

ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN *Vol. 4 No. 1 2014*

JSAE エンジンレビュー

特集：「二輪車用エンジン」



公益社団法人 **自動車技術会**

コラム：●ものごとの転機：小池 誠／編集委員	1
Turning point every thing	
特集：「二輪車用エンジン」	2
ASEAN で急伸する二輪市場と日本の技術への期待	2
／塩崎 智夫 (本田技術研究所)	
次世代 125cm ³ スクータ用グローバルエンジン "eSP" の開発	3
／土屋 粒二, 森本 泰弘 (本田技術研究所)	
新型 110cm ³ 空冷スクータ用エンジンの開発	6
／二宮 至成 (スズキ)	
低燃費 YM-JET FI 搭載 AT エンジンの開発	9
／神ノ門 裕之, 永井 良卓 (ヤマハ発動機)	

■ 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： 飯島 晃良 (日本大学)
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)
遠藤 浩之 (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： 2014 年 2 月 20 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

編集委員訃報

2013 年 12 月 24 日、小栗 彰氏 (福井工業大学 准教授) が逝去されました。編集委員としての活動とともに学生フォーミュラ等の指導にあたられました。ここに謹んで哀悼の意を表し、ご冥福をお祈りいたします。



小栗 彰 編集委員
(JSAE エンジンレビュー Vol.2 No.2 コラムより)

●コラム

ものごとの転機

Turning point every thing



小池 誠
Makoto KOIKE

(株)豊田中央研究所
Toyota Central R&D Labs., Inc.

欧州へ出向いた折には、時間を見つけて美術館を訪れることがある。初めはその量と質に唯唯圧倒されていたが、次第に描かれている絵の題材や画法にも関心を持つようになった。西洋画といえば油彩であるが、油絵具が使われるようになったのは15世紀、意外なことにレオナルド・ダ・ヴィンチが頭角を現わす少し前のことである。それまでは顔料を卵の黄味で溶いたテンペラか、漆喰に描くフレスコ画が中心であった。テンペラは絵具の乾きが速いので、油絵具のような色のぼかしや微妙な色彩、陰影の移行ができなかった。ダ・ヴィンチが才能を発揮できた一つの理由には油絵具の発明があったのである。彼は油絵具の持つ可能性にいち早く気づき、スマート技法という画法に高めた。絵の題材にも相当の意味があるが、モナ・リザの微笑はこの技法の代表とも言える。油絵具もこの後一気に西洋絵画の主役となる。

19世紀、モネら印象派が台等する大きな転機となった背景の一つに、今では当たり前となったチューブ入絵具の発明がある。それまでは画家は絵を描く前に顔料と乾性油を練るのが仕事で、残った絵具は豚の膀胱に入れて一時保存できたとしても、基本的には生ものと同じだった。戸外の風景は水彩などでスケッチして持ち帰り、戸内で油彩を施していた。ところがチューブ入絵具の発明で画家は戸外に出て絵を仕上げることができるようになった。目で見た光の感覚、色合いを直接キャンバスに表現できるようになったのである。かくして、かのルーアン大聖堂の連作も出来上がったのである。今では戸外でイーゼルに向かって油絵を描く画家を当たり前のように見ることができる。

一見、技術と芸術は距離があるように思えるが、これら美術の転換期にも技術が深くかかわっていたことを知って大変興味を覚えた。果たして油絵具やチューブ入絵具を開発する段階で、ダ・ヴィンチやモネらのコンセプト、それが後世に及ぼす影響を予測していただろうか？ ダ・ヴィンチやモネは、自由に、思うように描きたいという欲望はあったと思うが、それに向けた明確なニーズを持っていたらどうか？

芸術とは離れるが、スキーマルペン種目のスラロームでは、かつて旗門に使用するポールは竹かプラスチックの棒であった。タイムを競うレースでは、選手は最短距離を狙って体の一部をポールに当てて旗門を通過していたため、1980年ごろに選手の安全性確保とポールの抜け防止を目的に可倒式ポールが開発された。ところが、スウェーデンの選手ステンマルクは逆にポールに体当たりして、ポールをなぎ倒しながらゴールを目指す新しい戦法を編み出し、レースに圧勝した。その後、スラロームはヘルメット、プロテクター着用の攻撃的競技へと変貌した。ポールの開発者や競技連盟は当初このような戦術の変化を予想しなかったであろうし、ステンマルクはルールの中で如何に速く滑るかを考えたに過ぎない。

どうも大きな転換には技術の変革が必要のようだ。ただし、それだけでは不十分で、その技術の持つポテンシャルに気づき、新しいコンセプトに繋げていく別の変革を伴う必要がある。このパートナーともいえる関係は必ずしも近くあるとは限らない。油彩の確立はイタリアと離れたフランドルであったし、チューブ入絵具は印象派ができたフランスではなく、イギリスで基本形が作られている。

さて、エンジンの開発は特定の狙いをもって行われているので、上記のことが直接当てはまらないかも知れないが、類似点はあると感じている。例えば、ディーゼルエンジンである。進化の目覚ましさはご存知の通りであり、ディーゼル乗用車は過去のイメージを一新した。その転機を誘引したのは1990年代後半に実用化されたコモンレール式燃料噴射装置であるが、今に至る進化にはマルチ噴射を含む燃焼系の変更、可変過給機、ダウンサイジングなどと合わせたエンジンコンセプトの変革が必要であった。また、過給ガソリンは最新ディーゼルに匹敵する高トルクを発生するようになってきているが、初めは低負荷の燃費改善を目的に開発された筒内噴射の持つもう一つのポテンシャルを引き出した結果とも言える。

ものごとの転機は突然訪れるように見えるが、その影には年月を要した多くの努力が伺える。この努力は取り組む人の信念と先人の偉業を越えて前に進もうという意欲に支えられている。

ASEAN で急伸する二輪市場と日本の技術への期待 — 二輪車用エンジン特集に寄せて —

塩崎 智夫 ((株) 本田技術研究所)

Tomoo SHIOZAKI (Honda R&D Co.,Ltd.)

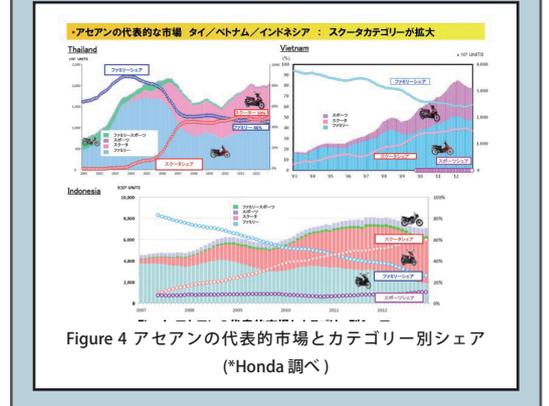
本年 2013 年 3 月に行われた自動車技術会ガソリン機関部門委員会において、二輪各社のエンジン技術者より最新の二輪車用エンジン技術に関する話題提供を行っていただいた。委員会メンバーも含めた活発な討議が行われ、好評を博した。JSAE Engine Review 本号の『二輪車用エンジン特集』では、これらの中から、小型スクーター用エンジンに関する三つの講演内容を紹介する。現在、小型スクーターは、タイ、インドネシア、ベトナムといったアセアン諸国が主たる市場となっている。巻頭言として、背景として、アセアン市場の現状を簡単に紹介する。

