

U.S. ULEV2 対応ガソリンターボエンジンの開発

Development of Gasoline Turbo Engine Conforming to U.S. ULEV2 Regulations

太田 徹*

Tohru OHTA

松村 安雄*

Yasuo MATSUMURA

河野 龍治*

Ryuji KONO

高橋 のぶ*

Nobu TAKAHASHI

伊藤 信裕*

Nobuhiro ITO

要 旨

高出力と低燃費、低排出ガスの両立をねらいとした2.3 L 4気筒ガソリンターボエンジンを新規開発した。本エンジンは、Honda 独自の i-VTEC エンジンに、新開発の可変容量ターボチャージャを追加し、179 kWの高出力と、3.5 L自然吸気エンジン並みの低速トルク、高い過給圧応答性を有している。排出ガス低減として、エキゾーストマニホールドのアルミニウム合金化による排気系熱容量の低減、さらに、ターボチャージャ直下に配置した排気触媒容量の最適化等により、エンジン始動直後の排気触媒を早期活性化し、U.S. ULEV2規制適合を可能にしている。本エンジンは、U.S.向け新型 SUV に搭載され、3.0 – 3.5 L 自然吸気クラス SUV 車と同等以上の動力性能とクラストップレベルの低燃費の両立を実現した。

ABSTRACT

Honda has developed a 2.3L 4-cylinder gasoline turbo engine that balances high power output with high fuel economy and low emissions. The new engine adds a newly developed variable-capacity turbocharger to Honda's proprietary i-VTEC engine technology. This addition resulted in a peak power output of 179 kW with the low-speed torque characteristics of a 3.5L normal aspirated engine due in part to a high boost-pressure response. Rapid activation of the exhaust catalyst is achieved by positioning it directly underneath the turbocharger and by reducing the heat capacity of the exhaust system via an exhaust manifold constructed out of aluminum alloy. This, coupled with a highly optimized catalyst metal loading has enabled this powertrain to meet the requirements of U.S. ULEV 2 regulations. This engine will be used in a new model SUV for the U.S. market. The vehicle will display a dynamic performance equal to or better than that of SUVs fitted with 3.0-3.5L normal aspirated engines, while at the same time achieving top-in-class fuel economy.

1. まえがき

世界的規模で環境問題に対する取り組みがおこなわれている中、自動車に関しては、テールパイプエミッションはもとより、石油消費量の増加によるガソリン価格の高騰とあいまって、CO₂削減の観点から自動車の燃費向上に対するニーズは、ますます高まっている。自動車の燃費向上技術に関して、さまざまなアプローチが考えられるが、過給による排気量のダウンサイジングもそのひとつに挙げられる。ターボチャージャによる過給は、機械式過給に比べて摩擦損失が少なく、排気量ダウンサイジングによる燃費向上に適している。しかし、排気エネルギーの少ない低回転域のトルクおよびレスポンスは、大排気量自然吸気エンジンに比

べて劣り、重い車両への適用はドライバビリティを損ねると考えられてきた。本エンジンでは、ターボチャージャに Variable Flow Turbocharger(VFT)を採用し、低回転域のトルク、レスポンスを向上させている。このVFTとターボエンジン用に最適化されたオートマチックトランスミッションの組み合わせは、比較的重いSUV車に、大排気量車に劣らない走行性能を与えている。また、ターボチャージャは、排気系熱容量の増加を招き、始動直後の排気ガス浄化性能に影響の大きい排気触媒の昇温を妨げる要因となる。本エンジンは、Honda 独自の i-VTEC 機構と排気系熱容量の低減、および排気触媒容量の最適化等により、U.S. ULEV2規制に適合している。本稿では、この新開発ガソリンターボエンジンの概要と主要技術について報告する。

*四輪開発センター

Table 1 Engine specifications

Engine code		K23A	K24A
Cylinder configuration		In-line 4-cylinder	In-line 4-cylinder
Bore × stroke (mm)		86 × 99	87 × 99
Displacement (cm ³)		2300	2354
Compression ratio		8.8 : 1	9.7 : 1
Valve train		DOHC i-VTEC	DOHC i-VTEC
Number of valves		4 per cylinder	4 per cylinder
Valve diameter (mm)	Inlet	35	35
	Exhaust	30	30
Turbo charger		Variable flow turbocharger	—
Impeller external diameter (mm)	Compressor	56	—
	Turbine	32	—
Exhaust manifold		Water-cooled aluminum alloy	Stainless steel pipe
Catalyst [vol.(L)]		Close coupled [1.4] + underfloor [1.0]	Underfloor [1.7]
Recommended gas (octane rating)		Unleaded premium (RON95)	Unleaded regular (RON91)
Max. power (kW/rpm)		179 / 6000	125 / 5800
Max. torque (Nm/rpm)		353 / 4500	220 / 4000

