

直押し動弁系可変バルブ制御システムの開発

Development of Variable Valve Control System for Directly Actuated Type

津久井 孝 明*

Takaaki TSUKUI

熊 谷 吉 彦*

Yoshihiko KUMAGAI

堤 崎 高 司*

Takashi TSUTSUMIZAKI

中 島 睦 夫*

Mutsuo NAKAJIMA

西 澤 賢 一*

Kenichi NISHIZAWA

要 旨

高回転・高出力が望まれているスポーツタイプの二輪車用エンジンのために、エンジン出力と環境保護対策を両立させるバルブ休止機構付きバルブ制御システム(HYPER VTEC: Variable Valve Timing and Lift Electronic Control System)を開発した。

このシステムは、コンパクトかつシンプルな機構で動弁系質量増加を最小限に抑え、高い信頼性・耐久性を備え、異常なバルブ挙動なしに13,500rpmまでの高速回転が可能な機構としたバルブの作動数切り換え機構である。

このバルブ制御システムには、燃料消費率の向上及び吸排気系音を2バルブ作動域で低減させる効果がある。2バルブと4バルブの切換機構部は、冷間鍛造による製造とし、廉価なコストで製品化を達成した。

このシステムは、国内向けとして1999年に発売されたスポーツタイプの二輪車「CB400SF」に採用されている。

ABSTRACT

The new valve control system (HYPER VTEC: Variable Valve Timing and Lift Electronic Control System) with a valve inactive mechanism has been developed to achieve effectively engine power enhancement and the environment protection for sports type motorcycle engines with higher engine speed.

The mass increase in the valve operating system is kept to a minimum with a compact, simple mechanism, enables high engine speeds of up to 13,500 rpm without malfunctioning valve motion, and providing high reliability and durability.

In addition, the valve control system contributes to enhance fuel economy and also to decrease the intake and exhaust system sounds during two valve operation. The switching mechanism part of the operating valve number was manufactured by cold forging, and was achieved inexpensively.

This system was introduced on the sports type motorcycle CB400SF for domestic sales in 1999.

1. はじめに

地球環境保護の関心が高まる中、二輪車の開発において、燃料消費率向上・排気ガスクリーン化・走行騒音低減などの対策が積極的に行われている。これらの環境保護対策とエンジン出力との両立は、技術的に難しい課題である。この課題達成のために、ホンダの四輪車用に採用されているVTEC(Variable Valve Timing and Lift Electronic Control System)¹⁾は、世界的にも認知されている。このVTECは、ホンダが1982年に二輪車用に開発したREV(REvolution Modulated Valve Control)機構を発展させた機構である。

スポーツタイプの二輪車用エンジンは高回転・高出力が望まれており、現在では、直押し動弁系²⁾が主流となっている。そのため、エンジン出力と環境保護対策を両立させる直押し動弁系での可変バルブ制御システムの開発が望まれ

ていた。本稿では、スポーツタイプの二輪車用に開発した直押し動弁系用バルブ制御システム(以下、HYPER VTEC)の構造・基本作動及び、その特徴的な効果について報告する。このシステムは、国内向けとして1999年に発売された「CB400SF」に採用されている。

2. 開発目標

スポーツタイプの二輪車用エンジンのバルブ制御システムとして次の開発目標を設定した。

- (1) 高いエンジン回転数まで動弁系作動を保障する。
- (2) 動弁系質量増加を最小限とする。
- (3) コンパクトな機構とする。
- (4) シンプルな機構とする。
- (5) 高い信頼性・耐久性を備える。
- (6) 妥当なコストで量産できる。

*朝霞研究所

3. 構造説明

HYPER VTECは4バルブエンジン用であり、Fig.1に示すようにバルブリフタに内蔵されたバルブ作動切換えシステムと油圧回路を含む油圧制御システムにより構成されている。バルブリフタに内蔵されたバルブ切換えピン(以下、スライドピン)の位置によりバルブ休止・作動が制御される。

3. 1. バルブ休止状態

Fig.2にバルブが休止している状態を示す。バルブが休止している状態ではスライドピンに油圧が作用していないでスライドピンは、リターン springsによりストップピンに押し付けられている。このとき、スライドピンに設けられた貫通穴にバルブステムがもぐり込むため、バルブリフタ及び切換え機構部がカムにより駆動されてもバルブは休止状態にある。なおバルブリフタ及び切換え機構部はアウトバルブスプリングによりカムプロフィールの動きに追従している。