現在、全世界の二輪車の保有台数は約 2 億台に達している。図 1 に、2000 年以降の世界販売台数推移と先進国/新興国の内訳を示す。2000 年に 2259 万台であった市場は 2011 年には 5820 万台と約 2.6 倍の急成長を遂げている。内訳としては、先進国が 384 万台から 252 万台に減少しているのに対し、新興国は 1875 万台から 5568 万台と大幅に増加し、全体の約 95% を占めるに至っている。図 2 に、全体市場の約 25% を占めるアセアン諸国における二輪車の活躍を示す幾つかの写真を紹介する。通勤・通学の時間帯に街にあふれる二輪車、二輪車を使った大きな貨物の運搬、家族全員での移動など、庶民の生活に密着した存在であることが分かる。

現在、新興国で普及している二輪車は、排気量が 100 cm³ から 150cm³ の間のものが主流となっている。カテゴリーは大きく分けて四つに分類される。バックボーンフレームのスポーツタイプとビジネスタイプ、アンダーボーンフレームのファミリータイプとスクータータイプがある(図 3)。この中でスクータータイプは近年アセアン諸国で急速に普及が拡大している(図 4)。動力伝達系と一体構造のエンジンが後輪の懸架装置の一部を担う構造(ユニットスウィング方式)を持ち、変速機にはフルオートマチックのゴムベルトを用いた無段変速機が採用されている。両足をフロアに揃えて乗車出来るステップスルー形式の車体と合わせて、フルオートマチックの利便性の高さから、かつての日本と同様に多くの女性ユーザーの支持も得ている。

さて、これらのユーザーにとって個人経済面での二輪車の位置付けはどれほどのものなのだろうか。アセアン最大市場のインドネシアを例にとると、売れ筋の二輪車の平均的な販売価格は日本円換算で 12~14 万円だが、インドネシアの平均世帯月収の約 3 ヶ月分に相当する。これは、日本における軽自動車の購入に相当するものとなる。また、ガソリン価格は平均世帯収入を加味すると、相対的に日本の約 4 倍になる。決して安い買い物ではない。しかし、二輪車を購入し、行動範囲を拡大することは収入機会を増やすことにつながる。ユーザーにとって、二輪車を所有することは生活水準の向上に向けた大きなステップとなるのである。

先日、日本メーカーによる新興国の庶民の生活の助けとなる新しい電気製品の開発がテレビで紹介されていた。これこそ日本の強みだと改めて感じた。二輪車においても、前述した市場環境の中で、ユーザーの役に立つ新たな価値をいかに高品質かつ廉価で提供できるかという視点から、日々、技術者の努力と工夫が積み重ねられている。これらの努力と工夫が実を結び、今後も日本が二輪車のリーディングカントリーであり続けることを願う次第である。



次世代 125cm³ スクータ用グローバルエンジン “eSP” の開発

Development of global engine “eSP” for next-generation 125cm³ motor scooters

土屋 粒二, 森本 泰弘 ((株) 本田技術研究所 二輪 R&D センター)

Ryuji TSUCHIYA, Yasuhiro MORIMOTO (Honda R&D Co.,Ltd. Motorcycle R&D Center)

1 はじめに

現在、二輪車は嗜好性が強い中大型モーターサイクルと、生活に密着した小型コミュータに大別される。日本、アジア、欧州における 110cm³ から 150cm³ の排気量帯のスクータ市場においては、ファッション性や利便性を兼ね備えたモデルが人気を博している。その中で、近年の原油価格の高騰を背景に、ランニングコスト低減のユーザーニーズから低燃費モデルの需要が新興国を中心に高まっている。さらに世界的な環境課題に対する関心の高まりから、CO₂ や排出ガスの削減技術の開発が重要視されている。

小排気量スクータの分野において Honda は、1990 年代後半より 4 サイクル化に取り組むとともに、電子制御燃料噴射を採用するなどして、上記のニーズと課題に対応してきた。2006 年型では、エンジンの水冷化にあたり、ラジエータをエンジンに取り付けたコンパクトなシステムを採用し、機関の高効率化を図ってきた。2010 年型では、動力性能向上のため、それまでの 108cm³ から 125cm³ へ排気量を上げるとともに、さらなる低燃費化を進めた。その後 2012 年型 “eSP” (図 1) では、燃費性能に大きく寄与するフリクションの低減を行い、2006 年型に対して、36.7%の燃費低減を実現した。以下に、本エンジンにおける燃費改善とフリクション低減技術ならびに駆動系の伝達効率向上技術についてその取り組みを紹介する。

2 開発のねらいとエンジン主要諸元

2012 年型水冷 125cm³ スクータ用エンジンの開発にあたり、環境課題対応に則した燃費性能の向上とともに、街中での使い勝手の向上を狙って、常用回転域におけるトルク向上を開発目標とした。

小型スクータ用エンジン主要諸元の推移を表 1 に示す。

また表 2 に、2006 年型以降の開発において燃費の改善と走行性能の向上に向けて取り組んだ項目を示す。多岐に亘る改良項目の中から、代表的なものに関して解説する。

3 出力特性

図 2 に出力特性の比較を示す。動力性能の向上を狙って、2010 年型では排気量をそれまでの 108cm³ から 125cm³ へ変更し、全域の出力向上を図った。さらに、2012 年型では、最高出力を維持しつつも、市街地での扱いやすさ向上を狙って、吸排気系の諸元変更により低中回転域での出力向上を図った。

4 燃焼改善

ここでは、2012 年型で行った取り組みについて解説する。図 3 に 2010 年型と 2012 年型の吸気・排気ポートの形状の違いを示す。ポート断面積を絞り、ポート内流速を高めることで、燃焼質量割合の 10-90%間を 15%短縮できた。これにより、低中速のエンジントルク向上とともにスロットルレスポンスの向上が得られた。

図 4 に、吸気ポート内の流速分布の解析結果と ECE R40 モードにおける代表的なエンジン回転数である 4500r/min におけるスロットル開度と設定点火時期、MBT の関係を示す。

燃焼期間の短縮により、2010 年型に対して、MBT と設定点火時期との差を小さくすることが可能となった。



Figure 1 Cut model of global engine “eSP” and its applications

Table 1 Engine Specifications

	Click (Thailand)	POX (Thailand)	Click 125i (Thailand)
YEAR MODEL	2006年	2010年	2012年
原動機種類	水冷4ストローク SOHC2バルブ	水冷4ストローク SOHC2バルブ	水冷4ストローク SOHC2/Vバルブ
気筒数・配列	単気筒	単気筒	単気筒
総排気量	108cm ³	124.3cm ³	124.3cm ³
内径×行程	50.0mm×53mm	52.4mm×51.9mm	52.4mm×51.9mm
圧縮比	11.0:1	11.0:1	11.0:1
最大出力	6.8kW / 8000r/min	8.6kW / 8500r/min	8.54kW / 8000r/min
最大トルク	9.0Nm / 4500r/min	11.7Nm / 4500r/min	11.7Nm / 4500r/min
始動方式	セルフ・キック併用式	セルフ式	セルフ・キック併用式
潤滑方式	強制圧送ワットポンプ	強制圧送ワットポンプ	強制圧送ワットポンプ
燃料供給	キャブスター	電子制御式	電子制御式
点火方式	DC-CDI	フルCDI	フルCDI
クラッチ形式	乾式・連心式	乾式・連心式	乾式・連心式
変速機形式	Vベルト式(V-Matic)	Vベルト式(V-Matic)	Vベルト式(V-Matic)
実燃費	2.83-3.45 無段変速	2.6-3.82 無段変速	2.6-3.92 無段変速
1次減速比	2.737	3.118	3.118
2次減速比	3.75	3.615	3.385
ECE R40モード燃費	42.0km/ℓ	51.5km/ℓ	57.4km/ℓ

