

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6493504号
(P6493504)

(45) 発行日 平成31年4月3日(2019.4.3)

(24) 登録日 平成31年3月15日(2019.3.15)

(51) Int. Cl.	F 1				
FO2D 41/02	(2006.01)	FO2D 41/02	351		
FO2D 43/00	(2006.01)	FO2D 41/02	380A		
FO2D 45/00	(2006.01)	FO2D 41/02	385		
FO2B 11/00	(2006.01)	FO2D 43/00	301J		
FO2B 23/10	(2006.01)	FO2D 43/00	301U		
請求項の数 13 (全 54 頁) 最終頁に続く					

(21) 出願番号	特願2017-238652 (P2017-238652)	(73) 特許権者	000003137
(22) 出願日	平成29年12月13日(2017.12.13)		マツダ株式会社
(65) 公開番号	特開2018-193988 (P2018-193988A)		広島県安芸郡府中町新地3番1号
(43) 公開日	平成30年12月6日(2018.12.6)	(74) 代理人	110001427
審査請求日	平成30年2月28日(2018.2.28)		特許業務法人前田特許事務所
(31) 優先権主張番号	特願2017-100355 (P2017-100355)	(72) 発明者	井上 淳
(32) 優先日	平成29年5月19日(2017.5.19)		広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	松本 浩太
			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	河合 佑介
			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】

燃焼室の中において混合気を着火させるよう構成されたエンジンと、
前記エンジンに取り付けられかつ、前記燃焼室の中に燃料を噴射するよう構成されたインジェクタと、

前記燃焼室の中に臨んで配設されかつ、前記燃焼室の中の混合気に点火をするよう構成された点火プラグと、

前記インジェクタ、及び、前記点火プラグのそれぞれに接続されかつ、前記インジェクタ、及び、前記点火プラグのそれぞれに制御信号を出力することによって、前記エンジンを運転するよう構成されたコントローラと、を備え、

前記点火プラグが前記混合気に点火をして燃焼が開始した後に、未燃混合気が自己着火により燃焼し、

前記コントローラは、少なくとも前記点火プラグの周囲に混合気を形成するよう燃料を噴射する後段噴射と、前記後段噴射よりも早い時期に、燃料を噴射する前段噴射と、を行うよう、前記インジェクタに制御信号を出力し、

前記コントローラはさらに、前記前段噴射の噴射量に対する前記後段噴射の噴射量の割合が、高回転時は低回転時よりも高くなるよう、前記インジェクタに制御信号を出力する圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項2】

燃焼室の中において混合気を着火させるよう構成されたエンジンと、

10

20

前記エンジンに取り付けられかつ、前記燃焼室の中に燃料を噴射するよう構成されたインジェクタと、

前記インジェクタに隣接して前記燃焼室の中に臨んで配設されかつ、前記燃焼室の中の混合気に点火をするよう構成された点火プラグと、

前記インジェクタ、及び、前記点火プラグのそれぞれに接続されかつ、前記インジェクタ、及び、前記点火プラグのそれぞれに制御信号を出力することによって、前記エンジンを運転するよう構成されたコントローラーと、を備え、

前記点火プラグが前記混合気に点火をして燃焼が開始した後に、未燃混合気が自己着火により燃焼し、

前記コントローラーは、吸気行程から圧縮行程の前半の期間内において行う前段噴射と、圧縮行程の後半から膨張行程の前半の期間内において行う後段噴射とを行うよう、前記インジェクタに制御信号を出力し、

前記コントローラーはさらに、前記前段噴射の噴射量に対する前記後段噴射の噴射量の割合が、高回転時は、低回転時よりも高くなるよう、前記インジェクタに制御信号を出力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、

前記コントローラーは、前記エンジンの回転数が変化することに応じて、前記後段噴射の噴射量の割合が、所定の変化率で変化するよう、前記インジェクタに制御信号を出力し、

前記コントローラーは、前記エンジンの回転数が高いときの前記変化率を、前記エンジンの回転数が低いときの前記変化率よりも高くする圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記コントローラーは、

前記エンジンの回転数が所定回転数以下のときには、前記後段噴射の噴射量の割合が、前記回転数が変化しても一定になるよう、前記インジェクタに制御信号を出力し、

前記エンジンの回転数が前記所定回転数を超えるときには、前記エンジンの回転数が高くなるに従い前記後段噴射の噴射量の割合が高くなるよう、前記インジェクタに制御信号を出力する圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記コントローラーは、前記エンジンの回転数が、前記所定回転数よりも高い第 2 所定回転数を超えるときには、前記後段噴射の噴射量の割合が所定値になるよう、前記インジェクタに制御信号を出力する圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記エンジンに取り付けられかつ、前記燃焼室の中へ導入する吸気流動を調整するよう構成された吸気流動制御デバイスを備え、

前記コントローラーは、前記エンジンの回転数が、前記第 2 所定回転数を超えるときには、前記吸気流動が強くなるよう、前記吸気流動制御デバイスに制御信号を出力する圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の圧縮着火式エンジンの制御装置において、

前記コントローラーは、前記エンジンの回転数が高くなるほど、前記吸気流動が強くなるよう、前記吸気流動制御デバイスに制御信号を出力する圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 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、

前記コントローラーは、前記エンジンが高回転で運転しているときには、低回転で運転

10

20

30

40

50

しているときよりも前記後段噴射の噴射タイミングが進角するよう、前記インジェクタに制御信号を出力する圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 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、
前記燃焼室の一部を形成するピストンは、前記ピストンの上面から凹陷すると共に、前記インジェクタに向かい合うキャビティを有し、
前記前段噴射は、圧縮行程中において、前記キャビティの外のスキッシュエリア内に前記燃料を噴射し、前記後段噴射は、前記キャビティの内に前記燃料を噴射する圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 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、
前記コントローラーは、前記燃焼室の中の混合気が燃焼するときに発生する全熱量に対し、点火された混合気が火炎伝播により燃焼するときに発生する熱量の割合に関係する指標としての S I 率を、100%未満にすると共に、前記エンジンの回転数が高いときに、前記 S I 率を、回転数が低いときよりも高くする圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の圧縮着火式エンジンの制御装置において、
前記燃焼室の中の圧力を検知する指圧センサを備え、
前記コントローラーは、前記エンジンの運転状態に基づいて目標の S I 率を設定すると共に、前記指圧センサの検知信号を受けかつ、混合気の燃焼に伴う圧力波形に基づいて、前記 S I 率を算出しかつ、算出した前記 S I 率と前記目標の S I 率とがずれているとき、前記 S I 率が前記目標の S I 率に近づくように、前記 S I 率を調整する圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 12】

請求項 1 ~ 11 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、
前記燃焼室の中にスワール流を発生させるスワール発生部を備え、
前記コントローラーは、前記エンジンの回転数の高低に関わらず、前記燃焼室の中にスワール流を発生させるよう、前記スワール発生部に制御信号を出力する圧縮着火式エンジンの制御装置。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の圧縮着火式エンジンの制御装置において、
前記コントローラーは、前記点火プラグが前記混合気に点火をして燃焼が開始した後に、未燃混合気が自己着火により燃焼する運転領域の少なくとも最高回転数域において、前記後段噴射の噴射量の割合が高回転時は低回転時よりも高くなるように、前記インジェクタに制御信号を出力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】

特許文献 1 には、低負荷低回転の所定領域において、燃焼室内の混合気を自己着火により燃焼させるエンジンが記載されている。このエンジンは、前記低負荷低回転の領域よりも負荷の高い領域、及び、前記低負荷低回転の領域よりも回転数の高い領域においては、火花点火により混合気を燃焼させる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特許第 4082292 号公報

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、圧縮着火による燃焼は、比較的大きな燃焼騒音を発する。エンジンの回転数が高いときに、エンジンのNVH (Noise Vibration Harshness) が許容値を超えてしまう。

【0005】

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、圧縮着火式エンジンにおいてNVHを許容値以下に抑えながら、圧縮着火による燃焼を行うことにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本願発明者らは、SI (Spark Ignition) 燃焼とCI (Compression Ignition) 燃焼 (又は自己着火 (Auto Ignition) 燃焼) とを組み合わせる燃焼形態を考えた。SI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。CI燃焼は、燃焼室の中の混合気が圧縮着火することにより開始する燃焼である。SI燃焼とCI燃焼とを組み合わせた燃焼形態は、点火プラグが、燃焼室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燃焼すると共に、SI燃焼の発熱によって、燃焼室の中の温度が高くなることにより、未燃混合気が自己着火により燃焼する形態である。

【0007】

自己着火による燃焼においては、圧縮開始前の燃焼室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。例えば自己着火のタイミングが早くなると、燃焼騒音が大きくなってしまふという問題がある。

【0008】

SPCCI燃焼において、SI燃焼の発熱量を調整することによって、圧縮開始前の燃焼室の中の温度のばらつきを吸収することができる。圧縮開始前の燃焼室の中の温度に応じて、例えば点火タイミングの調整によってSI燃焼の開始タイミングを調整すれば、未燃混合気を、目標時期において自己着火させることができる。SI燃焼がCI燃焼をコントロールするため、SI燃焼とCI燃焼とを組み合わせた燃焼形態を、以下においては、SPCCI (SPark Controlled Compression Ignition) 燃焼と呼ぶ。

【0009】

火炎伝播による燃焼は、圧力変動が相対的に小さいため、燃焼騒音の発生を抑制することが可能になる。また、CI燃焼を行うことにより、火炎伝播による燃焼よりも、燃焼期間が短縮し、燃費の向上に有利になる。従って、SI燃焼とCI燃焼とを組み合わせた燃焼形態は、燃焼騒音の発生を抑制しながら、燃費を向上させることができる。

【0010】

エンジンの回転数が高いときにSPCCI燃焼を行うようにすれば、NVHを許容値以下に抑えながら、CI燃焼を行うことができる。

【0011】

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。この圧縮着火式エンジンの制御装置は、燃焼室の中において混合気を着火させるよう構成されたエンジンと、前記エンジンに取り付けられかつ、前記燃焼室の中に燃料を噴射するよう構成されたインジェクタと、前記燃焼室の中に臨んで配設されかつ、前記燃焼室の中の混合気に点火をするよう構成された点火プラグと、前記インジェクタ、及び、前記点火プラグのそれぞれに接続されかつ、前記インジェクタ、及び、前記点火プラグのそれぞれに制御信号を出力することによって、前記エンジンを運転するよう構成されたコントローラと、を備える。

【0012】

そして、前記点火プラグが前記混合気に点火をして燃焼が開始した後に、未燃混合気が自己着火により燃焼し、前記コントローラは、少なくとも前記点火プラグの周囲に混合

10

20

30

40

50

気を形成するよう燃料を噴射する後段噴射と、前記後段噴射よりも早い時期に、燃料を噴射する前段噴射と、を行うよう、前記インジェクタに制御信号を出力し、前記コントローラーはさらに、前記前段噴射の噴射量に対する前記後段噴射の噴射量の割合が、高回転時は低回転時よりも高くなるよう、前記インジェクタに制御信号を出力する。

【0013】

尚、ここでいう「燃焼室」は、ピストンが圧縮上死点に至ったときの空間の意味に限定されない。「燃焼室」の語は広義で用いる。

【0014】

この構成によると、インジェクタは、コントローラーからの制御信号を受けて、前段噴射と後段噴射とを行う。後段噴射は、少なくとも点火プラグの周囲に、混合気を形成する。前段噴射は、後段噴射により形成される混合気の周囲に混合気を形成する。

10

【0015】

点火プラグは、コントローラーの制御信号を受けて、燃焼室の中の混合気、より詳細には、点火プラグの周囲の混合気に強制的に点火する。点火プラグの周囲の混合気は火炎伝播により燃焼する。火炎伝播による燃焼の開始後、燃焼室の中の未燃混合気が自己着火により燃焼することによって燃焼が完了する。燃焼室の中において、SPCCI燃焼が行われる。SPCCI燃焼は、前述したように、燃焼騒音の抑制と燃費の向上との両方が実現する。

【0016】

エンジンの回転数が高い時に、コントローラーは、後段噴射の噴射量を、低回転時よりも増やす。後段噴射の噴射量を増やすと、点火プラグの周囲に形成される混合気の濃度が高くなるから、SPCCI燃焼におけるSI燃焼が急速になる。その結果、未燃混合気自己着火するまでの間に、SI燃焼を十分に行うことができ、SPCCI燃焼におけるCI燃焼が減る。これによって、SPCCI燃焼により発生する燃焼騒音を抑制することができるから、エンジンの回転数が高い時に、NVHを許容値以下に抑えることができる。

20

【0017】

ここに開示する圧縮着火式エンジンの制御装置はまた、燃焼室の中において混合気を着火させるよう構成されたエンジンと、前記エンジンに取り付けられかつ、前記燃焼室の中に燃料を噴射するよう構成されたインジェクタと、前記インジェクタに隣接して前記燃焼室の中に臨んで配設されかつ、前記燃焼室の中の混合気に点火をするよう構成された点火プラグと、前記インジェクタ、及び、前記点火プラグのそれぞれに接続されかつ、前記インジェクタ、及び、前記点火プラグのそれぞれに制御信号を出力することによって、前記エンジンを運転するよう構成されたコントローラーと、を備える。

30

【0018】

そして、前記点火プラグが前記混合気に点火をして燃焼が開始した後に、未燃混合気自己着火により燃焼し、前記コントローラーは、吸気行程から圧縮行程の前半の期間内において行う前段噴射と、圧縮行程の後半から膨張行程の前半の期間内において行う後段噴射とを行うよう、前記インジェクタに制御信号を出力し、前記コントローラーはさらに、前記前段噴射の噴射量に対する前記後段噴射の噴射量の割合が、高回転時は、低回転時よりも高くなるよう、前記インジェクタに制御信号を出力する。

40

【0019】

この構成によると、前記と同様に、コントローラーは、インジェクタに、吸気行程から圧縮行程の前半の期間内において行う前段噴射と、圧縮行程の後半から膨張行程の前半の期間内において行う後段噴射とを行うよう制御信号を出力する。圧縮行程の前半は、圧縮行程を前半と後半とに二等分したときの前半としてもよい。同様に、圧縮行程の後半は、圧縮行程を前半と後半とに二等分したときの後半としてもよい。膨張行程の前半は、膨張行程を前半と後半とに二等分したときの前半としてもよい。後段噴射は、噴射タイミングが遅いため、インジェクタに隣接する点火プラグの付近に、混合気を形成する。前段噴射は、噴射タイミングが早いため、燃焼室の中のインジェクタ及び点火プラグから離れた箇所、混合気を形成する。

50

【 0 0 2 0 】

点火プラグは、コントローラーの制御信号を受けて、点火プラグの付近の混合気に強制的に点火する。混合気は火炎伝播により燃焼する。火炎伝播による燃焼の開始後、点火プラグから離れた未燃混合気が自己着火により燃焼することによって燃焼が完了する。つまり、燃焼室の中において、S P C C I 燃焼が行われる。

【 0 0 2 1 】

また、エンジンの回転数が高いときには、コントローラーは、後段噴射の噴射量を増やす。点火プラグ付近の混合気の濃度が高くなるから、S P C C I 燃焼におけるS I 燃焼が急速になり、C I 燃焼が減る。その結果、燃焼騒音が抑制されるから、エンジンの回転数が高いときにN V Hを許容値以下に抑えることができる。

10

【 0 0 2 2 】

前記コントローラーは、前記エンジンの回転数が変化することに応じて、前記後段噴射の噴射量の割合が所定の変化率で変化するように、前記インジェクタに制御信号を出力し、前記コントローラーは、前記エンジンの回転数が高いときの前記変化率を、前記エンジンの回転数が低いときの前記変化率よりも高くする、としてもよい。

【 0 0 2 3 】

こうすることで、エンジンの回転数が高くなることに従い、所定の変化率で、後段噴射の噴射量の割合が増える。エンジンの回転数が高いと、S P C C I 燃焼におけるS I 燃焼が、より急速になるから、燃焼騒音の抑制に有利になる。エンジンの回転数が高いときにN V Hを許容値以下に抑えることができる。

20

【 0 0 2 4 】

前記コントローラーは、前記エンジンの回転数が所定回転数以下のときには、前記後段噴射の噴射量の割合が、前記回転数が変化しても一定になるよう、前記インジェクタに制御信号を出力し、前記エンジンの回転数が前記所定回転数を超えるときには、前記エンジンの回転数が高くなるに従い前記後段噴射の噴射量の割合が高くなるよう、前記インジェクタに制御信号を出力する、としてもよい。

【 0 0 2 5 】

エンジンの回転数が低いときにはエンジンのN V Hが元々小さいため、燃焼騒音を抑制することよりも、S P C C I 燃焼において、C I 燃焼を多く行った方が燃費の向上に有利になる。エンジンの回転数が所定回転数以下のときには、後段噴射の噴射量の割合が、回転数が変化しても一定になるよう、インジェクタに制御信号を出力する。これは、エンジンの回転数が変化することに対して、後段噴射の噴射量の割合が変化する変化率が、ゼロであることに相当する。エンジンの回転数が低いときに、後段噴射の噴射量を少なくかつ、前記変化率をゼロにすることによって、S P C C I 燃焼においてC I 燃焼を十分に行うことができ、燃費が向上する。

30

【 0 0 2 6 】

これに対し、エンジンの回転数が高くなると、エンジンのN V Hが大きくなるため、燃焼騒音を抑制しなければならない。エンジンの回転数が所定回転数を超えるときには、エンジンの回転数が高くなるに従い後段噴射の噴射量の割合が高くなるよう、インジェクタに制御信号を出力する。これは、エンジンの回転数が変化することに対して、後段噴射の噴射量の割合が変化する変化率が、ゼロを超えることに相当する。エンジンの回転数が高いときに、S P C C I 燃焼においてS I 燃焼を十分に行うことができ、燃焼騒音が抑制される。

40

【 0 0 2 7 】

前記コントローラーは、前記エンジンの回転数が、前記所定回転数よりも高い第2所定回転数を超えるときには、前記後段噴射の噴射量の割合が所定値になるよう、前記インジェクタに制御信号を出力する、としてもよい。

【 0 0 2 8 】

後段噴射は、燃料を噴射するクランク角タイミングが遅いため、噴射した燃料が可燃混合気を形成するまでの期間が短い。また、エンジンの回転数が高くなるほど、クランク角

50

度が同一角度だけ変化するときの時間が短い。従って、エンジンの回転数が高くなるほど、後段噴射が燃料を噴射してから点火までの時間が短くなる。

【0029】

前述の通り、エンジンの回転数が高くなるに従い後段噴射の噴射量の割合を高くすると、短い時間で大量の燃料が気化して混合気を形成しなければならなくなるが、実際は、SPCCI燃焼におけるSI燃焼によって燃焼しない燃料が増えてしまい、多くの燃料がCI燃焼をすることによって、燃焼騒音が増大してしまう恐れがある。

【0030】

そこで、エンジンの回転数が高くなるに従い後段噴射の噴射量の割合を高くする前提構成において、エンジンの回転数が、所定回転数よりも高い第2所定回転数を超えるときには、後段噴射の噴射量の割合が所定値になるよう、インジェクタに制御信号を出力する。つまり、エンジンの回転数が第2所定回転数を超えるときには、エンジン回転数の高低にかかわらず、後段噴射の噴射量を所定の一定量に制限する。こうすることで、SI燃焼によって燃焼しない燃料が増えることが防止され、CI燃焼によって燃焼騒音が増大してしまうことを回避することができる。

10

【0031】

前記圧縮着火式エンジンの制御装置は、前記エンジンに取り付けられかつ、前記燃焼室の中へ導入する吸気流動を調整するよう構成された吸気流動制御デバイスを備え、前記コントローラーは、前記エンジンの回転数が、前記第2所定回転数を超えるときには、前記吸気流動が強くなるよう、前記吸気流動制御デバイスに制御信号を出力する、としてもよい。

20

【0032】

前述の通り、エンジンの回転数が第2所定回転数を超えるときに、後段噴射の噴射量を所定の一定量にすると、後段噴射の噴射量を増やすことに起因する燃焼騒音の抑制効果が制限されてしまう。

【0033】

そこで、前記の構成では、エンジンの回転数が第2所定回転数を超えるときに、吸気流動制御デバイスによって吸気流動を強くする。こうすることで、後段噴射によって噴射した燃料の気化が促進されると共に、燃焼室内の流動が強い状態でSI燃焼を行うことができるから、SPCCI燃焼におけるSI燃焼が急速になる。エンジンの回転数が第2所定回転数を超えるときも、燃焼騒音を抑制することができる。

30

【0034】

前記コントローラーは、前記エンジンの回転数が高くなるほど、前記吸気流動が強くなるよう、前記吸気流動制御デバイスに制御信号を出力する、としてもよい。

【0035】

こうすることで、エンジンの回転数が高いときに、強い吸気流動によってSI燃焼が急速になるから、燃焼騒音が抑制される。圧縮着火による燃焼を行う運転領域が、高回転方向に、より一層、拡大する。

【0036】

前記コントローラーは、前記エンジンが高回転で運転しているときには、低回転で運転しているときよりも前記後段噴射の噴射タイミングが進角するよう、前記インジェクタに制御信号を出力する、としてもよい。

40

【0037】

エンジンの回転数が高くなると、燃焼室の中に燃料を噴射してから、点火までの間の気化時間が短くなる。SPCCI燃焼においてSI燃焼により燃焼する混合気が減り、CI燃焼が多くなる。エンジンの回転数が高いときに、後段噴射の噴射量の割合を高くするため、SI燃焼により燃焼する混合気が減った分、CI燃焼が多くなる。その結果、SPCCI燃焼の燃焼騒音が大きくなって、NVHが許容値を上回る恐れがある。

【0038】

噴射タイミングを進角すると、気化時間を長くすることができる。SI燃焼時において

50

燃焼する混合気が増える。SPCCI燃焼の燃焼騒音が低く抑えられるため、エンジンの回転数が高い時に、NVHを許容値以下に抑えることができる。

【0039】

前記燃焼室の一部を形成するピストンは、前記ピストンの上面から凹陷すると共に、前記インジェクタに向かい合うキャビティを有し、前記前段噴射は、圧縮行程中において、前記キャビティの外のスキッシュエリア内に前記燃料を噴射し、前記後段噴射は、前記キャビティの内に前記燃料を噴射する、としてもよい。

【0040】

この構成により、キャビティの内の混合気はSI燃焼する。ここで、「キャビティの内の領域」とは、キャビティの開口を燃焼室のルーフに投影した投影面からキャビティの開口までの領域と、キャビティの中の領域とを合わせた領域を意味する、としてもよい。キャビティの内に向かって燃料が噴射されることにより、キャビティの内において均質な混合気が形成されると共に、キャビティの内の領域のガスの流動が強まる。キャビティの内の領域の乱流エネルギーが高い状態で、点火プラグは、混合気に点火することができる。よって、SI燃焼が急速になるから、高回転時においても燃焼騒音が抑制される。

10

【0041】

前記コントローラーは、前記燃焼室の中の混合気が燃焼するときに発生する全熱量に対し、点火された混合気が火炎伝播により燃焼するときに発生する熱量の割合に関係する指標としてのSI率を、100%未満にすると共に、前記エンジンの回転数が高いときに、前記SI率を、回転数が低いときよりも高くする、としてもよい。

20

【0042】

混合気が火炎伝播により燃焼し、火炎伝播による燃焼の開始後、未燃混合気が自己着火により燃焼して燃焼が完了する燃焼形態、つまり、SPCCI燃焼は、SI率が100%未満になる。自己着火による燃焼が発生せず、火炎伝播による燃焼のみで燃焼が完了する燃焼形態は、SI率が100%になる。

【0043】

SPCCI燃焼においてSI率を高くすると、SI燃焼の割合が高くなるから、燃焼騒音の抑制に有利になる。SPCCI燃焼においてSI率を低くすると、CI燃焼の割合が高くなるから、燃費の向上に有利になる。