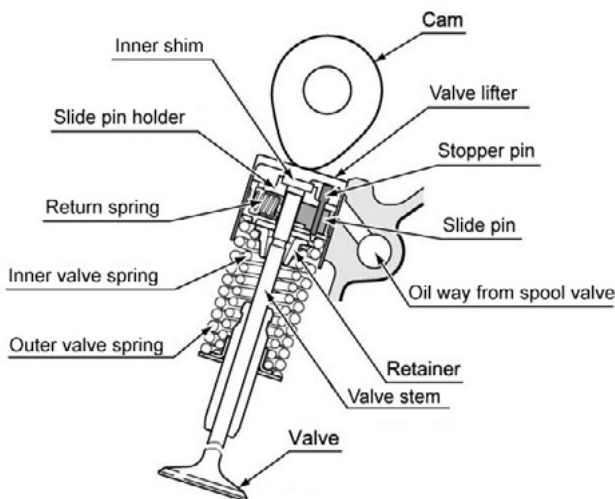


Fig.1 Structure of HYPER VTEC

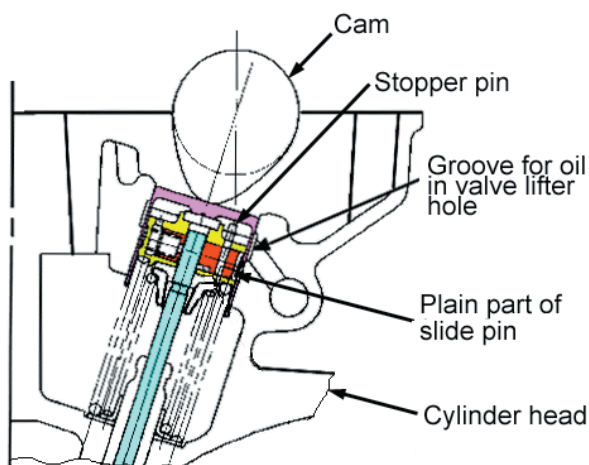


Fig.2 State of valve inactive

3. 2. バルブ作動状態

Fig.3にバルブが作動している状態を示す。油圧がシリンダヘッド内部の油圧通路を通り、リフタホール内油圧溝からリフタの外周穴を経てスライドピンに作用し、スライドピンをスライドさせる。スライドピンがスライドするため、バルブリフタが駆動されると、スライドピンの平面部がバルブステムを押し、バルブとバルブリフタが一体となって動く。なお、バルブ、バルブリテーナ及びコッタはインナースプリングによりカムプロフィールの動きに追従している。

4. バルブ休止機構の比較検討

開発段階で比較検討したバルブ休止機構部の4つの案をFig.4に示す。

A案は、タペットクリアランスの調整をアウトシムで行い、バルブリフタに直接スライドピン取り付け穴を形成したことが特徴である。この案は、アウトシムのため機構質量が大きくなると、バルブリフタのスライドピン取り付け穴の加工がしにくい。

B案は、タペットクリアランスの調整をインナシムで行い、切換え機構部をバルブリフタと別体としてバルブリフタ中央に凸部を設けバルブリフタと切換え機構部の間にバルブリフタのアイドルモーション用スプリングを配置したことが特徴であり、従来の動弁系の上に休止機構部とバルブリフタを載せた構造である。この案は、バルブリフタと休止機構部との回り止めが必要であり、バルブリフタのアイドルモーション用スプリングの設置スペースが不足し、高回転まで追従させるためのスプリング荷重が設定できなかった。

