

(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2020-176572

(P2020-176572A)

(43) 公開日 令和2年10月29日(2020.10.29)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
FO2D 41/02 (2006.01)	FO2D 41/02 351	3G065
FO2D 45/00 (2006.01)	FO2D 45/00 312Z	3G301
FO2D 43/00 (2006.01)	FO2D 43/00 301H	3G384
FO2D 9/04 (2006.01)	FO2D 43/00 301K	
	FO2D 43/00 301Z	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 29 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2019-80367 (P2019-80367)
 (22) 出願日 平成31年4月19日 (2019.4.19)

(71) 出願人 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 100115381
 弁理士 小谷 昌崇
 (74) 代理人 100133916
 弁理士 佐藤 興
 (72) 発明者 丸山 慶士
 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 大浦 拓也
 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

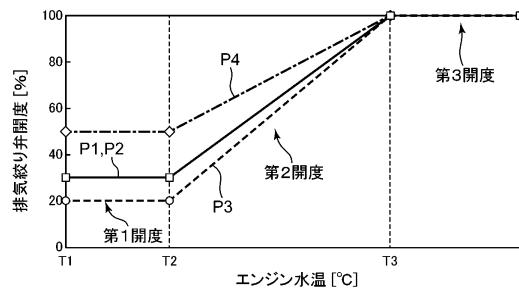
(54) 【発明の名称】 予混合圧縮着火式エンジンの制御装置

(57) 【要約】

【課題】空燃比のリーン化による燃費性能の向上と燃焼安定性の確保とを両立する。

【解決手段】本発明の制御装置は、インジェクタから噴射された燃料を空気と混合しつつ自着火により燃焼させる予混合圧縮着火燃焼が可能なエンジンに適用される。所定の低負荷域でエンジンが運転されているとき、前記制御装置は、所定量以上のバルブオーバーラップ期間が形成されるようにバルブ可変機構を制御するとともに、理論空燃比よりも大きい空燃比を有するA/Fリーンの混合気が燃焼室内に形成されかつ当該混合気が予混合圧縮着火燃焼するようにエンジンの各部を制御する。エンジンの温度パラメータが低いときの排気絞り弁の開度は、温度パラメータが高いときの排気絞り弁の開度よりも低くされる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

燃焼室と、燃焼室に燃料を噴射するインジェクタと、燃焼室に吸気を導入するための吸気ポートを開閉する吸気弁と、燃焼室から排気ガスを排出するための排気ポートを開閉する排気弁と、吸気ポートに接続された吸気通路と、排気ポートに接続された排気通路とを備え、前記インジェクタから噴射された燃料を空気と混合しつつ自着火により燃焼させる予混合圧縮着火燃焼が可能なエンジンを制御する装置であって、

前記燃焼室への空気の導入量を調整する空気量調整部と、

前記吸気弁の開弁期間と前記排気弁の開弁期間とが重複するバルブオーバーラップ期間を変更可能なバルブ可変機構と、

前記排気通路に開閉可能に設けられた排気絞り弁と、

エンジンの暖機が進行するほど高くなる所定の温度パラメータを取得する温度取得部と

、
エンジン負荷が低い低負荷域において、所定量以上の前記バルブオーバーラップ期間が形成されるように前記バルブ可変機構を制御するとともに、理論空燃比よりも大きい空燃比を有する A / F リーンの混合気が前記燃焼室内に形成されかつ当該混合気が予混合圧縮着火燃焼するように、前記インジェクタ、空気量調整部、および排気絞り弁を制御する燃焼制御部とを備え、

前記燃焼制御部は、前記低負荷域での運転時に、前記温度取得部により取得される温度パラメータが低いときの前記排気絞り弁の開度を、前記温度パラメータが高いときの前記排気絞り弁の開度よりも低くする、ことを特徴とする予混合圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の予混合圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記燃焼制御部は、前記低負荷域での運転時に、前記温度パラメータが低いほど前記排気絞り弁の開度を低くする、ことを特徴とする予混合圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の予混合圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記低負荷域での運転時における前記温度パラメータが第 1 閾値以上かつ第 2 閾値未満であるときの前記排気絞り弁の開度を第 1 開度、前記温度パラメータが第 2 閾値以上かつ第 3 閾値未満であるときの前記排気絞り弁の開度を第 2 開度、前記温度パラメータが第 3 閾値以上であるときの前記排気絞り弁の開度を第 3 開度としたとき、前記燃焼制御部は、前記第 1 開度および第 3 開度が前記温度パラメータに拠らず一定となり、前記第 3 開度が前記第 1 開度よりも高くなり、かつ前記第 2 開度が前記第 1 開度と前記第 3 開度との間で前記温度パラメータに比例して高くなるように、前記排気絞り弁を制御する、ことを特徴とする予混合圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の予混合圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記低負荷域における低速側の一部を第 1 低速分割領域、前記低負荷域の一部であって前記第 1 低速分割領域よりも高速側の領域を第 1 高速分割領域としたとき、前記燃焼制御部は、前記温度パラメータが一定の条件下において、前記第 1 高速分割領域での前記排気絞り弁の開度を、前記第 1 低速分割領域での前記排気絞り弁の開度よりも低くする、ことを特徴とする予混合圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の予混合圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記低負荷域における低速側の一部を第 2 低速分割領域、前記低負荷域の一部であって前記第 2 低速分割領域よりも高速側の領域を第 2 高速分割領域としたとき、前記燃焼制御部は、前記温度パラメータが一定の条件下において、前記第 2 高速分割領域での前記バルブオーバーラップ期間が前記第 2 低速分割領域での前記バルブオーバーラップ期間よりも長くなるように前記バルブ可変機構を制御する、ことを特徴とする予混合圧縮着火式エン

10

20

30

40

50

ジンの制御装置。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の予混合圧縮着火式エンジンにおいて、

前記エンジンは、前記燃焼室内の混合気に点火する点火プラグを備え、

前記燃焼制御部は、前記低負荷域での運転時に、前記混合気の一部が前記点火プラグの点火点からの火炎伝播により燃焼しかつその他の混合気が自着火により燃焼する部分圧縮着火燃焼が行われるように、圧縮上死点の近傍の所定のタイミングで前記点火プラグに火花点火を行わせる、ことを特徴とする予混合圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の予混合圧縮着火式エンジンの制御装置において、

10

前記燃焼制御部は、前記低負荷域でエンジンが運転されかつ前記温度パラメータが所定値未満である場合に、吸気行程中に燃料を噴射する早期噴射と圧縮行程後半に燃料を噴射するリタード噴射とを前記インジェクタに実行させ、前記低負荷域でエンジンが運転されかつ前記温度パラメータが前記所定値以上である場合に、前記温度パラメータが前記所定値未満であるときに比べて前記早期噴射の噴射量割合が増えかつ前記リタード噴射の噴射量割合が減るように前記インジェクタを制御する、ことを特徴とする予混合圧縮着火式エンジンの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、燃焼室に噴射された燃料を空気と混合しつつ自着火により燃焼させる予混合圧縮着火燃焼が可能なエンジンを制御する装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、空気と混合されたガソリン燃料を燃焼室内で自着火により燃焼させる予混合圧縮着火燃焼（HCCI燃焼）が注目されている。予混合圧縮着火燃焼は、混合気が同時多発的に燃焼する形態であるため、通常ガソリンエンジンにおいて採用されるSI燃焼（火花点火燃焼）に比べて、混合気の燃焼速度が速く、燃費性能（熱効率）の面で非常に有利だと言われている。

【0003】

30

上記予混合圧縮着火燃焼の一種として、混合気の自着火による燃焼と点火プラグを用いた強制燃焼とを組み合わせた燃焼形式が提案されている。すなわち、火花点火をきっかけに混合気の一部を火炎伝播により強制的に燃焼（SI燃焼）させ、その他の混合気を自着火により燃焼（CI燃焼）させるのである。以下では、このような燃焼のことを部分圧縮着火燃焼という。

【0004】

上記部分圧縮着火燃焼を採用したエンジンの一例として、下記特許文献1のものが知られている。具体的に、この特許文献1のエンジンでは、部分圧縮着火燃焼（同文献中ではSI-CI燃焼と称されている）の実行時に、1サイクル中の全熱発生量に対するSI燃焼による熱発生量の割合であるSI率が、エンジン負荷（目標トルク）に応じて定まる目標値（目標SI率）に一致するように、燃焼室内のEGR率や点火プラグによる火花点火の時期等が制御される。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2018-084183号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ここで、上記特許文献1のエンジンでは、部分圧縮着火燃焼が実行される運転領域にお

50

いて、燃焼室内の空燃比（ A/F ）が理論空燃比（ 14.7 ）の近傍に設定される。これに対し、部分圧縮着火燃焼時の空燃比を理論空燃比よりも十分に大きく（リーンに）することができれば、燃費性能の面でさらに有利になると考えられる。しかしながら、空燃比が理論空燃比よりも大きい環境（ A/F リーン環境）下では、混合気の着火性が低下するため、部分圧縮着火燃焼の安定性を確保しにくいという問題がある。

【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、空燃比のリーン化による燃費性能の向上と燃焼安定性の確保とを両立することが可能な予混合圧縮着火式エンジンの制御装置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】

10

【0008】

前記課題を解決するために、本願発明者は、暖機の進行度合いが異なる種々の温度条件下で、理論空燃比よりも十分に大きい（リーンな）空燃比の混合気を部分圧縮着火燃焼させる実験を行った。特に、暖機が不十分な状況（準温間時）において、排気通路に設けられる排気絞り弁の開度を低下させることにより、燃焼室に残留する排気ガスの割合（内部EGR率）を増大させて燃焼安定性を高めることを検討した。一方、排気絞り弁の開度を低下させると、排気通路を通過する排気ガスの流通抵抗（排気流通抵抗）が増大するので、ポンピングロスが増大して燃費性能が悪化することが懸念される。しかしながら、検討の結果、暖機が不十分な状況であっても、温度条件によっては、空燃比のリーン化による燃費向上代が排気絞り弁の開度低下による燃費悪化代を上回ることが分かった。

20

【0009】

本発明は、前記のような知見に基づきなされたものである。すなわち、本発明は、燃焼室と、燃焼室に燃料を噴射するインジェクタと、燃焼室に吸気を導入するための吸気ポートを開閉する吸気弁と、燃焼室から排気ガスを排出するための排気ポートを開閉する排気弁と、吸気ポートに接続された吸気通路と、排気ポートに接続された排気通路とを備え、前記インジェクタから噴射された燃料を空気と混合しつつ自着火により燃焼させる予混合圧縮着火燃焼が可能なエンジンを制御する装置であって、前記燃焼室への空気の導入量を調整する空気量調整部と、前記吸気弁の開弁期間と前記排気弁の開弁期間とが重複するバルブオーバーラップ期間を変更可能なバルブ可変機構と、前記排気通路に開閉可能に設けられた排気絞り弁と、エンジンの暖機が進行するほど高くなる所定の温度パラメータを取得する温度取得部と、エンジン負荷が低い低負荷域において、所定量以上の前記バルブオーバーラップ期間が形成されるように前記バルブ可変機構を制御するとともに、理論空燃比よりも大きい空燃比を有する A/F リーンの混合気が前記燃焼室内に形成されかつ当該混合気が予混合圧縮着火燃焼するように、前記インジェクタ、空気量調整部、および排気絞り弁を制御する燃焼制御部とを備え、前記燃焼制御部は、前記低負荷域での運転時に、前記温度取得部により取得される温度パラメータが低いときの前記排気絞り弁の開度を、前記温度パラメータが高いときの前記排気絞り弁の開度よりも低くする、ことを特徴とするものである（請求項1）。

30

【0010】

本発明によれば、エンジン温度が相対的に低くかつエンジン負荷が低い状況で A/F リーンの予混合圧縮着火燃焼を行う際に、所定量以上のバルブオーバーラップ期間を形成しつつ排気絞り弁の開度を低下させる制御が実行されるので、当該排気絞り弁の開度低下による排気流通抵抗の増大により、バルブオーバーラップ期間中に排気ポートから燃焼室に引き戻される排気ガスである内部EGRガスの割合（内部EGR率）を十分に増やすことができる。これにより、混合気が着火する前の燃焼室内の温度（筒内温度）が上昇するので、エンジン温度が低くしかも A/F リーンな環境でありながら混合気が着火し易い環境を燃焼室につくり出すことができ、混合気の燃焼安定性を向上させることができる。排気絞り弁の開度低下は排気流通抵抗の増大（ひいてはポンピングロスの増大）につながるため、燃費の面では本来不利であるが、内部EGR率の増大による燃焼安定性の向上が、空燃比のリーン化（それによる燃焼温度の低下やポンピングロスの低下）による効果と組み

40

50

合わさることにより、排気流通抵抗の増大による燃費悪化代を差し引いても余りある燃費向上効果を得ることができる。これにより、例えば燃焼室内の空燃比が理論空燃比の近傍とされるストイキ環境下で混合気を予混合圧縮着火燃焼させた場合と比べて、実質的な燃費性能を向上させることができる。

【 0 0 1 1 】

一方、エンジン温度が相対的に高くかつエンジン負荷が低い状況でA/Fリーンの予混合圧縮着火燃焼を行う際には、排気絞り弁の開度が高められるので、エンジン温度が高く混合気の着火性が改善された状況下で無用に排気通路が絞られるのを回避することができ、燃焼安定性を担保しながら排気流通抵抗を減少させることができる。これにより、暖機が進行したときのポンピングロスが十分に低下するので、燃費性能をより効果的に向上させることができる。

