

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3562016号  
(P3562016)

(45) 発行日 平成16年9月8日(2004.9.8)

(24) 登録日 平成16年6月11日(2004.6.11)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

F O 2 D 41/04

F O 2 D 41/04

3 O 5 B

B O 1 D 53/86

F O 2 B 27/02

C

B O 1 D 53/94

F O 2 B 31/02

J

F O 2 B 27/02

F O 2 D 41/34

F

F O 2 B 31/02

F O 2 D 43/00

3 O 1 E

請求項の数 11 (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平7-59397  
(22) 出願日 平成7年3月17日(1995.3.17)  
(65) 公開番号 特開平8-128346  
(43) 公開日 平成8年5月21日(1996.5.21)  
審査請求日 平成13年12月6日(2001.12.6)  
(31) 優先権主張番号 特願平6-239436  
(32) 優先日 平成6年9月6日(1994.9.6)  
(33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000003137  
マツダ株式会社  
広島県安芸郡府中町新地3番1号  
(74) 代理人 100067828  
弁理士 小谷 悦司  
(74) 代理人 100083921  
弁理士 長田 正  
(74) 代理人 100096150  
弁理士 伊藤 孝夫  
(74) 代理人 100099955  
弁理士 樋口 次郎  
(72) 発明者 水戸部 典朗  
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ  
株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自動車用リーンバーンエンジン

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくともエンジンの低速低負荷域における空燃比を、理論空燃比よりも所定量リーンで、エンジンから排出される排気ガス中のNO<sub>x</sub>割合が十分に少なく、かつトルク変動が許容値以下となる所定空燃比に設定する一方、エンジンの高負荷側では空燃比を理論空燃比もしくはそれよりリッチ側に設定した自動車用リーンバーンエンジンにおいて、低速域で吸気充填効率が高くなるような低速型吸気装置を設けるとともに、排気系に、理論空燃比よりもリーンな空燃比でもNO<sub>x</sub>浄化性能を有する排気浄化装置を設け、少なくとも上記低速型吸気装置により充填効率が高められる低速域において上記所定空燃比でのトルク上昇限界域付近の負荷よりも高負荷側にまでわたる所定運転域で空燃比をリーンに設定し、かつこの所定運転域の中の高負荷側では負荷の上昇につれて一定範囲内で空燃比を次第に小さくするように設定したものであり、

燃焼室に対して渦流生成用の第1吸気ポートと第2吸気ポートとを設け、かつ、第2吸気ポートを低速時に閉じる開閉弁を設け、上記第2吸気ポートが閉じられた状態における吸気の動的効果の同調回転数が、低速域内において上記所定空燃比とされる回転数域の略中央に存在するように吸気系を設定することにより上記低速型吸気装置を構成したことを特徴とする自動車用リーンバーンエンジン。

【請求項2】

上記所定運転域では定常時に加えて過渡時にも空燃比をリーンに設定したことを特徴とする請求項1記載の自動車用リーンバーンエンジン。

## 【請求項 3】

上記所定運転域の中で吸入空気量が飽和するまでの領域では上記所定空燃比とし、これより高負荷側ではスロットル開度の増加につれて一定範囲内で燃料を増量するようにしたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の自動車用リーンバーンエンジン。

## 【請求項 4】

上記所定運転域をスロットル開度が全開の 6 / 8 程度までの領域としたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の自動車用リーンバーンエンジン。

## 【請求項 5】

第 1 吸気ポートから流入する吸気により燃焼室内に形成される渦流の中心線とシリンダ中心線とのなす角度を  $35^{\circ} \sim 55^{\circ}$  の範囲に設定したことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の自動車用リーンバーンエンジン。

10

## 【請求項 6】

上記第 2 吸気ポートが開かれた状態における吸気の動的効果の同調回転数が、上記所定空燃比とされる回転数域よりも高速側に存在するように吸気系を設定したことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の自動車用リーンバーンエンジン。

## 【請求項 7】

吸気系におけるサージタンクに、このサージタンクよりも容量の大きいレゾナンスチャンパーを接続し、このレゾナンスチャンパーにより上記第 2 吸気ポートが閉じられた状態における吸気の動的効果の同調回転数と上記第 2 吸気ポートが開かれた状態における吸気の動的効果の同調回転数との間の領域において吸気の動的効果を持たせたことを特徴とする請求項 6 記載の自動車用リーンバーンエンジン。

20

## 【請求項 8】

排気浄化装置が、ゼオライトを活性種担持母材とし、少なくとも白金を活性種として上記活性種担持母材に担持させてなる触媒を備えたものであることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の自動車用リーンバーンエンジン。

## 【請求項 9】

上記触媒は、イリジウム及びロジウムのうちの一方もしくは両方を含むことを特徴とする請求項 8 記載の自動車用リーンバーンエンジン。

## 【請求項 10】

上記所定運転領域で、スロットル弁をバイパスするバイパス通路の空気流量を運転状態に応じて制御することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の自動車用リーンバーンエンジン。

30

## 【請求項 11】

各気筒毎にそれぞれインジェクタを設けるとともに、吸気行程の所定期間に燃料を噴射するように各インジェクタを制御する手段を設けたことを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載の自動車用リーンバーンエンジン。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【産業上の利用分野】

本発明は、特定運転領域で希薄燃焼を行なうことにより燃費節減を図る自動車用リーンバーンエンジンに関するものである。

40

## 【0002】

## 【従来の技術】

近年、エンジンの低速低負荷等の運転領域で空燃比をリーンに設定して、リーンバーン（希薄燃焼）を行なうリーンバーンエンジンが種々開発されている。空燃比をリーン化すると、燃料に対する空気量が多くなることにより、ポンピングロス（とくに吸気行程での負圧抵抗による損失）が低減されるとともに、燃焼ガス温度が低下して熱損失（燃焼室回りから冷却系に奪われる熱エネルギー）と排ガス損失が低減され、これらポンピングロス及び熱損失の低減によって熱効率が高められ、燃費が節減される。

## 【0003】

50

このような空燃比のリーン化にあたって、空燃比制御精度の向上、燃焼性向上によるリーン化促進、エミッション改善等は従来から考えられている。

【0004】

例えば、特開昭59-208141号公報には、排気ガス中の酸素濃度に略比例した出力信号を発生するリーンセンサを用い、理論空燃比よりもリーンな空燃比で上記リーンセンサの出力に応じて空燃比をフィードバック制御するとともに、目標空燃比に応じてリーンセンサの出力の制御目標値の設定、修正を行なうことにより、制御精度の向上を図るようにしたリーン制御方法が示されている。

【0005】

また、自動車技術会発行の「学術講演前刷集924Volume2」の92048「新世代希薄燃焼エンジンの開発」には、スワール強化により空燃比のリーン限界を高めるようにしつつ、そのリーン限界には達しない範囲で、燃焼室からのNOx排出量が充分に低くなる程度に空燃比をリーンに設定したリーンバーンエンジンについて記載されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、従来のリーンバーンエンジンは、通常、高トルクが要求されない低速低負荷側の比較的狭い領域でリーンバーンを行なっているが、燃費改善をより進めるには、リーンバーン領域を拡大することが要求される。このリーンバーン領域拡大を図るにあたって、次に述べるように、トルク向上、NOx抑制等の面で課題が残されている。

【0007】

上記の学術講演前刷集にも記載されているように、エンジンからの排出ガス中のNOx割合は空燃比が16付近で最も高く、これよりもリーン側ではリーンになるにつれてNOxが減少する傾向があり、また、排気浄化装置として一般に使用されている三元触媒は、理論空燃比(A/F=14.7)付近では高いNOx浄化率を示すものの、これよりリーン側ではNOx浄化作用は殆ど有しない。このため、NOxの排出を抑制しつつリーン化を図るには、リーン限界を高めて、NOx発生量が充分に少なくなるような高リーン(20程度以上)の空燃比でリーンバーンを行なうことが要求されるが、このような空燃比で得られるトルクには限界がある。従って、このようなリーンバーンは、それによって要求トルクが満足される範囲の低速低負荷側の運転域で行ない、一方、高負荷側では理論空燃比もしくはこれよりリッチな空燃比とすることにより上記三元触媒でNOxを低減しつつトルクが得られるようにする必要がある。

【0008】

この場合に、リーンバーン領域を拡大するためには、先ず上記のような高リーンの空燃比によって得られるトルクの限界を高めることが要求される。また、この空燃比によって要求トルクが満足される範囲より高負荷側で、徐々にリーン度合を少なくすることでトルクを稼ぎつつ理論空燃比よりもリーンな空燃比の領域を拡大することが考えられるが、このようにするとNOx排出量が多くなるという問題が生じる。

【0009】

なお、このほかにも、効果的なリーンバーンエンジンを得るにあたって次のような課題が残されている。

【0010】

すなわち、従来のこの種のリーンバーンエンジンでは、定常運転用の空燃比制御マップには低速低負荷域をリーン領域に設定しているものの、低速低負荷域であっても、加速時等の過渡時にはこの空燃比制御マップでの制御をやめて、トルク確保等のためリーンバーンを停止しているのが通常であり、これでは実用燃費の面から好ましくない。

【0011】

また、NOxが許容限界となる空燃比とリーン限界の空燃比との間が狭いと、その間に空燃比を設定したとしても空燃比のバラツキ(制御上のバラツキ、気筒毎のバラツキ、燃焼室内での部分的なバラツキ)により限界を超える場合があるため、空燃比のリーン限界を高めることが要求される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 2 】

本発明は、上記の事情に鑑み、リーンバーン領域を拡大しつつ、リーンバーン領域でのトルク性能を確保し、かつ、 $\text{NO}_x$ 排出量を十分に抑制してエミッション性能を向上することができる自動車用リーンバーンエンジンを提供することを目的とする。