C案は、バルブリフタのアイドルモーションスペースを少なくするためにスライドピンを下方に配置した。この案は、アウトシムのため機構質量が大きくなると、バルブ

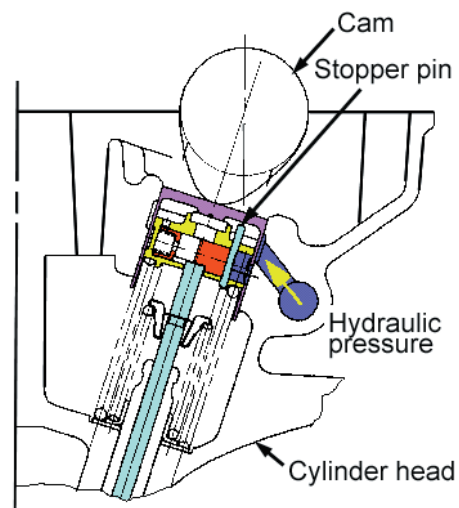


Fig.3 State of valve active

Design ideas	Outer shim type	Inner shim type	Outer shim type	Inner shim type
	A	B	C	D
Equivalent mass	Large	Small	Large	Small
Switching function	Good	Poor	Poor	Good
Occupancy space	Medium	Small	Small	Small
Productivity	Poor	Poor	Poor	Good

Fig.4 Types of valve inactive mechanism

リフタのスライドピン取り付け穴の加工が難しい。

D案は、タペットクリアランスの調整をインナシムで行い、切換え機構部を別体とした。切換え機構部は冷間鍛造にて製造が可能であり、軽量な構造とすることができる。

以上の比較検討の結果からD案を採用した。

5. バルブ休止用油圧制御システム

Fig.5に休止するバルブの配置とシリンダヘッド内油圧通路の一例を示す。バルブの配置はスワールの発生及び新気の吹き抜け防止を考慮し、対角線上に配置した。油圧通路は切換え応答時間をより短くするため最短経路としている。

Fig.6に示すように、バルブ数の切換えは走行中の加速度変化をより大きくライダーに与えるため、2バルブで運転中のトルクカーブと4バルブで運転中のトルクカーブの交点より高いエンジン回転数を切換え回転数に設定した。

Fig.7にバルブ作動状態の油圧作用を示す。エンジン回転数が切換え設定回転数になると、ECUから油圧切換えスプールバルブのソレノイドに電流が流れるように指示ができる。ソレノイドの作動によりスプールバルブが切換えられ、メインギャラリーより導入されていた油圧が油圧吐出側

