

Accord ハイブリッド用 2.0 L エンジンの開発

Development of New 2.0 L Gasoline Engine for Accord Hybrid

米 川 明 之*

Akiyuki YONEKAWA

関 谷 明 堂*

Noritaka SEKIYA

渡 辺 修*

Osamu WATANABE

石 川 直 宏*

Naohiro ISHIKAWA

要 旨

Accord ハイブリッド用に 2.0 L のガソリンエンジンを開発した。本機の特徴は低燃費と北米向けプラグインハイブリッド仕様における世界初 SULEV20 規制適合である。機械圧縮比を 13 とし、アトキンソンサイクルとクールド EGR を採用することで熱効率の向上を図った。吸気側動弁系に VTEC を適用し、始動と高出力必要時に使用する狭開角の出力用カムと、通常走行時に使用する広開角の燃費用カムを持つ。燃費用カムは VTC と組合せることで吸気閉弁時期をコントロールし、運転点が変化してもアトキンソンサイクルの効果を最大に得ることができる。その結果、エンジン単体での最小燃料消費率は 214 g/kWh を達成し、量産 2.0 L エンジンに対し 10% の燃費向上を得た。

またエンジンの軽量化にも積極的に取り組んでおり、世界初の製法である肉抜きクランクをはじめ、ピストンの最適設計、プレスタイプロッカアームの排気側への適用などをおこない、量産 2.0 L エンジンから DOHC 化しながら 4.7% の軽量化を達成した。

ABSTRACT

We developed a new 2.0 L gasoline engine for an Accord hybrid. This engine achieved remarkable fuel efficiency, and complied with the SULEV20 regulation for the first time in the world for an Accord plug-in hybrid in North America. The mechanical compression ratio was set to 13 and improvement in thermal efficiency was aimed at by adopting the Atkinson cycle and cooled EGR. Applying a VTEC system to the intake valve-train, we set up the output cam and the fuel economy cam. The output cam has narrow duration and is used as needed at the time of starting and high-output. The fuel economy cam has wide duration and is used during normal driving. By controlling air-intake closed-valve timing in combination with VTC, the fuel economy cam can acquire the maximum effect of the Atkinson cycle. The minimum specific fuel consumption attained was 214 g/kWh, equaling a 10% improvement in fuel consumption compared to the mass-production 2.0 L engine.

Moreover, we also aggressively tackled engine weight saving. A lightweight forged crankshaft was adopted, and the piston design was optimized, and lightweight press-type rocker arms were applied to the exhaust valve-train. As a result, the newly developed DOHC engine attained 4.7% weight savings over the mass-production 2.0 L SOHC engine.

1. はじめに

グローバルにモータリゼーションが発展し市場台数がさらに増加していく中、環境に配慮した製品を提供することは自動車メーカーの使命といえる。各メーカーは、燃料電池電気自動車 (FCV)、電気自動車 (EV)、ハイブリッド電気自動車 (HEV)、ダウンサイジング過給など、車から排出される CO₂ 削減のため、さまざまなアプローチをおこなっている。Honda はこれまで Integrated Motor Assist (IMA) と呼ばれるシステムを搭載した HEV を販売している。このシステムは、シンプルかつ軽量コンパクトで、スモールカーに適

している。2012 年末、2 モーターの新しいハイブリッドシステムを備えた Accord プラグインハイブリッドを発表した。このシステムはモータ出力を向上させ、中型車への適用を可能にした。さらなる燃費向上のため、合わせて専用のガソリンエンジンを開発した⁽¹⁾。本編ではエンジン主要技術に加え、軽量化および電動 VTC についても紹介する。

2. 開発のねらい

ハイブリッド車の専用エンジンとして以下を目標に開発をおこなった。

* 四輪 R&D センター

- (1) 低燃費:ハイブリッドの使用領域における燃費改善
- (2) 軽量化:DOHC 化しつつ、量産 2.0 L エンジン以下
- (3) エミッション性能:北米向けプラグインハイブリッド (PHEV) 仕様における SULEV20 規制適合
- (4) 静粛性:アッパーミドルセダンとしての NV 性能

