

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7131172号  
(P7131172)

(45)発行日 令和4年9月6日(2022.9.6)

(24)登録日 令和4年8月29日(2022.8.29)

(51)国際特許分類	F I	
F 0 2 D 41/04 (2006.01)	F 0 2 D	41/04
F 0 2 D 41/18 (2006.01)	F 0 2 D	41/18
F 0 2 D 41/32 (2006.01)	F 0 2 D	41/32
F 0 2 D 43/00 (2006.01)	F 0 2 D	43/00 3 0 1 B
F 0 2 D 45/00 (2006.01)	F 0 2 D	43/00 3 0 1 H
請求項の数 7 (全44頁) 最終頁に続く		

(21)出願番号	特願2018-140680(P2018-140680)	(73)特許権者	000003137
(22)出願日	平成30年7月26日(2018.7.26)		マツダ株式会社
(65)公開番号	特開2020-16198(P2020-16198A)		広島県安芸郡府中町新地3番1号
(43)公開日	令和2年1月30日(2020.1.30)	(74)代理人	110001427弁理士法人前田特許事務所
審査請求日	令和3年4月13日(2021.4.13)	(72)発明者	松島 佑斗
			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	東尾 理克
			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	砂流 雄剛
			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	高山 真二
			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】 圧縮着火式エンジンの制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

シリンダと、前記シリンダ内において往復動するピストンと、前記シリンダの一端を閉じるシリンダヘッドとによって形成されるエンジンの燃焼室と、

前記燃焼室内に充填する空気量を調節する空気調節部と、

前記シリンダヘッドに取り付けられかつ、前記燃焼室内に供給する燃料を噴射する燃料噴射部と、

前記燃焼室内に臨んで配設されかつ、前記燃焼室内の混合気に点火をする点火部と、

前記燃焼室内にスワール流を発生させるスワール発生部と、

前記エンジンの運転に関係するパラメータを計測する計測部と、

前記空気調節部、前記燃料噴射部、前記点火部、前記スワール発生部、及び前記計測部のそれぞれが接続されていると共に、前記計測部からの計測信号を受けて演算を行うと共に、前記空気調節部、前記燃料噴射部、前記点火部、及び前記スワール発生部に信号を出力する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記エンジンを第1モードによって運転する第1モード部と、前記エンジンを第2モードによって運転する第2モード部と、前記第1モードから前記第2モードへの切替要求を受けてモードの切替を行う切替部とを有し、

前記第1モード部は、前記エンジンの負荷に応じた燃料量かつ、混合気の空燃比が第1空燃比となるように、前記燃料噴射部及び前記空気調節部に信号を出力すると共に、前記点火部の強制点火によって一部の混合気が火炎伝播を伴う燃焼を開始した後、残りの未燃

混合気が自己着火により燃焼するよう、前記点火部に点火信号を出力し、

前記第 2 モード部は、前記エンジンの負荷に応じた燃料量かつ、混合気の空燃比が前記第 1 空燃比よりも大の第 2 空燃比となるように、前記燃料噴射部及び前記空気調節部に信号を出力すると共に、前記点火部の強制点火によって一部の混合気が火炎伝播を伴う燃焼を開始した後、残りの未燃混合気が自己着火により燃焼するよう、前記点火部に点火信号を出力し、

前記切替部は、前記切替要求を受けたとき、混合気の空燃比が理論空燃比又は略理論空燃比となるよう前記空気調節部及び前記燃料噴射部に信号を出力すると共に、切替要求前よりもスワール流が強くなるよう前記スワール発生部に信号を出力し、

前記切替部は、切替要求前よりも空気量が増加するよう前記空気調節部に信号を出力すると共に、混合気の空燃比が理論空燃比又は略理論空燃比になるよう、空気量の増加に応じて前記燃料量を増加させる信号を前記燃料噴射部に出力しかつ、前記燃料量の増加に対して前記エンジンのトルクの増加を抑制するトルク調整を行い、

前記切替部はまた、前記スワール流が所定強度に到達しかつ、前記空気量が所定量に到達したことを判定したときに、前記燃料量の増加と前記トルク調整とを終了して、前記第 2 モード部が前記第 2 モードを開始することを許容する

ことを特徴とする圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記スワール発生部は、前記エンジンの吸気通路に取り付けられたスワールコントロール弁を有し、

前記制御部は、前記スワールコントロール弁の開度を調節することによって、当該開度が閉じ側にあるときには開き側にあるときに比してスワール流が強くなるよう、前記燃焼室内のスワール流の強さを調節する

ことを特徴とする圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記スワール発生部は、スワール比が 4 以上のスワール流を発生させることを特徴とする圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記切替部は、前記エンジンのトルクを一定又は略一定のまま、前記第 1 モードから前記第 2 モードへ切り替える

ことを特徴とする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 項に記載の圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記切替部は、前記点火部に、点火時期を遅角させる信号を出力することによって、前記エンジンのトルクの増加を抑制する

ことを特徴とする圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記切替部は、

前記スワール流が所定強度に到達したことを判定したときに、前記空気量の増加と前記燃料量の増加と前記トルク調整とを開始すると共に、

前記空気量が所定量に到達したことを判定したときに、前記燃料量の増加と前記トルク調整とを終了して、前記第 2 モード部が前記第 2 モードを開始することを許容する

ことを特徴とする圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記第 1 空燃比は、理論空燃比又は略理論空燃比であり、

10

20

30

40

50

前記第 2 空燃比は、2.5 以上であることを特徴とする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】

ここに開示する技術は、圧縮着火式エンジンの制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

火炎伝播を介さずに混合気が一気に燃焼する圧縮自己着火による燃焼は、燃焼期間が最小であるために、燃費効率を最大限に高めることが知られている。しかしながら、圧縮自己着火による燃焼は、自動車用エンジンにおいては、様々な課題を解決する必要がある。例えば、自動車用途では、運転状態及び環境条件が大きく変化するため、その中で安定して圧縮自己着火させることが大きな課題である。自動車用エンジンにおいて、圧縮自己着火による燃焼は未だ実用化されていない。

10

【0003】

この課題を解決するために、例えば特許文献 1 には、S I (Spark Ignition) 燃焼と C I (Compression Ignition) 燃焼とを組み合わせた S P C C I (SPark Controlled Compression Ignition) 燃焼が提案されている。S I 燃焼は、燃焼室の中の混合気に強制的に点火を行うことにより開始する火炎伝播を伴う燃焼である。C I 燃焼は、燃焼室の中の混合気が圧縮自己着火することにより開始する燃焼である。S P C C I 燃焼は、燃焼室の中の混合気に強制的に点火を行って、火炎伝播による燃焼を開始させると、S I 燃焼の発熱及び火炎伝播による圧力上昇によって、燃焼室の中の未燃混合気が圧縮着火により燃焼する形態である。S P C C I 燃焼は、C I 燃焼を含んでいるため、「圧縮着火による燃焼」の一形態である。

20

【0004】

S P C C I 燃焼における C I 燃焼は、筒内温度が、混合気の組成により定まる着火温度に到達したときに起こる。圧縮上死点付近で筒内温度が着火温度に到達して C I 燃焼が起これば燃費効率を最大化することができる。筒内温度は、筒内圧力の上昇に応じて高くなる。S P C C I 燃焼における筒内圧力は、圧縮行程でのピストンの圧縮仕事による圧力上昇と、S I 燃焼の発熱から生じる圧力上昇との二つの圧力上昇の結果である。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】国際公開第 2018/096744 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

S P C C I 燃焼は、圧縮着火による燃焼の一形態であるため、特許文献 1 にも記載されているように、混合気空燃比を理論空燃比よりリーンにしても安定した燃焼が可能である。S P C C I 燃焼を行うエンジンは、混合気空燃比を例えば 2.5 以上にすることにより、R a w N O x の生成を抑制しながら、高い熱効率で運転することができる。

40

【0007】

ところが、S P C C I 燃焼において、S I 燃焼による圧力上昇は、燃焼速度、すなわち火炎伝播速度に依存する。S I 燃焼の火炎伝播が安定しないと、S I 燃焼の発熱により生じる圧力上昇が十分に確保されなくなり、筒内温度を着火温度まで高めることが難しくなる。その結果、C I 燃焼する混合気の量が少なくなり、多くの混合気が S I 燃焼してしまう、又は、膨張行程の後半において C I 燃焼が発生してしまう。これでは、エンジンの熱効率は、最大化しない。

【0008】

例えば、エンジン水温が低いときや、吸気温が低いときといった、エンジンが特定の運

50

転条件下にあるときには、燃料リーンな混合気を安定的にS I 燃焼させることが困難になる。S P C C I 燃焼を行っても、エンジンの熱効率は最大化しない。そこで、エンジン水温が低いときや吸気温が低いときには、エンジンは、混合気の空燃比を理論空燃比又は略理論空燃比にして、S P C C I 燃焼を行うことが考えられる。混合気の空燃比を理論空燃比又は略理論空燃比にすると、エンジン水温が低いときや吸気温が低いときでも、S P C C I 燃焼におけるS I 燃焼の火炎伝播が安定する。そのため、圧縮上死点付近においてC I 燃焼を開始させることができ、エンジンの熱効率が高まる。また、混合気の空燃比を理論空燃比又は略理論空燃比にすれば、排気通路に取り付けた三元触媒を利用して、排気ガス中のNO<sub>x</sub>を浄化することもできる。

**【0009】**

本願発明者らは、S P C C I 燃焼を行うエンジンにおいて、排気エミッション性能の向上と熱効率の向上とを両立させるために、エンジンの状態に応じて、理論空燃比又は略理論空燃比である混合気をS P C C I 燃焼させるモード（つまり、第1モード）と、空燃比が理論空燃比よりもリーンな混合気をS P C C I 燃焼させるモード（つまり、第2モード）と、を切り替えることを考えた。

**【0010】**

ところで、第2モードは、第1モードよりも燃料リーンな混合気を燃焼させることとなるため、第1モードに比して、S I 燃焼における火炎伝播の安定性に改善の余地がある。そこで、本願発明者らは、燃焼室内にスワール流を発生させるとともに、このスワール流を介して混合気分布の形成をコントロールすることで、点火による着火性を確保して、S I 燃焼の安定性を高めることを考えた。

**【0011】**

このような構成を採用した場合、S I 燃焼の安定性は、スワール流が強くなるほど高められるものの、スワール流を過度に強めてしまうと、燃焼室内の内壁面を通じた冷却損失も増えることから、エンジンのモードに応じて、スワール流の強度（具体的には、スワール流の流動の強度）を適切に変更することが考えられる。例えば、第1モードにおいては、第2モードに比してスワール流の強度を弱くすることで、冷却損失に伴う熱効率の低下を抑制することができる。

**【0012】**

このような事情から、第1モードと第2モードとの切替に際しては、混合気の空燃比ばかりでなく、燃焼室内に発生させるスワール流の強度も変更することが考えられる。エンジンのモードを第1モードから第2モードへと切り替えるときには、燃焼室内に発生させるスワール流を強くすることになるが、スワール流の強度を強くしている期間中に、第2モードでの運転を開始してしまうと、スワール流の強度が一時的に過小となる。この場合、S I 燃焼における火炎伝播速度が低下した結果、膨張行程の後半においてC I 燃焼が発生してしまい、エンジンの熱効率が最大化しない虞がある。このことは、エンジンの燃費性能を向上させるためには不都合である。

**【0013】**

エンジンのモードを第2モードから第1モードへと切り替えるときにも、同様の問題が生じる。このとき、仮に、スワール流の強度を弱くしている期間中に第1モードでの運転を開始してしまうと、スワール流の強度が一時的に過大となる可能性がある。その場合、冷却損失が一時的に増大してしまい、燃費性能という観点からは不利となる。

**【0014】**

ここに開示する技術は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、混合気の空燃比とスワール流の強度が互いに相違する第1モードと第2モードとの間でモードを切り替えるエンジンにおいて、モード切替時に燃費性能を確保することにある。

**【課題を解決するための手段】****【0015】**

本願発明者らは、スワール流の強度を調節した後に、モード切替を許容することにした。

**【0016】**

10

20

30

40

50

具体的に、ここに開示する技術は、圧縮着火式エンジンの制御装置に係る。このエンジンの制御装置は、シリンダと、前記シリンダ内において往復動するピストンと、前記シリンダの一端を閉じるシリンダヘッドとによって形成されるエンジンの燃焼室と、前記燃焼室内に充填する空気量を調節する空気調節部と、前記シリンダヘッドに取り付けられかつ、前記燃焼室内に供給する燃料を噴射する燃料噴射部と、前記燃焼室内に臨んで配設されかつ、前記燃焼室内の混合気に点火をする点火部と、前記燃焼室内にスワール流を発生させるスワール発生部と、前記エンジンの運転に関するパラメータを計測する計測部と、前記空気調節部、前記燃料噴射部、前記点火部、前記スワール発生部、及び前記計測部のそれぞれが接続されていると共に、前記計測部からの計測信号を受けて演算を行うと共に、前記空気調節部、前記燃料噴射部、前記点火部、及び前記スワール発生部に信号を出力する制御部と、を備え、前記制御部は、前記エンジンを第1モードによって運転する第1モード部と、前記エンジンを第2モードによって運転する第2モード部と、前記第1モードから前記第2モードへの切替要求を受けてモードの切替を行う切替部とを有する。

10

## 【0017】

前記第1モード部は、前記エンジンの負荷に応じた燃料量かつ、混合気の空燃比が第1空燃比となるように、前記燃料噴射部及び前記空気調節部に信号を出力すると共に、前記点火部の強制点火によって一部の混合気が火炎伝播を伴う燃焼を開始した後、残りの未燃混合気が自己着火により燃焼するよう、前記点火部に点火信号を出力し、前記第2モード部は、前記エンジンの負荷に応じた燃料量かつ、混合気の空燃比が前記第1空燃比よりも大の第2空燃比となるように、前記燃料噴射部及び前記空気調節部に信号を出力すると共に、前記点火部の強制点火によって一部の混合気が火炎伝播を伴う燃焼を開始した後、残りの未燃混合気が自己着火により燃焼するよう、前記点火部に点火信号を出力する。

20

## 【0018】

そして、前記切替部は、前記切替要求を受けたとき、混合気の空燃比が理論空燃比又は略理論空燃比となるよう前記空気調節部及び前記燃料噴射部に信号を出力すると共に、切替要求前よりもスワール流が強くなるよう前記スワール発生部に信号を出力し、前記切替部は、切替要求前よりも空気量が増加するよう前記空気調節部に信号を出力すると共に、混合気の空燃比が理論空燃比又は略理論空燃比になるよう、空気量の増加に応じて前記燃料量を増加させる信号を前記燃料噴射部に出力しかつ、前記燃料量の増加に対して前記エンジンのトルクの増加を抑制するトルク調整を行い、前記切替部はまた、前記スワール流が所定強度に到達しかつ、前記空気量が所定量に到達したことを判定したときに、前記燃料量の増加と前記トルク調整とを終了して、前記第2モード部が前記第2モードを開始することを許容する。

30

## 【0019】

この構成によると、第1モード部は、第1空燃比の混合気をSPCCI燃焼させることによって、エンジンを運転する。第2モード部は、第1空燃比よりも大の第2空燃比の混合気をSPCCI燃焼させることによって、エンジンを運転する。

## 【0020】

ここで、第1空燃比は、例えば理論空燃比又は略理論空燃比としてもよい。こうすることで、エンジンの排気通路に取り付けた三元触媒を利用して、排気ガスを浄化することができる。「理論空燃比又は略理論空燃比」は、三元触媒の浄化ウインドウに収まる空燃比と言い替えることができる。第2空燃比は、例えば2.5以上の適宜の空燃比に設定してもよい。こうすることで、混合気の燃焼時にRawNOxの生成が抑制される。

40

## 【0021】

前記切替部は、エンジンのモードを第1モードから第2モードへ切り替える前に、例えば第2モードにおけるSI燃焼の安定性を高めるべく、スワール発生部を介してスワール流を強くする。そして、切替部は、スワール流が所定強度に到達したことを契機として、第2モード部が第2モードを開始することを許容する。これにより、第2モード部が第2モードを開始して、第1モードから第2モードへの切替が完了する。

## 【0022】

50

このように、スワール流の強度を予め高めておくことで、スワール流の強度を過小とすることなく、第2モードを開始させることができる。そのことで、エンジンの熱効率を最大化させることができ、ひいては、エンジンの燃費性能を向上させることが可能となる。

【0023】

前述の如き第1モードと第2モードを使い分けるように構成した場合、モード間の切り替えは、混合気の空燃比の変更を伴うため、燃焼室内に充填する空気量を変更しなければならない。エンジンのモードを第1モードから第2モードへと切り替えるときには、燃焼室内に充填する空気量を増やさなければならないが、空気量が所定量に増えるまでの遅れ期間中に、混合気の空燃比が、理論空燃比（例えば14.7）よりも大でかつ、 $RawNO_x$ の生成を抑制することができる2.5以下となってしまう。混合気の空燃比が理論空燃比以上でかつ、2.5以下になると、混合気の燃焼時に $RawNO_x$ が生成される一方で、空燃比が三元触媒の浄化ウインドウから外れているため、排気ガス中の $NO_x$ を浄化することも難しくなる。

10

【0024】

そこで、本願発明者らは、モードを切り替える際の、空気量が変化している期間中には、混合気の空燃比を理論空燃比又は略理論空燃比にするように、燃料量を増量することにした。

【0025】

しかしながら、燃料量を増量すると、エンジンのトルクが、増量分だけ大きくなってしまふ。そこで、本願発明者らは、燃料量を増量する一方で、エンジンのトルクの増加を抑制するトルク調整を行うことにした。

20

【0026】

すなわち、エンジンのモードを第1モードから第2モードへ切り替える際には、第2空燃比が、第1空燃比よりも大であるため、燃焼室内に充填する空気量を増やさなければならない。切替部は、切替要求前よりも空気量が増加するよう空気調節部に信号を出力する。空気調節部は、例えばスロットル弁の開度を小から大へ変更してもよい。

【0027】

空気量が増加することにより、混合気の空燃比は第1空燃比からずれる。空気量の増加は遅れるため、混合気の空燃比は第2空燃比からもずれる。排気エミッション性能が低下する恐れがあるため、切替部は、増加中の空気量に対して、燃料量を増加させる信号を燃料噴射部に出力する。混合気の空燃比が理論空燃比又は略理論空燃比となるから、三元触媒を利用して排気ガスを浄化することができる。

30

【0028】

切替部はまた、燃料量の増加に対してエンジンのトルクの増加を抑制するトルク調整を行う。こうすることで、エンジンのトルクが、燃料を増量する分だけ高くなってしまふことが抑制される。不要なトルクショックが発生してしまふことを抑制することができる。

【0029】

また、前記スワール発生部は、前記エンジンの吸気通路に取り付けられたスワールコントロール弁を有し、前記制御部は、前記スワールコントロール弁の開度を調節することによって、当該開度が閉じ側にあるときには開き側にあるときに比してスワール流が強くなるよう、前記燃焼室内のスワール流の強さを調節する、としてもよい。