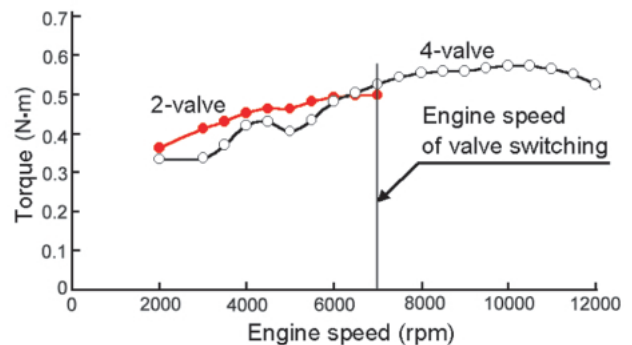


Fig.6 Valve operation switching engine speed

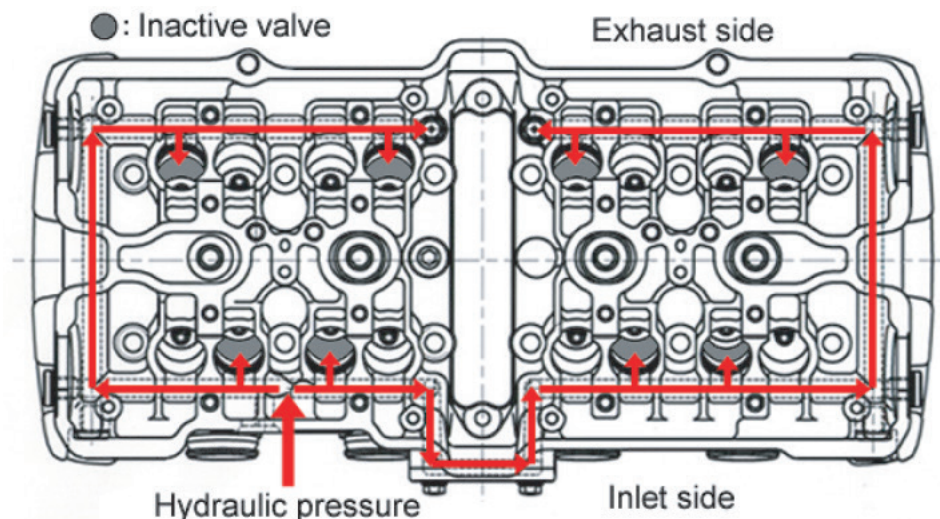


Fig.5 Inactive valve arrangement and hydraulic pressure channel

にかかり、Fig.5に示したシリンダヘッド内の油圧通路を通りバルブリフタホール内オイル溝に導かれる。スライドピンの端面に作用する油圧によってスライドピンがスライドし、バルブシステムをカムプロフィールに合わせて作動させる。しかし、バルブリフタのアイドルモーション時に油圧がスライドピンに作用しても、スライドピンはスライドできない。カムプロフィールのベース円上でのみスライドが可能である。

Fig.8にバルブ休止状態の油圧作用を示す。4バルブから2バルブへの切換えは、切換え設定回転数以下になると油圧切換えスプールバルブのソレノイドへの電流が遮断される。メインギャラリの油圧は油圧切換えスプールバルブにより止められ、シリンダヘッド内油圧通路内の油圧はシリンダヘッド内へ開放される。スライドピンはリターンズプリングによりバルブシステムがもぐり込み可能な位置に戻り、4バルブから2バルブに切換えが行われる。エンジン回転数の上昇側と下降側の切換え回転数は、スライドピンのハンチングを防ぐために、500rpmのヒステリシスをもたせている。

6. バルブ切換え性能

本システムの応答時間の考え方について説明する。Fig.9に示すように、切換え信号が油圧切換えスプールバルブに輸入され、切換え油圧が上昇し、バルブがリフトを開始するまでの時間を切換え応答時間としている。

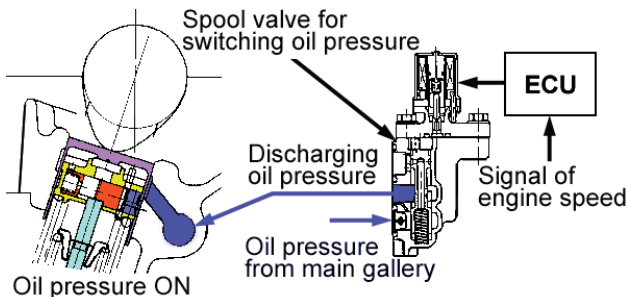


Fig.7 Hydraulic pressure operation during valve active

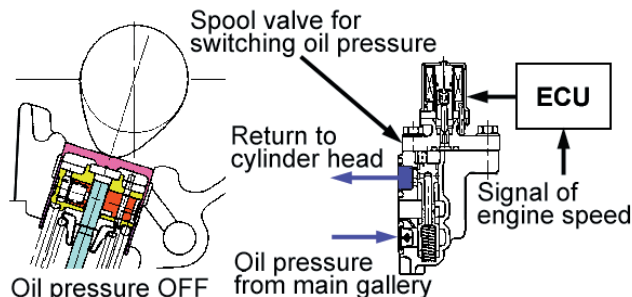


Fig.8 Hydraulic pressure operation during valve inactive

Fig.10に示すように、エンジン潤滑油温度の変化における切換え応答時間を測定した結果、油温30℃から110℃まで70msec以内であり、エンジン運転に支障がない。

本システムでは、スライドピンへの油圧供給タイミングをカムシャフトの回転と同期させていないため、Fig.11に示すような確率でバルブ切換え時のスライドピンの弾かれが休止側、作動側のいずれの方向に切換えるときにも発生する。スライドピンの弾かれは、スライドピンとバルブシステムのかかり代

