

新型インサイト燃費向上技術

Technology for Increased Fuel Efficiency in New INSIGHT

福田 俊彦*
Toshihiko FUKUDA

江口 高弘*
Takahiro EGUCHI

要 旨

従来を上回る実用燃費と走りの両立を目指し、2009年モデルインサイトを開発した。

ユーザの使い方での燃費低下の要因を解析すると、クルーズ時のラフなアクセル操作、加速時のアクセル踏みすぎ、エアコンなどの走行抵抗以外の負荷である。

本システムではECON切り替えスイッチにより低燃費運転を可能にする燃費優先制御を採用した。ECON ON モード時は、エンジンとトランスミッションが協調し、エンジンのスロットル制限とCVT変速応答の最適化によりラフなアクセル操作でも最小燃料消費重量(Gram Fuel ボトム, 以下GF ボトム)をトレースでき容易に低燃費運転が可能となった。上記技術により、実用燃費検証にてユーザの運転操作ばらつきを低減し、ECON ON モード時には平均燃費を9.5%向上できた。

ABSTRACT

The 2009 model year INSIGHT was developed with the goal of achieving a higher level of actual fuel efficiency and driving performance.

An analysis has revealed that the ways of operating a vehicle that result in reduced fuel economy are rough accelerator operation during vehicle cruising, excessive accelerator operation during acceleration, and accessory loads, such as air conditioning.

The developed system employs fuel economy priority control, which uses an ECON mode selector switch to permit high fuel economy driving. In ECON ON mode, the engine and transmission are coordinated with each other. Restricting the engine throttle and optimizing the CVT shift response enable the minimum fuel consumption amount (Gram Fuel minimum; hereafter called GF minimum) to be traced, even during rough accelerator operation, thus facilitating low-fuel-consumption driving. In tests of actual fuel efficiency, these technologies reduced the level of variation between users and enabled the achievement of a 9.5% reduction in average fuel consumption in ECON ON mode.

1. まえがき

CO₂削減など地球環境保護の重要性と、原油枯渇の観点から、自動車の低排出ガスと低燃費化に対する需要はますます高まってきている。Hondaは1999年にIntegrated Motor Assist(IMA)システムを開発しハイブリッド専用車としてインサイト^{(1), (2)}を発売したの続き、2001年には小型セダンのCIVIC Hybrid^{(3), (4)}を、2004年には中型セダンのACCORD Hybrid⁽⁵⁾を発売した。また2005年にはCIVIC Hybrid^{(6)・(10)}をフルモデルチェンジし、全気筒休止を含む3-stage VTEC、油圧ブースタブレーキシステムやハイブリッドエアコンを搭載し低燃費化を図ってきた。

ハイブリッド発売から10年を迎え、低コスト化による
*四輪開発センター

幅広いハイブリッド車の普及を目指し、ハイブリッド専用車を開発した。ここではさまざまなユーザに受け入れていただくための実用燃費向上技術を解説する。

2. 開発のねらい

ユーザの使い方での燃費低下の要因を解析すると

- (1)クルーズ時のラフなアクセル操作
 - (2)加速時におけるアクセルの踏みすぎ
 - (3)エアコンなどの走行抵抗以外の負荷
- である。

CVTハイブリッド車ではエンジン駆動力、モータ駆動力、トランスミッションレシオを自在に制御できる。そこで

IMA の特徴をフルに活用し、モータによるトルクアシストとトランスミッションによるアクセルに対するトルクリアリティーのある変速にて走り感を維持しつつ、エンジン制御とトランスミッションの変速制御の改良で実用燃費を10%向上させることを開発のねらいとした。

3. パワープラント概要と諸元

新型インサイトのエンジンは、2006 年モデル CIVIC Hybrid で採用した全気筒休止システムを採用し、プラトホーニングや低フリクションピストンリングなどの採用により低フリクション化しエンジン単体の燃費を2%向上させている。

モータは薄型 DC ブラシレスモータを採用し、定格電圧の低電圧化に伴いロータとステータをそれぞれ改良することで効率の向上を図った。またモータの薄型化、磁石量最小化、材料の見直しにより低価格化を実現している。