40

【0030】

この構成によれば、スワールコントロール弁の開度調整を通じて、スワール流の強さを調整することができる。

【0031】

また、前記スワール発生部は、スワール比が4以上のスワール流を発生させる、としてもよい。

【0032】

ここで、スワール比は、吸気流横方向角速度を、バルブリフト毎に測定して積分した値を、エンジン角速度で除した値である。吸気横方向角速度は、リグ試験によって測定する

50

ことができる。

【0033】

スワール比を4以上にすると、噴射した燃料を、スワール流に乗せて燃焼室の内部の広い範囲を移動させることができるので、より均質な混合気を形成することができる。したがって、燃焼室の内部の混合気分布をより精度高くコントロールすることが可能になる。

【0034】

また、前記切替部は、前記エンジンのトルクを一定又は略一定のまま、前記第1モードから前記第2モードへ切り替える、としてもよい。

【0035】

第1モードから第2モードへ切り替える間に、エンジンのトルクを一定又は略一定にするため、目標トルクに応じた燃料量は、実質的に一定量となる。

10

【0036】

前記の構成では、切替部が、空気量の増加に応じて燃料量を増加させるため、エンジンのトルクが高くなり得る。しかしながら、切替部が、トルクの増加を抑制するトルク調整を行うことによって、エンジンのトルクを一定又は略一定にすることができる。

【0037】

また、前記切替部は、前記点火部に、点火時期を遅角させる信号を出力することによって、前記エンジンのトルクの増加を抑制する、としてもよい。

【0038】

点火時期を遅角させることによって、S I 燃焼の時期が遅角すると共に、S P C C I 燃焼においてC I 燃焼が開始する時期も遅角する。エンジンのトルクが、効果的に低減する。

20

【0039】

また、前記切替部は、前記スワール流が所定強度に到達したことを判定したときに、前記空気量の増加と前記燃料量の増加と前記トルク調整とを開始すると共に、前記空気量が所定量に到達したことを判定したときに、前記燃料量の増加と前記トルク調整とを終了して、前記第2モード部が前記第2モードを開始することを許容する、としてもよい。

【0040】

この構成によれば、切替部は、スワール流が所定強度に到達したことを契機として、空気量の増加を開始させると共に、空気量が所定量まで到達したことを契機として、第2モード部が第2モードを開始することを許容する。これにより、スワール流の強度調整が完了した状態で、第2モードを開始させることができる。そのことで、エンジンの熱効率を最大化させることができ、ひいては、エンジンの燃費性能を向上させる上で有利になる。

30

【0041】

また、燃焼室内のスワール流を強くすると、S P C C I 燃焼の燃焼安定性が高くなるから、例えばトルク調整として点火時期を遅角させるように構成した場合、スワール流を強くした後に点火時期を遅角させることで、その遅角量を大きくしても、失火等を抑制することができる。スワール流を強くすると、遅角限界を遅角方向に移動させる上で有利になる。

【発明の効果】

【0042】

以上説明したように、前記の圧縮着火式エンジンの制御装置によると、モード切替時に燃費性能を確保することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図1】図1は、エンジンの構成を例示する図である。

【図2】図2は、燃焼室の構成を例示する図であり、上図は燃焼室の平面視相当図、下図はII-II線断面図である。

【図3】図3は、燃焼室及び吸気系の構成を例示する平面図である。

【図4】図4は、エンジンの制御装置の構成を例示するブロック図である。

【図5】図5は、S P C C I 燃焼の波形を例示する図である。

50

【図 6】図 6 は、エンジンのマップを例示する図であり、上図は温間時のマップ、中図は半暖機時のマップ、下図は冷間時のマップである。

【図 7】図 7 は、温間時のマップの詳細を例示する図である。

【図 8】図 8 は、エンジンのマップのレイヤ構造を説明する図である。

【図 9】図 9 は、マップのレイヤ選択に係る制御プロセスを例示するフローチャートである。

【図 10】図 10 は、図 9 とは異なる、マップのレイヤ選択に係る制御プロセスを例示するフローチャートである。

【図 11】図 11 の上図は、大気圧とエンジン水温しきい値との関係を例示する図、図 11 の下図は、大気圧と吸気温度しきい値との関係を例示する図である。

10

【図 12】図 12 は、エンジンの基本制御を例示するフローチャートである。

【図 13】図 13 は、レイヤ 2 とレイヤ 3 との間の切り替えに係る、ECU の機能ブロックの構成例を例示する図である。

【図 14】図 14 は、レイヤ 2 からレイヤ 3 への切り替えに係る制御を例示するフローチャートである。

【図 15】図 15 は、リタード限界トルクの算出手順を説明する図である。

【図 16】図 16 は、リッチ限界トルクの算出手順を説明する図である。

【図 17】図 17 は、レイヤ 3 からレイヤ 2 への切り替えに係る制御を例示するフローチャートである。

【図 18】図 18 は、レイヤ 2 からレイヤ 3 への切り替え時における各パラメータの変化を例示するタイムチャートである。

20

【図 19】図 19 は、レイヤ 2 からレイヤ 3 への切り替え時における各パラメータの変化を例示するタイムチャートである。

【図 20】図 20 は、レイヤ 3 からレイヤ 2 への切り替え時における各パラメータの変化を例示するタイムチャートである。

【図 21】図 21 は、レイヤ 2 とレイヤ 3 との間で、SCV 開度及び EGR 弁開度の大小関係を例示する説明図である。

【図 22】図 22 は、EGR 率の推定手順を例示するフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0044】

30

以下、圧縮着火式エンジンの制御装置に関する実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。以下の説明は、エンジン、及び、エンジンの制御装置の一例である。

【0045】

図 1 は、圧縮着火式のエンジンの構成を例示する図である。図 2 は、エンジンの燃焼室の構成を例示する図である。図 3 は、燃焼室及び吸気系の構成を例示する図である。尚、図 1 における吸気側は紙面左側であり、排気側は紙面右側である。図 2 及び図 3 における吸気側は紙面右側であり、排気側は紙面左側である。図 4 は、エンジンの制御装置の構成を例示するブロック図である。

【0046】

エンジン 1 は、燃焼室 17 が吸気行程、圧縮行程、膨張行程及び排気行程を繰り返すことにより運転する 4 ストロークエンジンである。エンジン 1 は、四輪の自動車に搭載されている。エンジン 1 が運転することによって、自動車は走行する。エンジン 1 の燃料は、この構成例においてはガソリンである。燃料は、少なくともガソリンを含む液体燃料であればよい。燃料は、例えばバイオエタノール等を含むガソリンであってもよい。

40

【0047】

(エンジンの構成)

エンジン 1 は、シリンダブロック 12 と、その上に載置されるシリンダヘッド 13 とを備えている。シリンダブロック 12 の内部に複数のシリンダ 11 が形成されている。図 1 及び図 2 では、一つのシリンダ 11 のみを示す。エンジン 1 は、多気筒エンジンである。

【0048】

50

各シリンダ 1 1 内には、ピストン 3 が摺動自在に内挿されている。ピストン 3 は、コネクティングロッド 1 4 を介してクランクシャフト 1 5 に連結されている。ピストン 3 は、シリンダ 1 1 及びシリンダヘッド 1 3 と共に燃焼室 1 7 を区画する。尚、「燃焼室」は広義で用いる場合がある。つまり、「燃焼室」は、ピストン 3 の位置に関わらず、ピストン 3、シリンダ 1 1 及びシリンダヘッド 1 3 によって形成される空間を意味する場合がある。

【0049】

シリンダヘッド 1 3 の下面、つまり、燃焼室 1 7 の天井面は、図 2 の下図に示すように、傾斜面 1 3 1 1 と、傾斜面 1 3 1 2 とによって構成されている。傾斜面 1 3 1 1 は、吸気側から、後述するインジェクタ 6 の噴射軸心 X 2 に向かって上り勾配となっている。傾斜面 1 3 1 2 は、排気側から噴射軸心 X 2 に向かって上り勾配となっている。燃焼室 1 7 の天井面は、いわゆるペントルーフ形状である。

10

【0050】

ピストン 3 の上面は燃焼室 1 7 の天井面に向かって隆起している。ピストン 3 の上面には、キャビティ 3 1 が形成されている。キャビティ 3 1 は、ピストン 3 の上面から凹陷している。キャビティ 3 1 は、この構成例では、浅皿形状を有している。キャビティ 3 1 の中心は、シリンダ 1 1 の中心軸 X 1 よりも排気側にずれている。

【0051】

エンジン 1 の幾何学的圧縮比は、10 以上 30 以下に設定されている。後述するようにエンジン 1 は、一部の運転領域において、S I 燃焼と C I 燃焼とを組み合わせた S P C C I 燃焼を行う。S P C C I 燃焼は、S I 燃焼による発熱と圧力上昇とを利用して、C I 燃焼をコントロールする。エンジン 1 は、圧縮着火式エンジンである。しかし、このエンジン 1 は、ピストン 3 が圧縮上死点に至った時の燃焼室 1 7 の温度（つまり、圧縮端温度）を高くする必要がない。エンジン 1 は、幾何学的圧縮比を、比較的 low に設定することが可能である。幾何学的圧縮比を低くすると、冷却損失の低減、及び、機械損失の低減に有利になる。エンジン 1 の幾何学的圧縮比は、レギュラー仕様（燃料のオクタン価が 91 程度の低オクタン価燃料）においては、1.4 ~ 1.7 とし、ハイオク仕様（燃料のオクタン価が 96 程度の高オクタン価燃料）においては、1.5 ~ 1.8 としてもよい。

20

【0052】

シリンダヘッド 1 3 には、シリンダ 1 1 毎に、吸気ポート 1 8 が形成されている。吸気ポート 1 8 は、図 3 に示すように、第 1 吸気ポート 1 8 1 及び第 2 吸気ポート 1 8 2 を有している。吸気ポート 1 8 は、燃焼室 1 7 に連通している。吸気ポート 1 8 は、詳細な図示は省略するが、いわゆるタンブルポートである。つまり、吸気ポート 1 8 は、燃焼室 1 7 の中にタンブル流が形成されるような形状を有している。

30

【0053】

吸気ポート 1 8 には、吸気弁 2 1 が配設されている。吸気弁 2 1 は、燃焼室 1 7 と吸気ポート 1 8 との間を開閉する。吸気弁 2 1 は動弁機構によって、所定のタイミングで開閉する。動弁機構は、バルブタイミング及び / 又はバルブリフトを可変にする可変動弁機構とすればよい。この構成例では、図 4 に示すように、可変動弁機構は、吸気電動 S - V T (Sequential-Valve Timing) 2 3 を有している。吸気電動 S - V T 2 3 は、吸気カムシャフトの回転位相を所定の角度範囲内で連続的に変更する。吸気弁 2 1 の開弁タイミング及び閉弁タイミングは、連続的に変化する。尚、吸気動弁機構は、電動 S - V T に代えて、油圧式の S - V T を有していてもよい。

40

【0054】

シリンダヘッド 1 3 にはまた、シリンダ 1 1 毎に、排気ポート 1 9 が形成されている。排気ポート 1 9 も、図 3 に示すように、第 1 排気ポート 1 9 1 及び第 2 排気ポート 1 9 2 を有している。排気ポート 1 9 は、燃焼室 1 7 に連通している。

【0055】

排気ポート 1 9 には、排気弁 2 2 が配設されている。排気弁 2 2 は、燃焼室 1 7 と排気ポート 1 9 との間を開閉する。排気弁 2 2 は動弁機構によって、所定のタイミングで開閉する。この動弁機構は、バルブタイミング及び / 又はバルブリフトを可変にする可変動弁

50

機構とすればよい。この構成例では、図 4 に示すように、可変動弁機構は、排気電動 S - V T 2 4 を有している。排気電動 S - V T 2 4 は、排気カムシャフトの回転位相を所定の角度範囲内で連続的に変更する。排気弁 2 2 の開弁タイミング及び閉弁タイミングは、連続的に変化する。尚、排気動弁機構は、電動 S - V T に代えて、油圧式の S - V T を有していてもよい。

#### 【 0 0 5 6 】

吸気電動 S - V T 2 3 及び排気電動 S - V T 2 4 は、吸気弁 2 1 と排気弁 2 2 との両方が開弁するオーバーラップ期間の長さを調節する。オーバーラップ期間の長さを長くすると、燃焼室 1 7 の中の残留ガスを掃気することができる。また、オーバーラップ期間の長さを調節することによって、内部 E G R ( Exhaust Gas Recirculation ) ガスを燃焼室 1 7 の中に導入することができる。内部 E G R システムは、吸気電動 S - V T 2 3 及び排気電動 S - V T 2 4 によって構成されている。尚、内部 E G R システムは、S - V T によって構成されるとは限らない。

10

#### 【 0 0 5 7 】

シリンダヘッド 1 3 には、シリンダ 1 1 毎に、インジェクタ 6 が取り付けられている。インジェクタ 6 は、燃焼室 1 7 の中に燃料を直接噴射する。インジェクタ 6 は、燃料噴射部の一例である。インジェクタ 6 は、傾斜面 1 3 1 1 と傾斜面 1 3 1 2 とが交差するペントルーフの谷部に配設されている。図 2 に示すように、インジェクタ 6 の噴射軸心 X 2 は、シリンダ 1 1 の中心軸 X 1 よりも排気側に位置している。インジェクタ 6 の噴射軸心 X 2 は、中心軸 X 1 に平行である。インジェクタ 6 の噴射軸心 X 2 とキャビティ 3 1 の中心とは一致している。インジェクタ 6 は、キャビティ 3 1 に対向している。尚、インジェクタ 6 の噴射軸心 X 2 は、シリンダ 1 1 の中心軸 X 1 と一致していてもよい。その構成の場合に、インジェクタ 6 の噴射軸心 X 2 と、キャビティ 3 1 の中心とは一致していてもよい。

20

#### 【 0 0 5 8 】

インジェクタ 6 は、詳細な図示は省略するが、複数の噴口を有する多噴口型の燃料噴射弁によって構成されている。インジェクタ 6 は、図 2 に二点鎖線で示すように、燃料噴霧が、燃焼室 1 7 の中央から放射状に広がるように燃料を噴射する。インジェクタ 6 は、本構成例においては、十個の噴孔を有しており、噴孔は、周方向に等角度に配置されている。

#### 【 0 0 5 9 】

インジェクタ 6 には、燃料供給システム 6 1 が接続されている。燃料供給システム 6 1 は、燃料を貯留するよう構成された燃料タンク 6 3 と、燃料タンク 6 3 とインジェクタ 6 とを互いに連結する燃料供給路 6 2 とを備えている。燃料供給路 6 2 には、燃料ポンプ 6 5 とコモンレール 6 4 とが介設している。燃料ポンプ 6 5 は、コモンレール 6 4 に燃料を圧送する。燃料ポンプ 6 5 は、この構成例においては、クランクシャフト 1 5 によって駆動されるプランジャー式のポンプである。コモンレール 6 4 は、燃料ポンプ 6 5 から圧送された燃料を、高い燃料圧力で蓄える。インジェクタ 6 が開弁すると、コモンレール 6 4 に蓄えられていた燃料が、インジェクタ 6 の噴口から燃焼室 1 7 の中に噴射される。燃料供給システム 6 1 は、3 0 M P a 以上の高い圧力の燃料を、インジェクタ 6 に供給することが可能である。インジェクタ 6 に供給する燃料の圧力は、エンジン 1 の運転状態に応じて変更してもよい。尚、燃料供給システム 6 1 の構成は、前記の構成に限定されない。

30

40

#### 【 0 0 6 0 】

シリンダヘッド 1 3 には、シリンダ 1 1 毎に、点火プラグ 2 5 が取り付けられている。点火プラグ 2 5 は、燃焼室 1 7 の中の混合気に強制的に点火をする。点火プラグ 2 5 は、この構成例では、シリンダ 1 1 の中心軸 X 1 よりも吸気側に配設されている。点火プラグ 2 5 は、2 つの吸気ポート 1 8 の間に位置している。点火プラグ 2 5 は、上方から下方に向かって、燃焼室 1 7 の中央に近づく方向に傾いて、シリンダヘッド 1 3 に取り付けられている。点火プラグ 2 5 の電極は、図 2 に示すように、燃焼室 1 7 の中に臨んでかつ、燃焼室 1 7 の天井面の付近に位置している。尚、点火プラグ 2 5 を、シリンダ 1 1 の中心軸 X 1 よりも排気側に配置してもよい。また、点火プラグ 2 5 をシリンダ 1 1 の中心軸 X 1 上に配置してもよい。

50

## 【 0 0 6 1 】

エンジン 1 の一側面には吸気通路 4 0 が接続されている。吸気通路 4 0 は、各シリンダ 1 1 の吸気ポート 1 8 に連通している。燃焼室 1 7 に導入するガスは、吸気通路 4 0 を流れる。吸気通路 4 0 の上流端部には、エアクリナー 4 1 が配設されている。エアクリナー 4 1 は、新気を濾過する。吸気通路 4 0 の下流端近傍には、サージタンク 4 2 が配設されている。サージタンク 4 2 よりも下流の吸気通路 4 0 は、シリンダ 1 1 毎に分岐する独立通路を構成している。独立通路の下流端が、各シリンダ 1 1 の吸気ポート 1 8 に接続されている。

## 【 0 0 6 2 】

吸気通路 4 0 におけるエアクリナー 4 1 とサージタンク 4 2 との間には、スロットル弁 4 3 が配設されている。スロットル弁 4 3 は、弁の開度を調節することによって、燃焼室 1 7 の中への新気の導入量を調節する。

10

## 【 0 0 6 3 】

吸気通路 4 0 にはまた、スロットル弁 4 3 の下流に、過給機 4 4 が配設されている。過給機 4 4 は、燃焼室 1 7 に導入するガスを過給する。この構成例において、過給機 4 4 は、エンジン 1 によって駆動される機械式の過給機である。機械式の過給機 4 4 は、ルーツ式、リシオルム式、ベーン式、又は遠心式であってもよい。

## 【 0 0 6 4 】

過給機 4 4 とエンジン 1 との間には、電磁クラッチ 4 5 が介設している。電磁クラッチ 4 5 は、過給機 4 4 とエンジン 1 との間で、エンジン 1 から過給機 4 4 へ駆動力を伝達したり、駆動力の伝達を遮断したりする。後述するように、ECU 1 0 が電磁クラッチ 4 5 の遮断及び接続を切り替えることによって、過給機 4 4 はオンとオフとが切り替わる。

20

## 【 0 0 6 5 】

吸気通路 4 0 における過給機 4 4 の下流には、インタークーラー 4 6 が配設されている。インタークーラー 4 6 は、過給機 4 4 において圧縮されたガスを冷却する。インタークーラー 4 6 は、例えば水冷式又は油冷式に構成してもよい。

## 【 0 0 6 6 】

吸気通路 4 0 には、バイパス通路 4 7 が接続されている。バイパス通路 4 7 は、過給機 4 4 及びインタークーラー 4 6 をバイパスするよう、吸気通路 4 0 における過給機 4 4 の上流部とインタークーラー 4 6 の下流部とを互いに接続する。バイパス通路 4 7 には、エアバイパス弁 4 8 が配設されている。エアバイパス弁 4 8 は、バイパス通路 4 7 を流れるガスの流量を調節する。