3. 主要諸元と性能

3.1. エンジン諸元

新開発エンジンの外観を Fig. 1 に、諸元を量産 2.0 L エンジンと対比して Table 1 に示す。新エンジンは DOHC 化し、吸気側動弁系に VTEC と電動 VTC を適用した。排気側に Hydraulic Lash Adjuster (HLA) を備えたプレスタイプのロッカアームを採用した。軽量なため、バルブリフトカーブの上り加速度を大きく設定でき、膨張行程損失を減少させている。安定した EGR 燃焼を実現するため高タンプルポートを採用する一方、流量係数の低下をリカバリするため、吸気弁直径を 1 mm 拡大した。シリンダオフセットを変更し、シリンダブロック高さを下げて軽量化した。クランクジャーナル径はフリクション低減と軽量化のために縮小した。圧縮比は 13 とし、アトキンソンサイクル、クールド EGR を採用した。電動ウォーターポンプを採用し補機ベルトを廃止することでフリクションを低減した。燃料噴射方式はコストと燃費バランスの観点からポートインジェクションを選択した。

3.2. 出力性能

エンジン出力性能を Fig. 2 に示す。最高出力は 6200 rpm において 105 kW、最大トルクは 4500 rpm において 165 Nm を達成した。

3.3. 燃費性能

燃料消費率 (BSFC) の分布を Fig. 3 に示す。黄色のラインはハイブリッドドライブモードにおける作動線、白点線のエリアはエンジンドライブモードにおける作動領域を示す⁽²⁾。



Fig. 1 New 2.0 L gasoline engine for Accord Hybrid

Table 1 Engine specifications

Engine Type	Developed	Current
Cylinder configuration	Inline 4	Inline 4
Bore x Stroke (mm)	81 × 96.7	81 × 96.9
Displacement (cm ³)	1993	1998
Valvetrain (intake)	VTEC and E-VTC	VTEC
Valvetrain (exhaust)	Finger rocker arm (with HLA)	Rocker arm (with rocker shaft)
Number of valves	4	4
Valve diameter (mm) Intake/exhaust	33/26	32/26
Cylinder offset (mm)	6	12
Crank journal diameter (mm)	50	55
Compression ratio	13.0	10.6
EGR system	Cooled	Hot
Water pump	Electric	Mechanical
Fuel injection type	Port injection	Port injection
Fuel	Regular	Regular
Maximum power	105 kW	115 kW
Maximum torque	165 Nm	192 Nm
Emission regulation	SULEV20	EURO5

