

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5494545号
(P5494545)

(45) 発行日 平成26年5月14日(2014.5.14)

(24) 登録日 平成26年3月14日(2014.3.14)

(51) Int. Cl.	F I
FO2B 23/10 (2006.01)	FO2B 23/10 Y
FO2B 11/00 (2006.01)	FO2B 23/10 320
FO2D 41/34 (2006.01)	FO2B 11/00 A
	FO2B 23/10 V
	FO2B 23/10 R
請求項の数 6 (全 28 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2011-80155 (P2011-80155)	(73) 特許権者	000003137 マツダ株式会社
(22) 出願日	平成23年3月31日(2011.3.31)		広島県安芸郡府中町新地3番1号
(65) 公開番号	特開2012-215098 (P2012-215098A)	(74) 代理人	100067828 弁理士 小谷 悦司
(43) 公開日	平成24年11月8日(2012.11.8)	(74) 代理人	100115381 弁理士 小谷 昌崇
審査請求日	平成25年3月13日(2013.3.13)	(74) 代理人	100133916 弁理士 佐藤 興
		(72) 発明者	乃生 芳尚 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	山川 正尚 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】 火花点火式ガソリンエンジン

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

燃焼室内に臨む状態で当該燃焼室天井に配設されて、前記燃焼室に形成された少なくとも一部がガソリンからなる燃料と空気との混合気に点火エネルギーを供給可能な点火プラグを備えた火花点火式ガソリンエンジンであって、

前記燃料を燃焼室内に噴射する複数の噴口が先端部に形成されているとともに、当該先端部が前記燃焼室天井の径方向中央部分において前記燃焼室内に臨む状態で配設されたインジェクタと、

前記インジェクタによる燃料の噴射動作および前記点火プラグによる点火動作を制御する制御手段とを備え、

前記インジェクタの各噴口の軸線は、当該各噴口を通じて燃料が前記ピストンの冠面に近づくほど径方向外側に拡がって放射状に噴射される方向に傾斜しており、

前記燃焼室天井の径方向中央部分には、前記ピストンの冠面から離間する方向に凹むとともに当該ピストンの冠面に近づくほど径方向外側に広がる内周面を有し、内側に前記インジェクタの先端部が格納されるインジェクタ格納部が形成されており、

前記ピストンの冠面の径方向中央部分には、前記燃焼室天井から離間する方向に凹む凹状のキャピティが形成されており、

前記キャピティの開口縁は前記インジェクタ格納部の開口縁よりも径方向外側に位置しており、

前記点火プラグは、その点火点が、前記インジェクタ格納部の開口縁よりも径方向外側

、かつ、前記キャビティの開口縁よりも径方向内側となる位置に配置されており、
前記制御手段は、

少なくともエンジンの特定運転領域において、前記インジェクタから前記燃焼室内に燃料を噴射させ、かつ、当該噴射された燃料と空気の混合気の自着火を促進するために前記混合気に前記点火プラグから点火エネルギーを供給する着火アシストを圧縮行程後期に実行することにより、前記混合気を自着火により燃焼させるとともに、

前記特定領域において、前記着火アシストを実行するタイミングよりも前かつ前記燃焼室のうち前記キャビティよりも径方向外側の部分に混合気が偏在するようなタイミングで前記燃焼室内に燃料を噴射する前段噴射と、当該前段噴射のタイミングと前記混合気に前記点火プラグから点火エネルギーを供給するタイミングとの間のタイミングで前記燃焼室内に燃料を噴射する着火アシスト用噴射と、当該着火アシスト用噴射よりも後でかつ前記前段噴射に基づく混合気の燃焼の終了前であって前記キャビティ内に混合気が偏在するようなタイミングで前記燃焼室内に燃料を噴射する後段噴射とを、前記インジェクタに実行させるとともに、前記着火アシスト用噴射において、前記インジェクタに、前記前段噴射および後段噴射時よりも少量の燃料を噴射させることを特徴とする火花点火式ガソリンエンジン。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の火花点火式ガソリンエンジンにおいて、

前記インジェクタ格納部の内周面は、前記燃焼室天井の径方向中央部分を頂部とする略円錐面状を有しており、

20

前記インジェクタの先端部は、前記頂部に位置していることを特徴とする火花点火式ガソリンエンジン。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の火花点火式ガソリンエンジンにおいて、

前記キャビティの径方向中央部分には、前記燃焼室天井に近接する方向に突出して、頂部が前記インジェクタ格納部の径方向中央と対向する隆起部が形成されていることを特徴とする火花点火式ガソリンエンジン。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の火花点火式ガソリンエンジンにおいて、

前記点火プラグの点火点は、前記インジェクタ格納部の開口縁よりも径方向外側において、前記燃焼室天井とほぼ同じ高さ位置に位置していることを特徴とする火花点火式ガソリンエンジン。

30

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の火花点火式ガソリンエンジンにおいて、

前記燃焼室と連通する吸気ポートおよび排気ポートと、互いに隣接する位置に配置されて前記吸気ポートを開閉可能な複数の吸気バルブと、互いに隣接する位置に配置されて前記排気ポートを開閉可能な複数の排気バルブとを備え、

前記点火プラグは、互いに隣接する排気バルブ間に配置されていることを特徴とする火花点火式ガソリンエンジン。

【請求項 6】

40

請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の火花点火式ガソリンエンジンにおいて、

前記制御手段は、前記特定運転領域を除く運転領域のうち少なくとも一部の限定領域において、前記インジェクタから前記燃焼室内に燃料を噴射させる一方、前記点火プラグによる前記燃焼室内の混合気への点火エネルギーの供給を停止させて、当該燃焼室内の混合気を自着火により燃焼させることを特徴とする火花点火式ガソリンエンジン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、燃焼室内に臨む状態で当該燃焼室天井に配設されて、前記燃焼室に形成され

50

た少なくとも一部がガソリンからなる燃料と空気との混合気に点火エネルギーを供給可能な点火プラグを備えた火花点火式ガソリンエンジンに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、ガソリンエンジンの分野では、点火プラグからの火花放電により強制的に混合気を着火させる燃焼形態が一般的であったが、近年、このような火花点火による燃焼に代えて、いわゆる圧縮自己着火燃焼をガソリンエンジンに適用する研究が進められている。圧縮自己着火燃焼とは、燃焼室に生成された混合気をピストンで圧縮し、高温・高圧の環境下で、火花点火によらず混合気を自着火させるというものである。圧縮自己着火燃焼は、燃焼室の各所で同時多発的に自着火する燃焼であり、火花点火による燃焼に比べて燃焼期間が短く、より高い熱効率が得られると言われている。

10

【0003】

ここで、前記圧縮自己着火燃焼を安定して実現するためには、燃焼室内の混合気の温度をより確実に高温とする必要がある。これに対して、例えば、特許文献1に開示されているように、内部EGR量を増大させてこれにより混合気の温度を高める方法や、特許文献2に開示されているように混合気に点火エネルギーを供給して混合気の一部を燃焼させることにより混合気の温度を高めるいわゆる着火アシストを行う方法が検討されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2007-85241号公報

【特許文献2】特開2011-021553号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

前記着火アシストを行う場合において、点火エネルギーが加えられる混合気に含まれる燃料が十分に霧化していない場合は、混合気が適正に燃焼しないあるいは排気性能が悪化するという問題が生じる。

【0006】

本発明は、前記のような事情に鑑みてなされたものであり、点火エネルギーを十分に霧化した燃料に供給することができ、これにより、適正な圧縮自己着火燃焼を実現することができるガソリンエンジンを提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記課題を解決するために、本発明は、燃焼室内に臨む状態で当該燃焼室天井に配設されて、前記燃焼室に形成された少なくとも一部がガソリンからなる燃料と空気との混合気に点火エネルギーを供給可能な点火プラグを備えた火花点火式ガソリンエンジンであって、前記燃料を燃焼室内に噴射する複数の噴口が先端部に形成されるとともに、当該先端部が前記燃焼室天井の径方向中央部分において前記燃焼室内に臨む状態で配設されたインジェクタと、前記インジェクタによる燃料の噴射動作および前記点火プラグによる点火動作を制御する制御手段とを備え、前記インジェクタの各噴口の軸線は、当該各噴口を通じて燃料が前記ピストンの冠面に近づくほど径方向外側に拡がって放射状に噴射される方向に傾斜しており、前記燃焼室天井の径方向中央部分には、前記ピストンの冠面から離間する方向に凹むとともに当該ピストンの冠面に近づくほど径方向外側に広がる内周面を有し、内側に前記インジェクタの先端部が格納されるインジェクタ格納部が形成されており、前記ピストンの冠面の径方向中央部分には、前記燃焼室天井から離間する方向に凹む凹状のキャピティが形成されており、前記キャピティの開口縁は前記インジェクタ格納部の開口縁よりも径方向外側に位置しており、前記点火プラグは、その点火点が、前記インジェクタ格納部の開口縁よりも径方向外側、かつ、前記キャピティの開口縁よりも径方向内側となる位置に配置されており、前記制御手段は、少なくともエンジンの特定運転領域に

40

50

において、前記インジェクタから前記燃焼室内に燃料を噴射させ、かつ、当該噴射された燃料と空気の混合気の自着火を促進するために前記混合気の前記点火プラグから点火エネルギーを供給する着火アシストを圧縮行程後期に実行することにより、前記混合気を自着火により燃焼させるとともに、前記特定領域において、前記着火アシストを実行するタイミングよりも前かつ前記燃焼室のうち前記キャビティよりも径方向外側の部分に混合気が偏在するようなタイミングで前記燃焼室内に燃料を噴射する前段噴射と、当該前段噴射のタイミングと前記混合気の前記点火プラグから点火エネルギーを供給するタイミングとの間のタイミングで前記燃焼室内に燃料を噴射する着火アシスト用噴射と、当該着火アシスト用噴射よりも後でかつ前記前段噴射に基づく混合気の燃焼の終了前であって前記キャビティ内に混合気が偏在するようなタイミングで前記燃焼室内に燃料を噴射する後段噴射とを、前記インジェクタに実行させるとともに、前記着火アシスト用噴射において、前記インジェクタに、前記前段噴射および後段噴射時よりも少量の燃料を噴射させることを特徴とする火花点火式ガソリンエンジンを提供する（請求項1）。

10

【0008】

本発明によれば、点火点に十分に霧化された燃料が供給されるため、SOOTの発生等を抑制して排気性能を高めつつ適正な圧縮自己着火燃焼を実現することができる。

【0009】

具体的には、本発明では、前記インジェクタの先端部が燃焼室天井に形成されてピストンの冠面から離間する方向に凹むインジェクタ格納部内に格納されているとともに、点火点が、インジェクタ格納部の開口縁よりも径方向外側に位置しており、インジェクタの先端部の各噴口から点火点までの距離が長くされている。そのため、点火点に到達するまでに、より多くの燃料を霧化させることができる。

20

【0010】

また、本発明では、インジェクタ格納部の開口縁よりも径方向外側に開口縁が位置するキャビティが、ピストンの冠面に形成されているとともに、前記点火点が、前記インジェクタ格納部の開口縁よりも径方向外側、かつ、前記キャビティの開口縁よりも径方向内側に配置されている。そのため、インジェクタ先端部から噴出された燃料は、直接点火点に到達せず、点火点には、コアンダ効果によって吸い寄せられ、これに伴って霧化された燃料が到達する。また、前記燃料を、インジェクタ格納部から前記キャビティ内に流入する際に径方向外側に拡散させて霧化を促進することができ、点火点近傍に、より霧化された燃料を供給することができる。さらに、前記着火アシストが圧縮行程後期に実行されており、ピストンの上昇（燃焼室天井面に近接する方向の移動）に伴って、燃焼室内に噴射された燃料が拡散しつつ上方に巻き上げられるため、前記点火点近傍により霧化された燃料を到達させることができる。

30

そして、このように、十分に霧化された燃料を点火点に供給することができるため、本発明では、圧縮行程後期で少量の燃料を着火アシスト用噴射させた場合において、この燃料をより確実に燃焼させることができ、この少量の着火アシスト用噴射によって燃焼室内の全体の混合気が燃焼してしまうのを回避することができる。すなわち、着火アシスト用噴射による燃焼を、燃焼室内の温度を混合気自着火可能な温度に上げるだけの燃焼にとどめつつ、その後の圧縮自己着火を誘発させることができる。

40

さらに、本発明では、着火アシストを実行するタイミングよりも前かつ燃焼室のうちキャビティよりも径方向外側の部分に混合気が偏在するようなタイミングで燃焼室内に燃料を噴射する前段噴射と、前段噴射のタイミングと混合気に点火プラグから点火エネルギーを供給するタイミングとの間のタイミングで燃焼室内に燃料を噴射する着火アシスト用噴射と、着火アシスト用噴射よりも後でかつ前段噴射に基づく混合気の燃焼の終了前であってキャビティ内に混合気が偏在するようなタイミングで燃焼室内に燃料を噴射する後段噴射とを実施しており、各噴射に基づく混合気の形成場所が構造的に明確に分離され、それぞれの混合気の燃焼独立性が十分に担保されるため、燃焼室内の混合気が同時に燃焼することで燃焼騒音が増大するといった事態、あるいは、SOOTが多量に発生するという事

