

新型アコード ハイブリッド用 2.0 L エンジンの開発

Development of 2.0 L Engine for New Accord Hybrid

若 松 健*

Takeshi WAKAMATSU

石 神 佳 治*

Yoshiharu ISHIGAMI

泉 慎 介*

Shinsuke IZUMI

吉 本 康 時*

Koji YOSHIMOTO

赤 石 伸 行*

Nobuyuki AKAISHI

中 村 賢 治*

Kenji NAKAMURA

坂 口 元 康*

Motoyasu SAKAGUCHI

久保田 賢 司*

Kenji KUBOTA

要 旨

新型 Accord ハイブリッド用に, Honda として初となる熱効率 40% 以上を目標とした 2.0 L のガソリンエンジンを開発した. 前モデルと同様にアトキンソンサイクルとクールド EGR システムを採用した. さらに理論熱効率向上のためにインテークバルブの鏡面化およびエキゾーストバルブにはナトリウムを封入することでノッキングを改善し高圧縮比化した. 熱損失低減のためには高 EGR 化し, 高流動タンブルポートを採用することにより高速燃焼を実現した. かつ, 他エンジン骨格で採用している低フリクションプラトーホーニングや低フリクションバランスシャフト等の機械損失低減技術を導入し, エンジン単体での最小燃料消費率は 208.1 g/kWh (熱効率 40.6%) を達成した.

この新開発エンジンを用いて実車燃費性能を確認した結果, 単体エンジン効果として US Combined mode 燃費で 1.96 mpg 改善した.

ABSTRACT

A 2.0 L gasoline engine for which the development target was the realization of thermal efficiency of 40% or higher (a first for Honda) has been developed for the new Accord hybrid. As in the case of the previous model, the developed engine employs the Atkinson cycle and the cooled EGR system. In order to further increase theoretical thermal efficiency, knocking has been reduced through the application of mirror finishing to the intake valves and the use of sodium-filled exhaust valves, and the higher compression ratio than the previous model. To reduce heat loss, high-speed combustion has been realized by increasing EGR amount and employing high-tumble-flow ports. Technologies for the reduction of mechanical loss, including low-friction plateau honing and a low-friction balance shaft, have been employed in the other engine framework, helping to enable the realization of a minimum fuel consumption rate of 208.1 g/kWh (thermal efficiency: 40.6%) in the engine unit in isolation.

The verification results of the fuel efficiency performance achieved in an actual vehicle through the use of the newly-developed engine demonstrated a reduction of 1.96 mpg in fuel consumption in the US Combined Mode as an effect of the engine unit in isolation.

1. はじめに

近年各自動車メーカーは車から排出される CO₂ 削減のため, 燃料消費率向上を目的とし新型パワートレインを投入してきている. Honda は 2012 年末, 2 モータハイブリッドシステム⁽¹⁾⁻⁽³⁾を備えた Accord プラグインハイブリッドを販売し, 2016 年には排熱回収器システムを追加した. さらにより多くのお客様に商品を提供するために普及型であるハイブリッドシステムを備えた Accord ハイブリッドを 2018 年初に発表した. 2 モータハイブリッドシステム (SPORT HYBRID i-MMD) は, 走行モードが 3 パターンあ

り, パターン 1 はバッテリーに蓄えられた電気エネルギーを使用してモータを駆動する EV 走行モードである. パターン 2 は, バッテリーのアシストや充電により, エンジンによって生成された電気エネルギーを使用してモータを駆動するハイブリッド走行モードである. パターン 3 は, エンジン出力を使用して直接駆動するエンジン走行モードである (Fig. 1). SPORT HYBRID i-MMD の開発にあたり, クラストップの高効率なハイブリッドシステムを目指し, エンジンとしてはさらなる燃料消費率向上のため, 専用のガソリンエンジンを開発した.

