

# ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 2 No. 4 2012

JSAE エンジンレビュー

特集：特集：軽自動車のエンジン

—低価格と低燃費の極限を求めて—

公益社団法人自動車技術会・編集会議  
JSAE エンジンレビュー編集委員会：編著



公益社団法人 **自動車技術会**

コラム●故障はするもの, 事故は起きるもの —原発事故に学ぶ— : 清水 健一 / 編集委員	1
特集 : 軽自動車のエンジン —低価格と低燃費の極限を求めて—	
軽自動車エンジン特集に寄せて	2
軽自動車「ミラ・イース」用エンジンの低燃費化	4
新型ワゴン R 用エンジンの紹介	7
軽自動車用新型 DOHC VTC エンジンの開発	10
NEWS & INFORMATION	14

■ JSAE エンジンレビュー編集委員会

委員長 : 飯田 訓正 (慶応大学)  
副委員長 : 村中 重夫 (元日産自動車)  
幹事 : 川那辺 洋 (京都大学)  
委員 : 井上 香 (堀場製作所)  
小栗 彰 (福井工業大学)  
金子 タカシ (JX 日鉱日石エネルギー)  
菊池 勉 (日産自動車)  
小池 誠 (豊田中央研究所)  
小酒 英範 (東京工業大学)  
佐藤 唯史 (ケーヒン)  
清水 健一 (産業技術総合研究所)  
下田 正敏 (日野自動車)  
鈴木 央一 (交通安全環境研究所)  
沼田 明 (三菱重工業)  
平井 洋 (日本自動車研究所)  
藤井 厚雄 (本田技術研究所)  
山崎 敏司 (編集)

発行所 : 公益社団法人 自動車技術会  
発行日 : 2012 年 12 月 10 日  
発行人 : 新井 雅隆 (群馬大学)  
〒 102-0076 東京都千代田区五番町 10-2  
電話 : 03-3262-8211

●コラム

## 故障はするもの、事故は起きるもの —原発事故に学ぶ—



編集委員  
清水 健一  
Ken-ichi SHIMIZU

産業技術総合研究所 客員研究員  
Visiting Researcher  
National Institute of Advanced Industrial Science  
and Technology (AIST)

2011年3月11日の大震災は、炉心溶融という重大な原発事故によって原発の是非を真剣に考えさせるものとなった。従来から、使用済み燃料の問題から原子力発電に危惧を抱いていた人は少なくなかったが、幾つもの安全対策機能が用を果たさずに致命的な事故に至ることを想像した人は少なかったであろう。“そなえ”を大きな津波を前提にするか否かという課題については、弊所地質部門による過去の津波の痕跡の調査からすれば「有り得ない」ことではなかったと推測できるが、ここでは津波以降の問題についてのみ述べたい。

問題はこの一次トラブルによって更に大きなトラブルを生まないように設計するのが自動車を含めたすべての製品の基本で、その点から、今回の事故の課題は、First Failure が次の Failure を引き起こさないという原則を守れなかったことにあると考える。本来は電源を喪失しないことが基本であろうが、これが確保できないという First Failure に対して、非常用の冷却水を注入する操作が必須である。それには原子炉内の蒸気圧を「主蒸気逃がし弁 (SR 弁)」を動作させて下げる必要があったが、この弁が、蒸気圧が高くなった状態では作動しない構造であったため、注水に失敗した。そのため、危機的な炉を外界から遮断している最後の砦である格納容器をその内部圧力の上昇による破損から守るために、多少の汚染物質の放出を覚悟しても Purge 弁を動作させて格納容器内圧力を下げる必要が生じた。しかし、弁操作の空気圧配管の地震によるリークによって弁を作動できず、設備の破損を伴う“Purge”になった可能性が高い。

NHK 独自の調査報告番組で紹介された SR 弁は目を疑う構造で、解説があるまでは自分の錯覚を疑った。SR 弁は操作圧が原子炉内圧力に打ち勝って作動する構造になっていて、炉内圧力があるレベルを超えた段階で「主蒸気逃がし」は不可能になる。図から動作原理を想像すれば、かなりの確率でその矛盾は誰かが気づくはずなのに「主蒸気逃がし弁」という名称から動作を信じて、動作が必要な状況下での動作メカニズムは確認しなかったのだろうか？

機械系でも電気系でも安全弁役の弱い箇所を設けて致命的な状態への進展を防ぐ設計や、区画を設けて破損部分の特定・隔離を容易にする手法が採られる。中越地震の柏崎原発の被災報道写真から、長い配管や配線管が地震によって各所で破損することを部外者でも認識したのに、当事者には想像できなかったのではなかろうか？

これらの現象は、複雑化・高度化・分業化・細分化する現在の技術環境に潜む共通の課題ではないかと考える。赤ん坊の脳は個々の現象を素直に把握して処理するが、ひとは成長するにつれて出現頻度の高い現象を一つの纏まった手順として扱うことで負担の低減と処理速度の向上を図るそうで、幼年期には外国語の発音を完璧にマスターできるのに、成長するとできなくなるのはこの一例であるとされている。処理の効率化を図るあまり、便覧の“知識”の習得に偏っていないだろうか？ 公式や実験式の寄って立つところを理解し、新たな現象を解析する“知恵”を養う余裕が必要ではないだろうか？ 前述の不都合は、知識偏重の教育や技術環境に由来している点はないだろうか？ 複雑な大規模システムや技術分野の全体を“知識”のみでなく“知恵”のレベルでも把握できる力が、非常時の適切な対応に重要であると同時に技術や学問の革新的な前進にも不可欠であると考えられる。

省エネや一次エネルギーの多様化という観点から、適切な用途での電動車両の普及は避けて通れないが、様々な新規システムや制御が導入されるに伴い、一次 Failure で終息するための安全な壊れかたに特に留意すべきであると考える。機械系は故障により動作不良になる例が多いが、電機系は電氣的制御による動作故障の課題が潜んでいる。大型車の空気圧ブレーキは、空気圧が与圧状態で初めて走行が可能な構造にすることによってフェールセーフを実現している。普及初期の大阪の新交通システムで車両がターミナル駅で停車出来ない事故が発生した。この原因は、前述のフェールセーフを制御系のロジックで実現したため、最終段であるドライバーの故障による動作不能が防げなかったことが分かった。これは従来システムの原理の本質を理解しなかった例であろう。

故障対応の難しさの一端を、筆者が若いときに経験したトラブルを例に紹介する。早朝に試走路で EV の追加試験を実施した際、加速してまもなく急ブレーキがかかったような状態になり、リヤウインド前にセットしてあったレコーダやバッテリーが肩に当たりながら前席床に飛んできた。しばらく使用してなかった EV をいきなり使用したので補機電池が充電不足で“制御電圧低下”が検出され、車両がシャットダウン動作に移ったことが推測できるが、この際に自動変速機を1速側にシフトするようにセットされていたため、後輪がロックしたことが原因と分かった。

新しいシステムに対して、安全に故障することの難しさと現象の本質を正しく理解することの重要性について述べた。ちょっと立ち止まって、長い目で見て技術の進歩に必要な要件について考えていただければ幸いである。

# 特集：軽自動車のエンジン — 低価格と低燃費の極限を求めて —

軽自動車エンジン特集に寄せて

*"K-car Engine" - Pursuit of the Ultimate Low Fuel Consumption with Affordable Price-  
Foreword of the Japanese K-car engine special feature*

本田技術研究所：前田義男

Yoshio MAEDA (Honda R&D)

## 1 はじめに

今年 2012 年 4 月の自動車技術会ガソリン機関部門委員会で各社のエンジン技術者より最新の軽自動車用エンジン技術に関する話題提供を行っていただき、委員会メンバーで軽自動車用エンジン技術の広範囲な討議が行なわれ、好評を博した。本号の JSAE Engine Review で軽自動車用エンジンの特集を行うにあたり、このガソリン機関部門委員会での講演内容を広く自動車技術会会員で共有して頂くことになりました。今回 JSAE Engine Review の軽自動車用エンジン技術特集号に際し、巻頭言として日本独自の規格である軽自動車の歴史や市場での使われ方、今後の技術展望などを概説させていただきます。

## 2 日本の自動車市場と軽自動車

図 1 には 2001 年から今年第 1 四半期までの各セグメントのクルマの販売を四半期毎に示した。2008 年の世界同時不況により 2009 年に自動車市場規模は急激に落ち込み、2010 年は政府の需要刺激策によって底打ちの傾向は見せてはいたが、2011 年 3 月の東日本大震災の影響で日本の自動車市場は需給両面が落ち込んだ。さらに、回復基調を見せ始めた 2011 年後半にはタイの大洪水と欧州の信用不安の悪影響や円高の影響を受けて再び市場規模は低迷した。そのような状況下でも税金の負担も軽く、維持費が少なく済む軽自動車は比較的販売台数の落ち込みが少なかった<sup>1)</sup>。次に、1981 年よりの日本の自動車保有台数の推移を図 2 に示す。軽自動車の保有台数は堅調な増加を続けており、2011 年度末時点で軽乗用車が約 1800 万台、軽貨物車が約 920 万台で日本の全自動車保有台数の 37% が軽自動車で占められている<sup>2)</sup>。図 3 には自動車工業会が 2 年毎に行っている乗用車使用実態調査の結果で乗用車エンジン排気量別の割合推移を示した。毎回の調査で乗用車全体の排気量のダウンサイジング傾向と軽自動車比率の増加が分かる。

## 3 軽自動車市場とエンジンの推移

表 1 には日本の軽自動車の規格の推移を示し<sup>3)</sup>、図 4 には 1967 年からの軽自動車の各車種別の年間販売台数推移<sup>4)</sup>、さらに図 5 に軽自動車用エンジン主要諸元の推移を示した<sup>5)</sup>。1949 年 7 月に軽自動車規格が誕生し、翌年には軽 3 輪および 4 輪の規格が制定され、さらに 1951 年には 4 ストロークエンジンの排気量が 360cc となり、1955 年に 4/2 ストロークとも 360cc の排気量となり、この規格は 1976 年まで継承された。この 1950 年台 60 年代には各社から様々な軽自動車が発売され (図 6)<sup>6)</sup>。このころは軽自動車エンジンも構造が簡易で出力が大きい 2 ストロークの割合が多かった。70 年には軽自動車の年間販売台数が 120 万台を記録した。しかし 1973 年から軽自動車にも車検制度が適用され、日本の所得水準の向上に伴い軽自動車から上級移行するユーザーも増えて、軽自動車の販売台数は減少傾向となった。その後 1976 年に排気量が 550cc に拡大、車体寸法も全長が 3.2m、全幅が 1.4m に拡大され、同時に昭和 50 年排出ガス規制が導入され、一部の軽貨物車を除き 2 ストロークエンジンから 4 ストロークエンジンへの変更が進んだ、軽自動車規格の変更によるエンジン排気量拡大 (360cc → 550cc) でも規格改定で大きく重くなった車体に伴いターボチャージャー (T/C)、機械式過給器 (S/C) 装着エンジンの仕様追加が進んだ。この時期ボンネットバンタイプの新型軽商用車が各社から発表され販売台数を拡大した。加えてこの時代には女性ドライバーの増加もあって、騒音振動面で有利な 3 気筒エンジンの搭載比率も増加した。