2. 開発のねらい

本エンジンを開発するにあたっては、U.S. 市場のコンパクト SUV カテゴリー用エンジンとして下記項目を目標とした。

- (1) U.S. 市場 3.0 – 3.5 L 自然吸気の SUV 車でトップクラスの燃費と加速性能の両立。
- (2) スムースで停滞感のない、伸びのある発進加速性能の達成。
- (3) U.S. ULEV2 規制適合ターボ車トップクラスの最大出力と 3.5 L 自然吸気エンジン並みの最大トルクの達成。

3. エンジン概要と主要諸元

3.1. エンジン概要

Table 1 に本エンジン主要諸元と本エンジンのベースとなった ACCORD 用 2.4 L 自然吸気エンジン(K24A)との対比を示す。また、本エンジンの概略を Fig. 1 に示す。

ACCORD 等に搭載されている K24A 4気筒 i-VTEC⁽²⁾ エンジンの骨格をベースに、ターボ化に伴うレシプロ系の強度向上等の対応をおこなっている。排気量は、K24Aのシリンダボアを 1 mm 縮めた 86 mm とし、2.3 L とした。動弁機構は、K24A が採用している i-VTEC を踏襲している。本エンジンが採用する i-VTEC 機構は、吸気側カムシャフトに VTEC(可変バルブタイミング&リフト機構)と VTC(カムシャフト連続位相可変機構)を組み合わせたものである。吸気側バルブは、VTEC 機構を用いて、燃焼安定化の 1 バルブ休止と高充填効率化の 2 バルブ駆動を運転領域に応じて切換えている。1 バルブ休止と高スワール吸気ポートとの組み合わせは、始動直後の点火時期遅角時の燃焼安定化に有効である。これにより始動直後の点火時期遅

角を可能とし、触媒温度の早期昇温を実現している。また、吸気側カムシャフトに組み込まれた VTC は、内部 EGR 導入によるフィードガス NO_x 低減とポンピングロスの低減による燃費向上に寄与している。さらに、本エンジンでは、水冷式アルミニウム合金製エキゾーストマニホールドを開発し、ターボチャージャ装着による排気系熱容量増加を最小限に抑え、始動時の触媒の早期活性化を図っている。従来 Honda のエンジンで採用しているエキゾーストマニホールド一体ヘッド⁽⁴⁾は、各気筒から集合部までのエキゾーストポートをシリンダヘッド内で完結した一体構造としている。本エンジンでは、ターボチャージャ装着で、高排圧、高温となるエキゾーストポートまわりの冷却性向上と、ターボチャージャとエキゾーストマニホールド間の合わせ面部分の冷却性向上のために、エキゾーストマニホールド部分を別体とし、ウォータージャケット面積の拡大を図っている。エキゾーストマニホールドのウォータージャケット構造を Fig. 2 に示す。

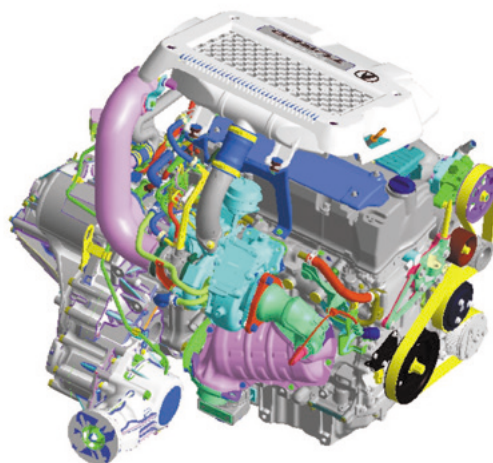


Fig. 1 K23A DOHC i-VTEC turbo engine

3.2. ターボチャージャ概要

本エンジンが採用したVFTの概要をFig. 3に示す。VFTは新しい構造の可変容量ターボチャージャである⁽¹⁾。タービンは固定ベーンにより仕切られた内周、外周のふたつのスクロールを持ち、タービン入口部には、流量制御バルブが配置され、排気ガスを内外周へ分配できる構造としている。VFTは流量制御バルブの開度を変化させることで、タービン容量を任意に変化させることが可能であり、低速トルク重視の小容量タービンと高出力重視の大容量タービンの特性を兼ね備えている。ディーゼルエンジンが採用している可変容量タービンは、Variable Nozzle Turbocharger (VNT)が主流であるが、可変ノズル部に複雑な機構を持つため、耐熱性に対して課題が多く、排気ガス温度が高温となる高出力ガソリンエンジンへの採用は困難とされている。VFTは、VNTに対して、可動部の構造が単純であり、VFT 唯一の可動部である流量制御バルブの摺動部は、高温の排気ガスに直接触れない位置に配置されているため、高出力ガソリンエンジンへの適用が可能となった。流量制御バルブ、ウェストゲートは、それぞれ個別の正圧アクチュエータを介して、過給圧によって駆動される。また、アクチュエータの印加圧は、ソレノイドバルブによって電子制御される。