Table 2 Development Themes

運転条件最適化	アイドル	アイディングストップの採用
	加速	低中速出力向上 変速回転数 低回転化
	減速	減速フェーズカット最適化
	クルーズ	低回転化 無段変速機構の伝達効率向上 水容量低減、バルブトン水浄化 サーモスタット制御最適化 ロータリーストロークセンサ早期活性化
機械損失	暖機性	ロクカーブ・カム駆動抵抗低減 ロクカーブ・カム駆動抵抗低減 バルブSPC容量最適化 ピストリング強力低減 往復運動質量低減
	動弁系	バルブSPC容量最適化
	主駆動系	ピストリング強力低減 往復運動質量低減 CVTオイル潤滑ロス低減
	補機駆動系	水ポンプ効率向上、送油系最適化 クーリングファン、フリクション低減 ミッションオイル潤滑ロス低減 ベアリングフリクション低減
時間損失	急速暖機 着火時期最適化	
冷卻効率	ラジエータ効率向上	
ポンプ損失	バルブフリクション最適化 クラッチケース内圧力 排気量UP	
走行性能要求	ミッションオイル浄化 (加速性能) TOPレシオ強化 (最高速) 無段変速機のワイドレシオ化 クラッチシャフト剛性UP	
振動騒音低減	往復運動質量軽量化 エンジン回転数低回転化 ミッションギア噛合い向上	

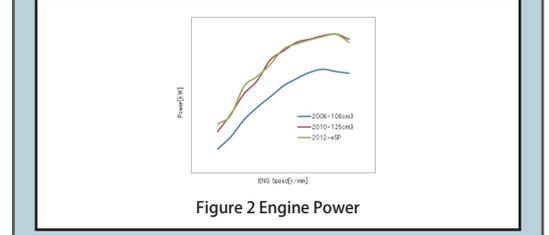


Figure 2 Engine Power

5 動弁系のフリクション低減

2012年型の動弁系において、ロッカアームのカムとの摺動部には、二輪車専用の小径ローラベアリングを採用し、フリクションを低減するとともに動弁系の慣性質量の低減を狙った。また、ロッカアームの軸受部にシェル型ニードルベアリングを装着し、図5に示すように、2010年型の直受式ローラロッカアームに対し、1.8%のフリクション低減 (Pmf比) を達成した。

6 往復運動部のフリクション低減

従来水冷エンジンのシリンダボア径とピストンピン長さの関係に対する本エンジンの位置付けを図6に示す。ピストンピン長の短縮とコンロッド軽量化により、往復部重量を7.5%低減でき、振動の低減およびスロットルレスポンスの向上が得られた。

図7には、ボア径に対するピストンリングトータル張力の関係、並びに、重力鋳造式シリンダライナを使用したエンジンと遠心鋳造スパイネースリーブを使用したエンジンのフリクション比較を示す。スパイネースリーブの採用により、ボア内径真円度と円筒度の向上が得られたため、ピストンリング張力の低減が可能となった。これにより重力鋳造式シリンダライナを使用したエンジンに対し、1.3%のフリクション低減 (Pmf比) を実現した。

7 冷却系の高効率化, フリクション低減

図8に小型スクータ用エンジンで採用している冷却系のレイアウトを示す。一般的にラジエータは、走行風を効率的に取り込むために車体前方に配置される。しかしながら小型スクータ用エンジンでは、これまでクランクシャフト軸端部に冷却ファンを取り付け、その外側にラジエータを配置し、エンジンと冷却系を一体化させたビルトイン水冷システムを採用してきた。このシステムは、エンジンと冷却系を軽量コンパクトにできる反面、ラジエータは進行方向とほぼ平行に配置されるため、冷却に必要な風量の多くを冷却ファンで取り込む必要がある。この冷却ファンはエンジン回転数により風量が増えるため、冷却ファンの特性に合わせたラジエータの放熱量や空気圧力損失の設定が必要となる。

図9にラジエータ放熱量と空気流速の関係を示す。ラジエータ放熱量は、冷却ファン圧力損失とラジエータコア圧力損失の関係から、簡易的にその交点で放熱量が決まる。2012年型では、2010年型に対して、同一空気流速において、放熱量を約50%高めたラジエータを採用し、冷却ファンの要求風量を低減することが可能となった。さらに、ラジエータ通過後の冷却風の排風効率を向上させた。これらにより、冷却ファンの小型化が可能となり、ファン単体のフリクションを30%低減 (Pmf比) することができた。

8 フリクション低減効果と BSFC 改善効果

図10に、これまで紹介した燃焼改善およびフリクション低減効果のまとめを示す。2006年型 108cm³型に対し 2010年型では、排気量増加による動力性能向上を図り、さらにECE R40モードにおける代表的なエンジン回転数 4500r/minにおいて17%のフリクション低減 (Pmf比) を図った。

2010年型から2012年型では、さらに5%のフリクション低減 (Pmf比) を図り、BSFCにおいては、平均3.8%の改善が得られた。

9 Vベルト式無段変速機構の伝達効率向上

小型スクータの駆動系には、Vベルト式無段変速機が採用されている (図11)。

図12には、2010年型と2012年型の被駆動側プーリーの推力と伝達効率の比較を示す。

クルーズ車速における被駆動側プーリーの推力を平均で17%低減し、Vベルトの高弾性化と屈曲性の両立を図ることで、伝達効率は平均で10%の向上が得られた。

10 ミッション内部のフリクション低減

ミッション室のレイアウト、並びに、車速別のフリクション低減率を図13に示す。無段変速機の後減速用ミッション室内で使用されるボールベアリングに対しては、各部位の負荷に合わせた専用設計を行った。潤滑油量の25%削減による攪拌ロス低減と合わせて、平均で20%前後のフリクション低減が図れた。

