

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-241590

(P2012-241590A)

(43) 公開日 平成24年12月10日(2012.12.10)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
FO2D 41/38 (2006.01)	FO2D 41/38 B	3G022
FO2D 41/40 (2006.01)	FO2D 41/40 C	3G301
FO2D 45/00 (2006.01)	FO2D 45/00 312H	3G384
FO2D 43/00 (2006.01)	FO2D 43/00 301A	
FO2P 5/15 (2006.01)	FO2D 43/00 301J	
審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 32 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2011-111399 (P2011-111399)	(71) 出願人	000003137
(22) 出願日	平成23年5月18日 (2011.5.18)		マツダ株式会社
		(74) 代理人	100067828
			弁理士 小谷 悦司
		(74) 代理人	100115381
			弁理士 小谷 昌崇
		(74) 代理人	100133916
			弁理士 佐藤 興
		(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	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	

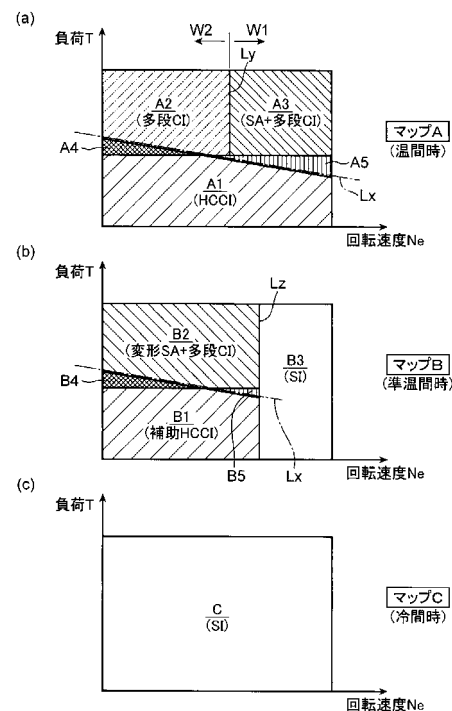
(54) 【発明の名称】 火花点火式ガソリンエンジン

(57) 【要約】

【課題】着火アシストにより適正なC I 燃焼を実現しつつ、C I 燃焼に適した温度条件を速やかにつくり出す。

【解決手段】第1の温度条件下(温間時)における特定の運転領域(A3)では、前段噴射P1および後段噴射P2に分けてインジェクタ21から燃料が噴射されるとともに、これら前段噴射P1および後段噴射P2の間に、少量の燃料噴射Paとその直後の火花点火Sとによる着火アシストが実行されることにより、その着火アシストの後、上記各噴射P1、P2に基づくC I 燃焼が圧縮上死点付近から順番に開始される。一方、上記第1の温度条件よりも低い第2の温度条件下(準温間時)における特定の運転領域(B2)では、前段噴射P1よりも先に上記着火アシストが実行されることにより、上記各噴射P1、P2に基づくC I 燃焼が圧縮上死点付近から順番に開始される。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも一部がガソリンからなる燃料を燃焼室に噴射するインジェクタと、燃焼室に露出する電極から火花を放電する点火プラグと、上記インジェクタおよび点火プラグの動作を制御する制御手段とを備えるとともに、上記インジェクタから噴射された燃料と空気との混合気を自着火により燃焼させる C I 燃焼が所定の条件下で実行される火花点火式ガソリンエンジンであって、

上記制御手段は、上記 C I 燃焼による運転時に、必要に応じて、C I 燃焼のための燃料噴射とは別に上記インジェクタから少量の燃料を噴射させかつ上記点火プラグに火花点火を行わせる着火アシストを実行するものであり、

予め定められた第 1 の温度条件下では、エンジン負荷が所定値以上の領域の少なくとも一部の回転域でエンジンが運転されているときに、前段噴射とそれよりも遅い後段噴射とに分けて上記インジェクタから燃料が噴射されるとともに、当該前段噴射および後段噴射の間に上記着火アシストが実行されることにより、その着火アシストの後、上記前段噴射および後段噴射に基づく C I 燃焼が順番に開始される第 1 の特定燃焼モードが実行され、

上記第 1 の温度条件よりも低い第 2 の温度条件下では、エンジン負荷が所定値以上の領域の少なくとも一部の回転域でエンジンが運転されているときに、上記前段噴射よりも先に上記着火アシストが実行されることにより、上記前段噴射および後段噴射に基づく C I 燃焼が順番に開始される第 2 の特定燃焼モードが実行され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 2】

請求項 1 記載の火花点火式ガソリンエンジンにおいて、

上記着火アシスト用の燃料噴射は、上記着火アシスト用の火花点火の時点で上記点火プラグの電極周りに混合気が形成されるように、上記火花点火の直前に燃料を噴射するものであ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 2 記載の火花点火式ガソリンエンジンにおいて、

上記第 1 特定燃焼モードでは、上記前段噴射および後段噴射の間の圧縮行程後期に、上記着火アシスト用の燃料噴射が実行され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 2 または 3 記載の火花点火式ガソリンエンジンにおいて、

上記第 2 特定燃焼モードでは、上記前段噴射より前の圧縮行程前半に、上記着火アシスト用の燃料噴射が実行され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 5】

請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の火花点火式ガソリンエンジンにおいて、

上記第 1 の温度条件下で、高回転かつ高負荷域を含む一部の領域でエンジンが運転されている場合に、上記第 1 の特定燃焼モードが実行され、

上記第 2 の温度条件下で、低回転かつ高負荷域を含む一部の領域でエンジンが運転されている場合に、上記第 2 の特定燃焼モードが実行され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】

請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の火花点火式ガソリンエンジンにおいて、

上記前段噴射は、圧縮行程中の所定期間に燃料を噴射することにより、圧縮上死点よりも前の時点で燃焼室の外周部に混合気を偏在させるものであり、

上記後段噴射は、圧縮行程後期から膨張行程初期までの間の所定期間に燃料を噴射することにより、上記前段噴射の後でかつそれに基づく C I 燃焼の終了前に上記燃焼室の中央部に混合気を偏在させるものであ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 7】

請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の火花点火式ガソリンエンジンにおいて、

上記第 2 の温度条件下で、上記第 2 特定燃焼モードが実行される領域よりも負荷の低い領域でエンジンが運転されている場合には、吸気行程から圧縮行程初期までの間に上記インジェクタから燃料を噴射させ、その噴射燃料に基づき燃焼室全体に混合気が形成された状態で、上記点火プラグに予備的な火花点火を行わせることにより、その火花点火をきっかけに上記混合気の一部を C I 燃焼させる制御が実行され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、少なくとも一部がガソリンからなる燃料を燃焼室に噴射するインジェクタと、燃焼室に露出する電極から火花を放電する点火プラグと、上記インジェクタおよび点火プラグの動作を制御する制御手段とを備えるとともに、上記インジェクタから噴射された燃料と空気との混合気を自着火により燃焼させる C I 燃焼が所定の条件下で実行される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、点火プラグの火花点火により混合気を強制的に着火させ、その後火炎伝播により燃焼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（気筒内）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。C I 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、火花点火による火炎伝播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。なお、以下では、火花点火（Spark Ignition）による火炎伝播燃焼のことを「S I 燃焼」、圧縮自己着火燃焼（Compression Ignition Combustion）のことを「C I 燃焼」と略称する。

【0003】

上記 C I 燃焼が適用されたガソリンエンジンの具体例として、例えば下記特許文献 1 に開示されたものが知られている。この特許文献 1 では、エンジンの一部の運転領域で、燃焼室に向けて燃料を複数回に分けて噴射するいわゆる分割噴射を行いながら、混合気を自着火により燃焼させるようにしている。具体的には、圧縮行程よりも前に噴射された 1 回目の燃料により、燃料の濃度（混合気の空燃比）が均一な予混合領域を燃焼室に形成するとともに、圧縮行程後半の所定期間に行われる 2 回目の燃料噴射により、点火プラグの周りに混合気の成層領域を形成する。そして、ピストンが圧縮上死点の近傍に達した時点で、いわゆる着火アシストとして、点火プラグによる火花点火を行う。すると、この火花点火をきっかけに、上記成層領域内のリッチな混合気が燃焼するとともに、その燃焼による燃焼室の高温化をきっかけにして、上記予混合領域内の混合気も自着火により燃焼する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2009-74488 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記特許文献 1 のように、燃料濃度が均一な予混合領域内に燃料が偏在する成層領域が形成されるように燃料を分割噴射し、その状態で着火アシストを行うようにした場合には、特にエンジン負荷がある程度高まり、噴射されるトータルの燃料が増大したときに、上記予混合領域および成層領域内の両方の混合気がほとんど同時に C I 燃焼することにより、筒内圧力が急上昇し、大きな燃焼騒音が発生するおそれがある。また、部分的に酸素が極端に不足した状態で燃焼が起きるため、多量のスート（炭素質粒子）が

10

20

30

40

50

発生するおそれもある。このため、上記のような燃焼騒音やスートの増大を伴わない適正なC I 燃焼を実現させる技術が求められていた。

【0006】

一方、C I 燃焼は、混合気を火花点火によらず自着火させる燃焼であるから、エンジンの温度条件が低くなり、燃料（ガソリン）の反応性が悪化すれば、C I 燃焼を引き起こすことは困難となる。もちろん、このような場合でも、C I 燃焼からS I 燃焼に切り替える等すれば、エンジンの運転を継続することは可能であるが、C I 燃焼による熱効率の向上をより享受する観点からは、できるだけ早期に温度条件を高める（つまりエンジンの暖気を早める）ことにより、安定したC I 燃焼が可能な状態に速やかに移行したいという要求がある。

10

【0007】

本発明は、上記のような事情に鑑みてなされたものであり、着火アシストにより混合気の自着火を促進しながら、燃焼騒音やスートの増大を伴わない適正なC I 燃焼を実現することが可能で、しかもC I 燃焼に適した温度条件を速やかにつくり出すことが可能な火花点火式ガソリンエンジンを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するためのものとして、本発明は、少なくとも一部がガソリンからなる燃料を燃焼室に噴射するインジェクタと、燃焼室に露出する電極から火花を放電する点火プラグと、上記インジェクタおよび点火プラグの動作を制御する制御手段とを備えるとともに、上記インジェクタから噴射された燃料と空気との混合気を自着火により燃焼させるC I 燃焼が所定の条件下で実行される火花点火式ガソリンエンジンであって、上記制御手段は、上記C I 燃焼による運転時に、必要に応じて、C I 燃焼のための燃料噴射とは別に上記インジェクタから少量の燃料を噴射させかつ上記点火プラグに火花点火を行わせる着火アシストを実行するものであり、予め定められた第1の温度条件下では、エンジン負荷が所定値以上の領域の少なくとも一部の回転域でエンジンが運転されているときに、前段噴射とそれよりも遅い後段噴射とに分けて上記インジェクタから燃料が噴射されるとともに、当該前段噴射および後段噴射の間に上記着火アシストが実行されることにより、その着火アシストの後、上記前段噴射および後段噴射に基づくC I 燃焼が順番に開始される第1の特定燃焼モードが実行され、上記第1の温度条件よりも低い第2の温度条件下では、エンジン負荷が所定値以上の領域の少なくとも一部の回転域でエンジンが運転されているときに、上記前段噴射よりも先に上記着火アシストが実行されることにより、上記前段噴射および後段噴射に基づくC I 燃焼が順番に開始される第2の特定燃焼モードが実行されることを特徴とするものである（請求項1）。

20

30

【0009】

本発明によれば、第1の温度条件下における特定の運転領域で、前段噴射および後段噴射の間に着火アシストを実行し、その着火アシストに基づく火炎により燃焼室の高温化を図ることで、上記前段噴射および後段噴射に基づくC I 燃焼を、上記着火アシストに引き続いて圧縮上死点付近から開始させるようにしたため、混合気の自着火が比較的起き難い運転領域（例えば高回転域）であっても、C I 燃焼を安定的に継続させることができる。これにより、C I 燃焼で運転可能な領域が拡大するため、温間時の熱効率を効果的に向上させることができる。

40

【0010】

しかも、着火アシストをきっかけに、着火アシストよりも前に実行された前段噴射に基づくC I 燃焼と、着火アシストよりも後に実行された後段噴射に基づくC I 燃焼とを順番に開始させる（つまり各噴射のC I 燃焼に時間差をもたせる）ようにしたため、上記前段噴射および後段噴射に基づく混合気が同時に燃焼することがなく、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増大を効果的に防止することができる。

