

ロックアップクラッチのファイン制御

Fine Control System for Multi-plate Lock-up Clutch

武 井 寛*

Hiroshi TAKEI

齋 藤 吉 晴*

Yoshiharu SAITO

石 川 豊*

Yutaka ISHIKAWA

津 幡 義 道*

Yoshimichi TSUBATA

要 旨

ABSTRACT

MT 車のようなダイレクト感のある走行フィーリングと燃費向上の両立を図るため、ロックアップクラッチ(以下 LC)制御領域の拡大が AT 制御のトレンドとなっている。

多板ロックアップクラッチ式トルクコンバータ(以下多板 LC 式 TC)、LC ダイレクト制御回路を組み合わせ、実車走行状態に応じた LC 制御をおこなうことで、LC の応答性、冷却性、制御性を向上させ今回紹介する LC のファイン制御を実現した。

この LC 制御システムを採用することにより、従来スロットル開度の低い領域のみの適用であった LC 領域を、高スロットル開度、低車速領域まで拡大することができた。その結果、0-100km/h までの全開加速時間にして 0.2sec の短縮と US06 モードおよび実用燃費で約 3% の燃費向上を両立させた。

Expanding the range of operation of lock-up clutch (LC) control to reconcile the achievement of a drive feel with a directness similar to that available from an MT vehicle and increased fuel efficiency has become a trend in the area of automatic transmissions.

The combination of a multi-plate lock-up clutch torque converter ("multi-plate LC TC" below) and an LC direct control hydraulic circuit that provide LC control in response to driving conditions has enabled the realization of a fine control system for an LC that has enhanced the response, cooling, and control performance of the LC.

The application of this LC control system has enabled the range of LC control to be expanded from the previous low throttle opening range to the high throttle opening, low engine speed range. As a result, the time for acceleration from 0-100 km/h at wide-open throttle has been reduced by 0.2 sec, and fuel efficiency in US06 mode and actual fuel efficiency have been increased by approximately 3%.

1. まえがき

近年、全世界的に地球温暖化対策への注目が集まる中、温暖化ガス排出削減の声が高まり、モータリゼーションに対しても燃費低減技術を代表とした CO₂ 排出削減の要求が高まっている。一方でイージードライブの要求の高まりにより、自動変速機の占める割合は増えているが、その中でデュアルクラッチトランスミッション(DCT)のような MT 車のようにトルクコンバータ(以下 TC)を持たない自動変速機の普及もこの数年で見られるようになった。このように MT

車のようなダイレクト感ある走行フィーリングが運転する喜びとして求められている。

その中で AT 車の発進デバイスである TC に対しては、ダイレクトなトルク伝達性によるドライバビリティの向上や燃費の向上などの性能を期待される。

その実現のために、多板 LC 式 TC^{(1), (2)}、LC ダイレクト制御回路を組み合わせ、実車走行状態に応じた LC 制御⁽³⁾をおこなうことで LC 応答性、LC 耐熱性、LC 制御性を向上させた。

*四輪R&Dセンター

2. ファイン制御の目標設定

LCの制御とは、車速、エンジン回転数(以下Ne)、スロットル(以下Th)開度等の車両走行状態に応じて、LCの滑りをコントロールし、TCのトルク伝達を制御するものである。ここでLCのファイン制御とは、LCの滑りを車両状態に応じて自在にコントロールすること、すなわち全域LC制御(Fig. 1)のことである。ファイン制御を実現することで、ドライバビリティの向上、燃費の向上を達成できると考え、以下の開発目標を設定した。