10

【 0 0 1 2 】

好ましくは、前記燃焼制御部は、前記低負荷域での運転時に、前記温度パラメータが低いほど前記排気絞り弁の開度を低くする（請求項2）。

【 0 0 1 3 】

この構成によれば、混合気の着火性を左右するエンジン温度の高低（暖機の進行度合い）に応じて内部EGRガスの量を適切に調整することができる。また、エンジン温度が高くなるほど（着火性が良好になるほど）排気絞り弁の開度が高くなるので、排気流通抵抗（ポンピングロス）を可及的に低減して燃費性能を向上させることができる。

【 0 0 1 4 】

20

前記構成において、より好ましくは、前記低負荷域での運転時における前記温度パラメータが第1閾値以上かつ第2閾値未満であるときの前記排気絞り弁の開度を第1開度、前記温度パラメータが第2閾値以上かつ第3閾値未満であるときの前記排気絞り弁の開度を第2開度、前記温度パラメータが第3閾値以上であるときの前記排気絞り弁の開度を第3開度としたとき、前記燃焼制御部は、前記第1開度および第3開度が前記温度パラメータに拠らず一定となり、前記第3開度が前記第1開度よりも高くなり、かつ前記第2開度が前記第1開度と前記第3開度との間で前記温度パラメータに比例して高くなるように、前記排気絞り弁を制御する（請求項3）。

【 0 0 1 5 】

この構成によれば、着火性が低下する低温条件のときに内部EGR率を最も高くし、温度上昇により着火性が改善するのに従って内部EGR率を徐々に低くし、着火性が良好な高温条件のときに内部EGR率を最も低くすることができる。これにより、温度条件（着火性）の高低に合わせた適切な量の内部EGRガスが燃焼室に導入されるので、幅広い温度範囲において燃焼安定性を良好に確保することができる。

30

【 0 0 1 6 】

前記低負荷域における低速側の一部を第1低速分割領域、前記低負荷域の一部であって前記第1低速分割領域よりも高速側の領域を第1高速分割領域としたとき、前記燃焼制御部は、前記温度パラメータが一定の条件下において、前記第1高速分割領域での前記排気絞り弁の開度を、前記第1低速分割領域での前記排気絞り弁の開度よりも低くすることが好ましい（請求項4）。

40

【 0 0 1 7 】

この構成によれば、前記低負荷域での運転時に、エンジン回転速度に拠らず十分な内部EGR率を確保して燃焼安定性を向上させることができる。例えば、単位時間あたりのクランク角の進行速度が速い高速側の領域では、バルブオーバーラップ期間に相当する実時間が短くなるため、仮にエンジン回転速度に拠らず排気絞り弁の開度を一定にした場合には、前記低負荷域における高速側の一部で十分な内部EGR率が得られず、燃焼安定性を有意に改善できないおそれがある。これに対し、前記構成では、低負荷域における高速側の一部（第1高速分割領域）で排気絞り弁の開度が相対的に低くされるので、バルブオーバーラップ期間に相当する実時間が短い条件でも十分な内部EGRガスを確保することができ、高速側での燃焼安定性が低下する前記のような事態を回避することができる。

50

【 0 0 1 8 】

前記低負荷域における低速側の一部を第2低速分割領域、前記低負荷域の一部であって前記第2低速分割領域よりも高速側の領域を第2高速分割領域としたとき、前記燃焼制御部は、前記温度パラメータが一定の条件下において、前記第2高速分割領域での前記バルブオーバーラップ期間が前記第2低速分割領域での前記バルブオーバーラップ期間よりも長くなるように前記バルブ可変機構を制御することが好ましい（請求項5）。

【 0 0 1 9 】

この構成によれば、内部EGR率の確保に不利な高速側においてバルブオーバーラップ期間を拡大することにより、エンジン回転速度に拠らず十分な内部EGR率を確保して燃焼安定性を向上させることができる。

10

【 0 0 2 0 】

好ましくは、前記エンジンは、前記燃焼室内の混合気に点火する点火プラグを備え、前記燃焼制御部は、前記低負荷域での運転時に、前記混合気の一部が前記点火プラグの点火点からの火炎伝播により燃焼しかつその他の混合気が自着火により燃焼する部分圧縮着火燃焼が行われるように、圧縮上死点の近傍の所定のタイミングで前記点火プラグに火花点火を行わせる（請求項6）。

【 0 0 2 1 】

このように、点火プラグによる火花点火をきっかけに混合気の一部を火炎伝播により燃焼させるようにした場合には、火花点火の時期に応じて混合気の着火時期を的確に調整することができ、外部環境や負荷等の変動にかかわらず安定した出力を発揮する実用性に優れたエンジンを実現することができる。

20

【 0 0 2 2 】

前記構成において、より好ましくは、前記燃焼制御部は、前記低負荷域でエンジンが運転されかつ前記温度パラメータが所定値未満である場合に、吸気行程中に燃料を噴射する早期噴射と圧縮行程後半に燃料を噴射するリタード噴射とを前記インジェクタに実行させ、前記低負荷域でエンジンが運転されかつ前記温度パラメータが前記所定値以上である場合に、前記温度パラメータが前記所定値未満であるときに比べて前記早期噴射の噴射量割合が増えかつ前記リタード噴射の噴射量割合が減るように前記インジェクタを制御する（請求項7）。

【 0 0 2 3 】

この構成によれば、点火プラグ周りの混合気が相対的にリッチになるように成層化された混合気が燃焼室に形成されるので、点火プラグの火花点火に伴う火炎伝播の発生（SI燃焼）を促進してSPCCI燃焼を安定化させることができる。このことは、上述した排気絞り弁の開度低下（それによる内部EGR率の増大）による効果と相俟って、エンジン温度が比較的低いときの燃焼安定性をさらに向上させるので、空燃比のリーン化による燃費性能の向上と燃焼安定性の確保とを高次元に両立することができる。

30

【 発明の効果 】

【 0 0 2 4 】

以上説明したように、本発明の予混合圧縮着火式エンジンの制御装置によれば、空燃比のリーン化による燃費性能の向上と燃焼安定性の確保とを両立することができる。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 5 】

【 図 1 】 本発明の一実施形態にかかる圧縮着火式エンジンの全体構成を概略的に示すシステム図である。

【 図 2 】 エンジン本体の断面図とピストンの平面図とを併せて示した図である。

【 図 3 】 吸気弁および排気弁のリフトカーブを示す図である。

【 図 4 】 エンジンの制御システムを示すブロック図である。

【 図 5 】 エンジンの運転領域を燃焼形態の相違により分け分けした運転マップである。

【 図 6 】 SPCCI燃焼（部分圧縮着火燃焼）時の熱発生率の波形を示すグラフである。

【 図 7 】 エンジンの運転中に実行される制御動作を説明するためのフローチャートである

50

。

【図 8】図 7 のステップ S 3 の具体的手順を示すサブルーチンである。

【図 9】エンジンの第 1 運転領域（低負荷域）において実行される燃料噴射および火花点火のパターンを示すタイムチャートであり、(a) ~ (c) はエンジン水温が異なる各条件でのパターンを示している。

【図 10】上記第 1 運転領域での運転時に排気絞り弁の開度を決定する際に使用されるマップの具体例を示す図である。

【図 11】エンジン水温と排気絞り弁の開度との関係を示すグラフである。

【図 12】上記第 1 運転領域での運転時にバルブオーバーラップ期間を決定する際に使用されるマップの具体例を示す図である。

10

【図 13】エンジン水温とバルブオーバーラップ期間との関係を示すグラフである。

【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 および図 2 は、本発明の制御装置が適用された圧縮着火式エンジン（以下、単にエンジンともいう）の好ましい実施形態を示す図である。本図に示されるエンジンは、走行用の動力源として車両に搭載された 4 サイクルのガソリン直噴エンジンであり、エンジン本体 1 と、エンジン本体 1 に導入される吸気が流通する吸気通路 30 と、エンジン本体 1 から排出される排気ガスが流通する排気通路 40 と、排気通路 40 を流通する排気ガスの一部を吸気通路 30 に還流する外部 EGR 装置 50 を備えている。

20

【0027】

エンジン本体 1 は、気筒 2 が内部に形成されたシリンダブロック 3 と、気筒 2 を上から閉塞するようにシリンダブロック 3 の上面に取り付けられたシリンダヘッド 4 と、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 は、典型的には複数の（例えば 4 つの）気筒を有する多気筒型のものであるが、ここでは簡略化のため、1 つの気筒 2 のみに着目して説明を進める。

【0028】

ピストン 5 の上方には燃焼室 6 が画成されており、この燃焼室 6 には、ガソリンを主成分とする燃料が、後述するインジェクタ 15 からの噴射によって供給される。そして、供給された燃料が燃焼室 6 で空気と混合されつつ燃焼し、その燃焼による膨張力を受けてピストン 5 が上下方向に往復運動する。

30

【0029】

ピストン 5 の下方には、エンジン本体 1 の出力軸であるクランク軸 7 が設けられている。クランク軸 7 は、ピストン 5 とコネクティングロッド 8 を介して連結され、ピストン 5 の往復運動（上下運動）に応じて中心軸回りに回転駆動される。

【0030】

気筒 2 の幾何学的圧縮比、つまりピストン 5 が上死点にあるときの燃焼室 6 の容積とピストン 5 が下死点にあるときの燃焼室 6 の容積との比は、後述する S P C C I 燃焼（部分圧縮着火燃焼）に好適な値として、1.4 以上 2.0 以下、好ましくは 1.6 以上 1.8 以下に設定される。

40

【0031】

シリンダブロック 3 には、クランク軸 7 の回転角度（クランク角）およびクランク軸 7 の回転速度（エンジン回転速度）を検出するクランク角センサ S N 1 と、シリンダブロック 3 およびシリンダヘッド 4 の内部を流通する冷却水の温度（エンジン水温）を検出する水温センサ S N 2 とが設けられている。なお、水温センサ S N 2 は、本発明における「温度取得部」の一例に該当する。また、水温センサ S N 2 により検出されるエンジン水温は、エンジンの暖機が進行するほど高くなるパラメータであり、本発明における「温度パラメータ」の一例に該当する。

【0032】

シリンダヘッド 4 には、吸気通路 30 から供給される空気を燃焼室 6 に導入するための

50

吸気ポート 9 と、燃焼室 6 で生成された排気ガスを排気通路 40 に導出するための排気ポート 10 と、吸気ポート 9 の燃焼室 6 側の開口を開閉する吸気弁 11 と、排気ポート 10 の燃焼室 6 側の開口を開閉する排気弁 12 とが設けられている。なお、当実施形態のエンジンのバルブ形式は、図 2 に示すように、吸気 2 バルブ × 排気 2 バルブの 4 バルブ形式である。すなわち、当実施形態では、1 つの気筒 2 の燃焼室 6 に対し吸気ポート 9 および排気ポート 10 が 2 つずつ開口している。また、これに対応して、吸気弁 11 および排気弁 12 が 1 つの気筒 2 につき 2 つずつ設けられている。

【0033】

吸気弁 11 および排気弁 12 は、シリンダヘッド 4 に配設された一对のカム軸等を含む動弁機構により、クランク軸 7 の回転に連動して開閉駆動される。

10

【0034】

吸気弁 11 用の動弁機構には、吸気弁 11 の開閉時期を変更可能な吸気 V V T 13 が内蔵されている。同様に、排気弁 12 用の動弁機構には、排気弁 12 の開閉時期を変更可能な排気 V V T 14 が内蔵されている。吸気 V V T 13 (排気 V V T 14) は、いわゆる位相式の可変機構であり、吸気弁 11 (排気弁 12) の開弁時期および閉弁時期を同時にかつ同量だけ変更する。これら吸・排気 V V T 13, 14 は、本発明における「バルブ可変機構」の一例に該当する。

【0035】

図 3 は、吸気弁 11 および排気弁 12 のリフトカーブを示す図である (IN は吸気弁 11 のリフトカーブを、EX は排気弁 12 のリフトカーブをそれぞれ示している)。本図に示すように、吸気弁 11 および排気弁 12 は、排気上死点 (図 3 中の TDC) を跨いで開弁期間が重複するように駆動されることがある。この重複期間、つまり吸気弁 11 および排気弁 12 の双方が開弁する期間は、バルブオーバーラップ期間と呼ばれる。バルブオーバーラップ期間は、上述した吸気 V V T 13 および排気 V V T 14 の制御により調整することが可能である。図 3 における実線の波形は、バルブオーバーラップ期間が比較的長くされた場合を例示しており、この場合には、排気上死点 (TDC) 以降の吸気行程の初期まで排気弁 12 の開弁が継続されることにより、排気ポート 10 から燃焼室 6 へと既燃ガス (排気ガス) が引き戻されて、内部 EGR が実現される。逆に、破線の波形として示すように、バルブオーバーラップ期間が短縮された場合には、上記のように排気ポート 10 から引き戻される (残留する) 既燃ガスの量が減少する結果、内部 EGR が抑制または停止される。なお、バルブオーバーラップ期間の拡大または短縮は、吸気弁 11 および排気弁 12 の双方の開閉時期が変更されることにより (言い換えると吸気 V V T 13 および排気 V V T 14 の双方が駆動されることにより) 実現される。

20

30

【0036】

図 1 および図 2 に示すように、シリンダヘッド 4 には、燃焼室 6 に燃料 (ガソリン) を噴射するインジェクタ 15 と、インジェクタ 15 から燃焼室 6 に噴射された燃料と吸入空気とが混合された混合気に点火する点火プラグ 16 とが設けられている。

【0037】

図 2 に示すように、ピストン 5 の冠面には、その中央部を含む比較的広い領域をシリンダヘッド 4 とは反対側 (下方) に凹陷させたキャビティ 20 が形成されている。また、ピストン 5 の冠面におけるキャビティ 20 よりも径方向外側には、円環状の平坦面からなるスキッシュ部 21 が形成されている。

