

2020 年モデル CITY 用高効率 CVT

Development of High-efficiency CVT for 2020 Model Year CITY

隅 田 聡一郎¹
Soichiro SUMIDA

村 上 好 文¹
Yoshifumi MURAKAMI

中曾根 牧 人¹
Makito NAKASONE

要 旨

燃費性能と動力性能を高次元で両立させることを目標として、2020 年モデル CITY 用 CVT を開発した。

新機構として、ロッキング位置変更ベルトおよび複合 V 面形状プーリ、機電直列配置オイルポンプシステムを採用した。これにより、金属ベルト式 CVT の主要損失を低減し、動力伝達効率を向上した。新機構を組み合わせるにあたり、CVT として損失低減効果を発揮できるように CVT 制御の最適化を実施した。

また、燃費性能を最適化する制御による動力性能低下がないように、ドライバの加速意思を CVT 制御の切り替えによって実現した。CVT の変速制御目標を駆動力とすることで、駆動力の落ち込みがない設定とした。さらに、ステップシフトを採用することで、車速がエンジン回転数にリニアに追従し、駆動力に伸びを感じられる設定とした。

その結果、New European Driving Cycle モードにおいて、CVT として従来モデルに対し CO₂ 排出量を 5.7 g/km 削減した。また、2020 年モデル CITY として、タイの第 2 期エコカー政策の基準となる CO₂ 排出量 100 g/km 以下を達成した。

ABSTRACT

A CVT has been developed for use in the 2020 model year CITY with the aim of realizing a good balance between fuel efficiency and power performance.

As new mechanisms, the developed CVT employs a belt with a modified rocking position, pulleys with multiple V-surface shapes, and mechanical and electric oil pump systems in series connection. The application of these technologies has made it possible to reduce the main sources of loss in a metal pushing V-belt CVT and to increase power transmission efficiency. When these new mechanisms were combined, CVT control was optimized in order to help ensure a reduction of loss in the CVT itself.

In addition, the driver's intention in accelerating the vehicle is realized by switching CVT control in order to help ensure that there is no decline in power performance, due to the application of control that optimizes fuel efficiency. By setting drive power as the target parameter for CVT shift control, it has been possible to help avoid decline in drive power. Furthermore, the application of stepped shift has meant that vehicle speed follows engine speed linearly, and vehicle occupants experience an increase in drive power.

As a result, the CVT has realized a reduction of 5.7 g/km in CO₂ emissions against the previous unit in the New European Driving Cycle mode. In addition, the 2020 model year CITY meets the 100 g/km or below CO₂ emissions standard for the second phase of Thailand's eco-car project.

1. ま え が き

近年、世界的な環境問題への対応として、各国の環境規制は厳しさを増している。こうした世界の動向を受けて、自動車用パワートレインは電動化へ急速にシフトしている。しかし、新興国をはじめとした電動車両の拡大が容易でない国々において、動力を内燃機関のみとする従来車両の燃費向上は急務である。こうした背景から、内燃機関を熱効率が高い領域で運転できる変速機として、無段変速機

(以下、CVT)の適用が拡大している。適用される車両は、Honda のみならず、軽自動車から小・中型自動車を中心に国内外問わず幅広い車種に及ぶ。ここで、Fig. 1⁽¹⁾に JC08 モードにおける金属ベルト式 CVT の損失内訳を示す。これより、金属ベルトとオイルポンプの損失が全損失の 6 割以上を占めることがわかる。そのため、大きな損失を生じる機構部品について、さまざまな対応が実施されている。ベルト損失への対応は、発進ギヤ付き CVT⁽²⁾などが挙げられる。オイルポンプ損失への対応は、同軸 2 ポートオイ

¹ 本田技研工業株式会社

ルポンプシステム⁽³⁾などが挙げられる。つまり、CVTは車両燃費性能に優れるものの、変速機としての動力伝達効率には多くの向上させる余地があることを示す。

本開発では、金属ベルト式 CVT の主要損失低減により、タイの第 2 期エコカー政策 (以下、Eco2) をはじめとした、各国の環境規制に適合させることを目指した。また、新型 CITY は、New European Driving Cycle (以下、NEDC) モードにおいて CO₂ 排出量 100 g/km 以下の燃費性能と、動力性能を両立させることを目指した。

