

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5392418号
(P5392418)

(45) 発行日 平成26年1月22日 (2014. 1. 22)

(24) 登録日 平成25年10月25日 (2013. 10. 25)

(51) Int. Cl.	F 1		
FO2D 45/00	(2006.01)	FO2D 45/00	370B
FO2D 41/38	(2006.01)	FO2D 45/00	368S
FO2D 13/02	(2006.01)	FO2D 45/00	372Z
FO2D 41/04	(2006.01)	FO2D 41/38	B
FO2D 21/08	(2006.01)	FO2D 13/02	J
請求項の数 11 (全 27 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2012-537517 (P2012-537517)
 (86) (22) 出願日 平成22年10月6日 (2010. 10. 6)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2010/067548
 (87) 国際公開番号 W02012/046312
 (87) 国際公開日 平成24年4月12日 (2012. 4. 12)
 審査請求日 平成25年3月19日 (2013. 3. 19)

(73) 特許権者 000003207
 トヨタ自動車株式会社
 愛知県豊田市トヨタ町1番地
 (74) 代理人 110000947
 特許業務法人あーく特許事務所
 (72) 発明者 長谷川 亮
 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
 審査官 米澤 篤

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内燃機関の着火遅れ期間推定装置及び着火時期制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

燃料噴射弁から燃焼室内に向けて噴射された燃料の着火遅れ期間を推定する内燃機関の着火遅れ期間推定装置であって、

上記燃料噴射弁から噴射された燃料の噴霧中における当量比に基づいて物理的着火遅れ期間を算出する物理的着火遅れ期間算出手段と、

上記燃料噴射弁から噴射された燃料の噴霧中における当量比が所定当量比に達した時点での燃焼室内の環境条件に基づいて化学的着火遅れ期間を算出する化学的着火遅れ期間算出手段と、

上記算出された物理的着火遅れ期間と化学的着火遅れ期間とに基づいて燃料の総着火遅れ期間を算出する総着火遅れ期間算出手段とを備えていることを特徴とする内燃機関の着火遅れ期間推定装置。

10

【請求項2】

請求項1記載の内燃機関の着火遅れ期間推定装置において、

上記物理的着火遅れ期間算出手段は、上記燃料噴射弁から燃料が噴射された時を基点とし、この燃料の噴霧中における当量比が、着火可能な噴霧内可燃当量比を超えた後、この噴霧内可燃当量比を下回った時点までの期間を物理的着火遅れ期間として算出する構成とされていることを特徴とする内燃機関の着火遅れ期間推定装置。

【請求項3】

請求項1記載の内燃機関の着火遅れ期間推定装置において、

20

化学的着火遅れ期間算出手段は、上記燃料噴射弁から燃料が噴射され、その燃料の噴霧中における当量比が着火可能な噴霧内可燃当量比に達した時点での燃焼室内の温度及び圧力に基づいて化学的着火遅れ期間を算出する構成とされていることを特徴とする内燃機関の着火遅れ期間推定装置。

【請求項 4】

請求項 2 記載の内燃機関の着火遅れ期間推定装置において、

上記燃料噴射弁から噴射された燃料の噴霧中における当量比が上記噴霧内可燃当量比に達して燃料が着火したか否かを判定し、上記噴霧内可燃当量比に達しておらず燃料が着火していない場合には、その噴霧中における当量比が上記噴霧内可燃当量比に達するように燃料噴射量の増量補正を行った上で上記物理的着火遅れ期間算出手段による物理的着火遅れ期間の算出を行う構成とされていることを特徴とする内燃機関の着火遅れ期間推定装置。

10

【請求項 5】

請求項 2 記載の内燃機関の着火遅れ期間推定装置において、

上記燃料噴射弁から噴射された燃料の噴霧中における当量比が上記噴霧内可燃当量比に達している領域の燃料蒸気量が所定の必要最少可燃蒸気量に達しているか否かを判定し、この必要最少可燃蒸気量に達していない場合には、その燃料蒸気量が必要最少可燃蒸気量に達するように燃料噴射量の増量補正を行った上で上記物理的着火遅れ期間算出手段による物理的着火遅れ期間の算出を行う構成とされていることを特徴とする内燃機関の着火遅れ期間推定装置。

20

【請求項 6】

請求項 1 記載の内燃機関の着火遅れ期間推定装置において、

燃料噴射弁から燃焼室内に向けての燃料噴射として、少なくとも、主噴射と、この主噴射に先立って行われる副噴射とが実行可能とされ、上記総着火遅れ期間算出手段は、この副噴射の実行に対して燃料の総着火遅れ期間を算出するよう構成されていることを特徴とする内燃機関の着火遅れ期間推定装置。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のうち何れか一つに記載の内燃機関の着火遅れ期間推定装置によって推定された総着火遅れ期間に基づいて着火時期を制御する着火時期制御装置であって、

上記推定された総着火遅れ期間が目標とする総着火遅れ期間よりも長いほど、燃焼室内の温度を調整可能な制御パラメータの制御により燃焼室内の温度を高く設定する燃焼室内温度補正手段を備えていることを特徴とする内燃機関の着火時期制御装置。

30

【請求項 8】

請求項 7 記載の内燃機関の着火時期制御装置において、

上記燃焼室内の温度を調整可能な制御パラメータは、排気系から吸気系へ還流される排気ガスの温度であって、上記推定された総着火遅れ期間が目標とする総着火遅れ期間よりも長いほど排気系から吸気系へ還流される排気ガスの温度を高く設定する構成となっていることを特徴とする内燃機関の着火時期制御装置。

【請求項 9】

請求項 7 記載の内燃機関の着火時期制御装置において、

上記燃焼室内の温度を調整可能な制御パラメータは、吸気バルブの閉弁タイミングであって、上記推定された総着火遅れ期間が目標とする総着火遅れ期間よりも長いほど吸気バルブの閉弁タイミングをピストンの下死点側に移行させて実圧縮比を高くする構成となっていることを特徴とする内燃機関の着火時期制御装置。

40

【請求項 10】

請求項 1 ~ 6 のうち何れか一つに記載の内燃機関の着火遅れ期間推定装置によって推定された総着火遅れ期間に基づいて着火時期を制御する着火時期制御装置であって、

上記推定された総着火遅れ期間が目標とする総着火遅れ期間よりも長いほど、燃焼室内の酸素濃度を調整可能な制御パラメータの制御により燃焼室内の酸素濃度を高く設定する燃焼室内酸素濃度補正手段を備えていることを特徴とする内燃機関の着火時期制御装置。

50

【請求項 1 1】

請求項 1 0 記載の内燃機関の着火時期制御装置において、

上記燃焼室内の酸素濃度を調整可能な制御パラメータは、排気系から吸気系へ還流される排気ガスの還流量であって、上記推定される総着火遅れ期間が目標とする総着火遅れ期間よりも長いほど排気系から吸気系へ還流される排気ガスの還流量を少なく設定する構成となっていることを特徴とする内燃機関の着火時期制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ディーゼルエンジンに代表される圧縮自着火式の内燃機関の着火遅れ期間を推定する装置、及び、その着火遅れ期間の適正化を図ることにより着火時期を制御する装置に係る。特に、本発明は、着火遅れ期間の推定精度を高めるための対策に関する。

10

【背景技術】

【0002】

自動車等に搭載されるディーゼルエンジンの燃焼は、主として予混合燃焼及び拡散燃焼により成り立つことが知られている。具体的には、インジェクタから燃焼室内への燃料噴射が開始されると、先ず、燃料の気化拡散により可燃混合気生成される（着火遅れ期間）。次に、この可燃混合気が燃焼室の数ヶ所でほぼ同時に自己着火し、急速に燃焼が進む（予混合燃焼）。そして、この予混合燃焼によって十分に温度上昇した燃焼室内に対し、燃料噴射が継続され、または、所定のインターバル（燃料噴射停止期間）を経て燃料噴射が開始されることで拡散燃焼が行われる。その後、燃料噴射が終了した後にも未燃燃料が存在するため、しばらくの間、熱発生が続けられる（後燃え期間）。

20

【0003】

ところで、近年、自動車の排気エミッション規制の強化（Euro 6 等）に伴い、環境変化や運転過渡等に起因して、筒内の圧力、温度、ガス（空気）量、酸素濃度等といった混合気の着火時期に影響を与えるパラメータ（燃焼状態量とも呼ばれる）が変化する状況になっても、混合気の着火時期を適正化し、これによって排気エミッションを改善すると共に、燃焼変動や失火を防止することが要求されている。

【0004】

尚、ディーゼルエンジンにおける着火遅れの発生原因としては、混合気の着火時期を左右する各種条件（環境条件等）が一般的な標準状態とは異なる状況となった場合が掲げられる。具体的には、標高が高い高地での走行時、燃料性状（例えばセタン価）が標準的なものよりも劣悪な場合（低セタン価燃料を使用した場合）、低外気温時、エンジン負荷の急速な変化時（運転過渡時）などといった条件下では混合気の着火遅れが大きくなってしまいう可能性がある。

30

【0005】

また、ディーゼルエンジンにおける混合気の着火遅れとしては、物理的着火遅れと化学的着火遅れとがある。物理的着火遅れは、燃料液滴の蒸発・混合に要する時間である。一方、化学的着火遅れは、燃料蒸気の化学的結合・分解かつ酸化発熱に要する時間である。

【0006】

上記混合気の着火時期を適正化するための手法として、混合気の着火遅れ期間を推定し、この着火遅れ期間が所定の適正期間に一致するように燃料噴射形態等を制御することが考えられる。この点に鑑みられたものとして下記の特許文献 1 ~ 3 が提案されている。

40

【0007】

特許文献 1 には、筒内の圧縮端温度や圧縮端圧力（ピストンが圧縮上死点に達した時点での燃焼室内温度及び燃焼室内圧力）に基づいて着火遅れ期間を推定し、この着火遅れ期間に応じて燃料噴射期間を制御することが開示されている。

