

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7124733号
(P7124733)

(45)発行日 令和4年8月24日(2022.8.24)

(24)登録日 令和4年8月16日(2022.8.16)

(51)国際特許分類	F I	
F 0 2 D 41/38 (2006.01)	F 0 2 D 41/38	
F 0 2 D 41/40 (2006.01)	F 0 2 D 41/40	
F 0 2 B 15/00 (2006.01)	F 0 2 B 15/00	F
F 0 2 B 23/02 (2006.01)	F 0 2 B 23/02	E
F 0 2 B 23/06 (2006.01)	F 0 2 B 23/06	T
請求項の数 6 (全31頁)		

(21)出願番号	特願2019-13580(P2019-13580)	(73)特許権者	000003137
(22)出願日	平成31年1月29日(2019.1.29)		マツダ株式会社
(65)公開番号	特開2020-122409(P2020-122409 A)	(74)代理人	110001427弁理士法人前田特許事務所
(43)公開日	令和2年8月13日(2020.8.13)	(72)発明者	白橋 尚俊
審査請求日	令和3年5月25日(2021.5.25)		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	上杉 康範
			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	松原 武史
			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
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 圧縮着火エンジンの制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

エンジンのシリンダ内に挿されかつ、前記シリンダ内を往復移動するピストンと、
前記シリンダ及び前記ピストンによって形成される燃焼室の天井面に配設されかつ、噴射軸に沿って燃料噴霧を噴射する燃料噴射弁と、

前記エンジンに取り付けられかつ、前記エンジンの排気エネルギーによって吸気を過給するターボ過給機と、

前記エンジンの運転に関する各種パラメータに応じた計測信号を出力する計測部と、

前記計測部の計測信号を受けかつ、前記エンジンの回転数及び負荷によって定まる運転状態に応じて、前記燃料噴射弁に制御信号を出力する制御部と、

一燃焼サイクル中に前記燃焼室へ噴射する燃料の総噴射量が増えると、燃料の噴射圧を高くする噴射圧変更部と、を備え、

前記ピストンは、その頂面の径方向中央部に設けられた下キャビティと、前記下キャビティの周囲に設けられかつ、前記下キャビティよりも浅い上キャビティと、前記下キャビティと上キャビティとの間のリップ部と、を有し、

前記制御部は、前記エンジンが第1状態、及び、前記第1状態よりも回転数が高い第2状態で運転している場合は、前記燃料噴射弁に、圧縮上死点付近で行うメイン噴射と、圧縮行程中に行う、少なくとも一のパイロット噴射とを実行させ、

前記メイン噴射及びパイロット噴射はそれぞれ、噴射期間の少なくとも一部において前記噴射軸が前記リップ部を指向することにより、燃料噴霧が前記下キャビティと前記上キ

キャビティとのそれぞれに分配され、

前記制御部は、前記エンジンが前記第 2 状態で運転している場合は、前記第 1 状態で運転している場合と比較して、前記メイン噴射の噴射量を維持すると共に、同タイミングで噴射する前記パイロット噴射の噴射量を増やす圧縮着火エンジンの制御装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の圧縮着火エンジンの制御装置において、

前記制御部は、前記エンジンが前記第 1 状態で運転している場合、及び、前記第 2 状態で運転している場合のそれぞれにおいて、前記パイロット噴射の回数を同じにする圧縮着火エンジンの制御装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の圧縮着火エンジンの制御装置において、

前記制御部は、前記燃料噴射弁に、第 1 ~ 第 3 のパイロット噴射を順に実行させ、

前記制御部は、前記エンジンが前記第 2 状態で運転している場合は、前記第 1 状態で運転している場合よりも、第 1 パイロット噴射及び第 2 パイロット噴射の噴射量を増やす圧縮着火エンジンの制御装置。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の圧縮着火エンジンの制御装置において、

前記制御部は、前記エンジンが前記第 1 状態で運転している場合は、前記メイン噴射を、圧縮上死点後の特定期間において実行させ、前記エンジンが前記第 2 状態で運転している場合は、前記メイン噴射を、圧縮上死点後の前記特定期間において実行させる圧縮着火エンジンの制御装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の圧縮着火エンジンの制御装置において、

前記下キャビティは、前記上キャビティよりも容積が大きい圧縮着火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エンジンの制御装置において、

前記制御部は、前記エンジンが前記第 1 状態及び前記第 2 状態よりも負荷が高い第 3 状態で運転している場合は、前記燃料噴射弁に、圧縮上死点付近で行うメイン噴射と、圧縮行程中に行う、少なくとも一のパイロット噴射とを実行させ、

前記制御部は、前記エンジンが前記第 3 状態で運転している場合は、前記パイロット噴射の時期を、前記第 1 状態及び前記第 2 状態で運転している場合よりも早くする圧縮着火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、ピストンに第 1 のキャビティと第 2 のキャビティと突部とが設けられたディーゼルエンジンが記載されている。

【0003】

燃料噴射ノズルから噴出された燃料噴霧は、突部によって、第 1 のキャビティと第 2 のキャビティとに分配される。いわゆる二段キャビティを有するエンジンは、空気利用率を高くすることができるから、このエンジンは、燃費の向上、及び、排出ガスのクリーン化に有利である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開 2010 - 101243 号公報

10

20

30

40

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本願出願人は、圧縮着火エンジンにおいて、プレ燃焼の熱発生とメイン燃焼の熱発生とが滑らかに連続することによってクランク角の進行に対する熱発生率の変化が一山になった急速多段燃焼を実現している。急速多段燃焼は、少なくとも一のパイロット噴射とメイン噴射とを行うことにより実現することができる。急速多段燃焼は、燃焼騒音が増大することを抑制しながら、熱効率の向上とエミッション性能の向上とを図ることができる。圧縮着火エンジンが急速多段燃焼を行うことによって、当該エンジンが搭載された自動車は、高い静粛性、低燃費及び排出ガスのクリーン化を実現することができる。

10

【0006】

本願発明者らは、二段キャビティを有する圧縮着火エンジンにおいて急速多段燃焼を行おうとしている。燃料噴射弁が噴射した燃料噴霧が、上キャビティと下キャビティとの間のリップ部によって、上キャビティと下キャビティとのそれぞれに所定の割合で分配されると、急速多段燃焼を実現することができる。二段キャビティを有する圧縮着火エンジンにおいて急速多段燃焼を実現すると、当該エンジンが搭載された自動車は、低燃費及び排出ガスのクリーン化がさらに向上する。

【0007】

しかしながら、エンジンの回転数、及び/又は、エンジンの負荷が変化すると、燃焼室へ噴射される総燃料量及び噴射圧、並びに、燃焼室内の圧力が変化する。そのため、エンジンの回転数、及び/又は、エンジンの負荷が変化すると、燃料噴射弁が燃焼室内へ噴射した燃料噴霧の特性（例えばペネトレーション）や、燃焼室内の環境（例えば圧力）が変わる。燃料噴霧の特性及び燃焼室内の環境が変わることによって、上キャビティと下キャビティとの燃料の分配割合が変わってしまう。その結果、急速多段燃焼が実現しなくなる。つまり、二段キャビティを有するエンジンにおいて急速多段燃焼を行おうとしても、ごく限られた運転状態でしか、急速多段燃焼を実現することができない。

20

【0008】

ここに開示する技術は、二段キャビティを備えた圧縮着火エンジンにおいて、エンジンの運転状態が変わっても、上キャビティ及び下キャビティへの燃料の分配割合を維持する。

【課題を解決するための手段】

30

【0009】

ここに開示する圧縮着火エンジンの制御装置は、エンジンのシリンダに内挿されかつ、前記シリンダ内を往復移動するピストンと、前記シリンダ及び前記ピストンによって形成される燃焼室の天井面に配設されかつ、噴射軸に沿って燃料噴霧を噴射する燃料噴射弁と、前記エンジンに取り付けられかつ、前記エンジンの排気エネルギーによって吸気を過給するターボ過給機と、前記エンジンの運転に関する各種パラメータに応じた計測信号を出力する計測部と、前記計測部の計測信号を受けかつ、前記エンジンの回転数及び負荷によって定まる運転状態に応じて、前記燃料噴射弁に制御信号を出力する制御部と、一燃焼サイクル中に前記燃焼室へ噴射する燃料の総噴射量が増えると、燃料の噴射圧を高くする噴射圧変更部と、を備える。

40

【0010】

前記ピストンは、その頂面の径方向中央部に設けられた下キャビティと、前記下キャビティの周囲に設けられかつ、前記下キャビティよりも浅い上キャビティと、前記下キャビティと上キャビティとの間のリップ部と、を有し、前記制御部は、前記エンジンが第1状態、及び、前記第1状態よりも回転数が高い第2状態で運転している場合は、前記燃料噴射弁に、圧縮上死点付近で行うメイン噴射と、圧縮行程中に行う、少なくとも一のパイロット噴射とを実行させ、前記メイン噴射及びパイロット噴射はそれぞれ、噴射期間の少なくとも一部において前記噴射軸が前記リップ部を指向することにより、燃料噴霧が前記下キャビティと前記上キャビティとのそれぞれに分配され、前記制御部は、前記エンジンが前記第2状態で運転している場合は、前記第1状態で運転している場合と比較して、前記

50

メイン噴射の噴射量を維持すると共に、同タイミングで噴射する前記パイロット噴射の噴射量を増やす。

【0011】

このエンジンの燃焼室は、二段キャビティを有している。このエンジンは、第1状態及び第2状態で運転している場合は、少なくとも一のパイロット噴射とメイン噴射とを行う。パイロット噴射の燃料噴霧は、上キャビティ及び下キャビティのそれぞれに分配され、メイン噴射の燃料噴霧も、上キャビティ及び下キャビティのそれぞれに分配される。このエンジンは、第1状態及び第2状態で運転している場合に、急速多段燃焼を実現することができる。

【0012】

エンジンの回転数が高くなると、ターボ過給機の過給圧が高くなって燃焼室内の圧力が高くなる。燃焼室内の圧力が高いと、燃料噴霧は飛びにくくなる。燃料噴霧が飛びにくいと、ピストンのリップ部に到達するまでの時間が長い。特にパイロット噴射は、メイン噴射に比べて燃料量が少ないから、パイロット噴射の燃料噴霧は飛びにくくなる。尚、圧縮着火エンジンは、回転数が高くなると、総噴射量が増える。

【0013】

これとは逆に、エンジンの回転数が低くなると、過給圧が低くなって燃焼室内の圧力が低くなる。燃焼室内の圧力が低いと、燃料噴霧は飛びやすくなる。尚、圧縮着火エンジンは、回転数が低くなると、総噴射量が減る。

【0014】

エンジンが第2状態で運転している場合は、回転数が相対的に高い。燃焼室内の圧力が高いため、パイロット噴射の燃料噴霧は飛びにくい。パイロット噴射の燃料噴霧が飛びにくいと、燃料噴射弁に近づきつつあるピストンのリップ部における、下キャビティに近い部分に燃料噴霧が当たる。下キャビティへの燃料の分配が多くなり、上キャビティへの燃料の分配が少なくなる。

【0015】

エンジンが第1状態で運転している場合は、回転数が相対的に低い。燃焼室内の圧力が低いため、パイロット噴射の燃料噴霧は飛びやすい。パイロット噴射の燃料噴霧が飛びやすいと、燃料噴射弁に近づきつつあるピストンのリップ部における、上キャビティに近い部分に燃料噴霧が当たる。下キャビティへの燃料の分配が少なくなり、上キャビティへの燃料の分配が多くなる。

【0016】

エンジンが第2状態で運転している場合に、パイロット噴射の燃料噴霧の、上キャビティと下キャビティとの分配割合は、エンジンが、第1状態で運転している場合と大きくずれる恐れがある。そこで、制御部は、エンジンが第2状態で運転している場合は、パイロット噴射の燃料噴霧の上キャビティへの分配割合が、エンジンが第1状態で運転している場合よりも多くなるようにする。具体的には、メイン噴射の噴射量を維持する一方で、第1状態及び第2状態のそれぞれにおいて同タイミングで噴射するパイロット噴射の噴射量を、第2状態で運転している場合は増やす。エンジンが第2状態で運転している場合、総噴射量は、第1状態で運転している場合よりも増える。総噴射量の増量分を、パイロット噴射の噴射量の増量に割り当ててもよい。

【0017】

パイロット噴射の噴射量が増えると、燃料噴霧のペネトレーションが高くなる。パイロット噴射の燃料噴霧は、燃焼室内の高い圧力に打ち勝ってリップ部に速やかに到達し、リップ部における、上キャビティに近い部分に燃料噴霧が当たる。上キャビティへの燃料の分配が多くなる。パイロット噴射の燃料噴霧の上キャビティ及び下キャビティへの燃料の分配割合は、エンジンが第1状態で運転している場合も、第2状態で運転している場合も同等、又は、ほぼ同等になる。

【0018】

また、エンジンが第2状態で運転している場合に、メイン噴射の燃料噴霧は、第1状態

10

20

30

40

50

で運転している場合と比べて、多少飛びにくい。燃料噴霧は、燃料噴射弁から離れたところにあるピストンのリップ部における、上キャビティに近い部分に当たる。エンジンが第2状態で運転している場合に、メイン噴射の燃料噴霧は、上キャビティへの燃料の分配が、第1状態で運転している場合よりも、多少多くなる。

【0019】

制御部は、エンジンが第2状態で運転している場合に、パイロット噴射の噴射量を適宜調節すれば、パイロット噴射の燃料噴霧の、上キャビティへの分配割合と下キャビティへの分配割合とを調節することができる。パイロット噴射及びメイン噴射が相互に補完をすることによって、エンジンの回転数が変わっても、上キャビティ及び下キャビティへの燃料の分配割合を、所定の割合にすることができる。

10

【0020】

よって、エンジンの回転数が変わっても、パイロット噴射及びメイン噴射の燃料噴霧の、上キャビティ及び下キャビティへの分配割合は所定の割合のままになる。エンジンの回転数が変わっても急速多段燃焼を実現することができる。このエンジンを搭載した自動車は、高い静粛性、低燃費及び排出ガスのクリーン化を実現することができる。

【0021】

前述した構成は、第1状態のエンジン負荷及び第2状態のエンジン負荷が、共に、所定負荷よりも低く、一燃焼サイクル中に燃焼室へ噴射する燃料の総噴射量が相対的に少ない場合に特に有効である。

【0022】

前記制御部は、前記エンジンが前記第1状態で運転している場合、及び、前記第2状態で運転している場合のそれぞれにおいて、前記パイロット噴射の回数を同じにする、としてもよい。

20

【0023】

前記制御部は、前記燃料噴射弁に、第1～第3のパイロット噴射を順に実行させ、前記制御部は、前記エンジンが前記第2状態で運転している場合は、前記第1状態で運転している場合よりも、第1パイロット噴射及び第2パイロット噴射の噴射量を増やす、としてもよい。

