

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5429408号  
(P5429408)

(45) 発行日 平成26年2月26日 (2014. 2. 26)

(24) 登録日 平成25年12月13日 (2013. 12. 13)

(51) Int. Cl.		F 1			
<b>FO2D 13/02</b>	<b>(2006.01)</b>	FO2D 13/02		H	
<b>FO2D 21/08</b>	<b>(2006.01)</b>	FO2D 21/08	3O1H		
		FO2D 21/08	3O1Z		

請求項の数 7 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2012-553516 (P2012-553516)	(73) 特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社 愛知県豊田市トヨタ町1番地
(86) (22) 出願日	平成23年1月20日 (2011. 1. 20)	(74) 代理人	100087480 弁理士 片山 修平
(86) 国際出願番号	PCT/JP2011/051020	(72) 発明者	伊藤 勝広 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
(87) 国際公開番号	W02012/098670	(72) 発明者	小川 孝 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
(87) 国際公開日	平成24年7月26日 (2012. 7. 26)	(72) 発明者	小郷 知由 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
審査請求日	平成25年4月1日 (2013. 4. 1)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧縮着火式内燃機関の制御装置および圧縮着火式内燃機関におけるスモーク生成状態の判断方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

圧縮着火式内燃機関の燃焼室内の1サイクルにおける当量比の平均値を算出する当量比算出手段と、

前記当量比算出手段による当量比の平均値の算出と同一サイクルにおける前記燃焼室内の燃焼温度の最高値を算出する最高燃焼温度算出手段と、

前記当量比算出手段の算出結果および前記最高燃焼温度算出手段の算出結果に基づいて前記圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態を判断する判断手段と、

前記圧縮着火式内燃機関の吸気弁の閉弁タイミングを所望するタイミングに変更する可変動弁手段と、を備え、

前記可変動弁手段は、前記判断手段の判断結果に基づいて前記吸気弁の閉弁タイミングを変更し、

前記最高燃焼温度算出手段は、前記圧縮着火式内燃機関の燃料噴射量および噴射タイミングから求めた噴射重心、前記燃焼室内の圧縮端温度、前記圧縮着火式内燃機関の回転数、前記燃焼室内の酸素濃度、前記燃焼室内の圧縮端圧力の少なくとも一つをパラメータとして抽出し、前記パラメータに基づいて前記燃焼室内の1サイクルにおける燃焼温度の最高値を算出することを特徴とする圧縮着火式内燃機関の制御装置。

【請求項2】

前記圧縮着火式内燃機関は、排気側と吸気側とを連通して排ガスの一部を吸気側に還流させる排ガス還流通路を有し、

前記最高燃焼温度算出手段は、少なくとも前記排ガス還流通路の排ガス還流率をパラメータとして抽出し、前記パラメータに基づいて1サイクルにおける前記燃焼室内の燃焼温度の最高値を算出することを特徴とする請求項1記載の圧縮着火式内燃機関の制御装置。

【請求項3】

前記判断手段は、前記当量比算出手段の算出結果が第1しきい値よりも小さく、かつ、前記最高燃焼温度算出手段の算出結果が第2しきい値よりも小さい場合に、前記圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態が第1領域にあると判断し、

前記可変動弁手段は、前記判断手段が前記圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態が第1領域にあると判断した場合に、前記吸気弁の閉弁タイミングを遅角側へ変更することを特徴とする請求項1または2記載の圧縮着火式内燃機関の制御装置。

10

【請求項4】

前記判断手段は、前記当量比算出手段の算出結果が第1しきい値以上の場合、または前記最高燃焼温度算出手段の算出結果が第2しきい値以上の場合に、前記圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態が第1領域以外の領域にあると判断し、

前記可変動弁手段は、前記判断手段が前記圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態が第1領域以外の領域にあると判断した場合に、前記吸気弁の閉弁タイミングを進角側へ変更することを特徴とする請求項1から3のいずれか1項記載の圧縮着火式内燃機関の制御装置。

【請求項5】

前記可変動弁手段は、前記圧縮着火式内燃機関の回転数が大きいほど前記吸気弁の閉弁タイミングをより遅角側へ変更することを特徴とする請求項3記載の圧縮着火式内燃機関の制御装置。

20

【請求項6】

前記可変動弁手段は、前記圧縮着火式内燃機関の回転数が小さいほど前記吸気弁の閉弁タイミングをより進角側へ変更することを特徴とする請求項4記載の圧縮着火式内燃機関の制御装置。

【請求項7】

圧縮着火式内燃機関の燃焼室内の1サイクルにおける当量比の平均値を算出する当量比算出ステップと、

前記当量比算出ステップにおける当量比の平均値の算出と同一サイクルにおける前記燃焼室内の燃焼温度の最高値を算出する最高燃焼温度算出ステップと、

30

前記当量比算出ステップにおける算出結果および前記最高燃焼温度算出ステップにおける算出結果に基づいて前記圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態を判断する判断ステップと、

を有し、

前記最高燃焼温度算出ステップは、前記圧縮着火式内燃機関の燃料噴射量および噴射タイミングから求めた噴射重心、前記燃焼室内の圧縮端温度、前記圧縮着火式内燃機関の回転数、前記燃焼室内の酸素濃度、前記燃焼室内の圧縮端圧力の少なくとも1つをパラメータとして抽出し、前記パラメータに基づいて前記燃焼室内の1サイクルにおける燃焼温度の最高値を算出する圧縮着火式内燃機関におけるスモーク生成状態の判断方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は圧縮着火式内燃機関の制御装置および圧縮着火式内燃機関におけるスモーク生成状態の判断方法に関する。

【背景技術】

【0002】

ディーゼル機関に代表される圧縮着火式内燃機関では、その出力を増大させるために、排ガスのエネルギーによって吸入空気を過給する過給機（ターボチャージャ）を備える構成が広く採用されている。また、圧縮着火式内燃機関では、燃焼時に排出される窒素酸化物

50

(NOx)量を低減するために、排ガスの一部を吸気側に還流させる排ガス還流(EGR)装置を備える構成が広く採用されている。

【0003】

これら圧縮着火式内燃機関は、例えば車両の加速時等、その出力が変化する際にターボチャージャの応答遅れ(ターボラグ)やEGRの排ガス還流遅れが生じることが知られている。このようなターボラグや排ガス還流遅れが生じると、圧縮着火式内燃機関の目標運転状態と実際の運転状態とが大きく乖離するために排気エミッションが悪化してしまい、特に、スモーク排出量が増大してしまう。

【0004】

このような圧縮着火式内燃機関におけるターボラグの発生を抑制する技術については、例えば特許文献1に開示されている。特許文献1記載の内燃機関は、複数の気筒から排出される排気を部分的に吸気側に再循環可能なEGR手段を備えている。そして、内燃機関の負荷がしきい値より高い場合には複数の気筒群の一部について排気を部分的に再循環させると共に、複数の気筒群の他部について排気を再循環させないようにEGR手段を制御する。それによって、内燃機関の負荷が高くなる場合におけるターボラグの発生を抑制する。

10

【0005】

また、その他本発明と関連性があると考えられる技術が特許文献2に開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0006】

【特許文献1】特開2009-174377号公報

【特許文献2】特開平08-296469号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

近年、圧縮着火式内燃機関に可変動弁機構を搭載し、運転状態に応じて吸気弁や排気弁の弁開閉タイミングを変更制御することが試みられている。このような可変動弁機構によるバルブタイミング制御によれば、例えば、吸気弁の閉弁タイミングを遅角させて実圧縮比を低下させることで、圧縮着火式内燃機関の燃焼温度を低下させてスモーク排出量を低減させることができる。このように、吸気弁の閉弁タイミングを変更することで、圧縮着火式内燃機関の目標運転状態と実際の運転状態との乖離によるスモーク排出量の増大を抑制することができる。

30

【0008】

しかしながら、圧縮着火式内燃機関におけるスモークの生成要因は極めて複雑であるために、例えば同じ回転数・負荷においてもスモーク生成状態によっては吸気弁の閉弁タイミングを遅角させてもスモーク排出量が低減できない場合がある(図12参照)。一方、スモーク生成状態によっては吸気弁の閉弁タイミングを進角させて体積効率を向上させる、すなわち圧縮着火式内燃機関の当量比(理論空燃比/実空燃比)を低下させることでスモーク排出量を低減することができる場合がある。そのため、圧縮着火式内燃機関のスモーク排出量を適切に低減させるためには、スモーク生成状態をよりの確に把握しつつ、把握したスモーク生成状態に応じた吸気弁の閉弁タイミング変更制御を実行することが要求される。

40

【0009】

圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態は、一般的に、局所の燃焼温度と当量比によって論じられるが、局所の燃焼温度を把握することは極めて困難である。そこで、従来、ピストンの圧縮端における筒内温度(圧縮端温度)を用いてスモーク生成状態を推定することが試みられている(例えば特許文献2参照)が、圧縮端温度を用いた推定手法によってはスモーク生成状態を的確に把握することが困難である。

【0010】

50

本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、スモーク生成状態をよりの確に把握しつつ、スモーク排出量を低減することができる圧縮着火式内燃機関の制御装置および圧縮着火式内燃機関におけるスモーク生成状態の判断方法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】

【0011】

上記目的を達成するために、本発明の圧縮着火式内燃機関の制御装置は、圧縮着火式内燃機関の燃焼室内の1サイクルにおける当量比の平均値を算出する当量比算出手段と、前記当量比算出手段による当量比の平均値の算出と同一サイクルにおける前記燃焼室内の燃焼温度の最高値を算出する最高燃焼温度算出手段と、前記当量比算出手段の算出結果および前記最高燃焼温度算出手段の算出結果に基づいて前記圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態を判断する判断手段と、前記圧縮着火式内燃機関の吸気弁の閉弁タイミングを所望するタイミングに変更する可変動弁手段と、を備え、前記可変動弁手段は、前記判断手段の判断結果に基づいて前記吸気弁の閉弁タイミングを変更することを特徴とする。