4. 過給システムと出力性能

4.1. VFT 採用効果

ターボエンジンは排気エネルギーを回収できるため、機械式過給器付エンジンに対して高効率とされている。しかし、排気エネルギーの少ない低速エンジン回転域のトルク不足と低負荷域から高負荷域への応答遅れが大きいことが課題として挙げられる。本エンジンはVFTを採用することにより、これらのターボエンジンの課題を解決している。従来ターボチャージャとVFTの全開トルク特性比較をFig. 4に示す。VFTにより、小型ターボの低回転特性と大型ター

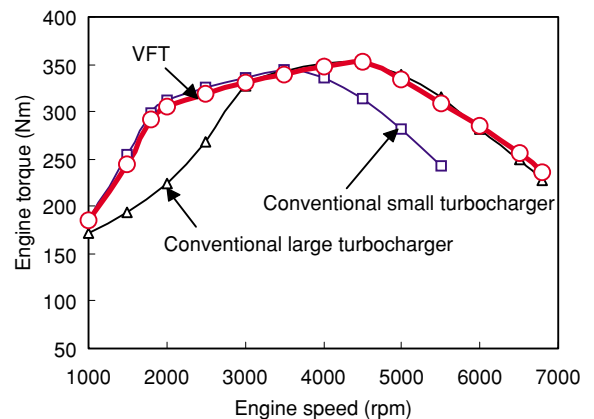


Fig. 4 Effect of VFT on engine torque

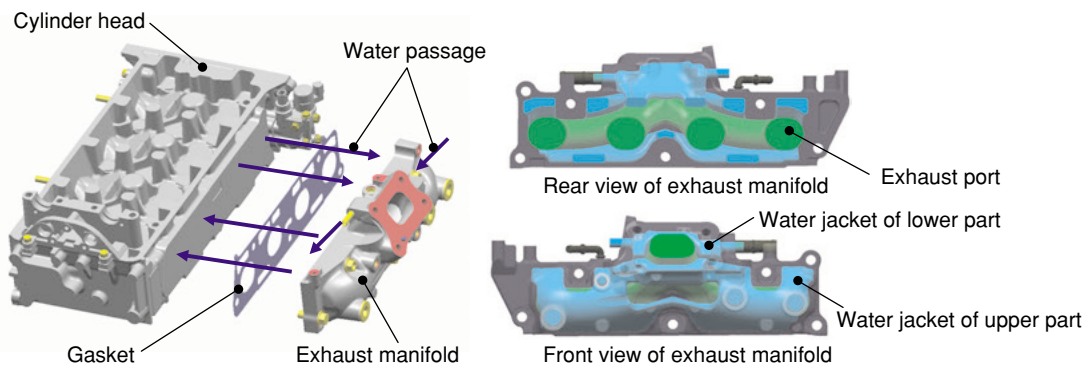


Fig. 2 View of water-cooled aluminum alloy exhaust manifold

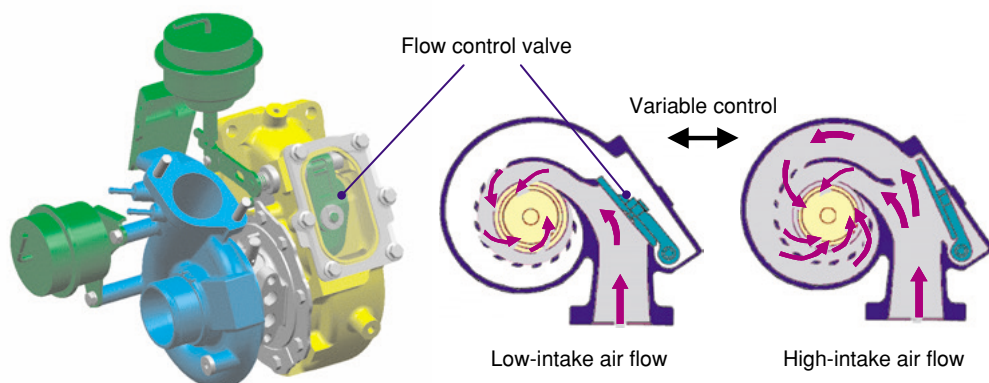


Fig. 3 View of VFT

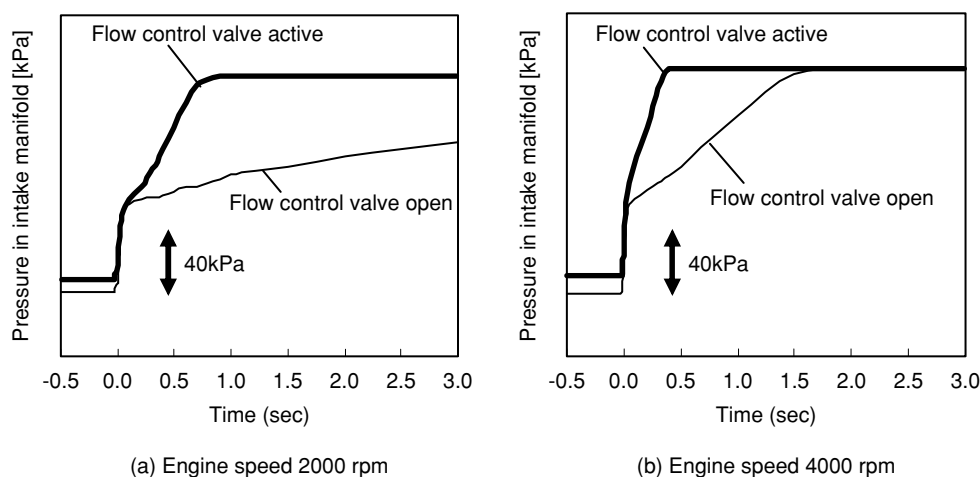


Fig. 5 Effect of flow control valve on boost pressure response

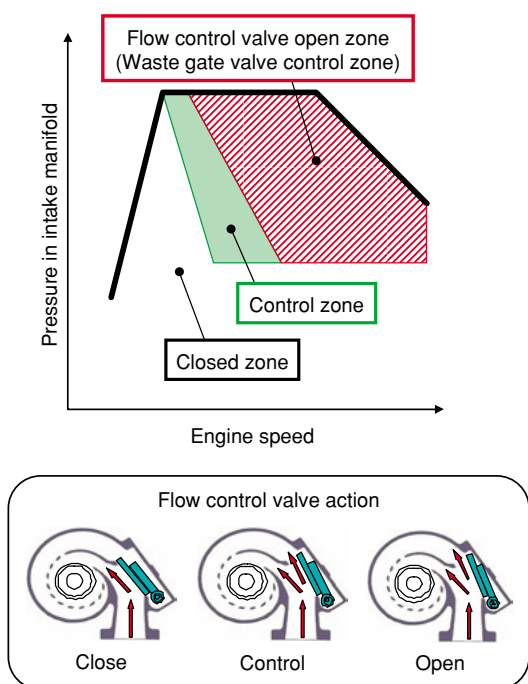


Fig. 6 VFT control zone

ボの高回転特性を合わせ持ち、ワイドレンジなトルク特性を得ることができた。

過給圧応答性の評価として、エンジン回転数一定で、スロットルを全閉から全開まで踏み込んだ場合の過給圧の立ち上がり特性を Fig. 5 に示す。