【0044】

前記の構成では、高回転時は、低回転時よりも、後段噴射の噴射量の割合を高くする。それによって、SPCCI燃焼におけるSI率が高くなる。燃焼騒音の発生が抑制されるから、エンジンの回転数が高くてもSPCCI燃焼を行うことができる。

30

【0045】

前記エンジンは、前記燃焼室の中の圧力を検知する指圧センサを備え、前記コントローラーは、前記エンジンの運転状態に基づいて目標のSI率を設定すると共に、前記指圧センサの検知信号を受けかつ、混合気の燃焼に伴う圧力波形に基づいて、前記SI率を算出しかつ、算出した前記SI率と前記目標のSI率とがずれているとき、前記SI率が前記目標のSI率に近づくように、前記SI率を調整する、としてもよい。

【0046】

こうすることで、指圧センサの検知信号に基づく燃焼室の中の実際の燃焼状態と目標の燃焼状態とのずれに応じて、SI率を調整することができる。燃焼室の中のSPCCI燃焼を、正確に、エンジンの運転状態に対応する狙いの燃焼状態にすることができる。

40

【0047】

前記圧縮着火式エンジンの制御装置は、前記燃焼室の中にスワール流を発生させるスワール発生部を備え、前記コントローラーは、前記エンジンの回転数の高低に関わらず、前記燃焼室の中にスワール流を発生させるよう、前記スワール発生部に制御信号を出力する、としてもよい。

【0048】

スワール発生部が、燃焼室の中にスワール流を発生させると、SPCCI燃焼における

50

S I 燃焼が急峻になる。エンジンの回転数の高低に関わらず、燃焼室の中にスワール流を発生させることにより、後段噴射の噴射量を大きく増やさなくても、S P C C I 燃焼により発生する燃焼騒音を抑制することができる。後段噴射により噴射する燃料は、気化時間が短くなるため、未燃燃料やススの発生を招く恐れがある。後段噴射の噴射量を大きく増やさないことによって未燃燃料やススの発生を抑制することができる。つまり、燃焼室の中にスワール流を発生させることにより、エンジンの排気エミッション性能の向上に有利になる。

【 0 0 4 9 】

前記コントローラーは、前記点火プラグが前記混合気に点火をして燃焼が開始した後に、未燃混合気が自己着火により燃焼する運転領域の少なくとも最高回転数域において、前記後段噴射の噴射量の割合が高回転時は低回転時よりも高くなるように、前記インジェクタに制御信号を出力する、としてもよい。

10

【 0 0 5 0 】

前述したように、燃焼室の中にスワール流を発生させると、後段噴射の噴射量を少なくすることができる。従って、エンジンの回転数が高いときに、後段噴射の噴射割合を高くする構成において、エンジンの回転数が、S P C C I 燃焼を行う領域の最高回転数域にあるときも、後段噴射の噴射量を、制限することなく増やすことが可能になる。

【 発明の効果 】

【 0 0 5 1 】

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、前段噴射の噴射量に対する後段噴射の噴射量の割合を、高回転時は、低回転時よりも高くすることによって、高回転時にはS I 燃焼が急速になってS P C C I 燃焼の燃焼騒音を抑制することができる。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 5 2 】

【 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、下部はII - II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。

30

【 図 5 】 図 5 は、スワール比測定のためのリグ試験装置を例示する図である。

【 図 6 】 図 6 は、セカンダリ通路の開口比率とスワール比との関係を例示する図である。

【 図 7 A 】 図 7 A は、エンジンの運転領域マップを例示する図である。

【 図 7 B 】 図 7 B は、エンジンの運転領域マップを例示する図である。

【 図 7 C 】 図 7 C は、エンジンの運転領域マップを例示する図である。

【 図 8 】 図 8 の上図は、S I 燃焼とC I 燃焼とを組み合わせたS P C C I 燃焼の熱発生率の変化を概念的に示す図であり、中図は、S P C C I 燃焼におけるS I 率の定義を説明するための図であり、下図は、S P C C I 燃焼におけるS I 率の、別の定義を説明するための図である。

【 図 9 】 図 9 は、エンジンの負荷の高低に対する、S I 率の変化、燃焼室の中の状態量の変化、吸気弁及び排気弁のオーバーラップ期間の変化、並びに、燃料の噴射タイミング及び点火タイミングの変化を説明する図である。

40

【 図 1 0 】 図 1 0 の上図は、非過給S P C C I 燃焼において、エンジンの負荷が増大することに対する燃焼波形の変化を例示する図であり、図 1 0 の下図は、過給S P C C I 燃焼において、エンジンの負荷が増大することに対する燃焼波形の変化を例示する図である。

【 図 1 1 】 図 1 1 の上図は、S P C C I 燃焼を行う運転領域において、エンジンの回転数と後段噴射率との関係の一例を示す図であり、図 1 1 の下図は、S P C C I 燃焼を行う運転領域において、エンジンの回転数と後段噴射率との関係の別の例を示す図である。

【 図 1 2 】 図 1 2 の上図は、S P C C I 燃焼を行う運転領域において、エンジンの回転数と後段噴射時期との関係の一例を示す図であり、図 1 2 の下図は、S P C C I 燃焼を行う

50

運転領域において、エンジンの回転数と後段噴射時期との関係の別の例を示す図である。

【図13】図13の上図は、図7Aの運転領域マップのSPCCI燃焼を行う運転領域において、エンジンの回転数とスワールコントロール弁の開度との関係の一例を示す図であり、図13の下図は、図7Cの運転領域マップのSPCCI燃焼を行う運転領域において、エンジンの回転数とスワールコントロール弁の開度との関係の別の例を示す図である。

【図14】図14は、SPCCI燃焼を行う運転領域において、エンジンの回転数とSI率との関係の一例を示す図である。

【図15】図15は、ECUが実行するエンジンの制御の手順を示すフロー図である。

【図16】図16は、SI率の調整に係る制御概念を説明する図である。

【図17】図17は、図7Cに示す運転領域マップにおいて、各運転状態における燃料噴射時期、点火時期、及び燃焼波形を例示する図である。

10

【図18】図18は、図7Cに示す運転領域マップにおいて、エンジンの回転数と後段噴射率との関係の一例を示す図であり、図18の下図は、エンジンの回転数と後段噴射率との関係の別の例を示す図である。

【図19】図19は、図7Cに示す運転領域マップにおいて、エンジンの回転数と後段噴射時期との関係の一例を示す図であり、図19の下図は、エンジンの回転数と後段噴射時期との関係の別の例を示す図である。

【図20】図20は、エンジンの運転領域マップの別の例を示す図である。

【図21】図21は、図20に示す各運転状態における燃焼波形を例示する図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0053】

以下、圧縮着火式エンジンの制御装置の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、圧縮着火式エンジンの制御装置の一例である。図1は、圧縮着火式エンジンの構成を例示する図である。図2は、燃焼室の構成を例示する断面図であり、図2の上図は燃焼室の平面視相当図、下部はII-II断面図である。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、圧縮着火式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。

【0054】

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、バイオエタノール等を含むガソリンであってもよい。エンジン1の燃料は、少なくともガソリンを含む液体燃料であれば、どのような燃料であってもよい。

30

【0055】

(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、1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。

40

【0056】

各シリンダ11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14を介してクランクシャフト15に連結されている。ピストン3は、シリンダ11及びシリンダヘッド13と共に燃焼室17を区画する。尚、「燃焼室」は、ピストン3が圧縮上死点に至ったときに形成される空間の意味に限定されない。「燃焼室」の語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11及びシリンダヘッド13によって形成される空間を意味する場合がある。

【0057】

シリンダヘッド13の下面、つまり、燃焼室17の天井面は、図2に示すように、傾斜

50

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。

【 0 0 5 8 】

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、浅皿形状を有している。キャビティ 3 1 は、ピストン 3 が圧縮上死点付近に位置するときに、後述するインジェクタ 6 に向かい合う。

【 0 0 5 9 】

キャビティ 3 1 の中心は、シリンダ 1 1 の中心軸 X 1 に対して排気側にずれている。キャビティ 3 1 の中心は、インジェクタ 6 の噴射軸心 X 2 と一致している。キャビティ 3 1 は、凸部 3 1 1 を有している。凸部 3 1 1 は、インジェクタ 6 の噴射軸心 X 2 上に設けられている。凸部 3 1 1 は、略円錐状である。凸部 3 1 1 は、キャビティ 3 1 の底部から、シリンダ 1 1 の天井面に向かって上向きに伸びている。

【 0 0 6 0 】

キャビティ 3 1 はまた、凸部 3 1 1 の周囲に設けられた凹陷部 3 1 2 を有している。凹陷部 3 1 2 は、凸部 3 1 1 の全周を囲むように設けられている。キャビティ 3 1 は、噴射軸心 X 2 に対して対称な形状を有している。

【 0 0 6 1 】

凹陷部 3 1 2 の周側面は、キャビティ 3 1 の底面からキャビティ 3 1 の開口に向かって噴射軸心 X 2 に対して傾いている。凹陷部 3 1 2 におけるキャビティ 3 1 の内径は、キャビティ 3 1 の底部からキャビティ 3 1 の開口に向かって次第に拡大する。

【 0 0 6 2 】

尚、燃焼室 1 7 の形状は、図 2 に例示する形状に限定されるものではない。例えばキャビティ 3 1 の形状、ピストン 3 の上面の形状、及び、燃焼室 1 7 の天井面の形状等は、適宜変更することが可能である。例えば、凹陷部 3 1 2 のシリンダ外側の深さを小さくしてもよい。この場合、後述する点火プラグ 2 5 周辺の E G R ガスが少なくなり、後述する S P C C I 燃焼における S I 燃焼の火炎伝播が良好になる。また、キャビティ 3 1 内の凸部 3 1 1 はなくてもよい。

【 0 0 6 3 】

エンジン 1 の幾何学的圧縮比は、理論熱効率の向上や、後述する C I (Compression Ignition) 燃焼の安定化を目的として高く設定されている。具体的に、エンジン 1 の幾何学的圧縮比は、1.4 以上である。幾何学的圧縮比は、例えば 1.8 としてもよい。幾何学的圧縮比は、1.4 以上 2.0 以下の範囲で、適宜設定すればよい。

【 0 0 6 4 】

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 の、二つの吸気ポートを有している。第 1 吸気ポート 1 8 1 及び第 2 吸気ポート 1 8 2 は、クランクシャフト 1 5 の軸方向、つまり、エンジン 1 のフロント - リヤ方向に並んでいる。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。

【 0 0 6 5 】

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よう構成されている。それによ

10

20

30

40

50

って、吸気弁 2 1 の開弁時期及び閉弁時期は、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。

【 0 0 6 6 】

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 の、二つの排気ポートを有している。第 1 排気ポート 1 9 1 及び第 2 排気ポート 1 9 2 は、エンジン 1 のフロント - リヤ方向に並んでいる。排気ポート 1 9 は、燃焼室 1 7 に連通している。

【 0 0 6 7 】

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。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、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よう構成されている。それによって、排気弁 2 2 の開弁時期及び閉弁時期は、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 6 8 】

詳細は後述するが、このエンジン 1 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、吸気弁 2 1 の開弁時期と排気弁 2 2 の閉弁時期とに係るオーバーラップ期間の長さを調整する。このことによって、燃焼室 1 7 の中の残留ガスを掃気する。また、オーバーラップ期間の長さを調整することによって、内部 E G R (Exhaust Gas Recirculation) ガスを燃焼室 1 7 の中に導入する、又は、燃焼室 1 7 の中に閉じ込める。この構成例においては、吸気電動 S - V T 2 3 及び排気電動 S - V T 2 4 が、状態量設定デバイスの一つとしての、内部 E G R システムを構成している。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。

【 0 0 6 9 】

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よう構成されている。インジェクタ 6 は、吸気側の傾斜面 1 3 1 1 と排気側の傾斜面 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。インジェクタ 6 は、図 2 に示すように、その噴射軸心 X 2 がシリンダ 1 1 の中心軸 X 1 よりも排気側に配設されている。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。前述したように、インジェクタ 6 の噴射軸心 X 2 と、キャビティ 3 1 の凸部 3 1 1 の位置とは一致している。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。その場合も、インジェクタ 6 の噴射軸心 X 2 と、キャビティ 3 1 の凸部 3 1 1 の位置とは一致していることが望ましい。

【 0 0 7 0 】

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。噴孔の軸は、図 2 の上図に示すように、後述する点火プラグ 2 5 に対して、周方向に位置がずれている。つまり、点火プラグ 2 5 は、隣り合う二つの噴孔の軸に挟まれている。これにより、インジェクタ 6 から噴射された燃料の噴霧が、点火プラグ 2 5 に直接当たって、電極を濡らしてしまうことが回避される。

【 0 0 7 1 】

後述するように、インジェクタ 6 は、ピストン 3 が圧縮上死点付近に位置するタイミングで燃料を噴射する場合がある。その場合、インジェクタ 6 が燃料を噴射すると、燃料噴霧は、新気と混ざり合いながら、キャビティ 3 1 の凸部 3 1 1 に沿って下向きに流れると

10

20

30

40

50

共に、凹陥部 3 1 2 の底面及び周側面に沿って、燃焼室 1 7 の中央から、径方向の外方に放射状に広がって流れる。その後、混合気はキャビティ 3 1 の開口に至り、吸気側の傾斜面 1 3 1 1、及び、排気側の傾斜面 1 3 1 2 に沿って、径方向の外方から、燃焼室 1 7 の中央に向かって流れる。

【 0 0 7 2 】

尚、インジェクタ 6 は、多噴口型のインジェクタに限らない。インジェクタ 6 は、外開弁タイプのインジェクタを採用してもよい。

【 0 0 7 3 】

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よう構成されている。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に構成されている。燃料供給システム 6 1 の最高燃料圧力は、例えば 1 2 0 M P a 程度にしてもよい。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。

【 0 0 7 4 】

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 の配設位置は、図 2 の構成例に限定されない。点火プラグ 2 5 は、シリンダ 1 1 の中心軸 X 1 よりも排気側に配設してもよい。また、点火プラグ 2 5 を、シリンダ 1 1 の中心軸 X 1 上に配設すると共に、インジェクタ 6 を、中心軸 X 1 よりも吸気側又は排気側に配設してもよい。

【 0 0 7 5 】

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。吸気通路 4 0 は、燃焼室 1 7 に導入するガスが流れる通路である。吸気通路 4 0 の上流端部には、新気を濾過するエアクリナー 4 1 が配設されている。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、詳細な図示は省略するが、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 7 6 】

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、弁の開度を調整することによって、燃焼室 1 7 の中への新気の導入量を調整するよう構成されている。スロットル弁 4 3 は、状態量設定デバイスの一つを構成している。

【 0 0 7 7 】

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よう構成されている。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、例えばルーツ式としてもよい。機械式の過給機 4 4 の構成はどのような構成

10

20

30

40

50

であってもよい。機械式の過給機 4 4 は、リシヨルム式、ペーン式又は遠心式としてもよい。尚、過給機は、電動式の過給機としてもよいし、排気エネルギーによって駆動されるターボ過給機としてもよい。

【 0 0 7 8 】

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、E C U 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。つまり、このエンジン 1 は、過給機 4 4 が、燃焼室 1 7 に導入するガスを過給すること、過給機 4 4 が、燃焼室 1 7 に導入するガスを過給しないこととを切り替えることができるよう構成されている。

10

【 0 0 7 9 】

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よう構成されている。インタークーラー 4 6 は、例えば水冷式に構成すればよい。

【 0 0 8 0 】

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。より具体的に、バイパス通路 4 7 は、サージタンク 4 2 に接続されている。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整する。

20

【 0 0 8 1 】

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）には、エアバイパス弁 4 8 を全開にする。これにより、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 8 2 】

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）には、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。エアバイパス弁 4 8 の開度を調整することによって、逆流量を調整することができるから、燃焼室 1 7 に導入するガスの過給圧を調整することができる。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。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。エアバイパス弁 4 8 は、状態量設定デバイスの一つを構成している。

30

【 0 0 8 3 】

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。スワール発生部は、吸気流動制御デバイスの一例である。スワール発生部は、この構成例では、図 3 に示すように、吸気通路 4 0 に取り付けられたスワールコントロール弁 5 6 である。スワールコントロール弁 5 6 は、第 1 吸気ポート 1 8 1 につながるプライマリ通路 4 0 1 と、第 2 吸気ポート 1 8 2 につながるセカンダリ通路 4 0 2 との内の、セカンダリ通路 4 0 2 に配設されている。スワールコントロール弁 5 6 は、セカンダリ通路の断面を絞ることができる開度調整弁である。スワールコントロール弁 5 6 の開度が小さいと、エンジン 1 の前後方向に並んだ第 1 吸気ポート 1 8 1 及び第 2 吸気ポート 1 8 2 の内、第 1 吸気ポート 1 8 1 から燃焼室 1 7 に流入する吸気流量が相対的に増えかつ、第 2 吸気ポート 1 8 2 から燃焼室 1 7 に流入する吸気流量が相対的に減るから、燃焼室 1 7 内のスワール流が強くなる。スワールコントロール弁 5 6 の開度が大きいと、第 1 吸気ポート 1 8 1 及び第 2 吸気ポート 1 8 2 のそれぞれから燃焼室 1 7 に流入する吸気流量が、略均等になるから、燃焼室 1 7 内のスワール流が弱くなる。スワールコントロール弁 5 6 を全開にす

40

50

ると、スワール流が発生しない。尚、スワール流は、白抜きの矢印で示すように、図3における反時計回り方向に周回する（図2の白抜きの矢印も参照）。

【0084】

尚、スワール発生部は、吸気通路40にスワールコントロール弁56を取り付ける代わりに、又は、スワールコントロール弁56を取り付けることに加えて、二つの吸気弁21の開弁期間をずらし、一方の吸気弁21のみから燃焼室17の中に吸気を導入することができる構成を採用してもよい。二つの吸気弁21の内の一方の吸気弁21のみが開弁することによって、燃焼室17の中に吸気が不均等に導入するから、燃焼室17の中にスワール流を発生させることができる。さらに、スワール発生部は、吸気ポート18の形状を工夫することによって、燃焼室17の中にスワール流を発生させよう構成してもよい。

10

【0085】

ここで、燃焼室17内のスワール流の強さについて定義する。本構成例においては、燃焼室17内のスワール流の強さを、「スワール比」で表す。「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と定義することができる。吸気流横方向角速度は、図5に示す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。すなわち、同図に示す装置は、基台にシリンダヘッド13を上下反転して設置して、吸気ポート18を図外の吸気供給装置に接続する一方、そのシリンダヘッド13上にシリンダ36を設置すると共に、その上端にハニカム状ロータ37を有するインパルスメータ38を接続して構成されている。インパルスメータ38の下面は、シリンダヘッド13とシリンダブロックとの合わせ面から1.75D（尚、Dはシリンダポア径）の位置に位置づけている。吸気供給に応じてシリンダ36内に生じるスワール（図5の矢印参照）によって、ハニカム状ロータ37に作用するトルクをインパルスメータ38によって計測し、それに基づいて、吸気流横方向角速度を求めることができる。

20

【0086】

図6は、このエンジン1におけるスワールコントロール弁56の開度と、スワール比との関係を示している。図6は、スワールコントロール弁56の開度を、セカンダリ通路402の全開断面に対する開口比率によって表している。スワールコントロール弁56が全開のときに、セカンダリ通路402の開口比率は0%となり、スワールコントロール弁56の開度が大きくなると、セカンダリ通路402の開口比率が0%よりも大きくなる。スワールコントロール弁56が全開のときに、セカンダリ通路402の開口比率は100%となる。図6に例示するように、このエンジン1は、スワールコントロール弁56を全閉にすると、スワール比は6程度になる。スワール比を4以上にするならば、スワールコントロール弁56の開度は、開口比率が0~15%となる範囲で調整すればよい。また、スワール比を、1.5~3程度にするならば、スワールコントロール弁56の開度は、開口比率が25~40%程度の範囲で調整すればよい。

30

【0087】

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。

40

【0088】

排気通路50には、1つ以上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。排気ガス浄化システムは、本構成例では、二つの触媒コンバーターを有している。上流の触媒コンバーターは、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、

50

適宜変更してもよい。

【 0 0 8 9 】

吸気通路 4 0 と排気通路 5 0 との間には、外部 E G R システムを構成する E G R 通路 5 2 が接続されている。E G R 通路 5 2 は、既燃ガスの一部を吸気通路 4 0 に還流させるための通路である。E G R 通路 5 2 の上流端は、排気通路 5 0 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。E G R 通路 5 2 の下流端は、吸気通路 4 0 における過給機 4 4 の上流に接続されている。より具体的に、E G R 通路 5 2 の下流端は、バイパス通路 4 7 の途中に接続されている。E G R 通路 5 2 を流れる E G R ガスは、バイパス通路 4 7 のエアバイパス弁 4 8 を通らずに、吸気通路 4 0 における過給機 4 4 の上流に入る。

10

【 0 0 9 0 】

E G R 通路 5 2 には、水冷式の E G R クーラー 5 3 が配設されている。E G R クーラー 5 3 は、既燃ガスを冷却するよう構成されている。E G R 通路 5 2 にはまた、E G R 弁 5 4 が配設されている。E G R 弁 5 4 は、E G R 通路 5 2 を流れる既燃ガスの流量を調整するよう構成されている。E G R 弁 5 4 の開度を調整することによって、冷却した既燃ガス、つまり外部 E G R ガスの還流量を調整することができる。

【 0 0 9 1 】

この構成例において、E G R システム 5 5 は、E G R 通路 5 2 及び E G R 弁 5 4 を含んで構成されている外部 E G R システムと、前述した吸気電動 S - V T 2 3 及び排気電動 S - V T 2 4 を含んで構成されている内部 E G R システムとによって構成されている。E G R 弁 5 4 はまた、状態量設定デバイスの一つを構成している。外部 E G R システムは、E G R 通路 5 2 が触媒コンバーターよりも下流に接続されていると共に、E G R クーラー 5 3 を有しているため、内部 E G R システムよりも低温の既燃ガスを、燃焼室 1 7 に供給することができる。

20

【 0 0 9 2 】

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 E C U (Engine Control Unit) 1 0 を備えている。E C U 1 0 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る。E C U 1 0 は、プログラムを実行する中央演算処理装置 (Central Processing Unit : C P U) 1 0 1 と、例えば R A M (Random Access Memory) や R O M (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 1 0 2 と、電気信号の入出力をする入出力バス 1 0 3 と、を備えている。E C U 1 0 は、コントローラーの一例である。

30

【 0 0 9 3 】

E C U 1 0 には、図 1 及び図 4 に示すように、各種のセンサ S W 1 ~ S W 1 6 が接続されている。センサ S W 1 ~ S W 1 6 は、検知信号を E C U 1 0 に出力する。センサには、以下のセンサが含まれる。

【 0 0 9 4 】

すなわち、吸気通路 4 0 におけるエアクリーナー 4 1 の下流に配置されかつ、吸気通路 4 0 を流れる新気の流量を検知するエアフローセンサ S W 1、及び、新気の温度を検知する第 1 吸気温度センサ S W 2、吸気通路 4 0 における E G R 通路 5 2 の接続位置よりも下流でかつ、過給機 4 4 の上流に配置されかつ、過給機 4 4 に流入するガスの圧力を検知する第 1 圧力センサ S W 3、吸気通路 4 0 における過給機 4 4 の下流でかつ、バイパス通路 4 7 の接続位置よりも上流に配置されかつ、過給機 4 4 から流出したガスの温度を検知する第 2 吸気温度センサ S W 4、サージタンク 4 2 に取り付けられかつ、過給機 4 4 の下流のガスの圧力を検知する第 2 圧力センサ S W 5、各シリンダ 1 1 に対応してシリンダヘッド 1 3 に取り付けられかつ、各燃焼室 1 7 内の圧力を検知する指圧センサ S W 6、排気通路 5 0 に配置されかつ、燃焼室 1 7 から排出した排気ガスの温度を検知する排気温度センサ S W 7、排気通路 5 0 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検知するリニア O₂ センサ S W 8、上流の触媒コンバーターにおける三元触媒 5 1 1 の下流に配置されかつ、排気ガス中の酸素濃度を検知するラムダ O₂ セ