【0011】

50

さらに、温度条件が相対的に低い第２の温度条件下では、特定の運転領域において、前段噴射よりも先に着火アシストを実行することにより、前段噴射および後段噴射に基づくＣＩ燃焼が始まる圧縮上死点付近までの間に、上記着火アシストによる発生熱量が燃焼室の壁面に十分に吸収され、エンジンの暖気（冷却水の温度上昇）が促進される。これにより、エンジンの仕事の面では、着火アシストによる発生熱量の多くが無駄になるものの、その発生熱量がエンジンの早期暖気に寄与する結果、ＣＩ燃焼で安定的に運転できる温度条件を速やかにつくり出すことができ、トータルとしてエンジンの熱効率を効果的に向上させることができる。

【００１２】

本発明において、好ましくは、上記着火アシスト用の燃料噴射は、上記着火アシスト用の火花点火の時点で上記点火プラグの電極周りに混合気が形成されるように、上記火花点火の直前に燃料を噴射するものである（請求項２）。

10

【００１３】

この構成によれば、着火アシスト用の少量の燃料噴射に基づく混合気を火花点火により確実に燃焼させることができ、その後の前段噴射および後段噴射のＣＩ燃焼を効果的に促進することができる。

【００１４】

上記第１特定燃焼モードでは、好ましくは、上記前段噴射および後段噴射の間の圧縮行程後期に、上記着火アシスト用の燃料噴射が実行される（請求項３）。

【００１５】

このように、圧縮上死点に近い圧縮行程後期に着火アシストを実行するようにした場合には、その着火アシストによる熱発生を利用して、上記前段噴射および後段噴射に基づくＣＩ燃焼を圧縮上死点付近から適正に引き起こすことができる。

20

【００１６】

上記第２特定燃焼モードでは、好ましくは、上記前段噴射より前の圧縮行程前半に、上記着火アシスト用の燃料噴射が実行される（請求項４）。

【００１７】

このように、圧縮行程前半という比較的早い段階で着火アシストを実行するようにした場合には、その着火アシストに基づく発生熱量を、ピストンが圧縮上死点付近に至るまでの間に十分に燃焼室の壁面に吸収させることができ、エンジンの暖気をより効果的に促進することができる。

30

【００１８】

本発明において、好ましくは、上記第１の温度条件下で、高回転かつ高負荷域を含む一部の領域でエンジンが運転されている場合に、上記第１の特定燃焼モードが実行され、上記第２の温度条件下で、低回転かつ高負荷域を含む一部の領域でエンジンが運転されている場合に、上記第２の特定燃焼モードが実行される（請求項５）。

【００１９】

このように、着火アシストを用いたＣＩ燃焼の実行領域を、エンジンの温度条件が低いときには高いときに対して低回転へシフトさせるようにした場合には、エンジンの温度条件が低いほど混合気の着火性が悪化することに合わせて、着火アシストが実行される回転速度域を適正に設定することができる。

40

【００２０】

本発明において、好ましくは、上記前段噴射は、圧縮行程中の所定期間に燃料を噴射することにより、圧縮上死点よりも前の時点で燃焼室の外周部に混合気を偏在させるものであり、上記後段噴射は、圧縮行程後期から膨張行程初期までの間の所定期間に燃料を噴射することにより、上記前段噴射の後でかつそれに基づくＣＩ燃焼の終了前に上記燃焼室の中央部に混合気を偏在させるものである（請求項６）。

【００２１】

この構成によれば、前段噴射に基づく混合気が燃焼室の外周部でＣＩ燃焼し、かつ後段噴射に基づく混合気が燃焼室の中央部でＣＩ燃焼するため、前段噴射および後段噴射に基

50

づく混合気を別々の空間に分離しながら独立して燃焼させることができ、燃焼騒音やスートの増大をより効果的に防止することができる。

【0022】

本発明において、好ましくは、上記第2の温度条件下で、上記第2特定燃焼モードが実行される領域よりも負荷の低い領域でエンジンが運転されている場合には、吸気行程から圧縮行程初期までの間に上記インジェクタから燃料を噴射させ、その噴射燃料に基づき燃焼室全体に混合気が形成された状態で、上記点火プラグに予備的な火花点火を行わせることにより、その火花点火をきっかけに上記混合気の一部をC I燃焼させる制御が実行される（請求項7）。

【0023】

このように、圧縮上死点よりかなり前に噴射した燃料に基づき均質な混合気を形成し、その状態で予備的な火花点火を実行するようにした場合には、エンジンの温度条件が比較的低くしかも負荷が低いという条件下において、C I燃焼を安定的に行わせることができる。

【発明の効果】

【0024】

以上説明したように、本発明によれば、着火アシストにより混合気の自着火を促進しながら、燃焼騒音やスートの増大を伴わない適正なC I燃焼を実現することが可能で、しかもC I燃焼に適した温度条件を速やかにつくり出すことが可能な火花点火式ガソリンエンジンを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の一実施形態にかかる火花点火式ガソリンエンジンの全体構成を示す図である。

【図2】図1の一部拡大図である。

【図3】上記エンジンの制御系を示すブロック図である。

【図4】（a）～（c）は、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5】図4（a）～（c）の各制御マップに対応する3段階のエンジンの温度条件を説明するための図である。

【図6】温間時の第1運転領域（A1）で実行される制御の内容を説明するためのタイムチャートである。

【図7】温間時の第2運転領域（A2）で実行される制御の内容を説明するためのタイムチャートである。

【図8】温間時の第3運転領域（A3）で実行される制御の内容を説明するためのタイムチャートである。

【図9】（a）～（f）は、上記第2運転領域（A2）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10】（a）～（h）は、上記第3運転領域（A3）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】上記第3運転領域（A3）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。

【図12】準温間時の第6運転領域（B1）で実行される制御の内容を説明するためのタイムチャートである。

【図13】準温間時の第7運転領域（B2）で実行される制御の内容を説明するためのタイムチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0026】

（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

10

20

30

40

50

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。なお、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。

【0027】

上記ピストン 5 はコネクティングロッド 8 を介してクランク軸 7 と連結されており、上記ピストン 5 の往復運動に応じて上記クランク軸 7 が中心軸回りに回転するようになっている。

10

【0028】

上記ピストン 5 の上方には燃焼室 6 が形成され、燃焼室 6 に吸気ポート 9 および排気ポート 10 が開口し、各ポート 9, 10 を開閉する吸気弁 11 および排気弁 12 が、上記シリンダヘッド 4 に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）エンジンであり、各気筒につき上記吸気ポート 9 および排気ポート 10 が 2 つずつ設けられるとともに、上記吸気弁 11 および排気弁 12 も 2 つずつ設けられている。

【0029】

ここで、「燃焼室」とは、狭義には、ピストン 5 が上死点まで上昇したときに当該ピストン 5 の上方に形成される空間のことを指すが、本明細書でいう燃焼室 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ものとする（広義の燃焼室）。

20

【0030】

上記吸気弁 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。

【0031】

上記吸気弁 11 用の動弁機構 13 には、CVVL 15 が組み込まれている。CVVL 15 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。CVVL 15 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 CVVL 15 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。

30

【0032】

このような構成の CVVL 15 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上記カムの揺動量（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）。

40

【0033】

上記排気弁 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 VVL 16 が組み込まれている。すなわち、VVL 16 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。VVL 16 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ように構成されている。

50

【0034】

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（例えば特開2007-85241号公報参照）。

【0035】

上記VVL16の作用により排気弁12が吸気行程中に開弁することで、高温の排気ガスが排気ポート10から燃焼室6に逆流し、燃焼室6の高温化が図られるとともに、燃焼室6に導入される空気（新気）の量が低減される。以下では、このような排気弁12の再開弁（吸気行程中の開弁）による排気ガスの残留操作を、後述する外部EGR装置30による排気ガスの還流操作（外部EGR）と区別して、内部EGRと称する。

10

【0036】

上記エンジン本体1のシリンダヘッド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。

【0037】

上記インジェクタ21は、燃焼室6をその天井面（燃焼室6を覆うシリンダヘッド4の下面）から臨むように設けられている。インジェクタ21には燃料供給管23が接続されており、この燃料供給管23を通じて供給される燃料（ガソリンを主成分とする燃料）が上記インジェクタ21の先端部から噴射されるようになっている。

20

【0038】

上記インジェクタ21は、いわゆる多噴口型のインジェクタであり、その先端部に12個の噴口を有している。これらの噴口の設置部（インジェクタ21の先端部）は、燃焼室6天井の中央部に位置しており、各噴口は、その開口端がボア径方向外側の斜め下方を向くように穿孔されている。このため、上記インジェクタ21の各噴口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（上面）に近づくほどボア径方向の外側に拡がるように放射状に噴射されることになる。

【0039】

上記点火プラグ20は、燃焼室6を上方から臨むように上記インジェクタ21と隣接して配置されている。具体的に、この点火プラグ20は、燃焼室6に露出する電極を先端部に有し、図外の点火回路からの給電に応じて上記電極から火花を放電する。

30

【0040】

上記エンジン本体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。すなわち、外部からの吸入空気（新気）が上記吸気通路28を通じて燃焼室6に供給されるとともに、燃焼室6で生成された排気ガス（既燃ガス）が上記排気通路29を通じて外部に排出されるようになっている。

【0041】

上記吸気通路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、上記サージタンク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。

40

【0042】

上記排気通路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、上記共通通路部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。

【0043】

上記吸気通路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。具体的に、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どうしを連通させるEGR通路31と、EGR通路31の途中部に設けられ、その内部を通過す

50

る排気ガスの流量を制御する EGR バルブ 32 と、EGR 通路 31 を通過する排気ガスの温度を冷却する水冷式の EGR クーラ 33 とを有している。

【0044】

上記吸気通路 28 の共通通路部 28c には、吸気通路 28 を通過する吸入空気量を調節するスロットル弁 25 が設けられている。ただし、当実施形態では、上記 CVVL 15 により吸気弁 11 のリフト量が調整され、また、VVL 16 により燃焼室 6 に残留する排気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ことから、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。

10

【0045】

上記排気通路 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が上記三元触媒の作用により浄化されるようになっている。

【0046】

図 2 は、上記ピストン 5 の冠面の形状を具体的に説明するための拡大図である。この図 2 および先の図 1 に示すように、ピストン 5 の冠面の中央部には、凹状のキャビティ 40 が設けられている。キャビティ 40 は、上記インジェクタ 21 と対向する上向きの開口部 40a を上端に有しており、この開口部 40a の面積（開口面積）は、キャビティ 40 の内部の最大断面積（キャビティ 40 の各高さ位置における水平方向断面積の最大値）よりも小さく設定されている。すなわち、キャビティ 40 は、その開口部 40a 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形成されている。

20

【0047】

上記キャビティ 40 よりもボア径方向の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、ボア径方向の外側に至るほど高さが低くなるように形成されており、その最大深さ（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。

30

【0048】

また、上記環状凹部 41 よりもさらにボア径方向の外側に位置するピストン 5 の最外周部には、上記環状凹部 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、上記キャビティ 40 上端の開口部 40a を囲む部分（リップ部）と同一に設定されている。

【0049】

再び図 1 に戻って、上記エンジン本体 1 のシリンダブロック 3 やシリンダヘッド 4 の内部には、冷却水が流通するウォータージャケット（図示省略）が設けられており、このウォータージャケット内の冷却水の温度を検出するための水温センサ SW1 が、上記シリンダブロック 3 に設けられている。

40

【0050】

上記シリンダブロック 3 には、クランク角センサ SW2 が設けられている。クランク角センサ SW2 は、クランク軸 7 と一体に回転するクランクプレート（図示省略）の回転に応じてパルス信号を出力するものであり、このパルス信号に基づいて、クランク軸 7 の回転角度（クランク角）および回転速度（エンジン回転速度）が検出されるようになっている。

【0051】

上記シリンダヘッド 4 には、動弁機構 14 におけるカムシャフトの角度を検出するためのカム角センサ SW3 が設けられている。カム角センサ SW3 は、カムシャフトと一体に回転するシグナルプレートの歯の通過に応じて、気筒判別（各気筒が吸気、圧縮、膨張、