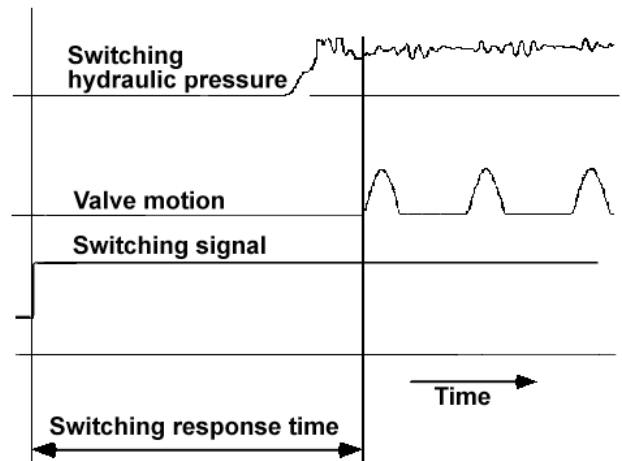


Fig.9 Image of valve operation switching response time

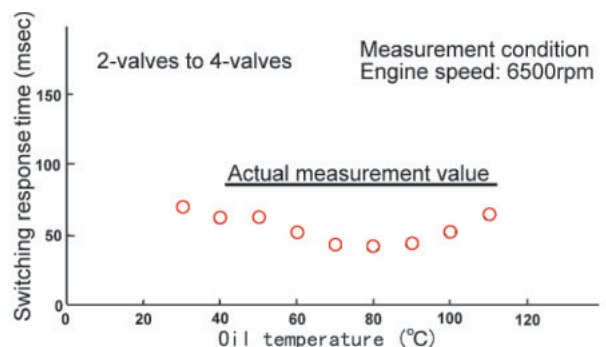


Fig.10 Actual measurement of valve operation switching response time by oil temperature

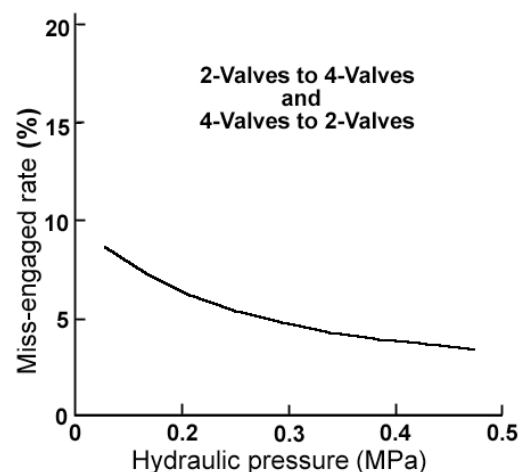


Fig.11 Mis-engaged rate in valve operation switching

が少ないときに、バルブリフトが開始されると、スライドピンがバルブリフトの反力により押し戻されることにより発生する。しかし、次のサイクルのカムベース円上では確実に切換えが完了するので、ドライバビリティへの影響は無い。切換え可能回転速度は、ベースエンジンの限界回転速度である13,500rpmまで切換えが可能であり、設定した切換え回転速度に対して、十分に余裕がある。

7. 動弁系性能

Fig.12に示すように、本システムは、許容範囲内のバルブバウンスでベースエンジンの限界回転速度13,500rpmを満足しており、HYPER VTECでの異常挙動は発生しない。

また、動弁系のフリクション測定結果をFig.13に示す。フリクションは4バルブ作動域で増加するが、2バルブ作動域では従来のバルブ機構のベースエンジンより減少し、EC40モードにおける約5.5%の燃料消費率の向上に寄与している。なお、バルブ休止機構部がベースエンジンの動弁系に付加されたことによりバルブスプリング荷重を高く設定したため、4バルブ作動域でのフリクションが増加している。