40

50

ンサSW9、エンジン1に取り付けられかつ、冷却水の温度を検知する水温センサSW10、エンジン1に取り付けられかつ、クランクシャフト15の回転角を検知するクランク角センサSW11、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検知するアクセル開度センサSW12、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検知する吸気カム角センサSW13、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検知する排気カム角センサSW14、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検知するEGR差圧センサSW15、並びに、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検知する燃圧センサSW16である。

【0095】

ECU10は、これらの検知信号に基づいて、エンジン1の運転状態を判断すると共に、各デバイスの制御量を計算する。ECU10は、計算をした制御量に係る制御信号を、インジェクタ6、点火プラグ25、吸気電動S-VT23、排気電動S-VT24、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、及び、スワールコントロール弁56に出力する。

【0096】

例えば、ECU10は、アクセル開度センサSW12の検知信号と予め設定している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、ECU10は、目標過給圧と、第1圧力センサSW3及び第2圧力センサSW5の検知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の開度を調整することにより、過給圧が目標過給圧となるようにフィードバック制御を行う。

【0097】

また、ECU10は、エンジン1の運転状態と予め設定したマップとに基づいて目標EGR率（つまり、燃焼室17の中の全ガスに対するEGRガスの比率）を設定する。そして、ECU10は、目標EGR率とアクセル開度センサSW12の検知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SW15の検知信号から得られるEGR弁54の前後差圧に基づいてEGR弁54の開度を調整することにより、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フィードバック制御を行う。

【0098】

さらに、ECU10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ECU10は、リニアO₂センサSW8、及び、ラムダO₂センサSW9によって検知され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の燃料噴射量を調整する。

【0099】

尚、その他のECU10によるエンジン1の制御の詳細は、後述する。

【0100】

（エンジンの運転領域マップの第1構成例）

図7Aは、エンジン1の運転領域マップの第1構成例を示している。エンジン1の運転領域マップ700は、負荷及び回転数によって定められている。運転領域マップ700は、負荷の高低及び回転数の高低に対し、大きく四つの領域に分けられている。具体的に、四つの領域は、アイドル運転を含む低負荷領域（A）、全開負荷を含む高負荷領域（C）、及び、低負荷領域（A）と高負荷領域（C）との間の中負荷領域（B）、低負荷領域（A）、中負荷領域（B）、及び高負荷領域（C）よりも回転数の高い高回転領域（D）である。高回転領域（D）において、エンジン1は、吸気行程中に、燃焼室17の中に燃料を噴射し、火花点火によるSI（Spark Ignition）燃焼を行う。

【0101】

また、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、中負荷領域（B）において、圧縮自己着火による燃焼を行う。以下、低負荷領域（A）、中負荷領域（B）、及び、高負荷領域（C）の各領域における燃焼形態について、詳細に説明をする

10

20

30

40

50

。

【 0 1 0 2 】

(低負荷領域)

エンジン 1 の運転状態が低負荷領域 (A) にあるときの燃焼形態は、点火プラグ 2 5 が燃焼室 1 7 の中の混合気に点火を行うことによって混合気を火炎伝播により燃焼させる S I 燃焼である。これは、燃焼安定性を確実に確保することを優先するためである。以下、低負荷領域 (A) における燃焼形態を、低負荷 S I 燃焼と呼ぶ場合がある。

【 0 1 0 3 】

エンジン 1 の運転状態が低負荷領域 (A) にあるときには、混合気の空燃比 (A / F) は、理論空燃比である (A / F 1 4 . 7)。尚、以下の説明において、混合気の空燃比、空気過剰率、及び G / F の値は、点火タイミングにおける値を意味する。混合気の空燃比を理論空燃比にすると、三元触媒が、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から、エンジン 1 の排出ガス性能は良好になる。混合気の A / F は、三元触媒の浄化ウインドウの中に収まるようにすればよい。従って、混合気の空気過剰率は、 $1 . 0 \pm 0 . 2$ とすればよい。

10

【 0 1 0 4 】

エンジン 1 の燃費性能を向上させるために、エンジン 1 の運転状態が低負荷領域 (A) にあるときに、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。混合気の G / F、つまり、燃焼室 1 7 の中の全ガスと燃料との質量比は 1 8 以上 3 0 以下に設定される。混合気は、E G R リーンである。混合気の希釈率は高い。混合気の G / F を、例えば 2 5 にすれば、低負荷領域 (A) において、混合気が自己着火に至ることなく、S I 燃焼を安定して行うことができる。低負荷領域 (A) において、混合気の G / F は、エンジン 1 の負荷の高低に関わらず略一定に維持する。こうすることで、低負荷領域の全域において、S I 燃焼は、安定化する。また、エンジン 1 の燃費が向上すると共に、排出ガス性能が良好になる。

20

【 0 1 0 5 】

エンジン 1 の運転状態が低負荷領域 (A) にあるときには、燃料量が少ないため、混合気の λ を $1 . 0 \pm 0 . 2$ にしかつ、G / F を 1 8 以上 3 0 以下にするには、燃焼室 1 7 の中に導入するガスの充填量を 1 0 0 % よりも少なくしなければならない。具体的に、エンジン 1 は、スロットル弁 4 3 の開度を調整するスロットリング、及び / 又は、吸気弁 2 1 の閉弁時期を吸気下死点以降に遅らせるミラーサイクルを実行する。

30

【 0 1 0 6 】

尚、低負荷領域 (A) 内における、低負荷低回転領域においては、ガスの充填量をさらに少なくすることによって、混合気の燃焼温度及び排気ガスの温度を高くするようにしてもよい。こうすると、触媒コンバーターを活性状態に維持する上で有利になる。

【 0 1 0 7 】

(中負荷領域)

エンジン 1 の運転状態が中負荷領域 (B) にあるときには、燃料の噴射量が多くなる。燃焼室 1 7 の温度が高くなるため、自己着火を安定して行うことが可能になる。燃費の向上及び排出ガス性能の向上を図るため、エンジン 1 は、中負荷領域 (B) において、C I 燃焼を行う。

40

【 0 1 0 8 】

自己着火による燃焼は、圧縮開始前の燃焼室 1 7 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、中負荷領域 (B) において、S I 燃焼と C I 燃焼とを組み合わせさせた S P C C I 燃焼を行う。S P C C I 燃焼は、点火プラグ 2 5 が、燃焼室 1 7 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燃焼すると共に、S I 燃焼の発熱により燃焼室 1 7 の中の温度が高くなることによって、未燃混合気が自己着火により燃焼する形態である。S I 燃焼の発熱量を調整することによって、圧縮開始前の燃焼室 1 7 の中の温度のばらつきを吸収することができる。圧縮開始前の燃焼室 1 7 の中の温度がばらついていても、例えば点火タイミングの調整によ

50

ってS I 燃焼の開始タイミングを調整すれば、未燃混合気を、目標のタイミングにおいて自己着火させることができる。

【0109】

S P C C I 燃焼において、自己着火のタイミングを精度よくコントロールするためには、点火タイミングを変更することに対応して、自己着火のタイミングが変化しなければならない。点火タイミングの変更に対して、自己着火のタイミングが変化する感度が高いことが好ましい。

【0110】

本願発明者らの検討によると、混合気のG/Fが18以上30以下であれば、S P C C I 燃焼を安定的に行うことができると共に、点火タイミングの変更に対して、自己着火のタイミングが変化することがわかった。そこで、エンジン1の運転状態が中負荷領域(B)にあるときには、エンジン1は、燃焼室17の中の状態を、混合気の ϕ が 1.0 ± 0.2 にかつ、混合気のG/Fが18以上30以下にする。また、点火タイミングにおける燃焼室17の中の必要温度 T_{ig} は、 $570 \sim 800$ K、点火タイミングにおける燃焼室17の中の必要圧力 P_{ig} は、 $400 \sim 920$ kPa、燃焼室17の中の乱流エネルギーは、 $17 \sim 40$ m²/s²である。

10

【0111】

S P C C I 燃焼における自己着火のタイミングを精度よくコントロールすることによって、エンジン1の運転状態が中負荷領域(B)にあるときに、燃焼騒音の増大を回避することができる。また、混合気の希釈率をできるだけ高くしてC I 燃焼を行うことにより、エンジン1の燃費性能を高くすることが可能になる。さらに、混合気の ϕ を 1.0 ± 0.2 に設定することによって、三元触媒により、排気ガスを浄化することが可能になるため、エンジン1の排出ガス性能が良好になる。

20

【0112】

前述したように、低負荷領域(A)においては、混合気のG/Fを18以上30以下(例えば25)にしかつ、混合気の ϕ を 1.0 ± 0.2 にしている。エンジン1の運転状態が低負荷領域(A)にあるときと、中負荷領域(B)にあるときとの間において、燃焼室17の中の状態量が大きく変動しない。従って、エンジン1の負荷が変更することに対する、エンジン1の制御のロバスト性が高まる。

【0113】

エンジン1の運転状態が中負荷領域(B)にあるときには、低負荷領域(A)にあるときとは異なり、燃料量が多くなるため、燃焼室17の中に導入するガスの充填量を調整する必要がない。スロットル弁43の開度は全開である。

30

【0114】

エンジン1の負荷が高まり、燃料量がさらに増えたときに、混合気の ϕ を 1.0 ± 0.2 にしかつ、混合気のG/Fを18以上30以下にするには、自然吸気の状態であれば、燃焼室17の中に導入するガス量が不足する。そこで、中負荷領域(B)における所定負荷よりも負荷の高い領域においては、過給機44が、燃焼室17の中に導入するガスの過給を行う。中負荷領域(B)は、所定負荷よりも高負荷の領域であって、過給を行う第1中負荷領域(B1)と、所定負荷以下の領域であって、過給を行わない第2中負荷領域(B2)とに分けられる。所定負荷は、例えば1/2負荷である。第2中負荷領域(B2)は、第1中負荷領域(B1)よりも負荷の低い領域である。以下、第1中負荷領域(B1)における燃焼形態を、過給S P C C I 燃焼と呼び、第2中負荷領域(B2)における燃焼形態を、非過給S P C C I 燃焼と呼ぶ場合がある。

40

【0115】

過給を行わない第2中負荷領域(B2)においては、燃料量が増えるに従い、燃焼室17の中に導入する新気が増える一方、EGRガスは減る。混合気のG/Fは、エンジン1の負荷が高くなると小さくなる。スロットル弁43の開度を全開にしているため、エンジン1は、燃焼室17の中に導入するEGRガスの量を調整することにより、燃焼室17の中に導入する新気量を調整する。第2中負荷領域(B2)において燃焼室17の中の状

50

状態量は、例えば混合気の λ は 1.0 で略一定になる一方、混合気の G/F は 2.5 ~ 2.8 の範囲で変更される。

【0116】

これに対し、過給を行う第1中負荷領域(B1)において、エンジン1は、燃料量が増えるに従い、燃焼室17の中に導入する新気及びEGRガスを共に増やす。混合気のG/Fは、エンジン1の負荷が高くなっても略一定である。第1中負荷領域(B1)において燃焼室17の中の状態量は、例えば混合気の λ は 1.0 で略一定になると共に、混合気のG/Fは2.5で一定である。

【0117】

(高負荷領域)

エンジン1の運転状態が高負荷領域(C)にあるときの燃焼形態は、SI燃焼である。これは、燃焼騒音を回避することを優先するためである。以下、高負荷領域(C)における燃焼形態を、高負荷SI燃焼と呼ぶ場合がある。

【0118】

エンジン1の運転状態が高負荷領域(C)にあるときに、混合気の λ は 1.0 ± 0.2 である。また、混合気のG/Fは、基本的には、1.8以上3.0以下に設定される。高負荷領域(C)においては、スロットル弁43の開度は全開であり、過給機44は過給を行う。

【0119】

高負荷領域(C)において、エンジン1は、負荷が高まるに従いEGRガスの量を減らす。混合気のG/Fは、エンジン1の負荷が高くなると、小さくなる。EGRガスの量を減らした分、燃焼室17の中に導入する新気の量が増えるから、燃料量を増やすことができる。エンジン1の最高出力を高くする上で有利になる。

【0120】

エンジン1の運転状態が高負荷領域(C)にあるときと、中負荷領域(B)にあるときとの間において、燃焼室17の中の状態量が大きく変動しない。エンジン1の負荷が変更することに対する、エンジン1の制御のロバスト性が高まる。

【0121】

前述の通り、エンジン1は、高負荷領域(C)においては、SI燃焼を行うが、過早着火やノッキングといった異常燃焼が生じやすくなるという問題がある。

【0122】

そこで、エンジン1は、高負荷領域(C)において、燃料噴射の形態を工夫することにより異常燃焼を回避するよう構成されている。具体的に、ECU10は、30MPa以上の高い燃料圧力がかつ、圧縮行程後期から膨張行程初期までの期間(以下、この期間をリタード期間と呼ぶ)内のタイミングで、燃焼室17内に燃料を噴射するよう、燃料供給システム61及びインジェクタ6に制御信号を出力する。ECU10はまた、燃料の噴射後、圧縮上死点付近のタイミングで、混合気に点火を行うよう、点火プラグ25に制御信号を出力する。尚、以下においては、高い燃料圧力がかつ、リタード期間内のタイミングで、燃焼室17の中に燃料を噴射することを、高圧リタード噴射と呼ぶ。

【0123】

高圧リタード噴射は、混合気が反応する時間を短くすることによって、異常燃焼を回避する。すなわち、混合気が反応する時間は、(1)インジェクタ6が燃料を噴射する期間(つまり、噴射期間)と、(2)燃料の噴射が終了した後、点火プラグ25の周りに可燃混合気が形成されるまでの期間(つまり、混合気形成期間)と、(3)点火によって開始されたSI燃焼が終了するまでの期間(つまり、燃焼期間)と、を足し合わせた時間である。

【0124】

高い燃料圧力で、燃焼室17の中に燃料を噴射すると、噴射期間及び混合気形成期間は、それぞれ短くなる。噴射期間及び混合気形成期間が短くなると、燃料の噴射を開始するタイミングを点火タイミングに近づけることが可能になる。高圧リタード噴射は、高い圧

10

20

30

40

50

力がかつ、燃焼室 17 の中に燃料を噴射するから、圧縮行程後期から膨張行程初期までのリタード期間内のタイミングで、燃料噴射を行う。

【0125】

高い燃料圧力で燃焼室 17 の中に燃料を噴射すると、燃焼室 17 の中の乱流エネルギーが高くなる。燃料噴射のタイミングを圧縮上死点に近づけると、燃焼室 17 の中の乱流エネルギーが高い状態で S I 燃焼を開始することができる。その結果、燃焼期間が短くなる。

【0126】

高圧リタード噴射は、噴射期間、混合気形成期間、及び、燃焼期間をそれぞれ短くすることができる。吸気行程中に燃焼室 17 の中に燃料を噴射する場合と比較して、高圧リタード噴射は、混合気が反応する時間を大幅に短くすることができる。高圧リタード噴射は、混合気が反応する時間が短くなるから、異常燃焼を回避することが可能になる。

10

【0127】

エンジン制御の技術分野においては、異常燃焼を回避するために、点火タイミングを遅角することが、従来から行われている。しかしながら、点火タイミングを遅らせると、燃費性能は低下する。高圧リタード噴射は、点火タイミングを遅角させなくてもよい。高圧リタード噴射を利用することによって、燃費性能は向上する。

【0128】

燃料圧力を、例えば 30 MPa 以上にすれば、噴射期間、混合気形成期間及び燃焼期間を効果的に短縮することができる。尚、燃料圧力は、燃料の性状に応じて適宜設定するのが好ましい。燃料圧力の上限值は、一例として、120 MPa としてもよい。

20

【0129】

ここで、エンジン 1 の回転数が低いときには、クランク角度が同一角度だけ変化するときの時間が長い。高圧リタード噴射によって混合気の反応可能時間を短縮することは、異常燃焼を回避する上で、特に有効である。一方、エンジン 1 の回転数が高くなると、クランク角度が同一角度だけ変化するときの時間が短くなる。このため、混合気の反応可能時間を短縮することは、異常燃焼を回避する上で、それほど有効ではない。

【0130】

高圧リタード噴射はまた、圧縮上死点付近になって初めて、燃焼室 17 の中に燃料を噴射するため、圧縮行程において、燃焼室 17 の中では、燃料を含まないガス、言い換えると比熱比の高いガスが圧縮される。エンジン 1 の回転数が高いときに、高圧リタード噴射を行うと、圧縮上死点における燃焼室 17 の中の温度、つまり、圧縮端温度が高くなってしまふ。圧縮端温度が高くなることによって、ノッキング等の異常燃焼を招く恐れがある。

30

【0131】

そこで、このエンジン 1 は、高負荷領域 (C) 内を、低回転側の第 1 高負荷領域 (C1) と、第 1 高負荷領域 (C1) よりも回転数の高い第 2 高負荷領域 (C2) とに分けている。第 1 高負荷領域 (C1) は、高負荷領域 (C) 内を、低回転、中回転及び高回転の 3 つの領域に三等分したときの低回転及び中回転領域を含むとしてもよい。第 2 高負荷領域 (C2) は、高負荷領域 (C) 内を、低回転、中回転及び高回転の 3 つの領域に三等分したときの高回転領域を含むとしてもよい。

40

【0132】

第 1 高負荷領域 (C1) において、インジェクタ 6 は、ECU 10 の制御信号を受けて、前述した高圧リタード噴射を行う。第 2 高負荷領域 (C2) において、インジェクタ 6 は、ECU 10 の制御信号を受けて、吸気行程中の所定タイミングで燃料噴射を行う。吸気行程中に行う燃料噴射は、高い燃料圧力が不要である。ECU 10 は、燃料圧力が、高圧リタード噴射の燃料圧力よりも低くなるよう (例えば燃料圧力が 40 MPa 未満となるよう)、燃料供給システム 61 に制御信号を出力する。燃料圧力を下げることによって、エンジン 1 の機械抵抗損失が低下するから、燃費の向上に有利になる。

【0133】

吸気行程中に燃焼室 17 の中に燃料を噴射することによって、燃焼室 17 の中のガスの

50

比熱比が下がるから、圧縮端温度が低くなる。圧縮端温度が低くなるから、エンジン 1 は、異常燃焼を回避することができる。異常燃焼を回避するために、点火タイミングを遅角する必要がないため、第 2 高負荷領域 (C 2) において、点火プラグ 25 は、第 1 高負荷領域 (C 1) と同様に、圧縮上死点付近のタイミングで、混合気に点火する。

【 0 1 3 4 】

第 1 高負荷領域 (C 1) においては、高圧リタード噴射によって、混合気が自己着火に至らないため、エンジン 1 は、安定した S I 燃焼を行うことができる。第 2 高負荷領域 (C 2) においては、吸気行程中の燃料噴射によって、混合気が自己着火に至らないため、エンジン 1 は、安定した S I 燃焼を行うことができる。

【 0 1 3 5 】

(S P C C I 燃焼)

次に、前述した S P C C I 燃焼について、さらに詳細に説明をする。図 8 の上図は、S P C C I 燃焼における、クランク角に対する熱発生率の変化を例示する波形 8 0 1 を示している。圧縮上死点付近、正確には、圧縮上死点よりも前の所定タイミングで、点火プラグ 25 が混合気に点火すると、火炎伝播による燃焼が開始する。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。従って、熱発生率の波形は、傾きが相対的に小さくなる。図示はしないが、S I 燃焼時の、燃焼室 17 の中における圧力変動 (dp/d) も、C I 燃焼時よりも穏やかになる。

【 0 1 3 6 】

S I 燃焼によって、燃焼室 17 の中の温度及び圧力が高まると、未燃混合気が自己着火する。波形 8 0 1 の例では、圧縮上死点付近において、熱発生率の波形の傾きが、小から大へと変化している。つまり、熱発生率の波形は、C I 燃焼が開始するタイミングで、変曲点を有している。

【 0 1 3 7 】

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いため、熱発生率は相対的に大きくなる。但し、C I 燃焼は、圧縮上死点後に行われるため、ピストン 3 がモータリングによって下降している。C I 燃焼による、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 dp/d も比較的穏やかになる。

【 0 1 3 8 】

dp/d は、燃焼騒音を表す指標として用いることができるが、前述の通り S P C C I 燃焼は、 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が回避することが可能になる。燃焼騒音は、許容レベル以下に抑えることができる。

【 0 1 3 9 】

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。言い換えると、S P C C I 燃焼は、膨張行程中の燃焼終了時期を、圧縮上死点に近づけることが可能である。S P C C I 燃焼は、S I 燃焼よりも、エンジン 1 の燃費性能の向上に有利である。

【 0 1 4 0 】

従って、S P C C I 燃焼は、燃焼騒音の防止と、燃費性能の向上とを両立することができる。

【 0 1 4 1 】

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 率は、S P C 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してもよい。例えば波形 8 0 1 において S I 率は、 $S I 率 = (S I 燃焼の面積) / (S P C C I 燃焼の面積)$ によって表すことができる。波形 8 0 1 において S I 燃焼によって燃焼をする燃料の割合の意味で、前記 S I 率を、S I 燃料割合と呼んで

10

20

30

40

50

もよい。

【0142】

S I 率は、S I 燃焼とC I 燃焼とを組み合わせたS P C C I 燃焼において、S I 燃焼とC I 燃焼との比である。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。

【0143】

S I 率は、前述した定義に限定されるものではない。S I 率は、様々な定義が考えられる。例えば、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してもよい。つまり、波形801において $S I \text{ 率} = (S I \text{ 燃焼の面積}) / (C I \text{ 燃焼の面積})$ としてもよい。

10

【0144】

また、S P C C I 燃焼において、C I 燃焼が開始したタイミングで、熱発生率の波形は変曲点を有している。そこで、図8の中図に符号802で示すように、熱発生率の波形における変曲点を境界にし、境界よりも進角側の範囲をS I 燃焼、遅角側の範囲をC I 燃焼としてもよい。この場合において、S I 率は、波形802にハッチングを付して示すように、境界よりも進角側の範囲の面積 $Q_{S I}$ 、遅角側の範囲の面積 $Q_{C I}$ から、 $S I \text{ 率} = Q_{S I} / (Q_{S I} + Q_{C I})$ としてもよいし、 $S I \text{ 率} = Q_{S I} / Q_{C I}$ としてもよい。また、境界よりも進角側の範囲の全面積ではなく一部の面積と、境界よりも遅角側の範囲の一部の面積とに基づいて、S I 率を定義してもよい。

【0145】

また、熱発生に基づいてS I 率を定義するのではなく、境界よりも進角側の範囲のクランク角度 $\theta_{S I}$ 、遅角側の範囲のクランク角度 $\theta_{C I}$ から、 $S I \text{ 率} = \theta_{S I} / (\theta_{S I} + \theta_{C I})$ としてもよいし、 $S I \text{ 率} = \theta_{S I} / \theta_{C I}$ としてもよい。

20

【0146】

さらに、境界よりも進角側の範囲の熱発生率のピーク $P_{S I}$ 、遅角側の範囲の熱発生率のピーク $P_{C I}$ から、 $S I \text{ 率} = P_{S I} / (P_{S I} + P_{C I})$ としてもよいし、 $S I \text{ 率} = P_{S I} / P_{C I}$ としてもよい。

【0147】

加えて、境界よりも進角側の範囲における熱発生率の傾き $\alpha_{S I}$ 、遅角側の範囲における熱発生率の傾き $\alpha_{C I}$ から、 $S I \text{ 率} = \alpha_{S I} / (\alpha_{S I} + \alpha_{C I})$ としてもよいし、 $S I \text{ 率} = \alpha_{S I} / \alpha_{C I}$ としてもよい。

