

ワンウェイクラッチレス4速自動変速機の開発

Development of One-way Clutch-less 4-speed Automatic transmission

大橋 達之* 谷 沢 正一* 朝 付 正 司*
Tatsuyuki OHHASHI Shouichi TANISAWA Syouji ASATSUKI

守 谷 弘 史* 望 月 哲 也*
Hiroshi MORIYA Tetsuya MOCHIZUKI

要 旨

小型・軽量・高効率な電子制御4速自動変速機(AT)をプレリウドとアキュラCL3.0用に開発した。新ATでは、従来ATのLowワンウェイクラッチとLowホールドクラッチを廃止しLowホールド機能を統合した。これを達成するために次の三つの新技術の開発を行ない、Lowワンウェイクラッチの機能の代替が可能となった。

- (1) Low・2nd クラッチ用遠心油圧キャンセラ機構
- (2) リニアソレノイドによるフルダイレクト制御
- (3) 新シフトロジック制御回路

ABSTRACT

The available electronically controlled 4-speed automatic transmission used on the Prelude and Acura CL 3.0 is a new design: more compact, lighter and more efficient than its predecessor. The low-gear hold function of the previous transmission is now incorporated into the new transmission, so the low one-way clutch and low-hold clutch are eliminated. Major features of the new transmission are as follows,

- (1) Centrifugal hydraulic cancellation mechanism added to the 1-2 clutch
- (2) Direct hydraulic control system by two linear-solenoids
- (3) New shift logic hydraulic circuit

1. まえがき

近年、世界的な環境や安全への関心の高まりとともに乗用車用の自動変速機(AT)においても、小型化・軽量化・高効率化が盛んに行なわれている。ホンダにおいても、1968年N360に7ポジション3速ATを搭載して以来、小型化・軽量化・高効率化を目的として、79年アコード用にフィードパイプ式クラッチ圧供給方式を採用しフリクションの低減により効率を向上した3速ATを、82年アコード・プレリウド用に世界初のVAM機構(Vibration Absorbed Mechanism: 振動吸収機構)を採用し高効率を実現したロックアップ付き4速ATを、85年レジェンド用に電子制御によりロックアップの領域を最

適化した電子制御式ロックアップ付き4速ATを、86年アコード用にスロットル全閉時にもロックアップを作動させ燃費向上に寄与した減速ロックアップ付き4速ATを、87年プレリウド・レジェンド用に電子制御により変速特性を最適化した電子制御4速ATを、89年インテグラ・アコード用にセカンダリシャフトを追加し全長短縮化構造とした小型平行3軸式4速ATを、95年シビック用にOnクラッチ油圧を直接制御(ダイレクト制御)化し油圧制御回路を簡素化したダイレクト制御4速ATを開発してきた。

本稿では、このような開発の流れを受け、ホンダの新世代ATとして小型化・軽量化・高効率化を目的として

* 栃木研究所

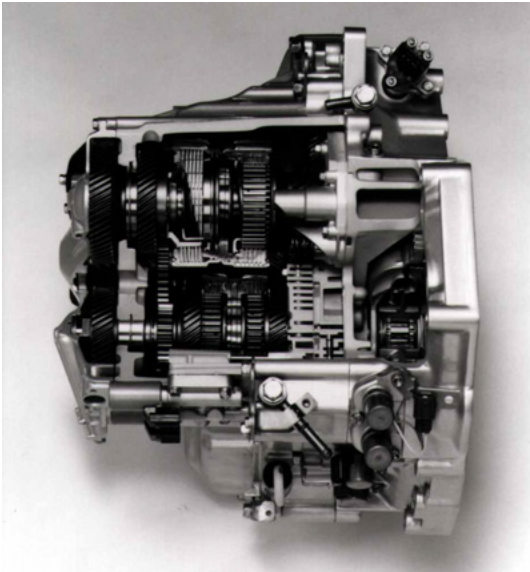


Fig.1 Cut-Away view

開発され、96年新型プレリウドとアキュラCL3.0に搭載した新4速AT（Fig.1）の新技术の内、小型化と軽量化に最も寄与した、LowワンウェイクラッチとLowホルドクラッチの廃止とその成立に必要な技術について述べる。