バッテリーは、出力密度向上によりセル数を削減、100V に低電圧化することにより、小型軽量化かつ低価格化を実現している。上記エンジン、モータ、バッテリーにて通常のガソリン車では得られない低回転高トルクのレスポンスのよいパワープラントとなった。Fig. 1 にパワープラントトルク、仕事率を示す。

CVT は 2006 年モデル CIVIC IMA の CVT に対し、ファイナルレシオを6.7%ローレシオ化し、パワープラントトルク、車重、タイヤ径より燃費と走りの最適化を図っている。

つぎに新型インサイトのシステムを Fig. 2 に示す。本システムでは ECON 切り替えスイッチによる燃費優先制御を採用した。ECON OFF モード時はアクセル操作に対してレスポンス良く反応するようにしている。ECON ON

モード時は容易に低燃費運転を可能にしている。ECON OFF モード、ECON ON モードで切り替える項目は次の4項目である。

- (1) GF ボトム制御⁽¹⁾
- (2)駆動力オンデマンド制御
- (3)減速回生制御
- (4)エアコン制御

以下にその詳細を述べる。

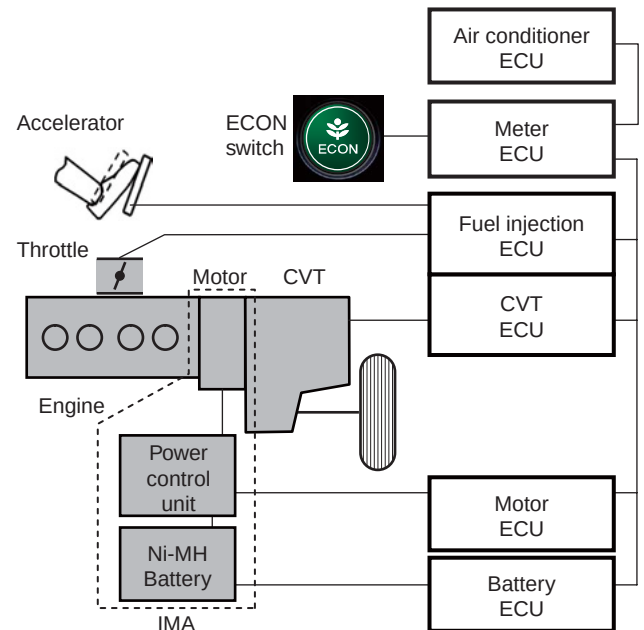


Fig. 2 New INSIGHT system

4. GF ボトム制御

ユーザの使い方による燃費低下の要因として、クルーズ時のラフなアクセル操作が上げられる。通常クルーズ時にはアクセルを一定に保つことによりCVTが最適なレシオに変速され燃費が向上する。しかしながらアクセルの踏み、戻しを繰り返すラフな操作の場合、アクセル踏み込みと同時にエンジン回転上昇側にCVTが変速しイナーシャロスが発生する。また、エンジンが高負荷になることにより、燃費最小運転点を外れ燃費低下が生じる。

そこで新型インサイトでは上記課題を考慮した GF ボトム制御を実施している。GF ボトム制御は、Brake Specific Fuel Consumption (BSFC: エンジンの正味燃料消費率) マップおよびCVTの伝達効率より、要求仕事率に対して燃料消費が最小となるようにエンジン回転数とエンジン負荷を制御することで GF ボトムトレースを達成できる。

Fig. 3 に BSFC マップ、Fig. 4 に CVT 効率を示す。Fig. 3 の BSFC ボトム目標ラインの Area 1 はエンジン回転数が低いほど CVT の効率が良い。また、Area 2-3 では 1000-1500rpm でほぼ同等の効率である。Area 4 では 1500-2500rpm

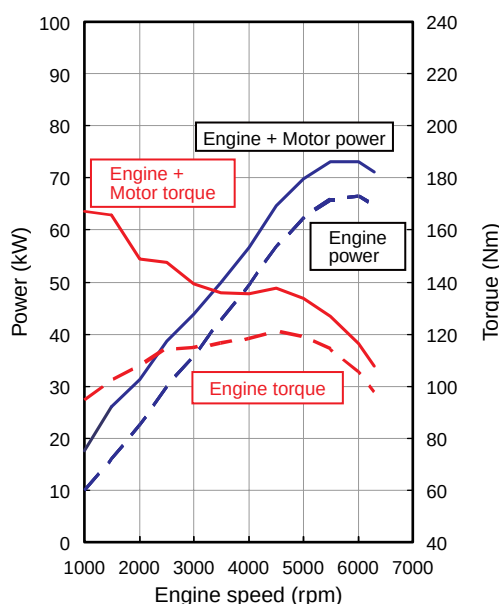


Fig. 1 Output performance of IMA system

で効率差はほとんど無い。よって本システムの場合、要求仕事率に対して BSFC ボトム目標ラインをトレースするように、エンジンの回転数とエンジン負荷を制御すれば、GF ボトムトレースを達成できる。