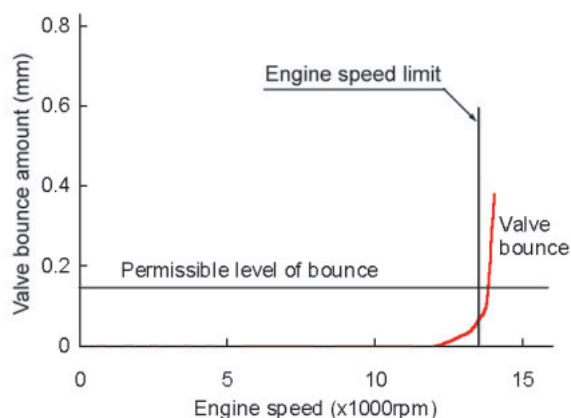


Fig.12 Engine speed limit of HYPER VTEC

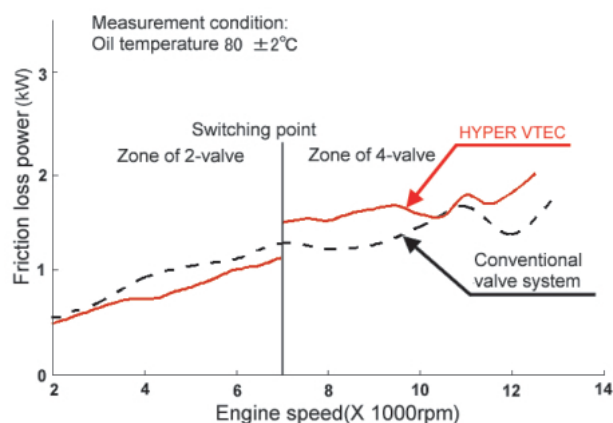


Fig.13 Friction loss power of HYPER VTEC

8. エンジン出力特性

HYPER VTECエンジンと従来のバルブ機構をもつベースエンジンとの出力特性の比較をFig.14に示す。HYPER VTECを採用したエンジンは中低速域の出力が向上し、かつ高速域に適した吸・排気系の設計により高速域でも出力の向上が図られている。中低速域の出力向上により、扱いやすい出力特性を実現するとともに、2バルブから4バルブへの切換え時のトルク特性変化により鋭い加速感が得られている。

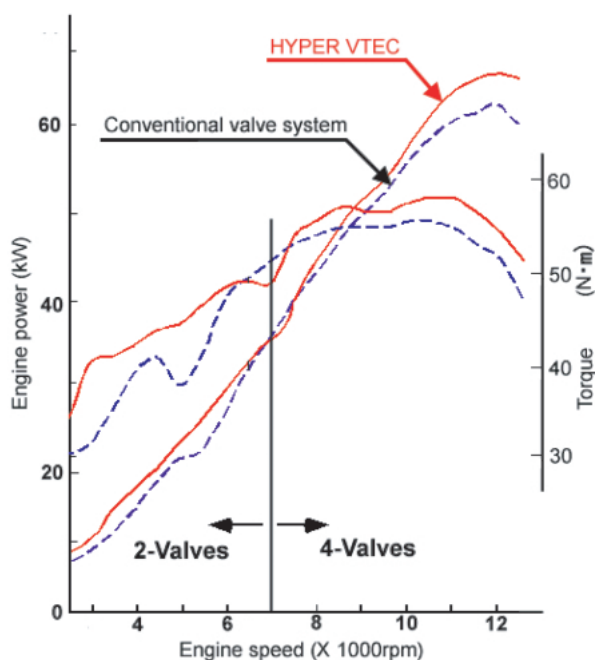


Fig.14 Comparison of power and torque characteristics between HYPER VTEC and conventional valve system

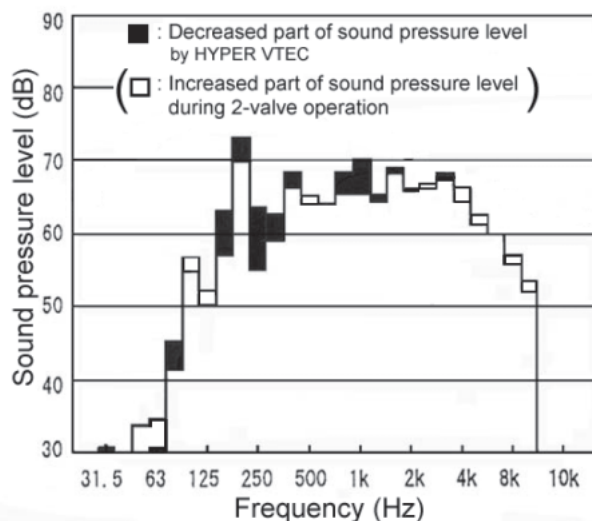


Fig.15 Comparison of running noise level between HYPER VTEC and conventional valve system

9. 走行騒音の低減効果

HYPER VTECには、吸・排気音を2バルブ作動域で低減させる効果がある。Fig.15は、走行騒音の周波数分析を行った結果である。1 kHz以下の吸・排気音を中心に各周波数域でベースエンジンに対し、2dBから5dB減少していることが判る。

Fig.16は、欧州法規制の測定方法(EEC87/56)による加速走行騒音測定値のベースエンジンとの比較を示す。セカンドギア、サードギア走行とも測定区間進入時の速度に対する測定区間終了時の速度が約10%から15%増加したにも関わらず1.7~2.0dBの走行騒音低減が図られている。

