

小型 2 サイクルガソリンエンジンの排出ガス低減

Low Exhaust Emission System for Small Two-Stroke Cycle Engines

産業機器事業部 小林 芳雄*¹ 上野山 和之*²
 吉田 行輝*³
 技術本部 工藤 和憲*⁴ 遠藤 浩之*⁵

米国では 1995 年から園芸用のガソリンエンジンにも排出ガス規制が適用され、2000 年からは更に厳しい 2 次規制がスタートしている。2 サイクルエンジンは、掃気が不完全であるために、排出ガス対策は困難であるとされていた。2 サイクルの長所を生かしながら、この 2 次規制に対応するために、掃気時の燃料の吹抜けを抑制した新しい掃気方式の開発に取り組んだ。この結果、従来の方式に比べ排出ガス中の HC を約 1/3 に低減することができ、規制値をクリアすることができた。本報では、この技術とこれを適用して開発した 5 機種 of TLE シリーズを紹介する。

Emission regulations for small utility, lawn, and garden equipment engines went into effect in 1995 in the U.S. Tier 2 standards of the California Air Resource Board (CARB) went into effect in 2000. Reducing emission of small 2-stroke engines is thought to be difficult due to incomplete scavenging. Two-stroke engines have many features favoring handheld equipment, so we studied new scavenging to meet emission standards. We found that hydrocarbon (HC) emission could be reduced to about one third that of conventional engines, meeting the standard. This paper describes the new scavenging technology and the development of 5 new TLE series engine models.

1. ま え が き

近年、環境保護の観点から各国で排出ガスや熱効率に対する要求が厳しくなり、米国カリフォルニア州では 2000 年から第 2 次の排出ガス規制がスタートしている。小型 2 サイクルエンジンは、構造が簡単で軽量、かつ高出力、さらに自由な運転姿勢が可能なことから、主に手持ち作業機用として広く用いられている。しかしながら、従来の 2 サイクル方式では掃気が不完全であるために、排出ガス面では 4 サイクルに比べ HC の排出が多く、規制への対応が困難な状態であった。2 サイクルエンジンの特長を生かしながら、大幅な未燃排出ガス低減を実現できる新しい掃気方式の開発に取り組んだ。

2. 排出ガス規制の動向

米国カリフォルニア州では、1995 年から排出ガス規制がスタートし、2000 年からは第 2 次規制としてそれまでの約 1/3 のレベルに強化されている。表 1 にその規制値を示す。また、連邦環境保護局 (EPA) も第 2 次の規制を 2002 年から実施するほか、EC でも 2002 年から規制がスタートすることになっている。

3. 新しい掃気方式

従来の 2 サイクルエンジンの掃気はシニユーレ掃気方式であり、その構造説明を図 1 に示す。クランクケース内で圧縮された混合気を、ピストンのストロークで開口する掃気ポートから燃焼室内に供給しながら、同時に燃焼室内の既燃ガスを排気ポートに追出すものである。図に示すように新気の一部が排気ポートに吹抜けることが避けられない。図 2 は、光

学的な手法で排気ポートを通過する排出ガスの瞬時燃料濃度を計測したものである⁽¹⁾。従来の 2 サイクルでは、掃気ポートが開いた直後に高濃度の燃料成分の排出が見られ、最初の吹出し部分の影響が大きいことを示している。

新しい掃気方式の作動原理の説明を図 3 にて行う。新方式では 2 系統の吸気系を持ち、一方は燃料を含まない空気をリードバルブを介して掃気通路に、またもう一方は混合気をピストンで開閉する吸気ポートを経てクランクケースに供給する構造である。図 3 (a) は、ピストンが上死点に近い位置で、ピストンの上昇によって負圧になったクランクケースに、両吸気系から新気が吸入されている状態を示している。このとき、リードバルブを通る側は燃料を含まない空気が導入され、その最後の部分は掃気ポート内部を占めることになる。図 3 (b) は、膨張行程の後期、掃気ポートが開いた直後の状態を示している。ピストンの下降によって圧縮されたクランクケース内から燃焼室に向けた流れ (掃気) が発生するが、掃気の初期は通路内部のガス、すなわち空気 (先導エア) が使用されるため、その一部が既燃ガスの流れに巻込まれて排気ポートに吹抜けても、混合気でないため HC の排出にはならない。掃気は、その後クランクケース内の混合気によりなされるので、燃焼室にはこの混合気が充てんされる。このように 2 種のガスを掃気過程の中で使い分けることから、層状掃気と称している。