## 【 0 0 1 3 】

## 【課題を解決するための手段】

請求項 1 に記載の発明は、少なくともエンジンの低速低負荷域における空燃比を、理論空燃比よりも所定量リーンで、エンジンから排出される排気ガス中の  $\text{NO}_x$  割合が十分に少なく、かつトルク変動が許容値以下となる所定空燃比に設定する一方、エンジンの高負荷側では空燃比を理論空燃比もしくはそれよりリッチ側に設定した自動車用リーンバーンエンジンにおいて、低速域で吸気充填効率が高くなるような低速型吸気装置を設けるとともに、排気系に、理論空燃比よりもリーンな空燃比でも  $\text{NO}_x$  浄化性能を有する排気浄化装置を設け、少なくとも上記低速型吸気装置により充填効率が高められる低速域において上記所定空燃比でのトルク上昇限界域付近の負荷よりも高負荷側にまでわたる所定運転域で空燃比をリーンに設定し、かつこの所定運転域の中の高負荷側では負荷の上昇につれて一定範囲内で空燃比を次第に小さくするように設定したものであり、燃烧室に対して渦流生成用の第 1 吸気ポートと第 2 吸気ポートとを設け、かつ、第 2 吸気ポートを低速時に閉じる開閉弁を設け、上記第 2 吸気ポートが閉じられた状態における吸気の動的効果の同調回転数が、低速域内において上記所定空燃比とされる回転数域の略中央に存在するように吸気系を設定することにより上記低速型吸気装置を構成したものである。

10

20

## 【 0 0 1 4 】

請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載のエンジンにおいて、上記所定運転域では定常時に加えて過渡時にも空燃比をリーンに設定したものである。

## 【 0 0 1 5 】

請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 または 2 に記載のエンジンにおいて、上記所定運転域の中で吸入空気量が飽和するまでの領域では上記所定空燃比とし、これより高負荷側ではスロットル開度の増加につれて一定範囲内で燃料を増量するようにしたものである。

## 【 0 0 1 6 】

請求項 4 に記載の発明は、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のエンジンにおいて、上記所定運転域をスロットル開度が全開の 6 / 8 程度までの領域としたことものである。

30

## 【 0 0 1 8 】

請求項 5 に記載の発明は、請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のエンジンにおいて、第 1 吸気ポートから流入する吸気により燃烧室内に形成される渦流の中心線とシリンダ中心線とのなす角度を  $35^\circ \sim 55^\circ$  の範囲に設定したものである。

## 【 0 0 2 0 】

請求項 6 に記載の発明は、請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のエンジンにおいて、上記第 2 吸気ポートが開かれた状態における吸気の動的効果の同調回転数が、上記所定空燃比とされる回転数域よりも高速側に存在するように吸気系を設定したものである。

## 【 0 0 2 1 】

請求項 7 に記載の発明は、請求項 6 に記載のエンジンにおいて、吸気系におけるサージタンクに、このサージタンクよりも容量の大きいレゾナンスチャンバーを接続し、このレゾナンスチャンバーにより上記第 2 吸気ポートが閉じられた状態における吸気の動的効果の同調回転数と上記第 2 吸気ポートが開かれた状態における吸気の動的効果の同調回転数との間の領域において吸気の動的効果を持たせたものである。

40

## 【 0 0 2 2 】

請求項 8 に記載の発明は、請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のエンジンにおいて、排気浄化装置が、ゼオライトを活性種担持母材とし、少なくとも白金を活性種として上記活性種担持母材に担持させてなる触媒を備えたものである。

## 【 0 0 2 3 】

請求項 9 に記載の発明は、請求項 8 に記載のエンジンにおいて、上記触媒が、イリジウム

50

及びロジウム的一方もしくは両方を含むものである。

【0024】

請求項10に記載の発明は、請求項1乃至9のいずれかに記載のエンジンにおいて、上記所定運転領域で、スロットル弁をバイパスするバイパス通路の空気流量を運転状態に応じて制御するものである。

【0025】

請求項11に記載の発明は、請求項1乃至10のいずれかに記載のエンジンにおいて、各気筒毎にそれぞれインジェクタを設けるとともに、吸気行程の所定期間に燃料を噴射するように各インジェクタを制御する手段を設けたものである。

【0026】

【作用】

請求項1に記載のエンジンによると、上記低速型吸気装置によって低速域で充填効率が高められることにより、低速域においてリーンバーンで得られるトルクの限界が高められる。しかも、理論空燃比よりもリーンな空燃比でもNO<sub>x</sub>浄化性能を有する排気浄化装置が設けられていることにより、エンジンから排出される排気ガス中のNO<sub>x</sub>が十分に減少するようなリーン度合の大きい空燃比と比べて、空燃比をある程度理論空燃比に近づいても、上記排気浄化装置のNO<sub>x</sub>浄化作用でNO<sub>x</sub>が低減される。これら低速型吸気装置と排気浄化装置とで始めて、両者の補間作用によってリーンバーンで得られるトルクの限界が高められる。従って、NO<sub>x</sub>の増大が避けられつつ、リーンバーンが行なわれる運転領域が高負荷側に拡大される。さらに、低速域では上記第2吸気ポートが閉じられて第1吸気ポートからの吸気により燃焼室内に渦流が生成され、これによってリーンバーン状態での燃焼性が高められる。そして、上記第2吸気ポートが閉じられた状態で吸気の動的効果により充填効率が高められ、リーンバーンでのトルクが高められる。

【0027】

請求項2に記載のエンジンによると、加速時にも、リーンバーンによって燃費及びエミッションが良好に保たれつつ、上記低速型吸気装置により充填効率が高められることにより要求トルクが確保される。

【0028】

請求項3に記載のエンジンによると、リーン度合の大きい所定空燃比の領域が、この所定空燃比で得られるトルクの限界まで広げられる上に、理論空燃比よりはリーンの空燃比領域内で燃料が増量されてトルクが高められることにより、燃費節減作用が高められる。

【0029】

請求項4に記載のエンジンによると、スロットル開度が全開に近い領域までリーンバーンが行なわれ、市街地走行のみならず高速走行時等にもリーンバーン運転が多用される。

【0031】

請求項5に記載のエンジンによると、低速域で第1吸気ポートからの燃焼室に流入する吸気が、タンブルとスワールを複合させた強力な渦流を生じ、リーンバーンに適した均一混合気形成及び燃焼速度向上の作用が得られる。

【0033】

請求項6に記載のエンジンによると、上記所定空燃比とされる領域よりも高速側の、高出力が要求される運転域でも、吸気の動的効果により充填効率が高められる。

【0034】

請求項7に記載のエンジンによると、第2吸気ポートが閉じられた状態における吸気の動的効果の同調回転数と第2吸気ポートが開かれた状態における吸気の動的効果の同調回転数との間の領域においてトルクの落ち込みが生じることが避けられる。

【0035】

請求項8に記載のエンジンによると、排気浄化装置の触媒が、リーン状態でも、HCを捕獲するとともにNO<sub>x</sub>を吸着してこれらを反応させることによりNO<sub>x</sub>を分解し、良好にNO<sub>x</sub>浄化作用を発揮する。

【0036】

10

20

30

40

50

請求項 9 に記載のエンジンによると、NO<sub>x</sub> 浄化作用をより一層良好に発揮する。

【0037】

請求項 10 に記載のエンジンによると、リーンバーン時に吸入空気量が増量されて、トルクが補われる。

【0038】

請求項 11 に記載のエンジンによると、インジェクタからの燃料噴射タイミングが制御されることにより、適度の成層化が行なわれて、リーン状態での燃焼性が高められる。

【0039】

【実施例】

本発明の実施例を図面に基づいて説明する。

10

先ず、本発明の一実施例によるリーンバーンエンジンの概略を図 1 によって説明する。この図において、1 はエンジン本体であり、その各気筒には燃焼室 2 が形成され、この燃焼室 2 には、後に詳述するような第 1、第 2 の吸気ポート 3、4 及び第 1、第 2 の排気ポート 5、6 が開口し、これらのポート 3～6 に吸気弁 7、8 及び排気弁 9、10 が装備されている。

【0040】

また、エンジンの吸気系 20 は、後に詳述するような吸気マニホールド 21 と、その上流側の共通吸気通路 30 とを備え、共通吸気通路 30 には上流側から順にエアクリーナ 31、熱式エアフローセンサ 32 及びスロットル弁 33 が配設されている。さらに、上記スロットル弁 33 をバイパスする吸気バイパス通路 34 が形成されている。この吸気バイパス通路 34 は、アイドル時等に吸入空気量を調節するための ISC 通路 35 と冷間時の吸入空気量増量のためのエア通路 36 とを含んでいる。上記 ISC 通路 35 には、デューティ制御されて ISC 通路 35 の空気流量をコントロールする ISC バルブ 37 が設けられ、また、上記エア通路 36 には冷間時に開く温度感応型バルブ 38 が設けられている。

20

【0041】

また、吸気系 20 の下流側の吸気ポート付近には、各気筒別に燃料を噴射供給するインジェクタ 40 が設けられるとともに、第 2 吸気ポート 4 を開閉する開閉弁 41 が設けられている。この開閉弁 41 は負圧応動式のアクチュエータ 42 により作動され、これに対する駆動系には、吸気マニホールド 21 のサージタンクから導入した負圧を蓄えるバキュームタンク 43 と、このタンク 43 とアクチュエータ 42 との間に配置されてアクチュエータ 42 に対する負圧の給排を行なう電磁弁 44 等が設けられている。

30

【0042】

上記インジェクタ 40 は、噴口近傍にミキシングエアを供給することにより燃料を微粒化するようにした所謂 AMI（エアミクスチャータイプインジェクタ）である。このインジェクタ 40 に対し、燃料タンク 45 から燃料ポンプ 46 及びフィルター 47 を介して燃料を供給する燃料供給通路 48、プレッシャレギュレータ 49 が介設されたリターン通路 50 等からなる燃料供給系が設けられるとともに、後に詳述するようなミキシングエア供給系及び蒸発燃料供給系が設けられている。

【0043】

一方、排気系には、混合気の空燃比に対応する排気ガス中の酸素濃度を検出する酸素濃度センサ 60 と、触媒装置（排気浄化装置）61 とが設けられている。上記酸素濃度センサ 60 は、リーン空燃比の検出も可能なように、排気ガス中の酸素濃度に略比例した出力が得られるようになっている。

