

'97モデル “アキュラ CL” 用 3.0L V6 エンジンの開発

Development of 3.0 Liter V6 Engine for 1997 Model “ACURA CL”

大 津 啓 司* 中 原 一 浩*
Keiji OHTSU Kazuhiro NAKAHARA
坂 本 泰 英* 今 井 世 志 弘*
Yasuhide SAKAMOTO Yoshihiro IMAI

要 旨

高性能と低燃費を両立する技術として知られている、可変バルブタイミング・リフト機構（VTEC: Variable Valve Timing & Lift Electronic Control System）技術を基本に、小型で軽量の3.0L V6エンジンを開発した。このエンジンの特徴は、回転一次振動が低減可能な60度のバンク角を採用したことと、VTEC機構を用いて高性能と小型軽量化を両立させた点にある。本稿では高性能・小型軽量化を達成させるために採用したVTEC機構および部品仕様について、その特徴と効果を述べる。

ABSTRACT

The 3.0 liter V6 engine for the 1997 model “ACURA CL” has been developed as an engine with a minimum weight and size using the VTEC (Variable Valve Timing & Lift Electronic Control System) mechanism, which is known as a technology that achieves both low fuel consumption and high power output. This engine features a 60 degree V-angle and both compactness and lightweight.

This paper describes a features and effects of technologies incorporated in this engine.

1. まえがき

近年の自動車に対する要求は、高性能、低燃費に加え、地球規模の環境保護など多岐にわたる。これらの背景の中、要求に答えるべく3.0L V6 SOHC VTEC（Variable Valve Timing & Lift Electronic Control System）エンジン（以下、J30A型エンジンと称す）を開発した。このJ30A型エンジンは、高性能、低燃費に加え、60度バンク角の採用により回転一次振動バランスにすぐれ、小型・軽量でホンダの次期V6シリーズの中心となるエンジンである。また、本エンジンはホンダで初めて北米拠点のみで生産を行うことを前提に開発が行われたエンジンであり、北米を中心とする現地メーカーの部品を積極的に採用し、生産効率向上を図った。このJ30A型エンジンは、'97モデルアキュラ3.0 CLに搭載され、北米市場に供給されている。

2. エンジン開発の狙い

このJ30A型エンジンは以下の項目を念頭に置き開発を行った。

- ・基本性能と商品力において、10年以上の期間にわたり競争力を維持できる。
- ・現地調達を強力に進め、'97モデルから米国で生産を開始し北米市場へ供給する。

この二つの内容を達成するために、以下の項目を開発の主要課題として設定した。

- （1）VTEC機構を採用し、高出力・低燃費・低排気エミッションの達成と小型・軽量化を両立させる。
- （2）高い静粛性と機能信頼性を確保する。
- （3）積極的な部品の現地調達化により生産効率を向上させる。

* 栃木研究所

3. エンジンの概要と主要諸元

J30A型エンジンの主要諸元をTable 1に、断面図をFig.1に示す。J30A型エンジンは、V6 3.0L SOHC VTEC 24バルブの自然吸気方式で、ボア・ストロークは $\phi 86 \times 86$ 、圧縮比を9.4とし、レギュラガソリンを使用する。また、吸気には可変バルブタイミング機構を採用している。

Table 1 Engine specification

Cylinder layout	V-6
V-angle (degree)	60
BoreStroke (mm)	$\phi 86 \times 86$
Displacement (cm ³)	2997
Compression ratio	9.4 : 1
Valve train	SOHC VTEC 24 Valve
Fuel supply system	HONDA PGM-FI (Programmed fuel injection)
Fuel	Regular unleaded
Max. power (kW/rpm) [PS/rpm]	147/5500 [200/5500]
Max. torque (Nm/rpm) [lbft/rpm]	264/4700 [195/4700]
BSFC (g/kWh/rpm)	274/3500

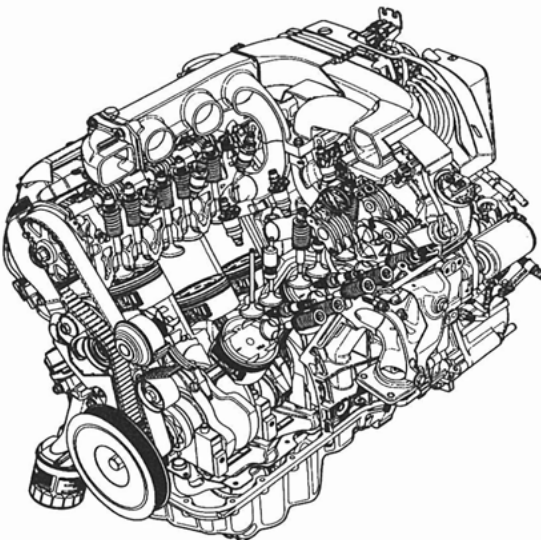


Fig.1 Section view of J30A engine

4. J30A型エンジンの特徴

以下に主要課題達成のための採用技術、特徴、性能について述べる。

4. 1. 出力、燃費、排気エミッション

J30A型エンジンはVTEC機構を採用することによって、目標とする出力、燃費、排気エミッション性能を達成した。Fig.2にVTEC機構の構造図を示す。

インレットのバルブ駆動は三つの異なったカムプロフィールと、それに対応する三つのロッカアームによって行われる。三つのカムプロフィールは低速用 (Primary)、休止用 (Secondary) と高速用 (Middle) に別れており、低回転領域ではそれぞれが単独で作動する。高回転領域では油圧回路を開けることでロッカアーム内のピストンを油圧で作動し、低速用は高速用のロッカアームに連結され、二つのバルブは一つ的高速カムプロフィールによって駆動されることになる。Fig.3-1に低回転領域のVTEC作動状態とバルブリフトカーブを、Fig.3-2に高回転領域のVTEC作動状態とバルブリフトカーブを示す。