- (1) LC 制御範囲を全域に広げる
- (2) 全域に拡大したLC制御範囲を車両走行状態に合わせ、LCの滑りコントロールをおこなう

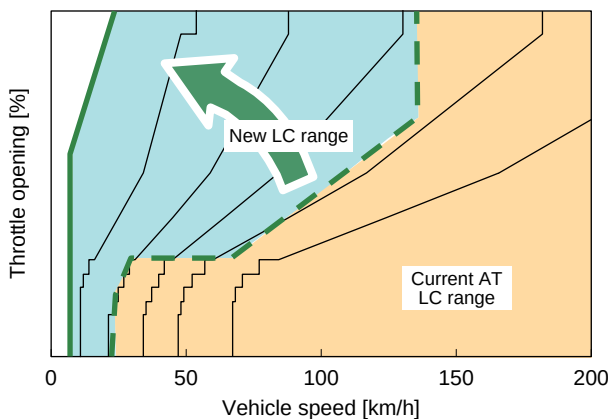


Fig. 1 Lock-up clutch map

従来のLC制御(Fig. 1 Current AT LC range)においてLC制御範囲が限定的なものになっていた要因は、速度比の高い減速時には、LCの応答に時間を要してしまうことと、高トルク時には、LCをスリップさせることで発熱量が多くなってしまうことにより、LCをOFFする制御をおこなっていたためである。よって全域LC制御を実現するうえでの課題として以下の項目が挙げられる。

- (1) LC 応答性の向上
- (2) LC 冷却性の向上

これらの課題を、多板LC式TCと新開発のLCダイレクト制御回路にて対応する。

また、LC制御範囲を、全域に拡大したうえで、十分なドライバビリティの向上、燃費の向上を得るためには、走行中の目標スリップ率のきめ細かな設定が必要となり、実車走行状態に応じたLC制御をおこなうことで対応する。

3. 多板LC式TC

3.1. 構造

今回採用している多板LC式TC(Fig. 2)の特徴を述べる。FF車用のTCが要求されている性能に車両のハイブリッ

ド対応、衝突時の安全性確保のためのAT全長短縮が挙げられる。Hondaは、TC流路の偏平率80%台が一般的な中、2001年モデルより世界に先駆けて偏平率60%台の超偏平TCを開発しFF車用のTCとして量産をしてきた。

多板式LCはピストン室、複数のディスクプレート、クラッチガイドなど複数部品で構成されるため、従来の流路幅ではTCの軸寸法増加は避けられない。今回FF車へ搭載するため、ブレードとトーラス断面で構成される流路の軸寸法のさらなる短縮をおこない、従来TC同等の長さを実現している。

また、ピストン室が閉空間を構成していることによって変速クラッチ同等のトルク容量制御が可能となっていることが大きな特徴である。

3.2. LC 応答性

全域LC制御の実現のためには、LC応答性の向上が重要である。ここで、まずLCの制御状態を説明する。単板式LCをFig. 3、多板式LCをFig. 4にそれぞれを示す。共にLC operating pressure (LC圧)とTorque converter pressure(TC圧)の差圧によって、LCピストンの作動を制御している。よって、LC応答性を向上するためには、このLC圧とTC圧の油圧応答性向上がポイントとなってくる。単板式LCでは、LC OFF [Fig. 3 (a)] から LC ON [Fig. 3 (b)] に移行する過程においてLC圧とTC圧の流路が逆転することと、LC圧とTC圧がLCピストン部でつながっていることが、LCピストンの応答特性を遅らせている要因となっていた。一方多板式LCでは、LC OFF [Fig. 4 (a)] と LC ON [Fig. 4 (b)] 共に制御油圧は同じ動きをしており、TC圧は油圧を一定に保ち、油圧精度向上を図ったLC圧をLC ON状態に合わせて制御することでLCピストンの応答性向上をはかった。