2. 開発のねらい

新ATを開発するにあたり、従来ATに対し、トランスミッション全長の短縮化と部品点数の削減を開発の第一のねらいとした。開発時には、AT構成部品のすべてについて再検討を行なった。特にパワートレイン構成については、大幅な見直しを行ない競争力の向上を図った。

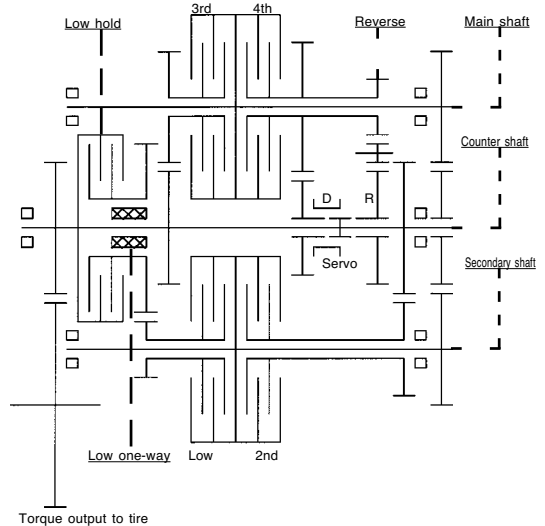


Fig.2 Gear train schematic of the previous AT

3. 新パワートレインの構成と構造

従来のLowワンウェイクラッチ付きATのパワートレイン構成の例として従来型プレリウドに搭載した4速ATをFig.2に示す。このATは、五つの多板クラッチとLowワンウェイクラッチと一つのサーボ機構の計7個の係合要素でパワートレインを構成している。Lowワンウェイクラッチは、カウンタシャフト上にレイアウトされ、D4レンジのLow加速時に駆動力を伝達し、Low減速時と他の変速段（2nd・3rd・4th）駆動時にオーバーランし駆動力の伝達に関与しない。また、1レンジでは、Lowホルドクラッチが係合し、Low減速時にエンジンプレーキを利かせる。この変速段とクラッチ作動の関係をTable 1に示す。この中でLowワンウェイクラッチは、Low→2ndシフトアップ時の変速ショックの改善と高速

Table 1 Operating conditions of the previous AT

Elements engaged	Clutch						Servo
Actual gear	Low	2nd	3rd	4th	Hold	One-way	D/R
Low	○					○	D
2nd	○	○					D
3rd	○		○				D
4th	○			○			D
1 range low	○				○	○	D
Reverse				○			R

Table 2 Operating conditions of the new AT

Elements engaged	Clutch				Servo
Actual gear	Low	2nd	3rd	4th	D/R
Low	○				D
2nd		○			D
3rd			○		D
4th				○	D
Reverse				○	R

走行中AT故障時Low駆動防止（フェイルセーフ）の二つの機能を担っている。

これに対し、新ATのパワートレインは、従来の構成要素のうちLowワンウェイクラッチとLowホールドクラッチの二つの係合要素を取り去り、四つのクラッチ要素と一つのサーボ機構の計5個の係合要素で4速ATを構成した。これは、平行3軸式の4速ATとしては、最少の係合要素での構成である。これをFig.3に示す。この構成では、Lowワンウェイクラッチレスのため、Lowクラッチは、D4レンジ～1レンジLow加速時に駆動力を伝達し、減速時にエンジンプレーキを利かせる。この変速段とクラッチ作動の関係をTable 2に示す。