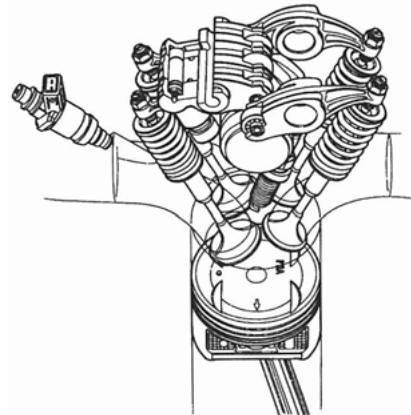


Fig.2 General view of VTEC

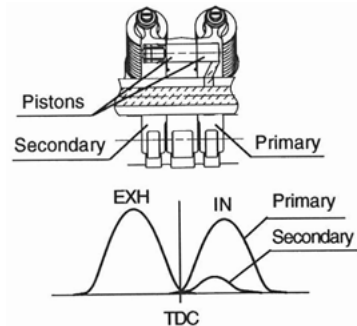


Fig.3-1 Valve operation at low speed range

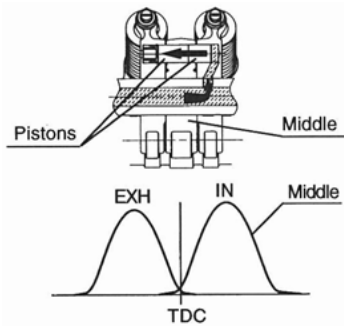


Fig.3-2 Valve operation at high speed range

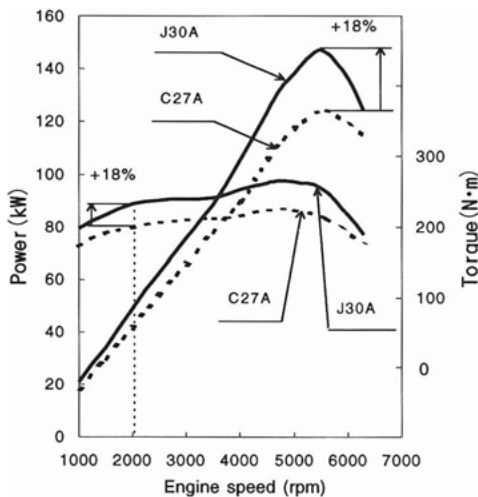


Fig.4 Engine performance curve

4. 1. 1. 出力

VTEC機構の採用により、バルブの開閉タイミングとバルブリフト量を切り替えることで目標出力を達成した。インテークマニホールドは共鳴、慣性効果が適正となるポート長さおよびポート径とし、低回転でのトルクを確保しつつ高出力化を可能にした。Fig.4にエンジン性能曲線を示す。'95モデルの2.7L V6エンジン（以下、C27A型エンジンと称す）に対し、2000rpmのトルク、最大出力ともに18%の性能向上が達成できた。

4. 1. 2. 燃費

燃費の向上には大量のEGR（Exhaust gas recirculation）導入と、ローラフォロア付きロッカアームによる駆動損失の低減を行った。大量EGRの導入には安定した燃焼が要求されるが、本エンジンはVTEC機構を用い、一つの吸気バルブを休止することによってスワール流を生成し、安定した燃焼を実現した。Fig.5に休止バルブのリフト量に対するトルクとリーン限界空燃比を示す。リフト量を

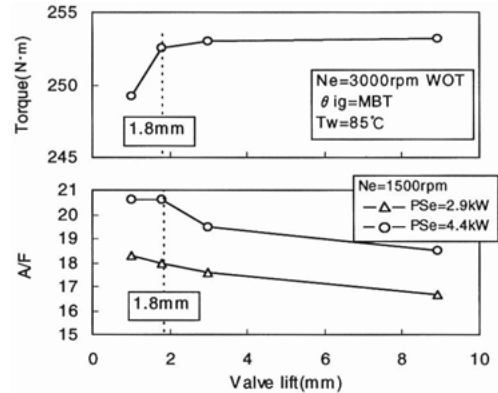


Fig.5 Influence of torque and lean limit on valve lift

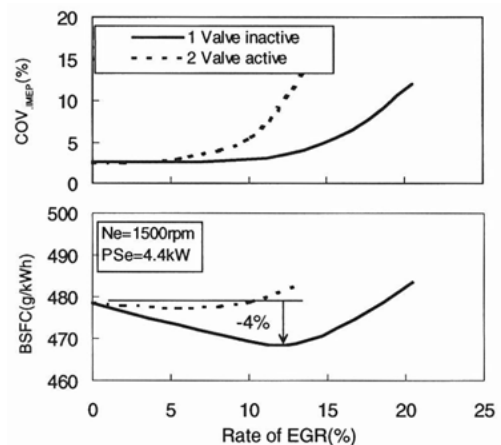


Fig.6 Influence of COV, IMEP and BSFC on EGR rate

大きくするとトルクは向上するが、スワール流が減少しリーン限界は悪化する。J30A型エンジンの休止バルブリフト量はトルク低下が少なく、リーン限界が向上する1.8mmに設定した。Fig.6に定常状態での吸気1バルブ休止を行った場合と2バルブ駆動における、EGRガス量に対するIMEP変動率（COV, IMEP）とBSFC特性を示す。吸気1バルブ休止の場合はスワール流によりIMEP変動率限界が向上するため、大量のEGR導入が可能となる。EGRを大量に導入することでポンピングロスの低減、熱効率の向上が図られ、EGRがない状態に対し約4%のBSFC低減が可能となる。