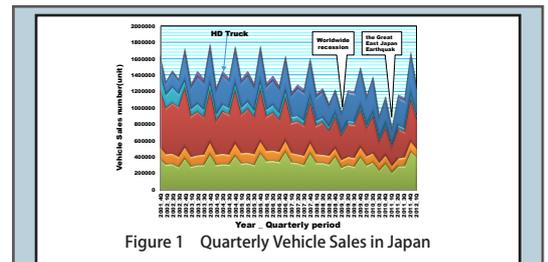


Figure 1 Quarterly Vehicle Sales in Japan

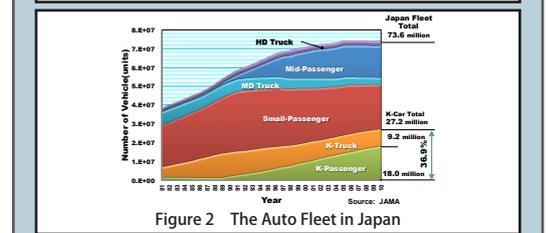


Figure 2 The Auto Fleet in Japan

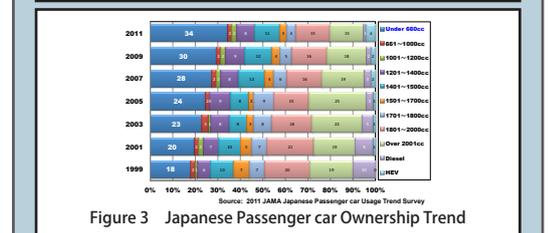


Figure 3 Japanese Passenger Car Ownership Trend

Table 1 History of Japanese K-Car Regulations

Date	Maximum length	Maximum width	Maximum height	Engine Maximum displacement	Maximum power
July 1949	2.8 m	1 m		150 cc 100 cc	
July 1950				300 cc 200 cc	
August 1951	3 m	1.3 m		360 cc 240 cc	n/a
April 1955			2 m	360 cc	
January 1976	3.2 m	1.4 m		550 cc	
March 1990	3.3 m			660 cc	47 kW
October 1998	3.4 m	1.48 m			

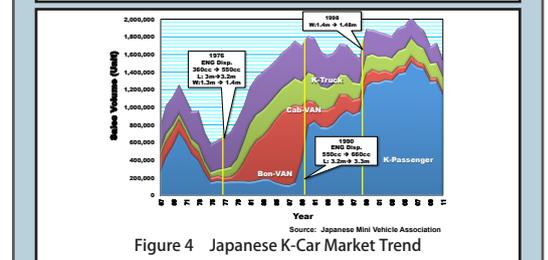


Figure 4 Japanese K-Car Market Trend

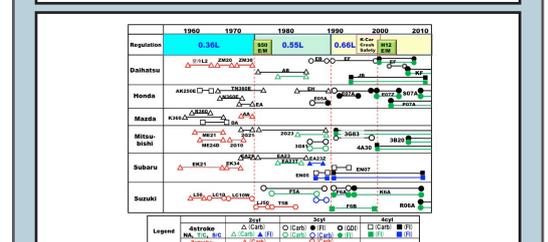


Figure 5 Japanese K-Car Engine Trend

Figure 5 Japanese K-Car Engine Trend

しかし1989年に消費税が導入されボンネットバンタイプの商用車系の税制メリットが薄れて、1990年の規格改定でエンジンの排気量が660cc、車体の寸法も全長が3.3mとなり、各社から新たな軽乗用車商品が発表され乗用車比率が大幅に増加した。1990年の規格改定の際にも前回の規格改定と同様に、大きく重くなった車体に対応し、新エンジンの生産開始から過給エンジンの仕様が準備された。さらに1998年の規制改訂で衝突基準も厳しくなり、車幅が1.48mへ拡大され、過給エンジンがすべての軽自動車メーカーから市販されるようになった。加えて2000年の平成12年排出ガス規制に適合するため燃料供給装置でキャブレター(Carb)は姿を消し、電子燃料噴射装置(FI)が標準となり、一部機種ではガソリン直噴(GDI)仕様も発売された。また軽自動車の乗用車比率の高まりに合わせ4気筒エンジン搭載車の比率も増加し、最近まで生産が続いた。1990年の規格改定以降各社から軽自動車の寸法制限枠内で、室内容積を大きくとるトールワゴンタイプの乗用軽自動車が発売されるようになり、現在軽自動車市場は多様な商品が市場に供給されている(図7)<sup>7)</sup>。

#### 4 軽自動車の使用実態

図8には日本で軽自動車の普及上位の都道府県と下位の都道府県の鉄道の普及と軽自動車の普及率の関係を示した。また図9には日本の都市規模に対しての人口の分布割合と軽自動車の保有割合を示した。さらに図10には住人への交通機関利便性へのアンケートで都市の規模毎に整理した結果を示す<sup>6)</sup>。概して公共交通機関が発達している大都市では軽自動車の普及は低く、公共交通機関の利便性があまり良くない中小都市で軽自動車の普及率が高い傾向が読み取れ、中小都市では軽自動車が重要な交通機関の役割を果たしていると言える<sup>8)</sup>。

図11には軽乗用車および軽自動車以外の乗用車の女性ドライバー比率の年次推移を示した。さらに図12にボンバンを含む乗用車型軽自動車、乗用・商用を合わせたキャブバン型軽自動車、軽トラックの主たる運転者の年齢割合の変化を示した。軽乗用車の約2/3以上は女性ドライバーが占めている。高齢化が進む日本の重要な交通機関として軽自動車の使い勝手を反映してか、乗用車、バン、トラックを問わずドライバーの年齢は高齢化しており、2011年度の結果では軽トラックの運転者の平均年齢が60歳で、運転者の6割が60歳以上で、70歳以上の運転者比率が3割近いという結果になっている。

#### 5 今後の軽自動車技術展望

最近ではハイブリッドカー(HV)、電気自動車(EV)に続き、軽自動車においても「第3のエコカー」と呼ばれる内燃機関の効率を大幅に改善し、車体の軽量化、変速機の効率改善、アイドリングストップやクルマ全体の観点からエネルギーマネジメントを行う技術を組み合わせ、電気モーターを使わずHVに迫る燃費を実現している軽自動車も発売されて軽自動車の市場も活況を示している。一方高齢化の問題は日本が世界に先駆けて直面する大きな課題であるが、反面技術でこの課題を克服する方法を開発できれば、その技術を採用した商品はこれから世界に先駆けることができる大きなビジネスチャンスのポテンシャルを持っている。低価格で、信頼性が高く、交通の便が悪い地域の高齢者の日常生活を支えている日本独自の軽自動車が、今後高齢運転者の特質に合わせた新技術を取り入れ、世界各国の市場対応を行い、低燃費の次世代自動車技術として日本に続き高齢化が進んで行く世界各地の市場で世界をリードすることを祈念する次第です。

#### 参考文献

- 1) 自工会データベース
- 2) 自動車検査登録情報協会
- 3) 全国軽自動車協会連合会
- 4) 自工会 2011年度乗用車使用実態調査
- 5) 自動車諸元表より抜粋
- 6) 各社WEBより
- 7) 自動車諸元表より抜粋
- 8) 自工会 2011年度軽自動車使用実態調査



Figure 6 Historic K-Car in Japan (1950's to 60's)



Figure 7 Historic K-Car in Japan (1980's to current)

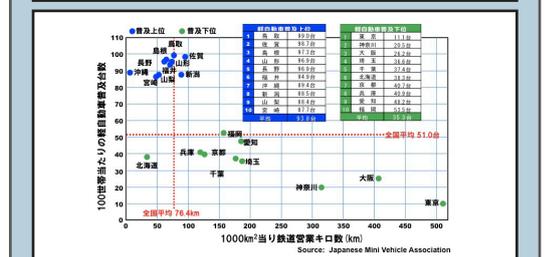


Figure 8 Historic K-Car in Japan (1980's to current)

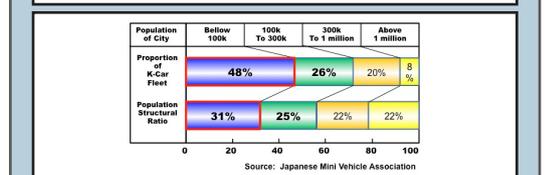


Figure 9 the Relationship between the proportion of K-Car Fleet and Population of Japanese City

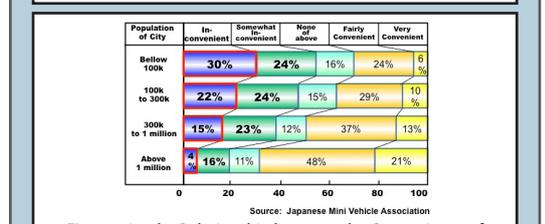


Figure 10 the Relationship between the Convenience of Public Transportation and Population of City

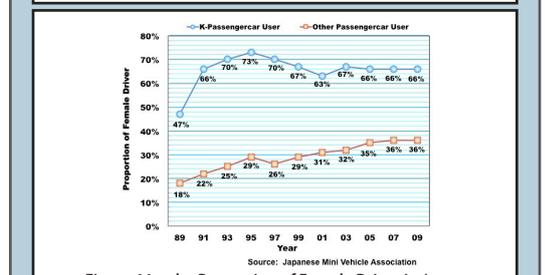


Figure 11 the Proportion of Female Driver in Japan

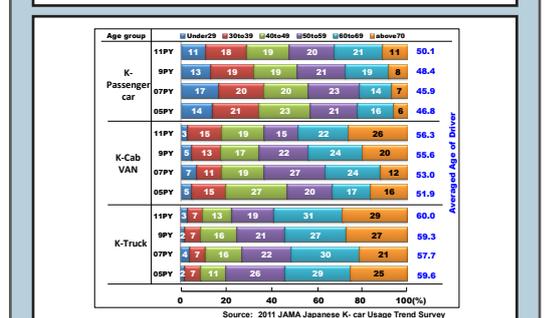


Figure 12 Aging Trend of Japanese K-Car Driver

# 特集：軽自動車のエンジン — 低価格と低燃費の極限を求めて — 軽自動車「ミラ・イース」用エンジンの低燃費化

“K-car Engine” -Pursuit of the Ultimate Low Fuel Consumption with Affordable Price-  
The New Engine Technology of Low Fuel Consumption for “MIRA e:S”

ダイハツ工業（株）開発部：右畑 真文，内田 克己

Masafumi MIGIHATA, Katsumi UCHIDA (Development Div. Daihatsu Motor Co.,Ltd.)