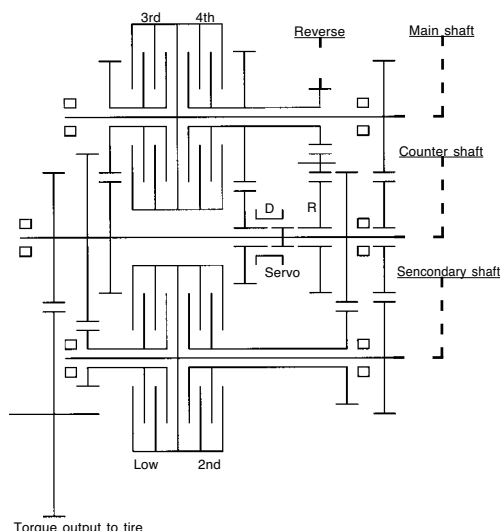


Fig.3 Gear train schematic of the new AT

パワートレイン構造については、トランスミッションの全長短縮化構造とするため、従来のホンダATの特徴である常時噛み合い平行3軸方式を踏襲した。従来ATでカウンタシャフト上に配置されているLowワンウェイクラッチとLowホールドクラッチの廃止により、パワートレイン構造のシンプル化が可能となった。また、セカンダリシャフト上に配置してある2ndクラッチをカウンタ4thギア列上に配列することによりトランスミッション全長の短縮化、各変速ギア幅の確保と軸受けスパンの短縮化が可能になり、ギア音の改善、軽量化と部品点数削減を達成した。新ATの主断面をFig.4に、主要諸元の比較表をTable 3に示す。

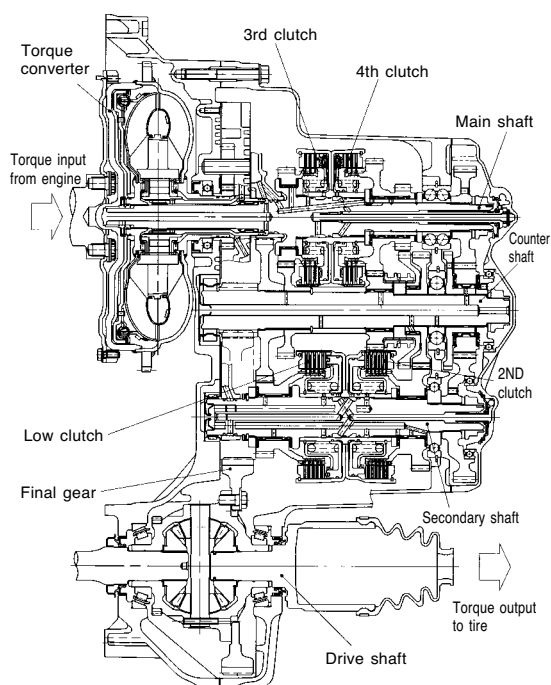


Fig.4 Cross section

Table 3 Specifications of the new AT in comparison to the previous AT

Item		New	Previous
Engine	Model	H22A	H22A
	Version	2.2L DOHC VTEC PGM-FI	2.2L DOHC VTEC PGM-FI
Torque converter	Type	3-element, 2-phase with lock-up clutch	3-element, 2-phase with lock-up clutch
	Size	232mm	242mm
Type		Constant-mesh type with three parallel shafts	Constant-mesh type with three parallel shafts
Gear ratio	Low	2.528	2.705
	2nd	1.427	1.535
	3rd	0.976	1.088
	4th	0.653	0.75
	Rvs	1.863	2.047
Reduction ratio		4.785	4.285
Used oil	Type	Honda ATF	Honda ATF
	Total amount	6.2L	6.3L
Repair weight (Wet)		83.5kg	84.5kg
Overall length		390mm	412mm

4. Low ワンウェイクラッチレスに伴う課題

前述の二つの機能を担う部品の廃止により、次の二つの課題がある。

1 Low → 2nd シフトアップ時の高精度制御手法の確立

Fig.2に示した従来ATのLow→2ndシフトアップにおいて、Low時は、エンジンから出力されたトルクは、トルクコンバータを介してメインシャフトへ伝達する。さらに、アイドルギア→セカンダリシャフト→Lowクラッチ→Lowギア→Lowワンウェイクラッチ→カウンタシャフト→ドライブシャフトへ伝達する。

AT制御用コンピュータが、Low→2ndの変速を指示すると2ndクラッチが係合を開始し、 T_2 の増加により式(1)になったときにイナーシャ相へ移行し、2ndギアが動力伝達をすべて受け持つ。

$$T_m = T_2 \quad (1)$$

(記号はFig.5参照)