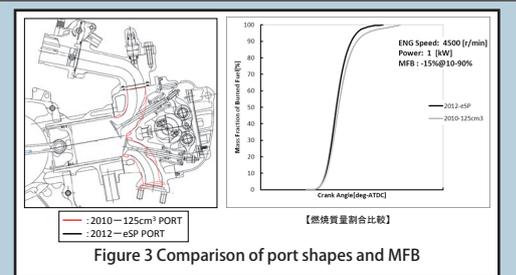


Figure 3 Comparison of port shapes and MFB

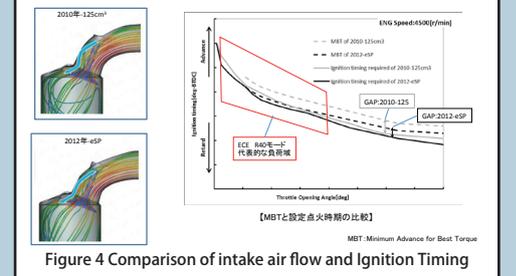


Figure 4 Comparison of intake air flow and Ignition Timing

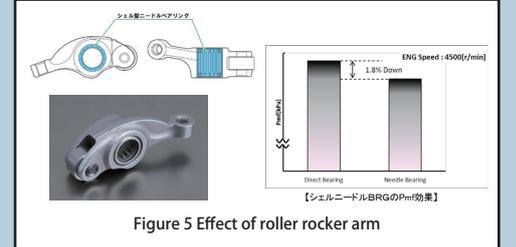


Figure 5 Effect of roller rocker arm

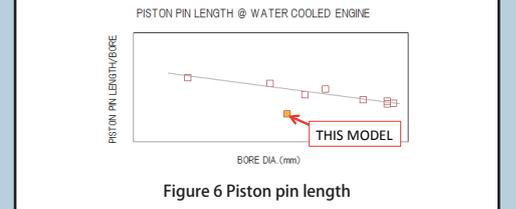


Figure 6 Piston pin length

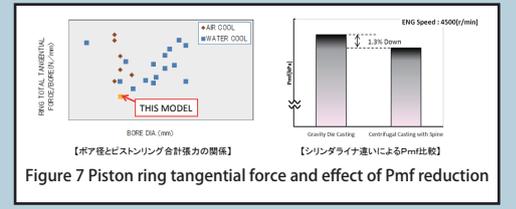


Figure 7 Piston ring tangential force and effect of Pmf reduction

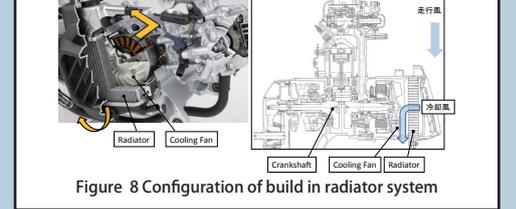


Figure 8 Configuration of build in radiator system

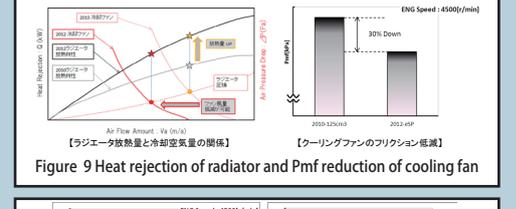


Figure 9 Heat rejection of radiator and Pmf reduction of cooling fan

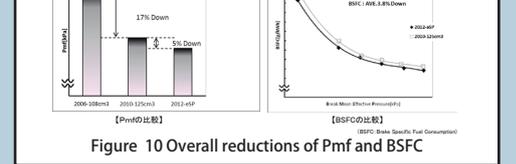


Figure 10 Overall reductions of Pmf and BSFC

11 ACG スタータシステムとアイドルストップシステム

図 14 に、本エンジンが 2010 年型から採用している ACG スタータシステムを示す。

始動系には、通常の発電機能に加えてスタータモータとしての機能を付加した、ACG スタータシステムを採用した。ACG スタータは、直接クランクシャフトを駆動するため、通常のセルモータが始動時に発生するギヤの噛み込み音のない静粛な始動が可能となる。

本エンジンを搭載する車両には、この ACG スタータを用いたアイドルストップシステムが搭載されている。ACG スタータをクランク軸上に配置しているため、滑らかで素早い始動が可能となる。これにより、アイドルストップ後、一連のスロットル操作のみでの再始動と再発進が可能となる利点も備えている。

アイドルストップモードに入る条件は

- ・エンジンの暖機が終了していること
- ・走行後停止し、スロットルが閉じられていること
- ・3 秒以上停止していること

上記 3 条件を満たすとエンジンを停止する。エンジン停止後再始動に備え、圧縮上死点後までクランクシャフトを逆回転させ待機状態となるスウィングバック機構を備え、スロットルを開けるとクランクシャフトが正回転し、エンジンを始動させる。

また ACG スタータの小型軽量化のため、動弁系に装着されたデコンプレッション機構により、始動時のエンジン回転トルクを 30% 低減させた。

アイドルストップシステムの採用により、ECE R40 モード燃費で 7.5% の向上が得られた。

12 完成車燃費

図 15 に 2006 年から 2012 年型までの定地燃費性能、並びに ECE R40 でのモード燃費の推移を示す。2012 年型では、燃焼改善や各部フリクションの低減、パワートレイン系の伝達効率向上を主体に行った。その結果、2006 年型に対し、動力性能の向上とともに燃費低減を図り、定地燃費性能は平均で 28.4% の向上を、ECE R40 モード燃費性能は 36.7% の向上を達成した。

13 おわりに

本稿では、燃費改善技術を中心に紹介したが、小型スクータは、市街地での走行においても、全負荷領域で使用されることが多いため、動力性能もまた商品魅力に対して大きな影響を持つ。また世界各国に展開するエンジンのため、各国の使い勝手、ニーズに合った様々な出力特性が要求される。こうした課題の解決には、新技術の開発のみならず、従来技術に対しても地道な改良が必要となる。今後も燃費と動力性能が高いレベルでバランスしたエンジンの開発を行い、全世界のお客様にお届けしたいと考えている。

最後に今回の 125cm³ スクータ用グローバルエンジンの開発にあたり、ご協力頂いた関係会社の皆様にこの場を借りて心よりお礼申し上げます。

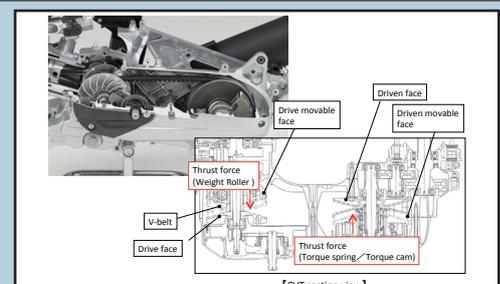


Figure 11 Configuration of continuously variable transmission

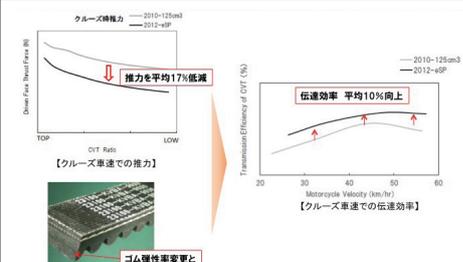


Figure 12 Improvement of transmission efficiency of CVT

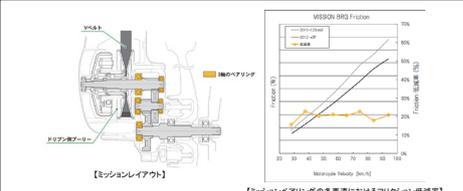


Figure 13 Configuration of transmission and friction reduction

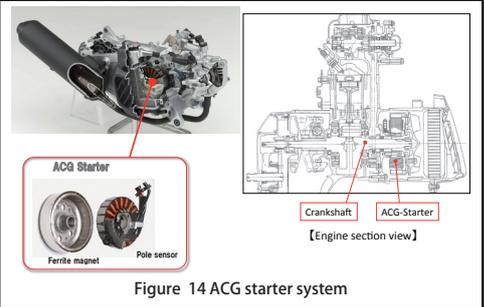


Figure 14 ACG starter system

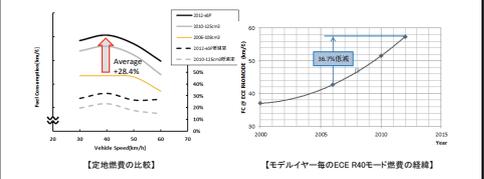


Figure 15 Fuel economy improvement of actual vehicle

新型 110cm³ 空冷スクータ用エンジンの開発

Development of New 110 cm³ Air-cooled Engine for Scooter

二宮 至成 (スズキ (株) 二輪エンジン設計部)