30

【0148】

また、ここでは、熱発生率の波形に基づいて、面積（つまり、熱発生量の大きさ）、横軸の長さ（つまり、クランク角度の大きさ）、縦軸の長さ（つまり、熱発生率の大きさ）、又は、傾き（つまり、熱発生率の変化率）から、S I 率を定義している。図示は省略するが、燃焼室17の中の圧力（P）の波形に基づいて、同様に、面積、横軸の長さ、縦軸の長さ、又は、傾きから、S I 率を定義してもよい。

【0149】

また、S P C C I 燃焼において、熱発生率又は圧力に係る燃焼波形の変曲点は、常に明確に現れるとは限らない。変曲点に基づかないS I 率の定義として、次のような定義を用いてもよい。つまり、図8の下図に符号803で示すように、燃焼波形において、圧縮上死点（TDC）よりも進角側の範囲をS I 燃焼とし、圧縮上死点よりも遅角側の範囲をC I 燃焼としてもよい。その上で、前記と同様に、面積（ $Q_{S I}$ 、 $Q_{C I}$ ）、横軸の長さ（ $\theta_{S I}$ 、 $\theta_{C I}$ ）、縦軸の長さ（ $P_{S I}$ 、 $P_{C I}$ ）、又は、傾き（ $\alpha_{S I}$ 、 $\alpha_{C I}$ ）から、S I 率を定義してもよい。

40

【0150】

さらに、S I 率は、燃焼室17の中で実際に行われた燃焼波形によって定義するのではなく、燃料量に基づいて定義してもよい。後述するように、S P C C I 燃焼を行う中負荷領域においては、前段噴射と後段噴射とを含む分割噴射を行う場合がある。後段噴射によって燃焼室17の中に噴射された燃料は、噴射から点火までの時間が短いため、燃焼室1

50

7の中で拡散せずに、点火プラグ25の付近に位置するようになる。従って、後段噴射によって燃焼室17の中に噴射された燃料は、主にS I燃焼によって燃焼する。一方、前段噴射によって燃焼室17の中に噴射された燃料は、主にC I燃焼によって燃焼する。従って、前段噴射によって噴射する燃料量(m_1)と、後段噴射によって噴射する燃料量(m_2)とに基づいて、S I率を定義することが可能である。つまり、S I率= $m_2 / (m_1 + m_2)$ としてもよいし、S I率= m_2 / m_1 としてもよい。

【0151】

(負荷方向に対するエンジンの運転制御)

エンジン1は、前述したように、運転状態に応じてS I燃焼とS P C C I燃焼とを切り替える。エンジン1はまた、エンジン1の運転状態に応じてS I率を変更する。これにより、エンジン1は、燃焼騒音の発生を抑制することと、燃費の向上を図ることが両立する。

10

【0152】

図9は、エンジン1の負荷の高低に対する、S I率の変化、燃焼室17の中の状態量の変化、吸気弁21の開弁期間及び排気弁22の開弁期間の変化、並びに、燃料の噴射タイミング及び点火タイミングの変化を例示している。図9は、図7Aの運転領域マップ700に対応する。以下、所定の回転数で、エンジン1の負荷が次第に高くなる想定において、エンジン1の運転制御を説明する。

【0153】

(低負荷領域(低負荷S I燃焼))

低負荷領域(A)において、エンジン1は、低負荷S I燃焼を行う。エンジン1の運転状態が低負荷領域(A)にあるときに、S I率は100%で一定である。

20

【0154】

低負荷領域(A)においては、前述したように、混合気のG/Fを、18~30の間で一定にする。エンジン1は、燃焼室17の中に、燃料量に応じた量の新気及び既燃ガスを導入する。新気の導入量は、前述したように、スロットリング、及び/又は、ミラーサイクルによって調整する。希釈率が高いために、S I燃焼を安定化させるために、燃焼室17の中の温度を高める。エンジン1は、低負荷領域(A)においては、内部EGRガスを、燃焼室17の中に導入する。

【0155】

内部EGRガスは、排気上死点を挟んで吸気弁21及び排気弁22が共に閉弁したネガティブオーバーラップ期間を設けることによって、燃焼室17の中に導入する(つまり、既燃ガスを燃焼室17の中に閉じ込める)。内部EGRガス量の調整は、吸気電動S-VT23により吸気弁21の開弁時期を調整することと、排気電動S-VT24により排気弁22の開弁時期を調整することと、によって、ネガティブオーバーラップ期間の長さを適宜設定することにより行う。尚、吸気弁21及び排気弁22を共に開弁するポジティブオーバーラップ期間を設けることによって、内部EGRガスを燃焼室17の中に導入するようにしてもよい。

30

【0156】

低負荷領域(A)においては、燃焼室17の中に導入する充填量が100%未満に調整される。燃料量が増大するに従い、燃焼室17の中に導入する新気量、及び、内部EGRガスの量が次第に増える。低負荷領域(A)におけるEGR率は、例えば40%である。

40

【0157】

インジェクタ6は、吸気行程中に、燃焼室17の中に燃料を噴射する。燃焼室17の中には、空気過剰率が 1.0 ± 0.2 でかつ、G/Fが18~30になった、均質な混合気が形成される。空気過剰率は、好ましくは、1.0~1.2である。圧縮上死点の前の所定のタイミングで、点火プラグ25が混合気に点火をすることによって、混合気は、自己着火に至らずに、火炎伝播により燃焼する。

【0158】

50

(第2中負荷領域(非過給SPCCI燃焼))

エンジン1の負荷が高くなって、運転状態が第2中負荷領域(B2)に入ると、エンジン1は、低負荷SI燃焼から非過給SPCCI燃焼に切り替える。SI率は、100%未満になる。エンジン1の負荷が高まるに従い燃料量が増える。第2中負荷領域(B2)の中において負荷が低いときには、燃料量の増大に従って、CI燃焼の割合を増やす。SI率は、エンジン1の負荷が高くなるに従って、次第に小さくなる。SI率は、図9の例では、50%以下の所定値(最小値)にまで減少する。

【0159】

燃料量が増えるため、第2中負荷領域(B2)においては、燃焼温度が高くなる。燃焼室17の中の温度が高くなりすぎると、CI燃焼が開始するときの熱発生が激しくなってしまう。そうなると、燃焼騒音が増大してしまう。

10

【0160】

そこで、第2中負荷領域(B2)においては、燃焼室17の中の圧縮開始前の温度を調整するために、エンジン1の負荷が変化することに対して、内部EGRガスと、外部EGRガスとの割合を変更する。つまり、エンジン1の負荷が高くなるに従い、熱い内部EGRガスを次第に減らし、冷却した外部EGRガスを次第に増やす。ネガティブオーバーラップ期間は、第2中負荷領域(B2)において、負荷が高くなるに従い、最大からゼロになるまで変更される。内部EGRガスは、第2中負荷領域(B2)において最も負荷が高くなるとゼロになる。尚、吸気弁21及び排気弁22のポジティブオーバーラップ期間を設ける場合も、同様である。オーバーラップ期間の調整によって、燃焼室17の中の温度を調整する結果、SPCCI燃焼のSI率を調整することができる。

20

【0161】

EGR弁54の開度は、第2中負荷領域(B2)において、負荷が高くなるに従い、外部EGRガスが増えるよう変更される。燃焼室17の中に導入される外部EGRガスの量は、EGR率で表すと、例えば0~30%の間において調整される。第2中負荷領域(B2)においては、エンジン1の負荷が高くなるに従い、EGRガスが、内部EGRガスから外部EGRガスへと置換される。EGR率の調整によっても、燃焼室17の中の温度が調整されるため、SPCCI燃焼のSI率を調整することができる。

【0162】

尚、低負荷領域(A)と第2中負荷領域(B2)との間で、燃焼室17の中に導入するEGRガス量は連続している。第2中負荷領域(B2)における負荷の低い領域においては、低負荷領域(A)と同じように、内部EGRガスが燃焼室17の中に、大量に導入されている。燃焼室17の中の温度が高くなるため、エンジン1の負荷が低いときに、混合気が確実に自己着火する。第2中負荷領域(B2)における負荷の高い領域においては、外部EGRガスが燃焼室17の中に導入されている。燃焼室17の中の温度が低くなるため、エンジン1の負荷が高いときに、CI燃焼に伴う燃焼騒音を抑制することができる。

30

【0163】

第2中負荷領域(B2)においては、燃焼室17の中に導入する充填量が100%にされる。スロットル弁43の開度は、全開である。内部EGRガスと外部EGRガスとを合わせたEGRガスを調整することによって、燃焼室17の中に導入する新気の量を、燃料量に対応する量に調整する。

40

【0164】

非過給SPCCI燃焼においてCI燃焼の割合が大きくなるに従い、自己着火のタイミングが早くなる。自己着火のタイミングが圧縮上死点よりも早くなると、CI燃焼が開始するときの熱発生が激しくなってしまう。そうなると、燃焼騒音が増大してしまう。そこで、エンジン1は、エンジン1の負荷が所定負荷L1に到達すれば、エンジン1の負荷が高まることに従い、SI率を次第に大きくする。

【0165】

つまり、エンジン1は、燃料量の増大に従ってSI燃焼の割合を増やす。具体的には、図10の上図に示すように、非過給SPCCI燃焼においては、燃料量が増えるに従い、

50

点火タイミングを次第に進角させる。前述したように、内部EGRガスの導入量を減らしかつ、外部EGRガスの導入量を増やすことによって、燃焼室17の中の温度の調整を行っているから、燃料量が増えるに従って、SI率を高くしたとしても、圧縮上死点での温度上昇を抑制することが可能になる。SI燃焼の熱発生率の傾きは、負荷が高くなっても、ほとんど変わらない。点火タイミングを進角すると、SI燃焼の開始が早まる分、SI燃焼の熱発生量が増える。

【0166】

SI燃焼による燃焼室17の中の温度上昇が抑制される結果、未燃混合気は、圧縮上死点以降のタイミングで自己着火する。CI燃焼による熱発生は、SI燃焼の熱発生量が増えているから、エンジン1の負荷が高くなっても、ほぼ同じになる。従って、エンジン1の負荷が高くなることに応じて、SI率を次第に高く設定することにより、燃焼騒音が増大してしまうことを回避することができる。尚、非過給SPCCI燃焼の燃焼重心は、負荷が高くなるほど遅角する。

10

【0167】

第2中負荷領域(B2)において、インジェクタ6は、前段噴射と後段噴射との2回に分けて、燃焼室17の中に燃料を噴射する。前段噴射は、点火タイミングから離れたタイミングで燃料を噴射し、後段噴射は、点火タイミングに近いタイミングで燃料を噴射する。前段噴射は、例えば吸気行程から圧縮行程の前半の期間内に行い、後段噴射は、例えば圧縮行程の後半から膨張行程の前半の期間内に行ってもよい。圧縮行程の前半及び後半はそれぞれ、圧縮行程をクランク角度に関して二等分したときの前半及び後半とすればよい。膨張行程の前半は、膨張行程をクランク角度に関して二等分したときの前半とすればよい。

20

【0168】

インジェクタ6が、吸気行程から圧縮行程の前半の期間内において前段噴射を行うと、ピストン3が上死点から離れているため、噴射した燃料噴霧は、上死点に向かって上昇しているピストン3の上面の、キャビティ31の外に到達する。キャビティ31の外の領域は、図2に示すようにスキッシュエリア171を形成している。前段噴射によって噴射された燃料は、ピストン3が上昇する間にスキッシュエリア171に留まり、スキッシュエリア171において混合気を形成する。この混合気は、主にCI燃焼によって燃焼する。

【0169】

インジェクタ6が、圧縮行程の後半から膨張行程の前半の期間内において後段噴射を行うと、ピストン3が上死点に近いいため、噴射した燃料噴霧は、キャビティ31の中に入る。後段噴射によって噴射された燃料は、キャビティ31の内の領域において混合気を形成する。ここで、「キャビティ31の内の領域」とは、キャビティ31の開口を燃焼室17のルーフに投影した投影面からキャビティ31の開口までの領域と、キャビティ31の中の領域とを合わせた領域を意味する、としてもよい。キャビティ31の内の領域は、燃焼室17の中においてスキッシュエリア171以外の領域ということもできる。前段噴射と後段噴射とによって、燃料は燃焼室17の全体に略均等に分布する。

30

【0170】

後段噴射によってキャビティ31の中に燃料を噴射することに伴い、キャビティ31の内の領域において、ガスの流動が発生する。燃焼室17の中の乱流エネルギーは、点火タイミングまでの時間が長いと、圧縮行程の進行に従い減衰してしまう。ところが、後段噴射の噴射タイミングは、前段噴射よりも点火タイミングに近いいため、キャビティ31の中の乱流エネルギーが高い状態のまま、点火プラグ25は、キャビティ31の内の領域の混合気に点火することができる。これにより、SI燃焼の燃焼速度が高まる。SI燃焼の燃焼速度が高まるとSI燃焼が安定化するから、SI燃焼によるCI燃焼のコントロール性は高まる。

40

【0171】

燃焼室17の全体において、混合気は、空気過剰率が 1.0 ± 0.2 でかつ、G/Fが18~30になる。燃料が略均質に分布するため、未燃損失の低減による燃費の向上、

50

及び、スモークの発生回避による排出ガス性能の向上を図ることができる。尚、燃焼室 17 の全体において、空気過剰率は、好ましくは、1.0 ~ 1.2 である。

【0172】

圧縮上死点の前の所定のタイミングで、点火プラグ 25 が混合気に点火をすることによって、混合気は、火炎伝播により燃焼する。その後、未燃混合気が、目標タイミングで自己着火して、C I 燃焼する。後段噴射によって噴射された燃料は、主に S I 燃焼する。前段噴射によって噴射された燃料は、主に C I 燃焼する。前段噴射を圧縮行程中に行うため、前段噴射により噴射した燃料が過早着火等の異常燃焼を誘発することを防止することができる。また、後段噴射により噴射した燃料を、安定的に火炎伝播により燃焼させることができる。

10

【0173】

(第1中負荷領域(過給SPCCI燃焼))

エンジン1の負荷がさらに高まり、エンジン1の運転状態が第1中負荷領域(B1)に入ると、過給機44が、新気及び外部EGRガスの過給を行う。燃焼室17の中に導入する新気の量、及び、外部EGRガスの量は共に、エンジン1の負荷が高くなるに従い増える。燃焼室17の中に導入される外部EGRガスの量は、EGR率で表すと、例えば30%である。EGR率は、エンジン1の負荷の高低に関わらず略一定である。従って、混合気のG/Fも、エンジン1の負荷の高低に関わらず略一定である。尚、第2中負荷領域(B2)と第1中負荷領域(B1)との間で、燃焼室17の中に導入するEGRガス量は連続している。

20

【0174】

S I率は、100%未満の所定値で、エンジン1の負荷の高低に対して一定又は略一定にする。第2中負荷領域(B2)のS I率、特に所定負荷L1よりも負荷が高く、エンジン1の負荷が高まることに従い次第に大きくなるS I率と、第1中負荷領域(B1)のS I率とを比較したときに、エンジン1の負荷が高い第1中負荷領域(B1)のS I率の方が、第2中負荷領域(B2)のS I率よりも高い。第1中負荷領域(B1)と第2中負荷領域(B2)との境界において、S I率は連続している。

【0175】

ここで、第1中負荷領域において、エンジン1の負荷が変化することに対して、S I率を多少変化させてもよい。第1中負荷領域における、エンジン1の負荷の変化に対するS I率の変化率は、第2中負荷領域の高負荷側におけるS I率の変化率よりも小にすればよい。

30

【0176】

図10の下図に示すように、過給SPCCI燃焼においても、燃料量が増えることに伴い、点火タイミングを次第に進角させる。前述したように、過給によって燃焼室17の中に導入する新気及びEGRガス量を増やしているため、熱容量が大きい。燃料量が増えても、S I燃焼による燃焼室17の中の温度上昇を抑制することが可能になる。過給SPCCI燃焼の熱発生率の波形は、負荷が高くなるに従い、相似形で大きくなる。

【0177】

つまり、S I燃焼の熱発生率の傾きが、ほとんど変わらずに、S I燃焼の熱発生量が増える。圧縮上死点以降の、ほぼ同じタイミングで、未燃混合気が自己着火をする。C I燃焼による熱発生量は、エンジン1の負荷が高くなると、多くなる。その結果、第1中負荷領域(B1)においては、S I燃焼の熱発生量とC I燃焼の熱発生量とが共に増えるから、エンジン1の負荷の高低に対してS I率が一定になる。C I燃焼の熱発生量のピークが高くなると、燃焼騒音が大きくなるが、第1中負荷領域(B1)は、エンジン1の負荷が比較的高いため、ある程度の大きさの燃焼騒音は許容することができる。尚、過給SPCCI燃焼の燃焼重心は、負荷が高くなるほど遅角する。

40

【0178】

第1中負荷領域(B1)においては、排気上死点を挟んで、吸気弁21と排気弁22とが共に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17の中に残留する既燃

50

ガスを、過給圧によって掃気する。これにより、燃焼室17の中の温度が低くなるため、エンジン1の負荷が比較的高いときに、異常燃焼が発生してしまうことを抑制することができる。また、燃焼室17の中の温度を下げることによって、エンジン1の負荷が比較的高い領域において、自己着火のタイミングを適切なタイミングにすることができ、S I 率を所定のS I 率に維持することが可能になる。つまり、オーバーラップ期間の調整によってS I 率を調整することができる。さらに、既燃ガスを掃気することによって、燃焼室17の中の新気の充填量を高めることができる。

【0179】

第1中負荷領域(B1)において、インジェクタ6は、第2中負荷領域(B2)と同様に、前段噴射と後段噴射との2回に分けて、燃焼室17の中に燃料を噴射する。前段噴射は、点火タイミングから離れたタイミングで燃料を噴射し、後段噴射は、点火タイミングに近いタイミングで燃料を噴射する。前段噴射は、例えば吸気行程から圧縮行程の前半の期間内に行い、後段噴射は、例えば圧縮行程の後半から膨張行程の前半の期間内に行ってもよい。

10

【0180】

インジェクタ6が、吸気行程から圧縮行程の前半の期間内において前段噴射を行うと、スキッシュエリア171において混合気が形成される。インジェクタ6が、圧縮行程の後半から膨張行程の前半の期間内において後段噴射を行うと、キャピティ31の内において混合気が形成される。

【0181】

20

インジェクタ6が前段噴射と後段噴射とを行うことによって、燃焼室17の中には、全体として、空気過剰率が 1.0 ± 0.2 でかつ、G/Fが18~30になった、略均質な混合気が形成される。混合気が略均質であるため、未燃損失の低減による燃費の向上、及び、スモークの発生回避による排出ガス性能の向上を図ることができる。尚、燃焼室17の全体において空気過剰率は、好ましくは、1.0~1.2である。

【0182】

圧縮上死点の前の所定のタイミングで、点火プラグ25が混合気に点火をすることによって、混合気は、火炎伝播により燃焼する。その後、未燃混合気が、目標タイミングで自己着火して、C I 燃焼する。後段噴射によって噴射された燃料は、主にS I 燃焼する。前段噴射によって噴射された燃料は、主にC I 燃焼する。前段噴射を圧縮行程中に行うため、前段噴射により噴射した燃料が過早着火等の異常燃焼を誘発することを防止することができる。また、後段噴射により噴射した燃料を、安定的に火炎伝播により燃焼させることができる。

30

【0183】

(高負荷領域(高負荷S I 燃焼))

エンジン1の負荷がさらに高まり、エンジン1の運転状態が高負荷領域(C)に入ると、エンジン1は、高負荷S I 燃焼を行う。従って、高負荷領域(C)においてS I 率は、100%になる。

【0184】

スロットル弁43は、全開である。過給機44は、高負荷領域(C)においても、新気及び外部EGRガスの過給を行う。EGR弁54は、開度を調整することによって、エンジン1の負荷が高くなるに従い、外部EGRガスの導入量を次第に減少させる。そうすることによって、燃焼室17の中に導入される新気が、エンジン1の負荷が高くなると増える。新気が増えると、燃料量を増やすことができるため、エンジン1の最高出力を高くする上で、有利になる。尚、第1中負荷領域(B1)と高負荷領域(C)の間で、燃焼室17の中に導入するEGRガス量は連続している。

40

【0185】

高負荷領域(C)においても、第1中負荷領域(B1)と同様に、排気上死点を挟んで、吸気弁21と排気弁22とが共に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17の中に残留する既燃ガスを、過給圧によって掃気する。これにより、異常燃焼の

50

発生が抑制される。また、燃焼室 17 の中の新気の充填量を高めることができる。

【 0 1 8 6 】

高負荷領域 (C) の低回転側の領域 (つまり、第 1 高負荷領域 (C 1)) において、インジェクタ 6 は、前述したように、リタード期間内に、燃焼室 17 の中に燃料を噴射する。高負荷領域 (C) の高回転側の領域 (つまり、第 2 高負荷領域 (C 2)) においては、インジェクタ 6 は、吸気行程中に、燃焼室 17 の中に燃料を噴射する。いずれにおいても、燃焼室 17 の中には、空気過剰率が 1.0 ± 0.2 であつ、 G/F が $18 \sim 30$ になった、略均質な混合気が形成される。最高負荷において、空気過剰率は、例えば 0.8 にしてもよい。また、混合気の G/F は、最高負荷において、例えば 17 としてもよい。圧縮上死点の前の所定のタイミングで、点火プラグ 25 が混合気に点火をすることによつて、混合気は、火炎伝播により燃焼する。高負荷領域 (C) においては、高圧リタード噴射、又は、吸気行程中の燃料噴射によつて、混合気は、自己着火に至らずに S I 燃焼する。

10

【 0 1 8 7 】

(回転方向に対するエンジンの運転制御)
(後段噴射率)

図 11 は、S P C C I 燃焼を行う中負荷領域 (B) において、エンジン 1 の回転数の高低と後段噴射率との関係を示している。後段噴射率は、前段噴射の噴射量に対する、後段噴射の噴射量の割合を示している。後段噴射率が高いほど、後段噴射の噴射量が増え、前段噴射の噴射量が減る。逆に、後段噴射率が低いほど、後段噴射の噴射量が減り、前段噴射の噴射量が増える。

20

【 0 1 8 8 】

エンジン 1 の回転数が低いときに、E C U 10 は、後段噴射率を、所定の低い噴射率に設定する。後段噴射は、前述したように、点火プラグ 25 の周囲の混合気を形成する。この混合気は、S P C C I 燃焼において、主に S I 燃焼によつて燃焼する火花点火用混合気である。後段噴射率が低いと、火花点火用混合気の燃料の濃度が低下するから、S P C C I 燃焼の S I 率は低くなり、C I 燃焼が多くなる。一般的に、エンジン 1 の回転数が低いときには、エンジン 1 の N V H が小さい。そのため、C I 燃焼によつて、燃焼騒音がある程度、大きくなつても、N V H は許容値を下回る。エンジン 1 の回転数が低いときに、後段噴射率を低くしかつ、十分に C I 燃焼を行うことによつて、燃費の向上を図ることができる。

30

【 0 1 8 9 】

エンジン 1 の回転数が高くなると、エンジン 1 の N V H が大きくなる。その上、C I 燃焼による燃焼騒音が加わると、N V H が許容値を上回る恐れがある。そこで、E C U 10 は、エンジン 1 の回転数が高くなると、S P C C I 燃焼の S I 率を高くする。具体的に E C U 10 は、図 14 に示すように、エンジン 1 の回転数が高くなるに従い、S I 率を線形的に高くする。図 7 A に示すように、回転数 N 2 は、S P C C I 燃焼を行う中負荷領域 (B) と S I 燃焼を行う高回転領域 (D) との境界に相当する。S I 率は、回転数 N 2 において、 100% である。