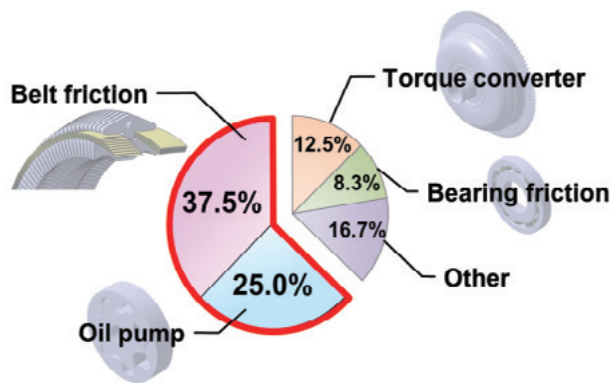


Fig. 1 Breakdown of power consumed in CVT

2. 開発のねらい

金属ベルト式 CVT (Fig. 2) は、ベルトが一對の固定プーリと可動プーリに挟み込まれ、その摩擦力により駆動プーリから従動プーリに動力を伝達する。可動プーリは油圧推力により駆動側および従動側で無段階に位置を変えられるため、巻きかけられたベルトも無段階に位置を変化させ無段階変速が可能となる。この無段階に変速比を選択できる特徴から、内燃機関の熱効率が高い領域を維持することができ、車両燃費性能が高い変速機として適用が拡大している。

金属ベルトは、その部品構成からしゅう動箇所が多く、プーリ巻きかけ径に依存したベルト内部損失を生じる⁽⁴⁾。オイルポンプは、プーリやトルクコンバータ、クラッチ、潤滑など要求の異なる作動油条件を一つのオイルポンプで担う。そのため、常に高压多流量の仕事要求され、オイルポンプ損失が大きくなる⁽⁵⁾。ベルト／プーリは、摩擦で動力を伝達するため、高いプーリ挟圧力を必要とする。この大きな力は、しゅう動箇所の多い金属ベルトの損失に、しゅう動荷重として影響する。また、プーリ挟圧力が高いほど、オイルポンプ仕事も大きくなり損失を増大させる。また、新型 CITY に搭載されるエンジンは、燃費性能向上のため、従来の 1.5 L 自然吸気から 1.0 L 過給機付

に変更されている。内燃機関変更による出力特性変化に対し、駆動力を目標値とするパワートレイン協調制御 (以下、G-design shift) を採用した。

これらの観点より、損失低減の方向性を以下三つとした。

- (1) 金属ベルト内部でのしゅう動に起因した摩擦損失を低減させること。
- (2) CVT に必要なオイルポンプ仕事を圧力および流量で分担し、仕事を最適化すること。
- (3) 動力性能を低下させずに損失低減効果を発揮できるよう、CVT 制御を最適化すること。

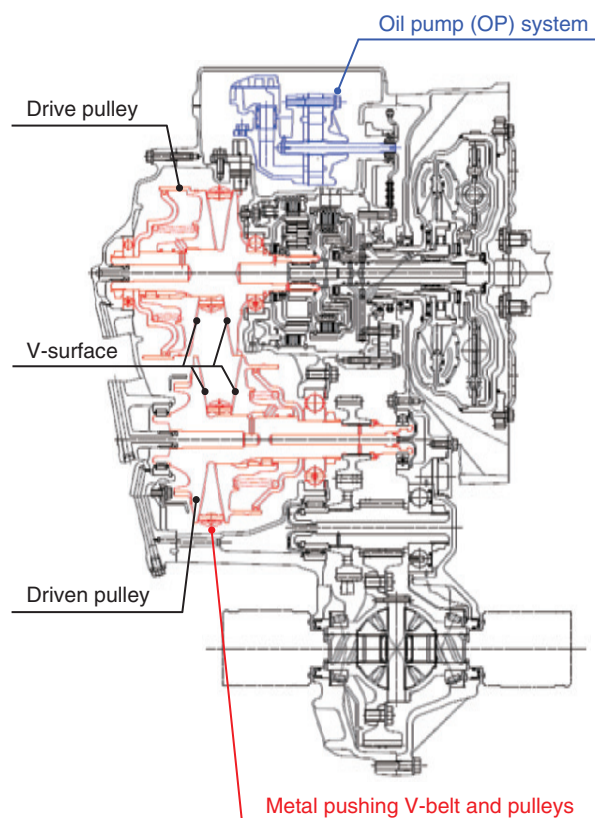


Fig. 2 Main sections of new CVT

3. 適用技術

金属ベルト式 CVT の主要損失低減を目的として、新たなベルト／プーリおよびオイルポンプ (Fig. 2) を採用した。

3.1. ベルト／プーリ

金属ベルトは、エレメントとリングより構成される。ベルトがプーリに巻きかけられた際、プーリ中でのエレメントとリングの回転半径には幾何学的な差が生じる。エレメントとリングは相互に拘束がないため、回転半径差による金属ベルト内部での差回転を持つ。エレメントとリング

