

(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2020-176594

(P2020-176594A)

(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)
<b>FO2D 41/34 (2006.01)</b>	FO2D 41/34 L	3G062
<b>FO2D 41/04 (2006.01)</b>	FO2D 41/04 305A	3G301
<b>FO2D 41/32 (2006.01)</b>	FO2D 41/32 C	3G384
<b>FO2D 45/00 (2006.01)</b>	FO2D 45/00 360A	
<b>FO2M 26/00 (2016.01)</b>	FO2M 26/00 301	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2019-81017 (P2019-81017)  
 (22) 出願日 平成31年4月22日 (2019. 4. 22)

(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 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  
 Fターム(参考) 3G062 AA06 BA04 FA10 GA15 GA21  
 3G301 HA01 HA13 HA15 HA18 JA02  
 LB01 MA01 MA11 PB03 PC05  
 最終頁に続く

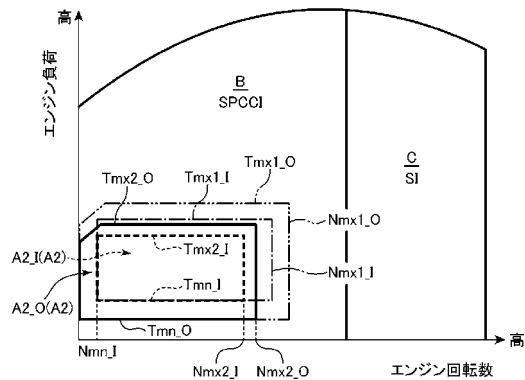
(54) 【発明の名称】 エンジンの制御方法および制御装置

(57) 【要約】

【課題】 混合気の空燃比を理論空燃比よりもリーンして燃費性能を高めつつ燃焼安定性を確保する。

【解決手段】 希薄燃焼領域Aでエンジンが運転されているときは、混合気の空燃比が理論空燃比よりも高い状態で混合気を燃焼させる希薄燃焼モードを実施し、このときに、気筒2内に既燃ガスを再導入させるとともに、気筒2の壁温が高いときの方が低いときよりも気筒2に再導入される既燃ガスの量を少なくする。希薄燃焼領域よりもエンジン回転数が高い領域でエンジンが運転されているときは、気筒2内の混合気の空燃比が理論空燃比以下の状態で混合気を燃焼させるストイキ/リッチ燃焼モードを実施する。気筒2の壁温が高いときの方が低いときよりも、希薄燃焼領域Aの範囲を規定するエンジン回転数の上限値を高い値にする。

【選択図】 図8



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

エンジンの制御方法であって、

気筒内の混合気の空燃比が理論空燃比よりも高い状態で混合気が燃焼する希薄燃焼モードと、気筒内の混合気の空燃比が理論空燃比以下となる状態で混合気が燃焼するストイキ/リッチ燃焼モードとのいずれの燃焼モードを実施するかを決定するモード決定工程と、前記モード決定工程で決定された燃焼モードで混合気が燃焼するようにエンジンの各部を制御する燃焼制御工程と、

気筒の壁温を推定または取得する壁温取得工程とを含み、

前記燃焼制御工程では、前記希薄燃焼モードの実施時に、気筒内で生成されて気筒外に排出された既燃ガスを気筒に再導入させるとともに、前記壁温取得工程で推定または取得された気筒の壁温である取得気筒壁温が高いときの方が低いときよりも気筒に再導入される既燃ガスの量を少なくし、

前記モード決定工程では、所定の希薄燃焼領域でエンジンが運転されているときは前記希薄燃焼モードを実施すべき燃焼モードとして決定し、前記希薄燃焼領域よりもエンジン回転数が高いストイキ/リッチ燃焼領域でエンジンが運転されているときは前記ストイキ/リッチ燃焼モードを実施すべき燃焼モードとして決定するとともに、前記取得気筒壁温が高いときの方が低いときよりも、前記希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値を高い値に設定する、ことを特徴とするエンジンの制御方法。

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載のエンジンの制御方法において、

前記モード決定工程では、

前記希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値として、希薄燃焼開始回転数上限値と、当該希薄燃焼開始回転数上限値よりも高い希薄燃焼終了回転数上限値とを決定し、

前記ストイキ/リッチ燃焼モードの実施中にエンジン回転数が前記希薄燃焼開始回転数上限値以下になると、前記ストイキ/リッチ燃焼モードから前記希薄燃焼モードへと実施すべき燃焼モードを切替え、

前記希薄燃焼モードの実施中にエンジン回転数が前記希薄燃焼終了回転数上限値より高くなると、前記希薄燃焼モードから前記ストイキ/リッチ燃焼モードへと実施すべき燃焼モードを切替えるとともに、

前記取得気筒壁温が高いときの方が低いときよりも前記希薄燃焼開始回転数上限値および前記希薄燃焼終了回転数上限値をそれぞれ高い値に設定する、ことを特徴とするエンジンの制御方法。

**【請求項 3】**

請求項 1 または 2 に記載のエンジンの制御方法において、

前記モード決定工程では、前記希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値を前記取得気筒壁温に応じて段階的に変化させる、ことを特徴とするエンジンの制御方法。

**【請求項 4】**

エンジンの制御装置であって、

エンジンに形成された気筒内の空気と燃料の混合気の空燃比を変更可能な空燃比変更手段と、

気筒内で生成されて気筒外に排出された既燃ガスを気筒に再導入させる E G R 実行手段と、

気筒の壁温を推定あるいは取得する壁温取得手段と、

前記空燃比変更手段、前記 E G R 実行手段を制御する制御手段とを備え、

前記制御手段は、

所定の希薄燃焼領域でエンジンが運転されているときは、混合気の燃焼モードが、気筒内の混合気の空燃比が理論空燃比よりも高い状態で混合気が燃焼する希薄燃焼モードと

10

20

30

40

50

なり、前記希薄燃焼領域よりもエンジン負荷が高いときは、混合気の燃焼モードが、気筒内の混合気の空燃比が理論空燃比以下となる状態で混合気が燃焼するストイキ/リッチ燃焼モードとなるように、前記空燃比変更手段を制御するとともに、

前記希薄燃焼モードの実施中、既燃ガスが気筒内に再導入されるように、且つ、前記壁温取得手段により推定あるいは取得された気筒の壁温である取得気筒壁温が高いときの方が低いときよりも気筒に再導入される既燃ガスの量が少なくなるように前記 E G R 実行手段を制御し、

前記取得気筒壁温が高いときの方が低いときよりも、前記希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値を高い値に設定する、ことを特徴とするエンジンの制御装置。

10

【請求項 5】

請求項 4 に記載のエンジンの制御装置において、

前記制御手段は、

前記希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値として、希薄燃焼開始回転数上限値と、当該希薄燃焼開始回転数上限値よりも高い希薄燃焼終了回転数上限値とを決定し、

前記ストイキ/リッチ燃焼モードの実施中にエンジン回転数が前記希薄燃焼開始回転数上限値以下になると混合気の燃焼モードが前記希薄燃焼モードに切替わり、前記希薄燃焼モードの実施中にエンジン回転数が前記希薄燃焼終了回転数上限値より高くなると混合気の燃焼モードが前記ストイキ/リッチ燃焼モードに切替わるように、前記空燃比変更手段を制御し、

20

前記取得気筒壁温が高いときの方が低いときよりも前記希薄燃焼開始回転数上限値および前記希薄燃焼終了回転数上限値をそれぞれ高い値に設定する、ことを特徴とするエンジンの制御装置。

【請求項 6】

請求項 4 または 5 に記載のエンジンの制御装置において、

前記制御手段は、前記希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値を前記取得気筒壁温に応じて段階的に変化させる、ことを特徴とするエンジンの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、エンジンの制御方法およびエンジンの制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

車両等に設けられるエンジンにおいて、燃費性能を高めるためにエンジンに形成された気筒内の混合気の空燃比を理論空燃比よりもリーン（理論空燃比よりも高く）して混合気を燃焼させることが行われている。ただし、混合気の空燃比を理論空燃比よりもリーンにすると、燃焼が不安定になりやすいという問題がある。

【0003】

これに対して、例えば特許文献 1 には、エンジン負荷が低くエンジン回転数が低い領域において、排気弁を排気行程に加えて吸気行程にも開弁させることで排気通路に一旦排出された既燃ガスを再び気筒内に導入しながら、混合気の空燃比を理論空燃比よりもリーンにしたエンジンが開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2015 - 98800 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

50

特許文献1のエンジンによれば、高温の既燃ガスが気筒に再導入されることで燃焼室内の温度を高めることができ、混合気の空燃比を理論空燃比よりもリーンにしても安定して混合気を燃焼させることができる。しかしながら、エンジン回転数が高いときには、排気弁が開弁している時間は短くなることで十分な既燃ガスを気筒に再導入できなくなり、燃焼安定性を十分に確保できないおそれがある。

【0006】

本発明は、前記のような事情に鑑みてなされたものであり、混合気の空燃比を理論空燃比よりもリーンにして燃費性能を高めつつ燃焼安定性を確保できるエンジンの制御方法および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】

【0007】

前記課題を解決するために、本発明は、エンジンの制御方法であって、気筒内の混合気の空燃比が理論空燃比よりも高い状態で混合気が燃焼する希薄燃焼モードと、気筒内の混合気の空燃比が理論空燃比以下となる状態で混合気が燃焼するストイキ/リッチ燃焼モードとのいずれの燃焼モードを実施するかを決定するモード決定工程と、前記モード決定工程で決定された燃焼モードで混合気が燃焼するようにエンジンの各部を制御する燃焼制御工程と、気筒の壁温を推定または取得する壁温取得工程とを含み、前記燃焼制御工程では、前記希薄燃焼モードの実施時に、気筒内で生成されて気筒外に排出された既燃ガスを気筒に再導入させるとともに、前記壁温取得工程で推定または取得された気筒の壁温である取得気筒壁温が高いときの方が低いときよりも気筒に再導入される既燃ガスの量を少なくし、前記モード決定工程では、所定の希薄燃焼領域でエンジンが運転されているときは前記希薄燃焼モードを実施すべき燃焼モードとして決定し、前記希薄燃焼領域よりもエンジン回転数が高いストイキ/リッチ燃焼領域でエンジンが運転されているときは前記ストイキ/リッチ燃焼モードを実施すべき燃焼モードとして決定するとともに、前記取得気筒壁温が高いときの方が低いときよりも、前記希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値を高い値に設定する、ことを特徴とするエンジンの制御方法を提供する（請求項1）。

【0008】

この方法では、気筒内の混合気の空燃比が理論空燃比よりも高い状態（リーンな状態）で混合気を燃焼させる希薄燃焼モードの実施時つまり希薄燃焼の実施時に高温の既燃ガスが混合気に混入されるので、混合気の温度を上げて燃焼安定性を高めることができる。そのため、混合気の空燃比を理論空燃比よりも高くしながらこれを適切に燃焼させることができる。

【0009】

ここで、気筒の壁温が低い時は燃焼安定性が悪くなりやすい。これに対して、本方法では、気筒の壁温が低いときには高いときよりも多量の高温の既燃ガスが気筒に再導入されるので、燃焼安定性の悪化を抑制することができる。