【0008】

また、特許文献 2 には、極低温時にあってはパイロット噴射された燃料の着火遅れ期間が長くなると推定し、パイロット噴射の噴射時期を進角させることで、パイロット噴射さ

50

れた燃料の燃焼タイミングを最適化することが開示されている。

【0009】

更に、特許文献3には、熱発生率最大値が基準セタン価燃料のものより低い場合には、メイン噴射の着火遅れ期間が長くなると推定し、パイロット噴射量を増加させて、パイロット噴射燃料及びメイン噴射燃料の着火性を向上させ、メイン噴射の着火遅れ期間を短縮化することが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開平11-148412号公報

10

【特許文献2】特開平11-93735号公報

【特許文献3】特開2006-183466号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、従来技術においては、混合気の着火遅れ期間の推定精度を十分に高く得ることが可能な技術については未だ提案されておらず、特に、物理的着火遅れの推定精度を高める技術については殆ど開発されていなかったのが現状である。

【0012】

つまり、上記各特許文献に開示されている技術では、筒内温度、筒内圧力、外気温度等といった燃焼場周辺の環境条件（燃焼場に対して間接的に影響を与えるパラメータ）を認識して着火遅れ期間を推定しているに過ぎなかったため、実際の燃焼場内での噴霧状態（燃焼場内で着火可能な条件が成立しているか否か）を直接的に推定するものではなく、その着火遅れ期間の推定の信頼性が十分に得られているとは言えなかった。例えば、筒内温度や筒内圧力を高い精度で認識しても、吸入空気量、スワール速度、ガス組成等が異なれば物理的着火遅れ期間が変化することになるため、信頼性の高い着火遅れ期間を推定することは困難であった。

20

【0013】

本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、混合気の着火遅れ期間を高い精度で推定し、この着火遅れ期間の適正化に寄与できる内燃機関の着火遅れ期間推定装置、及び、この着火遅れ期間推定装置によって推定された着火遅れ期間を適正に制御する着火時期制御装置を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0014】

- 課題の解決原理 -

上記の目的を達成するために講じられた本発明の解決原理は、燃料噴霧内における当量比に基づいて混合気の着火遅れ期間を推定することで、この混合気の燃焼場内での着火の有無を左右する条件を直接的に認識して着火遅れ期間を推定し、その着火遅れ期間の推定の信頼性を高めている。また、この信頼性の高い着火遅れ期間に対し、目標とする着火時期との偏差を認識し、着火遅れ期間の適正化によって混合気の着火時期を目標着火時期に一致させるようにしている。

40

【0015】

- 解決手段 -

具体的に、本発明は、燃料噴射弁から燃焼室内に向けて噴射された燃料の着火遅れ期間を推定する内燃機関の着火遅れ期間推定装置を前提とする。この内燃機関の着火遅れ期間推定装置に対し、物理的着火遅れ期間算出手段、化学的着火遅れ期間算出手段、総着火遅れ期間算出手段を備えさせている。上記物理的着火遅れ期間算出手段は、上記燃料噴射弁から噴射された燃料の噴霧中における当量比に基づいて物理的着火遅れ期間を算出する。上記化学的着火遅れ期間算出手段は、上記燃料噴射弁から噴射された燃料の噴霧中における当量比が所定当量比に達した時点での燃焼室内の環境条件に基づいて化学的着火遅れ期

50

間を算出する。上記総着火遅れ期間算出手段は、上記算出された物理的着火遅れ期間と化学的着火遅れ期間とに基づいて燃料の総着火遅れ期間を算出する。

【0016】

この特定事項により、上記物理的着火遅れ期間及び化学的着火遅れ期間は、共に燃料の噴霧中における当量比に基づいて、または、この噴霧中における当量比を基準として算出されたものとなる。つまり、燃焼場に対して間接的に影響を与えるパラメータを認識して着火遅れ期間を推定するのではなく、実際の燃焼場内での噴霧状態（着火のし易さを現す指標）を直接的に認識することで着火遅れ期間を推定するようにしている。このため、環境変化や運転過渡等が生じている場合であっても物理的着火遅れ期間及び化学的着火遅れ期間を高い精度で推定することができ、その結果、総着火遅れ期間も高い精度で推定することが可能である。

10

【0017】

上記物理的着火遅れ期間算出手段による物理的着火遅れ期間の算出動作として具体的には、上記燃料噴射弁から燃料が噴射された時を基点とし、この燃料の噴霧中における当量比が、着火可能な噴霧内可燃当量比を超えた後、この噴霧内可燃当量比を下回った時点までの期間を物理的着火遅れ期間として算出するようにしている。

【0018】

一方、上記化学的着火遅れ期間算出手段による化学的着火遅れ期間の算出動作として具体的には、上記燃料噴射弁から燃料が噴射され、その燃料の噴霧中における当量比が着火可能な噴霧内可燃当量比に達した時点での燃焼室内の温度及び圧力に基づいて化学的着火遅れ期間を算出するようにしている。

20

【0019】

このようにして物理的着火遅れ期間及び化学的着火遅れ期間を算出することにより、総着火遅れ期間を高い精度で推定することができ、着火遅れ期間の適正化に役立てることが可能になる。

【0020】

また、上記燃料噴射弁から噴射された燃料の噴霧中における当量比が上記噴霧内可燃当量比に達して燃料が着火したか否かを判定し、上記噴霧内可燃当量比に達しておらず燃料が着火していない場合には、その噴霧中における当量比が上記噴霧内可燃当量比に達するように燃料噴射量の増量補正を行った上で上記物理的着火遅れ期間算出手段による物理的着火遅れ期間の算出を行う構成としている。

30

【0021】

同様に、上記燃料噴射弁から噴射された燃料の噴霧中における当量比が上記噴霧内可燃当量比に達している領域の燃料蒸気量が所定の必要最少可燃蒸気量に達しているか否かを判定し、この必要最少可燃蒸気量に達していない場合には、その燃料蒸気量が必要最少可燃蒸気量に達するように燃料噴射量の増量補正を行った上で上記物理的着火遅れ期間算出手段による物理的着火遅れ期間の算出を行う構成としている。

【0022】

このように燃料噴射量の増量補正を行うことによって燃料の噴霧の着火を確実にできるようにした上で物理的着火遅れ期間の算出及び化学的着火遅れ期間の算出を行うことになる。これにより、本発明に係る物理的着火遅れ期間の推定動作及び化学的着火遅れ期間の推定動作を実行可能な状況を確実に得ることが可能になる。

40

【0023】

本発明が適用される燃料噴射形態としては主噴射に先立って行われる副噴射が挙げられる。つまり、燃料噴射弁から燃焼室内に向けての燃料噴射として、少なくとも、主噴射と、この主噴射に先立って行われる副噴射とが実行可能とされた内燃機関に対し、上記総着火遅れ期間算出手段が、この副噴射の実行に対して燃料の総着火遅れ期間を算出する構成としている。

【0024】

このように副噴射で噴射された燃料の総着火遅れ期間を算出することにより、この副噴

50

射の着火時期の適正化に役立てることができ、この副噴射の着火時期の適正化に伴って、その後に行われる主噴射の着火時期の適正化も図ることが可能になる。その結果、主噴射で噴射された燃料の燃焼時における排気エミッションの改善、燃焼変動や失火の防止を図ることができる。

【0025】

上述の如く推定された総着火遅れ期間に基づいて着火時期を制御する着火時期制御装置も本発明の技術的思想の範疇である。つまり、上記推定された総着火遅れ期間が目標とする総着火遅れ期間よりも長いほど、燃焼室内の温度を調整可能な制御パラメータの制御により燃焼室内の温度を高く設定する燃焼室内温度補正手段を備えさせた構成とするものである。

10

【0026】

上記燃焼室内の温度を調整可能な制御パラメータとしては、排気系から吸気系へ還流される排気ガスの温度が挙げられ、上記推定された総着火遅れ期間が目標とする総着火遅れ期間よりも長いほど排気系から吸気系へ還流される排気ガスの温度を高く設定する構成としている。

【0027】

また、上記燃焼室内の温度を調整可能な制御パラメータとしては、吸気バルブの閉弁タイミングも挙げられ、上記推定された総着火遅れ期間が目標とする総着火遅れ期間よりも長いほど吸気バルブの閉弁タイミングをピストンの下死点側に移行させて実圧縮比を高くする構成としている。

20

【0028】

また、上記推定された総着火遅れ期間が目標とする総着火遅れ期間よりも長いほど燃焼室内の酸素濃度を調整可能な制御パラメータの制御により燃焼室内の酸素濃度を高く設定する燃焼室内酸素濃度補正手段を備えさせた構成とする。

【0029】

この場合、上記燃焼室内の酸素濃度を調整可能な制御パラメータとしては、排気系から吸気系へ還流される排気ガスの還流量が挙げられ、上記推定される総着火遅れ期間が目標とする総着火遅れ期間よりも長いほど排気系から吸気系へ還流される排気ガスの還流量を少なく設定する構成としている。

【発明の効果】

30

【0030】

本発明では、燃料噴霧内における当量比に基づいて混合気の着火遅れ期間を推定することで、この混合気の燃焼場内での着火の有無を左右する条件を直接的に認識して着火遅れ期間を推定し、その着火遅れ期間の推定の信頼性を高めることが可能である。また、この信頼性の高い着火遅れ期間の推定結果に基づいて着火時期を制御することにより、着火時期の適正化が図れ、排気エミッションの改善等を図ることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】図1は、実施形態に係るエンジン及びその制御システムの概略構成を示す図である。