この GF ボトムラインをトレースするために、今回採用したエンジン回転数を決定する CVT 変速制御とエンジン負荷を決定するスロットル制御の詳細を以下に述べる。

4.1. CVT 変速制御

GF ボトムとなる CVT 変速制御について説明する。

(1) Fig. 3 に示す Area 1 は要求駆動力アクセル開度(要求駆動力を決定するための制御用アクセル開度)が極低開度の領域であり、要求仕事率の上昇に対して、燃料消費率が最小となるまで走行可能な最も低いエンジン回転数を保つ CVT 変速マップとしている。

要求駆動力アクセル開度が極低開度より踏み込んだ Area 2-4 の領域は Fig. 3 に示す BSFC ボトム目標ラインをトレースしつつ、Fig. 5 に示すように、車速上

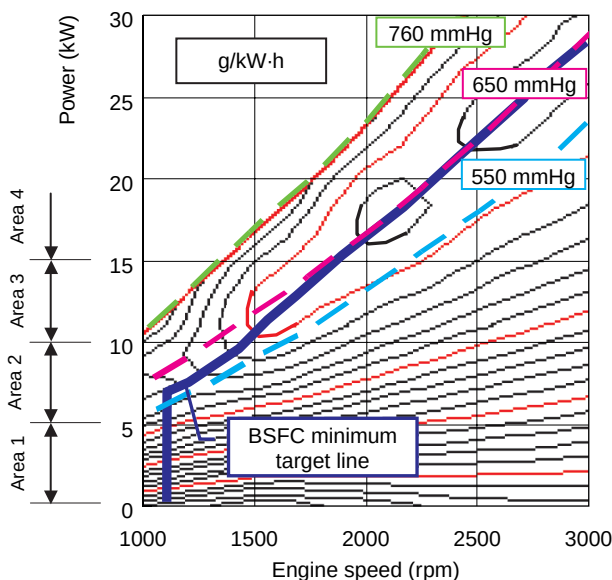


Fig. 3 Brake specific fuel consumption map

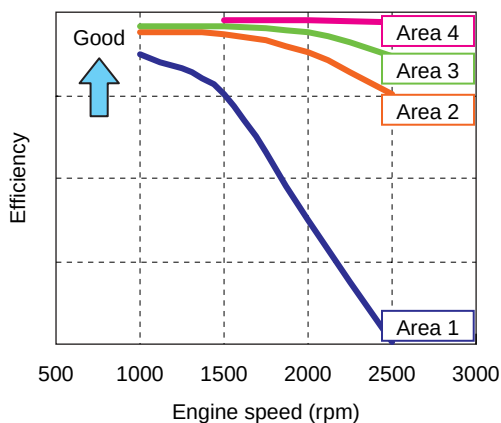


Fig. 4 CVT efficiency

昇に対してエンジン回転数の上昇がリニアとなる変速マップとし、走り感を考慮した変速マップとしている。以上より、Fig. 6 に示すように要求駆動力アクセル開度に対して発生仕事率に谷が無くリニアに駆動力が出る特性を達成している。

(2) Fig. 7 に ECON OFF モード、ON モードの CVT の変速応答特性を示す。

CVT の変速応答は Fig. 7 のとおり目標エンジン回転数と実エンジン回転数の偏差より決定する。ECON ON モード時はこの CVT の変速応答係数を小さくし、アク