* 四輪 R&D センター

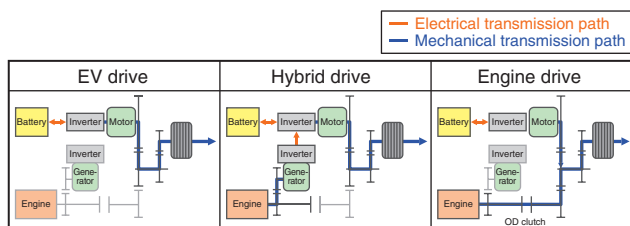


Fig. 1 SPORT HYBRID i-MMD system operations

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した。

- (1) 低燃費については、ハイブリッド走行時の使用領域における燃料消費率改善(熱効率 40% 以上)
- (2) エンジン動作線の最適化による実車燃費性能の向上

3. 燃費性能向上技術

熱効率 39.1% の量産 2.0 L full hybrid electric vehicle (FHEV) エンジン (前モデル) と対比した諸元表を Table 1 に示す。

3.1. エンジン単体燃費向上技術

前モデルの損失解析により、図示熱効率向上のために理論熱効率の向上と熱損失の低減、および機械損失の低減の 3 点を燃料消費率改善の主題とした。

3.1.1. 理論熱効率向上

理論熱効率の向上には圧縮比の向上が有効であるが、ノッキングの増加を伴う。その対策として排気再循環 (EGR) 導入量の増加とインテークバルブの鏡面化およびナトリウム封入エキゾーストバルブを採用した。これらにより、ノッキングの増加なく 13.0 から 13.5 まで圧縮比を向上させた (Fig. 2)。

3.1.2. 高流量 EGR システム

熱損失低減のため EGR 導入量の増加をおこなった。これはノッキング増加の抑制効果もあり、圧縮比の向上にも有効である。

EGR 導入量は前モデルの 17% から 23% へ増加することを目標とし、EGR システムの高流量化を検討した。これは、熱効率 40% に対して、算出した値である。

高流量化のために EGR バルブの大径化と弁座からのガス漏れ量の抑制、またバルブ応答性の両立した新規の EGR バルブを開発した。バルブ形状はポペットバルブとし、バルブ径の大径化をおこなった (Table 2)。駆動部はリニアソレノイドを採用し、大径化に必要な駆動力を確保するため、コイル体格と磁気回路は新規に設定した。

バルブ大径化の効果を引き出すため、EGR 通路圧損の

Table 1 Engine specifications

	Developed	Previous
Cylinder configuration	Inline 4	
Bore × Stroke [mm]	81 × 96.7	
Displacement [cm ³]	1993	
Valvetrain (intake)	VTEC and E-VTC	
Valvetrain (exhaust)	Finger rocker arm (with HLA)	
Number of valves	4	
Valve diameter [mm] intake/exhaust	33 (Mirror-surface) /26 (Na-filled)	33/26
Cylinder offset [mm]	6	
Crank journal diameter [mm]	50	
Crankshaft counterweight	Semi-8 (without dent)	4 (with dent)
Compression ratio	13.5	13.0
EGR system	Cooled	
EGR valve flow rate [L/min]	450	230
Water pump	Electric	
Thermostat open valve temperature [°C]	82	78
Fuel injection type	Port injection	
Fuel	Regular	
Maximum power [kW]	107	
Maximum torque [Nm]	175	
Emission regulation	SULEV30	

Table 2 EGR valve specifications

	Developed	Previous
Valve type	Poppet	
Valve seat diameter [mm]	12.5	8.3
Flow at 6.7 kPa [L/min]	450	230
Valve leak [L/min]	< 3	
Response time [msec] from closed state to fully open	≤ 80	

低減をおこなった。触媒後より導入された EGR ガスは、EGR パイプ、EGR クーラ、ウォータアウトレット内 EGR ガス通路を経て EGR バルブへ入り、その後再び、ウォータアウトレット、シリンダヘッド内通路を通り、インテーク

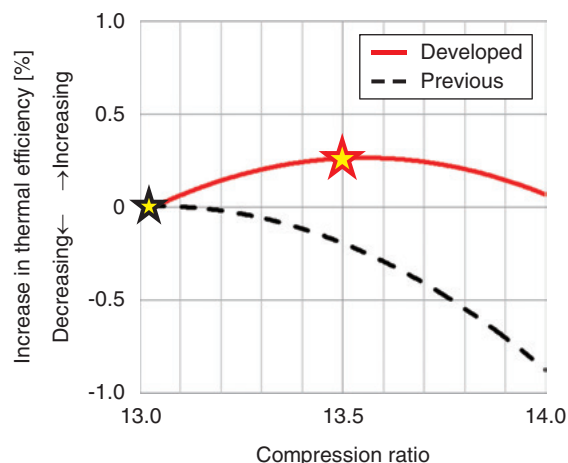


Fig. 2 Increase in thermal efficiency against previous model

マニホールドへ導入される。

圧力損失影響の大きかった EGR バルブ周辺の形状比較を Fig. 3 に示す。

前モデルの通路形状に対して、

- (1) 通路面積を $\phi 21$ に拡大
 - (2) デッドボリュームを削除
 - (3) ウォータアウトレットと EGR クーラの通路あわせ部のストレート化
 - (4) EGR バルブ内の通路曲がり半径拡大
- をすることで、通路圧損を 70% 低減した。