50

態をより確実に回避することができる。

【0011】

前記インジェクタ格納部およびインジェクタの具体的構成としては、インジェクタ格納部の内周面が、前記燃焼室天井の径方向中央部分を頂部とする略円錐面状を有し、この頂部に前記インジェクタの先端部が配置されているものが挙げられる（請求項2）。

【0012】

本発明において、前記キャピティの径方向中央部分には、前記燃焼室天井に近接する方向に突出して、頂部が前記インジェクタ格納部の径方向中央と対向する隆起部が形成されているのが好ましい（請求項3）。

10

【0013】

この構成によれば、燃焼室天井面とキャピティの内周面とで囲まれる部分の容積ひいてはこの部分の混合気の当量比を径方向にほぼ均一として当量比の不均一に伴う異常燃焼の発生を回避することができる。

【0014】

また、本発明において、前記点火プラグの点火点は、前記インジェクタ格納部の開口縁よりも径方向外側において、前記燃焼室天井とほぼ同じ高さ位置に位置しているのが好ましい（請求項4）。

【0015】

この構成では、インジェクタから噴射された燃料が点火点に直接あたるのをより確実に回避することができるため、燃料の液滴が点火点に付着することに伴う点火性能の悪化を抑制することができる。

20

【0016】

また、本発明において、前記燃焼室と連通する吸気ポートおよび排気ポートと、互いに隣接する位置に配置されて前記吸気ポートを開閉可能な複数の吸気バルブと、互いに隣接する位置に配置されて前記排気ポートを開閉可能な複数の排気バルブとを備え、前記点火プラグは、互いに隣接する排気バルブ間に配置されているのが好ましい（請求項5）。

【0017】

この構成によれば、点火プラグの取り付け位置を確保しつつ、吸気バルブのバルブ面積を大きくして燃焼室に流入する吸気量ひいてはエンジントルクを確保することができる。

30

【0021】

前記点火プラグのうち点火点近傍の部分は、点火エネルギーの供給が停止されている場合であっても比較的高温を維持している。そのため、点火エネルギーの供給を停止させて燃焼室内の混合気を自着火により燃焼させる場合において、燃料と点火点とが接触して点火点から燃料に熱エネルギーが供給されると、早期着火等の異常燃焼が生じるおそれがある。これに対して、本発明では、前記のように、点火点がインジェクタ格納部の開口縁よりも径方向外側に配置されて、燃料が直接点火点に当たるのが抑制されているので、点火エネルギーの供給停止時において点火点から燃料に加えられる熱エネルギーを抑制して異常燃焼をより確実に回避することができる。

【0022】

40

そのため、本発明は、前記制御手段は、前記特定運転領域を除く運転領域のうち少なくとも一部の限定領域において、前記インジェクタから前記燃焼室内に燃料を噴射させる一方、前記点火プラグによる前記燃焼室内の混合気への点火エネルギーの供給を停止させて、当該燃焼室内の混合気を自着火により燃焼させるものに適用されるのが好ましい（請求項6）。

【発明の効果】

【0023】

以上説明したように、本発明によれば、排気性能を向上させつつ適正な圧縮自己着火燃焼を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 2 4 】

【図 1】本発明の一実施形態に係るガソリンエンジンの全体構成を示す図である。

【図 2】図 1 に示すガソリンエンジンのシリンダヘッドの概略平面図である。

【図 3】図 1 に示す燃焼室周辺を拡大して示す概略断面図である。

【図 4】前記エンジンの制御系を示すブロック図である。

【図 5】エンジンの運転状態に応じた燃焼形態を選択するための制御マップの一例を示す図である。

【図 6】図 5 の第 1 運転領域 (A 1) における制御内容を説明するためのタイムチャートである。

【図 7】図 5 の第 2 運転領域 (A 2) における制御内容を説明するためのタイムチャートである。

10

【図 8】図 5 の第 3 運転領域 (A 3) における制御内容を説明するためのタイムチャートである。

【図 9】図 5 の第 4 運転領域 (A 4) における制御内容を説明するためのタイムチャートである。

【図 10】(a) ~ (f) は、前記第 2 運転領域 (A 2) で行われる燃料噴射とそれに基づく混合気の燃焼を模式的に説明するための図である。

【図 11】(a) ~ (f) は、前記第 3 運転領域 (A 3) で行われる燃料噴射とそれに基づく混合気の燃焼を模式的に説明するための図である。

【図 12】前記第 3 運転領域 (A 3) で行われる複数段の燃料噴射がそれぞれどのような領域で燃焼するかを模式的に説明するための図である。

20

【図 13】本発明の他の実施形態に係るガソリンエンジンの燃焼室周辺を示した図である。

【図 14】本発明の他の実施形態に係るガソリンエンジンの燃焼室周辺を示した図である。

【図 15】本発明の他の実施形態に係るガソリンエンジンの燃焼室周辺を示した図である。

【図 16】図 14 に示す実施形態に係るガソリンエンジンの点火点の位置を説明するための概略図である。

【発明を実施するための形態】

30

【 0 0 2 5 】

(1) エンジンの全体構成

図 1 は、本発明の一実施形態にかかるエンジンの全体構成を示す図である。本図に示されるエンジンは、走行駆動用の動力源として車両に搭載される往復ピストン型の多気筒ガソリンエンジンである。このエンジンのエンジン本体 1 は、紙面に直交する方向に並ぶ複数の気筒 2 (図中ではそのうちの 1 つのみを示す) を有するシリンダブロック 3 と、シリンダブロック 3 の上面に設けられたシリンダヘッド 4 と、各気筒 2 に往復摺動可能に挿入されたピストン 5 とを有している。エンジン本体 1 に供給される燃料は、ガソリンを主成分とするものである。なお、この燃料はガソリンが主成分であればよく、その中身は、全てガソリンであってもよいし、ガソリンにエタノール (エチルアルコール) 等を含有させたものでもよい。以下、適宜、前記ピストン 5 の軸方向であってその摺動方向を上下方向といい、シリンダヘッド 4 側を上側、シリンダブロック 3 側を下側という。

40

【 0 0 2 6 】

前記エンジン本体 1 すなわち気筒 2 の幾何学的圧縮比は、理論熱効率の向上や、後述する圧縮自己着火燃焼の安定化等を目的として、1.4 以上という高い値に設定されている。なお、この幾何学的圧縮比は、実用上の観点等から 2.0 程度が限界であると考えられる。そのため、前記幾何学的圧縮比は、1.4 以上 2.0 以下の範囲の適宜の値に設定される。

【 0 0 2 7 】

前記ピストン 5 は、コネクティングロッド 8 を介してクランク軸 7 と連結されている。前記ピストン 5 の往復運動に応じて、前記クランク軸 7 はその中心軸回りに回転する。

50

【 0 0 2 8 】

前記ピストン5の上方には燃焼室6が形成されている。燃焼室6には、吸気ポート9および排気ポート10が開口している。前記シリンダヘッド4には、各ポート9, 10を開閉する吸気弁11および排気弁12がそれぞれ設けられている。なお、図例のエンジンはいわゆるダブルオーバーヘッドカムシャフト式(DOHC)エンジンである。各気筒につき前記吸気ポート9および排気ポート10が2つずつ設けられるとともに、前記吸気弁11および排気弁12も2つずつ設けられている。

【 0 0 2 9 】

図2に示すように、2つの吸気弁11と2つの排気弁12とは、燃焼室6の中心線Lを挟んでそれぞれ両側に設けられている。すなわち、図2において、2つの吸気弁11は、燃焼室6の中心線Lよりも下側部分に設けられており、この部分において中心線Lと略平行な方向に並んでいる。また、図2において、2つの排気弁12は、燃焼室6の中心線Lよりも上側部分に設けられており、この部分において中心線Lと略平行な方向に並んでいる。

10

【 0 0 3 0 】

ここで、「燃焼室」とは、狭義には、ピストン5が上死点にあるときにその上方に形成される空間のことを指すが、ここでいう燃焼室6とは、ピストン5の上下位置にかかわらずその上方に形成される空間のことを指す(広義の燃焼室)。

【 0 0 3 1 】

前記吸気弁11および排気弁12は、それぞれ、シリンダヘッド4に配設された一対のカムシャフト(図示省略)等を含む動弁機構13, 14によりクランク軸7の回転に連動して開閉駆動される。

20

【 0 0 3 2 】

前記吸気弁11用の動弁機構13には、CVVL15が組み込まれている。CVVL15は、連続可変バルブリフト機構(Continuous Variable Valve Lift Mechanism)と呼ばれるものであり、吸気弁11のリフト量を連続的に(無段階で)変更するものである。CVVL15は、エンジンの全ての吸気弁11のリフト量を変更できるように設けられており、このCVVL15が駆動されると、各気筒2において一対の吸気弁11のリフト量が同時に変更されるようになっている。

【 0 0 3 3 】

このような構成のCVVL15は既に公知であり、その具体例として、吸気弁11駆動用のカムをカムシャフトの回転と連動して往復揺動運動させるリンク機構と、リンク機構の配置(レバー比)を可変的に設定するコントロールアームと、コントロールアームを電氣的に駆動することによって前記カムの揺動量(吸気弁11を押し下げる量)を変更するステッピングモータとを備えたものを挙げることができる(例えば特開2007-85241号公報参照)。

30

【 0 0 3 4 】

前記排気弁12用の動弁機構14には、吸気行程中に排気弁12を押し下げる機能を有効または無効にするON/OFFタイプの可変バルブリフト機構(Variable Valve Lift Mechanism)であるVVL16が組み込まれている。すなわち、VVL16は、排気弁12を排気行程だけでなく吸気行程でも開弁可能にするとともに、この吸気行程中の排気弁12の開弁動作を実行するか停止するかを切り替える機能を有している。VVL16は、エンジンの全ての排気弁12に対応して設けられており、かつ、各気筒2の一対の排気弁12に対し、それぞれ個別に、吸気行程中の開弁動作を実行または停止できる。

40

【 0 0 3 5 】

このような構成のVVL16は既に公知であり、その具体例として、排気弁12駆動用の通常のカム(排気行程中に排気弁12を押し下げるカム)とは別に吸気行程中に排気弁12を押し下げるサブカムと、このサブカムの駆動力が排気弁12に伝達されるのを有効または無効にするいわゆるロストモーション機構とを備えたものを挙げることができる(

50

例えば特開 2007-85241号公報参照)。

【0036】

このVVL16の作用により、排気弁12が排気行程中に加えて吸気行程中に開弁した場合には、排気行程において高温の排気が排気ポート10から燃焼室6に逆流して、燃焼室6内に大量の排気が残留する。すなわち内部EGRガス量が多く確保される。一方、排気弁12が排気行程中にのみ開弁した場合には、内部EGRガス量は少量あるいはない状態に抑えられる。

【0037】

前記エンジン本体1の吸気ポート9および排気ポート10には、吸気通路28および排気通路29がそれぞれ接続されている。

10

【0038】

前記吸気通路28は、単一の通路からなる共通通路部28cと、共通通路部28cの下流側端部に設けられたサージタンク28bと、気筒2ごとに分岐して設けられ、前記サージタンク28bと各気筒2の吸気ポート9とを接続する分岐通路部28aとを有している。

【0039】

前記排気通路29は、単一の通路からなる共通通路部29cと、気筒2ごとに分岐して設けられ、前記共通通路部29cの上流側端部と各気筒2の排気ポート10とを接続する分岐通路部29aとを有している。

【0040】

20

前記吸気通路28および排気通路29の間には、排気通路29を通過する排気ガスの一部を吸気通路28に還流させる外部EGR装置30が設けられている。外部EGR装置30は、吸気通路28および排気通路29の各共通通路部28c、29cどうしを連通するEGR通路31と、EGR通路31の途中部に設けられてEGR通路31を通過する排気の流量を制御するEGRバルブ32と、EGR通路31を通過する排気を冷却する水冷式のEGRクーラ33とを有している。

【0041】

前記吸気通路28の共通通路部28cには、吸気通路28を通過する吸入空気の量を調節するスロットル弁25が設けられている。ただし、本実施形態では、前記CVVL15により吸気弁11のリフト量が調整され、また、VVL16により燃焼室6の内部EGRガスの量が調整され、さらには、外部EGR装置30により吸気通路28に還流される排気ガスの量が調整される。したがって、これらの操作に基づいて、スロットル弁25を操作することなく、燃焼室6に導入される空気(新気)の量を調整することが可能である。このため、スロットル弁25は、エンジンの停止時等を除いて、全開もしくはそれに近い値に維持される。

30

【0042】

前記排気通路29の共通通路部29cには、排気ガス浄化用の触媒コンバータ35が設けられている。触媒コンバータ35には例えば三元触媒が内蔵されており、排気通路29を通過する排気ガス中の有害成分は、前記三元触媒の作用により浄化される。

【0043】

40

また、エンジン本体には、各種センサが取り付けられている。例えば、エンジン冷却水の温度を検出するための水温センサSW1、クランク軸7の回転角度(クランク角)ひいてはエンジン回転数を検出するためのクランク角センサSW2、前記カムシャフトの角度を検出して気筒判別(各気筒が吸気、圧縮、膨張、排気のいずれの行程にあるかの判別)用の信号を出力するカム角センサSW3が、エンジン本体に取り付けられている。

【0044】

図3は、前記燃焼室6周辺を示した図である。この図3等に示すように、燃焼室6の内周面の一部を構成するピストン5の冠面の径方向中央部分には、下方(燃焼室天井面60から離間する方向)に凹む凹状のキャビティ40が設けられている。