このとき、LowワンウェイクラッチがオーバーランすることによりLowギアは動力伝達に関与せず、変速ショックは、

式(2)に示すドライブシャフトトルクに比例する。

$$T_{ds} = T_m \times i_2 \times i_F \quad (2)$$

これに対し、Fig.3に示した新ATのLow→2ndシフトアップでは、AT制御用コンピュータにより2ndクラッチが係合を開始するところまで従来ATと同一である。その後、 T_2 の増加により式(3)になったときにイナーシャ相へ移行する。

$$T_m = T_2 - T_1 \quad (3)$$

このとき、LowワンウェイクラッチレスのためにLowギアは動力伝達に関与しドライブシャフトトルクは、式(4)となる。

$$T_{ds} = T_m \times i_2 \times i_F - T_1 \times (i_1 - i_2) \times i_F \quad (4)$$

式(4)は、式(2)に対し $T_1 \times (i_1 - i_2) \times i_F$ 項分だけトルクが減少することを示している。トルク相からイナーシャ相移行時のドライブシャフトトルクの最小値がより小さくなり変速ショックが悪化する。この関係をFig.5に示す。ここで、変速ショックの悪化を防止するためには、 $T_m = T_2$ 時に $T_1 = 0$ となるようにLowと2ndクラッチ油圧を高精度にタイミング良く制御可能な手法の確立が必要になる¹⁾。

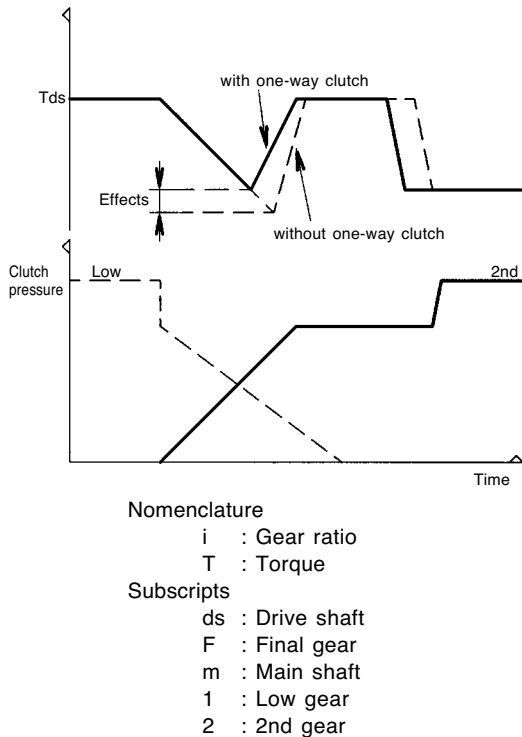


Fig.5 Effects of the one-way clutch for up shift

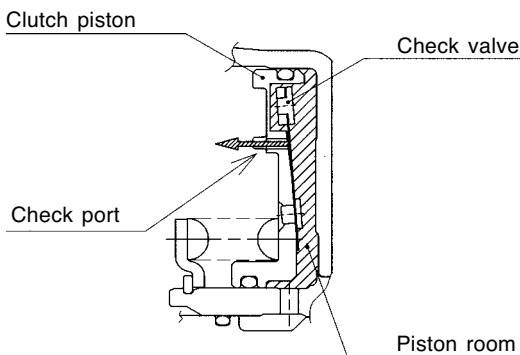


Fig.6 Structure of the piston with check valve mechanism

なお、式(1)～(4)で用いた記号は、Fig.5中に付記する。

2 高速走行中AT故障時のLowへの変速防止手法の確立

従来ATでは、高速時4速で走行中ATのいずれかの部品の故障発生によりLowへのシフトダウンが発生した場合、ドライバがアクセルを踏んだ状態でもエンジン回転数がレッドゾーンに入るとフューエルカットが作動し、