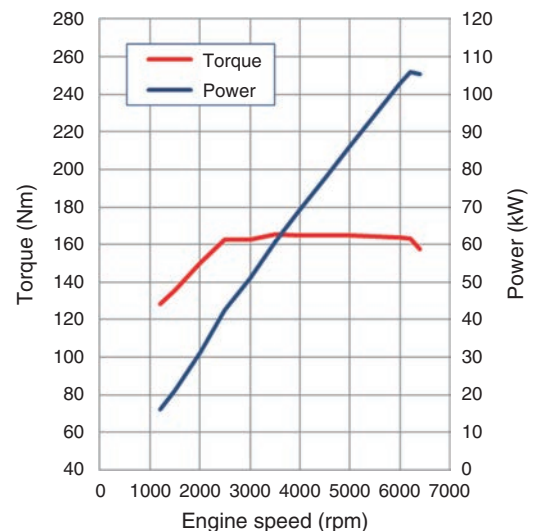


Fig. 2 Engine performance

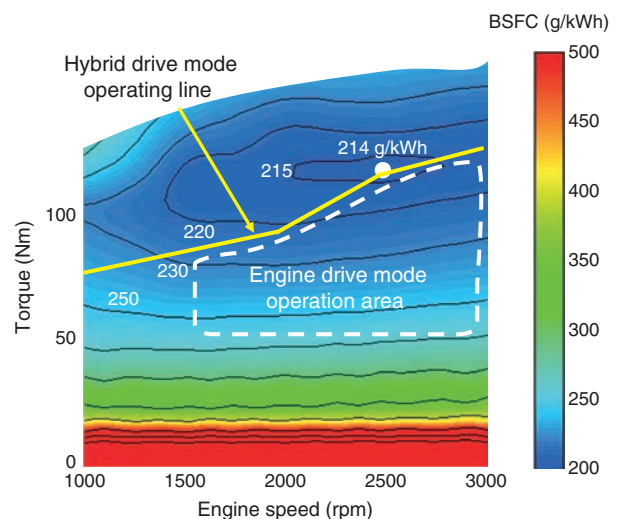


Fig. 3 Fuel consumption performance

2500 rpm, 120 Nm の運転ポイントで BSFC 214 g/kWh を達成した。また、量産 2.0 L エンジンと等馬力における BSFC の比較では全域で 10% の改善を得た (Fig. 4)。

3.4. エミッション性能

Fig. 5 に排気システムを示す。ハイブリッドの特徴を利用して、始動直後の発電量を調整することで二つの触媒を効率よく暖機する新制御⁽¹⁾を適用した。また始動に開角の狭い出力カムを使用することでフィードエミッションを低く抑えている。その結果、北米向け PHEV 仕様において、世界初で SULEV20 規制に適合した (Fig. 6)。

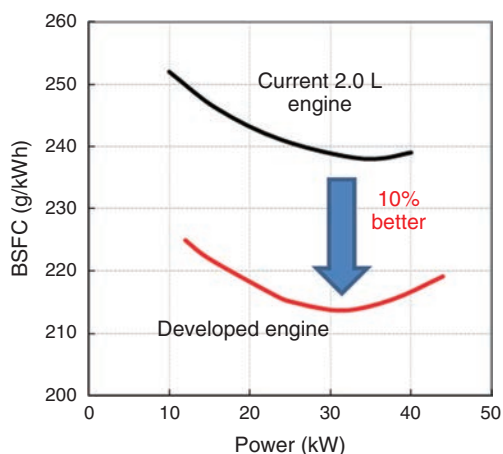


Fig. 4 Improvement of fuel consumption

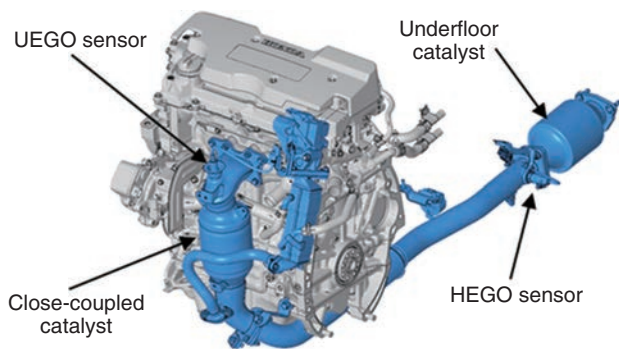


Fig. 5 Exhaust system

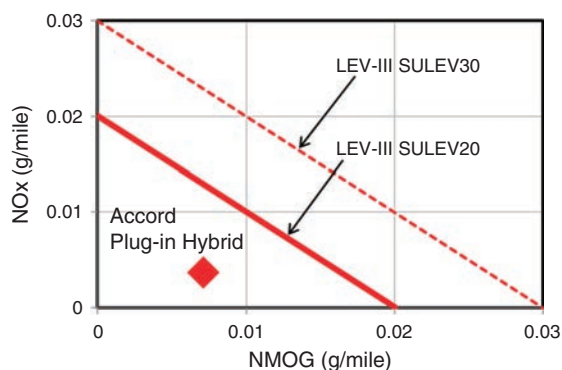


Fig. 6 SULEV20 regulation and emission performance

4. 主要投入技術

4.1. VTEC

吸気側動弁系に採用した VTEC システムの構造を Fig. 7 に示す。1 シリンダあたり、3 個のカム駒およびロッカアームで構成される。両側を出力カム (青色)、中央を燃費 (FE) カム (緑色) と呼ぶ。出力カムの使用時は、連結ピンはオフ状態でロッカアームは別個に作動する。燃費カム使用時は連結ピンはオンとなり、それぞれのロッカアームがピンによって連結され作動する。低回転領域での切替を可能とするため、連結ピンのオンオフ両方を油圧で制御するタイプの VTEC⁽³⁾ を採用した。