【0010】

ただし、既燃ガスを気筒に再導入するためには気筒と外部の通路（吸気通路や排気通路）とを連通させる必要があるが、エンジン回転数が高いときはこの連通期間の時間が短くなり気筒内に再導入される既燃ガスが確保されないおそれがある。これに対して、この方法では、気筒の壁温が低いときは、希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値つまり希薄燃焼領域に含まれるエンジン回転数の最大値を低い値に設定して、エンジン回転数がより低い運転条件のときに燃焼モードが希薄燃焼モードからストイキ/リッチ燃焼モードに切り替えられる。そのため、既燃ガスの量が不足している状態で希薄燃焼が実施されるのを回避することができ、燃焼安定性を確保することができる。

【0011】

そして、気筒の壁温が高く燃焼安定性が高いとき、つまり、エンジン回転数が高いこと伴って気筒に再導入される既燃ガスの量が少なく抑えられても燃焼安定性を確保できるときには、希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値を高い値に設定している

10

20

30

40

50

。そのため、気筒の壁温が高いときには、より広い領域で安定した希薄燃焼を実現することができ、燃費性能を高めることができる。

【0012】

このように、本方法では、気筒の壁温に応じて気筒に再導入される既燃ガスの量と希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値とを適切に変更しており、安定した希薄燃焼を実現して燃費性能を確実に高めることができる。

【0013】

前記構成において、好ましくは、前記モード決定工程では、前記希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値として、希薄燃焼開始回転数上限値と、当該希薄燃焼開始回転数上限値よりも高い希薄燃焼終了回転数上限値とを決定し、前記ストイキ/リッチ燃焼モードの実施中にエンジン回転数が前記希薄燃焼開始回転数上限値以下になると、前記ストイキ/リッチ燃焼モードから前記希薄燃焼モードへと実施すべき燃焼モードを切替え、前記希薄燃焼モードの実施中にエンジン回転数が前記希薄燃焼終了回転数上限値より高くなると、前記希薄燃焼モードから前記ストイキ/リッチ燃焼モードへと実施すべき燃焼モードを切替えるとともに、前記取得気筒壁温が高いときの方が低いときよりも前記希薄燃焼開始回転数上限値および前記希薄燃焼終了回転数上限値をそれぞれ高い値に設定する（請求項2）。

10

【0014】

この構成によれば、希薄燃焼モードから他の燃焼モードに頻繁に切り替えられるのを防止できるとともに、希薄燃焼モードが実施される運転領域を気筒の壁温に応じて適切に変更できる。

20

【0015】

前記構成において、好ましくは、前記モード決定工程では、前記希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値を前記取得気筒壁温に応じて段階的に変化させる（請求項3）。

【0016】

この構成によれば、希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値を変更するための制御構成を簡素化できる。

【0017】

また、本発明は、エンジンの制御装置であって、エンジンに形成された気筒内の空気と燃料の混合気の空燃比を変更可能な空燃比変更手段と、気筒内で生成されて気筒外に排出された既燃ガスを気筒に再導入させるEGR実行手段と、気筒の壁温を推定あるいは取得する壁温取得手段と、前記空燃比変更手段、前記EGR実行手段を制御する制御手段とを備え、前記制御手段は、所定の希薄燃焼領域でエンジンが運転されているときは、混合気の燃焼モードが、気筒内の混合気の空燃比が理論空燃比よりも高い状態で混合気が燃焼する希薄燃焼モードとなり、前記希薄燃焼領域よりもエンジン負荷が高いときは、混合気の燃焼モードが、気筒内の混合気の空燃比が理論空燃比以下となる状態で混合気が燃焼するストイキ/リッチ燃焼モードとなるように、前記空燃比変更手段を制御するとともに、前記希薄燃焼モードの実施中、既燃ガスが気筒内に再導入されるように、且つ、前記壁温取得手段により推定あるいは取得された気筒の壁温である取得気筒壁温が高いときの方が低いときよりも気筒に再導入される既燃ガスの量が少なくなるように前記EGR実行手段を制御し、前記取得気筒壁温が高いときの方が低いときよりも、前記希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値を高い値に設定する、ことを特徴とするエンジンの制御装置を提供する（請求項4）。

30

40

【0018】

この装置によっても、前記の方法と同様に、気筒の壁温に応じて気筒に再導入される既燃ガスの量と希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値とを適切に変更することができ、安定した希薄燃焼を実現して燃費性能を確実に高めることができる。

【0019】

前記構成において、好ましくは、前記制御手段は、前記希薄燃焼領域の範囲を規定する

50

エンジン回転数の上限値として、希薄燃焼開始回転数上限値と、当該希薄燃焼開始回転数上限値よりも高い希薄燃焼終了回転数上限値とを決定し、前記ストイキ/リッチ燃焼モードの実施中にエンジン回転数が前記希薄燃焼開始回転数上限値以下になると混合気の燃焼モードが前記希薄燃焼モードに切替わり、前記希薄燃焼モードの実施中にエンジン回転数が前記希薄燃焼終了回転数上限値より高くなると混合気の燃焼モードが前記ストイキ/リッチ燃焼モードに切替わるように、前記空燃比変更手段を制御し、前記取得気筒壁温が高いときの方が低いときよりも前記希薄燃焼開始回転数上限値および前記希薄燃焼終了回転数上限値をそれぞれ高い値に設定する（請求項5）。

【0020】

この構成によれば、前記の構成と同様に、燃焼モードが希薄燃焼モードから他の燃焼モードに頻りに切り替えられるのを防止できるとともに、希薄燃焼モードが実施される運転領域を気筒の壁温に応じて適切に変更できる。

【0021】

前記構成において、好ましくは、前記制御手段は、前記希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値を前記取得気筒壁温に応じて段階的に変化させる（請求項6）。

【0022】

この構成によれば、前記の構成と同様に、希薄燃焼領域の範囲を規定するエンジン回転数の上限値を変更するための制御構成を簡素化できる。

【発明の効果】

【0023】

以上説明したように、本発明のエンジンの制御方法および制御装置によれば、混合気の空燃比を理論空燃比よりもリーンして燃費性能を高めつつ燃焼安定性を確保することができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の一実施形態に係る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】吸気弁および排気弁のバルブリフトを示した図である。

【図3】エンジンの制御システムを示すブロック図である。

【図4】エンジンの運転領域を燃焼モードの相違により分け分けしたマップ図である。

【図5】SPCCI燃焼時の熱発生率の波形を示すグラフである。

【図6】SPCCI燃焼時の噴射パターンと熱発生率の波形を示した図である。

【図7】第1領域の範囲を示した図である。

【図8】第2領域の範囲を示した図である。

【図9】第3領域の範囲を示した図である。

【図10】エンジン負荷と排気シャッタ弁の開度との関係を示したグラフである。

【図11】リーンSPCCI領域の範囲および排気シャッタ弁の制御パターンの変更手順の前半を示したフローチャートである。

【図12】リーンSPCCI領域の範囲および排気シャッタ弁の制御パターンの変更手順の後半を示したフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0025】

(1) エンジンの全体構成

図1は、本発明のエンジンの制御方法および制御装置が適用されたエンジンの全体構成を概略的に示したシステム図である。本図に示されるエンジンシステムは、車両に搭載されており、走行用の動力源となるエンジン本体1を備える。本実施形態では、エンジン本体1として、4サイクルのガソリン直噴エンジンが用いられている。エンジンシステムは、エンジン本体1に加えて、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が流通する排気通路40と、排気通路40を流通する排気の一部を吸気通路30に還流するEGR装置50を備えている。

10

20

30

40

50

## 【0026】

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にそれぞれ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、典型的には複数の気筒2（例えば、図1の紙面と直交する方向に並ぶ4つの気筒2）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。

## 【0027】

ピストン5の上方には燃焼室6が画成されており、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で押し下げられたピストン5が上下方向に往復運動する。なお、燃焼室6に噴射される燃料には、主成分としてガソリンを含有したものが用いられる。この燃料には、ガソリンに加えてバイオエタノール等の副成分が含まれてもよい。

10

## 【0028】

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。

## 【0029】

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SPCCI燃焼（部分圧縮着火燃焼）に好適な値として、13以上30以下に設定される。

20

## 【0030】

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の回転数（エンジン回転数）を検出するクランク角センサSN1が設けられている。また、シリンダブロック3には、シリンダブロック3に形成されたウォータージャケットを流通してエンジン本体1を冷却するためのエンジン冷却水の温度（以下、適宜、エンジン水温という）を検出するエンジン水温センサSN2が設けられている。

## 【0031】

シリンダヘッド4には、燃焼室6に開口する吸気ポート9および排気ポート10と、吸気ポート9を開閉する吸気弁11と、排気ポート10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、吸気2バルブ×排気2バルブの4バルブ形式であり、吸気ポート9、排気ポート10、吸気弁11および排気弁12は、1つの気筒2についてそれぞれ2つずつ設けられている。本実施形態では、1つの気筒2に接続された2つの吸気ポート9のうち一方に、開閉可能なスワール弁18が設けられており、気筒2内のスワール流（気筒軸線の回りを旋回する旋回流）の強さが変更される。

30

## 【0032】

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。

## 【0033】

吸気弁11用の動弁機構13には、吸気弁11の少なくとも開時期を変更可能な吸気VV T 13 aが内蔵されている。同様に、排気弁12用の動弁機構14には、排気弁12の少なくとも閉時期を変更可能な排気VV T 14 aが内蔵されている。

40

## 【0034】

本実施形態では、これら吸気VV T 13 aおよび排気VV T 14 aの制御により、排気弁12の閉弁時期が吸気弁11の開弁時期よりも遅角側の時期とされて、吸気弁11および排気弁12がともに所定の期間開弁するバルブオーバーラップが実現される。また、吸気VV T 13 aおよび排気VV T 14 aの制御により、これら吸気弁11と排気弁12の双方が開弁する期間であるバルブオーバーラップ期間が変更される。吸気弁11と排気弁12とがバルブオーバーラップするように駆動されると、燃焼室6から吸気通路30と排

50

気通路 40 の少なくとも一方に既燃ガスが排出された後、この既燃ガスが再び燃焼室 6 に導入される内部 EGR が行われ、燃焼室 6 に既燃ガス（内部 EGR ガス）が残留することになる。燃焼室 6 に残留する既燃ガスである内部 EGR ガスの量は、バルブオーバーラップ期間によって変化し、前記のバルブオーバーラップ期間の調整によって内部 EGR ガスの量が調整される。なお、吸気 VVT 13a（排気 VVT 14a）は、吸気弁 11（排気弁 12）の開時期（閉時期）を固定したまま閉時期（開時期）のみを変更するタイプの可変機構であってもよいし、吸気弁 11（排気弁 12）の開時期および閉時期を同時に変更する位相式の可変機構であってもよい。

#### 【0035】

シリンダヘッド 4 には、燃焼室 6 に燃料（主にガソリン）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燃焼室 6 に導入された空気との混合気に点火する点火プラグ 16 とが設けられている。シリンダヘッド 4 には、さらに、燃焼室 6 の圧力である筒内圧を検出する筒内圧センサ SN3 が設けられている。

10

#### 【0036】

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。インジェクタ 15 は、その先端部がピストン 5 の冠面の中心部と対向するように設けられている。なお、図示は省略するが、本実施形態では、ピストン 5 の冠面に、その中央部を含む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が形成されている。

#### 【0037】

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。

20

#### 【0038】

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（吸気、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。