Yoshinari NINOMIYA (SUZUKI MOTOR CORPORATION)

1 まえがき

CO₂ 排出削減の対応や原油価格の高騰から、二輪車においても省エネルギー対応が急務となっている。現在、アセアンにおける二輪車販売台数に占めるスクータの割合は高く、燃費に対する要求も高いものになっている。そこで、燃費に関してクラス No1 を目指して、アセアン向けスクータ nex 用エンジン (図 1) を開発した (エンジン型式名: AE51)。

nex は、「家族誰もが使いやすい、経済的スクータ」というコンセプトで企画され、エンジン開発目標は燃費を最優先とし、ユーロ II モード排ガス燃費で、現行機種に対し、キャブレタ仕様において 30%改善という高い値が設定された。

燃費改善にあたっては、主に吸気ポート形状最適化による燃焼改善とエンジン部品の見直しによるフリクション低減、CVT 特性の適正化を重点的に行い、さらには軽量化も行うことで、燃費目標を達成することができた。走行性能においても、125cc クラスの性能を実現している。

2 主要諸元

エンジンは、燃費目標を達成するため完全新設計とし、現行機種の 124 cm³ から 113 cm³ にダウンサイジングすることで、軽量化、フリクション低減を図っている。

エンジン主要諸元を表 1 に示す。ピストンボア径は下げても、吸気バルブ傘径は、現行機種と同じ 25mm とし、ポンピングロスを増やさないようにしながら、キャブレタのボア径は下げることで、霧化特性を改善している。

3 燃費改善技術

3.1 吸気ポート・燃焼室

シリンダヘッド断面図および燃焼室形状を図 2 に示す。吸気バルブ挟み角は、燃焼室のコンパクト化およびタンブル流の確保を目的として、現行機種の 24° から 21° に変更し、吸気ポート形状 (図 3) は、タンブル比を維持しながら流量係数を確保できる形状としている。

排気バルブ形状は、傘表形状をフラット形状としながら、吸気バルブ傘表形状を凹 R 形状とすることの組み合わせおよび吸気ポート角度との組み合わせ (図 2) を適正に行うことで、性能向上を図ることができた。その理由の一つとして、図 4 に示すシミュレーション結果においてシリンダ内のタンブルが消滅せず TDC 付近まで維持できるようになったことが挙げられる。

また排気バルブ傘表がフラットになったことで、従来形状の傘表凹 R 有りで発生していた凹 R 部での渦が減少し吸気の流れもスムーズになり、通気抵抗が低減した。

さらに排気バルブ傘表形状のフラット化は、排気バルブから排気ポートへの排ガス流れにも影響を与え、排気流量係数改善にも寄与していることが確認されている。

吸気バルブの傘裏においては、面取り形状の改善を行い、混合気が吸気バルブを通過するときの抵抗を大幅に減らすことができた。

スパークプラグは、電極の突き出し量大きい仕様 (Projecting insulator type) を採用した。燃焼室に着火元を突き出すとともにスパークプラグ点火位置を燃焼室中心位置に近づけることで、より良好な燃焼を実現している。



Figure 1 AE51 エンジン

Table 1 エンジン主要諸元比較 (インドネシア仕様)

	AE51 (nex)	現行機種 (SPIN125)
エンジン形式	空冷単気筒4サイクル	SOHC2バルブ
内径×行程	51×55.2mm	53.5×55.2mm
排気量	113cm ³	124cm ³
圧縮比	9.4	9.6
最高出力(kW/rpm)	6.9/8800 (キャブレタ仕様)	6.8/7500
最大トルク(Nm/rpm)	8.7/6500 (キャブレタ仕様)	9.6/6000
バルブ駆動方式	ロッカアーム (ローラ)	ロッカアーム (スリッパ)
INバルブ傘径	25mm	25mm
EXバルブ傘径	21mm	22mm
燃料供給装置	キャブレタ・(F)併売	キャブレタ
キャブレタボア径	22mm	26mm

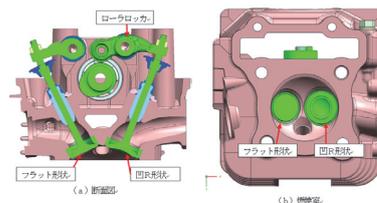


Figure 2 シリンダヘッド断面図および燃焼室形状

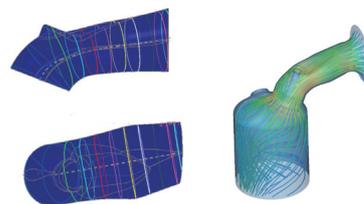


Figure 3 吸気ポート形状詳細図

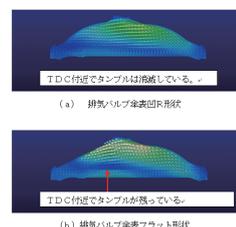


Figure 4 シリンダ内流体解析結果

3.2 燃料供給系

燃料供給系については、市場要望に合わせて、キャブレタ仕様とFI仕様の2仕様を併売している。

キャブレタ(図5)は、燃費に有利なダイヤフラム式可変ベンチュリタイプを採用し、さらにTPS(スロットルポジションセンサ)を本エンジンでは設定し、スロットル開度に応じて適切な点火時期に制御することで、燃費改善を図っている。

点火時期の設定に関しては、空冷エンジンであることから、温度管理が難しく、より実際の走行条件に近づけるため、シャーシダイナモにて車両状態で燃焼解析を行い、燃費を最適化した点火時期としている。

なお「家族だれもが楽しめる」というコンセプトのもと、ユーザーフレンドリーな装備として、オートチョークを採用している。

FI仕様(図6)は、市場での期待を考慮し燃費をキャブレタ仕様に対し、4%以上向上を目標として開発した。FI化した場合の問題点としては、発電ロス増加が挙げられる。開発にあたっては、ヒータレスO₂センサの採用、低消費電力フューエルポンプ採用、単相オープン制御の発電系を採用して、従来のFI機種に対し、大幅な発電ロス低減を実現した。また微粒化タイプのインジェクタを組み合わせることで、目標燃費を満足することができている。

3.3 動弁系

ロッカアームは、スズキで110 cm³クラス初のローラロッカを採用し(図7)、カム摺動面のフリクションを大幅に低減している。

またローラロッカを採用することで、シリンダヘッドへのオイル供給量を少なくすることが可能となり、オイルポンプの吐出量を減らすことで、フリクションを低減することができた。

