

S2000用 高出力 低エミッション DOHC-VTECエンジンの開発

Development of a High-power and Low-emission Engine for the HONDA S2000

明 本 禧 洙* 上 島 英 夫* 川 口 仁*
Yoshiaki AKIMOTO Hideo UESHIMA Hiroshi KAWAGUCHI
天 川 豊* 松 本 誠 司* 中 村 健 佐*
Yutaka AMAKAWA Seiji MATSUMOTO Kensuke NAKAMURA
佐 藤 利 行*
Toshiyuki SATO

要 旨

新世代リアルオープンスポーツS2000用に開発された新型2 L DOHC-VTECエンジンは、2 L 自然吸気エンジンながら125PS/Lという高出力を発生し、同時に平成12年排ガス規制値の1/2の低排ガスレベル(J-LEV)を達成した。

このエンジンには新型VTECシリンダヘッド、新構造シリンダブロック、カムチェーンドライブ、メタル担体触媒など多くの新技術を採用している。本稿では新型エンジンの主要諸元、構造の概要と採用技術および出力と排ガス性能について述べる。

ABSTRACT

2 liter DOHC-VTEC engine was developed for the HONDA S2000. It produced the highest power-output as a naturally aspirated 2 liter mass-production engine. At the same time, it also achieved a half of the emission level of 2000 Japanese exhaust emission regulation (J-LEV).

The new engine utilized a newly designed VTEC cylinder head, new construction cylinder block, camshaft chain drive system, metal honeycomb catalyst and many other new technological elements. This paper describes the major specifications, general construction, technological features, power-output, and exhaust emission characteristics of the engine.

1. まえがき

ホンダは創立50周年を契機にスポーツカーの原点である「操る楽しさ」をスポーツカーファンに幅広く提供する目的で「新世代リアルオープンスポーツ」S2000を開発した。近年は地球環境や都市環境への関心の高まりから、自動車用エンジンに対する環境負荷低減の要求が高まっておりスポーツカーエンジンについても例外ではない。そこで、21世紀のスポーツカーエンジンのベンチマークをめざして、スポーツカーにふさわしい高回転・高出力と低排ガス性能を高い次元で両立した新型の2 L 4 エンジンを開発した。

本稿ではこのS2000専用エンジン(F20C型)の主要諸元、構造の概要と採用技術および出力と排ガス性能について紹介する。

2. エンジン開発のねらい

S2000はエンジンをフロントアクスルの後方に配置したFRビハインドアクスルエンジンレイアウトの本格スポーツ

カーであり、エンジンに対しては高い出力性能のみならずビハインドアクスルレイアウトの可能な短いエンジン全長や車両の前後重量配分を50:50とするための軽いエンジン重量、スポーツカーらしいレスポンスが要求された。

これらの要求に応じてエンジン開発の狙いを次の4つのポイントに定めた。

- 1) 高回転・高出力(125PS/L)
- 2) 平成12年規制の1/2の低排ガス(J-LEVと称す)
- 3) コンパクト/軽量
- 4) 高レスポンス

3. エンジンの概要と主要諸元

F20C型エンジンの主要諸元をTable 1にF20B型(アコード用)と比較して示す。また透視図をFig.1に示す。

F20B型に対し、ボアを2mm拡大しストロークを4mm短縮することで、高回転・高出力エンジンとした。スポーツカー用エンジンとして出力性能を重視して、主に主運動系往復部重量の低減とショートストローク化によりエンジン

の振動を抑え、バラサシャフトを廃止した。シリンダブロックはFRM(Fiber Reinforced Metal)スリーブアルミニウムダイキャスト製でクランクケースをラダーフレーム構造とし高剛性化を図った。

新開発のシリンダヘッドではコンパクト化のために三段分割構造を採用し、フリクション低減のためにカムフォロアをローラフォロア仕様とした。またカム駆動系にはエンジン全長を短縮するため従来のタイミングベルトに代えチェーンシステムを採用した。

新構造、新機構の採用により、F20Bエンジンに対し、エンジン全長は30mm短縮し、重量は約8kg軽量化された。また、インテークマニホールドの容積縮小やフライホイールの軽量化により、過渡応答性の優れたエンジンとした。F20C型エンジンに採用した新機構とそのねらいをTable 2に示す。

Table 1 Major specification

Engine type	F20C	F20B
Car model	S2000	ACCORD SiR-T
Displacement	1 997cc	1 997cc
Bore × Stroke	ø87 × 84mm	ø85 × 88mm
Maximum output	250PS/8 300rpm	200PS/7 200rpm
Maximum torque	22.2kgm/7 500rpm	20.0kgm/6 600rpm
Red-zone engine revolution	8 800rpm	7 400rpm
10-15 Modal fuel consumption	12.0km/L	12.2 km/L
Exhaust emission	2000-Japanese exhaust emission regulation (J-LEV)	1978-Japanese exhaust emission regulation (Corresponding 7-metropolis & prefecture & city emission regulation)

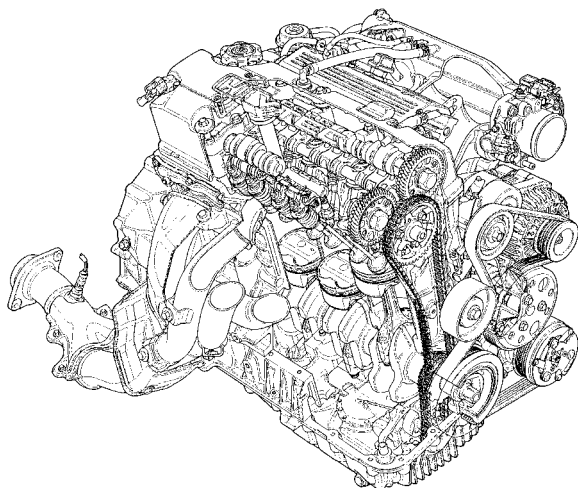


Fig.1 Bird's-eye view

Table 2 New technologies and purposes

Contents	High rev./ High power	Low emission	Light weight/ Compactness	High response
New DOHC-VTEC cylinder head	○		○	
Coaxial roller bearing VTEC	○		○	○
MIM-made rocker arm	○			
High strength valve spring	○			
Chain drive system	○		○	
Aluminum forged full floating piston	○			○
Carburized connecting rod	○			○
Ladder-frame cylinder block	○		○	
Straight port intake manifold	○		○	○
Air cleaner module	○		○	
Double-pipe exhaust manifold	○	○		
Metal substrate catalytic converter	○	○		
Exhaust secondary air injection system		○		
Plug hole ignition coil	○		○	
High response intake air temperature sensor				○
Serpentine belt drive system	○		○	