EGR 導入量の増加の際に発生する燃焼の緩慢化による時間損失増加に対しては、高流動タンブルポートを採用することにより高流量 EGR 条件においても高速燃焼を実現した。

採用したポート形状を Fig. 4 に示す。ポート形状は前モデルに対し、インテークバルブ手前部分の下側に膨らみを設けて、入射角をより鋭角にすることでタンブル流を強化した。これによりエンジン速度 2000 rpm、エンジン負荷 120 Nm の運転ポイントでのタンブルレシオは 25% 増加し、燃焼速度に相関のある乱流運動エネルギー (Turbulent Kinetic Energy: TKE) は 3% 向上した。改善効果を Fig. 5 に示す。

その結果、前モデルと同等の燃焼期間を達成し (Fig. 6) 、

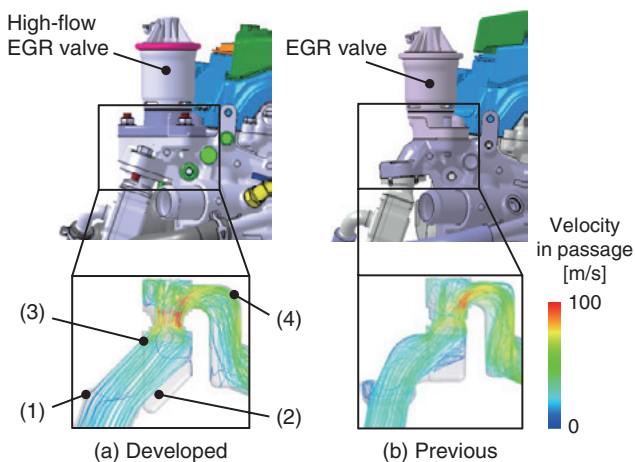


Fig. 3 High-flow EGR passage

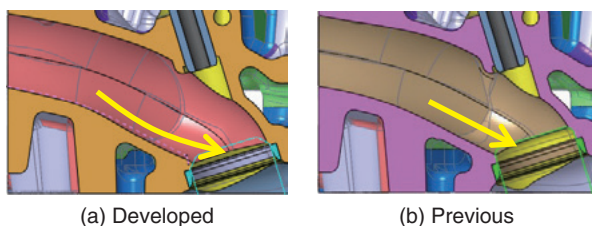


Fig. 4 High-tumble port shape

時間損失が増加することなく、熱損失の低減とノッキングの改善を可能にした。

3.1.3. ノッキング改善

ノッキング改善を目的として、インテークバルブには傘裏部の鏡面仕上げをおこない、エキゾーストバルブにはナトリウムを封入した。

インテークバルブについては、燃焼室内に露出するバルブの傘裏部表面を平滑化することで表面積を減らし、バルブとその周辺の気体間の熱伝達抑制をねらった。これにより熱伝達が減ることで、バルブを介してシリンダヘッドへ逃げていた燃焼ガスの熱量を減らすことが可能となり熱損失を低減することができる。またバルブ自体の温度も下がるので、吸気温度が低減しノッキング改善の効果も得ら