50

排気のいずれの行程にあるかの判別) 用のパルス信号を出力するものである。

【0052】

最後に、上記吸気通路28のサージタンク28bには、吸気通路28を通過する吸入空気の温度(外気温)を検出するための外気温センサSW4が設けられている。

【0053】

(2) 制御系

図3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ECU50は、エンジンの各部を統括的に制御するための装置(本発明にかかる制御手段)であり、周知のCPU、ROM、RAM等から構成されている。

【0054】

上記ECU50には、エンジンに設けられた各種センサから種々の情報が入力される。すなわち、ECU50は、エンジンに設けられた上記水温センサSW1、クランク角センサSW2、カム角センサSW3、および外気温センサSW4と電氣的に接続されており、これら各センサSW1~SW4からの入力信号に基づいて、エンジンの冷却水温、クランク角、エンジン回転速度、気筒判別情報、および外気温といった種々の情報を取得する。

【0055】

また、ECU50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、車両には、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(アクセル開度)を検出するアクセル開度センサSW5が設けられており、このアクセル開度センサSW5により検出されたアクセル開度が、上記ECU50に入力される。

【0056】

上記ECU50が有するより具体的な機能について説明すると、上記ECU50は、その主な機能的要素として、判定手段51、インジェクタ制御手段52、吸気制御手段53、内部EGR制御手段54、外部EGR制御手段55、および点火制御手段56を有している。

【0057】

上記判定手段51は、エンジン水温センサSW1の検出値から特定される冷却水温と、外気温センサSW4の検出値から特定される外気温と、クランク角センサSW2の検出値から特定されるエンジン回転速度と、アクセル開度センサSW5の検出値から特定されるエンジン負荷(目標トルク)とに基づいて、エンジンをどのような態様で制御すべきかを都度判定するものである。なお、以下では、エンジンの冷却水温をTw、外気温をTa、エンジン回転速度をNe、エンジン負荷をTとする。

【0058】

図4(a)~(c)は、上記各値Tw, Ta, Ne, Tに基づき決定される制御の種類を区分けして示す設定図(制御マップ)である。エンジンの運転中、上記判定手段51は、この図4(a)~(c)の各制御マップA~Cに従うようにエンジンの制御内容を決定する。

【0059】

上記3種類の制御マップA~Cは、エンジンの温度条件によって選択的に使用される。ここで、エンジンの温度条件とは、エンジンがどの程度暖かい温度環境下で運転されているかを表すものであり、エンジンの冷却水温Twおよび外気温Taが高いほど温度条件が高く、冷却水温Twまたは外気温Taが低いほど温度条件が低いことになる。

【0060】

当実施形態では、エンジンの温度条件が、図5に示すように、温間(W1)、準温間(W2)、冷間(W3)の3段階に分けられ、それぞれの段階に対応して上記図4(a)~(c)の制御マップA~Cのいずれかが使用される。すなわち、エンジンの冷却水温Twを横軸に、外気温Taを縦軸にとった図5の2次元領域において、冷却水温Twおよび外気温Taがともに高い領域W1にあるときを温間、冷却水温Twおよび外気温Taがともに低い領域W3にあるときを冷間、各領域W1, W3の間の領域W2にあるときを準温間とすると、温度条件が温間(W1)に該当するときには図4(a)のマップAが選択され

10

20

30

40

50

、準温間（W2）に該当するときには図4（b）のマップBが選択され、冷間（W3）に該当するときには図4（c）のマップCが選択されるようになっている。なお、本願発明との関係では、温間（W1）が「第1の温度条件」に相当し、準温間（W2）が「第2の温度条件」に相当する。

【0061】

上記図4（a）～（c）の各制御マップA～Cの中身について簡単に説明しておく。例えば、エンジンの温間時に選択される図4（a）の制御マップAでは、エンジンの運転領域が5つの領域A1～A5に分割されている。これら各領域A1～A5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燃焼の実行領域として規定されている。ただし、各領域A1～A5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を用いた着火アシストの有無、さらには内部EGRまたは外部EGRの有無等が異なり、これらの制御の相違によって、上記各領域A1～A5が設定されている。

10

【0062】

また、準温間時に選択される図4（b）の制御マップBでは、エンジンの運転領域が5つの領域B1～B5に分割されているが、上記温間時の制御マップ（図5（a））のときと異なり、CI燃焼の実行領域は、高回転側の領域B3を除いた領域B1、B2、B4、B5のみであり、上記高回転側の領域B3では、点火プラグ20の火花点火により混合気を強制的に燃焼させるSI燃焼（火花点火に基づく火炎伝播燃焼）が実行されるようになっている。

20

【0063】

最後に、冷間時に選択される図4（c）の制御マップCにおいては、CI燃焼の実行領域は設定されておらず、エンジンの全ての運転領域を包含する領域C1で、一律にSI燃焼が実行される。

【0064】

再び図3に戻って、上記インジェクタ制御手段52は、上記インジェクタ21に内蔵された図外のニードル弁（インジェクタ21の先端部の噴口を開閉する弁）を電磁的に開閉することにより、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。

【0065】

上記吸気制御手段53は、上記CVVL15を駆動して吸気弁11のリフト量（開弁量）を変更する制御を行うものである。

30

【0066】

上記内部EGR制御手段54は、上記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に排気ガスを残留（逆流）させる操作（内部EGR）の有無を切り替えるものである。なお、当実施形態において、排気弁12は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、上記燃焼室6に残留する排気ガスの量（内部EGR量）を段階的に変化させることが可能である。

【0067】

上記外部EGR制御手段55は、上記EGR通路31に設けられたEGRバルブ32の開度を調節することにより、排気通路29から吸気通路28に排気ガスを還流する操作（外部EGR）の有無を切り替えるとともに、その外部EGRによる排気ガスの還流量（外部EGR量）を制御するものである。

40

【0068】

上記点火制御手段56は、上記点火プラグ20による火花点火のタイミング（点火時期）等を制御するものである。ただし、当実施形態において、点火プラグ20は、エンジンがSI燃焼により運転される場合や、混合気の自着火をアシストするための火花点火が必要な場合にのみ作動し、それ以外のときは基本的に（カーボン除去のために行われる吸気行程や排気行程中の点火動作を除いて）作動しない。

【0069】

50

(3) 各制御マップに基づく制御

次に、以上のような機能を有する ECU 50 によりエンジンがどのように制御されるかについて説明する。エンジンの運転中は、ECU 50 により、上記図 4 (a) ~ (c) の各制御マップ A ~ C に沿った制御が実行される。各制御マップ A ~ C は、上述したように、エンジンの温度条件に応じて選択的に使用される。すなわち、エンジンの運転が開始されると、上記 ECU 50 の判定手段 51 が、エンジン水温センサ SW1 および外気温センサ SW4 の各検出値 (冷却水温 Tw および外気温 Ta) に基づいて、エンジンの温度条件が温間、準温間、冷間のいずれであるのか (図 5 の W1, W2, W3 のいずれに該当するのか) を逐次判定し、その結果に基づいて、上記制御マップ A ~ C の中から適切なマップを選択する。そして、上記クランク角センサ SW2 およびアクセル開度センサ SW5 の各検出値に基づいて、エンジンの運転点 (負荷 T および回転速度 Ne の各値から特定される制御マップ上でのポイント) を特定するとともに、その運転点が、上記選択した制御マップにおけるいずれの運転領域に該当するかを調べる。

10

【0070】

該当する運転領域が判別されると、その領域に応じた適切な燃焼が行われるように、上記 ECU 50 の各制御手段 52 ~ 56 がエンジンの各部を制御する。以下に、エンジン制御の具体的な内容を、制御マップ A ~ C ごとに説明する。

【0071】

(3-1) 制御マップ A (温間時)

まず、エンジンの温間時 (冷却水温および外気温の条件が図 5 の領域 W1 に該当するとき) に選択される制御マップ A (図 4 (a)) に基づき実行される燃焼制御について説明する。この制御マップ A では、エンジンの運転領域における比較的負荷 T の低い領域に、回転速度 Ne 全域にわたって領域 A1 が設定されている。また、この領域 A1 よりも負荷 T が高く、かつ回転速度 Ne が所定値よりも低い領域には、領域 A2 が設定されているとともに、上記領域 A1 よりも負荷 T が高く、かつ回転速度 Ne が上記所定値よりも高い領域には、領域 A3 が設定されている。さらに、上記領域 A1 と領域 A2 との間、および、領域 A1 と領域 A3 との間には、それぞれ、領域 A4 および領域 A5 が設定されている。以下では、これら各領域 A1, A2, A3, A4, A5 を、それぞれ、第 1 運転領域 A1、第 2 運転領域 A2、第 3 運転領域 A3、第 4 運転領域 A4、第 5 運転領域 A5 と称する。

20

30

【0072】

先にも述べたとおり、上記制御マップ A における第 1 ~ 第 5 運転領域 A1 ~ A5 は、いずれも、ピストン 5 の圧縮作用により混合気を自着火させる CI 燃焼の実行領域として規定されているが、燃料噴射の形態や、着火アシストの有無等がそれぞれ異なる。なお、図 4 (a) において、制御マップ A 上に記載されている斜めのライン (低回転側ほど負荷が高くなるように左上がりに傾斜したライン) Lx は、燃焼騒音の観点から設定された一括噴射の限界ラインである。詳細は後述する運転領域ごとの説明の中でも述べるが、この一括噴射の限界ライン Lx よりも低負荷側に位置する第 1 運転領域 A1 および第 4 運転領域 A4 では、インジェクタ 21 から必要量の燃料が一括して噴射される一方、上記限界ライン Lx よりも高負荷側に位置する残りの運転領域 (A2, A3, A5) では、燃焼騒音を

40

【0073】

また、上記第 2 運転領域 A2 と第 3 運転領域 A3 との境界ラインを Ly とすると、この境界ライン Ly は、エンジンの温度条件が高いほど高回転側 (図 4 (a) の矢印 W1 の側) に設定される。すなわち、第 2 運転領域 A2 と第 3 運転領域とは、燃料の分割噴射が行われるという点では同じであるが、後述するように、混合気の自着火を促進するための着火アシストを行うか否かが異なる。これは、第 2 運転領域 A2 よりもエンジン回転速度 Ne が高い第 3 運転領域 A3 の方が、燃料の受熱期間 (燃料が高温・高圧環境下に晒される時間) が短く、混合気が自着火し難いため、第 3 運転領域 A3 では着火アシストを実行し

50

、第2運転領域A2では着火アシストを実行しないものである。ただし、着火アシストなしで混合気が自着火する領域は、エンジンの冷却水温 T_w および外気温 T_a がともに高く、エンジンの温度条件が高いほど（つまり温度条件が図5の領域W1の右上側にあるほど）、より高回転側まで拡大すると考えられる。そこで、これに合わせて、上記第2運転領域A2と第3運転領域A3との境界ライン L_y を、エンジンの温度条件が高いほど高回転側（矢印W1の側）に設定するようにしている。逆に、上記境界ライン L_y は、エンジンの温度条件が低いほど（冷却水温 T_w または外気温 T_a が低いほど）、低回転側（矢印W2の側）に設定される。

【0074】

以下、上記制御マップAの各運転領域A1～A5でそれぞれ実行される燃焼制御について詳細に説明する。 10

【0075】

（i）第1運転領域A1

図6は、エンジンが図4（a）の第1運転領域A1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A1では、圧縮行程よりも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CI燃焼が実行される。なお、図4（a）の制御マップでは、このような予混合CI燃焼（Homogeneous-Charge Compression Ignition）が実行されることを指して、第1運転領域A1内に「HCCI」と表記している。 20

【0076】

具体的に、上記第1運転領域A1では、吸気行程中の所定期間にインジェクタ21から燃焼室6に燃料が噴射（P）され、この1回の燃料噴射Pにより噴射（一括噴射）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）とからなる混合気が、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。

【0077】

ただし、第1運転領域A1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 30。そこで、上記第1運転領域A1では、VV16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に逆流させる内部EGRが実行される。すなわち、排気弁12は、通常、排気行程のみで開弁するが（図6のリフトカーブEX）、VV16の駆動に基づき排気弁12を吸気行程でも開弁させることにより（リフトカーブEX'）、排気ポート10から燃焼室6に排気ガスを逆流させる。このように、高温の排気ガスを燃焼室6に逆流（残留）させることで、燃焼室6を高温化して、混合気の自着火を促進する。なお、燃焼室6に残留する排気ガスの量（内部EGR量）は、低負荷側ほど多く、高負荷側ほど少なく設定される。そのための制御として、例えば、第1運転領域A1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。 40