30

## 【 0 0 6 7 】

ECU 1 0 は、過給機 4 4 をオフにしたとき（つまり、電磁クラッチ 4 5 を遮断したとき）に、エアバイパス弁 4 8 を全開にする。吸気通路 4 0 を流れるガスは、過給機 4 4 をバイパスして、エンジン 1 の燃焼室 1 7 に導入される。エンジン 1 は、非過給、つまり自然吸気の状態 で 運 転 す る 。

## 【 0 0 6 8 】

過給機 4 4 をオンにすると、エンジン 1 は過給状態で運転する。ECU 1 0 は、過給機 4 4 をオンにしたとき（つまり、電磁クラッチ 4 5 を接続したとき）に、エアバイパス弁 4 8 の開度を調節する。過給機 4 4 を通過したガスの一部は、バイパス通路 4 7 を通って過給機 4 4 の上流に逆流する。ECU 1 0 がエアバイパス弁 4 8 の開度を調節すると、燃焼室 1 7 に導入するガスの過給圧が変わる。尚、過給時とは、サージタンク 4 2 内の圧力が大気圧を超える時をいい、非過給時とは、サージタンク 4 2 内の圧力が大気圧以下になる時をいう、と定義してもよい。

40

## 【 0 0 6 9 】

この構成例においては、過給機 4 4 とバイパス通路 4 7 とエアバイパス弁 4 8 とによって、過給システム 4 9 が構成されている。

## 【 0 0 7 0 】

エンジン 1 は、燃焼室 1 7 内にスワール流を発生させるスワール発生部を有している。

50

スワール発生部は、図 3 に示すように、吸気通路 40 に取り付けられたスワールコントロール弁 56 を有している。スワールコントロール弁 56 は、第 1 吸気ポート 181 につながるプライマリ通路 401 と、第 2 吸気ポート 182 につながるセカンダリ通路 402 との内の、セカンダリ通路 402 に配設されている。スワールコントロール弁 56 は、セカンダリ通路 402 の断面を絞ることができる開度調節弁である。スワールコントロール弁 56 の開度が小さい（閉じ側）と、第 1 吸気ポート 181 から燃焼室 17 に流入する吸気流量が相対的に多くかつ、第 2 吸気ポート 182 から燃焼室 17 に流入する吸気流量が相対的に少ないから、燃焼室 17 内のスワール流が強くなる。スワールコントロール弁 56 の開度が大きい（開き側）と、第 1 吸気ポート 181 及び第 2 吸気ポート 182 のそれぞれから燃焼室 17 に流入する吸気流量が、略均等になるから、燃焼室 17 内のスワール流が弱くなる。スワールコントロール弁 56 を全開にすると、スワール流が発生しない。尚、スワール流は、白抜き矢印で示すように、図 3 における反時計回り方向に周回する（図 2 の白抜き矢印も参照）。尚、以下の記載では、スワールコントロール弁 56 の開度を「SCV 開度」ともいう。

10

#### 【0071】

エンジン 1 の他側面には、排気通路 50 が接続されている。排気通路 50 は、各シリンダ 11 の排気ポート 19 に連通している。排気通路 50 は、燃焼室 17 から排出された排気ガスが流れる通路である。排気通路 50 の上流部分は、詳細な図示は省略するが、シリンダ 11 毎に分岐する独立通路を構成している。独立通路の上流端が、各シリンダ 11 の排気ポート 19 に接続されている。

20

#### 【0072】

排気通路 50 には、複数の触媒コンバーターを有する排気ガス浄化システムが配設されている。上流の触媒コンバーターは、図示は省略するが、エンジンルーム内に配設されている。上流の触媒コンバーターは、三元触媒 511 と、GPF (Gasoline Particulate Filter) 512 とを有している。下流の触媒コンバーターは、エンジンルーム外に配設されている。下流の触媒コンバーターは、三元触媒 513 を有している。尚、排気ガス浄化システムは、図例の構成に限定されるものではない。例えば、GPF は省略してもよい。また、触媒コンバーターは、三元触媒を有するものに限定されない。さらに、三元触媒及び GPF の並び順は、適宜変更してもよい。

#### 【0073】

吸気通路 40 と排気通路 50 との間には、外部 EGR システムを構成する EGR 通路 52 が接続されている。EGR 通路 52 は、排気ガスの一部を吸気通路 40 に還流させるための通路である。EGR 通路 52 の上流端は、排気通路 50 における上流の触媒コンバーターと下流の触媒コンバーターとの間に接続されている。EGR 通路 52 の下流端は、吸気通路 40 における過給機 44 の上流部に接続されている。EGR 通路 52 を流れる EGR ガスは、バイパス通路 47 のエアバイパス弁 48 を通らずに、吸気通路 40 における過給機 44 の上流部に入る。

30

#### 【0074】

EGR 通路 52 には、水冷式の EGR クーラー 53 が配設されている。EGR クーラー 53 は、排気ガスを冷却する。EGR 通路 52 にはまた、EGR 弁 54 が配設されている。EGR 弁 54 は、EGR 通路 52 を流れる排気ガスの流量を調節する。EGR 弁 54 の開度を調節することによって、冷却した排気ガス、つまり外部 EGR ガスの還流量を調節することができる。

40

#### 【0075】

この構成例において、EGR システム 55 は、外部 EGR システムと、内部 EGR システムとによって構成されている。外部 EGR システムは、内部 EGR システムよりも低温の排気ガスを、燃焼室 17 に供給することができる。EGR システム 55 は、燃焼室 17 内に EGR ガスを導入するための「EGR 導入部」に相当する。

#### 【0076】

図 1 及び図 4 において、符号 57 は、クランクシャフト 15 に連結されたオルタネータ

50

57である。オルタネータ57は、エンジン1によって駆動される。後述するECU10は、オルタネータ57の負荷を高くすることによって、エンジン1の出力するトルクを調節することができる。

【0077】

圧縮着火式エンジンの制御装置は、エンジン1を運転するためのECU(Engine Control Unit)10を備えている。ECU10は、周知のマイクロコンピュータをベースとするコントローラーであって、図4に示すように、プログラムを実行する中央演算処理装置(Central Processing Unit: CPU)101と、例えばRAM(Random Access Memory)やROM(Read Only Memory)により構成されてプログラム及びデータを格納するメモリ102と、電気信号の入出力をする入出力バス103と、を備えている。ECU10は、制御部の一例である。

10

【0078】

ECU10には、図1及び図4に示すように、各種のセンサSW1~SW17が接続されている。センサSW1~SW17は、信号をECU10に出力する。センサには、以下のセンサが含まれる。

【0079】

エアフローセンサSW1: 吸気通路40におけるエアクリーナー41の下流に配置されかつ、吸気通路40を流れる新気の流量を計測する

第1吸気温度センサSW2: 吸気通路40におけるエアクリーナー41の下流に配置されかつ、吸気通路40を流れる新気の温度を計測する

20

第1圧力センサSW3: 吸気通路40におけるEGR通路52の接続位置よりも下流でかつ、過給機44の上流に配置されかつ、過給機44に流入するガスの圧力を計測する

第2吸気温度センサSW4: 吸気通路40における過給機44の下流でかつ、バイパス通路47の接続位置よりも上流に配置されかつ、過給機44から流出したガスの温度を計測する

第2圧力センサSW5: サージタンク42に取り付けられかつ、過給機44の下流のガスの圧力を計測する

指圧センサSW6: 各シリンダ11に対応してシリンダヘッド13に取り付けられかつ、各燃焼室17内の圧力を計測する

排気温度センサSW7: 排気通路50に配置されかつ、燃焼室17から排出した排気ガスの温度を計測する

30

リニアO<sub>2</sub>センサSW8: 排気通路50における上流の触媒コンバーターよりも上流に配置されかつ、排気ガス中の酸素濃度を計測する

ラムダO<sub>2</sub>センサSW9: 上流の触媒コンバーターにおける三元触媒511の下流に配置されかつ、排気ガス中の酸素濃度を計測する

水温センサSW10: エンジン1に取り付けられかつ、冷却水の温度を計測する

クランク角センサSW11: エンジン1に取り付けられかつ、クランクシャフト15の回転角を計測する

アクセル開度センサSW12: アクセルペダル機構に取り付けられかつ、アクセルペダルの操作量に対応したアクセル開度を計測する

40

吸気カム角センサSW13: エンジン1に取り付けられかつ、吸気カムシャフトの回転角を計測する

排気カム角センサSW14: エンジン1に取り付けられかつ、排気カムシャフトの回転角を計測する

EGR差圧センサSW15: EGR通路52に配置されかつ、EGR弁54の上流及び下流の差圧を計測する

燃圧センサSW16: 燃料供給システム61のコモンレール64に取り付けられかつ、インジェクタ6に供給する燃料の圧力を計測する

第3吸気温度センサSW17: サージタンク42に取り付けられかつ、サージタンク42内のガスの温度、換言すると燃焼室17に導入される吸気の温度を計測する。

50

## 【 0 0 8 0 】

ECU 10 は、これらのセンサ SW 1 ~ SW 17 の信号に基づいて、エンジン 1 の運転状態を判断すると共に、予め定められている制御ロジックに従って、各デバイスの制御量を演算する。制御ロジックは、メモリ 102 に記憶されている。制御ロジックは、メモリ 102 に記憶しているマップを用いて、目標量及びノ又は制御量を演算することを含む。

## 【 0 0 8 1 】

ECU 10 は、演算をした制御量に係る電気信号を、インジェクタ 6、点火プラグ 25、吸気電動 S - VT 23、排気電動 S - VT 24、燃料供給システム 61、スロットル弁 43、EGR 弁 54、過給機 44 の電磁クラッチ 45、エアバイパス弁 48、スワールコントロール弁 56、及び、オルタネータ 57 に出力する。

10

## 【 0 0 8 2 】

例えば、ECU 10 は、アクセル開度センサ SW 12 の信号とマップとに基づいて、エンジン 1 の目標トルクを設定すると共に、目標過給圧を決定する。そして、ECU 10 は、目標過給圧と、第 1 圧力センサ SW 3 及び第 2 圧力センサ SW 5 の信号から得られる過給機 44 の前後差圧とに基づいて、エアバイパス弁 48 の開度を調節するフィードバック制御を行うことにより、過給圧が目標過給圧となるようにする。

## 【 0 0 8 3 】

また、ECU 10 は、エンジン 1 の運転状態とマップとに基づいて目標 EGR 率を設定する。そして、ECU 10 は、目標 EGR 率とアクセル開度センサ SW 12 の信号に基づく吸入空気量とに基づき目標 EGR ガス量を決定すると共に、EGR 差圧センサ SW 15 の信号から得られる EGR 弁 54 の前後差圧に基づいて EGR 弁 54 の開度を調節するフィードバック制御を行うことにより、燃焼室 17 の中に導入する外部 EGR ガス量が目標 EGR ガス量となるようにする。ここで、「EGR 率」とは、燃焼室 17 の中の全ガスに対する EGR ガスの比率（この構成例では、燃焼室 17 の中の全ガスの質量流量に対する EGR ガスの質量流量の比率）を示し、「目標 EGR 率」とは、その目標値を示す。

20

## 【 0 0 8 4 】

なお、EGR 率が大きいときには、燃焼室 17 の中に相対的に多量の外部 EGR ガスが導入されることになり、EGR 率が小さいときには、燃焼室 17 の中に相対的に少量の外部 EGR ガスが導入されることになる。このように EGR 率は、燃焼室 17 の中に導入される外部 EGR ガスの量と正の相関関係にあり、この構成例における「EGR 量」を例示している。EGR 量として EGR 率を用いる代わりに、燃焼室 17 の中に導入される外部 EGR ガスの体積や質量を用いてもよい。

30

## 【 0 0 8 5 】

また、前述のように、EGR 弁 54 の開度調整を通じて、EGR 量としての EGR 率を調整することができる。例えば、EGR 率を低くするときには、EGR 弁 54 の開度を大から小に変更する一方、EGR 率を高くするときには、EGR 弁 54 の開度を小から大に変更すればよい。

## 【 0 0 8 6 】

さらに、ECU 10 は、所定の制御条件が成立しているときに空燃比フィードバック制御を実行する。具体的に ECU 10 は、リニア O<sub>2</sub> センサ SW 8、及び、ラムダ O<sub>2</sub> センサ SW 9 が計測した排気中の酸素濃度に基づいて、混合気空燃比が所望の値となるように、インジェクタ 6 の燃料噴射量を調節する。

40

## 【 0 0 8 7 】

尚、その他の ECU 10 によるエンジン 1 の制御の詳細は、後述する。

## 【 0 0 8 8 】

(SPCCI 燃焼のコンセプト)

エンジン 1 は、燃費の向上及び排出ガス性能の向上を主目的として、所定の運転状態のときに、圧縮自己着火による燃焼を行う。自己着火による燃焼は、圧縮開始前の燃焼室 17 の中の温度がばらつくと、自己着火のタイミングが大きく変化する。そこで、エンジン 1 は、SI 燃焼と CI 燃焼とを組み合わせさせた SPCCI 燃焼を行う。

50

## 【0089】

S P C C I 燃焼は、点火プラグ25が、燃焼室17の中の混合気に強制的に点火をすることによって、混合気が火炎伝播によりS I 燃焼をすると共に、S I 燃焼の発熱により燃焼室17の中の温度が高くなりかつ、火炎伝播により燃焼室17の中の圧力が上昇することによって、未燃混合気が自己着火によるC I 燃焼をする形態である。

## 【0090】

S I 燃焼の発熱量を調節することによって、圧縮開始前の燃焼室17の中の温度のばらつきを吸収することができる。E C U 10が点火タイミングを調節することによって、混合気を目標のタイミングで自己着火させることができる。

## 【0091】

S P C C I 燃焼において、S I 燃焼時の熱発生は、C I 燃焼時の熱発生よりも穏やかである。S P C C I 燃焼における熱発生率の波形は、図5に例示するように、立ち上がりの傾きが、C I 燃焼の波形における立ち上がりの傾きよりも小さくなる。また、燃焼室17の中における圧力変動( $dp/d$ )も、S I 燃焼時は、C I 燃焼時よりも穏やかになる。

## 【0092】

S I 燃焼の開始後、未燃混合気が自己着火すると、自己着火のタイミングで、熱発生率の波形の傾きが、小から大へと変化する場合がある。熱発生率の波形は、C I 燃焼が開始するタイミング  $c_i$  で、変曲点Xを有する場合がある。

## 【0093】

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ため、熱発生率は相対的に大きくなる。しかし、C I 燃焼は、圧縮上死点後に行われるため、熱発生率の波形の傾きが大きくなりすぎることが回避される。C I 燃焼時の圧力変動( $dp/d$ )も、比較的穏やかになる。

## 【0094】

圧力変動( $dp/d$ )は、燃焼騒音を表す指標として用いることができる。前述の通りS P C C I 燃焼は、圧力変動( $dp/d$ )を小さくすることができるため、燃焼騒音が大きくなりすぎること回避することが可能になる。エンジン1の燃焼騒音は、許容レベル以下に抑えられる。

## 【0095】

C I 燃焼が終了することによって、S P C C I 燃焼が終了する。C I 燃焼は、S I 燃焼に比べて、燃焼期間が短い。S P C C I 燃焼は、S I 燃焼よりも、燃焼終了時期が早まる。

## 【0096】

S P C C I 燃焼の熱発生率波形は、S I 燃焼によって形成された第1熱発生率部  $Q_{S I}$  と、C I 燃焼によって形成された第2熱発生部  $Q_{C I}$  と、が、この順番に連続するように形成されている。

## 【0097】

ここで、S P C C I 燃焼の特性を示すパラメータとして、S I 率を定義する。S I 率は、S P C C I 燃焼により発生した全熱量に対し、S I 燃焼により発生した熱量の割合に関係する指標と定義する。S I 率は、燃焼形態の相違する二つの燃焼によって発生する熱量比率である。S I 率が高いと、S I 燃焼の割合が高く、S I 率が低いと、C I 燃焼の割合が高い。S I 率は、C I 燃焼により発生した熱量に対するS I 燃焼により発生した熱量の比率と定義してもよい。つまり、S P C C I 燃焼において、C I 燃焼が開始するクランク角をC I 燃焼開始時期  $c_i$  として、図5に示す波形801において、 $c_i$  よりも進角側であるS I 燃焼の面積  $Q_{S I}$  と、 $c_i$  を含む遅角側であるC I 燃焼の面積  $Q_{C I}$  とから、S I 率 =  $Q_{S I} / Q_{C I}$  としてもよい。

## 【0098】

エンジン1は、S P C C I 燃焼を行うときに、燃焼室17内に強いスワール流を発生させる場合がある。より詳細に、エンジン1は、理論空燃比よりもリーンな混合気をS P C C I 燃焼させるときに、燃焼室17内に強いスワール流を発生させる。強いスワール流とは、例えば4以上のスワール比を有する流れと定義してもよい。スワール比は、吸気流横

10

20

30

40

50

方向角速度をバルブリフト毎に測定して積分した値を、エンジン角速度で除した値と定義することができる。吸気流横方向角速度は、図示を省略するが、公知のリグ試験装置を用いた測定に基づいて、求めることができる。

【0099】

燃焼室17内に強いスワール流を発生させると、燃焼室17の外周部は強いスワール流となる一方、中央部のスワール流は相対的に弱くなる。強いスワール流が形成された燃焼室17内にインジェクタ6が燃料を噴射することにより、燃焼室17の中央部の混合気は燃料が相対的に濃く、外周部の混合気は燃料が相対的に薄くなって、混合気を成層化することができる。

【0100】

なお、スワール流の強度調整は、スワールコントロール弁56の開度調整を通じて実施することができる。例えば、スワール流を強くするときには、スワールコントロール弁56の開度を大から小に変更する一方、スワール流を弱くするときには、スワールコントロール弁56の開度を小から大に変更すればよい。

【0101】

(エンジンの運転領域)

図6及び図7は、エンジン1の制御に係るマップを例示している。マップは、ECU10のメモリ102に記憶されている。マップは、三種類のマップ501、マップ502、マップ503を含んでいる。ECU10は、燃焼室17の壁温(又はエンジン水温)及び吸気温度それぞれの高低、並びに、大気圧に応じて、三種類のマップ501、502、503の中から選択したマップを、エンジン1の制御に用いる。尚、三種類のマップ501、502、503の選択についての詳細は、後述する。

【0102】

第一マップ501は、エンジン1の、いわば温間時のマップである。第二マップ502は、エンジン1の、いわば半暖機時のマップである。第三マップ503は、エンジン1の、いわば冷間時のマップである。

【0103】

各マップ501、502、503は、エンジン1の負荷及び回転数によって規定されている。第一マップ501は、負荷の高低及び回転数の高低に対し、大別して三つの領域に分かれる。具体的に、三つの領域は、アイドル運転を含みかつ、低回転及び中回転の領域に広がる低負荷領域A1、低負荷領域A1よりも負荷が高い中高負荷領域A2、A3、A4、及び、低負荷領域A1、中高負荷領域A2、A3、A4よりも回転数の高い高回転領域A5である。中高負荷領域A2、A3、A4はまた、中負荷領域A2と、中負荷領域A2よりも負荷が高い高負荷中回転領域A3と、高負荷中回転領域A3よりも回転数の低い高負荷低回転領域A4とに分かれる。