【0024】

ピストンが燃料噴射弁から離れているタイミングで噴射した燃料噴霧は、下キャビティよりも上キャビティに入りやすい。エンジンが前記第2状態で運転している場合は、早い時期に実行するパイロット噴射、つまり、第1パイロット噴射及び第2パイロット噴射の噴射量を、第1状態で運転している場合よりも増やすことにより、上キャビティへの燃料の分配が増える。

30

【0025】

前記制御部は、前記エンジンが前記第1状態で運転している場合は、前記メイン噴射を、圧縮上死点後の特定期間において実行させ、前記エンジンが前記第2状態で運転している場合は、前記メイン噴射を、圧縮上死点後の前記特定期間において実行させる、としてもよい。

【0026】

エンジンの回転数の高低に関わらず、メイン噴射の時期は、圧縮上死点後の特定期間にする。メイン噴射の時期が変わらないため、エンジンは高い熱効率を維持することができる。この構成は、自動車の燃費の向上に有利である。

40

【0027】

メイン噴射の時期及び噴射量を変えない一方で、エンジンの回転数が変わると、前述したように燃料噴霧の飛びやすさが変わるから、メイン噴射の燃料噴霧の分配割合が多少変わる場合がある。前述したように、パイロット噴射は、噴射量の調節によって、メイン噴射の燃料噴霧の分配割合の変化を補完することができる。上キャビティ及び下キャビティへの燃料の分配割合は、エンジンの回転数が変わっても、所定の割合で維持される。

【0028】

50

前記下キャビティは、前記上キャビティよりも容積が大きい、としてもよい。

【0029】

メイン噴射の噴射量が増えると、燃料噴霧のペネトレーションが高くなる。燃料噴霧のペネトレーションが高くなると、燃料噴霧がリップ部に到達するまでの時間が短くなるから、下キャビティに分配される燃料が多くなる。メイン噴射の噴射量が増えた場合に、燃料は、下キャビティの多量の酸素を利用して燃焼することができる。このエンジンは、空気利用率が向上する。自動車の燃費性能が向上しかつ、排出ガスがクリーンになる。

【0030】

前記制御部は、前記エンジンが前記第1状態及び前記第2状態よりも負荷が高い第3状態で運転している場合は、前記燃料噴射弁に、圧縮上死点付近で行うメイン噴射と、圧縮行程中に行う、少なくとも一のパイロット噴射とを実行させ、前記制御部は、前記エンジンが前記第3状態で運転している場合は、前記パイロット噴射の時期を、前記第1状態及び前記第2状態で運転している場合よりも早くする、としてもよい。

10

【0031】

エンジンが第3状態で運転している場合は、負荷が高いため、総噴射量が増える。噴射圧変更部は、噴射圧を高くする。エンジンが第3状態で運転している場合は、総噴射量が増えることと、噴射圧が高くなることとによって、燃料噴射弁が噴射した燃料噴霧のペネトレーションが高くなる。燃料噴霧のペネトレーションが高いと、ピストンのリップ部に到達するまでの時間が短い。

【0032】

圧縮上死点付近のメイン噴射の燃料噴霧のペネトレーションが高いと、ピストンが燃料噴射弁から離れる前に燃料噴霧がリップ部に到達するから、燃料噴霧はリップ部の下キャビティに近い部分に当たる。下キャビティへの燃料の分配が多くなりかつ、上キャビティへの燃料の分配が少なくなる。そこで、制御部は、パイロット噴射の時期を、相対的に早くする。パイロット噴射の時期が早いと、ピストンは燃料噴射弁から離れているから、リップ部の上キャビティに近い部分に燃料噴霧が当たる。上キャビティへの燃料の分配が多くなり、下キャビティへの燃料の分配が少なくなる。パイロット噴射及びメイン噴射が相互に補完をすることによって、エンジンが第3状態で運転している場合に、上キャビティ及び下キャビティへの燃料の分配割合が、第1状態での運転時及び第2状態での運転時と同程度になる。

20

【0033】

よって、エンジンの負荷が変わっても上キャビティ及び下キャビティへの燃料の分配割合は所定の割合に維持される。また、前述したように、エンジンの回転数が変わっても上キャビティ及び下キャビティへの燃料の分配割合は所定の割合に維持される。このエンジンは、エンジンの回転数、及び/又は、エンジンの負荷が変わっても急速多段燃焼を実現することができる。このエンジンを搭載した自動車は、高い静粛性、低燃費及び排出ガスのクリーン化を実現することができる。

30

【発明の効果】

【0034】

以上説明したように、前記の圧縮着火エンジンの制御装置は、エンジンの回転数が変わっても、上キャビティ及び下キャビティへの燃料の分配割合が変わらない。

40

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】図1は、ディーゼルエンジンシステムの構成例を示す図である。

【図2】図2は、ディーゼルエンジンシステムの制御構成例を示すブロック図である。

【図3】図3は、ディーゼルエンジンのピストンの頂面部分を例示する斜視図である。

【図4】図4は、ピストンの断面付きの斜視図である。

【図5】図5は、図4に示すピストン断面の拡大図である。

【図6】図6は、インジェクタが噴射した燃料噴霧の流れを説明するための、ピストンの断面図である。

50

【図 7】図 7 は、ディーゼルエンジンの運転マップの一部を例示する図である。

【図 8】図 8 は、クランク角の進行に対する熱発生率の変化を例示する図である。

【図 9】図 9 は、各領域における燃料噴射パターンを例示する図である。

【図 10】図 10 は、領域 B における燃料噴射パターンと、各噴射における上キャビティと下キャビティとの燃料の分配割合とを例示する図である。

【図 11】図 11 は、領域 C における燃料噴射パターンと、各噴射における上キャビティと下キャビティとの燃料の分配割合とを例示する図である。

【図 12】図 12 は、領域 D における燃料噴射パターンと、各噴射における上キャビティと下キャビティとの燃料の分配割合とを例示する図である。

【図 13】図 13 は、領域 A における燃料噴射パターンと、各噴射における上キャビティと下キャビティとの燃料の分配割合とを例示する図である。

10

【図 14】図 14 は、領域 E における燃料噴射パターンと、各噴射における上キャビティと下キャビティとの燃料の分配割合とを例示する図である。

【図 15 A】図 15 A は、ECU が実行する燃料噴射に係る制御手順の一部を例示するフローチャートである。

【図 15 B】図 15 B は、ECU が実行する燃料噴射に係る制御手順の一部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】

【0036】

以下、圧縮着火エンジンの制御装置の実施形態について、図面を参照しながら説明する。以下で説明する圧縮着火エンジンの制御装置は例示である。

20

【0037】

(エンジンシステムの全体構成)

図 1 は、エンジンシステムの全体構成を例示する図である。エンジンシステムは、四輪の自動車に搭載される。エンジンシステムは、エンジン 1 と、吸気通路 30 と、排気通路 40 と、排気浄化装置 41 と、EGR 装置 44 と、ターボ過給機 47 と、を備えている。

【0038】

エンジン 1 は、軽油を主成分とした燃料が供給されるディーゼルエンジンである。燃料は圧縮着火によって燃焼する。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 は、シリンダブロック 11 と、シリンダヘッド 12 と、オイルパン 13 とを有している。シリンダブロック 11 には、複数のシリンダ 11a (図 1 においては、一つのみ図示) が設けられている。シリンダヘッド 12 は、シリンダブロック 11 の上に配設されている。オイルパン 13 は、シリンダブロック 11 の下に配設されている。オイルパン 13 には、潤滑油が貯留している。

30

【0039】

各シリンダ 11a には、ピストン 5 が挿入されている。ピストン 5 は、シリンダ 11a 内を往復動する。ピストン 5 は、コンロッド 14 を介してクランクシャフト 15 につながっている。ピストン 5 と、シリンダ 11a と、シリンダヘッド 12 とは、燃焼室 6 を形成する。

【0040】

図 3 に示すように、ピストン 5 の頂面 59 にはキャビティ 50 が形成されている。キャビティ 50 の形状の詳細は、後述する。

40

【0041】

エンジン 1 には、クランク角センサ SN1 及び水温センサ SN2 が取り付けられている。クランク角センサ SN1 は、クランクシャフト 15 の回転に応じた計測信号を出力する。水温センサ SN2 は、シリンダブロック 11 及びシリンダヘッド 12 内を流れる冷却水の温度に応じた計測信号を出力する。

【0042】

シリンダヘッド 12 には、シリンダ 11a 毎に吸気ポート 16 及び排気ポート 17 が形成されている。吸気ポート 16 には、燃焼室 6 の開口を開閉する吸気弁 21 が配設されて

50

いる。排気ポート 1 7 には、燃焼室 6 の開口を開閉する排気弁 2 2 が配設されている。

【 0 0 4 3 】

シリンダヘッド 1 2 には、吸気動弁機構 2 3 及び排気動弁機構 2 4 が配設されている。吸気動弁機構 2 3 は、クランクシャフト 1 5 の回転に同期して吸気弁 2 1 を開閉する。排気動弁機構 2 4 は、クランクシャフト 1 5 の回転に同期して排気弁 2 2 を開閉する。吸気動弁機構 2 3 は、吸気弁 2 1 の開閉時期を連続的に変更することができる吸気 S - V T (Sequential-Valve Timing) を有している。排気動弁機構 2 4 は、排気弁 2 2 の開閉時期を連続的に変更することができる排気 S - V T を有している。

【 0 0 4 4 】

シリンダヘッド 1 2 には、インジェクタ 1 8 が取り付けられている。インジェクタ 1 8 は、燃焼室 6 内へ燃料噴霧を噴射する燃料噴射弁である。インジェクタ 1 8 は、シリンダ 1 1 a 毎に取り付けられている。

10

【 0 0 4 5 】

各インジェクタ 1 8 は、図示を省略する燃料供給管を介して、蓄圧用コモンレールに接続されている。コモンレールは、図外の燃料ポンプによって加圧された高圧の燃料を貯留する。コモンレール内で蓄圧された燃料が各シリンダ 1 1 a のインジェクタ 1 8 に供給されることにより、インジェクタ 1 8 は高圧 (例えば 5 0 ~ 2 5 0 M P a) の燃料を、燃焼室 6 内へ噴射する。燃料ポンプとコモンレールとの間には、インジェクタ 1 8 が噴射する燃料の圧力 (つまり、噴射圧) を変更するための、燃圧レギュレータ 1 9 が設けられている (図 2 参照)。燃圧レギュレータ 1 9 は、一燃焼サイクル中に燃焼室 6 へ噴射する燃料の総噴射量が増えると、噴射圧を高くする。燃圧レギュレータ 1 9 は、噴射圧変更部の一例である。

20

【 0 0 4 6 】

吸気通路 3 0 は、エンジン 1 の一側面に接続されている。吸気通路 3 0 は、各シリンダ 1 1 a の吸気ポート 1 6 に連通している。吸気通路 3 0 は、各燃焼室 6 へ空気を導く。排気通路 4 0 は、エンジン 1 の他側面に接続されている。排気通路 4 0 は、各シリンダ 1 1 a の排気ポート 1 7 に連通している。排気通路 4 0 は、各燃焼室 6 から排出された排気を自動車の外へ導く。

【 0 0 4 7 】

吸気通路 3 0 の上流端部には、エアクリーナ 3 1 が配設されている。エアクリーナ 3 1 は、吸気中の異物を除去する。吸気通路 3 0 の下流端部には、サージタンク 3 3 が設けられている。

30

【 0 0 4 8 】

吸気通路 3 0 におけるエアクリーナ 3 1 とサージタンク 3 3 との間には、上流から順に、ターボ過給機 4 7 のコンプレッサ 4 8 と、吸気絞り弁 3 2 と、インタークーラ 3 5 とが配設されている。インタークーラ 3 5 は、コンプレッサ 4 8 が圧縮した空気を冷却する。吸気絞り弁 3 2 は、空気量を調節する。吸気絞り弁 3 2 は、基本的に全開である。

【 0 0 4 9 】

吸気通路 3 0 には、エアフローセンサ S N 3、吸気温センサ S N 4、吸気圧センサ S N 5 及び吸気 O₂ センサ S N 6 が配設されている。

40

【 0 0 5 0 】

エアフローセンサ S N 3 は、エアクリーナ 3 1 の下流に配設されている。エアフローセンサ S N 3 は、当該箇所を通過する吸気の流量に応じた計測信号を出力する。

【 0 0 5 1 】

吸気温センサ S N 4 は、インタークーラ 3 5 の下流に配置されている。吸気温センサ S N 4 は、当該箇所を通過する吸気の温度に応じた計測信号を出力する。

【 0 0 5 2 】

吸気圧センサ S N 5 及び吸気 O₂ センサ S N 6 はそれぞれ、サージタンク 3 3 の近傍に配設されている。吸気圧センサ S N 5 は、当該箇所における吸気の圧力に応じた計測信号を出力する。吸気 O₂ センサ S N 6 は、当該箇所における吸気の酸素濃度に応じた計測信

50

号を出力する。

【 0 0 5 3 】

尚、図 1 には図示していないが、エンジンシステムは、インジェクタ 1 8 の噴射圧に応じた計測信号を出力する噴射圧センサ S N 7 を有している（図 2 参照）。

【 0 0 5 4 】

排気通路 4 0 には、上流側から順に、ターボ過給機 4 7 のタービン 4 9 と、排気浄化装置 4 1 とが配設されている。

【 0 0 5 5 】

ターボ過給機 4 7 のコンプレッサ 4 8 とタービン 4 9 とは、互いに連結されている。コンプレッサ 4 8 とタービン 4 9 とは一体に回転する。タービン 4 9 は、排気の流体エネルギーによって回転する。タービン 4 9 が回転すると、コンプレッサ 4 8 が回転する。コンプレッサ 4 8 は、吸気を圧縮する。

10

【 0 0 5 6 】

排気浄化装置 4 1 は、排気中の有害成分を浄化する。排気浄化装置 4 1 は、酸化触媒 4 2 と、ディーゼルパティキュレートフィルタ（以下、D P F という）4 3 とを有している。酸化触媒 4 2 は、排気中の C O 及び H C が酸化されることによって C O 2 及び H 2 O が生成する反応を促す。D P F 4 3 は、排気中の煤等の微粒子を捕集する。

【 0 0 5 7 】

排気通路 4 0 には、排気 O 2 センサ S N 8 及び差圧センサ S N 9 が配設されている。排気 O 2 センサ S N 8 は、タービン 4 9 と排気浄化装置 4 1 との間に配設されている。排気 O 2 センサ S N 8 は、当該箇所を通過する排気の酸素濃度に対応する計測信号を出力する。差圧センサ S N 9 は、D P F 4 3 の上流端と下流端との差圧に対応する計測信号を出力する。

20

【 0 0 5 8 】

E G R 装置 4 4 は、排気の一部（つまり、E G R ガス）を吸気通路 3 0 に還流する。E G R 装置 4 4 は、E G R 通路 4 5 と、E G R 弁 4 6 とを有している。E G R 通路 4 5 は、吸気通路 3 0 と排気通路 4 0 とをつないでいる。より詳細に、E G R 通路 4 5 は、排気通路 4 0 におけるタービン 4 9 よりも上流部分と、吸気通路 3 0 におけるインタークーラ 3 5 とサージタンク 3 3 との間の部分とをつないでいる。E G R 弁 4 6 は、E G R 通路 4 5 の途中に設けられている。E G R 弁 4 6 は、E G R ガスの還流量を調整する。尚、図示は省略するが、E G R 通路 4 5 には、E G R ガスをエンジン冷却水によって冷却する E G R クーラが配設されている。