## 1 はじめに

軽自動車の規格は、1949年に発令された運輸省令を基点に、安全性の向上や低公害化が段階的に織り込まれてきた。当初4サイクルで150cc以下（2サイクルは100cc以下）であった排気量は、数回の規格見直しを経たのち、1990年には現在の660ccへと拡大された。その後1998年の車体寸法の改定後も各社は高効率・低コスト化にしのぎを削り、ダイハツ工業もまたこれらの規格を満足しつつ、お客様の多様な声に応えるべく多くのバリエーションのクルマとエンジンを開発・発売してきた。

一方、2008年の世界的金融危機や2011年3月の東日本大震災とそれに伴うエネルギー危機は、低価格かつ低負荷環境車への開発を加速する大きな要因となっている。もはや“低燃費”は付加価値ではなく、必要条件として広く市場に認知されている。

## 2 開発の背景

軽自動車は本来、シンプルな技術を低コスト・コンパクトで実現することでその存在をアピールしてきた。図1は、2008年度の軽・登録車を含む車両重量と燃費の関係を示している。ここで、軽自動車の中でも約1000kg付近の軽自動車は、同等重量の小型乗用車よりも燃費性能で劣っており、また主力である低燃費の軽自動車でも、ハイブリッド車の燃費には一歩及ばない。一方、図2に示すように、登録車やハイブリッド車はコストパフォーマンスの面でも従来軽自動車と遜色ないことから、今回の新型軽自動車はその相関線を大きく上回る、図中左上のゾーンを開発ターゲットとした。

今回の企画では、お客様のニーズはもとより、軽自動車の原点に立ち返り、低価格・低燃費の両立で“軽”の存在意義を社会的にアピールし、同時に『ダイハツ＝低燃費』の企業イメージ構築を図る事も開発の狙いとした。

図3に、軽自動車の走行時エネルギーの損失を示す。本開発では“JC08モードで30km/L走行の実現”を目標に設定し、供給熱量＝燃料消費を減らすべく、車体・エンジン・伝達系の各分野連携の下で様々な損失の把握とそれらの低減を推進した。本稿ではエンジン技術の取り組みを中心に紹介する。

## 3 エンジン技術

### 3.1 主要諸元

表1に旧モデルと新開発エンジンの主要諸元比較を示す。今回の燃費改善のために、圧縮比の向上とフリクションの低減、外部EGRの採用等を織り込んだ。また常用域の燃費向上を図るため、最高出力回転数の低回転化と共に、最高出力も許容範囲内で下げた。

### 3.2 燃費向上技術

エンジンの熱効率改善のため、各種の損失低減に取り組んだ。新規デバイスによるコストアップを極力抑制し、エンジン素性の改良で燃費を向上させるために、時間損失、ブローダウン損失、ポンプ損失、およびフリクション損失の低減に取り組んだ。

まず時間損失の低減では、高圧縮比化と高負荷運転時のノッキング抑制を両立するため、筒内の燃焼可視化テストから得られた情報を元に、燃焼室の薄肉化とエッジの除去を実施し

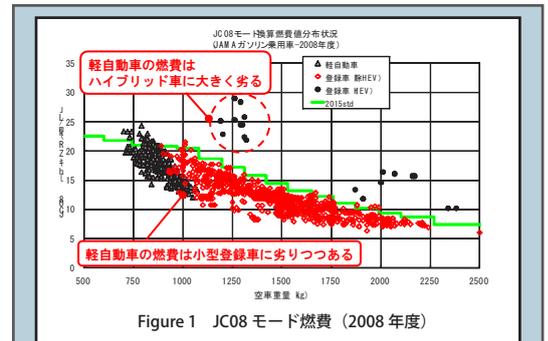


Figure 1 JC08 モード燃費 (2008年度)

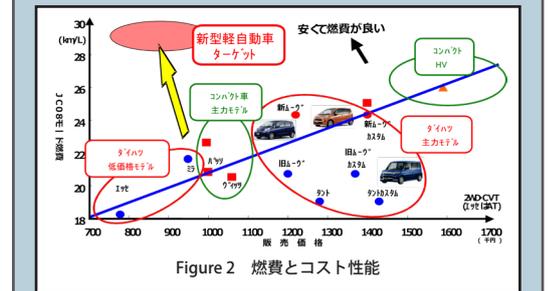


Figure 2 燃費とコスト性能

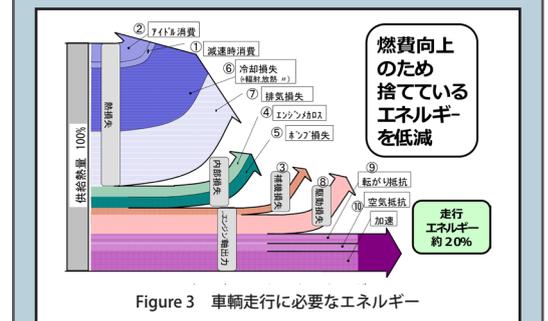


Figure 3 車輛走行に必要なエネルギー

Table 1 エンジン主要諸元

エンジン型式	新開発エンジン	従来エンジン
種類	KF-VE 自然吸気	KF-VE 自然吸気
種類	水冷3リットル4気筒	水冷3リットル4気筒
燃焼室形状	ヘンリッパ形	ヘンリッパ形
弁機構	DOHC/フェン駆動 12バルブ(N2, EX2)	DOHC/フェン駆動 12バルブ(N2, EX2)
総排気量(cc)	658	658
内径×行程	φ63×70.4	φ63×70.4
圧縮比	11.3	10.8
最大トルク(Nm/rpm)	60/5200	65/4000
最高出力(kW/rpm)	38/6800	43/7200
シリンダヘッド	直打バルブ シムレスリフト M12ロングリーチ点火プラグ	直打バルブ シムレスリフト M12ロングリーチ点火プラグ
シリンダロック	67 間冷却有 オフセット有	67 間冷却無 オフセット有
主運動系	シャフト径 φ39 ピン径 φ35	シャフト径 φ39 ピン径 φ35
駆動系	吸気VVT マイルドハイブリッド4×3リットル	吸気VVT マイルドハイブリッド5×4リットル
排出系	外部EGR有	外部EGR無

た(図4)。これにより圧縮比を0.5向上させることができた。またCFDを活用し、ピストン頂面形状等の見直しによる筒内流動の強化で得られた燃焼期間の短縮や、微粒化インジェクタの採用による壁面付着抑制も圧縮比向上に貢献した。

ブローダウン損失の改善は、一般的な手法である排気弁開き時期を遅らせることで実現した。但し排気弁開閉の区間(作動角)を維持すると、吸気上死点でのオーバーラップ拡大によりアイドル中の燃費が犠牲になる。これを避けるために排気カム作動角を縮小した影響で最高出力がやや低下したが、車両動力性能の面で許容範囲内に留めた。

ポンプ損失の低減には、吸気弁側の連続可変バルブタイミング機構(WVT)による内部EGRに加え、排気ガスを再循環させる外部EGRを採用した。そのEGRシステムを最大限に活用するため、今回、ダイハツの独自技術である『イオン電流燃焼制御』を改良した『i-EGR制御』を開発し採用した。これは燃焼で発生するイオンを直接モニターすることで燃焼変動を検出する制御であり、これまで部品の流量バラツキを考慮して、燃費最良点から余裕を持ったポイントに適合していたEGR量を、より最良点近傍に近づける事を可能にした(図5)。

EGRによる燃費最良点すなわち燃焼限界近傍では、燃焼変動による図示平均有効圧(Pi)のサイクル間変動が大きくなり、これによる車両駆動系への振動がサージと呼ばれる現象を引き起こす。このPi変動を検出するi-EGR制御は、そのシステム構成をシンプルにするためイオン生波形を矩形整形し、主燃焼が開始するクランク角度が適正範囲になればEGR流量を抑制する簡便な手法を用いている。この新制御方式の採用で、モード燃費を約0.6%向上(10・15モード比較)することができた。

フリクション低減では、ピストンスカート部の低剛性化、シリンダボア変形の抑制によるピストンリングの低張力化、タイミングチェーンの細幅化とプレート数低減など、細部にわたる見直し・改良を織り込んだ。その結果、主に動弁系とピストン周りの改良により、約4%の燃費改善を達成した(図6)。

以上の各損失低減により、従来エンジン比で約10%の燃費向上を達成した。また、これらの織り込みは、比較的軽量のCVT車両で多用される『低速・低中負荷』にて大幅な燃費率改善を得ることができ、実用燃費の改善にも有効となった。(図7)

### 3.3 低コスト化技術

先に述べたように、軽自動車は低燃費でかつ低価格でなければならない。エンジン本体の低コスト化の取り組みとして、これまではモジュール化と呼ばれる周辺部品の一体化構造を進めてきたが、今回はシリンダヘッドの一部をEGRバルブのハウジングとするビルトイン構造(図8)や、樹脂スロットルボディの温水配管廃止のため、吸気系周辺部品での水分トラップ構造を織り込むなど、地道な改良を織り込むことで、求められるコスト目標を達成させた。

### 4 その他の技術

今回のミラ・イースでは、エンジンのみならず、伝達系・車体軽量化にも多くの改良を織り込んだ。

新アイドルストップ機構は、車両が停止する前のユーザー操作や走行条件を詳細に検出することで、より早期にエンジンを停止する事を可能とした(図9)。これを実現するため、CVT本体の改良に加え補助電源一体型ECUを採用し、軽自動車らしいシンプルかつ低コストなシステムとなっている。

車体の軽量化に関しては、他社競合車との相違からパッケージ寸法を見直し、またボディ骨格や内装部品の徹底した軽量化・適正化を図ることで、従来車から約60kgの低減を達成した(図10)。

### 5 第3のエコカー

以上に述べた新技術やダイハツ独自技術の採用により、「ミラ・イース」は30km/Lの低燃費を達成した。われわれはこれをハイブリッド車・電気自動車に次ぐ『第3のエコカー』というキャッチフレーズの下で発表し、多くのお客様に認知され、またご好評を戴いている。

### 6 将来への取り組み

図11にダイハツのパワートレインロードマップを示す。低CO2化に向けたエンジンの効率改善には、各社で様々な手法やデバイスが開発されているが、軽自動車への適用にはシンプルかつ低コストであることが要求される。現時点では、排ガス処理に複雑なシステムを必