40

【0038】

インジェクタ 15 は、その先端部に複数の噴孔を有した多噴孔型のインジェクタであり、当該複数の噴孔から放射状に燃料を噴射することが可能である (図 2 中の F は各噴孔から噴射された燃料の噴霧を表している)。インジェクタ 15 は、その先端部がピストン 5 の冠面の中心部 (キャビティ 20 の底部中央) と対向するように、燃焼室 6 の天井面の中心部に配置されている。

【0039】

詳細な図示を省略するが、インジェクタ 15 は、全気筒 2 に共通の燃料レールに燃料供

50

給管を介して接続されている。燃料レール内には、図外の燃料ポンプにより加圧された高圧の燃料が貯留されている。そして、この燃料レール内に貯留された燃料が各気筒 2 のインジェクタ 15 に供給されることにより、各インジェクタ 15 から比較的高い圧力（例えば 20 MPa を超える圧力）で燃料が燃焼室 6 内に噴射される。

【0040】

上記燃料ポンプと燃料レールとの間には、インジェクタ 15 に供給される燃料の圧力（燃圧）を変更するための燃圧レギュレータ 17（図 4）が設けられている。

【0041】

点火プラグ 16 は、インジェクタ 15 に対し吸気側に幾分ずれた位置に配置されている。点火プラグ 16 の先端部（電極部）の位置は、キャピティ 20 と平面視で重複するように設定されている。

10

【0042】

図 1 に示すように、吸気通路 30 は、吸気ポート 9 と連通するようにシリンダヘッド 4 の一側面に接続されている。吸気通路 30 の上流端から取り込まれた空気（新気）は、吸気通路 30 および吸気ポート 9 を通じて燃焼室 6 に導入される。

【0043】

吸気通路 30 には、その上流側から順に、吸気中の異物を除去するエアクリーナ 31 と、吸気の流量を調整する開閉可能なスロットル弁 32 と、吸気を圧縮しつつ送り出す過給機 33 と、過給機 33 により圧縮された吸気を冷却するインタークーラ 35 と、サージタンク 36 とが設けられている。なお、スロットル弁 32 は、本発明における「空気量調整部」の一例に該当する。ただし、本実施形態において、燃焼室 6 への空気の導入量は、上述した吸・排気 VVT 13, 14 によるバルブタイミングの変更や、後述する EGR 弁 53 の開閉によっても増減する。このため、当実施形態では、これらスロットル弁 32、吸・排気 VVT 13, 14、および EGR 弁 53 の組合せが、上記「空気量調整部」に相当する。

20

【0044】

吸気通路 30 の各部には、吸気の流量を検出するエアフローセンサ SN3 と、吸気の温度を検出する吸気温センサ SN4 と、吸気の圧力を検出する吸気圧センサ SN5 とが設けられている。エアフローセンサ SN3 および吸気温センサ SN4 は、吸気通路 30 におけるエアクリーナ 31 とスロットル弁 32 との間の部位に設けられ、当該部位を通過する吸気の流量および温度を検出する。吸気圧センサ SN5 は、サージタンク 36 に設けられ、当該サージタンク 36 内の吸気の圧力を検出する。

30

【0045】

過給機 33 は、エンジン本体 1 と機械的に連係された機械式の過給機（スーパーチャージャ）である。過給機 33 の具体的な形式は特に問わないが、例えばリシオルム式、ルーツ式、または遠心式といった公知の過給機のいずれかを過給機 33 として用いることができる。

【0046】

過給機 33 とエンジン本体 1 との間には、締結 / 解放を電氣的に切り替えることが可能な電磁クラッチ 34 が介設されている。電磁クラッチ 34 が締結されると、エンジン本体 1 から過給機 33 に駆動力が伝達されて、過給機 33 による過給が行われる。一方、電磁クラッチ 34 が解放されると、上記駆動力の伝達が遮断されて、過給機 33 による過給が停止される。

40

【0047】

吸気通路 30 には、過給機 33 をバイパスするためのバイパス通路 38 が設けられている。バイパス通路 38 は、サージタンク 36 と後述する EGR 通路 51 とを互いに接続している。バイパス通路 38 には開閉可能なバイパス弁 39 が設けられている。

【0048】

排気通路 40 は、排気ポート 10 と連通するようにシリンダヘッド 4 の他側面（吸気通路 30 とは反対側の面）に接続されている。燃焼室 6 で生成された既燃ガスは、排気ポー

50

ト 1 0 および排気通路 4 0 を通じて外部に排出される。

【 0 0 4 9 】

排気通路 4 0 には触媒コンバータ 4 1 が設けられている。触媒コンバータ 4 1 には、排気通路 4 0 を流通する排気ガス中に含まれる有害成分 (H C 、 C O 、 N O x) を浄化するための三元触媒 4 1 a と、排気ガス中に含まれる粒子状物質 (P M) を捕集するための G P F (ガソリン・パティキュレート・フィルタ) 4 1 b とが内蔵されている。

【 0 0 5 0 】

排気通路 4 0 における触媒コンバータ 4 1 よりも上流側には、排気絞り弁 4 2 が開閉可能に設けられている。また、排気通路 4 0 における排気絞り弁 4 2 と触媒コンバータ 4 1 との間の部位には、排気ガス中の酸素濃度を検出する A / F センサ S N 6 が設けられている。

10

【 0 0 5 1 】

外部 E G R 装置 5 0 は、排気通路 4 0 と吸気通路 3 0 とを接続する E G R 通路 5 1 と、E G R 通路 5 1 に設けられた E G R クーラ 5 2 および E G R 弁 5 3 とを有している。E G R 通路 5 1 は、排気通路 4 0 における触媒コンバータ 4 1 よりも下流側の部位と、吸気通路 3 0 におけるスロットル弁 3 2 と過給機 3 3 との間の部位とを互いに接続している。E G R クーラ 5 2 は、E G R 通路 5 1 を通じて排気通路 4 0 から吸気通路 3 0 に還流される排気ガス (外部 E G R ガス) を熱交換により冷却する。E G R 弁 5 3 は、E G R クーラ 5 2 よりも下流側 (吸気通路 3 0 に近い側) の E G R 通路 5 1 に開閉可能に設けられ、E G R 通路 5 1 を流通する排気ガスの流量を調整する。

20

【 0 0 5 2 】

(2) 制御系統

図 4 は、エンジンの制御系統を示すブロック図である。本図に示される P C M 1 0 0 は、エンジン等を統括的に制御するためのマイクロプロセッサであり、周知の C P U 、 R O M 、 R A M 等から構成されている。

【 0 0 5 3 】

P C M 1 0 0 には各種センサによる検出信号が入力される。例えば、P C M 1 0 0 は、上述したクランク角センサ S N 1 、水温センサ S N 2 、エアフローセンサ S N 3 、吸気温センサ S N 4 、吸気圧センサ S N 5 、A / F センサ S N 6 と電氣的に接続されており、これらのセンサによって検出された情報 (つまりクランク角、エンジン回転速度、エンジン水温、吸気流量、吸気温、吸気圧、排気酸素濃度) が P C M 1 0 0 に逐次入力されるようになっている。

30

【 0 0 5 4 】

また、車両には、当該車両を運転するドライバーにより操作されるアクセルペダルの開度 (以下、アクセル開度という) を検出するアクセルセンサ S N 7 と、車両の走行速度 (以下、車速という) を検出する車速センサ S N 8 とが設けられており、これらのセンサ S N 7 , S N 8 による検出信号も P C M 1 0 0 に逐次入力される。

【 0 0 5 5 】

P C M 1 0 0 は、上記各センサからの入力情報に基づいて種々の判定や演算等を実行しつつエンジンの各部を制御する。すなわち、P C M 1 0 0 は、吸・排気 V V T 1 3 , 1 4 、インジェクタ 1 5 、点火プラグ 1 6 、燃圧レギュレータ 1 7 、スロットル弁 3 2 、電磁クラッチ 3 4 、バイパス弁 3 9 、排気絞り弁 4 2 、および E G R 弁 5 3 等と電氣的に接続されており、上記演算等の結果に基づいてこれらの機器にそれぞれ制御用の信号を出力する。

40

【 0 0 5 6 】

具体的に、P C M 1 0 0 は、判定部 1 0 1 、燃焼制御部 1 0 2 、および記憶部 1 0 3 を機能的に有している。

【 0 0 5 7 】

燃焼制御部 1 0 2 は、燃焼室 6 での混合気の燃焼を制御する制御モジュールであり、エンジンの出力トルク等がドライバーの要求に応じた適切な値となるようにエンジンの各部

50

を制御する。判定部 101 は、燃焼制御部 102 による制御の内容を決定するのに必要な種々の判定を行うための制御モジュールである。記憶部 103 は、判定部 101 および燃焼制御部 102 での処理に必要な各種データを記憶するものである。

【0058】

(3) 運転状態に応じた制御

図5は、エンジン水温 T が予め定められた第1閾値 T_1 以上の条件で使用される運転マップであり、エンジンの回転速度/負荷に応じた制御の相違を示す図である。なお、当実施形態において、第1閾値 T_1 は70 に設定される。

【0059】

図5に示すように、エンジン水温 T が第1閾値 T_1 (70) 以上であるとき、エンジンの運転領域は、燃焼形態の相違によって4つの運転領域 $A_1 \sim A_4$ に大別される。それぞれ第1運転領域 A_1 、第2運転領域 A_2 、第3運転領域 A_3 、第4運転領域 A_4 とすると、第3運転領域 A_3 は、エンジン回転速度が第1速度 N_1 未満となる極低速域であり、第4運転領域 A_4 は、エンジン回転速度が第3速度 N_3 以上となる高速域であり、第1運転領域 A_1 は、第3・第4運転領域 A_3, A_4 以外の速度域(低・中速領域)のうち負荷が比較的低い低速・低負荷の領域であり、第2運転領域 A_2 は、第1、第3、第4運転領域 A_1, A_3, A_4 以外の残余の領域である。

【0060】

第1運転領域 A_1 は、本発明における「低負荷域」に相当している。図5の例によれば、第1運転領域 A_1 は、第2運転領域 A_2 の内側に位置する略矩形形状の領域とされ、第2運転領域 A_2 の下限速度である第1速度 N_1 と、第2運転領域 A_2 の上限速度(第3速度 N_3) よりも低い第2速度 N_2 と、エンジンの最低負荷よりも高い第1負荷 L_1 と、第1負荷 L_1 よりも高い第2負荷 L_2 とに囲まれている。この第1運転領域 A_1 の上限負荷である第2負荷 L_2 は、過給機33が駆動される下限の負荷である第3負荷 L_3 よりもやや低い値に設定されている。すなわち、第1運転領域 A_1 は、過給機33による過給が行われる過給領域とは重複しないように設定されている。

【0061】

以下、上記第1～第4運転領域 $A_1 \sim A_4$ における燃焼制御の概要について説明する。

【0062】

(3-1) 第1運転領域

低速かつ低負荷の第1運転領域 A_1 では、 SI 燃焼と CI 燃焼とを組み合わせた部分圧縮着火燃焼(以下、これを $SPCCI$ 燃焼という)が実行される。 SI 燃焼とは、点火プラグ16から発生する火花により混合気に点火し、その点火点から周囲へと燃焼領域を拡げていく火炎伝播により混合気を強制的に燃焼させる燃焼形態のことであり、 CI 燃焼とは、ピストン5の圧縮等により十分に高温・高圧化された環境下で混合気を自着火により燃焼させる燃焼形態のことである。そして、これら SI 燃焼と CI 燃焼とを組み合わせた $SPCCI$ 燃焼とは、混合気が自着火する寸前の環境下で行われる火花点火により燃焼室6内の混合気の一部を SI 燃焼させ、当該 SI 燃焼の後に(SI 燃焼に伴うさらなる高温・高圧化により)燃焼室6内の他の混合気を自着火により CI 燃焼させる、という燃焼形態のことである。なお、「 $SPCCI$ 」は「Spark Controlled Compression Ignition」の略である。

【0063】

図6は、上記のような $SPCCI$ 燃焼が行われた場合の燃焼波形、つまりクランク角による熱発生率(J/deg)の変化を示したグラフである。本図に示すように、 $SPCCI$ 燃焼では、 SI 燃焼による熱発生と CI 燃焼による熱発生とがこの順に連続して発生する。このとき、 CI 燃焼の方が燃焼速度が速いという性質上、 SI 燃焼時よりも CI 燃焼時の方が熱発生の立ち上がりが急峻になる。このため、 $SPCCI$ 燃焼における熱発生率の波形は、 SI 燃焼から CI 燃焼に切り替わるタイミング(後述する ci) で現れる変曲点 X を有している。

【0064】

10

20

30

40

50

上記のようなSPCCI燃焼の具体的形態として、第1運転領域A1では、理論空燃比よりも大きい空燃比を有するA/Fリーンの混合気を燃焼室6内に形成しつつ当該混合気をSPCCI燃焼させる制御、言い換えると $\lambda > 1$ (λ は空気過剰率)の混合気をSPCCI燃焼させる制御が実行される。このようなA/FリーンのSPCCI燃焼を実現するため、第1運転領域A1では、PCM100によってエンジンの各部が次のように制御される。

【0065】

スロットル弁32の開度は、理論空燃比相当の空気量よりも多くの空気が吸気通路30を通じて燃焼室6に導入されるような比較的大きな値に設定される。すなわち、第1運転領域A1では、吸気通路30を通じて燃焼室6に導入される空気(新気)と、インジェクタ15から燃焼室6に噴射される燃料との重量比である空燃比(A/F)の目標値が、理論空燃比(14.7)よりも大きい値、例えば20~35程度に設定される。そして、この空燃比の目標値(目標空燃比)と、A/FセンサSN6により検出される排気ガス中の酸素濃度等に基づいて、燃焼室6内の空燃比を上記目標空燃比に一致させ得るスロットル弁32の開度が決定され、この決定に従ってスロットル弁32が制御される。