Lowワンウェイクラッチがオーバーランすることにより、エンジンがオーバレブ（過回転）することはない。

これに対し、新ATでは、同様の場合に、エンジン回転がレッドゾーンに入りフューエルカットが作動するが、Lowワンウェイクラッチレスのため、エンジンがオーバレブする。この事象を防止するためには、AT故障発生時に他のシフト段からLowへの変速防止手法の確立が必要になる。

5. 課題の解決手法

解決手法として、以下の項目を採用した。

- 1Lowクラッチと2ndクラッチ油圧の制御性向上を実現するため、回転しているクラッチに発生する遠心油圧の影響をなくすることができる遠心油圧キャンセラ機構。
- 2適切なタイミングでクラッチ油圧の切り替えが制御可能な、二つのリニアソレノイドによるLowと2ndクラッチ油圧の個別かつ直接制御（フルダイレクト制御）。
- 3高速走行中AT故障時のLowへの変速を防止するため、三つのOn-Offソレノイドによるフェイルセーフシステム採用の新シフトロジック制御回路。

5. 1. 遠心油圧キャンセラ機構

従来のクラッチピストンは、ピストン室にチェックバルブが設けてある。これは、クラッチ解放時には、チェックバルブがチェックポートを開き、チェックポートからピストン室内のオイルを排出し遠心油圧を減少する。また、クラッチ係合時には、ピストン室内にオイルを充満することにより、チェックバルブがチェックポートを閉じ、クラッチピストンの作動を確実にする働きがある。しかし、クラッチ解放時に、ピストン室内に空気が導入され、次にクラッチピストンが作動するときにオイルを充満するまでの時間が必要となり、油圧の応答遅れにより適切なタイミングでクラッチ油圧の切り替えが難しいという課題がある。従来のチェックバルブ付きのピストン構造をFig.6に示す。

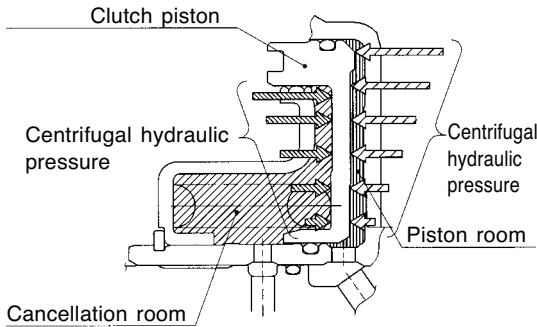


Fig.7 Structure of the piston with centrifugal hydraulic cancellation mechanism

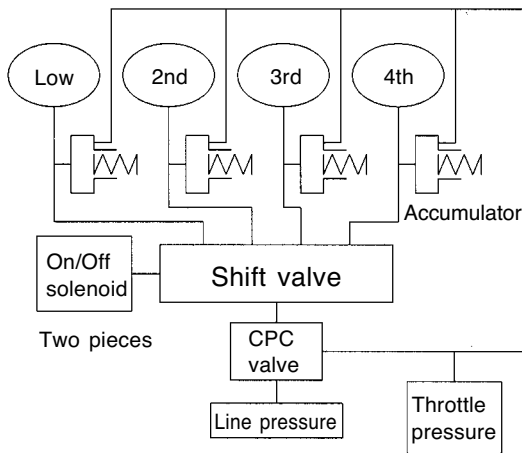


Fig.8 Hydraulic control system schematic of the previous AT

この課題に対し、新ATでは、ピストン室内にオイルが充満したままでクラッチの作動を確実に行うことが可能な遠心油圧キャンセラ機構を、適切なタイミングでクラッチ油圧の切り替えが必要なLowと2ndクラッチピストンに採用した。また、これによりピストン室内に発生する遠心油圧とキャンセラ室内に発生する遠心油圧が打ち消しあい、変速時の解放圧と係合圧に対する遠心油圧の影響をなくして、クラッチ油圧の制御性も向上した。新採用のキャンセラ機構付きのピストン構造をFig.7に示す。