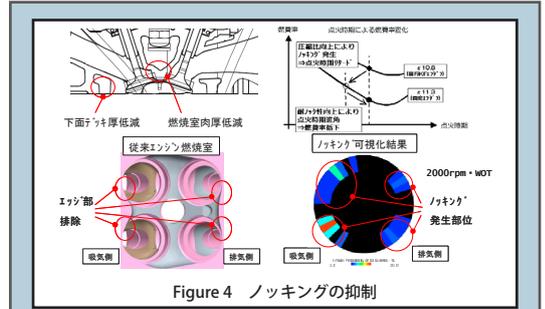


Figure 4 ノッキングの抑制

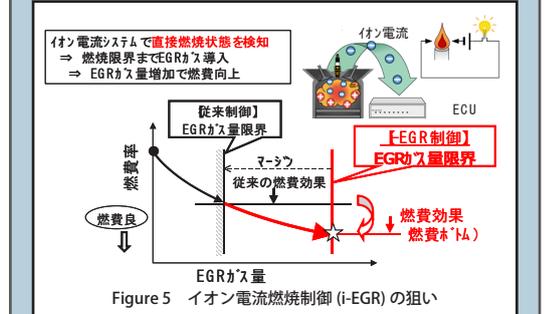


Figure 5 イオン電流燃焼制御(i-EGR)の狙い

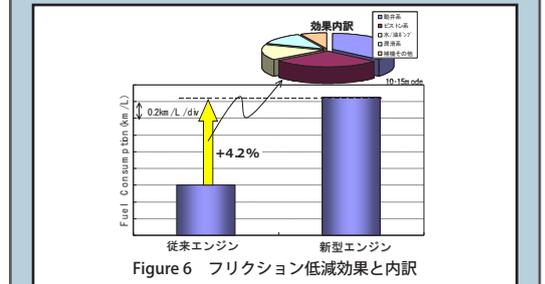


Figure 6 フリクション低減効果と内訳

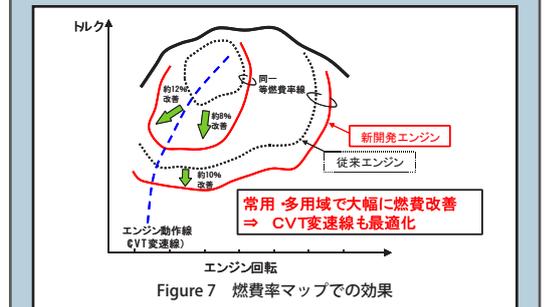


Figure 7 燃費率マップでの効果

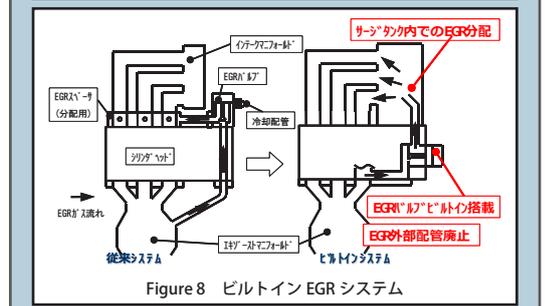


Figure 8 ビルトインEGRシステム

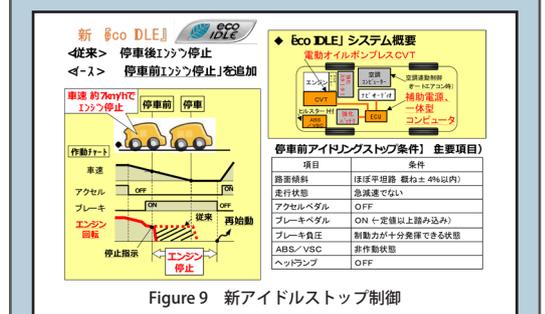


Figure 9 新アイドルストップ制御

要としない EGR の活用が一つの解と考え、更なる大量 EGR 燃焼を実現する強力な点火システムを中心に次世代エコエンジンを開発している。

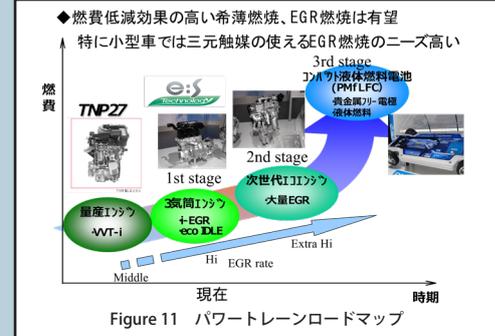
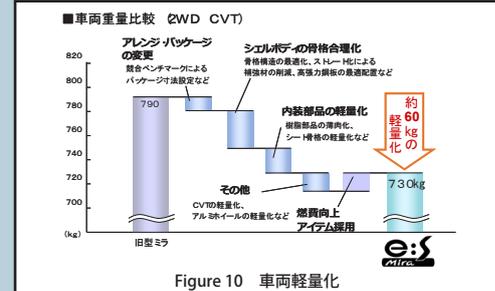
さらに、将来技術の一つとして、貴金属フリーと液体燃料が実現できるアニオン型の燃料電池の先行開発も行っており、2011年の東京モータショーへ参考出品した。これは、液体燃料ゆえエネルギー密度が高いことで従来車と同様の航続距離を目指すと共に、脱貴金属触媒によって低コスト化を実現するといった軽に相応しい燃料電池と考えている。

### 7 おわりに

今回のミラ・イス発表以降、低燃費化の技術競争は『JC08 モードで 30 km/L』がひとつのスタンダードとなった。ミラ・イス発売を皮切りに各社の燃費性能は急速に向上し、軽自動車の燃費は、もはやハイブリッド車並となっている。

しかし、われわれの技術はまだ多くの分野で遅れをとっており、更なる新技術の創出と同時に従来技術の磨き上げや原理原則に基づいた基本性能の向上が不可欠である。そうした技術開発を通じて、これからも多くのお客様に必要とされる軽自動車を創り出し、その存在価値を更に高めていきたいと考えている。

最後に、今回のミラ・イスの開発にあたり、ご協力戴いた関係会社の皆様に心よりお礼申し上げます。



# 特集：軽自動車のエンジン — 低価格と低燃費の極限を求めて — 新型ワゴン R 用エンジンの紹介

“K-car Engine” -Pursuit of the Ultimate Low Fuel Consumption with Affordable Price-  
Introduction of the engine for new “wagon R”

スズキ(株) 四輪エンジン第一設計部：田中 竜司

Ryuji TANAKA (SUZUKI MOTOR CORPORATION)

## 1 はじめに

CO<sub>2</sub> 排出量削減の対応やガソリン価格の高騰から、自動車の燃費向上が至上命題となっている。この命題に応えるため、軽自動車用に新型エンジン R06A<sup>1)</sup> を開発し、2011 年 1 月に MR ワゴンに初搭載した。2011 年 12 月には改良を加えてアルトエコに搭載した。このたびさらに改良を施して新型ワゴン R に搭載した。本稿では新型ワゴン R の低燃費化の取り組みと、R06A エンジンの低燃費技術について説明する。

## 2 新型ワゴン R の低燃費化の取り組み

新型ワゴン R (図 1) は「軽ワゴン低燃費 No.1 新世代エコカー」を開発コンセプトとし、環境に配慮しながら、さらに便利で楽しいクルマを目指す、スズキの新技术の総称「スズキグリーンテクノロジー」の下に、開発した技術を集結させた。

「スズキグリーンテクノロジー」は環境技術、低燃費化技術、軽量化技術の総称で、図 2 に示す項目で燃費向上を図っている。

### 1) エンジン & CVT の高効率化

エンジンを従来型 K6A から新型 R06A の改良版に変更し、フリクションを低減する。CVT も改良版に変更し、低粘度オイルを採用するなど、フリクションを低減する。

### 2) 新アイドリングストップシステム

車両停止前の減速時に、速度が 13km/h 以下になるとエンジンを自動で停止する。燃料カット領域を拡大することで燃料消費を抑える。

### 3) エコクール

アイドリングストップ中、エアコンが停止し送風状態になったとき、蓄冷材を通した冷風を室内に送ることで車室内の温度上昇を抑制する。エンジンの再始動時期を遅らせることで燃料消費を抑える。

### 4) エネチャージ

アイドリングストップ車専用の鉛バッテリーに加え、高効率なリチウムイオンバッテリーと高効率・高出力のオルタネータを新たに採用し、燃料カット中の車両減速時に集中して発電および充電をすることで、走行時の発電に使用する燃料を減らす。

### 5) 軽量化

ボディ、エンジン、足回り、内装部品など、車両全体の細部にわたり徹底した軽量化を実施し、車両全体で最大 70kg の軽量化を図る。

### 6) 走行抵抗低減

フロントハブ一体構造車軸ベアリングの採用に加え、リヤ車軸ベアリングの構造見直しなどにより回転抵抗を低減する。また低転がりタイヤの採用や空力に優れたボディ形状とし、走行抵抗低減を図る。

## 3 R06A エンジン概要

R06A エンジンは燃費向上を最優先目標に掲げ、また 1 L クラスのコンパクトカーに引けをとらない動力性能を有すること、コンパクトカーと同等以上の静粛性、クラス最軽量を目指して開発したエンジンである。

基本構造ではショートストロークだった従来型 K6A に対し、新型 R06A はロングストロー



Figure 1 新型ワゴン R



Figure 3 R06A エンジン外観

Table 1 諸元比較

	新型 R06A	従来型 K6A
排気量 (cc)	658	658
ボア × ストローク	Φ64 × 68.2	Φ68 × 60.4
圧縮比	NA: 11.0 / TC: 9.1	NA: 10.5 / TC: 8.9
シリンダヘッド	DOHC 4バルブ	DOHC 4バルブ
スパークプラグ	直打シムレス	直打アウトアージム
シリンダブロック	M10ロングリーチ ティアフスカー ベアリングキャップ	M12ロングリーチ ハーフスカー ラダーフレーム
クランクシャフト	鍛造	NA: 鍛造 / TC: 鋳造
ジャーナル×ピン	Φ38 × Φ32	Φ45 × Φ38
動弁駆動系	NA: 吸排気VVT TC: 吸気VVT	NA: 吸排気VVT TC: VVT無し
	サイレントチェーン	ローラチェーン

クに変更した。また、膨張行程でのピストンサイドフォースを低減するため、シリンダブロックのライナ中心とクランクシャフト軸心をずらすオフセットクランク構造を採用した。

燃焼システムでは、軽自動車でも初となる細径 M10 ロングリーチ点火プラグ<sup>2)</sup>を燃焼室冷却向上などのために採用した。ポンピングロス低減と低速トルク向上のために、NA では軽自動車初となる、吸気と排気、両側への可変バルブタイミング機構 (VVT)<sup>3)</sup>を採用した。TC は吸気側のみ VVT を採用した。図 3 にエンジンの外観を示す。表 1 にエンジン主要諸元の新旧比較を示す。

#### 4 燃費向上技術

NA エンジンを従来型の K6A から R06A に変更することで、熱効率向上により JC08 モード燃費が約 6% 向上する。その内訳は、ノッキング抑止など燃焼改善により 2.5% 向上、吸排気 VVT 採用でポンピング損失低減により 2.5% 向上、細軸クランクシャフトなど部品細部に至るフリクション低減により 1% の向上である。

R06A の正味燃料消費率 (BSFC) について、従来型 K6A からの向上率を図 4 に示す。高圧縮比化、燃焼改善、フリクション低減によって低負荷では 10% を超える向上を得た。高負荷ではノッキング抑止効果で向上率が高くなった。

##### 4.1 燃焼改善

燃焼系の開発は、全運転領域での燃料利用率の向上、低負荷と内部 EGR を多く筒内に残す中負荷での燃焼期間の短縮、低回転速度高負荷でのノッキング抑止を重点に行なった。R06A で採用した主なノッキング抑止アイテムを表 2 および図 5 に示す。

筒内流動はタンブル流 (縦方向の渦流) を強くしたほうが低負荷や大量 EGR 下での燃焼には有利だが、高負荷ではノッキングが発生しやすくなる。また、吸気ポートは NA と TC で共通であり、高流量を維持したい。R06A では吸気ポート通路断面積を絞ることで流動を強化するとともに、図 5 に示すように燃焼室吸気バルブ側面に吸気シュラウドスキッシュを設けタンブル比を調整した。図 6 は下死点付近で吸気バルブが低リフトでもタンブルを維持する流れを形成していることを示した CFD 解析の結果である。吸気バルブが低リフト時には、シリンダボア壁面付近の流れが抑制され、相対的にボア中央部の流れが強くなっていることが分かる。これが筒内のタンブル流強化の源である。

中低速の高負荷域では、前述の筒内吸入空気流のタンブル比などの調整で、図 7 上段のとおり、火炎伝播が点火プラグを中心に 360 度等方的に進ませ、燃焼室エンド部全周への火炎伝播到達時間を合わせることで、図 7 下段に示すとおり、特定箇所に集中してノッキングが発生することを避けた<sup>4)</sup>。全負荷トルク向上と同時に、高負荷で点火時期が最適に近づけられ、燃費向上に結びついている。

##### 4.2 ポンピングロス低減

図 8 に吸気 VVT だけの従来エンジン (NA) と、吸排気 VVT を採用した R06A (NA) の指圧線図の差を示す。バルブオーバーラップを残しながら、吸気弁の遅開き、遅閉じによって、大幅にポンピングロスが低減していることが分かる。正味平均有効圧 0.3MPa、2000rpm の条件下では 20% 近くの大幅なポンピングロス低減が達成できた。

##### 4.3 フリクション低減

表 3 に示すフリクション低減アイテムを採用し、NA では図 9 に示すように従来エンジンに対しフリクションを最大 16% 低減させた。

#### 5 エンジン改良項目

新型ワゴン R では、ベースエンジンである R06A に対し、さらにフリクション低減を主体に改良を施した。表 4 に示すように、エンジン細部にまで多岐にわたって見直しを行った。これらの改良を施して、ベースの R06A エンジンに対してメカニカルフリクションを 5 ~ 10% 低減した。以下に主要なアイテムを紹介する。

##### 5.1 バルブトレイン・カムドライブ系

R06A エンジンの持つトルク特性と CVT との制御の最適化を行い、走行性能はそのまま、最高出力回転数を従来の 6500rpm から 6000rpm へと低回転化させた。これにより動弁系の