は、差回転によるしゅう動からベルト内部での摩擦損失を生じる。単位時間当たりの摩擦損失は、しゅう動部の摩擦係数、しゅう動部に発生する垂直荷重と相対速度の積で与えられる。この損失の関係より、摩擦損失の低減をしゅう動部のしゅう動距離と荷重、二つの低減により実施した。採用したベルト／プーリの主要諸元を Table 1 に示す。これら摩擦損失を低減することにより、動力伝達効率を変速比幅平均で 0.9% 向上した⁽⁴⁾。

3.1.1. ロッキング位置変更ベルト

金属ベルトは、エレメント相互が押し合うことで動力を伝達する。この押し合う位置（以下、ロッキング位置）とリングのプーリ内回転半径差を小さくすることで、相互の差回転によるしゅう動距離を低減することができる。ベルトしゅう動部のしゅう動距離は、半径差に比例する。

Table 1 および Fig. 3 に示すように、ロッキング位置を 1.00 mm から 0.55 mm に縮小することで、幾何学上 45% のしゅう動量を低減することができる。

3.1.2. 複合 V 面形状プーリ

CVT は、車両の走行状態に合わせてプーリ挟圧力を変化させながら、伝達トルクに対応し変速比を決定する。駆動および従動プーリの挟圧力関係も都度変化する。このとき、プーリ V 面の小径側を狭角にすることで、トルク伝達に必要なプーリ挟圧力を低減できる。これにより、金属ベルトしゅう動部の荷重を低減することができる。対して、プーリの大径側は、広角とすることで変速比を決定するプーリ挟圧力を低減できる。これにより、CVT に必要なシステム最大油圧 P_H を低減することができる。これら特徴を活かし、プーリの V 面形状を複合形状とした。プーリの変更に際して、動力伝達の安定性を確保するため、エレメントの V 面形状についてもプーリ同様に複合形状とした (Fig. 4)。 P_H の低減は、オイルポンプの仕事も減らすことができるため、オイルポンプの損失低減にも寄与する。

3.2. 機電直列配置オイルポンプシステム

オイルポンプ仕事は、必要駆動力として要求される油圧と流量との積で決定する。CVT においては、他の自動変速機と違いトルクコンバータと潤滑に要する低圧多流量に加え、ベルト挟圧力やクラッチの締結に要する高圧少流量二種類の仕事が必要である。そのため、ベルト挟圧力に応じた高圧と、潤滑状態を維持できる多流量を一つのポンプで担わなければならない。よって、これらを包含する最大枠の仕事が要求されるが、高圧多流量領域のオイルポンプ仕事がそのままオイルポンプ損失となる (Fig. 5)。

しかしながら、メカニカルオイルポンプ（以下、メカ OP）の仕事はエンジン回転数に依存する。オイルポンプ仕事を最適化するためには、さまざまな運転条件で効率の良い回転とするために、エンジン回転数と独立した駆動方式が必要であり、電動オイルポンプ（以下、電動 OP）をメ

Table 1 Specifications of pulley and belt

Item		Current model	New model	
Pulley	Distance between pulley axes	156 mm	156 mm	
	V-surface	Single angle 11 deg	Multiple angle 9 deg / Round	
Belt	Element width	24 mm	24 mm	
	Rocking position	1.00 mm	0.55 mm	
	V-surface	Single angle	Multiple angle	
		11 deg	Grooved	9 deg : Grooved
				Curved : No groove
#1 ring diameter	208.8 mm	208.8 mm		