10

【0066】

過給機33は停止される。すなわち、第1運転領域A1は、過給を要する負荷域の下限である第3負荷L3よりも低負荷側に位置するので、過給機33による過給は不要である。そこで、第1運転領域A1では、電磁クラッチ34が解放されて過給機33とエンジン本体1との連結が解除されるとともに、バイパス弁39が全開とされることにより、過給機33による過給が停止される。

20

【0067】

ここで、SI燃焼とCI燃焼とを組み合わせたSPCCI燃焼では、SI燃焼とCI燃焼との比率を運転条件に応じてコントロールすることが重要である。そこで、当実施形態では、SPCCI燃焼(SI燃焼およびCI燃焼)による全熱発生量に対するSI燃焼による熱発生量の割合であるSI率に着目し、このSI率が適正な値になるようにエンジンの各部を制御する。

【0068】

上記SI率を図6を用いて説明する。図6において、燃焼形態がSI燃焼からCI燃焼に切り替わる変曲点Xに対応するクランク角 c_i をCI燃焼の開始時期とする。この場合、SI燃焼による熱発生量は、当該 c_i (CI燃焼の開始時期)よりも進角側の熱発生率の波形の面積R1に相当し、CI燃焼による熱発生量は、当該 c_i よりも遅角側に位置する熱発生率の波形の面積R2に相当するとみなすことができる。そして、上記SI率は、これら各面積R1, R2を用いて、 $R1 / (R1 + R2)$ と定義することができる。

30

【0069】

SPCCI燃焼が行われる第1運転領域A1では、上述したSI率および c_i が予め定められた目標値に一致するように、エンジンの各部が制御される。すなわち、第1運転領域A1では、エンジン負荷/回転速度が異なる種々の条件ごとに、SI率の目標値である目標SI率と c_i の目標値である目標 c_i とがそれぞれ定められている。そして、インジェクタ15からの燃料の噴射量/噴射時期、点火プラグ16による火花点火の時期(点火時期)、およびEGR率(外部EGR率および内部EGR率)といった複数の制御量が、上記目標SI率および目標 c_i を実現可能な組合せとなるように制御される。なお、外部EGR率とは、燃焼室6内の全ガスのうち外部EGRガス(EGR通路51を通じて燃焼室6に還流される排気ガス)が占める重量割合のことであり、内部EGR率とは、燃焼室6内の全ガスのうち内部EGRガス(内部EGRにより燃焼室6に残留する既燃ガス)が占める重量割合のことである。

40

【0070】

例えば、燃料の噴射量/噴射時期は、上記目標SI率および目標 c_i を考慮して予め定められたマップにより決定される。また、外部EGR率および内部EGR率については

50

、両 EGR 率の主な影響因子である吸・排気弁 11, 12 の開閉タイミング（オーバーラップ期間）と、EGR 弁 53 の開度とが、やはり上記目標 S I 率および目標 c_i を考慮して定められたマップにより決定される。

【0071】

一方、点火プラグ 16 による火花点火の時期（点火時期）は、所定のモデル式を用いた演算により、上記目標 S I 率および目標 c_i が得られるような時期に決定される。

【0072】

ここで、第 1 運転領域 A 1 では、1 燃焼サイクルあたり複数回（ここでは 2 回）の火花点火が実行される。すなわち、第 1 運転領域 A 1 では、A/F リーン環境下でも十分な着火安定性を確保するために、後述する図 9 に示すように、混合気を強制着火させるための通常（圧縮上死点の近傍で実行される）火花点火である主点火 S a に加えて、当該主点火よりも早い時期に火花を発生させる先行点火 S b が実行される。この場合に、上記モデル式を用いて決定されるのは主点火 S a の時期である。なお、先行点火 S b の時期については、燃料の噴射時期やエンジン水温等から適宜決定される。

10

【0073】

以上のように、第 1 運転領域 A 1 では、予め定められたマップとモデル式を用いた演算とを組み合わせた方法により、点火時期（主点火および先行点火の時期）、燃料の噴射量 / 噴射時期、吸・排気弁 11, 12 の開閉タイミング、および EGR 弁 53 の開度が、運転条件ごとに予め定められた適正な S I 率および c_i （目標 S I 率および目標 c_i ）が得られる組合せとなるように制御される。

20

【0074】

（3 - 2）第 2 運転領域

第 1 速度 N 1 以上かつ第 3 速度 N 3 未満の速度域（低・中速領域）のうち上記第 1 運転領域 A 1 を除いた領域である第 2 運転領域 A 2 でも、混合気を S P C C I 燃焼により燃焼させる制御が実行される。ただし、第 2 運転領域 A 2 では、上記第 1 運転領域 A 1 のときと異なり、燃焼室 6 内の空燃比（A/F）が理論空燃比の近傍に設定されるとともに、点火プラグ 16 による火花点火の回数が 1 サイクル当たり 1 回に制限される。

【0075】

すなわち、第 2 運転領域 A 2 では、スロットル弁 32 の開度が、理論空燃比相当の空気量が吸気通路 30 を通じて燃焼室 6 に導入されるような開度、つまり、燃焼室 6 内の空気（新気）と燃料との重量比である空燃比（A/F）が理論空燃比（14.7）に略一致するような開度に設定される。言い換えると、第 2 運転領域 A 2 では、燃焼室 6 内の空燃比が理論空燃比の近傍（1）となるストイキ環境下で混合気を S P C C I 燃焼させる制御が実行される。

30

【0076】

また、点火プラグ 16 による火花点火は、圧縮上死点の近傍において、1 サイクル当たり 1 回の頻度で実行される。すなわち、第 2 運転領域 A 2 では、圧縮上死点の近傍で混合気を強制着火させる通常の花火点火のみが実行され、上述した先行点火に相当するものは実行されない。

【0077】

ここで、第 2 運転領域 A 2 においても、上述した第 1 運転領域 A 1 のときと同様に、目標 S I 率および目標 c_i が負荷 / 回転速度の条件ごとに定められている。燃料の噴射量 / 噴射時期、吸・排気弁 11, 12 の開閉タイミング、および EGR 弁 53 の開度は、上記目標 S I 率および目標 c_i を実現するのに適した値を予め定めたマップを用いて決定される。また、点火プラグ 16 による点火時期については、上記目標 S I 率および目標 c_i を実現可能な点火時期が所定のモデル式を用いた演算により決定される。

40

【0078】

過給機 33 は、エンジン負荷が第 3 負荷 L 3 よりも高いか低いかに応じて駆動または停止される。すなわち、過給機 33 は、第 2 運転領域 A 2 のうちエンジン負荷が第 3 負荷 L 3 以上となる高負荷側の領域において駆動され、第 2 運転領域 A 2 のうちエンジン負荷が

50

第3負荷L3未滿となる低負荷側の領域において停止される。過給機33が駆動される高負荷側の領域では、電磁クラッチ34が締結されて過給機33とエンジン本体1とが連結されることにより、過給機33による過給が実行される。このとき、吸気圧センサSN5により検出されるサージタンク36内の圧力（過給圧）が、エンジン負荷/回転速度の条件ごとに予め定められた目標圧力に一致するように、バイパス弁39の開度が制御される。

【0079】

(3-3) 第3運転領域および第4運転領域

エンジン回転速度が第1速度N1よりも低い第3運転領域A1（極低速域）、およびエンジン回転速度が第3速度N3以上の第4運転領域A4（高速域）では、混合気をSI燃焼により燃焼させる制御が実行される。例えば、1サイクル中に噴射すべき燃料の全量がインジェクタ15から吸気行程中に噴射されるとともに、圧縮上死点の近傍で点火プラグ16による火花点火が実行される。そして、この火花点火をきっかけにSI燃焼が開始され、燃焼室6内の混合気の全てが火炎伝播により燃焼する。

10

【0080】

(4) 第1運転領域での噴射および点火制御

次に、図7および図8を用いて、第1運転領域A1でのより具体的な制御例、特に燃料噴射および火花点火に関する制御例について説明する。図7のフローチャートに示す制御がスタートすると、PCM100の判定部101は、ステップS1において、水温センサSN2により検出されたエンジン水温Tが第1閾値T1（70）以上であるか否かを判定する。

20

【0081】

上記ステップS1でNOと判定されてエンジン水温TがT1未滿であることが確認された場合、PCM100の燃焼制御部102は、ステップS7に移行して、エンジン水温が低い場合に適した燃焼制御のモード（冷間モード）として、図5に示した運転マップとは異なる運転マップに基づく燃焼制御を実行する。この冷間モードでは、エンジン水温が低くても着火安定性を確保できるような燃焼形態が選択される。具体的な燃焼形態はエンジン水温Tに応じて変わり得るが、例えば、エンジン水温Tが第1閾値T1（70）を大幅に下回る場合には、全ての運転領域でSI燃焼を実行してSPCCI燃焼を禁止することが考えられる。また、エンジン水温Tが第1閾値T1を小幅に下回る場合には、図5と同様にSPCCI燃焼とSI燃焼とを併用するモードを採用しつつ、SPCCI燃焼の形態をT1のときとは異なるものにする（例えば図5に示した第1運転領域A1に相当する領域での空燃比をリーンにせず理論空燃比の近傍に設定すること）が考えられる。

30

【0082】

一方、上記ステップS1でYESと判定されてエンジン水温Tが第1閾値T1以上であることが確認された場合、判定部101は、ステップS2に移行して、エンジンの現運転ポイントが図5に示した第1運転領域A1に含まれるか否かを判定する。すなわち、判定部101は、クランク角センサSN1により検出されるエンジン回転速度と、アクセルセンサSN7の検出値（アクセル開度）や車速センサSN8の検出値（車速）等から特定されるエンジン負荷とに基づいて、現時点のエンジンの運転ポイントを図5の運転マップ上で特定し、当該マップ中の第1運転領域A1に現運転ポイントが含まれるか否かを判定する。

40

【0083】

上記ステップS2でYESと判定されてエンジンの現運転ポイントが第1運転領域A1に含まれることが確認された場合、燃焼制御部102は、ステップS3に移行して、燃焼室6内の空燃比を理論空燃比よりも大きい値（ > 1 ）に調整しつつ当該混合気をSPCCI燃焼させる制御を実行する（リーンSPCCI燃焼）。

【0084】

一方、上記ステップS2でNOと判定されてエンジンの現運転ポイントが第1運転領域

50

A 1に含まれていないことが確認された場合、判定部 101 は、ステップ S 4 に移行して、現運転ポイントが第 2 運転領域 A 2 に含まれるか否かを判定する。

【0085】

上記ステップ S 4 で YES と判定されてエンジンの現運転ポイントが第 2 運転領域 A 2 に含まれることが確認された場合、燃焼制御部 102 は、ステップ S 5 に移行して、燃焼室 6 内の空燃比を理論空燃比の近傍 (1) に調整しつつ当該混合気を S P C C I 燃焼させる制御を実行する (ストイキ S P C C I 燃焼) 。

【0086】

一方、上記ステップ S 4 で NO と判定された場合、つまりエンジンの現運転ポイントが図 5 に示した第 3 運転領域 A 3 または第 4 運転領域 A 4 に含まれることが確認された場合、燃焼制御部 102 は、ステップ S 6 に移行して、S P C C I 燃焼ではなく S I 燃焼によって混合気を燃焼させる制御を実行する。

【0087】

図 8 は、上記ステップ S 3 に示した制御 (リーン S P C C I 燃焼) の具体的手順を示すサブルーチンである。本サブルーチンの制御がスタートすると、判定部 101 は、ステップ S 11 において、水温センサ S N 2 により検出されたエンジン水温 T が第 2 閾値 T 2 未満であるか否かを判定する。第 2 閾値 T 2 は、上述した第 1 閾値 T 1 (70) よりも所定量大きい温度であり、当実施形態では 80 に設定される。

【0088】

上記ステップ S 11 で YES と判定されてエンジン水温 T が第 2 閾値 T 2 未満であることが確認された場合、燃焼制御部 102 は、ステップ S 12 に移行し、インジェクタ 15 による燃料の噴射パターンとして、図 9 (a) に示す第 1 噴射パターンを選択する。

【0089】

図 9 (a) に示すように、第 1 噴射パターンは、吸気行程中に 3 回の燃料噴射 F a 1 , F a 2 , F a 3 を実行するとともに、圧縮行程後半に 1 回の燃料噴射 F b を実行する噴射パターンである。以下では、F a 1 を第 1 早期噴射、F a 2 を第 2 早期噴射、F a 3 を第 3 早期噴射、F b をリタード噴射と称する。また、第 1 ~ 第 3 早期噴射 F a 1 ~ F a 3 を総称して単に早期噴射 F a ということがある。

【0090】

第 1 噴射パターンにおいて、第 1 早期噴射 F a 1 は吸気行程の前期に開始され、第 2 早期噴射 F a 2 は吸気行程の中期に開始され、第 3 早期噴射 F a 3 は吸気行程の後期に開始される。また、リタード噴射 F b は圧縮行程の後半、より詳しくは圧縮行程の後期に開始される。言い換えると、第 1 噴射パターンが選択されたとき、インジェクタ 15 は、吸気行程中に早期噴射 F a を 3 回 (F a 1 , F a 2 , F a 3) に分けて実行するとともに、圧縮行程の後半 (詳しくは圧縮行程の後期) に 1 回のリタード噴射 F b を実行する。