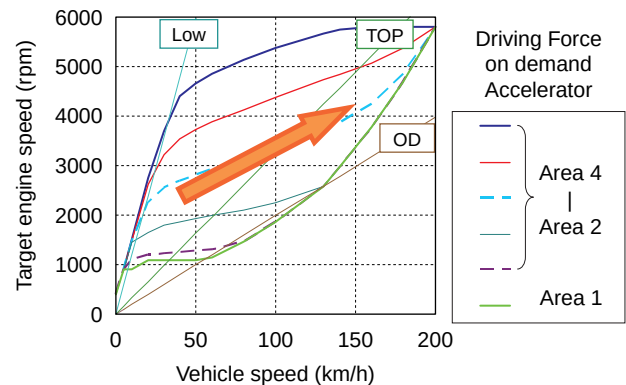


Fig. 5 CVT shift schedule

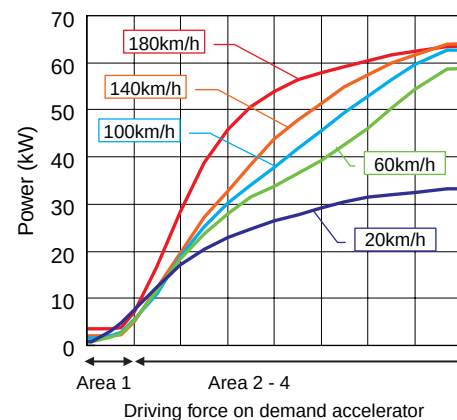


Fig. 6 Power versus Driving - force - on - demand accelerator

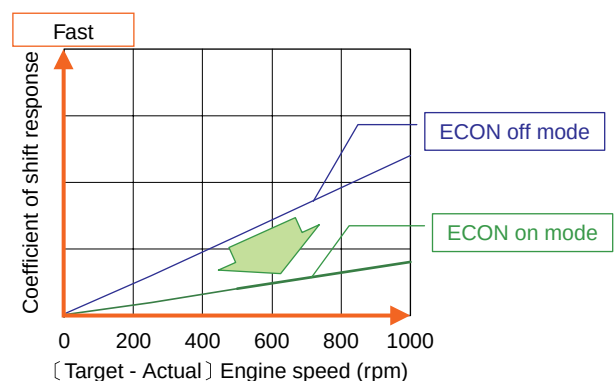


Fig. 7 Coefficient of shift response

セルオンにてダウンシフト側に変速する速度を抑えている。これによりラフなアクセル操作に対して不用意にエンジン回転数が上昇するのを抑制し、容易に低燃費運転ができるようにしている。

4.2. スロットル制御

Fig. 8 に ECON OFF モード時と ECON ON モード時のスロットル制限を示す。実エンジン回転数および要求駆動力アクセル開度に対してスロットル開度を制限すること

