

モーターサイクルの環境対応技術

Challenges for Environmental Protecting Technology of Motorcycles

井坂義治 Yoshiharu Isaka

●モーターサイクル事業本部 技術開発室

要 旨 排気ガス規制対策を始めとして今後一層厳しさを増してくると考えられるモーターサイクル（MC）の環境対応について、一般的には四輪技術の応用という考え方をされやすいが、小型・高性能エンジンとしての特性から、必ずしもそのまま適用できるわけでもない。また、騒音規制などについては現状でも四輪より厳しい規制値となっており今後も継続されるなど、中期的に見ても技術開発への努力は継続拡大が必要となっている。当社では全社的な環境行動計画を策定しているが、その中でMCについての一部の行動計画である排ガス、騒音、燃費について対応技術を紹介する。

1 はじめに

世界における二輪車の保有台数は1億1千万台を越えており、その用途は、途上国における生活必需品の輸送手段、先進国におけるビジネス、サービスなどの交通手段から、スポーツ、レジャーへと拡大している。普及率は、1台当たりの人口で見ると台湾の2人をトップに、日本は8人であるが、世界平均では49人である⁽¹⁾。アジアを初めとして、今後ますますの増加が見込まれており、ライフサイクルで言えば成長段階にある商品といえる。

モーターサイクル（以下、MCという）エンジンは、2サイクル、4サイクルの形式ごとにシリンダ数や配列、冷却方式、変速方式など様々なタイプが実用に供せられ、新たな感動と豊かな生活を提供するため、最適な形式が選択されてきた。しかし、世界的な環境への関心の高まりの中で、排ガス、騒音などに関し、厳しい法規制が導入強化されつつあり、寄与率が小さいMCについても対象とされる場面が多くなってきている。また、先に策定された「環境2000年プラン」における内容の一つである、環境負荷の小さい製品作りの具体的な推進も求められている。

従来より、小型軽量・高効率などを目指して、多くの改良を重ねてきているが、ここでは今後の省資源・環境保全のために求められているMCの技術開発状況について紹介する。

2 規制の状況

地域ごとに規制が異なっているため、現在の代表的な値について示す。

排ガスの三成分のCO、HC、NO_xについては、健康阻害・光化学スモッグ・酸性雨などの原因として排出抑制

が求められてきており、代表的なものとしてCARBやスイス規制などがあるが、さらに、今後強化されていくEU統合規制や、世界的に最も厳しい台湾の規制がある。台湾については、既に50ccにおいても触媒の装着が行われているが⁽²⁾、今後実施される3期規制については、大幅な浄化率の向上や耐久距離の延長が、必要となっている。図1に現在の2サイクルの規制値を示す。

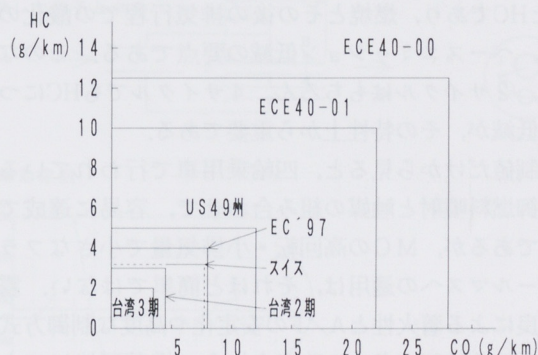


図1 各国排ガス規制値（2サイクル）

騒音については、国内において昭和46年に騒音規制が改正されて以来、世界で最も厳しい加速騒音規制が実施されているが、さらに今後40%程度の低減が平成10年以降予定されており、また、定常走行騒音・近接排気騒音についても、新しく対応が求められている。図2に国内の加速騒音規制値とエネルギー比率の推移を示す。

燃費については、地球温暖化防止の主要因と見られているCO₂の増加抑制と、石油資源の枯渇対策の手段として、四輪への燃費改善の機運と共に、MCについても対応が求められてきている。台湾など一部で規制があるが、ヤマハ発動機（以下、当社という）では地球的な見地から、自主的な目標を立て長期的な取り組みを進めている。