VFTの流量制御バルブ全開で流量制御なしの特性は、一般的な大型のターボチャージャに相当する。2000 rpmの低回転時には、流量制御なしの特性では目標過給圧に到達し得ないが、流量制御をおこなうことで、1.0 秒以内に目標過給圧に到達することが可能となった [Fig. 5 (a)]。4000 rpmでは流量制御バルブによる流量制御なしの特性に比べ、流量制御をおこなうことで、目標過給圧への到達時間が1.7 秒から 0.4 秒へと 1/4 以下となった [Fig. 5 (b)]。

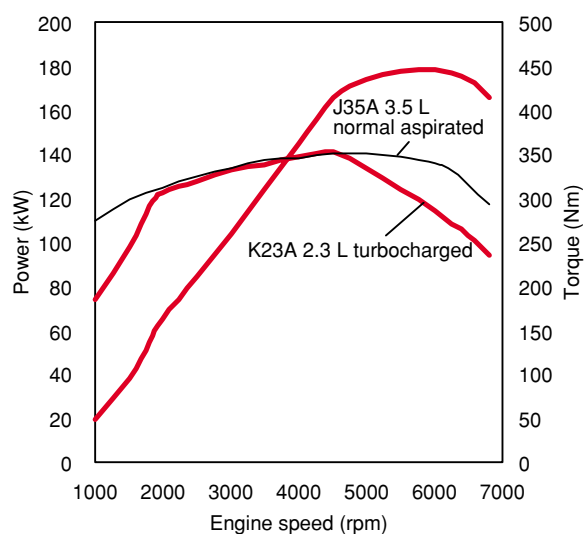


Fig. 7 Engine performance

4.2. 過給圧制御

過給圧は、運転条件に応じて流量制御バルブとウェストゲートバルブによって制御される。それぞれのバルブは、独立する2個のアクチュエータで駆動される。流量制御バルブは、基本的に吸入空気流量に応じて開度設定される。過給圧は、低吸入空気流量領域では、流量制御バルブによって制御され、高吸入空気流量領域では、ウェストゲートバルブにより制御される。Fig. 6に過給圧コントロール領域概略図を示す。

4.3. 出力性能

本エンジンは、吸排気抵抗の低減をはかるとともに、大容量低圧損インタークーラとこれを冷却するための高効率冷却風ガイドによる吸気温度冷却効果を得て、最大出力 179 kW、最大トルク 353 Nmを達成した。本エンジンの全開出力特性、および比較として、ACURA RL に搭載の J35A(3.5 L V6)の全開出力特性をFig. 7に示す。本エンジンは、2000 – 4500 rpm の常用域で、3.5 L 自然吸気エンジン並みのト

