新型V6ツインカムVQ型エンジンの開発*

木村良幸**

Development of the New V6 Twin-Cam VQ Engine / Yoshiyuki KIMURA

Key words: internal combustion engine, engine development, concurrent engineering, development process, cost reduction activities, automobile engine

1. ま え が き

自動車用エンジンは一般的に使われている往復動エンジンだけでも小型小排気量のガソリンエンジンから大型のディーゼルエンジンまで多種多様である。本稿では弊社がこのたび新中形乗用車用に開発したV6 2.0~3.0 lの新型ガソリンエンジン（VQ型エンジン）での開発経緯を紹介し読者諸兄の参考に供することとしたい。

このエンジンは地球環境の改善とエネルギー資源の消費をできるかぎり抑えるように考えたエンジンで、軽量、コンパクト、低燃費を実現させたものである。新型VQエンジンの開発にあたっては企画の初期段階から作りやすさをねらって製造部門と設計開発部門とによる生産設計活動や原価低減のための原価企画活動、さらにエンジンの企画、開発、製造を総合的に進捗管理するユニット主管制度の導入など弊社としては従来にない開発のやり方を導入した。エンジンの詳しい技術紹介は専門誌にゆずることにして以下にエンジンの技術開発の概要について述べる。

2. 新型VQエンジンの特徴

2.1 企画の背景と開発コンセプト

近年地球環境との調和がすべての工業製品に求められているが、弊社は自動車の製造者として新しい車作りの

考え方「SYMPLE」を提案しはじめている。これはSymbiosis（共生）、Plain（素）、Easy to Operate（扱いやすさ）からの造語で、環境との調和を考え、簡素な構造で、作りやすく使いやすく壊れにくい車を目指そうという考えである（図1）。

この考え方を基本にして新型VQエンジンのコンセプトを下記のように決めた。

- (1) 地球環境とエネルギーの保全
 - (a) 軽量コンパクト
 - (b) 低燃費
 - (c) 軽快な吹き上がりと高レスポンス
- (2) 2000年に向けて人に優しくクリーンな労働環境の提供

このコンセプトを実現するため構成部品の設計目標を下記のようにした。

- (a) シンプルな部品構成、各構成部品は徹底した小形軽量化設計とすること
- (b) 運動部分の徹底した軽量化とフリクションの低減を図ること
- (c) 最適な燃焼を得るためのコンパクトな燃焼室設計と冷却方式の改善を図ること
- (d) 粉塵・臭気等の作業環境の大幅な改善、難作業の排除につながる部品設計をすること

2.2 構造上の特長

60度V型6気筒、4弁DOHC式で排気量は2.0、2.5、3.0 lの3種類を設定した。カムシャフトの駆動はローラチェーン式で、アルミニウム合金製シリンダブロックをはじめシリンダヘッド、オイルパン、チェーンカバー、バルブロッカカバーなど主要部品はすべてアルミニウム合金製でできている。仕様諸元を表1に、断面図を図2に示す。

シリンダブロックは高圧ダイキャスト法（HPDC）に

* 原稿受付 平成6年10月2日
 ** 日産自動車(株)第一パワートレーン設計部（厚木市岡津古久560-2）
 1960年日産自動車(株)入社、設計部機関設計課配属。1965年関東学院大学工学部（2部）卒。機関設計部等を経て1994年第1パワートレーン設計部主管、第2技術部主管兼務（VQ型エンジンに加えVH型=V8、VG型=V6、RB型=直6の各エンジンの「ユニット主管」を担当）

SYMBiosis

(共生)

PLain

(素)

Easy to operate

(扱いやすさ)

: 人とクルマと自然が共に生きる

高性能を低燃費・きれいな排気で実現

: コストパフォーマンスに優れ、故障しにくい簡単な構造

欲しい性能を簡素な部品構成で実現、

信頼性向上にも寄与

: 使う人にストレスを感じさせない扱いやすさ

遅れやショックのない意のままの走りの実現

図1 SYMPLE

表1 VQ エンジン主要諸元 (国内向け仕様)

エンジン型式	VQ 30 DE	VQ 25 DE	VQ 20 DE
気筒数, 配列	60 度 V 型 6 気筒	←	←
ボア×ストローク (mm)	93.0×73.3	85.0×73.3	76.0×73.3
総排気量 (cc)	2 987	2 495	1 995
圧縮比	10.0	10.0	9.5
最高出力 (kW/rpm)	162/6 400	140/6 400	114/6 400
最大トルク (Nm/rpm)	279/4 400	235/4 000	186/4 400
機関整備重量 (kg)	161	159	157