【図2】図2は、ディーゼルエンジンの燃焼室及びその周辺部を示す断面図である。

40

【図3】図3は、ECU等の制御系の構成を示すブロック図である。

【図4】図4は、EGRモードマップを示す図である。

【図5】図5は、燃焼室内での燃焼形態の概略を説明するための吸排気系及び燃焼室の模式図である。

【図6】図6は、燃料噴射時における燃焼室及びその周辺部を示す断面図である。

【図7】図7は、燃料噴射時における燃焼室の平面図である。

【図8】図8は、物理的着火遅れ期間推定動作の手順を示すフローチャート図である。

【図9】図9は、パイロット噴射開始後における噴霧内当量比の変化を示す図である。

【図10】図10は、必要最少可燃蒸気量を求めるための必要最少可燃蒸気量マップを示す図である。

50

【図 1 1】図 1 1 は、パイロット噴射開始後における可燃当量比が確保されている期間及び燃料蒸発量を説明するための図である。

【図 1 2】図 1 2 は、パイロット噴射開始後における噴霧内当量比の変化を示し、パイロット噴射量の増量前の噴霧内当量比の変化と、パイロット噴射量の増量後の噴霧内当量比の変化とを示す図である。

【図 1 3】図 1 3 は、化学的着火遅れ期間推定動作を含む着火時期制御の手順を示すフローチャート図である。

【図 1 4】図 1 4 は、パイロット噴射実行後における物理的着火遅れ期間及び化学的着火遅れ期間を説明するための図である。

【図 1 5】図 1 5 は、エンジン回転数及び燃料噴射量により基準目標着火遅れ期間を求めるための基準目標着火遅れ期間マップを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0032】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。本実施形態は、自動車に搭載されたコモンレール式筒内直噴型多気筒（例えば直列 4 気筒）ディーゼルエンジン（圧縮自着火式内燃機関）に本発明を適用した場合について説明する。

【0033】

- エンジンの構成 -

先ず、本実施形態に係るディーゼルエンジン（以下、単にエンジンという）の概略構成について説明する。図 1 は本実施形態に係るエンジン 1 及びその制御システムの概略構成図である。また、図 2 は、ディーゼルエンジンの燃焼室 3 及びその周辺部を示す断面図である。

【0034】

図 1 に示すように、本実施形態に係るエンジン 1 は、燃料供給系 2、燃焼室 3、吸気系 6、排気系 7 等を主要部とするディーゼルエンジンシステムとして構成されている。

【0035】

燃料供給系 2 は、サプライポンプ 2 1、コモンレール 2 2、インジェクタ（燃料噴射弁）2 3、遮断弁 2 4、燃料添加弁 2 6、機関燃料通路 2 7、添加燃料通路 2 8 等を備えて構成されている。

【0036】

上記サプライポンプ 2 1 は、燃料タンクから燃料を汲み上げ、この汲み上げた燃料を高圧にした後、機関燃料通路 2 7 を介してコモンレール 2 2 に供給する。コモンレール 2 2 は、サプライポンプ 2 1 から供給された高圧燃料を所定圧力に保持（蓄圧）する蓄圧室としての機能を有し、この蓄圧した燃料を各インジェクタ 2 3 に分配する。インジェクタ 2 3 は、その内部に圧電素子（ピエゾ素子）を備え、適宜開弁して燃焼室 3 内に燃料を噴射供給するピエゾインジェクタにより構成されている。このインジェクタ 2 3 からの燃料噴射制御の詳細については後述する。

【0037】

また、上記サプライポンプ 2 1 は、燃料タンクから汲み上げた燃料の一部を、添加燃料通路 2 8 を介して燃料添加弁 2 6 に供給する。添加燃料通路 2 8 には、緊急時において添加燃料通路 2 8 を遮断して燃料添加を停止するための上記遮断弁 2 4 が備えられている。

【0038】

また、上記燃料添加弁 2 6 は、ECU 1 0 0 による添加制御動作によって排気系 7 への燃料添加量が目標添加量（排気 A / F が目標 A / F となるような添加量）となるように、また、燃料添加タイミングが所定タイミングとなるように開弁時期が制御される電子制御式の開閉弁により構成されている。つまり、この燃料添加弁 2 6 から所望の燃料が適宜のタイミングで排気系 7（排気ポート 7 1 から排気マニホールド 7 2）に噴射供給される構成となっている。

【0039】

吸気系 6 は、シリンダヘッド 1 5（図 2 参照）に形成された吸気ポート 1 5 a に接続さ

10

20

30

40

50

れる吸気マニホールド63を備え、この吸気マニホールド63に、吸気通路を構成する吸気管64が接続されている。また、この吸気通路には、上流側から順にエアクリーナ65、エアフローメータ43、スロットルバルブ(吸気絞り弁)62が配設されている。上記エアフローメータ43は、エアクリーナ65を介して吸気通路に流入される空気量に応じた電気信号を出力するようになっている。

【0040】

また、この吸気系6には、燃焼室3内でのスワール流(水平方向の旋回流)を可変とするためのスワールコントロールバルブ(スワール速度可変機構)66が備えられている(図2参照)。具体的に、上記吸気ポート15aとしては、ノーマルポート及びスワールポートの2系統が各気筒毎に備えられており、そのうち図2に示されているノーマルポート15aに、開度調整可能なバタフライバルブで成るスワールコントロールバルブ66が配置されている。このスワールコントロールバルブ66には図示しないアクチュエータが連繋されており、このアクチュエータの駆動によって調整されるスワールコントロールバルブ66の開度に応じてノーマルポート15aを通過する空気の流量が変更できるようになっている。そして、スワールコントロールバルブ66の開度が大きいほど、ノーマルポート15aから気筒内に吸入される空気量が増加する。このため、スワールポート(図2では図示省略)により発生したスワールは相対的に弱まり、気筒内は低スワール(スワール速度が低い状態)となる。逆に、スワールコントロールバルブ66の開度が小さいほど、ノーマルポート15aから気筒内に吸入される空気量が減少する。このため、スワールポートにより発生したスワールは相対的に強められ、気筒内は高スワール(スワール速度が高い状態)となる。

【0041】

排気系7は、シリンダヘッド15に形成された上記排気ポート71に接続される排気マニホールド72を備え、この排気マニホールド72に対して、排気通路を構成する排気管73,74が接続されている。また、この排気通路には、NO_x吸蔵触媒(NSR触媒: NO_x Storage Reduction触媒)75及びDPNR触媒(Diesel Particulate-NO_x Reduction触媒)76を備えたマニバータ(排気浄化装置)77が配設されている。以下、これらNSR触媒75及びDPNR触媒76について説明する。

【0042】

NSR触媒75は、吸蔵還元型NO_x触媒であって、例えばアルミナ(Al₂O₃)を担体とし、この担体上に例えばカリウム(K)、ナトリウム(Na)、リチウム(Li)、セシウム(Cs)のようなアルカリ金属、バリウム(Ba)、カルシウム(Ca)のようなアルカリ土類、ランタン(La)、イットリウム(Y)のような希土類と、白金(Pt)のような貴金属とが担持された構成となっている。

【0043】

このNSR触媒75は、排気中に多量の酸素が存在している状態においてはNO_xを吸蔵し、排気中の酸素濃度が低く、かつ還元成分(例えば燃料の未燃成分(HC))が多量に存在している状態においてはNO_xをNO₂若しくはNOに還元して放出する。NO₂やNOとして放出されたNO_xは、排気中のHCやCOと速やかに反応することによってさらに還元されてN₂となる。また、HCやCOは、NO₂やNOを還元することで、自身は酸化されてH₂OやCO₂となる。即ち、NSR触媒75に導入される排気中の酸素濃度やHC成分を適宜調整することにより、排気中のHC、CO、NO_xを浄化することができるようになっている。本実施形態のものでは、この排気中の酸素濃度やHC成分の調整を上記燃料添加弁26からの燃料添加動作によって行うことが可能となっている。

【0044】

一方、DPNR触媒76は、例えば多孔質セラミック構造体にNO_x吸蔵還元型触媒を担持させたものであり、排気ガス中のPMは多孔質の壁を通過する際に捕集される。また、排気ガスの空燃比がリーンの場合、排気ガス中のNO_xはNO_x吸蔵還元型触媒に吸蔵され、空燃比がリッチになると、吸蔵したNO_xは還元・放出される。さらに、DPNR

10

20

30

40

50

触媒 76 には、捕集した PM を酸化・燃焼する触媒（例えば白金等の貴金属を主成分とする酸化触媒）が担持されている。

【0045】

ここで、ディーゼルエンジンの燃焼室 3 及びその周辺部の構成について、図 2 を用いて説明する。この図 2 に示すように、エンジン本体の一部を構成するシリンダブロック 11 には、各気筒（4 気筒）毎に円筒状のシリンダボア 12 が形成されており、各シリンダボア 12 の内部にはピストン 13 が上下方向に摺動可能に収容されている。

【0046】

ピストン 13 の頂面 13a の上側には上記燃焼室 3 が形成されている。つまり、この燃焼室 3 は、シリンダブロック 11 の上部にガスケット 14 を介して取り付けられたシリンダヘッド 15 の下面と、シリンダボア 12 の内壁面と、ピストン 13 の頂面 13a とにより区画形成されている。そして、ピストン 13 の頂面 13a の略中央部には、キャビティ（凹陷部）13b が凹設されており、このキャビティ 13b も燃焼室 3 の一部を構成している。

【0047】

尚、このキャビティ 13b の形状としては、その中央部分（シリンダ中心線 P 上）では凹陷寸法が小さく、外周側に向かうに従って凹陷寸法が大きくなっている。つまり、図 2 に示すようにピストン 13 が圧縮上死点付近にある際、このキャビティ 13b によって形成される燃焼室 3 としては、中央部分では比較的容積の小さい狭小空間とされ、外周側に向かって次第に空間が拡大される（拡大空間とされる）構成となっている。

【0048】

上記ピストン 13 は、コネクティングロッド 18 の小端部 18a がピストンピン 13c により連結されており、このコネクティングロッド 18 の大端部はエンジン出力軸であるクランクシャフトに連結されている。これにより、シリンダボア 12 内でのピストン 13 の往復移動がコネクティングロッド 18 を介してクランクシャフトに伝達され、このクランクシャフトが回転することでエンジン出力が得られるようになっている。また、燃焼室 3 に向けてグロープラグ 19 が配設されている。このグロープラグ 19 は、エンジン 1 の始動直前に電流が流されることにより赤熱し、これに燃料噴霧の一部が吹きつけられることで着火・燃焼が促進される始動補助装置として機能する。