40

【0044】

また、空燃比制御等のための各種検出要素としては、上記エアフローセンサ 32、酸素濃度センサ 60 のほかに、スロットル弁の開度を検出するスロットル開度センサ 62、スロットル全閉を検出するアイドルスイッチ 63、吸気温を検出する吸気温センサ 64、エンジン水温を検出する水温センサ 65、エンジンのノッキングを検出するノックセンサ 66 等が設けられ、さらに点火系のディストリビュータ 67 には、クランク角信号を出力するクランク角センサ 68、及び気筒判別信号を出力する気筒判別センサ 69 が設けられてい

50

る。

【0045】

これらの検出要素からの信号は、エンジン制御用のコントロールユニット（ECU）70に入力されている。そして、上記コントロールユニット70により上記インジェクタ40からの燃料噴射量及び噴射タイミングが制御され、さらに上記ISCバルブ37、上記開閉弁41の駆動系における電磁弁44、上記インジェクタ40に対するミキシング用エア供給系に設けられた後記エア制御バルブ51、蒸発燃料供給系に設けられた後記バージソレノイドバルブ58等もコントロールユニット70によって制御されるようになっている。

【0046】

ここで、図1中に示した触媒装置61について説明しておく。

10

【0047】

上記触媒装置61は、理論空燃比よりもリーンな空燃比でもNO<sub>x</sub>を還元する機能を有するものであり、具体的には、当出願人において以前に出願した特願平5-126552号に記載されている触媒装置が用いられる。すなわち、この触媒装置61における触媒は、活性種担持母材に、貴金属が活性種として担持されたものである。好ましくは、ゼオライトを活性種担持母材とし、これにIr（イリジウム）及びPt（白金）を活性種として担持させ、あるいはIr、Pt及びRh（ロジウム）を活性種として担持させて形成する。

【0048】

このような触媒によると、リーン空燃比においても良好なNO<sub>x</sub>浄化作用が得られるもので、そのメカニズムを、従来の三元触媒と比較して説明する。

20

【0049】

従来の三元触媒による場合、理論空燃比では、排気ガス中のHC、COが酸化するためには排気ガス中の酸素だけでは不足しNO<sub>x</sub>中の酸素も奪うためNO<sub>x</sub>が分解されるが、リーン空燃比では、排気ガス中に多量の酸素が存在しているため、HC、COがこれと反応し、NO<sub>x</sub>は取り残されたまま排出されてしまう。

【0050】

これに対し、当実施例の触媒装置61を構成する上記触媒による場合、上記母材としてのゼオライトが多孔質であるためにその細孔内にHCを多く捕獲することができるとともに、このゼオライトに担持された活性貴金属にNO<sub>x</sub>を多く吸着させることができる。そして、排気ガス中に酸素が多量に存在している状態でも、このゼオライトに捕獲されたHCは、これに隣合って吸着されているNO<sub>x</sub>と反応するため、NO<sub>x</sub>が分解、浄化される。従って、リーン空燃比でもNO<sub>x</sub>浄化作用が得られる。この場合に、上記Irは活性貴金属を微細化させる作用があり、浄化率や耐久性を向上させる。

30

【0051】

なお、リーン空燃比にあるときにNO<sub>x</sub>を蓄えておいて、理論空燃比になったときにNO<sub>x</sub>を分解するようにした触媒が従来において開発されているが、このものでは、リーン空燃比の運転状態が長時間続くとNO<sub>x</sub>を蓄えきれなくなると浄化性能が低下する。これに対し、上記触媒装置61の触媒は、リーン空燃比でもNO<sub>x</sub>を分解して排出するので、リーン状態が持続してもNO<sub>x</sub>浄化性能を維持することができる。

40

【0052】

次に、上記リーンバーンエンジンの各部の具体的構造を説明する。

【0053】

図2～図4はエンジン本体の具体的構造を示している。これらの図に示すように、エンジン本体1の各気筒においては、基本的には、第1、第2吸気弁7、8が開かれたときに第1、第2吸気ポート3、4から燃焼室2内に混合気が吸入され、この混合気がピストン11で圧縮された後に点火プラグ12によって着火、燃焼させられ、第1、第2排気弁9、10が開かれたときに燃焼ガスが第1、第2排気ポート5、6から排出されるようになっている。そして、上記第1吸気ポート（以下、Pポートという）3にインジェクタ40が設けられる一方、上記第2吸気ポート（以下、Sポートという）4もしくはその上流の通

50

路（後記S側分岐通路23s）に、運転状態に応じて開閉制御される開閉弁41が設けられている。

【0054】

当実施例では、タンブル・スワールコントロールバルブとしての上記開閉弁（以下、TSCバルブという）41が閉じられたときに、タンブル（縦渦）とスワール（横渦）とを複合させた強力な螺旋状の斜めスワールが燃焼室2内に生成されるように、ポート配置やポート形状等が設定されている。

【0055】

具体的に説明すると、上記Pポート3及びSポート4は、吸気流れ方向上流部において略直線状に延びるストレート部3a, 4aと、このストレート部3a, 4aの下流端近傍において下方に湾曲してそれぞれの弁座13, 14に至る湾曲部3b, 4bとによって構成されている（図3, 図4参照）。そして、上記Pポート3及びSポート4におけるそれぞれのストレート部3a, 4aのポート中心線Lp1, Ls1の延長線が、上記弁座13, 14と第1, 第2吸気弁7, 8の最大リフト時において燃焼室2の中心側に位置する弁端部7a, 8aとの間を通るように設定されている。これにより、P, Sポート3, 4から燃焼室2に供給される吸気の流通抵抗が低減する。なお、上記ポート中心線Lp1, Ls1の延長線が上記弁座13, 14と弁端部7a, 8aとの中心を通るように設定するのが最適である。

【0056】

上記燃焼室2はペントルーフレンズ型燃焼室とされており、上記吸気弁7, 8と排気弁9, 10とのバルブ挟み角は30°程度に狭くされ、DOHC直接駆動タイプの動弁機構（図示せず）によって駆動されるようになっている。また、第1吸気弁7のバルブ中心線L1とPポート3のスロート中心線Lp1とのなす角度（スロートオフセット角1）は比較的大きく、第2吸気弁8のバルブ中心線L2とSポート4のスロート中心線Ls1とのなす角度（スロートオフセット角2）は比較的小さく設定されており、例えば1=30°、2=12°とされている。このようにして、Pポート3のみから吸気が行なわれるときには傾斜角（シリンダ中心線とのなす角度）が35°～55°の渦流Sが生成されるようになっている。また、Sポート4は燃焼室2内にタンブルTを生成するようになっている。

【0057】

また、上記両吸気弁7, 8は、それぞれ、弁軸部7b, 8bと傘部7c, 8cとからなり、傘部7c, 8cの下面が燃焼室2の天井面と平行となるように配置されている。第1吸気弁7のバルブ傘角（傘部の下面と上面のなす角）1は第2吸気弁8のバルブ傘角2よりも大きく設定されている。これにより、バルブリフト時における第1吸気弁7とPポート3のスロート部との間の流路が第2吸気弁8とSポート4のスロート部との間の流路よりも狭くなり、従って、Pポート3側では吸気流速が高められ、Sポート4側では流量が確保される。なお、Pポート3側の流路を狭めて吸気流速を高めるためにはPポート3のスロート部を細くすることも考えられるが、上記のようにバルブ傘角1を大きくする方が流通抵抗低減に有利である。

【0058】

さらに、Pポート3の出口下部にはポートエッジ15が形成され、かつ、燃焼室2における第1吸気弁7回りにはスキッシュエリア16が形成されており、これらによってPポート3から排気弁側への吹出流速が高められるようになっている。

【0059】

このような燃焼室、吸気ポートの構造によると、Pポート3からの吸気によってタンブルとスワールとを複合させた強力な渦流が得られること等により、燃焼速度が遅くなる傾向があるリーンバーン状態でも、均一混合気形成と燃焼速度向上とが両立されて良好な燃焼状態が得られる。

【0060】

つまり、図6に示すように、スワールは、吸気から圧縮行程前半にかけての乱れ強さが大

10

20

30

40

50



きくて、混合気均一化の効果が大きい、圧縮行程後期の乱れ強さは小さくなり、逆にタンプルは、圧縮行程前半の乱れ強さは小さいが圧縮行程後期の乱れ強さが大きくなる。そして、上記の吸気ポート構造による場合は、スワールとタンプルとの両方の利点を得られて吸気行程から圧縮行程までにわたる平均乱流強度が高められる。図5はスワール比 $S_r$ が3.3の場合と4.2の場合とにつき、スワール傾斜角（スワールの中心線とシリンダ中心線とのなす角）と平均乱流強度 $R$ との関係を示しており、この図に示すように、スワール比 $S_r$ を約3以上とするとともにスワール傾斜角を $35^\circ \sim 55^\circ$ の範囲とし、特に望ましくは $45^\circ$ とすることにより、平均乱流強度が大幅に高められ、混合気均一化及び燃焼速度が向上される。

#### 【0061】

10

ここで、上記スワール比の定義及び求め方を説明しておく。

上記スワール比とは、一般的には気筒内の混合気（吸入空気）の横渦の回転数をエンジン回転数で割った値で定義される。

#### 【0062】

そして、混合気の横渦の回転数は、例えば図7に示すようなボア径が $D$ であるエンジンにおいては、シリンダヘッド下面 $F_1$ から $1.75D$ の距離だけ下方の位置 $F_2$ にインパルススワールメータ80を配置し、このインパルススワールメータ80に作用するトルク（インパルススワールメータトルク）を検出し、このインパルススワールメータトルクに基づいてよく知られた手法で算出する。なお、図7において、 $F_3$ は下死点位置にあるピストン11の頂面を示している。

20

#### 【0063】

インパルススワールメータトルクは、次のような手順で測定する。すなわち、上記 $F_2$ の位置にインパルススワールメータ80を配置し、ピストン頂面に作用するスワールのエネルギーをインパルススワールメータ80で再現させることによって、通常時においてピストン頂面付近にどの程度の回転エネルギーが存在するかを測定する。インパルススワールメータ80は多数のハニカムを備えていて、インパルススワールメータ80にスワールが作用すると、各ハニカムにそれぞれスワール流れ方向の力が作用し、各ハニカムにかかる力を積算することによって全体に作用するインパルススワールメータトルク $G$ を算出する。