#### 【0039】

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。

30

#### 【0040】

吸気通路 30 の各部には、吸気の流量（吸気量）を検出するエアフローセンサ SN4 と、吸気の温度（吸気温）を検出する吸気温センサ SN5 とが設けられている。エアフローセンサ 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 との間の部分に設けられ、当該部分を通過する吸気の流量を検出する。吸気温センサ SN5 は、サージタンク 36 に設けられ、当該サージタンク 36 内の吸気の温度を検出する。

#### 【0041】

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、例えばリショルム式、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。過給機 33 とエンジン本体 1 との間には、締結と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、前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

#### 【0042】

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。バイパス弁

50

39は、サージタンク36に導入される吸気の圧力つまり過給圧を調整するための弁である。例えば、バイパス弁39の開度が大きくなるほど、バイパス通路38を通じて過給機33の上流側に逆流する吸気の流量が多くなる結果、過給圧は低くなる。

【0043】

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の他側面に接続されている。燃焼室6で生成された既燃ガス(排気)は、排気ポート10および排気通路40を通じて外部に排出される。

【0044】

排気通路40には触媒コンバータ41が設けられている。触媒コンバータ41には、排気に含まれる有害成分(HC、CO、NOx)を浄化するための三元触媒41aと、排気中に含まれる粒子状物質(PM)を捕集するためのGPF(ガソリン・パティキュレート・フィルタ)41bとが、この順で上流側から内蔵されている。

10

【0045】

排気通路40には、排気の温度(排気温)を検出する排気温センサSN6が設けられている。排気温センサSN6は、排気通路40のうち触媒コンバータ41よりも上流側の部分に設けられている。

【0046】

EGR装置50は、排気通路40と吸気通路30とを接続するEGR通路51と、EGR通路51に設けられたEGRクーラ52およびEGR弁53とを有している。EGR通路51は、排気通路40における触媒コンバータ41よりも下流側の部分と、吸気通路30におけるスロットル弁32と過給機33との間の部分とを互いに接続している。EGRクーラ52は、EGR通路51を通じて排気通路40から吸気通路30に還流される排気(外部EGRガス)を熱交換により冷却する。EGR弁53は、EGRクーラ52よりも下流側(吸気通路30に近い側)のEGR通路51に開閉可能に設けられ、EGR通路51を流通する排気の流量を調整する。

20

【0047】

EGR通路51には、EGR弁53の上流側の圧力と下流側の圧力との差を検出するための差圧センサSN7が設けられている。

【0048】

排気通路40には、排気通路40を開閉する排気シャッタ弁61が設けられている。排気シャッタ弁61は、排気通路40のうちEGR通路51の接続部分よりも下流側に取り付けられている。排気シャッタ弁61は、不図示の駆動装置によって開閉駆動されて、排気通路40の流路面積を変更する。排気シャッタ弁61の開度が閉じ側の開度とされると、排気通路40の流路面積が低減することでエンジンの背圧は上昇する。エンジンの背圧が上昇すると、燃焼室6から排気通路40に導出される排気量は低減し、燃焼室6内に残留する既燃ガスである内部EGRガスの量は増加する。

30

【0049】

本実施形態では、前記のように、吸気弁11と排気弁12のバルブオーバーラップ期間の調整によって内部EGRの量が調整されるとともに、排気シャッタ弁61によっても内部EGRガスの量が増減されるようになっている。これより、これら吸気弁11と排気弁12の開閉時期を変更する吸気VVT13aと排気VVT14aおよび排気シャッタ弁61が、請求項の「EGR実行手段」に相当する。また、燃焼室6内の混合気の空燃比は、主としてスロットル弁32の開度とインジェクタ15とによって変更され、少なくともこれらスロットル弁32とインジェクタ15とが請求項の「空燃比変更手段」として機能する。

40

【0050】

(2) 制御系統

図3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ECU100は、エンジン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CPU、ROM、RAM等から構成されている。

50

## 【 0 0 5 1 】

ECU100には各種センサによる検出信号が入力される。例えば、ECU100は、前述したクランク角センサSN1、エンジン水温センサSN2、筒内圧センサSN3、エアフローセンサSN4、吸気温センサSN5、排気温センサSN6、差圧センサSN7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、エンジン回転数、エンジン水温、筒内圧、吸気量、吸気温、排気温、EGR弁53の前後差圧）がECU100に逐次入力される。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を検出するアクセルセンサSN8が設けられており、このアクセルセンサSN8による検出信号もECU100に入力される。

## 【 0 0 5 2 】

ECU100は、前記各センサからの入力信号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、ECU100は、吸気VVT13a、排気VVT14a、インジェクタ15、点火プラグ16、スワール弁18、スロットル弁32、電磁クラッチ34、バイパス弁39、EGR弁53、および排気シャッタ弁61（排気シャッタ弁61を駆動する装置）等と電氣的に接続されており、前記演算の結果等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。このECU100は、請求項の「制御手段」および「壁温取得手段」に相当する。つまり、本実施形態では、ECU100が、「制御手段」と「壁温取得手段」の双方の機能を果たす。

## 【 0 0 5 3 】

## (3) 基本制御

図4は、エンジン回転数とエンジン負荷とに応じた燃焼モードの相違を説明するためのマップ図である。本図に示すように、エンジンの運転領域は、3つの運転領域、第1運転領域Aと第2運転領域Bと第3運転領域Cとに大別される。第3運転領域Cは、エンジン回転数が所定のSI実施回転数N1以上の領域である。第1運転領域Aは、エンジン回転数がSI実施回転数N1未満の領域のエンジン負荷が低い側であって極低負荷領域を除く領域である。第2運転領域Bは、第1運転領域Aと第3運転領域C以外の残余の領域である。

## 【 0 0 5 4 】

詳細は後述するが、第1運転領域AではリーンSPCCI燃焼モードが実施され、第2運転領域BではストイキSPCCI燃焼モードが実施され、第3運転領域CではSI燃焼モードが実施される。

## 【 0 0 5 5 】

本実施形態では、前記の第1運転領域Aが請求項の「希薄燃焼領域」に相当し、リーンSPCCI燃焼モードが請求項の「希薄燃焼モード」に相当する。また、ストイキSPCCI燃焼モードが請求項の「ストイキ/リッチ燃焼モード」に相当する。そして、第2運転領域Bのうち第1運転領域Aよりもエンジン回転数が高い領域（エンジン回転数が後述する開始側上限エンジン回転数 $N_{m \times \_I}$ あるいは終了側上限エンジン回転数 $N_{m \times \_O}$ よりも高い領域）が請求項の「ストイキ/リッチ燃焼領域」に相当する。

## 【 0 0 5 6 】

以下では、適宜、第1運転領域AをリーンSPCCI領域Aといい、第2運転領域BをストイキSPCCI領域Bといい、第3運転領域CをSI領域Cという。

## 【 0 0 5 7 】

本実施形態では、リーンSPCCI領域Aを区画するエンジン負荷とエンジン回転数とが、燃焼モードを他のモードからリーンSPCCI燃焼モードに切り替えるときと、リーンSPCCI燃焼モードから他のモードに切り替えるときとで異なる値とされている。

## 【 0 0 5 8 】

具体的には、ストイキSPCCI燃焼モードまたはSI燃焼モードが実施されているときは、リーンSPCCI領域Aは、エンジン負荷が所定の開始側上限エンジン負荷 $T_{m \times \_I}$ 以下且つ開始側下限エンジン負荷 $T_{m \times \_I}$ 以上で（ $T_{m \times \_I}$ は $T_{m \times \_I}$ よりも低い値に設定されている）、エンジン回転数が所定の開始側上限エンジン回転数 $N_{m \times \_I}$

10

20

30

40

50

I 以下に設定された開始側領域  $A_{-I}$  とされる。そして、ストイキ  $SPCCI$  燃焼モードまたは  $SI$  燃焼モードが実施されているときに、エンジンの運転ポイントがこの開始側領域  $A_{-I}$  内に移行すると、燃焼モードがリーン  $SPCCI$  燃焼モードに切り替えられる。

【0059】

一方、リーン  $SPCCI$  燃焼モードが実施されているときは、リーン  $SPCCI$  領域  $A$  は、エンジン負荷が所定の終了側上限エンジン負荷  $T_{mx\_O}$  以下且つ終了側下限エンジン負荷  $T_{mn\_O}$  以上で ( $T_{mn\_O}$  は  $T_{mx\_O}$  よりも低い値に設定されている)、エンジン回転数が所定の終了側上限エンジン回転数  $N_{mx\_O}$  以下に設定された終了側領域  $A_{-O}$  とされる。そして、リーン  $SPCCI$  燃焼モードが実施されているときに、エンジンの運転ポイントがこの終了側領域  $A_{-O}$  から外れると、燃焼モードがリーン  $SPCCI$  燃焼モード以外のモード (ストイキ  $SPCCI$  燃焼モードまたは  $SI$  燃焼モード) に切り替えられる。

10

【0060】

なお、終了側上限エンジン負荷  $T_{mx\_O}$  は、前記の開始側上限エンジン負荷  $T_{mx\_I}$  よりも高い値に設定されている。終了側下限エンジン負荷  $T_{mn\_O}$  は、前記の開始側下限エンジン負荷  $T_{mn\_I}$  よりも低い値に設定されている。終了側上限エンジン回転数  $N_{mx\_O}$  は、前記の開始側上限エンジン回転数  $N_{mx\_I}$  よりも高い値に設定されている。

【0061】

ここで、前記の開始側上限エンジン回転数  $N_{mx\_I}$  が請求項の「希薄燃焼開始回転数上限値」に相当し、前記の終了側上限エンジン回転数  $N_{mx\_O}$  が請求項の「希薄燃焼終了回転数上限値」に相当する。

20

【0062】

(3-1) リーン  $SPCCI$  領域  $A$  およびストイキ  $SPCCI$  領域  $B$

リーン  $SPCCI$  領域  $A$  およびストイキ  $SPCCI$  領域  $B$  では、 $SI$  燃焼と  $CI$  燃焼とをミックスした圧縮着火燃焼 (以下、これを  $SPCCI$  燃焼という) が実行される。なお、 $SPCCI$  燃焼における「 $SPCCI$ 」とは、「Spark Controlled Compression Ignition」の略である。

【0063】

$SI$  燃焼とは、点火プラグ 16 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形態のことである。 $CI$  燃焼とは、ピストン 5 の圧縮により高温・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形態のことである。そして、これら  $SI$  燃焼と  $CI$  燃焼とをミックスした  $SPCCI$  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 内の残り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。

30

【0064】

図 5 は、 $SPCCI$  燃焼が起きたときのクランク角に対する熱発生率 ( $J/deg$ ) の変化を示したグラフである。 $SPCCI$  燃焼では、 $SI$  燃焼時の熱発生が  $CI$  燃焼時の熱発生よりも穏やかになる。例えば、 $SPCCI$  燃焼が行われたときの熱発生率の波形は、図 5 に示すように、立ち上がりの傾きが相対的に小さくなる。また、燃焼室 6 における圧力変動 (つまり  $dP/d$  :  $P$  は筒内圧 はクランク角度) も、 $SI$  燃焼時は  $CI$  燃焼時よりも穏やかになる。言い換えると、 $SPCCI$  燃焼時の熱発生率の波形は、 $SI$  燃焼によって形成された相対的に立ち上がりの傾きが小さい第 1 熱発生率部 ( $M1$  で示した部分) と、 $CI$  燃焼によって形成された相対的に立ち上がりの傾きが大きい第 2 熱発生率部 ( $M2$  で示した部分) とが、この順に連続するように形成される。