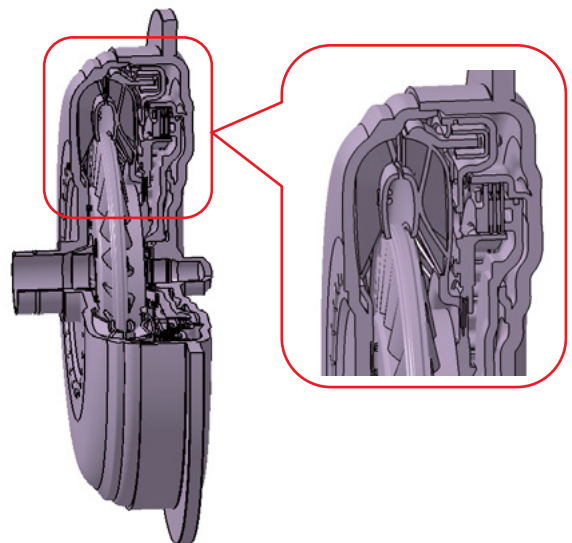


Fig. 2 Side view of developed torque converter

3.3. LC 冷却性

全域 LC 制御に大きく影響を与えるもう一つの要因として、LC フェーシング部の冷却性が挙げられる。LC フェーシングの冷却は、ATF 潤滑によりおこなわれている。単板式 LC では LC ON 時に LC フェーシング材によって LC 圧と TC 圧のシールをおこなっている [Fig. 3 (b)] ことで ATF 潤滑をフェーシング材に効果的に流すことが難しい。一方多板式 LC では、LC ピストンが常時閉空間を構成することで、LC フェーシング材が LC 圧と TC 圧の間の作動油圧をシールする必要が無く、LC フェーシング材表面への潤滑溝の設定が可能となっている [Fig. 4 (b)]。

この溝に TC 圧を使って ATF を供給し、かつ TC 圧流路をピストン内径側から外径側に設けることで、遠心油圧を利用して ATF をスムーズに流すことができる。さらに内径のギヤハブ部に潤滑穴を設けて効率的に ATF を流すことで、冷却性能を向上させている。

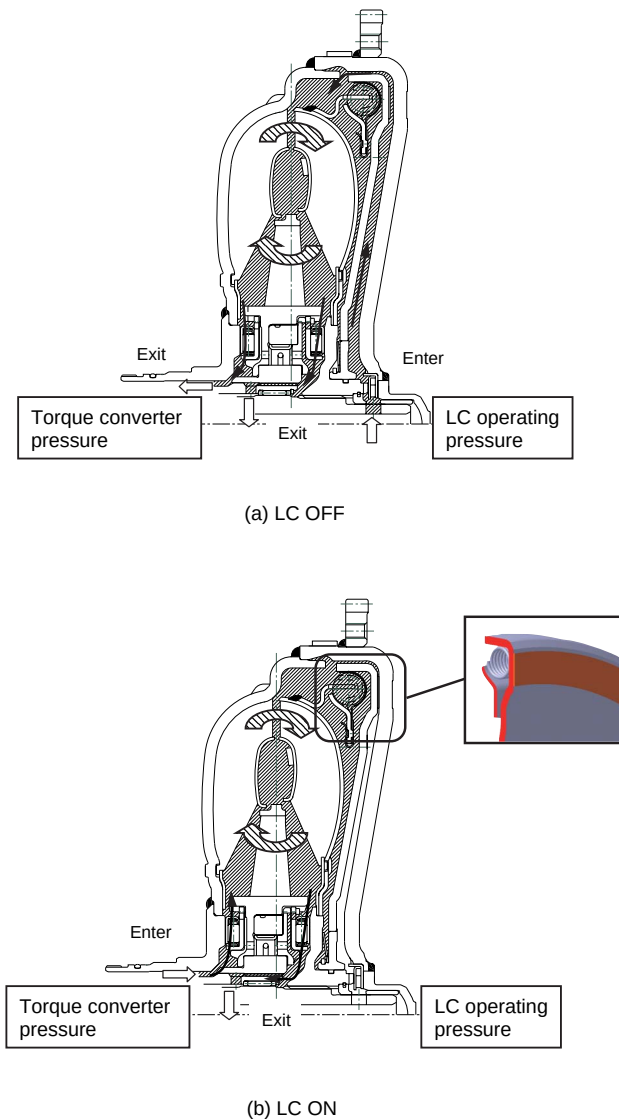


Fig. 3 Oil flow of torque converter with single plate LC (previous)

4. LC ダイレクト制御回路

4.1. LC 応答性

今回開発した新油圧回路は、LC 応答性向上を目的として LC 圧を変速クラッチ圧同等に精度を上げるために専用のコントロールバルブを持たせる変更をおこなった。新油圧回路図を Fig. 5 に示す。