【 0 1 9 0 】

エンジン 1 の回転数の変化に対して S I 率を変更するために、E C U 10 は、図 11 の上図の波形 111 に示すように、エンジン 1 の回転数の変化に対して、後段噴射率を変更する。具体的に、E C U 10 は、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N 3 を超えると、エンジン 1 の回転数が高くなるに従い、後段噴射率を高くする。所定回転数 N 3 は、中負荷領域 (B) の最低回転数 N 1 と最高回転数 N 2 との間の回転数である。所定回転数 N 3 は、中負荷領域 (B) において、最低回転数 N 1 と最高回転数 N 2 との中央 ($(N1 + N2) / 2$) 以上の回転数としてもよい。また、所定回転数 N 3 は、図 7 A に示すエンジン 1 の運転領域の全体において、最低回転数と最高回転数との中央以上の回転としてもよい。つまり、エンジン 1 の運転領域を、低回転領域と高回転領域とに、二等分したときの高回転領域内において、所定回転数 N 3 を適宜設定してもよい。

40

50

【 0 1 9 1 】

波形 1 1 1 の例では、E C U 1 0 は、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N 3 を超えると、回転数が高くなるに従い、後段噴射率を、所定の変化率で連続的に高くしている。これとは異なり、E C U 1 0 は、エンジン 1 の回転数が高くなるに従い、後段噴射率を段階的に（つまり、不連続的に）高くしてもよい。後段噴射率を高くすることによって、点火プラグ 2 5 の周囲に形成される火花点火用混合気の燃料の濃度が高くなる。その結果、S I 燃焼が急速になるから、S P C C I 燃焼における S I 率が高くなる。S I 率が高くなると、C I 燃焼が減るから、S P C C I 燃焼により発生する燃焼騒音を抑制することができる。エンジン 1 の回転数が高い時に、N V H を許容値以下に抑えることができる。

【 0 1 9 2 】

このように、E C U 1 0 は、エンジン 1 が中負荷領域（B）において運転しているときに、エンジン 1 の回転数が変化することに応じて、後段噴射率が所定の変化率で変化するように、インジェクタ 6 に制御信号を出力する。より詳細に、E C U 1 0 は、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N 3 よりも高いときの変化率（つまり、図 1 1 の上図におけるグラフの傾き）を、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N 3 以下の変化率（つまり、図 1 1 の上図の例では、グラフの傾きがゼロ）よりも高くする。

【 0 1 9 3 】

尚、図示は省略するが、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N 3 以下のときに、後段噴射量の変化率をゼロにするのではなく、エンジン 1 の回転数が高くなるに従い、後段噴射率が増えるようにしてもよい。この場合において、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N 3 以下のときの変化率は、所定回転数 N 3 を超えるときの変化率よりも小さくしてもよい。

【 0 1 9 4 】

図 1 0 の上図に示すように、後段噴射率には上限値が定められている。E C U 1 0 は、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N 4 を超えると、後段噴射率を上限値にする。所定回転数 N 4 は、図 7 A に示す、中負荷領域（B）の最高回転数 N 2 よりも低い回転数である。後段噴射は、燃料を噴射するクランク角タイミングが遅いため、噴射した燃料が可燃混合気を形成するまでの期間が短い。また、エンジン 1 の回転数が高くなるほど、クランク角度が同一角度だけ変化するときの時間が短い。従って、エンジン 1 の回転数が高くなるほど、後段噴射が燃料を噴射してから点火までの時間が短くなる。

【 0 1 9 5 】

前述の通り、エンジン 1 の回転数が高くなるに従い後段噴射率を高くすると、短い時間で大量の燃料が気化して混合気を形成しなければならなくなるが、実際は、S P C C I 燃焼における S I 燃焼によって燃焼しない燃料が増えてしまい、多くの燃料が C I 燃焼をすることによって、燃焼騒音が増大してしまう恐れがある。

【 0 1 9 6 】

そこで、エンジン 1 の回転数が高くなるに従い後段噴射率を高くする構成において、エンジン 1 の回転数が、所定回転数 N 4 を超えるときには、後段噴射の噴射量が所定量を超えないように制限する。E C U 1 0 は、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N 4 を超えると、後段噴射の噴射量を所定量で一定にする。これにより、S I 燃焼によって燃焼しない燃料が増えることが防止され、C I 燃焼によって燃焼騒音が増大してしまうことを回避することができる。

【 0 1 9 7 】

後段噴射率を上限値において制限すると、S P C C I 燃焼の S I 率が高くないため、後段噴射の噴射量を増やすことに起因する燃焼騒音の抑制効果が制限されてしまう。そこで、このエンジン 1 は、後段噴射率が上限値に制限されると、別の手段を利用することによって S I 率を高めるよう構成されている。具体的に、E C U 1 0 は、スワールコントロール弁 5 6 を制御することによって、吸気流動を強くする。吸気流動を強くすると、S I 燃焼が急速になるため S I 率が高くなる。その結果、S P C C I 燃焼の燃焼騒音を抑制することができる。

【 0 1 9 8 】

図13の上図の波形131は、エンジン1の回転数とスワールコントロール弁56の開度との関係を示している。エンジン1の回転数が所定回転数N4に到達し、後段噴射率が上限値に制限されると、ECU100は、スワールコントロール弁56の開度を、全開から閉じ側に変更する。これにより、燃焼室17の中のスワール流れが強くなる。ECU100は、エンジン1の回転数が高くなるに従い、スワールコントロール弁56の開度を線形的に変更する。エンジン1の回転数が高くなるに従い、スワール流れが強くなるから、S I 燃焼がより一層急速になる。S P C C I 燃焼の燃焼騒音を抑制することができる。その結果、エンジン1の回転数が高いときに、N V H を許容値以下に抑えることが可能になる。

【0199】

このエンジン1は、エンジン1の回転方向に対してS I 率を調整することによって、N V H を許容値以下に抑えることができるから、S P C C I 燃焼を行う領域が、高回転側に拡大する。よって、このエンジン1は、燃費性能に優れる。

【0200】

エンジン1の負荷が高いときには、燃焼室17の中の温度が相対的に高くなるため、負荷が低いときよりも、S P C C I 燃焼におけるS I 燃焼は急速になる。S I 率は、エンジン1の負荷が高いときには、エンジン1の負荷が低いときよりも高くなる。従って、図14に一点鎖線で示すように、エンジン1の回転数とS I 率との関係を示す直線は、エンジン1の負荷が高いときに、低いときよりも傾きが緩くなる。

【0201】

エンジン1の負荷が高いことに起因してS I 率が高くなると、燃焼騒音が抑制されるから、後段噴射率を増やしてS I 率を高くしなくてもよい。そこで、ECU100は、図11の上図に一点鎖線で例示するように、後段噴射率の増大を開始する回転数N3を、高回転側にずらしてもよい。こうすることで、低い後段噴射率を維持する範囲が、高回転側に広がる。前述したように、後段噴射率が低いと、S P C C I 燃焼におけるC I 燃焼が増えるから、燃費の向上に有利になる。

【0202】

尚、図11の上図の例とは異なり、図11の下図の波形112に一点鎖線で示すように、ECU100は、エンジン1の回転数と後段噴射率との関係を示す直線の傾きを、エンジン1の負荷が高くなると、負荷が低いときよりも緩やかにしてもよい。

【0203】

(燃料噴射タイミング)

図12の上図の波形121は、S P C C I 燃焼を行う中負荷領域(B)において、エンジン1の回転数の高低と後段噴射の噴射タイミングとの関係を示している。尚、図12には示していないが、前段噴射の噴射タイミングは、エンジン1の回転数の高低にかかわらず、所定の時期のまま変わらない。

【0204】

エンジン1の回転数が低いときに、ECU100は、後段噴射の噴射タイミングを、所定の遅角側の時期に設定する。後段噴射の時期を遅らせると、燃焼室17の中のガスの流動が強い状態で、混合気に点火をすることができる。S I 燃焼が急速になって、自己着火の時期を精度よくコントロールすることができる。

【0205】

エンジン1の回転数が高くなると、後段噴射によって燃焼室17の中に燃料を噴射してから、点火までの間の気化時間が短くなる。S P C C I 燃焼においてS I 燃焼により燃焼しない混合気が増えてS I 率が低下する。その結果、S P C C I 燃焼におけるC I 燃焼が多くなって、S P C C I 燃焼の燃焼騒音が大きくなる。燃焼騒音が大きくなると、N V H が許容値を上回る恐れがある。

【0206】

そこで、ECU100は、波形121に示すように、エンジン1の回転数が所定回転数N3を超えると、エンジン1の回転数が高くなるに従い、後段噴射の噴射タイミングを、所

10

20

30

40

50

定の変化率で進角する。所定回転数 N_3 は、図 1 1 に示す所定回転数 N_3 と同じである。

【 0 2 0 7 】

ECU 10 は、エンジン 1 の回転数が高くなるに従い、後段噴射の噴射タイミングを、連続的に進角する。これとは異なり、ECU 10 は、エンジン 1 の回転数が高くなるに従い、後段噴射の噴射タイミングを、段階的に（つまり、不連続的に）進角してもよい。後段噴射の噴射タイミングを進角することによって、酸化時間を長くすることができる。その結果、SI 燃焼時において燃焼しない混合気が減るから、SPCCI 燃焼の SI 率が高くなる。SI 率は、図 1 4 に示すように、エンジン 1 の回転数が高くなるに従い、線形的に高くなる。SI 率を高くすることによって、SPCCI 燃焼の燃焼騒音が低く抑えられるため、エンジン 1 の回転数が高い時に、NVH を許容値以下に抑えることができる。

10

【 0 2 0 8 】

このように、ECU 10 は、エンジン 1 が中負荷領域（B）において運転しているときに、エンジン 1 の回転数が変化することに応じて、後段噴射の噴射タイミングが所定の変化率で変化するように、インジェクタ 6 に制御信号を出力する。より詳細に、ECU 10 は、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N_3 よりも高いときの変化率（つまり、図 1 2 の上図におけるグラフの傾き）を、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N_3 以下の変化率（つまり、図 1 2 の上図の例では、グラフの傾きがゼロ）よりも高くする。

【 0 2 0 9 】

尚、図示は省略するが、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N_3 以下のときに、後段噴射の噴射タイミングの変化率をゼロにするのではなく、エンジン 1 の回転数が高くなるに従い、後段噴射の噴射タイミングが進角するようにしてもよい。この場合において、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N_3 以下のときの変化率は、所定回転数 N_3 を超えるときの変化率よりも小さくしてもよい。

20

【 0 2 1 0 】

図 1 2 の上図に示すように、後段噴射の噴射タイミングにも、限界値が定められている。後段噴射の噴射タイミングが早すぎると、点火タイミングにおける燃焼室 17 の中の流動が弱くなってしまい、SI 燃焼が緩慢になる。SI 燃焼が緩慢になると、前述したように、自己着火の時期を精度よくコントロールすることができなくなる。

【 0 2 1 1 】

そこで、ECU 10 は、予め定めた進角限界を超えないよう、インジェクタ 6 に制御信号を出力する。エンジン 1 の回転数が高くなるに従い後段噴射の噴射率を線形的に進角するため、エンジン 1 の回転数が所定回転数 N_4 を超えると、ECU 10 は、後段噴射の噴射タイミングが進角限界になるよう、インジェクタ 6 に制御信号を出力する。これにより、SI 燃焼が緩慢になることが回避され、SPCCI 燃焼における自己着火の時期のコントロール性が低下してしまうことが防止される。

30

【 0 2 1 2 】

エンジン 1 の負荷が高いことに起因して SI 率が高くなると、燃焼騒音が抑制されるから、後段噴射の噴射タイミングを進角して SI 率を高くしなくてもよい。そこで、ECU 10 は、波形 1 2 1 に一点鎖線で例示するように、噴射タイミングの進角を開始する回転数 N_3 を、高回転側にずらしてもよい。こうすることで、後段噴射の噴射タイミングが遅い範囲が、高回転側に広がる。前述したように、後段噴射が遅いと、SPCCI 燃焼における SI 燃焼が急速になるから、自己着火の時期のコントロール性が向上する。

40

【 0 2 1 3 】

尚、波形 1 2 1 の例とは異なり、図 1 2 の下図の波形 1 2 2 に一点鎖線で示すように、ECU 10 は、エンジン 1 の回転数と後段噴射の噴射タイミングとの関係を示す直線の傾きを緩やかにしてもよい。

【 0 2 1 4 】

また、ECU 10 は、エンジン 1 の回転数が変化することに対して、後段噴射率、及び、後段噴射の噴射タイミングの両方を変更している。ECU 10 は、エンジン 1 の回転数が変化することに対して、後段噴射の噴射率のみを変更するようにしてもよい。

50

【 0 2 1 5 】

(S I 率の調整)

図 1 5 は、 E C U 1 0 が実行するエンジンの運転制御に係るフローを示している。 E C U 1 0 は、各センサ S W 1 ~ S W 1 6 の検知信号に基づいて、エンジン 1 の運転状態を判断すると共に、燃焼室 1 7 の中の燃焼が、運転状態に応じた S I 率の燃焼となるよう、燃焼室 1 7 の中の状態量の調整、噴射量の調整、噴射タイミングの調整、及び、点火タイミングの調整を行う。 E C U 1 0 はまた、各センサの検知信号に基づいて、 S I 率の調整が必要と判断したときに、 S I 率の調整を行う。

【 0 2 1 6 】

E C U はまず、ステップ S 1 において、各センサ S W 1 ~ S W 1 6 の検知信号を読み込む。次いで、 E C U 1 0 は、ステップ S 2 において、検知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 S I 率を設定する。目標 S I 率は、図 9 又は図 1 4 に示した通りである。

【 0 2 1 7 】

E C U 1 0 は、続くステップ S 3 において、予め設定している燃焼モデルに基づいて、設定した目標 S I 率を実現するための目標筒内状態量を設定する。具体的には、燃焼室 1 7 の中の目標温度及び目標圧力、並びに、目標状態量を設定する。 E C U 1 0 は、ステップ S 4 において、目標筒内状態量を実現するために必要な、 E G R 弁 5 4 の開度、スロットル弁 4 3 の開度、エアバイパス弁 4 8 の開度、スワールコントロール弁 5 6 の開度、並びに、吸気電動 S - V T 2 3 及び排気電動 S - V T 2 4 の位相角を設定する。 E C U 1 0 は、これらのデバイスの制御量を、予め設定しかつ、 E C U 1 0 に記憶しているマップに基づいて設定する。 E C U 1 0 は、設定した制御量に基づいて、 E G R 弁 5 4、スロットル弁 4 3、エアバイパス弁 4 8、スワールコントロール弁 5 6、並びに、吸気電動 S - V T 2 3 及び排気電動 S - V T 2 4 に制御信号を出力する。 E C U 1 0 の制御信号に基づいて各デバイスが動作をすることによって、燃焼室 1 7 の中の状態量が目標状態量になる。

【 0 2 1 8 】

E C U 1 0 はさらに、設定した各デバイスの制御量に基づいて、燃焼室 1 7 の中の状態量の予測値、及び、推定値をそれぞれ算出する。状態量予測値は、吸気弁 2 1 が閉弁する前の燃焼室 1 7 の中の状態量を予測した値であり、後述するように、吸気行程における燃料の噴射量の設定に用いる。状態量推定値は、吸気弁 2 1 が閉弁した後の燃焼室 1 7 の中の状態量を推定した値であり、後述するように、圧縮行程における燃料の噴射量の設定、及び、点火タイミングの設定に用いる。状態量推定値はまた、後述するように、実際の燃焼状態との比較による状態量誤差の計算にも用いる。

【 0 2 1 9 】

E C U 1 0 は、ステップ S 5 において、状態量予測値に基づいて、吸気行程中における燃料の噴射量を設定する。尚、吸気行程中に燃料の噴射を行わないときは、燃料の噴射量はゼロである。ステップ S 6 において、 E C U 1 0 はインジェクタ 6 の噴射を制御する。つまり、所定の噴射タイミングで、燃焼室 1 7 の中に燃料を噴射するよう、インジェクタ 6 に制御信号を出力する。

【 0 2 2 0 】

E C U 1 0 は、ステップ S 7 において、状態量推定値と、吸気行程中の燃料の噴射結果と、に基づいて、圧縮行程中における燃料の噴射量を設定する。尚、圧縮行程中に燃料の噴射を行わないときは、燃料の噴射量はゼロである。圧縮行程中に分割噴射を行うときには、前段噴射の噴射量及び後段噴射の噴射量をそれぞれ設定する。 E C U 1 0 は、ステップ S 8 において、予め設定されているマップに基づく噴射タイミングで、燃焼室 1 7 の中に燃料を噴射するよう、インジェクタ 6 に制御信号を出力する。

【 0 2 2 1 】

E C U 1 0 は、ステップ S 9 において、状態量推定値と、圧縮行程中の燃料の噴射結果と、に基づいて、点火タイミングを設定する。 E C U 1 0 は、ステップ S 1 0 において、設定した点火タイミングで、燃焼室 1 7 の中の混合気に点火をするよう、点火プラグ 2 5

10

20

30

40

50

に制御信号を出力する。

【 0 2 2 2 】

点火プラグ 2 5 が混合気に点火をすることにより、燃焼室 1 7 の中で S I 燃焼又は S P C C I 燃焼が行われる。ステップ S 1 1 において、E C U 1 0 は、指圧センサ S W 6 が検知した燃焼室 1 7 の中の圧力の変化を読み込み、それに基づいて、燃焼室 1 7 の中の混合気の燃焼状態を判断する。E C U 1 0 はまた、ステップ S 1 2 において、燃焼状態の検出結果と、ステップ S 4 において推定をした状態量推定値とを比較し、状態量推定値と、実際の状態量との誤差を計算する。計算した誤差は、今回以降のサイクルにおいて、ステップ S 4 の推定に利用される。E C U 1 0 は、状態量誤差が無くなるように、スロットル弁 4 3、E G R 弁 5 4、スワールコントロール弁 5 6、及びノ又は、エアバイパス弁 4 8 の開度、並びに、吸気電動 S - V T 2 3 及び排気電動 S - V T 2 4 の位相角を調整する。それによって、燃焼室 1 7 に導入される新気及び E G R ガス量が調整される。この状態量誤差のフィードバックは、E C U 1 0 が、目標 S I 率と実際の S I 率との誤差に基づいて、S I 率の調整が必要と判断したときに、S I 率を調整することに相当する。

10

【 0 2 2 3 】

E C U 1 0 はまた、ステップ S 8 において、状態量推定値に基づき燃焼室 1 7 の中の温度が目標温度よりも低くなると予想したときには、点火タイミングを進角することが可能になるよう、圧縮行程中の噴射タイミングを、マップに基づく噴射タイミングよりも進角させる。一方、E C U 1 0 は、ステップ S 8 において、状態量推定値に基づき燃焼室 1 7 の中の温度が目標温度よりも高くなると予想したときには、点火タイミングを遅角することが可能になるよう、圧縮行程中の噴射タイミングを、マップに基づく噴射タイミングよりも遅角させる。

20

【 0 2 2 4 】

つまり、図 1 6 の P 2 に示すように、燃焼室 1 7 の中の温度が低いと、火花点火によって S I 燃焼が開始した後、未燃混合気が自己着火するタイミング c_I が遅れてしまい、S I 率が、目標の S I 率 (P 1 参照) からずれてしまう。この場合、未燃燃料の増大や、排出ガス性能の低下を招く。

【 0 2 2 5 】

そこで、燃焼室 1 7 の中の温度が目標温度よりも低くなると予想したときには、E C U 1 0 は、噴射タイミングを進角すると共に、図 1 5 のステップ S 1 0 において、点火タイミング I_G を進角する。図 1 6 の P 3 に示すように、S I 燃焼の開始が早まることによって S I 燃焼により十分な熱発生が可能になるから、燃焼室 1 7 の中の温度が低いときに、未燃混合気の自己着火のタイミング c_I が遅れることを防止することができる。その結果、S I 率は、目標の S I 率に近づく。未燃燃料の増大や、排出ガス性能の低下が防止される。

30

【 0 2 2 6 】

また、図 1 6 の P 4 に示すように、燃焼室 1 7 の中の温度が高いと、火花点火によって S I 燃焼が開始して直ぐに、未燃混合気が自己着火してしまい、S I 率が、目標の S I 率 (P 1 参照) からずれてしまう。この場合、燃焼騒音が増大してしまう。

【 0 2 2 7 】

そこで、燃焼室 1 7 の中の温度が目標温度よりも高くなると予想したときには、E C U 1 0 は、噴射タイミングを遅角すると共に、図 1 5 のステップ S 1 0 において、点火タイミング I_G を遅角する。図 1 6 の P 5 に示すように、S I 燃焼の開始が遅くなるから、燃焼室 1 7 の中の温度が高いときに、未燃混合気の自己着火のタイミング c_I が早くなることを防止することができる。その結果、S I 率は、目標の S I 率に近づく。燃焼騒音が増大してしまうことが回避される。

40

【 0 2 2 8 】

これらの噴射タイミングの調整、及び、点火タイミングの調整は、E C U 1 0 が、S P C C I 燃焼における S I 率の調整が必要と判断したときに、S I 率を調整することに相当する。噴射タイミングを調整することによって、進角又は遅角される点火タイミングにお

50

いて、燃焼室 17 の中に適切な混合気を形成することができる。点火プラグ 25 は、確実に、混合気に点火することが可能になると共に、未燃混合気は、適切なタイミングで、自己着火することができる。

【0229】

尚、図 16 において、実際の燃焼状態に基づいて、スロットル弁 43、EGR 弁 54、エアバイパス弁 48、吸気電動 S-VT 23、排気電動 S-VT 24、及びスワールコントロール弁 56 の制御を通じて燃焼室 17 の中の状態量を調整する点は、図 15 のステップ S12 及びステップ S4 において説明した通りである。

【0230】

このエンジン 1 は、スロットル弁 43、EGR 弁 54、エアバイパス弁 48、吸気電動 S-VT 23、排気電動 S-VT 24、及びスワールコントロール弁 56 を含む状態量設定デバイスによって、SI 率を調整する。燃焼室 17 の中の状態量を調整することによって、SI 率の大まかな調整が可能である。それと共に、エンジン 1 は、燃料の噴射タイミング及び点火タイミングを調整することによって、SI 率を調整する。噴射タイミング及び点火タイミングの調整によって、例えば気筒間差の補正を行ったり、自己着火タイミングの微調整を行ったりすることができる。SI 率の調整を二段階に行うことによって、エンジン 1 は、運転状態に対応する狙いの SPCCI 燃焼を正確に実現することができる。

【0231】

(エンジンの運転領域マップの第 2 の構成例)

図 7B は、エンジン 1 の運転領域マップの第 2 の構成例を示している。運転領域マップ 701 は、負荷の高低に対し、三つの領域に分けられている。具体的に三つの領域は、アイドル運転を含む低負荷領域 (A)、全開負荷を含む高負荷領域 (C)、及び、低負荷領域 (A) と高負荷領域 (C) との間の中負荷領域 (B) である。運転領域マップ 701 の低負荷領域 (A) は、図 7A の運転領域マップ 700 の低負荷領域 (A) に対応し、運転領域マップ 701 の中負荷領域 (B) は、図 7A の運転領域マップ 700 の中負荷領域 (B) に対応し、運転領域マップ 701 の高負荷領域 (C) は、図 7A の運転領域マップ 700 の高負荷領域 (C) に対応する。中負荷領域 (B) は、負荷の高低の方向に、第 1 中負荷領域 (B1) と第 2 中負荷領域 (B2) とに分かれ、高負荷領域 (C) は、回転数の高低の方向に、第 1 高負荷領域 (C1) と第 2 高負荷領域 (C2) とに分かれる。

【0232】

図 7B の運転領域マップ 701 においては、運転領域マップ 700 の高回転領域 (D) がなく、低負荷領域 (A)、中負荷領域 (B) 及び高負荷領域 (C) はそれぞれ、エンジン 1 の最高回転数 N2 まで領域が拡大している。尚、図 7B の回転数 N1 は、SPCCI 燃焼を行う最低回転数の意味において、図 7A の回転数 N1 と対応し、図 7B の回転数 N2 は、SPCCI 燃焼を行う最高回転数の意味において、図 7A の回転数 N2 と対応する。