【0049】

上記シリンダヘッド 15 には、燃焼室 3 へ空気を導入する上記吸気ポート 15a と、燃焼室 3 から排気ガスを排出する上記排気ポート 71 とがそれぞれ形成されていると共に、吸気ポート 15a を開閉する吸気バルブ 16 及び排気ポート 71 を開閉する排気バルブ 17 が配設されている。これら吸気バルブ 16 及び排気バルブ 17 はシリンダ中心線 P を挟んで対向配置されている。つまり、本エンジン 1 はクロスフロータイプとして構成されている。また、シリンダヘッド 15 には、燃焼室 3 の内部へ直接的に燃料を噴射する上記インジェクタ 23 が取り付けられている。このインジェクタ 23 は、シリンダ中心線 P に沿う起立姿勢で燃焼室 3 の略中央上部に配設されており、上記コモンレール 22 から導入される燃料を燃焼室 3 に向けて所定のタイミングで噴射するようになっている。

【0050】

更に、図 1 に示す如く、このエンジン 1 には、過給機（ターボチャージャ）5 が設けられている。このターボチャージャ 5 は、タービンシャフト 51 を介して連結されたタービンホイール 52 及びコンプレッサホイール 53 を備えている。コンプレッサホイール 53 は吸気管 64 内部に臨んで配置され、タービンホイール 52 は排気管 73 内部に臨んで配置されている。このためターボチャージャ 5 は、タービンホイール 52 が受ける排気流（排気圧）を利用してコンプレッサホイール 53 を回転させ、吸気圧を高めるといった所謂過給動作を行うようになっている。本実施形態におけるターボチャージャ 5 は、可変ノズル式ターボチャージャであって、タービンホイール 52 側に可変ノズルベーン機構（図示省略）が設けられており、この可変ノズルベーン機構の開度を調整することにより、エンジン 1 の過給圧を調整することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 1 】

吸気系 6 の吸気管 6 4 には、ターボチャージャ 5 での過給によって昇温した吸入空気を強制冷却するためのインタークーラ 6 1 が設けられている。

【 0 0 5 2 】

このインタークーラ 6 1 よりも更に下流側に設けられた上記スロットルバルブ 6 2 は、その開度を無段階に調整することができる電子制御式の開閉弁であり、所定の条件下において吸入空気の流路面積を絞り、この吸入空気の供給量を調整（低減）する機能を有している。

【 0 0 5 3 】

また、エンジン 1 には、吸気系 6 と排気系 7 とを接続して排気系 7 から排気ガスの一部を吸気系 6 に還流させることにより、燃焼温度を低下させ、これによって NO_x 発生量を低減させるための排気還流装置 8 が備えられている。この排気還流装置 8 は、マニパータ 7 7 より下流、すなわちタービンホイール 5 2 より下流の排気管 7 4 とコンプレッサホイール 5 3 より上流の吸気管 6 4 とを接続する低圧 EGR 通路 8 1 と、タービンホイール 5 2 より上流の排気通路（例えば排気マニホールド 7 2）とインタークーラ 6 1 より下流、即ちコンプレッサホイール 5 3 より下流の吸気管 6 4 とを接続する高圧 EGR 通路 8 2 とを備えている。上記低圧 EGR 通路 8 1 には、排気ガスを冷却するための EGR クーラ 8 3 と、低圧 EGR 通路 8 1 を介して吸気管 6 4 に還流される排気ガス（以下、低圧 EGR ガスと呼ぶ場合もある）の流量を調整するための低圧 EGR バルブ 8 4 とが設けられている。一方、高圧 EGR 通路 8 2 には、高圧 EGR 通路 8 2 を介して吸気管 6 4 に還流される排気ガス（以下、高圧 EGR ガスと呼ぶ場合もある）の流量を調整するための高圧 EGR バルブ 8 5 が設けられている。なお、以下では低圧 EGR ガスと高圧 EGR ガスを特に区別する必要がない場合は、単に EGR ガスと呼ぶ。

【 0 0 5 4 】

また、エンジン 1 の動弁系には VVT (Variable Valve Timing) 機構が備えられており、吸気バルブ 1 6 の開閉タイミングの調整が可能となっている。この VVT 機構の構成については周知であるため（例えば特開 2 0 1 0 - 1 1 6 8 1 6 号公報や特開 2 0 1 0 - 1 8 0 7 4 8 号公報を参照）、ここでの説明は省略する。

【 0 0 5 5 】

- センサ類 -

エンジン 1 の各部位には、各種センサが取り付けられており、それぞれの部位の環境条件や、エンジン 1 の運転状態に関する信号を出力する。

【 0 0 5 6 】

例えば、上記エアフローメータ 4 3 は、吸気系 6 内のスロットルバルブ 6 2 上流において吸入空気の流量（吸入空気量）に応じた検出信号を出力する。吸気温度センサ 4 9 は、吸気マニホールド 6 3 に配置され、吸入空気の温度に応じた検出信号を出力する。吸気圧センサ 4 8 は、吸気マニホールド 6 3 に配置され、吸入空気圧力に応じた検出信号を出力する。A / F（空燃比）センサ 4 4 は、排気系 7 のマニパータ 7 7 の下流において排気中の酸素濃度に応じて連続的に変化する検出信号を出力する。排気温度センサ 4 5 は、同じく排気系 7 のマニパータ 7 7 の下流において排気ガスの温度（排気温度）に応じた検出信号を出力する。レール圧センサ 4 1 はコモンレール 2 2 内に蓄えられている燃料の圧力に応じた検出信号を出力する。スロットル開度センサ 4 2 はスロットルバルブ 6 2 の開度を検出する。

【 0 0 5 7 】

- ECU -

ECU 1 0 0 は、図 3 に示すように、CPU 1 0 1、ROM 1 0 2、RAM 1 0 3 及びバックアップ RAM 1 0 4 などを備えている。ROM 1 0 2 は、各種制御プログラムや、それら各種制御プログラムを実行する際に参照されるマップ等が記憶されている。CPU 1 0 1 は、ROM 1 0 2 に記憶された各種制御プログラムやマップに基づいて各種の演算処理を実行する。RAM 1 0 3 は、CPU 1 0 1 での演算結果や各センサから入力された

10

20

30

40

50

データ等を一時的に記憶するメモリである。バックアップRAM104は、例えばエンジン1の停止時にその保存すべきデータ等を記憶する不揮発性のメモリである。

【0058】

以上のCPU101、ROM102、RAM103及びバックアップRAM104は、バス107を介して互いに接続されるとともに、入力インターフェース105及び出力インターフェース106と接続されている。

【0059】

入力インターフェース105には、上記レール圧センサ41、スロットル開度センサ42、エアフローメータ43、A/Fセンサ44、排気温度センサ45、吸気圧センサ48、吸気温度センサ49が接続されている。さらに、この入力インターフェース105には、エンジン1の冷却水温に応じた検出信号を出力する水温センサ46、アクセルペダルの踏み込み量に応じた検出信号を出力するアクセル開度センサ47、及び、エンジン1の出力軸（クランクシャフト）が一定角度回転する毎に検出信号（パルス）を出力するクランクポジションセンサ40などが接続されている。

10

【0060】

一方、出力インターフェース106には、上記サプライポンプ21、インジェクタ23、燃料添加弁26、スロットルバルブ62、スワールコントロールバルブ66、低圧EGRバルブ84、高圧EGRバルブ85、及び、VVT機構67などが接続されている。また、出力インターフェース106には、その他に、上記ターボチャージャ5の可変ノズルベーン機構に備えられたアクチュエータ（図示省略）も接続されている。

20

【0061】

そして、ECU100は、上記した各種センサからの出力、その出力値を利用する演算式により求められた演算値、または、上記ROM102に記憶された各種マップに基づいて、エンジン1の各種制御を実行する。

【0062】

例えば、ECU100は、インジェクタ23の燃料噴射制御として、パイロット噴射（副噴射）とメイン噴射（主噴射）とを実行する。

【0063】

上記パイロット噴射は、インジェクタ23からのメイン噴射に先立ち、予め少量の燃料を噴射する動作である。また、このパイロット噴射は、メイン噴射による燃料の着火遅れを抑制し、安定した拡散燃焼に導くための噴射動作であって、副噴射とも呼ばれる。また、本実施形態におけるパイロット噴射は、上述したメイン噴射による初期燃焼速度を抑制する機能ばかりでなく、気筒内温度を高める予熱機能をも有するものとなっている。つまり、このパイロット噴射の実行後、燃料噴射を一旦中断し、メイン噴射が開始されるまでの間に圧縮ガス温度（気筒内温度）を十分に高めて燃料の自着火温度（例えば1000K）に到達させるようにし、これによってメイン噴射で噴射される燃料の着火性を良好に確保するようにしている。

30

【0064】

上記メイン噴射は、エンジン1のトルク発生のための噴射動作（トルク発生用燃料の供給動作）である。このメイン噴射での噴射量は、基本的には、エンジン回転数、アクセル操作量、冷却水温度、吸気温度等の運転状態に応じ、要求トルクが得られるように決定される。例えば、エンジン回転数（クランクポジションセンサ40の検出値に基づいて算出されるエンジン回転数）が高いほど、また、アクセル操作量（アクセル開度センサ47により検出されるアクセルペダルの踏み込み量）が大きいほど（アクセル開度が大きいほど）エンジン1のトルク要求値としては高く得られ、それに応じてメイン噴射での燃料噴射量としても多く設定されることになる。

40

【0065】

尚、上述したパイロット噴射及びメイン噴射の他に、アフタ噴射やポスト噴射が必要に応じて行われる。アフタ噴射は、排気ガス温度を上昇させるための噴射動作である。具体的には、供給された燃料の燃焼エネルギーがエンジン1のトルクに変換されることなく、そ