40

【0065】

$SI$  燃焼によって、燃焼室 6 内の温度および圧力が高まると、これに伴い未燃混合気が自着火し、 $CI$  燃焼が開始される。図 5 に例示するように、この自着火のタイミング (つ

50

まりC I 燃焼が開始するタイミング)で、熱発生率の波形の傾きが小から大へと変化する。すなわち、S P C C I 燃焼における熱発生率の波形は、C I 燃焼が開始するタイミングで現れる変曲点(図5のX)を有している。

【0066】

C I 燃焼の開始後は、S I 燃焼とC I 燃焼とが並行して行われる。C I 燃焼は、S I 燃焼よりも熱発生が大きいので、熱発生率は相対的に大きくなる。ただし、C I 燃焼は、圧縮上死点の後に行われるため、熱発生率の波形の傾きが過大になることはない。すなわち、圧縮上死点を過ぎるとピストン5の下降によりモータリング圧力が低下するので、このことが熱発生率の上昇を抑制する結果、C I 燃焼時の $dP/d$ が過大になることが回避される。このように、S P C C I 燃焼では、S I 燃焼の後にC I 燃焼が行われるという性質上、燃焼騒音の指標となる $dP/d$ が過大になり難く、単純なC I 燃焼(全ての燃料をC I 燃焼させた場合)に比べて燃焼騒音を抑制することができる。

10

【0067】

C I 燃焼の終了に伴いS P C C I 燃焼も終了する。C I 燃焼はS I 燃焼に比べて燃焼速度が速いので、単純なS I 燃焼(全ての燃料をS I 燃焼させた場合)に比べて燃焼終了時期を早めることができる。言い換えると、S P C C I 燃焼では、燃焼終了時期を膨張行程内において圧縮上死点に近づけることができる。これにより、S P C C I 燃焼では、単純なS I 燃焼に比べて燃費性能を向上させることができる。

【0068】

(a) リーンS P C C I 領域A

リーンS P C C I 領域Aでは、燃費性能を高めるために、燃焼室6内の空燃比(A/F)が理論空燃比よりも高く(リーンに)されつつS P C C I 燃焼が実施されて、混合気の燃焼モードとして、空燃比が理論空燃比よりも高い混合気をS P C C I 燃焼させるリーンS P C C I 燃焼モードが実施される。以下では、空燃比が理論空燃比よりも高い混合気のS P C C I 燃焼をリーンS P C C I 燃焼という。

20

【0069】

本実施形態では、リーンS P C C I 領域Aにおいて、燃焼室6内で生成される $NO_x$ である $rawNO_x$ の量が十分に小さくなる程度にまで燃焼室6内の空燃比が高くされる。例えば、リーンS P C C I 領域Aにおいて燃焼室6内の空燃比は30程度とされる。

【0070】

リーンS P C C I 領域Aでは、インジェクタ15は、燃焼室6内の空燃比(A/F)が前記のように理論空燃比よりも高くなるような量の燃料を燃焼室6に噴射する。本実施形態では、1サイクル中に燃焼室6に供給すべき燃料の全量が吸気行程中に燃焼室6に噴射されるように、インジェクタ15は駆動される。例えば、図6に示すように、リーンS P C C I 領域Aでは、吸気行程中に大半の燃料が噴射され(Q1)、圧縮行程中に2回に分けて残りの燃料が噴射される(Q2、Q3)。

30

【0071】

リーンS P C C I 領域Aでは、図6に示すように、点火プラグ16は、圧縮上死点付近で混合気に点火する。この点火をきっかけにS P C C I 燃焼が開始され、燃焼室6内の一部の混合気が火炎伝播により燃焼(S I 燃焼)し、その後に残りの混合気が自着火により燃焼(C I 燃焼)する。なお、混合気を活性化させるために、圧縮上死点付近で実施する点火よりも前に追加で点火を行ってもよい。

40

【0072】

リーンS P C C I 領域Aでは、スロットル弁32の開度は全開または全開に近い開度とされる。

【0073】

リーンS P C C I 領域Aでは、E G R 弁53は全閉とされて、燃焼室6に導入される外部E G R ガスの量がゼロとされる。これは、混合気の温度が低下して燃焼安定性が悪化するのを防止するためである。具体的には、本実施形態では、前記のように外部E G R ガスはE G R クーラ52により冷却されており、外部E G R ガスの温度は比較的溫度が低い。

50

そのため、このような比較的温度の低い外部 EGR ガスが燃焼室 6 に導入されると、混合気の温度が十分に上昇せず適切な CI 燃焼が実現されないおそれがある。そこで、リーン SPCCI 領域 A では、燃焼室 6 への外部 EGR ガスの導入を停止する。

【0074】

リーン SPCCI 領域 A では、吸気 VVT 13a および排気 VVT 14a が、吸気弁 11 と排気弁 12 を、これら吸気弁 11 と排気弁 12 とが排気上死点を跨いで所定期間開弁してバルブオーバーラップが実現するように駆動する。これは、混合気の温度を高めるためである。具体的には、吸気弁 11 と排気弁 12 とのバルブオーバーラップが実施されると、前記のように内部 EGR が実行されて、燃焼室 6 に高温の既燃ガスが残留することになる。高温の既燃ガスが燃焼室 6 に残留すれば、混合気の温度が高められることで混合気を適切に CI 燃焼させることができる。そこで、リーン SPCCI 領域 A では、吸気 VVT 13a および排気 VVT 14a (吸気弁 11 および排気弁 12) を前記のように制御する。リーン SPCCI 領域 A では、例えば、吸気弁 11 と排気弁 12 のバルブオーバーラップ期間は、50 ~ 70 °CA (クランク角) 程度とされ、リーン SPCCI 領域 A の全域でほぼ一定とされる。

10

【0075】

リーン SPCCI 領域 A では、スワール弁 18 は全閉もしくは全閉に近い低開度まで閉じられる。

【0076】

リーン SPCCI 領域 A では、過給機 33 の駆動は停止される。すなわち、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

【0077】

リーン SPCCI 領域 A では、排気シャッタ弁 61 の開度は全開あるいは全開よりも閉じ側の開度とされる。リーン SPCCI 領域 A における排気シャッタ弁 61 の開度の詳細な制御については後述する。

【0078】

(b) ストイキ SPCCI 領域 B

エンジン負荷が極めて低い領域では、燃焼室 6 内で生成される燃焼エネルギーが低いために混合気の温度が低く抑えられる。エンジン回転数が高い領域では、吸気弁 11 と排気弁 12 のバルブオーバーラップ期間の時間が短くなることで燃焼室 6 に残留する既燃ガスつまり内部 EGR ガスの量が少なくなるため、混合気の温度が低く抑えられる。これより、これらの領域では、SI 燃焼が緩慢になって適切なタイミングで CI 燃焼を生じさせるのが困難になり、燃焼安定性が悪化しやすい。これに対して、混合気の空燃比を理論空燃比以下とすれば、SI 燃焼の燃焼速度を速くして適切なタイミングで CI 燃焼を生じさせることが可能になり、燃焼安定性が高まるとともに、NOx を三元触媒 41a において浄化することが可能になる。また、エンジン負荷が高い領域では、燃焼室 6 内に供給される燃料の量が多いことで混合気の空燃比をリーンにするのが困難になる。

30

【0079】

これより、本実施形態では、リーン SPCCI 領域 A よりもエンジン負荷が低い領域と、リーン SPCCI 領域 A よりもエンジン負荷が高い領域と、リーン SPCCI 領域 A よりもエンジン回転数が高い領域とを含むストイキ SPCCI 領域 B では、燃焼室 6 内の空燃比を理論空燃比以下としつつ混合気を SPCCI 燃焼させる。すなわち、ストイキ SPCCI 領域 B では、混合気の燃焼モードとして、空燃比が理論空燃比以下の混合気を SPCCI 燃焼させるストイキ SPCCI 燃焼モードが実施される。以下では、適宜、空燃比が理論空燃比以下の混合気の SPCCI 燃焼をストイキ SPCCI 燃焼という。本実施形態では、ストイキ SPCCI 領域 B において、混合気の空燃比はほぼ理論空燃比とされる。なお、ストイキ SPCCI 燃焼モードは、前記のように、混合気の空燃比が理論空燃比以下とされる燃焼モードであり、混合気の空燃比がストイキであって理論空燃比とされる燃焼モードに限らず、混合気の空燃比が理論空燃比よりも小さくされる燃焼モードも含む

40

50

。 ストイキ S P C C I 領域 B では、インジェクタ 1 5 は、前記のように空燃比が理論空燃比となるような量の燃料を燃焼室 6 に噴射する。本実施形態では、1 サイクル中に噴射すべき燃料の大半が吸気行程中に噴射され、残りの燃料が圧縮行程中に噴射されるように、インジェクタ 1 5 は駆動される。

【 0 0 8 0 】

ストイキ S P C C I 領域 B でも、点火プラグ 1 6 は、圧縮上死点付近で混合気に点火する。ストイキ S P C C I 領域 B においても、この点火をきっかけに S P C C I 燃焼が開始され、燃焼室 6 内の一部の混合気が火炎伝播により燃焼 ( S I 燃焼 ) し、その後に残りの混合気が自着火により燃焼 ( C I 燃焼 ) する。

【 0 0 8 1 】

ストイキ S P C C I 領域 B でも、スロットル弁 3 2 の開度は全開または全開に近い開度とされる。

【 0 0 8 2 】

ストイキ S P C C I 領域 B では、混合気の実空燃比が理論空燃比とされることで燃焼安定性が高められており、混合気の温度が多少低くても混合気を適切に C I 燃焼させることが可能になる。これより、ストイキ S P C C I 領域 B では、E G R 弁 5 3 が開かれて外部 E G R ガスが燃焼室 6 に導入される。ただし、エンジン負荷が高いときは多量の空気を燃焼室 6 に導入せねばならないため、外部 E G R ガスの燃焼室 6 への導入量を低減する必要がある。そこで、ストイキ S P C C I 領域 B では、燃焼室 6 に導入される外部 E G R ガスの量が高負荷側ほど少なくなるように E G R 弁 5 3 の開度が制御され、エンジン負荷が最大となる領域では E G R 弁 5 3 は全閉にされる。

【 0 0 8 3 】

ストイキ S P C C I 領域 B でも、吸気 V V T 1 3 a および排気 V V T 1 4 a は、吸気弁 1 1 と排気弁 1 2 を、これら吸気弁 1 1 と排気弁 1 2 とが排気上死点を跨いで所定期間開弁するように ( 吸気弁 1 1 と排気弁 1 2 のバルブオーバーラップが実現されるように ) 駆動する。

【 0 0 8 4 】

ストイキ S P C C I 領域 B では、スワール弁 1 8 は、全閉 / 全開を除いた適宜の中間開度まで開かれ、その開度は、エンジン負荷が高いほど大きくされる。

【 0 0 8 5 】

過給機 3 3 は、ストイキ S P C C I 領域 B のうちエンジン回転数およびエンジン負荷とともに低い側では停止される。一方、ストイキ S P C C I 領域 B のその他の領域では、過給機 3 3 は稼働される。すなわち、電磁クラッチ 3 4 が締結されて過給機 3 3 とエンジン本体 1 とが連結される。このとき、サージタンク 3 6 内の圧力 ( 過給圧 ) が、運転条件 ( 回転数 / 負荷 ) 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 3 9 の開度が制御される。

