

空燃比による排気ガス抑制の可能性について

大 脇 澄 男

緒 言

大気汚染にかかわる自動車排気物質の減少のために実に多くの方法が試みられているが、一つの有力な方法は、適当な空燃比の選択である。その理由は、空燃比があらゆるタイプの排気ガスに影響するからである。この論文の言及範囲は自動車排気物質中の未燃炭化水素 (CH)、窒素酸化物 (NOx) および一酸化炭素 (CO) と空燃比との関係についてである。

2 排気制御装置

理想的な排気制御装置は、有害な排気物質を減少すると同時に、良好な燃料経済を保証し、さらに機関の出力やドライバビリティを低減させることのないものでなければならない。単に空燃比を選択するだけでは、そのような成果をもたらすことができない。一般的に言って、ここで問題にしているすべての排気物を最小にするような単一の空燃比は存在しない。互いに衝突する要素の存在のために妥協が必要である。

3 失火限界

何らかの方法によって、失火限界 (BLM) 近くの空燃比の燃料を、機関のドライバビリティをそこなうことなく受け入れることができれば、これによってHC、CO、NOxを極めて低水準まで

	BLM A/F	減少することができる。
Baseline, typical noncontrolled engine	15 : 1	アイドリングおよびコースティングを除くあらゆる運転状態において、失火限界近くの混合比において最小燃料消費が行なわれるので、失火限界の混合気を使用
+ Intake manifold and carburetor modifications	16 : 1	
+ Superflne carburation or fuel injection	18 : 1	
+ Intense turbulence of intake air	20 : 1	
+ High-energy, long-duration spark With Wide gap	22 : 1	
+ Mixture-Optimizer	23.5 : 1	

表 1⁴⁾

用するのは燃料経済の上からも好都合である。

4 真の経済混合気

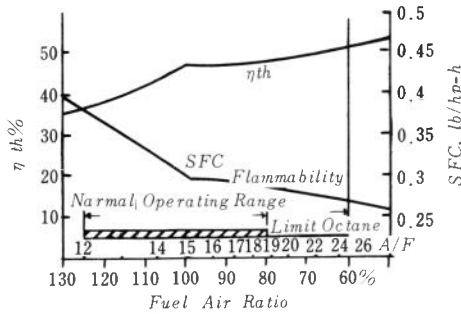
一般的に理解されている最良経済混合気と真の最良経済混合気 (TBEM) との間には無視でき

ない相違がある。実はこれは、見かけの経済混合気 (FBEM) と呼ばれるものである。もし気化器がスロットル弁開度の全域にわたって燃料消費率 (sfc) が最小になるように設計されているなら、その機関は最良経済混合気を持っていることになるが、実は真の経済混合気はこれよりも常に10%くらい薄いものである。

5 理論機関の無効率

オート機関の理想空気サイクルにおける理論熱効率⁴⁾は、単に圧縮比の関数で

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{k-1}$$



* Atmospheric Pressure and Room Temperature
Efficiency of ideal fuel-air cycle engine :
10 : 1 compression ratio, gasoline

図 1⁴⁾

重量混合比と燃焼状況

ガソリンと空気の重量混合比	燃 焼 状 況
1 : 22	下 限
1 : 18.5	規則的に着火できる最低限度
1 : 16	最経済的混合比
1 : 13.8	最大出力に対する有効混合比
1 : 8	規則的に着火できる最大限度
1 : 7.6	不規則な着火
1 : 6.6	上 限

表 2¹⁰⁾

6 燃料消費率と BLM

現用機関においては、FBEMは空燃比16.5~18の間にあり、これよりも希薄な混合気ではsfcは増大する⁴⁾。図1において、理論熱効率は混合気が希薄になるにつれて増大しsfcは減少しつづけるが、現用機関においてはsfcは、適当な空燃比のもとで最小値を示し、それよりも濃くても薄くても増大するのである。これは混合気を希薄化するにつれて混合気の失火が起こりはじめ、機関がストール現象を生ずるためである。

と表わされ、吸気空燃比に無関係である。

一方燃料-空気サイクルにおける熱効率に対する空燃比の影響は根源的なものである。燃料-空気サイクルにおいては、混合気がより希薄になるにしたがって熱効率は高くなる。この関係を図1に示す。混合気を理論混合気の130%から60%まで変えると、熱効率は35%から51%まで増加する。現用機関の混合気の濃度範囲は理論混合気の125%から80%までである。しかし90%理論混合気のところでBLMに到達するのでそれより希薄な混合気での燃焼は極めて困難である。熱効率をより高くするために、希薄混合気を利用できないのは、混合気の希薄化に伴って現われてくる点火の困難性による(表2参照)。もしもBLMが反復性の失火によって定まるものでないならば、BLMは混合気の可燃限界と一致するはずである。