【0045】

50

前記キャビティ 40 の径方向中央部分には、上方（燃烧室天井面 60 に近接する方向）に突出する隆起部 40 b が形成されている。この隆起部 40 b は、キャビティ 40 の径方向中央を通り上下に延びる線すなわちピストン 5 の軸線 u 1 を中心軸とする略円錐状を有している。キャビティ 40 の内周面 40 a のうちこの隆起部 40 b よりも径方向外側の部分 40 c は、径方向外側に向かうに従って上方に向かうように湾曲した後、上方に向かうに従って径方向内側に向かうように湾曲している。すなわち、本実施形態では、キャビティ 40 は、その上端の開口部 40 d から所定深さまでの範囲において、上方に至るほど内径が狭くなるように上窄まり状になっている。

【0046】

前記キャビティ 40 よりも径方向外側に位置するピストン 5 の冠面には、平面視円環状の環状凹部 41 が、キャビティ 40 の周囲を取り囲むように設けられている。この環状凹部 41 は、径方向外側に至るほど高さが低くなるように形成されている。この環状凹部 41 の最大深さ（最外周部の深さ）は、キャビティ 40 の深さよりも浅く設定されている。

【0047】

また、前記環状凹部 41 よりもさらに径方向外側に位置するピストン 5 の最外周部には、前記環状凹部 41 よりも上方に突出した円環状の立壁部 42 が設けられている。この立壁部 42 の突出高さは、前記キャビティ 40 上端の開口部 40 d を囲む部分（リップ部）と同一に設定されている。

【0048】

前記シリンダヘッド 4 の底面で構成される燃烧室 6 の天井面 60 の径方向中央部分には、ピストン 5 の冠面から離間する方向に凹むインジェクタ格納部 62 が設けられている。前記燃烧室 6 の天井面 60 のうち前記インジェクタ格納部 62 よりも径方向外側の部分 63 は、ピストン 5 の軸線 u 1 と直交する平面となっている。すなわち、前記燃烧室 6 の天井面 60 は、いわゆるフラットヘッドの径方向中央部分に上方に凹む前記インジェクタ格納部 62 が形成された形状を有している。

【0049】

前記インジェクタ格納部 62 は、燃烧室 6 の天井面 60 の径方向中央部分を頂部とする略円錐状を有している。このインジェクタ格納部 62 の頂部と前記隆起部 40 b の頂部とは対向している。詳細には、このインジェクタ格納部 62 の径方向中央部分には、シリンダヘッド 4 の内部に形成されて前記インジェクタ 21 が取り付けられる取り付け部 66 が開口しており、インジェクタ格納部 62 の内周面 62 a はこの開口部 66 a から下方に向かって円錐台状に延びている。

【0050】

前記インジェクタ格納部 62 の下端の開口縁 62 b は、前記キャビティ 40 の上端の開口縁 40 e よりも径方向内側に位置している。本実施形態では、このインジェクタ格納部 62 の下端の開口縁 62 b は、前記隆起部 40 b の径方向外側端よりも内側に位置している。すなわち、図 2 に示すように、インジェクタ格納部 62 は、ピストン 5 の軸線 u 1 の一方向から見た平面視で、キャビティ 40 の内側に位置しており、キャビティ 40 のうちの径方向外側部分は燃烧室天井面 60 のうちインジェクタ格納部 62 よりも径方向外側の部分 63（以下、適宜、この燃烧室天井面 60 のうちインジェクタ格納部 62 よりも径方向外側の部分をフラットヘッド面 63 という）と対向している。

【0051】

ここで、前記隆起部 40 b が形成されることで、この隆起部 40 b がいない場合に比べてキャビティ 40 の径方向中央部分の容積は減少する。しかしながら、前記燃烧室天井 60 の径方向中央部分には、上方に凹むインジェクタ格納部 62 が形成されている。そのため、燃烧室天井面 60 とキャビティ 40 の内周面 40 a とで囲まれる部分の容積は、ほぼ均一とされる。

【0052】

前記シリンダヘッド 4 には、点火プラグ 20 およびインジェクタ 21 が、各気筒 2 につき 1 組ずつ設けられている。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 3 】

前記インジェクタ 2 1 には燃料供給管 2 3 (図 1 参照) が接続されており、この燃料供給管 2 3 を通じて供給される燃料 (ガソリンを主成分とする燃料) が前記インジェクタ 2 1 の先端部 I 1 から噴射される。

【 0 0 5 4 】

前記燃料供給管 2 3 の上流側には、クランク軸 7 と連動連結されたプランジャー式のポンプ等からなる高圧燃料ポンプが接続されているとともに、この高圧燃料ポンプと前記燃料供給管 2 3 との間には、全気筒に共通の蓄圧用のコモンレールが設けられている。そして、このコモンレール内で蓄圧された燃料が各気筒 2 のインジェクタ 2 1 に供給されることにより、各インジェクタ 2 1 からは、30 MP a 以上の高い圧力の燃料が噴射されるようになっている。なお、燃料噴射圧力の上限値は、実用上の観点等から 120 MP a 程度であると考えられるため、前記インジェクタ 2 1 からの噴射圧力は、30 MP a 以上 120 MP a 以下の範囲の適宜の値に設定される。

10

【 0 0 5 5 】

前記インジェクタ 2 1 は、いわゆる多噴口型のインジェクタである。本実施形態では、前記インジェクタ 2 1 は、その先端部 I 1 に 1 2 個の噴口を有している。前記インジェクタ 2 1 は、その先端部 I 1 が前記インジェクタ格納部 6 2 の頂部すなわち前記取り付け部 6 6 の開口部 6 6 a に位置し、その軸線 u 1 がインジェクタ格納部 6 2 の頂部すなわち燃焼室 6 の天井面 6 0 の径方向中央を通り、このインジェクタ格納部 6 2 の頂部からインジェクタ格納部 6 2 内に臨む姿勢で、前記取り付け部 6 6 に取り付けられている。前記各噴口 2 1 a は、インジェクタ 2 1 の軸線 u 1 を中心とする円周上に互いに等間隔に形成されており、各噴口 2 1 a の軸線 u 2 すなわち各噴口 2 1 a の開口方向は、径方向外側に向かって斜め下方 (ピストン 4 の冠面側) を向いている。前記インジェクタ 2 1 の各噴口 2 1 a から燃料が噴射された場合、その燃料は、ピストン 5 の冠面に近づくほど径方向外側に広がるように放射状に噴射される。本実施形態では、各噴口 2 1 a の軸線 u 2 は、インジェクタ 2 1 の軸線 u 1 に対して 45 度傾斜している。すなわち、図 3 における角度 1 は、45 度に設定されている。

20

【 0 0 5 6 】

前記インジェクタ格納部 6 2 の内周面 6 2 a は、前記インジェクタ 2 1 から噴射された燃料がこの内周面 6 2 a に衝突しないように、この燃料の通過領域 F 1 よりも径方向外側に位置している。本実施形態では、前記インジェクタ格納部 6 2 の内周面 6 2 a は、側面視で、前記燃料の通過領域 F 1 よりも径方向外側においてインジェクタ 2 1 の噴口 2 1 a の軸線 u 2 と平行に延びている。燃料の通過領域 F 1 とは、各噴口 2 1 a から噴射された燃料が燃焼室 6 の壁面に到達する前に通過する領域であり、各噴口 2 1 a を頂点として各噴口 2 1 a の軸線 u 2 を中心軸とした各噴口 2 1 a の噴霧角度 2 を頂角とする円錐状の領域である。例えば、噴霧角度 2 は、15 度に設定されている。

30

【 0 0 5 7 】

ここで、前述のように、前記インジェクタ格納部 6 2 の下端の開口縁 6 2 b は、前記キャピティ 4 0 の上端の開口縁 4 0 e よりも径方向内側に位置しており、インジェクタ格納部 6 2 内の空間よりもキャピティ 4 0 内の空間の方が径方向に広がっている。そのため、インジェクタ 2 1 から噴射された燃料は、前記インジェクタ格納部 6 2 内を通過した後、前記キャピティ 4 0 の径方向外側部分に流入し、この流入時に径方向に拡散し、霧化される。

40

【 0 0 5 8 】

前記点火プラグ 2 0 は、図外の点火回路からの給電に応じてその先端から火花を放電して燃焼室 6 内の混合気に点火エネルギーを供給し、この混合気に点火する。本実施形態では、前記点火プラグ 2 0 は、前記燃焼室 6 の天井面 6 0 のうちの前記フラットヘッド面 6 3 から燃焼室 6 内を臨む状態で、取り付けられている。より詳細には、シリンダヘッド 4 のうち前記フラットヘッド面 6 3 と前記インジェクタ格納部 6 2 との境界部分に、上方に凹む点火プラグ退避部 6 2 c が形成されており、点火プラグ 2 0 は、この点火プラグ退避

50

部 6 2 c から燃焼室 6 内を臨んでいる。

【 0 0 5 9 】

前記取り付け状態において、前記点火プラグ 2 0 の先端に設けられた外側電極と内側電極との中間部分すなわち点火点 S 1 は、前記インジェクタ格納部 6 2 の下側開口縁 6 2 b よりも径方向外側であって、前記燃料の通過領域 F 1 と重複しない位置に配置されている。本実施形態では、前記点火点 S 1 は、側面視で、前記フラットヘッド面 6 3 と同じ高さ位置に配置されており、前記燃料の通過領域 F 1 よりも径方向外側に位置している。

【 0 0 6 0 】

このように、前記点火点 S I は、インジェクタ格納部 6 2 の頂部に位置するインジェクタ 2 1 の先端部 I 1 から離間した位置に配置されており、インジェクタ 2 1 の先端部 I 1 から噴射された燃料は、点火点 S I 付近に到達するまでの間に霧化する。また、点火点 S I は、前記インジェクタ格納部 6 2 の下側開口縁 6 2 b よりも径方向外側であって前記燃料の通過領域 F 1 よりも径方向外側に位置しているため、点火点 S I 近傍には、前記インジェクタ格納部 6 2 からキャピティ 4 0 内に流入するのに伴って拡散、霧化された燃料が到達する。ここで、点火点 S I は、前記燃料の通過領域 F 1 よりも径方向外側に位置しているが、高速で通過する流体の周囲に物体を配置すると流体がこの物体に吸い寄せられるというコアンダ効果によって、図 3 の Q c で示したように、燃料は、拡散しつつ点火点 S I 側に吸い寄せられるため、点火点 S I には、十分に霧化された燃料が供給される。

【 0 0 6 1 】

(2) 制御系

図 4 は、エンジンの制御系を示すブロック図である。本図に示される E C U 5 0 は、エンジンの各部を統括的に制御するための装置であり、周知の C P U、R O M、R A M 等から構成されている。

【 0 0 6 2 】

前記 E C U 5 0 には、エンジン本体に設けられた前記水温センサ S W 1、クランク角センサ S W 2、およびカム角センサ S W 3 等の各種センサから種々の情報が入力される。また、E C U 5 0 には、車両に設けられた各種センサからの情報も入力される。例えば、運転者により踏み込み操作される図外のアクセルペダルの開度を検出するアクセル開度センサ S W 4 から、アクセル開度の情報が E C U 5 0 に入力される。

【 0 0 6 3 】

前記 E C U 5 0 は、その主な機能的要素として、判定手段 5 1、インジェクタ制御手段 5 2、吸気制御手段 5 3、内部 E G R 制御手段 5 4、外部 E G R 制御手段 5 5、および点火制御手段 5 6 を有している。

【 0 0 6 4 】

前記判定手段 5 1 は、クランク角センサ S W 2 およびアクセル開度センサ S W 4 の各検出値から特定されるエンジンの回転数 N_e および負荷 T (目標トルク) に基づいて、現在のエンジンの運転領域が図 5 の制御マップにおけるいずれの運転領域であるかを判定する。

【 0 0 6 5 】

前記図 5 の制御マップにおいて、エンジン負荷 T が比較的低い領域 (低負荷域) には、全ての回転速度域にわたって第 1 運転領域 (限定領域) A 1 が設定されている。また、この第 1 運転領域 A 1 よりも負荷 T が高い中負荷域には、低回転側から順に第 2 運転領域 (限定領域) A 2 および第 3 運転領域 (特定領域) A 3 が設定されている。つまり、エンジンの中負荷域において、回転速度 N_e が所定値 (例えば 2 0 0 0 ~ 3 0 0 0 r p m 程度) よりも低い領域に第 2 運転領域 A 2 が設定されるとともに、この第 2 運転領域 A 2 よりも回転速度 N_e の高い領域に第 3 運転領域 A 3 が設定されている。さらに、前記第 2、第 3 運転領域 A 2, A 3 よりも負荷 T が高い高負荷域には、全ての回転速度域にわたって第 4 運転領域 A 4 が設定されている。

【 0 0 6 6 】

エンジンの運転中においては、エンジンの運転点 (負荷 T および回転速度 N_e の各値が

10

20

30

40

50

ら特定される制御マップ上でのポイント)が前記図5中のどの運転領域(A1~A4)に該当するかが都度判断され、各運転領域に応じた適切な制御が実行されるようになっている。