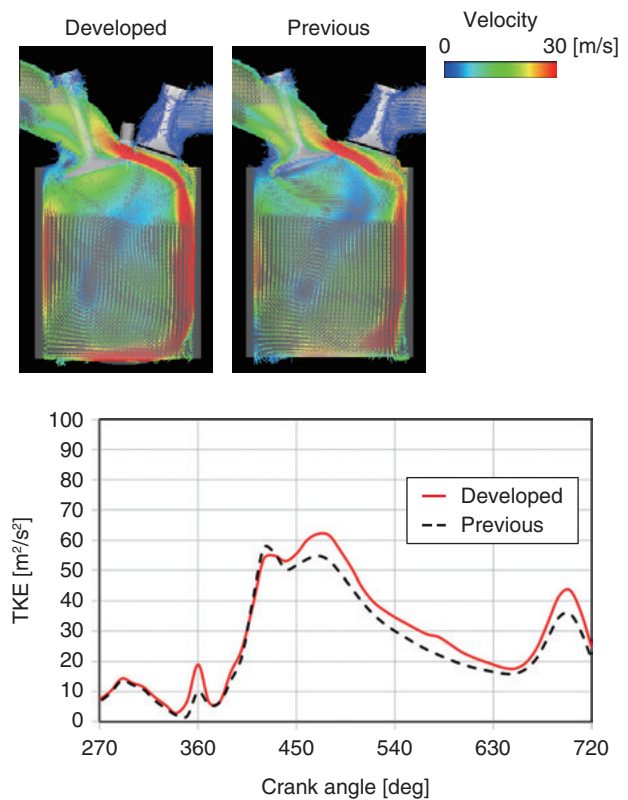


Fig. 5 Results of flow simulation

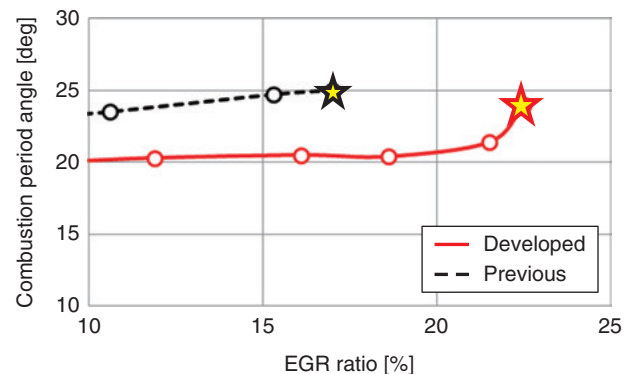


Fig. 6 EGR flow rate and combustion period

れる [Fig. 7(a)].

エキゾーストバルブについては、中空にした内部にナトリウムを封入したバルブを採用した [Fig. 7(b)]. 高温になりやすいエキゾーストバルブ周辺の熱を、バルブ内部で溶融したナトリウムの上下運動によりステム部分に速やかに伝え、バルブステムと接触しているバルブガイドを介して、シリンダヘッドのウォータージャケットに放熱することをねらっている。

この技術を適用し、エンジン速度 2000 rpm, エンジン負荷 120 Nm の運転ポイントにて 0.9 deg のノッキング改善の効果をを得ることができた。ノッキングの改善量を Table 3 に示す。

3.1.4. 機械損失低減

機械損失に関して、クランクシャフト、ピストンなどの主運動系、カムシャフト、ドライブチェーンなどの動弁系に対する低減化を主としておこなった (Table 4)。

シリンダブロックとしては、ピストンが高速でしゅう動するスリーブ表面の粗さの最大高さを低減しつつ、溝ピッチを拡大させることで平滑面を増やすことをねらい、プラトーホーニングの砥石仕様変更と加工条件を変更し、機械損失を低減した (Fig. 8)。また、バランスシャフトはオイルパン内にレイアウトされており、エンジン運転時にオイルパン内のオイルを掻き上げることによる機械損失が発生する。Fig. 9 に示すようにバランスウェイト形状を変更してバランスウェイト表面にオイルの流れを作ることでこの機械損失を低減した。