この結果、J30A型エンジンはC27A型エンジンに対し、排気量を300cc増加しているにもかかわらずFig.7に示すように、8%のフリクション低減と4%の燃費向上を実現した。Fig.8にホンダ量産エンジンの排気量に対するBSFCの関係を示す。J30A型エンジンは低いレベルに位置していることがわかる。

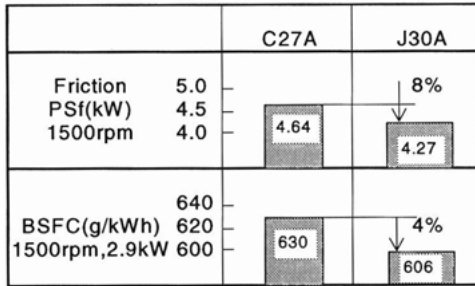


Fig.7 Comparison of PSf and BSFC

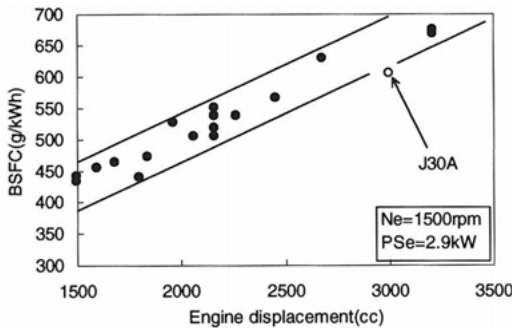


Fig.8 Relationship between BSFC and displacement

4. 1. 3. 排気エミッション

J30A 型エンジンは、米国カリフォルニア州の TLEV (Transient Low Emission Vehicle) 規制に適合している。排気エミッションを低減するにはキャタリストが活性化する以前、つまり、始動直後の排出 HC 量低減が重要である。J30A 型エンジンは、1 バルブ休止によるスワール流によって燃焼の不安定な始動直後においても安定した燃焼を実現するとともに、ポート壁等に付着した燃料分を補正し、最適な燃料噴射を行う燃料付着制御¹⁾を採用することで、ドライバビリティを損なうことなく従来設定より空燃比を薄くし排出 HC 量を低減した。Fig.9 に従来制御と燃料付着制御の始動時からの燃料噴射時間、IMEP、HC 濃度、積算 HC 量を示す。従来制御は始動時から徐々に燃料噴射時間を減らす、数サイクル目から IMEP が零となる領域が存在し、そこから HC 濃度は急激に増加している。これに対し燃料付着制御は 3 サイクル目から燃料噴射時間を減らし、以後のサイクルでの失火をなくし、始動後 30 サイクル時点での排出 HC 量を大幅に低減した。暖機過程ではオブザーバ理論²⁾を用いた予測制御が排気エミッション低減とドライバビリティ向上に寄与している。さらにエアアシスト付きインジェクタ AAI (Air assist injector) を使用し、燃料の霧化促進を行うことでも排出 HC 量を低減している。Fig.10 に定常

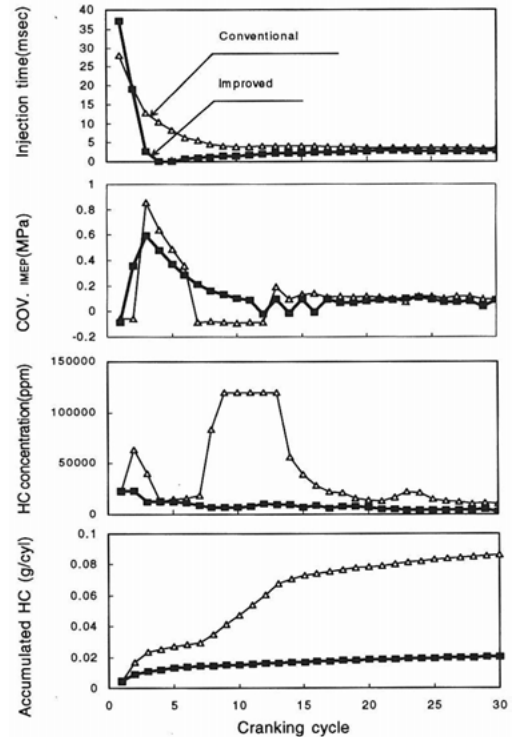


Fig.9 Fuel injection time, COV. IMEP, HC and accumulated HC

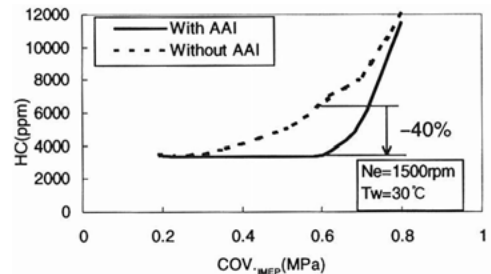


Fig.10 Relationship of HC and COV. IMEP

状態での負荷に対する HC 濃度を示す。AAI を使用することでパシカル運転領域の排出 HC 量を最大 40% 低減している。過渡状態では Fig.11 に示すリーンエリアという指標で評価を行った。リーンエリアの測定はスロットルを低開度の状態から段階的に変化させ、その変化に応じて空燃比を測定する。その時燃料噴射量は理論空燃比に合わせておき、スロットルの段階的变化によりリーンとなる空燃比とその時間の積とした。リーンエリアは小さいほど燃料噴射量のコントロールが容易であり、Fig.12 に示すようにエアアシスト量を増加することでリーンエリアを小さくすることができ、排出 HC 量低減に効果を発揮できる。