#### 【0064】

30

より詳しくは、吸気弁が開いてから下死点までの期間は燃焼室2内に混合気が吸入されていると仮定すると、この期間中は混合気が燃焼室2の内周面に沿って回転し、その回転速度が下死点位置で最大となる。従って、吸気弁が開き始めてから下死点までの各クランク各毎の角運動量を積算すれば、スワール比が求まることになる。かかる知見に基づいて、本例においては、スワール比 $S_r$ を次の(1)式及び(2)式によって算出するようにしている。

#### 【0065】

##### 【数1】

$$S_r = \frac{v \cdot \{ D \cdot S \cdot (c_f \cdot N_r \cdot d) \}}{n \cdot d^2 \cdot (c_f \cdot d)^2} \quad \dots \dots (1)$$

40

$$N_r = 8 \cdot G / (M \cdot D \cdot V_0) \quad \dots \dots (2)$$

ただし、 $S_r$ はスワール比、 $v$ は体積効率（ $v = 1$ ）、 $D$ はボア径、 $S$ はストローク、 $n$ は吸気弁数、 $d$ はスロート径、 $c_f$ は各バルブリフトに対する流量係数、 $N_r$ は各バルブリフトに対する無次元リグスワール値、 $\theta$ はクランク角、 $G$ はインパルススワールメータトルク、 $M$ は吸気行程中にシリンダ内に充填された空気の質量、 $V_0$ は速度ヘッドである。

#### 【0066】

なお、上記(2)式は、次のような手順で導き出される。

#### 【0067】

##### 【数2】

50

$$G = I \cdot r \quad \dots\dots (3)$$

$$I = M \cdot D^2 / 8 \quad \dots\dots (4)$$

$$(4) \text{ を } (3) \text{ に代入 } G = M \cdot D^2 \cdot r / 8 \quad \dots\dots (5)$$

$$(5) \text{ より } D \cdot r = 8 \cdot G / (M \cdot D) \quad \dots\dots (6)$$

$$\text{ところで } Nr = D \cdot r / V_0 \quad \dots\dots (7)$$

$$(6) \text{ を } (7) \text{ に代入 } Nr = 8 \cdot G / (M \cdot D \cdot V_0)$$

ただし、 $I$  は吸気行程終期（ピストン下死点）におけるシリンダ内の空気の慣性モーメント、 $r$  はリグスワール値である。

#### 【0068】

また、図2～図4に示す構造によると上記のようにスワール比及びスワール傾斜角が設定されることで平均乱流強度が高められることに加え、P、Sポート3、4の形状、角度、バルブ傘角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 等が前述のように設定されることにより、Pポート3からの吸気流速が高められるとともに、流量係数が小さく抑えられ、充填効率の向上にも寄与する。

#### 【0069】

なお、着火性を阻害しない範囲で燃焼速度を高めるため、平均乱流強度は $1.5 \sim 2.5 \text{ m/s}$ とすることが好ましい。また、リーンバーン状態での燃焼期間の短縮化のため、燃焼室2は $S/V$ 比が小さくなる形状を選定し、可及的に火炎伝播距離を短くするコンパクト燃焼室とする。

#### 【0070】

ちなみに、エンジン基本諸元の好ましい一例を示しておく、4サイクル4気筒のDOHCエンジンで、排気量を約 $1500 \text{ cc}$ 、ボア径を約 $75 \text{ mm}$ 、ストロークを約 $84 \text{ mm}$ とし、圧縮比は、熱効率上高めが好ましいがノッキング限界の向上及びエミッションを考慮して $9.4$ とする。

#### 【0071】

また、上記吸気弁7、8及び排気弁9、10の開閉タイミングは、図8に実線で示すように設定されている。すなわち、排気弁は排気BDC（下死点）より前に開き始めてTDC（上死点）付近で閉じ、吸気弁はTDC付近で開き始めて吸気BDCよりも後に閉じるが、とくに当実施例では、吸気弁は、閉時期ICが比較的早い時期（BDCからの期間が比較的短い時期）とされて、低速域での吸入量増大（吸気の吹き返し抑制）に適した低速型タイミングとなっている。一方、排気弁は、開時期EOが比較的早い時期（BDCまでの期間が比較的長い時期）とされて、高速域での排気促進に適した高速型タイミングとなっている。そして、排気弁開時期EOから排気BDCまでの期間Teが吸気BDCから吸気弁閉時期ICまでの期間Tiよりも $10 \text{ deg CA}$ 以上大きくなっている。例えば、排気弁の開時期EOが $BBDC 50 \text{ deg CA}$ 、同閉時期が $ATDC 0 \text{ deg CA}$ 、吸気弁の開時期が $BTDC 10 \text{ deg CA}$ 、同閉時期ICが $ABDC 33 \text{ deg CA}$ とされている。これらの時期は、カムの最大ランプ高さの点をもって定義したものである。

#### 【0072】

なお、図8中の破線は従来のエンジンにおける吸気弁及び排気弁の開閉タイミングの一例を示しており、このように、従来では排気弁開時期から排気BDCまでの期間と吸気BDCから吸気弁閉時期までの期間とが略同程度（両者の差が $5 \text{ deg CA}$ 以下）となっている。

#### 【0073】

このようなバルブタイミングによると、吸気弁は閉時期が比較的早い低速型となっているため、低速域で吸気の吹き返しが防止されて充填効率が高められ、低速トルクが高められる。一方、排気弁は開時期が比較的早い高速型のタイミングとなっているが、上記の図2～図4に示すようなポート構造によりTSCバルブ41が閉じられる低速域では斜めスワールが生成されて燃焼速度が早められ、さらに後述のようにインジェクタ40にAMIが用いられて燃料が微粒化されることによっても燃焼が促進される。このため、排気弁の開時期を早くしても、燃焼エネルギーは排気弁が開く前に十分にピストンに与えられ、排気側に燃焼エネルギーが多く放出されるようなことはなく、低速トルクを高める作用は損な

10

20

30

40

50

われない。そして、高速域では排気が促進されて排気の際のポンピングロスが低減されるため、吸気弁が低速型タイミングとされることによる高速域でのトルク低下が補われることとなる。

【 0 0 7 4 】

図 9 ～ 図 1 1 は吸気マニホールド 2 1 の具体的構造を示している。これらの図に示す吸気マニホールド 2 1 は、吸気の動的効果（慣性効果）が低速域で同調する状態と高速域で同調する状態とに切替可能とされることにより、切替機構がない（動的効果がない）場合に比べて低速域及び高速域で吸気充填効率が高められ、さらに、これらの領域間のトルクを向上することによりリーンバーン領域の拡大に寄与する低速全域のトルクを向上させたレゾナンスチャンバーを備えている。

10

【 0 0 7 5 】

上記吸気マニホールド 2 1 は上半部 2 1 a と下半部 2 1 b とからなり、上半部 2 1 a の下面と下半部 2 1 b の上面とが接合された状態で一体化されている。上記上半部 2 1 a には、気筒列方向に延びる吸気通路集合部としてのサージタンク 2 2 が形成されている。また、上半部 2 1 a の前面側（図 9，図 1 0 における左側）から下半部 2 1 b の前面側及び下面側にわたる範囲には、上記サージタンク 2 2 に連通する気筒別の独立吸気通路 2 3 が形成され、図 1 1 に示す例では 4 気筒エンジンに適用すべく第 1 ～ 第 4 の 4 つの独立吸気通路 2 3 が形成されている。

【 0 0 7 6 】

つまり、上半部 2 1 a には各独立吸気通路 2 3 の上流側部分 2 3 a が形成され、これらがサージタンク 2 2 に連なっており、また、下半部 2 1 b には各独立吸気通路 2 3 の下流側部分 2 3 b が形成され、その下流端が、エンジン本体 1 のシリンダヘッドの一側部に接続される取付フランジ 2 4 に開口している。上記サージタンク 2 2 は、上半部 2 1 a の一端側において図外にスロットルボディに連結されており、スロットルボディを通った空気がサージタンク 2 2 に内に導入され、上記各独立吸気通路 2 3 を経て燃焼室に供給されるようになっている。

20

【 0 0 7 7 】

上記各独立吸気通路 2 3 は、下流側部分において、各気筒の P ポートに連なる P 側分岐通路 2 3 p と、S ポートに連なる S 側分岐通路 2 3 s とに、隔壁 2 5 にて分岐されている。さらに、上記各 S 側分岐通路 2 3 s には、前記 T S C バルブ 4 1 が配設されている。この各 T S C バルブ 4 1 は、各分岐通路を気筒列方向に貫通した弁軸 4 1 a に一体に開閉回動するように連結されている。そして、この弁軸 4 1 a の端部にアクチュエータ 4 2 が連結されており、このアクチュエータ 4 2 の作動により各 T S C バルブ 4 1 が開閉されるようになっている。

30

【 0 0 7 8 】

また、上記サージタンク 2 2 と、その下方の独立吸気通路 2 3 との間に、気筒列方向に延び、かつサージタンク 2 2 に連通するレゾナンスチャンバー 2 6 が設けられており、このレゾナンスチャンバー 2 6 のエンジン本体側の側方には縦壁 2 7 が設けられている。そして、サージタンク 2 2 と独立吸気通路 2 3 と縦壁 2 7 とでレゾナンスチャンバー 2 6 が囲われている。

40

【 0 0 7 9 】

つまり、上記レゾナンスチャンバー 2 6 は、吸気マニホールド 2 1 の下半部 2 1 b の上面に設けられて上方に開口した凹部を上半部 2 1 a で覆って形成されている。上記縦壁 2 7 は、吸気マニホールド 2 1 が上半部 2 1 a と下半部 2 1 b とに分割されているのに伴い、上部 2 7 a と下部 2 7 b とに分割されている。そして、上記サージタンク 2 2 は比較的小さな容量に形成されているのに対し、レゾナンスチャンバー 2 6 は大きな容量を有するよう形成されている。

【 0 0 8 0 】

また、上半部 2 1 a の後面側には、気筒列方向に延びる連通路 2 8 が形成され、この連通路 2 8 の一端 2 8 a がレゾナンスチャンバー 2 6 に、また他端 2 8 b がサージタンク 2 2