30

【 0 0 5 9 】

（エンジンの制御装置の構成）

図 2 は、エンジンシステムの制御構成を例示するブロック図である。エンジンシステムは、エンジン 1 を制御するエンジンコントロールユニット（以下、E C U という）1 0 を備えている。E C U 1 0 は、制御部の一例である。E C U 1 0 は、マイクロコンピュータ 1 0 1、メモリ 1 0 2、及び、I / F 回路 1 0 3 を有している。マイクロコンピュータ 1 0 1 は、プログラムを実行する中央演算処理装置（C P U）を含む。メモリ 1 0 2 は、例えば R A M（Random Access Memory）や R O M（Read Only Memory）により構成される。メモリ 1 0 2 は、プログラム及びデータを記憶する。I / F 回路は、電気信号の入出力を行う。

40

【 0 0 6 0 】

E C U 1 0 は、自動車に搭載されている各センサの計測信号を受ける。自動車には、前述したクランク角センサ S N 1、水温センサ S N 2、エアフローセンサ S N 3、吸気温センサ S N 4、吸気圧センサ S N 5 及び吸気 O 2 センサ S N 6、噴射圧センサ S N 7、排気 O 2 センサ S N 8、及び、差圧センサ S N 9 の他に、アクセル開度センサ S N 1 0、大気圧センサ S N 1 1、外気温センサ S N 1 2 が搭載されている。アクセル開度センサ S N 1 0 は、アクセルペダルの踏み込み量に応じた計測信号を出力する。大気圧センサ S N 1 1 は、自動車の走行環境下における大気圧に応じた計測信号を出力する。外気温センサ S N

50

12は、自動車の走行環境下における気温に応じた計測信号を出力する。

【0061】

ECU10は、各センサSN1～SN12の計測信号に基づいてエンジン1の運転状態を判断し、インジェクタ18、燃圧レギュレータ19、吸気絞り弁32、及び、EGR弁46へ制御信号を出力する。これによりエンジン1が運転する。

【0062】

インジェクタ18の制御に関して、ECU10は、燃料噴射制御部71を有している。燃料噴射制御部71は、ECU10の機能ブロックの一つである。燃料噴射制御部71は、所定のプログラムが実行されることによって、運転状態判断部72、噴射パターン選択部73、及び、噴射設定部74を機能的に具備するよう動作する。

10

【0063】

運転状態判断部72は、クランク角センサSN1の計測信号に基づくエンジン回転数、及び、アクセル開度センサSN10の計測信号に基づくエンジン負荷から、エンジン1の運転状態を判断する。運転状態判断部72はまた、詳細は後述するが、エンジン1の運転状態が、急速多段燃焼領域内にあるか、通常燃焼領域内にあるかの判断を行うと共に、エンジン1の運転状態が、急速多段燃焼領域内における領域A～Eのどの領域内にあるかの判断を行う(図7参照)。

【0064】

噴射パターン選択部73は、詳細は後述するが、運転状態判断部72が判断した運転状態に対応する噴射パターンを選択する。エンジン1の運転状態が急速多段燃焼領域内にある場合、噴射パターンは、少なくとも一のパイロット噴射と、メイン噴射と、少なくとも一のアフター噴射とを含む(図9参照)。

20

【0065】

噴射設定部74は、エンジンの運転状態に基づいて、一燃焼サイクル中に燃焼室6内へ噴射する総噴射量及び噴射圧を設定すると共に、噴射パターン選択部73が選択した噴射パターンに応じて、各噴射の噴射量及び噴射タイミングを設定する。噴射設定部74の設定に従って、ECU10がインジェクタ18に制御信号を出力することにより、インジェクタ18は、設定された噴射圧で、設定された時期に、設定された量の燃料を、燃焼室6内へ噴射する。

【0066】

(ピストンの構造)

次に、図3～5を参照しながら、ピストン5の構造について説明する。図3は、ピストン5の上部を主に示す斜視図である。図4は、ピストン5の断面付きの斜視図である。図5は、図4に示す断面の拡大図である。尚、図3及び図4において、シリンダ11aの軸方向X及びシリンダ11aの径方向Yを矢印で示している。

30

【0067】

ピストン5は、キャビティ50、周縁平面部55及び側周面56を含む。燃焼室6を形成する壁面の一部は、ピストン5の頂面59である。キャビティ50は、ピストン5の頂面59に設けられている。キャビティ50は、軸方向Xにおいて頂面59が下方に凹陷した部分である。キャビティ50は、インジェクタ18が噴射した燃料噴霧を受ける。周縁平面部55は、頂面59において径方向Yの外周縁付近の領域に配置された環状の平面部である。キャビティ50は、周縁平面部55を除く頂面の径方向Yの中央領域に設けられている。側周面56は、シリンダ11aの内壁面と摺接する面である。

40

【0068】

キャビティ50は、下キャビティ部51、上キャビティ部52、リップ部53及び山部54を含む。燃焼室6は、いわゆる二段キャビティを有している。以下において詳述するように、下キャビティ部51及び上キャビティ部52はそれぞれ、断面が卵状の壁面を有している。このキャビティ50の形状は、二段エッグシェイプ形状と呼ぶことができる。

【0069】

下キャビティ部51は、頂面59の径方向Yの中心領域に配置された凹部である。上キ

50

ャビティ部 5 2 は、頂面 5 9 における下キャビティ部 5 1 の周囲に配置された、環状の凹部である。リップ部 5 3 は、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 とをつなぐ部分である。山部 5 4 は、ピストン 5 の径方向の中心位置に配置された凸部である。山部 5 4 は、インジェクタ 1 8 の直下に位置している。

【 0 0 7 0 】

下キャビティ部 5 1 の容積は、上キャビティ部 5 2 の容積よりも大きい。下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との容積比は、所定の容積比に設定されている。この構成例において、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との容積比は、7 0 : 3 0 である。

【 0 0 7 1 】

下キャビティ部 5 1 は、第 1 上端部 5 1 1、第 1 底部 5 1 2、第 1 内側端部 5 1 3、及び、径方向窪み部 5 1 4 を含む。

10

【 0 0 7 2 】

第 1 上端部 5 1 1 は、下キャビティ部 5 1 において最も高い位置にあり、リップ部 5 3 に連続する。第 1 底部 5 1 2 は、下キャビティ部 5 1 において最も凹没した領域である。キャビティ 5 0 の全体としても、この第 1 底部 5 1 2 は最深部であり、下キャビティ部 5 1 は、第 1 底部 5 1 2 において軸方向 X に所定の深さ（第 1 の深さ）を有している。第 1 底部 5 1 2 は、上面視で環状である。第 1 底部 5 1 2 は、リップ部 5 3 に対して径方向 Y の内側に近接した位置にある。

【 0 0 7 3 】

径方向窪み部 5 1 4 は、第 1 上端部 5 1 1 と第 1 底部 5 1 2 との間をつないでいる。径方向窪み部 5 1 4 は、径方向 Y の外側に湾曲している。径方向窪み部 5 1 4 は、リップ部 5 3 よりも径方向 Y の外側に窪んだ部分を有している。第 1 内側端部 5 1 3 は、下キャビティ部 5 1 において径方向の最も内側の位置にあり、山部 5 4 の下端に連続する。第 1 内側端部 5 1 3 と第 1 底部 5 1 2 との間は、緩やかに湾曲した曲面でつながっている。

20

【 0 0 7 4 】

上キャビティ部 5 2 は、第 2 内側端部 5 2 1、第 2 底部 5 2 2、第 2 上端部 5 2 3、テーパー領域 5 2 4、及び、立ち壁領域 5 2 5 を含む。

【 0 0 7 5 】

第 2 内側端部 5 2 1 は、上キャビティ部 5 2 において径方向の最も内側の位置にあり、リップ部 5 3 に連続する。第 2 底部 5 2 2 は、上キャビティ部 5 2 において最も凹没した領域である。第 2 底部 5 2 2 は、軸方向 X に、第 1 底部 5 1 2 よりも上に位置している。上キャビティ部 5 2 は、下キャビティ部 5 1 よりも浅い。第 2 上端部 5 2 3 は、上キャビティ部 5 2 において最も高い位置であって径方向の最も外側に位置している。第 2 上端部 5 2 3 は周縁平面部 5 5 に連続する。

30

【 0 0 7 6 】

テーパー領域 5 2 4 は、第 2 内側端部 5 2 1 から第 2 底部 5 2 2 に向けて伸びかつ、径方向外側へ先下がりに傾斜した面形状を有する部分である。図 5 に示されているように、テーパー領域 5 2 4 は、径方向 Y に伸びる水平ライン C 1 に対して傾き角 θ で交差する傾斜ライン C 2 に沿った傾きを有している。

【 0 0 7 7 】

立ち壁領域 5 2 5 は、第 2 底部 5 2 2 よりも径方向外側において、比較的急峻に立ち上がるように形成された壁面である。径方向 Y の断面形状において、第 2 底部 5 2 2 から第 2 上端部 5 2 3 にかけて、上キャビティ部 5 2 の壁面が水平方向から上方向へ向かうように湾曲された曲面とされている。立ち壁領域 5 2 5 は、第 2 上端部 5 2 3 の近傍において垂直壁に近い壁面とされている部分である。立ち壁領域 5 2 5 の上端位置に対して、立ち壁領域 5 2 5 の下方部分は、径方向 Y の内側に位置している。これにより、詳細は後述するが、混合気が燃焼室 6 の径方向 Y の内側へ戻りすぎないようにしかつ、立ち壁領域 5 2 5 よりも径方向外側の空間（つまり、スキッシュ領域）も有効に活用した燃焼を行うことができる。

40

【 0 0 7 8 】

50

リップ部 5 3 は、径方向 Y の断面形状において、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との間で、径方向内側にこぶ状に突出する形状を有している。リップ部 5 3 は、下端部 5 3 1 及び第 3 上端部 5 3 2 と、これらの間の中央に位置する中央部 5 3 3 とを有している。下端部 5 3 1 は、下キャビティ部 5 1 の第 1 上端部 5 1 1 とつながる。第 3 上端部 5 3 2 は、上キャビティ部 5 2 の第 2 内側端部 5 2 1 につながる。

【 0 0 7 9 】

軸方向 X において、下端部 5 3 1 はリップ部 5 3 の最も下方に位置する部分であり、第 3 上端部 5 3 2 は、リップ部 5 3 の最も上方に位置する部分である。テーパ領域 5 2 4 は、第 3 上端部 5 3 2 から第 2 底部 5 2 2 に向けて伸びる領域でもある。第 2 底部 5 2 2 は、第 3 上端部 5 3 2 よりも下方に位置している。つまり、上キャビティ部 5 2 は、第 3 上端部 5 3 2 よりも下方に窪んだ第 2 底部 5 2 2 を有している。上キャビティ部 5 2 は、第 3 上端部 5 3 2 から径方向 Y の外側に水平に伸びる底面を有しているのではない。換言すると、第 3 上端部 5 3 2 から周縁平面部 5 5 までが水平面につながっているのではない。

10

【 0 0 8 0 】

山部 5 4 は、上方に向けて突出しているが、その突出高さはリップ部 5 3 の第 3 上端部 5 3 2 の高さと同じ又はほぼ同一である。山部 5 4 は、周縁平面部 5 5 よりも窪んだ位置にある。山部 5 4 は、下キャビティ部 5 1 の中心に位置している。下キャビティ部 5 1 は、山部 5 4 の周囲に形成された環状である。

【 0 0 8 1 】

(燃料噴霧の流れ)

次に、インジェクタ 1 8 が噴射した燃料噴霧の流れについて、図 6 を参照しながら説明する。図 6 は、燃焼室 6 の簡略的な断面図である。図 6 には、ピストン 5 のキャビティ 5 0 と、インジェクタ 1 8 と、インジェクタ 1 8 が噴射した燃料噴霧 1 8 0 の噴射軸 A X と、燃料噴霧の流れを示す矢印 F 1 1、F 1 2、F 1 3、F 2 1、F 2 2、F 2 3 とが描かれている。

20

【 0 0 8 2 】

インジェクタ 1 8 は、燃焼室 6 の天井面 6 1 から、燃焼室 6 内へ下方に突出するノズル 1 8 1 を備えている。ノズル 1 8 1 は、シリンダ 1 1 a の径方向の中心に位置している。ノズル 1 8 1 は、噴射孔 1 8 2 を有している。インジェクタ 1 8 は、噴射孔 1 8 2 を通じて燃焼室 6 へ燃料噴霧 1 8 0 を噴射する。尚、図 6 では、一つの噴射孔 1 8 2 を示しているが、ノズル 1 8 1 は、実際は複数個の噴射孔 1 8 2 を有している。複数の噴射孔 1 8 2 は、ノズル 1 8 1 の周方向に等間隔で配設されている。燃料噴霧 1 8 0 は、噴射軸 A X に沿って流れる。噴射軸 A X は、各噴射孔 1 8 2 の孔軸と一致、又は、ほぼ一致する。噴射された燃料噴霧 1 8 0 は、噴霧角 θ をもって円錐状に拡散する。図 6 には、噴射軸 A X に対する上方向への拡散を示す上拡散軸 A X 1 と、下方向への拡散を示す下拡散軸 A X 2 とが示されている。噴霧角 θ は、上拡散軸 A X 1 と下拡散軸 A X 2 とがなす角度である。

30

【 0 0 8 3 】

噴射孔 1 8 2 は、キャビティ 5 0 のリップ部 5 3 に向けて燃料を噴射することができる。つまり、ピストン 5 が特定の位置にあるタイミングにおいて、インジェクタ 1 8 が噴射孔 1 8 2 を通じて燃料噴霧を噴射することによって、噴射軸 A X をリップ部 5 3 に指向させることができる。図 6 は、当該タイミングにおける噴射軸 A X とキャビティ 5 0 との位置関係を示している。噴射孔 1 8 2 から噴射された燃料噴霧 1 8 0 は、リップ部 5 3 に当たる。

40

【 0 0 8 4 】

リップ部 5 3 に当たった燃料噴霧 1 8 0 は、その後、下キャビティ部 5 1 の方へ向かう燃料噴霧と、上キャビティ部 5 2 の方へ向かう燃料噴霧とに分かれる。

【 0 0 8 5 】

下キャビティ部 5 1 の方へ向かった燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に存在する空気と混合しながら下キャビティ部 5 1 の面に沿って流れる。詳しくは、矢印 F 1 1 の方向に向かう燃料噴霧は、リップ部 5 3 の下端部 5 3 1 から下キャビティ部 5 1 の径方向窪み部 5

