

力強いパワーフィールと環境性能の両立

Balancing Outstanding Power Feel with Low Environmental Load



田村 潤司① Junji Tamura
 鈴木 弘三② Kozo Suzuki
 谷山 嘉康③ Yoshiyasu Taniyama
 齋藤 将仁④ Masahito Saitou
 中尾 祥典⑤ Yoshinori Nakao
 清瀧 元⑥ Gen Kiyotaki
 中山 耕輔⑦ Kosuke Nakayama
 安部 崇嗣⑧ Takashi Abe
 柳瀬 大祐⑨ Daisuke Yanase

カワサキのブランドイメージである力強いパワーフィールを損なうことなく、燃費向上および排出ガス中の有害物質低減を実現するための、エンジンの燃焼改善技術、燃料噴射の制御技術および触媒技術について紹介する。

This paper discusses technologies for improving fuel efficiency and reducing harmful substances contained in exhaust gas without taking away from the outstanding power feel that is the hallmark of a Kawasaki motorcycle. This is achieved through technologies that improve engine combustion and control fuel injection volume as well as catalyst technologies.

まえがき

モーターサイクルは趣味性の強い乗り物であるため、走る悦びや操る楽しさは商品性を左右する重要な要素である。一方、環境負荷低減に対する社会的要請は、排出ガス規制をはじめとして、年々厳しさを増している。さらに、世界的な社会問題となっている地球温暖化を抑制する観点から、燃費の向上も求められている。

このような背景から、当社のモーターサイクルの特徴である力強いパワーフィール（出力性能）を損なうことなく、燃費向上および排出ガス中の有害物質低減を実現する技術開発に取り組んでいる。

本稿では、これらを実現するための基本となる、シリンダ内の燃焼改善技術に加え、年々厳しくなる排出ガス規制をクリアするための、燃料噴射の制御技術および触媒技術について紹介する。

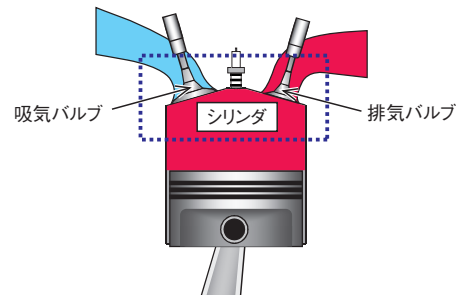
1 燃費向上とパワーフィールの両立に向けた取り組み

燃費を向上させるためには、モーターサイクルの運転時間内の大部分を占める、常用運転領域における対策が効果的である。

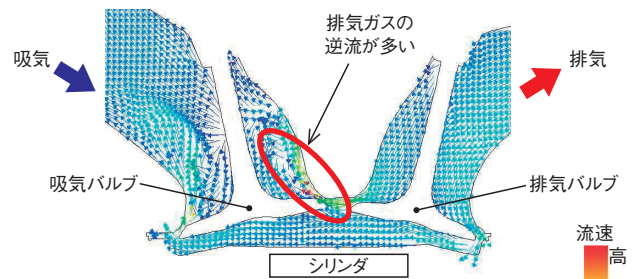
常用運転領域におけるエンジンの燃焼改善に取り組むとともに、力強いパワーフィールを実現するため、吸入空気量の増量を図っている。さらに、点火時期の最適化、機械損失の低減に取り組んでいる。

(1) 燃焼改善

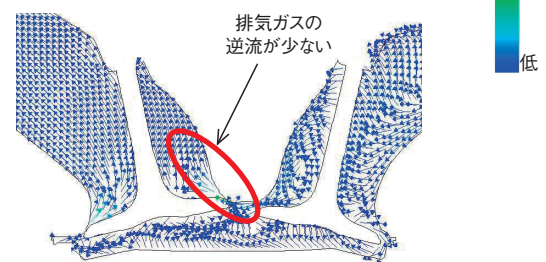
常用運転領域の燃費向上には、シリンダ内に残留する排気ガスを低減させ、燃焼を安定化させることが重要である。