50

にそれぞれ開口されている。さらに、上記上半部 2 1 a には、後に詳述するインジェクタ 4 0 に対するミキシングエア供給系の通路 5 2 の一部が設けられている。

#### 【 0 0 8 1 】

このような吸気マニホールド 2 1 において、上記 T S C バルブ 4 1 が閉じられた状態では低速側（例えば 2 0 0 0 r p m 程度）で吸気の動的効果が同調し、T S C バルブ 4 1 が開かれた状態では比較的高速側（例えば 3 5 0 0 ~ 4 0 0 0 r p m）で吸気の動的効果が同調するように、上記独立吸気通路 2 3 の長さ、通路面積等が設定されている。

#### 【 0 0 8 2 】

また、このようにするだけでは、図 1 2 に破線で示すように低速側及び比較的高速側でトルクが高められてこれらの中間部でトルクの谷が生じるが、上記のようにサージタンク 2 2 は比較的小さな容量とされてこれに容量の大きいレゾナンスチャンバー 2 6 が接続されることにより、レゾナンスチャンバー 2 6 による共鳴作用で上記中間部で吸気充填量が高められ、同図に実線で示すようにトルクがなだらかに変化するようになっている。なお、同図中の一点鎖線は、吸気の動的効果がない場合のトルク変化である。

#### 【 0 0 8 3 】

図 1 3 は、図 1 中に示したエアミクスチャータイプインジェクタ（A M I）4 0 に対するミキシングエア供給系及び蒸発燃料供給系を示している。この図において、複数気筒（例えば 4 気筒）の各 P ポート 3 に対してそれぞれインジェクタ 4 0 が設置され、これらのインジェクタ 4 0 に対するミキシングエア供給系にはエア制御バルブ 5 1 を備えた A M I 用エア供給通路 5 2 が設けられている。この A M I 用エア供給通路 5 2 は、上流側が前記吸気バイパス通路 3 4 に接続され（図 1 参照）、下流側が分岐して各インジェクタ 4 0 に接続されている。上記エア制御バルブ 5 1 はアイドル時に閉じ、それ以外の際にエアをインジェクタ 4 0 に供給するようになっている。

#### 【 0 0 8 4 】

さらに上記 A M I 用エア供給通路 5 2 には、エア制御バルブ 5 1 をバイパスするバイパス通路 5 3 が接続され、このバイパス通路 5 3 にはアイドル時に微量エアを流すオリフィス 5 4 が設けられている。

#### 【 0 0 8 5 】

また、蒸発燃料供給系は、キャニスタ 5 6（図 1 参照）から延びるパージ通路 5 7 を備え、このパージ通路 5 7 にパージソレノイドバルブ 5 8 が設けられている。上記パージ通路 5 7 は A M I 用エア供給通路 5 2 の分岐点上流に形成されたミキシングチャンバー 5 5 に接続されている。燃料タンク等において発生しキャニスタ 5 6 にトラップされた蒸発燃料は、上記パージソレノイドバルブ 5 8 が開かれたときにパージ通路 5 7 を介して各インジェクタ 4 0 の噴口近傍に供給され、吸気行程中に燃料噴霧とともに各気筒の燃焼室 2 に供給される。

#### 【 0 0 8 6 】

上記パージソレノイドバルブ 5 8 は、所定のパージ実行条件成立時（例えば空燃比のフィードバック制御中で、かつ、エンジン水温が所定温度以上のとき）に駆動されるもので、所定のパージ量が得られるようにエンジンの運転状態に応じて制御される。なお、リーンバーン制御中は、理論空燃比設定の燃料領域におけるよりもパージ量が少なく、かつ、その減量度合いが低吸入空気量側ほど大きくなるように、エアフローセンサ 3 2 の出力およびエンジン回転数に応じてパージソレノイドバルブ 5 8 が制御される。

#### 【 0 0 8 7 】

図 1 4 及び図 1 5 は、上記インジェクタ 4 0 の具体的構造を示している。これらの図において、エンジンのシリンダヘッド 1 a には、上記 P ポート 3 に連通するインジェクタ取付孔 4 0 0 が形成され、このインジェクタ取付孔 4 0 0 にインジェクタ 4 0 が嵌合されている。このインジェクタ 4 0 の先端側部分 4 0 1 は噴口を囲繞するように筒状に形成され、この先端側部分 4 0 1 と上記インジェクタ取付孔 4 0 0 の周壁との間に環状のエア導入空間 4 0 2 が形成されるとともに、このエア導入空間 4 0 2 と外部のエア供給通路とを連通するエア導入ポート 4 0 3 がシリンダヘッド 1 a に形成されている。さらに、上記インジ

10

20

30

40

50

ェクタ４０の先端側部分４０１には、その内側の噴口前方の空間と上記エア導入空間４０２とを連通する連通孔４０４が放射状に配設され、この連通孔４０４にオリフィス４０５が形成されている。

【００８８】

そして、上記インジェクタ４０の噴口から上記Ｐポート３へ向けて所定タイミングで燃料が噴射されるとともに、噴口前方の空間に吸気負圧が作用したときに、上記エア導入空間４０２に導入されたエアが上記オリフィス４０５を通して噴口前方の空間に噴出し、このエアにより噴射燃料がミキシングされるようになっている。また当実施例では、上記パージソレノイドバルブ５８（図１３参照）が開かれたときに、蒸発燃料も上記エア導入空間４０２に導入されて上記オリフィス４０５から噴出するようになっている。

10

【００８９】

上記のようにインジェクタ４０にＡＭＩを用いると、燃料が微粒化されることにより、混合気が均質化され、燃焼性が向上されるとともに、リーン領域ではＮＯ<sub>x</sub>を低減する作用が得られる。

【００９０】

すなわち、図１６において、第１例は通常のインジェクタを吸気ポートに設けて燃料噴射を行なわせた場合の燃焼室内の燃料分布状態を、第２例は当実施例のインジェクタ４０つまりＡＭＩを用いてミキシングエアを供給しつつ燃料噴射を行なわせた場合の燃焼室内の燃料分布状態を、第３例は燃料をガス化した状態で供給した場合の燃料分布状態をそれぞれ模式的に示している。この図のように、ＡＭＩを用いると、ミキシングエアの作用により、通常のインジェクタと比べて燃料が大幅に微粒化される。そして、空燃比がリーンであるときは、燃料粒径が大きいと、混合気分布が不均一な場合と同様に、局部的な燃焼温度のばらつきによりＮＯ<sub>x</sub>が生じ易くなるのに対し、燃料粒径が小さくなるほど、均一にリーンバーンが行なわれることにより、燃焼温度の高い部分が減少し、ＮＯ<sub>x</sub>発生量が減少する。このため、図１７のように、ＡＭＩを用いた場合、リーン領域では通常のインジェクタと比べてＮＯ<sub>x</sub>排出量が少なくなる。

20

【００９１】

なお、燃料をガス化して供給することができればＮＯ<sub>x</sub>排出量がより一層少なくなるが、精度の良い空燃比制御やシーケンシャル・タイムド・インジェクションによる成層化等のために吸気ポートにインジェクタを設ける場合、燃料をガス化して供給することは実際上

30

【００９２】

また、上記蒸発燃料供給系は、上記各インジェクタ４０に対するＡＭＩ用エア通路５２を利用して各インジェクタ４０にそれぞれ蒸発燃料を送り、各インジェクタ４０から各気筒に蒸発燃料が供給されるようにしているため、各気筒に対して均等に蒸発燃料が供給され、リーン状態において有効にパージを行なうことができる。

【００９３】

この作用を図１８によって説明する。この図は、各気筒における空燃比のばらつきを、理論空燃比の場合とリーン（ $A/F = 2.2$ ）の場合とについて示すものであり、この図のように、一般的に理論空燃比よりリーン状態の方が空燃比のばらつきが大きくなる傾向がある。そして、例えば吸気マニホールドに蒸発燃料を供給する等の従来の一般的な手法による場合（各気筒の空燃比を一点鎖線で示す）、気筒間に空燃比のばらつきが生じ、特にリーン状態で空燃比のばらつきが大きくなって定常サージラインを超え、トルク変動を招く。これに対し、当実施例の蒸発燃料供給系による場合（各気筒の空燃比を実線で示す）、気筒間の空燃比のばらつきが小さく、リーン状態でも、定常サージラインを超えることがない。従って、リーン状態でも大きなトルク変動を生じることなく有効に蒸発燃料を供給することができる。

40

【００９４】

また、蒸発燃料はガス化されているため、リーン状態でのＮＯ<sub>x</sub>発生量の減少にも有利となる（図１６，図１７の第３例参照）。

50

## 【 0 0 9 5 】

次に、図 1 中に示したコントロールユニット 7 0 による空燃比等の制御についてを説明する。

## 【 0 0 9 6 】

## 1 空燃比の制御

空燃比の制御としては、エンジン回転数及びスロットル開度に応じた空燃比の領域が予め図 1 9 に示すように設定される。この設定をエンジン回転数と吸気管負圧とに対応づけて示すと、図 2 0 のようになる。

## 【 0 0 9 7 】

すなわち、エンジンの低、中速域において、スロットル全閉（アイドルスイッチオン）の領域（アイドル域または全閉減速域）を除く低負荷域からスロットル弁全開に近い所定負荷までの領域では、空燃比が理論空燃比よりもリーン（ $> 1$ ）に設定される。このリーン領域は、具体的には、前記の吸気系により充填効率が高められる回転数域においてスロットル開度が全開の 6 / 8 程度までの領域とされる。

10

## 【 0 0 9 8 】

このリーン領域のうちの大部分の領域では、エンジンから排出される排気ガス中の  $\text{NO}_x$  発生割合が十分に少なく、かつ、トルク変動が許容量以下となる範囲で高リーンの所定空燃比に設定され、例えば  $A / F = 2.2$  に設定される。この高リーンの所定空燃比とされる領域の高負荷側の限界は、吸入空気量が飽和するまで、つまり図 2 0 のように吸気管負圧が限界に達してそれ以上は吸気量が増加しないところまでとされる。