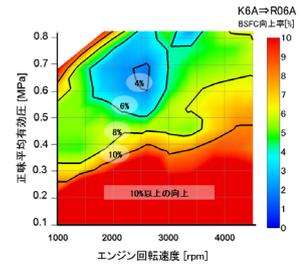


Figure 4 K6A からの燃料消費向上 (NA)

Table 2 ノッキング抑止アイテム

ノッキング影響因子	対応アイテム
燃焼室形状	小径ボア/ロングストローク
冷却	排気側優先冷却水通路
	小径 M10 ロングリーチプラグ
	エンジン出口サーモスタット
筒内流動	吸気ポート高流動化
	燃焼室形状高流動化
ガス交換	吸排気 VVT カム採用
混合気	燃料微粒化
	吸気ポート燃料ウェット低減
制御	ノックセンサ信号 SN 比向上

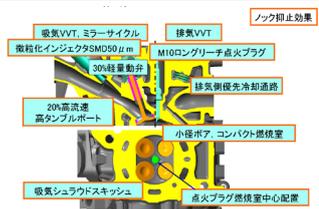


Figure 5 燃焼改善アイテム

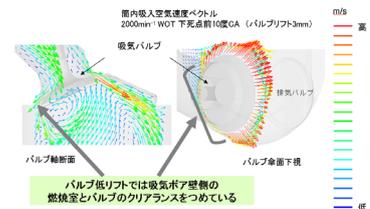


Figure 6 流動強化 CFD 検討

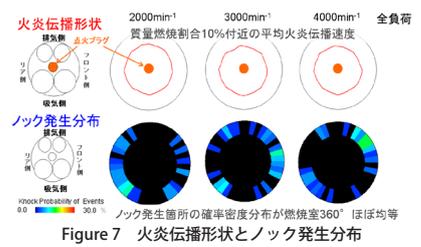


Figure 7 火炎伝播形状とノック発生分布

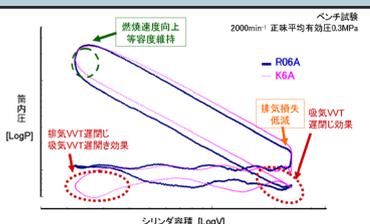


Figure 8 吸排気 VVT によるポンピングロス低減 (NA)

Table 3 フリクション低減アイテム

対応部位	採用アイテム
バルブトレイン系	往復運動部の軽量化によるスプリング荷重低減
	バルブシステム細輪化による摺動面積低減
カムドライブ系	タイミングチェーン背面歯面粗度向上
	タイミングガイド摺動部材の低μ化
	タイミングチェーン歯力の最適化
ピストン・コンロッド	大径の小径化による摺動面積低減
	軽量化による慣性重量低減
	ピストンリング低強化及び表面処理による低μ化
	ピストンスカート形状の最適化
クランクシャフト	ピストンスカートコーティングによる低μ化
	ジャーナル小径化による摺動面積低減
	オイルシール摺動部小径化及びコーティングによる低μ化
オイルポンプ	偏心油溝付主軸ベアリングによるオイルリーク量低減
	ロータ小径化による摺動面積低減
	リリーフ圧低減によるポンプ仕事低減

挙動限界を下げる事ができ、バルブスプリング荷重を 25%低減した。

また、バルブスプリング荷重の低減によりカムシャフト駆動トルクが低減されたこととチェーンアジャスタ荷重の見直しにより、チェーン張力を 3%低減した。

### 5.2 主運動系

ピストンスカート部の樹脂コーティングは、当初は均一に塗布していた。これをアルトエコでは波状パターンに変更し、油膜の保持性を向上させてフリクションを低減した。新型ワゴン R では新たなコーティングパターンを考案した。図 10 にピストンコーティングの変遷を示す。図 11 に示す新パターンとすることで、オイルの流れを制御する。これによりエンジン運転時に油膜が薄くなるピストン中央部のオイル保持量を増加させ、フリクションを低減した。ピストンリングは張力を 5%下げ、フリクション低減を図った。

クランクシャフトのジャーナルベアリングに関しては、最高出力回転数の低下により、ジャーナル摺動部面積（ベアリング幅）を 10%低減した。

### 5.3 オイルポンプ

オイルポンプでは、図 12 に示すようにインナーロータの位置決めガイド部を廃止するインローレス化を実施し、ガイド部でのフリクションを削除した。またロータ自体のフリクションを低減するため、ロータ外径を 5%縮小した。さらに油圧特性の見直しを行い、リリーフ構造を 2 段化することで、オイルポンプの仕事量を減らした。

### 5.4 制御適合

インジェクタ噴霧見直しによる吸気ポート燃料ウェット低減によって、冷機時燃料噴射量を低減させた。また、ノックセンサ信号の S/N 比向上によってより緻密なノック制御性を実現、これによる進角効果により、中・高負荷域での燃費向上を図った。

## 6 おわりに

フリクション低減を主体とした改良と適合条件の最適化により、JC08 モード燃費が約 1% 向上し、K6A に対し JC08 モードで 7%の向上となった。

パワートレインを筆頭とした車両全体での燃費向上開発の結果、ベース車両（2WD CVT アイドリングストップ有）の JC08 モード燃費 23.6km/L に対し、22%の向上となる 28.8km/L を達成した。これは軽ワゴントップの燃費値※ 1 である。

（※ 1：軽ワゴン = 全高 1,550mm 以上のハイト型 2BOX 軽自動車。JC08 モード走行燃費。2012 年 9 月現在、スズキ調べ）

アルトエコ、新型ワゴン R で R06A エンジンの改良を続けてきた。開発を通してガソリンエンジンの燃費向上のためにやるべきことはまだまだ山積していることを実感している。今後さらなる改良を続けていく所存である。

### 【参考文献】

- 1) 田中竜司, 大平哲也：新世代軽自動車用 3 気筒ガソリンエンジンの開発, 自動車技術会シンポジウムテキスト, No.12-10, p.17-22 (2011)
- 2) 島ノ上泰英, 松原佳弘, 松谷渉, 鈴木隆博：高着火性細径スパークプラグの開発, 自動車技術会論文集, Vol.36, No.1, p.9-14 (2005)
- 3) 加納知広, 遠藤浩二：感性に合う快適な走り ZR エンジンの開発, Toyota Technical Review, Vol.55, No.1, p.90-93 (2006)
- 4) 野口究, 大平哲也：4 弁エンジンの輝度解析によるノック特性の考察, Suzuki Tech Rev., Vol.31, p.44-48 (2005)

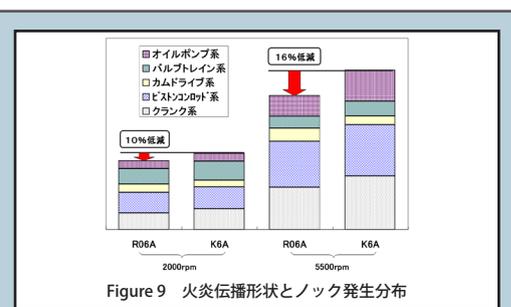


Figure 9 火炎伝播形状とノック発生分布

Table 4 R06A ベースエンジンからの改良項目  
(○：採用、—：不採用)

対応部位	採用アイテム	NA	TC
バルブトレインカムドライブ系	バルブスプリングの荷重低減 25%	○	—
	タイミングチェーン張力の低減 3%	○	○
主運動系	カムジャーナルの面粗度向上	○	○
	ピストンスカートへのパターン印刷	○	—
	ピストンリング張力の低減 5%	○	—
	クランクジャーナルメタル幅の縮小 10%	○	—
オイルポンプ	クランクジャーナルの面粗度向上	○	○
	ロータの小型化・インローレス化	○	○
	リリーフ構造の 2 段化	○	○
	低フリクションオイルシール	○	○



Figure 10 ピストンコーティングの変遷

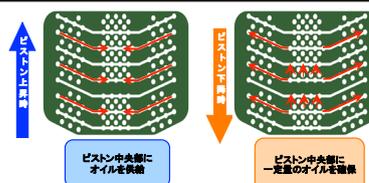


Figure 11 ピストンコーティング新パターン

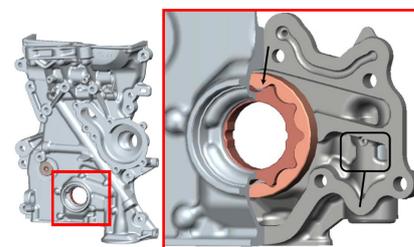


Figure 12 オイルポンプ構造

# 特集：軽自動車のエンジン — 低価格と低燃費の極限を求めて —

## 軽自動車用新型 DOHC VTC エンジンの開発

*"K-car Engine" - Pursuit of the Ultimate Low Fuel Consumption with Affordable Price-  
Development of DOHC VTC 0.66 L Gasoline Engine for New K-car*

(株) 本田技術研究所 四輪 R&D センター：荒井 稔，田岸 龍太郎，小林 重実，飯生 順也

Minoru ARAI, Ryutaro TAGISHI, Shigemi KOBAYASHI, Junya IINO (Honda R&D Co.,Ltd)

### 1 要旨

環境性能（低燃費，低排出ガス）と高出力を両立する軽量，コンパクトな軽自動車用 0.66 L 3 気筒 DOHC VTC ガソリンエンジンを開発した。新型エンジンは新開発の軽自動車用 CVT との組み合わせを前提とし，ロングストローク骨格に吸気側 VTC，燃焼改善およびフリクション低減技術を適用することで，自然吸気エンジンにおいて最大トルク 65 Nm，最高出力 43 kW の高出力とともに従来型エンジンに対し燃料消費率を 10% 改善した。

### 2 まえがき

近年の自動車用エンジン開発においては環境保護のための排出ガス低減技術および地球温暖化の原因となる CO<sub>2</sub> 削減のための低燃費技術が重要となっている。また，原油価格高騰などにより，日本国内での軽自動車の需要は高まっており，環境性能の向上は急務である。これらの対応技術として，2004 年モデルの軽自動車 LIFE に搭載のエンジン<sup>1)</sup> はフリクション低減のためのショートストローク骨格と 2002 年モデルの Fit にも採用した 1 気筒あたり 2 本の点火プラグを持つことで急速燃焼化し高圧縮比を実現する i-DSI (Dual and Sequential Ignition)<sup>2)</sup> を採用した。ショートストローク型の i-DSI エンジンはシリンダボア径が拡大することから熱損失およびノッキングの観点では有利とは言えないものの比較的高回転領域を多用する 4 段変速オートマチックトランスミッションとの組み合わせにおいては低フリクションによる燃費の優位性があった。しかしながらさらなる燃費改善のためにはより低回転での運転と単体燃料消費率の改善が求められる。そのため新型エンジンでは低速トルクの向上と高負荷での単体燃料消費率向上を目指し，CVT との組み合わせにおいて燃費の改善を有効に得られるように開発を行なった。以下に新型エンジンに採用した技術について報告する。