通常、ロッカアームをスリッパタイプからローラロッカに変更すれば、その構造から慣性重量は大幅に増加してしまうが、バルブ挟み角を小さくしたことで、ロッカアームがコンパクトになり軽量化できたことに加え、動弁挙動に有利なカムプロフィールに変更することで、バルブスプリングの荷重を約16.7%下げることができ、フリクションロス低減につながっている。参考にスズキですでに量産している125 cm³エンジン用ローラロッカとの比較を図8に示す。

スリッパタイプに比べ加速度が不利になるローラロッカのカムプロフィールについては、OPEN側、CLOSE側両方とも凹R形状を採用し、凹R形状でない場合に比べ、カムプロフィールを適正化することができ、出力改善を図ることができた。なおカムタイミングは現行機種とは異なり、作用角を広く取っている。これは、CVT特性を考慮して、中速域トルク向上およびポンピングロス低減にターゲットを絞って、カム諸元を決定したためである。

カムチェーンテンションは、剛性の最適化を行った結果、低剛性タイプを採用し、現行機種で採用しているものに対し、50%荷重を下げたテンションアダプタと組み合わせることで、カムチェーン挙動に影響を与えず、動弁駆動系フリクションを低減している。

バルブステムオイルシールはリップ部の形状を変更した低フリクションタイプを採用している。

3.4 ピストン・クランク系

ピストンは、現在量産している機種で同じボア径のアンダーボーン機種(商品名: Smash Titan)に比べ、スカート部面積の縮小および約8.8%の軽量化を行い、またピストンピン径も14mmから13mmに変更することで、往復動部重量を下げることで、フリクション低減を図っている(図9)。

またピストンリングは、TOP/2NDリングのh1寸法を現行機種の1.0mmから0.8mmとして低張力化を図ると共に、オイルリングについても、約13.8%低張力化を行い、メカロス低減を図っている。リング張力比(リング合計張力/ボア径)で見ると、スズキの二輪空冷スクーターエンジンでは、最も小さい値となっている。

低張力化によって不利になるオイル消費対策には、TOPリングと2NDリングのs1バランスを取ることで、およびオイルリングのh1寸法を2.0mmから1.5mmに薄幅化し、耳角度を10°として、従来よりもオイル消費低減を図っている。またスズキの二輪エンジンのオイル消費改善手法¹⁾として多くの機種で採用されているピストンのオールドレンホール溝下欠け形状(図10)に関しても本エンジンで採用し、オイル消費を改善している。

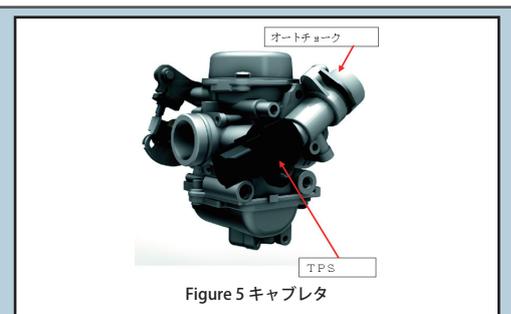


Figure 5 キャブレタ

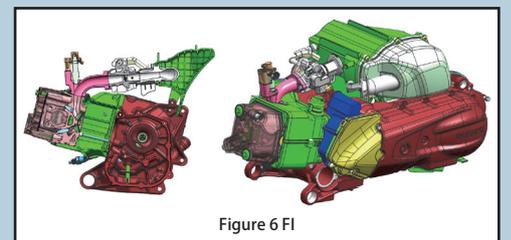


Figure 6 FI



Figure 7 ローラロッカ

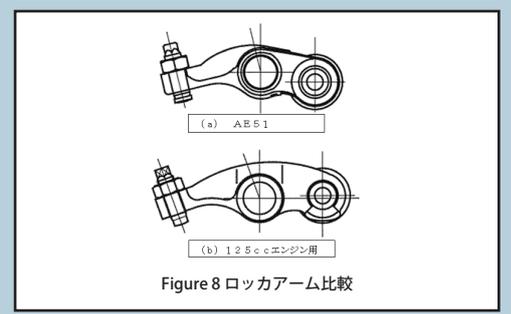


Figure 8 ロッカアーム比較

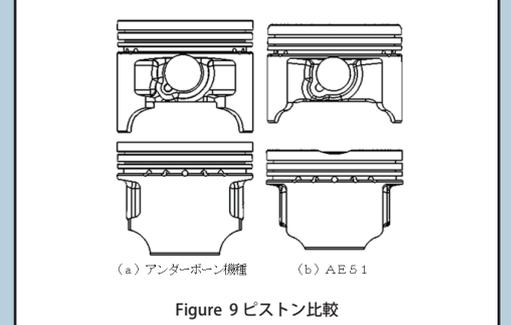


Figure 9 ピストン比較

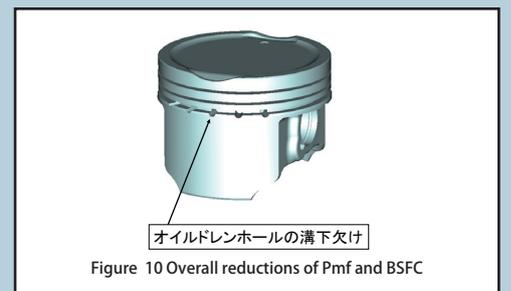


Figure 10 Overall reductions of Pmf and BSFC

クランクシャフトは、排気量ダウンに伴い各部寸法を見直し、ジャーナル径、コンロッド大端ピン径をサイズダウンすることで、大幅にフリクション低減を図っている。

3.5 エンジンオイル

エンジンオイルは、現行機種においてインドネシアで一般的に二輪車用として流通している 20W-50 を採用していたが、低フリクション化を図りながら、NV 性能およびオイル消費性能も満足する仕様を検討し、本エンジンでは、10W-40 を採用することとした。

3.6 フリクション総括

以上説明したフリクション低減アイテムをまとめて表 2 に示す。

AE51 は、表 2 に示すアイテムを盛り込み、代表として 5000rpm において、現行機種に比べ、摩擦平均有効圧で比較して、約 31% のフリクション低減を図ることができた。

3.7 CVT

CVT 諸元については、車両の軽量化と中速トルク改善により CVT のハイギヤード化を可能とし、定常走行でのエンジン回転数を下げることで、大幅な燃費改善につながった。また変速回転数は、特に中速域の加速フィーリングを考慮して決定し、燃費も満足しながら、加速フィーリングが良い CVT となっている (図 11)。

3.8 冷却系

強制空冷であるため、冷却ファン流量の設定は重要である。ファンの流量が大きければ、流体抵抗は比例して増大する。さらに実用燃費を改善する観点からは、暖機性能向上が有効であり、ファン流量を下げていくことが重要となる。しかしながら、空冷であるため、最高速を長時間走行するなど、熱的に厳しい場合も考慮する必要がある。そこでファンカウル形状およびシリンダヘッド内冷却通路を検討し、冷却を効率よく行う形状とし、流体抵抗と冷却のバランスを図った。参考にファンカウル流れ解析の結果を図 12 に示す。