4. 掃気流動計算

4.1 計算手法の説明

2 サイクルエンジンの掃排気特性の計算を行うために、2 つの計算法を連携して使用した。

*1 メイキエンジン部設計課長

*4 名古屋研究所産器・エンジン研究室

*2 メイキエンジン部設計課

*5 長崎研究所内燃機・油機研究推進室

*3 メイキエンジン部

表1 米国加州における手持ち作業機用エンジンの排出ガス規制
Emission standard of CARB (California Air Resource Board) for hand-held engine

規制(施行)	エンジン 排気量	耐久時間 (h)	HC (g/kW-h)	NO _x (g/kW-h)	CO (g/kW-h)	PM (g/kW-h)
1次規制 (1995-1999)	<20 cc	—	295	5.4	804	—
	20-50 cc	—	241	5.4	804	—
	>50 cc	—	161	5.4	603	—
2次規制 (2000-)	≤65 cc	50, 125, 300	72		536	2*

*: 2サイクルに適用

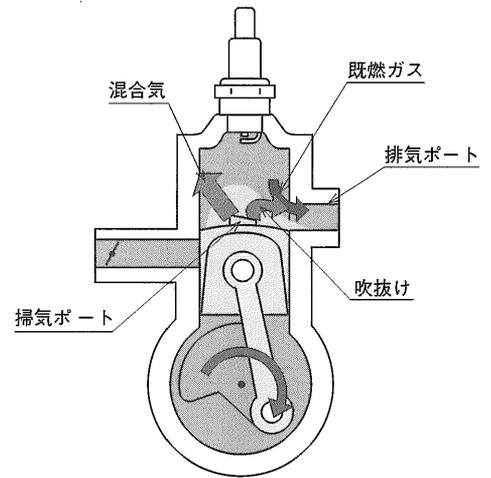


図1 従来方式2サイクルエンジンの掃気説明
掃気ポートの開口により、混合気が燃焼室に吹出すが、その一部は排気ガスと共に排気ポートに吹抜ける。
Schematic drawing of scavenging flow of conventional two-stroke engine

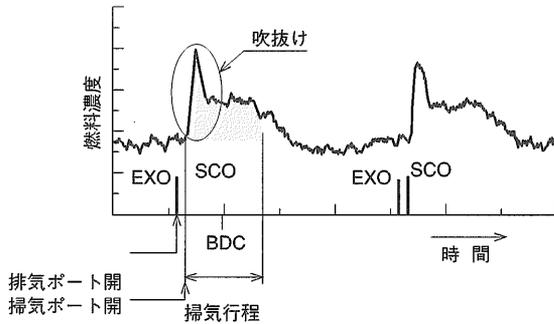


図2 従来方式2サイクルの排気ポートにおける燃料濃度測定例
掃気ポート開口直後に高濃度の燃料成分が排出されている。
Measurement of instantaneous fuel concentration at exhaust port of conventional two-stroke engine

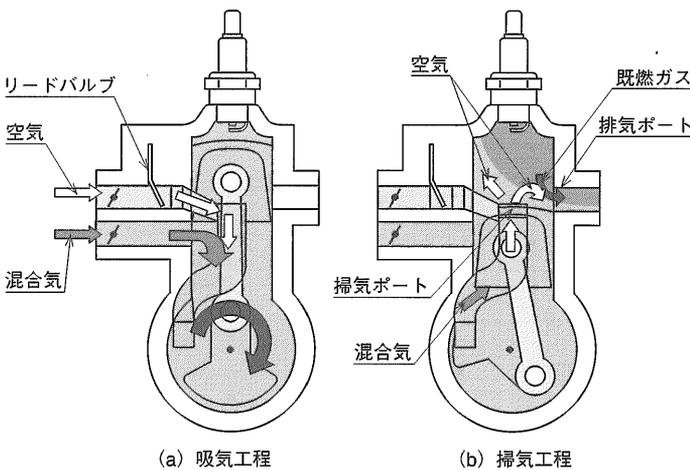


図3 層状掃気方式の作動説明
層状掃気方式では2系統の吸気系を持ち、それぞれ空気と混合気を吸気し、掃気行程の初期段階には掃気ポート部の空気が先に燃焼室に流入する。
Schematic drawing of gas exchange process of stratified scavenging system

4.1.1 一次元性能計算法

先導エア用のリードバルブと、ピストンで開閉する吸気ポートの2系統の吸気系を持つ層状掃気エンジンの性能計算法を開発した。本計算によるクランクケース内、吸排気ポート部の圧力、温度を次項三次元流動解析の境界条件に使用した。