【0091】

なお、本明細書において、ある行程の前期、中期、後期 (または前半、後半) とは次のことを意味するものとする。すなわち、本明細書では、吸気行程や圧縮行程等の任意の行程を 2 等分した場合の各期間を前から順に「前半」「後半」と定義する。このため、例えば圧縮行程の (i) 前半、(ii) 後半とは、それぞれ、(i) 圧縮上死点前 (B T D C) 180 ~ 90 ° C A、(ii) B T D C 90 ~ 0 ° C A の各範囲のことを指す。同様に、本明細書では、任意の行程を 3 等分した場合の各期間を前から順に「前期」「中期」「後期」と定義する。このため、例えば吸気行程の (iii) 前期、(iv) 中期、(v) 後期とは、それぞれ、(iii) B T D C 360 ~ 300 ° C A、(iv) B T D C 300 ~ 240 ° C A、(v) B T D C 240 ~ 180 ° C A の各範囲のことを指す。

【0092】

ここで、上記ステップ S 11 の判定結果が YES であるということは、エンジンが第 1 運転領域 A 1 で運転されており、かつエンジン水温 T が第 1 閾値 T 1 以上第 2 閾値 T 2 未満であることを意味する。当実施形態では、この条件のことを第 1 リーン燃焼条件と称する。第 1 リーン燃焼条件は、リーン S P C C I 燃焼を実行し得る条件の中でもエンジン水

10

20

30

40

50

温が低い部類に属する。上記ステップ S 1 2 で選択される第 1 噴射パターン（図 9（a））は、この比較的低温の第 1 リーン燃焼条件に適した噴射パターンである。

【0093】

次いで、燃焼制御部 102 は、ステップ S 1 3 に移行して、上記第 1 噴射パターンにおける各燃料噴射（3 回の早期噴射 F a 1 ~ F a 3 および 1 回のリタード噴射 F b）の噴射量および噴射時期を、エンジン負荷（要求トルク）および回転速度に基づき決定する。この噴射量 / 噴射時期の決定にはマップ M 1 が参照される。マップ M 1 は、第 1 噴射パターンにおける各噴射 F a 1 ~ F a 3 , F b の噴射量 / 噴射時期をエンジン負荷 / 回転速度の条件ごとに定めたものであり、記憶部 103 に予め格納されている。このマップ M 1 による噴射量 / 噴射時期は、上記（3 - 1）で説明した目標 S I 率および目標 c i を考慮して定められている。言い換えると、上記ステップ S 1 3 では、第 1 噴射パターンにおける各噴射 F a 1 ~ F a 3 , F b の噴射量および噴射時期が、上記目標 S I 率および目標 c i を実現するのに適した値となるように決定される。

10

【0094】

次いで、燃焼制御部 102 は、ステップ S 1 4 に移行して、インジェクタ 15 による噴射圧力が比較的高い第 1 設定値になるように燃圧レギュレータ 17 を制御する。第 1 設定値は、例えば 70 MP a 程度に設定される。

【0095】

次に、上記ステップ S 1 1 で N O と判定された場合、つまりエンジン水温 T が第 2 閾値 T 2 以上であることが確認された場合の制御について説明する。この場合、判定部 101 は、ステップ S 1 5 に移行して、エンジン水温 T が第 3 閾値 T 3 未満であるか否かを判定する。第 3 閾値 T 3 は、上述した第 2 閾値 T 2（80）よりも所定量大きい温度であり、当実施形態では 100 に設定される。

20

【0096】

上記ステップ S 1 5 で Y E S と判定されてエンジン水温 T が第 2 閾値 T 2 以上かつ第 3 閾値 T 3 未満であることが確認された場合、燃焼制御部 102 は、ステップ S 1 6 に移行し、インジェクタ 15 による燃料の噴射パターンとして、図 9（b）に示す第 2 噴射パターンを選択する。

【0097】

図 9（b）に示すように、第 2 噴射パターンは、第 1 早期噴射 F a 1、第 2 早期噴射 F a 2、および第 3 早期噴射 F a 3 からなる 3 回の燃料噴射を吸気行程中に実行する噴射パターンである。上述した第 1 噴射パターン（図 9（a））のときと異なり、リタード噴射 F b は実行されない。

30

【0098】

第 2 噴射パターンでの各早期噴射 F a 1 ~ F a 3 の大まかな時期は、第 1 噴射パターンでのそれと同様である。すなわち、第 2 噴射パターンにおいても、第 1 早期噴射 F a 1 は吸気行程の前期に開始され、第 2 早期噴射 F a 2 は吸気行程の中期に開始され、第 3 早期噴射 F a 3 は吸気行程の後期に開始される。ただし、リタード噴射 F b が禁止される分、第 1 早期噴射 F a 1 の噴射量が増やされる。

【0099】

ここで、上記ステップ S 1 5 の判定結果が Y E S であるということは、エンジンが第 1 運転領域 A 1 で運転されており、かつエンジン水温 T が第 2 閾値 T 2 以上第 3 閾値 T 3 未満であることを意味する。当実施形態では、この条件のことを第 2 リーン燃焼条件と称する。第 2 リーン燃焼条件は、リーン S P C C I 燃焼を実行し得る条件の中でもエンジン水温が中程度の部類に属する。上記ステップ S 1 6 で選択される第 2 噴射パターン（図 9（b））は、この中温の第 2 リーン燃焼条件に適した噴射パターンである。

40

【0100】

次いで、燃焼制御部 102 は、ステップ S 1 7 に移行して、上記第 2 噴射パターンにおける各燃料噴射（3 回の早期噴射 F a 1 ~ F a 3）の噴射量および噴射時期を、エンジンの負荷および回転速度に基づき決定する。この噴射量 / 噴射時期の決定にはマップ M 2 が

50

参照される。マップM2は、第2噴射パターンにおける各噴射Fa1～Fa3の噴射量/噴射時期をエンジン負荷/回転速度の条件ごとに定めたものであり、記憶部103に予め格納されている。このマップM2による噴射量/噴射時期は、上述した目標SI率および目標ciを考慮して定められている。言い換えると、上記ステップS17では、第2噴射パターンにおける各噴射Fa1～Fa3の噴射量および噴射時期が、上記目標SI率および目標ciを実現するのに適した値となるように決定される。

【0101】

次いで、燃焼制御部102は、ステップS18に移行して、インジェクタ15による噴射圧力が中程度の第2設定値になるように燃圧レギュレータ17を制御する。第2設定値は、例えば40～70MPa程度に設定される。

10

【0102】

次に、上記ステップS15でNOと判定された場合、つまりエンジン水温Tが第3閾値T3(100)以上であることが確認された場合の制御について説明する。この場合、判定部101は、ステップS19に移行し、インジェクタ15による燃料の噴射パターンとして、図9(c)に示す第3噴射パターンを選択する。

【0103】

図9(c)に示すように、第3噴射パターンは、第1早期噴射Fa1、第2早期噴射Fa2、および第3早期噴射Fa3からなる3回の燃料噴射を吸気行程中に実行する噴射パターンであり、上述した第2噴射パターン(図9(b))と類似している。第1早期噴射Fa1は吸気行程の前期に開始され、第2早期噴射Fa2は吸気行程の中期に開始され、第3早期噴射Fa3は吸気行程の後期に開始される。ただし、第2噴射パターンのときに比べると、最初の燃料噴射である第1早期噴射Fa1の開始タイミングが早められるとともに、当該第1早期噴射Fa1の噴射量の割合(分割比)が増やされる。

20

【0104】

ここで、上記ステップS15の判定結果がNOであるということは、エンジンが第1運転領域A1で運転されかつエンジン水温Tが第3閾値T3以上であることを意味する。当実施形態では、この条件のことを第3リーン燃焼条件と称する。第3リーン燃焼条件は、リーンSPCCI燃焼が実行される条件の中でもエンジン水温が高い部類に属する。上記ステップS19で選択される第3噴射パターン(第3噴射パターン)は、この比較的高温の第3リーン燃焼条件に適した噴射パターンである。

30

【0105】

次いで、燃焼制御部102は、ステップS20に移行して、上記第3噴射パターンにおける各燃料噴射(3回の早期噴射Fa1～Fa3)の噴射量および噴射時期を、エンジンの負荷および回転速度に基づき決定する。この噴射量/噴射時期の決定にはマップM3が参照される。マップM3は、第3噴射パターンにおける各噴射Fa1～Fa3の噴射量/噴射時期をエンジン負荷/回転速度の条件ごとに定めたものであり、記憶部103に予め格納されている。このマップM3による噴射量/噴射時期は、上述した目標SI率および目標ciを考慮して定められている。言い換えると、上記ステップS20では、第3噴射パターンにおける各噴射Fa1～Fa3の噴射量および噴射時期が、上記目標SI率および目標ciを実現するのに適した値となるように決定される。

40

【0106】

次いで、燃焼制御部102は、ステップS21に移行して、インジェクタ15による噴射圧力が比較的低い第3設定値になるように燃圧レギュレータ17を制御する。第3設定値は、例えば40MPa程度に設定される。

【0107】

以上のようにして燃料の噴射パターン(噴射量/噴射時期)および噴射圧力の設定が終了すると、燃焼制御部102は、ステップS22に移行して、エンジンの負荷および回転速度等に基づき排気絞り弁42の開度を決定し、決定した開度を目標に排気絞り弁42を制御する。この排気絞り弁42の開度の決定に際しては、マップM4および補正係数が用いられる。マップM4は、排気絞り弁42の開度をエンジン負荷/回転速度の条件ごとに

50

定めたものであり、補正係数は、マップM4により定まる排気絞り弁42の開度をエンジン水温に応じて補正するための補正係数であり、それぞれ記憶部103に予め格納されている。これらマップM4および補正係数が用いられることにより、排気絞り弁42の開度は、上記目標SI率および目標 c_i を実現するのに適した値に設定される。

【0108】

次いで、燃焼制御部102は、ステップS23に移行して、エンジンの負荷および回転速度等に基づき吸・排気弁11, 12の開閉タイミング(バルブタイミング)を決定し、決定したバルブタイミングを目標に吸・排気VVT13, 14を制御する。このバルブタイミングの決定に際しては、マップM5および補正係数が用いられる。マップM5は、バルブタイミングをエンジン負荷/回転速度の条件ごとに定めたものであり、補正係数は、マップM5により定まるバルブタイミングをエンジン水温に応じて補正するための補正係数であり、それぞれ記憶部103に予め格納されている。これらマップM5および補正係数が用いられることにより、バルブタイミングおよびバルブオーバーラップ期間(図3)は、上記目標SI率および目標 c_i を実現するのに適した値に設定される。

10

【0109】

次いで、燃焼制御部102は、ステップS24に移行して、エンジンの負荷および回転速度等に基づきEGR弁53の開度(EGR開度)を決定し、決定したEGR開度を目標にEGR弁53を制御する。このEGR開度の決定に際しては、マップM6および補正係数が用いられる。マップM6は、EGR開度をエンジン負荷/回転速度の条件ごとに定めたものであり、補正係数は、マップM6により定まるEGR開度をエンジン水温に応じて補正するための補正係数であり、それぞれ記憶部103に予め格納されている。これらマップM6および補正係数が用いられることにより、EGR開度は、上記目標SI率および目標 c_i を実現するのに適した値に設定される。

20

【0110】

次いで、燃焼制御部102は、ステップS25に移行して、先行点火Sbの時期を決定する。先行点火Sbの時期は、先のステップ(上記ステップS13, S17, S20のいずれか)で決定された燃料噴射の時期に基づいて決定される。例えば、第1または第2リーク燃焼条件の成立時であって第1噴射パターン(図9(a))または第2噴射パターン(図9(b))が選択されている場合には、第1早期噴射Fa1と第2早期噴射Fa2との間に位置する所定のクランク角時期が、先行点火Sbの時期として決定される。また、第3リーク燃焼条件の成立時であって第3噴射パターン(図9(c))が選択されている場合には、第3早期噴射Fa3の終了時期から所定のクランク角が経過しかつ主点火Saの直前に相当する時期が、先行点火Sbの時期として決定される。

30

【0111】

ここで、先行点火Sbのエネルギーは、混合気の火炎伝播が生じないような比較的小さいエネルギー、詳しくは、火花(アーク)の周囲の混合気が850K以上1140K未満にまで上昇するようなエネルギーに設定される。これは、先行点火Sbにより燃料成分を開裂させて反応性の高い中間生成物を生成し、当該中間生成物を用いて混合気の燃焼速度を速めるためである。すなわち、上記のような温度帯にまで混合気が昇温されると、燃料成分(炭化水素)が開裂して過酸化水素(H_2O_2)やホルムアルデヒド(CH_2O)が生成され、これらの成分からOHラジカルが生成される。OHラジカルは、酸化作用が強く反応性が高いので、このようなOHラジカルを含む中間生成物が先行点火後の燃焼室6に生成されることにより、混合気の燃焼速度を速めることができ、熱効率を向上させることができる。一方で、先行点火Sbにより上記温度帯に混合気が昇温されても、混合気には実質的に火炎が形成されず、SI燃焼は開始されない。これに対し、主点火Saのエネルギーは、先行点火Sbのエネルギーよりも十分に大きく設定され、混合気に火炎伝播を生じさせる。