50

の大部分が排気の熱エネルギーとして得られるタイミングでアフタ噴射は実行される。また、ポスト噴射は、排気系 7 に燃料を直接的に導入して上記マニパータ 7 7 の昇温を図るための噴射動作である。例えば、DPNR 触媒 7 6 に捕集されている PM の堆積量が所定量を超えた場合（例えばマニパータ 7 7 の前後の差圧を検出することにより検知）、ポスト噴射が実行されるようになっている。

【 0 0 6 6 】

また、ECU 1 0 0 は、エンジン 1 の運転状態に応じて、排気還流装置 8 に備えられた各 EGR バルブ 8 4 , 8 5 の開度を制御し、吸気系に向けての排気還流量（EGR ガス量）を調整する。具体的に、本実施形態に係るエンジン 1 では、排気系から吸気系へ排気ガスを還流させるための複数種類の EGR モードがエンジン 1 の運転状態に対応して設定されている。EGR モードとしては、低圧 EGR 通路 8 1 のみを介して排気ガスを吸気管 6 4 に還流する低圧 EGR モードとしてのロープレッシャーループ（LPL）モード、高圧 EGR 通路 8 2 のみを介して排気ガスを吸気管 6 4 に還流する高圧 EGR モードとしてのハイプレッシャーループ（HPL）モード、及び、低圧 EGR 通路 8 1 及び高圧 EGR 通路 8 2 の両方の EGR 通路を介して排気ガスを吸気管 6 4 に還流する混合 EGR モードとしての MPL モードが設定されている。

【 0 0 6 7 】

図 4 は、これら各 EGR モードとエンジン 1 の運転状態との対応関係の一例を示す EGR モードマップである。ECU 1 0 0 は、吸気管 6 4 への排気ガスの還流を行う場合、この EGR モードマップを参照し、エンジン回転数及びエンジン負荷に応じて LPL モード、MPL モード、又は HPL モードのいずれかの EGR モードを選択する。また、エンジン 1 の運転状態の変化に応じて EGR モードを切り替える。尚、LPL モードは、高圧 EGR バルブ 8 5 が全閉に維持されるとともに低圧 EGR バルブ 8 4 が開度調整されることにより実行される。HPL モードは、低圧 EGR バルブ 8 4 が全閉に維持されるとともに高圧 EGR バルブ 8 5 が開度調整されることにより実行される。MPL モードは、低圧 EGR バルブ 8 4 及び高圧 EGR バルブ 8 5 の両方が開度調整されることにより実行される。これら各 EGR モードにおける低圧 EGR バルブ 8 4 及び高圧 EGR バルブ 8 5 のそれぞれの開度は、エンジン 1 の運転状態に応じて ECU 1 0 0 が適切な値に調整する。尚、上記 EGR モードマップは、予め実験やシミュレーション等によって作成されたものである。

【 0 0 6 8 】

更に、ECU 1 0 0 は、上記スワールコントロールバルブ 6 6 の開度制御を実行する。このスワールコントロールバルブ 6 6 の開度制御としては、燃焼室 3 内に噴射された燃料の噴霧の単位時間当たり（または単位クランク回転角度当たり）における気筒内の周方向の移動量を変更するように行われる。

【 0 0 6 9 】

- 燃料噴射圧 -

燃料噴射を実行する際の燃料噴射圧は、コモンレール 2 2 の内圧により決定される。このコモンレール内圧として、一般に、コモンレール 2 2 からインジェクタ 2 3 へ供給される燃料圧力の目標値、即ち目標レール圧は、エンジン負荷（機関負荷）が高くなるほど、及び、エンジン回転数（機関回転数）が高くなるほど高いものとされる。即ち、エンジン負荷が高い場合には燃焼室 3 内に吸入される空気量が多いため、インジェクタ 2 3 から燃焼室 3 内に向けて多量の燃料を噴射しなければならず、よってインジェクタ 2 3 からの噴射圧力を高いものとする必要がある。また、エンジン回転数が高い場合には噴射可能な期間が短いため、単位時間当たりに噴射される燃料量を多くしなければならず、よってインジェクタ 2 3 からの噴射圧力を高いものとする必要がある。このように、目標レール圧は一般にエンジン負荷及びエンジン回転数に基づいて設定される。尚、この目標レール圧は例えば上記 ROM 1 0 2 に記憶された燃圧設定マップに従って設定される。つまり、この燃圧設定マップに従って燃料圧力を決定することで、インジェクタ 2 3 の開弁期間（噴射率波形）が制御され、その開弁期間中における燃料噴射量を規定することが可能になる。

【 0 0 7 0 】

尚、本実施形態では、エンジン負荷等に応じて燃料圧力が 3 0 M P a ~ 2 0 0 M P a の間で調整されるようになっている。

【 0 0 7 1 】

上記パイロット噴射やメイン噴射などの燃料噴射パラメータについて、その最適値はエンジン 1 や吸入空気等の温度条件によって異なるものとなる。

【 0 0 7 2 】

例えば、上記 E C U 1 0 0 は、コモンレール圧がエンジン運転状態に基づいて設定される目標レール圧と等しくなるように、即ち燃料噴射圧が目標噴射圧と一致するように、サブライポンプ 2 1 の燃料吐出量を調量する。また、E C U 1 0 0 はエンジン運転状態に基づいて燃料噴射量及び燃料噴射形態を決定する。具体的には、E C U 1 0 0 は、クランクポジションセンサ 4 0 の検出値に基づいてエンジン回転速度を算出するとともに、アクセル開度センサ 4 7 の検出値に基づいてアクセルペダルの踏み込み量（アクセル開度）を求め、このエンジン回転速度及びアクセル開度に基づいて総燃料噴射量（パイロット噴射での噴射量とメイン噴射での噴射量との和）を決定する。

【 0 0 7 3 】

- 燃焼形態の概略説明 -

次に、本実施形態に係るエンジン 1 における燃焼室 3 内での燃焼形態の概略について説明する。

【 0 0 7 4 】

図 5 は、エンジン 1 の一つの気筒に対して吸気マニホールド 6 3 及び吸気ポート 1 5 a を経てガス（空気）が吸入され、燃焼室 3 内へインジェクタ 2 3 からの燃料噴射によって燃焼が行われると共に、その燃焼後のガスが排気ポート 7 1 を経て排気マニホールド 7 2 へ排出される様子を模式的に示した図である。

【 0 0 7 5 】

この図 5 に示すように、気筒内に吸入されるガスには、吸気管 6 4 からスロットルバルブ 6 2 を介して吸入された新気と、上記 E G R バルブ（図 5 では高圧 E G R バルブ 8 5 のみを示している）が開弁された場合に E G R 通路（図 5 では高圧 E G R 通路 8 2 のみを示している）から吸入される E G R ガスとが含まれる。吸入される新気量（質量）と吸入される E G R ガス量（質量）との和に対する E G R ガス量の割合（即ち、E G R 率）は、運転状態に応じて上記 E C U 1 0 0 により適宜制御される E G R バルブ（例えば高圧 E G R バルブ 8 5）の開度に応じて変化する。

【 0 0 7 6 】

このようにして気筒内に吸入された新気及び E G R ガスは、吸気行程において開弁している吸気バルブ 1 6 を介し、ピストン 1 3（図 5 では図示省略）の下降に伴って気筒内に吸入されて筒内ガスとなる。この筒内ガスは、エンジン 1 の運転状態に応じて決定されるバルブ閉弁時に吸気バルブ 1 6 が閉弁することにより筒内に密閉され（筒内ガスの閉じ込め状態）、その後の圧縮行程においてピストン 1 3 の上昇に伴って圧縮される。そして、ピストン 1 3 が上死点近傍に達すると、上述した E C U 1 0 0 による噴射量制御によって所定時間だけインジェクタ 2 3 が開弁されることで燃料を燃焼室 3 内に直接噴射する。具体的には、ピストン 1 3 が上死点に達する前に上記パイロット噴射が実行され、燃料噴射が一旦停止された後、所定のインターバルを経て、ピストン 1 3 が上死点近傍に達した時点で上記メイン噴射が実行されることになる。

【 0 0 7 7 】

図 6 は、この燃料噴射時における燃焼室 3 及びその周辺部を示す断面図であり、図 7 は、この燃料噴射時における燃焼室 3 の平面図（ピストン 1 3 の上面を示す図）である。図 7 に示すように、本実施形態に係るエンジン 1 のインジェクタ 2 3 には、周方向に亘って等間隔に 8 個の噴孔が設けられており、これら噴孔からそれぞれ均等に燃料が噴射されるようになっている。尚、この噴孔数としては 8 個に限るものではない。

【 0 0 7 8 】

そして、この各噴孔から噴射された燃料の噴霧 A , A , ... は略円錐状に拡散していく。また、各噴孔からの燃料噴射（上記パイロット噴射やメイン噴射）は、ピストン 1 3 が圧縮上死点近傍に達した時点で行われるため、図 6 に示すように、各燃料の噴霧 A , A , ... は上記キャピティ 1 3 b 内で拡散していくことになる。

【 0 0 7 9 】

このように、インジェクタ 2 3 に形成されている各噴孔から噴射された燃料の噴霧 A , A , ... は、時間の経過に伴って筒内ガスと混ざり合いながら混合気となって筒内においてそれぞれ円錐状に拡散していき、自己着火によって燃焼する。つまり、この各燃料の噴霧 A , A , ... は、それぞれ筒内ガスと共に略円錐状の燃焼場を形成し、その燃焼場（本実施形態では 8 箇所）でそれぞれ燃焼が開始されることになる。

10

【 0 0 8 0 】

そして、この燃焼により発生したエネルギーは、ピストン 1 3 を下死点に向かって押し上げるための運動エネルギー（エンジン出力となるエネルギー）、燃焼室 3 内を温度上昇させる熱エネルギー、シリンダブロック 1 1 やシリンダヘッド 1 5 を経て外部（例えば冷却水）に放熱される熱エネルギーとなる。