50

14へ入り込み、下向きに流れる。その後、燃料噴霧は、径方向窪み部514の湾曲に沿って、流れ方向を下方向から径方向Yの内側方向へと変え、矢印F12で示すように、第1底部512を有する下キャビティ部51の底面に沿って流れる。下キャビティ部51の底面は、山部54が存在していることにより径方向中央に向かってせり上げる形状を有している。矢印F12の方向に流れる燃料噴霧は、上方へと持ち上げられ、その後、矢印F13で示すように、径方向外側へ向かうように流れる。

【0086】

一方、上キャビティ部52の方へ向かった燃料噴霧は、上キャビティ部52に存在する空気と混合しながら上キャビティ部52の面に沿って流れる。詳しくは、矢印F21の方向に向かう燃料噴霧は、リップ53部の第3上端部532から上キャビティ部52のテーパ領域524へと入り込み、テーパ領域524の傾きに沿って斜め下方に向かう。そして、矢印F22に示すように、燃料噴霧は第2底部522に至る。ここで、テーパ領域524は噴射軸AXに沿う傾きを有する面である。このため、燃料噴霧は、径方向外側へスムーズに流れることができる。つまり、燃料噴霧は、テーパ領域524の存在、及び、リップ部53の第3上端部532よりも下方に位置する第2底部522の存在によって、燃焼室6の径方向外側の奥深い位置まで到達することができる。

10

【0087】

その後、燃料噴霧は、第2底部522から立ち壁領域525の間の立ち上がり曲面によって上方へ持ち上げられ、燃焼室6の天井面61に沿って径方向内側へ向かうように流れる。燃料は、ピストン5の頂面59と燃焼室6の天井面61との間の空気も利用して燃焼することができる。ここで、立ち壁領域525は、その下方部分が上端位置に対して径方向Yの内側に位置する形状を有している。このため、矢印F22で示す流動は、過度に強くなり、燃料噴霧は、径方向Yの内側へ戻りすぎない。

20

【0088】

また、図6に示す立ち壁領域525は、矢印F23で示す径方向Yの外側へ向かう流動も生成する。とりわけ、膨張行程では、逆スキッシュ流に牽引されることにより、矢印F23の流動が生じやすい。従って、燃焼後期には、立ち壁領域525よりも径方向外側のスキッシュ空間の空気も活用した燃焼が実現する。

【0089】

二段キャビティを有する燃焼室6内の燃焼は、空気利用率が向上するから、煤の発生を抑制すると共に、エンジン1の燃費の向上に有利になる。

30

【0090】

(エンジンの制御)

図7は、エンジン1の運転マップ70を例示している。運転マップ70は、ECU10のメモリ102に記憶されている。ECU10は、運転マップ70に従って、エンジン1を制御する。

【0091】

エンジン1の運転マップ70は、エンジン回転数と、エンジン負荷とによって規定されている。運転マップ70は、通常燃焼領域と、急速多段燃焼領域とに区分される。急速多段燃焼領域は、エンジン1の運転領域の全体に対して、低回転の領域でかつ、低中負荷の領域である。尚、「低回転の領域」は、エンジン1の運転領域を、回転数の方向に、低回転領域と高回転領域とに二等分したときの低回転領域に相当する。また、「低中負荷の領域」は、エンジン1の運転領域を、負荷の方向に、低負荷領域、中負荷領域及び高負荷領域に三等分したときの、中負荷領域と低負荷領域の一部に相当する。低負荷領域の一部とは、低負荷領域内の、軽負荷領域を除いた領域である。

40

【0092】

図8は、急速多段燃焼領域における熱発生率の波形を例示している。図8の横軸はクランク角であり、縦軸は熱発生率である。急速多段燃焼は、プレ燃焼の熱発生とメイン燃焼の熱発生とが滑らか連続することによって熱発生率の変化が一山になった燃焼である。尚、メイン燃焼は、エンジン1のトルクを発生させる燃焼である。プレ燃焼は、メイン燃焼

50

に先立つ燃焼であって、燃料の着火性を高める燃焼である。急速多段燃焼は、熱発生率の立ち上がりが比較的急になるため、燃焼期間も短い。急速多段燃焼は、燃焼騒音の増大を抑制しながら、熱効率の向上とエミッション性能の向上とを図ることができる。エンジン 1 が急速多段燃焼を行うことによって、当該エンジン 1 が搭載された自動車は、高い静粛性、低燃費及び排出ガスのクリーン化を実現することができる。

【0093】

急速多段燃焼領域は、図 7 に示すように、領域 A ~ 領域 E の五つの領域に区分されている。領域 B は、急速多段燃焼領域を、低負荷から高負荷の方向に、第 1 負荷領域、第 2 負荷領域、及び第 3 負荷領域に三等分したときの、第 2 負荷領域に相当する。領域 B は、急速多段燃焼領域における中央の負荷領域であり、ベースとなる領域である。

10

【0094】

領域 A は、領域 B よりも負荷の低い領域である。領域 A はまた、領域 B よりも負荷の低い領域の内の、低回転の領域に相当する。領域 E は、領域 A と同様に、領域 B よりも負荷の低い領域である。領域 E はまた、領域 B よりも負荷の低い領域の内の、高回転の領域に相当する。つまり、領域 E は、領域 A よりも回転数が高い領域である。

【0095】

領域 C は、領域 B よりも負荷の高い領域である。領域 C はまた、領域 B よりも負荷の高い領域の内の、低回転の領域に相当する。領域 D は、領域 C と同様に、領域 B よりも負荷の高い領域である。領域 D はまた、領域 B よりも負荷の高い領域の内の、高回転の領域に相当する。つまり、領域 D は、領域 C よりも回転数が高い領域である。

20

【0096】

尚、領域 B は、急速多段燃焼領域における回転数の方向の全体に広がっている。

【0097】

図 9 は、急速多段燃焼領域における燃料噴射パターンを例示している。図 9 の横軸はクランク角を示し、縦軸はインジェクタ 18 のリフト量を示している。図 9 における三角形の面積は、各噴射における噴射量に相当する。つまり、三角形の面積が大きいほど、噴射量が多い。また、図 9 に示す「高負荷」及び「低負荷」は、ベースである領域 B に対し、相対的に高負荷であること、及び、相対的に低負荷であることを意味する。「低回転」及び「高回転」は、領域 C と領域 D とを比較したときに、相対的に低回転であること、及び、相対的に高回転であることを意味すると共に、領域 A と領域 E とを比較したときに、相対的に低回転であること、及び、相対的に高回転であることを意味する。

30

【0098】

エンジン 1 は、急速多段燃焼領域において、圧縮行程中に少なくとも一のパイロット噴射と、圧縮行程後の特定期間内にメイン噴射と、膨張行程中に少なくとも一のアフター噴射とを行う。

【0099】

本願発明者らの検討によれば、二段キャビティを有している燃焼室 6 において急速多段燃焼を行う場合、下キャビティ部 51 と上キャビティ部 52 とのそれぞれに、容積比に対応した量の燃料を分配すれば、空気利用率を高めながら急速多段燃焼を実現することができる。燃料噴霧は、前述したように、リップ部 53 に当たって、下キャビティ部 51 と上キャビティ部 52 とに分配される。

40

【0100】

ここで、急速燃焼領域においては、領域全体で熱発生率の波形を同じにしたい。そうすることにより、エンジン 1 の運転領域内の広い範囲にわたって、燃焼騒音の増大を抑制しながら、熱効率の向上とエミッション性能の向上とを図ることができる。

【0101】

しかしながら、エンジン 1 の負荷が変わると、燃焼室 6 へ噴射される総燃料量及び噴射圧が変わる。具体的にエンジン 1 の負荷が高くなると、総噴射量が多くなりかつ、噴射圧が高くなる。噴射量が多くなる、及び/又は、噴射圧が高くなると、インジェクタ 18 が噴射した燃料噴霧のペネトレーションが高くなる。燃料噴霧のペネトレーションが変わる

50

と、燃料噴霧がリップ部 5 3 に到達するまでの時間が変わってしまう。インジェクタ 1 8 が同じタイミングで燃料を噴射しても、燃料噴霧のペネトレーションが変わると、燃料噴霧がリップ部 5 3 に当たる場所が変わってしまう。その結果、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との燃料の分配割合が変わってしまう。

【 0 1 0 2 】

また、エンジン 1 の回転数が高くなると、ターボ過給機 4 7 の過給圧が高くなるため、燃焼室 6 内の圧力が高くなる。燃焼室 6 内の圧力が高くなると、燃料噴霧が飛びにくくなる。燃焼室 6 内の圧力が変わると、燃料噴霧がリップ部 5 3 に到達するまでの時間が変わってしまうから、前記と同様に、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との燃料の分配割合が変わってしまう。

10

【 0 1 0 3 】

そこで、ECU 1 0 は、急速燃焼領域内においては、エンジン 1 の負荷及び / 又は回転数が変化しても、上キャビティ部 5 2 及び下キャビティ部 5 1 への燃料の分配割合が変わらないように、各領域 A ~ E の燃料噴射のパターンを設定している。以下、急速燃焼領域におけるベース領域である領域 B の燃料噴射について説明をし、その後、領域 B の燃料噴射と比較しながら、領域 C、D、A、E の燃料噴射について順に説明する。

【 0 1 0 4 】

(領域 B の燃料噴射)

図 1 0 は、領域 B における燃料噴射のパターンと、各噴射の燃料噴霧の、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との分配割合とを示している。図 1 0 における括弧付きの数字は、燃料の分配割合を示している。また、図 1 0 の燃料噴射パターンにおける縦の実線は、圧縮上死点を示している。これらは、以下で説明をする図 1 1 ~ 1 4 においても同じである。

20

【 0 1 0 5 】

領域 B において、エンジン 1 は、第 1 パイロット噴射 P I 1、第 2 パイロット噴射 P I 2、第 3 パイロット噴射 P I 3、メイン噴射 M A I N、第 1 アフター噴射 A F 1、及び、第 2 アフター噴射 A F 2 の 6 回の噴射を順に行う。領域 B は、エンジン 1 の運転マップの全体に対して、比較的負荷が低い領域である。領域 B の総噴射量は多くないため、燃焼室 6 内の温度は低い。領域 B は、燃料の着火性が低い領域である。そこで、ECU 1 0 は、領域 B においては、パイロット噴射の数を多くし、それによって、最初のパイロット噴射の時期を早くする。パイロット噴射の時期が早いと燃料の反応時間が長くなるから、燃料の着火性が向上する。燃料の着火性が向上すると、急速多段燃焼が安定化する。急速多段燃焼の安定化は、自動車の排出ガスのクリーン化と N V H 性能の向上に有利になる。

30

【 0 1 0 6 】

ここで、第 1 パイロット噴射 P I 1、第 2 パイロット噴射 P I 2、及び、第 3 パイロット噴射 P I 3 の噴射量を比較すると、第 1 パイロット噴射 P I 1 の噴射量が最も少なく、第 3 パイロット噴射 P I 3 の噴射量が最も多く、第 2 パイロット噴射 P I 2 の噴射量はその中間である。

【 0 1 0 7 】

第 1 パイロット噴射 P I 1 は早い時期に実行されるため、燃焼室 6 内の圧力が低くかつ温度が低い。燃料噴霧が飛びやすい上に、燃焼室 6 内の温度が低いときに燃料噴霧が燃焼室 6 の壁面に付着してしまうと、未燃燃料が増える恐れがある。そこで、ECU 1 0 は、第 1 パイロット噴射 P I 1 の噴射量を少なくする。燃料噴霧のペネトレーションが低くなるから、第 1 パイロット噴射 P I 1 の燃料噴霧が壁面へ付着することが抑制される。

40

【 0 1 0 8 】

第 3 パイロット噴射 P I 3 は遅い時期に実行されるため、燃焼室 6 内の温度が高い。燃料噴霧が燃焼室 6 の壁面に多少付着することは許容される。ECU 1 0 は、第 3 パイロット噴射 P I 3 の噴射量を多くすることができる。

【 0 1 0 9 】

このように、第 1 パイロット噴射 P I 1、第 2 パイロット噴射 P I 2、及び、第 3 パイ

50

ロット噴射 P I 3 の噴射量を、次第に増やすことにより、エンジン 1 の燃費性能の向上、及び、排出ガスのクリーン化に有利になる。

【 0 1 1 0 】

第 1 パイロット噴射 P I 1 は、図 9 に示すように、圧縮上死点 (T D C) 前の $- 3 0 \sim - 2 0 ^{\circ}$ 付近に実行される。第 1 パイロット噴射 P I 1 は、時期が早いため、ピストン 5 はインジェクタ 1 8 から離れている。第 1 パイロット噴射 P I 1 の燃料噴霧は、リップ部 5 3 の上部付近に当たる。上キャビティ部 5 2 への燃料噴霧の分配割合が多くなり、下キャビティ部 5 1 への燃料噴霧の分配割合が少なくなる。図 1 0 の構成例では、第 1 パイロット噴射 P I 1 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 2 0、上キャビティ部 5 2 に 8 0 の割合で分配される。

10

【 0 1 1 1 】

第 2 パイロット噴射 P I 2 は、T D C 前の $- 2 0 \sim - 1 0 ^{\circ}$ 付近に実行される。第 2 パイロット噴射 P I 2 は第 1 パイロット噴射 P I 1 よりも遅いため、ピストン 5 はインジェクタ 1 8 に近づいている。第 2 パイロット噴射 P I 2 の燃料噴霧は、リップ部 5 3 の中央部 5 3 3 の付近に当たる。上キャビティ部 5 2 への燃料噴霧の分配割合と、下キャビティ部 5 1 への燃料噴霧の分配割合とが、ほぼ等しい。図 1 0 の構成例では、第 2 パイロット噴射 P I 2 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 5 0、上キャビティ部 5 2 に 5 0 の割合で分配される。

【 0 1 1 2 】

第 3 パイロット噴射 P I 3 は、T D C 前の $- 1 0 \sim 0 ^{\circ}$ 付近に実行される。ピストン 5 はインジェクタ 1 8 にさらに近づいている。第 3 パイロット噴射 P I 3 の燃料噴霧は、リップ部 5 3 の下部付近に当たる。下キャビティ部 5 1 への燃料噴霧の分配割合が多くなり、上キャビティ部 5 2 への燃料噴霧の分配割合が少なくなる。図 1 0 の構成例では、第 3 パイロット噴射 P I 3 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 6 5、上キャビティ部 5 2 に 3 5 の割合で分配される。

20

【 0 1 1 3 】

メイン噴射 M A I N は、T D C 後の特定期間において実行される。図 1 0 の構成例では、メイン噴射 M A I N は、T D C 後の $0 \sim + 1 0 ^{\circ}$ 付近に実行される。メイン噴射 M A I N の燃料噴霧は、リップ部 5 3 の下部付近に当たる。下キャビティ部 5 1 への燃料噴霧の分配割合が多くなり、上キャビティ部 5 2 への燃料噴霧の分配割合が少なくなる。図 1 0 の構成例では、メイン噴射 M A I N の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 7 0、上キャビティ部 5 2 に 3 0 の割合で分配される。領域 B において、メイン噴射 M A I N の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との容積比通りに分配される。換言すれば、ピストン 5 のキャビティ 5 0 は、領域 B のメイン噴射 M A I N の燃料噴霧が容積比通りに分配されるよう、その形状を定めている。