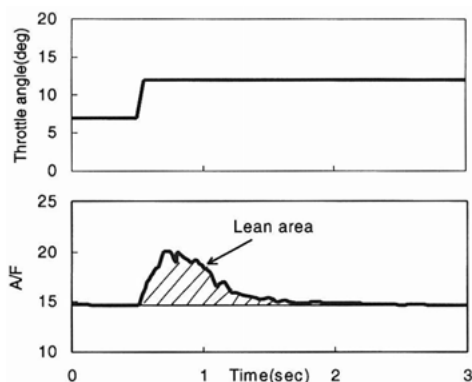


Fig.11 Lean area concept

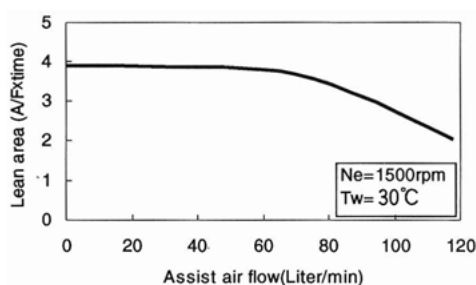


Fig.12 Relationship between lean area and assist air flow

4. 2. 小型・軽量化

小型・軽量化に大きく影響する要素として、Vバンク角、ボアピッチ、バンク間のオフセットが挙げられる。この中で、ボアピッチとバンクオフセットはコネクティングロッド（以下、コンロッドと称す）とクランクシャフトの設計に影響される。本エンジンはボルトの塑性域締め付け法採用による簿幅コンロッドと、FEM解析によるクランクシャフトの設計によって、ボアピッチを98mm、バンクオフセットを36mmとし、小型ながら排気量を3.0Lとした。また、ピストンのコンプレッション高さおよびシリンダブロック高さを抑え、Vバンク空間を利用したインテークマニホールドの設計によりエンジン全体の小型化を達成した。さらに、主要部品であるシリンダブロック、シリンダヘッド、シリンダヘッドカバー、オイルパン等はアルミニウム（以下、アルミと称す）合金製とし、小型化と併せ軽量化も図った。Table 2にC27A型エンジンに対する主要部品の重量増減比率を示す。C27A型エンジンに対し排気量を300cc増加しているが、エンジン部品の合計重量では7%の軽量化を達成した。

Table 2 Weight comparison of main components

	J30A
Cylinder block	- 4.0%
Cylinder heads	-27.7%
Crankshaft	+24.3%
Connecting rods	- 12.2%
Pistons	- 4.8%
Piston pins	- 5.1%
Camshafts	+ 6.3%
Total engine	- 7.0%

4. 2. 1. シリンダブロックおよび

ベアリングキャップ

シリンダブロックはアルミダイキャスト製で、ベアリングキャップ締結構造の簡素化を図った。Fig.13にC27A型エンジンとJ30A型エンジンとの締結構造の比較を示す。C27A型エンジンはベアリングキャップ支持に、1ジャーナルあたり6本（縦締め4本、横締め2本）のボルトを使用し、さらにそれぞれのベアリングキャップをつなぐアルミ製のブリッジを採用していた。それに対しJ30A型は、シリンダブロック、オイルパンの形状、剛性を見直し、1ジャーナルあたり4本（縦締め2本、横締め2本）のみとしてアルミ製のブリッジは廃止した。