【0078】

上記のように、第1運転領域A1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が実行されるため、外部EGRについては停止される。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。

【0079】

また、上記第1運転領域A1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、2以上という大幅にリーンな値に設定される。そのため、CV15の駆動により吸気弁11（リフトカーブIN）のリフ 50

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、上記インジェクタ 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、 $\lambda \geq 2$ にまでリーンになると、三元触媒による NO_x の浄化作用はほとんど期待できなくなるが、 $\lambda \geq 2$ での燃焼により生じる NO_x 量（生の NO_x 量）は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 NO_x トラップ触媒）を設けなくても、排気ガス中に含まれる NO_x の量を十分に小さい値に抑制することができる。

【0080】

(ii) 第 2 運転領域 A 2

上記第 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（図 4（a））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、圧縮上死点付近とそれより前の圧縮行程中の所定期間とに設定された 2 回の噴射タイミング（P 1，P 2）に分けてインジェクタ 21 から燃料を噴射させ、それぞれの燃料に基づく混合気を C I 燃焼させる制御が実行される。なお、後述する第 3 運転領域 A 3 のときと異なり、第 2 運転領域 A 2 では、点火プラグ 20 を用いた着火アシストは実行されない。図 4（a）の制御マップでは、このような分割噴射に基づく（着火アシストなしの）C I 燃焼が実行されることを指して、第 2 運転領域 A 2 内に「多段 C I」と表記している。また、以下の説明では、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。

【0081】

具体的に、上記第 2 運転領域 A 2 において、前段噴射 P 1 のタイミングは、圧縮上死点（T D C）を基準として、その上死点前（B T D C） $60 \sim 50^\circ \text{CA}$ （CA はクランク角を表す）程度の期間内に設定され、後段噴射 P 2 のタイミングは、上死点后（A T D C） $0 \sim 10^\circ \text{CA}$ 程度の期間内に設定される。また、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 による各噴射量の割合については、前段噴射 P 1 が 10 % 以下で後段噴射 P 2 が 90 % 以上に設定されるパターンから、前段噴射 P 1 が 60 % 程度で後段噴射 P 2 が 40 % 程度に設定されるパターンまで、運転条件等により適宜の割合に設定される。

【0082】

上記前段噴射 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、上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、図中の波形 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。

【0083】

上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、燃料噴射量の多い上記第 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、上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、上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。

【0084】

ただし、たとえば燃料噴射を複数回に分割しても、インジェクタ 21 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

10

20

30

40

50

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。

【0085】

このような問題に対し、当実施形態では、インジェクタ21が燃焼室6天井の中央部に配置されるとともに、ピストン5の冠面がキャビティ40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一緒に燃焼してしまうことがなく、上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）。

【0086】

また、上記第2運転領域A2では、上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12を押し下げる機能を無効にするようにVVL16が駆動され、排気弁12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EGRが禁止される。

【0087】

一方、第2運転領域A2では、上記のように禁止された内部EGRに代わり、外部EGRが実行される。すなわち、EGR通路31に設けられたEGRバルブ32が所定開度まで開かれることにより、排気通路29から吸気通路28へ排気ガスを還流させる操作が実行される。

【0088】

このように、内部EGRから外部EGRへと切り替えるのは、燃焼室6の過度の高温化を防いで異常燃焼を回避するためである。すなわち、第2運転領域A2は、第1運転領域A1よりもエンジン負荷Tが高く、噴射されるトータルの燃料が多いため、燃焼に伴い発生する熱量が増大し、燃焼室6が高温化する傾向にある。このため、仮に第2運転領域A2でも内部EGRを継続したのでは、燃焼室6がますます高温化し、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EGRから外部EGRに切り替えて、EGRクーラ33付きのEGR通路31を通過した（つまりEGRクーラ33により冷却された）排気ガスを吸気通路28に還流させることにより、燃焼室6の過度な高温化を防ぎ、上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A2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EGRは停止される。

【0089】

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A2での燃焼形態について、図9(a)～(f)を参照しつつより具体的に説明する。図9(a)は、インジェクタ21から前段噴射P1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(BTDC)60～50°CA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、上記インジェクタ21の先端部に備わる複数(12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の冠面のボア径方向の外側寄りに設けられた環状凹部41に向かうことになる。

【0090】

上記ピストン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9(b)に示すようなピストン位置(圧縮上死点よりも前の時点)で、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 $\lambda = 1$)程度に設定される。すなわち、圧縮上死点よりも前の時点で、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、前段噴射P1の噴射時期および噴射量が設定されている。

【0091】

もちろん、上記前段噴射P1によって、燃焼室6の外周部以外(例えばキャビティ40

10

20

30

40

50

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、上記燃焼室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、上記前段噴射P1により、燃焼室6の外周部には、キャビティ40の内部よりもリッチな混合気X1が形成されていることになる。

【0092】

上記のように燃焼室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9(c)に示すように自着火により燃焼する(CI燃焼)。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Y1は、上記混合気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。

【0093】

10

上記のような前段噴射P1に基づく燃焼が始まると、それと前後して(図例では前段噴射P1に基づく燃焼開始とほぼ同時に)、図9(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がその上昇端に至った時点(圧縮上死点)とほぼ同時かその直後のATDC0~10°CA程度である。このようなタイミング(圧縮上死点付近)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の冠面の中央部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9(e)に示すように、燃焼室6の中央部(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 $\lambda = 1$)程度に設定される。言い換えれば、上記後段噴射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(より具体的には、前段噴射P1により噴射された燃料に基づきキャビティ40内に形成される極めて薄い混合気X1の空燃比よりもリッチな)混合気X2が形成されていることになる。ただし、混合気X2は、少なくとも上記前段噴射P1に基づく混合気X1の燃焼が終了する前には存在している必要がある。すなわち、上記前段噴射P1に基づく燃焼が終了するよりも前に、理論空燃比程度の濃さの混合気X2が燃焼室の中央部に局所的に形成されるように、上記後段噴射P2の噴射時期および噴射量が設定されている。

20

【0094】

上記のような後段噴射P2に基づき、圧縮上死点付近でしかも前段噴射P1による燃焼の継続中(燃焼の終了前)に混合気X2が形成されることで、この混合気X2は、図9(f)に示すように、上記後段噴射P2の後、短い時間で自着火に至り、CI燃焼する。この混合気X2が燃焼する領域Y2は、上記混合気X2が形成された領域に対応して、燃焼室6の中央部に限られる。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の中央部(上記燃料領域Y1よりもボア径方向の中心寄りに位置する燃焼領域Y2)でCI燃焼することになる。

30

【0095】

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CI燃焼させるようにしている。このような制御が行われる上記第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することがないため、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増大を招く心配がない。しかも、前段噴射P1および後段噴射P2に基づく混合気X1, X2は、それぞれ局所的に $\lambda = 1$ 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。

40

【0096】

(iii) 第3運転領域A3

50

上記第1運転領域A1よりも負荷Tが高く、かつ上記第2運転領域A2よりも回転速度Neが高い第3運転領域A3（図4（a））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A3では、上記第2運転領域A2のときと同様、インジェクタ21からの燃料が複数回に分けて噴射されるが、上記第2運転領域A2のときとは異なり、前段噴射P1および後段噴射P2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4（a）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CI燃焼が実行されることを指して、第3運転領域A3内に「SA+多段CI」と表記している。このような第3運転領域A3での燃焼モード（SA+多段CI）は、本発明にかかる「第1の特定燃焼モード」に相当する。

【0097】

具体的に、上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P1と、圧縮上死点付近に実行される後段噴射P2との間の所定期間に、これら前段および後段噴射P1、P2の各噴射量よりも少量の燃料がインジェクタ21から噴射されるとともに（Pa）、その噴射Paの直後でかつ後段噴射P2よりも前に、点火プラグ20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Qc'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が高温化するのをきっかけにして、続く波形Qcに示すように、上記前段噴射P1および後段噴射P2に基づく混合気がCI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Pa（着火アシスト用の燃料噴射）のことをアシスト用噴射Pa、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。

【0098】

上記アシスト用点火Sは、インジェクタ21の先端部（噴口）からアシスト用噴射Paとして噴射された燃料（噴霧）の先端が、点火プラグ20の電極の周辺を通過した直後のようなタイミング、つまり、点火プラグ21の電極の周りに上記アシスト用噴射Paに基づくリッチな混合気が存在するようなタイミングで実行される。なお、図1および図2に示したように、当実施形態では、インジェクタ21の先端部が燃焼室6天井の中央部に位置し、かつこのインジェクタ21の先端部からボア径方向の外側に少しずれた位置に点火プラグ20の電極が位置するように、インジェクタ21および点火プラグ20が近接して配置されているため、上記アシスト用噴射Paのタイミングから上記アシスト用点火Sのタイミングまでの時間は、かなり短いものとなる。ただし、インジェクタ21の先端部と点火プラグ20の電極との離間距離があまりに短いと、燃料がほとんど気化していない状態でアシスト用点火Sが実行されることになるため、上記離間距離は、少なくとも燃料の気化時間および空気との混合に必要な時間を確保できる程度の距離に設定される。一例として、インジェクタ21からの噴射圧力が30～40MPa程度である場合に、インジェクタ21の先端中心から点火プラグの点火点（電極部の放電ギャップの中間点）までの距離は、10～25mm程度に設定するのがよい。

【0099】

また、上述したように、インジェクタ21の先端部には12個の噴口が設けられるが、これら12個の噴口から放射状に噴射された燃料により形成される12本の噴霧と、上記点火プラグ20との位置関係としては、上記点火プラグ20の電極が、上記12本の噴霧のうちの2本の噴霧の間に位置するように配置されることが望ましい。このように、2本の噴霧の間に点火プラグ20の電極が配置されることで、未気化の燃料が電極に付着して着火性が損なわれることが回避される。

【0100】

なお、第3運転領域A3では、上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A2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A3では、排気弁12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EGRが禁止されるとともに、EGR通路31を通じて排気ガスを吸気通路28に還流させる外部EGR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 EGR は禁止される。

【0101】

図10(a)～(h)は、以上のような着火アシストに基づくCI燃焼が行われる第3運転領域A3での燃焼の様子を模式的に示す図である。図10(a)に示すように、第3運転領域A3では、上述した第2運転領域A2での前段噴射P1(図9(a))のタイミング(BTDC60～50°CA程度)とほぼ同じタイミングで前段噴射P1が実行され、この前段噴射P1により、燃焼室6の外周部に、理論空燃比($\lambda=1$)程度の空燃比をもった混合気X1が形成される。ただし、上記前段噴射P1のタイミングは、厳密には、上記第2運転領域A2での前段噴射P1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A3では、第2運転領域A2のときよりもエンジン回転速度Ne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21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)を届けようとするれば、インジェクタ21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P2の場合でも同様である。

10

【0102】

上記前段噴射P1の後、図10(c)に示す着火アシストが実行される。すなわち、上記前段噴射P1の後、ピストン5がある程度上昇した圧縮行程後期の所定期(例えばBTDC30～10°CA程度)に、着火アシスト用の燃料噴射であるアシスト用噴射Pa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、上記アシスト用噴射Paにより噴射された燃料に基づいて、点火プラグ20の電極周りにリッチな混合気形成されるとともに、その混合気が上記アシスト用点火Sを火種として火炎を形成することにより、図10(d)に示すように、点火プラグ20の電極周りに混合気の燃焼領域Yaが局所的に形成される。なお、当明細書において、ある行程の後期(または前期、中期)とは、その行程を前期、中期、後期に3等分したときの各期間を指すものとする。したがって、例えば、圧縮行程の後期とは、圧縮上死点前(BTDC)60～0°CAの範囲を指し、膨張行程の初期とは、圧縮上死点後(ATDC)0～60°CAの範囲を指す。

20

【0103】

上記のようにして着火アシストによる火炎(燃焼領域Ya)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上記前段噴射P1に基づく混合気X1が、図10(e)に示すように、圧縮上死点付近でCI燃焼する。この混合気X1の燃焼領域Y1は、燃焼室6の外周部分に限られ、点火プラグ20の電極からはボア径方向の外側に離間した領域となる。