30

【 0 1 1 4 】

第 1 アフター噴射 A F 1 は、T D C 後の $+ 1 0 \sim + 1 5 ^{\circ}$ 付近に実行される。第 1 アフター噴射 A F 1 の燃料噴霧は、リップ部 5 3 の下部付近に当たる。下キャビティ部 5 1 への燃料噴霧の分配割合が多くなり、上キャビティ部 5 2 への燃料噴霧の分配割合が少なくなる。図 1 0 の構成例では、第 1 アフター噴射 A F 1 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 6 5、上キャビティ部 5 2 に 3 5 の割合で分配される。

40

【 0 1 1 5 】

第 2 アフター噴射 A F 2 は、T D C 後の $+ 2 0 \sim + 3 0 ^{\circ}$ 付近に実行される。図示は省略するが、第 2 アフター噴射 A F 2 の燃料噴霧は、燃焼中の混合気内に入る。

【 0 1 1 6 】

ここで、メイン噴射 M A I N の噴射量が増えると、燃料噴霧のペネトレーションが高くなる。燃料噴霧のペネトレーションが高くなると、燃料噴霧がリップ部 5 3 に到達するまでの時間が短くなるから、メイン噴射 M A I N の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に多く分配される。下キャビティ部 5 1 は、上キャビティ部 5 2 よりも容積が大きいので、メイン噴射 M A I N の噴射量が増えた場合に、燃料は、下キャビティ部 5 1 の多量の酸素を利

50

用して燃焼することができる。下キャビティ部 5 1 の容積が大きい燃焼室 6 は、空気利用率の向上に有利になる。

【 0 1 1 7 】

(領域 C の燃料噴射)

図 1 1 は、領域 C における燃料噴射のパターンと、各噴射の燃料噴霧の、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との分配割合とを示している。

【 0 1 1 8 】

領域 C は、領域 B に対してエンジン 1 の負荷が高い領域である。エンジン 1 の負荷が高いため、領域 C の総噴射量は、領域 B の総噴射量よりも多い。総噴射量が多いため、燃圧レギュレータ 1 9 は、領域 C の噴射圧を領域 B の噴射圧よりも高くする。領域 C において、燃料噴霧のペネトレーションは、領域 B よりも高い。また、領域 C は、相対的に低回転の領域である。そのため、過給圧は相対的に低い。燃焼室 6 の圧力は、相対的に低いため、燃料噴霧は、飛びやすい。

10

【 0 1 1 9 】

E C U 1 0 は、領域 C において、第 2 パイロット噴射 P I 2、第 3 パイロット噴射 P I 3、メイン噴射 M A I N、第 1 アフター噴射 A F 1、及び、第 2 アフター噴射 A F 2 を、順に実行する。

【 0 1 2 0 】

領域 C のメイン噴射 M A I N の時期は、領域 B のメイン噴射 M A I N の時期と同じく、T D C 後の特定期間 (T D C 後の 0 ~ + 1 0 ° 付近) である。急速多段燃焼領域において、メイン噴射 M A I N の時期は、エンジン 1 の負荷及び / 又は回転数が変わっても、同じ、又は、ほぼ同じである。こうすることで、メイン噴射による熱発生が同じになるから、エンジン 1 の負荷及び / 又は回転数が変わっても、高い熱効率を維持することができる。

20

【 0 1 2 1 】

領域 C のメイン噴射 M A I N の時期が同じである一方で、領域 C のメイン噴射 M A I N の噴射量は、領域 B のメイン噴射 M A I N の噴射量よりも多い。メイン噴射 M A I N の燃料噴霧のペネトレーションは相対的に高くかつ、燃料噴霧は飛びやすい。燃料噴霧は、リップ部 5 3 に速やかに到達するから、燃料噴霧は、リップ部 5 3 の下部付近に当たる。メイン噴射 M A I N の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 への分配割合が多くなり、上キャビティ部 5 2 への燃料噴霧の分配割合が少なくなる。図 1 1 の構成例では、下キャビティ部 5 1 に 8 0、上キャビティ部 5 2 に 2 0 の割合で、メイン噴射 M A I N の燃料噴霧は分配される。メイン噴射 M A I N の燃料噴霧の分配割合は、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との容積比からずれる。

30

【 0 1 2 2 】

領域 C のメイン噴射 M A I N は、領域 B と比較して、下キャビティ部 5 1 へ燃料噴霧の分配割合が大きい。そこで、E C U 1 0 は、パイロット噴射の燃料噴霧を、上キャビティ部 5 2 へ多く分配することにより、下キャビティ部 5 1 及び上キャビティ部 5 2 への燃料の分配割合を、容積比に近づける。

【 0 1 2 3 】

具体的に、領域 C において、E C U 1 0 は、パイロット噴射の回数を、領域 B よりも減らす。パイロット噴射の回数を減らすことによって、パイロット噴射一回あたりの噴射量が多くなる。つまり、領域 C の第 2 パイロット噴射 P I 2 は、領域 B の第 2 パイロット噴射 P I 2 と比べて、噴射量が多い (図 9 参照)。尚、領域 C は、エンジン 1 の負荷が相対的に高いため、燃焼室 6 内の温度が高い。そのため、燃料の着火性は相対的に高い。パイロット噴射の回数を少なくしても、燃料の着火性は確保される。

40

【 0 1 2 4 】

領域 C においてパイロット噴射の回数を減らすにあたり、E C U 1 0 は、第 1 パイロット噴射 P I 1 を省略する。第 2 パイロット噴射 P I 2 及び / 又は第 3 パイロット噴射 P I 3 と、メイン噴射 M A I N との間隔は狭い。パイロット噴射とメイン噴射とが近接するこ

50

とによって、プレ燃焼とメイン燃焼とが連続した急速多段燃焼が実現する。

【 0 1 2 5 】

領域 C の第 2 パイロット噴射 P I 2 は、T D C 前の $- 2 0 \sim - 1 0 ^{\circ}$ 付近に実行される。第 2 パイロット噴射 P I 2 の時期は、領域 B 及び領域 C において、同じ又はほぼ同じである。領域 C の第 2 パイロット噴射 P I 2 は、噴射量が多いため、ペネトレーションが相対的に高い。第 2 パイロット噴射 P I 2 は、リップ部 5 3 の上部付近に当たって、上キャビティ部 5 2 への燃料の分配が多くなる。図 1 1 の構成例では、第 2 パイロット噴射 P I 2 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 4 0、上キャビティ部 5 2 に 6 0 の割合で分配される。

【 0 1 2 6 】

また、領域 C の第 3 パイロット噴射 P I 3 は、領域 B の第 3 パイロット噴射 P I 3 と比べて、噴射量と同じ又はほぼ同じでありかつ、噴射時期が同じ又はほぼ同じである。従って、第 3 パイロット噴射 P I 3 の燃料噴霧の分配割合は、領域 B と領域 C とにおいて同じである。つまり、第 3 パイロット噴射 P I 3 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 6 5、上キャビティ部 5 2 に 3 5 の割合で分配される。

【 0 1 2 7 】

こうして、領域 C において、E C U 1 0 は、パイロット噴射一回あたりの噴射量を、領域 B のパイロット噴射一回あたりの噴射量よりも多くする。このことにより、パイロット噴射の燃料噴霧を、上キャビティ部 5 2 へ多く分配させることができる。パイロット噴射は、メイン噴射 M A I N の燃料噴霧が下キャビティ部 5 1 に多く分配されることを補完する。下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との燃料の分配割合は、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との容積比に等しくなる。その結果、領域 C の熱発生率の波形は、領域 B の熱発生率の波形と同じになる（図 8 参照）。

【 0 1 2 8 】

尚、領域 C において、第 1 アフター噴射 A F 1 は、T D C 後の $+ 1 0 \sim + 1 5 ^{\circ}$ 付近に実行される。図 1 1 の構成例では、第 1 アフター噴射 A F 1 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 5 5、上キャビティ部 5 2 に 4 5 の割合で分配される。また、第 2 アフター噴射 A F 2 は、T D C 後の $+ 2 0 \sim + 3 0 ^{\circ}$ 付近に実行される。

【 0 1 2 9 】

（領域 D の燃料噴射）

図 1 2 は、領域 D における燃料噴射のパターンと、各噴射の燃料噴霧の、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との分配割合とを示している。

【 0 1 3 0 】

領域 D は、領域 B に対してエンジン 1 の負荷が高い領域である。エンジン 1 の負荷が高いため、領域 D の総噴射量は、領域 B の総噴射量よりも多い。また、領域 D は、領域 C よりも高回転の領域である。エンジン 1 は、圧縮着火エンジンであるため、高回転ほど総噴射量が多い。領域 D の総噴射量は、領域 C の総噴射量よりも多い。燃圧レギュレータ 1 9 は、領域 D の噴射圧を、領域 C の噴射圧よりも高くする。領域 D において、燃料噴霧のペネトレーションは、領域 C よりも高い。その一方で、領域 D は、過給圧が相対的に高い。燃料噴霧は、領域 C よりも飛びにくい。

【 0 1 3 1 】

E C U 1 0 は、領域 D において、第 3 パイロット噴射 P I 3、メイン噴射 M A I N、第 1 アフター噴射 A F 1、及び、第 2 アフター噴射 A F 2 を、順に実行する。領域 D は、燃料の着火性が高いため、領域 C よりもパイロット噴射の数を減らす。

【 0 1 3 2 】

領域 D においてパイロット噴射の回数を減らすにあたり、E C U 1 0 は、第 1 パイロット噴射 P I 1 及び第 2 パイロット噴射 P I 2 を省略する。第 3 パイロット噴射 P I 3 と、メイン噴射 M A I N との間隔は狭い。パイロット噴射とメイン噴射とが近接することによって、プレ燃焼とメイン燃焼とが連続した急速多段燃焼が実現する。

【 0 1 3 3 】

10

20

30

40

50

領域Dのメイン噴射MAINの時期は、領域Bのメイン噴射MAINの時期と同じく、TDC後の特定期間(TDC後の0~+10°付近)である。

【0134】

領域Dにおいて、燃料噴霧のペネトレーションは高いため、メイン噴射MAINの燃料噴霧は、下キャビティ部51への分配割合が多くなり、上キャビティ部52への燃料噴霧の分配割合が少なくなる。図12の構成例では、下キャビティ部51に80、上キャビティ部52に20の割合で、メイン噴射MAINの燃料噴霧は分配される。

【0135】

領域Dのメイン噴射MAINは、領域Bと比較して、下キャビティ部51へ燃料噴霧の分配割合が大きい。そこで、ECU10は、パイロット噴射の燃料噴霧を、上キャビティ部52へ多く分配することにより、上キャビティ部52及び下キャビティ部51への燃料の分配割合を、容積比に近づける。

10

【0136】

具体的に、領域Dの第3パイロット噴射PI3は、領域Bの第3パイロット噴射PI3、及び、領域Cの第3パイロット噴射PI3と比べて、噴射量が多い(図9参照)。領域Cの第3パイロット噴射PI3の時期は、TDC前の-10~0°付近に実行される。第3パイロット噴射PI3の時期は、領域B、領域C及び領域Dにおいて、同じ又はほぼ同じである。領域Dの第3パイロット噴射PI3は、噴射量が多いため、ペネトレーションが相対的に高くなる。燃料噴霧は、速やかにリップ部53に到達するから、リップ部53の上部付近に当たって、上キャビティ部52への分配割合が多くなる。図12の構成例では、第3パイロット噴射PI3の燃料噴霧は、下キャビティ部51に50、上キャビティ部52に50の割合で分配される。領域Bの第3パイロット噴射PI3と比較して、上キャビティ部52への燃料の分配が増える。

20

【0137】

こうして、領域Dにおいて、ECU10は、第3パイロット噴射PI3の噴射量を、領域Bの第3パイロット噴射PI3の噴射量よりも多くする。第3パイロット噴射PI3は、総噴射量に対するパイロット噴射一回あたりの噴射量が多い。このことにより、上キャビティ部52への燃料を多く分配させることができる。メイン噴射MAINの燃料噴霧が、下キャビティ部51に多く分配されることを補完することができ、上キャビティ部52と下キャビティ部51との燃料の分配割合が、上キャビティ部52と下キャビティ部51との容積比に等しくなる。その結果、領域Dの熱発生率の波形は、領域Bの熱発生率の波形と同じになる(図8参照)。

30

【0138】

尚、領域Dにおいて、第1アフター噴射AF1は、TDC後の+10~+15°付近に実行される。図12の構成例では、第1アフター噴射AF1の燃料噴霧は、下キャビティ部51に55、上キャビティ部52に45の割合で分配される。また、第2アフター噴射AF2は、TDC後の+20~+30°付近に実行される。

【0139】

(領域Aの燃料噴射)

図13は、領域Aにおける燃料噴射のパターンと、各噴射の燃料噴霧の、下キャビティ部51と上キャビティ部52との分配割合とを示している。

40

【0140】

領域Aは、領域Bに対してエンジン1の負荷が低い領域である。エンジン1の負荷が低いため、領域Aの総噴射量は、領域Bの総噴射量よりも少ない。燃圧レギュレータ19は、領域Aの噴射圧を、領域Bの噴射圧よりも低くする。領域Aにおいて、燃料噴霧のペネトレーションは、領域Bよりも低い。また、領域Aは、相対的に低回転の領域である。そのため、過給圧は相対的に低い。燃焼室6内の圧力が低いため、燃料噴霧は、飛びやすい。

【0141】

ECU10は、領域Aにおいて、第1パイロット噴射PI1、第2パイロット噴射PI2、第3パイロット噴射PI3、メイン噴射MAIN、及び、第1アフター噴射AF1を

50

、順に実行する。領域 A は、総噴射量が少ないため、燃料に対する燃焼室 6 内の空気が多い。そのため、アフター噴射の回数を減らすことができる。アフター噴射の回数を減らした分、パイロット噴射の噴射量を増やすことができる。パイロット噴射を三回に分けて行うことができる。負荷が低い領域 A において、三回のパイロット噴射を行うことによって、燃料の着火性が確保される。

【 0 1 4 2 】

また、第 1 パイロット噴射 P I 1、第 2 パイロット噴射 P I 2、及び、第 3 パイロット噴射 P I 3 の噴射量を比較すると、第 1 パイロット噴射 P I 1 が最も少なく、第 3 パイロット噴射 P I 3 が最も多く、第 2 パイロット噴射 P I 2 がその中間である。これにより、前述したように、パイロット噴射の燃料噴霧が、燃焼室 6 の壁面に付着することを抑制することができる。

10

【 0 1 4 3 】

領域 A のメイン噴射 M A I N の時期は、領域 B のメイン噴射 M A I N の時期と同じく、T D C 後の特定期間 (T D C 後の 0 ~ + 1 0 ° 付近) である。