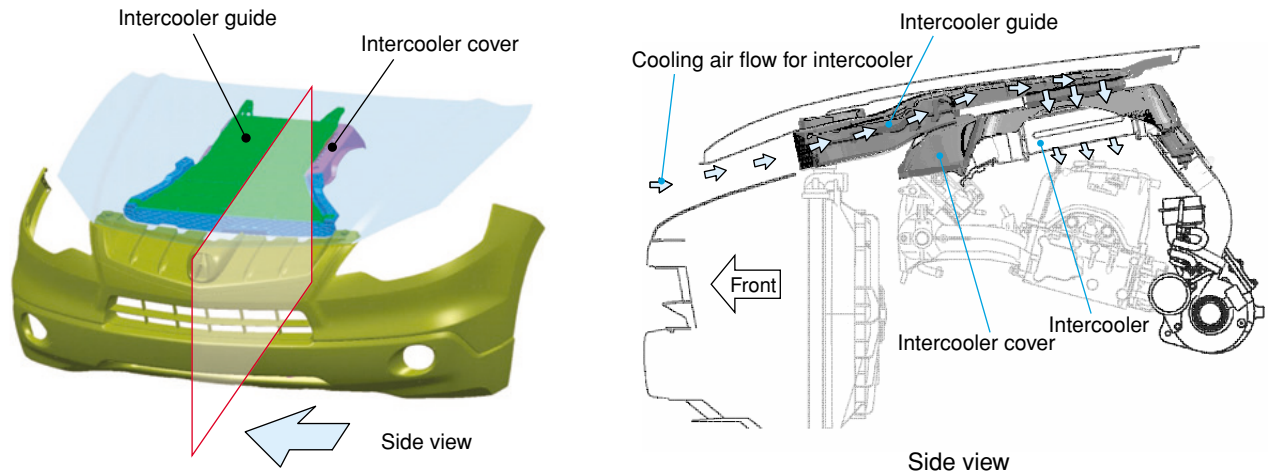


Fig. 8 View of intercooler guide

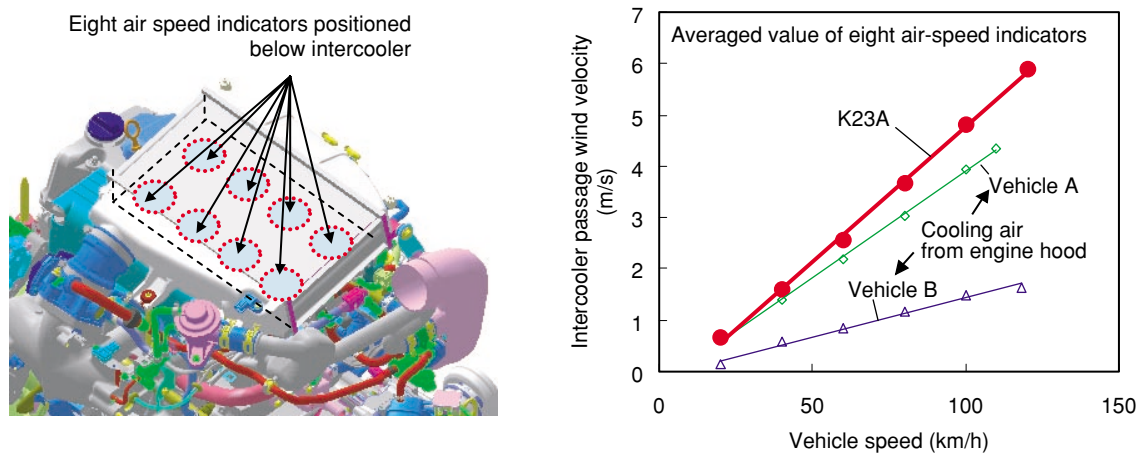


Fig. 9 Intercooler passage wind velocity

ルクを達成した。

インタークーラはエンジン上部に配置し、車体前面から取り入れた冷却風は、Fig. 8に示すようにインタークーラガイドおよびインタークーラカバーにより導風される。インタークーラガイド概要を Fig. 8 に示す。

インタークーラの冷却風能力は、インタークーラの下面に8個の風速計を配置し、車両速度に対するインタークーラ通過後の8箇所の風速の平均値で評価をした。本エンジンは、車両前面から冷却風を取り入れることにより、車両速度 100km/h 時に 4.8 m/s を確保し、従来多く採用されているエンジンフードから冷却風を取り入れる方式に対して、Fig. 9 に示すように、優位性のある性能が得られた。

5. エンジン単体燃費

通常、過給エンジンはノッキングを回避するために圧縮比を低めに設定する必要があるが、自然吸気エンジンに対して燃料消費率は低下する。燃料消費率低下を抑制し、過給によるダウンサイジングを効果的なものにするために、ノッキングの改善をはじめとする燃費改善をいかに実現するか