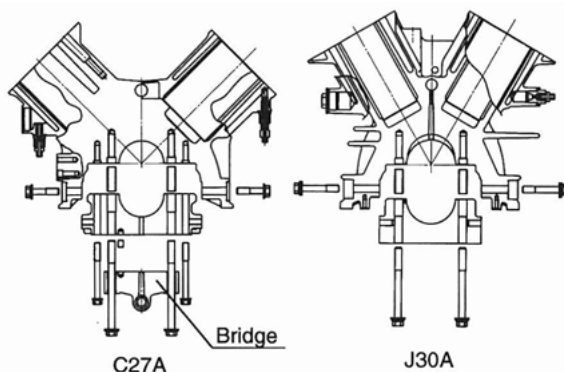


Fig.13 Comparison of C27A and J30A

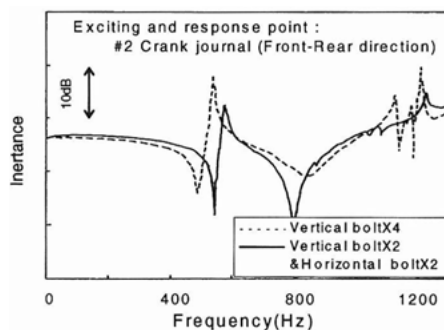


Fig.14 Frequency response analysis, front and rear direction

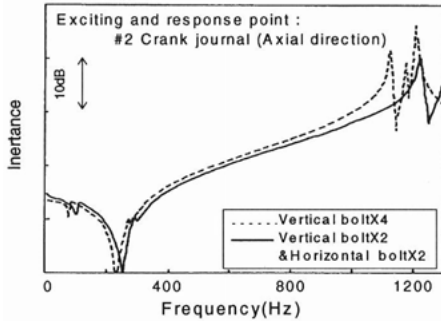


Fig.15 Frequency response analysis, crankshaft axial direction

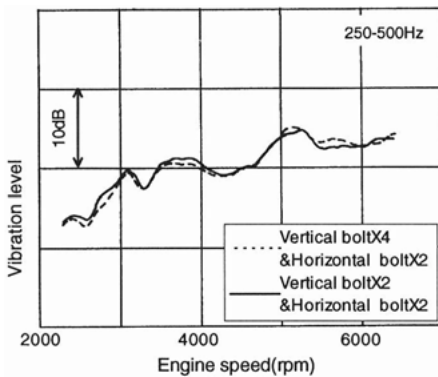


Fig.16 Cylinder block vibration

Fig.14、15にジャーナル支持剛性に対する横締めボルトの効果を示す。図に示すように縦締めのみ4本のレイアウトに対し、同じ4本の締付け構造でも横方向の締付けを行うことで、800Hz以上の伝達特性を改善できた。Fig.16に実機運転状態におけるシリンダブロックの振動をベアリングキャップの支持構造違いで比較する。C27A型エンジンと同じレイアウトである、1ジャーナル6本、(縦4本、横2本)に対し、1ジャーナル4本(縦2本、横2本)の支持構造でもほとんど差のないことがわかる。これはボルト締結レイアウトだけでなく、シリンダブロック、オイルパンも含めた構造解析を行った結果で、これによりベアリングキャップの支持構造を1ジャーナルあたり4本(縦2本、横2本)とし、シンプルながら高い剛性を実現した。

4. 2. 2. クランクシャフト

クランクシャフトは鍛造製法ながら小型化を追求した設計を行った。60度のバンク角を決定したのち、98mmのボアピッチを決める上で最も懸案となったのがクランク

シャフトの諸元である。60度のバンク角は今まで採用してきた90度バンク角のクランクシャフトに対し、隣合うピンのオーバーラップ量が少なくなるため、剛性、強度を確保する設計が必要となる。Fig.17に90度と60度バンク角のクランクシャフトのピンとウェブの位置関係を示す。

クランクシャフトの諸元決定にはFEM解析を用いて各部の寸法を検討した。このFEM解析は1スローの静解析ではなく、エンジン実働時のクランクシャフト挙動を計算で求め、その結果を入力データとしてクランクシャフトの応力を求めるものである。このクランクシャフト挙動計算は油膜の非線形性、クランクシャフト軸系共振、シリンダブロック支持剛性等を考慮した精度の高いもので、エンジン実働時のクランクシャフト応力を最大応力発生部位、絶対値ともに正確に計算することが可能である。Fig.18にFEM解析で求めた#4シリンダ爆発時の全

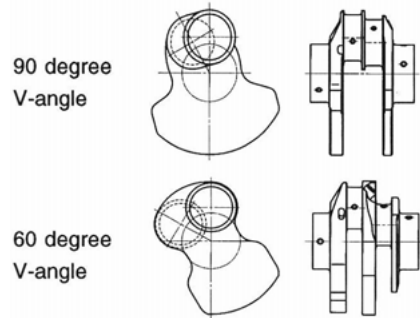


Fig.17 Comparison of crankshaft shape

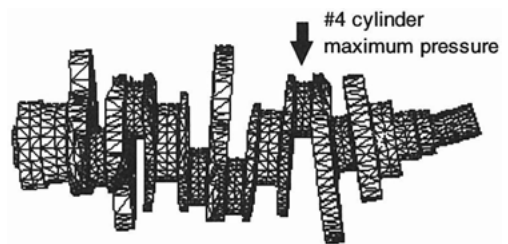


Fig.18 Crankshaft strength and rigidity

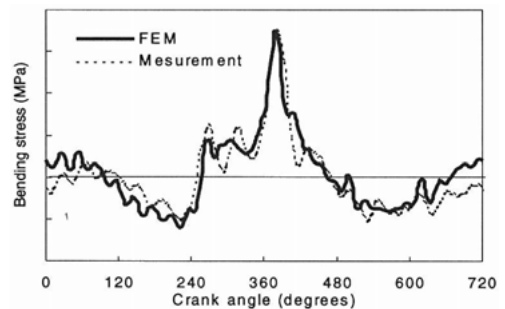


Fig.19 Bending stress comparison

体変形を、Fig.19に応力の計算結果と実測結果の比較を示す。図に示すように高い精度で実働時の曲げ応力をシミュレートできている。これによりクランクシャフトの主な諸元は、軸受径はメインジャーナルが $\phi 72\text{mm}$ 、ピンを $\phi 53\text{mm}$ 、幅はメインジャーナルが 21mm 、ピンを 19mm とし、ピン～ピン間およびピン～ジャーナル間のウェブ幅を薄く設計して 3.0L ながら 98mm というボアピッチを可能とした。また、クランクシャフトに発生する応力は燃焼指圧と強い相関関係にあり、将来予想されるエンジンバリエーションに対しても燃焼指圧を考慮した設計を行った。Fig.20に燃焼指圧とクランクシャフトで発生する応力の関係を示す。