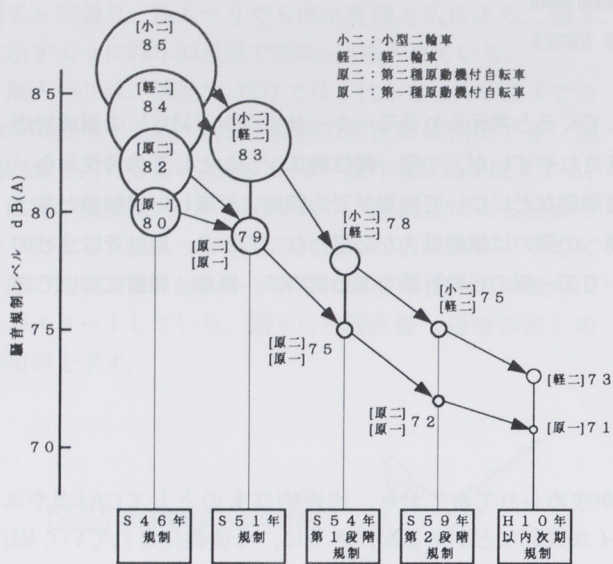


図2 国内加速騒音規制値の推移

3 排気ガス浄化技術

三成分のなかでも、MCにおける排ガス対策の重点はCOとHCであり、燃焼とその後の排気行程での酸化の持続が、ベースエミッション低減の要点である。そのなかでも、2サイクルはもちろん、4サイクルでもHCについての低減が、その特性上から重要である。

規制値だけから見ると、四輪乗用車で行われている電子制御燃料噴射と触媒の組み合わせで、容易に達成できそうであるが、MCの高回転・小排気量で小さなフライホイールマスへの適用は、それほど簡単ではない。霧化の改良による着火性とA/Fの安定化や高度な制御方式など、GTS1000で多くの改良を加えて搭載可能にできた例もあるが、コストも含めてすべてのエンジンに最適なシステムであるとは単純にいえず、機能・特性上からキャブレタでの対応も必要となっている。

キャブレタは、気筒ごとに装着される場合が多いため、単体での高精度化はもちろん、同調の精度維持なども重要である。セッティングはリーン化に移っており、そのための始動即発進対策として、図3の温度補償装置なども一般化している。

触媒は、メタル担体に貴金属を担持させたハニカム触媒をマフラに装着しているが、特に2サイクルは、排気中に酸素を有しているため、触媒による浄化が行いやすい。しかし、位置によってエンジン性能への影響が大きいため、触媒活性のための温度との関連で選定が重要である。このため、エキパイ内面に貴金属を担持し簡易浄化発熱させ、触媒に入るガス温度維持を図ることも行わ

れている。触媒装着に伴う内部部品SUS化など、コスト面からの負担は大きく、また、触媒の振動による物理的な耐久性のために、車体剛性も考慮した排気系の振動解析技術なども重要である。スクータの場合、マフラ内のパーティションで、モノリス触媒を支える構造にし、本体の変形などによる触媒のダメージを軽減している。⁽²⁾ また、より低温でのライトオフと長期の浄化性能確保のために、触媒自体の改良も続けられている。

4サイクルでも重点は、COとHCであるが、エンジンの形式によって必要な浄化率も異なることから、最適なシステムがそれぞれ存在する。空冷エンジンでは、比較的ベースが低いこともあり、簡単なシステムとして、図4の排気ポートへの2次空気導入が一部の4サイクルエンジンで用いられている。システムそのものは新しいものではないが、MCの排ガス特性にあったシステムとして、エアの流量特性や空気量当たりの浄化率の改善などの機能の向上が行われている。

また、気候や燃料性状などの異なる各国で、排気ガス規制が実施・強化されてきている中、仕向地ごとに異なる規制値に対して最適な仕様を設定し、また四輪とは異なる実使用環境での長期安定した機能維持のための劣化環境など、開発の項目と時間の大幅な増大から効率のよい開発業務の推進も余儀なくされてきており、このための開発システムも重要である。