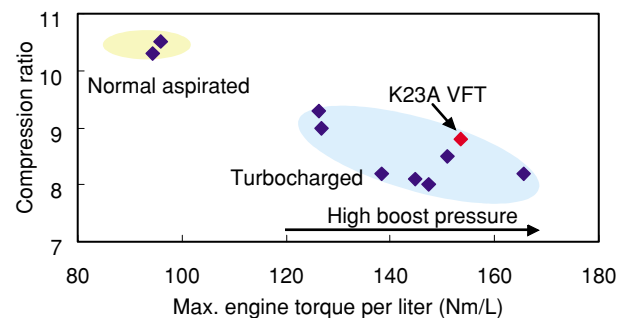


Fig. 10 Positioning of compression ratio

が重要である。本エンジンは、細軸ロングリーチタイプの点火プラグを採用するなど、燃焼室まわりのウォータジャケット形状改善によるノッキング回避の対応をおこなって、燃費の低下を防止した。一方、過給エンジンでは、排気量あたりのエンジントルクは、過給圧に比例する。高過給圧はノッキング回避のために、圧縮比の低下を招く。しかしながら、本エンジンでは Fig. 10 に示すように、高過給圧により排気量あたりのトルクを向上させながら、他の多くの過給エンジンに比べ高い圧縮比を達成した。

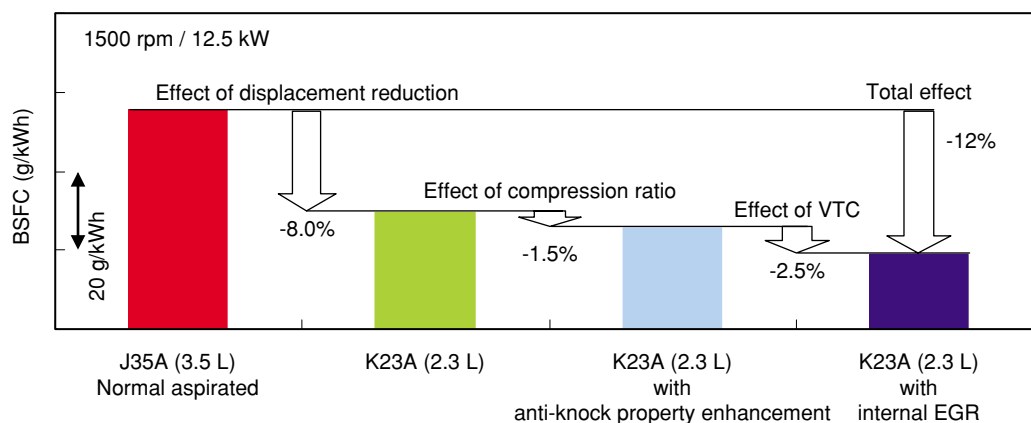


Fig. 11 Effect of displacement reduction on BSFC

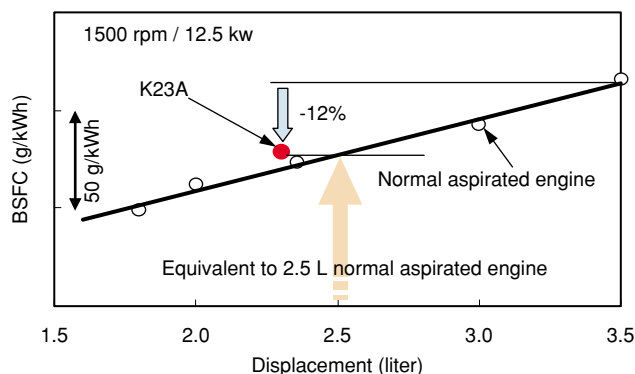


Fig. 12 Positioning of BSFC

Fig. 11 に示すように、圧縮比アップに加えて、VTC を用いた内部 EGR によるポンピングロス低減効果と合わせて、最大トルクで同等の 3.5 L 自然吸気エンジンに対して、約 12% の BSFC 向上を達成した。

また、Fig. 12 に示す自然吸気エンジンの排気量に対する BSFC の関係において本エンジンは、2.5 L 自然吸気エンジンに相当する位置付けとなる。

6. 低エミッション技術

排気ガス浄化システムは、VFT の直下にメタル担体の触媒を配置し、さらにエキゾーストパイプを介して、床下にセラミック担体の触媒を配置した。本エンジンの排気系システムを Fig. 13 に示す。

本エンジンは、水冷式アルミニウム合金製エキゾーストマニホールドを採用したことにより、ステンレス製エキゾーストマニホールド付に対して、始動後 20 秒の触媒温度を約 120°C 上昇でき、排気触媒の早期活性化に寄与している。Fig. 14 に始動直後からの排気触媒温度時間変化を示す。

また、直下には、低排圧化のためにメタル担体を採用した。しかし、メタル担体はセラミック担体に比べて伝熱性が高く、昇温性能で不利である。本エンジンでは、メタル担体を二分割として触媒の分割比に着目し、シミュレーション