4 走行性能・出力

走行性能は、定地性能測定において、現行機種 (SPIN125) に比べ、すべて上回っており、またスズキアセアン 125 cm³ スクータ全機種と比較しても、走行性能で上回っていることが確認された。

また図 13 に示したキャブレタ仕様のエンジン性能曲線において、最高出力も 6.9kW となり、125 cm³ 相当のエンジン性能となっている。

5 燃費

結果として、走行性能を確保しながら、ユーロ II 排ガスモード燃費において、現行機種 (SPIN125) に対し 30% 改善することができた。

6 まとめ

「家族だれもが使いやすい経済的スクータ」というコンセプトを具体化するため総力を上げて開発に取り組んだ結果、110 cm³ クラストップレベルの低燃費となる空冷スクータエンジンを開発することができた。

最後に本エンジン開発にあたり多大なるご協力を頂きました社内外の皆様へ感謝致します。

【参考文献】

1) 二宮 至成：新 SFV650 エンジンの開発，自動車技術会シンポジウムテキスト，No11-08,p13-18 (2009/2)

Table 2 主なフリクションアイテム

対応部位	採用アイテム
動弁系	<ul style="list-style-type: none"> ローラーロッカの採用 ロッカアーム軽量化およびカムプロフィール最適化によるバルブスプリング荷重低減 低フリクションバルブシステムオイルシールの採用
カムドライブ系	<ul style="list-style-type: none"> 低剛性テンションおよび低荷重テンションアジャスタ
ピストン・コンロッド系	<ul style="list-style-type: none"> 大端ピン径小径化による軸受け抵抗低減 ピストンピン小径化およびピストン軽量化による慣性重量低減 ピストンリングの低張力化 ピストンスカート部面積低減
クランク系	<ul style="list-style-type: none"> ジャーナル径小径化による軸受け抵抗低減 低フリクションオイルシールの採用
オイルポンプ系	<ul style="list-style-type: none"> オイル流量低減によるポンプ駆動ロス低減 ケース構造によるオイル戻り性改善
エンジンオイル	<ul style="list-style-type: none"> 新開発 10W-40MB エンジンオイルの採用
スタータ系	<ul style="list-style-type: none"> 飛び込み式セルモータ採用



Figure 11 CVT

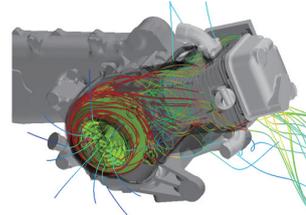


Figure 12 ファンカウル流れ解析

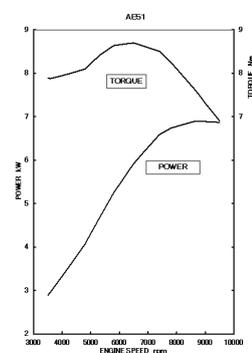


Figure 13 エンジン性能曲線

低燃費 YM-JET FI 搭載 AT エンジンの開発

Development of the low mileage YM-JET FI deployment AT engine

神ノ門 裕之 (ヤマハ発動機 (株) 第1エンジン開発部 設計グループ)
永井 良卓 (ヤマハ発動機 (株) 先行開発部 エンジン技術開発グループ)

Hiroyuki KAMINOKADO, Yoshitaka NAGAI (Yamaha Motor Co., Ltd.)

1 はじめに

二輪車市場は、2012年世界の総需要5534.3万台(当社調べ)となっているが、アジア(日本を除く)市場は、一部新興国での金融規制政策や欧州経済危機の影響から景気は減速局面を迎えながらも、4410万台を生産し全世界の80%近くを占める大きな市場となっている。アジアで販売している二輪車のカテゴリはスポーツ、アンダーボーン、オートマチックトランスミッション(AT)に大別できるが、利便性からATカテゴリが増加してきており仕向地によっては半数を占めるほどに成長している。

当社ではATカテゴリに2003年から「Mio」シリーズを導入してきたが、今後も増加傾向を見込む本シリーズを選択いただけるお客様に向け、環境、燃費性能に優れた「YM-JET FI」を装着した新開発エンジンを搭載したモデル「Mio J」を2012年2月より投入した。以下、代表仕向地のインドネシア向けモデル「Mio J」のエンジンと「YM-JET FI」について紹介する。

2 モデルの狙い

モデルのコンセプトは「New Basic AT Commuter」とし、市場で高い評価を頂いている旧キャブレタモデルの長所を維持・向上させつつ、燃費・環境性能を大幅に改善し、新しいオートマチック車の基準としたいという意志を込めている。このコンセプトを実現するために、エンジンとしては「改善が明らかに感じられる燃費」というキーワードを設定した。そのため開発目標は、動力性能改善し0~50m加速でクラストップの加速性能を維持しながら、燃費改善を旧モデルに対しECE-R40モードで25%以上と設定し、達成している。

3 新開発エンジンの開発

次世代エンジンにふさわしい出力、燃費、排ガス、騒音、振動など様々な要求を高い次元で融合させるべく、細部にまで亘って徹底的な検討を行い仕様を煮詰めた。エンジンの基本諸元を表1に示す。

特に燃費改善については、既に台湾・タイ向けの他モデルで先行採用しているYM-JET FIを改良することによって、更なる筒内流動強化を実現し、クラストップレベルの燃費性能確保を図った。

燃費改善の方針・手段を表2にまとめる。

4 YM-JET FI の概略

YM-JET FIの基本構造と低負荷運転時の吸気流れの概略を図1に示す。PFI(本稿では従来のコンベンショナルな構成のFIをPFIと略す)の吸気管噴射システムと同様にマニホールドに取り付けたインジェクタ、機械式のリンク機構にて位相差を設定した2枚のバタフライ弁を搭載するスロットルボディ、バタフライ弁の間を入口とし吸気ポートのバルブ直近をシリンダ内に向う方向を出口とする副通路によって構成される。

低負荷運転時には下流側のスロットルバルブは閉じており、機関運転に必要な空気の殆どが主吸気ポートを通らずに副通路を通してシリンダ内に供給される。副通路を通る空気は主吸気ポートに比べて径を細く設定することで筒内へ導入される空気の流速を速め、尚且つシリンダ内に指向性を持って噴出されることでシリンダ内に筒内流れを発生させる。これによ

Table 1 エンジン基本諸元

原動機種類	空冷・4ストローク・SOHC・2バルブ
気筒数配列	単気筒
総排気量	114cm ³
内径×行程	50.0mm×57.9mm
圧縮比	9.3:1
最高出力	5.8kW/8,500r/min
最大トルク	8.6N・m/5,500r/min
始動方式	セルフ・キック併用式
潤滑方式	強制圧送ウェットサンプ
燃料供給	フューエルインジェクション
点火方式	TCI(トランジスタ式)
1次/2次減速比	1.000/9.882
クラッチ形式	乾式、遠心
変速機形式	Vベルト式/オート
変速比	2.200~0.840:無段変速