さらに、継続して実施している2サイクルの煙対策については、オイル量の電子制御⁽³⁾や高精度オイルポンプの実用化が行われ、オイルの改良と共に市場で好評を得ている。

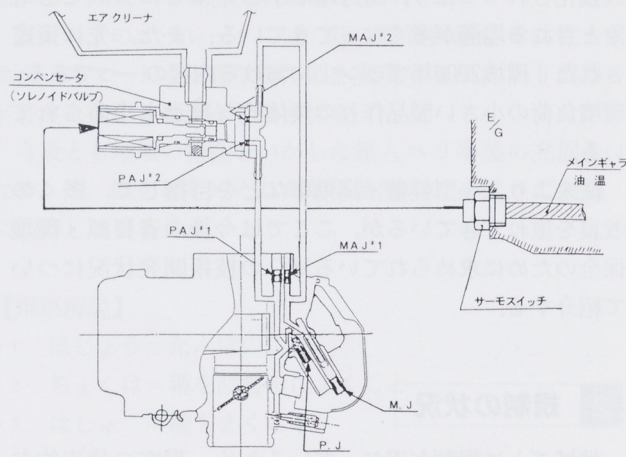


図3 キャブレタの温度補償装置

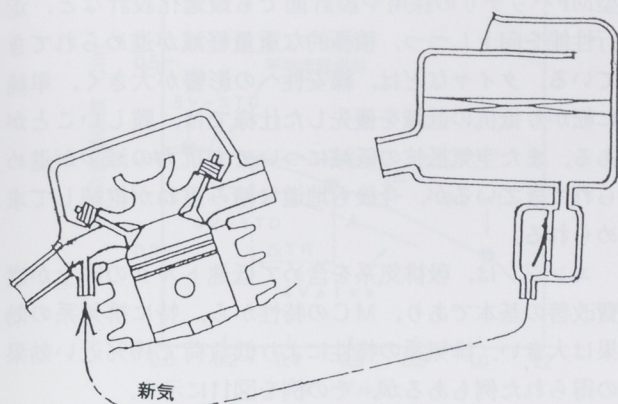


図4 排気2次空気インジェクションシステム

4 騒音低減技術

騒音の要因は、エンジン・吸気系・排気系・駆動系・タイヤ・車体などであるが、もはや特定の箇所だけでなく、音源が分散化し、かつ複雑化している。国内加速走行騒音規制における規制値に伴う音圧エネルギー比率と音源寄与率を図5に示す。MCは、吸・排気系などの容積や重量に厳しい制約があり、騒音対策のための余裕は極めて少ない。加えてエンジンが外部に露出し、外観デザインも重要であるなどの点からも、適用できる対策技術の制約がある。

このような中で、短期の開発日程で試行錯誤を繰り返すことなく対策を進めていくために、従来技術の延長だけでは目標達成が難しいものについては、要素技術として開発している。これは、騒音低減によってほかの機能に悪影響が出ることで、対策が困難となっているものなどである。一例として、排気サイレンサを示す。サイレンサの内部構造の決定には、シミュレーションが活用されているが、低騒音化を狙った仕様によっては、図6のごとく背圧の上昇と共にピストン頭部温度が上昇し、エンジンの熱的トラブルを発生する場合がある。このため、サイレンサの各設計因子を定量的に調査し、騒音と背圧とを両立させるための基礎的な研究も行われている。これを図7に示す。

FEM構造解析や実験モード解析は、振動挙動解析に有効なツールであるが、開発日程の中で活用できるように、解析技術の実用化に取り組んでいる。周波数の低いエンジン振動なども騒音源として問題になる場合があるが、図8にエンジンAssyとしての解析状況を示す。吸気系については、吸気の脈動現象を加振源とする吸気系の空洞共鳴をFEMなどを用いて計算し、各部品の形状やレイアウト、さらにはレゾネータの最適セッティングなどにより、共鳴レベルの低下や共鳴周波数の移行が図られ、プロジェクトでの実用化が行われつつある。