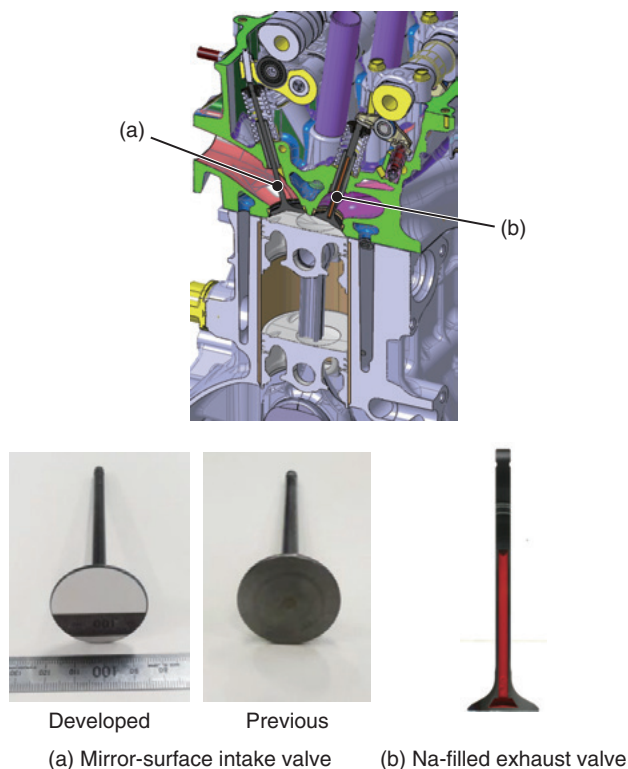


Fig. 7 Valve system

Table 3 Amount of mitigation of knocking

Amount of mitigation of knocking		
Valve cooling	Mirror-surface intake valve	+0.3 deg
	Na-filled exhaust valve	+0.6 deg

Table 4 Mechanical loss reduction technology

Part	Item
Cam shaft	Mirror-surface cam journal
Crank shaft	Mirror-surface crank journal
	Increased crank rigidity
Balance shaft	MoS ₂ shot to balance shaft metal
	Change in balance shaft weight and shape
Oil pump	Low-tension oil seal
Piston	MoS ₂ thick coat + Staggered coat
	Change in 2nd ring shape
	Change in land diameter
Chain	Cam chain (application R shape on back face and smoother surface roughness)
	Low-friction chain guide
Block	Low-friction plateau honing

冷却水については、水温を高めることで潤滑油の粘度を低下させ、機械損失を低減し燃費改善を図るため、サーモスタットの開弁温度を 78℃ から 82℃ に 4℃ 高めた。これは、3.1.3. 項で示したノッキング改善により可能となった。

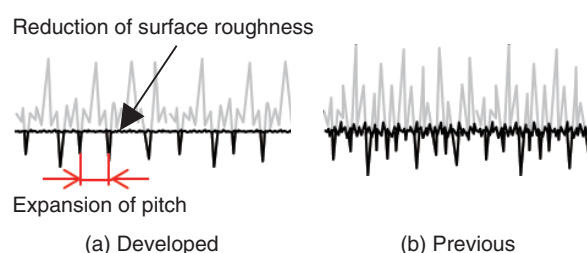


Fig. 8 Low-friction plateau honing

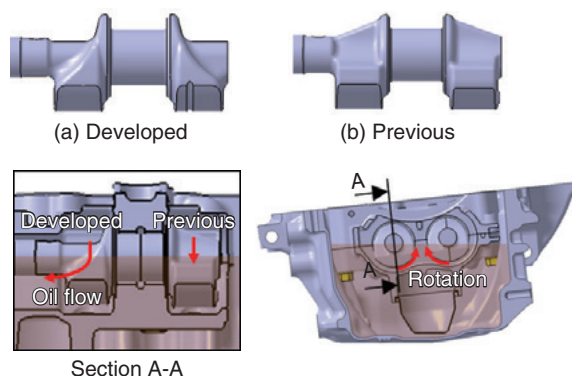


Fig. 9 Change in balance weight shape

開弁温度の変更により、低負荷走行時から中負荷走行時の水温が高く保たれ (Fig. 10)、機械損失が低減した。

その結果、エンジン速度 2000 rpm、エンジン負荷 120 Nm の運転ポイントにて前モデルに対し 6.4% の機械損失低減をおこなった。

3.2. エンジン動作線改善のための振動対策

急速燃焼により時間損失が小さく正味燃料消費率 (Brake specific fuel consumption: BSFC) の良い領域は、同時に圧力上昇率が高くなるため、エンジンの振動が増加する。前モデルではエンジン振動に起因する完成車でのゴロゴロというエンジン音の低減と燃費が両立する動作線を設定し、結果的に Fig. 11 に示すように動作線は BSFC の最も低い領域を使っていなかった。新開発エンジンは、燃費改善のために動作線が BSFC の低い領域を使うことができるよう