(a) 評価部位



(b) バルブオーバーラップ期間を長く設定した場合



(c) バルブオーバーラップ期間を短く設定した場合

図1 流速分布の解析例
 Fig.1 Predicted flow fields

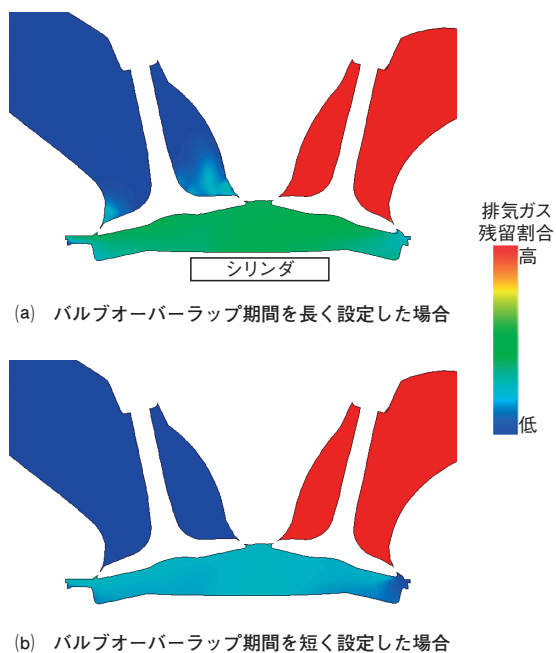


図2 排気ガス残留割合分布の解析例
Fig. 2 Predicted residual ratio of exhaust gas

このためには、排気ガス残留割合へ影響を及ぼす重要な因子の一つである、バルブオーバーラップ期間（吸気バルブと排気バルブが同時に開いている期間）を、機種コンセプトに応じて最適化する必要がある。

バルブオーバーラップ期間を長く設定した場合と短く設定した場合それぞれについてのシリンダ内の流速と排気ガス残留割合の解析例を図1および図2に示す。

常用運転領域では、スロットルバルブの開度が比較的小さい領域のため吸気ポート内の圧力がより負圧になっている。この負圧によって、バルブオーバーラップ期間に排気ガスがシリンダ内および吸気ポートへ逆流する。図1から分かるように、バルブオーバーラップ期間を短く設定した方が、排気ガスの逆流が抑制されるため、シリンダ内の排気ガス残留割合を低減させ、新気の割合を増加させることができる（図2）。

(2) 吸入空気量の増量

低速域からの力強いパワーフィールを実現するためには、シリンダ内への吸入空気量の増量が求められる。そのため、

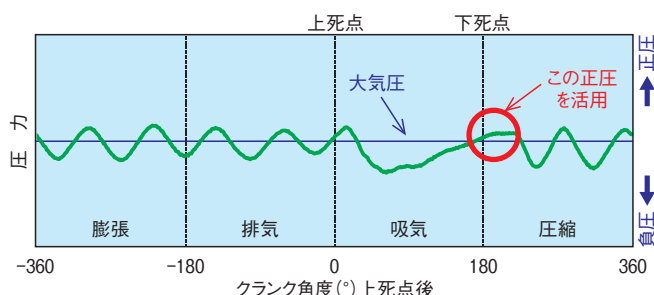


図3 吸気ポートの圧力脈動
Fig. 3 Intake pressure pulsation of intake port

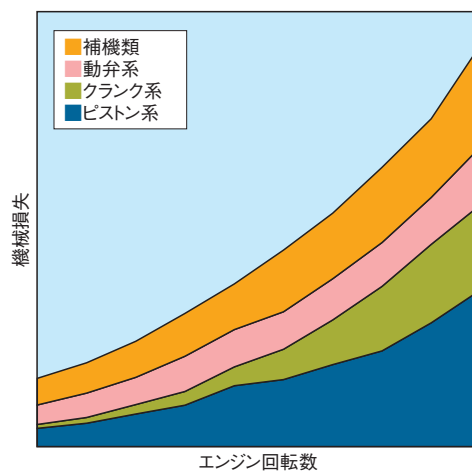


図4 エンジンの各部品の機械損失
Fig. 4 Friction loss of each engine part

吸入空気量へ影響を及ぼす重要な要因の一つである、吸気バルブを閉じるタイミングの最適化を図っている。

吸気の動的効果により発生する、吸気ポートの圧力脈動を図3に示す。吸気バルブの閉じるタイミングを最適化することで、下死点後の吸気圧力が正圧になっている区間を有効活用し、吸入空気量を増量させている。

(3) 点火時期の最適化

出力および燃料消費量が最良となる点火時期（MBT：Minimum advance for the Best Torque）が存在するが、エンジンの負荷が高い運転条件においては、ノッキングの発生を抑制する必要性から点火時期をMBTまで近づけられない場合がある。そこで、ノッキングが発生する点火時期（ノッキング限界）を把握し、エンジンの水温・油温が高いなどの悪条件下においてもノッキングが回避できるよう、ノッキング限界に対して余裕を持たせた点火時期に設定している。

(4) 機械損失の低減

燃費の向上および高出力化を達成するには、エンジンの機械損失を低減させることも有効な手段である。

エンジンを構成する各部位の機械損失の内訳を定量的に把握することにより（図4）、エンジン回転数に対応して機械損失を低減させる部品の優先順位を定めることができ、開発のスピードアップを図っている。