4. 2. 3. コネクティングロッド

コンロッドは従来から用いられている鍛造製法であるが、キャップとの締結にはM8サイズのナットレスボルトを使用し塑性域締め付け法を採用した。コンロッド幅は薄くすることでエンジンの小型化、クランクシャフト強度の確保につながる。そのため、大端部剛性とコンロッド軸受の耐久性を確保しつつ軽量で、強度、剛性とも十分な形状とした結果 19mm 幅とした。

4. 2. 4. オイル通路

VTEC機構を用いる場合、VTEC用のオイル通路とクランクシャフトやカムシャフトの摺動部へ給油するためのオイル通路を分ける必要がある。その内バルブタイミングを切り替えるためのオイル通路にはコントロールバルブが必要となるが、通常このコントロールバルブはシリンダヘッドへ取り付けられるため、V型エンジンの場合二つのコントロールバルブが必要となる。このように二つのコントロールバルブを使えばオイル通路のレイアウトは比較的簡単であるが、部品点数が増すうえシリンダヘッドまわりのスペースレイアウトが難しくなる。J30A型エンジンでは上記のことを考慮してコントロールバルブを一つに集約し、オイルポンプへ取り付けることとした。VTEC用のオイル通路はシリンダブロック内部の通路にパスパイプを設けることで専用化し、主オイル通路と分離することでコントロールバルブを一つにし、部品点数削減を可能とした。Fig.21にオイル通路レイアウト、Fig.22にパスパイプ部の構造を示す。

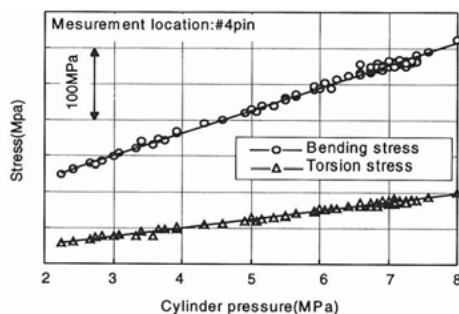


Fig.20 Relationship between stress and cylinder pressure

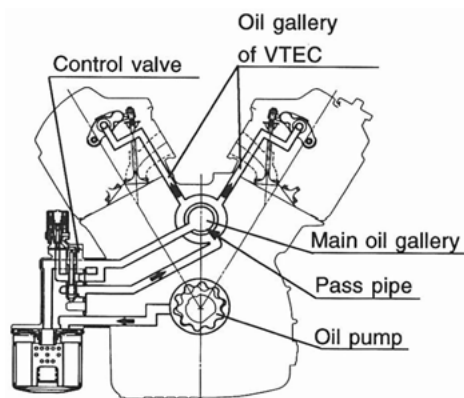


Fig.21 Oil gallery layout of J30A

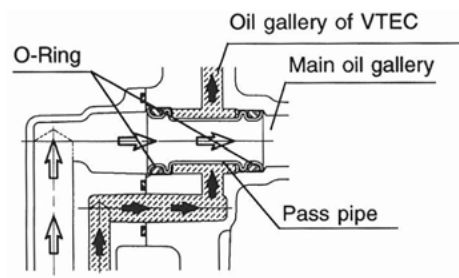


Fig.22 Pass pipe layout

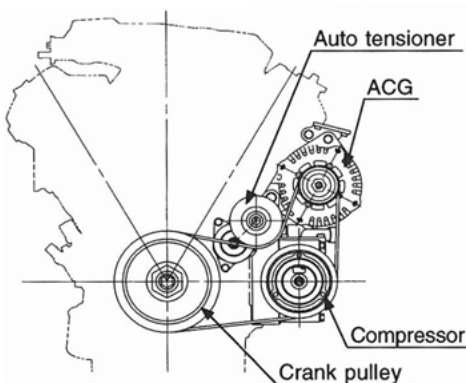


Fig.23 Accessory drive system and auto tensioner

4. 2. 5. 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.23に示す。エアコン用コンプレッサとACGを駆動するベルトにはオートテンショナを採用した。補機のベルト駆動はベルトのスリップを考慮した巻き付け角の設定が必要であるが、オートテンショナを採用することでベルト巻き付け角のレイアウト自由度が増し、エンジン全長および全幅の小型化が可能となる。

4. 3. 静粛性

J30A 型エンジンは静粛性を達成するためシリンダブロックにディープスカート方式を採用した。また、鋳造後T5熱処理を行うことでボアひずみの経年変化を少なくし、ピストン打音を低減している。オイルパンはアルミダイキャスト製で、シリンダブロックとトランスミッションケースとをオイルパン本体を使い、締結することで結合剛性を上げている。Fig.24にパワーユニット剛性のアルミ製オイルパンと鋼板製オイルパンとの比較を示す。本構造のアルミ製オイルパンを採用することで、従来機種で採用していた鋼板製オイルパンに比べ、曲げ、振り剛性を改善し、パワーユニット共振周波数を向上させた。

Fig.25はシリンダブロック#4ジャーナルへ荷重を入力した時のリヤマウントへの影響を示す。アルミ製オイルパンにすることでシリンダブロック締結部の剛性が上がり振動伝達を低減している。