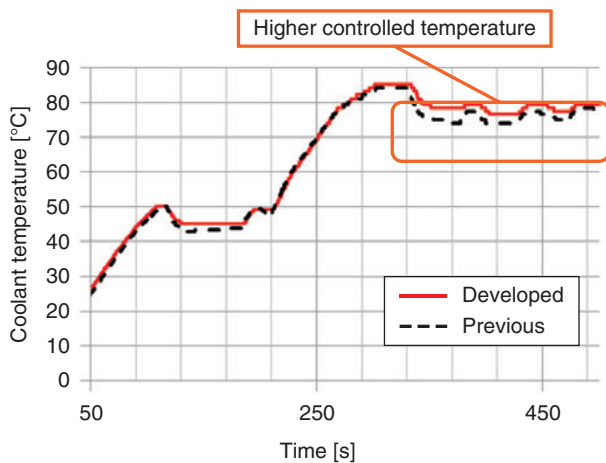


Fig. 10 Change in coolant temperature at cold start

に、かつ、さらなる BSFC の改善による振動増加を防ぐために、エンジンの骨格見直しによる低振動化を検討した。

振動低減のためにクランクシャフトの形状を変更した。クランクシャフトの対策形状を Fig. 12 に示す。前モデルは軽量化のためにショルダ部が肉抜き形状⁽²⁾であったがこれを廃止し、さらにウェブの肉盛りをおこなった。最終的にエンジンマウント取り付け点の振動レベルが、完成車のゴロゴロ感に影響する 200 Hz から 770 Hz にかけて、前モデルに比べ 5 dB 低減した。これを Fig. 13 に示す。以上の検討により、BSFC を改善しながら前モデルに対して振動レベルを低減することができた。

3.3. ハイブリッドモード性能

上記対応により、エンジン速度 2000 rpm、エンジン負荷 120 Nm の運転ポイントで、BSFC 208.1 g/kWh (熱効率 40.6%) を達成し、前モデルに対して 8 g/kWh の BSFC 改善を得た。BSFC の分布を Fig. 11 に示す。図中の白いラインはハイブリッドドライブモードにおける動作線を示し、黄色のラインは BSFC 220 g/kWh の範囲、オレンジのラインは BSFC 210 g/kWh の範囲を示す。

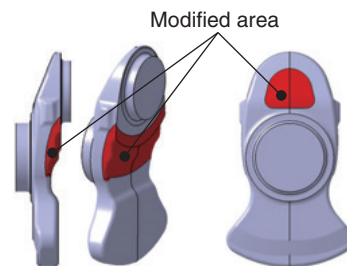


Fig. 12 Shape of modified crankshaft

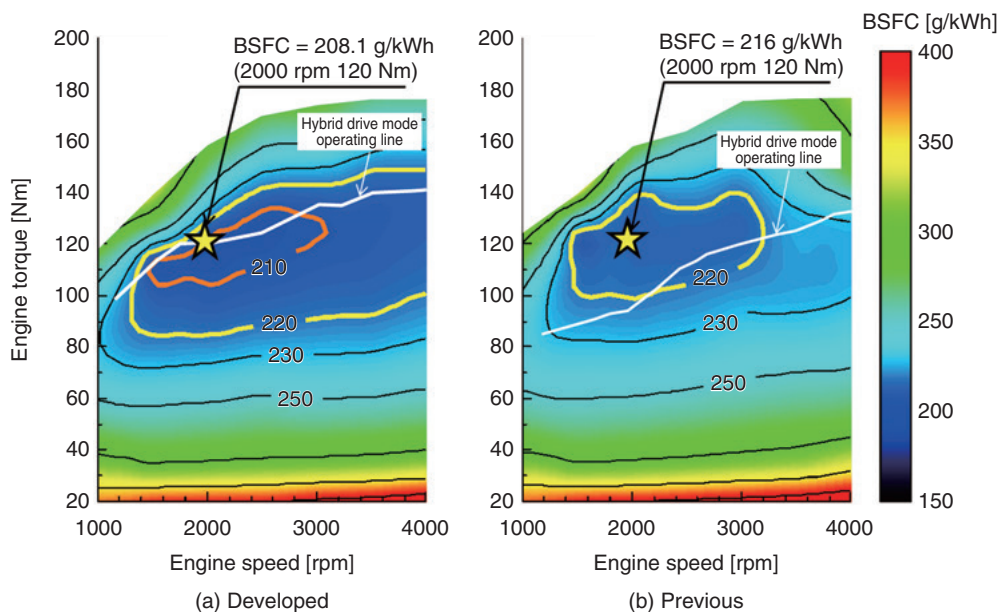


Fig. 11 Fuel consumption performance

3.4. 実車燃費性能

実車燃費性能については、コールドスタート時に冷却水の昇温速度を高めてEV走行モード (Fig. 1) 開始タイミングを早めるため、冷却回路に排熱回収器システム (Fig. 14) を適用し、US Combined mode 燃費で単体エンジン効果は 1.06 mpg の改善、および動作線見直し効果にて 0.90 mpg の改善となり、併せて 1.96 mpg の改善を達成した。