次に従来の油圧回路図を Fig. 6 に示す。LC 圧の制御は、LC 圧と TC 圧を一つの元圧より LC コントロールバルブ (以下 VLV) を使い、LC 圧と TC 圧に振り分けをおこなっていた。そのため、LC ピストンの作動に際して、LC 圧を変動させると同時に TC 圧も変動することになり LC ピストンの応答性が遅い要因となっていた。LC ダイレクト制御回路は、LC コントロール VLV を LC 圧専用とし、LC ピストンの作動を LC 圧単独で制御することができ、変速クラッチ圧同等の油圧制御性に向上させている。

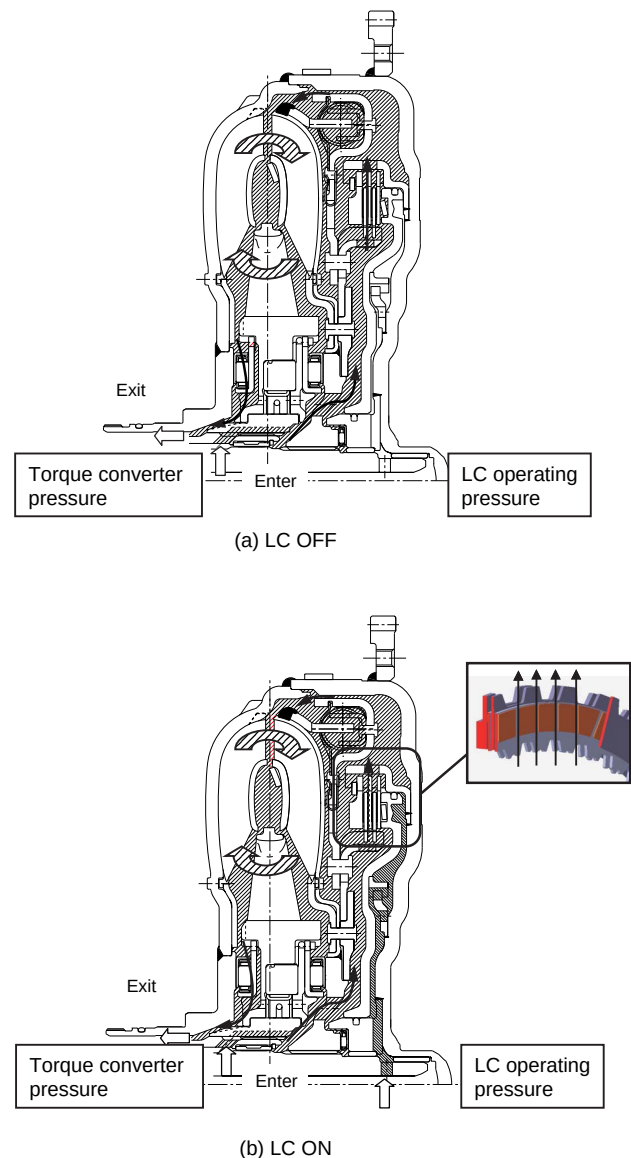


Fig. 4 Oil flow of torque converter with multi plate LC

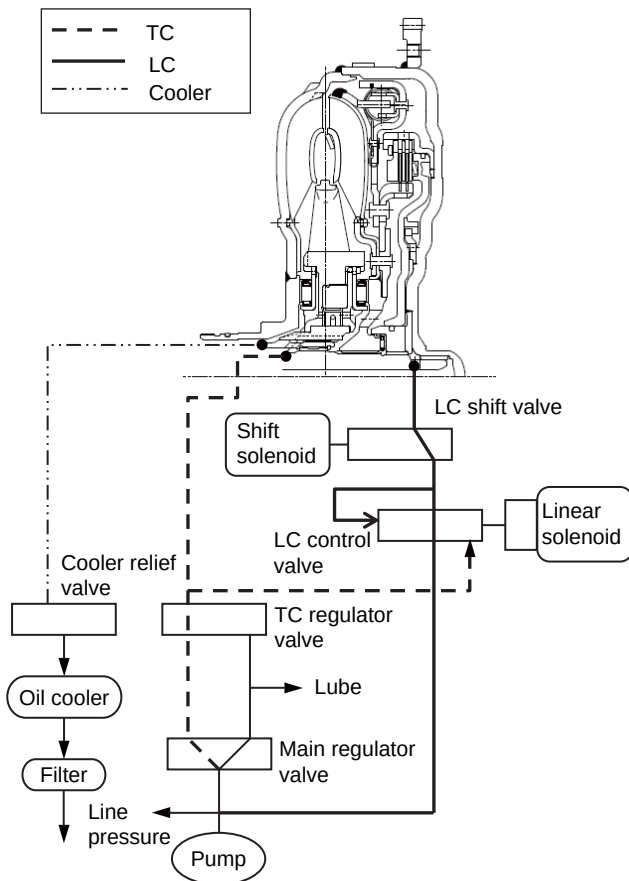


Fig. 5 Multi-plate type hydraulic circuit

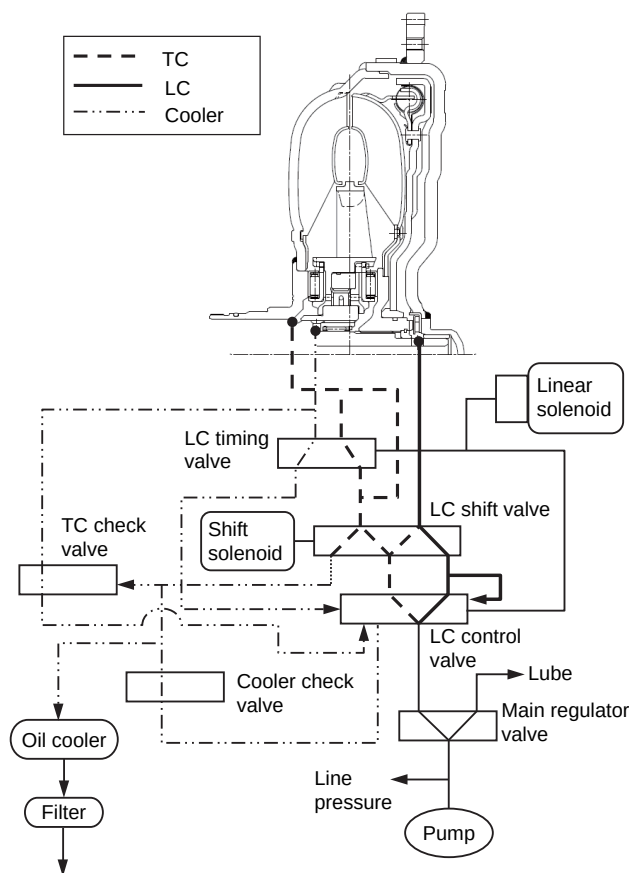


Fig. 6 Single-plate type hydraulic circuit (previous)

また、LC の制御は、LC 圧と TC 圧の二つの油圧のバランスによりおこなうことになるため、LC 圧が TC 圧を使って油圧補正できることが重要となる。そこで従来は LC コントロール VLV に対して、TC 圧の出口側圧を利用して、LC 圧に TC 圧の変化の影響を持たせるよう設定していた。しかしながら、TC 圧は LC ピストンの作動による影響を受ける点、TC 内を通過した後の油圧のために走行状況によっても変化してしまう点においてロックアップクラッチの制御を難しくしていた。それに対して、LC ダイレクト制御回路では多板 LC の特徴である TC 圧が一定である点と、LC コントロール VLV に作用させる TC 圧に入口側圧を利用することで、LC 制御の課題を取り除き、LC 圧が TC 圧を使っての油圧補正可能なまま、LC 圧の制御性を向上させた。

4.2. LC 冷却性

また今回の新油圧回路では LC フェーシング部冷却性向上を目的とした TC 内圧の高圧化をおこなった。

TC 圧の高圧化は、TC 圧専用 TC レギュレータ VLV を設置し、油圧を常時 570kPa に保ちトルクコンバータ流量を 6L/min 確保し、常に LC フェーシング材への冷却をすることにより、冷却性を向上させている。