【 0 0 8 6 】

ストイキ S P C C I 領域 B では、排気シャッタ弁 6 1 は全開とされる。

【 0 0 8 7 】

( 3 - 2 ) S I 領域

S I 領域 C では、比較的オーソドックスな S I 燃焼が実行される。この S I 燃焼の実現のために、S I 領域 C では、インジェクタ 1 5 は、少なくとも吸気行程と重複する所定の期間にわたって燃料を噴射する。点火プラグ 1 6 は、圧縮上死点付近で混合気に点火する。S I 領域 C では、この点火をきっかけに S I 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。

【 0 0 8 8 】

S I 領域 C では、過給機 3 3 は稼働される。スロットル弁 3 2 は全開とされる。E G R 弁 5 3 は、燃焼室 6 内の空燃比 ( A / F ) が理論空燃比もしくはこれよりややリッチとなるように、その開度が制御される。スワール弁 1 8 は全開とされる。排気シャッタ弁 6 1 は全開とされる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 9 】

( 4 ) 燃焼室の壁温に応じた制御

( 4 - 1 ) リーン S P C C I 領域 A の範囲

前記のように、リーン S P C C I 燃焼は混合気の空燃比が理論空燃比よりも高くされることで燃焼安定性が悪化しやすい。そのため、燃焼室 6 の壁温が低く混合気の温度上昇が抑制されるときには、リーン S P C C I 燃焼を実施しようとしてもこれを適切に実現できないおそれがある。これに対して、高温の既燃ガスである内部 E G R ガスの量を多くすれば、混合気の温度を高めることができる。しかしながら、内部 E G R ガスの量が多くなると燃焼室 6 内に導入可能な空気の量が低減するので、得られるエンジントルクが低くなってしまふ。また、前記のように、エンジン回転数が高いときには、吸気弁 1 1 と排気弁 1 2 とをバルブオーバーラップさせることによって燃焼室 6 に導入できる内部 E G R ガスの量が少なくなる。そのため、エンジン回転数が高いときは、混合気の温度を十分に高めるのに必要な内部 E G R ガス量を確保できなくなる。そこで、E C U 1 0 0 は、燃焼室 6 の壁温つまり気筒 2 の壁温に応じてリーン S P C C I 領域 A の範囲を変更する。

10

## 【 0 0 9 0 】

E C U 1 0 0 は、エンジン水温センサ S N 2 で検出されたエンジン水温に基づいて燃焼室 6 の壁温を推定する。E C U 1 0 0 は、推定した燃焼室 6 の壁温（以下、適宜、燃焼室壁温という）に応じて、リーン S P C C I 領域 A の範囲を規定するエンジン負荷の上限値つまりリーン S P C C I 領域 A に含まれるエンジン負荷の最大値、および、リーン S P C C I 領域 A の範囲を規定するエンジン回転数の上限値つまりリーン S P C C I 領域 A に含まれるエンジン回転数の最大値を変更する。これにより、E C U 1 0 0 は、リーン S P C C I 領域 A を、図 7 に示す第 1 領域 A 1 と、図 8 に示す第 2 領域 A 2 と、図 9 に示す第 3 領域 A 3 との間で切り替える。

20

## 【 0 0 9 1 】

E C U 1 0 0 は、開始側上限エンジン負荷  $T m \times \_ I$  を、燃焼室壁温が第 1 判定温度以上のときは第 1 開始側上限負荷  $T m \times 1 \_ I$  に設定し、燃焼室壁温が第 1 判定温度未満かつ第 2 判定温度以上のときは、第 1 開始側上限負荷  $T m \times 1 \_ I$  よりも小さい第 2 開始側上限負荷  $T m \times 2 \_ I$  に設定し、燃焼室壁温が第 2 判定温度未満のときは第 2 開始側上限負荷  $T m \times 2 \_ I$  よりも小さい第 3 開始側上限負荷  $T m \times 3 \_ I$  に設定する。なお、第 1 判定温度、第 2 判定温度、各開始側上限負荷  $T m \times 1 \_ I$ 、 $T m \times 2 \_ I$ 、 $T m \times 3 \_ I$  は、予め設定されて E C U 1 0 0 に記憶されている。また、第 2 判定温度は、第 1 判定温度よりも低い温度に設定されている。例えば、第 1 判定温度は  $1 1 6 ^\circ$  に設定され、第 2 判定温度は  $9 0 ^\circ$  に設定される。

30

## 【 0 0 9 2 】

E C U 1 0 0 は、終了側上限エンジン負荷  $T m \times \_ O$  を、燃焼室壁温が第 1 判定温度以上のときは第 1 終了側上限負荷  $T m \times 1 \_ O$  に設定し、燃焼室壁温が第 1 判定温度未満かつ第 2 判定温度以上のときは第 1 終了側上限負荷  $T m \times 1 \_ O$  よりも小さい第 2 終了側上限負荷  $T m \times 2 \_ O$  に設定し、燃焼室壁温が第 2 判定温度未満のときは第 2 終了側上限負荷  $T m \times 2 \_ O$  よりも小さい第 3 終了側上限負荷  $T m \times 3 \_ O$  に設定する。なお、各終了側上限負荷  $T m \times 1 \_ O$ 、 $T m \times 2 \_ O$ 、 $T m \times 3 \_ O$  も、予め設定されて E C U 1 0 0 に記憶されている。

40

## 【 0 0 9 3 】

第 1 終了側上限負荷  $T m \times 1 \_ O$  は第 1 開始側上限負荷  $T m \times 1 \_ I$  よりも大きい値に設定され、第 2 終了側上限負荷  $T m \times 2 \_ O$  は第 2 開始側上限負荷  $T m \times 2 \_ I$  よりも大きい値に設定され、第 3 終了側上限負荷  $T m \times 3 \_ O$  は第 3 開始側上限負荷  $T m \times 3 \_ I$  よりも大きい値に設定されている。

## 【 0 0 9 4 】

E C U 1 0 0 は、開始側上限エンジン回転数  $N m \times \_ I$  を、燃焼室壁温が第 1 判定温度以上のときは第 1 開始側上限回転数  $N m \times 1 \_ I$  に設定し、燃焼室壁温が第 1 判定温度未満かつ第 2 判定温度以上のときは第 1 開始側上限回転数  $N m \times 1 \_ I$  よりも小さい第 2 開

50

始側上限回転数  $N_{m \times 2\_I}$  に設定し、燃焼室壁温が第2判定温度未満のときは第2開始側上限回転数  $N_{m \times 2\_I}$  よりも小さい第3開始側上限回転数  $N_{m \times 3\_I}$  に設定する。なお、各開始側上限回転数  $N_{m \times 1\_I}$ 、 $N_{m \times 2\_I}$ 、 $N_{m \times 3\_I}$  も、予め設定されて ECU100 に記憶されている。

【0095】

ECU100 は、終了側上限エンジン回転数  $N_{m \times \_O}$  を、燃焼室壁温が第1判定温度以上のときは第1終了側上限回転数  $N_{m \times 1\_O}$  に設定し、燃焼室壁温が第1判定温度未満かつ第2判定温度以上のときは第1終了側上限回転数  $N_{m \times 1\_O}$  よりも小さい第2終了側上限回転数  $N_{m \times 2\_O}$  に設定し、燃焼室壁温が第2判定温度未満のときは第2終了側上限回転数  $N_{m \times 2\_O}$  よりも小さい第3終了側上限回転数  $N_{m \times 3\_O}$  に設定する。なお、各終了側上限回転数  $N_{m \times 1\_O}$ 、 $N_{m \times 2\_O}$ 、 $N_{m \times 3\_O}$  も、予め設定されて ECU100 に記憶されている。

10

【0096】

第1終了側上限回転数  $N_{m \times 1\_O}$  は第1開始側上限回転数  $N_{m \times 1\_I}$  よりも大きい値に設定され、第2終了側上限回転数  $N_{m \times 2\_O}$  は第2開始側上限回転数  $N_{m \times 2\_I}$  よりも大きい値に設定され、第3終了側上限回転数  $N_{m \times 3\_O}$  は第3開始側上限回転数  $N_{m \times 3\_I}$  よりも大きい値に設定されている。

【0097】

一方、ECU100 は、開始側下限エンジン負荷  $T_{m n\_I}$ 、終了側下限エンジン負荷  $T_{m n\_O}$ 、開始側下限エンジン回転数  $N_{m n\_I}$  を、それぞれ予め設定された所定値に決定し、燃焼室壁温に関わらずこれら所定値に維持する。

20

【0098】

これより、燃焼室壁温が第1判定温度以上のときは、リーンSPCCI領域Aは、エンジン負荷が第1開始側上限負荷  $T_{m \times 1\_I}$  以下かつ開始側下限エンジン負荷  $T_{m n\_I}$  以上で、エンジン回転数が第1開始側上限回転数  $N_{m \times 1\_I}$  以下かつ開始側下限エンジン回転数  $N_{m n\_I}$  以上の開始側第1領域  $A_{1\_I}$  (リーンSPCCI燃焼モードではない燃焼モードが実施されているとき)、あるいは、エンジン負荷が第1終了側上限負荷  $T_{m \times 1\_O}$  以下かつ終了側下限エンジン負荷  $T_{m n\_O}$  以上で、エンジン回転数が第1終了側上限回転数  $N_{m \times 1\_O}$  以下の終了側第1領域  $A_{1\_O}$  (リーンSPCCI燃焼モードが実施されているとき)とされる。以下では、これら開始側第1領域  $A_{1\_I}$  と終了側第1領域  $A_{1\_O}$  とをまとめて第1領域  $A_1$  という。

30

【0099】

また、燃焼室壁温が第1判定温度以上かつ第2判定温度未満のときは、リーンSPCCI領域Aは、エンジン負荷が第2開始側上限負荷  $T_{m \times 2\_I}$  以下かつ開始側下限エンジン負荷  $T_{m n\_I}$  以上で、エンジン回転数が第2開始側上限回転数  $N_{m \times 2\_I}$  以下かつ開始側下限エンジン回転数  $N_{m n\_I}$  以上の開始側第2領域  $A_{2\_I}$  (リーンSPCCI燃焼モードではない燃焼モードが実施されているとき)、あるいは、エンジン負荷が第2終了側上限負荷  $T_{m \times 2\_O}$  以下かつ終了側下限エンジン負荷  $T_{m n\_O}$  以上で、エンジン回転数が第2終了側上限回転数  $N_{m \times 2\_O}$  以下の終了側第2領域  $A_{2\_O}$  (リーンSPCCI燃焼モードが実施されているとき)とされる。以下では、これら開始側第2領域  $A_{2\_I}$  と終了側第2領域  $A_{2\_O}$  とをまとめて第2領域  $A_2$  という。

40

【0100】

また、燃焼室壁温が第2判定温度未満のときは、リーンSPCCI領域Aは、エンジン負荷が第3開始側上限負荷  $T_{m \times 3\_I}$  以下かつ開始側下限エンジン負荷  $T_{m n\_I}$  以上で、エンジン回転数が第3開始側上限回転数  $N_{m \times 3\_I}$  以下かつ開始側下限エンジン回転数  $N_{m n\_I}$  以上の開始側第3領域  $A_{3\_I}$  (リーンSPCCI燃焼モードではない燃焼モードが実施されているとき)、あるいは、エンジン負荷が第3終了側上限負荷  $T_{m \times 3\_O}$  以下かつ終了側下限エンジン負荷  $T_{m n\_O}$  以上で、エンジン回転数が第3終了側上限回転数  $N_{m \times 3\_O}$  以下の終了側第3領域  $A_{3\_O}$  (リーンSPCCI燃焼モードではない燃焼モードが実施されているとき)とされる。以下では、これら開始側第3領域  $A_{3\_I}$