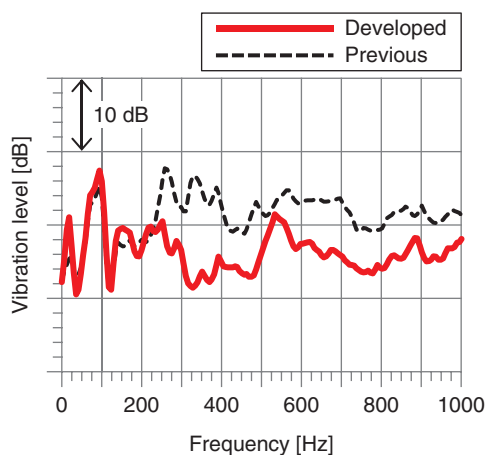


Fig. 13 Engine vibration level

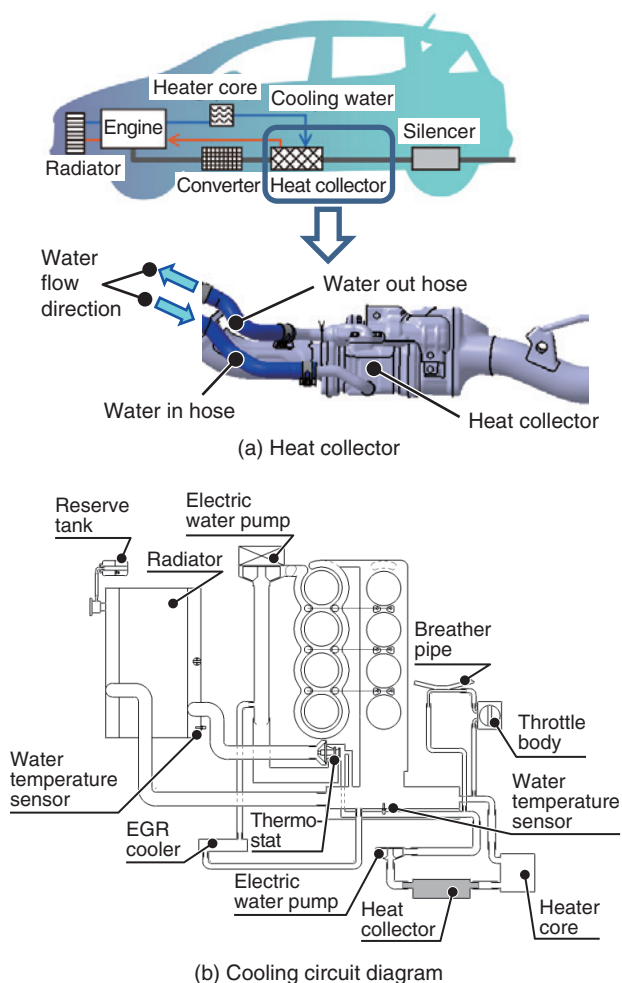


Fig. 14 Cooling system

4. まとめ

以上の技術を投入し、ハイブリッド用として普及型で競争力のあるエンジンを開発した。以下にまとめる。

- (1) 高圧縮比、高流動タンブルポート、高流量EGRシステムを採用することで、BSFC 208.1 g/kWh (熱効率 40.6%) を達成した。
- (2) エンジン動作線を見直し、実車燃費性能を改善させた。

参考文献

- (1) 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)
- (2) 米川明之, 渡辺修, 関谷明堂, 石川直宏: Accord ハイブリッド用 2.0 L エンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 25, No. 2, p. 26-31
- (3) 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)

■ 著 者 ■



若松 健



吉本 康時



坂口 元康



石神 佳治



赤石 伸行



久保田 賢司



泉 慎介



中村 賢治