20

## 【 0 0 9 9 】

上記リーン領域のうちで上記所定空燃比とされる領域の周囲の領域では、上記所定空燃比よりは小さい（理論空燃比に近い）一定範囲のリーン空燃比とされ、 $\text{NO}_x$  の許容限界に対して十分にゆとりがある、例えば  $A / F = 1.9 \sim 2.2$  とされる。この空燃比の範囲は、前記触媒装置 6 1 を通過した後の  $\text{NO}_x$  発生割合が許容値以下に抑えられる範囲であり、詳しくは後に説明する。

## 【 0 1 0 0 】

上記リーン領域のうちで高リーンの所定空燃比とされる領域よりも高負荷側では、空燃比が上記一定範囲（ $1.9 \sim 2.2$ ）内でスロットル開度の増大につれて次第に小さくなるように設定される。

30

## 【 0 1 0 1 】

低速側で上記リーン領域よりも高負荷側の一定範囲の領域、及び高負荷側で上記リーン領域よりも高速側の一定範囲の領域では、空燃比が理論空燃比（ $= 1$ ）とされ、これよりさらに高負荷側及び高速側では空燃比が理論空燃比よりもリッチ（ $< 1$ ）とされる。なお、アイドル域では理論空燃比（ $= 1$ ）とされ、全閉減速域では燃料カットとされる。

## 【 0 1 0 2 】

このような空燃比の領域設定に基づいてコントロールユニット 7 0 は、上記リーン領域及び理論空燃比領域では、上記酸素濃度センサ 6 0 の出力に応じたフィードバック制御により、運転状態に応じた設定空燃比となるように上記インジェクタ 4 0 からの燃料噴射量を制御する。この場合、リーン領域では、加速時等の過渡時であっても、上記領域設定に基づく設定空燃比となるようにフィードバック制御を行なう。つまり、定常、過渡時のいずれの場合も同じ 1 つの空燃比制御マップで制御する。

40

## 【 0 1 0 3 】

なお、リーン領域から理論空燃比もしくはこれよりリッチな空燃比の領域へ運転状態が移行するときには、時間的に空燃比を次第に変化させるようにする。

## 【 0 1 0 4 】

## 2 燃料噴射タイミングの制御

燃料噴射タイミングの制御としては、各気筒毎に所定のタイミングで燃料を噴射する所謂シーケンシャル・タイムド・インジェクションを行なわせ、燃焼室内の混合気をほぼ均一化しつつ点火プラグ回りの混合気を他の部分と比べて多少濃くするように、吸気行程の所

50

定時期に燃料を噴射する。とくに、点火プラグ回りの混合気が濃くなりすぎて $\text{NO}_x$ の増大を招くようなことがないように成層化度合が調整され、具体的には $\text{ATDC } 60^\circ$ までの期間内に噴射を行なうようにする。

#### 【0105】

この場合、吸気行程における上記のような期間内に燃料を噴射しきれないときには、その噴射しきれない分だけを吸気行程前に噴射し、所謂分割噴射を行なう。つまり、吸気行程前の所定時期に必要な燃料噴射量を予測し、その予測値が吸気行程での噴射可能量よりも大きいときにはその差に相当する量だけをこの時期に噴射する。そして、吸気行程での噴射時に改めて必要燃料噴射量を演算し、吸気行程前に燃料噴射が行なわれていればその分を差引き、こうして求めた燃料噴射量に応じて燃料噴射を行なう。

10

#### 【0106】

##### 3 高精度の燃料制御

燃料噴射量による空燃比制御には、熱式エアフローセンサ32の応答性、計測された吸入空気の気筒内への流入遅れ、燃料の流入遅れ等に起因する若干の制御誤差が存在するため、これを補正して高精度の燃料制御を行なう。その手法としては、吸気系で発生する空気、燃料の過渡現象等を理論的にモデル化し、その理論モデルに基づき、熱式エアフローセンサ32の熱的応答遅れに対する補正、吸気管容積による気筒内への吸気充填遅れに対する補正、吸気充填量演算後から吸気弁が閉じるまでの間の充填量変化に対する補正、噴射燃料の吸気管壁面への付着に対する補正等を求め、これらの補正を加味して燃料噴射量を演算するようにしている。

20

#### 【0107】

##### 4 TSCバルブの制御

TSCバルブ41の開閉切換えのラインは、リーン領域の高速側の限界ラインとほぼ一致するように設定されている(図19参照)。そして、低速側ではTSCバルブ41が閉じられ、高速側ではTSCバルブ41が開かれる。

#### 【0108】

##### 5 リーン領域でのISCバルブの制御

リーン領域では、ISCバルブ37を制御してISC通路35からの空気により吸入空気量の増量を行なう。これにより、リーンバーンでのトルクを補うようにする。これにより、図21中に実線で示すようにトルクが高められる。つまり、高リーンの所定空燃比とされる領域において、このような吸入空気量の増量を行なわずにリーンバーンを行なう場合(同図中の破線)と比べ、同図におけるハッチング部分に相当する分だけトルクが高められる。また、吸入空気量が飽和する領域ではISC通路35を開いても殆ど吸入空気量は増加しないが、この領域では上記のように空燃比を徐々に小さくする制御及び点火時期の制御によりトルクが高められる。なお、同図中の一点鎖線は、全運転領域を理論空燃比とした場合のトルクを示す。

30

#### 【0109】

##### 6 AMI用ミキシングエア及び蒸発燃料の制御

AMI用エア供給通路52のエア制御バルブ51を前述のように制御することにより、リーンバーン領域等において上記インジェクタ40にミキシングエアを供給する。また、パージソレノイドバルブ58を制御することにより、運転状態に応じてパージ量を調節する。なお、空燃比がフィードバック制御されているとき、パージが行われるとそのパージ量に応じて燃料噴射量が減少し、シーケンシャル・タイムド・インジェクションにおいては吸気行程で噴射される燃料が減少することとなるが、成層化が損なわれることはない。つまり、AMI用エア通路52に送りこまれる蒸発燃料は、ミキシングエアとともに吸気行程中の負圧で燃焼室に吸入される。従って、図22中に示すように、吸気行程での燃料噴射とほぼ同じタイミングで蒸発燃料が燃焼室に供給され、燃料噴射量の減少分が補われるため、成層化状態は維持される。

40

#### 【0110】

上記 1 ~ 6 の制御がコントロールユニット70によって行なわれる。

50

## 【 0 1 1 1 】

なお、以上のような構成のほかに、リーンバーンエンジンでは燃料密度が粗になることに伴い着火性の向上が要求されることから、図では示していないが、高エネルギーの点火システムを用いるようにしている。具体的には、通常エンジンと比べ、イグニッションコイルの特性変更により点火エネルギーを増大するとともに、低抵抗タイプのハイテンションコードを用いて伝達ロスを低減し、放電時間を 1.5 倍程度に延長することで確実な着火を可能にしている。また、点火プラグには高いエネルギーに耐える白金プラグを採用している。

## 【 0 1 1 2 】

以上のような当実施例のリーンバーンエンジンの作用を次に説明する。なお、エンジンの各部の個々の作用については既に説明しているため、以下では、リーンバーンエンジン全体としての作用、及び各部の相互の相乗作用について説明する。

## 【 0 1 1 3 】

当実施例のリーンバーンエンジンでは、先ず希薄燃焼限界（トルク変動許容限界の空燃比）が高められる。つまり、前記の図 2 ~ 図 4 に示すようなポート構造により、上記 T S C バルブ 4 1 が閉じられた状態では、燃焼室 2 内に斜めスワールが生成されて、混合気均一化作用及び燃焼速度が向上され、リーン状態での燃焼性が高められる。また、エアーミクスチュータイプインジェクタ 4 0 で燃料が微粒化されることによってもリーン状態での燃焼性が高められる。さらに、前記のようなシーケンシャル・タイムド・インジェクションによって適度の成層化が行われることによってもリーン燃焼状態が良好となる。また、前記のような高エネルギー点火システムを採用することによってリーンバーン時の着火性が高められる。

## 【 0 1 1 4 】

これらの作用により、図 2 3 中に示すように、希薄燃焼限界が 2.5 以上の空燃比まで高められる。そして、同図に示すように、空燃比が 1.9 程度から希薄燃焼限界近くまでは燃費が最も良く、N O x 排出量も十分に少ない。従って、空燃比をこの範囲内、例えば 2.2 程度にすれば、燃費が良く、かつ N O x 排出量が十分に少なく、しかも希薄燃焼限界まである程度の余裕があって良好に燃焼が行われる。

## 【 0 1 1 5 】

また、N O x の排出を抑制する作用が高められる。つまり、空燃比に応じた N O x 排出量は、触媒上流側では図 2 3 中の線 A、従来の三元触媒を用いた場合の触媒通過後は同図中の線 B、リーン状態でも N O x 浄化作用を有する触媒を用いた本発明による場合の触媒通過後の N O x 排出量は同図中の C のようになり、本発明によるとリーン領域での N O x 排出量が従来より少なくなる。さらに、前記の吸気ポート構造による混合気均一化やエアーミクスチュータイプインジェクタ 4 0 による微粒化によってエンジンの N O x 発生量も抑制される。これらの作用により、従来では N O x 許容限界を超えていた 1.9 程度の空燃比でも、十分に N O x の排出を抑制することができる。

## 【 0 1 1 6 】

また、低速域においてリーンバーンによるトルクが高められる。つまり、前記のように T S C バルブ 4 1 が閉じられる低速域において吸気の動的効果により充填効率が高められ、低速トルクが向上する。また、吸気弁の閉時期も低速域での充填効率向上に適したタイミングとされ、さらに、吸気ポートの流量係数が小さくされている。これらの作用でリーンバーンが行われる低速域でのトルクが高められる。

## 【 0 1 1 7 】

従って、空燃比が 2.2 程度の高リーンの状態でも要求トルクが得られる領域が高負荷側に拡大されるとともに、この空燃比でトルク上昇が限界に達するところからは、1.9 ~ 2.2 の範囲で空燃比が次第に小さくされる。つまり、充填効率が高められるようにされた上で、図 2 4 に示すように、吸気管圧力が限界に達する程度のスロットル開度まで最もリーンな状態が保たれるとともに、それ以上の所定スロットル開度まで、触媒装置 6 1 により N O x が許容限界以下に抑制される範囲で空燃比が変えられつつリーンバーン状態が維持さ