10

【0012】

上記の構成により、燃焼室内の1サイクルにおける当量比の平均値と燃焼温度の最高値からよりの確に圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態を判断することができる。そして、スモーク生成状態の判断結果に基づいて圧縮着火式内燃機関のスモーク排出量を低減するための適切な吸気弁の閉弁タイミング制御を実行することができる。よって、スモーク生成状態をよりの確に把握しつつ、スモーク排出量を低減することができる。

【0013】

20

特に、本発明の圧縮着火式内燃機関の制御装置は、前記圧縮着火式内燃機関が、排気側と吸気側とを連通して排ガスの一部を吸気側に還流させる排ガス還流通路を有し、前記最高燃焼温度算出手段が、少なくとも前記排ガス還流通路の排ガス還流率をパラメータとして抽出し、前記パラメータに基づいて1サイクルにおける前記燃焼室内の燃焼温度の最高値を算出する構成であってもよい。

【0014】

上記の構成により、少なくとも排ガス還流通路の排ガス還流率を含むパラメータから燃焼室内の燃焼温度の最高値を適切に算出することができる。そして、算出した燃焼温度の最高値に基づいてスモーク生成状態をよりの確に判断することができる。よって、スモーク生成状態をよりの確に把握しつつ、スモーク排出量を低減することができる。

30

【0015】

また、本発明の圧縮着火式内燃機関の制御装置は、前記最高燃焼温度算出手段が、更に、前記圧縮着火式内燃機関の燃料噴射量および噴射タイミングから求めた噴射重心、前記燃焼室内の圧縮端温度、前記圧縮着火式内燃機関の回転数、前記燃焼室内の酸素濃度、前記燃焼室内の圧縮端圧力の少なくとも1つをパラメータとして抽出し、前記パラメータに基づいて前記燃焼室内の1サイクルにおける燃焼温度の最高値を算出する構成であってもよい。

【0016】

上記の構成により、燃料の噴射重心、燃焼室内の圧縮端温度、エンジン回転数、燃焼室内の酸素濃度、燃焼室内の圧縮端圧力の少なくとも1つを含むパラメータから燃焼室内の燃焼温度の最高値をより適切に算出することができる。そして、算出した燃焼温度の最高値に基づいてスモーク生成状態をよりの確に判断することができる。よって、スモーク生成状態をよりの確に把握しつつ、スモーク排出量を低減することができる。

40

【0017】

そして、本発明の圧縮着火式内燃機関の制御装置は、前記判断手段が、前記当量比算出手段の算出結果が第1しきい値よりも小さく、かつ、前記最高燃焼温度算出手段の算出結果が第2しきい値よりも小さい場合に、前記圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態が第1領域にあると判断し、前記可変動弁手段が、前記判断手段が前記圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態が第1領域にあると判断した場合に、前記吸気弁の閉弁タイミングを遅角側へ変更する構成であってもよい。

50

## 【0018】

上記の構成により、圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態がスモーク生成量が最高燃焼温度に比例する領域（第1領域）にある場合に、吸気弁の閉弁タイミングを遅角側へ変更して燃焼温度を低下させることができる。よって、圧縮着火式内燃機関のスモーク排出量を適切に低減することができる。

## 【0019】

更に、本発明の圧縮着火式内燃機関の制御装置は、前記判断手段が、前記当量比算出手段の算出結果が第1しきい値以上の場合、または前記最高燃焼温度算出手段の算出結果が第2しきい値以上の場合に、前記圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態が第1領域以外の領域にあると判断し、前記可変動弁手段が、前記判断手段が前記圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態が第1領域以外の領域にあると判断した場合に、前記吸気弁の閉弁タイミングを進角側へ変更する構成であってもよい。

10

## 【0020】

上記の構成により、圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態がスモーク生成量が最高燃焼温度に反比例する領域、または当量比に依存する領域（第1領域以外の領域）にある場合に、吸気弁の閉弁タイミングを進角側へ変更して燃焼温度を上昇させ、かつ当量比を低下させることができる。よって、圧縮着火式内燃機関のスモーク排出量を適切に低減することができる。

## 【0021】

また、本発明の圧縮着火式内燃機関の制御装置は、前記可変動弁手段が、前記圧縮着火式内燃機関の回転数が大きいほど前記吸気弁の閉弁タイミングをより遅角側へ変更する構成であってもよい。

20

## 【0022】

上記の構成により、圧縮着火式内燃機関の回転数に応じて適切に実圧縮比を低下させて燃焼温度を低下させることができる。よって、圧縮着火式内燃機関のスモーク排出量を適切に低減することができる。

## 【0023】

そして、本発明の圧縮着火式内燃機関の制御装置は、前記可変動弁手段が、前記圧縮着火式内燃機関の回転数が小さいほど前記吸気弁の閉弁タイミングをより進角側へ変更する構成であってもよい。

30

## 【0024】

上記の構成により、圧縮着火式内燃機関の回転数に応じて適切に体積効率を向上させて燃焼温度を上昇させ、かつ当量比を低下させることができる。よって、圧縮着火式内燃機関のスモーク排出量を適切に低減することができる。

## 【0025】

更に、本発明は、圧縮着火式内燃機関の燃焼室内の1サイクルにおける当量比の平均値を算出する当量比算出ステップと、前記当量比算出ステップにおける当量比の平均値の算出と同一サイクルにおける前記燃焼室内の燃焼温度の最高値を算出する最高燃焼温度算出ステップと、前記当量比算出ステップにおける算出結果および前記最高燃焼温度算出ステップにおける算出結果に基づいて前記圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態を判断する判断ステップと、を有する圧縮着火式内燃機関におけるスモーク生成状態の判断方法である。

40

## 【0026】

上記の方法により、燃焼室内の1サイクルにおける当量比の平均値と燃焼温度の最高値からよりの確に圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態を判断することができる。そして、スモーク生成状態の判断結果に応じて圧縮着火式内燃機関のスモーク排出量を低減するための適切な制御を実行することができる。

## 【発明の効果】

## 【0027】

本発明によれば、圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態をよりの確に把握しつつ、ス

50

モーク排出量を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】図1は、実施例のエンジンシステムの一構成例を示した図である。

【図2】図2は、実施例のエンジンの一気筒の構成例を示した断面図である。

【図3】図3は、エンジンの最高燃焼温度および当量比とスモーク生成状態との相関を示している。

【図4】図4(a)はエンジンの当量比とスモーク生成量との相関を示しており、図4(b)はエンジンの当量比0.8未満における最高燃焼温度とスモーク生成量との相関を示している。

【図5】図5(a)はエンジンの圧縮端温度および当量比とスモーク生成状態との相関を示しており、図5(b)はエンジンの筒内平均最大温度および当量比とスモーク生成状態との相関を示している。

【図6】図6は、エンジンのEGR率の算出方法の一例を示している。

【図7】図7は、噴射重心の観念図を示している。

【図8】図8(a)は噴射重心の算出方法の一例を示しており、図8(b)は圧縮端温度の算出方法の一例を示しており、図8(c)は酸素濃度の算出方法の一例を示しており、図8(d)は圧縮端圧力の算出方法の一例を示している。

【図9】図9(a)は吸気弁の閉弁時期のベースタイミングを示しており、図9(b)は吸気弁の閉弁タイミングの遅角制御の一例を示しており、図9(c)は吸気弁の閉弁タイミングの進角制御の一例を示している。

【図10】図10(a)は吸気弁の閉弁タイミングと実圧縮比との相関を示しており、図10(b)は吸気弁の閉弁タイミングと燃焼域ガス温度との相関を示している。

【図11】図11は、エンジンECUの処理の一例を示すフローチャートである。

【図12】図12は、従来の圧縮着火式内燃機関における吸気弁の閉弁タイミングとスモーク排出量との相関例を示している。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明を実施するための形態を図面と共に詳細に説明する。

【実施例】

【0030】

本発明の実施例について図面を参照しつつ説明する。図1は、本発明の圧縮着火式内燃機関の制御装置を搭載したエンジンシステム1の一構成例を示した図である。なお、図1にはエンジンの一部の構成のみを示している。

【0031】

図1に示すエンジンシステム1は、動力源であるエンジン100を備えており、エンジン100の運転動作を総括的に制御するエンジンECU(Electronic Control Unit)10を備えている。エンジン100は、排気マニホールド13の下流側にターボチャージャ14および排気浄化装置30を備えており、吸気弁22および排気弁23のバルブタイミングを変更する電動VVT機構26および油圧VVT機構27を備えている。また、エンジン100は、排ガスの一部を吸気側に還流させるEGR通路16を備えている。そして、エンジン100は、クランク角センサ41、エアフロメータ44、吸気カム角センサ42、吸気圧センサ46、吸気温度センサ47等の各種センサを備えている。

【0032】

図2は、実施例のエンジン100の一気筒の構成例を示した断面図である。エンジン100は、車両に搭載される4気筒のディーゼルエンジンであって、各気筒は燃焼室を構成するピストンを備えている。各燃焼室のピストンは、エンジン100のシリンダに摺動自在に嵌合されており、それぞれコネクティングロッドを介して出力軸部材であるクランクシャフト21に連結されている。