【0104】

第二マップ502は、大別して二つの領域に分かれる。具体的に、二つの領域は、低中回転領域B1、B2、B3、及び、低中回転領域B1、B2、B3よりも回転数の高い高回転領域B4である。低中回転領域B1、B2、B3はまた、前記低負荷領域A1及び中負荷領域A2に相当する低中負荷領域B1と、高負荷中回転領域B2と、高負荷低回転領域B3とに分かれる。

【0105】

第三マップ503は、複数の領域に分かれておらず、一つの領域C1のみを有している。

【0106】

ここで、低回転領域、中回転領域、及び、高回転領域はそれぞれ、エンジン1の全運転領域を回転数方向に、低回転領域、中回転領域及び高回転領域の略三等分にしたときの、低回転領域、中回転領域、及び、高回転領域としてもよい。図6の例では、回転数N1未満を低回転、回転数N2以上を高回転、回転数N1以上N2未満を中回転としている。回転数N1は、例えば1200rpm程度、回転数N2は、例えば4000rpm程度としてもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 0 7 】

また、低負荷領域は、軽負荷の運転状態を含む領域、高負荷領域は、全開負荷の運転状態を含む領域、中負荷は、低負荷領域と高負荷領域との間の領域としてもよい。また、低負荷領域、中負荷領域、及び、高負荷領域はそれぞれ、エンジン 1 の全運転領域を負荷方向に、低負荷領域、中負荷領域及び高負荷領域の略三等分にしたときの、低負荷領域、中負荷領域、及び、高負荷領域としてもよい。

## 【 0 1 0 8 】

図 6 のマップ 5 0 1、5 0 2、5 0 3 はそれぞれ、各領域における混合気の状態及び燃焼形態を示している。図 7 のマップ 5 0 4 は、第一マップ 5 0 1 に相当し、当該マップにおける、各領域における混合気の状態及び燃焼形態と、各領域におけるスワールコントロール弁 5 6 の開度と、過給機 4 4 の駆動領域及び非駆動領域と、を示している。エンジン 1 は、低負荷領域 A 1、中負荷領域 A 2、高負荷中回転領域 A 3、及び、高負荷低回転領域 A 4、並びに、低中負荷領域 B 1、高負荷中回転領域 B 2、及び、高負荷低回転領域 B 3 において、S P C C I 燃焼を行う。エンジン 1 はまた、それ以外の領域、具体的には、高回転領域 A 5、高回転領域 B 4、及び、領域 C 1 においては、S I 燃焼を行う。

10

## 【 0 1 0 9 】

(各領域におけるエンジンの運転)

以下、図 7 のマップ 5 0 4 の各領域におけるエンジン 1 の運転について詳細に説明をする。

## 【 0 1 1 0 】

(低負荷領域)

エンジン 1 が低負荷領域 A 1 において運転しているときに、エンジン 1 は、S P C C I 燃焼を行う。

20

## 【 0 1 1 1 】

エンジン 1 の燃費性能を向上させるために、E G R システム 5 5 は、燃焼室 1 7 の中に E G R ガスを導入する。具体的に、吸気電動 S - V T 2 3 及び排気電動 S - V T 2 4 は、排気上死点付近において、吸気弁 2 1 及び排気弁 2 2 の両方を開弁するポジティブオーバーラップ期間を設ける。燃焼室 1 7 から吸気ポート 1 8 及び排気ポート 1 9 に排出した排気ガスの一部は、燃焼室 1 7 の中に再導入される。燃焼室 1 7 の中に熱い排気ガスを導入するため、燃焼室 1 7 の中の温度が高くなる。S P C C I 燃焼の安定化に有利になる。尚、吸気電動 S - V T 2 3 及び排気電動 S - V T 2 4 は、吸気弁 2 1 及び排気弁 2 2 の両方を閉弁するネガティブオーバーラップ期間を設けてもよい。

30

## 【 0 1 1 2 】

また、スワール発生部は、燃焼室 1 7 の中に、強いスワール流を形成する。スワール比は、例えば 4 以上である。スワールコントロール弁 5 6 は、全閉又は閉じ側の所定の開度である。前述したように、吸気ポート 1 8 はタンブルポートであるため、燃焼室 1 7 の中には、タンブル成分とスワール成分とを有する斜めスワール流が形成される。

## 【 0 1 1 3 】

インジェクタ 6 は、吸気行程中に、燃料を複数回、燃焼室 1 7 の中に噴射する。複数回の燃料噴射と、燃焼室 1 7 の中のスワール流とによって、混合気は成層化する。

40

## 【 0 1 1 4 】

燃焼室 1 7 の中央部における混合気の燃料濃度は、外周部の燃料濃度よりも濃い。具体的に、中央部の混合気の A / F は、2 0 以上 3 0 以下であり、外周部の混合気の A / F は、3 5 以上である。尚、空燃比の値は、点火時における空燃比の値であり、以下の説明においても同じである。点火プラグ 2 5 に近い混合気の A / F を 2 0 以上 3 0 以下にすることにより、S I 燃焼時の R a w N O x の発生を抑制することができる。また、外周部の混合気の A / F を 3 5 以上にすることで、C I 燃焼が安定化する。

## 【 0 1 1 5 】

混合気空燃比 ( A / F ) は、燃焼室 1 7 の全体において理論空燃比よりもリーンである (つまり、空気過剰率 > 1 )。より詳細に、燃焼室 1 7 の全体において混合気 A /

50



エンジン 1 の負荷が中負荷であるときに、インジェクタ 6 は、吸気行程中に、複数回の燃料噴射を行う。インジェクタ 6 は、第一噴射を吸気行程の前半に行い、第二噴射を吸気行程の後半に行ってもよい。

【 0 1 2 4 】

また、エンジン 1 の負荷が高負荷であるときに、インジェクタ 6 は、吸気行程において燃料を噴射する。

【 0 1 2 5 】

点火プラグ 2 5 は、燃料の噴射後、圧縮上死点付近の所定のタイミングで混合気に点火をする。エンジン 1 の負荷が中負荷であるときに、点火プラグ 2 5 は、圧縮上死点前に点火を行ってもよい。エンジン 1 の負荷が高負荷であるときに、点火プラグ 2 5 は、圧縮上死点後に点火を行ってもよい。

10

【 0 1 2 6 】

混合気の A / F を理論空燃比にして S P C C I 燃焼を行うことによって、三元触媒 5 1 1、5 1 3 を利用して、燃焼室 1 7 から排出された排出ガスを浄化することができる。また、E G R ガスを燃焼室 1 7 に導入して混合気を希釈化することによって、エンジン 1 の燃費性能が向上する。尚、中高負荷領域 A 2、A 3、A 4 は、後述するレイヤ 2 に対応する。レイヤ 2 は、高負荷領域まで広がっていると共に、最高負荷運転状態を含んでいる。

【 0 1 2 7 】

( 過給機の動作 )

ここで、図 7 のマップ 5 0 4 に示すように、低負荷領域 A 1 の一部、及び、中高負荷領域 A 2 の一部においては、過給機 4 4 はオフである ( S / C O F F 参照 )。詳細には、低負荷領域 A 1 における低回転側の領域においては、過給機 4 4 はオフである。低負荷領域 A 1 における高回転側の領域においては、エンジン 1 の回転数が高くなることに対応して必要な吸気充填量を確保するために、過給機 4 4 はオンである。また、中高負荷領域 A 2 における低負荷低回転側の一部の領域においては、過給機 4 4 はオフである。中高負荷領域 A 2 における高負荷側の領域においては、燃料噴射量が増えることに対応して必要な吸気充填量を確保するために、過給機 4 4 はオンである。また、中高負荷領域 A 2 における高回転側の領域においても過給機 4 4 はオンである。

20

【 0 1 2 8 】

尚、高負荷中回転領域 A 3、高負荷低回転領域 A 4、及び、高回転領域 A 5 の各領域においては、その全域において過給機 4 4 がオンである ( S / C O N 参照 )。

30

【 0 1 2 9 】

( 高回転領域 )

エンジン 1 の回転数が高いと、クランク角が 1 ° 変化するのに要する時間が短くなる。燃焼室 1 7 内において混合気を成層化することが困難になる。エンジン 1 の回転数が高くなると、S P C C I 燃焼を行うことが困難になる。

【 0 1 3 0 】

そこで、エンジン 1 が高回転領域 A 5 において運転しているときに、エンジン 1 は、S P C C I 燃焼ではなく、S I 燃焼を行う。尚、高回転領域 A 5 は、低負荷から高負荷まで負荷方向の全域に広がっている。

40

【 0 1 3 1 】

E G R システム 5 5 は、燃焼室 1 7 の中に E G R ガスを導入する。E G R システム 5 5 は、負荷が高まるに従い E G R ガスの量を減らす。E G R システム 5 5 は、全開負荷では、E G R ガスをゼロにしてもよい。

【 0 1 3 2 】

スワールコントロール弁 5 6 は、全開である。燃焼室 1 7 内にはスワール流が発生せず、タンブル流のみが発生する。スワールコントロール弁 5 6 を全開にすることによって、充填効率を高めることができると共に、ポンプ損失を低減することが可能になる。

【 0 1 3 3 】

混合気の実燃比 ( A / F ) は、基本的には、燃焼室 1 7 の全体において理論空燃比 ( A

50

／F 14.7)である。混合気の空気過剰率は、 $1.0 \pm 0.2$ とすればよい。尚、エンジン1が全開負荷の付近において運転しているときには、混合気の空気過剰率は1未満であってもよい。

【0134】

インジェクタ6は、吸気行程中に燃料噴射を開始する。インジェクタ6は、燃料を一括で噴射する。吸気行程中に燃料噴射を開始することによって、燃焼室17の中に、均質又は略均質な混合気が形成される。また、燃料の気化時間を長く確保することができるため、未燃損失の低減を図ることもできる。

【0135】

点火プラグ25は、燃料の噴射終了後、圧縮上死点前の適宜のタイミングで、混合気に点火を行う。

10

【0136】

(マップのレイヤ構造)

図6に示すエンジン1のマップ501、502、503は、図8に示すように、レイヤ1、レイヤ2及びレイヤ3の三つのレイヤの組み合わせによって構成されている。

【0137】

レイヤ1は、ベースとなるレイヤである。レイヤ1は、エンジン1の運転領域の全体に広がる。レイヤ1は、第三マップ503の全体に相当する。

【0138】

レイヤ2は、レイヤ1の上に重なるレイヤである。レイヤ2は、エンジン1の運転領域の一部に相当する。具体的にレイヤ2は、第二マップ502の低中回転領域B1、B2、B3に相当する。

20

【0139】

レイヤ3は、レイヤ2の上に重なるレイヤである。レイヤ3は、第一マップ501の低負荷領域A1に相当する。

【0140】

レイヤ1、レイヤ2及びレイヤ3は、燃焼室17の壁温(又はエンジン水温)及び吸気の温度それぞれの高低と、大気圧とに応じて選択される。

【0141】

大気圧が所定の大気圧しきい値(例えば95kPa)以上であって、燃焼室17の壁温が第1所定壁温(例えば80)以上でかつ、吸気温が第1所定吸気温(例えば50)以上のときには、レイヤ1とレイヤ2とレイヤ3とが選択され、これらレイヤ1、レイヤ2及びレイヤ3を重ねることにより第一マップ501が構成される。第一マップ501における低負荷領域A1は、そこにおいて最上位のレイヤ3が有効になり、中高負荷領域A2、A3、A4は、そこにおいて最上位のレイヤ2が有効になり、高回転領域A5は、レイヤ1が有効になる。

30

【0142】

燃焼室17の壁温が第1所定壁温未満、第2所定壁温(例えば30)以上でかつ、吸気温が第1所定吸気温未満、第2所定吸気温(例えば25)以上のときには、レイヤ1とレイヤ2とが選択される。これらレイヤ1及びレイヤ2を重ねることにより第二マップ502が構成される。第二マップ502における低中回転領域B1、B2、B3は、そこにおいて最上位のレイヤ2が有効になり、高回転領域B4は、レイヤ1が有効になる。

40

【0143】

燃焼室17の壁温が第2所定壁温未満でかつ、吸気温が第2所定吸気温未満のときには、レイヤ1のみが選択されて、第三マップ503が構成される。

【0144】

尚、燃焼室17の壁温は、例えば、水温センサSW10によって計測されるエンジン1の冷却水の温度によって代用してもよい。また、冷却水の温度や、その他の計測信号に基づいて、燃焼室17の壁温を推定してもよい。また、吸気温は、例えば、サージタンク42内の温度を計測する第3吸気温度センサSW17によって計測することができる。また

50

、各種の計測信号に基づいて、燃焼室 17 の中に導入される吸気温を推定してもよい。

【0145】

前述したように S P C C I 燃焼は、燃焼室 17 内に強いスワール流を発生させて行う。S I 燃焼は、燃焼室 17 の壁に沿って火炎が伝播するため、S I 燃焼の火炎伝播は、壁温の影響を受ける。壁温が低いと、S I 燃焼の火炎が冷やされてしまい、圧縮着火のタイミングが遅れてしまう。

【0146】

S P C C I 燃焼における C I 燃焼は、燃焼室 17 の外周部から中央部において行われるため、燃焼室 17 の中央部の温度の影響を受ける。中央部の温度が低いと、C I 燃焼が不安定になってしまう。燃焼室 17 の中央部の温度は、燃焼室 17 に導入される吸気温度に依存する。つまり、吸気温度が高いときに、燃焼室 17 の中央部の温度は高くなり、吸気温度が低いときに、中央部の温度は低くなる。

10

【0147】

燃焼室 17 の壁温が第 2 所定壁温未満でかつ、吸気温度が第 2 所定吸気温未満のときには、S P C C I 燃焼を安定して行うことができない。そこで、S I 燃焼を実行するレイヤ 1 のみが選択され、E C U 10 は、第三マップ 503 に基づいて、エンジン 1 を運転する。全ての運転領域において、エンジン 1 が S I 燃焼を行うことにより、燃焼安定性を確保することができる。

【0148】

燃焼室 17 の壁温が第 2 所定壁温以上及び吸気温度が第 2 所定吸気温以上のときには、略理論空燃比（つまり、1）の混合気を、安定して S P C C I 燃焼させることができる。そこで、レイヤ 1 に加えて、レイヤ 2 が選択され、E C U 10 は、第二マップ 502 に基づいて、エンジン 1 を運転する。エンジン 1 が、一部の運転領域において S P C C I 燃焼を行うことにより、エンジン 1 の燃費性能が向上する。

20

【0149】

燃焼室 17 の壁温が第 1 所定壁温以上及び吸気温度が第 1 所定吸気温以上のときには、理論空燃比よりもリーンな混合気を、安定して S P C C I 燃焼させることができる。そこで、レイヤ 1 及びレイヤ 2 に加えて、レイヤ 3 が選択され、E C U 10 は、第一マップ 501 に基づいて、エンジン 1 を運転する。エンジン 1 が、一部の運転領域においてリーン混合気を S P C C I 燃焼させることにより、エンジン 1 の燃費性能が、さらに向上する。

30

【0150】

但し、大気圧が低いと、燃焼室 17 に充填する空気量が少なくなる。混合気を、所定の燃料リーンな空燃比にすることが難しくなる。そこで、レイヤ 3 は、大気圧が所定の大気圧しきい値以上のときに選択される。

【0151】

なお、S I 燃焼の安定性は、スワール流が強くなるほど高められるものの、スワール流を過度に強めてしまうと、燃焼室 17 の内壁面を通じた冷却損失も増えることから、このエンジン 1 では、レイヤに応じて、スワール流の強度（具体的には、スワール流の流動の強度）を適切に変更する。

【0152】

例えば、略理論空燃比の混合気を燃焼させるレイヤ 2 は、リーンな混合気を燃焼させるレイヤ 3 に比して、S I 燃焼の安定性に優れることになる。そのため、レイヤ 2 においては、S I 燃焼の安定性が確保される範囲内で、レイヤ 3 に比してスワール流の強度を弱くすることで、冷却損失に伴う熱効率の低下を抑制することができる（図 8 を参照）。

40

【0153】

次に、図 9 のフローチャートを参照しながら、E C U 10 が実行するマップのレイヤ選択に係る制御例について説明をする。まず、スタート後のステップ S 91 において、E C U 10 は、各センサ S W 1 ~ S W 17 の信号を読み込む。E C U 10 は、続くステップ S 92 において、燃焼室 17 の壁温が 30 以上でかつ、吸気温が 25 以上か否かを判断する。ステップ S 92 の判定が Y E S のときには、プロセスはステップ S 93 に進み

50

、NOのときには、プロセスはステップS 9 5に進む。ECU 1 0は、ステップS 9 5においてレイヤ1のみを選択する。ECU 1 0は、第三マップ5 0 3に基づいてエンジン1を運転する。プロセスはその後、リターンする。

【0 1 5 4】

ステップS 9 3において、ECU 1 0は、燃焼室1 7の壁温が8 0 以上でかつ、吸気温が5 0 以上か否かを判断する。ステップS 9 3の判定がYESのときには、プロセスはステップS 9 4に進み、NOのときには、プロセスはステップS 9 6に進む。

【0 1 5 5】

ECU 1 0は、ステップS 9 6においてレイヤ1とレイヤ2とを選択する。ECU 1 0は、第二マップ5 0 2に基づいて、エンジン1を運転する。プロセスはその後、リターンする。

10

【0 1 5 6】

ステップS 9 4において、ECU 1 0は、大気圧が大気圧しきい値以上であるか否かを判断する。ステップS 9 4の判定がYESのときには、プロセスはステップS 9 7に進み、NOのときには、プロセスはステップS 9 6に進む。前述の通りECU 1 0は、ステップS 9 6においてレイヤ1とレイヤ2とを選択する。

【0 1 5 7】

ECU 1 0は、ステップS 9 7においてレイヤ1とレイヤ2とレイヤ3とを選択する。ECU 1 0は、第一マップ5 0 1に基づいて、エンジン1を運転する。プロセスはその後、リターンする。

20

【0 1 5 8】

図1 0は、図9とは異なるレイヤ選択に関するフローチャートを示している。まず、スタート後のステップS 1 0 1において、ECU 1 0は、各センサSW 1 ~ SW 1 7の信号を読み込む。ECU 1 0は、続くステップS 1 0 2において、燃焼室1 7の壁温が3 0 以上でかつ、吸気温が2 5 以上か否かを判断する。ステップS 1 0 2の判定がYESのときには、プロセスはステップS 1 0 3に進み、NOのときには、プロセスはステップS 1 0 5に進む。ECU 1 0は、ステップS 1 0 5においてレイヤ1のみを選択する。プロセスはその後、リターンする。