【 0 0 8 1 】

そして、燃焼後の筒内ガスは、排気行程において開弁する排気バルブ 1 7 を介し、ピストン 1 3 の上昇に伴って排気ポート 7 1 及び排気マニホールド 7 2 へ排出されて排ガスとなる。

【 0 0 8 2 】

- 着火遅れ期間の推定及び着火時期の制御 -

本実施形態の特徴は、上記パイロット噴射で噴射された燃料により生成される混合気の着火遅れ期間を推定する動作、及び、その推定された着火遅れ期間に基づき着火遅れ期間の適正化を図って着火時期を制御する動作にある。具体的に、混合気の着火遅れとしては、物理的着火遅れと化学的着火遅れとがある。物理的着火遅れは、燃料液滴の蒸発・混合に要する時間である。一方、化学的着火遅れは、燃料蒸気の化学的結合・分解かつ酸化発熱に要する時間である。本実施形態ではこれら物理的着火遅れ期間及び化学的着火遅れ期間をそれぞれ高い精度で算出し、これら着火遅れ期間に基づいて求められる「総着火遅れ期間」が適正な着火遅れ期間（以下、「目標着火遅れ期間」と呼ぶ場合もある）となるように、エンジン 1 の制御パラメータを制御するようにしている（この「目標着火遅れ期間」の設定手法については後述する）。

20

30

【 0 0 8 3 】

以下の説明では、物理的着火遅れ期間の推定動作、化学的着火遅れ期間の推定動作、総着火遅れ期間の算出動作、この総着火遅れ期間を目標着火遅れ期間に一致させるための制御パラメータの制御動作について順に説明する。

【 0 0 8 4 】

- 物理的着火遅れ期間の推定動作 -

まず、物理的着火遅れ期間の推定動作の概略について説明する。この物理的着火遅れは、パイロット噴射が開始された時点から、そのパイロット噴射で噴射された燃料の噴霧中における当量比（以下、「噴霧内当量比」と呼ぶ）が着火可能な値（以下、「噴霧内可燃当量比」と呼ぶ）に達すると共に、その噴霧中の可燃蒸気量（以下、「噴霧内可燃蒸気量」と呼ぶ）が着火可能な値（以下、「必要最少可燃蒸気量」と呼ぶ）に達して着火が開始した後、上記噴霧内当量比が上記噴霧内可燃当量比以下に低下する時点までの期間生じている。つまり、パイロット噴射の開始時点から噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比以下に低下するまでの期間が物理的着火遅れ期間であるとして求めるようにしている（物理的着火遅れ期間算出手段による物理的着火遅れ期間の算出動作）。

40

【 0 0 8 5 】

尚、上記「噴霧内可燃蒸気量」とは、燃料の噴霧中に上記「噴霧内可燃当量比」を超える当量比が得られている領域の体積をいう。

【 0 0 8 6 】

50

以下、本実施形態における物理的着火遅れ期間の推定動作について具体的に説明する。図8は、この物理的着火遅れ期間の推定動作の手順を示すフローチャートである。このフローチャートは、エンジン1の始動後、所定時間（例えば数msec）毎に繰り返して実行される。

【0087】

まず、ステップST1において、前回サイクルにおけるクランク角度毎の噴霧内当量比の抽出を行う。これは、今回燃焼行程を迎える気筒の直前に燃焼行程を迎えていた気筒のパイロット噴射実行後の所定期間（例えばパイロット噴射が開始されてからメイン噴射が開始されるまでの期間）においてクランク角度毎に算出されて上記RAM103に記憶されていた噴霧内当量比を抽出することにより行われる。尚、今回燃焼行程を迎える気筒の
10
前回の燃焼行程時（同一気筒の前回燃焼行程時）におけるパイロット噴射実行後の所定期間でのクランク角度毎の噴霧内当量比を抽出するようにしてもよい。

【0088】

この噴霧内当量比の具体的な算出動作としては、各噴霧中の燃料量をその噴霧の体積で除することにより求められるが、各噴霧の体積は以下の式(1)～(4)によって所定のクランク回転角度毎（例えばクランク回転角度で1°CA毎）に算出される。この噴霧体積の算出間隔の値はこれに限定されるものではない。式(1)及び式(2)は、パイロット噴射で噴射された燃料の噴霧長さ L_{sp} の算出式であり、「広安の式」と呼ばれる周知のものである。尚、式(1)は燃料噴射開始からの経過時間 t が液滴分裂時間 t_e に達する
20
までの噴霧長さ L_{sp} の算出式であり、式(2)は燃料噴射開始からの経過時間 t が液滴分裂時間 t_e を経過した後における噴霧長さ L_{sp} の算出式である。また、式(3)は、パイロット噴射で噴射された燃料の噴霧角度 θ_{sp} の算出式である。また、式(4)は、噴霧体積 V_{sp} の算出式である。

【0089】

【数1】

$$L_{sp} = \begin{cases} 0.39(2\Delta P/\rho_f)^{\frac{1}{2}} \cdot t & (0 \leq t \leq t_e) \dots (1) \\ 2.95(\Delta P/\rho_a)^{0.25} \cdot (d_0 t)^{\frac{1}{2}} & (t > t_e) \dots (2) \end{cases}$$

30

ΔP : 噴射圧と雰囲気圧の圧力差

t_e : 液滴分裂時間

ρ_f : 燃料密度

ρ_a : 雰囲気ガス密度

d_0 : インジェクタ噴孔径

【0090】

【数2】

$$\theta_{sp} = 0.05 \left(\frac{\rho_a \cdot \Delta P \cdot d_0^2}{\mu_a^2} \right) \dots (3)$$

μ_a : 空気粘性係数

$$V_{sp} = 1/3 \pi L_{sp}^3 \tan^2(\theta_{sp}) \dots (4)$$

【0091】

50

このようにしてクランク角度毎に算出された噴霧の体積 V_{sp} (1つの噴孔から噴射された燃料の体積) によって噴霧中の燃料量 (1つの噴孔から噴射された燃料量 : 総パイロット噴射量を噴孔数で除した値) を除することによりクランク角度毎の噴霧内当量比 (噴霧内当量比が均一であると仮定した場合の当量比) が算出され、これら値が上記 R A M 1 0 3 に記憶されており、ステップ S T 1 では、このクランク角度毎の噴霧内当量比のデータを抽出することになる。

【 0 0 9 2 】

このようにして前回サイクルにおけるクランク角度毎の噴霧内当量比の抽出を行った後、ステップ S T 2 に移り、これら噴霧内当量比情報のうち、その値が上記噴霧内可燃当量比 t_{rg} を超えたものが存在するか否かを判定する。この噴霧内可燃当量比 t_{rg} は、パイロット噴射で噴射された燃料の噴霧中における当量比がこの噴霧内可燃当量比 t_{rg} を超えた場合に、そのパイロット噴射で噴射された燃料の混合気の着火が可能となる値として設定され、例えば「0.7」となっている。この値はこれに限定されるものではなく、燃料性状 (例えばセタン価) 等に応じて実験的に設定される。

10

【 0 0 9 3 】

図9は、パイロット噴射開始後における噴霧内当量比の変化を示す図である。この図9に示すように、パイロット噴射の開始後、燃料の噴霧は燃焼室3内を拡散していき、且つその噴霧内部に存在する燃料液滴は次第に蒸発していく。燃料の噴射直後は、噴霧内当量比に寄与していなかった燃料液滴が蒸発していくことによって噴霧内当量比は急速に増加していく。その後、この噴霧内当量比は、燃料蒸発速度が減少していくと共に噴霧体積が拡大 (噴霧の拡散) していくことに伴って減少していく。このため、この噴霧内当量比は、その値が増加から減少に転じるタイミングで最も高くなる。

20

【 0 0 9 4 】

図9に破線で示す波形Aは、前回サイクルにおけるクランク角度毎の噴霧内当量比に噴霧内可燃当量比 t_{rg} を超えたものが存在していない場合における噴霧内当量比の変化の一例を示している。また、図9に実線で示す波形Bは、前回サイクルにおけるクランク角度毎の噴霧内当量比に噴霧内可燃当量比 t_{rg} を超えたものが存在している場合における噴霧内当量比の変化の一例を示している。

【 0 0 9 5 】

前回サイクルにおけるクランク角度毎の噴霧内当量比に噴霧内可燃当量比 t_{rg} を超えたものが存在しており (図9における波形Bを参照)、ステップ S T 2 で Y E S 判定された場合には、ステップ S T 4 に移る。

30

【 0 0 9 6 】

一方、前回サイクルにおけるクランク角度毎の噴霧内当量比の全てが噴霧内可燃当量比 t_{rg} 以下であり (図9における波形Aを参照)、ステップ S T 2 で N O 判定された場合には、ステップ S T 3 に移り、今回サイクルでの燃料噴射においてパイロット噴射量の増量補正を行う。このパイロット噴射量の増量補正の具体的な動作としては、パイロット噴射期間の延長が行われる。この場合の増量補正量 (パイロット噴射期間の延長期間) としては、上記前回サイクルにおけるクランク角度毎の噴霧内当量比のうち最も高い噴霧内当量比の値 (以下、「最高噴霧内当量比」と呼ぶ : 図9における max) と上記噴霧内可燃当量比 t_{rg} とを比較し、その偏差に応じて増量補正量が設定される。つまり、この偏差が大きいほど (噴霧内可燃当量比 t_{rg} に対して最高噴霧内当量比 max が低いほど) 増量補正量が大きな値として設定される。このようにしてパイロット噴射量の増量補正が行われると、クランク角度毎の噴霧内当量比に噴霧内可燃当量比 t_{rg} を超えたものが存在することになり (例えば図9における波形Bに示す噴霧内当量比の変化となり)、ステップ S T 2 で Y E S 判定されることになる。

40

【 0 0 9 7 】

ステップ S T 4 では、前回サイクルにおける燃料蒸発量 (噴霧内可燃蒸気量) の抽出を行う。これは、今回燃焼行程を迎える気筒の直前に燃焼行程を迎えていた気筒のパイロット噴射実行後の所定期間 (例えばパイロット噴射が開始されてからメイン噴射が開始され