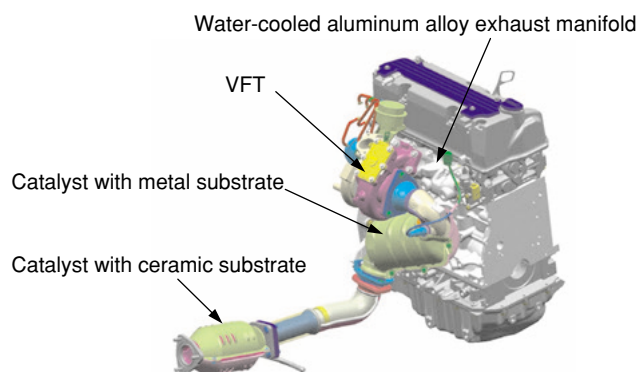


Fig. 13 View of exhaust system

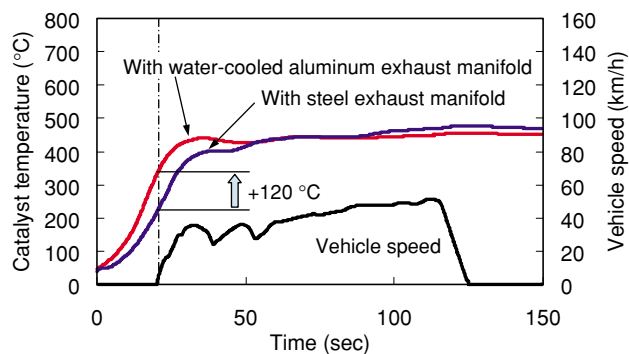


Fig. 14 Effect of water-cooled exhaust manifold on catalytic converter warm-up characteristics

を用いて昇温特性への影響を検討した。本シミュレーションは、触媒に導入される排気ガスのデータから、化学反応モデルと伝熱計算モデルを用いて触媒温度を算出する触媒反応二次元シミュレーションである。触媒を分割することで、両触媒間にできた空間の断熱効果により、上流側の触媒の昇温性能が向上する。分割比についても、上流側の触媒容量を小さくすることが、より効果的であることがわかった。触媒分割比による昇温性能の比較を Fig. 15 に示す。

以上のシミュレーション結果から、触媒の分割比を上流側 0.45 L、下流側 0.95 L とすることで、等分割の場合に比べて触媒温度を 20°C 上昇させることができた。この分割比

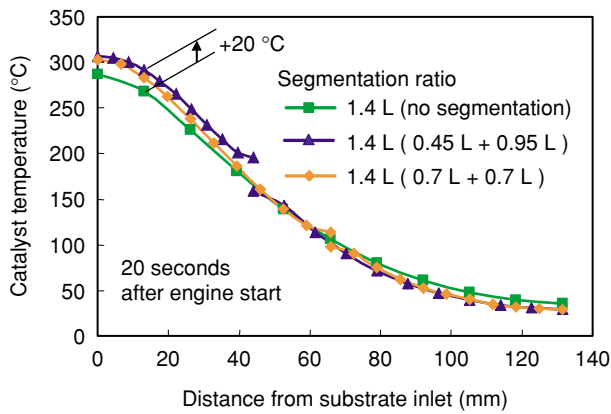


Fig. 15 Simulation results for catalyst temperature

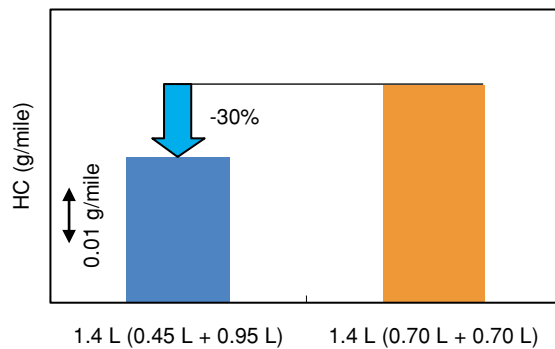


Fig. 16 Tail-pipe emissions

の触媒を車両に適用した結果、Fig. 16 に示すように、U.S. エミッションモード(冷機始動モード)における排気ガス中の HC 濃度を 30% 低減することができた。

K24A より引き継いだ i-VTEC をはじめとする低排出ガス技術⁽³⁾に加え、先に述べた排気システムによる触媒昇温性能向上により、U.S. ULEV2 エミッション適合を実現した。

7. 車両性能と燃費

7.1. 発進加速性能

目標であるスムーズで停滞感のない、伸びのある発進加速性能を達成するために、VFT によるレスポンス向上に加えて、オートマチックトランスミッションのトルクコンバータ特性を最適化した。Fig. 17 に、本エンジンを搭載した SUV 車両と 3.5 L 自然吸気エンジン(C 車)、一般的な大型ターボチャージャー付の 2.3 L エンジン(D 車)の発進加速性能の比較を示す。