【0233】

図 7B の運転領域マップ 701 においても、図 9 ~ 10 を参照して説明したように、負荷方向に対する制御を行うと共に、図 11 ~ 14 を参照して説明したように、SPCCI 燃焼を行う中負荷領域 (B) において、回転数方向に対し、後段噴射率及び / 又は後段噴射時期を変更することにより、SPCCI 燃焼における SI 率を変更してもよい。

【0234】

(エンジンの運転領域マップの第 3 の構成例)

図 7C は、温間時における、エンジン 1 の運転領域マップの別の構成例を示している。エンジン 1 の運転領域マップ 702 は、負荷の高低及び回転数の高低に対し、五つの領域に分けられている。具体的に、五つの領域は、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 (1) - 1、低負荷領域よりも負荷が高くかつ、低回転及び中回転の領域に広がる中負荷領域 (1) - 2、中負荷領域 (1) - 2 よりも負荷が高い領域でかつ、全開負荷を含む高負荷領域の中回転領域 (2)、高負荷領域において中回転領域 (2) よりも回転数の低い低回転領域 (3)、及び、低負荷領域 (1) - 1、中負荷領

10

20

30

40

50

域(1)-2、高負荷中回転領域(2)、及び、高負荷低回転領域(3)よりも回転数の高い高回転領域(4)である。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、高回転領域とすればよい。図7Cの例では、回転数N5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N5は、例えば1200rpm程度、回転数N2は、例えば4000rpm程度としてもよい。尚、図7Cの回転数N2は、SPCCI燃焼を行う最高回転数の意味において、図7A及び図7Bの回転数N2と対応する。また、図7Cにおける二点鎖線は、エンジン1のロード-ロードライン(Road-Load Line)を示している。

10

【0235】

ここで、第3の構成例においては、エンジン1の幾何学的圧縮比を低めにしている。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。幾何学的圧縮比は、一例として、レギュラー仕様(燃料のオクタン価が91程度)においては、14~17とし、ハイオク仕様(燃料のオクタン価が96程度)においては、15~18としてもよい。

【0236】

幾何学的圧縮比を低めにする一方で、ピストン3が圧縮上死点に至った時の燃焼室17内の温度をある程度高くするために、第3の構成例においては、有効圧縮比を高くする。つまり、吸気弁21を閉じる閉弁時期を、吸気下死点に近づくように進角する。前述したように、吸気弁21及び排気弁22を共に閉弁するネガティブオーバーラップ期間を設けることによって、内部EGRガスを燃焼室17の中に導入しようとしても、有効圧縮比を高くするために、吸気弁21の開弁期間を進角側に設定しなければならないため、内部EGRガスの導入量を増やすことができない。そこで、第3の構成例においては、吸気弁21及び排気弁22を共に開弁するポジティブオーバーラップ期間を設けることによって、内部EGRガスを燃焼室17の中に導入する。これにより、有効圧縮比を高くすることと、内部EGRガスを燃焼室17の中に導入することとを両立させることができる。

20

【0237】

運転領域マップ702においては、燃費の向上及び排出ガス性能の向上を主目的として、低負荷領域(1)-1、中負荷領域(1)-2、及び、高負荷中回転領域(2)において、エンジン1は、圧縮自己着火による燃焼(つまり、SPCCI燃焼)を行う。エンジン1が低負荷で運転するとき、及び、エンジン1が高負荷で運転するときにも、SPCCI燃焼を行う点が、運転領域マップ700又は701と相違する。エンジン1はまた、その他の領域、具体的には、高負荷低回転領域(3)及び高回転領域(4)においては、火花点火による燃焼を行う。

30

【0238】

第3の構成例においては、少なくともSPCCI燃焼を行う領域において、スワールコントロール弁56の開度を閉じ側にすることにより、燃焼室17の中に、スワール流を形成している。

【0239】

本願発明者らの検討によると、燃焼室17内にスワール流を発生させると、ピストン3の頂面のキャピティ31内に溜まっていた残留ガス(つまり、既燃ガス)を、キャピティ31外に追い出すことができる。燃料を燃焼室17の全体に略均等に分布させていると、点火プラグ25の近傍の混合気のG/Fは、キャピティ31内に残留ガスがなくなる分、相対的に小さくなり、点火プラグ25から離れた周囲の混合気のG/Fは、残留ガスを含む分、相対的に大きくなる。燃焼室17内の混合気のG/Fを成層化することができる。

40

【0240】

SPCCI燃焼におけるSI燃焼は点火プラグ25によって点火される混合気の燃焼である。点火プラグ25の近傍の混合気は主に、SI燃焼により燃焼する。一方、SPCCI燃焼におけるCI燃焼は、SI燃焼が開始した後の、未燃混合気の自己着火による燃焼

50

である。点火プラグ 25 から離れた周囲の混合気は主に、C I 燃焼により燃焼する。

【0241】

燃焼室 17 内の G / F を成層化すると、S P C C I 燃焼を安定化させるための、燃焼室 17 全体におけるトータル G / F の上限値は、前述した 18 以上 30 以下の範囲よりも拡大する。本願発明者らの検討によれば、トータル G / F の範囲が 18 以上 50 以下であれば、S P C C I 燃焼を安定化させることができる。このときに、点火プラグ 25 の近傍の混合気の G / F の範囲は、14 以上 22 以下である。燃焼室 17 内の混合気の G / F を成層化することによって、S P C C I 燃焼を安定にしつつ、混合気をさらに希釈することが可能になるから、エンジンの燃費性能の向上に有利になる。

【0242】

以下、運転領域マップ 702 の各領域におけるエンジン 1 の運転について、図 17 に示す燃料噴射時期及び点火時期を参照しながら詳細に説明をする。尚、図 17 における符号 601、602、603、604、605 及び 606 はそれぞれ、図 7C の運転領域マップ 702 における符号 601、602、603、604、605 及び 606 によって示すエンジン 1 の運転状態に対応する。

【0243】

(低負荷領域(1) - 1)

エンジン 1 が低負荷領域(1) - 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。

【0244】

図 17 の符号 601 は、エンジン 1 が低負荷領域(1) - 1 において、符号 601 の運転状態にて運転しているときの燃料噴射時期(符号 6011、6012)及び点火時期(符号 6013)、並びに、燃焼波形(つまり、クランク角に対する熱発生率の変化を示す波形、符号 6014)それぞれの一例を示している。

【0245】

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 55 は、エンジン 1 が低負荷領域(1) - 1 において運転しているときに、燃焼室 17 の中に E G R ガスを導入する。具体的には、排気上死点付近において、吸気弁 21 及び排気弁 22 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ことにより、燃焼室 17 の中から吸気ポート 18 及び排気ポート 19 に排出した排気ガスの一部を、燃焼室 17 の中に再導入する。燃焼室 17 の中に熱い既燃ガスを導入するため、燃焼室 17 の中の温度を高くすることができ、S P C C I 燃焼の安定化に有利になる。

【0246】

エンジン 1 が低負荷領域(1) - 1 において運転しているときには、燃焼室 17 の中には、スワール流が形成される。スワール流は、燃焼室 17 の外周部において強く、中央部において弱くなる。スワールコントロール弁(S C V) 56 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 18 はタンブルポートであるため、燃焼室 17 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。

【0247】

エンジン 1 が低負荷領域(1) - 1 において運転するときに、混合気の空燃比(A / F)は、燃焼室 17 の全体において理論空燃比よりもリーンである。つまり、燃焼室 17 の全体において、混合気の空気過剰率は 1 を超える。より詳細に、燃焼室 17 の全体において混合気の A / F は 30 以上である。こうすることで、R a w N O x の発生を抑制することができ、排出ガス性能を向上させることができる。

【0248】

エンジン 1 が低負荷領域(1) - 1 において運転するときに、燃焼室 17 内の中央部と外周部との間において、混合気は成層化している。燃焼室 17 内の中央部は、点火プラグ 25 が配置されている部分であり、外周部は、中央部の周囲であって、シリンダ 11 のライナーに接する部分である。燃焼室 17 内の中央部は、スワール流が弱い部分、外周部は、スワール流が強い部分、と定義してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 2 4 9 】

中央部の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、20 以上 30 以下であり、外周部の混合気の A / F は、35 以上である。

【 0 2 5 0 】

エンジン 1 が低負荷領域 (1) - 1 において運転するとき、インジェクタ 6 は、基本的には、圧縮行程中において燃料を、複数回に分けて、燃焼室 17 の中に噴射する。燃料の分割噴射と、燃焼室 17 の中の強いスワール流と、によって、燃焼室 17 の中央部と外周部とにおいて、混合気が成層化する。

【 0 2 5 1 】

燃料噴射の終了後、圧縮上死点前の所定のタイミングで、点火プラグ 25 は、燃焼室 17 の中央部の混合気に点火をする (符号 6 0 1 3 参照)。中央部の混合気は燃料濃度が相対的に高いため、着火性が向上すると共に、火炎伝播による S I 燃焼が安定化する。S I 燃焼が安定化することによって、適切なタイミングで、C I 燃焼が開始する。S P C C I 燃焼において、C I 燃焼のコントロール性が向上する。その結果、エンジン 1 が低負荷領域 (1) - 1 において運転するとき、燃焼騒音の発生の抑制と、燃焼期間の短縮による燃費性能の向上とが両立する。

10

【 0 2 5 2 】

以上のように、低負荷領域 (1) - 1 においてエンジン 1 は、混合気を理論空燃比よりもリーンして S P C C I 燃焼を行うため、低負荷領域 (1) - 1 は、「S P C C I リーン領域」と呼ぶことができる。

20

【 0 2 5 3 】

(中負荷領域 (1) - 2)

エンジン 1 が中負荷領域 (1) - 2 において運転しているときも、低負荷領域 (1) - 1 と同様に、エンジン 1 は、S P C C I 燃焼を行う。中負荷領域 (1) - 2 は、運転領域マップ 7 0 0 又は 7 0 1 における中負荷領域 (B) に対応する。

【 0 2 5 4 】

図 17 の符号 6 0 2 は、エンジン 1 が中負荷領域 (1) - 2 において、符号 6 0 2 の運転状態にて運転しているときの燃料噴射時期 (符号 6 0 2 1、6 0 2 2) 及び点火時期 (符号 6 0 2 3)、並びに、燃焼波形 (符号 6 0 2 4) それぞれの一例を示している。

【 0 2 5 5 】

E G R システム 55 は、エンジン 1 の運転状態が中負荷領域 (1) - 2 にあるときに、燃焼室 17 の中に E G R ガスを導入する。具体的には、低負荷領域 (1) - 1 と同様に、排気上死点付近において、吸気弁 21 及び排気弁 22 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ことにより、燃焼室 17 の中から吸気ポート 18 及び排気ポート 19 に排出した排気ガスの一部を、燃焼室 17 の中に再導入する。つまり、内部 E G R ガスを、燃焼室 17 の中に導入する。また、中負荷領域 (1) - 2 においては、E G R 通路 52 を通じて、E G R クーラー 53 によって冷却した排気ガスを、燃焼室 17 の中に導入する。つまり、内部 E G R ガスに比べて温度が低い外部 E G R ガスを、燃焼室 17 の中に導入する。中負荷領域 (1) - 2 においては、内部 E G R ガス及び / 又は外部 E G R ガスを、燃焼室 17 の中に導入することにより、燃焼室 17 の中の温度を適切な温度になるよう調整する。

30

40

【 0 2 5 6 】

エンジン 1 が中負荷領域 (1) - 2 において運転するときにも、低負荷領域 (1) - 1 と同様に、燃焼室 17 の中には、スワール流が形成される。スワールコントロール弁 (S C V) 56 は、全閉又は閉じ側の所定の開度である。スワール流を形成することによって、キャビティ 31 の中に溜まった残留ガスをキャビティ 31 の中から追い出すことができる。その結果、点火プラグ 25 の近傍の S I 部の混合気の G / F と、S I 部の周囲の C I 部の混合気の G / F と、を異ならせることができる。そのことによって、前述したように、燃焼室 17 全体のトータル G / F を、18 以上 50 以下にすれば、S P C C I 燃焼を安定化させることができる。

50

【0257】

また、スワール流を形成することにより、燃焼室17内の乱流エネルギーが高くなるから、エンジン1が中負荷領域(1)-2において運転するとき、SI燃焼の火炎が速やかに伝播してSI燃焼が安定化する。SI燃焼が安定することによってCI燃焼のコントロール性が高まる。SPCCI燃焼におけるCI燃焼のタイミングが適正化することによって、燃焼騒音の発生を抑制することができると共に、燃費性能の向上が図られる。また、サイクル間におけるトルクのばらつきを抑制することができる。

【0258】

エンジン1が中負荷領域(1)-2において運転するとき、混合気の空燃比(A/F)は、燃焼室17の全体において理論空燃比(A/F 14.7)である。三元触媒が、燃焼室17から排出された排出ガスを浄化することによって、エンジン1の排出ガス性能は良好になる。混合気のA/Fは、三元触媒の浄化ウインドウの中に収まるようにすればよい。従って、混合気の空気過剰率は、 1.0 ± 0.2 とすればよい。

10

【0259】

エンジン1が中負荷領域(1)-2において運転するとき、インジェクタ6は、吸気行程中の燃料噴射(符号6021)と、圧縮行程中の燃料噴射(符号6022)とを行う。吸気行程中に第1噴射6021を行うことによって、燃焼室17の中に燃料を略均等に分布させることができる。圧縮行程中に第2噴射6022を行うことによって、燃料の気化潜熱によって燃焼室17の中の温度を低下させることができる。第1噴射6021によって噴射した燃料を含む混合気が過早着火してしまうことを防止することができる。尚、中負荷領域(1)-2において、特に、エンジンが負荷の低い運転状態のときには、第2噴射6022は、省略することも可能である。

20

【0260】

インジェクタ6が、吸気行程中の第1噴射6021と圧縮行程中の第2噴射6022とを行うことによって、燃焼室17の中には、全体として、空気過剰率が 1.0 ± 0.2 になった混合気が形成される。混合気の燃料濃度が略均質であるため、未燃損失の低減による燃費の向上、及び、スモークの発生回避による排出ガス性能の向上を図ることができる。空気過剰率は、好ましくは、 $1.0 \sim 1.2$ である。また、燃焼室17全体のトータルG/Fは18以上50以下であり、点火プラグ25の近傍のSI部のG/Fは14~22である。

30

【0261】

圧縮上死点の前の所定のタイミングで、点火プラグ25が混合気に点火をすることによって(符号6023)、混合気は、火炎伝播により燃焼する。火炎伝播による燃焼の開始後、未燃混合気が、目標タイミングで自己着火して、CI燃焼する。後段噴射によって噴射された燃料は、主にSI燃焼する。前段噴射によって噴射された燃料は、主にCI燃焼する。燃焼室17全体のトータルG/Fを18以上50以下とし、点火プラグ25の近傍のSI部のG/Fを14~22とすることにより、SPCCI燃焼を安定化させることができる。

【0262】

従って、中負荷領域(1)-2においてエンジン1は、混合気を理論空燃比にしてSPCCI燃焼を行うため、中負荷領域(1)-2は、「SPCCI = 1領域」と呼ぶことができる。

40

【0263】

ここで、運転領域マップ702において、過給機44がオフにされる領域(S/C OFF参照)は、低負荷領域(1)-1の一部、及び、中負荷領域(1)-2の一部である。詳細には、低負荷領域(1)-1における低回転側の領域においては、過給機44がオフにされる。低負荷領域(1)-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44がオンにされて、過給圧を高くする。また、中負荷領域(1)-2における低負荷低回転側の領域においては、過給機44がオフにされ、中負荷領域(1)-2における高負荷側の領域に

50

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 がオンにされ、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 がオンになる。

【 0 2 6 4 】

尚、高負荷中回転領域 (2)、高負荷低回転領域 (3)、及び、高回転領域 (4) の各領域においては、その全域に亘って、過給機 4 4 がオンになる。

【 0 2 6 5 】

(高負荷中回転領域 (2))

エンジン 1 が高負荷中回転領域 (2) において運転しているときも、低負荷領域 (1) - 1 及び中負荷領域 (1) - 2 と同様に、エンジン 1 は、S P C C I 燃焼を行う。

10

【 0 2 6 6 】

図 1 7 の符号 6 0 3 は、エンジン 1 が高負荷中回転領域 (2) において、符号 6 0 3 の運転状態にて運転しているときの燃料噴射時期 (符号 6 0 3 1、6 0 3 2) 及び点火時期 (符号 6 0 3 3)、並びに、燃焼波形 (符号 6 0 3 4) それぞれの一例を示している。また、図 1 7 の符号 6 0 4 は、符号 6 0 3 の運転状態よりも回転数が高いときの燃料噴射時期 (符号 6 0 4 1) 及び点火時期 (符号 6 0 4 2)、並びに、燃焼波形 (符号 6 0 4 3) それぞれの一例を示している。

【 0 2 6 7 】

E G R システム 5 5 は、エンジン 1 の運転状態が高負荷中回転領域 (2) にあるときに、燃焼室 1 7 の中に E G R ガスを導入する。エンジン 1 は、負荷が高まるに従い E G R ガスの量を減らす。全開負荷では、E G R ガスをゼロにしてもよい。

20

【 0 2 6 8 】

また、エンジン 1 が高負荷中回転領域 (2) において運転するときにも、低負荷領域 (1) - 1 と同様に、燃焼室 1 7 の中にはスワール流が形成される。スワール流は、例えば 4 以上のスワール比の強いスワール流としてもよい。スワールコントロール弁 (S C V) 5 6 は、全開又は閉じ側の所定の開度である。

【 0 2 6 9 】

エンジン 1 が高負荷中回転領域 (2) において運転するとき、混合気の空燃比 (A / F) は、燃焼室 1 7 の全体において理論空燃比又は理論空燃比よりもリッチである (つまり、混合気の空気過剰率は、1))。

30

【 0 2 7 0 】

エンジン 1 が高負荷中回転領域 (2) における低回転側で運転するとき、インジェクタ 6 は、吸気行程において燃料を噴射する (符号 6 0 3 1) と共に、圧縮行程の終期に燃料を噴射する (符号 6 0 3 2)。圧縮行程の終期とは、圧縮行程を初期、中期、及び、終期に三等分したときの終期としてもよい。

【 0 2 7 1 】

吸気行程に開始する前段噴射 6 0 3 1 は、吸気行程の前半に燃料噴射を開始してもよい。吸気行程の前半は、吸気行程を前半と後半とに二等分したときの前半としてもよい。具体的に前段噴射は、上死点前 2 8 0 ° C A で燃料噴射を開始してもよい。

【 0 2 7 2 】

前段噴射 6 0 3 1 の噴射開始を、吸気行程の前半にすると、図示は省略するが、燃料噴霧がキャピティ 3 1 の開口縁部に当たることによって、一部の燃料は、燃焼室 1 7 のスキッシュエリア 1 7 1 に入り、残りの燃料は、キャピティ 3 1 の内の領域に入る。スワール流は、燃焼室 1 7 の外周部において強く、中央部において弱くなっている。そのため、スキッシュエリア 1 7 1 に入った一部の燃料はスワール流に入り、キャピティ 3 1 の内の領域に入った残りの燃料は、スワール流の内側に入る。スワール流に入った燃料は、吸気行程から圧縮行程の間、スワール流の中に留まり、燃焼室 1 7 の外周部において C I 燃焼用の混合気を形成する。スワール流の内側に入った燃料も、吸気行程から圧縮行程の間、スワール流の内側に留まり、燃焼室 1 7 の中央部において S I 燃焼用の混合気を形成する。

40

【 0 2 7 3 】

50

エンジン 1 が高負荷中回転領域 (2) において運転するときには、点火プラグ 2 5 が配置されている中央部の混合気は、好ましくは空気過剰率が 1 以下であり、外周部の混合気は、空気過剰率が 1 以下、好ましくは 1 未満である。中央部の混合気空燃比 (A / F) は、例えば 1 3 以上、理論空燃比 (1 4 . 7) 以下としてもよい。中央部の混合気空燃比は、理論空燃比よりもリーンであってもよい。また、外周部の混合気空燃比は、例えば 1 1 以上、理論空燃比以下、好ましくは 1 1 以上、1 2 以下としてもよい。燃焼室 1 7 の外周部の空気過剰率を 1 未満にすると、外周部は混合気中の燃料量が増えるため、燃料の気化潜熱によって温度を低下させることができる。燃焼室 1 7 の全体の混合気空燃比は、1 2 . 5 以上、理論空燃比以下、好ましくは 1 2 . 5 以上、1 3 以下としてもよい。

10

【 0 2 7 4 】

圧縮行程の終期は、圧縮行程を、初期、中期及び終期に三等分したときの終期とすればよい。圧縮行程の終期に行く後段噴射 6 0 3 2 は、例えば上死点前 1 0 ° C A で燃料噴射を開始してもよい。上死点の直前で後段噴射を行うことにより、燃料の気化潜熱によって燃焼室内の温度を低下させることができる。前段噴射 6 0 3 1 によって噴射された燃料は、圧縮行程の間に低温酸化反応が進み、上死点前において高温酸化反応に移行するようになるが、上死点の直前で後段噴射 6 0 3 2 を行い、燃焼室内の温度を低下させることにより、低温酸化反応から高温酸化反応へ移行することを抑制することができる。尚、前段噴射の噴射量と後段噴射の噴射量との割合は、一例として、9 5 : 5 としてもよい。

20

【 0 2 7 5 】

点火プラグ 2 5 は、圧縮上死点付近において、燃焼室 1 7 の中央部の混合気に点火をする (符号 6 0 3 3) 。点火プラグ 2 5 は、例えば圧縮上死点以降に点火を行う。点火プラグ 2 5 は燃焼室 1 7 の中央部に配置されているため、点火プラグ 2 5 の点火によって、中央部の混合気が火炎伝播による S I 燃焼を開始する。

【 0 2 7 6 】

高負荷領域においては、燃料噴射量が多くなると共に、燃焼室 1 7 の温度も高くなるため、C I 燃焼が早期に開始しやすい状況になる。言い換えると、高負荷領域においては、混合気の過早着火が発生しやすい。しかしながら、前述の通り、燃焼室 1 7 の外周部の温度が、燃料の気化潜熱によって低下しているから、混合気に火花点火をした後、C I 燃焼がすぐに開始してしまうことを回避することができる。

30

【 0 2 7 7 】

前述したように、点火プラグ 2 5 が中央部の混合気に点火をすると、S I 燃焼は高い乱流エネルギーによって、燃焼速度が高くなって安定化すると共に、S I 燃焼の火炎は、燃焼室 1 7 内の強いスワール流れに乗って、周方向に伝播する。そうして、燃焼室 1 7 の外周部における、周方向の所定の位置において、未燃混合気が圧縮着火をし、C I 燃焼が開始する。

【 0 2 7 8 】

この S P C C I 燃焼のコンセプトでは、燃焼室 1 7 の中において混合気を成層化することと、燃焼室 1 7 の中に強いスワール流を発生させることとによって、C I 燃焼の開始までに S I 燃焼を十分に行うことができる。その結果、燃焼騒音の発生を抑制できると共に、燃焼温度が高くなりすぎることがなくて N O x の生成も抑制される。また、サイクル間におけるトルクのばらつきを抑制することができる。

40

【 0 2 7 9 】

また、外周部の温度が低いいため、C I 燃焼が緩やかになり、燃焼騒音の発生を抑制することができる。さらに、C I 燃焼によって燃焼期間が短くなるから、高負荷領域においてトルクの向上、及び、熱効率の向上が図られる。よって、このエンジン 1 は、負荷が高い領域において S P C C I 燃焼を行うことにより、燃焼騒音を回避しながら、燃費性能を向上させることができる。