【0067】

前記図5の制御マップに基づく制御の中身について簡単に説明しておく。この制御マップのうち、最も高負荷側に設定された第4運転領域A4を除く部分負荷の領域、つまり第1運転領域A1、第2運転領域A2、および第3運転領域A3は、そのいずれもが、ピストン5の圧縮作用により混合気を自着火させるCI燃焼(圧縮自己着火燃焼)の実行領域として規定されている。ただし、各領域A1~A3では、インジェクタ21からの燃料噴射の形態や、点火プラグ20を利用した着火アシストの有無、さらには内部EGRまたは外部EGRの有無等が異なる(その詳細については後述する)。ここでは、前記各領域A1~A3で実行されるCI燃焼用の制御のことを、それぞれ「リーンHCCIモード」「多段CIモード」「SA-多段CIモード」と称する。

10

【0068】

一方、前記第1~第3運転領域A1~A3よりも高負荷側に設定された第4運転領域A4では、CI燃焼ではなく、点火プラグ20を用いた火花点火(Spark Ignition)をきっかけに混合気を火炎伝播により燃焼させる燃焼形態(以下、SI燃焼と略称する)が選択される。ただし、前記第4運転領域A4でのSI燃焼は、一般的なSI燃焼とは異なり、燃料の噴射時期および点火時期を遅めに設定しつつ混合気を急速な火炎伝播により燃焼させるものであり(その詳細については後述する)、このような燃焼を実現するための前記第4運転領域A4での制御のことを、ここでは「急速リタードSIモード」と称する。

20

【0069】

なお、これら第1~第4運転領域A1~A4からなる制御マップは、基本的に、エンジン水温センサSW1により検出された冷却水温が所定値(例えば80)以上となる温間状態のときのものである。エンジンが冷間状態にあるときの制御マップについては、ここでは説明を省略する。

【0070】

再び図4に戻って、前記インジェクタ制御手段52は、前記インジェクタ21から燃焼室6に噴射される燃料の噴射量や噴射時期を制御するものである。具体的に、このインジェクタ制御手段52は、負荷Tやエンジン回転数Ne等に基づいて、目標とする燃料の噴射量および噴射時期を演算し、その演算結果に基づいてインジェクタ21を駆動する。

30

【0071】

前記吸気制御手段53は、前記CVVL15を駆動して吸気弁11のリフト量(開弁量)を変更する。例えば、吸気制御手段53は、エンジンの負荷Tが高い場合には、燃焼室6に多量の空気(新気)を導入すべく、吸気弁11のリフト量を増大させる。一方、吸気制御手段53は、エンジンの負荷Tが低い場合には、吸気弁11のリフト量を低減する。

【0072】

前記内部EGR制御手段54は、前記VVL16を駆動して排気弁12の吸気行程中の開弁を実行または停止することにより、燃焼室6に残留する内部EGRガス量を調整する。なお、本実施形態において、VVL16付きの排気弁12が1気筒あたり2つ設けられているので、吸気行程中に開弁する排気弁12の数を0, 1, 2の間で切り替えることにより、内部EGRガス量を段階的に変化させることが可能である。

40

【0073】

前記外部EGR制御手段55は、前記EGR通路31に設けられたEGRバルブ32の開度を変更して、排気通路29から吸気通路28に還流する排気ガス量すなわち外部EGR量を調整する。

【0074】

前記点火制御手段56は、前記点火プラグ20が火花放電を行うタイミング(点火時期)等を制御する。

50

【 0 0 7 5 】

(3) 各運転領域の具体的制御手順

次に、前記 ECU 50 が、前記第 1 運転領域 A 1 ~ 第 4 運転領域 A 4 で、それぞれのどのような制御を実施するのかを具体的に説明する。

【 0 0 7 6 】

まず、ECU 50 は、エンジンの運転が開始されると、前記クランク角センサ SW 2 およびアクセル開度センサ SW 4 の各検出値に基づいて、エンジンの運転点（負荷 T および回転数 Ne）が図 5 の制御マップにおけるどの運転領域に該当するかを逐次判定する。そして、判定された運転領域に応じて、それぞれ以下のような制御を実行する。

【 0 0 7 7 】

なお、この説明の前提として、エンジンの冷却水温は十分に暖まっている（つまり温間時の運転である）ものとする。そして、本実施形態では、ECU 50 は、温間時において、エンジンの運転点が前記運転領域 A 1 ~ A 3 のいずれにあっても、圧縮自己着火燃焼が実現される制御を実施する。ただし、適切な圧縮自己着火燃焼を行わせるには、インジェクタ 21 からの燃料噴射時期や、内部 EGR または外部 EGR の有無や、点火プラグ 20 からの点火の有無等を、運転領域 A 1 ~ A 3 によって変化させる必要がある。そのため、ECU 50 は、前記インジェクタ 21、点火プラグ 20、CVVL 15、VVL 16、および EGR バルブ 32 等を、エンジンの運転点を逐次判定しながら制御する。

【 0 0 7 8 】

(i) 第 1 運転領域 A 1

図 6 は、エンジンが第 1 運転領域 A 1 で運転されている場合の燃料噴射時期と吸排気弁 11, 12 のリフト特性、およびそれに基づく燃焼により生じる熱発生率 (J / deg) を示す図である。本図に示すように、第 1 運転領域 A 1 では、圧縮行程の前に噴射された燃料と空気との混合気をピストン 5 の圧縮作用によって自着火させる、一般的な予混合圧縮自己着火燃焼が実行される。具体的に、この第 1 運転領域 A 1 では、吸気行程中の所定時期にインジェクタ 21 から燃焼室 6 に燃料が噴射 (P) され、この燃料噴射 P により噴射された燃料と、吸気通路 28 から燃焼室 6 に導入される空気 (新気) との混合気が、ピストン 5 の圧縮作用により高温、高圧化し、圧縮上死点 (圧縮行程と膨張行程の間の TDC) 付近で自着火する。すると、このような自着火に基づき、波形 Qa に示すような熱発生を伴う燃焼が生じることになる。

【 0 0 7 9 】

ただし、第 1 運転領域 A 1 は、負荷 T が比較的低く、インジェクタ 21 から噴射される燃料の量が少ないため、筒内温度を意図的に上昇させないと、失火が起きるおそれがある。そこで、前記第 1 運転領域 A 1 では、VVL 16 を駆動して排気弁 12 を吸気行程中に開弁させることにより、燃焼室 6 で生成された排気ガスを燃焼室 6 に逆流させて、燃焼室 6 内の内部 EGR を多量に確保する。すなわち、排気弁 12 は、排気行程に加えて (図 6 のリフトカーブ EX)、吸気行程でも開弁する (リフトカーブ EX')。このように、高温の内部 EGR ガス量が多く確保されると、燃焼室 6 内の混合気の温度は高温となり、混合気の自着火が促進される。なお、内部 EGR ガス量は、低負荷側ほど多く、高負荷側ほど少なく設定される。そのため制御として、例えば、第 1 運転領域 A 1 における低負荷域 (無負荷に近い領域) では、吸気行程中に開弁する排気弁 12 の数が 2 つとされ、それよりも負荷が高くなると、開弁数が 1 つに減らされる。

【 0 0 8 0 】

前記のように、第 1 運転領域 A 1 では、排気弁 12 の再開弁 (吸気行程中の開弁) に基づく内部 EGR ガス量が増大されるのに伴い、外部 EGR ガスの導入は停止される。すなわち、EGR 通路 31 に設けられた EGR バルブ 32 の開度が全閉に設定されることにより、排気通路 29 から吸気通路 28 への排気ガスの還流が停止される。また、点火プラグ 20 による混合気への点火は停止される。

【 0 0 8 1 】

ここで、後述するように、第 3 運転領域 A 3 では、混合気の自着火を促進する着火アシ

10

20

30

40

50

ストとして点火プラグ 20 により混合気に点火が行われる。そのため、点火プラグ 20 のうち点火点 S I 近傍の部分は、この第 3 運転領域 A 3 での運転が一旦行われると、点火を停止している場合であっても高温となっている。一方、前述のように、点火プラグ 20 の点火点 S I は、前記燃料の通過領域 F 1 と重複しない位置に配置されている。そのため、高温の点火点 S I 近傍の部分により混合気が昇温されるのは回避され、この点火を停止する第 1 運転領域 A 1 において、前記混合気が自着火する前に燃焼する、すなわち、過早着火するのは回避され、適正な圧縮自己着火燃焼が実現される。

【 0 0 8 2 】

なお、前記第 1 運転領域 A 1 では、燃焼室 6 内の混合気の空燃比（実空燃比）を理論空燃比（14.7）で割った値である空気過剰率 λ が、 $\lambda = 2$ 以上という大幅にリーンな値に設定される。そのため、C V V L 15 の駆動により吸気弁 11（リフトカーブ I N）のリフト量を増減する制御が実行され、燃焼室 6 に導入される新気の量が、前記インジェクタ 21 からの燃料噴射量に対しかなり過剰になるように制御される。このように大幅にリーンに設定された混合気を燃焼させた場合、燃焼温度が大幅に低下するため、冷却損失を低減して熱効率（燃費）を向上させることができる。なお、 $\lambda = 2$ 以上までリーンになると、三元触媒による N O x の浄化作用はほとんど期待できなくなるが、 $\lambda = 2$ 以上であれば、燃焼により生じる N O x 量（生の N O x 量）が大幅に少なくなるため、三元触媒以外に特別な触媒（例えば N O x トラップ触媒）を設けなくても、排気ガス中に含まれる N O x の量を十分に小さい値に抑制することができる。

【 0 0 8 3 】

（ i i ）第 2 運転領域 A 2

前記第 1 運転領域 A 1 よりも負荷 T が高く、かつ回転速度 N e が比較的低い領域に設定された第 2 運転領域 A 2 では、図 7 に示すような制御が実行される。すなわち、第 2 運転領域 A 2 では、圧縮上死点を挟んだ 2 回（P 1, P 2）に分けてインジェクタ 21 から燃料を噴射させる分割噴射が実行される。以下では、圧縮行程中に実行される 1 回目の燃料噴射 P 1 を前段噴射、それより後の圧縮上死点付近（図例では膨張行程のごく初期）に実行される 2 回目の燃料噴射 P 2 を後段噴射と称する。また、点火プラグ 20 による混合気への点火は停止される。

【 0 0 8 4 】

なお、当明細書において、ある行程の「後期」とか「初期」とかいう場合は、その行程を初期、中期、後期に 3 分割したときの後期あるいは初期を指すものとする。例えば、圧縮行程の後期であれば、圧縮上死点前（B T D C）60 ~ 0 ° C A の範囲を指し、膨張行程の初期であれば、圧縮上死点后（A T D C）0 ~ 60 ° C A の範囲を指すことになる。

【 0 0 8 5 】

具体的に、当実施形態において、前記多段 C I モードのときの前段噴射 P 1 のタイミング（より正確には開始タイミング）は、シリンダブロック 3 の壁面（燃焼室 6 の側面）に燃料が直撃して燃料がこの壁面に付着しないタイミングである圧縮上死点前（B T D C）60 ° C A（C A はクランク角を表す）前後から、キャピティ 40 の中に燃料が多く進入せずにキャピティ 40 内の混合気の空燃比が超リーン状態となるタイミングである圧縮上死点前（B T D C）50 ° C A 前後までの間に設定される。

【 0 0 8 6 】

前記前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 によるトータルの噴射量は、第 2 運転領域 A 2 に対応する高い負荷に合わせて、第 1 運転領域 A 1 のとき（燃料噴射 P による噴射量）よりも増大される。また、このように増大設定される燃料噴射量に応じた多量の新気を燃焼室 6 に導入すべく、C V V L 15 が駆動されて吸気弁 11 のリフト量が増大される（リフトカーブ I N）。そして、前記のように分割噴射された燃料と空気（新気）との混合気が圧縮上死点付近で自着火することにより、図 7 の波形 Q b に示すように、時期の異なる 2 つのピークを有するような熱発生を伴う燃焼が生じる。なお、このような波形 Q b の形状はあくまで概念的なものであり、実際には 2 つのピークが明確に現れない場合も当然にあり得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 7 】

前記のように前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に分けて燃料を噴射するようにしたのは、燃焼騒音等の問題を考慮してのものである。すなわち、燃料噴射量の多い前記第 2 運転領域 A 2 では、燃料を 1 回で噴射してしまうと、噴射された多量の燃料が短時間で全て燃焼する急激な燃焼が起きることにより、筒内圧力が急上昇し、燃焼騒音が著しく増大する等の事態を招くおそれがある。そこで、前記のように燃料を分割噴射することにより、比較的マイルドな燃焼が継続的に起きるようにして、前記のような燃焼騒音の増大等を回避するようにしている。

【 0 0 8 8 】

ただし、たとえ燃料噴射を複数回に分割しても、インジェクタ 2 1 の配置やピストン 5 の形状によっては、各回に噴射された燃料どうしが混じり合い、その混じり合った燃料がほとんど同時に燃焼することがある。このように、噴射タイミングが異なる燃料どうしが混じり合った状態で燃焼が起きると、燃焼騒音が過大になるばかりでなく、燃焼時に必要な酸素が局所的に著しく不足し、多量のスート（炭素質粒子）が発生するおそれがある。

【 0 0 8 9 】

このような問題に対し、当実施形態では、インジェクタ 2 1 が燃焼室 6 天井の径方向中央部分に配置されるとともに、ピストン 5 の冠面がキャビティ 4 0 等を有する特殊な形状に形成されているため、分割噴射された燃料が同時に燃焼してしまふことがなく、前記のような燃焼騒音の増大やスートの大量発生を回避することが可能である（その詳細なメカニズムについては後述する）。