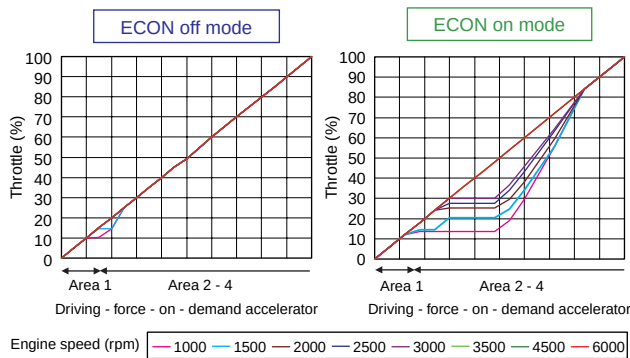


Fig. 8 Restriction of throttle

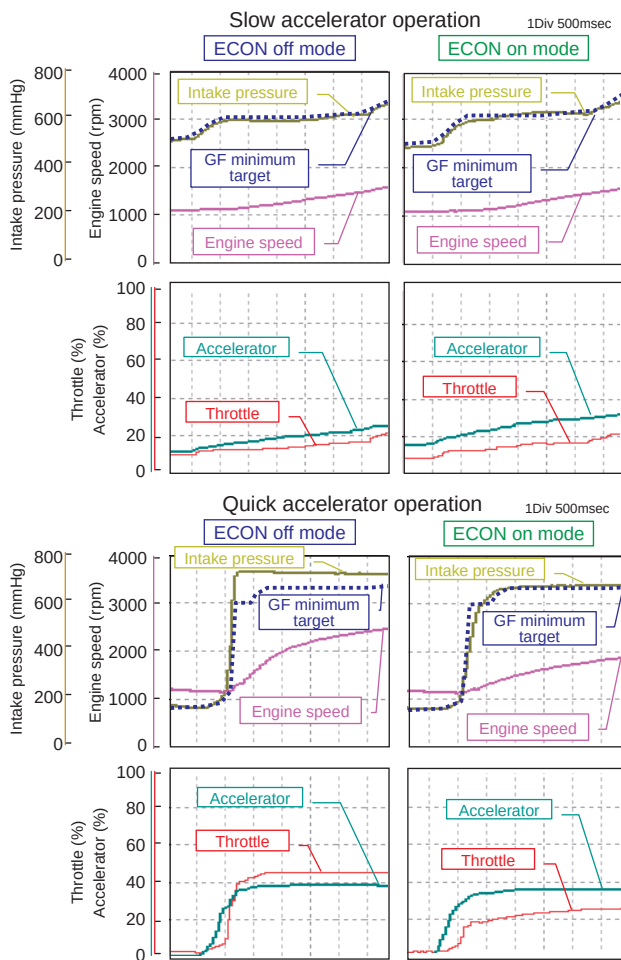


Fig. 9 Comparison using different speed of accelerator operation and control modes

により、エンジンが高負荷になり過ぎないようにしてBSFC ボトム目標ラインをトレースさせている。また、スロットル制限する領域を ECON OFF モード時と ECON ON モード時で切り替えている。

ECON OFFモード時はスロットル制限領域を最小限とすることにより、アクセル操作量が少ない低燃費運転時はGF ボトム目標ラインがトレースでき、アクセル操作量が多い時はスロットル制限しないため、素早いトルク応答性を得ている。

ECON ON モード時はスロットル制限領域を大きくすることにより、ラフにアクセル操作されても GF ボトムラインのトレースを可能としている。また、大きくスロットル制限しても、CVT のエンジン回転数の制御と IMA のモータアシストによりアクセル操作に対してリニアリティーのある駆動力を達成している。

Fig. 9 にアクセルをゆっくり操作した時、速く操作した時、および ECON OFF モード時、ECON ON モード時で

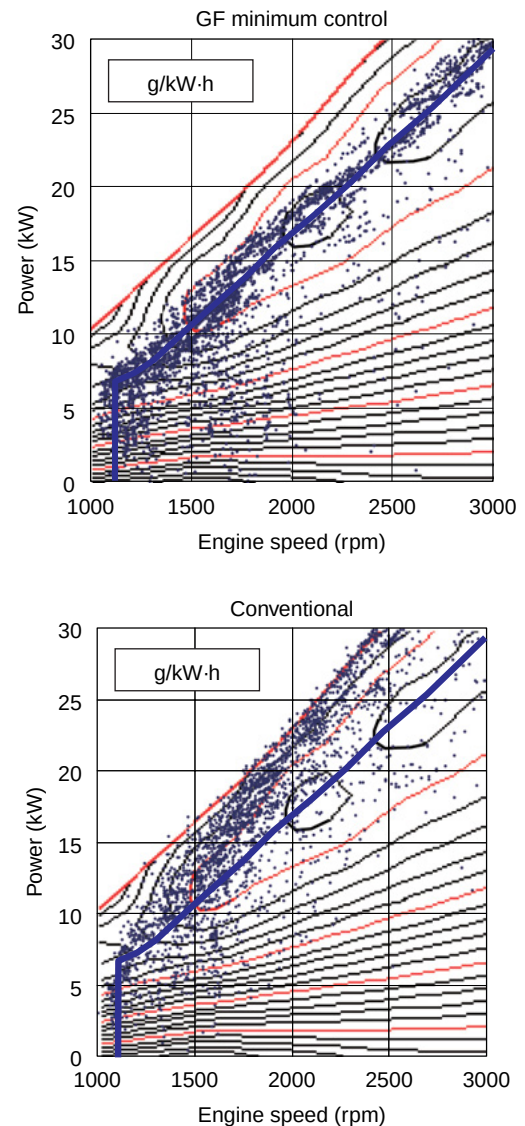


Fig. 10 Comparison with and without GF minimum control

の車両の応答特性を示す。アクセルをゆっくり操作する低燃費運転の場合、ECON OFF モード時と ECON ON モード時で差は無い。また、アクセルを速く操作した場合、ECON OFFモード時はアクセル操作に対してエンジン負圧とエンジン回転数が素早く立ち上がり機敏な特性を得ている。ECON ON モード時はスロットルの制限によりエンジン負圧が滑らかに立ち上がり、またCVTのECON ONモード用の変速応答性によりエンジン回転数の上昇が抑えられ、低燃費運転を達成している。