Table 2 Development Themes

燃費改善	筒内流動強化	YM-JET FI 改良
		吸排気バルブ配置狭角化 吸排気ポート最適化
	霧化強化	燃量圧力強化
効率改善	高効率化	圧縮比 UP
	冷却性向上	遠心ファン効率 UP DiASiI シリンダ(*1)
ロス低減	低フリクション	低張力ピストンリング
		ローラックアーム
		低ロスオイルシール
		低ロスホールベアリング
		低粘度エンジンオイル対応
低消費電力	ACM 単相化 AC-DC	
	オープン制御	
	O2 センサのヒールス化	
	フューエルポンプ プラシス化	
低回転化	カムプロフィールオーバーラップ最適化	
	CVT セッティング最適化	
	エアリーナ容積拡大 吸気管長最適化	

*1: DiASiI シリンダ: オールアルミ製ダイキャストシリンダ

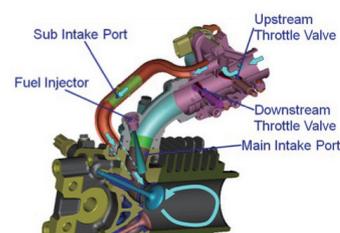


Figure 1 YM-JET FI の構成と低負荷運転時の吸気流れ

り混合気の筒内流動強化に因る燃焼速度の向上を得ることができる。

高負荷運転時の概略を図2に示す。エンジンの吸入空気量が副通路の最大空気流量を超えると下流側のスロットルバルブが開き、主吸気ポートも利用して吸気を行う。主吸気ポートからの流れが支配的になると副通路を通して筒内に流入する流れも弱くなるが、主ポートの形状はPFIと同等であるため、必要な性能を得るのに十分な空気流れを確保できる。

5 YM-JET FI による燃焼改善

YM-JET FIの基本コンセプトは筒内流動の強化による混合気形成の改善と燃焼特性の改善である。上記二つの内容についてPFIとの比較を元にCFDを利用した筒内流れの比較と試作エンジンをを用いた燃焼特性の比較について紹介する。

5.1 CFDを利用した筒内流れの比較

YM-JET FIでは主吸気ポートをシリンダ内に向かって貫通する副通路の配置が筒内流れを決定する重要な項目である。そこでCFDを使用した定常流解析を行い、最適な副通路の搭載位置の選定を行った。

図3にYM-JET FIの吸気流れの一例を示す。PFIの吸気流れの参考として同一流量条件における主ポートのみの流れも示す。PFIの流れは吸気バルブの上下側両方を通してシリンダ内に流入するのに対して、YM-JET FIの流れは吸気バルブの上側を通してシリンダ壁面に沿って流入するタンブル流が顕著である。CFDの結果から算出されるタンブル比を図4に示す。YM-JET FIはPFIに比べてバルブリフトの開弁に伴ってタンブル比が大きくなるため、筒内流動の効果が大きいことが期待できる。

5.2 燃焼特性の比較

YM-JET FIの燃焼特性を確認するためにエンジンの諸元がMio Jに類似した試作エンジンにて評価を行った。

また比較として同一エンジン諸元にて燃料噴射系のみPFIに置き換えたエンジンも用意した。図5にYM-JET FIとPFIの定常運転条件における各A/Fに対する燃料消費率とIMEP変動率の一例、図6に同一運転条件における燃焼期間の一例を示す。図よりYM-JET FIはPFIよりも特に主燃焼期間(10-90% MBF)が短く、A/Fが増加してもほぼ一定である。またIMEP変動率についてもA/F=17付近まで低く一定であり、急激な変動率の増加は見られない。またYM-JET FIはPFIに比べ最小燃費率は小さく、最小燃費率を示すA/F領域も拡大している。これらの燃焼改善はCFDで示した強いタンブル流により混合気形成と急速燃焼が促進されたためと考えられる。

以上の結果からYM-JET FIによる燃焼改善はMio Jの実用燃費の向上に有効な手段の一つとなった。

6 おわりに

ヤマハらしい走りを損なわず、燃費を廉価で向上させたいという思いから始まって、先行開発から直結した量産モデル開発を経て、高い目標を新しい技術でクリアできた。このモデルに触れていただき、それを体感いただけたのならば開発者として無上の歓喜である。また、燃費向上は我々エンジニアの使命であるが、まだまだ通過点だと考えている。今後さらなる改良を惜しむことないよう努力を継続していく所存である。

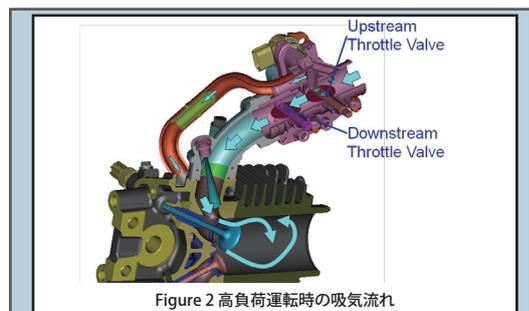


Figure 2 高負荷運転時の吸気流れ

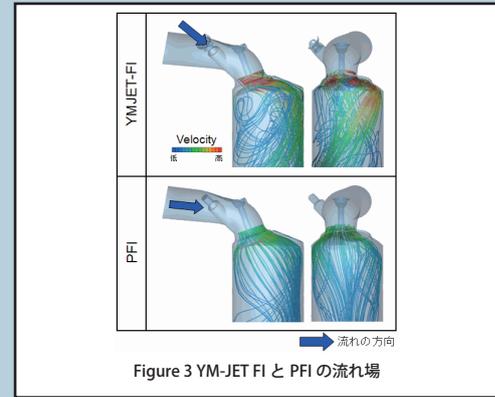


Figure 3 YM-JET FI と PFI の流れ場

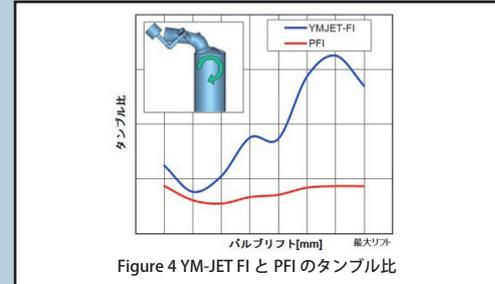


Figure 4 YM-JET FI と PFI のタンブル比

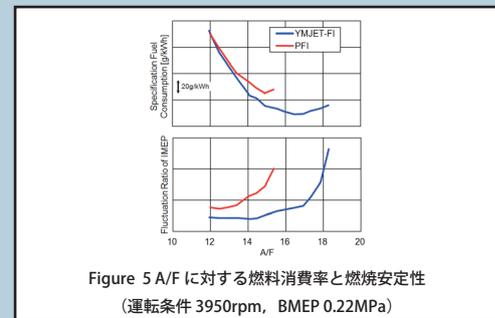


Figure 5 A/F に対する燃料消費率と燃焼安定性
(運転条件 3950rpm, BMEP 0.22MPa)

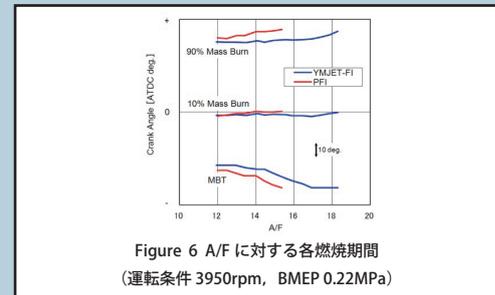


Figure 6 A/F に対する各燃焼期間
(運転条件 3950rpm, BMEP 0.22MPa)



Figure 7