図2 VQ エンジン断面図

より作られ、シリンダ部に鋳鉄ライナが鋳包されている。シリンダブロックにアルミニウム合金を採用したことで当社従来エンジン（鋳鉄製）比で約 29 kg の重量軽減が図られた。

ピストンは2本ピストンリング方式（2.5 l）や薄幅ピストンリングの採用、最新の解析技術を駆使した超小型超軽量設計を行って、当社従来エンジン比で約 30% の軽量化を実現している（図3）。超軽量ピストンの採用で往復運動慣性力が大幅に減少したことと新材料—ショットピーニングによる疲労強度の向上等—の採用とでコンロッドも約 25% 軽量化（当社比）された（図4）。ピストンとコンロッドが軽量化された結果クランクシャフトの軸受部も細径化が可能となり、重量軽減と軸部のマイクロフィニッシュ加工と相まって大幅なフリクションの低減が実現できた（図5、図6）^{2)~4)}。

シリンダヘッドは低圧鋳造法（LPDC）で作られているが、燃費素質の優れる 4 弁式中心点火栓のコンパクトな燃焼室を実現している。さらに燃焼室の効果的な冷却を実現

図3 軽量設計ピストン

図4 軽量設計コンロッド

図6 VQエンジンのフリクション低減効果

図5 VQエンジンの軽量化内容

するためシリンダヘッド内部の冷却水通路の設計には水流れシミュレーションなど最新の解析手法を導入した。

カムシャフトの駆動は定期交換不要なローラチェーン式を採用した。またコンパクトなエンジンパッケージとするため2ステージチェーンのプライマリ側をエンジン内側の吸気カムシャフト駆動としエンジン全幅を抑えることとした。またウォーターポンプをチェーン駆動とすることでエンジン内部に組み入れることによりオルタネータなどの補機がエンジン本体近くに取付け可能となり、合わせてコンパクトなパッケージングが実現できた（図7）⁵⁾。

バルブメカニズムはバケット型バルブリフトを直接カムシャフトが押し下げる簡素な構造の「直動式」を採用した。バルブやバルブシートの接触面圧の抑制やこの部分の耐摩耗材の開発が進み、バルブすきまの調整インターバルの著しい延長が可能になってきたため油圧式のラッシュアジャスタは採用しなかった。このためエンジン内部の油通路が省略され生産しやすいシリンダヘッドとなっている⁶⁾。

2.3 エンジン性能

出力性能について、新型VQエンジンではV型エンジンの特徴を最大限に生かした大径シリンダボアを採用したいわゆるショートストローク型のエンジンとしている。この結果エンジン全高が低く抑えられるというメリットに加え、吸気バルブの傘径を大径化することができ、吸気ポートの最適設計と相まって高い吸気充てん効率を得られた。新型VQエンジンでは機械部分の著しい摩擦損失の低減と燃焼の最適化を図ったことで、従来エンジンで高出力化のため装着していた可変バルブタイミングシステムは不採用とし、さらに比較的余裕のある走り方をする北米向けでは可変吸気システムも不採用とし簡素な部品構成とすることができた。図8にエンジン性能曲線を示す。

エンジン整備重量は当社従来エンジン対比で約20%＝約50kg軽減され、車両の軽量化に大きく貢献している。軽量化に加えて運動部分のフリクションの低減、燃焼改

図7 2ステージ・ローラチェーンシステム

図8 VQエンジン全開出力性能曲線

図9 VQエンジン小形化設計の成果

善、冷却方式の改善等を採用した結果、新型VQエンジンを搭載した車両で当社従来型車対比で約10%の燃費の改善が図られている。

またコンパクトな燃焼室とショートストローク設計、それに運動部分の超軽量化とフリクションの低減により極めて滑らかな吹き上がりのエンジンとすることができ、車両としての加速感の飛躍的な向上を得ることができた。

さらに往復運動部分のマスが減少したことによりエンジンの振動特性も改善され、エンジンとトランスアクスルで構成されるパワープラントの共振現象も軽減され、車両としての騒音、振動の軽減に大きく寄与している⁷⁾⁸⁾。

2.4 エンジンパッケージ

エンジン外形寸法のうちエンジン全幅は当社従来型対比で約100mmの小形化が図られたが、このことは特にFF車では前車軸から前方のオーバーハングを縮小することができ、車両回転半径の低下とスタイリングの自由度の向上に大きく貢献している(図9)。