### 3 開発のねらい

エンジン骨格の検討にあたり環境性能向上のため新型エンジンに求められる方向性を検討した。図 1 にエンジンの正味熱効率マップ上に 4 速オートマチックトランスミッションおよび CVT の 10・15 モード運転中のエンジン回転数と負荷の使用領域を重ねたものを示す。CVT を採用することにより同一駆動力における低回転高負荷運転が可能となり，正味熱効率の良い領域の使用頻度を上げることができる。そのため同一エンジンのままでも CVT の採用のみで燃費の向上は可能となるが，新型エンジンではより燃費改善効果を発揮できるよう低回転域の性能向上を目指した。図 2 に従来型エンジンにて測定した同一軸出力時の回転数に対するエンジン単体燃料消費率 (Brake Specific Fuel Consumption : BSFC) およびポンピング平均有効圧力 (Pumping Mean Effective Pressure : PMEP)，機械損失平均有効圧力 (Friction Mean Effective Pressure : FMEP) を示す。エンジン回転が低回転になるほど PMEP，FMEP が減少し BSFC は改善するが，ある回転数以下では改善が得られなくなる。これはノッキング回避のための点火時期遅角化によるものであり，ノッキングを改善することによりさらなる燃費改善のポテンシャルが存在する。また，ノッキングを回避する必要がない場合においても充填効率の限界により低回転化は制限される。このことから低回転運転による燃費効果を最大限に得るためにはノッキング改善と低速域での充填効率の向上，つまり低速トルクの向上が有効なことがわかる。以上のことから燃費性能の改善を目指した新型エンジンのねらいを下記の項目に定めた。

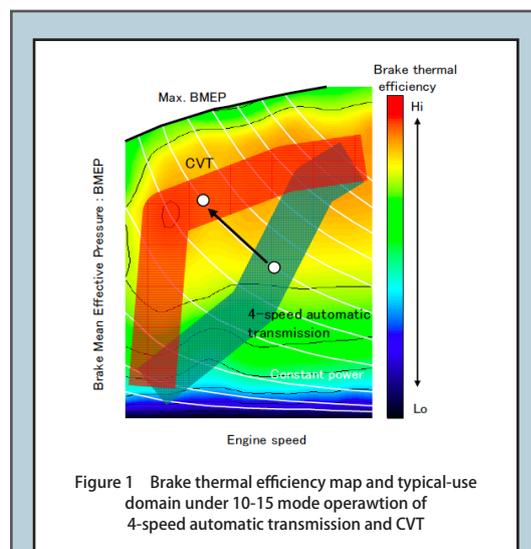


Figure 1 Brake thermal efficiency map and typical-use domain under 10-15 mode operation of 4-speed automatic transmission and CVT

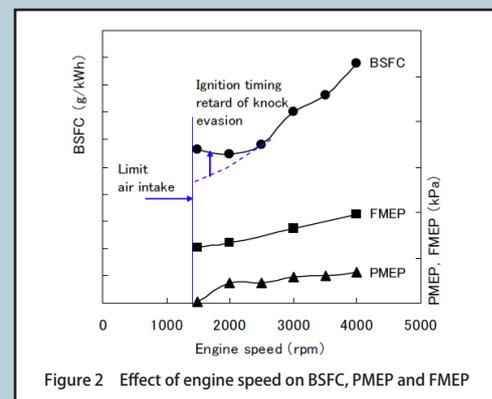


Figure 2 Effect of engine speed on BSFC, PMEP and FMEP

Table 1 Engine specifications

	Developed model	Previous model
Air intake system	Normal aspiration	Normal aspiration
Cylinder configuration	In-line 3-cylinder	In-line 3-cylinder
Bore × stroke (mm)	64 × 68.2	71 × 55.4
Displacement (cm <sup>3</sup> )	658	658
Compression ratio	11.2	11.2
Valve train	DOHC intake VTC	SOHC i-DSI
Number of valves	4 per cylinder	2 per cylinder
Valve diameter (mm)	in.	24.5
	ex.	20.5
Ignition system	Single-point ignition	Dual-point ignition
Max. power (kW/rpm)	43/7300	38/7000
Max. torque (Nm)	65/3500	60/3600

- (1) 低速トルク向上と最高出力の両立
- (2) 正味熱効率のさらなる改善

#### 4 エンジン概要と主要諸元

新型エンジンはねらいの性能を達成するために以下のようなエンジン骨格諸元および主要技術を適用した。

- (1) 吸気側連続可変バルブタイミングコントロール機構（以下VTC）の採用
  - ・掃気効果による低中回転域の充填効率向上
  - ・内部EGRによる熱効率向上
- (2) ロングストローク骨格
  - ・筒内流動強化によるノッキング改善と燃焼速度向上による熱効率改善
  - ・サーフェス/ボリウム比（以下S/V比）縮小による熱効率改善
- (3) DOHC 4バルブシリンダヘッド
  - ・スモールボアと最高出力の両立
  - ・タンブルポート
- (4) 各部フリクション低減

表1に従来型エンジンと比較した主要諸元、図3にエンジン外観図を示す。新型エンジンは燃焼改善を目的としたロングストローク骨格を採用しながらも従来型に対し高さを上げることなくコンパクト化を図った。

図4にシリンダヘッド断面図を示す。新型エンジンはローラロッカアームによるフリクション低減および油圧ラッシュアジャスタによるメンテナンスフリー化およびシリンダヘッドサイズの縮小を行っている。

図5に従来型と比較した燃焼室形状を示す。新型エンジンは従来型のストローク/ボア比（以下S/B比）0.78のショートストロークから火炎伝播距離短縮と筒内流動強化をねらったS/B比1.07のロングストローク型とした。またボアの縮小によるバルブ径の制限に対しては従来型の2バルブから4バルブとすることで対応した。インテークポートはタンブルポートとし筒内の流動強化を図った。燃焼室形状はF1技術の考え方を踏襲し、各バルブを中心に円錐形状を形成することで流れの制御を行い従来型のペントルーフ形状に対しS/V比および流量係数で優位性のある形状とした。

また、新型エンジンはMM思想（Man Maximum Mecha Minimum）に基づき全長の限られた軽自動車においてキャビン長を最大限に確保するためにエンジンのコンパクト化を図った。図3に示したように従来型に対し、長さ13mm、幅19mm、高さ10mmのコンパクト化を達成している。また、燃費改善に寄与する軽量化について一例ではあるが下記示す。

- ・シリンダブロック、オイルパン、チェーンケース等のアルミダイキャスト部品一般肉厚薄肉化
- ・オイルパン、チェーンケースの形状最適化シミュレーションを駆使しての剛性リブ最小化
- ・従来型ロアブロック構造に対しB/CAP構造化

以上を採用する事により従来型に対し14%の軽量化を達成した。

#### 5 出力特性

図6に従来型と比較した全開出力特性を示す。新型エンジンは従来型に対しVTCと吸気および排気系諸元の最適化により全回転域でトルク向上が得られ、最大トルクで8%、エンジン回転数2000rpmにおいては18%のトルク向上を達成し、目標とした低速トルクの強化が得られている。また、最高出力は従来型に対し13%向上しており低速トルクと最高出力を両立する特性を得ることができた。

##### 5.1 VTCによる充填効率向上

吸気VTC進角動作により吸気バルブの開くタイミングを制御し、排気バルブの閉じるタイミングをアイドル運転時のような低負荷で安定した燃焼が得られる限界まで遅く設定することで、オーバーラップ中に吸気ポート圧力が排気ポート圧力を上回る期間を長くし掃気効果を向上させている。図7に全開運転時の充填効率特性を示す。4バルブ化による効果が高速域で得られていることもあり従来型に対し全回転域で充填効率の向上を達成している。

##### 5.2 ノッキング改善

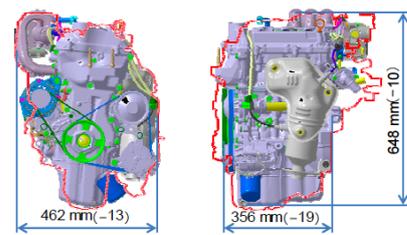


Figure 3 View of new engine and comparison of engine

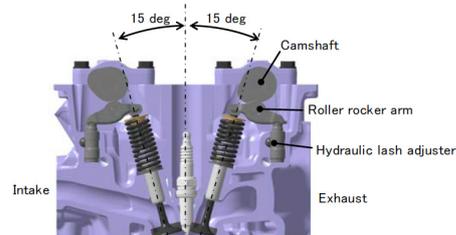


Figure 4 Sectional view of cylinder head

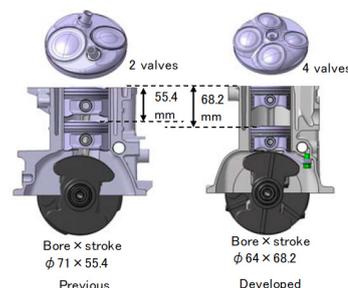


Figure 5 Comparison of combustion chamber configuration of previous and developed engine

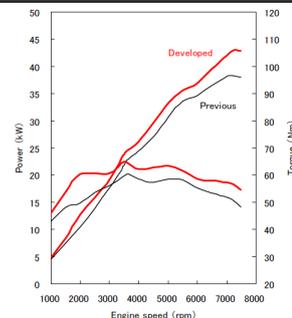


Figure 6 Comparison of engine performance

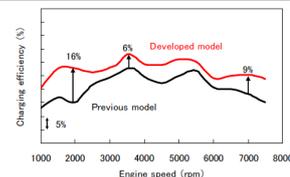


Figure 7 Comparison of charging efficiency

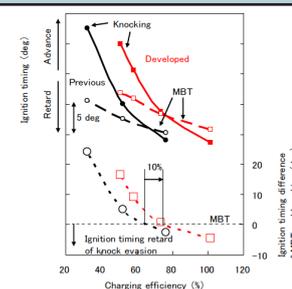


Figure 8 Characteristics of ignition timing versus charging efficiency

ロングストローク骨格による流動強化に加えピストンオイルジェットの採用および冷却水循環手法の変更によりノッキングの改善が得られた。図8にエンジン回転数 2000 rpm において充填効率を変化させて測定した点火時期特性を従来型と比較して示す。新型エンジンは従来型に対し Minimum advance for Best Torque (以下 MBT) よりもノッキング点火時期が遅角し始める充填効率を 10%ほど高負荷側にすることができた。

図9にピストンオイルジェット形状を示す。オイルジェットからのオイルはピストン裏の排気側を積極的に冷却するような方向に設定した。従来エンジンの間欠的にオイルを噴射するコンロッドジェットに対し、常時オイルが噴射されることでピストン裏へ付着するオイル量が増加し、ピストンの冷却効果が改善されノッキング点火時期を 1 deg 進角することができた。

図10に従来型と比較した冷却水循環システムを示す。従来型ではウォーターポンプで吐出した冷却水の全量がシリンダヘッドに入り、その後一部の冷却水がシリンダブロックへ配分される。シリンダブロック側面の冷却水はシリンダヘッド側、すなわち上方から流れ込むためヘッドガスケット近傍よりもウォータージャケット底部の流れが強い状態となる。新型エンジンではウォーターポンプから吐出された冷却水をシリンダブロックとシリンダヘッドに同時に配分する。シリンダブロックを流れる冷却水はウォーターポンプより直接シリンダブロックに流入し、ウォータージャケットに設けられたジャンプ台形状により上部へ跳ね上げられる。これによりガスケット面近傍に冷却水を積極的に流すことが可能になり、燃焼室の冷却効果を高めノッキングを改善することができた。

また、シリンダブロックのウォータージャケット上部のみスリーブ周囲のアルミ部を薄肉化することにより積極的に燃焼室の冷却を行うようにしている。

## 6 エンジン単体燃費性能

新型エンジンでは従来型エンジンに対し VTC による内部 EGR で 4%、燃焼改善およびフリクション低減で 6%と合わせて 10%の燃料消費率の改善を達成した。図11に従来型エンジンと新型エンジンの 2000 rpm の BSFC 特性を示す。

### 6.1 図示熱効率改善

図12に 2000 rpm, IMEP 710 kPa における従来型エンジンと VTC 進角をしない状態の新型エンジンの筒内指圧線図を示す。従来型に対し、ロングストローク化による S/V 比縮小などにより熱損失を 14%、筒内流動強化などにより時間損失を 5%、排気バルブタイミング最適化によりブローダウン損失を 70%低減することができた。さらに VTC による内部 EGR 効果が加わり、従来型エンジンに対し単体燃料消費率の改善が得られた。