50

3 \_\_ I と終了側第 3 領域 A 3 \_\_ O とをまとめて第 3 領域 A 3 という。

【 0 1 0 1 】

このように、本実施形態では、燃焼室壁温に応じて、リーン S P C C I 領域 A が第 1 領域 A 1 と第 2 領域 A 2 と第 3 領域 A 3 とで切り替えられて、燃焼室壁温が低いときの方が高いときよりも、リーン S P C C I 領域 A の範囲を規定するエンジン負荷の上限値およびエンジン回転数の上限値がそれぞれ小さくされる。

【 0 1 0 2 】

なお、本実施形態では、リーン S P C C I 領域 A でエンジンが運転されていないとき、つまり、リーン S P C C I 燃焼が実施されていないときにのみ、リーン S P C C I 領域 A の切替えが行われるようになっており、リーン S P C C I 燃焼の実施中に燃焼室壁温が第 1 判定温度あるいは第 2 判定温度をまたいで変化しても、リーン S P C C I 領域 A の切替は実施されない。

10

【 0 1 0 3 】

また、リーン S P C C I 領域 A の範囲が変更されるのに伴ってストイキ S P C C I 領域 B の範囲も変更される。具体的には、S I 実施回転数 N 1 未満の領域のうち変更後のリーン S P C C I 領域 A を除く領域がストイキ S P C C I 領域 B に設定される。

【 0 1 0 4 】

( 4 - 2 ) 排気シャッタ弁 6 1 の制御

本実施形態では、リーン S P C C I 領域 A において、排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンが、燃焼室壁温に応じて、図 1 0 に示す第 1 パターンと第 2 パターンと第 3 パターンとに切り替えられる。

20

【 0 1 0 5 】

E C U 1 0 0 は、燃焼室壁温が第 1 判定温度以上のときは、排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンを第 1 パターンに設定する。第 1 パターンは、排気シャッタ弁 6 1 をエンジン負荷およびエンジン回転数に関わらず全開にするパターンであり、燃焼室壁温が第 1 判定温度以上のときは、リーン S P C C I 領域 A ( 第 1 領域 A 1 ) の全域において排気シャッタ弁 6 1 は全開にされる。

【 0 1 0 6 】

これに対して、E C U 1 0 0 は、燃焼室壁温が第 1 判定温度未満且つ第 2 判定温度以上のときは、排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンを第 2 パターンに設定する。第 2 パターンは、リーン S P C C I 領域 A ( 第 2 領域 A 2 ) において、排気シャッタ弁 6 1 の開度を全開よりも閉じ側の開度とするパターンである。これより、燃焼室壁温が第 1 判定温度未満且つ第 2 判定温度以上のときは、リーン S P C C I 領域 A ( 第 2 領域 A 2 ) の全域において排気シャッタ弁 6 1 は全開よりも閉じ側であって燃焼室壁温が第 1 判定温度以上のときの開度よりも閉じ側とされる。

30

【 0 1 0 7 】

本実施形態では、第 2 パターンは、エンジン負荷が低いほど排気シャッタ弁 6 1 の開度が閉じ側の開度となるように設定されている。これより、燃焼室壁温が第 1 判定温度未満且つ第 2 判定温度以上のときは、リーン S P C C I 領域 A ( 第 2 領域 A 2 ) において、排気シャッタ弁 6 1 はエンジン負荷が低いほど閉じられる。なお、排気シャッタ弁 6 1 の開度はエンジン回転数に対しては一定の値に維持されるようになっており、エンジン負荷が同じ場合はエンジン回転数が異なっても排気シャッタ弁 6 1 の開度は同じ開度とされる。

40

【 0 1 0 8 】

また、E C U 1 0 0 は、燃焼室壁温が第 2 判定温度未満のときは、排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンを第 3 パターンに設定する。第 3 パターンは、リーン S P C C I 領域 A ( 第 3 領域 A 3 ) において、排気シャッタ弁 6 1 の開度を、全開よりも閉じ側で、且つ、第 2 パターンの開度よりも閉じ側の開度とするパターンである。具体的には、第 3 パターンの排気シャッタ弁 6 1 の開度は、同じ運転ポイント ( エンジン回転数およびエンジン負荷が同じとき ) での第 2 パターンの排気シャッタ弁 6 1 の開度よりも小さい ( 閉じ側の ) 開度に設定されている。これより、燃焼室壁温が第 2 判定温度のときは、リーン S P C C I

50

領域 A (第 3 領域 A 3) の全域において排気シャッタ弁 6 1 は全開よりも閉じ側にされるとともに、燃焼室壁温が第 2 判定温度以上のときよりも閉じ側とされる。

【0109】

本実施形態では、第 3 パターンも第 2 パターンと同様に、エンジン負荷が低いほど排気シャッタ弁 6 1 の開度が閉じ側の開度となるように設定されている。これより、燃焼室壁温が第 2 判定温度未満のときは、リーン S P C C I 領域 A (第 3 領域 A 3) において、排気シャッタ弁 6 1 はエンジン負荷が低いほど閉じられる。なお、第 3 パターンにおいても、排気シャッタ弁 6 1 の開度はエンジン回転数に対しては一定の値に維持されるようになっており、エンジン負荷が同じ場合はエンジン回転数が異なっても排気シャッタ弁 6 1 の開度は同じ開度とされる。

10

【0110】

ここで、本実施形態では、リーン S P C C I 領域 A でエンジンが運転されていないとき、つまり、リーン S P C C I 燃焼が実施されないときにのみ、排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンの切替えが行われるようになっている。そのため、リーン S P C C I 燃焼の実施中に燃焼室壁温が第 1 判定温度あるいは第 2 判定温度をまたいで変化しても、排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンの切替えは実施されない。

【0111】

(4-3) 制御の流れ

前記の燃焼壁温に応じたリーン S P C C I 領域 A の範囲の変更手順および排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンの変更手順をまとめると図 11、図 12 のフローチャートのようになる。

20

【0112】

まず、ステップ S 1 にて、E C U 1 0 0 は、各センサ S N 1 ~ S N 8 で検出された値を取得する。次に、ステップ S 2 にて、E C U 1 0 0 は、エンジン水温に基づいて燃焼室壁温を推定する。

【0113】

次に、ステップ S 3 にて、E C U 1 0 0 は、リーン S P C C I 燃焼ではない燃焼が実施されているか否かを判定する。つまり、ストイキ S P C C I 燃焼あるいは S I 燃焼の実施中であるか否かを判定する。

【0114】

ステップ S 3 の判定が N O であってリーン S P C C I 燃焼が実施されている場合 (リーン S P C C I 燃焼モードが実施されている場合) は、ステップ S 4 に進む。ステップ S 4 にて、E C U 1 0 0 は、リーン S P C C I 領域 A を現在設定されている領域に維持する。また、ステップ S 5 にて、排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンを現在設定されているパターンに維持する。

30

【0115】

一方、ステップ S 3 の判定が Y E S であってストイキ S P C C I 燃焼あるいは S I 燃焼が実施されている場合は、ステップ S 6 に進む。

【0116】

ステップ S 6 にて、E C U 1 0 0 は、燃焼室壁温が第 1 判定温度以上であるか否かを判定する。ステップ S 6 の判定が Y E S であって燃焼室壁温が第 1 判定温度以上の場合は、ステップ S 7 に進み、E C U 1 0 0 は、リーン S P C C I 領域 A を第 1 領域 A 1 に設定する。また、その後ステップ S 8 に進み、E C U 1 0 0 は、排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンを第 1 パターンに設定する。

40

【0117】

一方、ステップ S 6 の判定が N O であって燃焼室壁温が第 1 判定温度未満の場合は、ステップ S 9 に進む。ステップ S 9 にて、E C U 1 0 0 は、燃焼室壁温が第 2 判定温度以上であるか否かを判定する。ステップ S 9 の判定が Y E S であって燃焼室壁温が第 2 判定温度以上 (且つ第 1 判定温度未満) の場合は、ステップ S 10 に進む。ステップ S 10 にて、E C U 1 0 0 は、リーン S P C C I 領域 A を第 2 領域 A 2 に設定する。また、その後ス

50

ステップ S 1 1 に進み、E C U 1 0 0 は、排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンを第 2 パターンに設定する。

【 0 1 1 8 】

また、ステップ S 9 の判定が N O であって燃焼室壁温が第 2 判定温度未満の場合は、ステップ S 1 2 に進む。ステップ S 1 2 にて、E C U 1 0 0 は、リーン S P C C I 領域 A を第 3 領域 A 3 に設定する。また、その後ステップ S 1 3 に進み、E C U 1 0 0 は、排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンを第 3 パターンに設定する。

【 0 1 1 9 】

ステップ S 5、S 8、S 1 1、S 1 3 の後は、ステップ S 1 4 に進む。ステップ S 1 4 にて、E C U 1 0 0 は、現在の運転ポイントが、ステップ S 4、S 7、S 1 0、S 1 2 のいずれかで設定されたリーン S P C C I 領域 A に含まれるか否かを判定する。なお、このとき、ステップ S 3 の判定が Y E S の場合は、ステップ S 4、S 7、S 1 0、S 1 2 のいずれかで設定されたリーン S P C C I 領域 A のうち開始側の領域（開始側第 1 領域 A 1 \_\_ I、開始側第 2 領域 A 2 \_\_ I、開始側第 3 領域 A 3 \_\_ I）に運転ポイントが含まれるか否かを判定する。一方、ステップ S 3 の判定が N O の場合は、ステップ S 4 で設定されたリーン S P C C I 領域 A のうち終了側の領域（終了側第 1 領域 A 1 \_\_ O、終了側第 2 領域 A 2 \_\_ O、終了側第 3 領域 A 3 \_\_ O）に運転ポイントが含まれるか否かを判定する。

【 0 1 2 0 】

ステップ S 1 4 の判定が Y E S であって、現在の運転ポイントがリーン S P C C I 領域 A に含まれる場合は、ステップ S 1 6 に進む。ステップ S 1 6 にて、E C U 1 0 0 は、燃焼モードをリーン S P C C I 燃焼モードとして、リーン S P C C I 燃焼を実施する。また、E C U 1 0 0 は、排気シャッタ弁 6 1 をステップ S 5、S 8、S 1 1、S 1 3 のいずれかで設定した制御パターンで制御する。