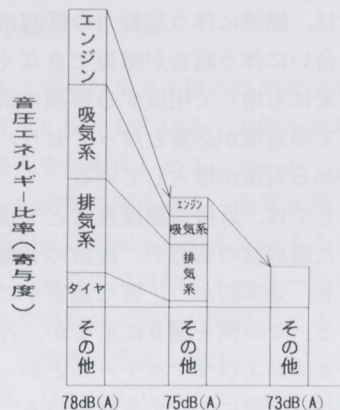


図5 騒音規制値と音圧エネルギー比率

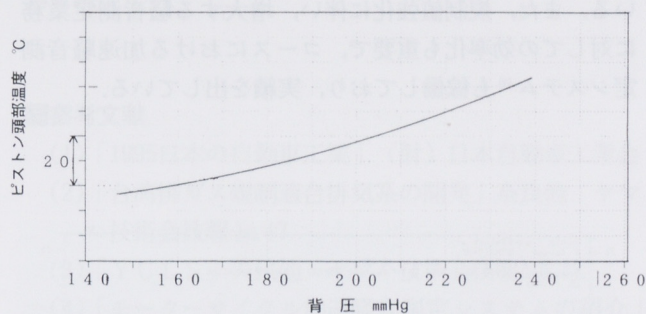
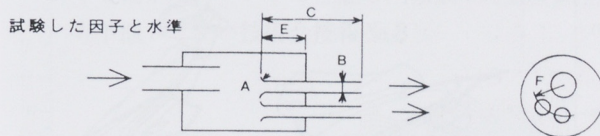


図6 サイレンサ背圧とピストン温度



要因効果図

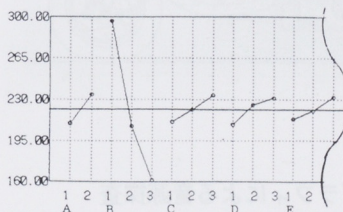


図7 サイレンサ低背圧化要因と効果

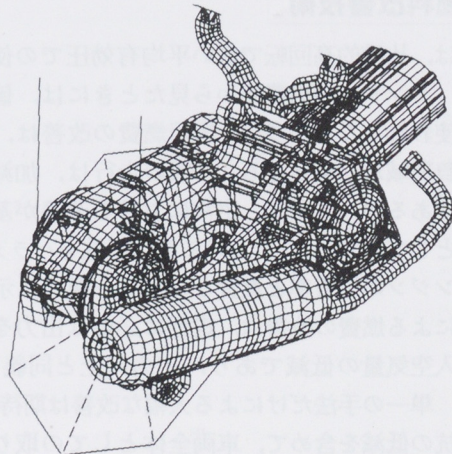


図8 FEMによるモード解析

エンジンでは、燃焼に伴う起振力の低減や、ミッションギヤの噛み合いに伴う騒音が無視できなくなっているなど、従来にも増して相反する事項の両立やマイクロン単位の精度での対策が必要となっており、複雑で多面的な時間のかかる対策が増大している。

計測技術としては、近接音源探索などで従来明確な特定が難しかった低周波の音源や、複数の音源が存在する場合についても、効率的かつ正確な測定ができるようになってきている。その例を図9に示すが、冷却ファン入り口、マフラー本体およびマフラーテールといった近接した3箇所の音源が、明確にとらえられている。またこれとは逆に、従来困難であった2 kHz以上の音に対しても、高周波音の特性を利用した新しい探索法が実用化できている。また、規制値強化に伴い、増大する騒音測定業務に対する効率化も重要で、コースにおける加速騒音測定システム⁽⁴⁾も稼働しており、実績を出している。