30

【0104】

上記のような前段噴射P1に基づく燃焼が始まると、それ以降は、上記第2運転領域A2のときと同様にして燃焼が進行していく。すなわち、上記前段噴射P1に基づく燃焼の開始とほぼ同時に、図10(f)に示すような後段噴射P2が実行され、その後段噴射P2に基づき、燃焼室6の中央部(主にキャビティ40の内部)に、理論空燃比($\lambda=1$)程度の空燃比をもった混合気X2が形成される。すると、この混合気X2は、短い時間で自着火に至り、燃焼室6の中央部に上記混合気X2の燃焼領域Y2を形成する。

40

【0105】

以上のように、第3運転領域A3では、前段噴射P1および後段噴射P2の間に、点火プラグ20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、上記着火アシストに引き続いて上記前段噴射P1および後段噴射P2に基づく混合気X1、X2をそれぞれ自着火により燃焼(CI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A3では、上述した第2運転領域A2のときよりもエンジン回転速度Ne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CI燃焼し、失火が起きることが回避される。しかも、上記第2運転領域A2のときと同様、前段噴射P1および後段噴射

50

P 2に基づく混合気 X 1, X 2が別々の空間で独立して C I 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。

【0106】

図 1 1 は、上記第 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 1 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、上記燃焼領域 Y 1 よりもボア径方向の内側に形成される。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。

10

【0107】

(iv) 第 4 運転領域 A 4 および第 5 運転領域 A 5

上記第 4 運転領域 A 4 および第 5 運転領域 A 5 は、第 1 運転領域 A 1 と第 2 運転領域 A 2 との間、または第 1 運転領域 A 1 と第 3 運転領域 A 3 との間に位置する領域であるから、上述の (i) ~ (iii) で説明した各制御内容の中間的な制御が実行される。

【0108】

具体的に、第 4 運転領域 A 4 では、インジェクタ 2 1 からの燃料噴射時期が、第 1 運転領域 A 1 での燃料噴射時期よりもリタードされ、例えば圧縮行程中の 1 回に設定される。そのときの噴射量は、第 1 運転領域 A 1 のときと同様、空気過剰率 λ が 2 以上になるように設定される。また、EGR 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 EGR が実行される。

20

【0109】

一方、第 5 運転領域 A 5 では、圧縮行程中の所定期間およびそれより後の圧縮上死点付近の 2 回に分けて燃料を噴射する制御が実行される。そのときの噴射量は、空気過剰率 λ が局所的に $\lambda = 1$ 程度になるように設定される。また、吸気行程中の排気弁 1 2 の開弁により排気ガスを燃焼室 6 に逆流させる内部 EGR が実行される。

【0110】

(3-2) 制御マップ B (準温間時)

次に、エンジンの準温間時 (冷却水温 T_w および外気温 T_a の条件が図 5 の領域 W 2 に該当するとき) に選択される制御マップ B (図 4 (b)) に基づき実行される燃焼制御について説明する。この制御マップ B では、エンジン回転速度 N_e が比較的高い領域に、負荷 T の全域にわたって領域 B 3 が設定されている。また、この領域 B 3 よりも回転速度 N_e が低く、かつ負荷 T がライン L_x (一括噴射の限界ライン L_x) よりも低い領域には、領域 B 1 が設定されているとともに、この領域 B 1 よりも負荷 T が高くかつ上記領域 B 3 よりも回転速度 N_e が低い領域には、領域 B 2 が設定されている。さらに、上記領域 B 1 と領域 B 2 との間には、領域 B 4 および領域 B 5 が設定されている。以下では、これら各領域 B 1、B 2, B 3, B 4, B 5 を、それぞれ、第 6 運転領域 B 1、第 7 運転領域 B 2、第 8 運転領域 B 3、第 9 運転領域 B 4、第 10 運転領域 B 5 と称する。これら各運転領域 B 1 ~ B 5 では、それぞれ次のような燃焼制御が実行される。

30

40

【0111】

(i) 第 6 運転領域 B 1

図 1 2 は、エンジンが図 4 (b) の第 6 運転領域 B 1 で運転されている場合の燃料噴射時期と吸排気弁 1 1, 1 2 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を示す図である。本図に示すように、第 6 運転領域 B 1 では、吸気行程中の所定期間にインジェクタ 2 1 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に基づき燃焼室 6 全体に均質な混合気が形成された状態で、点火プラグ 2 0 より予備的な火花点火 (予備点火) S' が実行される。これにより、少量の混合気を予備点火 S' に基づく火炎伝播により燃焼 (S I 燃焼) させ、その後、残りの混合気を自着火により燃焼 (C I 燃焼) させる。なお、図 4 (b) の制御マップでは、このような予備点火 S' を

50

利用した予混合 C I 燃焼が実行されることを指して、第 6 運転領域 B 1 内に「補助 H C C I」と表記している。

【0112】

具体的に、当実施形態において、第 6 運転領域 B 1 での運転時には、吸気行程中にインジェクタ 2 1 から燃料が一括噴射され（燃料噴射 P）、このような燃料噴射 P による燃料と空気（新気）とに基づき、少なくとも圧縮上死点の手前までに、燃焼室 6 全体にほぼ均質な混合気が形成される。そして、圧縮上死点の近傍（図例では圧縮上死点の少し手前）で、上記混合気の自着火を引き起こすための火花点火として、点火プラグ 2 0 による予備点火 S' が実行される。すると、この予備点火 S' をきっかけに、圧縮上死点付近で少量の混合気が火炎伝播により燃焼し始め、図 7 の波形 Q d' のような少量の熱発生を伴う燃焼が生じる。このような予備点火 S' に基づく燃焼（火炎伝播による S I 燃焼）が始まると、それによって燃焼室 6 内の温度が上昇するため、圧縮上死点を過ぎたあたりから、残りの混合気が相次いで自着火する。これにより、2 つ目の波形 Q d に示すように、比較的大きな（1 つ目の波形 Q d' よりは大きな）熱発生を伴う C I 燃焼が、予備点火 S' による S I 燃焼と連続して生じることになる。

10

【0113】

このように、エンジンの温度条件が比較的低い準温間時にあるときに、低負荷側の第 6 運転領域 B 1 において、温間時（第 1 運転領域 A 1）のときとは異なる制御として、燃焼室 6 に形成される均質な混合気を予備点火 S' をきっかけに自着火させる制御を実行するのは、温間時よりも温度条件の低い準温間時では、燃焼室 6 内の空気が低温になり易く、たとえ圧縮上死点よりも十分に早い段階で燃料を噴射したとしても、ピストン 5 の圧縮作用のみで混合気を自着火させるのは困難だからである。

20

【0114】

なお、上記第 6 運転領域 B 1 では、温間時の第 1 運転領域 A 1 のときと異なり、排気弁 1 2 の再開弁により排気ガスを燃焼室 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。また、第 6 運転領域 B 1 では、混合気の空燃比が理論空燃比（空気過剰率 $\lambda = 1$ ）程度に設定される。すなわち、上記燃料噴射 P により噴射された燃料と新気とにより理論空燃比程度の均質な混合気が燃焼室 6 に形成されるとともに、残余のガスについては全て外部 E G R による既燃ガスによって占められる。

30

【0115】

（ii）第 7 運転領域 B 2

上記第 6 運転領域 B 1 よりも負荷 T の高い第 7 運転領域 B 2（図 4（b））では、図 1 3 に示すような制御が実行される。すなわち、第 7 運転領域 B 2 では、ピストン 5 が吸気下死点（B D C）を過ぎて圧縮行程に移行した後、まず最初に着火アシストが実行され、その後で、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 が実行されることにより、各噴射 P 1、P 2 に基づく混合気がそれぞれ自着火により燃焼（C I 燃焼）する。このように、準温間時における比較的負荷 T の高い第 7 運転領域 B 2 では、着火アシストにより燃焼室 6 の高温化を図ることで混合気を自着火させる点において、温間時の第 3 運転領域 A 3 のときと同様である。ただし、温間時の第 3 運転領域 A 3 では、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 の間に着火アシストを実行したのに対し（図 8）、準温間時の第 7 運転領域 B 2 では、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 のいずれよりも早いタイミングで着火アシストが実行される。なお、図 4（b）の制御マップでは、このような変則的な着火アシストによる C I 燃焼が行われることを指して、第 7 運転領域 B 2 内に「変形 S A + 多段 C I」と表記している。このような第 7 運転領域 B 2 での燃焼モードは、本発明にかかる「第 2 の特定燃焼モード」に相当する。

40

【0116】

具体的に、上記第 7 運転領域 B 2 では、前段噴射 P 1 よりも早い圧縮行程前半の所定期（例えば B T D C 1 5 0 ~ 9 0 ° C A 程度）に、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 の各噴射量よりも少量のアシスト用噴射 P a を実行するとともに、その直後に火花点火 S を実

50

行する制御が、着火アシストとして実行される。すると、この着火アシストに伴い、図 13 の波形 $Q_{e'}$ に示すような少量の熱発生を伴う燃焼が圧縮行程前半に生じる。なお、当明細書において、ある行程の前半（または後半）とは、その行程を前半および後半に 2 等分したときの各期間を指すものとする。したがって、例えば、圧縮行程の前半とは、圧縮上死点前（BTDC） $180 \sim 90^\circ$ CA の範囲を指す。

【0117】

上記のような着火アシストによる燃焼（ $Q_{e'}$ ）に伴い発生した熱量は、燃焼室 6 内の空気の温度を高め、その高温化した空気の熱量は、ピストン 5 が圧縮上死点付近に至るまでの間にシリンダー壁（燃焼室 6 の壁面）にも吸収される。これにより、混合気が自着火し易い環境が作り出されるとともに、エンジンの暖気（冷却水の温度上昇）が促進される。

10

【0118】

上記着火アシストの後、圧縮上死点付近（膨張行程のごく初期）と、それより前の圧縮行程中の所定期間との 2 回に分けて、前段噴射 P1 および後段噴射 P2 が実行される。これら各噴射 P1, P2 に基づく混合気は、着火アシストにより高温化した燃焼室 6 において、例えば図 9（温間時の第 2 運転領域 A2 での燃焼形態の説明図）を用いて説明したのと同様、燃焼室 6 の外周部と中央部とでそれぞれ独立して CI 燃焼する。

【0119】

すなわち、まず前段噴射 P1 に基づく混合気が燃焼室 6 の外周部（主に環状凹部 41 の内部およびその上方空間）に形成され、圧縮上死点付近で CI 燃焼する。そして、それとほぼ同時に実行される後段噴射 P2 により燃焼室 6 の中央部（主にキャビティ 40 の内部）に混合気が形成され、当該混合気の CI 燃焼が、上記前段噴射 P1 に基づく CI 燃焼に引き続いて発生する。これにより、図 13 の波形 Q_e 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。

20

【0120】

なお、上記第 7 運転領域 B2 での制御は、上記のように前段噴射 P1 および後段噴射 P2 より前に着火アシストを実行する点を除けば、基本的に温間時の第 2、第 3 運転領域 A2, A3 のときと同様である。例えば、第 7 運転領域 B2 では、EGR 通路 31 を通じて排気ガスを吸気通路 28 に還流させる外部 EGR が実行される。また、上記前段噴射 P1 および後段噴射 P2 の噴射量は、燃焼室の外周部および中央部に、それぞれ局所的に理論空燃比程度の混合気が形成されるような量に設定される。

30

【0121】

（iii）第 8 運転領域 B3

上記第 6・第 7 運転領域 B1, B2 よりも高回転側の第 8 運転領域 B3 では、混合気を自着火させる CI 燃焼ではなく、点火プラグ 20 の火花点火に基づく火炎伝播により混合気を強制的に燃焼させる SI 燃焼が実行される。すなわち、エンジンの温度条件が相対的に低い準温間時は、温間時のときと比べて燃料（ガソリン）の反応性が悪いため、特に燃料の受熱期間が短い高回転域においては、たとえ上述したような着火アシストにより自着火を促進したとしても、混合気はまず自着火しないと考えられる。そこで、比較的回転速度 N_e の高い上記第 8 運転領域 B3 では、混合気の全てを火炎伝播により燃焼させる SI 燃焼に切り替える。なお、ここでの空燃比は、理論空燃比（ $\lambda = 1$ ）もしくはその近傍に設定される。