5. 走行状態に応じた LC 制御

5.1. LC 商品性

単板 LC システムに対し、LC フェーシング部の冷却性が向上し (Fig. 7)、スリップ率の制御自由度が広がった。ここで、Table 1 に温度計測条件を示す。これにより、アクセルペダル (以下 AP) 操作に対してのダイレクトな反応と、伝達効率向上による力強い加速性能を得ることができ、0-100km/h までの全開加速において、0.2sec の短縮と、US06 モードおよび実用燃費において、約 3% の燃費向上を達成した。

また、登坂などの走行条件に応じて適切なスリップ率を選択することで、駆動力のリニアリティを確保すると同時にスリップ率の最適化により車両の加速性能と ATF 冷却性能の向上を両立した。

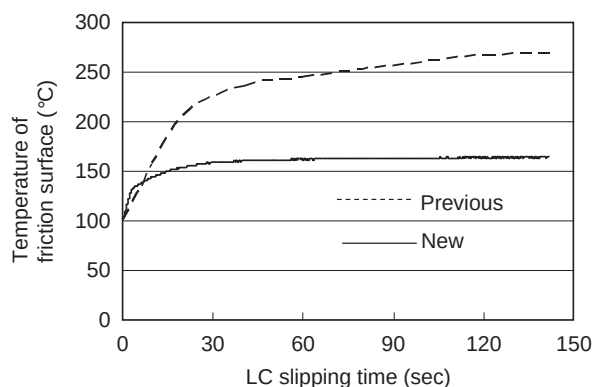
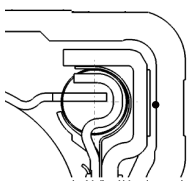
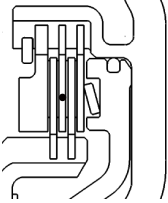


Fig. 7 Test results for facing temperature

Table 1 Test conditions

Measurement point : ● Single-plate type (previous) 	
Multi-plate type 	
ATF temperature (°C)	100
LC transmitted power (W)	3100
Cooling flow rate (L/min)	4

5.1.1. 目標スリップ率設定

スリップ率の目標値(Fig. 8)は燃費、走り感、冷却性能、ドライブ意図を両立させるために、条件として以下の三つを設定している。

(1) シフトポジション ドライバの意図に答えるためDレンジ、Sレンジ、マニュアルレンジ選択時のスリップ率を各レンジにて変更している。

Sレンジ、マニュアルレンジ選択時は、Dレンジに対しタイトな設定とし、スポーツ走行意図に答える。ここで、タイトな設定とは、よりスリップ率の低い状態である。

(2) 登坂走行 登坂走行時には、高Th開度、低車速領域を継続的に使用するため、LCフェーシング温度が上昇しないスリップ率を選択する。また、変速制御と協調してダウンシフトすることにより、エンジン回転領域が上昇し、よりタイトな設定に移行することで、冷却性能と走り感を両立させている。

(3) キックダウン前スリップ制御 ドライバの加速意図に対しダウンシフトが開始する前にエンジン回転を上昇させることにより、停滞感を解消し、同時に変速ショックを低減している。

5.1.2. 減速側制御

多板 LC 式 TC において、LC ピストンの作動が TC 内部流の影響を受けにくい構造としたことで、LCの作動時間が短縮し、速度比に対して安定した LC 応答性能を得るこ