【 0 1 2 1 】

一方、ステップ S 1 4 の判定が N O であって、現在の運転ポイントがリーン S P C C I 領域 A に含まれない場合は、ステップ S 1 5 に進む。ステップ S 1 5 にて、E C U 1 0 0 は、現在の運転ポイントがストイキ S P C C I 領域 B（ステップ S 4、S 7、S 1 0、S 1 2 で設定されたリーン S P C C I 領域 A であってステップ S 1 4 の判定に用いた領域に対応するストイキ S P C C I 領域 B）に含まれるか否かを判定する。この判定が Y E S であって現在の運転ポイントがストイキ S P C C I 領域 B に含まれる場合は、ステップ S 1 7 に進み、E C U 1 0 0 は、燃焼モードをストイキ S P C C I 燃焼モードに決定してストイキ S P C C I 燃焼を実施する。また、E C U 1 0 0 は、排気シャッタ弁 6 1 を全開にする。一方、ステップ S 1 5 の判定が N O であって現在の運転ポイントがストイキ S P C C I 領域 B に含まれない場合は、ステップ S 1 8 に進み、E C U 1 0 0 は、燃焼モードを S I 燃焼モードに決定して S I 燃焼を実施する。また、E C U 1 0 0 は、排気シャッタ弁 6 1 を全開にする。

【 0 1 2 2 】

ここで、前記のステップ S 2 は、燃焼室 6 の壁温つまり気筒 2 の壁温を推定するステップであり、請求項の「壁温取得工程」に相当する。また、ステップ S 2 で推定された前記燃焼室壁温が、請求項の「取得気筒壁温」に相当する。前記のステップ S 6 ~ S 1 5 は、いずれの燃焼モードを実施するかを決定するステップであり、これらのステップが請求項の「モード決定工程」に相当する。また、ステップ S 1 6、S 1 7、S 1 8 は、決定された燃焼モードで混合気を燃焼させるステップ、つまり、決定された燃焼モードで混合気が燃焼するようにインジェクタ 1 5 や排気シャッタ弁 6 1 等のエンジンの各部を（ 3 ）で説明したように制御するステップであり、これらのステップが請求項の「燃焼制御工程」に相当する。

【 0 1 2 3 】

（ 5 ）作用等

以上のように、本実施形態では、燃焼室壁温が第 2 基準温度未満の低い温度のときは、リーン S P C C I 領域 A が第 3 領域 A 3 に設定されて、リーン S P C C I 領域 A の範囲を

10

20

30

40

50

規定するエンジン回転数の上限値が比較的低い値（第3開始側上限回転数  $N_m \times 3\_I$  または第3終了側上限回転数  $N_m \times 3\_O$ ）に設定される。そのため、燃焼が不安定になるのを回避できる。

【0124】

具体的には、燃焼室壁温が低いときはリーンSPCCI燃焼の燃焼安定性は低下する。これに対して、本実施形態では、燃焼室壁温が第2基準温度未満のときには、リーンSPCCI領域Aにおける排気シャッタ弁61の制御パターンが第3パターンとされて、第1パターンおよび第2パターンに比べて、つまり、燃焼室壁温が第2基準温度以上の場合に比べて、排気シャッタ弁61の開度が閉じ側にされる。そのため、混合気の温度を高めて燃焼安定性を高めることができる。

10

【0125】

ただし、前記のように、エンジン回転数が高いときは、吸気弁11と排気弁12のバルブオーバーラップ期間の時間が短くなる。つまり、排気通路40あるいは吸気通路30に排出された既燃ガスを燃焼室6に再導入させることができる時間が短くなる。そのため、エンジン回転数が高いときは、十分な量の既燃ガスを燃焼室6に残留できなくなる。

【0126】

これに対して、本実施形態では、燃焼室壁温が第2基準温度未満であって燃焼安定性が低い場合は、エンジン回転数が比較的低いときにのみリーンSPCCI燃焼が実施されて、比較的低いエンジン回転数でリーンSPCCI燃焼から燃焼安定性の高いストイキSPCCI燃焼に切り替えられる。つまり、安定したリーンSPCCI燃焼を実現するために必要な内部EGRガス量を確保できないときには、ストイキSPCCI燃焼に切り替えられる。そのため、内部EGRガス量が不足して燃焼が不安定になるのを確実に回避できる。

20

【0127】

一方、燃焼室壁温が第2基準温度以上であって、リーンSPCCI燃焼の燃焼安定性が高く燃焼安定性を確保するのに必要な内部EGRガス量を少なくできるときには、リーンSPCCI領域Aが第2領域A2に設定されて、リーンSPCCI領域Aの範囲を規定するエンジン回転数の上限値がより高い値（第2開始側上限回転数  $N_m \times 2\_I$  または第2終了側上限回転数  $N_m \times 2\_O$ ）に設定される。従って、燃焼室壁温が第2基準温度以上のときには、燃焼安定性を確保しつつより広い範囲でリーンSPCCI燃焼を実現することができ、燃費性能を高めることができる。また、燃焼室壁温が第2基準温度以上のときには、リーンSPCCI領域Aにおける排気シャッタ弁61の制御パターンが第2パターンとされて排気シャッタ弁61の開度が開き側にされる。これより、エンジンの背圧を小さくしてポンピングロスを低減できる。

30

【0128】

さらに、燃焼室壁温が第1基準温度以上であって、リーンSPCCI燃焼の燃焼安定性がより一層高いときには、リーンSPCCI領域Aにおける排気シャッタ弁61の制御パターンが第1パターンとされて排気シャッタ弁61の開度が全開にされるとともに、リーンSPCCI領域Aの範囲を規定するエンジン回転数の上限値がさらに高い値（第1開始側上限回転数  $N_m \times 1\_I$  または第1終了側上限回転数  $N_m \times 1\_O$ ）に設定される。そのため、燃焼室壁温が第1基準温度以上のときには、燃焼安定性を確保しつつさらに広い範囲でリーンSPCCI燃焼を実現すること、および、ポンピングロスを低減することができ、燃費性能をより一層高めることができる。

40

【0129】

また、本実施形態では、リーンSPCCI燃焼モードを開始する領域として、開始側領域A\_Iが設定され、リーンSPCCI燃焼モードが継続される領域として、終了側領域A\_Oが設定されるとともに、終了側領域A\_Oの範囲を規定するエンジン回転数の上限値（終了側領域A\_Oに含まれるエンジン回転数の最大値）が開始側領域A\_Iの範囲を規定するエンジン回転数の上限値（開始側領域A\_Iに含まれるエンジン負荷の最大値）よりも高い値に設定されている。そのため、燃焼モードがリーンSPCCI燃焼モードと

50

他のモードとに頻繁に切り替わるのを防止でき、この切り替わりに伴って燃焼安定性が悪化するのを防止できる。また、開始側領域 A \_\_ I のエンジン回転数の上限値（最大値）と、終了側領域 A \_\_ O のエンジン回転数の上限値（最大値）との双方が、燃焼室壁温に応じて変更されることで、リーン S P C C I 燃焼モードが実施される領域を燃焼室壁温に応じて適切に変更できる。

#### 【 0 1 3 0 】

##### （ 6 ）変形例

前記実施形態では、燃焼モードとして、リーン S P C C I 燃焼とストイキ S P C C I 燃焼と S I 燃焼とを切り替える場合について説明したが、ストイキ S P C C I 燃焼あるいは S I 燃焼は省略してもよい。つまり、燃焼モードがリーン S P C C I 燃焼とストイキ S P C C I 燃焼とのみに切り替えられる、あるいは、リーン S P C C I 燃焼と S I 燃焼モードとに切り替えられるように構成してもよい。

10

#### 【 0 1 3 1 】

また、前記実施形態のリーン S P C C I 領域に対応する第 1 運転領域 A は、混合気はその空燃比が理論空燃比よりも高い状態で燃焼する領域であればよい。また、ストイキ S P C C I 領域に対応する第 2 運転領域 B は、混合気はその空燃比が理論空燃比以下の状態で燃焼する領域であればよい。これら運転領域 A、B の燃焼形態は S P C C I 燃焼に限らない。例えば、第 1 運転領域 A において、全ての混合気が C I 燃焼させられる、あるいは、S I 燃焼させられてもよい。リーン S P C C I 燃焼に限らず、混合気空燃比が理論空燃比よりもリーンの場合は、燃焼室壁温が低いことに伴って燃焼安定性が悪化し、燃焼安定性を高めるのに高温の既燃ガスを燃焼室 6 に導入する必要がある。従って、第 1 運転領域 A と第 2 運転領域 B とが前記のように構成されれば、前記実施形態に係る効果と同様の効果を得ることができる。

20

#### 【 0 1 3 2 】

前記実施形態では、リーン S P C C I 領域 A が、範囲が互いに異なる開始側領域 A \_\_ I と終了側領域 A \_\_ O とを含む場合について説明したが、開始側領域 A \_\_ I と終了側領域 A \_\_ O とは同じ範囲に設定されてもよい。

#### 【 0 1 3 3 】

前記実施形態では、燃焼室壁温が第 1 判定温度以上の場合と、第 1 判定温度未満かつ第 2 判定温度以上の場合と、第 2 判定温度未満の場合とで、リーン S P C C I 領域 A の範囲および排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンを変更した場合について説明した。つまり、燃焼室壁温に応じて、これら範囲および制御パターンが 3 段階に変更される場合について説明したが、これら範囲および制御パターンは燃焼室壁温に応じて連続的に変更されてもよい。ただし、前記変更を段階的に行うように構成すれば、リーン S P C C I 領域 A の範囲を変更するための制御構成および排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンを変更するための制御構成を簡素化することができる。なお、段階的に変更する場合においても、3 段階には限らず 2 段階等であってもよい。

30

#### 【 0 1 3 4 】

前記実施形態では、E C U 1 0 0 を壁温取得手段として機能させて、E C U 1 0 0 によってエンジン水温を用いて燃焼室壁温を推定した場合について説明した。そして、この推定した燃焼室壁温に基づいてリーン S P C C I 領域 A の範囲および排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンを変更する場合について説明した。これに対して、エンジン水温そのものに基づいてリーン S P C C I 領域 A の範囲および排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンを変更してもよい。また、燃焼室 6 の壁温を直接検出するセンサを設けて、このセンサによって前記の範囲および制御パターンの変更に用いる燃焼室 6 の壁温を取得するようにしてもよい。この場合には、このセンサの検出値に基づいて、リーン S P C C I 領域 A の範囲および排気シャッタ弁 6 1 の制御パターンを変更すればよい。

40

#### 【 0 1 3 5 】

前記実施形態では、吸気弁 1 1 と排気弁 1 2 とのバルブオーバーラップの実施とバルブオーバーラップ期間の変更および排気シャッタ弁 6 1 の開度変更によって燃焼室 6 に高温

50

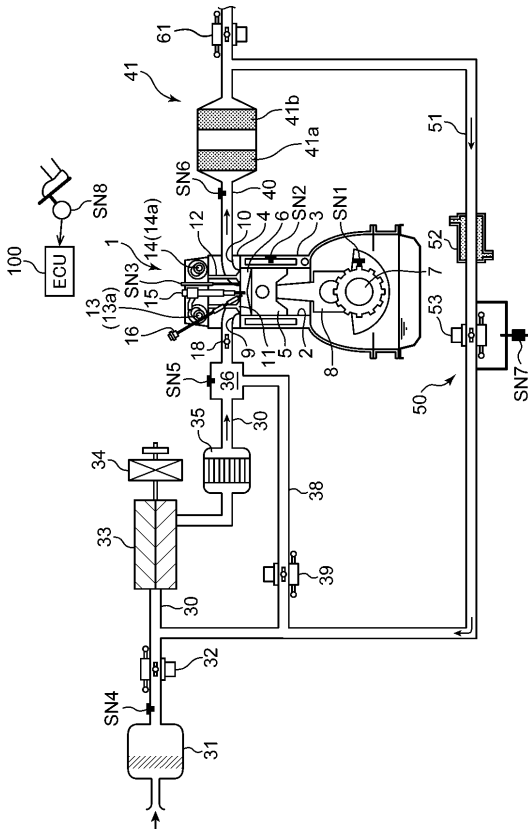
の既燃ガスを導入するとともにその導入量を調整する場合について説明したが、燃焼室 6 に高温の既燃ガスするためおよびその導入量を調整するための構成はこれに限らない。例えば、排気通路 40 内の排気が EGRクーラ 52 を通らずに高温のまま吸気通路 30 に還流されるように構成し、この還流した排気を燃焼室 6 に導入させ、その導入量を調整するようにしてもよい。