### 6.2 フリクション低減技術

ショートストローク型で SOHC の従来型エンジンに対し、ロングストローク化によるピストンしゅう動抵抗増加、DOHC 採用による動弁系フリクション増加、油圧 VTC およびピストンオイルジェットの採用による要求潤滑油量、油圧の増加など、新型エンジンはフリクションの増加要素が多い。しかし下記の技術を採用することで従来型に対しメカニカルフリクションを 13%低減することができ 3.5%の単体燃料消費率の改善を得た。図13に従来型と比較した 2000 rpm でのメカニカルフリクションの解析結果を示す。

#### (1) クランク、オイルポンプ駆動

- ・高効率ロータ形状 2 段リリーフオイルポンプ
- ・下側偏心溝付クランクジャーナルベアリング二硫化モリブデンコーティング
- ・オイルシール低緊縛力化およびテフロンコーティング
- ・クランクジャーナル表面粗さ低減
- ・エンジンオイル低粘度化
- ・各部オイルもれ量最小化

#### (2) ピストンしゅう動抵抗

- ・ピストンスカート二硫化モリブデン千鳥配置パターンコーティング
- ・ピストンクリアランス最適化
- ・ピストンリング低張力化

#### (3) カム駆動

- ・タイミングチェーン細幅化

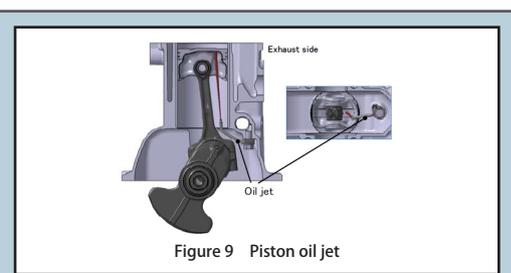


Figure 9 Piston oil jet

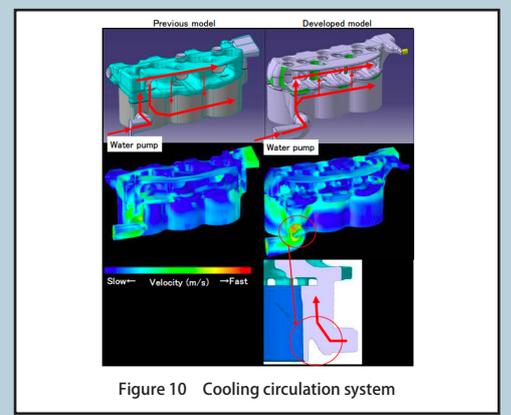


Figure 10 Cooling circulation system

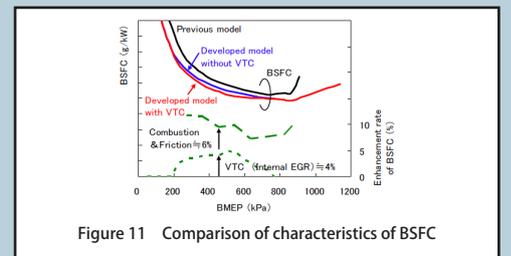


Figure 11 Comparison of characteristics of BSFC

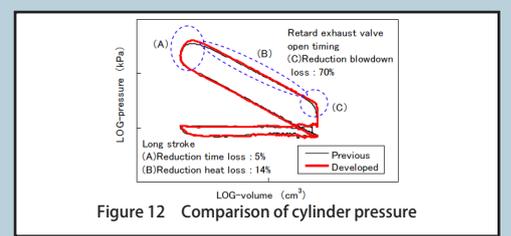


Figure 12 Comparison of cylinder pressure

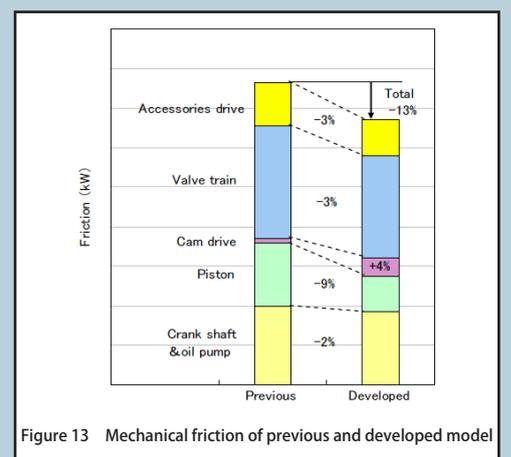


Figure 13 Mechanical friction of previous and developed model

- ・カムジャーナルホルダ採用（カムジャーナル細軸化）

- ・カムジャーナル表面粗さ低減

(4) バルブ駆動

- ・バルブスプリング低荷重化

(5) 補機駆動

- ・補機ベルトレイアウト最適化

メカニカルフリクション低減技術の一例として高効率2段リリーフオイルポンプについて述べる。新型エンジンではオイルポンプのロータ歯形形状を改良し容積変化率を大きくすることでロータ1回転あたりのオイル吐出効率を向上させロータ径を2%縮小するとともに、2段リリーフ構造を採用することでオイルポンプ駆動力低減をおこなっている。図14にオイルポンプの2段リリーフ構造を、図15に2段リリーフオイルポンプと1段リリーフオイルポンプのエンジン油圧およびフリクションを示す。圧力リリーフを2段階とし1段目を低回転で必要最小限の油圧を確保する設定とすることで油圧を36%小さくすることが可能になり、1段リリーフオイルポンプに対し9%のフリクションの低減が得られた。

## 7 点火時期制御

### 7.1 点火時期の算出

これまで述べたように、充填効率向上と燃料消費率改善のためにVTCを活用しているが3気筒エンジンとVTCの組み合わせはVTCによる掃気効果、内部EGR効果が得られやすい一方、排気干渉の影響が少なく同一吸気管圧力で内部EGR量は大気圧の影響を大きく受け変化する。そのため、圧力センサで測定した吸気管圧力とエンジン回転数を元に点火時期を算出する従来の制御では、内部EGR量の変化が把握できず適正な制御値を算出することができない。そこで本エンジンではECU内蔵の大気圧センサ出力によって吸気管圧力を補正することで内部EGR量の変化をキャンセルし、適正な点火時期を算出する制御を採用した。大気圧補正吸気管圧力に対する内部EGR量は大気圧が変化しても常に一定となり、新気量も同様の関係が成り立つためVTC進角時に大気圧が変化しても適正な点火時期が算出できるようになる。図16に大気圧が変化した場合の吸気管圧力に対する内部EGR率および大気圧補正を行った吸気管圧力に対する内部EGR率の違いを示す。

### 7.2 ノッキングによる点火時期リタード量の最適化

2011年モデルCIVICより適用されているノックコントロールシステムでは、非共振ノックセンサを用いSTFT（Short Time Fourier Transform）処理を行うことで、複数の周波数情報を使用している。ノックセンサ出力値の大小でノッキングの発生の有無のみを判断していた従来の手法に対し、新しい手法では周波数および時間成分のパターン適合とすることでノッキングの強度を識別することが可能となる3)。よって図17に示すように従来の手法ではノッキングの強度の判別ができず常に一定値のリタード量であったのに対し、強度に応じた適切なリタード量を与えることができる。本エンジンにおいてもこの新制御手法を採用し、完成車において頻度の高いトレースノック時のリタード量を低減することで燃料消費率の向上を得た。

## 8 まとめ

吸気VTC技術、燃焼改善技術、フリクション低減技術の採用および点火時期制御手法見直しにより低燃費と高出力を両立するエンジンを開発した。以下にその効果を述べる。

- (1) 従来型エンジンに対し、新型エンジンにおいて最高出力で13%の向上、最大トルクで8%の向上を得た。
- (2) 新型エンジンにおいて単体燃料消費率を10%低減した。

### 【参考文献】

- 1) 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
- 2) 中山幸夫, 鈴木誠, 岩田洋一, 山野順司: 2002年モデル「Fit」用1.3L 2プラグエンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.13, No.2, p.43-52
- 3) 秋元賢治, 小松弘崇, 倉内淳史: 短時間フーリエ変換法を用いたノッキング検知ロジックの構築, Honda R&D Technical Review, Vol.24, No.1, p.120-127

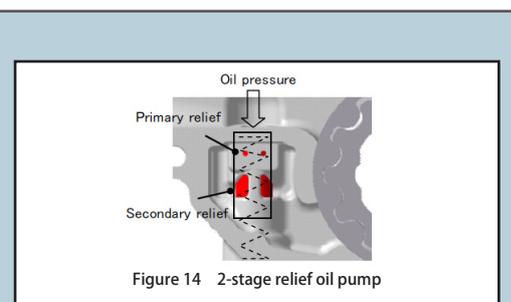


Figure 14 2-stage relief oil pump

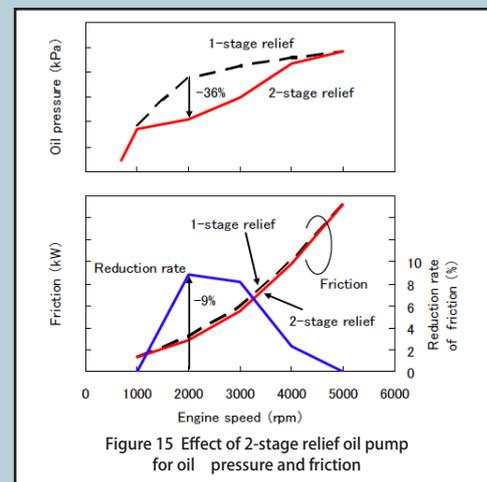


Figure 15 Effect of 2-stage relief oil pump for oil pressure and friction

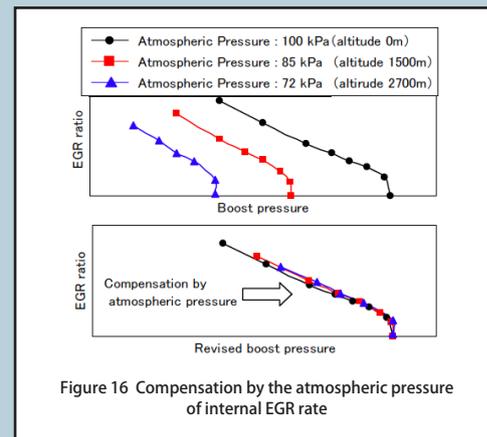


Figure 16 Compensation by the atmospheric pressure of internal EGR rate

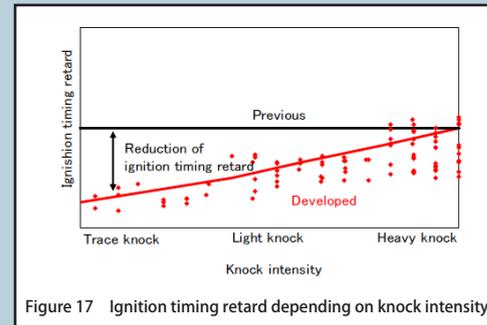


Figure 17 Ignition timing retard depending on knock intensity

NEWS & INFORMATION

ニュー7シリーズを発表 ● BMW

ビー・エム・ダブリューは、「ニュー BMW 7 シリーズ」を発表した。新世代の直列 6 気筒および V 型 8 気筒 BMW ツインパワーターボエンジンを搭載し、全モデルに高効率 8 速オートマチックトランスミッションを採用するなど、「BMW EfficientDynamics (エフィシエントダイナミクス)」の設計思想に基づいた最新技術を採用した。これにより、ガソリンエンジンモデルの燃料消費率 (JC08 モード) は、先代モデルに比べ最大約 50%改善している。新世代直列 6 気筒および V 型 8 気筒 BMW ツインパワーターボエンジン搭載モデルは、8 速オートマチックトランスミッション、燃料消費を抑制するエンジンオートスタート/ストップ機能、燃費の良いドライビングスタイルをサポートする ECO PRO モード付きドライビングパフォーマンスコントロールといったテクノロジーを採用し、環境性能と動力性能のさらなる向上を実現している。新たに採用された ECO PRO モードには、コースティング機能が採用され、時速 50km 以上の走行において、アクセルオフ時にトランスミッションとエンジンを自動的に切り離し、惰性で走行することが可能。これにより、エンジンへの負荷となる走行抵抗をカットし、最大で約 5%の燃費の向上が可能となった。また、ニュー BMW ActiveHybrid 7 のコースティング機能では、時速 80km 以上の走行において、エンジンを停止させた状態で走行することも可能。