出力カム、燃費カム駆動時のバルブリフトカーブを Fig. 8 に、運転領域を Fig. 9 に示す。出力カムの開角は狭く、1 mm 以上のリフト範囲が 196 度で、全開に近い負荷が要求される時とエンジン始動時に使用される。燃費カムの開角は広く、1 mm 以上のリフト範囲が 240 度で、燃費が要求される運転状態で使用される。

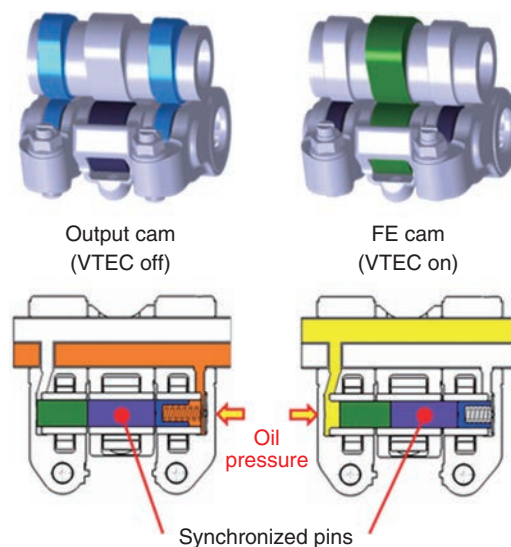


Fig. 7 VTEC structure and pin action

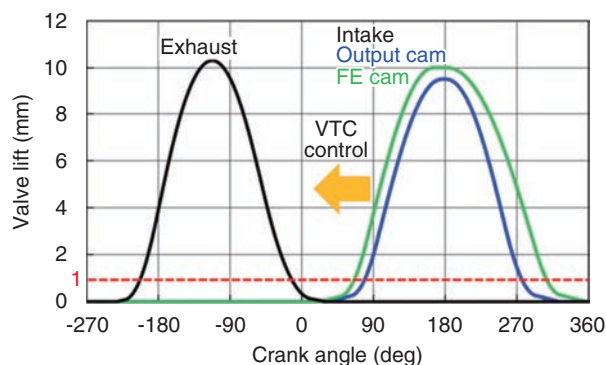


Fig. 8 Valve timing

4.2. クールド EGR

シリーズハイブリッド用エンジンの運転領域は BSFC の低い高負荷域が主体であり、燃費改善のためにノッキングを抑えることが可能なクールド EGR の採用は合理的である⁽⁴⁾。しかしクールド EGR は燃焼を緩慢にし、燃焼安定性を低下させる場合がある。これを抑制するため燃焼速度の向上をねらい高タンブルポートを採用した (Fig. 10)。タンブル流を強くするため、主流が燃焼室の排気側に流れるように側面形状を変更し、ポートの下部をエッジ形状とした。筒内流れの計算結果を Fig. 11 に示