5. 2. リニアソレノイドによるフルダイレクト制御

従来ATは、Fig.8の油圧制御回路で構成され、一つのデバイス（スロットルワイヤで制御したスロットル圧）

Table 4 Solenoid application and actual gear of the previous AT

Actual gear	On-Off solenoid	
	A	B
Low	Off	On
2nd	On	On
3rd	On	Off
4th	Off	Off

でアクキュレータなどを介し、エンジン出力に応じてすべてのクラッチを制御している。Lowワンウェイクラッチ付きATのLow→2ndシフトアップのモードでは、2ndクラッチのみを制御すれば良いので一つのデバイスの油圧特性で容易に設定できる。しかし、LowワンウェイクラッチレスATのLow→2ndシフトアップのモードでは、二つのクラッチの制御を一つのデバイスで行なうことになり設定が難しいという課題がある。

この課題に対し、新ATの油圧制御回路構成は、2ndクラッチ油圧に対応し適切な油圧とタイミングでLowクラッチ油圧を制御できるように変速クラッチの解放油圧側と係合油圧側の回路にそれぞれリニアソレノイドを設定し、個別かつ直接にクラッチ圧を制御可能なフルダイレクト制御とした。さらに油圧スイッチを2ndクラッチ圧検出用に設定した。これと前述の遠心油圧キャンセラ機構との組み合わせにより、Low→2ndシフトアップ時の変速ショックを大幅に改善した。

5. 3. 新シフトロジック制御回路

従来ATは、シフト制御回路の構成にあたって、Lowワンウェイクラッチ付きのため高速走行中AT故障時のLowへの変速の防止を考慮する必要がなく、二つのOn-Offソレノイドによりシフトを制御している。このため、Table 4のように四つのソレノイド信号の組み合わせでシフトが構成され、たとえば4th走行中ソレノイドB（正常時Off）がOn故障するとLowへの変速が発生する。

これに対し、新ATでは、三つのOn-Offソレノイドによるシフトの制御とフェイルセーフ用のシフトバルブを追加しTable 5のように八つのソレノイド信号の組み合わせでシフトを構成した。これにより、高速走行中AT故障時のLowへの変速を防止した。

Table 5 Solenoid application and actual Gear of the new AT

Actual gear	On-Off solenoid			Hydraulic control mode
	A	B	C	
N-1 shift	Off	On	Off	Direct
Low	Off	On	On	Line pressure
1-2 shift	On	On	On	Direct
2nd	On	On	Off	Line pressure
2-3 shift	On	Off	Off	Direct
3rd	On	Off	On	Line pressure
3-4 shift	Off	Off	On	Direct
4th	Off	Off	Off	Line pressure

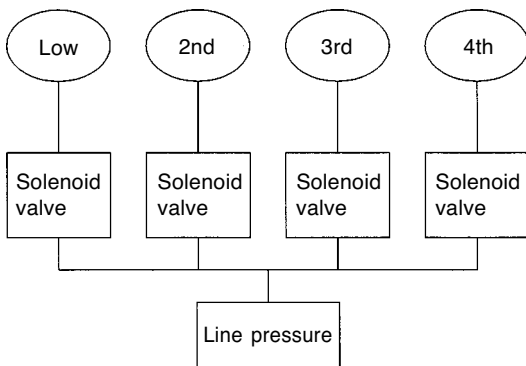


Fig.9 Hydraulic control system schematic of the direct AT

また、これと前述のリニアソレノイドによるフルダイレクト制御の組み合わせにより、ホンダ独自のクラッチ選択型のフルダイレクト制御回路が可能となった。

従来のダイレクト制御ATは、各クラッチごとに専用の油圧制御デバイス（デューティソレノイドやリニアソレノイド）を設置しクラッチの数だけ油圧制御デバイスが必要である。このクラッチ個別型のフルダイレクト制御回路構成をFig.9に示す。

これに対し、新ATでは、平行軸方式の長所（一つのクラッチの制御で一つの変速段が確立する）により、二つのリニアソレノイドですべての変速モードでのダイレクト制御が可能のため、変速時に制御する二つのクラッチ（解放側と係合側）をシフトソレノイドのOn-Offによって選択し、二つのリニアソレノイドで制御する回路構成とした。このクラッチ選択型のフルダイレクト制御