4. エンジン構造

4. 1. シリンダブロック系

4. 1. 1. シリンダブロック

シリンダブロックは、アルミニウムダイキャスト製でスリーブにFRMを採用し、ボアを拡大しつつボア間部分の温度低下を図った。

クランクケースは、Fig.2に示すようにクランク軸センタで上下に分割し下半分をラダーフレーム構造とし、ベアリング部の高剛性化とクランクケースのコンパクト化を図った。クランクケースをコンパクト化することにより補機類をエンジンに近づけるレイアウトを可能とし、更にスティフナー一体のアルミニウム製オイルパンを採用してトランスミッション締結剛性の向上を図った。ダイキャスト製のロアブロックには、鋳鉄製ベアリングキャップを鋳込み、温度変化によるジャーナル径の変化を小さくしてメタル打音の低減を図った。

気筒間に設けたブリージング通路とオイル落とし通路は、クランク室に開放せず、Fig.3に示すようにコネクティングロッドローカスの下に設置したバッフルプレートの方まで、パイプ状に通した。また、気筒間連通路を、ジャーナル横とバッフルプレートの上に設けた。これらにより、高回転運転時のクランク室内のオイル攪拌を防止し

て機械損失の低減を図り、オイルのエアレーションを抑えた。チェーンケース内についても、ブリージング通路とオイル落とし通路を分離し、チェーンによるオイルの攪拌を防止した。

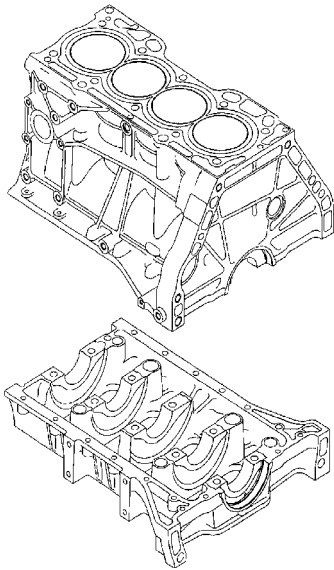


Fig.2 Cylinder block

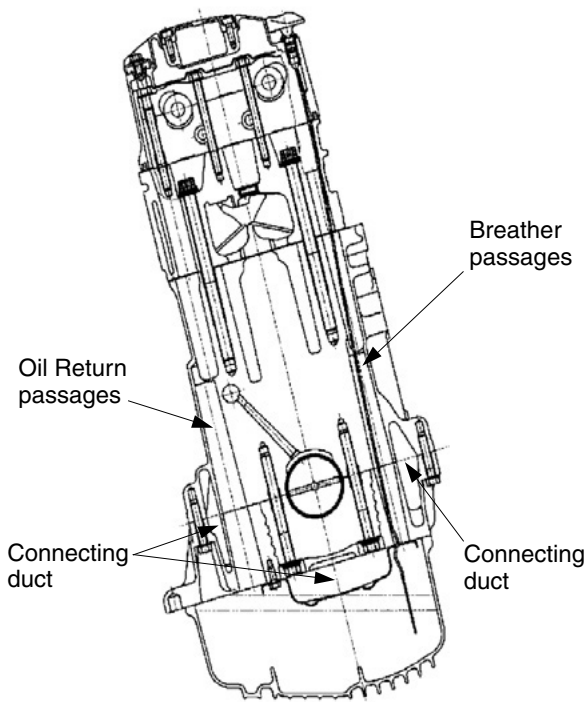


Fig.3 Oil return and breather passages

4. 1. 2 主運動系

ピストンは、高回転・高出力化に対応し、強度・耐久性を確保するため、アルミニウム鍛造材を採用した。ピストン軸受け部(ピンボス)とピストンピンの形状は、応力や面圧分布、スカート変形を、有限要素法解析および単体テストにより検討し、最適形状を求めた。更にピンボス部の温度

低下のために、Fig.4に示すようにオイルリング溝からピンボスへのオイル穴を設けて、リングでかき落とされたオイルによる冷却効果を狙った。

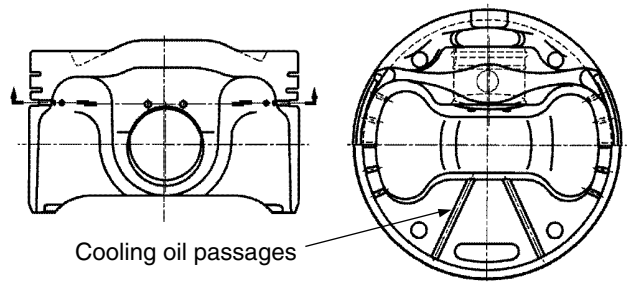


Fig.4 Piston

ピストンピンは、両端の内径部をテーパ形状にし軽量化を行った。また表面は、 Fe_3O_4 皮膜処理を施し初期のなじみ性の向上を図った。

ピストンのトップリング溝には、耐摩耗性を向上させるNiPめっきを施した。更にブローバイガス量の特徴を考慮し、トップリング幅を従来より小さくした。オイルリングは厚さを2.0mmと小さくし、ピストンハイトの短縮を行い、同時に高回転化に伴うオイル消費の悪化を防止した。

コネクティングロッドをFig.5に示す。クランクケースを小型化するため、ナットレスとし浸炭材を採用した。小端部は、プッシュレスのフルフローティングとし、小端先端幅をテーパ状にして軽量化を行なった。桿部や大端部は有限要素法解析を行ない、振り・曲げ固有振動数や変形・応力の解析結果を基に最適形状とした。