【 0 0 9 0 】

また、前記第 2 運転領域 A 2 では、前記のような燃料の分割噴射制御に加えて、吸気行程中に排気弁 1 2 を押し下げる機能を無効にするように V V L 1 6 が駆動され、排気弁 1 2 の吸気行程中の開弁が停止される。これにより、排気ガスが燃焼室 6 に逆流することがほとんどなくなり、内部 E G R が禁止される。

【 0 0 9 1 】

一方、第 2 運転領域 A 2 では、前記のように禁止された内部 E G R に代わり、外部 E G R が実行される。すなわち、E G R 通路 3 1 に設けられた E G R バルブ 3 2 が所定開度まで開かれることにより、排気通路 2 9 から吸気通路 2 8 へ排気ガスを還流させる操作が実行される。

【 0 0 9 2 】

このように、内部 E G R から外部 E G R へと切り替えるのは、燃焼室 6 内の新気量を確保するため、および、異常燃焼を回避するためである。すなわち、第 2 運転領域 A 2 は、第 1 運転領域 A 1 よりもエンジン負荷 T が高く、より多くの新気量が必要になるとともに、噴射されるトータルの燃料が多いことに伴ってプリイグニッションやノッキング等の異常燃焼が起きるおそれがある。そこで、内部 E G R から外部 E G R に切り替えて、E G R クーラ 3 3 付きの E G R 通路 3 1 を通過した（つまり E G R クーラ 3 3 により冷却された）排気ガスを吸気通路 2 8 に還流させることにより、E G R ガスの体積を減少させて燃焼室 6 内の新気量を確保するとともに、燃焼室 6 の高温化を防ぎ、前記のような異常燃焼を回避するようにしている。ただし、第 2 運転領域 A 2 であっても、エンジンの全負荷近傍では、多量の新気を確保するために、外部 E G R は停止される。

【 0 0 9 3 】

ここで、以上のような制御に基づき実現される第 2 運転領域 A 2 での燃焼形態について、図 1 0 (a) ~ (f) を参照しつつより具体的に説明する。図 1 0 (a) は、インジェクタ 2 1 から前段噴射 P 1 が行われたときの状態を示している。このときのピストン 5 は、上述したように、圧縮上死点前 (B T D C) 5 0 ~ 6 0 ° C A 程度に位置している。このような位置にあるピストン 5 の冠面に向けて、前記インジェクタ 2 1 の先端部 I 1 に備わる複数 (1 2 個) の噴口から放射状に燃料が噴射されると、その燃料の噴霧は、ピストン 5 の冠面の径方向外側寄りに設けられた環状凹部 4 1 に向かうことになる。

【 0 0 9 4 】

10

20

30

40

50

前記ピストン5の環状凹部41に向けて噴射された燃料(噴霧)は、その後、ピストン5の最外周部に設けられた立壁部42により上方にガイドされながら分散し、その分散した燃料に基づき、図10(b)に示すように、燃焼室6の外周部(主に環状凹部41の内部およびその上方空間)に混合気X1が形成される。ここで形成される混合気X1の空燃比は、燃焼室6の外周部だけの局所的な空燃比として、理論空燃比(空気過剰率 = 1)程度に設定される。すなわち、理論空燃比程度の濃さの混合気X1が燃焼室6の外周部に局所的に形成されるように、前記前段噴射P1の噴射時期および噴射量が設定されている。

【0095】

もちろん、前記前段噴射P1によって、燃焼室6の外周部以外(例えばキャビティ40の内部)にも微量の燃料が存在し得るが、その燃料の濃度は、前記燃焼室6の外周部に比べれば極めて薄いものである。言い換えれば、前段噴射P1が実行された時点で、燃焼室6の外周部には、キャビティ40の内部より極めてリッチな混合気X1が形成されていることになる。

10

【0096】

前記のように燃焼室6の外周部に形成された混合気X1は、ピストン5の上昇により圧縮されて高温・高圧化し、圧縮上死点付近までピストン5が達したところで、図10(c)に示すように自着火により燃焼する(圧縮自己着火)。なお、同図では、混合気X1が燃焼している領域を黒またはグレーに着色して示している。この混合気X1が燃焼する領域Y2は、前記混合気X1が形成された領域に対応して、燃焼室6の外周部分に限られる。

20

【0097】

前記のような前段噴射P1に基づく燃焼が始まると、それとほぼ同時、もしくはわずかな期間をあけて、図10(d)に示すような後段噴射P2が実行される。この後段噴射P2のタイミングは、上述したように、ピストン5が降下を始めて間もない上死点後(ATDC)0~10°C A程度である。このようにピストン5が上死点に近いタイミングでインジェクタ21から燃料が噴射されると、その燃料の噴霧は、ピストン5の冠面の径方向中央部分に設けられたキャビティ40の内部へと向かうことになる。すると、このキャビティ40の内部に向けて噴射された燃料(噴霧)は、キャビティ40の周壁に沿って上方にガイドされながら分散し、その分散した燃料に基づき、図10(e)に示すように、燃焼室6の径方向中央部分(主にキャビティ40の内部)に混合気X2が形成される。この混合気X2の局所的な空燃比も、上述した前段噴射P1に基づく混合気X1と同様、理論空燃比(空気過剰率 = 1)程度に設定される。言い換えれば、前記後段噴射P2により、キャビティ40の内部には、前段噴射P1の実行時よりもリッチな混合気X2が形成されていることになる。

30

【0098】

前記のような後段噴射P2に基づく混合気X2は、ピストン5が圧縮上死点に近く、しかも前段噴射P1に基づく混合気X1の燃焼が既に起きている状態で形成されるものである。このため、前記混合気X2は、図10(f)に示すように、後段噴射P2の後、ごく短時間で自着火に至り、燃焼する。この混合気X2が燃焼する領域Y2は、前記混合気X2が形成された領域に対応して、燃焼室6の径方向中央部分に限られる。すなわち、上述した前段噴射P1に基づく混合気X1が、環状凹部41の設置部に対応する燃焼室6の外周部分(燃料領域Y1)で燃焼するのに対し、後段噴射P2に基づく混合気X2は、キャビティ40の設置部に対応する燃焼室6の径方向中央部分(燃焼領域Y2)で燃焼することになる。

40

【0099】

以上のように、第2運転領域A2では、負荷Tに応じた比較的多量の燃料を複数回(前段噴射P1および後段噴射P2)に分けて噴射することで、別々の空間に混合気(X1, X2)を形成し、それらを独立して自着火、燃焼させるようにしている。このような制御が行われる前記第2運転領域A2では、分割噴射された燃料が混じり合って同時に燃焼し

50

てしまうことがないため、筒内圧力の急上昇による燃焼騒音の増大や、局所的な酸素不足によるスートの大量発生が起きる心配がない。しかも、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に基づく混合気 X 1 , X 2 は、それぞれ局所的に $\phi = 1$ 程度の空気過剰率に設定されるので、そのような環境下の燃焼により生成された排気ガスであれば、三元触媒のみによって十分に有害成分の浄化が可能である。

【 0 1 0 0 】

特に、キャビティ 4 0 よりも径方向外側に位置するピストン 5 の冠面に、径方向外側に至るほど高さが低くなる平面視円環状の環状凹部 4 1 が形成されている。そのため、前記前段噴射 P 1 によって噴射された燃料が前記環状凹部 4 1 に受け入れられることにより、その環状凹部 4 1 の設置部に対応する燃焼室 6 の外周部に、前記前段噴射 P 1 に基づく混合気 X 1 を確実に留めておくことができる。この結果、当該前段噴射 P 1 に基づく混合気 X 1 を、その後の後段噴射 P 2 に基づきキャビティ 4 0 内に形成される混合気 X 2 から明確に分離することができ、それらの混合気 X 1 , X 2 の燃焼独立性をより確実に担保することができる。

10

【 0 1 0 1 】

また、前記環状凹部 4 1 よりもさらに径方向外側に、前記前段噴射 P 1 により噴射された燃料を上方にガイドする立壁部 4 2 が設けられている。そのため、前記環状凹部 4 1 に向けて噴射された前段噴射 P 1 の燃料を立壁部 4 2 に沿って上方に巻き上げることにより、燃料を十分に分散および気化・霧化させ、燃焼室 6 の外周部における混合気 X 1 の形成を効果的に促進することができる。

20

【 0 1 0 2 】

また、キャビティ 4 0 が上窄まり状に形成され、その上端の開口部 4 0 a の面積がキャビティ 4 0 内部の最大断面積よりも小さく設定されている。そのため、後段噴射 P 2 により噴射された燃料に基づく混合気 X 2 を、前記キャビティ 4 0 の内部に確実に留めておくことができ、当該後段噴射 P 2 に基づく混合気 X 2 を、それ以前の前段噴射 P 1 に基づく混合気 X 1 から明確に分離して形成することができる。

【 0 1 0 3 】

また、前記第 1 運転領域 A 1 で述べたのと同様、この第 2 運転領域 A 2 においても、点火プラグ 2 0 の点火点 S I が、前記燃料の通過領域 F 1 と重複しない位置に配置されておりインジェクタ 2 1 から噴射された燃料が点火点 S I に直接当たるのが回避されていることで、高温の点火点 S I 近傍の部分により混合気が昇温されるのは回避され、この第 2 運転領域 A 2 において過早着火等の異常燃焼は回避される。すなわち、適正な圧縮自己着火燃焼が実現される。

30

【 0 1 0 4 】

(i i i) 第 3 運転領域 A 3

前記第 1 運転領域 A 1 よりも負荷 T が高く、かつ前記第 2 運転領域 A 2 よりも回転速度 N_e が高い第 3 運転領域 A 3 では、図 8 に示すような制御が実行される。すなわち、第 3 運転領域 A 3 では、前記第 2 運転領域 A 2 のときと同様、インジェクタ 2 1 からの燃料が複数回に分けて噴射されるが、前記第 2 運転領域 A 2 のときとは異なり、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 との間に、自着火を促進するための着火アシストが実行される。なお、図 5 の制御マップでは、このような分割噴射および着火アシスト (Spark Assist) に基づく圧縮自己着火燃焼が実行されることを指して、第 3 運転領域 A 3 内に「 S A + 多段 C I 」と表記している。

40

【 0 1 0 5 】

具体的に、前記着火アシストとしては、圧縮行程中に実行される前段噴射 P 1 と、圧縮上死点付近に実行される後段噴射 P 2 との間の所定期間に、これら前段および後段噴射 P 1 , P 2 の各噴射量よりも少量の燃料がインジェクタ 2 1 から噴射されるとともに (P a)、その噴射 P a の直後でかつ後段噴射 P 2 よりも前の圧縮行程後期に、点火プラグ 2 0 による火花点火 S が実行される。すると、このような着火アシストにより図 8 の波形 Q c ' のような少量の熱発生を伴う燃焼が生じるとともに、当該燃焼により燃焼室 6 が高温化

50

するのをきっかけにして、続く波形 Q c に示すように、前記前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に基づく混合気が自着火により燃焼する。なお、以下では、着火アシストのために実行される少量の燃料噴射 P a (着火アシスト用の燃料噴射) のことをアシスト用噴射 P a、着火アシストのために実行される火花点火 S (着火アシスト用の火花点火) のことをアシスト用点火 S と称する。

【 0 1 0 6 】

前記アシスト用点火 S は、インジェクタ 2 1 の先端部 (噴口) からアシスト用噴射 P a として噴射された燃料 (噴霧) の先端が、インジェクタ格納部 6 2 の下端の開口縁 6 2 b を通過した直後のタイミングで実行される。

【 0 1 0 7 】

ここで、前述のように、前記点火点 S I は、インジェクタ格納部 6 2 の頂部に位置するインジェクタ 2 1 の先端部から離間した位置に配置されており、点火点 S I 付近に到達するまでの間に、インジェクタ 2 1 の先端部 I 1 から噴射された燃料は霧化する。また、点火点 S I は、前記インジェクタ格納部 6 2 の下側開口縁 6 2 b よりも径方向外側であって前記燃料の通過領域 F 1 よりも径方向外側に位置しており、点火点 S I には、前記インジェクタ格納部 6 2 からキャピティ 4 0 内に流入するのに伴って拡散、霧化された燃料が、コアンダ効果によって到達する。また、噴射された燃料はピストン 5 の上昇に伴い上方に巻き上げられるため、より霧化された燃料が点火点 S I に到達する。このようにして、点火点 S I には、十分に霧化された燃料が供給され、点火点 S I の周囲では、S O O T 等の発生が抑制されつつ確実に燃焼が開始する。

【 0 1 0 8 】

なお、第 3 運転領域 A 3 では、前記のような着火アシストに関する制御を除けば、第 2 運転領域 A 2 のときとほぼ同様の制御が実行される。例えば、第 3 運転領域 A 3 では、排気弁 1 2 を吸気行程中に開弁させる (排気ガスを燃焼室 6 に逆流させる) 内部 E G R が禁止されるとともに、E G R 通路 3 1 を通じて排気ガスを吸気通路 2 8 に還流させる外部 E G R が実行される。ただし、エンジンの全負荷近傍では、多量の新気を確保するために、外部 E G R は禁止される。