40

【0112】

次いで、燃焼制御部102は、ステップS26に移行して、燃焼室6内の実際のEGR率と、圧縮上死点の近傍(圧縮上死点もしくはその近傍)での燃焼室6内の温度(筒内温

50

度)とを推定する。上述したように、当実施形態では、吸・排気弁11, 12の開閉タイミング(バルブタイミング)およびEGR弁53の開度(EGR開度)がマップにより定められるが、マップの設定値通りにバルブタイミングおよびEGR開度を制御しても、応答遅れなどの種々の要因によってEGR率は変動し得る。また、EGR率の変動は、外気温等の他の要因と併せて、圧縮上死点近傍での筒内温度の変動につながる。そこで、燃焼制御部102は、エアフローセンサSN3、吸気温センサSN4、および吸気圧センサSN5等の各種センサによる検出値(吸気流量、吸気温、吸気圧等)と、バルブタイミングおよびEGR開度の各設定値と、予め定められた所定のモデル式とに基づいて、吸気弁11の閉時期(IVC時点)における燃焼室6内の実際のEGR率(外部EGR率および内部EGR率)と、当該IVCの直後に到来する圧縮上死点の近傍における筒内温度とを推定する。上記モデル式は、例えば、吸気流量、吸気温、吸気圧、バルブタイミング、EGR開度等の各パラメータの直近の履歴を入力要素とするモデル式であり、応答遅れを反映したIVC時点での実際の外部EGR率および内部EGR率と、圧縮上死点近傍における筒内温度とをそれぞれ推定できるように設定されている。

10

20

30

40

50

【0113】

次いで、燃焼制御部102は、ステップS27に移行して、上記ステップS26で推定されたEGR率および筒内温度に基づき主点火Saの時期を決定する。具体的に、燃焼制御部102は、予め定められたモデル式を用いて、主点火Saの時期を、上述した目標SI率および目標ciが実現されるような時期に決定する。モデル式は、推定されたEGR率(外部EGR率および内部EGR率)と筒内温度とを含む複数のパラメータを入力要素とするモデル式であり、混合気をSPCCI燃焼させた場合のSI率およびciが上記目標SI率および目標ciにできるだけ一致する主点火Saの時期を求め得るように設定されている。このモデル式によれば、主点火Saの時期は、圧縮上死点の近傍の所定のクランク角範囲内において、推定されたEGR率および筒内温度の組合せにより定まる条件が混合気が着火し易い条件であるほど遅角側の時期に算出され、逆に、混合気が着火し難い条件であるほど進角側の時期に算出される。

【0114】

次いで、燃焼制御部102は、ステップS28に移行して、インジェクタ15に燃料を噴射させるとともに、点火プラグ16に先行点火Sbおよび主点火Saを実行させる。すなわち、燃焼制御部102は、上記ステップS12, S16, S19のいずれかで決定された燃料の噴射パターンに従って燃料が噴射され、かつ同噴射パターンに含まれる複数回の燃料噴射(Fa1~Fa3等)の噴射量/噴射時期が上記ステップS13, S17, S20のいずれかで決定された噴射量/噴射時期と一致するように、インジェクタ15を制御する。また、上記ステップS25で決定された時期に先行点火Sbが実行され、かつ上記ステップS27で決定された時期に主点火Saが実行されるように、点火プラグ16を制御する。

【0115】

図10は、上記ステップS22において排気絞り弁42の開度を決定する際に使用されるマップM4の具体例を示す図である。この図10において矩形の外形線で囲まれた領域は第1運転領域A1を表しており、その内部の数値が排気絞り弁42の開度(%)を示している。例えば、マップM4において、ハッチングされた領域a1xにより分けられた3つの白抜き色の分割領域a11, a12, a13にそれぞれ「20」「30」「50」の数値(マップ値)が付されているのは、各分割領域a11, a12, a13において排気絞り弁42の開度が一律に20%、30%、50%に設定されることを表している。一方、各分割領域以外のハッチングの領域a1xでは、線形補間により排気絞り弁42の開度が決定される。例えば、ハッチング領域a1xのうち分割領域a11と分割領域a12との間の位置では、排気絞り弁42の開度が20%と30%との中間値に設定される。

【0116】

図10によれば、マップ値「50」に対応する分割領域a13が最も高負荷側に位置し、マップ値「30」に対応する分割領域a11が高負荷(分割領域a13)以外の領域に

おける低速側の一部を占め、マップ値「20」に対応する分割領域 a 1 2 が高負荷以外の領域における高速側の一部を占めるように、マップ M 4 が設定されている。すなわち、マップ M 4 に基づく排気絞り弁 4 2 の開度は、低速側の分割領域 a 1 1 において一律に 30% になり、高速側の分割領域 a 1 2 において一律に 20% になり、かつ高負荷側の分割領域 a 1 3 において一律に 50% になるように定められる。言い換えると、第 1 運転領域 A 1 における排気絞り弁 4 2 の開度は、高負荷側の一部（分割領域 a 1 3）を除いて、高速側（分割領域 a 1 2）の方が低速側（分割領域 a 1 1）よりも低くなるように設定されている。なお、高速側の分割領域 a 1 2 は本発明における「第 1 高速分割領域」に相当し、低速側の分割領域 a 1 1 は本発明における「第 1 低速分割領域」に相当する。

【0117】

上記ステップ S 2 2 で説明したように、排気絞り弁 4 2 の決定にあたっては、上記図 10 のマップ M 4 だけでなく、エンジン水温 T に応じて定まる補正係数が用いられる。すなわち、エンジン負荷 / 回転速度の条件からマップ M 4 を通じて定まるデフォルト値に、エンジン水温 T に応じた補正係数を掛けた値が、最終的な排気絞り弁 4 2 の開度として決定される。エンジン水温 T が第 1 閾値 T 1 以上第 2 閾値 T 2 未満であるとき（つまり第 1 リーン燃焼条件の成立時）の補正係数を第 1 の補正係数、エンジン水温 T が第 2 閾値 T 2 以上第 3 閾値 T 3 未満であるとき（つまり第 2 リーン燃焼条件の成立時）の補正係数を第 2 の補正係数、エンジン水温 T が第 3 閾値 T 3 以上であるとき（つまり第 3 リーン燃焼条件の成立時）の補正係数を第 3 の補正係数と定義すると、第 1 の補正係数は一律に 1 に設定され、第 3 の補正係数は 1 より大きい値に設定され、第 2 の補正係数は第 1 および第 3 の補正係数の中間値であってエンジン水温 T に比例して増大する値に設定される。第 3 の補正係数は、デフォルトのマップ値（例えば 20, 30, 50）をそれぞれ 100 まで上昇させるような値に設定される。なお、第 1 の補正係数が 1 であることから、T 1 ~ T 2 の温度範囲では、図 10 に規定されるマップ値がそのまま排気絞り弁 4 2 の開度として採用されることになる。

【0118】

上記のような補正係数が適用されることで、第 1 運転領域 A 1 における排気絞り弁 4 2 の開度は、エンジン水温 T に応じて図 11 に示すような傾向で変化する。この図 11 のグラフにおいて、符号 P 1 ~ P 4 を付した線図は、図 10（マップ M 4）上の運転ポイント P 1 ~ P 4 における排気絞り弁 4 2 の開度とエンジン水温 T との関係を示している。なお、運転ポイント P 1, P 2 は、同一のマップ値（30）に対応する分割領域 a 1 1 に属するので、両ポイント P 1, P 2 の排気絞り弁 4 2 の開度は互いに同一である。運転ポイント P 1, P 2 での排気絞り弁 4 2 の開度が同一の線図として図示されているのはこのためである。

【0119】

図 11 に示すように、運転ポイント P 1 ~ P 4 のいずれにおいても、排気絞り弁 4 2 の開度は、T 1 ~ T 2（70 ~ 80）の温度範囲で最も低い値に設定され、T 3（100）以上の温度範囲で 100% に設定され、かつ T 2 ~ T 3（80 ~ 100）の温度範囲でエンジン水温 T に比例して高くなるように設定される。

【0120】

具体的に、第 1 運転領域 A 1 の中で最も負荷および回転速度が低い運転ポイント P 1 と、P 1 に次いで負荷および回転速度が低い運転ポイント P 2 とでは、排気絞り弁 4 2 の開度が、T 1 ~ T 2 の温度範囲で 30%、T 2 ~ T 3 の温度範囲で 30 ~ 100%、T 3 以上の温度範囲で 100% に設定される。高速側の運転ポイント P 3 における排気絞り弁 4 2 の開度は、T 1 ~ T 2 の温度範囲で 20%、T 2 ~ T 3 の温度範囲で 20 ~ 100%、T 3 以上の温度範囲で 100% に設定される。高負荷側の運転ポイント P 4 における排気絞り弁 4 2 の開度は、T 1 ~ T 2 の温度範囲で 50%、T 2 ~ T 3 の温度範囲で 50 ~ 100%、T 3 以上の温度範囲で 100% に設定される。

【0121】

ここで、運転ポイント P 1 ~ P 4 における排気絞り弁 4 2 の開度の設定値に関して、T

10

20

30

40

50

1 ~ T2での開度を第1開度、T2 ~ T3での開度を第2開度、T3以上での開度を第3開度と定義する。これらの用語を用いて言い換えると、当実施形態では、第1開度および第3開度がエンジン水温Tに拠らず一定となり、第3開度が第1開度よりも高くなり、かつ第2開度が第1開度と第3開度との間でエンジン水温Tに比例して高くなるように、排気絞り弁42が制御される。

【0122】

図12は、上記ステップS23において吸・排気弁11, 12の開閉タイミング(バルブタイミング)を決定する際に使用されるマップM5の具体例を示す図である。この図12において矩形の外形線で囲まれた領域は第1運転領域A1を表しており、その内部の数値がバルブオーバーラップ期間(°CA)を示している。例えば、マップM5において、ハッチングされた領域a2xにより分けられた6つの白抜きの分割領域a21, a22, a23, a24, a25, a26にそれぞれ「45」「65」「70」「50」「43」「38」の数値(マップ値)が付されているのは、各分割領域a21, a22, a23, a24, a25, a26においてバルブオーバーラップ期間が一律に45°CA、65°CA、70°CA、50°CA、43°CA、38°CAに設定されることを表している。なお、マップM5は、実際には、吸気弁11の開時期/閉時期と、排気弁12の開時期/閉時期とを定めるものであるが、図12では便宜上、各タイミングを代表した値としてバルブオーバーラップ期間を示している。各分割領域以外のハッチングの領域a2xでは、線形補間によりバルブオーバーラップ期間が決定される。例えば、ハッチング領域a2xのうち分割領域a22と分割領域a23との間の位置では、バルブオーバーラップ期間が65°CAと70°CAとの中間値に設定される。

【0123】

図12によれば、マップ値「50」「43」「38」に対応する各分割領域a24, a25, a26が最も高負荷側に位置し、マップ値「45」「65」に対応する各分割領域a21, a22が高負荷(分割領域a24, a25, a26)以外の領域における低速側の一部を占め、かつマップ値「70」に対応する分割領域a23が高負荷以外の領域における高速側の一部を占めるように、マップM5が設定されている。すなわち、マップM5に基づくバルブオーバーラップ期間は、低速側の分割領域a21, a22において一律に45°CA、65°CAになり、高速側の分割領域a23において一律に70°CAになり、かつ高負荷側の分割領域a24, a25, a26において一律に50°CA、43°CA、38°CAになるように定められる。ここで、分割領域a21, a22を包含しかつ他の分割領域と重ならない破線の領域を分割領域a20とする。この分割領域a20におけるバルブオーバーラップ期間は45°CA以上65°CA以下の値であり、高速側の分割領域a23でのバルブオーバーラップ期間(70°CA)よりも短い。言い換えると、第1運転領域A1におけるバルブオーバーラップ期間は、高負荷側の一部を除いて、高速側(分割領域a23)の方が低速側(分割領域a20)よりも長くなるように設定されている。なお、高速側の分割領域a23は本発明における「第2高速分割領域」に相当し、低速側の分割領域a20は本発明における「第2低速分割領域」に相当する。

【0124】

上記ステップS23で説明したように、バルブオーバーラップ期間の決定にあたっては、上記図12のマップM5だけでなく、エンジン水温Tに応じて定まる補正係数が用いられる。すなわち、エンジン負荷/回転速度の条件からマップM5を通じて定まるデフォルト値に、エンジン水温Tに応じた補正係数を掛けた値が、最終的なバルブオーバーラップ期間として決定される。この補正係数の傾向は、T1 ~ T2の温度範囲で1になり、T3以上の温度範囲で1より大きくなり、T2 ~ T3の温度範囲でその中間値をとるという意味において、上述した排気絞り弁42用の補正係数の傾向と類似している。ただし、ここでの補正係数(バルブオーバーラップ期間用の補正係数)は、高速側の分割領域a23に規定されるデフォルト値(70)に対しては常に1に設定される。これは、吸・排気VT13, 14の機構上、バルブオーバーラップ期間は70°CAが限界だからである。

【0125】

10

20

30

40

50

上記のような補正係数が適用されることで、第1運転領域A1におけるバルブオーバーラップ期間は、エンジン水温Tに応じて図13に示すような傾向で変化する。この図13のグラフにおいて、符号P1～P4を付した線図は、図12(マップM5)上の運転ポイントP1～P4におけるバルブオーバーラップ期間とエンジン水温Tとの関係を示している。この図13に示すように、運転ポイントP3を除く3つの運転ポイントP1, P2, P4において、バルブオーバーラップ期間は、T1～T2(70～80)の温度範囲で最も低い値に設定され、T3(100)以上の温度範囲で最も高い値に設定され、T2～T3(80～100)の温度範囲でエンジン水温Tに比例して高くなるように設定される。

【0126】

具体的に、第1運転領域A1の中で最も負荷および回転速度が低い運転ポイントP1におけるバルブオーバーラップ期間は、T1～T2の温度範囲で45°C A、T2～T3の温度範囲で45～55°C A、T3以上の温度範囲で55°C Aに設定される。P1に次いで負荷および回転速度が低い運転ポイントP2におけるバルブオーバーラップ期間は、T1～T2の温度範囲で65°C A、T2～T3の温度範囲で65～70°C A、T3以上の温度範囲で70°C Aに設定される。最も負荷の高い運転ポイントP4におけるバルブオーバーラップ期間は、T1～T2の温度範囲で43°C A、T2～T3の温度範囲で43～55°C A、T3以上の温度範囲で55°C Aに設定される。一方、高速側の運転ポイントP3におけるバルブオーバーラップ期間は、エンジン水温Tに拠らず一律に70°C Aに設定される。