10

20

30

40

50

## 【0033】

エンジンECU10は、エアフロメータ44からの吸入空気量、クランク角センサ41からのピストンの位置等の情報に基づき、燃料の噴射量および噴射タイミングを決定しインジェクタ17に信号を送る。インジェクタ17は、エンジンECU10の信号に従って、指示された燃料噴射量および噴射タイミングで燃焼室内に燃料を噴射する。インジェクタ17より噴射された燃料は、燃焼室内で霧化し、吸気弁の開弁に伴って燃焼室内へ流入する吸入空気と混合気を形成する。そして、混合気は、ピストンの上昇運動により燃焼室内で圧縮されて着火することで燃焼し、燃焼室内を膨張させてピストンを下降させる。この下降運動がコネクティングロッドを介してクランクシャフト21の軸回転に変更されることにより、エンジン100は動力を得る。この場合、エンジン100は、4気筒のディーゼルエンジンに限定されず、多気筒のディーゼルエンジンを適用することができる。

10

なお、エンジン100は、本発明の圧縮着火式内燃機関の一構成例である。

## 【0034】

クランクシャフト21の軸の近傍には、クランク角センサ41が設けられている。クランク角センサ41は、クランクシャフト21軸の回転角度を検出するように構成されており、検出結果をエンジンECU10に送信する。それにより、エンジンECU10は、運転時のクランクシャフト21軸の回転数や回転角速度など、クランク角に関する情報を取得する。そして、エンジンECU10は、取得したクランクシャフト21軸の回転数や回転角速度に基づきエンジン回転数やエンジントルクを算出してエンジン100の出力を認識する。

20

## 【0035】

各燃焼室には複数の吸気弁、排気弁が設けられている。図2には吸気弁、排気弁をそれぞれ1つずつ示している。燃焼室の各吸気ポートには、それぞれ吸気弁22が配置されており、吸気弁22を開閉駆動させるための吸気カムシャフト24が配置されている。更に、燃焼室の各排気ポートには、それぞれ排気弁23が配置されており、排気弁23を開閉駆動させるための排気カムシャフト25が配置されている。

## 【0036】

吸気弁22および排気弁23はクランクシャフト21の回転が連結機構（例えばタイミングベルト、タイミングチェーンなど）により伝達された吸気カムシャフト24および排気カムシャフト25の回転により開閉され、吸気ポートおよび排気ポートと燃焼室とを連

30

通・遮断する。なお、吸気弁22、および排気弁23の位相は、クランク角を基準にして表される。

## 【0037】

吸気カムシャフト24は可変動弁機構（以下、VVT機構という）である電動VVT機構26を有している。この電動VVT機構26はエンジンECU10の指示により電動モータで吸気カムシャフト24を回転させる。それにより吸気カムシャフト24のクランクシャフト21に対する回転位相が変更されることから、吸気弁22のバルブタイミングが変更される。この場合、吸気カムシャフト24の回転位相は、吸気カム角センサ42にて検出され、エンジンECU10へと出力される。それにより、エンジンECU10は、吸気カムシャフト24の位相を取得することができるとともに、吸気弁22の位相を取得す

40

ることができる。また、吸気カムシャフト24の位相は、クランク角を基準にして表される。

なお、電動VVT機構26は、本発明の可変動弁手段の一構成例である。

## 【0038】

排気カムシャフト25は油圧VVT機構27を有している。この油圧VVT機構27はエンジンECU10の指示によりオイルコントロールバルブ（以下、OCVという）で排気カムシャフト25を回転させる。それにより排気カムシャフト25のクランクシャフト21に対する回転位相が変更されることから、排気弁23のバルブタイミングが変更される。この場合、排気カムシャフト25の回転位相は、排気カム角センサ43にて検出され、エンジンECU10へと出力される。それにより、エンジンECU10は、排気カムシ

50

シャフト 25 の位相を取得することができるとともに、排気弁 23 の位相を取得することができる。また、排気カムシャフト 25 の位相は、クランク角を基準にして表される。

【 0039 】

図 1 に戻り、エンジン 100 は、インジェクタ 17、コモンレール 18、低圧燃料ポンプ、高圧燃料ポンプ等より構成されるコモンレール式燃料噴射システムを備えている。燃料タンクより低圧燃料ポンプにより吸引された燃料は、高圧燃料ポンプにてコモンレール 18 へ高圧で吐出し蓄圧される。

【 0040 】

コモンレール 18 は、インジェクタ 17 に供給する高圧燃料を蓄圧する容器である。高圧燃料ポンプから圧送された燃料は、コモンレール 18 内で噴射に必要な圧力まで蓄圧され、高圧配管を通じて各燃焼室のインジェクタ 17 に供給される。また、コモンレール 18 にはレール圧センサおよび減圧弁が設けられている。エンジン ECU 10 は、レール圧センサから出力されたコモンレール 18 内部の燃圧が規定値を超えた場合に、減圧弁を開放するように指示する。そして、減圧弁より燃料を排出することで、コモンレール圧が常に規定値以下になるよう調整する。減圧弁より排出された燃料は、リリーフ配管を通して燃料タンクへと戻される。

【 0041 】

各燃焼室には、それぞれインジェクタ 17 が装着されている。コモンレール 18 より高圧配管を通じて供給された燃料は、エンジン ECU 10 の指示によりインジェクタ 17 にてエンジン気筒内の燃焼室に噴射供給される。エンジン ECU 10 は、エアフロメータ 44 からの吸入空気量、およびクランク角センサ 41 からのピストンの位置の情報等に基づき、燃料噴射量と噴射タイミングを決定しインジェクタ 17 に信号を送る。インジェクタ 17 はエンジン ECU 10 の信号に従って、指示された燃料噴射量・噴射タイミングにて燃焼室内へ燃料を高圧噴射する。インジェクタ 17 のリーク燃料は、リリーフ配管を通じて燃料タンクへと戻される。この場合、インジェクタ 17 は、エンジン 100 の仕様に応じて燃焼室の任意の位置に装着することができる。

【 0042 】

エンジン 100 の各燃焼室には、それぞれの燃焼室と連通する吸気マニホールド 11 が接続されている。吸気マニホールド 11 は、吸気通路 12 によってエアフロメータ 44、ディーゼルスロットル 19、インタークーラ、ターボチャージャ 14 のコンプレッサを介してエアクリーナに連結されており、エンジン 100 の外部から取り込まれた吸入空気を各燃焼室内へ導入する。

【 0043 】

ディーゼルスロットル 19 にはスロットルポジションセンサ 45 が設けられている。エアフロメータ 44 およびスロットルポジションセンサ 45 は、それぞれ吸気通路 12 を通過する吸入空気量、およびディーゼルスロットル 19 の弁開度を検出し、検出結果をエンジン ECU 10 に送信する。エンジン ECU 10 は、送信された検出結果に基づいて吸気マニホールド 11 へ導入される吸入空気量を認識し、ディーゼルスロットル 19 の弁開度を調節することでエンジン 100 の運転に必要な吸入空気を燃焼室へ取り込む。

ディーゼルスロットル 19 は、ステップモータを用いたスロットルパイワイヤ方式を適用することが好ましいが、ディーゼルスロットル 19 の弁開度を任意に変更可能なその他の機構を適用してもよい。

【 0044 】

吸気マニホールド 11 には吸気圧センサ 46 が設けられており、吸気マニホールド 11 内の吸入空気の圧力を検出し、検出結果をエンジン ECU 10 に送信する。エンジン ECU 10 は、吸気圧センサ 46 および吸気カム角センサ 42 の検出結果に基づいて燃焼室内の圧縮端圧力を算出する。また、吸気通路 12 には吸気温度センサ 47 が設けられており、吸気通路 12 内の吸入空気の温度を検出し、検出結果をエンジン ECU 10 に送信する。エンジン ECU 10 は、吸気温度センサ 47 や吸気圧センサ 46 の検出結果に基づいて吸気マニホールド 11 内の温度を算出し、算出した吸気マニホールド 11 内の温度を用いて排ガス

10

20

30

40

50

還流（EGR）率や圧縮端温度を算出する（図6および図8（b）参照）。

【0045】

更に、エンジン100の各燃焼室には、それぞれの燃焼室と連通する排気マニホールド13が接続されている。排気マニホールド13は、排気通路15によってターボチャージャ14の排気タービンを介して排気浄化装置30に連結されており、燃焼後の排ガスをエンジン100の外部へと排出させる。

【0046】

ターボチャージャ14は、排ガスの運動エネルギーを利用して排気タービンを回転させ、エアクリーナを通過した吸入空気を圧縮してインタークーラへと送り込む。圧縮された吸入空気は、インタークーラで冷却された後に吸気マニホールド11へと導入される。ターボチャージャ14は、可変ノズル式ターボチャージャ（Variable Nozzle Turbo，以下、VNTと略記する）であって、排気タービン側に可変ノズルベーン機構141が設けられている。この可変ノズルベーン機構141の開度を調整することにより、タービンインペラ翼への排ガスの流入角度を制御して、吸気マニホールド11へ導入する吸入空気の過給圧を調節する。例えば、可変ノズルベーン機構141の開度をより小さくすると、より多くの排ガスがタービンインペラ翼に流入するために排ガスのエネルギー利用率が高くなって過給効率が向上する。また、可変ノズルベーン機構141の開度をより大きくすると、タービンインペラ翼に流入する排ガス量がより少なくなるために排ガスのエネルギー利用率が低くなって過給効率が低下する。この場合、ターボチャージャ14はVNTに限られず、ウェイストゲートによって過給圧の調節（排ガスのエネルギー利用率の制御）を行う構成であってもよい。