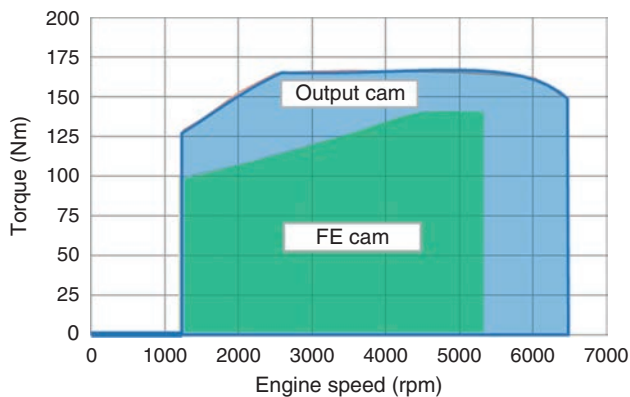


Fig. 9 VTEC operation

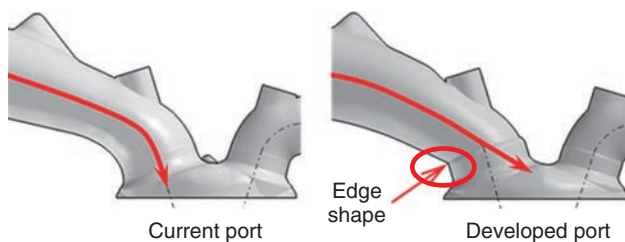


Fig. 10 High-tumble port shape

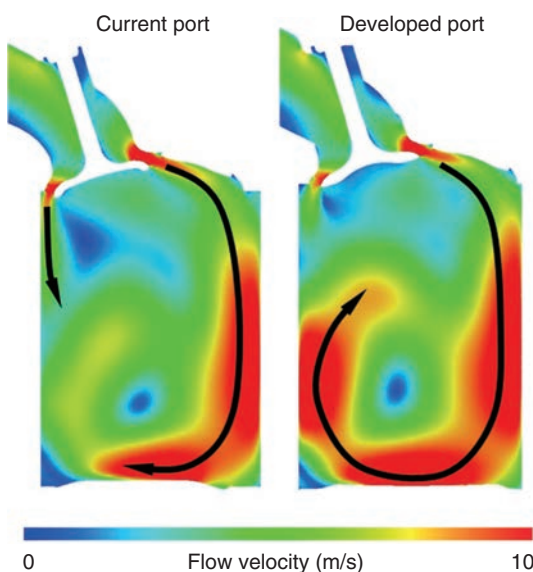


Fig. 11 Flow simulation result

す。バルブ間から吸気側の壁を流れる流れが減少していることがわかる。また、エッジ形状で剥離させることで、主流は排気側に強く流れ込み、シリンダ内に強いタンブル流を生成する。その結果、タンブル比は、0.73 から 1.40 となった。本ポートの効果を確認した結果を Fig. 12 に示す。高タンブル化による燃焼改善により、図示平均有効圧力 (IMEP) 変動率の低下が確認できた。本ポートの採用により最良のポイントで図示燃料消費率 (ISFC) で 5 g/kWh の改善を得た。

4.3. 軽量化技術

車両の燃費を向上させるためには、軽量化も大切な要素である。ハイブリッド車は重量物であるバッテリーを搭載しているため、他部分での軽量化はさらに重要であり、エンジンにおいても軽量化をおこなった。

4.3.1. クランクシャフト

Fig. 13 に示すように、クランクのカウンタウェイト部に斜めから鍛造工程を追加し、肉抜き形状を形成した。本技術は世界初である。ジャーナル径を 55 mm から 50 mm に