40

【0122】

ここで、上記第 8 運転領域 B3 と他の運転領域（B1, B2 等）との境界ラインを L_z とすると、この境界ライン L_z は、エンジンの温度条件に応じて可変的に設定される。すなわち、混合気の自着火が困難な領域は、エンジンの温度条件が低いほど（つまり図 5 の領域 W2 の左側または下側ほど）低回転側まで拡大するため、これに合わせて、混合気の自着火（CI 燃焼）の限界ラインである上記境界ライン L_z も、エンジンの温度条件が低いほど低回転側に設定される。

【0123】

50

(iv) その他の運転領域

上記各運転領域 B 1, B 2, B 3 以外の領域、つまり第 9 運転領域 B 4 および第 10 運転領域 B 5 は、上記第 6 運転領域 B 1 および第 7 運転領域 B 2 の間に位置することから、両者の中間的な制御が実行される領域であるが、ここではその具体的な制御の中身については説明を省略する。

【0124】

(3-3) 制御マップ C (冷間時)

最後に、エンジンの冷間時 (冷却水温 T_w および外気温 T_a の条件が図 5 の領域 W 3 に該当するとき) に選択される制御マップ C (図 4 (c)) における燃焼制御について説明する。この制御マップ C では、エンジンの運転領域の全域が、S I 燃焼の実行領域 C として設定されている。すなわち、エンジンの温度条件がかなり低い冷間状態では、もはや混合気を自着火により燃焼させることは不可能であるため、エンジンの運転領域の全域 C で、C I 燃焼ではなく、火花点火に基づく火炎伝播により混合気を強制的に燃焼させる S I 燃焼が実行される。

【0125】

(4) 作用効果等

以上説明したように、当実施形態の火花点火式ガソリンエンジンでは、エンジンの温間時における高負荷側の一部の運転領域 (第 3 運転領域 A 3) で、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に分けてインジェクタ 2 1 から燃料が噴射されるとともに、これら前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 の間に、少量の燃料噴射 P a とその直後の火花点火 S とによる着火アシストが実行されることにより、その着火アシストの後、上記前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に基づく C I 燃焼が圧縮上死点付近から順番に開始される (第 1 の特定燃焼モード)。一方、温度条件が温間時よりも低い準温間時には、高負荷側の一部の運転領域 (第 6 運転領域 B 2) で、前段噴射 P 1 よりも先に上記着火アシストが実行されることにより、上記前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に基づく C I 燃焼が圧縮上死点付近から順番に開始される (第 2 の特定燃焼モード)。このような構成によれば、着火アシストにより混合気の自着火を促進しながら、燃焼騒音やスートの増大を伴わない適正な C I 燃焼を実現することができ、しかも C I 燃焼に適した温度条件を速やかにつくり出すことができるという利点がある。

【0126】

すなわち、上記実施形態では、温間時における第 3 運転領域 A 3 で、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 の間に着火アシストを実行し、その着火アシストに基づく火炎により燃焼室 6 の高温化を図ることで、上記前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に基づく C I 燃焼を、上記着火アシストに引き続いて圧縮上死点付近から開始させるようにしたため、上記第 3 運転領域 A 3 のように、回転速度 N_e が高く本来は自着火が難き難い領域であっても、C I 燃焼を安定的に継続させることができる。これにより、C I 燃焼で運転可能な領域が拡大するため、温間時の熱効率を効果的に向上させることができる。

【0127】

しかも、着火アシストをきっかけに、着火アシストよりも前に実行された前段噴射 P 1 に基づく C I 燃焼と、着火アシストよりも後に実行された後段噴射 P 2 に基づく C I 燃焼とを順番に開始させる (つまり各噴射 P 1, P 2 の C I 燃焼に時間差をもたせる) ようにしたため、上記前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に基づく混合気が同時に燃焼することがなく、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増大を効果的に防止することができる。

【0128】

さらに、温度条件が相対的に低いエンジンの準温間時には、第 7 運転領域 B 2 において、前段噴射 P 1 よりも先に着火アシストを実行することにより、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に基づく C I 燃焼が始まる圧縮上死点付近までの間に、上記着火アシストによる発生熱量が燃焼室 6 の壁面に十分に吸収され、エンジンの暖気 (冷却水の温度上昇) が促進される。これにより、エンジンの仕事の面では、着火アシストによる発生熱量の多くが

無駄になるものの、その発生熱量がエンジンの早期暖気に寄与する結果、C I 燃焼で安定的に運転できる温度条件を速やかにつくり出すことができ、トータルとしてエンジンの熱効率を効果的に向上させることができる。

【0129】

また、上記実施形態では、温間時の第3運転領域A3および準温間時の第7運転領域B2で着火アシストを行う際に、着火アシスト用の火花点火（アシスト用点火）Sの時点で点火プラグ20の電極周りに混合気が形成されるように、上記火花点火Sの直前に少量の燃料噴射（アシスト用噴射）Paを実行するようにした。このような構成によれば、少量の燃料噴射Paに基づく混合気を火花点火Sにより確実に燃焼させることができ、その後の前段噴射P1および後段噴射P2のC I 燃焼を効果的に促進することができる。

10

【0130】

また、上記実施形態では、温間時の第3運転領域A3（第1特定燃焼モードの実行領域）で、前段噴射P1および後段噴射P2の間の圧縮行程後期に、上記着火アシスト用の燃料噴射Paが実行される。このように、圧縮上死点に近い圧縮行程後期に着火アシストを実行するようにした場合には、その着火アシストによる熱発生を利用して、上記前段噴射P1および後段噴射P2に基づくC I 燃焼を圧縮上死点付近から適正に引き起こすことができる。

【0131】

一方、準温間時の第7運転領域B2（第2特定燃焼モードの実行領域）では、前段噴射P1よりも早い圧縮行程前半に、上記着火アシスト用の燃料噴射Paが実行される。このように、圧縮行程前半という比較的早い段階で着火アシストを実行するようにした場合には、その着火アシストに基づく発生熱量を、ピストン5が圧縮上死点付近に至るまでの間に十分に燃焼室6の壁面に吸収させることができ、エンジンの暖気をより効果的に促進することができる。

20

【0132】

また、上記実施形態では、エンジンの温間時には、一括噴射の限界ラインLxよりも負荷Tが高くかつ回転速度Neが高い（高回転かつ高負荷域を含む）第3運転領域A3で、前段噴射P1および後段噴射P2の間に着火アシストを実行する燃焼モード（第1の特定燃焼モード）が実行され、エンジンの準温間時には、上記ラインLxよりも負荷Tが高くかつ回転速度Neが低い（低回転かつ高負荷域を含む）第7運転領域B2で、前段噴射P1の前に着火アシストを実行する燃焼モード（第2の特定燃焼モード）が実行される。このように、着火アシストを用いたC I 燃焼の実行領域を、エンジンの温度条件が低いときには高いときに対して低回転ヘシフトさせるようにした場合には、エンジンの温度条件が低いほど混合気の着火性が悪化することに合わせて、着火アシストが実行される回転速度域を適正に設定することができる。

30

【0133】

また、上記実施形態では、圧縮上死点よりも前の時点で燃焼室6の外周部に混合気が偏在するようなタイミングで前段噴射P1を実行し、この前段噴射P1の後でかつそれに基づくC I 燃焼が終了する前に燃焼室6の中央部に混合気が偏在するようなタイミングで後段噴射P2を実行するようにした。このような構成によれば、前段噴射P1に基づく混合気が燃焼室6の外周部でC I 燃焼し、かつ後段噴射P2に基づく混合気が燃焼室6の中央部でC I 燃焼するため、各噴射P1、P2に基づく混合気（例えば図10の混合気X1、X2）を別々の空間に分離しながら独立して燃焼させることができ、燃焼騒音やスートの増大をより効果的に防止することができる。

40

【0134】

さらに、上記実施形態では、インジェクタ21として、燃焼室6天井の中央部から放射状に燃料（ガソリンを主成分とする燃料）を噴射する多噴口型のインジェクタを設けるとともに、このインジェクタ21と対向するピストン5冠面の中央部に凹状のキャビティ40を設けたため、このキャビティ40を利用して、上記のような混合気の燃焼独立性をより確実に担保することができる。

50

【0135】

より具体的に、上記実施形態では、圧縮行程中に前段噴射 P 1 を実行することにより、その噴射の時点で、上記ピストン 5 のキャビティ 4 0 よりもボア径方向の外側に位置する燃焼室 6 の外周部に、キャビティ 4 0 の内部よりもリッチな混合気を形成するとともに（図 1 0（b）の混合気 X 1）、上記前段噴射 P 1 よりも後の圧縮上死点付近で後段噴射 P 2 を実行することにより、上記キャビティ 4 0 の内部に、上記前段噴射 P 1 の実行時よりもリッチな混合気を形成するようにした（図 1 0（g）の混合気 X 2）。このように、主にキャビティ 4 0 の内と外に分けて混合気を形成し、それらの混合気を圧縮上死点付近で独立して自着火、燃焼させるようにした場合には、上記前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 に分けて噴射された燃料が混じり合って同時に燃焼することがなく、燃焼の独立性が十分に担保されるため、燃焼騒音やスートの増大をより確実に防止することができる。

10

【0136】

特に、上記実施形態では、キャビティ 4 0 よりもボア径方向外側のピストン 5 冠面に環状凹部 4 1 を設けたため、上記前段噴射 P 1 によって噴射された燃料を上記環状凹部 4 1 に導入することにより、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、上記前段噴射 P 1 に基づく混合気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、それらの混合気の燃焼独立性をさらに高めることができる。

20

【0137】

また、上記実施形態では、エンジンの準温間時に、上記第 7 運転領域 B 2（着火アシストを用いた C I 燃焼の実行領域）よりも低負荷側に設定された第 6 運転領域 B 1 で、圧縮上死点よりも十分に早い段階（上記実施形態では吸気行程）で噴射された燃料に基づく均質な混合気に対し予備点火 S' が行われ、それをきっかけに上記混合気の一部が C I 燃焼する。このように、早めに噴射した燃料に基づき均質な混合気を形成し、その状態で予備点火 S' を実行するようにした場合には、エンジンの温度条件が比較的低くしかも負荷 T が低いという条件下において、C I 燃焼を安定的に行わせることができる。

【0138】

また、上記実施形態では、エンジンの準温間時における高回転側の領域（図 4（b）の第 8 運転領域 B 3）と、準温間時よりもさらに温度条件の低い冷間時の全運転領域（図 4（c）の領域 C）とにおいて、点火プラグ 2 0 の火花点火に基づく火炎伝播により混合気を強制的に燃焼させる S I 燃焼が実行される。このような構成によれば、エンジンの温度条件がかなり低いか、もしくはエンジンの温度条件が多少高くても回転速度 N e が高い（そのために燃料の受熱期間が短い）という環境下で、失火を招くことなく安定的に混合気を燃焼させることができる。

30

【0139】

なお、上記実施形態では、エンジンの温度条件を、図 5 に示すように、温間（W 1）、準温間（W 2）、冷間（W 3）の 3 段階に分け、それぞれの段階のときに、図 4（a）～（c）に示した 3 種類の制御マップ A、B、C のいずれかに従ってエンジンを制御するものとしたが、これら制御マップのバリエーションはあくまで一例に過ぎず、他のバリエーションも当然に考えられる。例えば、温間と準温間の間、または準温間と冷間の間に別の段階を規定し、そのような段階では、上記制御マップ A～C とは異なる別の態様の制御マップを使用するようにしてもよい。

40

【0140】

また、上記実施形態では、上記制御マップ A、B、C を使い分ける基準となるエンジンの温度条件を、エンジンの冷却水温 T w および外気温 T a の 2 種類の温度値に基づき特定するようにしたが、エンジンの温度条件を特定するためのパラメータは、混合気の着火性に影響する温度に関するものであればよく、上記冷却水温 T w および外気温 T a の 2 種類に限られない。例えば、エンジンの吸気ポート 9 を通過する空気の温度のみによって、エンジンの温度条件の高低を判断してもよい。つまり、吸気ポート 9 内の空気の温度は、エ