【 0 2 8 0 】

50

エンジン 1 が高負荷中回転領域 (2) における高回転側で運転するとき、インジェクタ 6 は、吸気行程において燃料噴射を開始する (符号 6 0 4 1) 。

【 0 2 8 1 】

吸気行程に開始する前段噴射 6 0 4 1 は、前記と同様に、吸気行程の前半に燃料噴射を開始してもよい。具体的に前段噴射 6 0 4 1 は、上死点前 2 8 0 ° C A で燃料噴射を開始してもよい。前段噴射の終了は、吸気行程を超えて圧縮行程中になる場合がある。前段噴射 6 0 4 1 の噴射開始を、吸気行程の前半にすることによって、燃焼室 1 7 の外周部において C I 燃焼用の混合気を形成すると共に、燃焼室 1 7 の中央部において S I 燃焼用の混合気を形成することができる。点火プラグ 2 5 が配置されている中央部の混合気は、前記と同様に、好ましくは空気過剰率が 1 以下であり、外周部の混合気は、空気過剰率が 1 以下、好ましくは 1 未満である。中央部の混合気空燃比 (A / F) は、例えば 1 3 以上、理論空燃比 (1 4 . 7) 以下としてもよい。中央部の混合気空燃比は、理論空燃比よりもリーンであってもよい。また、外周部の混合気空燃比は、例えば 1 1 以上、理論空燃比以下、好ましくは 1 1 以上、1 2 以下としてもよい。燃焼室 1 7 の全体の混合気空燃比は、1 2 . 5 以上、理論空燃比以下、好ましくは 1 2 . 5 以上、1 3 以下としてもよい。

10

【 0 2 8 2 】

エンジン 1 の回転数が高くなると、前段噴射 6 0 4 1 によって噴射された燃料が反応する時間が短くなる。そのため、混合気の酸化反応を抑制するための後段噴射を省略することができる。

20

【 0 2 8 3 】

点火プラグ 2 5 は、圧縮上死点付近において、燃焼室 1 7 の中央部の混合気に点火をする (符号 6 0 4 2) 。点火プラグ 2 5 は、例えば圧縮上死点以降に点火を行う。

【 0 2 8 4 】

前述したように、混合気を成層化することによって、高負荷中回転領域 (2) において、燃焼騒音を抑制すると共に、S P C C I 燃焼を安定化することができる。

【 0 2 8 5 】

以上のように、高負荷中回転領域 (2) においてエンジン 1 は、混合気を理論空燃比又は理論空燃比よりもリッチして S P C C I 燃焼を行うため、高負荷中回転領域 (2) は、「S P C C I 1 領域」と呼ぶことができる。

30

【 0 2 8 6 】

(高負荷低回転領域 (3))

エンジン 1 が高負荷低回転領域 (3) 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。高負荷低回転領域 (3) は、運転領域マップ 7 0 0 又は 7 0 1 における第 1 高負荷領域 (C 1) に対応する。

【 0 2 8 7 】

図 1 7 の符号 6 0 5 は、エンジン 1 が高負荷低回転領域 (3) において、符号 6 0 5 の運転状態にて運転しているときの燃料噴射時期 (符号 6 0 5 1 、 6 0 5 2) 及び点火時期 (符号 6 0 5 3) 、並びに、燃焼波形 (符号 6 0 5 4) それぞれの一例を示している。

【 0 2 8 8 】

E G R システム 5 5 は、エンジン 1 の運転状態が高負荷低回転領域 (3) にあるときに、燃焼室 1 7 の中に E G R ガスを導入する。エンジン 1 は、負荷が高まるに従い E G R ガスの量を減らす。全開負荷では、E G R ガスをゼロにすればよい。

40

【 0 2 8 9 】

エンジン 1 が高負荷低回転領域 (3) において運転しているときに、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 (A / F 1 4 . 7) である。混合気空燃比の A / F は、三元触媒の浄化ウインドウの中に収まるようにすればよい。従って、混合気空燃比の空気過剰率は、1 . 0 ± 0 . 2 とすればよい。混合気空燃比を、理論空燃比にすることにより、高負荷低回転領域 (3) において、燃費性能が向上する。尚、エンジン 1 が高負荷低回転領域 (3) において運転するとき、燃焼室 1 7 の全体の混合気燃料濃度

50

を、空気過剰率 において1以下でかつ、高負荷中回転領域(2)における空気過剰率以上、好ましくは高負荷中回転領域(2)における空気過剰率 よりも大にしてもよい。

【0290】

運転領域マップ702においては、エンジン1が高負荷低回転領域(3)において運転するときに、インジェクタ6は、吸気行程中と、圧縮行程終期から膨張行程初期までのリタード期間とのそれぞれのタイミングで、燃焼室17内に燃料を噴射する(符号6051、6052)。二回に分けて燃料を噴射することにより、リタード期間内に噴射する燃料量を少なくすることができる。吸気行程中に燃料を噴射することにより(符号6051)、混合気の形成時間を十分に確保することができる。また、リタード期間に燃料を噴射することにより(符号6052)、点火直前に、燃焼室17の中の流動を高めることができ、SI燃焼の安定化に有利になる。

10

【0291】

点火プラグ25は、燃料の噴射後、圧縮上死点付近のタイミングで、混合気に点火を行う(符号6053)。点火プラグ25は、例えば圧縮上死点後に点火を行ってもよい。混合気は、膨張行程においてSI燃焼をする。SI燃焼が膨張行程において開始するため、CI燃焼は開始しない。

【0292】

インジェクタ6は、過早着火を回避するために、エンジン1の回転数が低くなるほど、燃料噴射の時期を遅角してもよい。リタード期間内の燃料噴射は、膨張行程において終了する場合もある。

20

【0293】

エンジン1は、高負荷低回転領域(3)において運転するときには、高負荷中回転領域(2)において運転するときよりもスワール流を弱くする。高負荷低回転領域(3)において運転するときに、スワールコントロール弁(SCV)56の開度は、高負荷中回転領域(2)において運転するときよりも大きい。スワールコントロール弁56の開度は、例えば50%程度(つまり、半開)としてもよい。

【0294】

図2の上図に一点鎖線の矢印で示すように、インジェクタ6の噴孔の軸は、点火プラグ25に対し周方向に位置がずれている。噴孔から噴射された燃料は、燃焼室17の中のスワール流によって周方向に流れる。スワール流によって、燃料を点火プラグ25の付近に速やかに輸送することができる。燃料は、点火プラグ25の付近に輸送される間に、気化することができる。

30

【0295】

一方、スワール流が強すぎると、燃料が周方向に流されてしまい、点火プラグ25の付近から離れてしまって、点火プラグ25の付近に燃料を速やかに輸送することができなくなる。そこで、エンジン1は、高負荷低回転領域(3)において運転するときには、高負荷中回転領域(2)において運転するときよりもスワール流を弱くする。これによって、点火プラグ25の付近に燃料を速やかに輸送することができるから、混合気の着火性の向上及びSI燃焼の安定化を図ることができる。

【0296】

高負荷低回転領域(3)においてエンジン1は、燃料を圧縮行程終期から膨張行程初期までのリタード期間に燃料の噴射をしてSI燃焼を行うため、高負荷低回転領域(3)は、「リタード-SI領域」と呼ぶことができる。

40

【0297】

(高回転領域(4))

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。そのため、例えば高負荷領域における高回転領域において、前述したように、燃焼室17内において混合気の成層化を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、前述したSPCCI燃焼を行うことが困難になる。

【0298】

50

そのため、エンジン 1 が高回転領域 (4) において運転しているときには、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 (4) 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。

【 0 2 9 9 】

図 1 7 の符号 6 0 6 は、エンジン 1 が高回転領域 (4) において、符号 6 0 6 の運転状態にて運転しているときの燃料噴射時期 (符号 6 0 6 1) 及び点火時期 (符号 6 0 6 2) 、並びに、燃焼波形 (符号 6 0 6 3) それぞれの一例を示している。

【 0 3 0 0 】

E G R システム 5 5 は、エンジン 1 の運転状態が高回転領域 (4) にあるときに、燃焼室 1 7 の中に E G R ガスを導入する。エンジン 1 は、負荷が高まるに従い E G R ガスの量を減らす。全開負荷では、E G R ガスをゼロにしてもよい。

10

【 0 3 0 1 】

エンジン 1 は、高回転領域 (4) において運転するときには、スワールコントロール弁 (S C V) 5 6 を全開にする。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、高回転領域 (4) におい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 3 0 2 】

エンジン 1 が高回転領域 (4) において運転するときには、混合気の空燃比 (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 / F = 1 4 . 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、高回転領域 (4) 内の、全開負荷を含む高負荷領域においては、混合気の空気過剰率を 1 未満にしてもよい。

20

【 0 3 0 3 】

エンジン 1 が高回転領域 (4) において運転するときには、インジェクタ 6 は、吸気行程に燃料噴射を開始する (符号 6 0 6 1 参照) 。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 1 7 の中に、均質又は略均質な混合気を形成することが可能になる。また、エンジン 1 の回転数が高いときに、燃料の気化時間をできるだけ長く確保することができるため、未燃損失の低減及び煤の発生を抑制を図ることもできる。

【 0 3 0 4 】

点火プラグ 2 5 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 (符号 6 0 6 2 参照) 。

30

【 0 3 0 5 】

従って、高回転領域 (4) においてエンジン 1 は、燃料噴射を吸気行程に開始して S I 燃焼を行うため、高回転領域 (4) は、「吸気 - S I 領域」と呼ぶことができる。

【 0 3 0 6 】

(運転領域マップの第 3 の構成例における回転数方向に対するエンジンの運転制御)

図 1 3 の下図の波形 1 3 2 は、図 7 C の運転領域マップ 7 0 2 において S P C C I 燃焼を行う領域 (特に、 $S P C C I > 1$ 領域、及び、 $S P C C I = 1$ 領域) における、エンジン 1 の回転数とスワールコントロール弁 5 6 の開度との関係を示している。図 1 3 の下図における二点鎖線は、図 1 3 の上図の波形 1 3 1 を示している。前述したように、運転領域マップ 7 0 2 の S P C C I 領域においては、エンジン 1 の回転数の高低に関わらず、スワールコントロール弁 5 6 の開度を閉じ側にしている。この点で、回転数が N 4 を超えるまでスワールコントロール弁 5 6 の全開にしている波形 1 3 1 とは相違する。S P C C I > 1 領域、及び、S P C C I $= 1$ 領域においては、スワール比は例えば 1 . 5 から 3 程度にしてもよい。このときにスワールコントロール弁 5 6 の開度は、2 5 ~ 4 0 % 程度にしてもよい。燃焼室 1 7 内にスワール流を形成しているため、S P C C I 燃焼における S I 燃焼が急速になるため、スワール流を形成していないときよりも S I 率が高くなる。

40

【 0 3 0 7 】

50

図18は、図7Cの運転領域マップ702のSPCCI領域における、エンジン1の回転数の高低と後段噴射率との関係を示している(波形113)。図18の上図において、二点鎖線は図11の波形111を示している。前述したように、燃焼室17内にスワール流を形成していることにより、SI率が相対的に高くなるため、後段噴射率を、相対的に低く設定することが可能になる。後段噴射率が低いと、前段噴射により噴射される燃料量が増えるため、燃料の気化時間を長く確保することができる。未燃混合気やススの発生を減らし、エンジン1の排気エミッション性能を向上させる上で有利になる。尚、運転領域マップ702においても、エンジン1の回転数とSI率との関係は、図14に示す関係に準ずる。

【0308】

10

波形113においても、前記と同様に、エンジン1の回転数がN3を超えると、SPCCI燃焼のSI率が高くなるよう、後段噴射率を高める。後段噴射率は、エンジン1の回転数が高くなるに従い高くする。尚、N3よりも高い回転数から、後段噴射率を高めるようにしてもよい。波形113の例では、エンジン1の回転数が高くなるに従い、後段噴射率を、所定の変化率で連続的に高くしている。これとは異なり、エンジン1の回転数が高くなるに従い、後段噴射率を段階的に(つまり、不連続的に)高くしてもよい。SPCCI燃焼におけるSI率が高くなってSPCCI燃焼により発生する燃焼騒音を抑制することができるから、エンジン1の回転数が高い時に、NVHを許容値以下に抑えることができる。

【0309】

20

後段噴射率をエンジン1の回転数が高くなるに従い高くするものの、当初の後段噴射率が低いため、後段噴射率は、回転数N2においても、上限値を超えない。つまり、燃焼室17内にスワール流を形成することにより、SPCCI燃焼を行う運転領域の最高回転数域(図18における回転数N2の近傍の領域)においても、エンジンの回転数が高いときには、低いときよりも後段噴射率を高くすることができる。

【0310】

尚、図示は省略するが、エンジン1の回転数が所定回転数N3以下のときに、後段噴射量の変化率をゼロにするのではなく、エンジン1の回転数が高くなるに従い、後段噴射率が増えるようにしてもよい。この場合において、エンジン1の回転数が所定回転数N3以下のときの変化率は、所定回転数N3を超えるときの変化率よりも小さくすることが好ましい。

30

【0311】

また、図18の上図に一点鎖線で例示するように、エンジン1の負荷が高くなると、後段噴射率の増大を開始する回転数N3を、高回転側にずらしてもよい。こうすることで、低い後段噴射率を維持する範囲が、高回転側に広がる。後段噴射率が低いと、SPCCI燃焼におけるCI燃焼が増えるから、燃費の向上に有利になる。

【0312】

尚、図18の上図の例とは異なり、図18の下図の波形114に一点鎖線で示すように、エンジン1の回転数と後段噴射率との関係を示す直線の傾きを、エンジン1の負荷が高くなると、負荷が低いときよりも緩やかにしてもよい。

40

【0313】

図19は、図7Cの運転領域マップ702のSPCCI領域における、エンジン1の回転数の高低と後段噴射時期との関係を示している。図19の上図の波形123は、図132の上図の波形121に対応する。図19の二点鎖線は、図12の波形121の一部を示している。

【0314】

波形123においても、エンジン1の回転数が所定回転数N3を超えると、エンジン1の回転数が高くなるに従い、後段噴射の噴射タイミングを、所定の変化率で進角する。エンジン1の回転数が高い時に、SPCCI燃焼の燃焼騒音を低く抑えることができる。尚、N3よりも高い回転数よりも高い回転数から、後段噴射の噴射タイミングを進角しても

50

よい。

【0315】

図示は省略するが、エンジン1の回転数が所定回転数N3以下のときに、後段噴射の噴射タイミングの変化率をゼロにするのではなく、エンジン1の回転数が高くなるに従い、後段噴射の噴射タイミングが進角するようにしてもよい。この場合において、エンジン1の回転数が所定回転数N3以下のときの変化率は、所定回転数N3を超えるときの変化率よりも小さくしてもよい。

【0316】

燃焼室17内にスワール流を形成していないと、後段噴射の噴射タイミングが早くなったときに、噴射に起因する燃焼室17の中の流動が、点火タイミングにおいて弱くなってしまいが、燃焼室17内にスワール流を形成していると、後段噴射の噴射タイミングを早くしても、点火タイミングにおける燃焼室17の中の流動は強く保たれる。つまり、燃焼室17内にスワール流を形成していることによって、後段噴射の進角限界がなくなり、波形123に示すように、後段噴射の噴射タイミングを、エンジン1の回転数が高くなることに従って、進角させることができる。燃焼室17内にスワール流を形成することにより、SPCCI燃焼を行う運転領域の最高回転数域(図18における回転数N2の近傍の領域)においても、エンジンの回転数が高いときには、低いときよりも後段噴射のタイミングを進角することができる。

【0317】

後段噴射時期を進角させると、その分、燃料の気化時間を長く確保することができるから、未燃混合気やススの発生を減らすことができる。特に、図18に示すように、エンジン1の回転数が高くなることに従い、後段噴射の噴射量が増えるため、後段噴射時期を進角させることは、後段噴射による燃料の気化時間を長く確保する上で有利になる。未燃混合気やススの発生を減らし、エンジンの排気エミッション性能を向上させることができる。

【0318】

図18の上図に一点鎖線で例示するように、負荷が高くなると、噴射タイミングの進角を開始する回転数N3を、高回転側にずらしてもよい。こうすることで、後段噴射の噴射タイミングが遅い範囲が、高回転側に広がる。

【0319】

尚、図19の上図の例とは異なり、図19の下図の波形124に一点鎖線で示すように、エンジン1の回転数と後段噴射の噴射タイミングとの関係を示す直線の傾きを、エンジン1の負荷が高くなると、負荷が低いときよりも緩やかにしてもよい。

【0320】

(SPCCI燃焼の燃焼波形の例示)

図20及び21は、エンジン1の各運転状態W1~W12における燃焼波形を例示している。図20に示す運転領域マップ704は、図7Cの運転領域マップ702に準じている。つまり、この運転領域マップ704において、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では、SPCCI燃焼を行う。この領域は、運転領域マップ702における低負荷領域(1)-1に相当する。但し、図20の運転領域マップ704における当該領域は、非過給の領域である。

【0321】

また、図20の運転領域マップ704において、低負荷領域よりも負荷が高い中負荷領域、及び、さらに負荷の高い高負荷領域の中回転領域では、SPCCI燃焼を行う。この領域は、運転領域マップ702における中負荷領域(1)-2及び高負荷領域の中回転領域(2)に相当する。図20の運転領域マップ704における当該領域は、過給を行う領域である。

【0322】

さらに、図20の運転領域マップにおいて、高負荷領域において中回転領域よりも回転数の低い低回転領域はリタードSI燃焼を行う領域である。この領域は、運転領域マップ

10

20

30

40

50

702における高負荷領域の低回転領域(3)に相当する。

【0323】

加えて、図20の運転領域マップ704において、高回転領域は吸気行程に燃料噴射を行ってSI燃焼を行う領域である。この領域は、運転領域マップ702における高回転領域(4)に相当する。

【0324】

図20の運転領域マップにおいても、図11~12、又は、図18~19に示すように、SPCCI燃焼を行う領域にて、エンジン1の回転数が変化することに応じて、後段噴射率、及び/又は、後段噴射の噴射タイミングを変更する。図11~12、又は、図18~19の回転数N1、N2は、図14の回転数N1、N2に対応する。SPCCI燃焼を行う領域において、SI率は、エンジン1の回転数が高くなるに従い、線形的に高くなる(図14参照)。SI率を高くすることによって、SPCCI燃焼の燃焼騒音が低く抑えられるため、エンジン1の回転数が高い時に、NVHを許容値以下に抑えることができる。

10

【0325】

前述したように、SPCCI領域において、エンジン1の回転数が高くなるに従いSI率を高くする。W2、W7、W10の波形を比較すると、SI燃焼のピークは、W2、W7、W10の順に次第に高くなっている。その結果、CI燃焼のピークは、W2、W7、W10の順に次第に小さくなっている。これにより、エンジン1の回転数が高くなるに従い、燃焼騒音の発生を抑制することができる。尚、SPCCI領域において、W2、W7、W10よりも負荷の低い、W3、W8、W11、及び、W4、W9、W12においても、同様の傾向が現れている。

20

【0326】

(他の実施形態)

尚、ECU10が行うエンジン1の制御は、前述した燃焼モデルに基づく制御に限定されない。

【0327】

また、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】

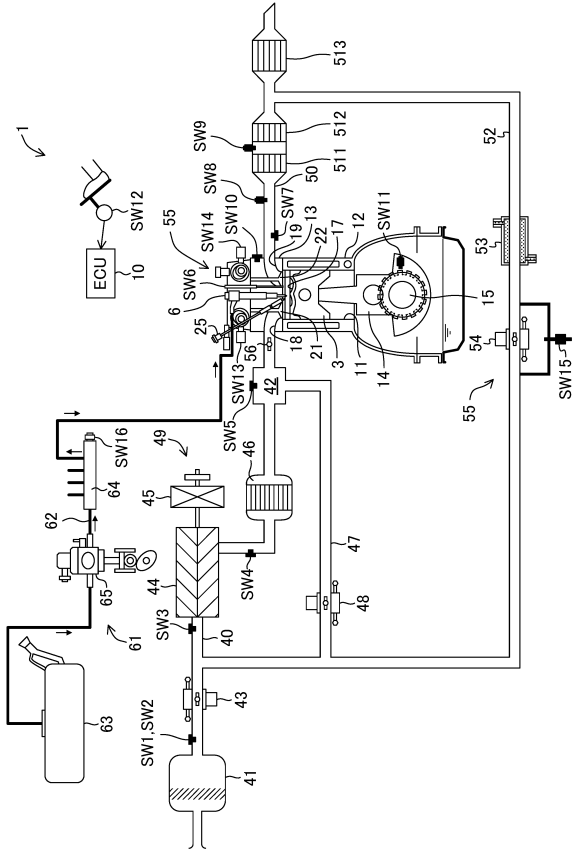
30

【0328】

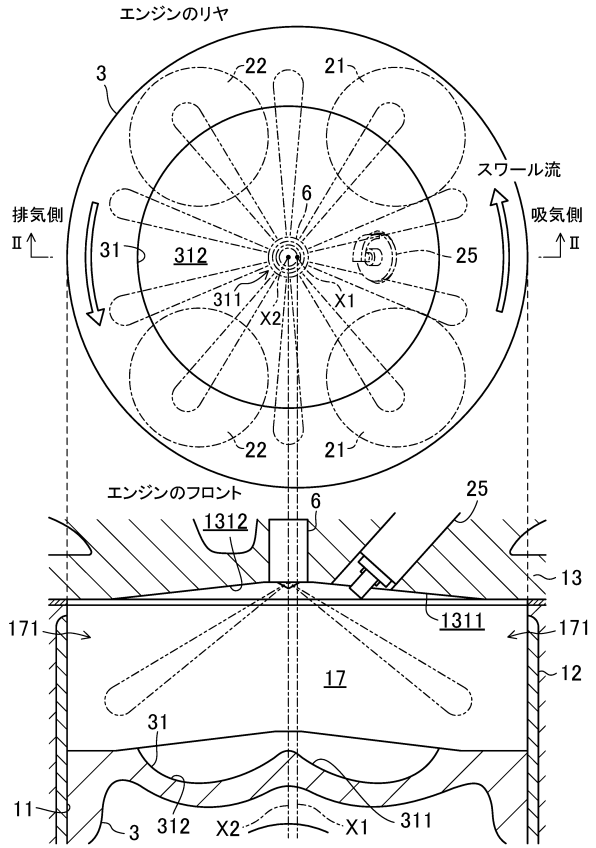
- 1 エンジン
- 10 ECU(コントローラ)
- 17 燃焼室
- 171 スキッシュエリア
- 25 点火プラグ
- 3 ピストン
- 31 キャピティ
- 56 スワールコントロール弁(吸気流動制御デバイス、スワール発生部)
- 6 インジェクタ
- SW6 指圧センサ