大排気量自然吸気エンジンの C 車は、トルクコンバータの増幅効果により、発進時のスロットル全開直後に最大加速度が発生し、その後、緩やかに下降していく。従来の大型ターボチャージャー付エンジンの D 車は、過給圧上昇の応答遅れのために、過給前のエンジントルクによる加速度のピークに達した後、緩やかに加速度が低下し、その後、過給圧の上昇に伴って再び加速度が上昇するため、加速の停滞

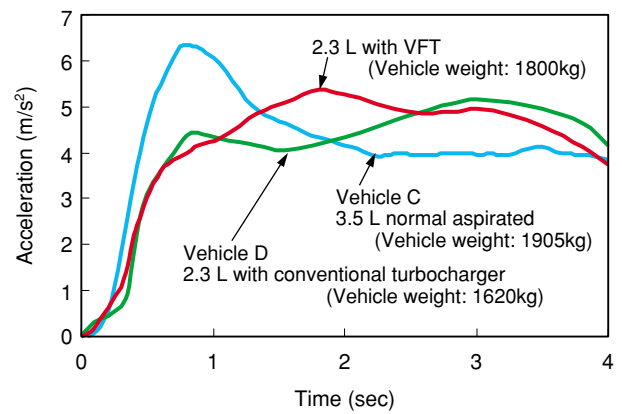


Fig. 17 Comparison of take-off acceleration performance

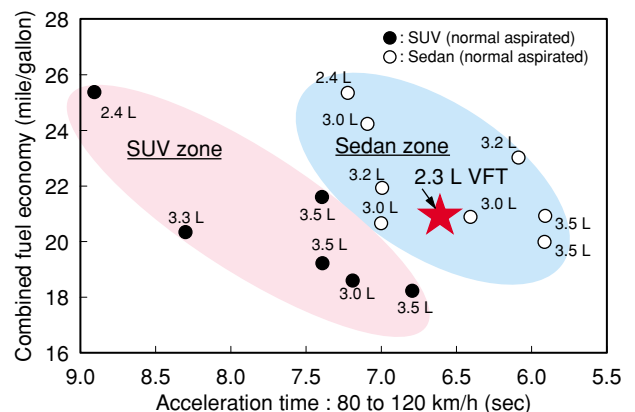


Fig. 18 Positioning of acceleration time and fuel economy

感が生じる。本エンジンは、VFT により過給圧上昇を早め、加速度の低下を防ぐことで、従来の高出力型ターボエンジンのもつ加速の停滞感を排除できる。

7.2. 車両燃費

車両燃費は、U.S. コンバイン燃費 21 mile/gallon を達成し、同クラスの SUV 車に対して、トップクラスの加速性能と燃費性能の両立を達成した。Fig. 18 に加速性能と U.S. コンバイン燃費の位置づけを示す。

8. まとめ

本エンジンは、新開発 VFT を主要技術として、大排気量自然吸気エンジンに劣らぬ走行性能を確保しながら、排気量ダウンサイジングによる燃費効果を具現化した。また、アルミニウム合金製エキゾーストマニホールド等、排気触媒の昇温性能向上による低排出ガス化を達成した過給エンジンを開発し、以下の結果を得た。

(1) 179 kW の高出力を達成しながら、エンジン回転数 2000 rpm 以下での過給圧インターセプトを達成し、低回転から応答遅れの少ない過給が可能となり、スムーズで

停滞感のない伸びのある発進加速性能を実現した。

- (2) アルミニウム合金製エキゾーストマニホールドの開発
および、ターボ直下触媒のメタル担体の分割比最適化
により、触媒昇温性能を向上し、U.S. ULEV2 エミッ
ション規制適合を達成した。
- (3) 排気量ダウンサイジング効果により、同クラスのSUV
車トップクラスの U.S. コンバイン燃費 21 mile/gallon
を達成した。

参考文献

- (1) 石井正人，安達一成，河野慎司：可変ターボチャー
ジャ，自動車技術，Vol.58, No.4, p.42-47(2004)
- (2) 新里智則，林有登：新型 2.0 L リーンバーンエンジ
ンの開発，HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No.2,
p.45-54
- (3) 北川浩，三部敏宏，岡松和則，安井裕司：「ACCORD
SULEV」用極超低エミッションシステム，HONDA
R&D Technical Review, Vol.12, No.2, p.37-44
- (4) 和田裕介，大津啓司，成田研之助，篠原利光：新型LIFE
用 i-DSI 2 プラグエンジンの開発，Honda R&D
Technical Review, Vol.16, No.1, p.93-102

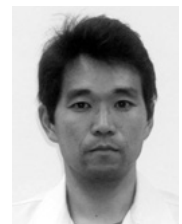
■著 者■



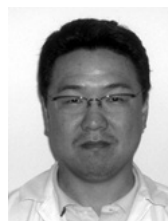
太田 徹



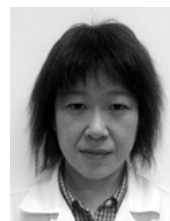
河野 龍治



伊藤 信裕



松村 安雄



高橋 のぶ