Fig.26にクランクシャフトプーリを示す。クランクシャフトプーリは振りおよび曲げ振動を低減させることが可能なデュアルモードタイプとし、曲げ振動用の慣性マスを内側に、振り振動用の慣性マスを外側に設け、ベルト駆動もできるよう配慮した。慣性マスは外側にSBR (Styrene butadiene rubber)、内側にNBR (Nitrile butadiene rubber) のラバーを使用して一つのスリーブに取り付けられている。Fig.27にリヤマウントにおけるデュアルモードタイププーリとシングルモードタイププーリとの振動差を示す。

メインジャーナル軸受には条痕メタルを採用し、メタルクリアランスを従来機種より小さくすることで、クランクシャフトプーリと併せクランク軸系の振動騒音を低減している。V6エンジンは一次振動を限りなく少なくするために運動部品の厳しい質量管理を必要とする。一般

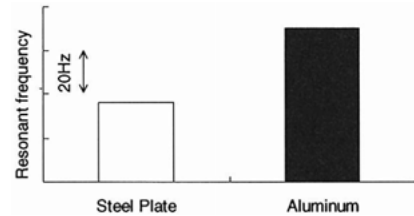


Fig.24 Effect of oilpan material on power unit stiffness

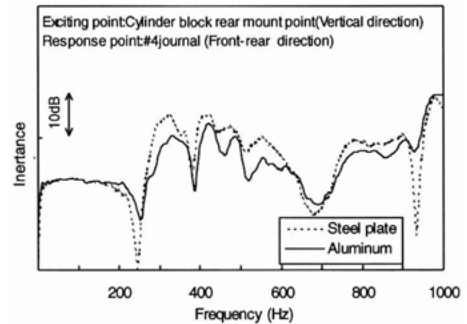


Fig.25 Comparison of aluminum oilpan and steel plate oilpan

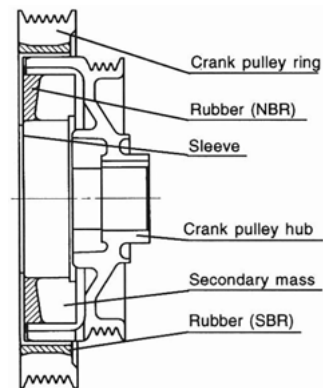


Fig.26 Crankshaft damper pulley

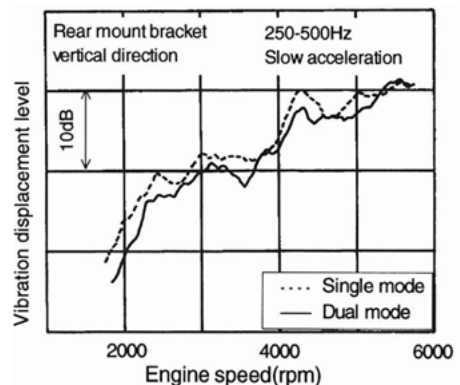


Fig.27 Effect of dual mode crankshaft damper

には質量調整用の座を設け、機械加工を行うことで管理することが多いが、J30A型エンジンは設計初期の段階から質量ばらつき低減の手法を検討し、ピストン、コンロッドについては三次元データによる金型の精度向上や、機械加工基準の変更等を検討した結果、質量調整加工を行うことなく一次偶力に起因する質量ばらつき(1/2往復部質量+回転部質量)を低減しアイドル時の振動を向上させた。Fig.28にC27A型エンジンとJ30A型エンジンのピストンとコンロッドの質量ばらつきの比較を示す。

また、これにより従来のエンジンはピストン、コンロッドの質量ばらつきを部品の選別により管理していたが、J30A型エンジンはこの組立て時の選別工程を無くすことができた。さらに、ピストンはスラップノイズ低減を目的にフルフローティングタイプとし、スカート剛性を向上させるとともにバレルフォームの採用とSnメッキにより耐焼け付き性を向上させた。これによりピストンクリアランス下限値を小さくし、シリンダブロックボアに対する選別も不要とするとともに、フロントとリヤバンクでの共用化を行い部品管理の簡素化も図った。Fig.29にC27A型エンジンとJ30A型エンジンのピストン形状を比較する。

さらに、近年要求が厳しくなりつつある加速騒音については、800Hz以上の騒音発生源とともにエンジン放射音を低減させる必要がある。この解析には音響インテンシティ法³⁾による放射音部位の寄与解析が有効で、その結果、ヘッドカバーの放射音寄与率がシリンダブロック、トランスミッションより高かった(3000rpm WOT)ため対応を図った。ヘッドカバーはアルミダイキャスト製で5本のボルトによってシリンダヘッドへ締め付けられるが、ゴムパッキンを介してフローティングさせている。締め付け位置によっては部分的にゴムパッキンのシール面圧が上昇し放射音が悪化するため、締め付け位置やゴムパッキン締め代等を見直した。Fig.30に見直し前後での放射音への効果を示す。図に示すよう常域において、2dB～3dBの改善効果が得られた。

4. 4. 機能信頼性

J30A型エンジンは機能信頼性を向上させるためにタイミングベルトにオートアジャスタを採用している。オートアジャスタはタイミングベルトの張力を一定に保つことが目的であり、これを採用することでタイミング