【0 1 5 9】

ステップS 1 0 3において、ECU 1 0は、エンジン水温が所定のエンジン水温しきい値以上でかつ、吸気温が所定の吸気温しきい値以上であるか否かを判断する。

30

【0 1 6 0】

ここで、エンジン水温しきい値は、図1 1の上図に示すマップ1 1 aに基づいて設定される。マップ1 1 aは、大気圧とエンジン水温しきい値との関係を定めている。大気圧が低いとエンジン水温しきい値が高くなり、大気圧が高いとエンジン水温しきい値が低くなる。大気圧が高いと、燃焼室1 7に充填される空気量が増え、筒内ガスの圧縮により筒内温度が高くなる。エンジン水温が相対的に低くても、リーン混合気をSPCCI燃焼させることが可能になる。そこで、大気圧が高いとエンジン水温しきい値を低くする。

【0 1 6 1】

また、図1 1の下図は、吸気温しきい値を定めるマップ1 1 bを例示している。マップ1 1 bは、マップ1 1 aと同様に、大気圧と吸気温しきい値との関係を定めている。大気圧が低いと吸気温しきい値が高くなり、大気圧が高いと吸気温しきい値が低くなる。前述の通り、大気圧が高いと筒内温度が高くなるから、吸気温が相対的に低くても、リーン混合気をSPCCI燃焼させることが可能になる。そこで、大気圧が高いと吸気温しきい値を低くする。

40

【0 1 6 2】

図1 0のフローチャートに戻り、ステップS 1 0 3の判定がYESのときには、プロセスはステップS 1 0 4に進み、NOのときには、プロセスはステップS 1 0 6に進む。

【0 1 6 3】

ECU 1 0は、ステップS 1 0 6においてレイヤ1とレイヤ2とを選択する。プロセス

50

はその後、リターンする。

【0164】

ECU10は、ステップS104においてレイヤ1とレイヤ2とレイヤ3とを選択する。プロセスはその後、リターンする。

【0165】

(エンジンの基本制御)

図12は、ECU10が実行をするエンジン1の基本制御のフローを示している。ECU10は、メモリ102に記憶している制御ロジックに従いエンジン1を運転する。具体的にECU10は、各センサSW1～SW17の信号に基づいて、エンジン1の運転状態を判断すると共に、目標トルクを設定し、エンジン1が目標トルクを出力するように、燃焼室17の中の状態量の調節、噴射量の調節、噴射タイミングの調節、及び、点火タイミングの調節を行うための演算を行う。

10

【0166】

ECU10はまた、SPCCI燃焼を行うときには、SI率と $c_i$ との二つのパラメータを用いてSPCCI燃焼をコントロールする。具体的にECU10は、エンジン1の運転状態に対応する目標SI率及び目標 $c_i$ を定め、実際のSI率が目標SI率に一致しかつ、実際の $c_i$ が目標 $c_i$ となるように、燃焼室17内の温度の調節と、点火時期の調節とを行う。ECU10は、エンジン1の負荷が低いときには、目標SI率を低く設定し、エンジン1の負荷が高いときには、目標SI率を高く設定する。エンジン1の負荷が低いときには、SPCCI燃焼におけるCI燃焼の割合を高めることによって、燃焼騒音の抑制と燃費性能の向上とが両立する。エンジン1の負荷が高いときには、SPCCI燃焼におけるSI燃焼の割合を高めることによって、燃焼騒音の抑制に有利になる。

20

【0167】

図12のフローのステップS121において、ECU10は、各センサSW1～SW17の信号を読み込み、続くステップS122において、ECU10は、アクセル開度に基づいて目標加速度を設定する。ステップS123において、ECU10は、設定した目標加速度を実現するために必要な目標トルクを設定する。

【0168】

ステップS124において、ECU10はエンジン1の運転状態を判断し、混合気の空燃比が理論空燃比又は略理論空燃比であるか(つまり、空気過剰率 $=1$ )であるか否かを判定する。ECU10は、ステップS124において、エンジン1が、レイヤ1又はレイヤ2において運転するか( $=1$ )、レイヤ3において運転するか( $=1$ )を判断する。 $=1$ であるときには、プロセスは、ステップS125に進み、 $=1$ であるときには、プロセスは、ステップS129に進む。

30

【0169】

ステップS125～ステップS128は、エンジン1がレイヤ1又はレイヤ2において運転するときに、各デバイスの制御目標値を設定するステップに相当する。ステップS125において、ECU10は、設定した目標トルクに基づいて、点火プラグ25の目標点火時期を設定する。続くステップS126において、ECU10は、設定した目標トルクに基づいて、燃焼室17内に充填する目標空気量を設定する。ステップS127において、ECU10は、設定した目標空気量に基づいて、混合気の空燃比が理論空燃比又は略理論空燃比になるよう、燃料の目標噴射量を設定する。そして、ステップS128において、ECU10は、設定した目標空気量に基づいて、スロットル弁43の目標スロットル開度、スワールコントロール弁56の目標SCV開度、EGR弁54の目標EGR弁開度、並びに、吸気電動S-VT23の目標S-VT位相及び排気電動S-VT24の目標S-VT位相を設定する。

40

【0170】

ステップS129～ステップS1212は、エンジン1がレイヤ3において運転するときに、各デバイスの制御目標値を設定するステップに相当する。ステップS129において、ECU10は、設定した目標トルクに基づいて、点火プラグ25の目標点火時期を設

50

定する。続くステップ S 1 2 1 0 において、E C U 1 0 は、設定した目標トルクに基づいて、燃料の目標噴射量を設定する。ステップ S 1 2 1 1 において、E C U 1 0 は、設定した目標噴射量に基づいて、混合気の空燃比が所定のリーン空燃比になるよう、燃焼室 1 7 内に充填する目標空気量を設定する。混合気の空燃比は、前述したように、2.5 ~ 3.1 の間である。そして、ステップ S 1 2 1 2 において、E C U 1 0 は、設定した目標空気量に基づいて、スロットル弁 4 3 の目標スロットル開度、スワールコントロール弁 5 6 の目標 S C V 開度、E G R 弁 5 4 の目標 E G R 弁開度、並びに、吸気電動 S - V T 2 3 の目標 S - V T 位相及び排気電動 S - V T 2 4 の目標 S - V T 位相を設定する。

#### 【 0 1 7 1 】

ステップ S 1 2 1 3 において E C U 1 0 は、ステップ S 1 2 8 又はステップ S 1 2 1 2 において設定した目標値となるように、スロットル弁 4 3 のスロットル開度、スワールコントロール弁 5 6 の S C V 開度、E G R 弁 5 4 の E G R 弁開度、並びに、吸気電動 S - V T 2 3 の S - V T 位相及び排気電動 S - V T 2 4 の S - V T 位相を調節する。

10

#### 【 0 1 7 2 】

ステップ S 1 2 1 4 において、E C U 1 0 は、設定した目標噴射量に従い、インジェクタ 6 に所定のタイミングで燃料を噴射させ、続くステップ S 1 2 1 5 において、E C U 1 0 は、設定した目標点火時期に点火プラグ 2 5 に点火を実行させる。

#### 【 0 1 7 3 】

(レイヤ 2 とレイヤ 3 との間の切り替え)

前述したように、エンジン 1 は、燃焼室 1 7 の壁温 (又はエンジン水温) 及び吸気の温度の高低、並びに、大気圧に応じて、レイヤ 1、レイヤ 2 及びレイヤ 3 の選択を行いながら運転をする。そのため、エンジン 1 の負荷及び回転数が一定であっても、マップが変わることにより、エンジン 1 の運転がレイヤ 2 とレイヤ 3 との間で切り替わる場合がある。また、エンジン 1 が第一マップ 5 0 1 に従って運転をしているときに、エンジン 1 の負荷が高低することに伴い、エンジン 1 の運転が中高負荷領域 A 2 ~ A 4 (つまりレイヤ 2) と低負荷領域 A 1 (つまりレイヤ 3) との間で切り替わる場合がある。

20

#### 【 0 1 7 4 】

ここで、レイヤ 2 は、混合気の空燃比を理論空燃比又は略理論空燃比にし、レイヤ 3 は、混合気の空燃比を理論空燃比よりもリーン空燃比 (つまり、空燃比の値を大) にする。このため、エンジン 1 の運転が、レイヤ 2 からレイヤ 3 へ切り替わるとき、及び、レイヤ 3 からレイヤ 2 へ切り替わるときには、燃焼室 1 7 内に充填する空気量を変更しなければならない。具体的に、エンジン 1 の運転が、レイヤ 2 からレイヤ 3 へ切り替わるとき、E C U 1 0 は、スロットル弁 4 3 の開度を小から大へ変更することによって、燃焼室 1 7 内に充填する空気量を増やす。逆に、エンジン 1 の運転が、レイヤ 3 からレイヤ 2 へ切り替わるとき、E C U 1 0 は、スロットル弁 4 3 の開度を大から小へ変更することによって、燃焼室 1 7 内に充填する空気量を減らす。

30

#### 【 0 1 7 5 】

レイヤ 2 からレイヤ 3 への切り替わり時に燃焼室 1 7 内に充填する空気量が増えるに従って、混合気の空燃比は理論空燃比から、ずれる。一方で、燃焼室 1 7 内に充填する空気量は、瞬時に増減しないため、混合気の空燃比は、R a w N O x の生成が抑制される空燃比 (つまり、レイヤ 3 における混合気の空燃比 (A / F 2.5) よりも低くなる。混合気の空燃比は三元触媒の浄化ウインドウからずれていると共に、R a w N O x の生成も抑制されない。エンジン 1 の運転状態がレイヤ 2 からレイヤ 3 へ切り替わる過渡時に、排気エミッション性能が低下してしまう。

40

#### 【 0 1 7 6 】

同様に、レイヤ 3 からレイヤ 2 へ切り替わり時に、燃焼室 1 7 内に充填する空気量が減るに従って、混合気の空燃比は、R a w N O x の生成が抑制される空燃比 (つまり、レイヤ 3 における混合気の空燃比 (A / F 2.5) ) よりも大になると共に、理論空燃比からずれる。混合気の空燃比は三元触媒の浄化ウインドウからずれると共に、R a w N O x の生成も抑制されないため、エンジン 1 の運転状態がレイヤ 3 からレイヤ 2 へ切り替わる

50

過渡時に、排気エミッション性能が低下してしまう。

【0177】

排気エミッション性能の低下を抑制するために、レイヤ2とレイヤ3との間でエンジン1の運転が切り替わる過渡時には、混合気の空燃比を理論空燃比又は略理論空燃比に維持することが考えられる。しかしながら、実際の空気量に基づいて、混合気の空燃比を理論空燃比又は略理論空燃比に維持しようとする、目標トルクのために要求される燃料量よりも増量しなければならないため、エンジン1のトルクが増大してしまうという不都合がある。

【0178】

そこで、このエンジン1では、燃料量を増量することに対して、エンジン1のトルクの増加を抑制させるトルク調節を行う。これにより、前述の不都合は克服される。

10

【0179】

そして、本願発明者らは、さらに検討を続けた結果、燃費性能に関連した新規の課題を発見するとともに、これを解決するための手段を新たに創作するに至った。

【0180】

前述のように、レイヤ2においては、レイヤ3に比してスワール流の強度を弱くすることで、冷却損失に伴う熱効率の低下を抑制することができる。

【0181】

そのため、エンジン1の運転がレイヤ2からレイヤ3へ切り替わるときには、スワール流を弱スワールから強スワールに強めるべく、ECU10は、スワールコントロール弁56の開度を大から小へ変更する(図21を参照)。

20

【0182】

このように、レイヤ2とレイヤ3との切替に際しては、混合気の空燃比ばかりでなく、燃焼室17内に発生させるスワール流の強度も変更する必要がある。エンジン1の運転をレイヤ2からレイヤ3へと切り替えるときには、燃焼室17内に発生させるスワール流を強くすることになるが、スワール流の強度を強くしている期間中に、レイヤ3での運転を開始してしまうと、スワール流の強度が一時的に過小となる。この場合、SI燃焼における火炎伝播速度が低下した結果、膨張行程の後半においてCI燃焼が発生してしまい、エンジン1の熱効率が最大化しない虞がある。このことは、エンジン1の燃費性能を向上させるためには不都合である。

30

【0183】

エンジン1の運転をレイヤ3からレイヤ2へと切り替えるときにも、同様の問題が生じる。このとき、仮に、スワール流の強度を弱くしている期間中にレイヤ2の運転を開始してしまうと、スワール流の強度が一時的に過大となる可能性がある。その場合、冷却損失が一時的に増大してしまい、燃費性能という観点からは不利となる。

【0184】

そこで、このエンジン1では、スワール流の強度を調節した後に、モード切替を許容することにした。この構成は、前述のトルク調整と組み合わせる実施してもよいし、トルク調整を伴うことなく、単体で実施してもよい。

【0185】

図13は、ECU10の機能ブロックの構成を示している。図13に示す機能ブロックは主に、レイヤ2とレイヤ3との間の切り替えに関係する。機能ブロックは、目標トルク設定部10a、第1モード部10b、第2モード部10c、判定部10d、及び、切替部10eを含んでいる。

40

【0186】

目標トルク設定部10aは、前述の通り、各センサSW1～SW17の信号に基づいて、エンジン1の目標トルクを設定する。

【0187】

第1モード部10bは、目標トルク設定部10aが設定した目標トルクに基づいて、少なくとも、インジェクタ6、点火プラグ25、スロットル弁43、EGR弁54、及びス

50

ワールコントロール弁56に信号を出力し、理論空燃比又は略理論空燃比の混合気をSPCCI燃焼させることによりエンジン1を運転する。つまり、第1モード部10bは、エンジン1をレイヤ2において運転する。

【0188】

第2モード部10cは、目標トルク設定部10aが設定した目標トルクに基づいて、少なくとも、インジェクタ6、点火プラグ25、スロットル弁43、EGR弁54、及びスワールコントロール弁56に信号を出力し、理論空燃比よりもリーンな混合気をSPCCI燃焼させることによりエンジン1を運転する。つまり、第2モード部10cは、エンジン1をレイヤ3において運転する。

【0189】

判定部10dは、レイヤ2とレイヤ3との間でエンジン1の運転状態の切替が必要であることを判定する。判定部10dは、壁温（エンジン水温）、吸気温、大気圧、及び、エンジン1の負荷に基づいて、レイヤ2とレイヤ3との間の切替の要否を判定する。判定部10dは、切替が必要なときには、判定結果を切替部10eに出力する。

【0190】

切替部10eは、判定部10dからの信号を受けて、レイヤ2とレイヤ3との間の切替が必要なときには、切替期間において、少なくともインジェクタ6、点火プラグ25、スロットル弁43、EGR弁54、スワールコントロール弁56、及びオルタネータ57に信号を出力し、エンジン1を運転する。

【0191】

図14は、レイヤ2からレイヤ3への切替に係るフローを示している。先ず、ステップS141において、ECU10は、各センサSW1～SW17の信号を読み込み、続くステップS142において、ECU10は、レイヤ2からレイヤ3への切替が必要であるか否かを判定する。

【0192】

具体的に、ECU10の判定部10dは、壁温（又はエンジン水温）、吸気温、及び、大気圧に基づいて、レイヤ2からレイヤ3への切替が必要であるか、又は、エンジン1の負荷が低くなって、レイヤ2からレイヤ3への切替が必要であるか否かを判定する。判定の結果、レイヤ2からレイヤ3への切替が必要であるときには、判定部10dはレイヤ3切替フラグを1にする。ステップS142においてECU10は、レイヤ3切替フラグが1であるか否かを判定し、フラグが1であるとき（レイヤ2からレイヤ3への切替が必要であるとき）には、プロセスはステップS143に進み、フラグが1ではない（つまり、フラグが0であり、レイヤ2からレイヤ3への切替が必要でない）ときには、プロセスはリターンする。

【0193】

前述のように、レイヤ2からレイヤ3への切替を行うときには、図8及び図21に示すように、混合気空燃比は、理論空燃比又は略理論空燃比から、理論空燃比よりもリーンになり、EGR率は、高EGR率から低EGR率になり、スワール流は、弱スワールから強スワールになる。

【0194】

ステップS143において、ECU10は、EGR弁54の開度を目標開度となるように調節する。具体的にECU10は、EGR弁54の開度を大から、小又はゼロにする。EGR率は、高EGR率から低EGR率へと変化する。また、ECU10は、スワールコントロール弁56の開度（SCV開度）を目標開度（以下、「目標SCV開度」ともいう）となるように調節する。具体的にECU10は、スワールコントロール弁56の開度を大から、小又はゼロにする。スワール流は、弱スワールから強スワールへと変化する。但し、実際のEGR率は、瞬時には減少せず、EGR率が目標EGR率（EGR弁54の目標開度に対応したEGR率）に到達するまでには時間遅れが生じる。

【0195】

続くステップS144において、ECU10は、スワール流が所定強度に到達した否か

10

20

30

40

50

を判定する。具体的に、このステップS 1 4 4において、ECU 1 0は、SCV開度がSCVしきい値に略一致したか否かを判定する。この判定がNOのまま、これ以降のステップに進んでしまうと、スワール流の強度が一時的に過小となり、エンジン1の熱効率が最大化しない可能性がある。

**【0196】**

そこで、ステップS 1 4 4の判定がNOのときには、プロセスは、ステップS 1 4 4に戻る（つまり、判定がYESになるまで、ステップS 1 4 4の判定を繰り返す）。一方、判定がYESのときには、プロセスは、ステップS 1 4 5及びステップS 1 4 8に進む。

**【0197】**

SCVしきい値は、予め設定されており、ECU 1 0のメモリ1 0 2に記憶されている。ECU 1 0は、メモリ1 0 2からSCVしきい値を読み込むことで、ステップS 1 4 4の判定を実行する。

10

**【0198】**

なお、SCVしきい値は、目標SCV開度と一致させてもよいし、目標SCV開度と一致させなくてもよい。後者の場合、SCVしきい値は、目標SCV開度よりも大きな値に設定すればよい。SCVしきい値 目標SCV開度とした場合、SCV開度は、ステップS 1 4 4におけるYESになった以後も、目標SCV開度に到達するまで減少を続けることになる。

**【0199】**

ステップS 1 4 2～S 1 4 4に示すように、レイヤ2からレイヤ3への切り替えを行う前に、例えばレイヤ3におけるSI燃焼の安定性を高めるべく、スワールコントロール弁5 6を介してスワール流の強度を高める。切替部1 0 eは、スワール流が所定強度に到達したことを条件として、プロセスがステップS 1 4 5、S 1 4 8に進むことを許容する。

20

**【0200】**

また、後述するように、レイヤ2からレイヤ3への切り替えを行うときには、スロットル弁4 3の開度を小から大へと変更するが、燃焼室1 7内に充填する空気量の調節を行う前に、燃焼室1 7内に導入するEGRガス量を少なくすることにより、レイヤ2からレイヤ3への切り替え過渡時に、燃焼安定性が高まる。また、燃焼室1 7内に充填する空気量の調節を行う前に、スワール流を強めておくことにより、レイヤ2からレイヤ3への切り替え過渡時に、燃焼安定性が高まる。後述するように点火時期を遅角しても、失火等を抑制することができる。