Fig. 10 に CVT 変速制御およびスロットルの制限制御による GF ボトム制御実施有無での GF ボトム目標ライントレース状況を示す。

このGFボトム制御により従来制御に対して、緻密にGFボトムラインをトレースすることが可能となり、10・15モードで 0.3km/L 燃費が向上した。

5. 駆動力オンデマンド制御

従来から Honda の CVT は、勾配や路面状況、アクセルペダル操作、カーブ走行時の横G等の走行状態により、16種類のマップから、最適なシフトスケジュールに切り替え、良好な走りを得ている。

しかしながら新型インサイトでは燃費と走りを両立させるために、ECON スイッチにより ECON OFF モードと ECON ONモードの切り替えをおこなっている。従来のアクセル開度に基づく CVT の変速制御では、モードを切り替えるとアクセル開度に対してトルクの出方が異なるため、それぞれのモードで変速マップを持つ必要があり CVT の制御が複雑なものとなる。また、スロットルとエンジン回転数の関係が崩れ前述の GF ボトム制御ができなくなってしまう。

それらを解決するために、新型インサイトでは駆動力オンデマンド制御を採用した。

一般的な駆動力オンデマンドは Fig. 11 に示すとおりアクセル開度から直接要求駆動力いわゆる要求仕事率を決定し、要求仕事率に対してエンジンのスロットル制御、CVT の変速制御をおこなう。よってスロットルとエンジン回転数がアクセル操作に対して独立して制御されるため、アクセル操作に対してトルクやレスポンスのリニアリティー感

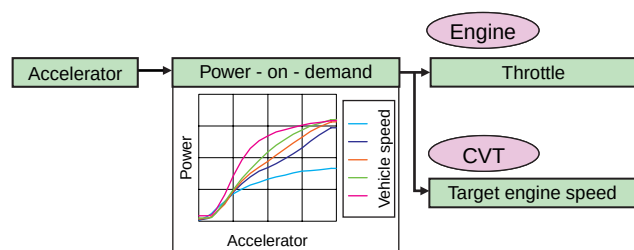


Fig. 11 Normal power - on - demand control

や、車速に対してエンジン回転上昇のリニアリティーがない場合があった。

それらの課題を解決した新型インサイトの駆動力オンデマンド制御の詳細を以下に述べる。

5.1. 新型インサイト駆動力オンデマンド制御

新型インサイトで採用した駆動力オンデマンド制御の概要を Fig. 12 に示す。

- (1)アクセル開度から、要求駆動力を決定する車速ごとの要求駆動力アクセル開度に変換する。
- (2)要求駆動力アクセル開度に基づき、エンジンのスロットル制御、CVT の変速制御をおこなう。

エンジンのスロットル制御によりクランク軸端のトルクが決定し、CVTの変速制御によりエンジン回転数が決定することにより、車速ごとの仕事率が決定する。つまり駆動力を決定することができる。

今回採用した駆動力オンデマンドは、アクセル操作に直結して制御するため、従来の利点であったトルクおよびレスポンスのリニアリティー感や車速に対するエンジン回転上昇のリニアリティー感が得られる。また、従来のCVT変速制御がそのまま踏襲でき、良好な走りをそのまま継続することが可能となる。

また、変速マップとスロットル制限を要求駆動力アクセル開度によって最適にセッティングすれば、ECON OFFモード、ECON ONモードを問わず、GFボトム制御を維持でき、アクセル開度—要求駆動力アクセル開度の特性を変更するだけで、容易に異なった走り感を演出することができる。

5.2. 要求駆動力アクセル開度特性

燃費向上技術として走行中の燃料停止技術がある。CIVIC Hybridではアクセルの低開度領域およびアクセルオフ時にエンジンを全気筒休止することによりフリクションを低減しつつ燃料を停止させ、モータのみの走行(MD: Motor