4.1.2 三次元流動解析法

各ポート内及びシリンダ内の流動特性の予測は三次元流動解析法を適用した。

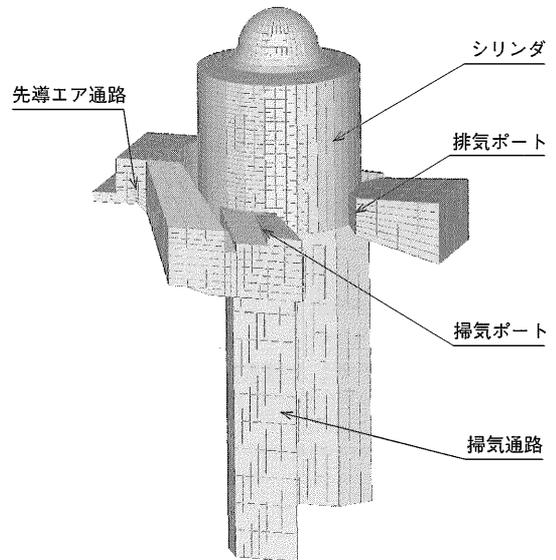


図4 層状掃気方式の三次元流動解析用計算モデル
Calculation model for three dimensional CFD of stratified scavenging system

解析法は、KIVA3V コード⁽²⁾を基本とし、2サイクルエンジンの解析用に、連続サイクルへの対応、簡易吹返しモデルの組み込みなどの改修を実施して使用した。図4に解析モデルを示す。

4.2 計算結果

シリンダ上部から見た混合気と先導エア分布の時間履歴を図5に示す。先導エアが、シリンダ内に流入し、排気通路に吹抜ける様子が分かる。混合気は先導エアの後を追ってシリンダ内に流入するため、混合気の排気通路への吹抜けが大幅に低減できる。

この三次元解析法を用いて、従来方式と層状掃気方式の混合気の吹抜け割合を比較した結果を図6に示す。従来方式に比べ層状掃気方式では大幅な混合気トラップ率の向上が期待できる。

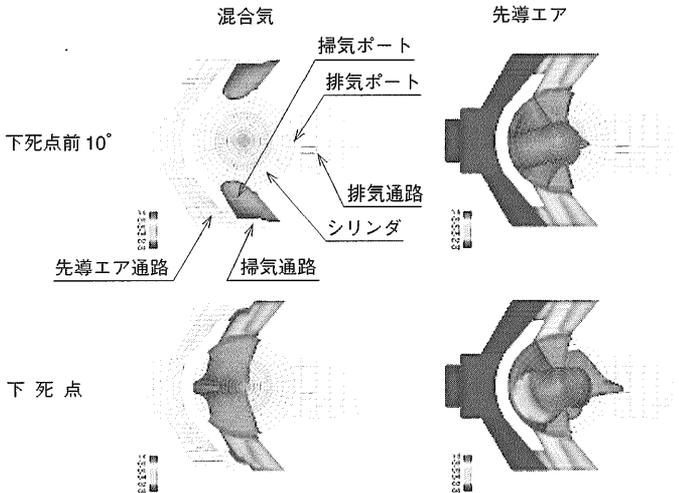


図5 混合気と先導エアのシリンダ内分布の予測結果 先導エアが混合気より先に排気通路に吹抜けることで、混合気の吹抜けが抑制されている。
Predicted distribution of mixture and leading air in cylinder

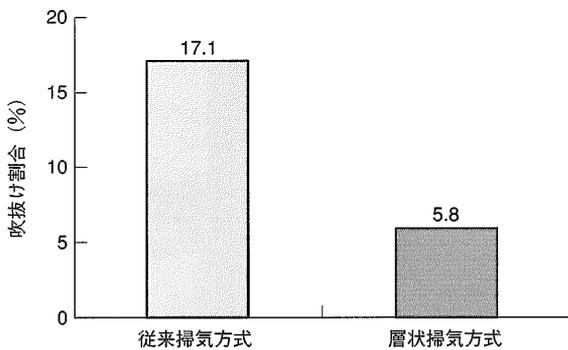


図6 計算により予測した掃気性能の比較 従来方式に比べ、層状掃気方式では混合気の吹抜けに対し大幅な改善が期待できる。
Comparison of predicted scavenging performance

5. 試験結果

5.1 供試機

排気量 26 cc の試験機により性能、排出ガス試験及び手持ち作業機用エンジンとしての実用性を評価した。図7に供試機の構造概要、表2に主要諸元を示す。潤滑油をあらかじめ燃料の中に混合して供給する混合油潤滑方式、燃料の供給は気化器によるが、混合気と空気の2系統の通路を持ち、それぞれの流量を一体的に制御するスロットルバルブを備えている。また、点火装置は進角機能を持った CDI (Condenser Discharge Ignitor) である。