【0127】

ここで、運転ポイントP3を除く3つの運転ポイントP1, P2, P4でのバルブオーバーラップ期間の設定値に関して、T1～T2でのオーバーラップ期間を第1期間、T2～T3でのオーバーラップ期間を第2期間、T3以上でのオーバーラップ期間を第3期間と定義する。これらの用語を用いて言い換えると、当実施形態では、第1期間および第3期間がエンジン水温Tに拠らず一定となり、第3期間が第1期間よりも長くなり、かつ第2期間が第1期間と第3期間との間でエンジン水温Tに比例して長くなるように、吸・排気VV T13, 14が制御される。

【0128】

(5)作用効果

以上説明したように、当実施形態では、エンジン負荷が低い第1運転領域A1でエンジンが運転されているときに、所定量以上(図12のマップ値以上)のバルブオーバーラップ期間が形成されるように吸・排気VV T13, 14が制御されるとともに、燃焼室6内の空燃比が理論空燃比よりも大きくなるA/Fリーン環境下で混合気がSPCCI燃焼するように、インジェクタ15および点火プラグ16等の各部が制御される。また、当該第1運転領域A1における排気絞り弁42の開度は、エンジン水温Tが低いときの開度の方がエンジン水温Tが高いときの開度よりも低くなるように調整される。より詳しくは、エンジン負荷/回転速度の条件を固定しつつエンジン水温Tを変化させた場合に、排気絞り弁42の開度は、第1閾値T1以上第2閾値T2未満(70～80)の温度範囲において最も低い値をとり、第2閾値T2以上第3閾値T3未満(80～100)の温度範囲においてエンジン水温Tに比例して高くなり、第3閾値以上(100～)の温度範囲において最も高い値(100%)をとるよう調整される。このような構成によれば、空燃比のリーン化による燃費性能の向上と燃焼安定性の確保とを両立できるという利点がある。

【0129】

すなわち、上記実施形態では、エンジン水温Tが相対的に低くかつエンジン負荷が低い状況でA/FリーンのSPCCI燃焼を行う際に、所定量以上のバルブオーバーラップ期間を形成しつつ排気絞り弁42の開度を低下させる制御が実行されるので、当該排気絞り弁42の開度低下による排気流通抵抗の増大により、バルブオーバーラップ期間中に排気ポート10から燃焼室6に引き戻される排気ガスである内部EGRガスの割合(内部EGR

10

20

30

40

50

R率)を十分に増やすことができる。これにより、混合気が着火する前の燃焼室6内の温度(筒内温度)が上昇するので、エンジン水温Tが低くしかもA/Fリーンの環境でありながら混合気が着火し易い環境を燃焼室6につくり出すことができ、混合気の燃焼安定性を向上させることができる。排気絞り弁42の開度低下は排気流通抵抗の増大(ひいてはポンピングロスの増大)につながるので、燃費の面では本来不利であるが、内部EGR率の増大による燃焼安定性の向上が、空燃比のリーン化による効果(燃焼温度の低下やポンピングロスの低下)と組み合わせることにより、排気流通抵抗の増大による燃費悪化代を差し引いても余りある燃費向上効果を得ることができる。これにより、例えば燃焼室6内の空燃比が理論空燃比の近傍とされるストイキ環境下で混合気をSPCCI燃焼させた場合と比べて、実質的な燃費性能を向上させることができる。言い換えると、第1運転領域A1においてA/FリーンのSPCCI燃焼が許可される下限温度である第1閾値T1(上記実施形態では70)は、排気絞り弁42の開度低下によるマイナス面を差し引いても実質的な燃費向上効果が得られるような温度に設定される。

10

【0130】

一方、エンジン水温Tが相対的に高くかつエンジン負荷が低い状況でA/FリーンのSPCCI燃焼を行う際には、排気絞り弁42の開度が高められるので、エンジン水温Tが高く混合気の着火性が改善された状況下で無用に排気通路40が絞られるのを回避でき、燃焼安定性を担保しながら排気流通抵抗を減少させることができる。これにより、暖機が進行したときのポンピングロスが十分に低下するので、燃費性能をより効果的に向上させることができる。

20

【0131】

特に、上記実施形態において、排気絞り弁42の開度は、エンジン水温Tが第1閾値T1以上第2閾値T2未満であるときに最も低くされ、エンジン水温Tが第2閾値T2以上第3閾値T3未満の範囲で上昇するにつれて徐々に高くされ、エンジン水温Tが第3閾値T3以上であるときに最も高くされるので、混合気の着火性を左右するエンジン水温Tの高低(暖機の進行度合い)に応じて内部EGRガスの量を適切に調整することができる。すなわち、上記のような排気絞り弁42の開度設定により、着火性が低下する低温条件のときに内部EGR率を最も高くし、温度上昇により着火性が改善するのに従って内部EGR率を徐々に低くし、着火性が良好な高温条件のときに内部EGR率を最も低くすることができる。これにより、温度条件(着火性)の高低に合わせた適切な量の内部EGRガスを燃焼室6に導入されるので、幅広い温度範囲において燃焼安定性を良好に確保することができる。また、エンジン水温Tが高くなるほど(着火性が良好になるほど)排気絞り弁42の開度が高くなるので、排気流通抵抗(ポンピングロス)を可及的に低減して燃費性能を向上させることができる。

30

【0132】

また、上記実施形態では、図10に示したように、着火性が比較的良好になると考えられる第1運転領域A1の高負荷側の一部を除いて、排気絞り弁42の開度がエンジン回転速度の高低に応じて変更される、つまり、第1運転領域A1の高速側(分割領域a12)での排気絞り弁42の開度の方が、第1運転領域A1の低速側(分割領域a11)での排気絞り弁42の開度よりも低くされるので、エンジン回転速度に抛らず十分な内部EGR率を確保して燃焼安定性を向上させることができる。例えば、単位時間あたりのクランク角の進行速度が速い第1運転領域A1の高速側では、バルブオーバーラップ期間に相当する実時間が短くなるため、仮にエンジン回転速度に抛らず排気絞り弁42の開度を一定にした場合には、第1運転領域A1の高速側で十分な内部EGR率が得られず、燃焼安定性を有意に改善できないおそれがある。これに対し、上記実施形態では、第1運転領域A1の高速側(分割領域a12)において排気絞り弁42の開度が相対的に低くされるので、バルブオーバーラップ期間に相当する実時間が短い条件でも十分な内部EGRガスを確保することができ、高速側での燃焼安定性が低下する上記のような事態を回避することができる。

40

【0133】

50

また、上記実施形態では、図 12 に示したように、第 1 運転領域 A 1 における高負荷側の一部を除いて、バルブオーバーラップ期間がエンジン回転速度の高低に応じて変更される、つまり、第 1 運転領域 A 1 の高速側（分割領域 a 23）でのバルブオーバーラップ期間の方が、第 1 運転領域 A 1 の低速側（分割領域 a 20）でのバルブオーバーラップ期間よりも長くされるので、内部 EGR 率の確保に不利な高速側においてバルブオーバーラップ期間を拡大することにより、エンジン回転速度に抛らず十分な内部 EGR 率を確保して燃焼安定性を向上させることができる。

【0134】

また、上記実施形態では、エンジンが第 1 運転領域 A 1 で運転されかつエンジン水温 T が第 1 閾値 T 1 以上第 2 閾値 T 2 未満（70～80）である場合に、吸気行程中の早期噴射 F a に加えて圧縮行程後半のリタード噴射 F b が実行されるので、点火プラグ 16 周りの混合気が相対的にリッチになるように成層化された混合気を燃焼室 6 に形成することができ、点火プラグ 16 の火花点火に伴う火炎伝播の発生（SI 燃焼）を促進して SPCCI 燃焼を安定化させることができる。このことは、上述した排気絞り弁 42 の開度低下（それによる内部 EGR 率の増大）による効果と相俟って、第 1 閾値 T 1 以上第 2 閾値 T 2 未満という比較的低温な環境下での燃焼安定性をさらに向上させるので、空燃比のリーン化による燃費性能の向上と燃焼安定性の確保とを高次元に両立することができる。

【0135】

また、上記実施形態では、第 1 運転領域 A 1 での運転時に、火炎が発生しない程度の小さなエネルギーの火花を発生させる先行点火 S b が主点火 S a よりも前に実行されるので、当該先行点火 S b により燃料を改質して OH ラジカルを含む反応性の高い中間生成物を燃焼室 6 に生成することができる。これにより、混合気の着火性および燃焼速度が速まるので、燃費性能および燃焼安定性をさらに向上させることができる。

【0136】

なお、上記実施形態では、エンジン水温 T が第 1 閾値 T 1 以上第 3 閾値 T 3 未満（70～100）のときは先行点火 S b の時期が吸気行程中（ここでは第 1 早期噴射 F a 1 と第 2 早期噴射 F a 2 との間）に設定される一方で、エンジン水温 T が第 3 閾値 T 3（100）以上にまで上昇すると先行点火 S b の時期が主点火 S a の直前（圧縮行程の後半）まで大幅にリタードされる（図 9（c））。これは、エンジン水温 T が第 3 閾値 T 3 以上にまで上昇すれば良好な燃焼安定性が確保され易く、燃料を改質する必要性が低いからである。むしろ、第 3 閾値 T 3 以上の温度範囲では、先行点火 S b から主点火 S a までの期間が非常に短くされることで、火花の発生期間を延長したような効果が得られる結果、燃料の改質作用が少なくても十分な燃焼安定性を確保することができる。

【0137】

（6）変形例

上記実施形態では、第 1 運転領域 A 1 における排気絞り弁 42 の開度を、第 1 閾値 T 1 以上第 2 閾値 T 2 未満（70～80）の温度範囲において最も低い値に設定し、第 2 閾値 T 2 以上第 3 閾値 T 3 未満（80～100）の温度範囲においてエンジン水温 T に比例して高くなるように設定し、第 3 閾値以上（100～）の温度範囲において最も高い値（100%）に設定したが、エンジン水温 T が第 1 閾値 T 1 から上昇するにつれて正比例的に排気絞り弁 42 の開度を高めるようにしてもよいし、エンジン水温 T の上昇に応じて 2 段階以上のステップ状に排気絞り弁 42 の開度を高めるようにしてもよい。

【0138】

上記実施形態では、排気絞り弁 42 の開度が最も低い値に設定される第 1 閾値 T 1 以上第 2 閾値 T 2 未満（70～80）の温度範囲において、圧縮行程後半に燃料を噴射するリタード噴射 F b を実行し、第 2 閾値 T 2（80）以上の温度になるとリタード噴射 F b を停止したが、第 2 閾値 T 2 よりも高い温度（例えば 90 程度）までリタード噴射 F b を継続してもよい。また、リタード噴射 F b を実行する温度範囲において、エンジン水温 T が上昇するほどリタード噴射 F b による噴射量を減らすようにしてもよい。

【0139】

10

20

30

40

50

上記実施形態では、第1閾値T1以上第2閾値T2未満(70~80)の温度範囲において、吸気行程中の早期噴射Fa(第1~第3早期噴射Fa1~Fa3)と圧縮行程後半のリタード噴射Fbとを実行したが、早期噴射Faとリタード噴射Fbとの間(例えば圧縮行程前半)に他の燃料噴射を実行することも可能である。同様に、第2リーン燃焼条件および第3リーン燃焼条件の成立時においても、早期噴射Fa以外の他の燃料噴射を圧縮行程前半に実行してもよい。

【0140】

上記実施形態では、早期噴射Faを3回に分けて実行、つまり第1~第3早期噴射Fa1~Fa3からなる3回の燃料噴射を早期噴射Faとして実行したが、早期噴射Faの回数は3回に限られず、1回または2回に設定してもよいし、あるいは4回以上に設定してもよい。

10

【0141】

上記実施形態では、エンジン負荷および回転速度と、水温センサSN2により検出されるエンジン水温(エンジンの冷却水温度)とに基づいて、排気絞り弁42の開度やバルブオーバーラップ期間等を決定したが、当該決定の基準となる温度パラメータは、エンジンの暖機の進行度合に応じて変化するパラメータであればよく、例えばエンジンオイルの温度(油温)を上記判定の基準として用いてもよい。

【0142】

上記実施形態では、混合気の一部が点火プラグ16の点火点からの火炎伝播により燃焼(SI燃焼)しかつその他の混合気が自着火により燃焼(CI燃焼)する部分圧縮着火燃焼(SPCCI燃焼)を実行可能なエンジンに本発明を適用した例について説明したが、本発明が適用され得るエンジンは、混合気の少なくとも一部が予混合圧縮着火燃焼(HCCI燃焼)するエンジンであればよく、例えば燃焼室内の全ての混合気が予混合圧縮着火燃焼するエンジン(点火プラグによる火花点火が不要なエンジン)にも本発明を適用することが可能である。