中核モデル「ニュー BMW ActiveHybrid 7 (アクティブハイブリッド・セブン)」およびロングホイールベースモデルの「ニュー BMW ActiveHybrid 7 L (エル)」には、新たに直列 6 気筒エンジンを組み合わせたフルハイブリッドシステムを搭載し、燃料消費率 (JC08 モード) は、14.2km/L の低燃費を達成している。最高出力 235kW を発生する直列 6 気筒 BMW ツインパワーターボエンジンに、出力 40kW (54ps) の電気モータを組み合わせたフルハイブリッドシステムを新たに搭載し、システムトータルでは、最高出力 260kW (、最大トルク 500Nm のパフォーマンスを発揮する。また、高性能リチウムイオンバッテリーを搭載し、最長で 4km の距離をゼロエミッションで走行することが可能となり (最高時速 60km まで)、燃料消費率 (JC08 モード) は、14.2km/L の低燃費を誇る。

BMW 750i/750Li はツインターボチャージャ、高精度ダイレクトインジェクションシステムに加え、新たにインテークバルブのリフト量を無段階に可変制御するバルブトロニックを採用した新開発 4.4L V 型 8 気筒 BMW ツインパワーターボエンジンを搭載。この V 型 8 気筒エンジンは、2 基のターボチャージャを V 型のシリンダバンクの間に配置する画期的なレイアウトを採用し、極めてコンパクトな構造を実現している。エンジンの最高出力および最大トルクは、従来モデルに対して約 10%向上の 330kW/5,500rpm、650Nm/2000 ~ 4500rpm。

ビー・エム・ダブリュー (株) : <http://www.bmw.co.jp/jp/ja/>



ActiveHybrid 7

A6 hybrid を発表 ● Audi

アウディ ジャパンは、Audi A6 にアウディ初のハイブリッドモデル

Audi A6 hybrid を追加し、発売した。最高出力 155 kW/ 最大トルク 350Nm を発生する 2.0 TFSI エンジンに、40kW と 210Nm を発生する電気モータを組み合わせ、パラレルハイブリッド方式を採用している。システム合計では 180kW / 480Nm を発生。変速機には 8 速ティプトロニックを組み合わせて、トルクコンバータの代わりに電気モータとクラッチが一体になったハイブリッドユニットが前輪を駆動する。また制動時のエネルギーを回生するブレーキ回生システムも採用。バッテリーは 1.3kWh の電力を蓄電し、39kW 相当の電力を供給する軽量かつコンパクトなリチウムイオンバッテリーで、ラゲッジコンパートメント下の、衝突時にも影響を受けにくい場所に搭載される。走行モードには EV モードが用意されており、最高速度は 100km/h。また 60km/h であれば、最長 3km の EV 走行が可能。運転状況はインストルメントパネルと MMI モニタに設置された専用ディスプレイに表示され、システムの作動状態を確認することができる。減速エネルギーを電気エネルギーへ変換しバッテリーへ還流させるエネルギーリカバリーシステムや、スタートストップシステム (アイドリングストップシステム) などの組み合わせにより JC08 モード燃費は 13.8km/ℓ を達成した。

アウディ ジャパン (株) : <http://www.audi.co.jp/brand/ja.html>



Audi A6 hybrid

ハイブリッド車国内累計販売が 200 万台を突破 ● トヨタ

トヨタ自動車は、ハイブリッド車の国内での累計販売台数が本年 10 月末までに 204 万台となり、200 万台を突破したと発表した (トヨタ調べ)。また、グローバルでは、本年 1 月から 10 月末までの販売が 102 万 8 千台と、100 万台を突破し、1997 年の発売以来、グローバルでの累計販売台数は 460 万 3 千台となった。1997 年 8 月に国内でコースターハイブリッド EV を発売後、同年 12 月には、世界初の量産ハイブリッド乗用車「プリウス」を発売し、2000 年からは、北米や欧州など海外でも普及を進めた。2003 年に 2 代目、2009 年に 3 代目の「プリウス」を発売したほか、ミニバン、SUV、FR セダン、コンパクト 2BOX など、ハイブリッドの搭載モデルを拡大。本年 4 月末には、ハイブリッド車のグローバルでの累計販売台数が 400 万台を突破した。本年 10 月末現在、国内ではハイブリッド乗用車 15 モデル、プラグインハイブリッド車 1 モデルを販売しており、グローバルでは、ハイブリッド乗用車 19 モデル、プラグインハイブリッド車 1 モデルを、合わせて約 80 の国・地域で販売している。

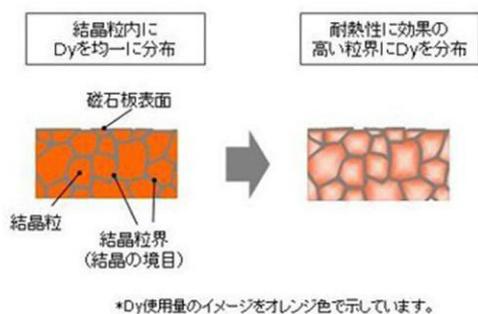
トヨタ自動車 (株) : <http://toyota.jp/index.html>

ジスプロシウムを従来比 40%削減した電気自動車用モーターを開発 ● 日産自動車

日産自動車株は、レアアースの一つであるジスプロシウム (元素記号: Dy) を従来より 40%削減した電気自動車 (EV) 用モータを同日にマイナーチェンジし全国一斉発売した「日産リーフ」に搭載すると発表した。EV などの電動車両用モータには、その小型化および高性能化に必要な高い磁力を発揮できる Nd-Fe-B 磁石 (以下、ネオジム磁石) を使用しており、ジスプロシウムはネオジム磁石の耐熱性を高めるために添加されている。

これまで、ネオジム磁石全体にジスプロシウムが均一に分布されるよう添加していた。今回、レアアースマグネットのサプライヤーとの共同開発により、粒界拡散技術を採用し、従来と同等の耐熱性を確保しながらジスプロシウムの使用量を40%削減することが可能となった。ネオジム磁石の耐熱性を高めるためには、磁石の結晶粒界（結晶の境目）にジスプロシウムを分布させることが効果的で、粒界拡散とはその特性に着目した技術。同社は、新設計のEV用モータに粒界拡散技術を適用させ、「日産リーフ」の高い動力性能を実現している。ジスプロシウムは、産出地域が限定している一方、家電製品や電動車両などの需要が拡大しており、電動車両の普及を進める上でその使用量の削減や有効活用が重要な取り組みとなっている。同社は今後、ハイブリッド車用モータにも粒界拡散技術を採用していくだけでなく、駆動用モータ以外の部品では最終的に使用量ゼロをめざし、開発に取り組む。

日産自動車（株）：<http://www.nissan.co.jp/>



粒界拡散技術のイメージ（日産 HP より）

#### 「SPORT HYBRID Intelligent Dual Clutch Drive」を開発●Honda

Honda は、走りと燃費を高次元で両立させる新世代パワートレイン技術「EARTH DREAMS TECHNOLOGY（アース ドリームス テクノロジー）」の一つとして、新たに小型車に最適な1モータの軽量コンパクトなハイブリッドシステム「SPORT HYBRID Intelligent Dual Clutch Drive（スポーツハイブリッドインテリジェントデュアルクラッチドライブ）」を開発した。新開発の直列4気筒1.5Lアトキンソンサイクルエンジンに、高出力モータ内蔵の7速DCTとリチウムイオンバッテリーを組み合わせ、従来型の1モーターハイブリッドシステムに比べて、30%以上の効率向上を実現するドライブユニット。

これにより、中型車に最適な2モータを採用した世界最高効率の「SPORT HYBRID Intelligent Multi Mode Drive（スポーツハイブリッドインテリジェントマルチモードドライブ）」、大型車に最適な3モータを採用して左右の駆動力を自在に制御する「SPORT HYBRID SH-AWD（SPORT HYBRID Super Handling - All Wheel Drive：スポーツハイブリッドスーパーハンドリングオールホイールドライブ）」と合わせて、クルマの特性に合った三つのSPORT HYBRIDシステムが揃うことになった。

本田技研工業（株）：<http://www.honda.co.jp/>



The lineup of SPORT HYBRID

#### 新型「アテンザ」を発売●マツダ

マツダは、新型「マツダアテンザ」を発表・発売した。新世代クリーンディーゼルエンジン「SKYACTIV-D 2.2」を設定するなど、SKYACTIV技術を全面的に採用し、アイドリングストップ機構「i-stop（アイストップ）」や減速エネルギー回生システム「i-ELOOP（アイイーループ）」を全車に搭載。クリーンディーゼルエンジン搭載車は、3ナンバーのセダン、ワゴンとしてトップの優れた燃費性能（ハイブリッド車除く）を実現した。クリーンディーゼルエンジン「SKYACTIV-D」搭載車は、JC08モードで22.4km/L（6MT）、20.0km/L（6AT）の燃費性能を実現している。また、ガソリンエンジン搭載車は、先代の2.0Lエンジン車比で30%燃費を向上、2.5Lエンジン車では37%も燃費を向上した。さらに、ミリ波レーダーやカメラなどにより障害物を検知し、安全運転をサポートする先進安全技術「i-ACTIVSENSE（アイ・アクティブセンス）」を採用。自動ブレーキを作動させるシステムや、車線はみ出し時の警報、AT車でのペダルの踏み間違いによる誤発進を防ぐシステムなどを用意した。

マツダ（株）：<http://www.mazda.co.jp/>



新型「マツダアテンザ」

#### 新型「フォレスター」を発表●富士重工業

富士重工業は、「スバルフォレスター」をフルモデルチェンジした。今回4代目となるフォレスターは、1997年の発売以来15年間、路面状況に左右されない快適な走行性能や、取り回しやすく実用性に優れたSUVとして評価されてきた。今回のフルモデルチェンジでは新世代BOXER NAエンジンと新リニアトロニック（CVT）による、ドライバビリティと燃費性能の向上が図られた。新世代BOXER直噴ターボエンジン「DIT」は、低回転域の応答性に優れたツインスクロール式ターボチャージャーを組み合わせることで、206kWの高出力と、2000rpmで350Nmに達するトルクを発揮しながら、優れた環境性能を両立させている。新世代BOXERやリニアトロニックの採用、空力性能の向上、さらに、アイドリングストップといった、燃費向上デバイスの追加によって燃費性能を向上させた。またマルチファンクションディスプレイによって、燃料消費の状況を視認化することで、省燃費走行に寄与する。すべてのリニアトロニック搭載車が、平成27年度燃費基準を達成しており、エコカー減税対象車となる。

富士重工業（株）：<http://www.subaru.jp/>



新型「スバルフォレスター」