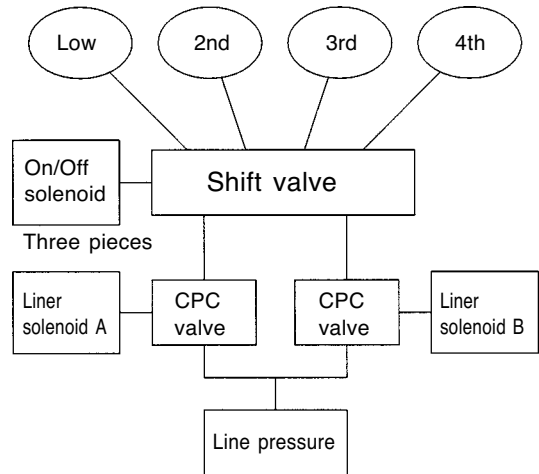


Fig.10 Hydraulic control system schematic of the new AT

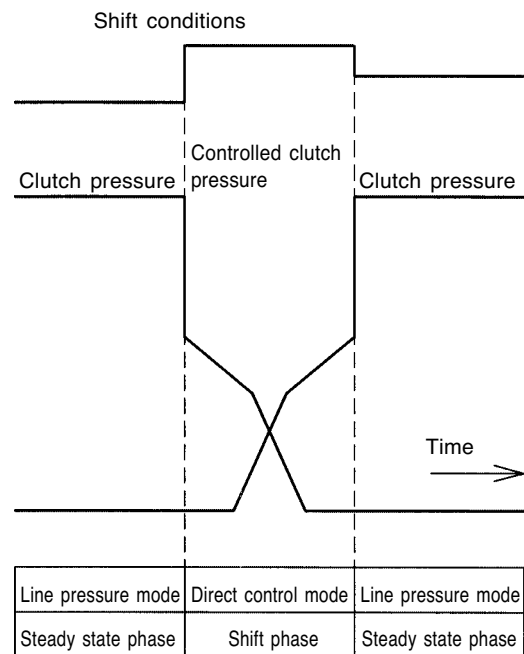


Fig.11 Pressure diagram at shifting

回路構成をFig.10に示す。この結果、変速時はダイレクト制御モード、定常走行（非変速）時はリニアソレノイドを介さないライン圧モードとなり、走行中はリニアソレノイドがフェイル（電氣的または機械的故障）してもクラッチ圧への影響がなく、車両の機能への影響が少なくなるようフェイルセーフシステムを構成できた。このダイレクト制御モードとライン圧モードの切り替えのシステムをFig.11に示す。

6. テスト結果

遠心油圧キャンセラ機構とフルダイレクト制御の適用効果を新型プレリュード SiR で検証を行った。

従来ATと新ATのスロットル開度100%におけるLow→2ndシフトアップのテスト結果（油温80℃）をFig.12およびFig.13に示す。時間軸はイナーシャ相移行時を基準とした。この結果から、新ATでは、イナーシャ相移行時のドライブシャフトトルクの最小値が従来ATと同

等であることを検証した。さらにトルク相の時間内では、ドライブシャフトトルクの減少量が小さくなり、従来ATより変速ショックが改善していることを検証した。

また、本稿では詳細を省略するが、新ATの変速時にはフィードバック制御を適用した²⁾。これによりAT構成部品の個体ばらつきや油温変化に対する、幾度かの同様なテストにおいても良好な効果を検証した。