50

るまでの期間)において算出されて上記RAM103に記憶されていた燃料蒸発量を抽出することにより行われる。尚、今回燃焼行程を迎える気筒の前の燃焼行程時(同一気筒の前の燃焼行程時)におけるパイロット噴射実行後の所定期間での燃料蒸発量を抽出するようにしてもよい。

【0098】

この燃料蒸発量(燃料の蒸気量)の具体的な算出動作としては、以下の式(5)~(8)によって算出される。

【0099】

具体的には、エンジン1の性能実験装置での実験によって、燃焼行程においてエンジン1のクランク角度毎(例えばクランク角度が1°CA進む毎)に下記の式(5)~式(7)によって燃料蒸発速度(dm_v/dt)を算出する。

10

【0100】

または、その算出された各クランク角度毎の燃料蒸発速度をマップ化することで燃料蒸発速度定常マップを作成し、この燃料蒸発速度定常マップに対して、エンジン1の環境条件や運転条件等に応じた補正係数(実測または推定された筒内圧力に応じた補正係数及び実測または推定された筒内温度に応じた補正係数)を乗算することでクランク角度毎の蒸発速度を算出するようにしてもよい。

【0101】

【数3】

$$\frac{dm_v}{dt} = -2\pi \frac{k}{c_p} D_d (1 + 0.23 \text{Re}^{0.5}) \ln \left[1 + \frac{c_p (T - T_d)}{h_{fg}} \right] \dots (5)$$

20

k :熱伝導率 c_p :ガス比熱 D_d :液滴粒径

Re :レイノルズ数 T :ガス比熱 T_d :粒径温度

h_{fg} :蒸発潜熱

$$\text{Re} = \left(V_{sw}^2 + V_{sq}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \times A / \text{動粘性係数} \dots (6)$$

30

V_{sw} :スワール速度 V_{sq} :スキッシュ速度 A :定数

$$Dd = 72.36 \cdot P_{cr}^{-0.4} \cdot d_0 \dots (7)$$

P_{cr} :噴射圧(orレール圧) d_0 :噴孔径

【0102】

上記式(6)におけるスワール速度 V_{sw} やスキッシュ速度 V_{sq} は、エンジン形状(特に燃焼室3の形状)及びエンジン回転数に応じて決定される値である。また、この場合のスワール速度 V_{sw} は、例えば燃焼室3内における外周縁部周辺でのスワール速度である。また、定数 A はエンジン1の種類毎に予め実験等によって決定された値である。更に、混合気の動粘性係数は温度に依存する値である。

40

【0103】

そして、上記算出したクランク角度毎の蒸発速度に対し、上記クランク角度毎の噴霧内当量比が可燃当量比 τ_{rg} を超えている期間 t_b (図11に示す噴霧内当量比変化の波形を参照)を乗算すること(式(8))で燃料蒸発量が算出される。

【0104】

【数 4】

$$\text{現在の蒸気量 } m_{vp} = \frac{dm_v}{dt} \times t_b \cdots (8)$$

【0105】

このようにして前回サイクルにおける燃料蒸発量の抽出を行った後、ステップ S T 5 に移り、この燃料蒸発量が上記必要最少可燃蒸気量 M を超えているか否かを判定する。この必要最少可燃蒸気量 M は、パイロット噴射で噴射された燃料の噴霧中における噴霧内可燃蒸気量がこの必要最少可燃蒸気量 M を超えている場合には混合気の着火が可能となる値として設定され、例えばマップによって設定される。図 10 は上記必要最少可燃蒸気量 M を設定する際に参照される必要最少可燃蒸気量マップであって、予め、実験やシミュレーションにより作成されて上記 R O M 102 に記憶されている。この必要最少可燃蒸気量マップに、現在のエンジン回転数及び現在の燃料噴射量（燃焼行程を迎えている気筒に対するパイロット噴射での燃料噴射量）を当て嵌めることにより上記必要最少可燃蒸気量 M が取得される。この必要最少可燃蒸気量 M は、エンジン回転数が低いほど、また、燃料噴射量が少ないほど小さな値として設定される。

10

【0106】

図 11 は、パイロット噴射開始後における噴霧内当量比の変化を示す図であって、斜線を付した領域が上記燃料の噴霧中における噴霧内可燃蒸気量に相当する。この噴霧内可燃蒸気量が上記必要最少可燃蒸気量 M を超えており、ステップ S T 5 で Y E S 判定された場合には、ステップ S T 7 に移る。

20

【0107】

一方、噴霧内可燃蒸気量が必要最少可燃蒸気量 M を超えておらず、ステップ S T 5 で N O 判定された場合には、ステップ S T 6 に移り、今回サイクルでの燃料噴射においてパイロット噴射量の増量補正を行う。この場合のパイロット噴射量の増量補正の具体的な動作としてもパイロット噴射期間の延長が行われる。この場合の増量補正量（パイロット噴射期間の延長期間）としては、上記算出された噴霧内可燃蒸気量と必要最少可燃蒸気量 M とを比較し、その偏差に応じて増量補正量が設定される。つまり、この偏差が大きいほど（必要最少可燃蒸気量 M に対して実際の噴霧内可燃蒸気量が小さいほど）増量補正量が大きな値として設定される。このようにしてパイロット噴射量の増量補正が行われると、燃料蒸発量（噴霧内可燃蒸気量）が必要最少可燃蒸気量 M を超えることになり、ステップ S T 5 で Y E S 判定されることになる。

30

【0108】

以上の動作によって、前回サイクルにおけるクランク角度毎の噴霧内当量比に噴霧内可燃当量比 t_{rg} を超えたものが存在し、且つ燃料蒸発量（噴霧内可燃蒸気量）が必要最少可燃蒸気量 M を超える状態とした後、ステップ S T 7 に移り、物理的着火遅れの算出を行う。

【0109】

この物理的着火遅れの算出は、パイロット噴射が開始されてから上記噴霧内当量比が可燃当量比 t_{rg} に達するまでの期間と、その後、噴霧内当量比が可燃当量比 t_{rg} まで低下するまでの期間の和として算出される。例えば図 11 に示すような噴霧内当量比の変化の場合には、パイロット噴射が開始されてから上記噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比 t_{rg} に達するまでの期間が図中の t_a であり、その後、噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比 t_{rg} まで低下するまでの期間が図中の t_b であって、これらの和（ $t_a + t_b$ ）が物理的着火遅れ期間として算出されることになる。

40

【0110】

より具体的に、上記ステップ S T 3 でのパイロット噴射量の増量補正（クランク角度毎の噴霧内当量比に噴霧内可燃当量比 t_{rg} を超えたものが存在していないことに伴う増量補正）及びステップ S T 6 でのパイロット噴射量の増量補正（噴霧内可燃蒸気量が必要最

50

少可燃蒸気量 M を超えていないことに伴う増量補正) が共に行われた場合の物理的着火遅れ期間について図 12 の噴霧内当量比の変化を用いて説明すると、まず、ステップ S T 3 でのパイロット噴射量の増量補正によって図中破線で示すように噴霧内当量比が変化する。この場合、物理的着火遅れ期間としては図中の期間 t_a と期間 $t_{b'}$ との和 ($t_a + t_{b'}$) となるが、噴霧内可燃蒸気量が必要最少可燃蒸気量 M を超えていないために実際には着火は行われない。その後、ステップ S T 6 でのパイロット噴射量の増量補正によって図中実線で示すように噴霧内当量比が変化する。この場合、パイロット噴射が開始されてから上記噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比 t_{rg} に達するまでの期間が図中の t_a であり、その後、噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比 t_{rg} まで低下するまでの期間が図中の t_c であって、これらの和 ($t_a + t_c$) が物理的着火遅れ期間として算出されることになる。つまり、ステップ S T 6 でのパイロット噴射量の増量補正によって遅角側に延長された期間として物理的着火遅れ期間が算出されることになる。

10

【 0 1 1 1 】

尚、ステップ S T 3 及びステップ S T 6 においてパイロット噴射量を増量補正することによって上昇した噴霧内当量比及び噴霧内可燃蒸気量には予め上限値が設定されている。例えば、筒内温度の上昇に伴って噴霧内当量比や噴霧内可燃蒸気量が上限値に達した場合には、パイロット噴射量を減量補正する(上記噴霧内可燃当量比 t_{rg} 及び必要最少可燃蒸気量 M を下限値として減量補正する)。これにより、必要以上に噴霧内当量比や噴霧内可燃蒸気量が増加して燃焼変動が生じてしまうといったことを防止すると共に、燃料消費量の削減が図れるようにしている。

20

【 0 1 1 2 】

- 着火時期制御動作 -

次に、化学的着火遅れ期間推定動作及び総着火遅れ期間算出動作を含む着火時期制御について説明する。

【 0 1 1 3 】

この化学的着火遅れは、パイロット噴射が開始されてから、そのパイロット噴射で噴射された燃料の噴霧内当量比が上記噴霧内可燃当量比 t_{rg} に達した時点における燃焼室 3 内の温度及び圧力に基づいて算出される(化学的着火遅れ期間算出手段による化学的着火遅れ期間の算出動作)。そして、この算出された化学的着火遅れと上述した物理的着火遅れとから総着火遅れ期間を算出し(総着火遅れ期間算出手段による総着火遅れ期間の算出動作)、この総着火遅れ期間が目標着火遅れ期間に一致するようにエンジン 1 の制御パラメータを制御するようにしている。

30

【 0 1 1 4 】

以下、具体的な動作について説明する。図 13 は、この化学的着火遅れ期間推定動作及び総着火遅れ期間算出動作を含む着火時期制御の手順を示すフローチャートである。このフローチャートは、エンジン 1 の始動後、所定時間(例えば数 msec)毎に繰り返して実行される。