【 0 1 0 9 】

図 1 1 (a) ~ (h) は、以上のような着火アシストに基づく圧縮自己着火燃焼が行われる第 3 運転領域 A 3 での燃焼の様子を模式的に示す図である。図 1 1 (a) に示すように、第 3 運転領域 A 3 では、上述した第 2 運転領域 A 2 での前段噴射 P 1 (図 1 0 (a)) のタイミング (B T D C 5 0 ~ 6 0 ° C A 程度) とほぼ同じタイミングで前段噴射 P 1 が実行され、この前段噴射 P 1 により、燃焼室 6 の外周部に、理論空燃比 ($\phi = 1$) 程度の空燃比をもった混合気 X 1 が形成される。ただし、前記前段噴射 P 1 のタイミングは、厳密には、前記第 2 運転領域 A 2 での前段噴射 P 1 のタイミングよりもわずかに早い時期に設定される。これは、第 3 運転領域 A 3 では、第 2 運転領域 A 2 のときよりもエンジン回転速度 N e が高く、ピストンスピードが速いからである。つまり、ピストンスピードが速いと、インジェクタ 2 1 からの噴射燃料がピストン 5 の冠面付近に達するまでの間にピストン 5 が比較的大きく移動するため、ピストン 5 上の同様の位置に燃料 (噴霧) を届けようとするならば、インジェクタ 2 1 からの噴射タイミングをわずかにでも早める必要がある。このことは、後述する後段噴射 P 2 の場合でも同様である。

【 0 1 1 0 】

前記前段噴射 P 1 の後は、図 1 1 (c) に示す着火アシストが実行される。すなわち、前記前段噴射 P 1 の後、ピストン 5 がある程度上昇した時点 (例えば B T D C 4 0 ~ 0 ° C A 程度) で、着火アシスト用の燃料噴射であるアシスト用噴射 P a が実行されるとともに、その直後に、アシストの火花点火であるアシスト用点火 S が実行される。すると、前記アシスト用噴射 P a により噴射された燃料に基づいて、点火プラグ 2 0 の電極周りに十分に霧化された燃料を含む混合気が形成されるとともに、その混合気が前記アシスト用点火 S を火種として火炎を形成することにより、図 1 1 (d) に示すように、点火プラグ 2 0 の電極周りに混合気の燃焼領域 Y a が局所的に形成される。

【 0 1 1 1 】

前記のようにして着火アシストによる火炎（燃焼領域 Y a）が生じると、その火炎による燃焼室 6 の高温化と、ピストン 5 の上昇による圧縮作用とが相俟って、燃焼室 6 の外周部に形成されていた前記前段噴射 P 1 に基づく混合気 X 1 が、図 1 1（e）に示すように、圧縮上死点付近で自着火により燃焼する。この混合気 X 1 の燃焼領域 Y 1 は、燃焼室 6 の外周部分に限られ、点火プラグ 2 0 の電極からは径方向外側に離間した領域となる。

【 0 1 1 2 】

前記のような前段噴射 P 1 に基づく燃焼が始まると、それ以降は、前記第 2 運転領域 A 2 のときと同様にして燃焼が進行していく。すなわち、前記前段噴射 P 1 に基づく燃焼の開始とほぼ同時、もしくはわずかな期間をあけて、図 1 1（f）に示すような後段噴射 P 2 が実行され、その後段噴射 P 2 に基づき、燃焼室 6 の径方向中央部分（主にキャピティ 4 0 の内部）に、理論空燃比（ $\phi = 1$ ）程度の空燃比をもった混合気 X 2 が形成される。すると、この混合気 X 2 は、ごく短い時間で自着火に至り、燃焼室の径方向中央部分に、前記混合気 X 2 の燃料領域 Y 2 を形成する。

【 0 1 1 3 】

以上のように、第 3 運転領域 A 3 では、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 の間に、点火プラグ 2 0 を用いて着火アシストを実行し、その着火アシストにより燃焼室 6 を高温化することにより、前記着火アシストに引き続いて前記前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に基づく混合気 X 1、X 2 をそれぞれ自着火により燃焼させるようにした。このように、着火アシストにより混合気の自着火を促進するようにした第 3 運転領域 A 3 では、上述した第 2 運転領域 A 2 のときよりもエンジン回転速度 N e が高く、燃料の受熱期間が短くなる状況であるにもかかわらず、混合気が確実に自着火により燃焼し、失火が起きることが回避される。しかも、前記第 2 運転領域 A 2 のときと同様、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に基づく混合気 X 1、X 2 が別々の空間で独立して自着火、燃焼するため、燃焼騒音の増大やスートの発生についても回避される。

【 0 1 1 4 】

図 1 2 は、前記第 3 運転領域 A 3 で、着火アシストに基づく混合気の燃焼領域 Y a と、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に基づく混合気の燃焼領域 Y 1、Y 2 との位置関係を模式的に示すための平面図である。上述した第 3 運転領域 A 3 での燃焼形態によれば、図 1 2 のように、まず着火アシストに基づく燃焼領域 Y a が点火プラグ 2 0 の周辺に限って形成され、これとほぼ重ならない燃焼室 6 の外周部に、前段噴射 P 1 に基づく燃焼領域 Y 1 が形成され、さらに、後段噴射 P 2 に基づく燃焼領域 Y 2 が、前記燃焼領域 Y 1 よりも径方向内側に形成される。これら各燃焼領域は、Y a、Y 1、Y 2 の順に形成され、その発生位置または発生時期は、ほとんど重なり合うことがない。

【 0 1 1 5 】

(i V) 第 4 運転領域 A 4

高負荷域に設定された前記第 4 運転領域 A 4 では、多量の燃料が噴射されるため、圧縮自己着火燃焼を行わせようとする、燃焼騒音が著しく増大する、また、ノッキングが生じるという問題がある。そこで、この第 4 運転領域 A 4 では、圧縮自己着火燃焼に代わり、混合気に点火して火炎伝播させる火花点火燃焼（S I 燃焼）を実施する。

【 0 1 1 6 】

ここで、S I 燃焼においても、燃焼室 6 内の温度が過度に高い場合には、ノッキングが生じる。特に、本ガソリンエンジンでは圧縮比が非常に高い値に設定されている。そのため、燃焼室 6 内の温度は高くなりやすい。

【 0 1 1 7 】

そこで、本ガソリンエンジンでは、この第 4 運転領域 A 4 において、ノッキング等の異常燃焼をより確実に回避するべく、圧縮上死点よりもかなり前（例えば吸気行程中）に燃料を噴射して圧縮上死点付近で火花点火を行わせる通常の S I 燃焼ではなく、図 9 に示すように、圧縮行程中にインジェクタ 2 1 から燃料を噴射させ（P 3、P 4）、この燃料噴射 P 3、P 4 の後に点火プラグ 2 0 に火花点火を行わせて、圧縮上死点を過ぎたタイミン

グ（膨張行程の初期）から短時間で火炎伝播により混合気を燃焼させる急速リタードS I燃焼モードを実行する。図9は、前記急速リタードS I燃焼モードが実行された際の、燃料噴射時期と吸排気弁11, 12のリフト特性、およびそれに基づく燃焼により生じる熱発生率（J/d e g）を示す図である。

【0118】

具体的には、この図9に示すように、この急速リタードS I燃焼モードでは、圧縮行程の後期に設定された2回の噴射時期（P3, P4）に分けてインジェクタ21から、30MPa以上の高圧で燃料が噴射される。各燃料噴射P3, P4のタイミングとしては、例えば、エンジンの回転速度が1000rpm程度の低速域では圧縮上死点前（BTDC）20~0 A程度、6000rpm程度の高速域では圧縮上死点前（BTDC）360~300 Aおよび60 A~40 A程度に設定される。

10

【0119】

このような噴射制御が実施されるこの急速リタードS I燃焼モードでは、前記のように30MPa以上（例えば40MPa）という非常に高い噴射圧力で燃料が噴射されることで、噴射期間を短くすることができるとともに燃料噴霧を微粒化することができ、短時間で多量の燃料を十分に気化霧化させて比較的均質な（もしくは弱成層化した）混合気を形成することができる。また、噴射圧力が高いために、燃焼室6が最も高温・高圧化する圧縮上死点のある程度過ぎるまで大きな乱流エネルギーを維持することができる。従って、燃料が噴射されてから短時間であって、燃料噴射に伴う乱流エネルギーの減衰が小さい間に（乱流エネルギーが大きい状態で）火花点火による燃焼を開始させることができ、この比較的大きな乱流エネルギーによって燃焼期間を短くすることができる。そして、この燃焼期間の短縮化に伴って、燃焼が引き起こされる前に適正な火炎伝播によって混合気を燃焼し切ることができる。すなわち、ノッキング等の異常燃焼を回避しつつ、熱効率およびエンジントルクを高く維持することができる。また、燃焼温度が過度に上昇せず、燃料の気化霧化が不十分なまま燃焼が開始されることもないため、NOxやスートの増大が回避され、エミッション性についても良好に維持される。

20

【0120】

さらに、燃料が2回に分けて噴射されて2回目の燃料噴射の後に点火が行われており、1回目の燃料噴射P3によって燃料を霧化させつつ、2回目の燃料噴射P4により点火時点での乱流エネルギーを大きくすることができる。また、12個という多数の噴口から噴射されることによって乱流エネルギーは増大される。

30

【0121】

また、前述のように、本ガソリンエンジンでは、前記点火点S Iがインジェクタ21の先端部から離間していること、点火点S Iが前記インジェクタ格納部62の下側開口縁62bよりも径方向外側であって前記燃料の通過領域F1よりも径方向外側に位置していることに伴い、点火点S Iに十分に霧化した燃料を到達させることができる。

【0122】

ここで、点火時期を図9の例よりもさらに進角させれば、これに伴って燃焼開始時期i gが圧縮上死点により近づくため、熱効率および出力トルクのさらなる向上が期待できるが、点火時期を早めるとノッキングが起き易くなるため、点火時期は、ノッキングを起こさないという制約の下、できるだけ進角側に設定される。このような事情から、ノッキングが特に懸念されるエンジン回転速度が1000rpm程度の低速域では、点火時期は、例えば0~10°C A程度の範囲内に設定される。

40

【0123】

なお、前記急速リタードS I燃焼モードでは、前記燃料噴射P3, P4によるトータルの噴射量に対して燃焼室6全体の平均の空燃比が理論空燃比（空気過剰率 = 1）となるように新気量が制御される。具体的には、この第4運転領域A4では、負荷Tの増大に応じてCVVL15が駆動され、吸気弁11のリフト量が増大され、これに伴って燃料噴射量に応じた新気が導入される（図9のリフトカーブIN）。なお、本実施形態では、吸気弁11のリフトピーク位置を固定したままリフト量が増大される。

50

【 0 1 2 4 】

また、前記急速リタード S I 燃焼モードのときは、E G R 通路 3 1 を通じて排気ガスを吸気通路 2 8 に還流させる外部 E G R が実行される。なお、エンジンの全負荷近傍では、より多量の新気を確保するために、外部 E G R は禁止される。

【 0 1 2 5 】

(5) 作用効果等

以上説明したように、当実施形態のガソリンエンジンでは、燃焼室天井面 6 0 に形成されたインジェクタ格納部 6 2 の頂部にインジェクタ 2 1 の先端部 I 1 が位置し、点火点 S I が、このインジェクタ格納部 6 2 よりも径方向外側の前記フラットヘッド面 6 3 に設けられている。そのため、インジェクタ 2 1 の先端部 I 1 から噴射された燃料は、点火点 S I に到達するまでの間に霧化される。また、前記インジェクタ格納部 6 2 の下端の開口縁 6 2 b は、前記キャビティ 4 0 の上端の開口縁 4 0 d よりも径方向内側に位置しており、キャビティ 4 0 に流入する際の容積の拡大に伴って燃料が拡散・霧化されるとともに、コアンダ効果によって霧化された燃料が、前記点火点 S I に到達する。また、点火点 S I は、前記燃料の通過領域 F 1 よりも径方向外側に位置しており、燃料の通過領域 F 1 内の液状の燃料に点火エネルギーが加えられるのが回避される。このようにして、点火点 S I において点火エネルギーは十分に霧化された燃料に供給されるため、S O O T の生成が抑制されつつ混合気が確実に燃焼する。また、燃料が圧縮行程中（特に圧縮行程後期）に噴射された場合には、ピストン 5 の上昇に伴って燃料が上方に巻き上げられることによっても燃料霧化は促進され、点火点 S I には十分に霧化された燃料が到達する。

【 0 1 2 6 】

また、前記点火点 S I が前記燃料の通過領域 F 1 から離間しているため、点火を実施しない前記第 1 運転領域 A 1 等において、点火プラグ 2 0 の点火点 S I 近傍の高温部分により混合気が昇温されるのが回避され、過早着火等の異常燃焼が確実に抑制される。

【 0 1 2 7 】

ここで、前記キャビティ 4 0 は、下方に凹み、その上端の開口縁 4 0 e がインジェクタ格納部 6 2 の下端の開口縁 6 2 b よりも径方向外側に位置する形状であれば、その具体的な形状は、前記に限らない。