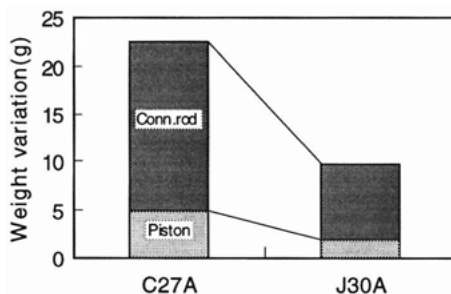


Fig.28 Comparison of weight variation

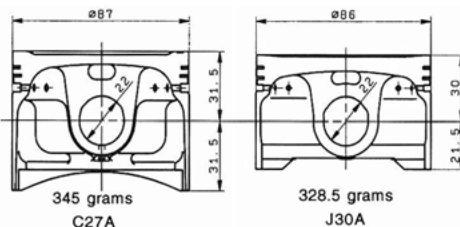


Fig.29 Piston shape comparison

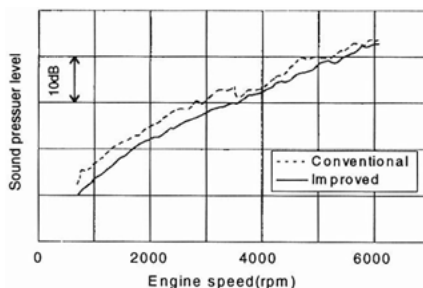


Fig.30 Cylinder head cover radiation noise

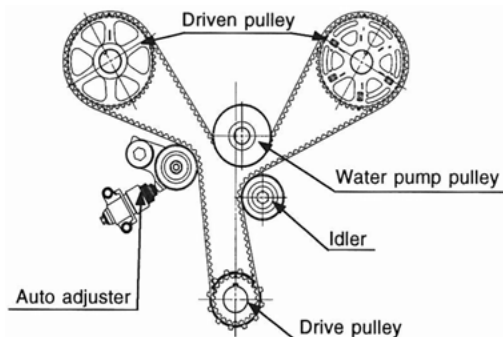


Fig.31 Timing belt layout and auto adjuster

ベルトの荷重を抑えることが可能となり機能信頼性を確保できる。Fig.31にタイミングベルトレイアウトを示す。

また、PCV (Positive Crankcase Ventilation) システムにはヘッドカバーベンチレーションシステムを採用しているが、このエンジンは導入した新気を効率的な換気を利用できるよう配慮した。Fig.32にブリーザ通路レイアウトを示す。今回採用したレイアウトは、フロントの

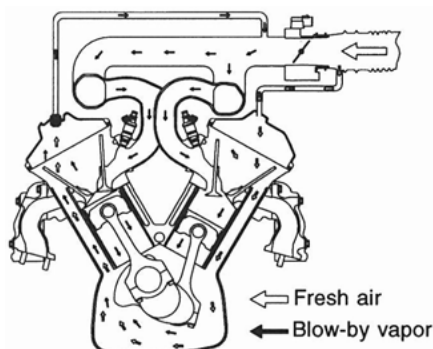


Fig.32 Breather system of J30A

ヘッドカバーから新気を導入し、タイミングベルト側のブリーザ通路→クランクケース→トランスミッション側のブリーザ通路の順に通過した後、リヤのヘッドカバーに取り付けられたPCVバルブからブローバイガスとともに排出される。ブリーザ通路はフロントバンクとリヤバンクに別れており、導入した新気は全てが必ずクランクケースを通過するようになっている。これにより高いPCV換気率および新気導入率が可能となり、オイルの劣化やスラッジ生成を抑制している。

4. 5. 現地調達

J30A型エンジンは冒頭にも述べたように、ホンダで初めて北米拠点のみで生産することを前提に開発を行ったエンジンである。北米工場（オハイオ州）での生産を考えれば、当然ながら北米地域での部品調達が最も生産効率の良い手法といえる。従って今回の開発では積極的に現地での部品調達を行い、エンジンの主要部品についてはその殆どを北米地域を中心とする現地メーカーから調達することに成功した。カムシャフトやベアリングキャップについては、米国で一般的な材料、製法を用いることで現地調達が可能にした部品である。従来機種ではカムシャフトにはチル鋳鉄を、ベアリングキャップには鋳鉄を多用して来たが、本開発ではカムシャフトの材質にFCDを、ベアリングキャップには焼結製法を用いることで現地調達が可能とした。

5. おわりに

将来ホンダのV6エンジンシリーズの中心となるJ30A型エンジンについて、開発のねらいと主要技術について述べた。環境問題から今後さらなる低燃費、低排気エミッションへの要求が高まることは間違いないが、技術の進歩とともに小型・軽量・静粛性についても年々高い目標が要求されてくる。今回開発したJ30A型エンジンは、現時点では開発のねらいどおり、10年以上にわたり十分に商品競争力を維持できるものと考えているが、今後とも技術の向上を図り高い要求に応えられるよう努力していきたい。

参考文献

- 1) C. F. Aquino, 「Transient A/F Control Characteristics of the 5Liter Central Fuel Injection Engine」, SAE 810494, 1981
- 2) Y. Hasegawa et al., 「Individual Cylinder Air-Fuel Ratio Feedback Control Using an Observer」, SAE 940376, 1994
- 3) 畑 高橋, 「音響インテンシティー法による騒音解析手法」, 自動車技術, Vol.36, No.12, pp.1274-1280, 1982

■著 者■



大津 啓司



中原 一浩



坂本 泰英



今井 世志弘