なお、ターボチャージャ14は、本発明の過給機の一構成例である。

【0047】

ターボチャージャ14にはVNセンサ48が設けられており、可変ノズルベーン機構141の開度を検出し、検出結果をエンジンECU10に送信する。エンジンECU10は、VNセンサ48の検出結果に基づいて燃焼室内のガス量を算出し、算出した燃焼室内のガス量を用いてEGR率を算出する（図6参照）。

【0048】

排気浄化装置30は、エンジン100の排ガスを浄化するものであって、排ガス中のNOx、HCおよびCOを浄化する浄化触媒31と、煤などの粒子状物質（PM）を捕集するDPF32とを有している。

【0049】

浄化触媒31は、DPF32の上流側に設けられており、エンジン100の排ガス中のHC、CO、NOxを浄化することができる三元触媒である。浄化触媒31は、複合酸化物に貴金属を担持したものを多孔質のハニカム構造の触媒担体にコートしたものであって、その内部を排ガスが通過可能な周知の構成である。本実施例の浄化触媒31は、空燃比がリーンの時に排ガス中に含まれるNOxを吸蔵し、空燃比がストイキまたはリッチの時に排ガス中に含まれる還元成分（HC，CO）によってNOxを還元するNOx吸蔵還元型であるが、これに限られない。浄化触媒31は、エンジン100の排気量、使用地域等の違いによって複数個組み合わせて用いてもよい。

【0050】

DPF32は、浄化触媒31の下流側に設けられており、多孔質のコーディライトセラミックスからなる周知のウォールフロー型フィルタである。DPF32としてはコーディライトに限られず、炭化ケイ素（SiC）等の他のセラミックスを適用してもよい。この場合、排気浄化装置30は、上流側にDPF32を設けて下流側に浄化触媒31を設ける構成であってもよい。また、パティキュレートフィルタにNOx吸蔵還元触媒を組み合わせたDPNR（Diesel Particulate NOx Reduction system）を排気浄化装置30として適用してもよい。

【0051】

排気浄化装置30には、図示しない温度センサおよび圧力センサが設けられており、排

10

20

30

40

50

気浄化装置 30 の床温度および入口圧力を検出し、検出結果をエンジン ECU 10 に送信する。エンジン ECU 10 は、送信された検出結果に基づいて浄化触媒 31 および DPF 32 の実温度や DPF 32 の目詰まり度合いを認識し、認識結果に基づいて浄化触媒 31 および DPF 32 の再生処理を実行する。これによって排気浄化装置 30 の排ガス浄化能力を常に一定以上に維持する。

#### 【0052】

A/F センサ 49 は、排気浄化装置 30 の上流側に設けられており、排ガス中の酸素濃度と未燃ガス濃度からエンジン 100 内の空燃比を検出し、その結果をエンジン ECU 10 へと送信する。それにより、エンジン ECU 10 は、様々な負荷状態におけるエンジン 100 の空燃比情報を取得することができる。A/F センサ 49 としては、ジルコニア表面に白金をコートし、外側電極の外周に拡散律速層を設けたものを適用するが、これに限られない。A/F センサ 49 は、素子に電圧を印加するとリーク側 ( $A/F > 14.6$ ) で排ガス中の酸素濃度に、リッチ側 ( $A/F < 14.6$ ) で未燃ガス濃度に応じた酸素イオン電流が発生する。この場合、A/F センサ 49 の出力電流は空燃比に対して正の相関があることから、これにより広範囲での空燃比の検出が可能になる。

#### 【0053】

排気マニホールド 13 は、EGR 通路 16 によって吸気マニホールド 11 と連通されている。EGR 通路 16 へと流入した排ガスは、EGR クーラ 161 にて冷却された後に EGR バルブ 162 で流量を調節されつつ吸気マニホールド 11 へ進み、吸入空気とともに燃焼室内へ導入される。EGR バルブ 162 は、エンジン ECU 10 の指令に従ってバルブ開度を調節することで、吸気マニホールド 11 への排ガスの還流量を適切な量へと調節する。このように、運転状態に応じた適切な量の EGR ガスを吸気マニホールド 11 に還流供給することにより、エンジン 100 の燃焼温度を低下させて NOx 排出量の低減を図ることができる。

なお、EGR 通路 16 は本発明の排ガス還流通路の一構成例である。

#### 【0054】

エンジン ECU 10 は、演算処理を行う CPU (Central Processing Unit) と、プログラム等を記憶する ROM (Read Only Memory) と、データ等を記憶する RAM (Random Access Memory) や NV RAM (Non Volatile RAM) と、を備えるコンピュータである。エンジン ECU 10 は、エンジン 100 の各部に備えられた複数のセンサの検出結果を読み込み、それら検出結果に基づいてエンジン 100 の運転動作を統合的に制御する。

#### 【0055】

また、エンジン ECU 10 は、エンジン 100 の燃焼室内の 1 サイクルにおける燃焼温度の最高値および当量比の平均値を算出し、算出結果に基づいてエンジン 100 のスモーク生成状態を判断する制御を実行する。以下に、エンジン ECU 10 が実行するスモーク生成状態の判断制御について説明する。

#### 【0056】

本願発明者らは、鋭意研究を重ねた結果、圧縮着火式内燃機関における燃焼域のガス温度の最高値 (以下、最高燃焼温度という) と当量比から、圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態をよりの確に判断できることを実験により見出した。その実験結果を図 3 に示す。

図 3 は、エンジン 100 の最高燃焼温度および当量比とスモーク生成状態との相関を示している。図 3 の横軸はエンジン 100 の最高燃焼温度 (K) を示している。エンジン 100 の最高燃焼温度は 2 領域モデルによって求めている。ここで 2 領域モデルとは、内燃機関の熱発生率 (指圧) から燃焼域のガス量を算出し、その他を未燃域として、各領域でのガス量、着火前圧力、燃焼室容積、空気過剰率 ( ) から燃焼室内のガス温度を算出する手法を言う。この場合、エンジン 100 の最高燃焼温度を求める手法は 2 領域モデルに限られず、他の手法によって求めてもよい。また、図 3 の縦軸は当量比 ( ) を示している。当量比とはエンジン 100 の理論空燃比の値を実空燃比の値で除した値を言う。

## 【 0 0 5 7 】

図3において、エンジン100のスモーク生成量( Filter Smoke Number : FSNと略記する)はそれぞれ等高線によって表示されている。エンジン100のスモーク生成量は、 $\phi$ の値が所定の第1しきい値(図3においては0.8)未満の領域では、スモーク生成量のピークが最高燃焼温度2450K(第2しきい値)付近にある(図4(a)(b)参照)。そして、最高燃焼温度が第2しきい値未満の領域では、最高燃焼温度が低下するほどスモーク生成量が低下する。この領域( $\phi < 0.8$ , 最高燃焼温度  $< 2450\text{K}$ )を第1領域と定義する。このように、エンジン100のスモーク生成状態が第1領域にあるときは、最高燃焼温度を低下させることでスモーク生成量を低下させることができる、すなわちスモーク排出量を低下させることができる。

10

## 【 0 0 5 8 】

また、図3において、最高燃焼温度が第2しきい値以上の領域では、最高燃焼温度が上昇するほどスモーク量が低下する。この領域( $\phi > 0.8$ , 最高燃焼温度  $> 2450\text{K}$ )を第2領域と定義する。このように、エンジン100のスモーク生成状態が第2領域にあるときは、最高燃焼温度を上昇させることでスモーク生成量を低下させることができる、すなわちスモーク排出量を低下させることができる。

## 【 0 0 5 9 】

更に、図3において、第1領域および第2領域以外の領域、すなわち、 $\phi$ が0.8以上の領域では、当量比が低下するほどスモーク量が低下する。この領域( $\phi > 0.8$ )を第3領域と定義する。このように、エンジン100のスモーク生成状態が第3領域にあるときは、当量比を低下させることでスモーク生成量を低下させることができる、すなわちスモーク排出量を低下させることができる。

20

## 【 0 0 6 0 】

以上のように、エンジン100のスモーク生成状態は最高燃焼温度と当量比と明確な相関関係を示す。そのため、エンジン100の最高燃焼温度と当量比を認識することで、スモーク生成状態が、スモーク生成量が最高燃焼温度に依存する領域(第1領域または第2領域)にあるか、または当量比に依存する領域(第3領域)にあるかを判断することができる。

## 【 0 0 6 1 】

一方、エンジン100の燃焼室における他の温度を適用した場合の実験例を図5に示す。図5(a)はエンジン100の圧縮端温度および当量比とスモーク生成状態との相関を示しており、図5(b)はエンジン100の筒内平均最大温度および当量比とスモーク生成状態との相関を示している。図5(a)が示すように、エンジン100のスモーク生成状態は、圧縮端温度(ピストン上死点における筒内温度)および当量比によって明確に領域分けすることができない。すなわち、図5(a)からはエンジン100のスモーク生成状態が、スモーク生成量が圧縮端温度に依存する領域にあるか、または当量比に依存する領域にあるかを判断することができない。同様に、図5(b)が示すように、エンジン100のスモーク生成状態は、筒内平均最大温度および当量比によって明確に領域分けすることができない。すなわち、図5(b)からはエンジン100のスモーク生成状態が、スモーク生成量が筒内平均最大温度に依存する領域にあるか、または当量比に依存する領域にあるかを判断することができない。このように、最高燃焼温度以外の温度に基づいてもエンジン100のスモーク生成状態を的確に判断することができない。