30

**【0201】**

そして、空気量の調節前に、スワールコントロール弁5 6の開度を大から小へと変更しておくことにより、レイヤ3への切り替えが完了したときには、燃焼室1 7内に強いスワール流が既に、形成されている。これにより、レイヤ3への切り替え後に、リーン混合気のSPCCI燃焼を安定して行うことができる。尚、ECU 1 0は、EGR弁5 4、スワールコントロール弁5 6及びスロットル弁4 3の開度調整を、並列に実行してもよい。

**【0202】**

なお、ECU 1 0は、インテークマニホールドにおけるEGR率を推定するとともに、その推定結果を、燃焼室1 7内に実現されるEGR率と予測してもよい。

40

**【0203】**

図2 2は、EGR率の推定手順を例示するフローチャートである。

**【0204】**

図2 2のステップS 2 2 1において、ECU 1 0は、各センサの信号を読み込む。詳しくは、ステップS 2 2 1において、ECU 1 0は、少なくとも、エアフローセンサSW 1の検出信号と、リニアO<sub>2</sub>センサSW 8の検出信号と、EGR差圧センサSW 1 5の検出信号とを読み込む。

**【0205】**

続くステップS 2 2 2において、ECU 1 0は、EGR差圧センサSW 1 5の検出結果、つまりEGR弁5 4の上流及び下流の差圧と、EGR弁5 4の開度と、に基づいて、E

50

GR弁54を通過するEGRガスの流量を算出する。

【0206】

続くステップS223において、ECU10は、リニアO<sub>2</sub>センサSW8の検出結果、つまり、排気ガス中の酸素濃度に基づいて、排気ガス中のEGRガス濃度 (= 排気ガスのEGR率を算出する。

【0207】

そして、ステップS224において、ECU10は、エアフローセンサSW1の検出結果から得られる新気量と、ステップS222で算出したEGRガスの流量と、ステップS223で算出したEGRガス濃度とに基づいて、インテークマニホールドにおけるEGR率を算出する。ECU10は、そうして算出されたEGR率を、燃焼室17内に実現されるEGR率とみなす。

10

【0208】

図14のフローに戻ると、ステップS145からステップS147までのプロセスと、ステップS148からステップS1418までのプロセスとは、並列に進行する。これらのプロセスは、ECU10の切替部10eが実行する。

【0209】

ステップS145においてECU10は、レイヤ3における目標空気量を設定し、続くステップS146において、ECU10は、設定した目標空気量に基づいて、目標スロットル開度を設定する。そして、ステップS147において、ECU10は、設定した目標スロットル開度となるように、スロットル弁43の開度を調節する。具体的に、レイヤ2からレイヤ3への切替時には、目標空気量は相対的に多くなり、スロットル弁43の開度は小から大へと変化する。但し、燃焼室17内に充填される空気量は、瞬時には多くなり、空気量が目標空気量に到達するまでには時間遅れが生じる。

20

【0210】

ステップS148においてECU10は、燃焼室17内に実際に充填される空気量を読み込み、続くステップS149においてECU10は、読み込んだ実空気量に基づいて、リタード限界トルク、及び、リッチ限界トルクを算出する。

【0211】

リタード限界トルクは、点火時期を可能な限り遅角した状態で、理論空燃比又は略理論空燃比の混合気をSPCCI燃焼することによって得られるエンジン1のトルクを意味する。点火時期を遅角させ過ぎると、SPCCI燃焼におけるCI燃焼が生じなかったり、SI燃焼の安定性が低下したりする。SPCCI燃焼を行うエンジン1は、点火時期の遅角限界を有している。リタード限界トルクは、実空気量に基づき空燃比を理論空燃比にした条件下で、点火時期の遅角化によって低下させることができるエンジン1のトルクの下限に相当する。リタード限界トルクは、ECU10が演算する仮想的なトルクである。

30

【0212】

リッチ限界トルクは、実際の空気量に対して、RawNO<sub>x</sub>が発生しない限度まで燃料を増量して(尚、混合気の空燃比は理論空燃比よりもリーンである)、SPCCI燃焼したときのエンジン1のトルクを意味する。リッチ限界トルクは、実空気量に基づき空燃比を、レイヤ3の設定空燃比よりもRawNO<sub>x</sub>の生成限度までリッチにした条件下で、発生させることができるトルクの上限に相当する。リッチ限界トルクも、ECU10が演算する仮想的なトルクである。

40

【0213】

図15は、リタード限界トルクの算出手順を示すブロック図である。ECU10は、リタード限界時のエンジン1の熱効率から、リタード限界トルクを算出する。リタード限界時のエンジン1の熱効率は、MBT (Minimum Advance for Best Torque) におけるエンジン1の熱効率と、リタード限界のmf b 50位置とから算出する。リタード限界のmf b 50位置は、点火時期を可能な限り遅角したときの燃焼波形において、質量燃焼割合 (Mass Fraction Burnt : mf b) が50%となるクランク角である。

【0214】

50

ECU10は、エンジン回転数と充填効率と予め定めたマップ151とから、リタード限界のmfb50位置を算出する。マップ151は、エンジンの運転状態（回転数、及び、充填効率（つまり、エンジン1の負荷に対応））と、リタード限界のmfb50位置との関係を定めている。エンジン1の回転数が低く負荷が高い（つまり、充填効率が高い）ほど、燃料量が多くて燃焼安定性が高い上に、点火時期を遅角させても、点火から燃焼までの時間が長いから、失火等を抑制することができる。エンジン1の回転数が低く負荷が高いほど、点火時期を大きく遅角することができる。リタード限界のmfb50位置は、エンジン1の回転数が低く負荷が高いほど遅角し、回転数が高く負荷が低い（つまり、充填効率が低い）ほど進角する。

【0215】

なお、ここではマップ151を用いてリタード限界のmfb50位置を決定しているが、LNV（Lowest Normalized Value）を考慮したモデルを用いて、リタード限界のmfb50位置を算出してもよい。

【0216】

ECU10は、リタード限界のmfb50位置と予め定めたマップ152とから、MBTに対する効率を設定する。マップ152は、リタード限界のmfb50位置とMBTに対する効率との関係を定めている。MBTに対する効率は、リタード限界のmfb50位置が進角側の所定クランク角であれば「1」となり、リタード限界のmfb50位置が遅角するほど、ゼロに近づく。

【0217】

マップ152は基準カーブ（実線参照）を定めており、このカーブは、エンジン1の運転状態に応じて補正される。マップ153は、マップ152の基準カーブを補正する効率傾きに係る。マップ153は、エンジン1の回転数と充填効率と効率傾きとの関係を定めている。効率傾きは、エンジン1の回転数が低く負荷が低いほど小さく、回転数が高く負荷が高いほど大きい。

【0218】

実線で示すマップ152の基準カーブは、マップ153に基づいて定めた効率傾きが大いほど、破線で示すよう下に下がり、効率傾きが小さいほど上に上がる。ECU10は、効率傾きによって補正をしたマップ152に基づいて、リタード限界時の、MBTに対する効率を定める（一点鎖線の矢印参照）。

【0219】

ECU10は、MBTに対する効率と予め定めたマップ154とから、リタード限界時の熱効率を定める。マップ154は、エンジン1の回転数と充填効率とMBTでの熱効率との関係を定めている。MBTでの熱効率は、エンジン1の回転数が低く負荷が低いほど低く、回転数が高く負荷が高いほど高い。ECU10は、エンジン1の回転数と充填効率とマップ154とから、エンジン1の運転状態における、MBTでの熱効率を定めると共に、MBTでの熱効率と、マップ152において定めたMBTに対する効率とから、リタード限界時の熱効率を算出する。

【0220】

ECU10は、リタード限界時の熱効率を算出すれば、リタード限界時の熱効率と、1気筒当たりの体積と、混合気の空燃比が理論空燃比又は略理論空燃比になる噴射量における発熱量とに基づいて、当該熱効率に対応するトルク（つまり、リタード限界トルク）を算出する。

【0221】

図16は、リッチ限界トルクの算出手順を示すブロック図である。ECU10は、リッチ限界時のエンジン1の熱効率から、リッチ限界トルクを算出する。リッチ限界時のエンジン1の熱効率は、MBTにおけるエンジン1の熱効率と、リッチ限界のmfb50位置とから算出する。リッチ限界のmfb50位置は、RawNOxの生成が抑制される空燃比の混合気を燃焼したときの波形において、質量燃焼割合が50%となるクランク角を示している。

10

20

30

40

50

## 【 0 2 2 2 】

E C U 1 0 は、エンジン回転数とリッチ限界噴射量と予め定めたマップ 1 6 1 とから、リッチ限界の m f b 5 0 位置を算出する。マップ 1 6 1 は、エンジン回転数と、リッチ限界噴射量と、m f b 5 0 位置との関係を定めている。リッチ限界噴射量は、R a w N O x の生成が抑制される上限の噴射量である。リッチ限界の m f b 5 0 位置は、エンジン 1 の回転数が低く負荷が低いほど遅角し、回転数が高く負荷が高いほど進角する。

## 【 0 2 2 3 】

図 1 6 のマップ 1 6 2、マップ 1 6 3 及びマップ 1 6 4 はそれぞれ、図 1 5 のマップ 1 5 2、マップ 1 5 3 及びマップ 1 5 4 と同じである。

## 【 0 2 2 4 】

E C U 1 0 は、リッチ限界の m f b 5 0 位置と予め定めたマップ 1 6 2 とから、M B T に対する効率を設定する（一点鎖線の矢印参照）。

## 【 0 2 2 5 】

マップ 1 6 2 の基準カーブ（実線）は、マップ 1 6 3 と、エンジン 1 の運転状態とから定まる効率傾きにより補正される。

## 【 0 2 2 6 】

E C U 1 0 は、M B T に対する効率と予め定めたマップ 1 6 4 とから、リッチ限界時の熱効率を定める。マップ 1 6 4 は、エンジン 1 の回転数と充填効率と M B T での熱効率との関係を定めている。

## 【 0 2 2 7 】

リッチ限界時の熱効率を算出すれば、E C U 1 0 は、リッチ限界時の熱効率と、1 気筒当たりの体積と、リッチ限界噴射量における発熱量とに基づいて、当該熱効率に対応するトルク（つまり、リッチ限界トルク）を算出する。

## 【 0 2 2 8 】

図 1 4 のフローに戻り、ステップ S 1 4 1 0 において E C U 1 0 は、算出したリッチ限界トルクが、目標トルクに一致しないか否かを判定する。判定が Y E S のとき、つまり、算出したリッチ限界トルクが目標トルクに一致しないときは、プロセスはステップ S 1 4 1 1 に進む。判定が N O のとき、つまり、算出したリッチ限界トルクが、目標トルクに一致又は略一致するときには、プロセスはステップ S 1 4 1 7 に進む。

## 【 0 2 2 9 】

ステップ S 1 4 1 0 の判定が Y E S のときには、燃焼室 1 7 に充填される空気量が少ないため、R a w N O x が生じない限界まで混合気を燃料リッチにしても、目標トルクを実現することができない。そこで、E C U 1 0 は、N O x の排出を抑制するために、混合気の空燃比を理論空燃比又は略理論空燃比にする。つまり、ステップ S 1 4 1 1 において、E C U 1 0 は、実空気量に基づいて、混合気空燃比が理論空燃比又は略理論空燃比になる目標燃料噴射量を設定する。ここで設定される目標燃料噴射量は、エンジン 1 が目標トルクを出力するために必要な噴射量よりも増量している。

## 【 0 2 3 0 】

続くステップ S 1 4 1 2 において、ステップ S 1 4 1 1 において設定した目標燃料噴射量と目標トルクとに基づいて、目標点火時期を設定する。ここで設定される目標点火時期は、燃料量の増加により高くなるトルク分が減少するよう、遅角される。S P C C I 燃焼において、点火時期を遅角することにより、S I 燃焼の時期が遅角すると共に、C I 燃焼が開始する時期も遅角する。エンジン 1 のトルクを効果的に低減させることができる。

## 【 0 2 3 1 】

ステップ S 1 4 1 3 において E C U 1 0 は、ステップ S 1 4 9 で算出したリタード限界トルクが、目標トルク以下であるか否かを判定する。リタード限界トルクが目標トルク以下であれば、点火時期を遅角させることにより、エンジン 1 のトルクを目標トルクまで低減することができる。ステップ S 1 4 1 3 の判定が Y E S のときには、プロセスはステップ S 1 4 1 4 に進む。ステップ S 1 4 1 4 において E C U 1 0 は、目標噴射量に従って、インジェクタ 6 に燃料を噴射させ、続くステップ S 1 4 1 5 において E C U 1 0 は、設定

10

20

30

40

50

した目標点火時期に従って、点火プラグ 2 5 に点火を実行させる。

【 0 2 3 2 】

一方、ステップ S 1 4 1 3 の判定が NO のとき、つまり、リタード限界トルクが目標トルクを超えるときは、点火時期をリタード限界まで遅角させても、エンジン 1 のトルクが目標トルクを超えてしまう。レイヤ 2 からレイヤ 3 への切り替え時に点火時期を遅角することだけでは、エンジン 1 のトルクの増加を抑制することができず、トルクショックが発生してしまう。

【 0 2 3 3 】

そこで、ステップ S 1 4 1 3 の判定が NO のときに、プロセスはステップ S 1 4 1 6 に進み、ECU 10 は、ステップ S 1 4 1 6 においてオルタネータの負荷を増大する。これにより、エンジン 1 のトルクが低減してトルクショックの発生が抑制される。

10

【 0 2 3 4 】

プロセスは、ステップ S 1 4 1 0 の判定が NO になるまでステップ S 1 4 1 1 からステップ S 1 4 1 6 までを繰り返す。燃焼室 1 7 内に充填される空気量が増えて、算出したリッチ限界トルクが、目標トルクに一致又は略一致するようになれば、ステップ S 1 4 1 0 の判定が NO となって、プロセスはステップ S 1 4 1 7 に進む。

【 0 2 3 5 】

ステップ S 1 4 1 7 において ECU 10 は、レイヤ 3 への移行を行う。具体的には、混合気の空燃比が理論空燃比よりもリーンになるように、ECU 10 は、増量していた噴射量を減らす。噴射量は、目標トルクに対応する噴射量になる。また、ECU 10 は、遅角していた点火時期を進角させる。

20

【 0 2 3 6 】

続くステップ S 1 4 1 8 において ECU 10 は、レイヤ 3 切替フラグを 0 にし、レイヤ 2 からレイヤ 3 への切替が完了する。

【 0 2 3 7 】

前述のように、レイヤ 2 からレイヤ 3 への切り替えを行う前に、スワール流の強度を予め高めておくことで、スワール流の強度を過小とすることなく、レイヤ 3 での運転を開始させることができる。そのことで、エンジン 1 の熱効率を最大化させることができ、ひいては、エンジン 1 の燃費性能を向上させることが可能となる。

【 0 2 3 8 】

また、EGR ガス量が所定量まで減少したことを契機として、空気量の増加を開始させることにより、スワール流の強度調整が完了した状態で、レイヤ 3 での運転を開始させることができる。そのことで、エンジン 1 の熱効率を最大化させることができ、ひいては、エンジン 1 の燃費性能を向上させる上で有利になる。

30

【 0 2 3 9 】

また、燃焼室 1 7 内に発生させるスワール流を強くすると、SPCCI 燃焼の燃焼安定性が高くなるから、スワール流を強くした後に点火時期を遅角させることで、その遅角量を大きくしても、失火等を抑制することができる。スワール流を強くすると、遅角限界を遅角方向に移動させる上で有利になる。

【 0 2 4 0 】

図 1 7 は、レイヤ 3 からレイヤ 2 への切替に係るフローを示している。まず、ステップ S 1 7 1 において、ECU 10 は、各センサ SW 1 ~ SW 1 7 の信号を読み込み、続くステップ S 1 7 2 において、ECU 10 は、レイヤ 3 からレイヤ 2 への切り替えが必要であるか否かを判定する。

40

【 0 2 4 1 】

具体的に、ECU 10 の判定部 1 0 d は、壁温（又はエンジン水温）、吸気温、及び、大気圧に基づいて、レイヤ 3 からレイヤ 2 への切り替えが必要であるか、又は、エンジン 1 の負荷が高くなって、レイヤ 3 からレイヤ 2 への切り替えが必要であるか否かを判定する。判定の結果、レイヤ 3 からレイヤ 2 への切り替えが必要であるときには、判定部 1 0 d はレイヤ 2 切替フラグを 1 にする。ステップ S 1 7 2 において ECU 10 は、レイヤ 2

50

切替フラグが1であるか否かを判定し、フラグが1であるとき（レイヤ3からレイヤ2への切り替えが必要であるとき）には、プロセスはステップS173、S175及びS178に進み、フラグが1ではない（つまり、フラグが0であり、レイヤ3からレイヤ2への切り替えが必要でない）ときには、プロセスはリターンする。

【0242】

レイヤ3からレイヤ2への切り替えを行うときには、図8及び図21に示すように、混合気の空燃比は、理論空燃比よりもリーンな空燃比から、理論空燃比又は略理論空燃比になり、EGR率は、低EGR率から高EGR率になり、スワール流は、強スワールから弱スワールになる。

【0243】

ステップS173及びS174は、EGR弁54及びスワールコントロール弁56の開度調節に係るプロセスであり、ステップS175からステップS177までは、スロットル弁43の開度調節に係るプロセスであり、ステップS178からステップS1720は、レイヤ3からレイヤ2への切り替え判定に係るプロセスである。これらの三つのプロセスは、並列に進行する。これらのプロセスは、切替部10eが実行する。

【0244】

ステップS173において、ECU10は、EGR弁54の開度を目標開度となるように調節する。具体的にECU10は、EGR弁54の開度を小又はゼロから、大にする。EGR率は、低EGR率から高EGR率へと変化する。また、ECU10は、スワールコントロール弁56の開度を目標開度となるように調節する。具体的にECU10は、スワールコントロール弁56の開度を小又はゼロから、大にする。スワール流は、強スワールから弱スワールへと変化する。前述のように、実際のEGR率は、瞬時には増加せず、EGR率が目標EGR率に到達するまでには時間遅れが生じる。

【0245】

尚、レイヤ2は、理論空燃比又は略理論空燃比の混合気をSPCCI燃焼させるため、レイヤ3と比較して燃焼安定性を確保しやすい。そのため、レイヤ2からレイヤ3への切り替え時とは異なり、EGR弁54の開度調節やスワールコントロール弁56の開度調節は、後述するスロットル弁43の開度調節と同時に行うことが許容される。

【0246】

或いは、レイヤ2からレイヤ3への切り替え時と同様に、EGR弁54及び/又はスワールコントロール弁56の開度調節を先に実行し、その後、スロットル弁43の開度調節を実行するようにしてもよい。

【0247】

或いは、レイヤ2からレイヤ3への切り替え時と同様に、スロットル弁43の開度調節を先に実行し、その後、EGR弁54及び/又はスワールコントロール弁56の開度調節を実行するようにしてもよい。この場合、EGR弁54及び/又はスワールコントロール弁56の開度調整と併せて、点火時期の遅角を実行してもよい。

【0248】

この構成例では、スロットル弁43の開度調整を実行した後に、EGR弁54及びスワールコントロール弁56の開度調整を実行する。そして、EGR弁54及びスワールコントロール弁56の開度調整と併せて、点火時期の遅角を実行する。