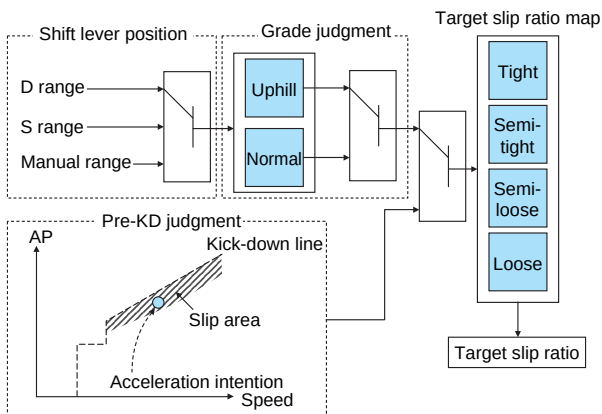


Fig. 8 System diagram of LC target slip ratio

とができた(Fig. 9)。

速度比の高い領域においてLC応答時間の向上(Fig. 8)により減速時の LC 締結が可能となったことで、従来の AT 車に対しエンジンプレーキが得られる領域を広げることができた。その利点を活かし、降坂判定時 2nd ギヤにおいて LC ON 制御をすることで十分な減速性能が得られることから、ローホールド(以下 L/H)機能を廃止した。2nd ギヤにおいて LC を ON する条件としては、ドライバがマニュアルモードで 2nd ギヤを選択し、かつ降坂を検知した場合とし、LC ON 状態となったことを検知した後フューエルカットし協調制御をおこなうことで安定したエンジンプレーキ性能を確保している(Fig. 10)。

L/H 機能の廃止により、約 1 kg の軽量化を実現し、フリクションが低減することで、燃費向上にも寄与している。

5.1.3. 変速時制御

全域で LC 制御を実施する際の課題として、変速ショックが挙げられる。従来は変速時にロックアップ OFF にすることで、車両に伝わるトルク変動を緩和していたが、変速状態に応じてスリップ率を最適に制御することにより、変速ショックを低減した(Fig. 11)。

(1) パワーオンアップシフトにおいてはイナーシャ相開始

(a), 変速クラッチの締結(b)タイミングを検知し、LC 容量を制御することで、微小にスリップを発生させ、

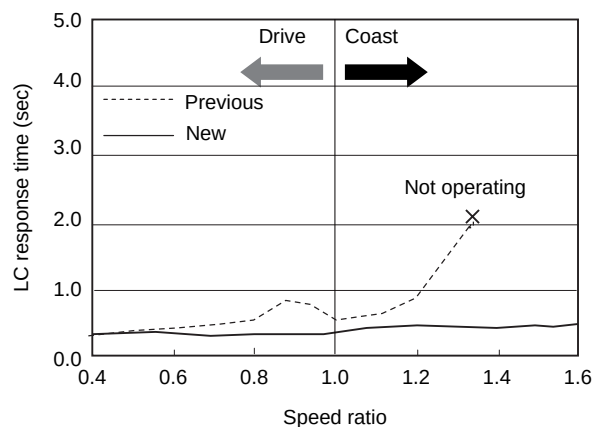


Fig. 9 Test results for LC response time

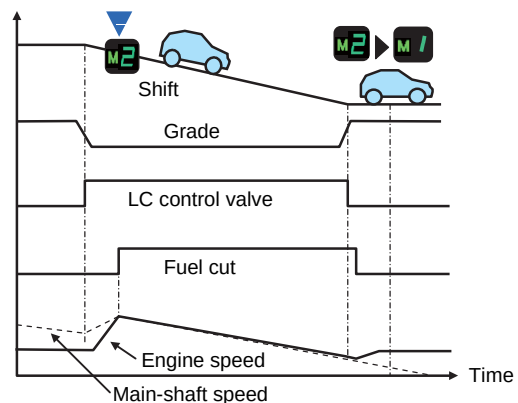
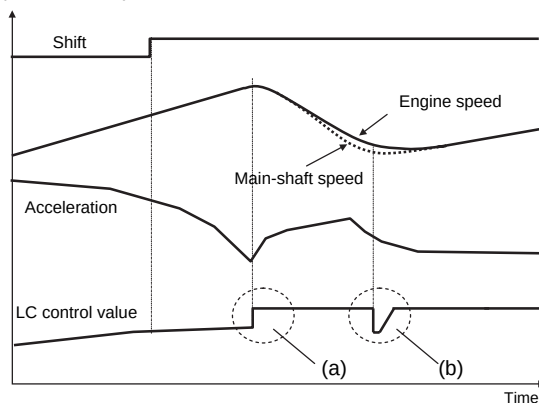