【 0 1 4 4 】

領域 A のメイン噴射 M A I N の時期が同じである一方で、領域 A のメイン噴射 M A I N の噴射量は、領域 B のメイン噴射 M A I N の噴射量よりも少ない。領域 A のメイン噴射 M A I N の燃料噴霧のペネトレーションは相対的に低い。燃料噴霧は、リップ部 5 3 に到達するまでの時間が長くなるから、燃料噴霧は、リップ部 5 3 の上部付近に当たる。メイン噴射 M A I N の燃料噴霧は、上キャビティ部 5 2 への分配割合が多くなり、下キャビティ部 5 1 への燃料噴霧の分配割合が少なくなる。図 1 3 の構成例では、下キャビティ部 5 1 に 6 0、上キャビティ部 5 2 に 4 0 の割合で、メイン噴射 M A I N の燃料噴霧は分配される。メイン噴射 M A I N の燃料噴霧の分配割合は、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との容積比からずれる。

20

【 0 1 4 5 】

領域 A のメイン噴射 M A I N は、領域 B と比較して、上キャビティ部 5 2 へ燃料噴霧の分配割合が大きい。そこで、E C U 1 0 は、パイロット噴射の燃料噴霧を、下キャビティ部 5 1 へ多く分配することにより、下キャビティ部 5 1 及び上キャビティ部 5 2 への燃料の分配割合を、容積比に近づける。

【 0 1 4 6 】

具体的に、領域 A において、E C U 1 0 は、第 1 パイロット噴射 P I 1 及び第 2 パイロット噴射 P I 2 の時期を、領域 B よりも遅くする (図 9 参照)。領域 A の第 1 パイロット噴射 P I 1 の時期は、T D C 前の - 2 5 ~ - 2 0 ° 付近である。領域 A の第 2 パイロット噴射 P I 2 の時期は、T D C 前の - 1 5 ~ - 1 0 ° 付近である。尚、領域 A の第 3 パイロット噴射 P I 3 の時期は、領域 B の第 3 パイロット噴射 P I 3 の時期と同じ又はほぼ同じである。

30

【 0 1 4 7 】

第 1 パイロット噴射 P I 1 及び第 2 パイロット噴射 P I 2 の時期を遅くすると、ピストン 5 がインジェクタ 1 8 に近づいているため、燃料噴霧は、リップ部 5 3 の下部付近に当たる。その結果、下キャビティ部 5 1 への燃料の分配量が多くなる。図 1 3 の構成例では、第 1 パイロット噴射 P I 1 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 4 0、上キャビティ部 5 2 に 6 0 の割合で分配される。また、第 2 パイロット噴射 P I 2 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 5 5、上キャビティ部 5 2 に 4 5 の割合で分配される。尚、第 3 パイロット噴射 P I 3 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 6 0、上キャビティ部 5 2 に 4 0 の割合で分配される。

40

【 0 1 4 8 】

こうして、領域 A において、E C U 1 0 は、パイロット噴射の時期を、領域 B のパイロット噴射の時期よりも遅くする。このことにより、パイロット噴射の燃料噴霧を、下キャビティ部 5 1 へ多く分配させることができる。パイロット噴射が、メイン噴射 M A I N の燃料噴霧が上キャビティ部 5 2 に多く分配されることを補完することができ、下キャビテ

50

ィ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との燃料の分配割合が、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との容積比に等しくなる。その結果、領域 A の熱発生率の波形は、領域 B の熱発生率の波形と同じになる（図 8 参照）。

【 0 1 4 9 】

尚、領域 A において、第 1 アフター噴射 A F 1 は、T D C 後の + 5 ~ + 1 5 ° 付近に実行される。図 1 3 の構成例では、第 1 アフター噴射 A F 1 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 6 0、上キャビティ部 5 2 に 4 0 の割合で分配される。

【 0 1 5 0 】

（領域 E の燃料噴射）

図 1 4 は、領域 E における燃料噴射のパターンと、各噴射の燃料噴霧の、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との分配割合とを示している。

10

【 0 1 5 1 】

領域 E は、領域 B に対してエンジン 1 の負荷が低い領域である。エンジン 1 の負荷が低いため、領域 E の総噴射量は、領域 B の総噴射量よりも少ない。燃圧レギュレータ 1 9 は、領域 E の噴射圧を、領域 B の噴射圧よりも低くする。また、領域 E は、領域 A よりも高回転の領域である。過給圧が相対的に高いため、燃料噴霧は、領域 A よりも飛びにくい。

【 0 1 5 2 】

E C U 1 0 は、領域 E において、第 1 パイロット噴射 P I 1、第 2 パイロット噴射 P I 2、第 3 パイロット噴射 P I 3、メイン噴射 M A I N、及び、第 1 アフター噴射 A F 1 を、順に実行する。領域 A と同様に、アフター噴射の回数を減らして三回のパイロット噴射を行うことにより、燃料の着火性が確保される。また、第 1 パイロット噴射 P I 1、第 2 パイロット噴射 P I 2、及び、第 3 パイロット噴射 P I 3 の噴射量を比較すると、第 1 パイロット噴射 P I 1 が最も少なく、第 3 パイロット噴射 P I 3 が最も多く、第 2 パイロット噴射 P I 2 がその中間である。これにより、前述したように、パイロット噴射の燃料噴霧が、燃焼室 6 の壁面に付着することを抑制することができる。

20

【 0 1 5 3 】

領域 E のメイン噴射 M A I N の時期は、領域 B のメイン噴射 M A I N の時期と同じく、T D C 後の特定期間（T D C 後の 0 ~ + 1 0 ° 付近）である。

【 0 1 5 4 】

領域 E の燃料噴霧のペネトレーションは相対的に低いため、メイン噴射 M A I N の燃料噴霧は、上キャビティ部 5 2 への分配割合が多くなり、下キャビティ部 5 1 への燃料噴霧の分配割合が少なくなる。図 1 4 の構成例では、下キャビティ部 5 1 に 5 5、上キャビティ部 5 2 に 4 5 の割合で、メイン噴射 M A I N の燃料噴霧は分配される。

30

【 0 1 5 5 】

領域 E のメイン噴射 M A I N は、領域 B と比較して、上キャビティ部 5 2 へ燃料噴霧の分配割合が大きい。そこで、E C U 1 0 は、パイロット噴射の燃料噴霧を、下キャビティ部 5 1 へ多く分配することにより、上キャビティ部 5 2 及び下キャビティ部 5 1 への燃料の分配割合を、容積比に近づける。

【 0 1 5 6 】

具体的に、E C U 1 0 は、領域 E の第 1 パイロット噴射 P I 1 及び第 2 パイロット噴射 P I 2 の時期を、領域 B の第 1 パイロット噴射 P I 1 及び第 2 パイロット噴射 P I 2 よりも遅くする（図 9 参照）。領域 E の第 1 パイロット噴射 P I 1 の時期は、T D C 前の - 2 5 ~ - 2 0 ° 付近である。第 2 パイロット噴射 P I 2 の時期は、T D C 前の - 1 5 ~ - 1 0 ° である。尚、領域 E の第 3 パイロット噴射 P I 3 の時期は、領域 B の第 3 パイロット噴射 P I 3 の時期と同じ又はほぼ同じである。

40

【 0 1 5 7 】

また、領域 E の第 1 パイロット噴射 P I 1 は、領域 A における第 1 パイロット噴射 P I 1 よりも噴射量が多かつ、領域 E の第 2 パイロット噴射 P I 2 は、領域 A の第 2 パイロット噴射 P I 2 よりも噴射量が多い。領域 E は、領域 A よりも回転数が高いため、領域 E の総噴射量は、領域 A の総噴射量よりも多い。総噴射量が增量する分を、第 1 パイロット

50

噴射 P I 1 及び第 2 パイロット噴射の増量に割り当ててもよい。

【 0 1 5 8 】

領域 A よりもパイロット噴射の噴射量を増やすことにより、相対的に高い燃焼室 6 内の圧力に打ち勝って、燃料噴霧は進む。また、第 1 パイロット噴射 P I 1 及び第 2 パイロット噴射 P I 2 の時期を遅くすることにより、前述したように、下キャビティ部 5 1 への燃料の分配量が多くなる。図 1 4 の構成例では、第 1 パイロット噴射 P I 1 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 5 0、上キャビティ部 5 2 に 5 0 の割合で分配される。また、第 2 パイロット噴射 P I 2 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 5 5、上キャビティ部 5 2 に 4 5 の割合で分配される。尚、第 3 パイロット噴射 P I 3 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 5 5、上キャビティ部 5 2 に 4 5 の割合で分配される。

10

【 0 1 5 9 】

また、領域 E の第 1 ~ 第 3 パイロット噴射 P I 1 ~ P I 3 の噴射量と、領域 B の第 1 ~ 第 3 パイロット噴射 P I 1 ~ P I 3 の噴射量とを比較すると、領域 E の第 1 ~ 第 3 パイロット噴射 P I 1 ~ P I 3 の噴射量は、領域 B の第 1 ~ 第 3 パイロット噴射 P I 1 ~ P I 3 の噴射量よりも多い。領域 E は、総噴射量に対する、パイロット噴射一回あたりの噴射量割合が、相対的に多い。

【 0 1 6 0 】

領域 E は領域 B よりも負荷が低いため、総噴射量が少なく、それに伴い、パイロット噴射の噴射量も少なくなる。領域 E のパイロット噴射の燃料噴霧のペネトレーションが低くなって、飛びにくくなる。そこで、総噴射量に対する、パイロット噴射一回あたりの噴射量割合が多くなるように、各パイロット噴射一回あたりの噴射量を多くする。こうすることで、領域 E において、各パイロット噴射の燃料噴霧のペネトレーションが高くなる。各パイロット噴射の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 とのそれぞれに、所望の割合で分配される。

20

【 0 1 6 1 】

領域 E において、E C U 1 0 は、パイロット噴射の時期を、領域 B のパイロット噴射の時期よりも遅くしかつ、総噴射量に対する、パイロット噴射一回あたりの噴射量割合が多くなる。このことにより、パイロット噴射の燃料噴霧を、下キャビティ部 5 1 へ多く分配させることができる。メイン噴射 M A I N の燃料噴霧が、上キャビティ部 5 2 に多く分配されることを補完することができ、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との燃料の分配割合が、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との容積比に等しくなる。その結果、領域 E における熱発生率の波形は、領域 B の熱発生率の波形と同じになる（図 8 参照）。

30

【 0 1 6 2 】

尚、領域 E において、第 1 アフター噴射 A F 1 は、T D C 後の + 5 ~ + 1 5 ° 付近に実行される。図 1 4 の構成例では、第 1 アフター噴射 A F 1 の燃料噴霧は、下キャビティ部 5 1 に 5 5、上キャビティ部 5 2 に 4 5 の割合で分配される。

【 0 1 6 3 】

（負荷の方向についての燃料噴射パターンの比較）

領域 C 及び D は、領域 A、B 及び E に対して、エンジン 1 の負荷が高い領域である。領域 C 及び D のメイン噴射 M A I N は、領域 A、B 及び E のメイン噴射 M A I N と比較して、下キャビティ部 5 1 への燃料の分配が多くなる。そこで、領域 C 及び D において、E C U 1 0 は、パイロット噴射の燃料噴霧の上キャビティ部 5 2 への分配割合が、領域 A、B 及び E よりも多くする。具体的に、E C U 1 0 は、領域 C 及び D において、パイロット噴射の回数を、領域 A、B 及び E よりも減らす。領域 A、B 及び E のパイロット噴射の回数は三回である。領域 C のパイロット噴射の回数は二回である。領域 D のパイロット噴射の回数は一回である。領域 C 及び D では、総噴射量に対する、パイロット噴射一回あたりの噴射量が増えるから、パイロット噴射の燃料噴霧は、上キャビティ部 5 2 への分配が多くなる。

40

【 0 1 6 4 】

50

また、領域 A 及び E は、領域 B に対して、エンジン 1 の負荷が低い領域である。領域 A 及び E のメイン噴射 MAIN は、領域 B のメイン噴射 MAIN と比較して、上キャビティ部 5 2 への燃料の分配が多くなる。換言すると、領域 B のメイン噴射 MAIN は、領域 A 及び E のメイン噴射 MAIN と比較して、下キャビティ部 5 1 への燃料の分配が多くなる。そこで、領域 B において、ECU 10 は、パイロット噴射の時期を、領域 A 及び E よりも早くする。領域 B では、パイロット噴射を実行する時に、ピストン 5 とインジェクタ 1 8 とが離れているから、パイロット噴射の燃料噴霧は、上キャビティ部 5 2 への分配が多くなる。

【0165】

また、急速多段燃焼領域における低回転の領域である、領域 A、領域 B、及び領域 C を比較すると、領域 A は、領域 B に対してエンジン 1 の負荷が低い領域であり、領域 C は、領域 B に対してエンジン 1 の負荷が高い領域である。

10

【0166】

領域 A において ECU 10 は、領域 B に対して、最初のパイロット噴射（つまり、第 1 パイロット噴射 PI 1）の時期を遅くする。このことにより、パイロット噴射の燃料噴霧を下キャビティ部 5 1 へ多く分配させることができる。

【0167】

領域 C において ECU 10 は、領域 B に対して、パイロット噴射の回数を減らす。前述したように、パイロット噴射の燃料噴霧の上キャビティ部 5 2 への分配を多くすることができる。

20

【0168】

また、急速多段燃焼領域における高回転の領域である、領域 E、領域 B、及び領域 D を比較すると、領域 E は、領域 B に対してエンジン 1 の負荷が低い領域であり、領域 D は、領域 B に対してエンジン 1 の負荷が高い領域である。

【0169】

領域 E において ECU 10 は、領域 B に対して、最初のパイロット噴射（つまり、第 1 パイロット噴射 PI 1）の時期を遅くする。このことにより、パイロット噴射の燃料噴霧を下キャビティ部 5 1 へ多く分配させることができる。

【0170】

領域 D において ECU 10 は、領域 B に対して、パイロット噴射の回数を減らす。パイロット噴射の燃料噴霧の上キャビティ部 5 2 への分配を多くすることができる。

30

【0171】

（回転数の方向についての燃料噴射パターンの比較）

領域 E は、領域 A に対して回転数が高い領域である。領域 E において ECU 10 は、領域 A に対して、メイン噴射の噴射量を維持すると共に、パイロット噴射の噴射量を増やす。換言すると、ECU 10 は、領域 A において、総噴射量に対する、パイロット噴射一回あたりの噴射量割合を、領域 E よりも減らす。

【0172】

より詳細に、ECU 10 は、領域 E において、第 1 パイロット噴射 PI 1 及び第 2 パイロット噴射 PI 2 の噴射量を領域 A よりも増やす。パイロット噴射は、メイン噴射に比べて噴射量が少ない。また、領域 A 及び領域 E は、領域 B よりも負荷が低いため、総噴射量が少ない。領域 A 及び領域 E のパイロット噴射の噴射量は、ますます少ない。領域 A 及び領域 E において、パイロット噴射の燃料噴霧のペネトレーションは低い。領域 A 及び領域 E のうちでも、領域 E は、エンジン回転数が高いため、燃焼室 6 内の圧力が高い。パイロット噴射の燃料噴霧は、さらに飛びにくくなる。領域 E のパイロット噴射の燃料噴霧は、領域 A と比べて、下キャビティ部 5 1 へ多く分配されてしまう恐れがある。