【0249】

続くステップS174において、ECU10は、スワール流が所定強度まで低下したか否かを判定する。具体的に、このステップS174において、ECU10は、SCV開度がSCVしきい値に略一致したか否かを判定する。この判定がNOのまま、レイヤ2での運転を開始してしまうと、スワール流の強度が一時的に過大となり、冷却損失が一時的に増大する可能生がある。このことは、燃費性能という観点からは不都合である。

【0250】

そこで、ステップS174の判定がNOのときには、プロセスは、ステップS174の判定に戻り、判定がYESのときにはリターンする。つまり、ECU10は、判定がYE

10

20

30

40

50

Sになるまで、ステップS 174を繰り返す。

【0251】

SCVしきい値は、予め設定されており、ECU10のメモリ102に記憶されている。ここでのSCVしきい値は、前述のステップS 144で用いた値とは別に設定されている。ECU10は、メモリ102からSCVしきい値を読み込むことで、ステップS 174の判定を実行する。

【0252】

なお、SCVしきい値は、目標SCV開度と一致させてもよいし、目標SCV開度と一致させなくてもよい。後者の場合、SCVしきい値は、目標SCV開度よりも小さな値に設定すればよい。SCVしきい値 目標SCV開度とした場合、SCV開度は、ステップS 174におけるYESになった以後も、目標SCV開度に到達するまで増加を続けることになる。

10

【0253】

ステップS 172～S 174に示すように、レイヤ3からレイヤ2への切り替えを行う前に、例えば冷却損失が十分に抑制されるように、スワールコントロール弁56を介してスワール流の強度を低下させる。切替部10eは、スワール量の強度が所定強度まで低下したことを条件として、後述のステップS 1719においてレイヤ2に移行することを許容する。

【0254】

ステップS 175においてECU10は、レイヤ2における目標空気量を設定し、続くステップS 176において、ECU10は、設定した目標空気量に基づいて、目標スロットル開度を設定する。そして、ステップS 177において、ECU10は、設定した目標スロットル開度となるように、スロットル弁43の開度を調節する。具体的に、レイヤ3からレイヤ2への切り替え時には、目標空気量は相対的に少なくなり、スロットル弁43の開度は大から小へと変化する。但し、燃焼室17内に充填される空気量は、瞬時には少なくならず、空気量が目標空気量まで減少するには時間遅れが生じる。

20

【0255】

ステップS 178においてECU10は、燃焼室17内に実際に充填される空気量を読み込み、続くステップS 179においてECU10は、読み込んだ実空気量に基づいて、リタード限界トルク、及び、リッチ限界トルクを算出する。リタード限界トルク、及び、リッチ限界トルクの算出は、前記と同じである。

30

【0256】

ステップS 1710においてECU10は、算出したリッチ限界トルクが、目標トルクに一致するか否かを判定する。判定がNOのとき、つまり、算出したリッチ限界トルクが目標トルクに一致しないときは、プロセスはステップS 1711に進む。

【0257】

ステップS 1711においてECU10は、レイヤ3を継続する。燃焼室17内に実際に充填される空気量が減少していることに対し、噴射量を維持する。混合気の空燃比は小さくなる。リッチ限界となるまでレイヤ3を継続することにより、RawNOxの生成を抑制しながら、噴射量の増量及び点火時期の遅角を抑制することができるため、燃費性能の向上に有利になる。

40

【0258】

ステップS 1710の判定がYESのとき、つまり、算出したリッチ限界トルクが、目標トルクに一致又は略一致するときには、燃焼室17に充填される空気量が、それ以上に減少すると、混合気の空燃比が小さくなってRawNOxが生成されてしまう。混合気の空燃比を理論空燃比又は略理論空燃比にするために、プロセスは、ステップS 1712に進む。

【0259】

ステップS 1712においてECU10は、実空気量に基づいて、混合気の空燃比が理論空燃比又は略理論空燃比になる目標燃料噴射量を設定する。ここで設定される目標燃料

50

噴射量は、エンジンが目標トルクを出力するために必要な噴射量よりも増量している。

【0260】

続くステップS1713において、ステップS1712において設定した目標燃料噴射量と目標トルクとに基づいて、目標点火時期を設定する。ここで設定される目標点火時期は、燃料量の増加により高くなるトルク分が減少するよう、遅角される。前述のように、この構成例では、ECU10は、EGR弁54及びスワールコントロール弁56の開度調整と併せて、点火時期の遅角を実行する。EGRガス量の増量と並行して点火時期を遅角させることにより、SI燃焼に際して、過早着火やノッキングといった異常燃焼を回避することが可能となる。

【0261】

ステップS1714においてECU10は、ステップS179で算出したリタード限界トルクが、目標トルク以下であるか否かを判定する。リタード限界トルクが目標トルク以下であれば、点火時期を遅角させることにより、エンジン1のトルクを目標トルクまで低減することができる。ステップS1714の判定がYESのときには、プロセスはステップS1715に進む。ステップS1715においてECU10は、目標噴射量に従って、インジェクタ6に燃料を噴射させ、続くステップS1716においてECU10は、設定した点火時期に従って、点火プラグ25に点火を実行させる。ステップS1714の判定がNOのときには、点火時期を遅角させることだけではエンジン1のトルクを目標トルクまで低減することができない。ステップS1714の判定がNOのときには、プロセスはステップS1717に進む。ステップS1717においてECU10は、オルタネータ57の負荷を高めて、エンジン1のトルクの増加を抑制する。トルクショックの発生を抑制することができる。プロセスは、ステップS1717からステップS1715に進む。

【0262】

ステップS1716の後のステップS1718において、ECU10は、燃焼室17内に充填される空気量が減って、実空気量が目標空気量に到達したか否かを判定する。ステップS1718の判定がNOのときには、プロセスはリターンする。レイヤ3からレイヤ2への切り替え制御を継続する。ステップS1718の判定がYESのときには、プロセスは、ステップS1719に進む。

【0263】

ステップS1719において、ECU10はレイヤ2に移行する。図示は省略したが、ECU10の切替部10eは、ステップS174の判定がYESとなったこと、つまりスワール流の強度が所定強度まで低下したことを条件として、ステップS1719においてレイヤ2に移行することを許容する。

【0264】

ステップS1719において、ECU10は、噴射量の増量を終了すると共に、SCV開度が目標SCV開度に到達するまで点火時期を遅角させる。続くステップS1720においてECU10は、レイヤ2切替フラグを0にし、レイヤ3からレイヤ2への切り替えが完了する。

【0265】

このように、レイヤ3からレイヤ2への切り替えを行う前に、スワール流の強度を予め低下させておくことで、スワール流の強度を過大とすることなく、レイヤ2での運転を開始させることができる。そのことで、SI燃焼の安定性を確保しつつも、スワール流による冷却損失を抑制することができ、ひいては、エンジン1の燃費性能を向上させることが可能となる。

【0266】

次に、図18～図20に示すタイムチャートを参照しながら、レイヤ2とレイヤ3との間の切り替えについて説明をする。これらのタイムチャートは、紙面左から右に時間が進む。また、レイヤ2とレイヤ3との間の切り替えにおいて、エンジン1の目標トルクは変化せずに一定又は略一定であると仮定する。

【0267】

10

20

30

40

50

図18は、レイヤ2からレイヤ3への切り替えを行うときの、各パラメータの変化を例示している。時刻t11においてレイヤ3切替フラグが1に切り替わると(18a参照)、スワールコントロール弁56及びEGR弁54の開度がそれぞれ、大から小へと変わる(18b, 18c参照)。燃烧室17内のスワール流は、弱スワールから強スワールへと変わると共に、インテークマニホールド内のEGR率は、高EGR率から低EGR率へと変わる(18d参照)。

【0268】

時刻t12においてSCV開度が所定のSCVしきい値に到達すると、スロットル弁43の開度が小から大へと変化する(18e参照)。図18に示す例では、SCV開度目標SCV開度に設定されている。前述したように、EGR弁54及びスワールコントロール弁56の開度調節を、スロットル弁43の開度調節よりも先に行うことにより、レイヤ3へ切り替わったときに、リーン混合気のSPCCI燃焼を安定して行うことが可能になる。また、スワール流の強度を予め強めておくことで、レイヤ3への切替に際してスワール流の強度を過小とすることなく適切な値とし、エンジン1の熱効率を最大化させることができる。

【0269】

スロットル弁43の開度が大きくなると、燃烧室17に充填される空気量が次第に増える(18f参照)。空気量が増えることに対応して、燃料の噴射量が増える(18g参照)。これにより、混合気の空燃比は、理論空燃比又は略理論空燃比に維持される。(18i参照)。ここで、燃料の噴射量を、エンジン1の目標トルクに対応した一定の噴射量にしたと仮定すると、そのときの空燃比(つまり、仮想空燃比)は、18iに一点鎖線で示すように、空気量の増加に伴い、次第に大きくなってしまふ。RawNOxが生成されてしまふ。

【0270】

燃料の噴射量を増やしているため、エンジン1のトルクが目標トルクよりも大きくならないう、点火時期を遅角する(18h参照)。点火時期は、空気量及び燃料量が増えることに伴い、遅角量が大きくなる。エンジン1のトルクが低減するように、トルク調節を行うことによって、エンジン1のトルクを一定にすることが可能になる(18j参照)。

【0271】

図18に示す例では、リタード限界トルクは目標トルクよりも低く、点火時期をリタード限界まで遅角させなくても、エンジン1のトルクを、目標トルクとなるまで下げることができる(18hの一点鎖線、及び、18jの一点鎖線参照)。

【0272】

そして、時刻t13において、リッチ限界トルクが目標トルクとなれば、燃料の増量及び点火時期の遅角を終了する。エンジン1は、実質的にレイヤ3において運転するが、空気量は目標空気量まで到達していないため、混合気の空燃比は、レイヤ3において設定されている空燃比よりもリッチである。但し、RawNOxの生成は抑制される。

【0273】

尚、リッチ限界トルクと目標トルクとの比較に代えて、ECU10は、仮想空燃比に基づき、燃料の増量及び点火時期の遅角を終了してもよい。つまり、ECU10は、仮想空燃比が所定のしきい値(リッチ限界のしきい値)に到達したことを判定したときに、燃料の増量及び点火時期の遅角を終了してもよい。

【0274】

RawNOxが生成しない限度で混合気の空燃比を燃料リッチにすることを許容することにより、燃料の増量及び点火時期の遅角を、早期に終了することができる。エンジン1の燃費性能の向上に有利になる。

【0275】

その後、時刻t14において、空気量が目標空気量に到達し、レイヤ3への切り替えが完了する。尚、空気量が目標空気量に到達するまで燃料の増量及び点火時期の遅角を継続し、空気量が目標空気量に到達することにより、燃料の増量及び点火時期の遅角を終了し

10

20

30

40

50

てもよい。

【0276】

図19も、レイヤ2からレイヤ3への切り替えを行うときの、各パラメータの変化を例示している。時刻t21においてレイヤ3切替フラグが1に切り替わると(19a参照)、スワールコントロール弁56及びEGR弁54の開度がそれぞれ、大から小へと変わる(19b, 19c参照)。燃烧室17内のスワール流は、弱スワールから強スワールへと変わると共に、インテークマニホールド内のEGR率は、高EGR率から低EGR率へと変わる(19d参照)。

【0277】

時刻t22においてSCV開度が所定のSCVしきい値に到達すると、スロットル弁43の開度が小から大へと変化する(19e参照)。図19に示す例では、SCVしきい値=目標SCV開度に設定されている。

10

【0278】

スロットル弁43の開度が大きくなると、燃烧室17に充填される空気量が次第に増える(19f参照)。空気量が増えることに対応して、燃料の噴射量が増える(19g参照)。混合気の空燃比は、理論空燃比又は略理論空燃比に維持される。(19i参照)。空気量及び燃料量が増えることに伴い、点火時期は遅角する(19h参照)。エンジン1のトルクは一定になる(19j参照)。

【0279】

時刻t23において、リタード限界トルクは目標トルクを超えてしまう。つまり、点火時期の遅角量が、リタード限界に到達してしまう(19hの一点鎖線参照)。点火時期をこれ以上に遅角させることができないため、ECU10は、点火時期の遅角量を維持することができる。ECU10は、点火時期の遅角を抑制すると共に、オルタネータ57の負荷を高める(19k参照)。エンジン1のトルクが低減し、トルクが一定になる。

20

【0280】

時刻t24において、リッチ限界トルクが目標トルクになれば(又は、仮想空燃比が所定しきい値になれば)、燃料の増量及び点火時期の遅角を終了する。その後、時刻t25において、空気量が目標空気量に到達し、レイヤ3への切り替えが完了する。

【0281】

尚、レイヤ2からレイヤ3への切替時に、空気量が目標空気量に到達するまで(時刻t14又はt25まで)、燃料量の増量と点火時期の遅角とを継続し、空気量が目標空気量に到達したときに、燃料量の増量と点火時期の遅角とを終了してもよい。

30

【0282】

尚、リタード限界トルクが目標トルクに到達したタイミングで燃料の増量と点火時期の遅角とを終了し、レイヤ3へ切り替えてもよい。

【0283】

図20は、レイヤ3からレイヤ2への切り替えを行うときの、各パラメータの変化を例示している。時刻t31においてレイヤ2切替フラグが1に切り替わると(20a参照)、EGR率の変更に先立って、スロットル弁43の開度が小から大へと変化する(20e参照)。レイヤ3からレイヤ2への切り替え期間を短くすることができる。

40

【0284】

スロットル弁43の開度が小さくなると、燃烧室17に充填される空気量が、次第に減る。(20f参照)。燃料の噴射量は、リッチ限界トルクが目標トルクに到達するまで、言い換えると、空燃比が、RawNOxの生成を抑制することが可能なリッチ限界に到達するまで維持される(20g, 20i, 20j参照)。燃料の噴射量の増量を遅らせることによって、燃費性能の向上に有利になる。

【0285】

時刻t32において、リッチ限界トルクが目標トルクに到達すると、混合気空燃比が理論空燃比又は略理論空燃比になるように、燃料の噴射量を増やす(20g, 20i参照)

50

)。三元触媒を利用して、排気ガスの浄化を行うことができる。

【0286】

燃料量が増えることに伴い、点火時期は遅角される(20h参照)。その結果、エンジン1のトルクは一定になる(20j参照)。

【0287】

また、時刻t32において、スワールコントロール弁56及びEGR弁54の開度がそれぞれ、小から大へと変わる(20b, 20c参照)。燃焼室17内のスワール流は、強スワールから弱スワールへと変わると共に、インテークマニホールド内のEGR率は、低EGR率から高EGR率へと変わる(20d参照)。図20に示すように、SCV開度の変更は、点火時期の遅角と略同時に実行される(20b, 20h参照)。レイヤ2への切替に先だって、スワール流の強度を予め低下させておくことで、これを過大とすることなく適切な値とし、エンジン1の燃費性能を向上させることができる。

10

【0288】

時刻t33において、空気量が目標空気量に到達すれば、燃料の増量及び点火時期の遅角が終了し、レイヤ2への切り替えが完了する。

【0289】

尚、レイヤ3からレイヤ2への切替時に、リッチ限界トルクが目標トルクに到達することを待たずに、スロットル弁43の開度調整の開始と共に(時刻t31から)、燃料量の増量と点火時期の遅角とを開始してもよい。この場合、点火時期の遅角と、SCV開度及び/又はEGR率の調整とを同時に行ってもよい。

20

【0290】

(他の実施形態)

尚、ここに開示する技術は、前述した構成のエンジン1に適用することに限定されない。エンジン1の構成は、様々な構成を採用することが可能である。

【符号の説明】

【0291】

1 エンジン

10 ECU(制御部)

10a 目標トルク設定部

10b 第1モード部

10c 第2モード部

10d 判定部

10e 切替部

11 シリンダ

13 シリンダヘッド

17 燃焼室

25 点火プラグ(点火部)

3 ピストン

43 スロットル弁(空気調節部)

56 スワールコントロール弁

6 インジェクタ(燃料噴射部)

SW1 エアフローセンサ(計測部)

SW2 第1吸気温度センサ(計測部)

SW3 第1圧力センサ(計測部)

SW4 第2吸気温度センサ(計測部)

SW5 第2圧力センサ(計測部)

SW6 指圧センサ(計測部)

SW7 排気温度センサ(計測部)

SW8 リニアO<sub>2</sub>センサ(計測部)

SW9 ラムダO<sub>2</sub>センサ(計測部)

30

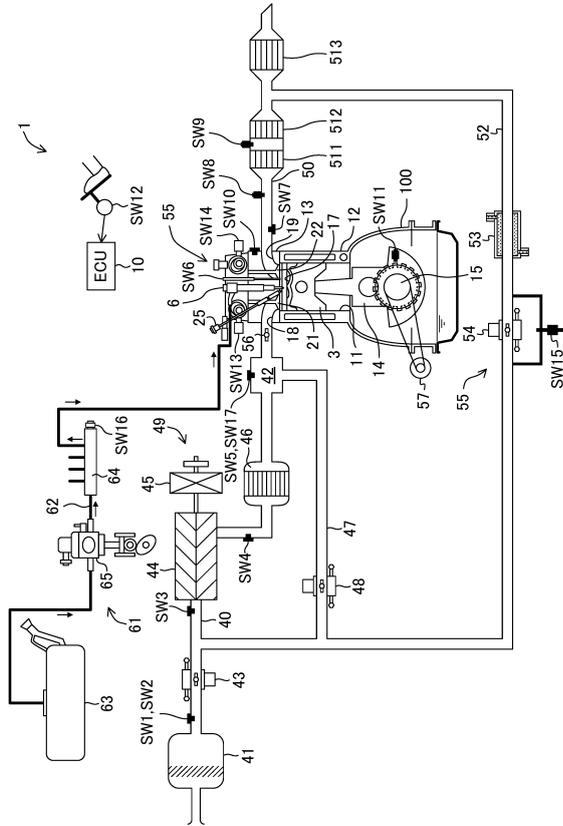
40

50

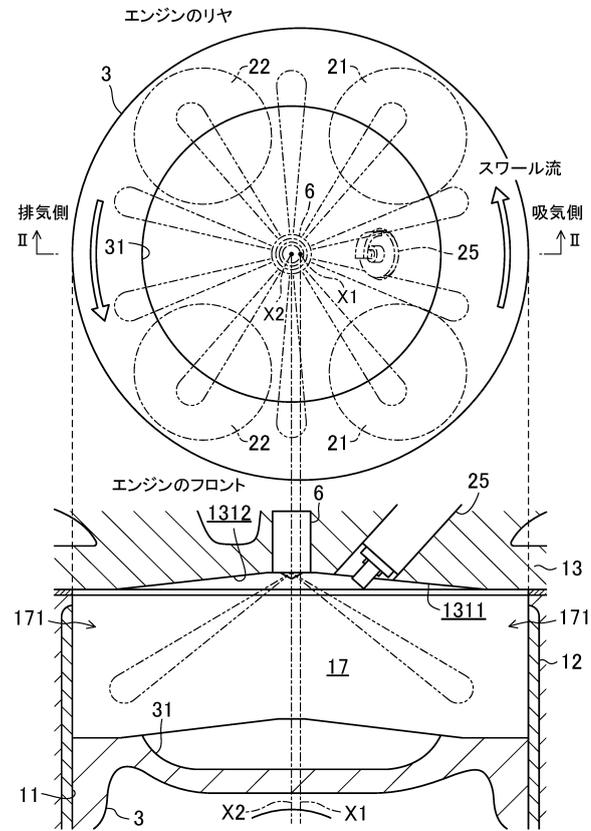
- SW10 水温センサ（計測部）
- SW11 クランク角センサ（計測部）
- SW12 アクセル開度センサ（計測部）
- SW13 吸気カム角センサ（計測部）
- SW14 排気カム角センサ（計測部）
- SW15 EGR差圧センサ（計測部）
- SW16 燃圧センサ（計測部）
- SW17 第3吸気温度センサ（計測部）