40

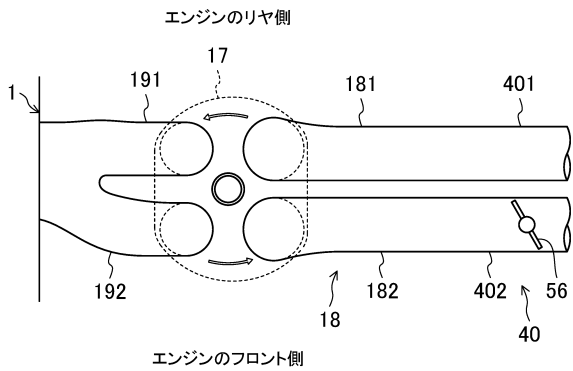
【図1】



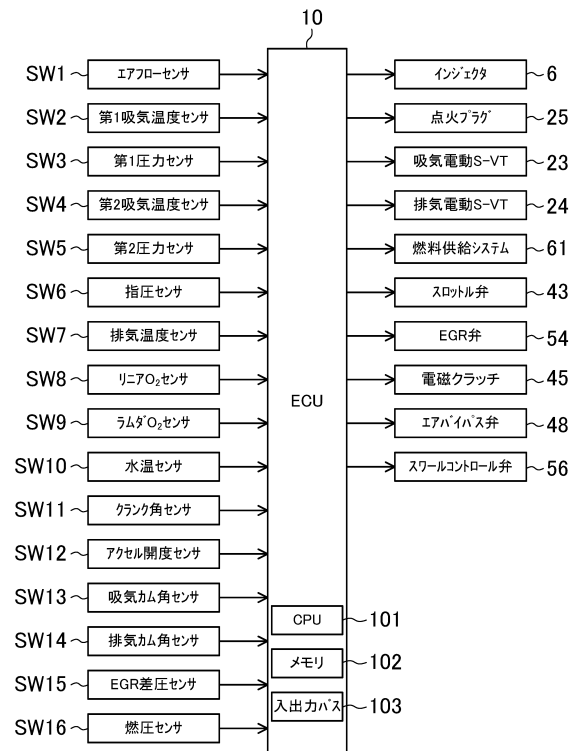
【図2】



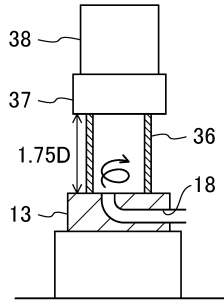
【図3】



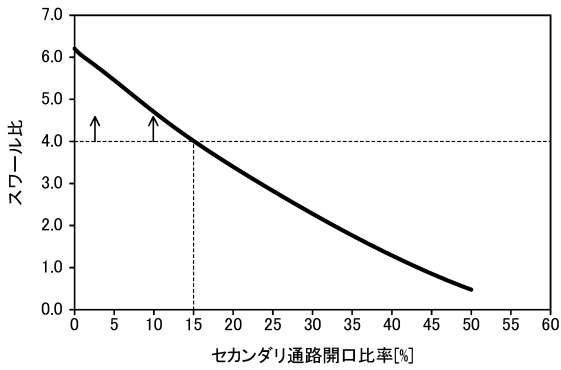
【図4】



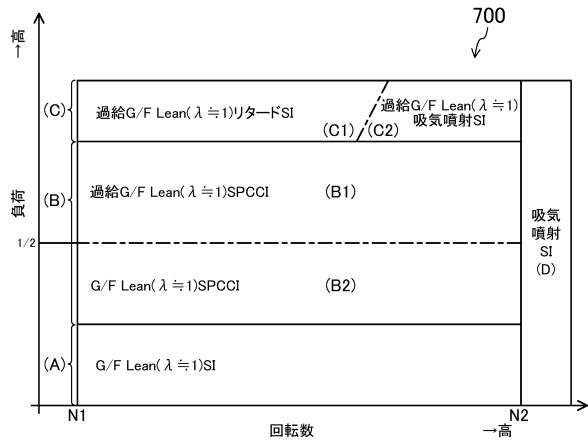
【図5】



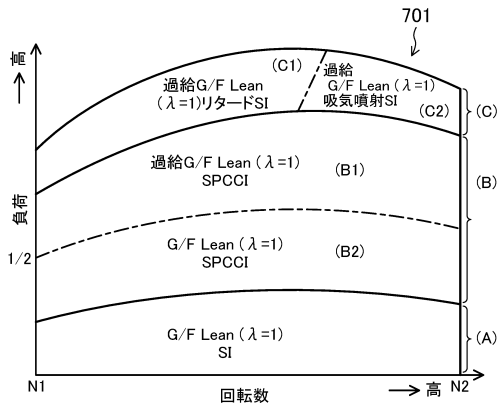
【図6】



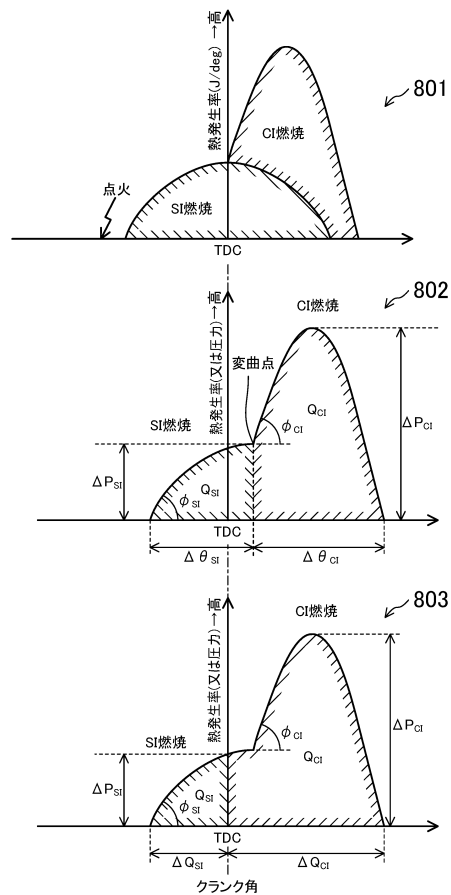
【図7A】



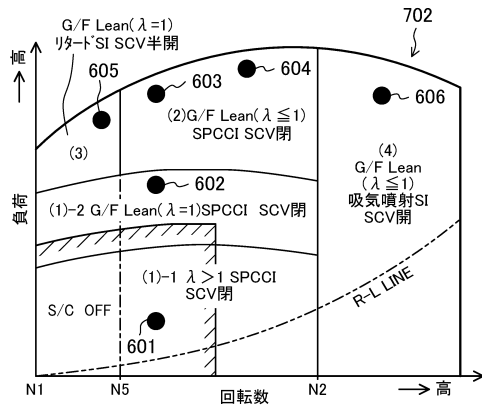
【図7B】



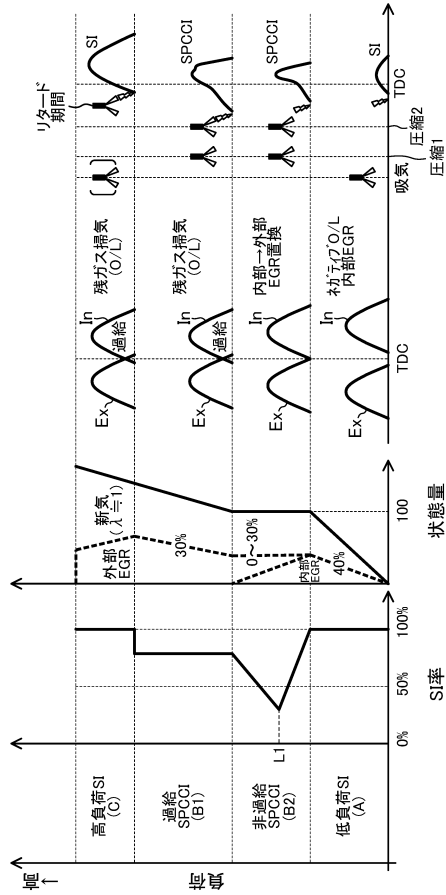
【図8】



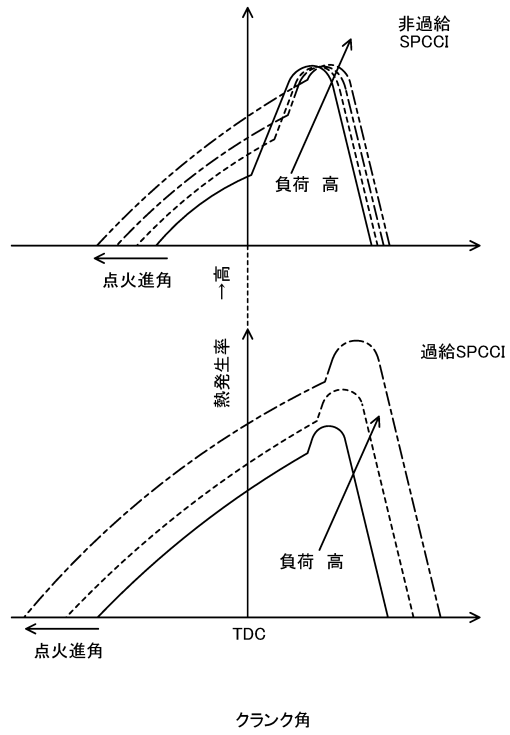
【図7C】



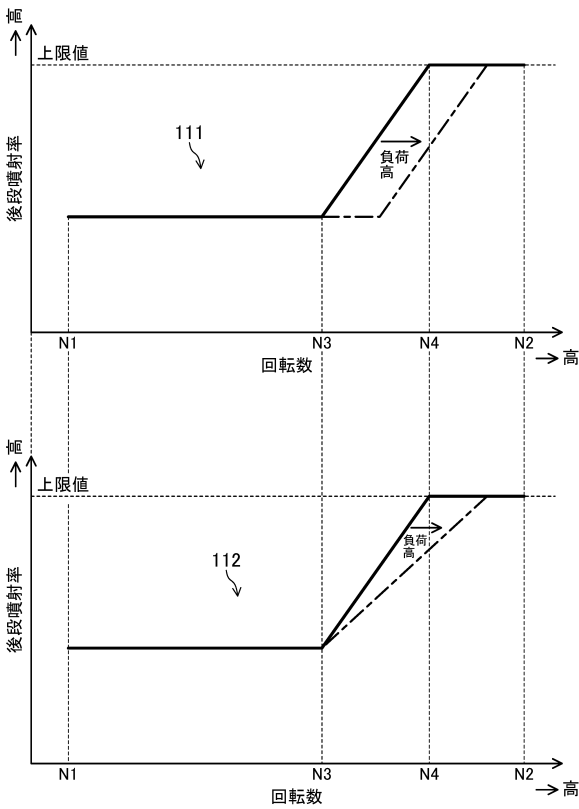
【図9】



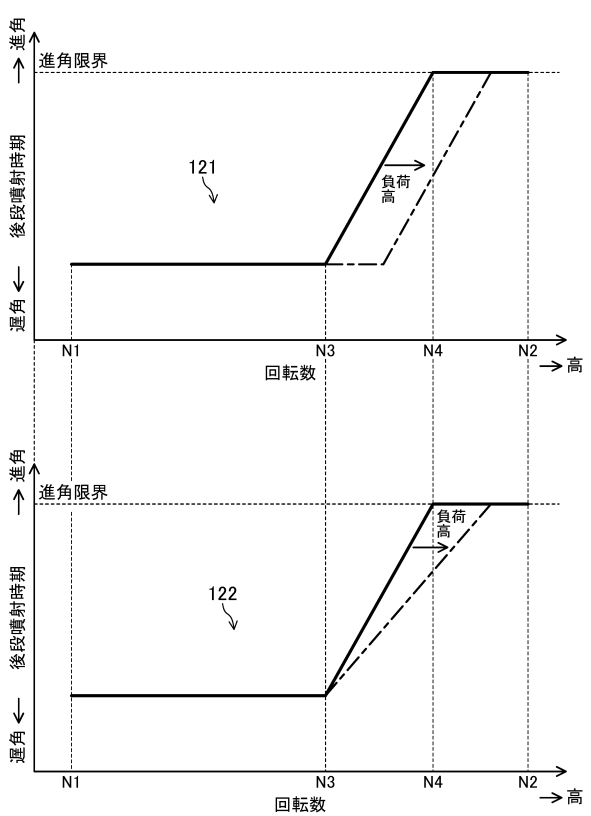
【図10】



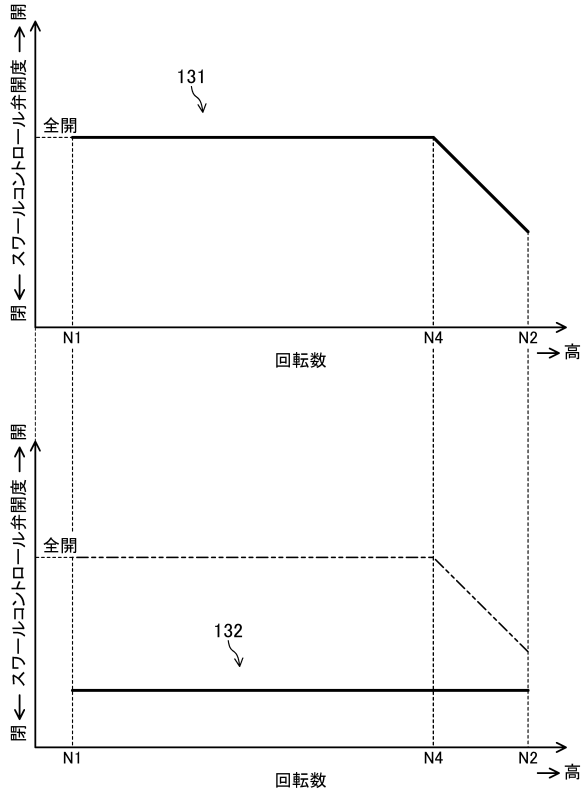
【図11】



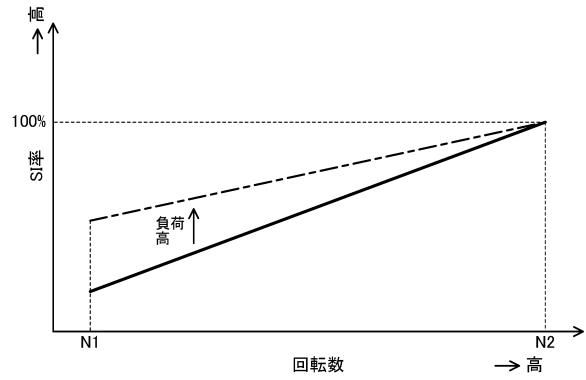
【図12】



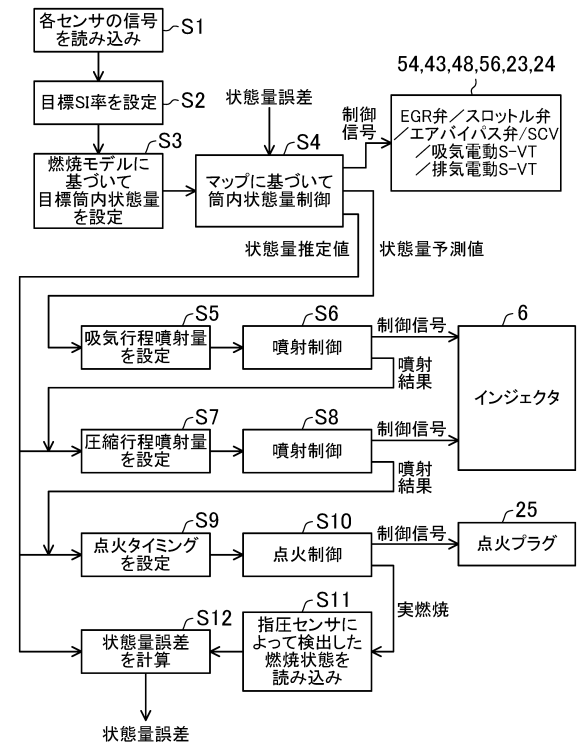
【図13】



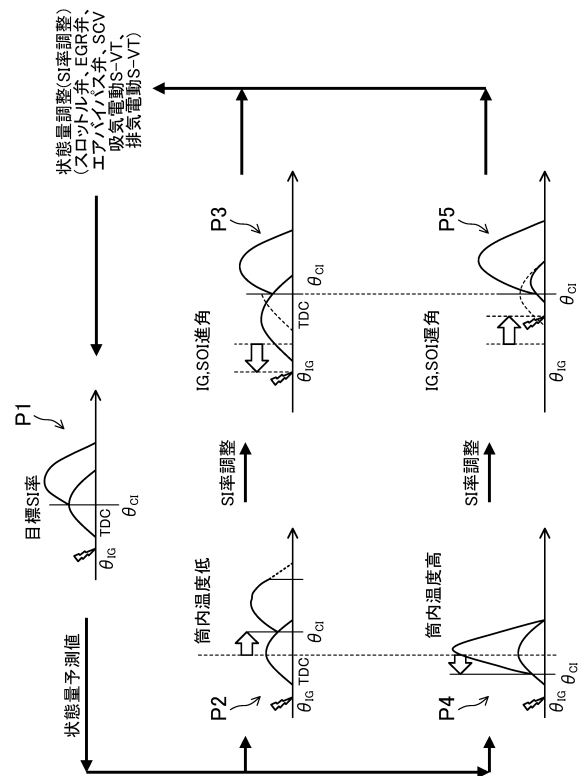
【図14】



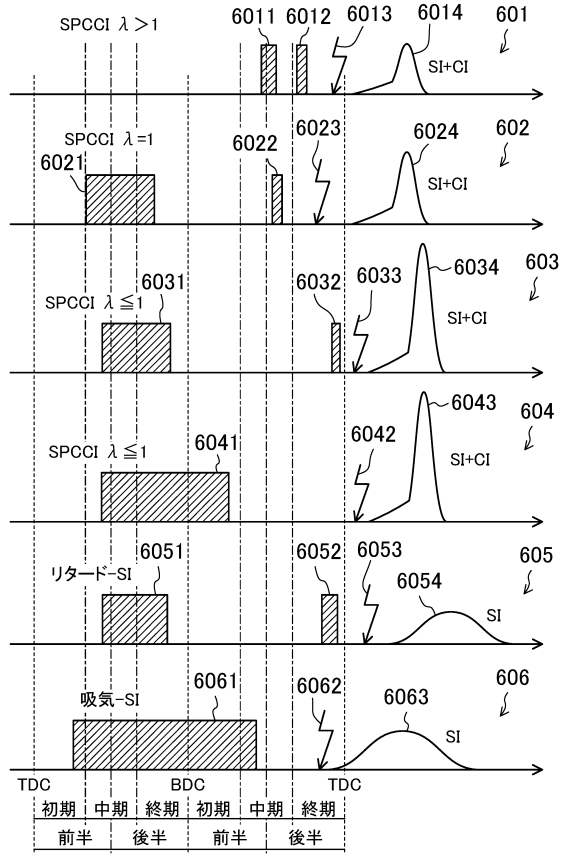
【図15】



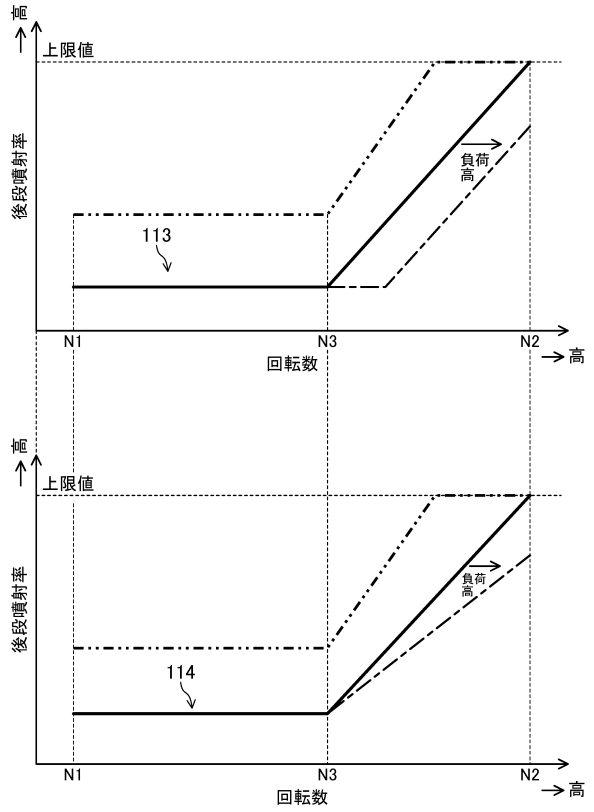
【図16】



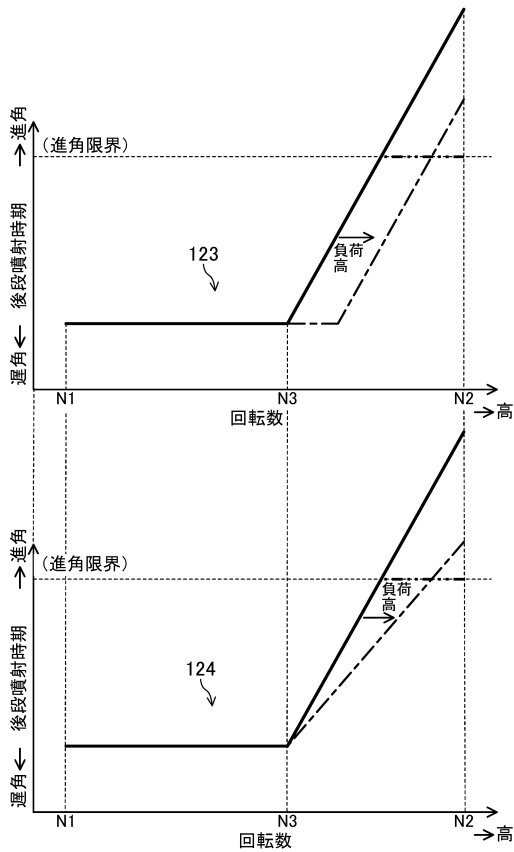
【図17】



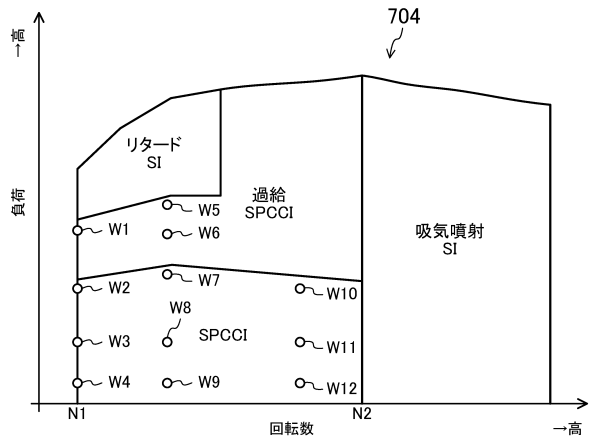
【図18】



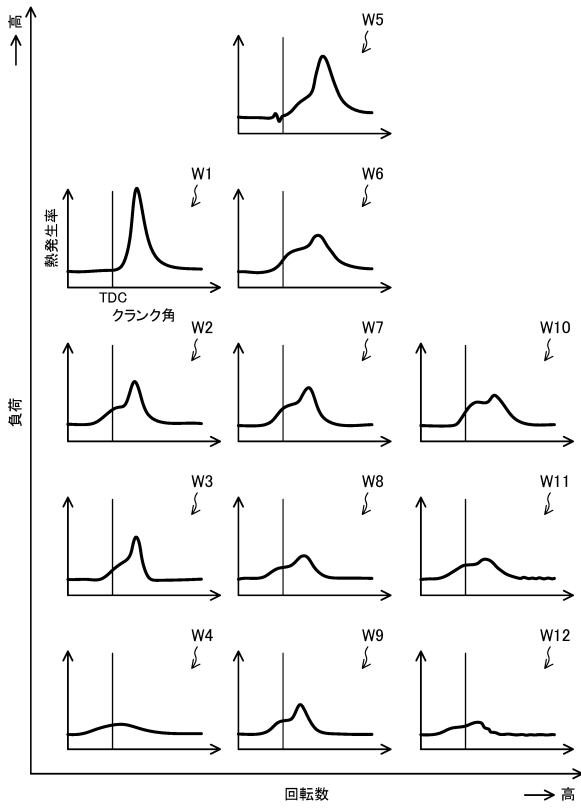
【図19】



【図20】



【図 21】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
<i>F 0 2 B</i>	<i>23/08</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 2 D</i>	<i>45/00</i> <i>3 6 8 S</i>
<i>F 0 2 P</i>	<i>5/15</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 2 D</i>	<i>43/00</i> <i>3 0 1 A</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 2 0</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 1 0 G</i>
			<i>F 0 2 B</i>	<i>23/10</i> <i>V</i>
			<i>F 0 2 B</i>	<i>23/08</i> <i>D</i>
			<i>F 0 2 B</i>	<i>23/08</i> <i>C</i>
			<i>F 0 2 B</i>	<i>23/10</i> <i>S</i>
			<i>F 0 2 P</i>	<i>5/15</i> <i>B</i>

(71)発明者 宮本 亨
 広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内

(72)発明者 神代 雄大
 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 佐々木 淳

(56)参考文献 特許第4082292(JP, B2)
 特開2003-254105(JP, A)
 特開2009-108777(JP, A)
 特開2012-241592(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
 F 0 2 D 4 1 / 0 2
 F 0 2 B 1 1 / 0 0
 F 0 2 B 2 3 / 0 8
 F 0 2 B 2 3 / 1 0
 F 0 2 D 4 3 / 0 0 - 4 5 / 0 0
 F 0 2 P 5 / 1 5