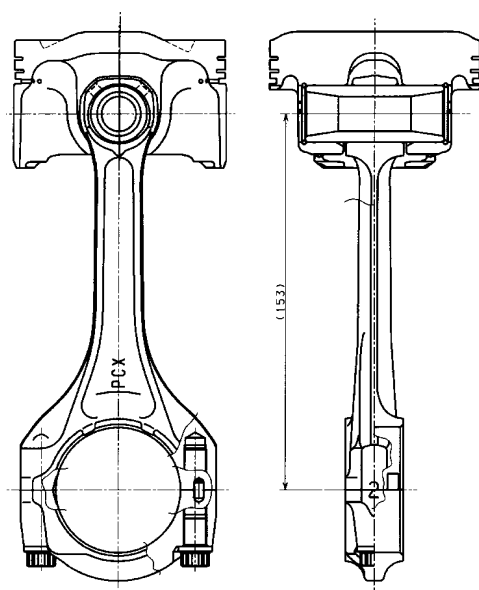


Fig.5 Piston and connecting rod

クランクシャフトは、高回転化対応のため、マンガンを追加してせん断疲労強度を向上させたS48C材の鍛造品を採用した。更にピンの給油穴口元に20面取りを採用し、ねじり応力の集中を緩和し強度を向上させた。

4.2. シリンダヘッド系

4.2.1. シリンダヘッド

シリンダヘッドの断面および外観形状をF20B型と比較しFig.6に示す。従来のカムジャーナル下側の部分を分離してシリンダヘッドを三段構造とすることによりオイルジャケット中子の廃止が可能となり、鋳型の簡素化とシリンダヘッドの小型化が図れた。その結果DOHC-VTECシリンダ

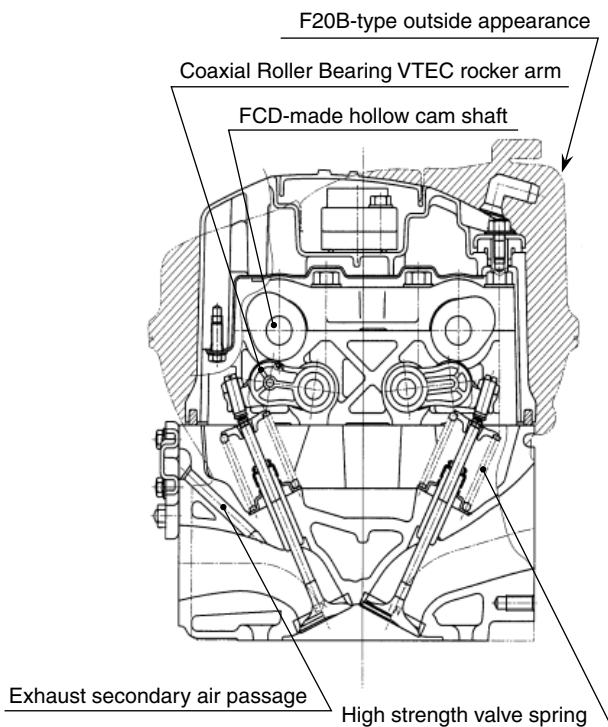


Fig.6 Cylinder head sectioned drawing and comparison with F20B-type outside appearance

ヘッドが従来のSOHCシリンダヘッド並の大きさおよび重量となった。

更に、FCD材を用いたカムシャフトの中空部をカムジャーナル給油の通路とし、またローラフォロアの採用により、スリッパタイプで必要であった給油用のシャワパイプが不要となり、オイル通路の単純化、集約化ができた。

カムシャフト駆動にはチェーンとギヤを採用し、従来のベルト駆動方式に比べカム軸間距離およびエンジン長さを縮小した。カムシャフト駆動ギヤにはシザーズギヤを設け歯打ち音を防止した。

排気ポート上のシリンダヘッド側面には、二次エア用の通路を設け、エンジン始動時に各排気ポートにエアを供給して排ガスの低減を図った。

4.2.2. 動弁系

ロッカアームには、高精度な金属射出成形(MIM)法を用いたSCM415相当の焼結素材を採用した。またFig.7に示すように、ローラフォロワ化すると共に、そのインナシャフト内にVTEC切換用の連結ピンを内蔵した。この様なローラ同軸VTEC構造の採用により、フリクションと慣性モーメントを低減した、高回転運転可能なVTEC構造を成立させた。

バルブスプリングは、低炭素・高ニッケル系の高強度SWOSC-VX材を採用することによりシングルスプリング化を図り、省スペースおよび軽量化を達成した。

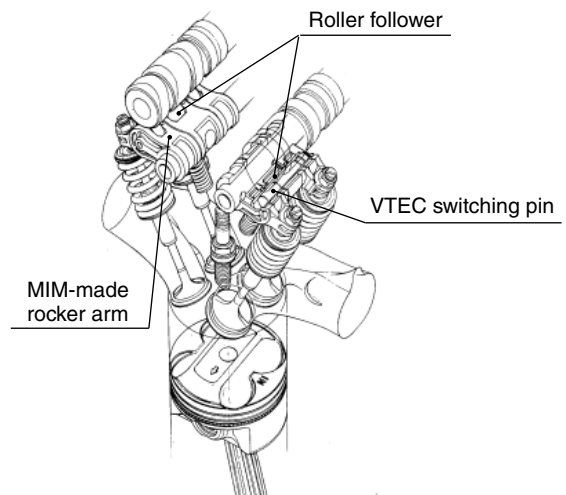


Fig.7 Coaxial roller bearing VTEC structure

4.2.3. サイレントチェーン駆動システム

カム駆動系にはエンジン長の短縮とメンテナンスフリーを目的としてFig.8に示すチェーンシステムを採用した。

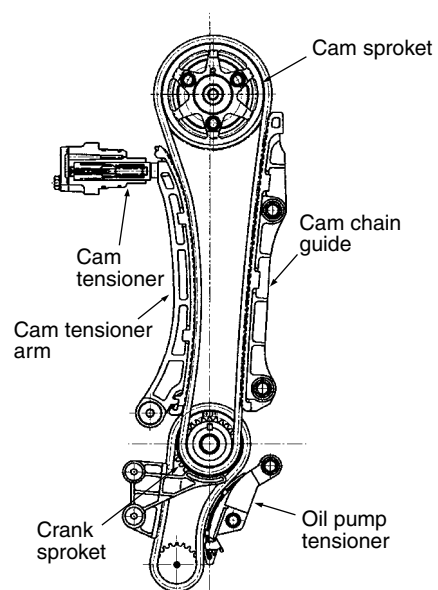


Fig.8 Camshaft and oil-pump driving system

カム駆動用チェーンには四輪用ローラチェーンに対して騒音の低い、Fig.9に示すサイレントチェーンを選択し、サイレントチェーンの弱点であった摩擦伸びについて以下の改良を行なった。