30

40

## 【 0 0 6 2 】

以上のように、圧縮着火式内燃機関における燃焼域のガス温度の最高値(最高燃焼温度)と当量比を求めることで、圧縮着火式内燃機関のスモーク生成状態をよりの確に判断することができる。なお、図3における当量比および最高燃焼温度のしきい値(第1しきい値および第2しきい値)は、圧縮着火式内燃機関の仕様(気筒数、ボア、ストローク、圧縮比等)によってその値が異なるものである。そのため、第1しきい値および第2しきい値は上記の値に限定されるものではなく、エンジン仕様に応じて適切なしきい値を用いることができる。

50

## 【 0 0 6 3 】

上記の知見を用いて、エンジン E C U 1 0 は、エンジン 1 0 0 のスモーク生成状態を判断する制御を実行する。まず、エンジン E C U 1 0 は、エアフロメータ 4 4 の検出結果およびインジェクタ 1 7 への燃料噴射量の指令値に基づいて、エンジン 1 0 0 の 1 サイクルにおける当量比の平均値を算出する。この場合、算出するエンジン 1 0 0 の当量比は 1 サイクルにおける平均値に限られずに、特定の 1 気筒における 1 サイクル中の当量比であってもよい。

## 【 0 0 6 4 】

また、エンジン E C U 1 0 は、当量比の平均値の算出と同一サイクルにおける燃焼室内の燃焼温度の最高値（最高燃焼温度）を算出する。エンジン 1 0 0 の最高燃焼温度は、例えば以下の（ 1 ）式より算出する。

$$T_{max} = A_1 (EGR \text{ 率}) + A_2 ( \text{噴射重心} ) + A_3 ( \text{圧縮端温度} ) + A_4 ( \text{エンジン回転数} ) + A_5 ( \text{酸素濃度} ) + A_6 ( \text{圧縮端圧力} ) + C \cdot \cdot \cdot \quad ( 1 )$$

（  $T_{max}$  : 最高燃焼温度 ,  $A_1 \sim A_6$  : エンジン仕様に基づく係数 ,  $C$  : 定数 ）

## 【 0 0 6 5 】

（ 1 ）式において、EGR 率とは、燃焼室内のガス量のうち EGR 通路 1 6 を通じて吸気側に還流された排ガス量の比率であって、例えば燃料噴射量の指令値、エアフロメータ 4 4、吸気圧センサ 4 6、吸気温度センサ 4 7、V N センサ 4 8 の検出結果から以下の（ 2 ）式より算出する（図 6 参照）。

$$EGR \text{ 率} = ( G_{cyl} - G_a ) / G_a \cdot \cdot \cdot \quad ( 2 )$$

（  $G_{cyl}$  : 燃焼室内のガス量 ,  $G_a$  : 吸入空気量 ）

EGR 率はエンジン 1 0 0 の最高燃焼温度（  $T_{max}$  ）に大きな影響を与えるもので、EGR 率が低下するほど  $T_{max}$  が増大する（すなわち係数  $A_1$  の符号は負である）。

## 【 0 0 6 6 】

また、（ 1 ）式において、噴射重心とは、インジェクタ 1 7 が実行する複数回の燃料噴射タイミングの重心値を言う。図 7 は、噴射重心の概念図を示している。例えば、インジェクタ 1 7 が 1 サイクルでパイロット噴射を 2 回、メイン噴射 1 回、アフター噴射 1 回（計 4 回の燃料噴射）を実行した場合、燃料噴射開始（  $n = 1$  ）から終了（  $n = 4$  ）までの 4 回の燃料噴射量の和（総噴射量）を求める。そして、求めた総噴射量の半分の燃料を噴射した時の噴射タイミング（噴射角）を噴射重心として定義する。このように、噴射重心はインジェクタ 1 7 への燃料噴射量および燃料噴射タイミングの指令値から以下の（ 3 ）式より算出する（図 8（ a ）参照）。

$$\text{噴射重心} = ( \text{噴射量} ( n ) \times \text{噴射時期} ( n ) ) / \text{噴射量} ( n ) \cdot \cdot \cdot \quad ( 3 )$$

（  $n$  : 1 サイクルにおける噴射回数 ）

噴射重心はエンジン 1 0 0 の最高燃焼温度（  $T_{max}$  ）に影響を与えるもので、噴射重心が低下する（進角側にシフトする）ほど  $T_{max}$  が増大する（すなわち係数  $A_2$  の符号は負である）。

## 【 0 0 6 7 】

そして、（ 1 ）式において、圧縮端温度とは、ピストンの圧縮上死点における燃焼室内のガス温度を言い、例えば吸気マニホールド 1 1 内の温度の算出値（図 6 参照）および吸気カム角センサ 4 2 の検出結果から以下の（ 4 ）式より算出する（図 8（ b ）参照）。

$$\text{圧縮端温度} = \text{吸気マニホールド 1 1 内の温度} \times \cdot \cdot \cdot \quad ( 4 )$$

（ : 実圧縮比 , : 比熱比 ）

圧縮端温度はエンジン 1 0 0 の最高燃焼温度（  $T_{max}$  ）に影響を与えるもので、圧縮端温度が上昇するほど  $T_{max}$  が増大する（すなわち係数  $A_3$  の符号は正である）。

## 【 0 0 6 8 】

更に、（ 1 ）式において、エンジン回転数とは、エンジン 1 0 0 の 1 分間あたりのクランクシャフト回転数（  $r_{rpm}$  ）であり、クランク角センサ 4 1 の検出結果を適用する。エンジン回転数はエンジン 1 0 0 の最高燃焼温度（  $T_{max}$  ）に影響を与えるもので、エンジン回転数が低下するほど  $T_{max}$  が増大する（すなわち係数  $A_4$  の符号は負である）。

10

20

30

40

50

## 【0069】

また、(1)式において、酸素濃度とは、エンジン100の燃焼室内のガス中における酸素濃度を言い、例えばEGR率の算出値(図6参照)、燃料噴射指令値およびエアフロメータの検出結果から以下の(5)式より算出する(図8(c)参照)。

$$\text{酸素濃度} = \text{大気中の酸素比率} \times (1 - \text{EGR率} / \quad) \cdot \cdot \cdot \quad (5)$$

( $\quad$  : 酸素過剰率)

酸素濃度はエンジン100の最高燃焼温度( $T_{max}$ )に影響を与えるもので、酸素濃度が上昇するほど $T_{max}$ が増大する(すなわち係数A5の符号は正である)。

## 【0070】

更に、(1)式において、圧縮端圧力とは、ピストンの圧縮上死点における筒内圧力を言い、例えば吸気カム角センサ42および吸気圧センサ46の検出結果から以下の(6)式より算出する(図8(d)参照)。

$$\text{圧縮端圧力} = \text{吸気マニホルド11内の圧力} \times \quad \cdot \cdot \cdot \quad (6)$$

( $\quad$  : 実圧縮比,  $\quad$  : 比熱比)

圧縮端圧力はエンジン100の最高燃焼温度( $T_{max}$ )に影響を与えるもので、圧縮端圧力が上昇するほど $T_{max}$ が増大する(すなわち係数A6の符号は正である)。

## 【0071】

$T_{max}$ を算出するにあたっては、上記(1)式における複数のパラメータをすべて含むことが望ましいが、最高燃焼温度に対する寄与度の大きいパラメータを選出して $T_{max}$ を算出することもできる。例えば、上記(1)式における複数のパラメータの中で、EGR率がエンジン100の燃焼室内の最高燃焼温度に対する寄与度がもっとも大きい。そのため、エンジンECU10は、少なくともEGR率を含んだパラメータに基づいて燃焼室内の最高燃焼温度を算出することもできる。また、エンジン100の燃焼室内の最高燃焼温度に対する寄与度は、EGR率につづいて噴射重心、圧縮端温度、エンジン回転数、酸素濃度、圧縮端圧力の順で大きい。そのため、燃焼室内の最高燃焼温度に対してより寄与度の大きいパラメータをいくつか選出し、選出したパラメータを用いて燃焼室内の最高燃焼温度を算出してもよい。

## 【0072】

つづいて、エンジンECU10は、算出したエンジン100の1サイクルにおける当量比( $\quad$ )の平均値が所定の第1しきい値(本実施例では0.8)未満であるか否かを判断する。ここで、第1しきい値については前述したために、その詳細な説明を省略する。当量比( $\quad$ )の平均値が第1しきい値未満でない場合、エンジンECU10は、エンジン100のスモーク生成状態が第3領域にある(すなわち第1領域以外の領域にある)と判断する。第1領域とは、前述したように、燃焼室内の最高燃焼温度を低下させることでスモーク生成量を低減することができる領域をいう。また、第3領域とは、前述したように、当量比を低下させることでスモーク生成量を低減することができる領域をいう。

## 【0073】

一方、当量比( $\quad$ )の平均値が第1しきい値未満である場合は、エンジンECU10は、算出した燃焼室内の最高燃焼温度が第2しきい値未満であるか否かを判断する。燃焼室内の最高燃焼温度が第2しきい値未満でない場合、エンジンECU10は、エンジン100のスモーク生成状態が第2領域にある(すなわち第1領域以外の領域にある)と判断する。第2領域とは、前述したように、燃焼室内の最高燃焼温度を上昇させることでスモーク生成量を低減することができる領域をいう。燃焼室内の最高燃焼温度が第2しきい値未満である場合は、エンジンECU10は、エンジン100のスモーク生成状態が第1領域にあると判断する。

## 【0074】

上記の制御によって、エンジン100の最高燃焼温度と当量比から、スモーク生成状態がスモーク生成量が最高燃焼温度に比例する領域(第1領域)にあるか否か、最高燃焼温度に反比例する領域(第2領域)にあるか否か、または当量比に依存する領域(第3領域)にあるか否かをよりの確に判断することができる。すなわち、圧縮着火式内燃機関の燃