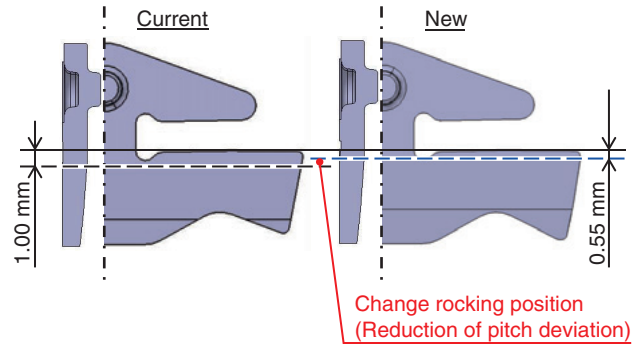


Fig. 3 Comparison of current and new elements

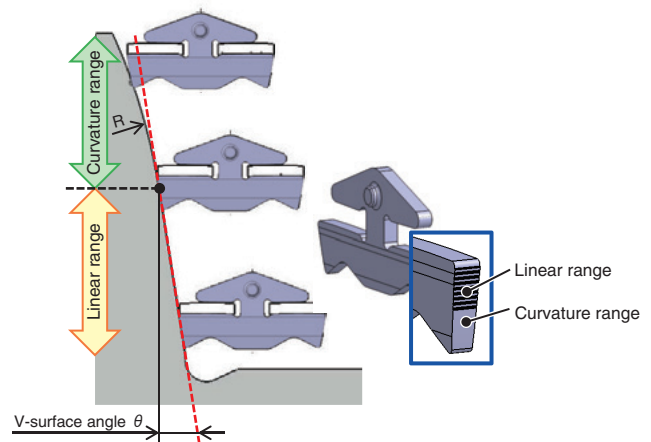
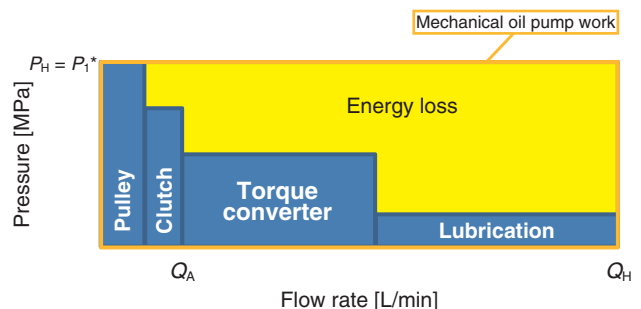


Fig. 4 Pattern diagram of pulley and belt



* P_1 : Hydraulic pressure from mechanical oil pump

Fig. 5 Oil pump work in CVT

カ OP に加えて採用した⁽⁵⁾。異なる二つのオイルポンプを採用することで、二種類の仕事を分担しオイルポンプ損失を低減できる。オイルポンプシステムを構成するにあたって、電動 OP に機能失陥が生じた場合においても、走行に支障をきたさない油圧回路とした (Fig. 6)。二つのオイルポンプを直列に配置とすることで、常に基準油圧をメカ OP で保証する。電動 OP は、メカ OP から送られた作動油に対して、昇圧する形で高压少流量に対応する。

これによって、オイルポンプシステムは高压多流量に対応する必要がなくなり損失を低減することができる。また、駆動方式をエンジン回転数に依存しないモータ駆動としたことにより、仕事量を任意に決めることができるためオイルポンプ仕事を最適化できる (Fig. 7)。

電動 OP を駆動するモータ体格については、オイルポンプ損失の低減に必要な発電機 (以下、Alternating Current Generator: ACG) 仕事を考慮して決定した。本 CVT においては、CITY 用の変速機として必要となる仕事量から、燃費性能を優先して 100 W を選定した (Fig. 8)。採用したオイルポンプシステムの主要諸元を Table 2 に示す。この技術を採用することにより、動力伝達効率を変速比幅平均で 0.7% 向上した。