5.2 性能・排出ガス

図8、図9にそれぞれ出力性能と排出ガス値を従来機と比較して示す。層状掃気の新機関は、回転数の全域にわたって、同等以上のレベルを確保しながら、燃費率は約35%の低減を得ている。排出ガスについては、HC+NOxの値は1/3以下のレベルに、COは約1/2になっている。HC+NOxの低減は、燃料成分の吹抜けが減少したことによるものである。一方COの低減は、気化器による空気と燃料の混合比を従来機よ

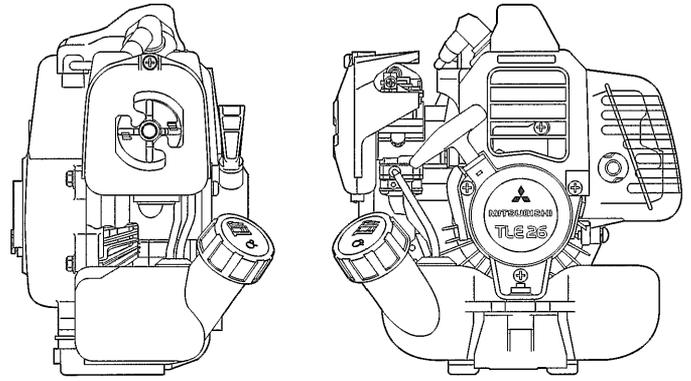


図7 供試機の構造概要
Cross section of test engine

表2 供試機の主要諸元
Specifications of test engine

項目	諸元
形式	クランクケース圧縮型
気筒数	1
内径 (mm)	33
行程 (mm)	30
排気量 (cc)	25.6
圧縮比(見掛け)	10
クランクケース圧縮比	1.4
点火時期	40°(上死点前/8 000 min ⁻¹)
潤滑系	混合油潤滑(燃滑比 50:1)
燃料供給	膜弁型気化器
吸気系	2系統吸気(空気; リード弁、混合気; ピストン)

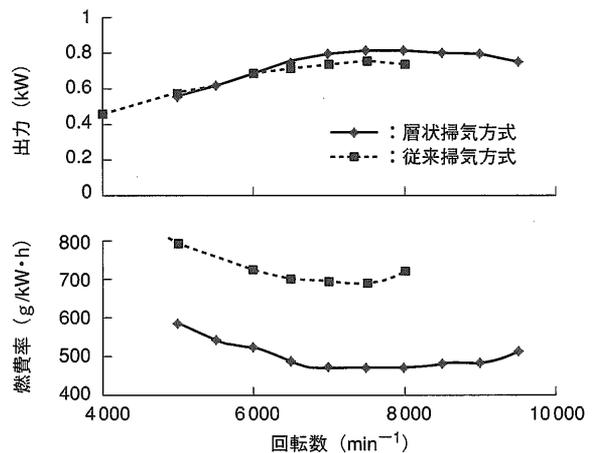


図8 出力性能の比較 層状掃気方式により、従来と同等の出力を確保しつつ大幅な燃費低減を得た。
Comparison of performance characteristics

り若干薄い側にシフトしているほか、後述するように、掃気時に吹抜ける混合気が減少したことで、これによる燃焼ガスの希釈が減ったためである。図10は、掃排気における空気、及び燃料ベースのトラップ効率を比較したもので、空気は排出ガス中の酸素濃度から、燃料はHCの排出量と燃料流量から求めている。この図から、層状掃気では燃料の吹抜けが減