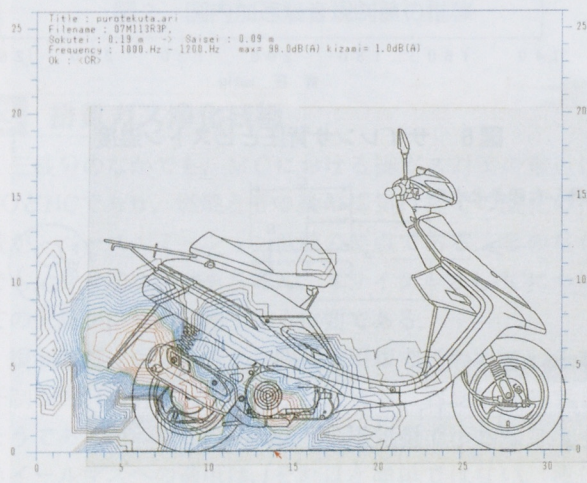


図9 音響ホログラフィによる音源探索

5 燃料改善技術

MCは、比較的高回転で低い平均有効圧での使用が多いため、エンジンの燃費率から見たときには、値が高い範囲で使われることが多い。実用燃費の改善は、このような低負荷域が対象となる。一般の走行は、加減速の繰り返しであるが、まずは、定常における改善が基本である。例として、30km/hにおける走行抵抗をパラメータとしたエンジンの燃費率と燃費との関係を図10に示す。エンジンによる燃費の改善は、走行に必要な出力を得るときの吸入空気量の低減であり、出力向上と同義である。従って、単一の手法だけによる大幅な改善は期待できず、走行抵抗の低減を含めて、車両全体としての取り組みが求められる。

MCは、従来からアルミの使用比率なども大きく、小型MFバッテリーの採用や設計面でも最適化設計など、走行性能を向上しつつ、積極的な重量軽減が進められている。タイヤなどは、繰返し性への影響が大きく、単純に転がり抵抗の低減を優先した仕様では、難しいことがある。また空気抵抗の低減についても抗力の減少が進められてきているが、今後も地道な積み重ねが継続して求められる。

エンジンは、吸排気系を含めて低速トルクの向上が燃費改善の基本であり、MCの特性から、特に排気系の効果は大きい。排気系の特性により低負荷で10%近い効果の得られた例もあるが、その例を図11に示す。

低負荷域では、吸気による筒内流動を強化し燃焼を改善する目的で、タンブルが注目されている。4バルブでは、2バルブに比べて中心点火のプラグ配置と共にタンブルが得やすいため、優位性が認められている。さらに5バルブでは、4バルブに比べて図12に示すように、同じ流量係数ではタンブルが強化でき、同じタンブル比ならば流量係数が向上できる優位性が、エンジン研究Gr.によって確認されている。単なる急速燃焼では得られない効果がタンブルで得られているが、また可変機構によれば、MCの特性に沿ったWOTの性能を維持しつつ、さらなるタンブルの強化が得られる。吸気ポートの下側を絞ることにより、流速の向上と流れの方向を規制できるようにした吸気制御について、図13に解析研究Gr.による筒内の乱れ強度についてのシミュレーション結果を掲げる。