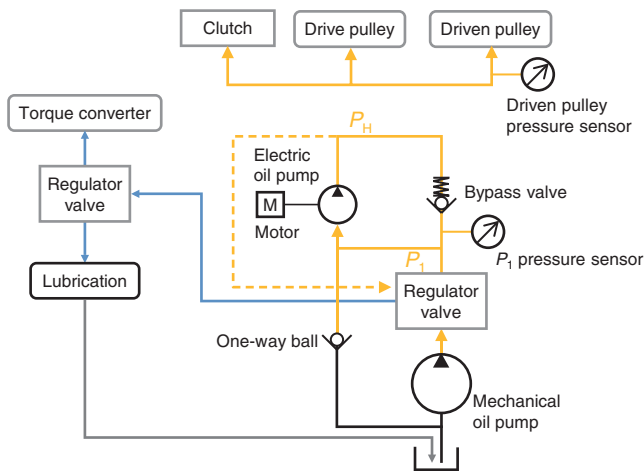


Fig. 6 Hydraulic circuit

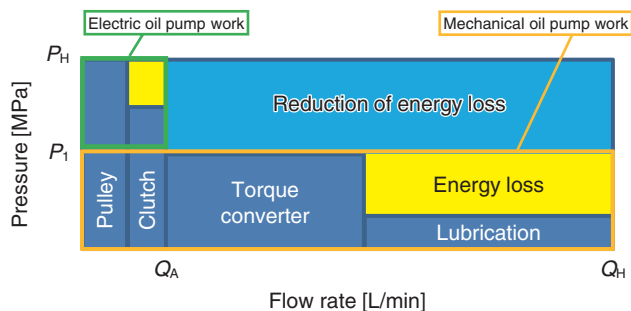


Fig. 7 New oil pump system for CVT

Table 2 Specifications of new oil pump system

Item		Current model	New model
Drive system	Mechanical	Adopted	Adopted
	Flow rate	Up to 72 L/min	Up to 72 L/min
	Discharge pressure	0.2 - 4.9 MPa	0.2 - 4.9 MPa
	Electrical	Not adopted	Adopted (100 W)
	Flow rate	—	Up to 5.8 L/min
	Discharge pressure	—	0.2 - 1.8 MPa

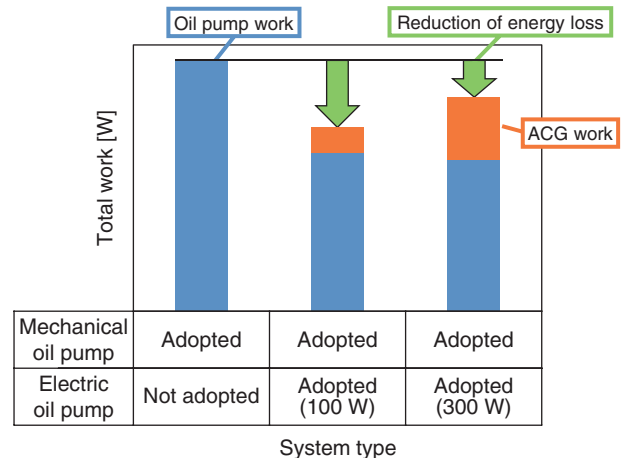


Fig. 8 Effect of reduction of energy loss

4. CVT 制御

本 CVT には、二つの機構に対して新たな技術となるベルト／プリーおよびオイルポンプシステムを採用した。その他、損失を低減するため構成部品の見直しを実施した。これらの各々の損失低減効果に対し、CVT として動力伝達効率を発揮するために CVT 制御の最適化をおこなった。また、燃費性能と動力性能を両立させるため、G-design shift を採用することでリニアな加速フィールを表現した。

4.1. 燃費性能

プリーは、回転体であると同時に油圧機械でもある。金属ベルトによって駆動軸と従動軸が接続され、2 軸間に引き合う力が働く。これにより、ベアリングには大きな荷重が掛かる。また、可動プリーは油圧室を備え、オイルポンプの作動油圧で金属ベルトを挟み込む。つまり、プリーの要求挟圧力によってオイルポンプ仕事が増加すると同時に、その他ベアリングなどへの負荷も変化する。今回新たに採用したベルト／プリーおよびオイルポンプシステムでは、プリー挟圧力への昇圧を目的として電動 OP を採用した。電動 OP 駆動には電力消費を伴うため、車両の運転状態に合わせた効率的な駆動制御を実施した。ベルト／プリーは、複合 V 面形状を採用することで、必要プリー挟

圧力（つまり、最大油圧 P_H ）を低減させている。ベルト挟圧力を下げることは、結果としてベルト／プーリ間での摩擦損失低減にもつながる。オイルポンプシステムは、機電直列配置とすることで、高圧少流量の仕事電動 OP が担う。つまり、最大油圧 P_H が高いシステムほど、その損失低減効果を発揮する。