【図面】

【図1】



【図2】



10

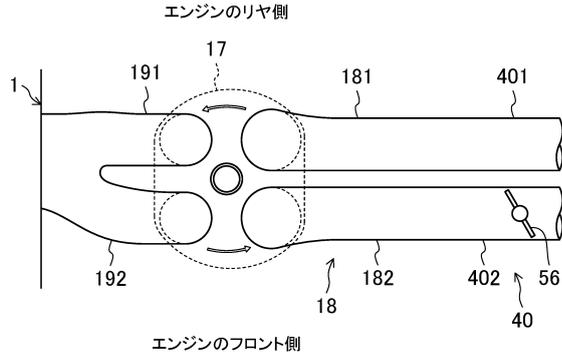
20

30

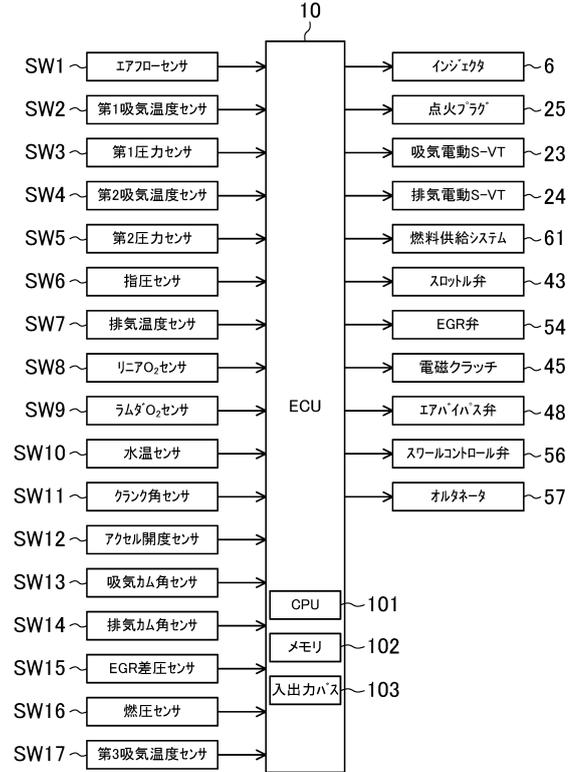
40

50

【図3】



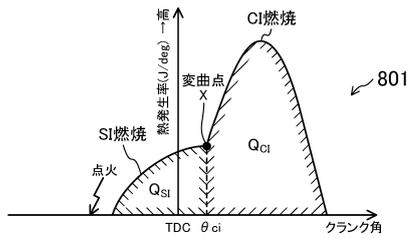
【図4】



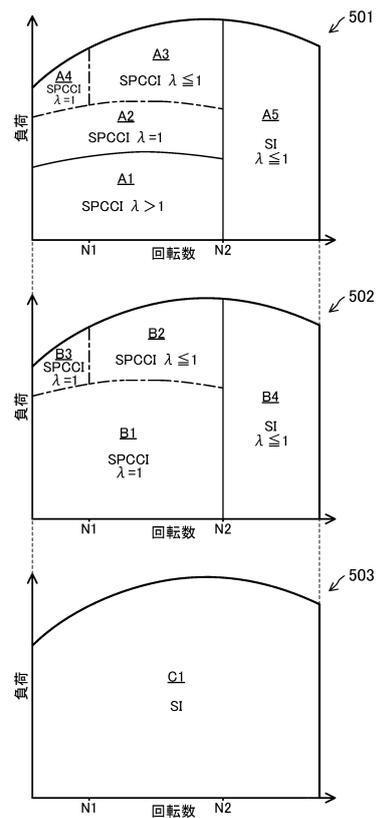
10

20

【図5】



【図6】

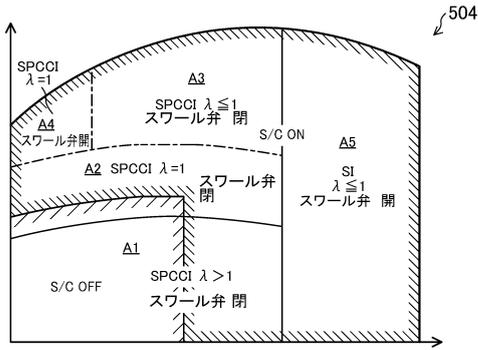


30

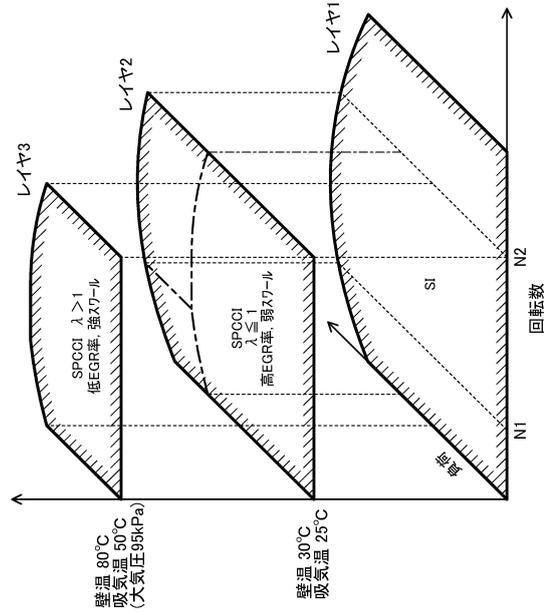
40

50

【図7】



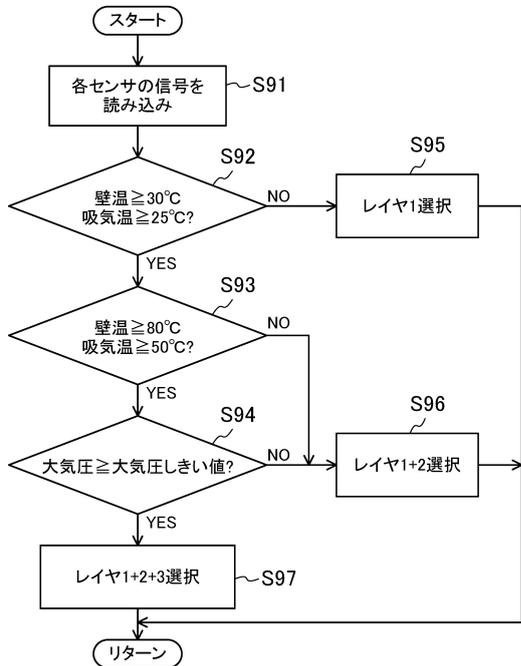
【図8】



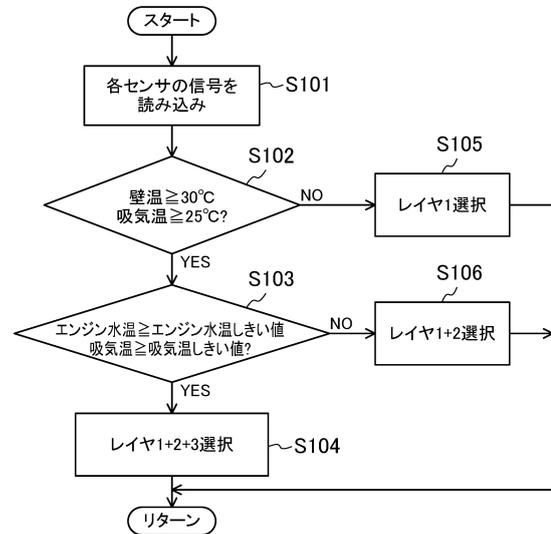
10

20

【図9】



【図10】

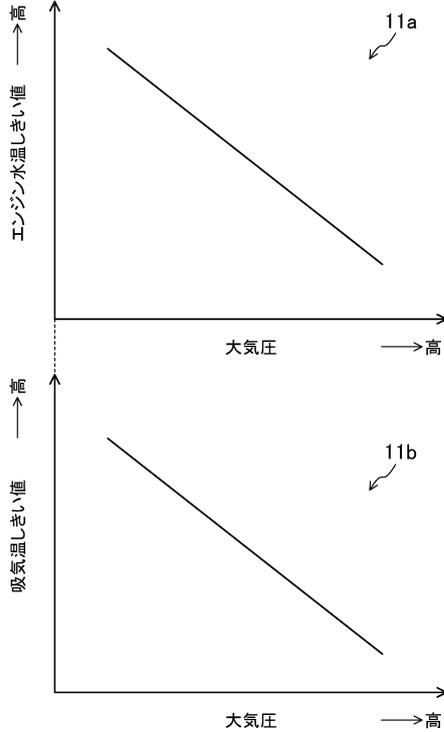


30

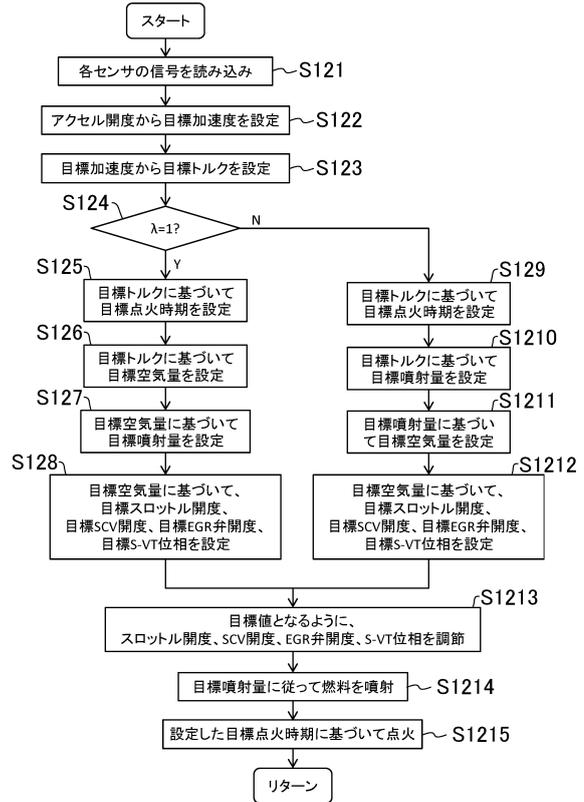
40

50

【図 1 1】



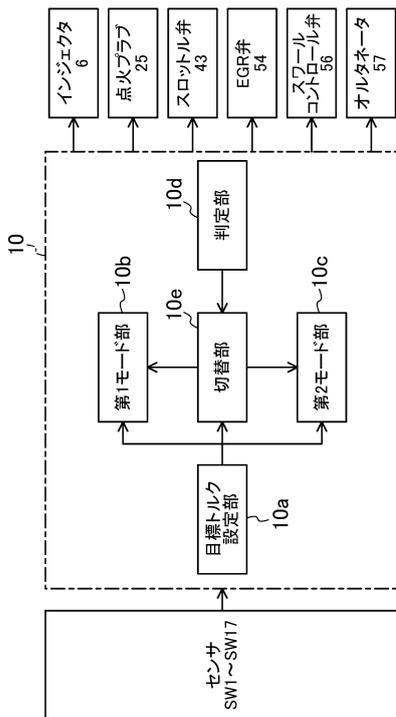
【図 1 2】



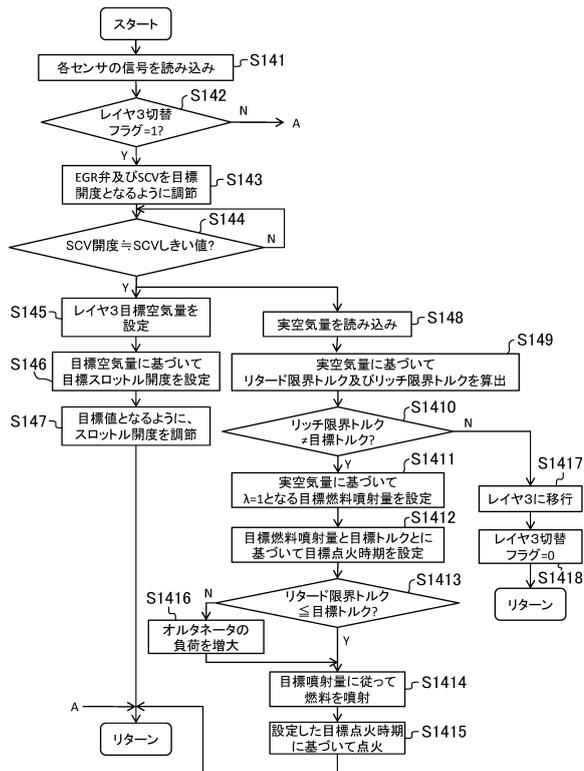
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】



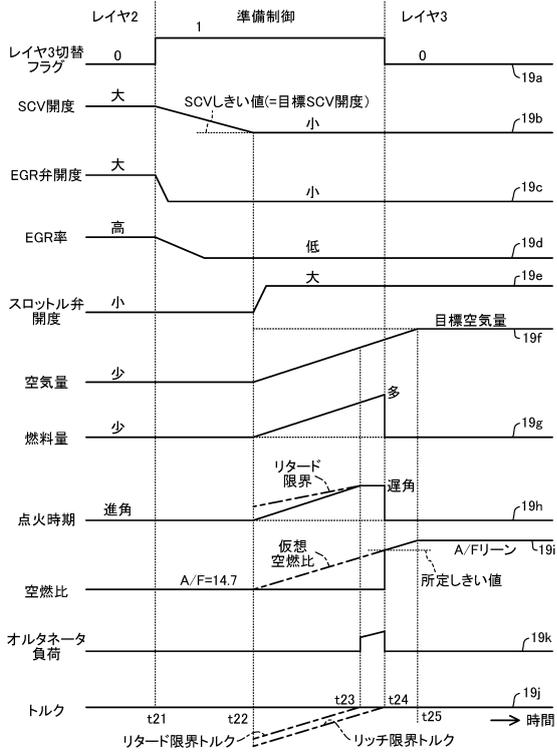
30

40

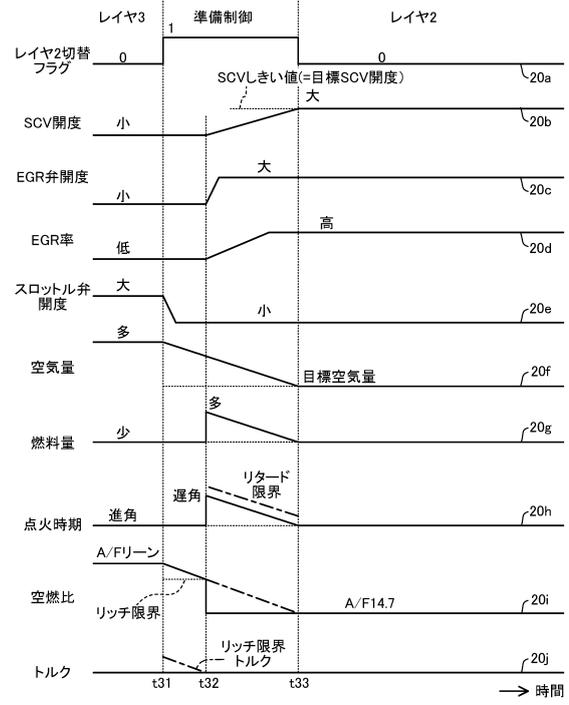
50



【図19】



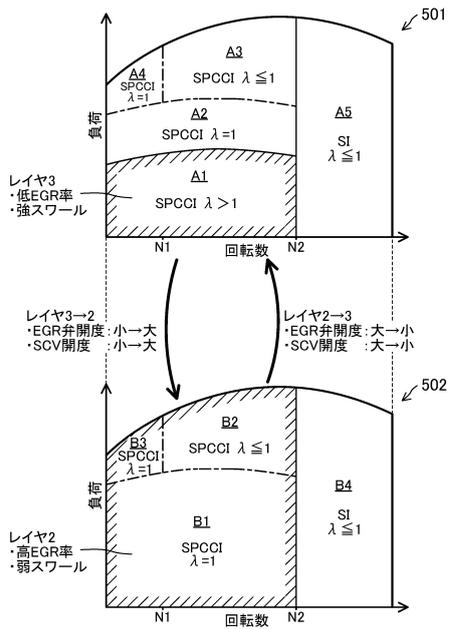
【図20】



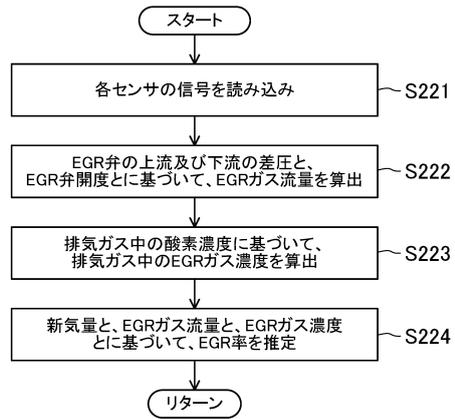
10

20

【図21】



【図22】



30

40

50

## フロントページの続き

(51)国際特許分類		F I		
<i>F 0 2 D</i>	<i>9/02 (2006.01)</i>	<i>F 0 2 D</i>	<i>43/00</i>	<i>3 0 1 K</i>
<i>F 0 2 B</i>	<i>11/00 (2006.01)</i>	<i>F 0 2 D</i>	<i>43/00</i>	<i>3 0 1 U</i>
<i>F 0 2 B</i>	<i>23/10 (2006.01)</i>	<i>F 0 2 D</i>	<i>45/00</i>	<i>3 6 6</i>
		<i>F 0 2 D</i>	<i>9/02</i>	<i>R</i>
		<i>F 0 2 B</i>	<i>11/00</i>	<i>B</i>
		<i>F 0 2 B</i>	<i>23/10</i>	<i>3 1 0 E</i>
		<i>F 0 2 B</i>	<i>23/10</i>	<i>3 2 0</i>

ダ株式会社内

(72)発明者 氏原 健幸  
 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 増田 雄太  
 広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内

審査官 津田 真吾

(56)参考文献 特開2018-087565(JP,A)  
 特開2017-193989(JP,A)  
 特開2016-006305(JP,A)  
 特開平11-173182(JP,A)  
 特開2002-070613(JP,A)  
 特開平11-236836(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
 F 0 2 D 4 1 / 0 0  
 F 0 2 D 4 3 / 0 0  
 F 0 2 D 4 5 / 0 0