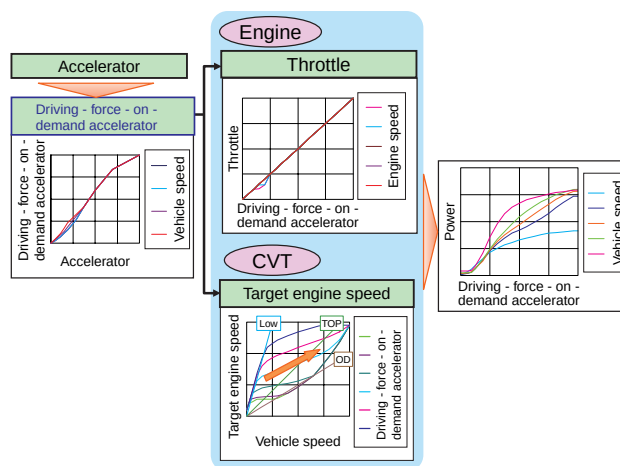


Fig. 12 New INSIGHT control

Drive)を実現している。しかしながらアクセル開度に対するMD領域が狭く、ラフなアクセル操作ではMD運転を継続させるのが困難であった。そこで新型インサイトではECON ONモード時、アクセル開度-要求駆動力アクセル開度特性のゲインを小さくすることにより、クルーズから緩加減速の操作性を向上させている。以下に特徴を示す。

(a) MD 頻度のアップ。

(b) 緩い下り坂等で FC(Fuel Cut)走行の持続性を向上。

Fig. 13 に実アクセル開度 - 要求駆動力アクセル開度ゲイン特性を示す。

ECON ONモード時、この特性変更によりMD頻度が20%向上した。また、要求駆動力アクセル開度の使用頻度が低開度側に移行し低燃費運転が可能となった。

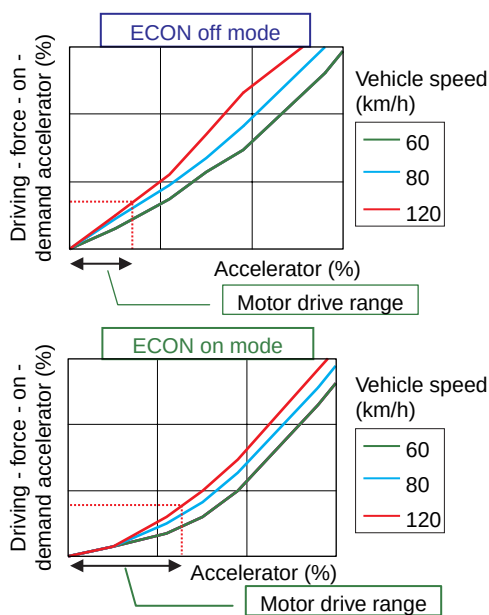


Fig. 13 Driving - force - on - demand accelerator characteristic

6. 減速回生制御

新型インサイトではブレーキ液圧に応じた減速回生をおこなうことにより燃費向上を図っている。また ECON ON

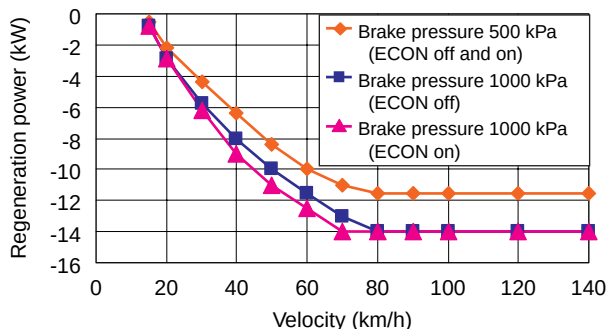


Fig. 14 Regeneration power

モード時はブレーキ液圧の高い所で回生量の増大を図りエネルギーの回収を向上させている。ブレーキ液圧が低いところではECON ONモード時とECON OFFモード時で回生量を同一としブレーキペダルタッチフィーリングを同一とした。Fig. 14 に減速回生量を示す。