- ・小ピッチ化による多角形拳動および連結ピン部の摺動低減。
- ・連結ピンのバナジウムカーバイト処理によるピン表面の高硬度化。
- ・リンクプレートの高速ファインブランキング製法の採用によるピン穴の面粗度の向上と摺動幅の確保。

また、リンクプレートを2種類の板厚の混成配列とし予荷重付与時のピン曲りを抑えることにより、リンクプレートの変形量の均等化を図った。これにより運転時のピンの荷重分担が均等化し、更に全リンクプレートへの高い予荷重の付与が可能となり疲労強度が向上した。

改良の結果、ピッチ6.35mmのサイレントチェーンで摩擦伸びをピッチ8.0mmのローラチェーン以下に抑えることができた。

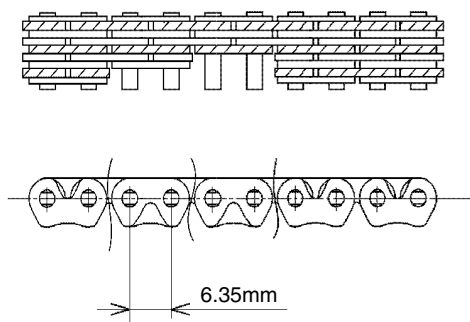


Fig.9 Silent chain

Fig.10にカムチェーンテンショナの構造を示す。カムチェーンテンショナにはチェーン張力を保持するプランジャの前進特性と、戻り側でのエンジン停止時のチェーンゆるみ止め機能を両立した鋸歯ねじ機構を採用した。合わせてプランジャ背部へのエンジン油圧導入によるチェーン反力の保持により、高回転領域でのチェーン追従性能を改善した。

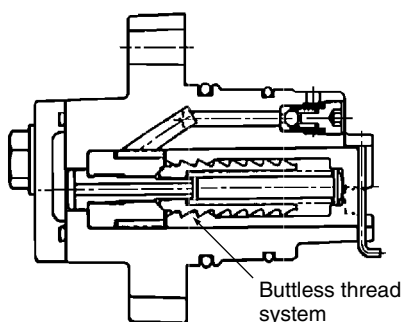


Fig.10 Cam chain tensioner

4.3. 潤滑系

4.3.1. オイル回路

エンジン前側のシリンダブロック下に設置したオイルポンプの直上に、オイルクーラとフィルタを設置した。フィルタ部から横にメインギャラリを、上にはVTEC用スプールバルブとチェーンテンショナを配置する給油経路の短いレイアウトを採用した。

シリンダヘッドのオイル通路は、ロッカシャフトや、カムシャフトの内部をオイル通路にすることにより簡素化した。また、ローラフォロアの採用により、従来DOHC-VTECで行なっていたオイルシャワによるカム給油を廃止した。

4.3.2. オイルポンプ

エンジン全長の短縮化と、高回転化のため、ロアブロックの下側に、サイレントチェーンで増速駆動するオイルポンプを設置した。小径化したトロコイドロータを採用し、フリクションを低減してポンプの効率を向上した。またポンプ本体とオイルストレーナとを一体とし、部品点数を削減すると共に、吸入抵抗を減らした。

オイルポンプ駆動用チェーンの諸元は、カム駆動用と同一である。テンショナには、リーフスプリングとナイロンシューを組み合わせたブレードテンショナを採用してチェーン張力の安定化を図った。

4.4. 吸気系

S2000の吸気系は縦長のエンジンルームを生かしてラジエータの後方に配置した。またFig.11に示すように消音デバイス類をエアクリーナ本体と一体成型しモジュール化した。生じた空間を消音容量として活用して、高出力エンジンに対応した低い吸入抵抗ながら、十分な消音容量を確保した。モジュール化による部品点数の削減により組付け工数も大幅に削減できた。

また空気吸入口をラジエータ上方に設置することにより走行中の吸気温度の上昇を抑えると共に、円錐軸流エレメントの採用により十分なる過面積を確保しつつ、吸入抵抗を削減した。

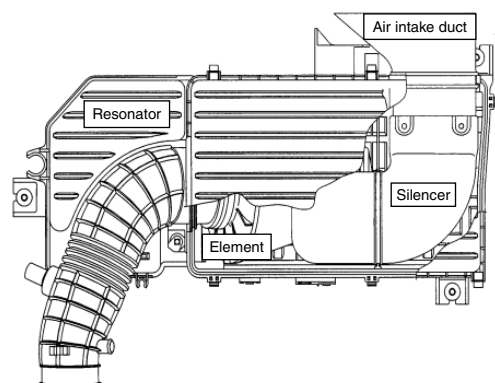


Fig.11 Air intake module

4.5. 補機駆動系

4.5.1. 補機ベルト駆動システム

補機ベルトの駆動システムをFig. 12に示す。エアコンディショナ用コンプレッサ、オルタネータ、ウォーターポンプをサーペンタインベルト駆動方式とした。

補機ベルト用オートテンショナはV6エンジンにて既に採用しているが、より大きなトルク変動が発生する高回転型L4エンジンにてこのシステムを成立させるために、F20C型ではベルトには伸びの少ないアラミド芯線を採用し、回転変動に伴い発生するオートテンショナ挙動を抑えた。