50

ンジン本体 1 の温度（冷却水温 T_w ）と外気温 T_a との両方の影響により変動するものであり、燃焼室 6 に流入する直前の空気の温度であるため、混合気の着火性に直接的に影響する。よって、上記吸気ポート 9 を通過する空気の温度（吸気温度）のみによっても、エンジンの温度条件の高低を判断することが可能である。あるいは、エンジンが搭載される車両の仕向け地が特定の国地域に限られ、外気温 T_a の変動幅が年間を通じてそれほど大きく変わらない場合には、外気温 T_a の影響を無視できるので、エンジンの冷却水温 T_w のみによってエンジンの温度条件の高低を判断してもよい。

【0141】

また、上記実施形態では、図 6～図 8 を用いて、各種運転領域での燃料の噴射時期や着火アシストの時期について例示したが、これらはあくまで一例に過ぎず、上記燃料噴射時期や着火アシストの時期はエンジンの特性等によって適宜変更し得るものである。

10

【0142】

エンジンの温間時に使用される制御マップ A（図 4（a））の第 2 運転領域 A 2 を例に挙げると、この第 2 運転領域 A 2 では、圧縮上死点前 $60 \sim 50^\circ \text{CA}$ 程度の期間内に前段噴射 P 1 を実行するとともに、圧縮上死点后 $0 \sim 10^\circ \text{CA}$ 程度の期間内に後段噴射 P 2 を実行するものとしたが、これら各噴射 P 1、P 2 のタイミングは、インジェクタ 2 1 からの燃料の噴射角（気筒中心軸に対する拡がり角度）やピストン 5 冠面の形状等が異なれば、これに合わせて変更する必要がある。

【0143】

より具体的に説明すると、例えば、インジェクタ 2 1 からの燃料の噴射角が上記実施形態の例よりも小さい場合には、鉛直下向きにより近い角度（つまりインジェクタ 2 1 から遠く離れないとボア径方向の外側に大きく拡がらないような角度）で燃料が噴射されるため、仮にピストン 5 の冠面の形状が上記実施形態と同一であると仮定すると、上記実施形態のときよりも早いタイミングで前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 を実行しなければ、当該各噴射 P 1、P 2 による燃料をそれぞれ所望の場所（燃焼室 6 の外周部およびキャビティ 4 0 の内部）に偏在させることができなくなる。このため、燃料の噴射角が小さい場合は、燃料噴射 P 1、P 2 の時期を早めるとよい。

20

【0144】

ただし、このような噴射角等の相違による影響があるとしても、設定可能な噴射角や、キャビティ 4 0 および環状凹部 4 1 等の配置バランス等を考慮すれば、後段噴射 P 2 は、少なくとも圧縮行程後期から膨張行程初期までの間のいずれかのタイミングで実行する必要があり、前段噴射 P 1 は、上記後段噴射 P 2 よりも前であって、かつ圧縮行程中に実行する必要があると考えられる。

30

【0145】

また、温間時（制御マップ A）の第 3 運転領域 A 3 や準温間時（制御マップ B）の第 7 運転領域 B 2 で実行される着火アシストの時期については、上記前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 の間の所定時期に行われるものであるから、例えば上記のように前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 の時期が変更された場合には、これに合わせて適宜変更すべきものである。

【0146】

また、分割噴射の回数についても、上記のような前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 の 2 回に限るものではない。例えば、前段噴射 P 1 および後段噴射 P 2 の前の予備噴射として、少量の燃料を前段噴射 P 1 よりも前に噴射するようにしてもよい。

40

【0147】

また、温間時の第 1 運転領域 A 1 や、準温間時の第 6 運転領域 B 1 では、吸気行程中の 1 回（燃料噴射 P）で所要量の燃料が噴射されるものとしたが、この一括噴射 P の時期は、圧縮上死点までの間にある程度の燃料の攪拌時間が確保されるようなタイミングであればよく、必ずしも吸気行程中に限られない。ただし、上記一括噴射 P のタイミングは、少なくとも圧縮行程の初期までには行う必要があると考えられる。このため、一括噴射 P 1 のタイミングは、吸気行程の初期から圧縮行程の初期までの間のいずれかということにな

50

る。

【0148】

また、上記実施形態では、インジェクタ21が多噴口型のインジェクタであり、その先端部に12個の噴口が設けられるものとしたが、噴口の数はいくつに限りなく、12個より多くても少なくてもよい。ただし、噴口の数がいかに少なくても、インジェクタ21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、噴口数は8個以上とすることが望ましい。噴口数が8個以上であれば、上記前段噴射P1および後段噴射P2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。

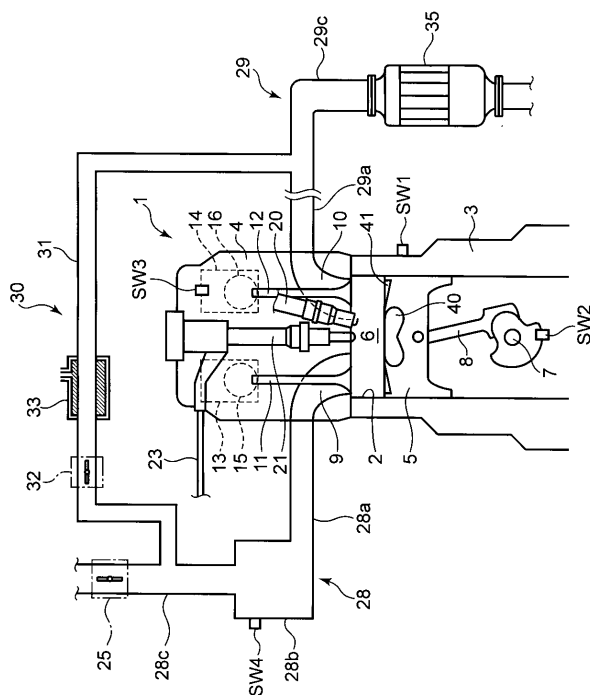
10

【符号の説明】

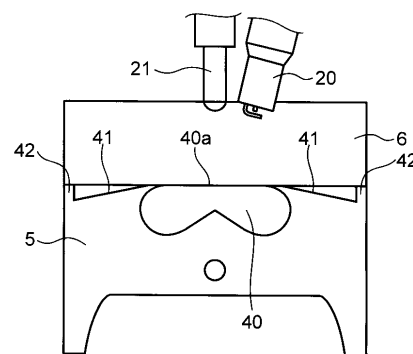
【0149】

- 20 点火プラグ
- 21 インジェクタ
- 50 ECU（制御手段）
- P1 前段噴射
- P2 後段噴射
- Pa アシスト用噴射（着火アシスト用の燃料噴射）
- S アシスト用点火（着火アシスト用の火花点火）