40

【0173】

そこで、領域 E において ECU 10 は、領域 A に対して、第 1 パイロット噴射 PI 1 及び第 2 パイロット噴射 PI 2 の噴射量を増やす。このことにより、領域 E において、第 1 パイロット噴射 PI 1 及び第 2 パイロット噴射 PI 2 の燃料噴霧は、燃焼室 6 内の高い圧

50

力に打ち勝ってリップ部 5 3 に速やかに到達する。燃料噴霧は、上キャビティ部 5 2 へ多く分配される。特に早い時期に行うパイロット噴射は、ピストン 5 がインジェクタ 1 8 から離れているため、上キャビティ部 5 2 への燃料の分配割合が、遅い時期に行うパイロット噴射よりも多くなる。第 1 パイロット噴射 P I 1 及び第 2 パイロット噴射 P I 2 の噴射量が増えることによって、パイロット噴射は、上キャビティ部 5 2 へ燃料を多く分配することができる。

【 0 1 7 4 】

その結果、パイロット噴射の燃料噴霧の、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との分配割合を、領域 A と領域 E とで略同じにすることができる。また、メイン噴射の燃料噴霧の、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との分配割合は、領域 A と領域 E とで多少異なるが、パイロット噴射の燃料噴霧の分配割合を調節することにより、メイン噴射の燃料噴霧の分配割合の違いを、補完することができる。その結果、領域 A と領域 E とで、パイロット噴射及びメイン噴射の燃料噴霧の、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との分配割合を、領域 A と領域 E とで略同じにすることができる。

10

【 0 1 7 5 】

また、領域 D は、領域 C に対して回転数が高い領域である。領域 D において E C U 1 0 は、領域 C に対して、パイロット噴射一回あたりの噴射割合を増やす。より具体的に、E C U 1 0 は、第 3 パイロット噴射 P I 3 の噴射量を増やす。

【 0 1 7 6 】

領域 D は、領域 B よりも負荷が高い上に、回転数が高いため、過給圧が高くなって、燃燒室 6 内の圧力が高い。よって、噴射量が少ないパイロット噴射の燃料噴霧は、飛びにくい。

20

【 0 1 7 7 】

そこで、領域 D において E C U 1 0 は、領域 C に対して、パイロット噴射の回数を減らして、第 3 パイロット噴射 P I 3 の噴射量を増やす。このことにより、領域 D において、第 3 パイロット噴射 P I 3 の燃料噴霧は、燃燒室 6 内の高い圧力に打ち勝ってリップ部 5 3 に速やかに到達し、上キャビティ部 5 2 への燃料の分配が多くなる（図 1 1 の P I 3 と図 1 2 の P I 3 とを参照）。その結果、パイロット噴射の燃料噴霧の、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との分配割合を、領域 C と領域 D とで略同じにすることができる。ひいては、領域 C と領域 D とで、パイロット噴射及びメイン噴射の燃料噴霧の、下キャビティ部 5 1 と上キャビティ部 5 2 との分配割合を、領域 C と領域 D とで略同じにすることができる。

30

【 0 1 7 8 】

（燃料噴射の制御手順）

図 1 5 A 及び 1 5 B は、E C U 1 0 の燃料噴射制御部 7 1 が実行する、インジェクタ 1 8 及び燃圧レギュレータ 1 9 の制御に係るフローチャートを示している。E C U 1 0 は、ステップ S 1 において、各センサ S N 1 ~ S N 1 2 の検出信号を読み込む。続くステップ S 2 において、運転状態判断部 7 2 は、エンジン 1 の運転状態が、急速多段燃燒領域であるか否かを判断する。ステップ S 2 の判断が Y E S の場合は、プロセスはステップ S 3 に進み、ステップ S 2 の判断が N O の場合は、プロセスはステップ S 2 4 に進む。

40

【 0 1 7 9 】

ステップ S 3 において、運転状態判断部 7 2 は、エンジン 1 の運転状態が、領域 A であるか否かを判断する。ステップ S 3 の判断が Y E S の場合は、プロセスはステップ S 4 に進み、ステップ S 3 の判断が N O の場合は、プロセスはステップ S 7 に進む。

【 0 1 8 0 】

ステップ S 4 において噴射設定部 7 4 は、エンジン 1 の運転状態に対応する総噴射量を決定し、続くステップ S 5 において噴射設定部 7 4 は、決定した総噴射量に対応する噴射圧を決定する。そして、ステップ S 6 において噴射パターン選択部 7 3 は、エンジン 1 の運転状態に対応する噴射パターンを選択すると共に、噴射設定部 7 4 は、第 1 パイロット噴射 P I 1、第 2 パイロット噴射 P I 2、第 3 パイロット噴射 P I 3、メイン噴射 M A I

50

N、第1アフター噴射AF1それぞれの噴射量、及び、噴射時期を決定する。その後、燃料噴射制御部71は、ステップS15において、インジェクタ18に制御信号を出力し、燃料噴射を実行させる(図13参照)。

【0181】

ステップS7において、運転状態判断部72は、エンジン1の運転状態が、領域Bであるか否かを判断する。ステップS7の判断がYESの場合は、プロセスはステップS8に進み、ステップS7の判断がNOの場合は、プロセスはステップS11に進む。

【0182】

ステップS8において噴射設定部74は、ステップS4と同様に、エンジン1の運転状態に対応する総噴射量を決定し、続くステップS9において噴射設定部74は、ステップS5と同様に、決定した総噴射量に対応する噴射圧を決定する。そして、ステップS10において噴射パターン選択部73は、エンジン1の運転状態に対応する噴射パターンを選択すると共に、噴射設定部74は、第1パイロット噴射PI1、第2パイロット噴射PI2、第3パイロット噴射PI3、メイン噴射MAIN、第1アフター噴射AF1、及び、第2アフター噴射AF2それぞれの噴射量、及び、噴射時期を決定する。その後、燃料噴射制御部71は、ステップS15において、インジェクタ18に制御信号を出力し、燃料噴射を実行させる(図10参照)。

10

【0183】

ステップS11において、運転状態判断部72は、エンジン1の運転状態が、領域Cであるか否かを判断する。ステップS11の判断がYESの場合は、プロセスはステップS12に進み、ステップS11の判断がNOの場合は、プロセスはステップS16に進む。

20

【0184】

ステップS12において噴射設定部74は、ステップS4と同様に、エンジン1の運転状態に対応する総噴射量を決定し、続くステップS13において噴射設定部74は、ステップS5と同様に、決定した総噴射量に対応する噴射圧を決定する。そして、ステップS14において噴射パターン選択部73は、エンジン1の運転状態に対応する噴射パターンを選択すると共に、噴射設定部74は、第2パイロット噴射PI2、第3パイロット噴射PI3、メイン噴射MAIN、第1アフター噴射AF1、及び、第2アフター噴射AF2それぞれの噴射量、及び、噴射時期を決定する。その後、燃料噴射制御部71は、ステップS15において、インジェクタ18に制御信号を出力し、燃料噴射を実行させる(図11参照)。

30

【0185】

ステップS16において、運転状態判断部72は、エンジン1の運転状態が、領域Dであるか否かを判断する。ステップS16の判断がYESの場合は、プロセスはステップS17に進み、ステップS16の判断がNOの場合は、プロセスはステップS20に進む。

【0186】

ステップS17において噴射設定部74は、ステップS4と同様に、エンジン1の運転状態に対応する総噴射量を決定し、続くステップS18において噴射設定部74は、ステップS5と同様に、決定した総噴射量に対応する噴射圧を決定する。そして、ステップS19において噴射パターン選択部73は、エンジン1の運転状態に対応する噴射パターンを選択すると共に、噴射設定部74は、第3パイロット噴射PI3、メイン噴射MAIN、第1アフター噴射AF1、及び、第2アフター噴射AF2それぞれの噴射量、及び、噴射時期を決定する。その後、燃料噴射制御部71は、ステップS25において、インジェクタ18に制御信号を出力し、燃料噴射を実行させる(図12参照)。

40

【0187】

ステップS20において、運転状態判断部72は、エンジン1の運転状態が、領域Eであるか否かを判断する。ステップS20の判断がYESの場合は、プロセスはステップS21に進み、ステップS20の判断がNOの場合は、プロセスはステップS24に進む。

【0188】

ステップS21において噴射設定部74は、ステップS4と同様に、エンジン1の運転

50

状態に対応する総噴射量を決定し、続くステップS 2 2において噴射設定部7 4は、ステップS 5と同様に、決定した総噴射量に対応する噴射圧を決定する。そして、ステップS 2 3において噴射パターン選択部7 3は、エンジン1の運転状態に対応する噴射パターンを選択すると共に、噴射設定部7 4は、第1パイロット噴射P I 1、第2パイロット噴射P I 2、第3パイロット噴射P I 3、メイン噴射M A I N、及び、第1アフター噴射A F 1それぞれの噴射量、及び、噴射時期を決定する。その後、燃料噴射制御部7 1は、ステップS 2 5において、インジェクタ1 8に制御信号を出力し、燃料噴射を実行させる(図1 4参照)。

【0 1 8 9】

ステップS 2 4において燃料噴射制御部7 1は、前述した急速多段燃焼とは別の、通常燃焼制御を実行し、プロセスはリターンする。

10

【0 1 9 0】

尚、ここに開示する技術を適用することができるエンジン1、及び、燃焼室6は、前述した構成に限定されない。

【符号の説明】

【0 1 9 1】

1 エンジン

1 0 E C U (制御部)

1 1 a シリンダ

1 8 インジェクタ(燃料噴射弁)

20

1 9 燃圧レギュレータ(噴射圧変更部)

4 7 ターボ過給機

5 ピストン

6 燃焼室

5 0 キャビティ

5 1 下キャビティ部

5 2 上キャビティ部

5 3 リップ部

A X 噴射軸

S N 1 クランク角センサ(計測部)

30

S N 2 水温センサ(計測部)

S N 3 エアフローセンサ(計測部)

S N 4 吸気温センサ(計測部)

S N 5 吸気圧センサ(計測部)

S N 6 吸気O₂センサ(計測部)

S N 7 噴射圧センサ(計測部)

S N 8 排気O₂センサ(計測部)

S N 9 差圧センサ(計測部)

S N 1 0 アクセル開度センサ(計測部)

S N 1 1 大気圧センサ(計測部)

40

S N 1 2 外気温センサ(計測部)