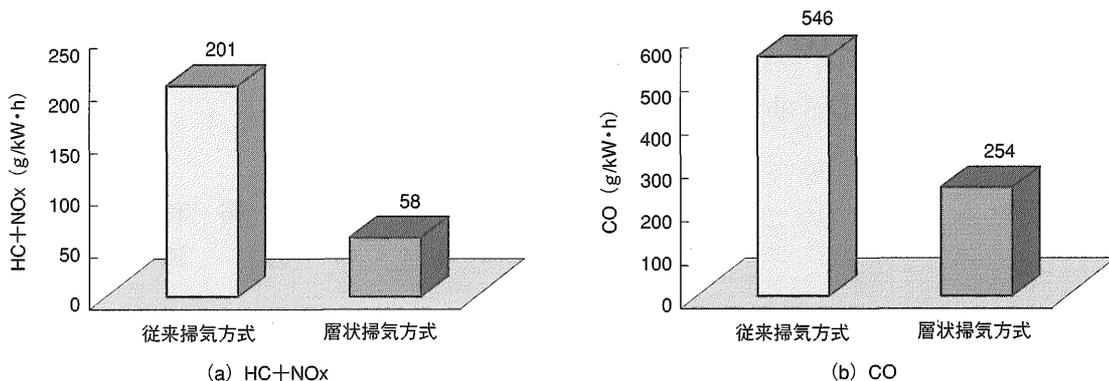


図9 排出ガス値の比較 層状掃気方式により、HC+NOxは約1/3、COは約1/2に低減することができた。
Comparison of emission level

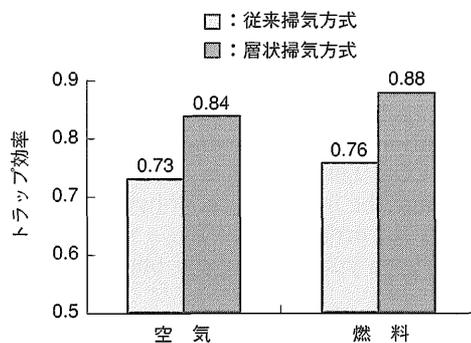


図10 空気、混合気のトラップ効率の比較 層状掃気では、混合気ベースのトラップ効率だけでなく、空気のトラップ効率も大幅に向上した。
Comparison of trapping efficiency of air and mixture

表3 TLEシリーズの諸元 Specifications of TLE series engines

モデル	TLE20FD	TLE20VD	TLE23FD	TLE26FD	TLE33FD	TLE43FD	
形式	空気、層状掃気、クランクケース圧縮、2サイクル						
排気量 (cc)	19.8		22.6	25.6	32.6	42.7	
最大出力 (kW)	0.6		0.7	0.85	1	1.27	
燃料	潤滑油混合燃料(混合比50:1)						
燃料タンク容量 (l)	0.4		0.6	0.6	0.8	0.9	
点火プラグ	NGK BPMR8Y 又は同等品						
乾燥重量 (kg)	2.25	2.2	2.6	2.6	3.3	4	
機関寸法 (mm)	全長	151	128	162	162	165	174
	幅	207	208	226	226	246	252
	高さ	225	230	240	240	256	266

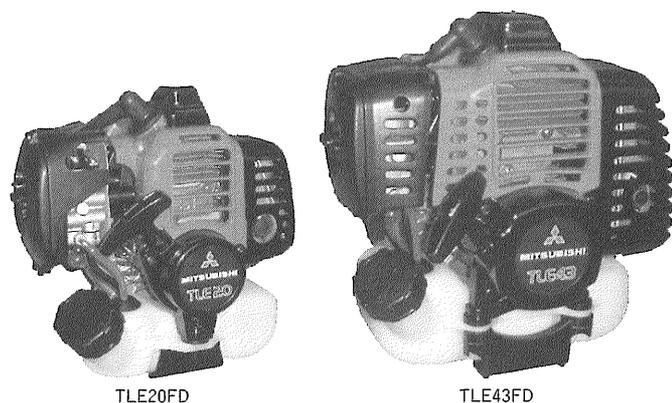


図11 TLEシリーズのラインアップ Photographs of TLE series engines

少しHCの排出が減少しただけでなく、空気自体の吹抜けも10%以上改善されている。

6. 開発機種シリーズ展開

層状掃気方式による20ccから43ccの5機種のシリーズとして開発を完了している。表3に各機種の主要諸元を、図11

に外観を示す。各機種共、従来機に劣らない使いやすさを確保しつつ、大幅に排出ガスと燃費の両方を低減している。これらの各機種のうち43ccを除く4機種については、既にCARBの認証を取得している。

7. まとめ

- (1) 従来に比べ大幅に未燃排出ガス、燃費を低減した新しい層状掃気2サイクルエンジンを開発した。
- (2) 層状掃気方式では、掃気時の混合気成分の吹抜けが抑制されていることを、流動解析と排出ガス測定から確認した。
- (3) 層状掃気2サイクルのシリーズ展開として20~43ccの5機種を開発した。

参考文献

- (1) Yoshida, Y. et al., Development of Stratified Two-Stroke Cycle Engine for Emission Reduction, SAE 1999-0103269
- (2) Amsden, A. A., KIVA-3V:A Block-Structured KIVA Program for Engines with Vertical or Canted Valves or Canted Valves, Los Alamos National Laboratory Report, LA-13313-MS(1997)