10

20

30

40

50



れる。こうして、 $\text{NO}_x$  排出抑制作用が維持されつつ、従来よりも大幅にリーン領域が拡大されることとなる。

【0118】

さらに、前記のようにISCバルブ37が制御されることによっても、リーン領域でトルクが稼がれる。

【0119】

そして、定常時、過渡時のいずれにおいても1つの空燃比制御マップ(図19参照)により空燃比が制御されることにより、上記リーン領域内では、加速時等の過渡時でもリーンバーンにより燃費及びエミッションが良好に保たれる。この場合、上記のように充填効率が高められるようになっているため加速時のトルクも確保され、また、高精度の燃料制御が行われることにより、過渡時の燃焼性も良好に保たれる。

10

【0120】

また、上記のように高精度の燃料制御が行われることにより空燃比変動が抑制されるとともに、斜めスワールによる混合気均一化、エアーミクスチャータイプインジェクタ40による燃料の微粒化等で燃焼の安定性が高められるため、トルク変動を抑制する作用も得られる。

【0121】

さらに、リーンバーン領域でも蒸発燃料をエンジンに供給するようにしているため、実質上の燃費が向上される。つまり、従来では一般にリーン領域では燃焼安定性を保つため蒸発燃料を使用しないようにしているが、このようにすると、キャニスタ56に蓄えきれない蒸発燃料が大気に排出されて実質的な燃費を低下させ、とくに広範囲の領域でリーンバーンが行われる場合には蒸発燃料の排出量が増加してしまうが、上記のようにリーン領域でも蒸発燃料を使用すれば蒸発燃料の排出量を減少させることができる。この場合、蒸発燃料を前記のようにエアーミクスチャータイプインジェクタ40を利用して蒸発燃料が各インジェクタ40に供給されるようにしているため、リーンバーン状態で蒸発燃料を供給してもトルク変動を招いたり成層化を損ねたりすることがない。

20

【0122】

【発明の効果】

本発明は、少なくとも低速低負荷域で理論空燃比より所定量リーンな所定空燃比にしたリーンバーンエンジンにおいて、低速域で吸気充填効率が高くなるような低速型吸気装置を設けるとともに、リーンな空燃比でも $\text{NO}_x$  浄化性能を有する排気浄化装置を設け、これらの相乗作用により、 $\text{NO}_x$  を低減しつつリーンバーンで得られるトルクの限界を高め、リーンバーン領域を拡大している。このため、エミッションを良好に保ちつつ、リーンバーン運転の機会を増大し、燃費を大幅に改善することができる。

30

【0123】

この発明において、過渡時にも空燃比をリーンに設定することにより、過渡時の燃費及びエミッションも改善することができる。

【0124】

上記発明において、燃焼室に対して渦流生成用の第1吸気ポートと第2吸気ポートとを設けて低速時に第2吸気ポートを閉じるようにし、とくに第1吸気ポートから流入する吸気により燃焼室内に形成される渦流をシリンダ中心線に対して所定角度傾けておくと、燃焼室内にリーンバーンに適した渦流を生成して混合気均一化及び燃焼速度を向上し、リーン領域の拡大を効果的に行なうことができる。

40

。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のリーンバーンエンジンの一実施例を示す概略図である。

【図2】燃焼室構造を示す概略平面図である。

【図3】第1吸気ポート側の概略断面図である。

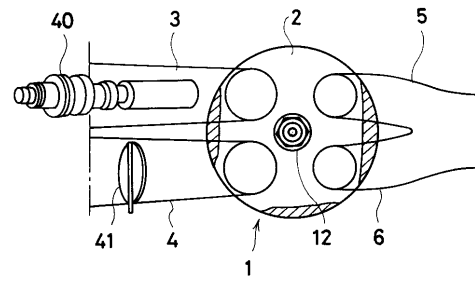
【図4】第2吸気ポート側の概略断面図である。

【図5】平均乱流強度の特性図である。

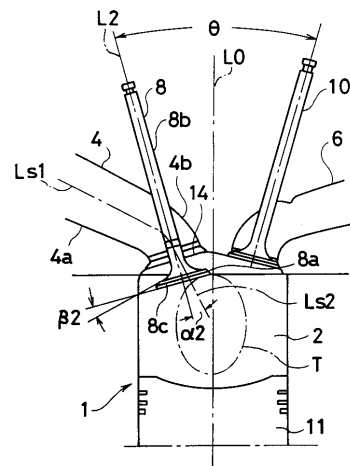
50

- 【図 6】スワールとタンブルの比較を示す図である。
- 【図 7】スワールについての測定手段及び測定の手法を示す説明図である。
- 【図 8】バルブタイミングを示す図である。
- 【図 9】吸気マニホールド部分の断面図である。
- 【図 10】吸気マニホールド部分の別の位置の断面図である。
- 【図 11】図 9 の X I - X I 線に沿って見た図である
- 【図 12】エンジントルクの特性を示す図である。
- 【図 13】インジェクタに対するエア供給系及び蒸発燃料供給系を示す図である。
- 【図 14】エアミクスチャータイプインジェクタの具体的構造を示す断面図である。
- 【図 15】上記インジェクタの一部切欠斜視図である。 10
- 【図 16】燃焼室内の燃料分布状態の各種例を示す図である。
- 【図 17】図 13 に示した各種例と  $\text{NO}_x$  排出量との関係を示す図である。
- 【図 18】蒸発燃料供給による空燃比のばらつきを示す図である。
- 【図 19】空燃比制御領域をエンジン回転数とスロットル開度とに対応させて示す図である。
- 【図 20】空燃比制御領域をエンジン回転数と吸気管負圧とに対応させて示す図である。
- 【図 21】スロットル開度に応じたエンジントルク変化を示す図である。
- 【図 22】燃料噴射及びパージ供給のタイミングを示す図である。
- 【図 23】空燃比と燃費、トルク変動、 $\text{NO}_x$  排出量との関係を示す図である。
- 【図 24】スロットル開度と吸気管圧力、空燃比との関係を示す図である。 20
- 【符号の説明】
- 1 エンジン本体
  - 2 燃焼室
  - 3, 4 吸気ポート
  - 5, 6 排気ポート
  - 7, 8 吸気弁
  - 9, 10 排気弁
  - 20 吸気系
  - 21 吸気マニホールド
  - 35 I S C 通路
  - 37 I S C バルブ
  - 40 インジェクタ
  - 41 開閉弁
  - 57 パージ通路
  - 61 触媒装置
  - 70 コントロールユニット