これら各機構の損失低減手法の違いを考慮した上で、CVT としてより効率的となるシステム駆動を目指した。電動 OP は運転条件に合わせて動作を停止することができるため、電力消費も抑制できる。こういった機構選定の利点を活かして CVT 制御に反映した。

Fig. 9 に実走時におけるオイルポンプシステムの動作と、動力伝達効率および各機構の損失低減効果を示す。

(1) アイドリングストップ（停車時）

アイドリング時は、エンジン出力の一部をメカ OP 駆動に用いても燃費性能に変化はない。そのため、従来と変わらず電動 OP は作動させない。また、新型 CITY は、燃費性能の観点からアイドリングストップを採用した。アイドリングストップ時は、電動 OP を駆動することでエンジン再始動時のプーリ挟圧力復帰遅れを補助する。電動 OP 駆動による ACG 仕事は発生するが、アイドリングによる燃料消費を抑制できる。

(2) 発進

発進時、トルクコンバータによるトルク増幅を受けて、必要プーリ挟圧力は高くなる。また、Low レシオからの変速をするため、変速に伴う流量が必要となる。電動 OP は変速流量を確保しつつ、高いプーリ挟圧力 P_H を昇圧で担うことで、

メカ OP は発生油圧を潤滑圧まで低減することができる。この結果、オイルポンプの仕事分担をすることができ、オイルポンプシステムの駆動損失を大きく低減できる。

(3) 発進からの加速

発進加速は、駆動力を下げながら車速を上昇させる。このとき、変速比は緩やかに High 側に変速する。つまり、伝達動力および変速速度共に発進時より低くなる。また、複合 V 面形状プーリを採用したことで、必要なプーリ挟圧力 P_H も低減できる。そのため、電動 OP の駆動回転数上昇によって、メカ OP の仕事を潤滑圧のまま維持することができる。この結果、オイルポンプシステムの増加仕事は、電動 OP 駆動回転数上昇分のみとなり発進時同等の損失低減効果を維持できる。

(4) クルーズ

クルーズ時は定常状態で、変速比は High 側を維持する。High レシオは、複合 V 面形状プーリおよびロッキング位置変更ベルトの動力伝達効率が高い領域であり、燃費性能に大きく寄与する。また、必要なプーリ挟圧力 P_H も低減でき、変速流量も必要としないため、電動 OP 駆動回転数も抑制できる。この結果、ベルト／プーリおよびオイルポンプシステム双方の損失低減効果が得られる。また、ベアリングなど各部摩擦損失も包括的に低減することができるため効果が大きい。この際、オイルポンプシステムの総仕事量に対し、電動 OP の駆動電力を考慮して損失低減効果がないと判断した場合は電動 OP を作動させない。