【 0 1 2 8 】

例えば、図 1 3 に示すように、キャビティ 4 0 のうち点火プラグ 2 0 と対向する部分に、この点火プラグ 2 0 の先端部分を格納してこの先端部分とピストン 5 との衝突を回避するための退避部 4 0 f が形成されていてもよい。具体的には、この構成では、前記隆起部 4 0 b の径方向外側部分の一部がキャビティ 4 0 の開口縁 4 0 e よりも下方の所定位置から径方向外側に膨出して、退避部 4 0 f が形成されている。また、前記シリンダヘッドに形成された前記点火プラグ退避部 6 2 c は、シリンダヘッドのうち前記フラットヘッド面 6 3 と前記インジェクタ格納部 6 2 との境界部分よりも径方向外側に位置している。そして、このより径方向外側に設けられた退避部 4 0 f に点火プラグ 2 0 の先端部が配置されることで、点火点 S I は、図 3 に示す前記実施形態に比べてより径方向外側に位置している。この構成では、前記点火点 S I が燃料の通過領域よりもより離間するため、より霧化された燃料が点火点 S I に到達する。

【 0 1 2 9 】

また、この図 1 3 に示す例では、燃料が隆起部 4 0 b の径方向外側、かつ、下方に向かう傾斜面に到達しており、この傾斜面に沿って燃料は径方向外側かつ上方に巻き上げられる。そのため、この例では、点火点 S I に霧化されたより多くの燃料を供給することができる。

【 0 1 3 0 】

また、図 1 4 に示すように、前記隆起部 4 0 c を、前記インジェクタ格納部 6 2 の下側開口縁 6 2 b とほぼ同じ位置から径方向中央に向かって突出させるようにしてもよい。

【 0 1 3 1 】

また、前記点火点 S I は、図 1 5 に示すように、燃料の通過領域 F 1 と同じ高さ位置に

10

20

30

40

50

設けられてもよい。この場合には、図 16 に示すように、隣接する燃料の通過領域 F 1 の間に点火点 S I を配置して、これにより、燃料の通過領域 F 1 と点火点 S I とが重複しないようにすればよい。ただし、前記のように、点火点 S I の高さ位置を前記フラットヘッド面 6 3 とほぼ同じ高さ位置とすれば、点火点 S I の位置が燃料の通過領域からより離間させることができ、点火点 S I により確実に霧化された燃料を到達させることができる。

【 0 1 3 2 】

また、点火プラグ 2 0 による点火を実行して混合気の自着火をアシストする着火アシストを行う運転領域は、前記に限らない。また、着火アシストを行う運転領域において実施される燃料噴射の制御は前記に限らない。例えば、燃料が 1 回だけ噴射される前記運転領域 A 1 のうち、燃焼室内の温度が比較的低い、エンジン回転数が低く、かつ、エンジン負荷が小さい低負荷低速領域において点火アシストを実施してもよい。

10

【 0 1 3 3 】

また、燃焼室 6 の天井面 6 0 は、インジェクタ格納部 6 2 よりも径方向外側の面が水平面であるものに限らない。例えば、燃焼室 6 の天井面 6 0 は、インジェクタ格納部 6 2 の外周縁から径方向外側に向かうに従って下方（ピストン冠面に近づく方向）に傾斜する形状を有していてもよい。この場合には、インジェクタ格納部 6 2 はこの傾斜面からさらに上方に凹む。

【 0 1 3 4 】

また、インジェクタ 2 1 の噴口の数は 1 2 個に限られず、1 2 個より多くても少なくてもよい。ただし、噴口の数があまりに少ないと、インジェクタ 2 1 から噴射された燃料の濃度が周方向に大きくばらつくことになる。このため、噴口の数は 8 個以上とすることが望ましい。噴口の数が 8 個以上であれば、前記前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 を実行した後、ごく短時間で、周方向にほぼ均一な空燃比をもった混合気を形成することができ、その後の自着火による燃焼（圧縮自己着火燃焼）を適正に行わせることができる。

20

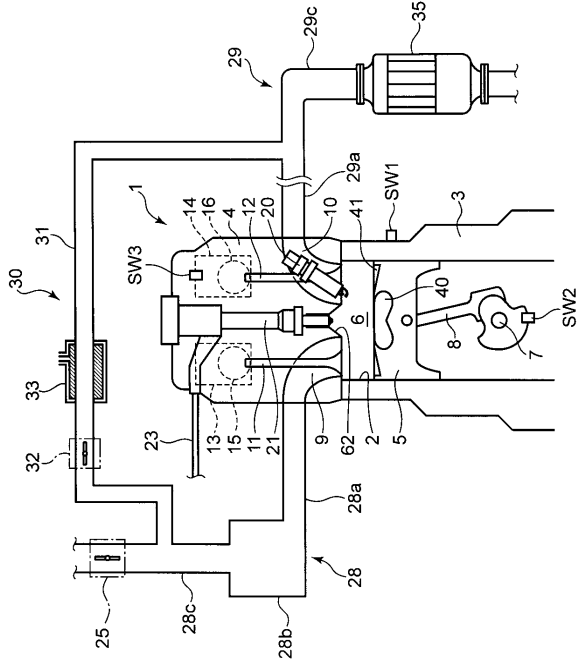
【 符号の説明 】

【 0 1 3 5 】

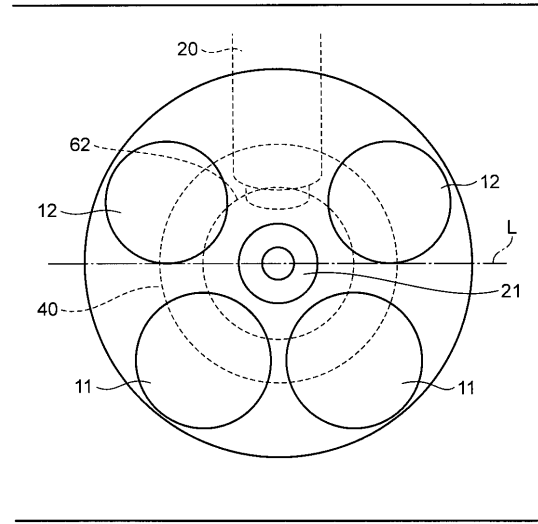
- 5 ピストン
- 6 燃焼室
- 2 0 点火プラグ
- 2 1 インジェクタ
- 4 0 キャピティ
- 5 0 E C U (制御手段)
- 6 0 天井面
- 6 2 インジェクタ格納部
- A 1 第 1 運転領域 (限定領域)
- A 2 第 2 運転領域 (限定領域)
- A 3 第 3 運転領域 (特定運転領域)
- I 1 インジェクタの先端部
- S 1 点火点