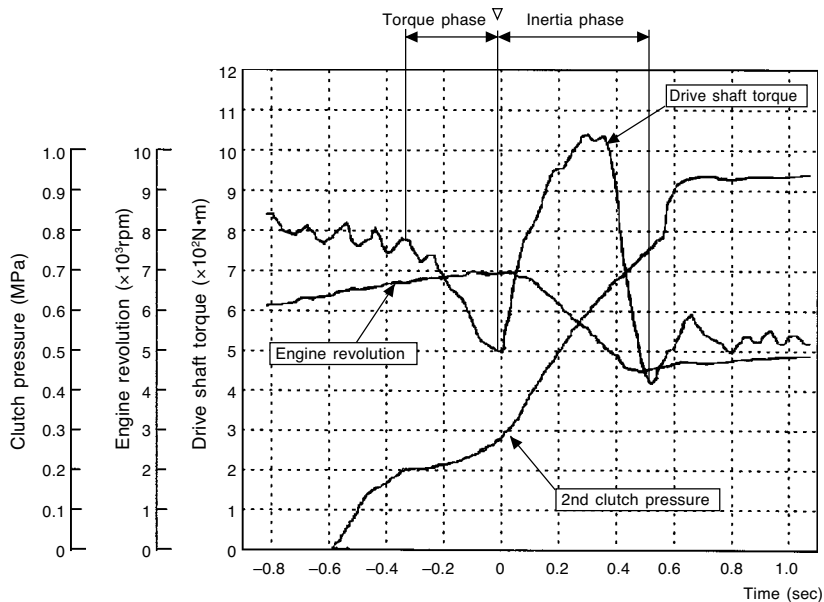


Fig.12 Full throttle 1-2 shift of the previous AT

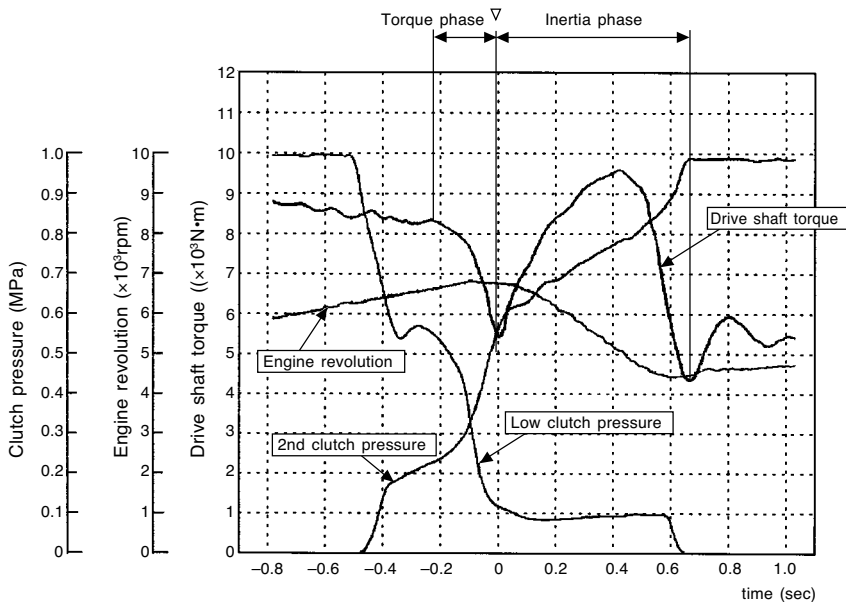


Fig.13 Full throttle 1-2 shift of the new AT

7. まとめ

従来Lowワンウェイクラッチに依存してきた二つの機能(変速ショックの向上・高速走行中のフェイルセーフ)を、三つの代替手段(遠心油圧キャンセラ機構・フルダイレクト制御・新シフトロジック制御回路)により保証する新技術を開発した。この結果、LowワンウェイクラッチとLowホールドクラッチの廃止が可能となり、プレリユード用ATにおいてトランスミッション全長を22mm(412mm→390mm)短縮し、部品点数を76点削減(従来AT比)した。これにより開発の目的である小型化・軽量化を達成した。

参考文献

- 1) 石川 萩原 斎藤 松井 吉村、「自動変速機の開発支援シミュレーションシステム」、HONDA R&D Technical Review, Vol.7, 1995
- 2) 古川 萩原 岩橋 福地 斎藤 吉村、「ロバスト制御によるAT車の変速ショック低減」、HONDA R&D Technical Review, Vol.7, 1995

■著 者■



大 橋 達 之



谷 沢 正 一



朝 付 正 司



守 谷 弘 史



望 月 哲 也