サーペンタイン補機駆動により、補機レイアウトの自由度が増し、エンジン全長および全幅の縮小化が可能となり、ビハインドアクスルエンジンレイアウトに貢献した。

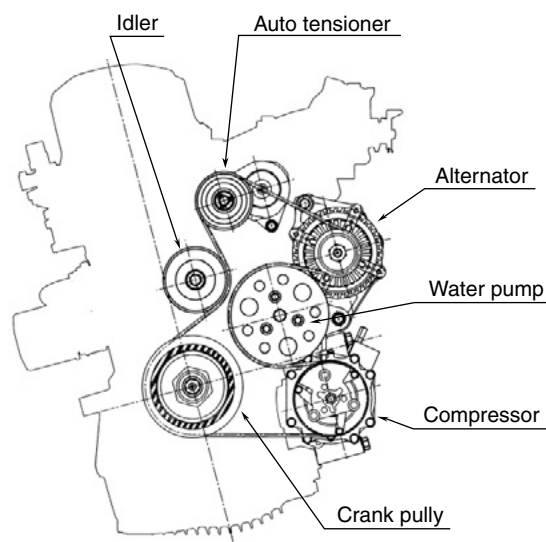


Fig.12 Serpentine belt drive system

4.5.2. ウォーターポンプモジュール

サーモスタットケースは、ウォーターポンプのハウジング、水通路および補機ブラケット(エアコンディショナ用コンプレッサ、オルタネータ)を兼ねたモジュール構造とした。これにより補機をエンジンに寄せて配置でき、エンジンのコンパクト化、軽量化、高回転化に寄与した。

ウォーターポンプはエンジンと別置きタイプとしたため、メンテナンス性に優れている。

4.5.3. オートテンショナー

補機ベルト用テンショナとしては、V6エンジンにおいて既に採用済みである摩擦撓動式オートテンショナを採用した。

高回転型L4エンジンでは、従来のV6エンジンに比べ1.2倍の振幅増加が見られた。それに対し、同等の寿命を確保できるようテンショナ本体を大型化(外径1.1倍、高さ1.2

倍)して撓動部面積を拡大した。この結果撓動部面圧が8%低減し、同等の寿命が確保できた。

4.6. 制御系

4.6.1. 点火システム

エンジンの高回転化対応とコンパクト化のためにデストリビュータレス方式の点火システムを採用した。

点火時期制御には2つのカム角度センサとクランク角度センサの3センサを用い、すべて油の飛沫中でのセンシングを行っている。インテークとエキゾーストの各カムシャフト後端のロータとヘッドカバーに取り付けたセンサにより、気筒判別を行い、クランクシャフトのロータとチェーンケースにとり付けたセンサにより、クランク角度を検出してECU(Electronic Control Unit)にて点火時期制御を行う。センサについては、コンパクトなシリンダヘッドに搭載するためにロータ径を小さくしていることから、従来方式のセンサでは出力が確保できないため、コイル後部にバックコアをいれて対応した。

点火コイルにはイグナイタ内蔵のプラグ・ホール・コイルを用いており、ヘッドカバーに取り付けている。

従来、シリンダヘッド後端にあったデストリビュータを廃止したことにより、シリンダヘッド後端とダッシュボードとの隙間を狭められ、ビハインドアクスルレイアウトに貢献した。

4.6.2. 高応答吸気温度センサー

従来は吸気温度センサの応答性が充分ではなく、吸気温度が低くなっているにもかかわらず高吸気温度時の点火時期のリタードが継続して、加速性能を悪化させることがあった。そこでF20C型には、加速性能向上手段のひとつとして、吸気温度が変化する際の過渡時の制御精度を向上するために高応答吸気温度センサを採用した。その構造をFig.13に示す。

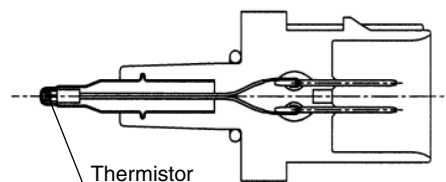


Fig.13 High response intake air temperature sensor

センサ内部のサーミスタの小型化を図るとともに、熱容量低減のためジュメット線の細線化を行っている。サーミスタ部への熱伝達向上のため、ケースをステンレスに変更し、インテークマニホールドからの受熱を防ぐためにセンサのボディは樹脂製とした。これにより熱応答時間を従来センサの1/6に短縮できた。

5. 出力性能

5.1. 出力

F20C型エンジンの開発目標は、排ガスのクリーン化(J-LEV)を前提にレーシングエンジン並みの出力を得ることであり、目標出力は、Fig.14に示すレーシングエンジン領域を目指し、自然吸気エンジンでエンジン回転数8300rpmにおいて125PS/Lとした。

このため、エンジンのボアストローク比を大きくとり高回転型エンジンとし、さらに排気系の圧力損失や機械損失の低減を図った結果、Fig.15に示す出力特性が得られた。

F20B型に対し、低中速トルクを損なうことなく目標出力250PSを達成した。

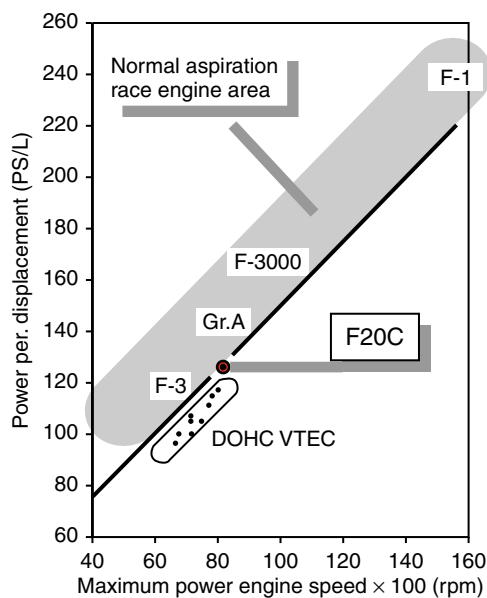


Fig.14 Target of power/displacement

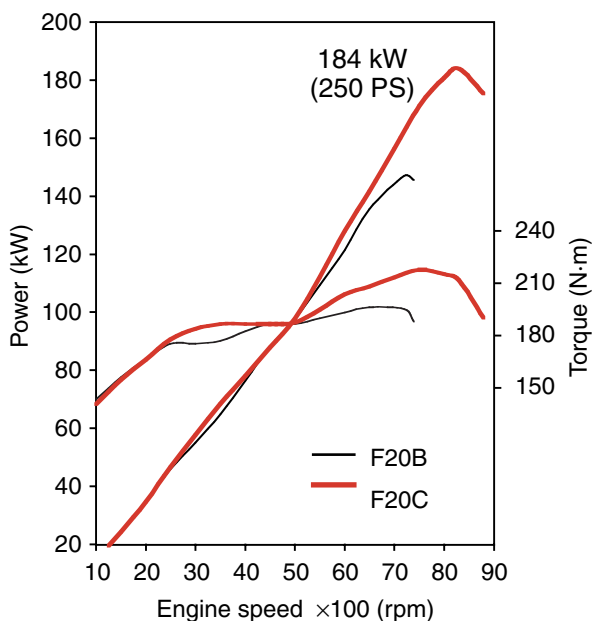


Fig.15 Engine performance

5.2. 最大回転数と体積効率向上技術

F20B型エンジンに対して FRMシリンダブロックを採用し、ボアを2mm拡大することで、吸気バルブ径および排気バルブ径をそれぞれ 2mm 拡大した。その結果Fig.16に示すように吸気弁有効開口面積は、最大リフト領域で、15%の向上が図られた。