【符号の説明】

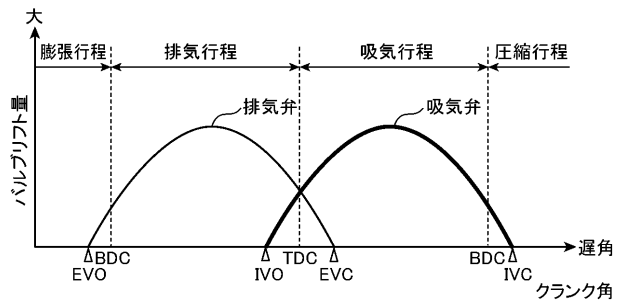
【0136】

- 1 エンジン本体
- 2 気筒
- 6 燃焼室
- 13a 吸気VVT (EGR実行手段)
- 14a 排気VVT (EGR実行手段)
- 15 インジェクタ (空燃比変更手段)
- 32 スロットル弁 (空燃比変更手段)
- 61 排気シャッタ弁 (EGR実行手段)
- 100 ECU (制御手段、壁温取得手段)
- A 希薄燃焼領域

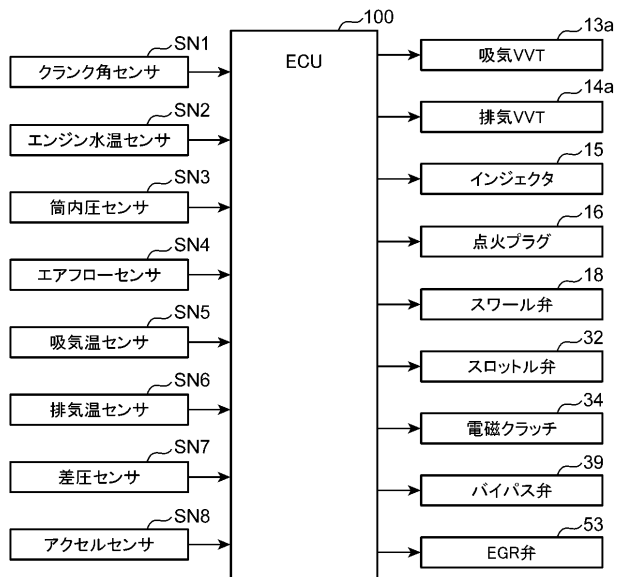
【図1】



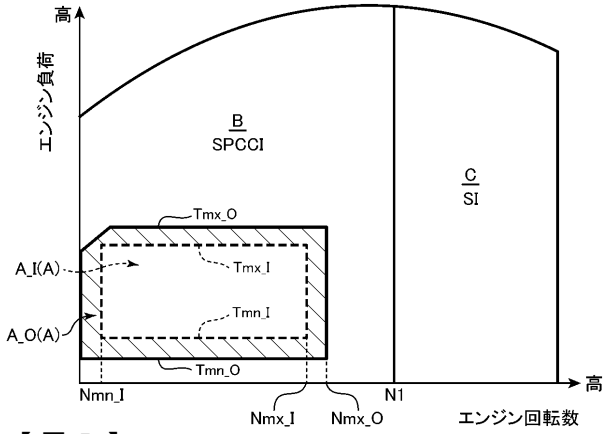
【図2】



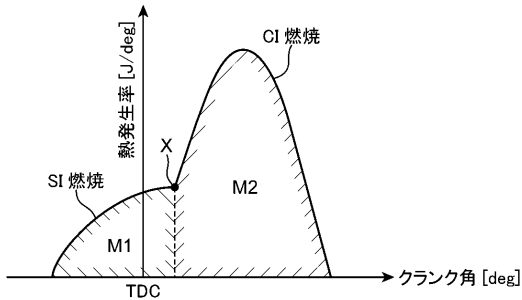
【図3】



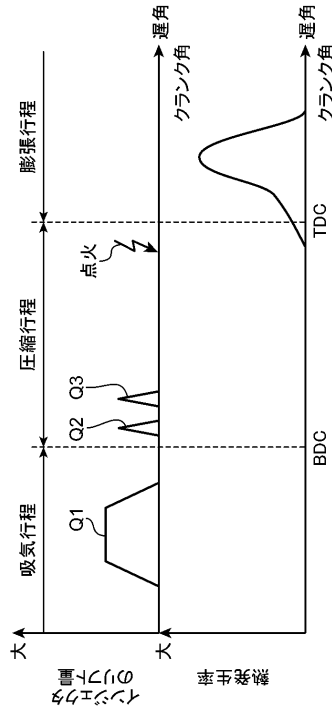
【 図 4 】



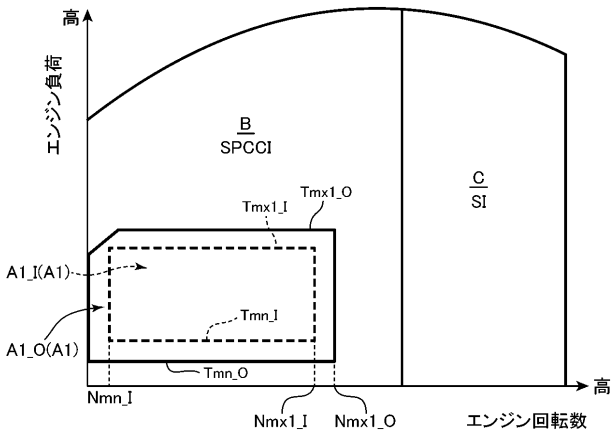
【 図 5 】



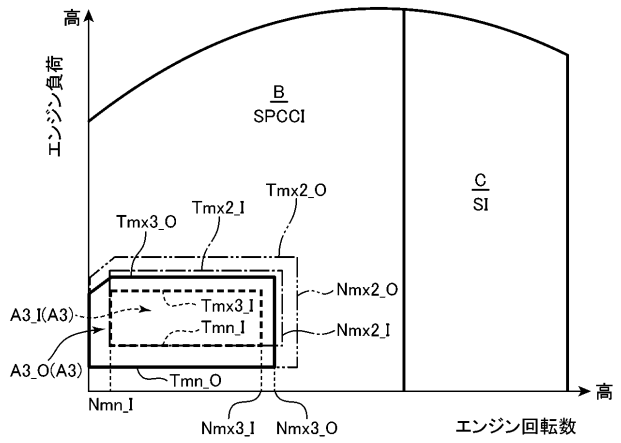
【 図 6 】



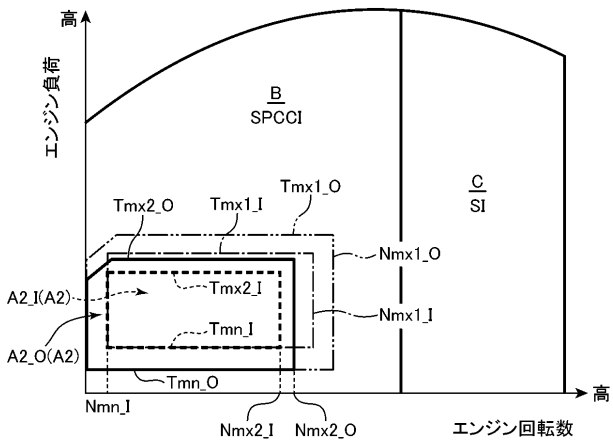
【 図 7 】



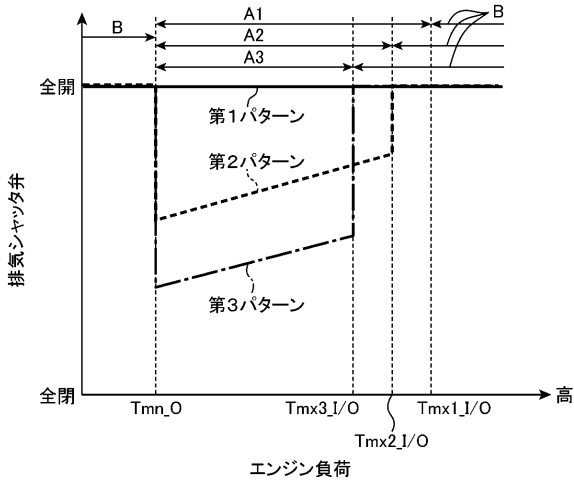
【 図 9 】



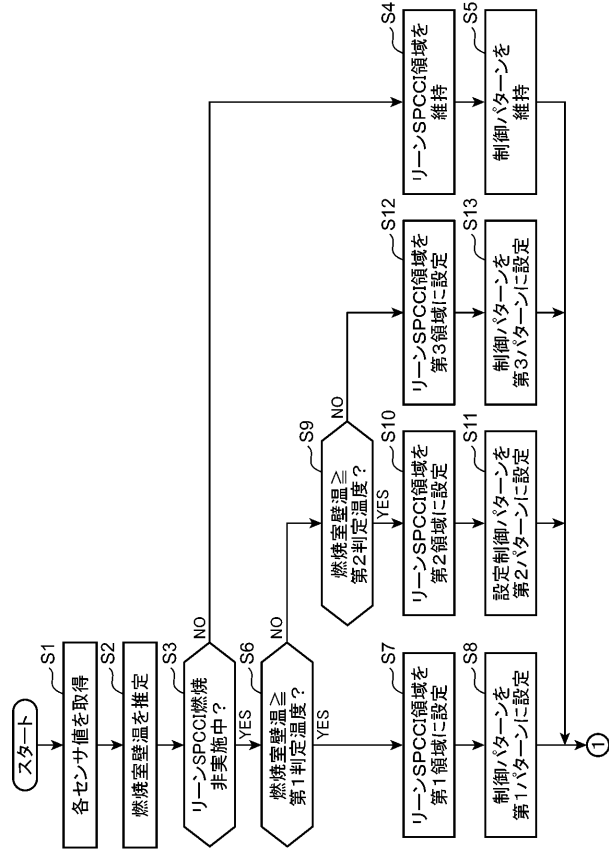
【 図 8 】



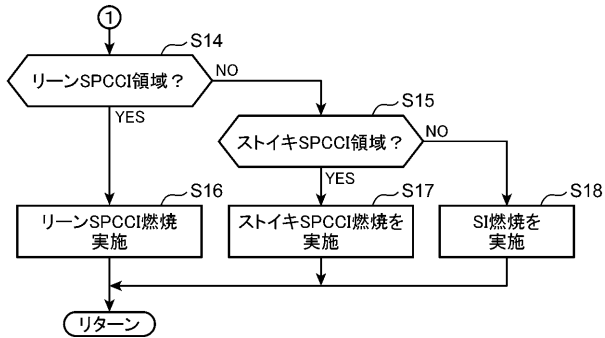
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3G384 AA01 AA09 AA11 BA09 BA13 BA27 BA29 DA02 EB07 EB08  
FA14 FA30 FA37