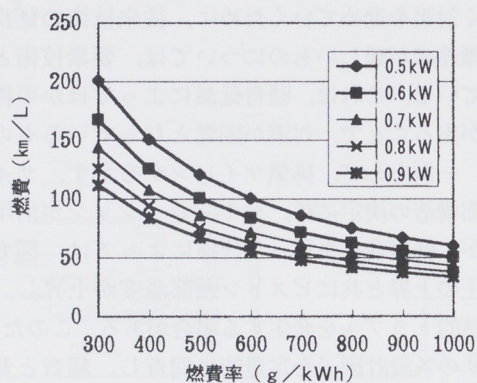


図10 車両の走行抵抗と燃費

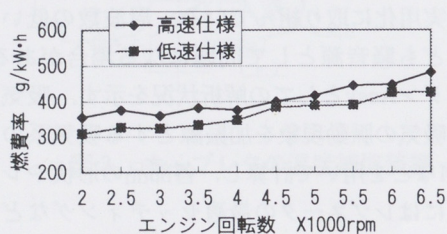


図11 燃費に対する排気系の効果

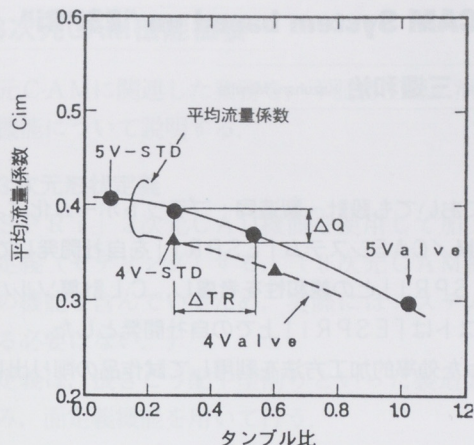
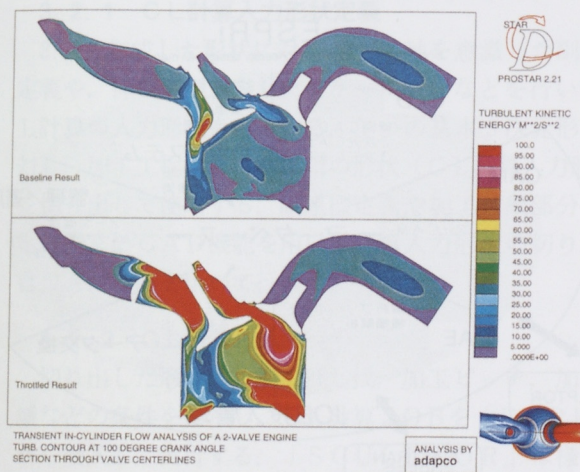


図12 5バルブの4バルブに対する優位性



上：通常ポート

下：吸気制御した場合

図13 可変機構による筒内乱れエネルギーの強化

摩擦損失低減については、ピストンやコンロッドなどのFEM解析を用いた軽量化設計と共に、材料や熱処理による疲労強度の向上による小型化が進んでいる。⁽⁵⁾ 表面処理による摩擦の低減も行われているが、これらは燃費だけでなく排ガスに対しても効果的であり、進展が期待されている。

点火時期にスロットル開度の要素を入れ、低負荷時での最適点火時期の設定を可能とするため、TPSが用いられている。しかし、小排気量ではスペース上の理由などから採用しにくく、VMタイプでのスロットル位置を検出できるものが求められている。

Vベルト自動変速では、ベルトの改良による効率向上は通常の使用域において直接的な燃費効果があり、またトルクに余裕のあるモデルでは、変速特性の設定を燃費を重視した設定とすることにより、燃費を改善することなども行われており、効果が得られている。

6 おわりに

かつて、水と安全はタダと思われてきていたが、今やその意識は完全に変化している。大学を卒業し、新たに社会人となる人を対象にしたアンケートでは、地球環境の現状をけがの状態に例えると、危篤状態や意識不明の重症との悲観的見方が60%を越えているという報告がある。また、工学系学生の自動車メーカー志望の理由の多くが、排ガスや燃費のエンジン開発であると聞く。高性能の定義は、対環境と考える時代となってきている。メーカーとしては、ほかにモリサイクルや代替エネルギーなど取り組むべき課題は多いが、世界中に夢と感動を与えられるMC技術を目指し、環境負荷の小さい製品作りに努力を続けたい。

参考文献

- (1)「1995日本の自動車工業」(財)日本自動車工業会
- (2)「台湾排ガス規制適合排気系の開発」奈良他 ヤマハ技術会技報 No. 17
- (3)「Y C L S」矢代他 ヤマハ技術会技報 No. 17
- (4)「モーターサイクル加速騒音測定システムの紹介」丸山 ヤマハ技術会技報 No. 19
- (5)「2輪車用エンジンの性能と回転数の向上について」寺下他 ヤマハ技術会技報 No. 8