M A I N メイン噴射

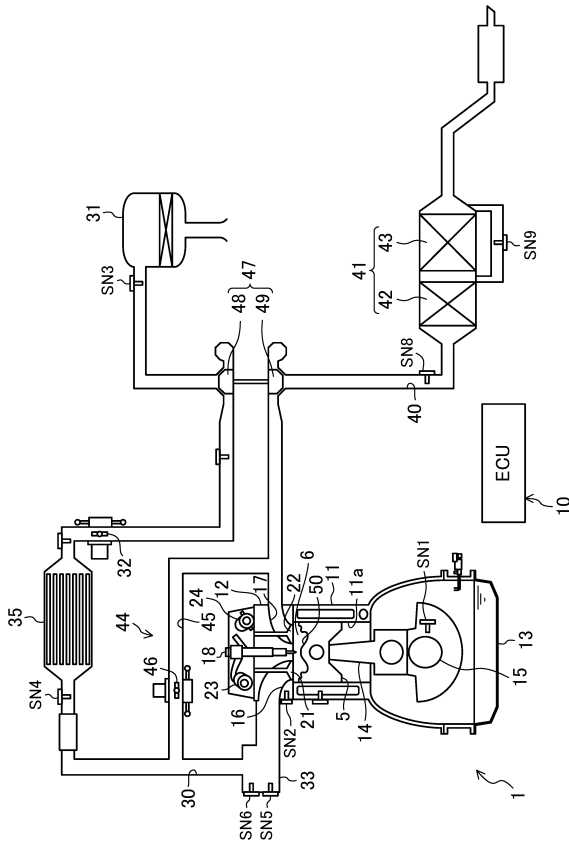
P I 1 第1パイロット噴射

P I 2 第2パイロット噴射

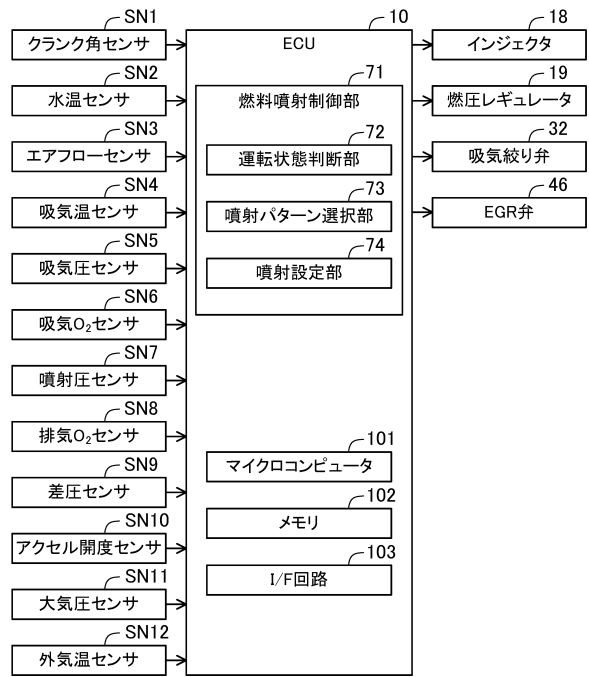
P I 3 第3パイロット噴射

【図面】

【図 1】



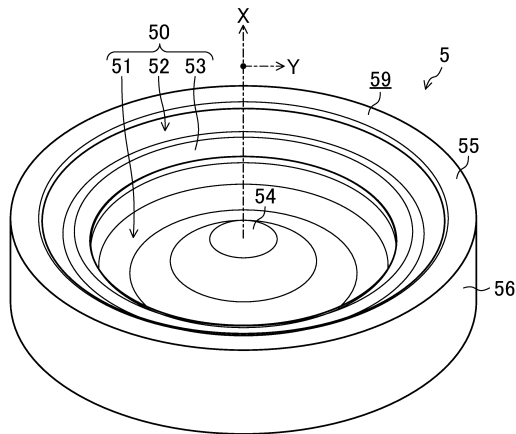
【図 2】



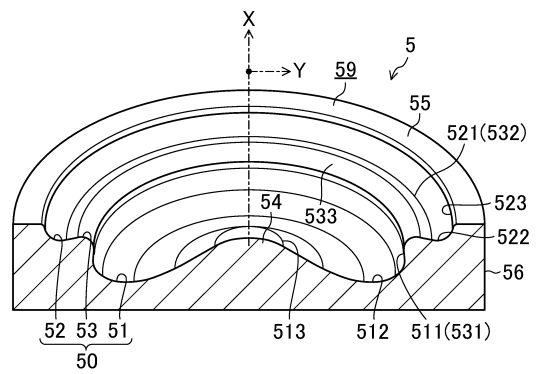
10

20

【図 3】



【図 4】

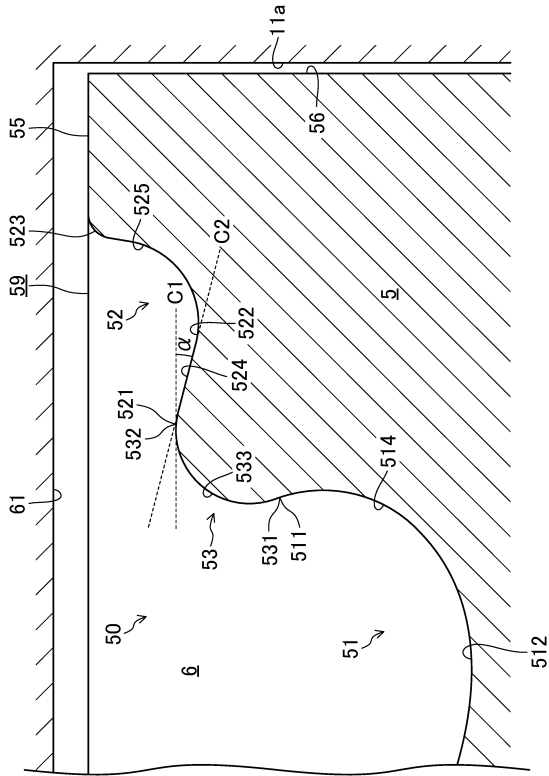


30

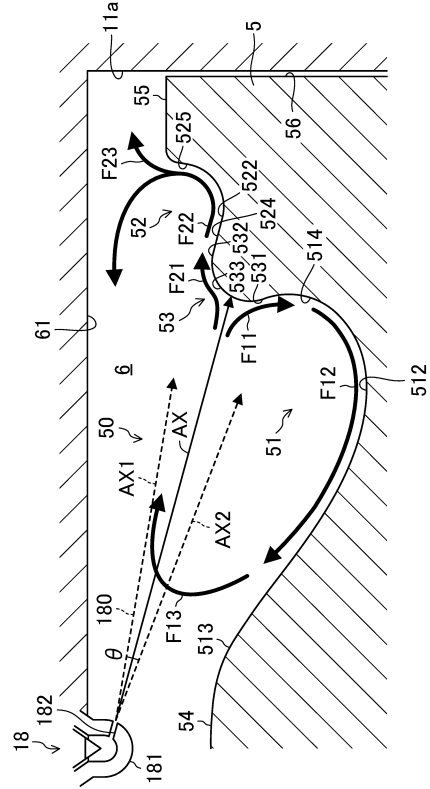
40

50

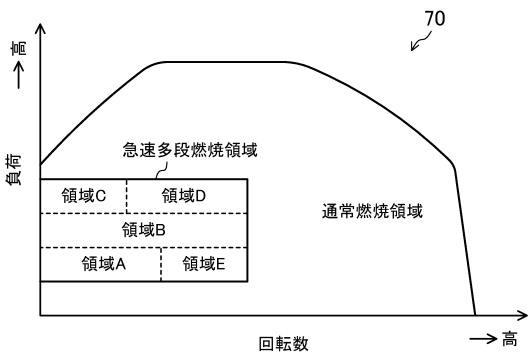
【図5】



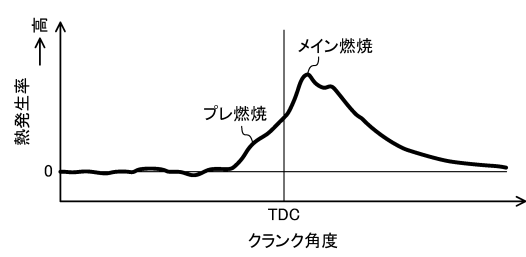
【図6】



【図7】



【図8】



10

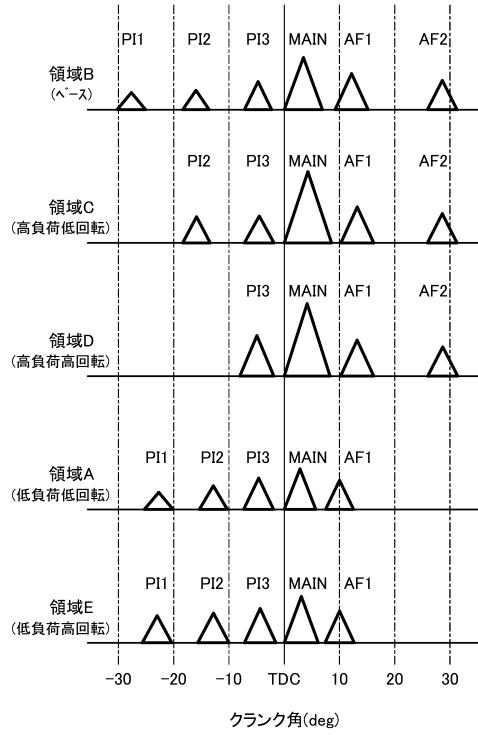
20

30

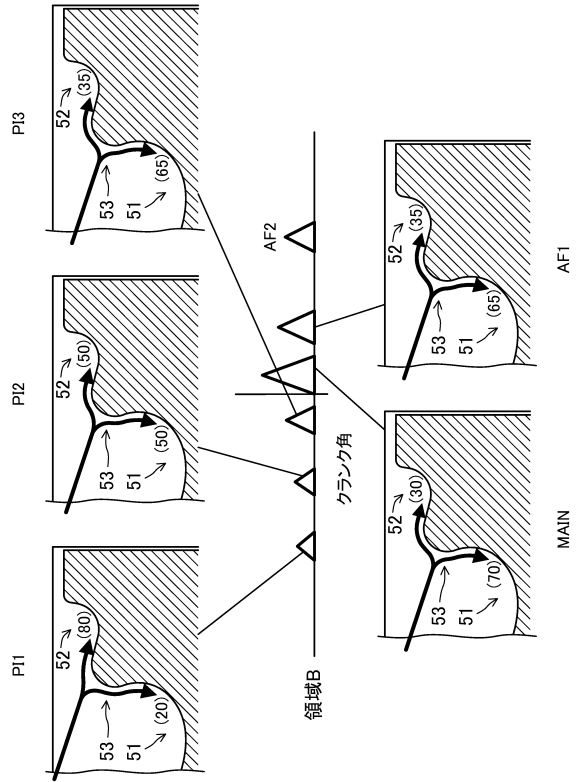
40

50

【図 9】



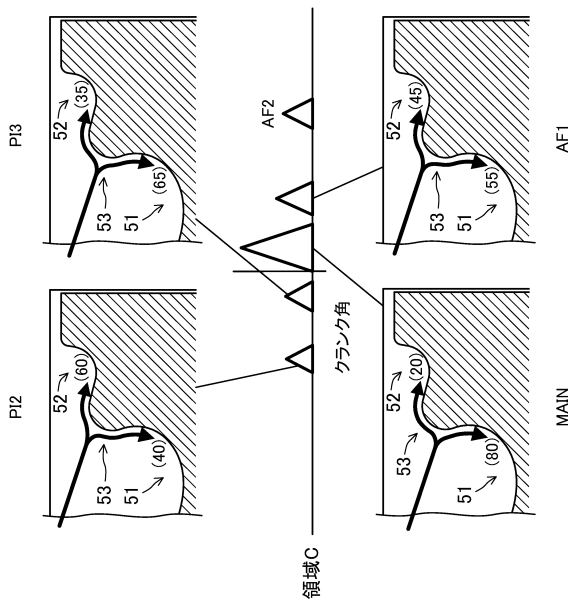
【図 10】



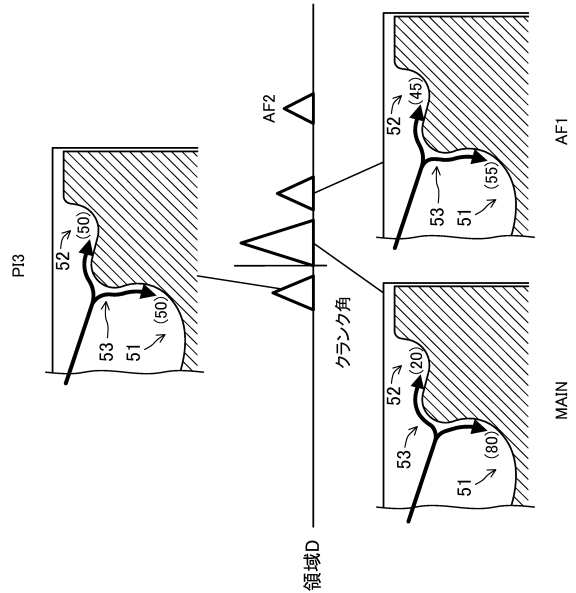
10

20

【図 11】



【図 12】

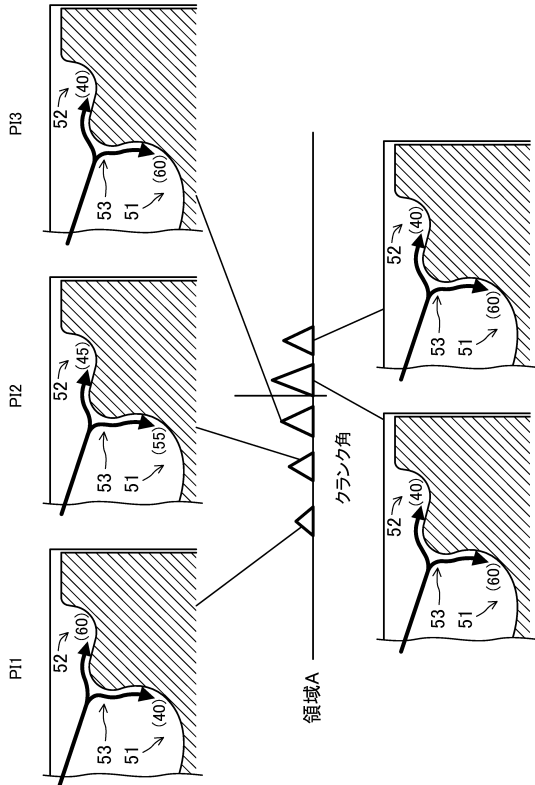


30

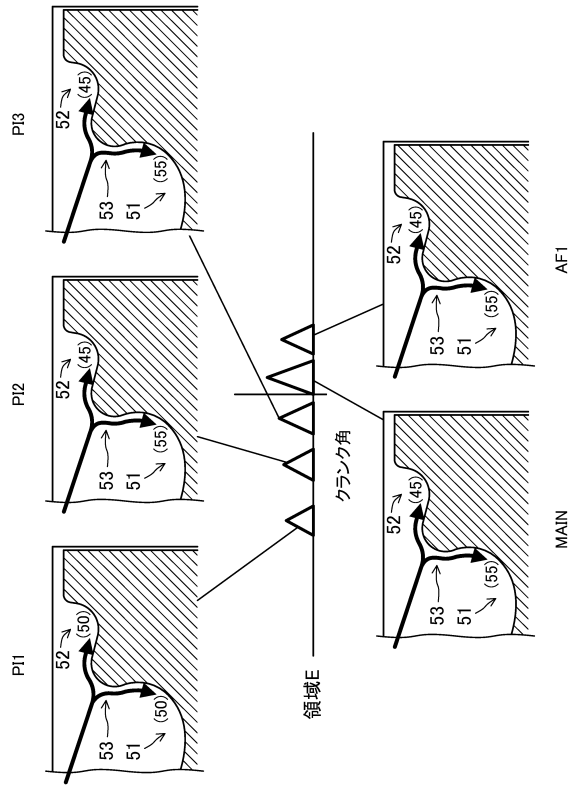
40

50

【図13】



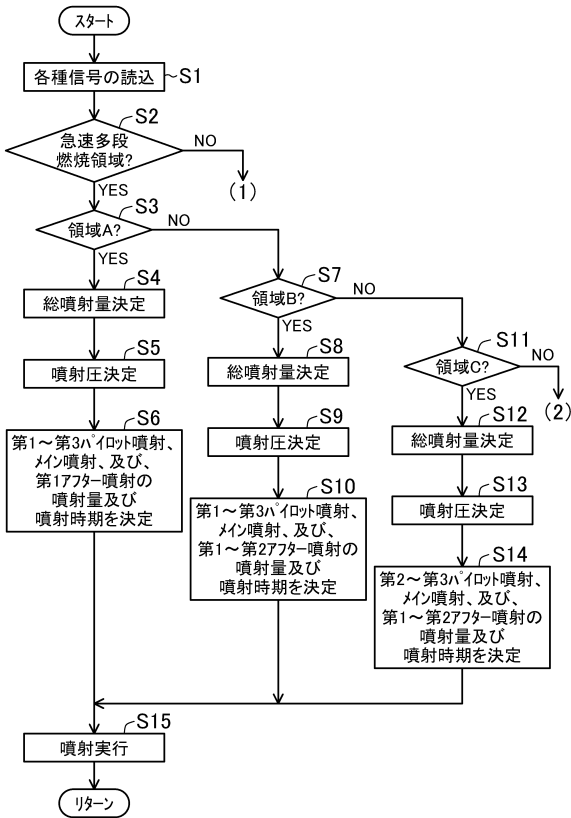
【図14】



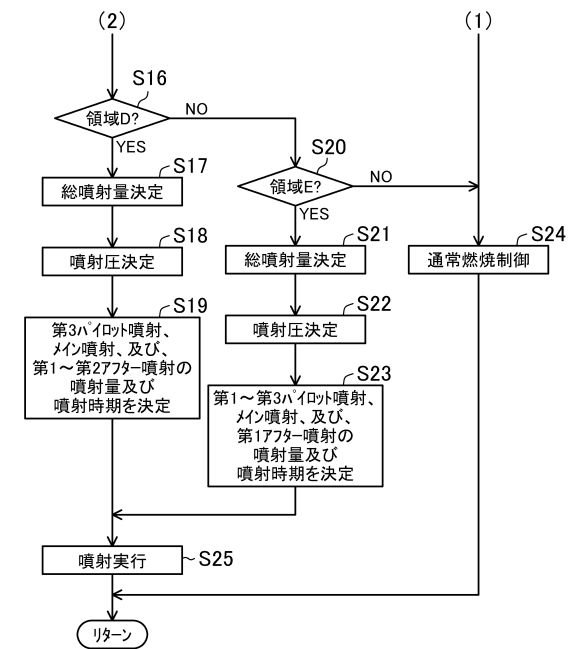
10

20

【図15A】



【図15B】



30

40

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-200411(JP,A)
特開2006-022781(JP,A)
特開2006-118427(JP,A)
特開2012-041896(JP,A)
特開2007-120353(JP,A)
特開2010-101243(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
F02D 41/00 - 45/00
F02B 15/00
F02B 19/14
F02B 23/00 - 23/06
F02F 3/26
F02M 45/04