7. エアコン制御

エアコン制御はECONスイッチで以下の2項目の制御切り替えを実施し、ECON ONモード時の燃費向上を図っている。

(1) アイドル停止領域の拡大

(a) ECON OFFモード制御時は窓曇りと快適性でアイドル停止時間を決定する。

(b) ECON ONモード時は窓曇りのみでアイドル停止時間を決定する。

(2) 高負荷時省動力制御

ECON ONモード時は以下の3項目を実施することにより省動力を達成した。

(a) 高外気温時に内気循環へ移行し吸込み空気負荷を低減した。

(b) 冷房領域のファン電圧低下による電気負荷を低減した。

(c) エアコンクラッチの動作頻度低減によるエンジン動力負荷を低減した。

8. 効果

男性17名、女性3名による実用を考慮したテストコースでの燃費効果確認の結果、ECON ONモード時はECON OFFモード時と比較し、平均燃費9.5%の向上効果を確認できた。

Fig. 15 にECONスイッチオン、オフでの燃費効果確認結果を示す。

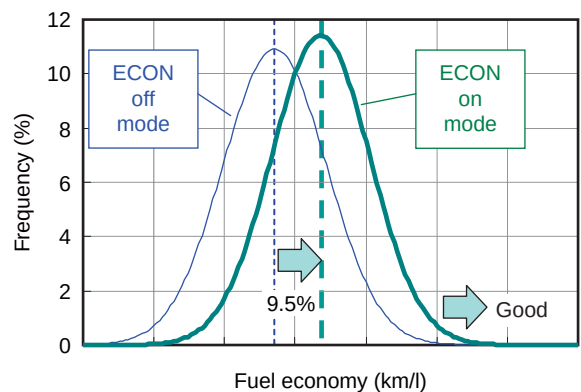


Fig. 15 Fuel economy frequency distribution

9. まとめ

エンジン・CVT 統合制御システムの開発, HONDA
R&D Technical Review, Vol.11, No.1, p.93-100

以上より新型インサイトでは燃費性能と走り性能を両立することができた。

- (1) ECON スイッチにより燃費優先制御を採用でき、ECON OFFモード時はアクセル操作量が少ない低燃費運転時のGFボトム目標ラインがトレースでき、ECON ONモード時には、ラフなアクセル操作でもGFボトム目標ラインがトレースでき低燃費運転が可能となった。
- (2) 要求駆動力アクセル開度を用いた駆動力オンデマンド制御により、アクセル操作に対して駆動力特性やレスポンスのリニアリティーや、車速に対してエンジン回転数上昇のリニアリティーがある走行性能を得られた。

参考文献

- (1) 青木薫, 梶原滋正, 佐藤浩光, 山本善夫: モータ式ハイブリッドパワートレインの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.98-99, p.9-12(1999)
- (2) 堀尾幸一, 藤村章, 斉藤政昭, 角田和彦, 瀧口士郎: 超低燃費ハイブリッドカー「インサイト」の開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.2, p.1-8
- (3) Ogawa, H., Matsuki, M., Eguchi, T.: Development of a Power Train for the Hybrid Automotive-the Civic Hybrid, SAE Paper, 2003-01-0083(2003)
- (4) 松木正人, 若城輝男, 神山敏宏, 佐藤利行, 賀来嘉昭, 神田正浩: ハイブリッドカー「Civic Hybrid」用パワートレインの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1, p.39-48
- (5) 貝塚正明, 今井利隆, 石川享, 仁木学, 安達浩光: ACCORD Hybrid システムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.17, No.1, p.18-24
- (6) 堀江達郎, 岸勉, 長谷川修: 新型 CIVIC Hybrid IMA システムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.1, p.16-21
- (7) 奥井重雄, 岸勉, 石川直宏, 花田晃平: CIVIC Hybrid 用 1.3L 3stage i-VTEC VCM エンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.2, p.44-51
- (8) Auto Technology special 2007: Honda Hybrids, FISITA, 66p.(2007)
- (9) Ota, S., Eguchi, T.: Development of CIVIC Hybrid CVT system, CVT・HYBRID 2007 (International Congress on Continuously Variable and Hybrid Transmission), Society of Automotive Engineers of Japan, p. 183-187(2007)
- (10) 藤本修一, 太田庄次, 江口高弘, 伊藤令: ハイブリッド車用 CVT, 自動車技術, Vol.61, No.12, p.15-20(2007)
- (11) 山本和久, 阪口伸一, 岸田真, 木村英輔, 阿部浩之:

■ 著 者 ■



福田 俊彦



江口 高弘