10

20

30

40

50

焼室内の1サイクルにおける当量比の平均値と燃焼温度の最高値からよりの確にスモーク生成状態を判断することができる。

【0075】

上記の制御に加えて、エンジンECU10は、スモーク生成状態の判断結果に基づいて吸気弁の閉弁タイミングを変更し、それによってエンジン100のスモーク生成量を低減する制御を実行する。以下に、エンジンECU10が実行する吸気弁の閉弁タイミング変更制御について説明する。

【0076】

エンジンECU10は、エンジン100のスモーク生成状態がスモーク生成量が最高燃焼温度に比例する領域(第1領域)にあると判断した場合、吸気弁22の閉弁タイミングをベースタイミングに対して遅角させるよう電動VVT機構26に指令する(Late Intake Valve Close, 以下LIVCと略記する)。図9は、吸気弁22の閉弁タイミング制御の一例を示している。図9(a)は吸気弁22の閉弁時期のベースタイミングを示しており、図9(b)は吸気弁22の閉弁タイミングの遅角制御の一例を示している。エンジン100の始動中、エンジンECU10は、エンジン100の回転数および燃料噴射量から吸気弁22の適切な閉弁タイミングを決定し電動VVT機構26に指令する(図9(a)参照)。そして、エンジンECU10は、エンジン100のスモーク生成状態が第1領域にあると判断すると、吸気弁22の閉弁タイミングのベースタイミングに対する遅角量をエンジン100の回転数に応じて算出する。エンジンECU10は、算出した遅角量に基づき吸気弁22の閉弁タイミングをベースタイミングから遅角させるよう電動VVT機構26にLIVCを指令する(図9(b)参照)。

【0077】

図10(a)は、吸気弁22の閉弁タイミングの遅角量と実圧縮比との相関を示している。吸気弁22の閉弁タイミングの遅角量が大きいほど、圧縮時に燃焼室内から吸気弁22の開弁部分を通じて吸気マニホールド11に吹き返すガス量が多くなるために、エンジン100の実圧縮比が低下する。図10(b)は、吸気弁22の閉弁タイミングと燃焼域ガス温度との相関を示している。図10(b)の中で、Aは吸気弁22の閉弁をベースタイミングで実行した場合、Bは吸気弁22の閉弁タイミングをベースタイミングから遅角させた場合、Cは吸気弁22の閉弁タイミングをベースタイミングから遅角させつつ噴射タイミングを遅角させた場合を示している。吸気弁22の閉弁タイミングをより遅角させると、すなわちエンジン100の実圧縮比がより低下すると、エンジン100の燃焼域のガス温度がより低下する。

よって、エンジン100のスモーク生成状態がスモーク生成量が最高燃焼温度に比例する領域(第1領域)にある場合、吸気弁22の閉弁タイミングを遅角させることでスモーク生成量を低減させることができる。

【0078】

この場合、吸気弁22の開弁時間はエンジン100がより高回転であるほど短くなり、吸気弁22の開弁時間が短くなるほど実圧縮比の低下効果が低減する。そのため、エンジンECU10は、エンジン100がより高回転であるほど吸気弁22の閉弁タイミングの遅角量を大きして吸気弁22の開弁時間を長くすることで、エンジン100の実圧縮比を適切に低下させる。これによって、エンジン100のスモーク生成量を適切に低減させる(図9(b)参照)。

【0079】

一方、エンジンECU10は、エンジン100のスモーク生成状態がスモーク生成量が最高燃焼温度に反比例する領域(第2領域)、または当量比に依存する領域(第3領域)にあると判断した場合、吸気弁22の閉弁タイミングをベースタイミングに対して進角させるよう電動VVT機構26に指令する(Early Intake Valve Close, 以下EIVCと略記する)。図9(a)は吸気弁22の閉弁時期のベースタイミングを示しており、図9(c)は吸気弁22の閉弁タイミングの進角制御の一例を示している。エンジン100の始動中、エンジンECU10は、エンジン100の回転数および燃料噴射量

から吸気弁 22 の適切な閉弁タイミングを決定し電動 V V T 機構 26 に指令する ( 図 9 ( a ) 参照 ) 。そして、エンジン E C U 10 は、エンジン 100 のスモーク生成状態が第 2 領域または第 3 領域にあると判断すると、吸気弁 22 の閉弁タイミングのベースタイミングに対する進角量をエンジン 100 の回転数に応じて算出する。エンジン E C U 10 は、算出した進角量に基づき吸気弁 22 の閉弁タイミングをベースタイミングから進角させるよう電動 V V T 機構 26 に E I V C を指令する ( 図 9 ( c ) 参照 ) 。

#### 【 0080 】

吸気弁 22 の閉弁タイミングをベースタイミングより進角させると、燃焼室内のガスの掃気率が向上する、すなわちエンジン 100 の体積効率が向上するために、燃焼室内に導入される吸入空気量が増大する。そのため、エンジン 100 の燃焼域ガス温度が上昇する。また、エンジン 100 の体積効率が向上すると、理論空燃比に対する実空燃比の比率が大きくなるために、エンジン 100 の当量比 ( ) が低下する。このように、吸気弁 22 の閉弁タイミングをより進角させると、エンジン 100 の最高燃焼温度がより上昇し、当量比がより低下する。

よって、エンジン 100 のスモーク生成状態が スモーク生成量が最高燃焼温度に反比例する領域 ( 第 2 領域 ) 、または当量比に依存する 領域 ( 第 3 領域 ) にある場合、吸気弁 22 の閉弁タイミングを進角させることでスモーク生成量を低減させることができる。

#### 【 0081 】

この場合、吸気弁 22 の開弁時間はエンジン 100 がより低回転であるほど長くなり、吸気弁 22 の開弁時間が長くなるほど圧縮時に燃焼室内から吸気弁 22 の開弁部分を通じて吸気マニホールド 11 に吹き返すガス量が多くなる。そのため、エンジン E C U 10 は、エンジン 100 がより低回転であるほど吸気弁 22 の閉弁タイミングの進角量を大きくすることで、吸気弁 22 の開弁時間を短くして吸気マニホールド 11 へのガスの吹き返し量を低減する。これによって、エンジン 100 の燃焼温度を適切に上昇させつつ、エンジン 100 の当量比を適切に低下させる ( 図 9 ( c ) 参照 ) 。

エンジン E C U 10 は、エンジン 100 の運転が終了するまで上記の処理を繰り返す。

#### 【 0082 】

以上のように、エンジン 100 のスモーク生成状態が スモーク生成量が最高燃焼温度に比例する領域 ( 第 1 領域 ) にある場合に、吸気弁 22 の閉弁タイミングをベースタイミングに対して遅角させる L I V C 制御を実行することでスモーク生成量を適切に低減させることができる。また、エンジン 100 のスモーク生成状態が スモーク生成量が最高燃焼温度に反比例する領域 ( 第 2 領域 ) 、または当量比に依存する 領域 ( 第 3 領域 ) にある場合に、吸気弁 22 の閉弁タイミングをベースタイミングに対して進角させる E I V C 制御を実行することでスモーク生成量を適切に低減させることができる。

なお、エンジン E C U 10 は、本発明の当量比算出手段、最高燃焼温度算出手段、判断手段、および可変動弁手段の一構成例である。

#### 【 0083 】

つづいて、エンジン E C U 10 の制御の流れに沿って、エンジンシステム 1 の動作を説明する。図 11 は、エンジン E C U 10 の処理の一例を示すフローチャートである。本実施例のエンジンシステム 1 は、燃焼室内の 1 サイクルにおける当量比の平均値および最高燃焼温度を算出し、算出結果に基づきエンジン 100 のスモーク生成状態を判断する。更に、スモーク生成状態の判断結果に基づいて吸気弁 22 の閉弁タイミングを変更することでエンジン 100 のスモーク生成量を低減させる制御をエンジン E C U 10 が実行する。

#### 【 0084 】

エンジン E C U 10 の制御は、イグニッションスイッチが O N されてエンジン 100 が始動されると開始し、エンジン 100 の運転中に以下の制御の処理を繰り返す。また、エンジン E C U 10 は、その制御の処理中、クランク角センサ 41 、エアフロメータ 44 、吸気カム角センサ 42 、吸気圧センサ 46 、吸気温度センサ 47 および V N センサ 48 の検出結果を常に受信する。

## 【 0 0 8 5 】

まず、エンジン ECU 10 はステップ S 1 で、受信したエアフロメータ 4 4 の検出結果およびインジェクタ 1 7 への燃料噴射量の指令値に基づいて、エンジン 1 0 0 の 1 サイクルにおける当量比 ( ) の平均値を算出する。エンジン ECU 10 は、ステップ S 1 の処理を終えると、次のステップ S 2 へ進む。

## 【 0 0 8 6 】

ステップ S 2 で、エンジン ECU 10 は、上記 ( 1 ) ~ ( 6 ) 式に基づいて、ステップ S 1 で算出した の平均値の算出と同一サイクルにおける燃焼室内の燃焼温度の最高値 ( 最高燃焼温度 ) を算出する。エンジン ECU 10 は、ステップ S 2 の処理を終えると、次のステップ S 3 へ進む。

10

## 【 0 0 8 7 】

ステップ S 3 で、エンジン ECU 10 は、ステップ S 1 で算出した の平均値が所定の第 1 しきい値未満であるか否かを判断する。ここで、第 1 しきい値については前述したために、その詳細な説明は省略する。 の平均値が第 1 しきい値未満でない場合 ( ステップ S 3 / N O )、エンジン ECU 10 は、エンジン 1 0 0 のスモーク生成状態が第 3 領域にある ( すなわち第 1 領域以外の領域にある ) と判断し、ステップ S 6 へ進む。一方、 の平均値が第 1 しきい値未満である場合 ( ステップ S 3 / Y E S ) は、エンジン ECU 10 は、エンジン 1 0 0 のスモーク生成状態が第 1 領域または第 2 領域のいずれか一方にあると判断し、次のステップ S 4 へ進む。ここで、第 1 領域、第 2 領域および第 3 領域については前述したために、その詳細な説明は省略する。