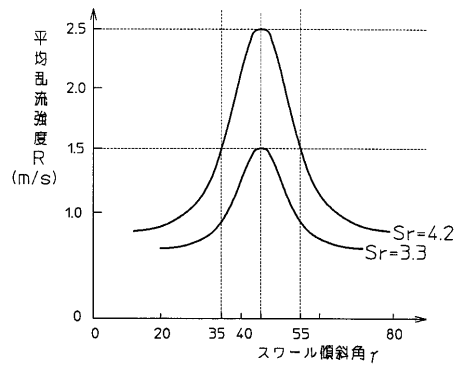
【 図 2 】



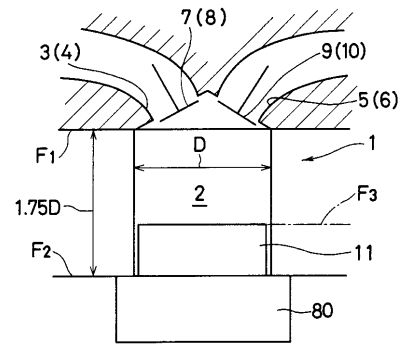
【 図 4 】



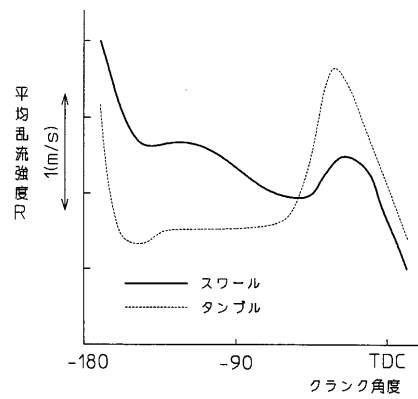
【図 5】



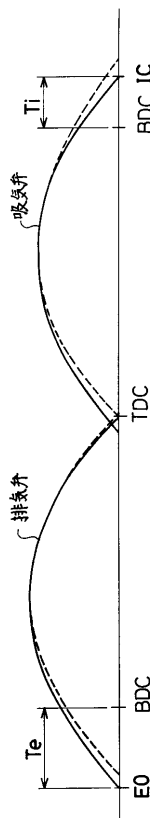
【図 7】



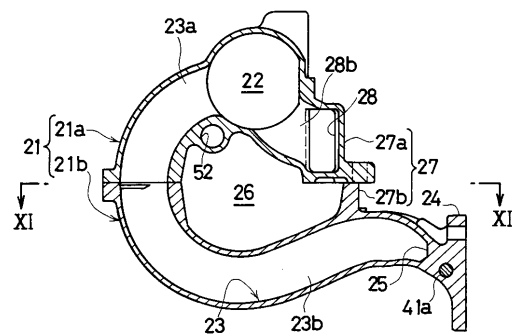
【図 6】



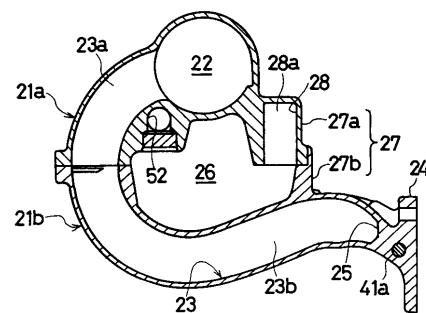
【図 8】



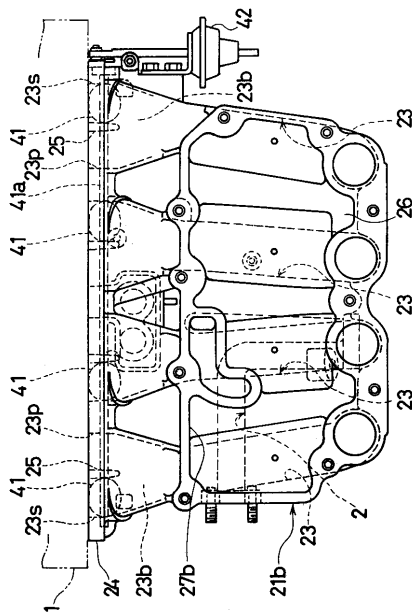
【図 9】



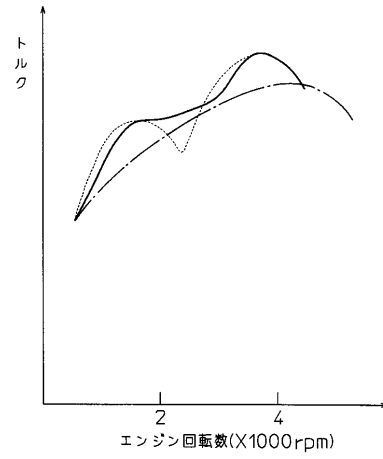
【図 10】



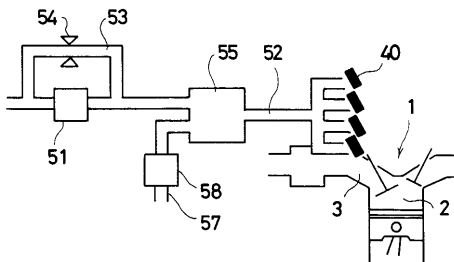
【図 1 1】



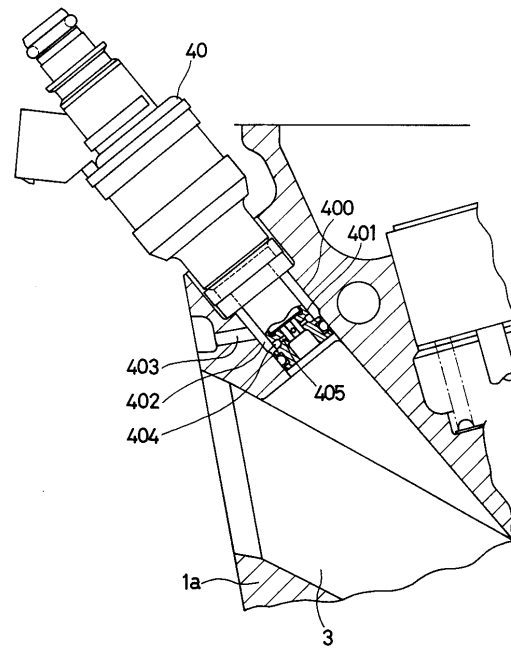
【図 1 2】



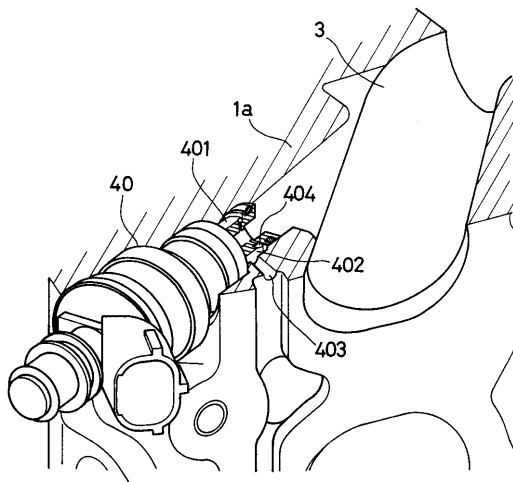
【図 1 3】



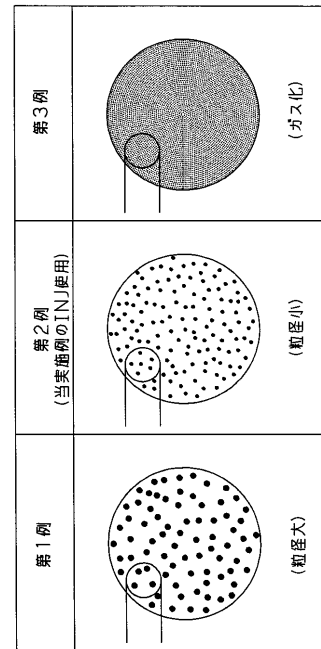
【図 1 4】



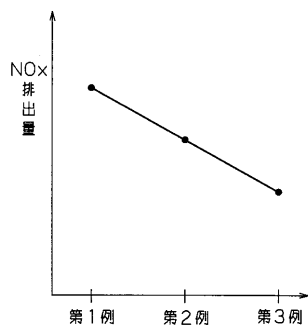
【図 15】



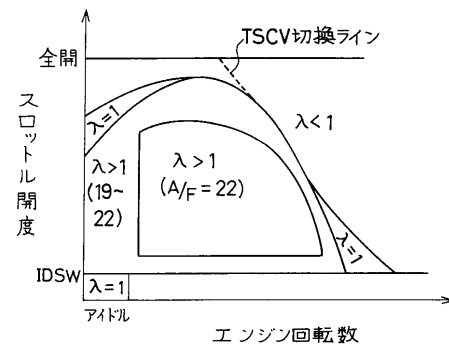
【図 16】



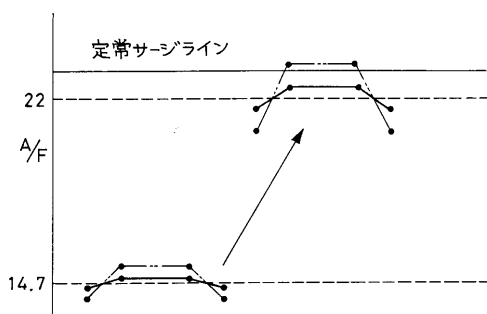
【図 17】



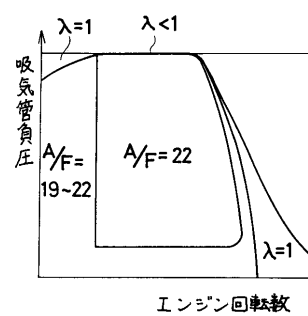
【図 19】



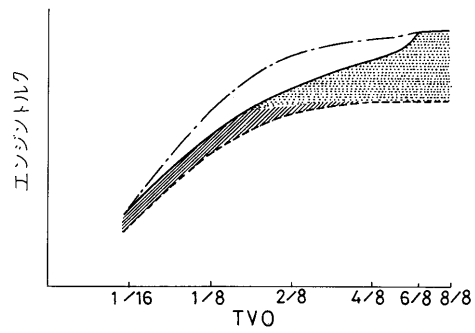
【図 18】



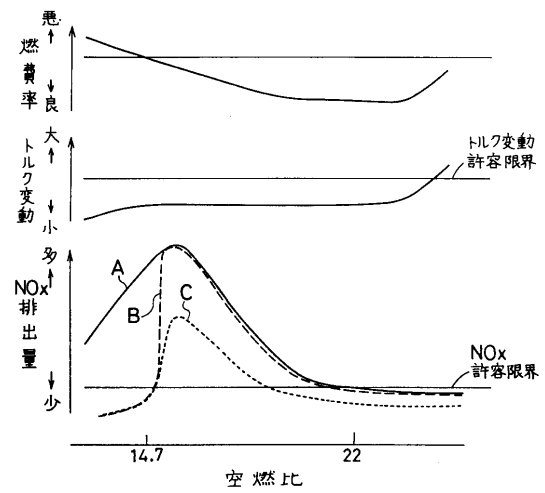
【図 20】



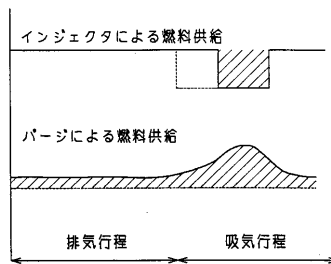
【図 2 1】



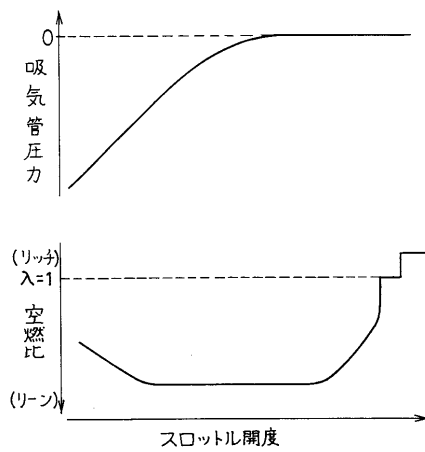
【図 2 3】



【図 2 2】



【図 2 4】



## フロントページの続き

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

F I

F 0 2 D 41/34	F 0 2 D 43/00	3 0 1 L
F 0 2 D 43/00	F 0 2 D 43/00	3 0 1 R
F 0 2 D 45/00	F 0 2 D 43/00	3 0 1 U
F 0 2 M 35/104	F 0 2 D 45/00	3 0 1 G
F 0 2 M 69/00	F 0 2 M 69/00	3 6 0 B
	F 0 2 M 69/00	3 6 0 C
	B 0 1 D 53/36	Z A B
	B 0 1 D 53/36	1 0 2 H
	B 0 1 D 53/36	1 0 4 A
	F 0 2 M 35/10	1 0 2 Y

- (72)発明者 清水 功  
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内
- (72)発明者 南谷 邦公  
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内
- (72)発明者 堀 保義  
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内
- (72)発明者 西岡 太  
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内
- (72)発明者 細貝 徹志  
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内
- (72)発明者 岡 憲児  
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内
- (72)発明者 寺尾 秀志  
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内
- (72)発明者 藤本 操  
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内
- (72)発明者 原田 政樹  
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内

審査官 所村 陽一

- (56)参考文献 特開平06-010725(JP,A)  
特開平06-066184(JP,A)  
特開平06-241081(JP,A)  
特開昭60-187724(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

F02D 41/04 305  
F02B 27/02  
F02B 31/02  
F02D 41/34  
F02D 43/00 301  
F02D 45/00 301  
F02M 69/00 360