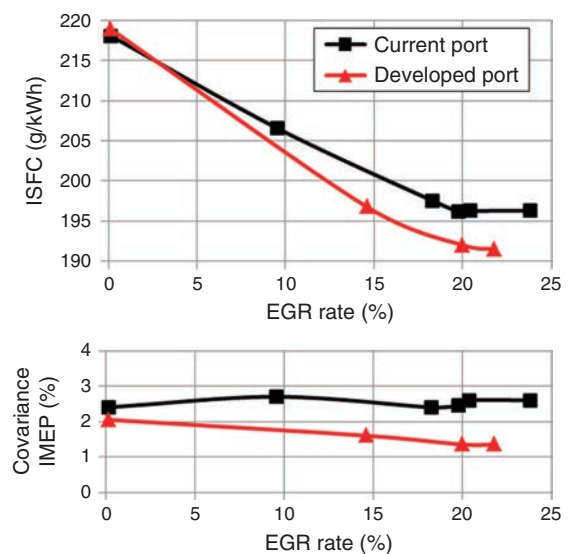


Fig. 12 Effect of high-tumble port

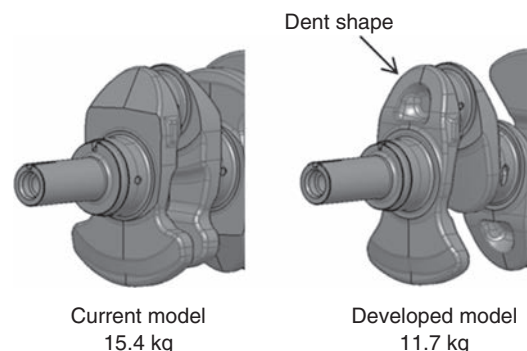


Fig. 13 Crankshaft design

縮小し、カウンタウェイトを8個から4個へ変更することと合わせ3.7 kgの軽量化を達成した。

4.3.2. ピストン

ハイブリッド専用としてエンジンを考えた場合、モータによるトルクアシストが利用できるため、エンジン単体に要求される出力およびトルクは同排気量のガソリンエンジンと比較して低く設定でき、最大筒内圧力が下げられる。量産2.0 Lエンジンの7.9 MPaに対し、本エンジンは5.6 MPaである。この特性を踏まえてコンプレッションハイト、ピストンピン径、長さを新しく設定し、1気筒当たり約61 g、台当たり246 gの軽量化をおこなった (Fig. 14)。本部分の軽量化は、フリクションの低下による燃費向上にも貢献している。

4.3.3. 排気側プレスタイプロッカーム

軽量化とリフトカーブ設定によるアトキンソンサイクル効果の最大化のため、排気側動弁系に、HLA およびプレスタイプロッカームを採用した (Fig. 15)。Honda で一般的なロッカシャフトタイプに対し1.3 kgの軽量化となった。

4.3.4. 電動ウォーターポンプ

電動ウォーターポンプの採用 (Fig. 16) により補機ベルトを廃止し1.3 kgの軽量化を達成した。以上の技術を投入した結果、現行エンジンに対してDOHC化しつつ4.7%の軽量化を達成できた。

4.4. 電動 VTC

本エンジンにおいても燃費向上のためアイドル停止を

おこなうが、機械圧縮比が13と高いため、出力カムを使用する再始動のクランキング時にコンプレッション圧力に起因する振動が大きく、商品性を低下させてしまう。これを解決するには、始動時の吸気弁閉時期 (Intake valve close timing: IVC) の遅角化が有効であり、電動 VTC を採用した。作動と効果を Fig. 17 に示す。

Fig. 17 の赤線は IVC76 deg、青線は IVC96 deg におけるエンジン回転の立ち上がりを示す。IVC76 deg では600 rpm以下の共振領域で発生した振動がその後も残っているのに対し、IVC96 deg では滑らかに回転が上昇している。これは始動時の NV 商品性を低下させる原因が600 rpm以下の領域で発生するパワープラント共振であることを示している。共振周波数を変化させることは構造上困難なため、IVCを遅角させ、デコンプすることで振動源を抑えた。次に具体的手法を述べる。

エンジンが停止するとき、VTCはIVC最遅角 (96 deg) に制御され次の始動を待つ。再始動クランキング時、エンジン回転数が共振領域を外れる600 rpmを超えたところでVTCを進角させ、燃料噴射開始までに所定のIVC (76 deg) へ移動する。この動作により、振動の発生源を抑えることができ、必要な NV 商品性を確保した。

一連の作動は全てエンジン回転が立ち上がる前におこなわれるため、一般的な油圧タイプの VTC で実現するのは困難である。電動 VTC の採用で、出力、エミッション性能を犠牲にすることなく、アップミドルセダンに求められる高い NV 性能を満足させることができた。

