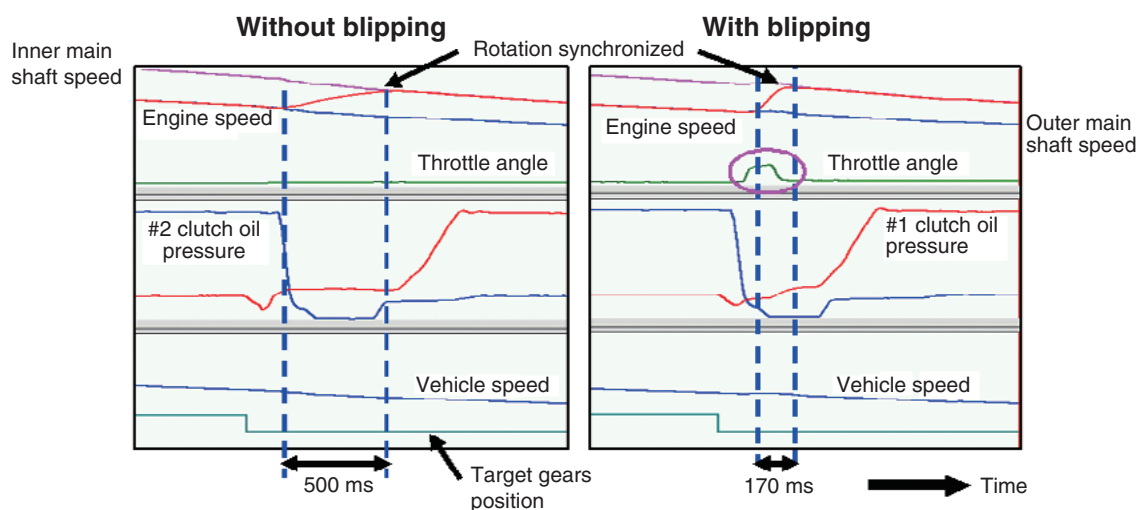


Fig. 16 Comparison of blipping effect

により、クラッチ接続ポイントが変化するため個体差を持つ。一方で、クラッチ接続制御は、クラッチの接続ポイント相当の油圧を基準として制御され、なおかつ、緻密な精度の高いクラッチ接続性能が求められるモータサイクル用 DCT においては、これらの個体差を補正することが望ましい。また、補正は工場での出荷前に実施する場合に加え、市場でクラッチ交換をした場合にも簡便に実施できなければならない。これらの要求を満たすべく、DCT 用のクラッチ初期学習制御を開発した。

クラッチ初期学習制御は、クラッチの目標油圧を一定速度で上昇させ、実油圧挙動の変化からクラッチ接続ポイントを推定し、ECU に記録するものである。この制御の導入によって、公差幅全域における均一な接続性能を得ることができ、安定した緻密なクラッチ接続制御に貢献している。

6. まとめ

スロットル操作に対するダイレクト感を持ちつつ変速時の駆動力切れの無いモータサイクル用 DCT システムを開発し、VFR1200F に搭載することにより、新しい価値観を有するモータサイクルを実現した。以下にその技術のポイントを示す。

- (1) ミッションレシオおよびダンパ特性の最適化、弱クリーブ制御、クラッチ初期学習制御により、スムーズな発進特性と変速動作を実現した。
- (2) コーナリング推定制御、減速度追従シフトダウン制御、ブリッピング制御を追加することにより、ライダーに違和感のないシフトマネジメントを実現した。
- (3) 右側エンジンカバーに DCT の制御油圧回路を集約し、二つのクラッチの直列配置やメインシャフトの二重軸構造を採用することで、MT 車とクランクケースの素材共用を可能とし、同一のフレームに搭載した。

参考文献

- (1) Yoshida, Y., Yakigaya, N., Nakamura, K., Takeuchi, K., Nakano, K., Usukura, Y. : New Generation Hydraulic-Mechanical Transmission with Lock-up Mechanisms and Automatic Start Clutch, SAE Paper, 2008-32-0040 (2008)
- (2) Watanabe, J, Arai, D., Abe, T., Tanaka, M., Ogasawara, A., Tsuchiya, M., Tsubota, R.: Development of Dual Clutch Transmission for Large Motorcycles, SAE Paper, 2010-32-0057 (2010)
- (3) Kisaichi, T. : Technologies for Enabling Concept of New-geometry 4-cylinder V-type Engine, SAE Paper, 2009-32-0059 (2009)

- (4) 水野欣哉, 濱岡誠二, 橘高栄治, 小林正樹: ATV 用 5 速デュアルクラッチトランスミッションシステムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 20, No. 2, p. 70-75 (2008)

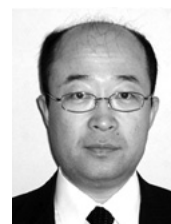
■著 者■



田中 政隆



荒井 大



渡辺 純也



深谷 和幸



橘高 栄治



土谷 政彦