30

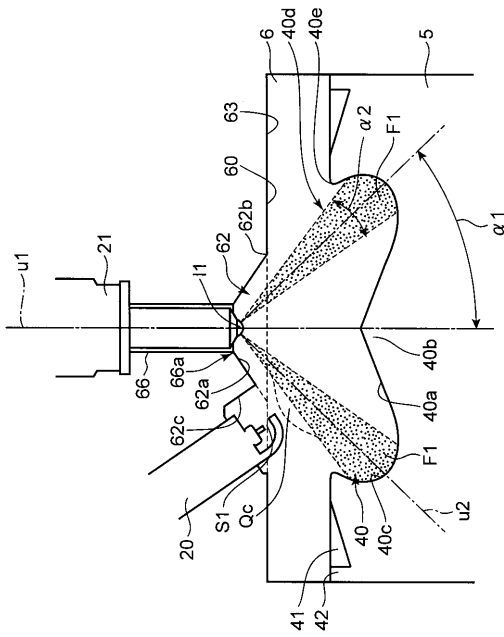
【図1】



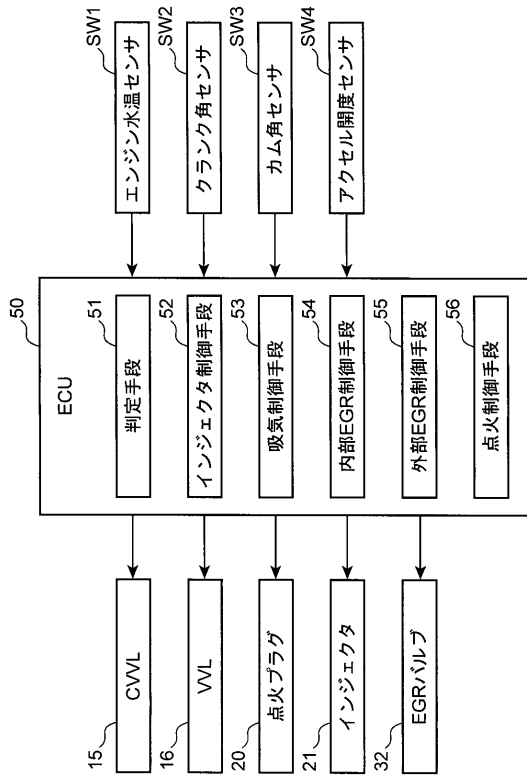
【図2】



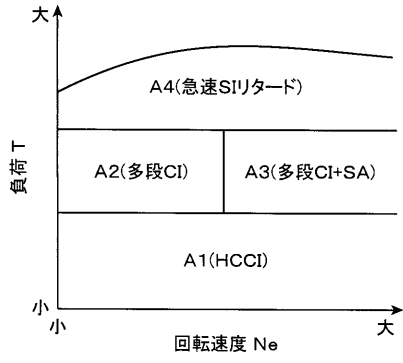
【図3】



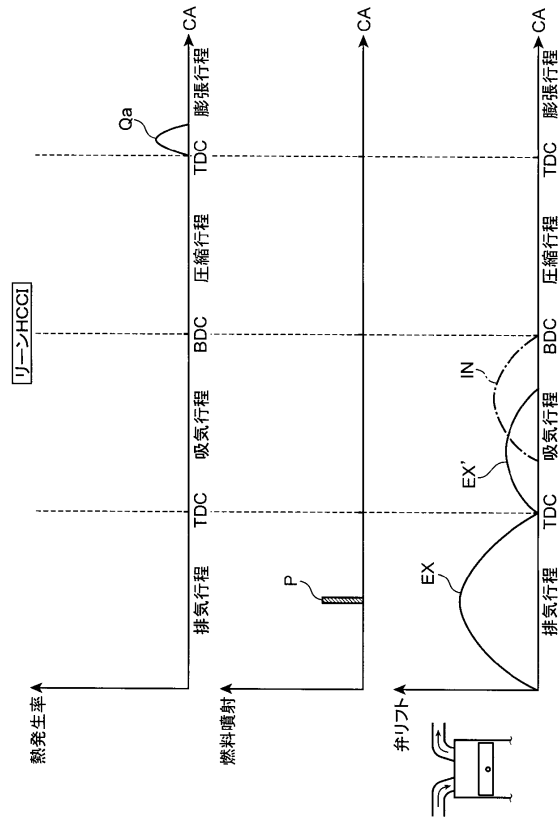
【図4】



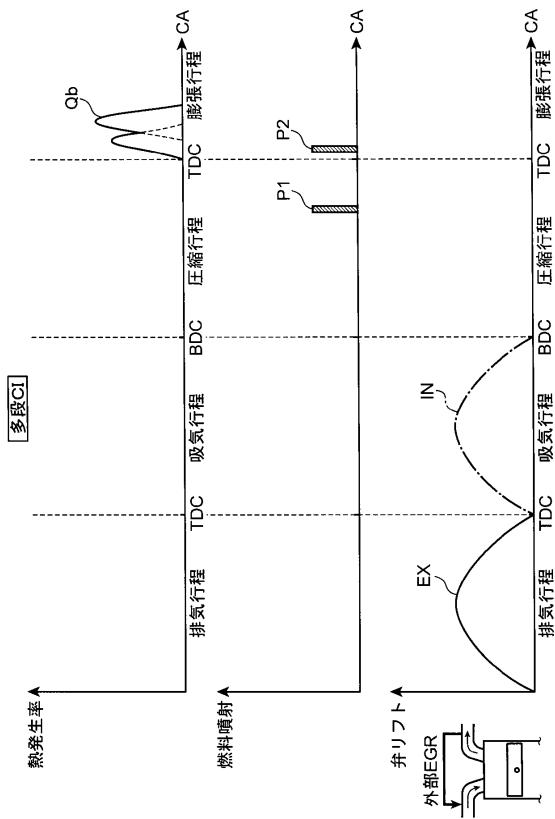
【図5】



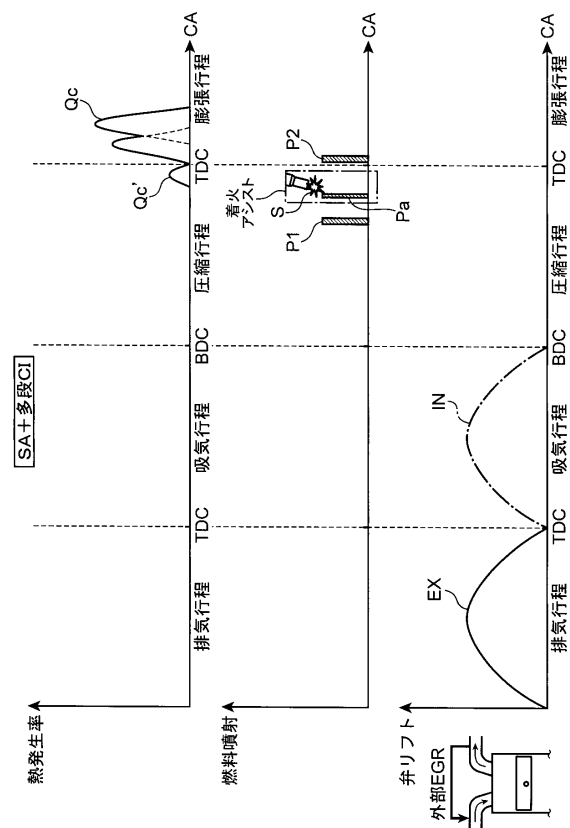
【図6】



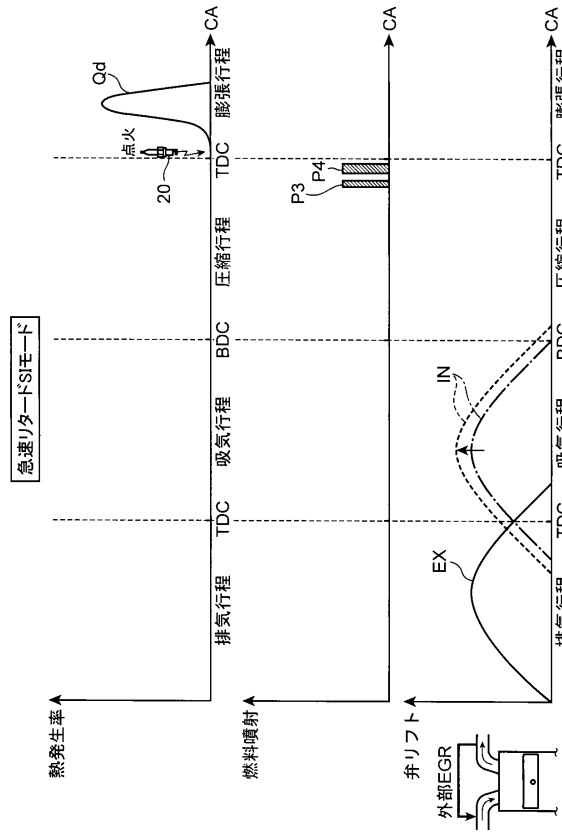
【図7】



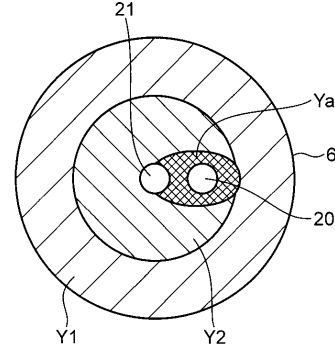
【図8】



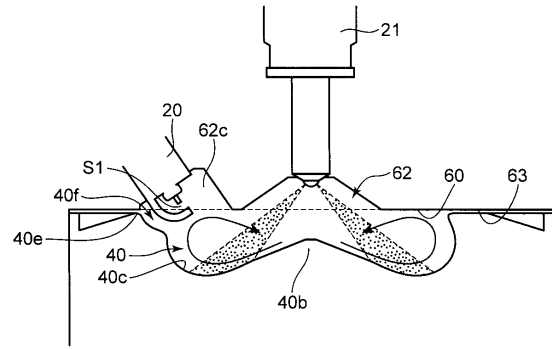
【図9】



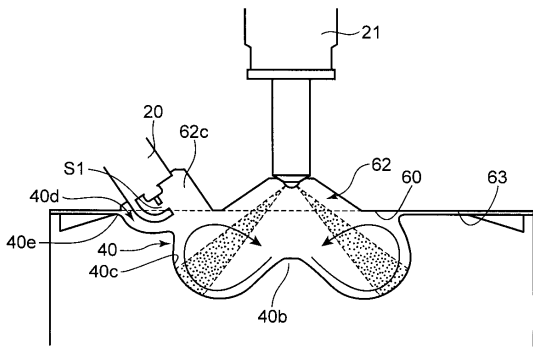
【図12】



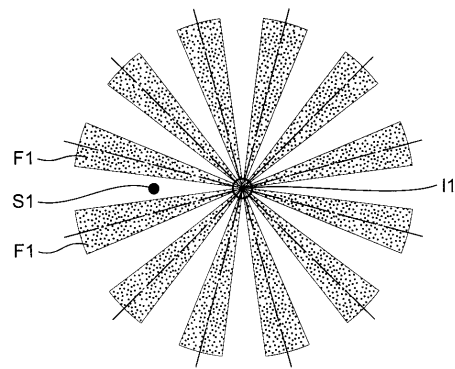
【図13】



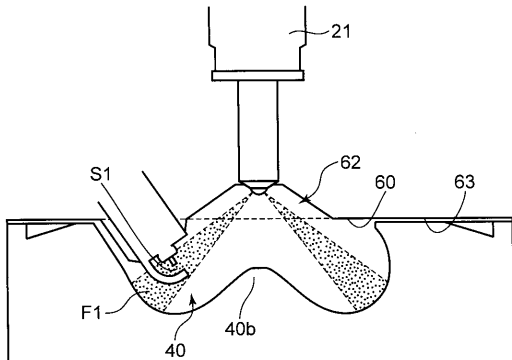
【図14】



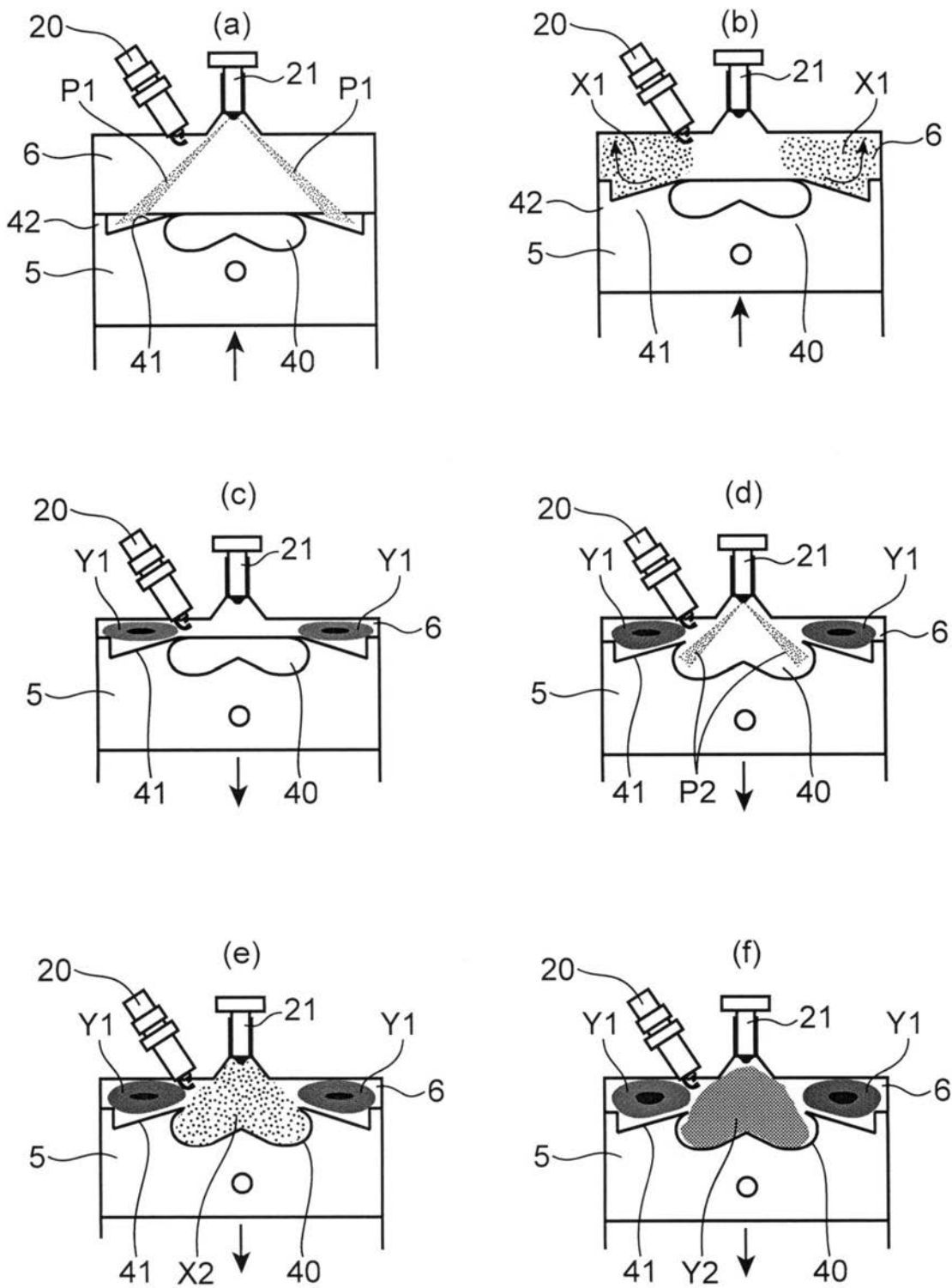
【図16】



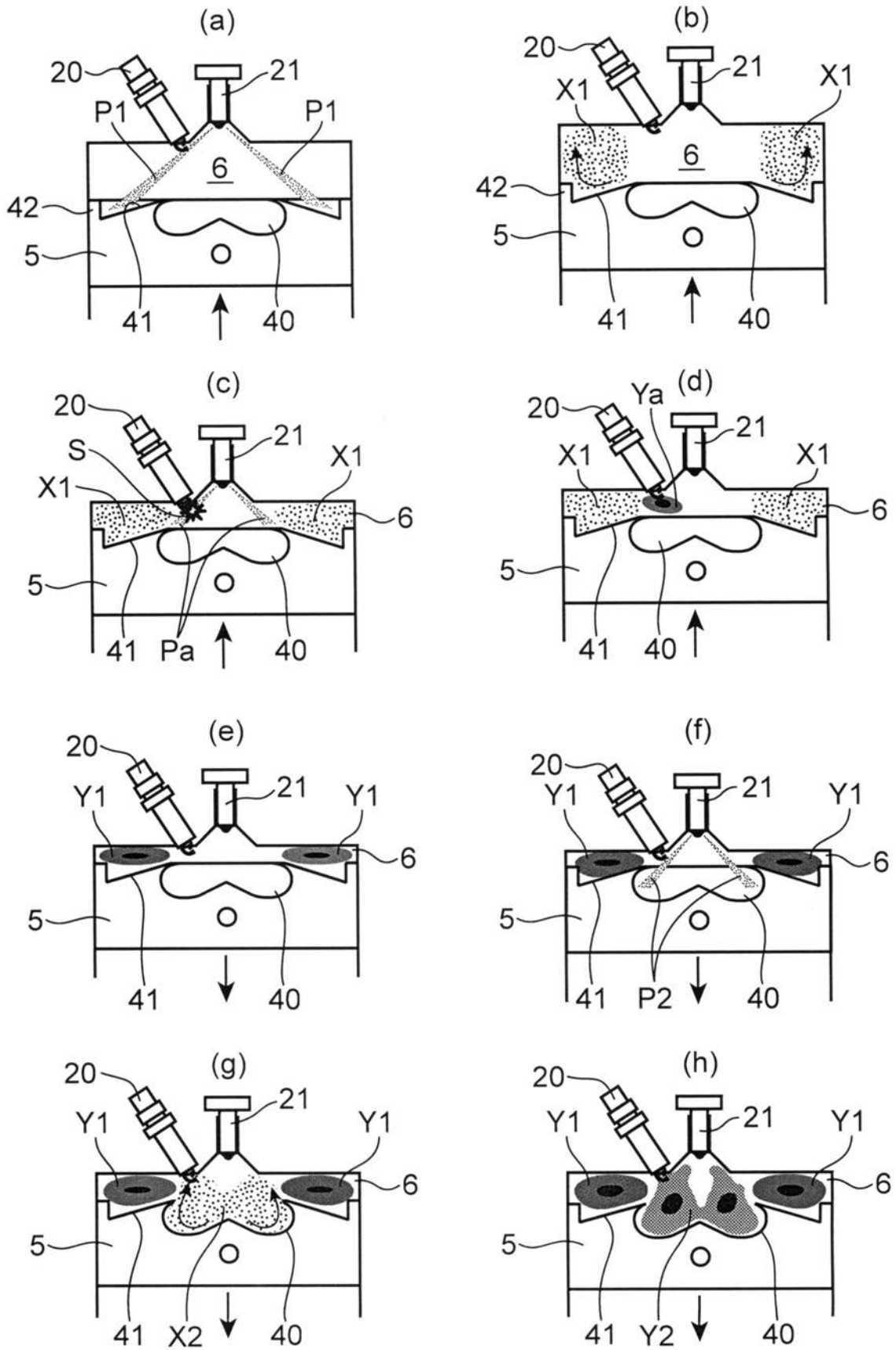
【図15】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
F 0 2 D 41/34 H

- (72)発明者 岩井 浩平
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 長津 和弘
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 養祖 隆
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 太田 統之
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 日高 匡聡
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 長野 高皓
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 陰山 明
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 阿部 博聴
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 今関 雅子

- (56)参考文献 特開平10-131758(JP,A)
特開2003-201846(JP,A)
特開2009-108777(JP,A)
特開2008-025534(JP,A)
特開2008-157075(JP,A)
特開2009-019502(JP,A)
特開2007-064175(JP,A)
特開2005-139931(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F 0 2 B 1 / 0 0 - 2 3 / 1 0