吸入系は新型のエアクリーナモジュールを採用することで、吸気騒音を悪化させることなく通気抵抗を低減し、従来比20%の流量向上を可能とした。

排気系は低圧損を実現するため、後述するメタルハニカム触媒を採用し、従来比 66%の流量向上を達成した。

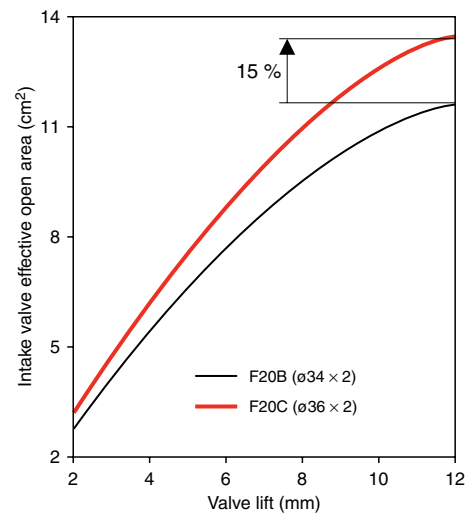


Fig.16 Intake valve effective open area

5.3. 機械損失低減技術

F20B型エンジンに対して、ボア、ストロークの変更、ローラフォロア付きロッカアームの採用、鍛造ピストンおよび 浸炭材コネクティングロッド採用により、レシプロ系で10%の軽量化、補機振動低減を考慮した集約型補機ブラケットレイアウトによるバランス化により、エンジン回転数7000rpmにおいて25%の機械損失の低減が図れた。

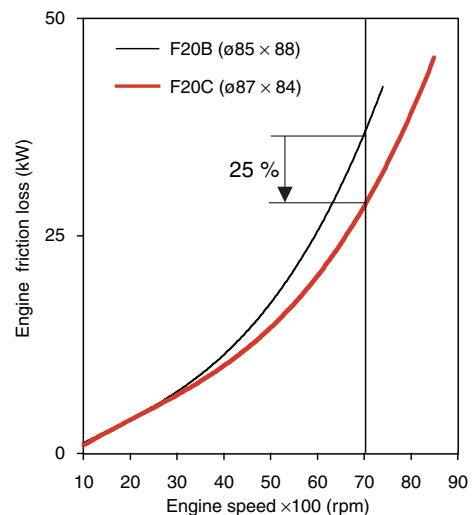


Fig.17 Engine friction loss

5. 4. エンジン回転レスポンス

スポーツエンジンは、高出力、高効率化の追求と、ドライバの意志に即座に反応する回転レスポンスもまた重要である。このため吸入空気の流れ効果による体積効率の向上を最大限にねらった可変長型のインテークマニホールドなどは採用せず、スロットルバルブ下流の容積（以下、インマニ容積と称す）を低減し、スロットルの動きに対してインテークマニホールド内圧のレスポンスの良い独立ストレートポート型のインテークマニホールドを採用した。

インテークマニホールドはFig.18に示すように、最大出力を損なわないように、ポート径、ポート長とチャンバ容量の縮小化を図り、2.0Lエンジンでありながら1.6Lエンジンと同等まで容積の低減を図った。

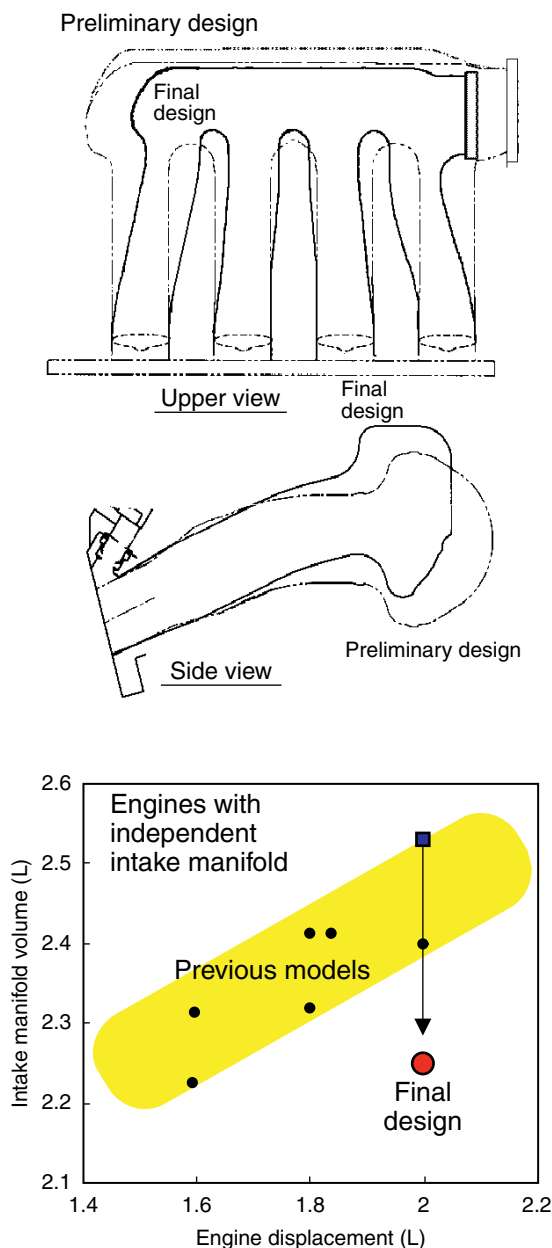


Fig.18 Intake manifold volume

これにより アクセル全開レスポンスはむろんのこと、Fig.19に示すとおりスロットル全開から急全閉時、インテークマニホールド圧力が80kPaに至るまでのレスポンス時間は、可変吸気タイプ(F20B)に対して42%の向上が図れた。