3. 開発プロセス

3.1 新型エンジンの開発プロセス

当社では新型車の開発は概略3年、新開発エンジンでは同4年が実績のある開発期間であり、今回の新型VQエンジンでもこの実績を踏襲した。新型エンジンの開発期間はおおまかに下記の4ステージに区切ることができる(図10)。

a) 企画段階

設計コンセプト、概略性能(重量、コスト、パッケージサイズを含む)、主要寸法(排気量範囲を含む)、主要ハードの諸元などを決める段階

b) エンジン開発段階

搭載する予定の車両要件を予測し、試作仕様の決定、企画通りの機能、性能、耐久性、重量、コスト、生産性がエンジンとして得られているかの検証の段階

c) 車両適合開発段階

搭載する車両のコンセプト、目標性能、ハード要件が具体化され、この要件に合致させるための設計修正、車両トータルでの目標性能が得られているかどうかの検証の段階

d) 生産準備段階

b), c)の検証の後、設計開発部門から生産用図面を発行、すでにa)の段階から同時進行していた工程設計が確認、修正され、生産設備の発注、量産移行に先立ち3ステージの量産トライアルが行われ量産仕様の検証をする段階

現在当社で採用されている車両開発プロセスは「PDCプロセス」と呼ぶもので、P(Preliminary=コンポーネントや要素システムの開発)、D(Development=新型モデルの試作車による開発)、C(Confirmation=量産図面による試作車の確認)の3ロットで構成されている。

一方エンジン開発は「QCSプロセス」と呼ぶものを導

図10 開発プロセス

入しつつあり、新型VQエンジンの開発ではそのトライアルを行った。このプロセスは車両の開発プロセスに先行してエンジンユニットの確認が終わっているようにしたことと、Q (Quality=品質)、C (Cost=製造原価)、S (Simultaneous-Engineering=生産設計) が企画の初期段階から同時にスタートし、これらが相互にバランスのとれた意思決定と開発が行われるように各時点ごとの各部署の責任が明確に決められるようにしたものである。

新開発エンジンに対して部分改良や排気規制対応などの改造エンジンの場合には開発期間を短縮したショートプロセスが用意されている。

3.2 先行技術開発

QCS プロセスに先立つ「先行技術開発」のステージについても触れておきたい。当社では中長期の技術的難易度の高い課題の開発は総合研究所（横須賀市）が分担し、商品化設計開発をテクニカルセンター（厚木市）の設計開発部門が分担している。総合研究所では燃焼解析をはじめとして将来のリーンバーンシステムやガソリン噴射システムの開発、水流れ解析、フリクション解析など基本機能にかかわる部分の開発を進めており、その成果が新型VQエンジンに数多く採用されている。

一方、設計開発部門では量産仕様の商品化という仕事と平行して個々の構成部品やシステムに磨きをかけて改良を積み上げていくという仕事も行われている。例えば新開発VQエンジンで採用したピストンをはじめとする運動部分の小型軽量、低フリクション設計はこの地味な活動の成果と言える。VQエンジンの開発の少し前にこうした改良部品の数々を組み込んだコンセプトエンジン（羽根のように軽く、軽快に吹き上がることからFeather Engineと呼んでいた）を作り、試験車両に搭載して試乗し、素直で軽快な加速感を体感した。この先行技術開発の成果を商品化し

たいと考えていたが、今回新開発VQエンジンの開発にそのまま繋げることができた。

4. 生産設計

開発初期の企画の段階から設計開発技術者と製造部署技術者による仕様の検討が開始されるが、この活動を当社では「生産設計活動」と呼んでいる。新型VQエンジンでも企画段階の1990年ころの生産中のエンジンの生産性についてたくさんの論議がなされていた。特に複雑さが進む排気対策システム、出力性能を重視したエンジンの付加デバイスの増加、搭載する車両ごとに異なる性能や機能の要件や輸出仕向けごとの性能要件の増加等々で当時の生産ラインでは難しい生産対応を強いられていた。

このような状態が生産コストにも多大な影響を及ぼしていたので、新開発エンジンではこれらの解消を最優先の課題にした。当時生産性を評価する尺度が社内に整備されていなかったのでタスクチームを結成し、当社の生産エンジンおよび競合する他社車のエンジンを分解し、工作所用時間や組立て所用時間を計測し、これらの所用時間をもって評価尺度としたり、構成部品数の多少、締結部位の多少等による独自の「評価法」を確立した。新型VQエンジンでも競合他社車のレベルを参考に目標を決めたが、生産性についても年次ごとの向上が必須であるため、この分野でのたゆまぬ改善努力が定常業務として求められている⁹⁾。