20

【符号の説明】

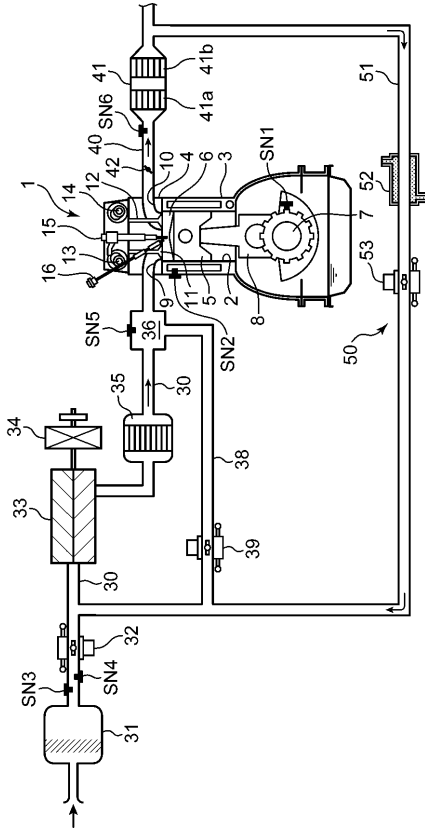
【0143】

- 6 燃焼室
- 13 吸気VVT(バルブ可変機構)
- 14 排気VVT(バルブ可変機構)
- 15 インジェクタ
- 16 点火プラグ
- 32 スロットル弁(空気量調整部)
- 42 排気絞り弁
- 102 燃焼制御部
- A1 第1運転領域(低負荷域)
- Fa(Fa1~Fa3) 早期噴射
- Fb リタード噴射
- Sa 主点火
- Sb 先行点火
- SN2 水温センサ(温度取得部)
- T1 第1閾値
- T2 第2閾値
- T3 第3閾値
- a11 分割領域(第1低速分割領域)
- a12 分割領域(第1高速分割領域)
- a20 分割領域(第2低速分割領域)
- a23 分割領域(第2高速分割領域)

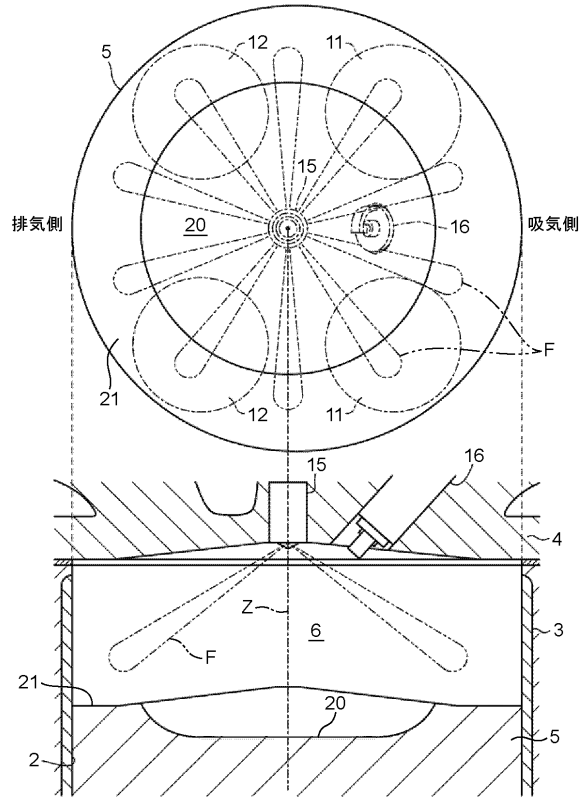
30

40

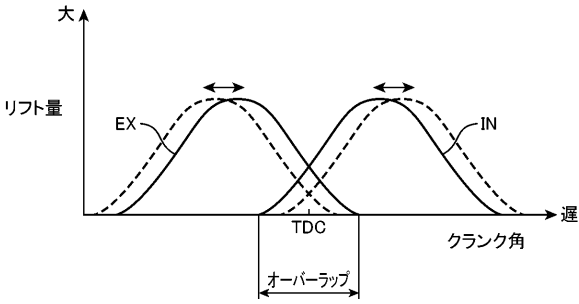
【図1】



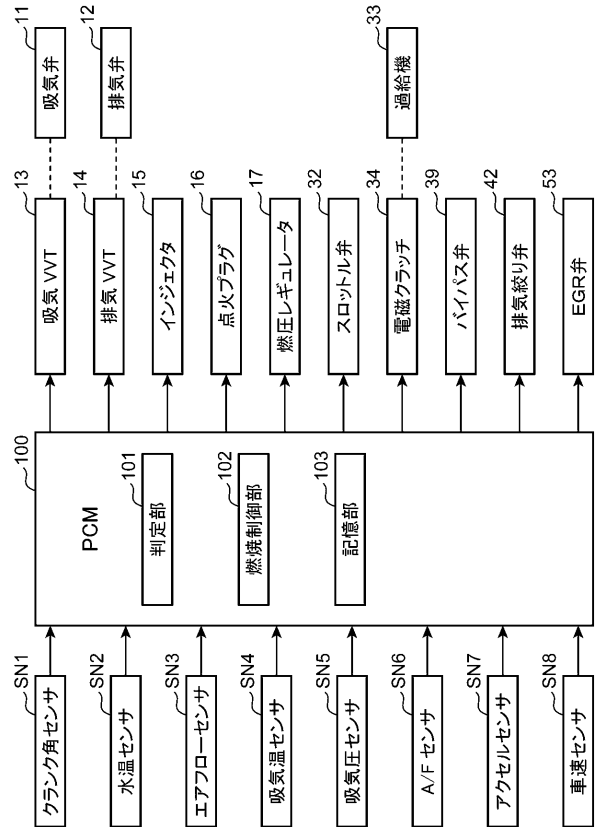
【図2】



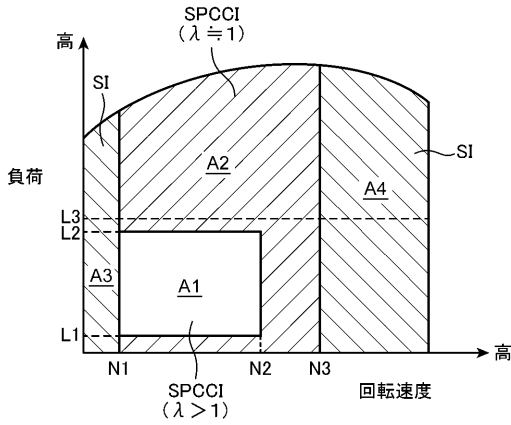
【図3】



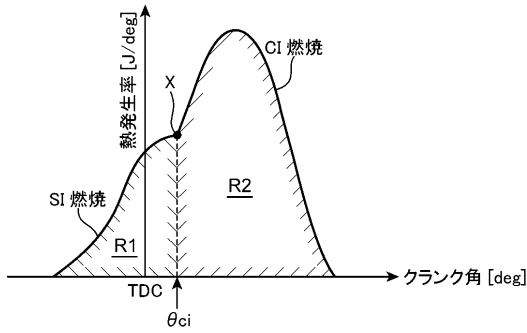
【図4】



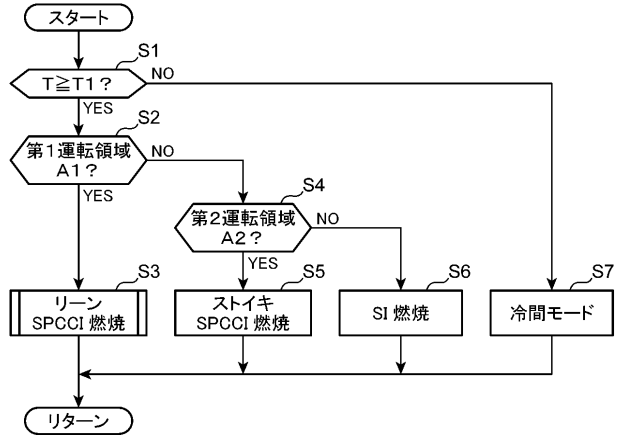
【図5】



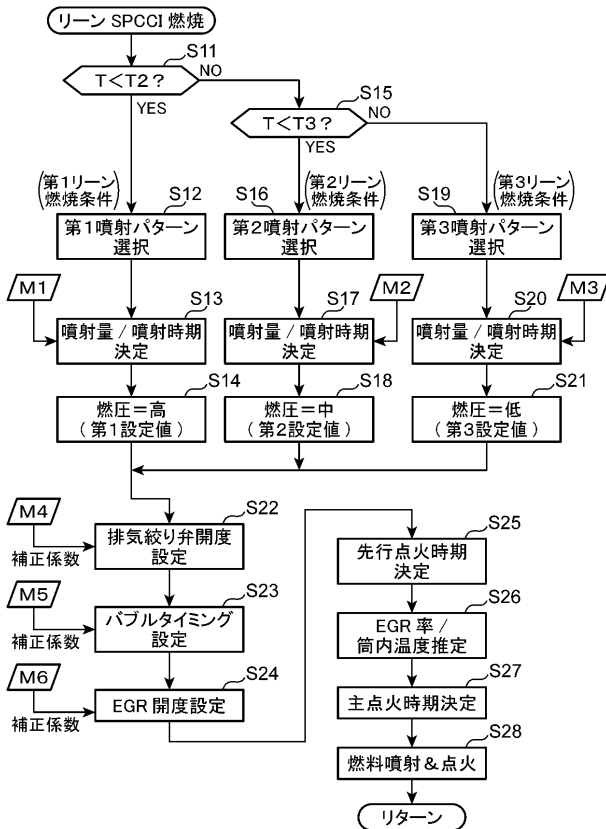
【図6】



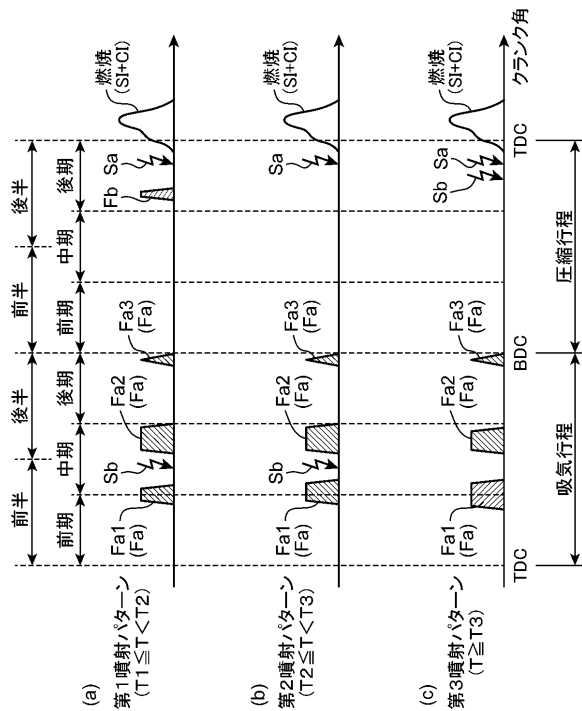
【図7】



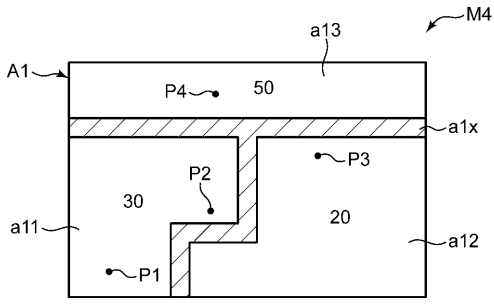
【図8】



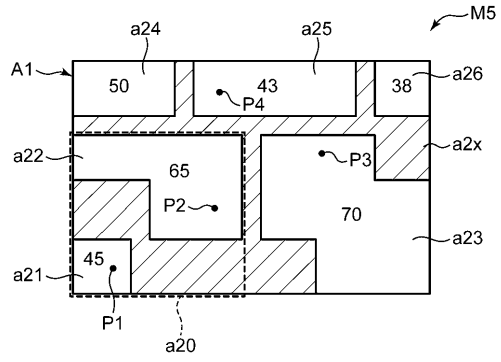
【図9】



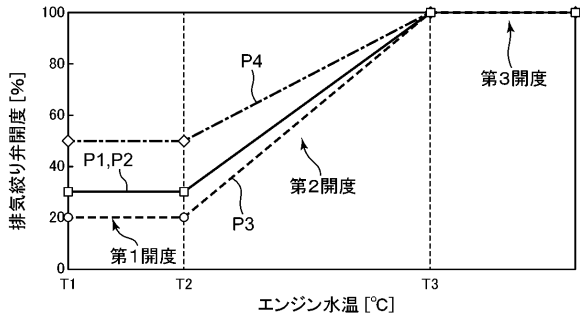
【図10】



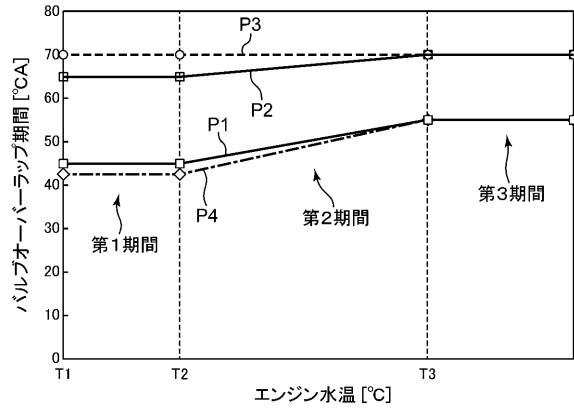
【図12】



【図11】



【図13】



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 D 41/02	3 6 0
	F 0 2 D 41/02	3 7 0
	F 0 2 D 41/02	3 8 0 A
	F 0 2 D 41/02	3 8 0 Z
	F 0 2 D 43/00	3 0 1 A
	F 0 2 D 9/04	D
	F 0 2 D 9/04	C
(72)発明者 末岡 賢也		
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 徳永 達広		
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 宮本 亨		
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 西田 智博		
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)	3G065 AA09 AA10 EA09 GA01 GA08 GA09 GA11 GA27 GA41	
	3G301 HA04 HA19 JA02 JA03 KA08 LA01 LA07 LB11 PA01Z PA07Z	
	PA10Z PD02Z PE03Z PE08Z PF01Z PF03Z	
	3G384 AA02 BA05 BA13 BA26 CA06 DA02 FA01Z FA06Z FA08Z FA28Z	
	FA37Z FA79Z FA86Z	