Fig. 10 Engine brake system with use of LC downhill detection

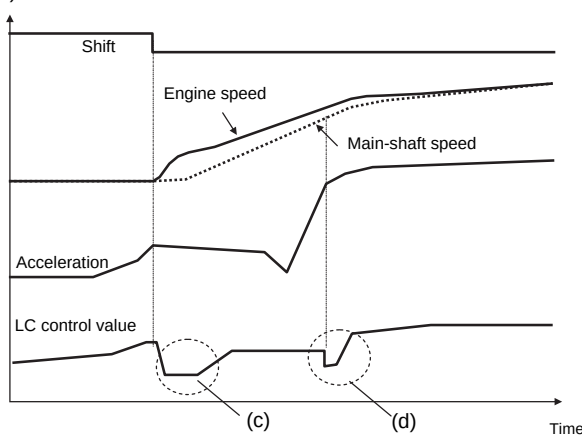
ショックを低減している。また、変速後の締結を維持することでダイレクト感の向上、および燃料消費量を低減している。

- (2) パワーオンダウンシフトでは変速開始時(c)に LC 容量を下げることで適度なスリップを発生させ、エンジン回転の上昇を早めることで応答性を向上させている。また、クラッチ締結(d)タイミングを検知し、変速の終了に対しエンジン回転数が大きく吹け上がらないように LC ON 状態に移行するように容量を制御し、スムーズな変速フィーリングと、ダイレクトな加速感、および燃料消費量の低減を両立させている。

(1) Power on up-shift



(2) Power on downshift



(3) Power off downshift

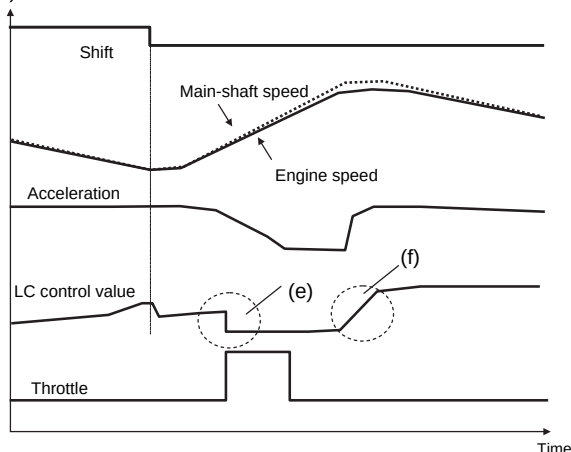


Fig. 11 Test results for LC response time

- (3) パワーオフダウンシフトでは DBW 協調時(e)に LC をスリップさせることによりショックやノイズを低減し、変速クラッチ締結(f)タイミングにて LC ON 状態にすることで、AP OFF 時には MT 車のようなエンブレキと、AP ON による加速移行時にはエンジン回転数の吹け上がりを低減しスムーズな加速性能を得られた。

6. まとめ

以下の(1) - (3)に示す、ロックアップクラッチのファイン制御の技術構築により、ドライバビリティの向上と燃費向上を達成した。

- (1) 多板 LC 式 TC と LC ダイレクト制御回路により LC 応答性の向上を実現した。
- (2) 多板 LC 式 TC と LC ダイレクト制御回路により LC 冷却性の向上を実現した。
- (3) LC 制御範囲の拡大により走行状態に応じた目標 LC スリップ率の設定を実現した。

これらの技術によって、0-100km/h までの全開加速時間にして 0.2sec の短縮と US06 モードおよび実用燃費で約 3 % の燃費向上を両立した。

参考文献

- (1) Abe, H., Tsuruoka, M., Muto, A., Kato, M., Fujiwara, H.: Development of Super Ultra Flat Torque Converter with Multi Plate Lock-up Clutch, SAE Paper, 2009-01-0141(2009)
- (2) 安部浩也, 高橋徹, 鶴岡政昭, 高野博: 多板ロックアップ式超々偏平トルクコンバータ, Honda R&D Technical Review, Vol.21, No.1, p.107-112
- (3) 丹羽研二: 8 速自動変速機の開発, 自動車技術, Vol.62, No.3, p.53-57(2008)

■ 著 者 ■



武井 寛



石川 豊



齋藤 吉晴



津幡 義道