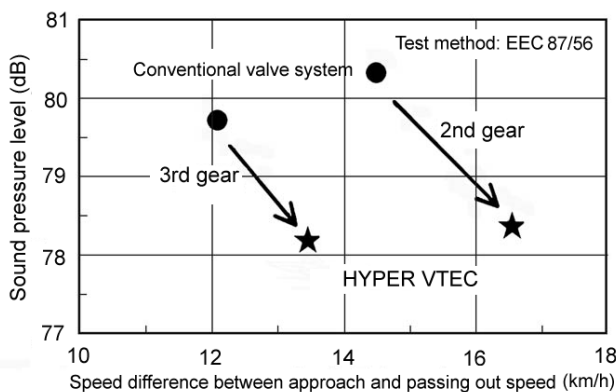


Fig.16 Improvement of sound pressure level by HYPER VTEC

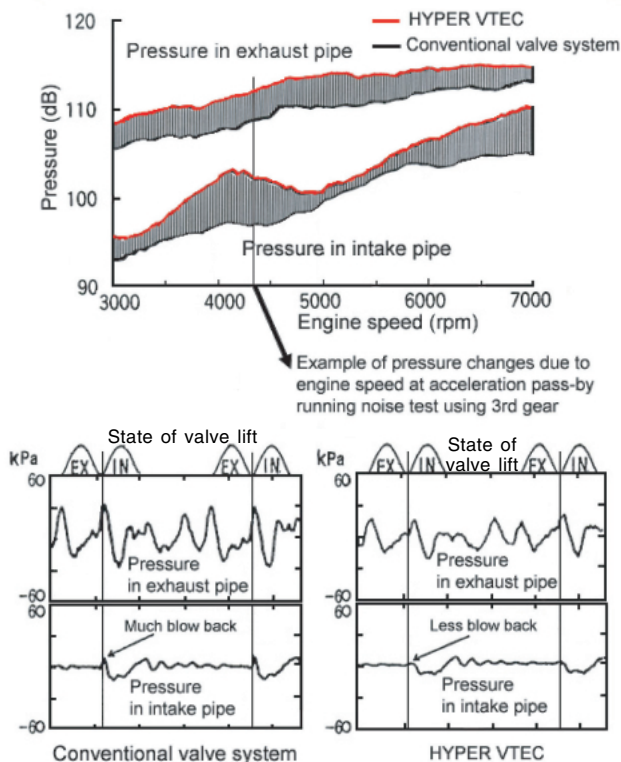


Fig.17 Pressure change analysis at acceleration pass-by running noise

Fig.17は、走行騒音低減のメカニズムについて考察した図である。吸気管、排気管内音圧レベルが2バルブ化することにより低減している。また、ある回転数での吸気管・排気管内圧力波形をみると、排気バルブ開き始めのブローダウン圧の低減とバルブオーバーラップ時の排気系から吸気系への吹き返しが減少していることが確認された。これらが吸気音、排気音の低減に寄与していると考えられる。

10. まとめ

開発したHYPER VTEC(直押し動弁系のバルブ制御システム)において、次のことが実現できた。

- 1) 動弁系の質量増加を最小限に抑え、シンプルでコンパクトなバルブ制御システムを実現した。
- 2) 異常なバルブ挙動なしに13,500rpmまでの高速回転を可能とするバルブ制御システムを実現した。
- 3) 低・中速域の出力向上によりエンジン回転数の全域で扱いやすい出力特性を実現するとともにバルブ切り換え時に鋭い加速感が得られた。

参考文献

- (1)井上和雄ほか：新しい可変バルブタイミング、リフト機構を装備した高出力、ワイドトルクレンジ、高効率エンジン—第一報 可変動弁システムの開発—，自動車技術会学術講演会前刷集，891004，1989
- (2)山下宏ほか：エンジン動弁系におけるカム、及びフォローシステムの耐摩耗性向上手法，HONDA R&D Technical Review vol.2, p.210-219, 1990

■ 著 者 ■



津久井孝明



堤崎高司



西澤賢一



熊谷吉彦



中島睦夫