(5) クルーズからの再加速

再加速時は、駆動力を確保するために Low 変速をおこ

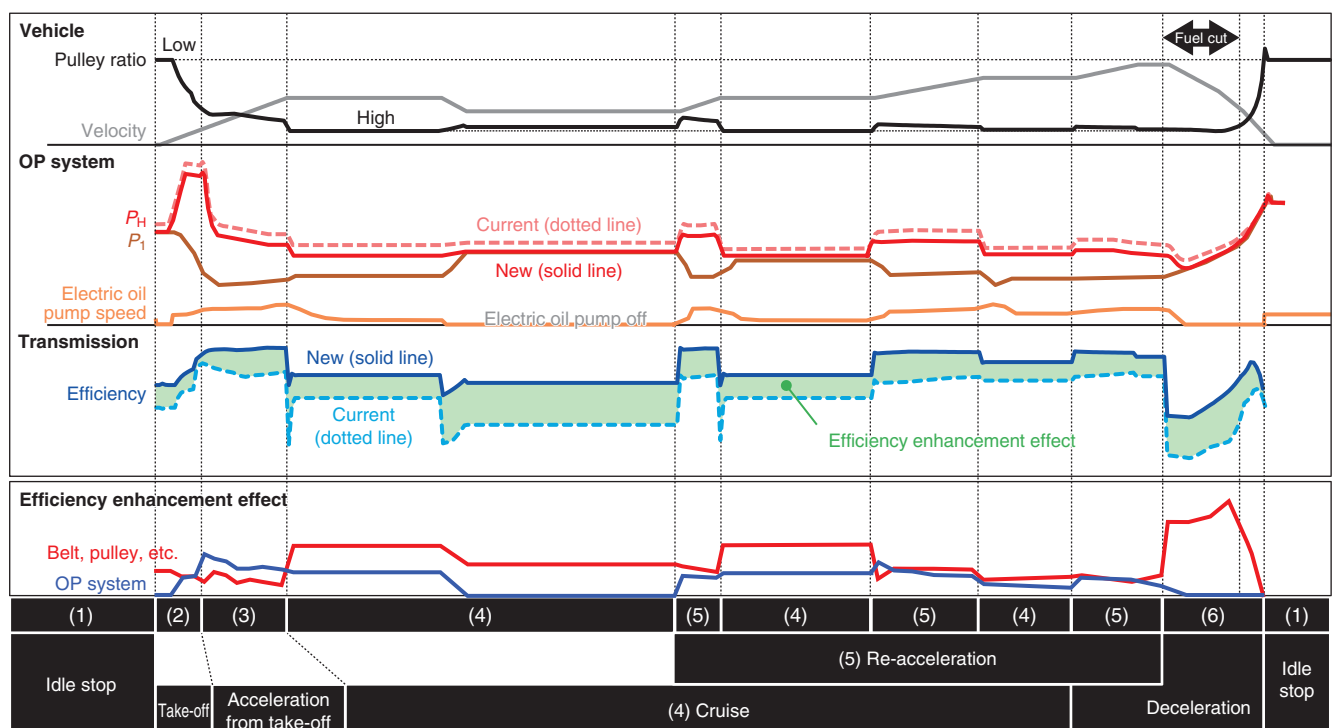


Fig. 9 Operation of new CVT

なう。Low 変速に伴い、必要なプーリ挟圧力 P_H は上昇する。このとき、変速量は小さいため必要流量も小さい。オイルポンプシステムの仕事増加分を電動 OP にて担うことで、メカ OP の仕事を低減することができ、オイルポンプシステムの駆動損失を低減する。

(6) 減速

減速に入ると、エンジンは燃料噴射を停止する。このため、燃料を消費しないことから電動 OP も作動させない。燃料は消費しないものの、ベルト／プーリなどによる動力伝達効率向上効果により、変速機の引きずり損失を大きく低減することができる。

このように、損失低減効果を燃費性能に十分活かすように CVT 制御を実施した。

4.2. 駆動力デザイン

新型 CITY は、燃費性能の向上を目的に変速機以外にも多くの改良を実施している。搭載されるエンジンも、燃費性能を向上させる内燃機関として、排気量 1.5 L 自然吸気から 1.0 L 過給機付へと変更されている。小排気量とすることで燃料消費を抑えつつ、過給機によって最大出力を従来同等まで引き出すことが可能である。しかし、発進時など過給機が作動するまでは、1.0 L 自然吸気エンジンの出力特性となる。つまり、最大出力を発生するまでの時間が長くなる。その対応として、CVT ではドライバの加速意思に対して変速制御を切り替えることで燃費性能と動力性能の両立を達成した。ドライブフィールを維持するため、目標駆動力に対して変速比を決定することで、駆動力の落ち込みがない制御とした。これにより、エンジンの出力特性差を感じさせないリニアな加速フィールを達成した。また、アクセル全開時に、有段変速機のような変速とする全開ステップシフト制御を適用した。これにより、車速がエンジン回転数にリニアに追従し、駆動力に伸びを感じられる設定とした。発進加速時の実走データを、従来モデルと比較し Fig. 10 に示す。最大駆動力発生後、駆動力が落ち込