2 排出ガス中の有害物質低減に向けた取り組み

近年、地球環境問題への関心が強まる中で、モーターサイクルの排出ガス中の有害物質低減への要求がますます高まっており、世界各国で新しい排出ガス規制が導入されている。例えば、大型モーターサイクルの主な市場である欧州においては、2016年からEUROIV排出ガス規制、さらに、2020年からEUROV排出ガス規制の開始が予定されている。

これらの新しい規制では、新品時において規制値を満たすだけでなく、既定の距離を走行した後も排出ガス中の有害物質の量が規制値を下回ることを求められている。

(1) 燃料噴射量制御による浄化性能の維持

CO, HC, NOxの3つの有害物質を酸化/還元反応によって浄化する三元触媒を排気系に適用している。さらに、これら3物質を同時に効率良く浄化するため、O₂フィードバック制御を採用している。O₂フィードバック制御は、触媒の上流側に取り付けたO₂センサの信号を基に、ECU (Electronic Control Unit) が燃料噴射量を調整し、燃料に対する空気の比率 (空燃比) を理論混合比* (約14.5) に制御する電子制御システムである。空燃比に対する触媒浄化率の性能を図5に示す。

しかし、O₂フィードバック制御では、走行距離の増加に伴い、触媒の上流側に取り付けたO₂センサの劣化により、理論混合比付近での運転が困難になり排出ガス中の有害物質増加を招くことがある (図6(a))。

これに対し、触媒で浄化した後の排出ガスの状況を把握可能な触媒の下流側に取り付けたO₂センサの信号を基に、触媒の上流側に取り付けたO₂センサの劣化を補正する。こ

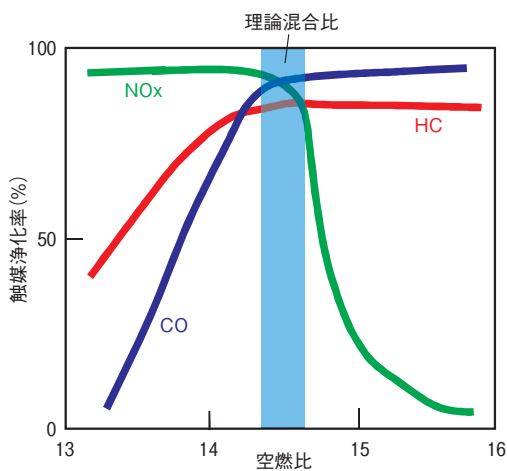


図5 触媒浄化性能
Fig. 5 Conversion of catalyst

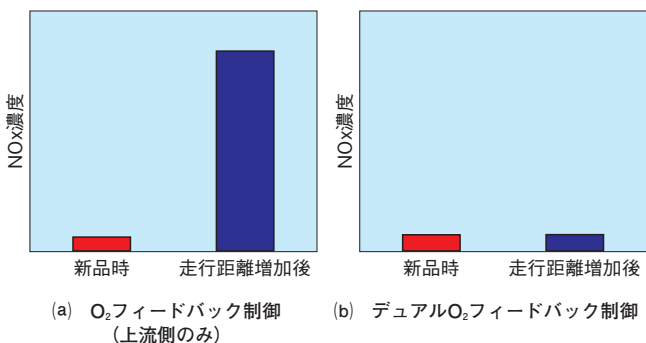


図6 排出ガス中のNOx濃度
Fig. 6 NOx concentration in emission gas

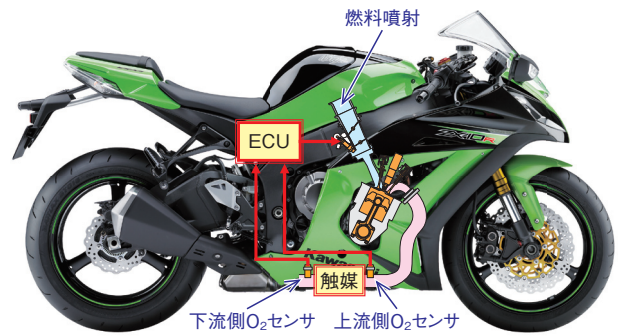


図7 デュアルO₂フィードバックシステム
Fig. 7 Dual-O₂ feedback system

れにより、走行距離増加後においても理論混合比での運転を可能にするデュアルO₂フィードバック制御を開発した (図7)。本制御により、走行距離増加後における排出ガス中の有害物質増加の抑制が可能となった (図6(b))。

* 理論混合比: 空気と燃料が過不足なく反応する時の空燃比

(2) 触媒浄化性能の寿命予測

排出ガス規制に対する技術開発として、エンジン制御により触媒処理前で有害物質を低減させるだけでなく、触媒自身の浄化性能向上も必要不可欠であり、触媒の浄化性能は走行距離に伴って低下するため、長い走行距離に耐え得る耐久性の高い触媒開発も望まれている (図8)。