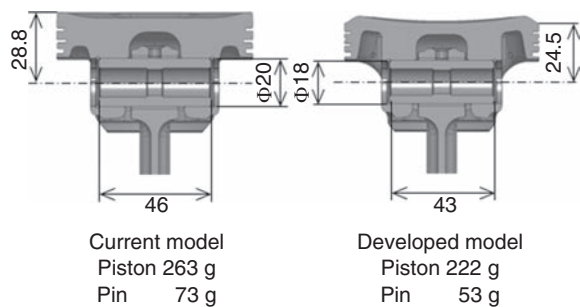


Fig. 14 Piston design

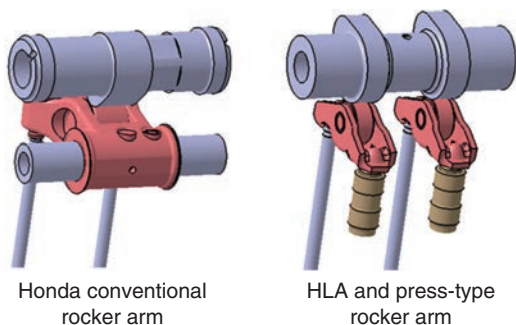


Fig. 15 HLA and rocker arm

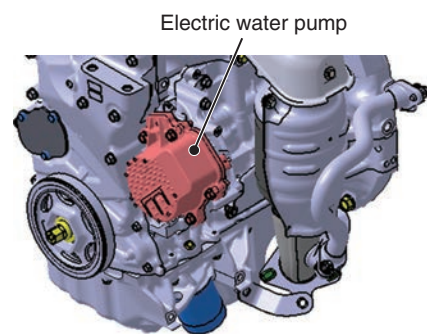


Fig. 16 Electric water pump

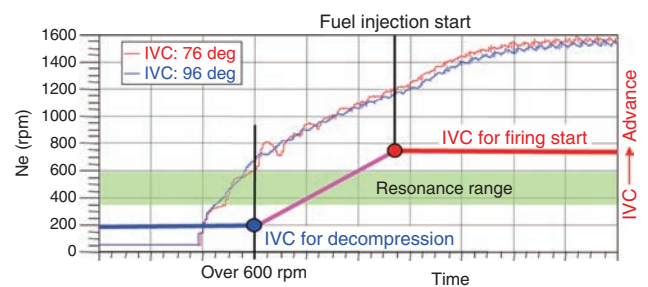


Fig. 17 Effect of electric VTC

5. まとめ

以上の技術を投入し、ハイブリッド用として競争力のあ
るエンジンを開発することができた。以下にまとめる。

- (1) アトキンソンサイクルとクールド EGR を採用し、
VTEC と組合せることで、最高出力 105 kW および
BSFC 214 g/kWh (現行比 10% 改善) を達成した。
- (2) 肉抜きクランクを始めとする軽量化技術の採用によ
り、現行エンジンに対し DOHC 化しながら 4.7% の軽
量化を達成した。
- (3) 北米向け PHEV 仕様において世界初で SULEV20 規
制に適合した。
- (4) 電動 VTC を採用し、IVC の遅角化をおこない、エン
ジン始動時の振動を低減したことで、出力、エミッ
ション性能を犠牲にすることなく、アッパミドルセダ
ンとしての高い NV 商品性を確保した。

参考文献

- (1) Yonekawa, A., Ueno, M., Watanabe, O., Ishikawa, N.:
Development of New gasoline Engine for ACCORD
Plug-in Hybrid, SAE Technical Paper 2013-01-
1738(2013)
- (2) Higuchi, N., Sunaga, Y., Tanaka, M., Shimada, H.:
Development of a New Two-Motor Plug-in Hybrid
System, SAE Technical Paper 2013-01-1476(2013)
- (3) 奥井重雄, 岸勉, 石川直宏, 花田晃平: CIVIC Hybrid
用 1.3 L 3-stage i-VTEC VCM エンジンの開発,
Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.2, p.44-51
- (4) Kawamoto, N., Naiki, K., Kawai, T., Shikida, T.,
Tomatsuri, M.: Development of New 1.8-Liter Engine
for Hybrid Vehicles, SAE Technical Paper 2009-01-
1061(2009)

■ 著 者 ■



米川 明之



渡辺 修



関谷 明堂



石川 直宏