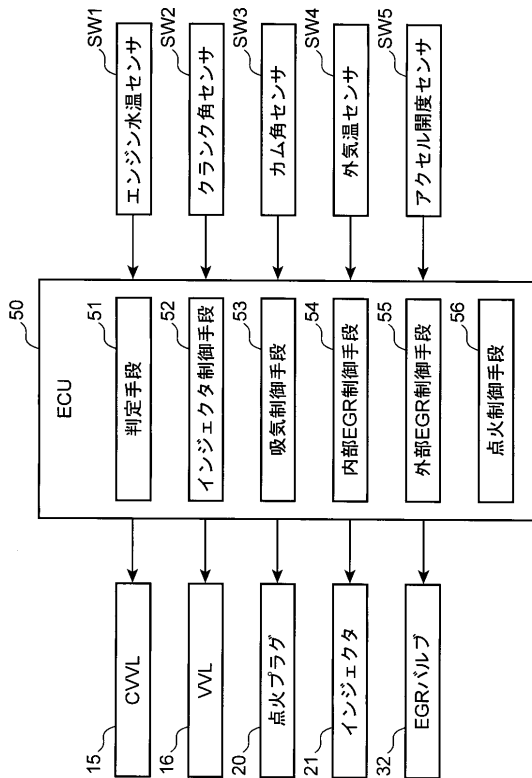
【図1】



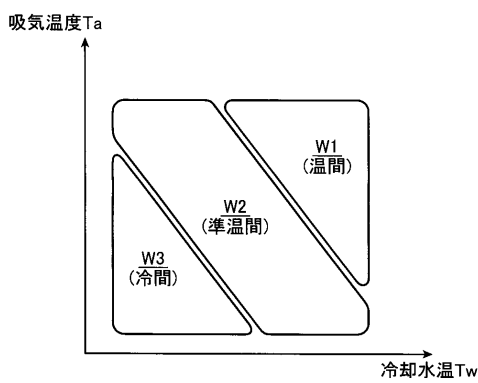
【図2】



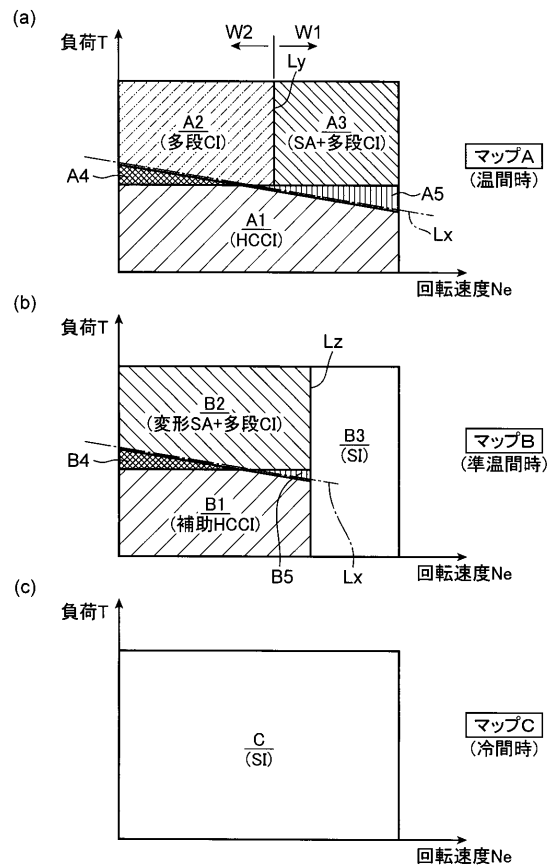
【図 3】



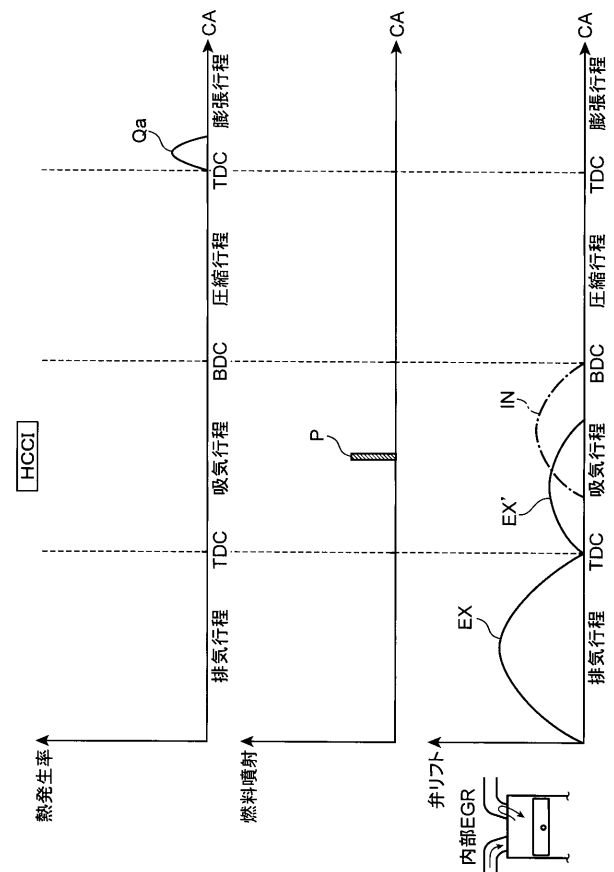
【図 5】



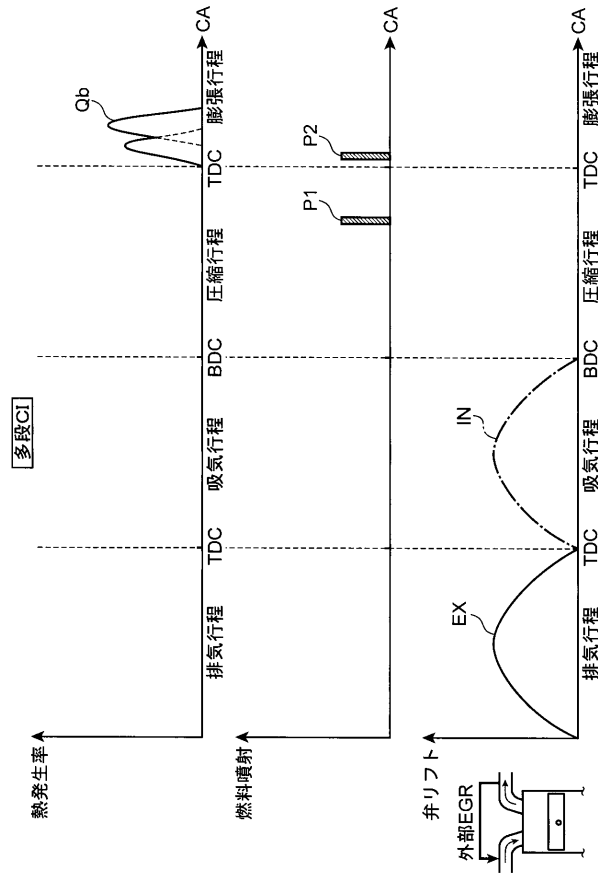
【図 4】



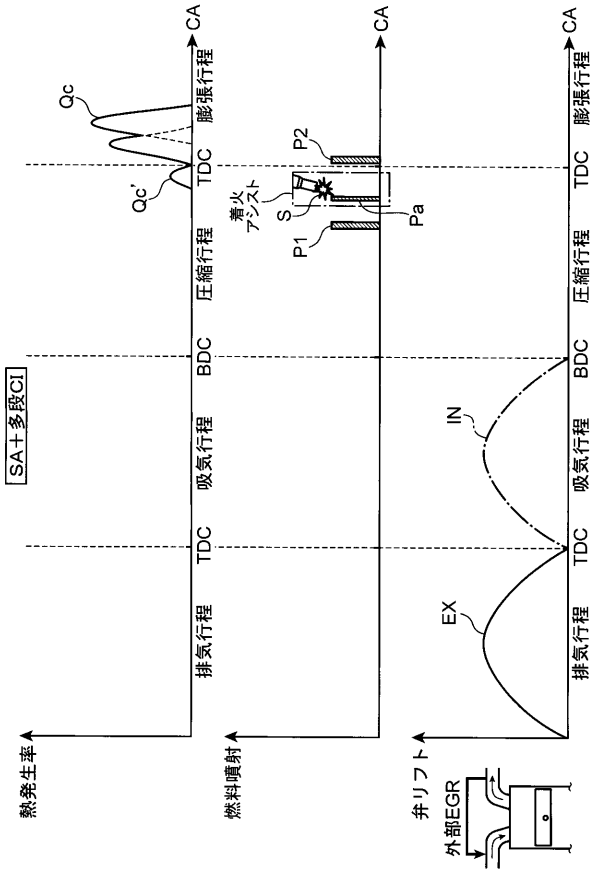
【図 6】



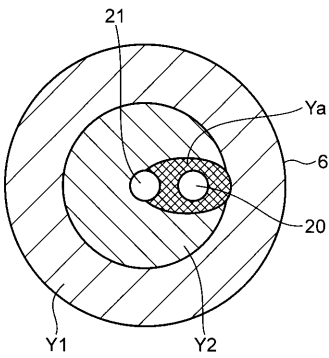
【図 7】



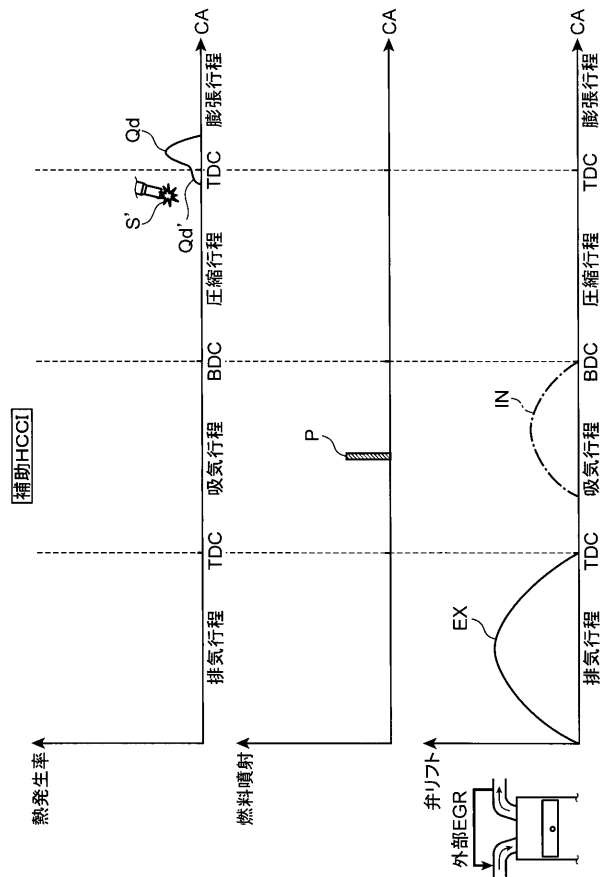
【図 8】



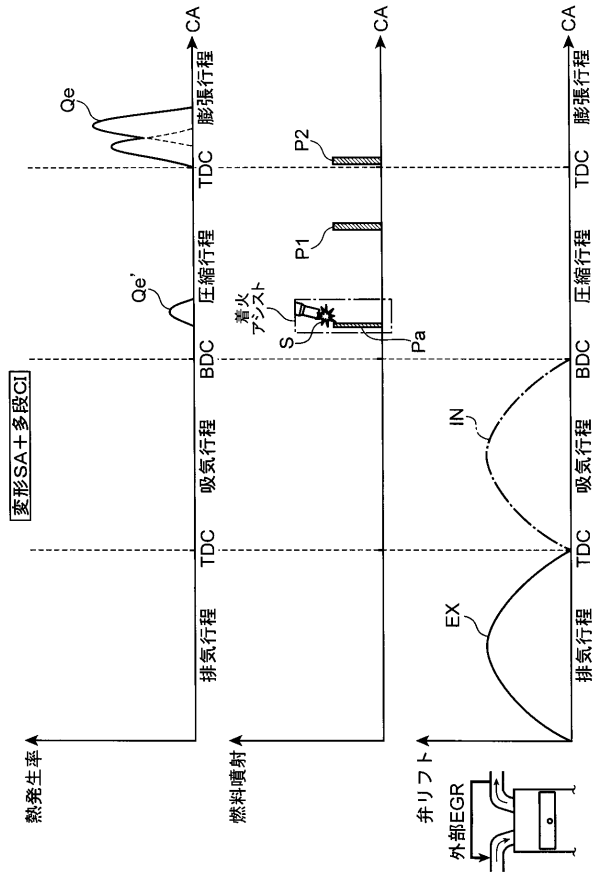
【図 11】



【図 12】



【図 13】



【図 9】

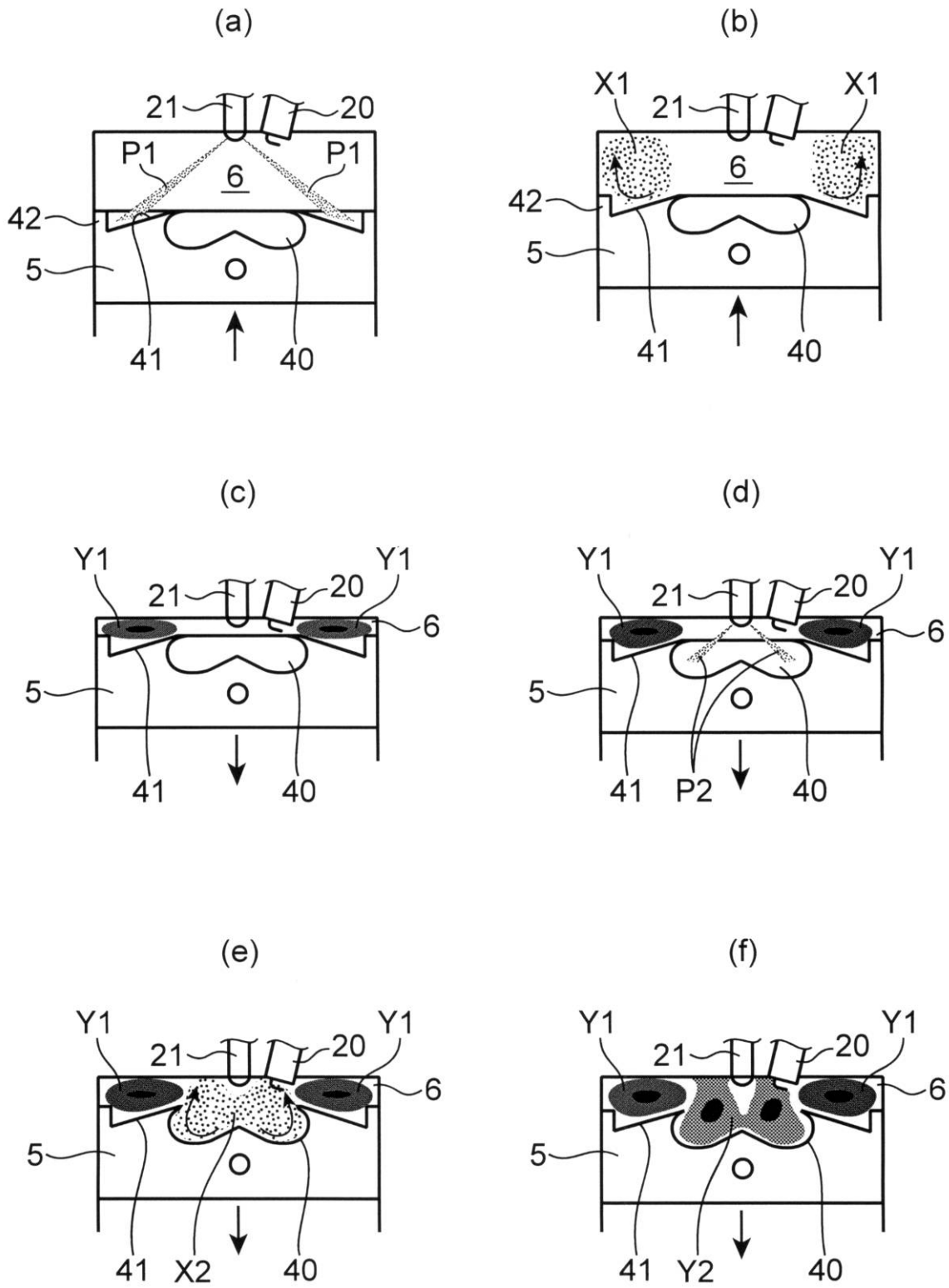


Figure 1 consists of eight cross-sectional views (a) through (h) illustrating the manufacturing process of a semiconductor device. The views show the following components and steps:

- (a)** Initial structure with layers 5, 6, 41, 40, and 42. A central opening O is present in layer 40.
- (b)** Deposition of material X1 (indicated by dotted shading) on the top surface of layer 6.
- (c)** Etching of material X1 to form a pattern S (indicated by a star symbol).
- (d)** Deposition of material Ya (indicated by solid shading) on the top surface of layer 6.
- (e)** Etching of material Ya to form a pattern Y1 (indicated by solid shading).
- (f)** Deposition of material P2 (indicated by dotted shading) on the top surface of layer 6.
- (g)** Etching of material P2 to form a pattern X2 (indicated by dotted shading).
- (h)** Final structure with patterns Y1, X2, and Y2 (indicated by solid shading).

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード (参考)
F 0 2 P 5/15 B

- (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 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 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 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 神長 隆史
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

F ターム (参考) 3G022 AA10 CA06 CA08 CA09 EA01 GA01 GA08 GA09 GA11
3G301 HA01 HA02 HA04 HA13 HA19 JA24 KA09 KA24 KA25 LB04
MA01 MA11 MA18 MA23 PA10Z PA17Z PE03Z PE08Z PF03Z
3G384 AA02 AA06 BA09 BA13 BA18 BA19 BA23 BA26 BA27 CA07
CA17 CA18 DA14 EB03 EB04 EE32 FA06Z FA26Z FA28Z FA58Z
FA61Z FA86Z