20

## 【 0 0 8 8 】

ステップ S 4 で、エンジン ECU 10 は、ステップ S 2 で算出した燃焼室内の最高燃焼温度の値が所定の第 2 しきい値未満であるか否かを判断する。ここで、第 2 しきい値については前述したために、その詳細な説明は省略する。燃焼室内の最高燃焼温度が第 2 しきい値未満でない場合 ( ステップ S 4 / N O )、エンジン ECU 10 は、エンジン 1 0 0 のスモーク生成状態が第 2 領域にある ( すなわち第 1 領域以外の領域にある ) と判断し、ステップ S 6 へ進む。一方、燃焼室内の最高燃焼温度が第 2 しきい値未満である場合 ( ステップ S 4 / Y E S ) は、エンジン ECU 10 は、エンジン 1 0 0 のスモーク生成状態が第 1 領域にあると判断し、次のステップ S 5 へ進む。

## 【 0 0 8 9 】

ステップ S 5 で、エンジン ECU 10 は、クランク角センサ 4 1 の検出結果に基づき吸気弁 2 2 の閉弁タイミングの遅角量を算出する。そして、エンジン ECU 10 は、吸気弁 2 2 の閉弁タイミングをベースタイミングに対して遅角させるように電動 V V T 機構 2 6 に指令し ( L I V C 制御 )、エンジン 1 0 0 の実圧縮比を低下させる。これによってエンジン 1 0 0 の燃焼温度を低下させて、スモーク生成量を低減させる。エンジン ECU 10 は、ステップ S 5 の処理を終えると、制御の処理を終了する。

30

## 【 0 0 9 0 】

ステップ S 3 およびステップ S 4 の判断結果が N O の場合、エンジン ECU 10 はステップ S 6 へ進む。ステップ S 6 で、エンジン ECU 10 は、クランク角センサ 4 1 の検出結果に基づき吸気弁 2 2 の閉弁タイミングの進角量を算出する。そして、エンジン ECU 10 は、吸気弁 2 2 の閉弁タイミングをベースタイミングに対して進角させるように電動 V V T 機構 2 6 に指令し ( E I V C 制御 )、エンジン 1 0 0 の体積効率を向上させる。これによってエンジン 1 0 0 の燃焼温度を上昇させつつ、当量比を低下させて、スモーク生成量を低減させる。エンジン ECU 10 は、ステップ S 6 の処理を終えると、制御の処理を終了する。

40

## 【 0 0 9 1 】

上記の制御を実行することにより、エンジン 1 0 0 における燃焼域のガス温度の最高値 ( 最高燃焼温度 ) と当量比からスモーク生成状態をよりの確に判断することができる。そして、スモーク生成状態の判断結果に基づいてエンジン 1 0 0 のスモーク生成量を低減させるための制御を適切に実行することができる。よって、圧縮着火式内燃機関のスモーク

50

生成状態をよりの確に把握しつつ、スモーク排出量を低減することができる。

なお、エンジン ECU 10 は、ステップ S1 とステップ S2 の処理について、いずれを先に実行してもよし、同時に実行してもよい。

【0092】

以上のように、本実施例のエンジンシステムは、エンジンの燃焼室内の1サイクルにおける当量比の平均値を算出する当量比算出手段と、当量比算出手段による当量比の平均値の算出と同一サイクルにおける燃焼室内の燃焼温度の最高値を算出する最高燃焼温度算出手段と、当量比算出手段の算出結果および最高燃焼温度算出手段の算出結果に基づいてエンジンのスモーク生成状態を判断する判断手段と、を備えたエンジン ECU を有する。これによって、エンジンにおける燃焼域のガス温度の最高値（最高燃焼温度）と当量比からスモーク生成状態をよりの確に判断することができる。

10

【0093】

また、本実施例のエンジンシステムは、エンジンの吸気弁の閉弁タイミングを所望するタイミングに変更する電動 VVT 機構を備え、算出した当量比の平均値が所定の第1しきい値未満で、かつ燃焼室内の燃焼温度の最高値が所定の第2しきい値未満である場合にスモーク生成状態が第1領域にあると判断し、吸気弁の閉弁タイミングを遅角させるよう電動 VVT 機構に指令する。スモーク生成状態が第1領域以外の領域にあると判断した場合は、吸気弁の閉弁タイミングを進角させるよう電動 VVT 機構に指令する。これによって、エンジン 100 のスモーク生成状態に応じてエンジン 100 の最高燃焼温度、当量比を適切に変更することができる。よって、圧縮着火式内燃機関のスモーク生成量を適切に低減させることができる。

20

【0094】

更に、本実施例のエンジンシステムは、スモーク生成量の低減制御における吸気弁の閉弁タイミングの遅角量および進角量を、エンジン回転数に応じた適切な量に調整することができる。よって、圧縮着火式内燃機関のスモーク生成量をより適切に低減させることができる。

【0095】

上記実施例は本発明を実施するための一例にすぎない。よって本発明はこれらに限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

30

【符号の説明】

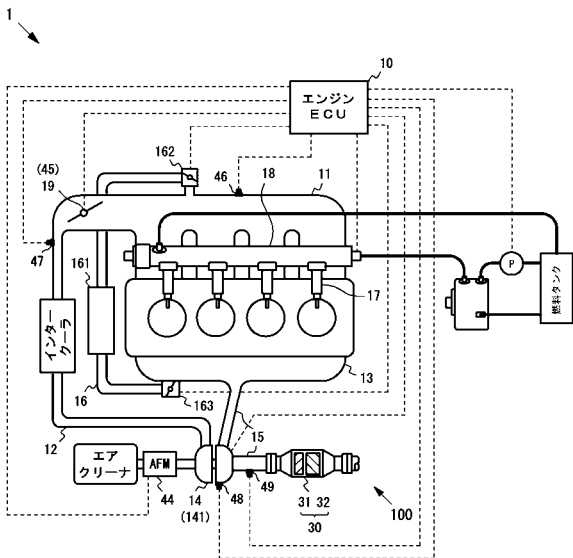
【0096】

- 1 エンジンシステム
- 10 エンジン ECU (当量比算出手段, 最高燃焼温度算出手段, 判断手段, 可変動弁手段)
- 11 吸気マニホールド
- 14 ターボチャージャ (過給機)
- 15 排気通路
- 16 EGR 通路 (排ガス還流通路)
- 17 インジェクタ
- 22 吸気弁
- 26 電動 VVT 機構 (可変動弁手段)
- 41 クランク角センサ
- 42 吸気カム角センサ
- 44 エアフロメータ
- 46 吸気圧センサ
- 47 吸気温度センサ
- 48 VN センサ
- 100 エンジン