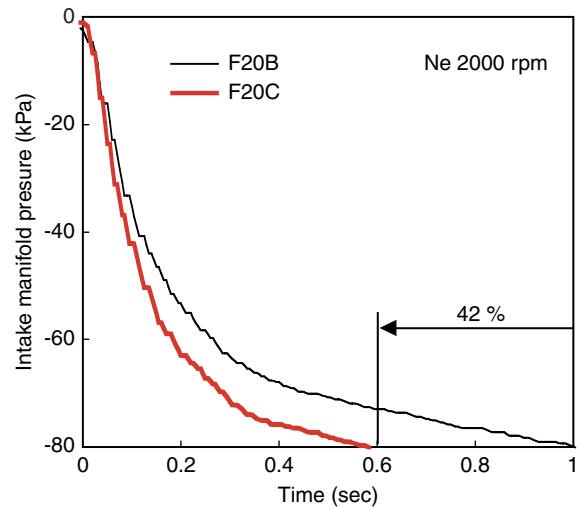


Fig.19 Intake manifold pressure response with throttle off

この効果としてシフトチェンジ時クラッチを切った際のエンジンの吹き上がりが防止できた。

さらに、徹底的なレシプロ系およびフライホイールの軽量化、高精度な燃料制御系およびエア系デバイス制御により得たスナップレスポンスは、Fig.20に示すとおり自社の高出力DOHC-VTECより18%向上ができ、素早いシフトチェンジやヒールアンドトーなどの高度な運転を容易にして、レーシングフィールが実現できた。

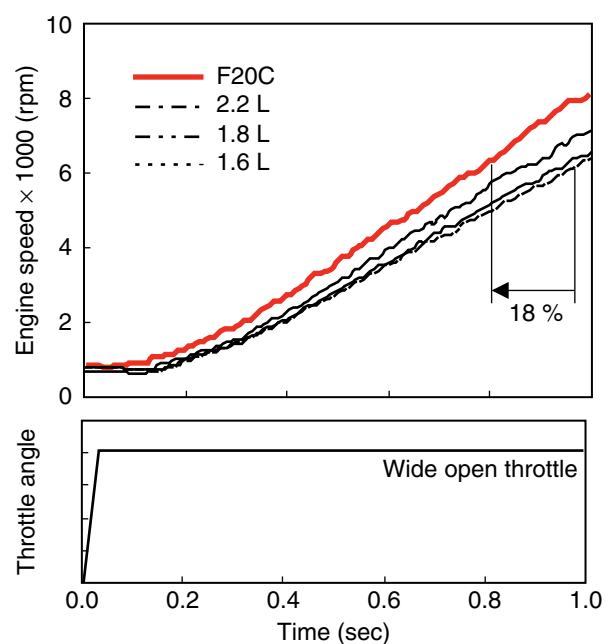


Fig.20 Engine speed response after throttle opening

6. 排ガス性能

F20C型エンジンの排ガスシステムは、このエンジンの特徴である出力特性に対する影響を最小限に抑えつつ、平成12年規制の1/2にあたるJ-LEV基準に適合することを目標とした。

従来の手法で排ガス低減を行うとすると、排気熱損失を少なくするために、触媒までの排気系を細く短く軽くすること、また触媒の容量を大きくしたりセル密度を上げることが常套手段であったが、何れの手法も高出力化とは相反する仕様設定となってしまう。

そこでF20C型の開発にあたってはエンジン本体、排気系の仕様は出力特性に重点を置いた仕様設定とし、排ガスに関しては新規システムにより対応を行うこととした。

Fig.21に新規の排ガス制御システムとして採用したメタルハニカム触媒とエアポンプシステムを示す。

Table 3 10-15MODE emission level & system specification

10-15 MODE emission	F20C		F20B	
	CO	0.3	CO	0.8
	HC	0.02	HC	0.10
	NOx	0.03	NOx	0.10
Catalytic converter		Metal substrate 400cps Capacity: 1L	Ceramic substrate 400cps Capacity: 1L	
System		Secondary air injection system	EGR system	

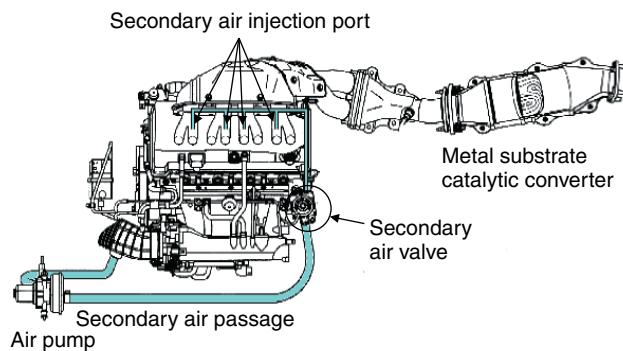


Fig.21 Exhaust emission control systems

6. 1. メタルハニカム触媒

触媒は排気抵抗を極力落としながら排ガス濃度を低減するため、熱容量が小さく昇温性の優れたメタルハニカム担体を採用した。メタルハニカムではFig.22に示すように、同等の表面積と浄化特性を持つ従来のセラミックハニカムに対し排気抵抗が42%低減できた。

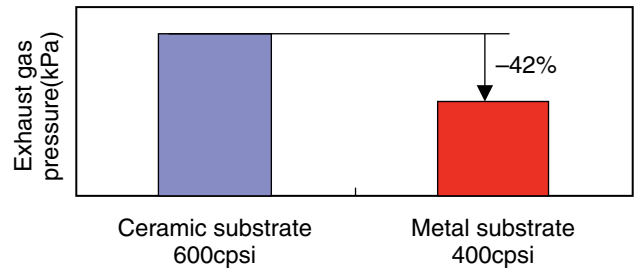


Fig.22 Comparison of exhaust gas pressure

この理由は、Fig.23に示すようにメタルハニカムはセル密度に対するハニカム表面積が大きいので、セル密度を上げずに排ガスを低減ができ、またハニカム板厚もセラミックの105 μ mに対し40 μ mという薄さで熱容量が小さいことである。