ここで少し専門的になるが、生産設計の成果の一例としてシリンダブロックに高圧ダイカスト法（HPDC法）を導入した経緯を紹介したい。新型VQエンジンに先立ち1989年に開発したVH型エンジン（V8, 4.5 l, DOHC）では低圧ダイカスト法（LPDC法）を採用した。これはシリンダブロック上面の構造をシリンダヘッドガスケットの耐久性に有利な高い剛性の得られるいわゆるク

図 11 アルミシリンダブロック工法比較

ローズドデッキ方式としたいためであった。このため水ジャケットに相当する部分は casting 時は砂中子の使用が必須であった。新型 VQ エンジンでは砂中子を使用しない高圧ダイカスト法を採用し、水ジャケット部分はシリンダ上方向の可動金型で造型されている (図 11)。砂中子使用時に発生するガスの臭気や砂型造型時やバラシ時に発生する粉塵をなくしクリーンな環境を実現するためと、 casting サイクルタイムの大幅な短縮を実現するため高圧ダイカスト法の採用を決心した。

高圧ダイカスト時にシリンダブロック上面がいわゆるオープンデッキとなってヘッドガスケットの耐久性が懸念されたが、これは新規に開発した金属ガスケットの採用により解決した。

5. 原価企画活動

新開発 VQ エンジンの開発にあたっては経済環境の急激な変化から、従来になく安い製造原価の達成が求められた。このことは商品競争力の面から当然のことであるが、特に挑戦的な廉価材料や廉価型機構の採用は新開発の機会を捕らえることが開発効率面でも有利なことと考えていた。

また新型 VQ エンジンでは低燃費を目的とした小型、軽量化設計について社内をはじめ、広く部品メーカー各社に新材料、新機構のアイデアを募集した。同時にこれらのアイデアをどこよりも安く作ることも課題とした。そして具体的採用は従来の発注区分にとらわれず、広くビジネスチャンスとして捕らえた競争方式を開発の初期段階で導入した。

一方「原価企画活動」も開発の初期段階から実行された。これは経営ニーズからエンジン全体の目標原価を決め、これを基に構成部品やシステムごとに目標値を割り付

け、目標値達成のために関係する部署が協力して行う目標原価達成活動のことで、当社では「原価企画活動」と呼び活動している。新型 VQ エンジンでも企画の段階で製造者側から要求性能の妥当性や製造上の改善点の要望が、また設計開発側からは製造工程の簡略化や購入品の仕様と価格の妥当性などが一つのテーブルの上に出され、仕様と原価の両立解について徹底的に議論をし原価低減を推進した。

6. あとがき

自動車用エンジンの開発の全般を論ずるには筆者の経験も紙面も不足しており、今回は最新のガソリンエンジンの開発事例を紹介させていただいた。

自動車用エンジンのように大量生産を前提としているものでは開発投資も設備投資も巨大な額になり、その投資回収の面からも 10~20 年という永い期間作り続ける必要があり、その間で発生するさまざまな環境変化にフレキシブルに対応していくことが必須になってきている。省資源と地球環境問題に対する技術開発、世界的な経済環境の急激な変化に対応する商品開発、これらの調和を考えたエンジンの開発と開発体制の構築が今後も大きな課題になると言えるであろう。

参考文献

- 1) I. Doi : Development of a New-Generation Lightweight 3-Liter V 6 Nissan Engine, SAE Paper 940991, (1994).
- 2) 村田徹郎 : 新型 V 6 ツインカム VQ 型エンジンの軽量、コンパクト設計, 自動車技術会学術講演会前刷集, (1994) 943.
- 3) 藤田貴也 : 新型 V 6 ツインカム VQ 型エンジンの燃費向上技術, 自動車技術会学術講演会前刷集, (1994) 943.
- 4) 倉富英明 : 新型 V 6 ツインカム VQ 型エンジン用コネクティングロッドの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, (1994) 946.
- 5) 渡辺正彦 : 新型 V 6 ツインカム VQ 型エンジンのカム駆動チェーンシステムの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, (1994) 946.
- 6) A. Katoh : An Analysis of Friction Reduction Techniques for the Direct-Acting Valve Train System of a New-Generation Lightweight 3-Liter V 6 Nissan Engine, SAE Paper 940992, (1994).
- 7) K. Yamanouchi : Application of Predictive Noise and Vibration Analysis to the Development of a New-Generation Lightweight 3-Liter V 6 Nissan Engine, SAE Paper 940993, (1994).
- 8) 山崎龍雄 : 新型 V 6 ツインカム VQ 型エンジンの騒音低減技術, 自動車技術会学術講演会前刷集, (1994) 944.
- 9) N. Miura : Manufacturing Method for a New-Generation Lightweight 3-Liter V 6 Nissan Engine, SAE Paper 940994, (1994).