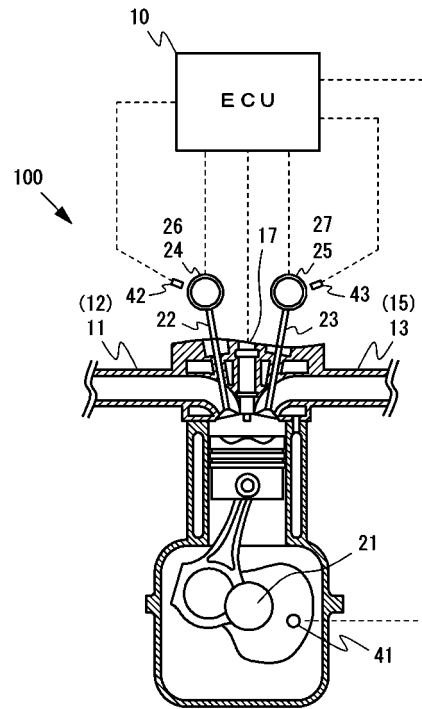
40

50

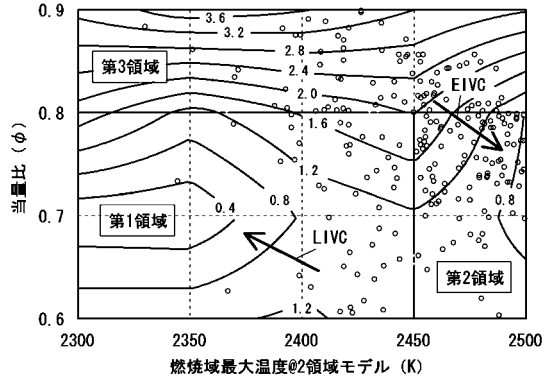
【図1】



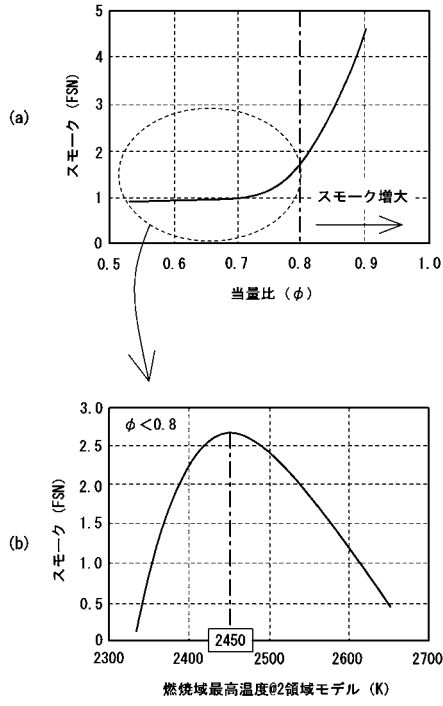
【図2】



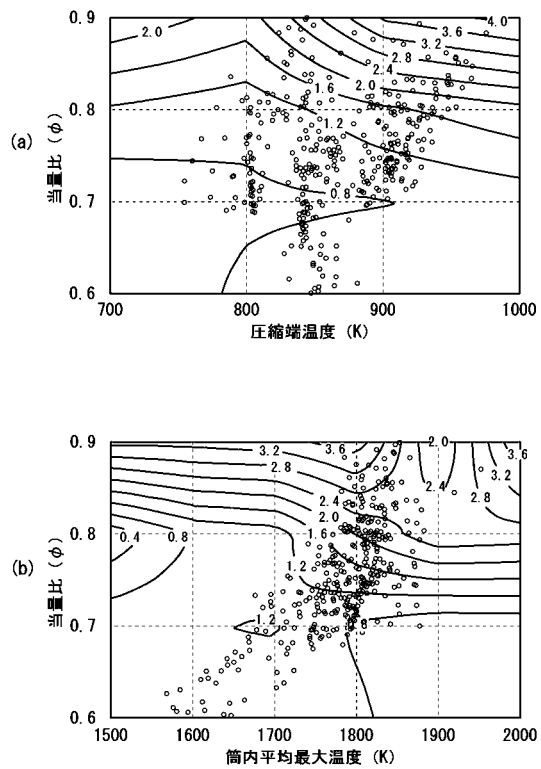
【図3】



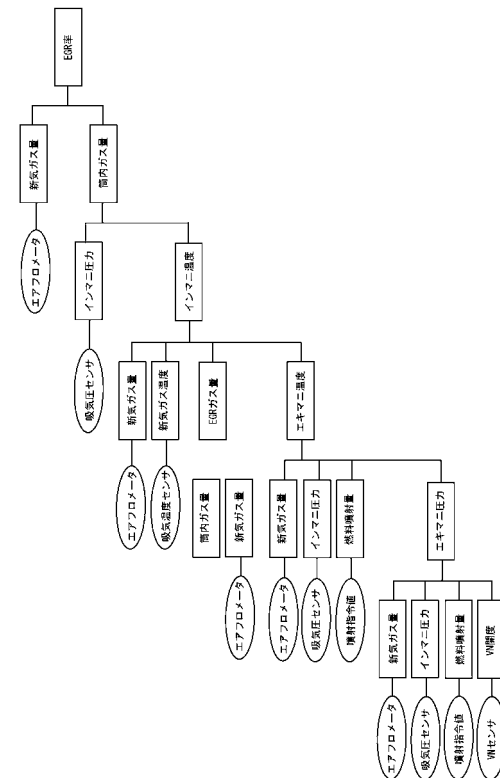
【図4】



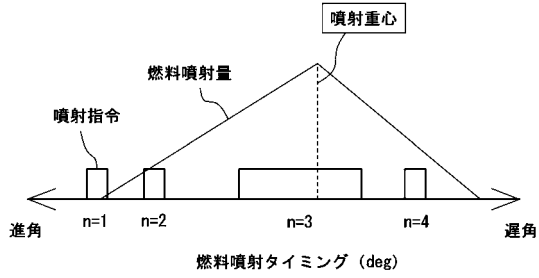
【図5】



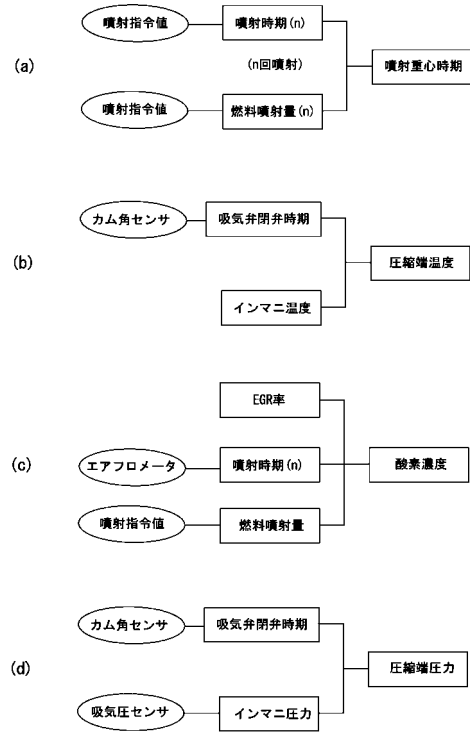
【図6】



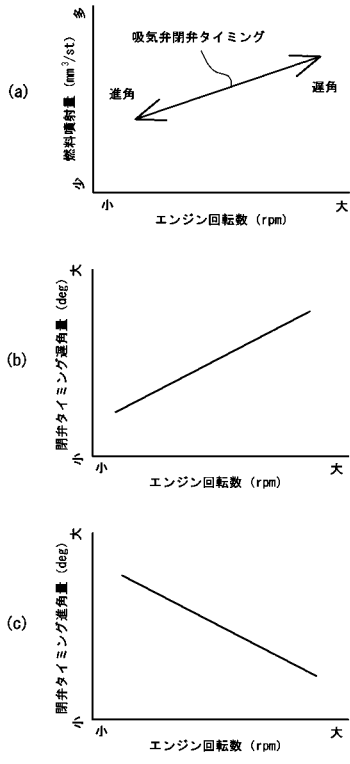
【図7】



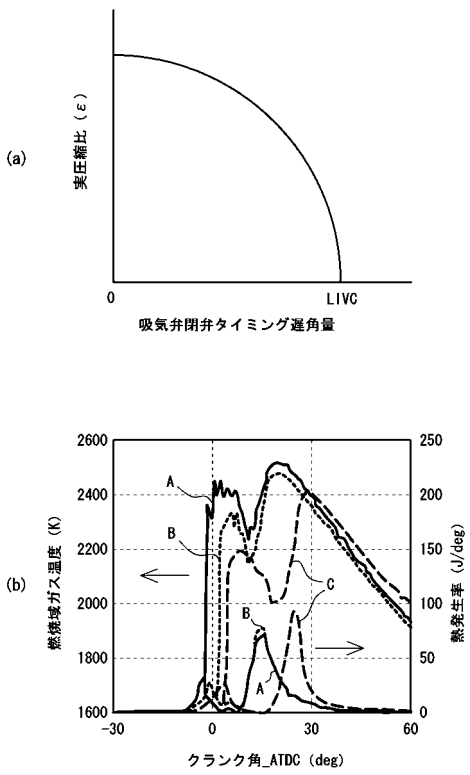
【図8】



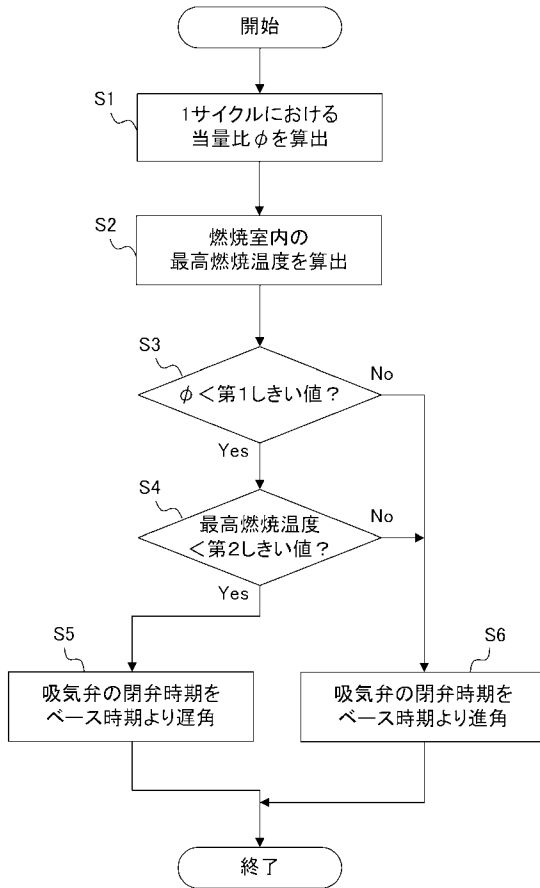
【図9】



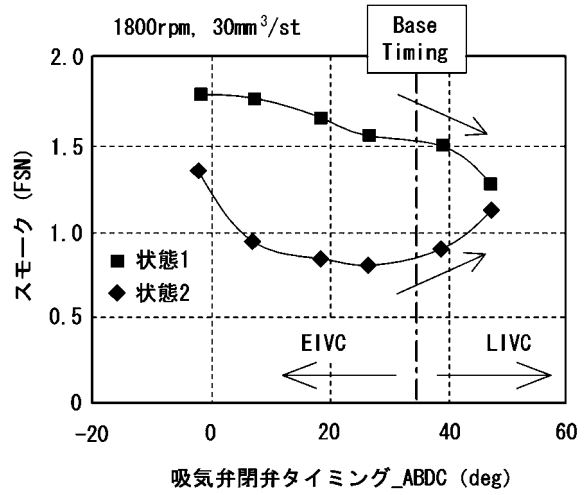
【図10】



【図11】



【図12】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 岩田 一康  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 柳瀬 佳紀  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

審査官 米澤 篤

- (56)参考文献 特開2007-303437(JP,A)  
特開2009-8023(JP,A)  
特開2009-216059(JP,A)  
特開2009-299623(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |      |       |
|------|-------|
| F02D | 13/02 |
| F02D | 21/08 |