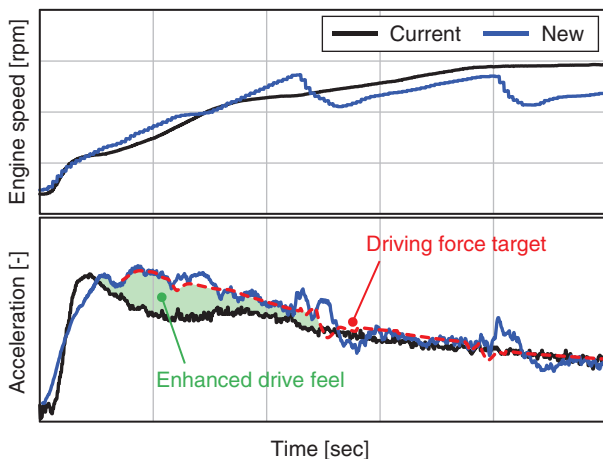


Fig. 10 Step-shift operation

まないよう目標値に追従させることで、新型 CITY のドライブフィールを向上させた。

5. 燃費性能と動力性能

本 CVT を搭載した 2020 年モデル CITY は、NEDC モードにおいて、CO₂ 排出量 100 g/km 以下を達成した。CVT の損失低減効果としては、CO₂ 排出量 5.7 g/km の削減となる。また、Fig. 11 に示すように、従来モデルに対して大幅な燃費改善と同時に動力性能も向上させた。

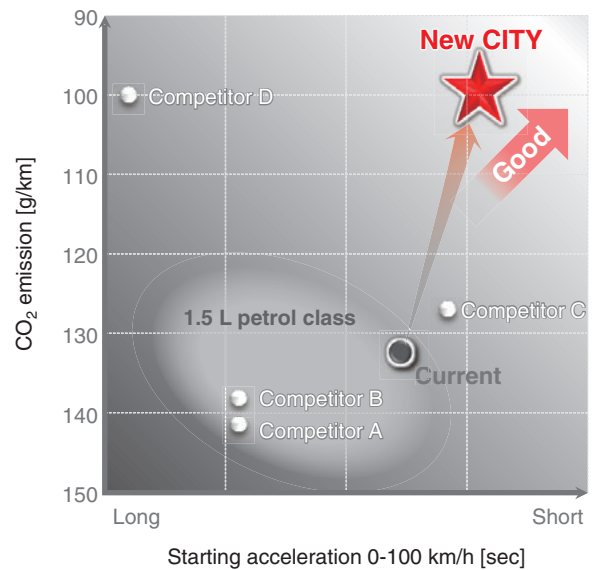


Fig. 11 Performance of new CITY

6. まとめ

2020 年モデル CITY 用の変速機として、高効率 CVT の開発をおこなった。これらの新技術、および制御を実装した本 CVT を採用することで、燃費性能と動力性能を両立させた。CVT として従来モデルに対し CO₂ 排出量を 5.7 g/km 削減した。また、タイ Eco2 基準となる CO₂ 排出量 100 g/km 以下を達成した。

- (1) 新技術として、ベルト／プーリにロッキング位置変更ベルトおよび複合 V 面形状プーリを採用した。また、オイルポンプシステムに機電直列配置オイルポンプシステムを採用した。その結果、動力伝達効率を変速比幅平均でベルト／プーリ 0.9%、オイルポンプシステム 0.7% 向上した。
- (2) 上述二つの新技術を採用するにあたり、損失低減効果を十分活かせるよう CVT 制御を最適化した。
- (3) 燃費性能に最適化された CVT 制御としながらも、ドライブフィールを維持するため、駆動力を目標とする

変速制御を実装した。また、ステップシフトを採用することで、車速がエンジン回転数にリニアに追従し、駆動力に伸びを感じられる設定とした。

参考文献

- (1) 坂上恭平:CVT のベルト挟圧力最適化に向けた瞬時安全率推定法, Honda R&D Technical Review, Vol. 31, No. 2, p. 81-89
- (2) 友松大輔, 志水政紀, 山口賢一, 桑原信也, 深尾光博, 田邊道徳, 大槻武:新 2.0L 用発進ギヤ付 CVT の開発, 自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 70-18, 文献番号 20185322, (2018)
- (3) 大形勇介, 二宮啓輔, 栗澤伸平, 田村直己:燃費, 静粛性, ドライバビリティを改良した CVT の開発, 自動車技術会論文集, Vol. 44, No. 5, p. 1211-1214, (2013)
- (4) 隅田聡一郎, 矢ヶ崎徹, 青木亮太, 浅井光:複合 V 面形状プーリおよびピッチ位置変更ベルトによる金属ベルト式 CVT の動力伝達効率向上, Honda R&D Technical Review, Vol. 31, No. 2, p. 74-80
- (5) 原田雅道, 坂上恭平, 中曽根牧人:オイルポンプの機電直列配置による CVT の燃費向上技術, Honda R&D Technical Review, Vol. 31, No. 2, p. 31-36

■ 著 者 ■



隅田聡一郎



村上好文



中曽根牧人