7 空燃比とHC

混合気を希薄化することによって、失火あるいは不完全点火を引起すと、これが混合気中の燃料の一部または全部を未燃のまま残留させることになる。これは、燃料消費率およびHC排気物の両方とも増大させることになる。しかしこの場合、点火系統あるいはエンジン本体の改良等の機関のモディファイケーション等によって、希薄混合気に完全に点火する対策をとれば、燃焼室壁面での冷却によって生ずる未反応炭化水素および熱分解によって生じた成分をもかなり酸化することができる。混合気が濃いときは、酸化に十分な酸素がないので、排気系における酸化が少ないため、空燃比の割合以上に多くのHCを排出するのである。希薄混合気をゆっくり燃焼して、酸化に十分な時間をかけてやれば、未燃炭化水素の排出量は非常に低減するはずである。また実験(文献4)によれば、最小燃料消費率(sfc)と最小炭化水素の値は同一空燃比のときに得られる。これらのことから、sfcを最小にする空燃比は同時にHCも最小値あるいは最小値に近づけると結論づけてもよさそうである。ただし、最小sfcを与える空燃比と最大出力を与える空燃比とは同一ではないことを銘記しておくべきである。

8 COとNO_x

HCの値が必ず最小値をもつのにCOおよびNO_xは空燃比の増加と共に減少し続ける。適当な機関の改造によって、50%の空燃比の混合気を燃焼できるなら、NO_xはほとんど消滅してしまう。COについても同様である。

Methods for Extending BLM Limit

Wider flammability limit :

- 1) More flammable fuel⁷⁾
- 2) Higher intake-air temperature¹¹⁾

Reduced cylinder-to-cylinder variations :

- 1) Better intake manifolding³⁵⁾³⁸⁾

- 2) Gaseous fuel⁷⁾

- 3) Vaporized fuel¹¹⁾

- 4) Finer carburetion¹⁶⁾

- 5) Fuel injection¹⁴⁾

Reduced cycle-to-cycle fluctuation :

- 1) Finer atomization

- a) Ultrasonic atomizer¹⁶⁾

- b) Spinning disc atomizer¹⁶⁾

- c) Microfog atomizer³⁹⁾

- 2) Higher-intensity intake-air turbulence

- a) Intake valve control¹⁸⁾

- b) Swirl intake⁹⁾

- 3) High compression ratio¹¹⁾

High-energy spark :

- 1) Wider gap¹⁰⁾

- 2) Longer duration²⁶⁾

- 3) Elevated millijoules⁹⁾

- 4) Sustained voltage ignition²⁵⁾

Stallproofing :

- 1) Mixture-Optimizer

- 2) Spark Optimizer

表3⁴⁾

9 BLMの希薄化

もし機関の失火ということがないなら、BLMは燃焼限界点と一致し、その点の熱効率¹⁾は、それよりも濃いかなる混合気によって得られるよりも大きくなると言える。比較的濃い混合気を使用しなければならないのは、各気筒間およびサイクル毎の周期的変動燃焼¹⁾²⁾³⁾および初期火炎の存続時間の問題である。吸気管内における気化器からの燃料の不均一な分布およびこれによる燃料液滴の降下速度の違い、各気筒間の空燃比の相違は現用機関においては避けられない。

BLMは実際上最も希薄な気筒によって定まることになる。なぜなら、その気筒における混合気がわずかに希薄になったとしても、

機関の挙動は容認できないものとなる。そのため、一様な混合気の配分は、希薄混合気を燃焼させようとする場合には極めて重要である。この問題を解決するために周期的変動の原因および性質について多くの研究が進められており、これを克服する数多くの方法が試みられている。これについて文献4)に紹介されているものを表3として転記しておいた。

10 結 言

今まで述べてきたことから以下の結論が引きだされる。

- 1) 未燃のCHの最小値は大体においてTBEMと一致している。
- 2) COの値も混合気が理論混合比より希薄になったときゼロに近づく。
- 3) NO_xは理論混合比を越えて空燃比を大きくするにつれて確実に減少するが、一般的に言って、BLMの値がこの要求を満足する程十分に希薄化するのを妨げている。
- 4) 燃料あるいは機関のモディファイケーション、その他の方法によって、BLMをかなり希薄な領域まで移行することができれば、TBEMは ϕ_{fc} のみならず全ての汚染排気物質を最小にする。このときCHは最小値あるいはその近傍にあり、COは実質上ゼロになり、NO_xはゼロに接近する途上にある。

参考文献

- 1) 松岡 信：火花点火機関の燃焼変動(上), 内燃機関(昭42-4), 57~68
- 2) 浅野弥祐：火花点火機関における混合気生成と燃焼概説, 内燃機関, (昭47-2), 79~87
- 3) 全 栄吉：4サイクル火花点火機関の不整燃焼, 内燃機関, (昭47-2), 95~108
- 4) P H Schweitzer : Control of Exhaust Pollution Through a Mixture Optimizer, 内燃機関, (昭47-6), 51~57
- 5) 吉田 隆：自動車の気化器
- 6) 柳原 茂：自動車公害とその対策技術
- 7) 赤木新介：交通機関論, 329~332
- 8) 浅沼 強, 八田桂三：内燃機関トンドブック
- 9) 村山 正：燃焼室形状と燃焼, 内燃機関, (昭47-2), 137~143
- 10) 管野玄之助ほか：内燃機関工学概論