ただし、触媒開発を行う際に、実際に車両を数万km走行させて耐久性を評価すると、非常に長い開発期間が必要となる。そのため、数万km走行後の排出ガス量を短期間で予測する性能評価技術が、触媒開発において重要となる。

触媒の浄化性能の低下原因は、反応活性成分である貴金属の粒子同士が熱と空燃比の影響により凝集し、反応に関



図8 モーターサイクル用浄化触媒 (ハニカム形状)
Fig. 8 Three-way catalyst for motorcycle (Honeycomb form)

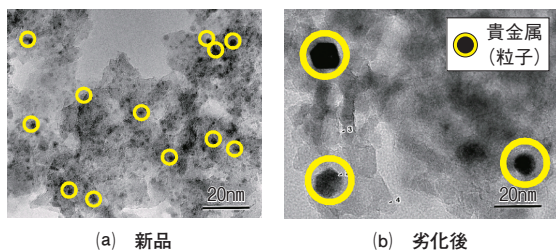


図9 触媒中貴金属の透過型電子顕微鏡観察像（新品と劣化後）
 Fig.9 TEM images of precious metals in catalyst (Fresh and after degradation)
 *TEM : Transmission electron microscopy

与できる活性表面積が減るためと考えられる（図9）。この推察に基づき、触媒の浄化性能の低下要因である温度と空燃比変動を適切にコントロールすれば、走行距離に伴い低下する浄化性能を、短時間で予測することが可能になる。

そこで、まず規制値クリアが可能となった車両について、触媒使用条件（温度と空燃比）の詳細な把握を行った。次に、そのデータを基に、ガス雰囲気調整が可能な電気炉を用い、実際の車両での走行中よりも高い温度を、模擬的に触媒に与えて性能低下を促進させた。その結果、数万km走行後の浄化性能を数十時間で再現できることを確認し、評価技術確立した（図10）。本技術を用いることで、適切な触媒候補の絞り込みが短時間で行えるようになり、排出ガス規制を満足する車両開発を、短期間で達成することが可能になった。

さらに、触媒本体の耐久性向上のための研究も行っている。触媒の内部構造をナノレベルから原子レベルで追跡することができる大型放射光実験施設 SPring-8 において、主に白金やパラジウムなど貴金属が凝集する現象の解明を進めている。

触媒の能力を向上させることは、環境負荷への寄与だけでなく、排気抵抗となる触媒の搭載量を少なくできることから、エンジンの出力低下の抑制にもつながる。

あ と が き

カワサキのブランドイメージである力強いパワーフィールを損なうことなく、環境負荷低減という社会的要請に応えられるモーターサイクルを具現化するための技術について紹介した。今後も、環境性能の向上を図り社会的使命を果たすとともに、生活の豊かさを広げ、夢を与えるモーターサイクルを顧客に提供していく所存である。

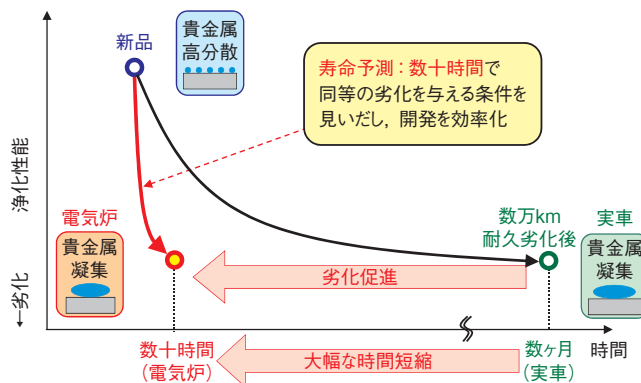


図10 触媒浄化性能の寿命予測方法イメージ
 Fig.10 The images of catalyst life predicting method

参 考 文 献

- 1) T. Abe, S. Kuratani, Y. Mori and D. Yanase: "Application of Air Fuel Ratio Control to a Motorcycle with Dual Oxygen Sensor", Proc. of Small Engine Technology Conference. SETC, 2011-32-0629, SAE (2011)
- 2) 清瀧ほか：“白金及びパラジウム担持各種酸化物排ガス浄化触媒の劣化機構に関する検討”，第105回触媒討論会 2 P78 (2010)
- 3) 清瀧：“貴金属担持各種酸化物排ガス浄化触媒の劣化機構に関する検討”，第8回SPring-8産業利用報告会（サンビーム成果報告会）(2011)



田村 潤司



鈴木 弘三



谷山 嘉康



齋藤 将仁



中尾 祥典



清瀧 元



中山 耕輔



安部 崇嗣



柳瀬 大祐