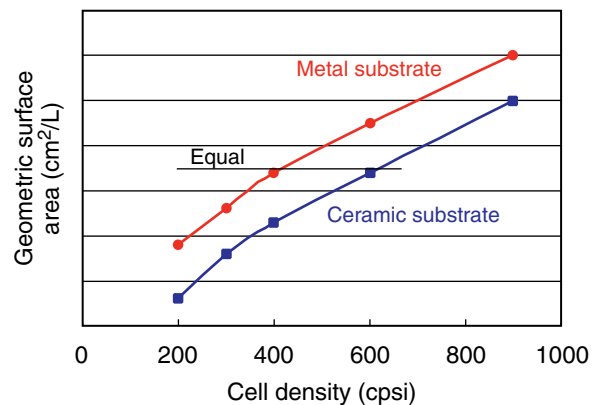


Fig.23 Comparison of geometric surface area

6. 2. エアポンプシステム

コールドスタート後の触媒を早期活性化させるため、エアポンプ式排気二次エアによる触媒の急速暖機システムを開発した。これはエンジンの暖機過程で通常よりやや濃い混合気を燃焼させて未燃成分の多い排ガスを発生させ同時に各気筒の排気ポートにエアポンプで空気を送り、排気管と触媒で反応させて短時間に触媒の温度を上昇させるシステムである。

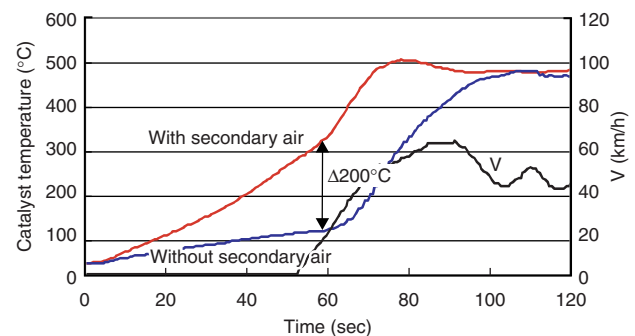


Fig.24 Catalyst temperature after engine start in 11mode

触媒の昇温に対する効果はFig.24に示すように11モードの1山目発進直後で200℃あり、排ガスに対してはFig.25に示すようにCOが72%, HCが55%, NOxで64%の低減効果があった。

メタルハニカム触媒と急速暖機システムを採用することにより、高出力と低排ガスを高い次元で両立させることができた。

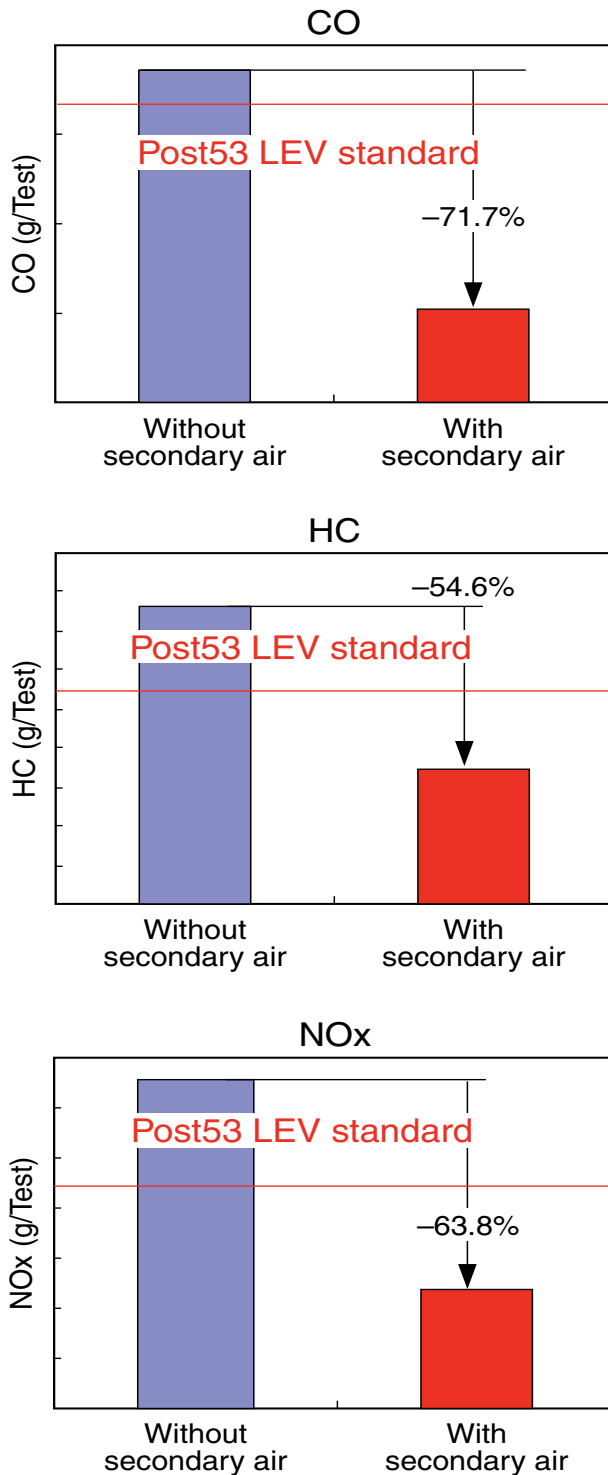


Fig.25 Effect of 11mode Emission with Secondary Air System

7. まとめ

S2000用に開発したF20C型エンジンは、2 Lクラス世界最高水準の250PS(125PS/L)という高出力と、平成12年規制の1/2レベルの低排ガス性能を同時に達成した。高出力エンジンでありながら時代を先取りした低排ガスレベルを達成し、同時にコンパクトで軽量のエンジンとしたことで新世代リアルオープンスポーツS2000のコンセプトの具現化ならびに、動力性能と運動性能の目標達成に大いに貢献できたと考える。

8. あとがき

最後に本エンジンの非常に高い開発目標を達成するために、研究所内外でご支援をいただいた方々に心より感謝いたします。

■ 著 者 ■



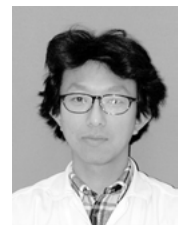
明本 禧洙



上島 英夫



川口 仁



天川 豊



松本 誠司



中村 健佐



佐藤 利行