【 0 1 1 5 】

まず、ステップ S T 11 において、噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比 t_{rg} に達した時点での燃焼室内温度及び燃焼室内圧力を算出する。具体的には、下記の式(9)~(11)によって、噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比 t_{rg} (例えば、「0.7」)に達した時点での燃焼室内温度及び燃焼室内圧力を算出する。

40

【 0 1 1 6 】

【数 5】

$$T_{equ} = T_o \left(\frac{V_o}{V} \right)^{n-1} \dots (9)$$

$$P_{equ} = P_o \left(\frac{V_o}{V} \right)^n \dots (10)$$

$$n = f(\text{ガス組成, 温度}) \times A \frac{1}{Q} \dots (11)$$

T_o : 吸気バルブ閉時点での温度

V_o : 吸気バルブ閉時点での体積

P_o : 吸気バルブ閉時点での圧力

n : ポリトロープ指数

10

【0117】

式(9)は噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比 τ_{rg} に達した時点での燃焼室内温度 T_{equ} の算出式であり、式(10)は噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比 τ_{rg} に達した時点での燃焼室内圧力 P_{equ} の算出式である。また、これら式の(9)、(10)における「 n 」はポリトロープ指数であって式(11)により算出される。このポリトロープ指数 n は「ガス組成」及び「温度」を変数とする関数である。また、この式(11)における Q は燃料噴射量であり、 A は実験的に求めた補正係数である。

20

【0118】

尚、噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比 τ_{rg} に達した時点での燃焼室内温度及び燃焼室内圧力を算出する手法としては、上述したものに限らず、周知の気体の状態方程式 ($PV = nRT$) より求めることも可能である。

30

【0119】

このようにして噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比 τ_{rg} に達した時点での燃焼室内温度及び燃焼室内圧力が算出された後、ステップST12に移り、下記の式(12)によって、化学的着火遅れ期間 τ_c が算出される。この式(12)は「アレニウスの式」と呼ばれるものである。

【0120】

【数 6】

$$\frac{1}{\tau_c} = [O_2]^a [Fuel]^b \exp\left(\frac{-c}{RT}\right) \dots (12)$$

40

a, b, c : 実験定数

$[O_2]$: O_2 分圧

$[Fuel]$: 燃料分圧

T : 温度

R : 気体定数

【0121】

50

以上のようにして化学的着火遅れ期間 t_{c} を算出した後、ステップ S T 1 3 に移り、総着火遅れ期間の算出を行う。この総着火遅れ期間の算出動作として具体的には、上述した物理的着火遅れ期間の推定動作により推定された物理的着火遅れ期間 t_{p} と上記化学的着火遅れ期間 t_{c} との和から、これら物理的着火遅れ期間 t_{p} と上記化学的着火遅れ期間 t_{c} とが併存する期間 t_{x} を減算 ($t_{p} + t_{c} - t_{x}$) することで総着火遅れ期間が算出される。つまり、図 1 4 に示すように物理的着火遅れと化学的着火遅れとが同時並行している期間 t_{x} が存在しているため、上記物理的着火遅れ期間 t_{p} と上記化学的着火遅れ期間 t_{c} との和から、この同時並行期間 t_{x} を減算することで総着火遅れ期間が算出されることになる。

【 0 1 2 2 】

このようにして総着火遅れ期間を算出した後、ステップ S T 1 4 に移り、エンジン 1 の制御パラメータの調整により総着火遅れ期間が目標着火遅れ期間に一致するように着火時期の制御を行う。具体的には、燃焼室 3 内の温度制御及び酸素濃度制御が行われる。

【 0 1 2 3 】

これら温度制御及び酸素濃度制御について説明する前に、目標着火遅れ期間の設定手法について説明する。

【 0 1 2 4 】

図 1 5 は、この目標着火遅れ期間の基準値である「基準目標着火遅れ期間」を設定するためのマップ（基準目標着火遅れ期間マップ）であって、予め、実験やシミュレーションにより作成されて上記 R O M 1 0 2 に記憶されている。この基準目標着火遅れ期間マップに、現在のエンジン回転数及び現在の燃料噴射量（燃焼行程を迎えている気筒に対するパイロット噴射量）を当て嵌めることにより「基準目標着火遅れ期間」が取得される。この「基準目標着火遅れ期間」は、エンジン回転数が低いほど、また、燃料噴射量が少ないほど低く設定され、エンジン回転数が高いほど、また、燃料噴射量が多いほど高く設定されるようになっている。

【 0 1 2 5 】

そして、この基準目標着火遅れ期間マップによって取得された基準目標着火遅れ期間に対し、エンジン 1 の運転状態や環境状態等の各種パラメータによる補正を行って目標着火遅れ期間が設定される。この補正を行うための各種パラメータとしては、吸気温度、吸気中の酸素濃度、冷却水温度、外気圧力、外気温度、過給圧、エンジンの過渡状態等が挙げられる。

【 0 1 2 6 】

以下、総着火遅れ期間を目標着火遅れ期間に一致させるために行われる燃焼室 3 内の温度制御及び酸素濃度制御について説明する。

【 0 1 2 7 】

燃焼室 3 内の温度制御としては、上記排気還流装置 8 の制御や V V T 機構 6 7 の制御が挙げられる（燃焼室内温度補正手段による燃焼室内温度の補正動作）。

【 0 1 2 8 】

排気還流装置 8 による燃焼室 3 内の温度制御としては、E G R モードを、低圧 E G R 通路 8 1 及び高圧 E G R 通路 8 2 の両方の E G R 通路を介して排気ガスを吸気管 6 4 に還流する M P L モードとし、低圧 E G R 通路 8 1 から還流される比較的低温度の排気ガスの流量と、高圧 E G R 通路 8 2 から還流される比較的高温度の排気ガスの流量とを各 E G R バルブ 8 4 , 8 5 によって調整し、吸気系における吸入ガス温度を調整する。つまり、目標着火遅れ期間に対して総着火遅れ期間が長い場合には吸入ガス温度を高くする（高圧 E G R 通路 8 2 から還流される排気ガスの流量を相対的に多くする：例えば総 E G R ガス量を一定にした状態で高圧 E G R 通路 8 2 から還流される排気ガスの流量の割合を多くする）。逆に、目標着火遅れ期間に対して総着火遅れ期間が短い場合には吸入ガス温度を低くする（低圧 E G R 通路 8 1 から還流される排気ガスの流量を相対的に多くする：例えば総 E G R ガス量を一定にした状態で低圧 E G R 通路 8 1 から還流される排気ガスの流量の割合を多くする）。これによって総着火遅れ期間が目標着火遅れ期間に一致するように吸入ガ

10

20

30

40

50

ス温度を調整する。

【0129】

また、VVT機構67による燃焼室3内の温度制御としては、吸気バルブ16の開弁タイミングを調整する。つまり、目標着火遅れ期間に対して総着火遅れ期間が長い場合には、吸気バルブ16の開弁タイミングを進角側（ピストン13の下死点側）に移行させ、実圧縮比を高めることで圧縮端温度を高くする。逆に、目標着火遅れ期間に対して総着火遅れ期間が短い場合には、吸気バルブ16の開弁タイミングを遅角側（ピストン13の上死点側）に移行させ、実圧縮比を低くすることで圧縮端温度を低くする。これによって総着火遅れ期間が目標着火遅れ期間に一致するように吸入ガス温度を調整する。

【0130】

一方、燃焼室3内の酸素濃度制御としては、上記排気還流装置8の制御が挙げられる（燃焼室内酸素濃度補正手段による燃焼室内酸素濃度の補正動作）。つまり、目標着火遅れ期間に対して総着火遅れ期間が長い場合には各EGRバルブ84、85の開度を小さくすることで燃焼室3内の酸素濃度を高め、逆に、目標着火遅れ期間に対して総着火遅れ期間が短い場合には各EGRバルブ84、85の開度を大きくすることで燃焼室3内の酸素濃度を低くし、これによって総着火遅れ期間が目標着火遅れ期間に一致するように燃焼室3内の酸素濃度を制御する。

【0131】

尚、上述した各制御パラメータの調整は、何れか一つのみを実行するようにしてもよいし、複数を組み合わせるようにしてもよい。

【0132】

以上説明したように、本実施形態では、実際の燃焼場内での噴霧状態（燃焼場内で着火可能な条件が成立しているか否か）を直接的に推定することにより、環境変化や運転過渡等が生じている場合であっても物理的着火遅れ期間及び化学的着火遅れ期間を高い精度で推定することができる。このため、混合気の着火時期の適正化が図れ、排気エミッションの改善が図れると共に、燃焼変動や失火を防止することが可能である。

【0133】

また、本実施形態によれば、燃焼室3内での噴霧の状態（当量比等）を演算やマップにより求めているため、燃焼室3内の圧力を直接的に検出する手段が必要ない。つまり、高価な筒内圧センサを不要とすることができ、低コストで高精度の着火遅れ期間の推定が可能である。

【0134】

- 他の実施形態 -

以上説明した実施形態は、自動車に搭載される直列4気筒ディーゼルエンジンに本発明を適用した場合について説明した。本発明は、自動車用に限らず、その他の用途に使用されるエンジンにも適用可能である。また、気筒数やエンジン形式（直列型エンジン、V型エンジン、水平対向型エンジン等の別）についても特に限定されるものではない。

【0135】

また、上記実施形態では、パイロット噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間を推定し、このパイロット噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間の適正化を図るに際して本発明を適用した場合について説明した。本発明はこれに限らず、メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間を推定し、このメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間の適正化を図る場合にも適用が可能である。

【0136】

また、上記実施形態におけるエンジン1のVVT機構67は吸気バルブ16のみの開閉タイミングを調整可能とするものであったが、吸気バルブ16及び排気バルブ17の両方の開閉タイミングを調整可能とするものであってもよい。

【0137】

また、上記実施形態では、総着火遅れ期間を目標着火遅れ期間に一致させるための制御として燃焼室3内の温度制御や酸素濃度制御を行っていた。本発明はこれに限らず、燃料

10

20

30

40

50

噴射圧力（レール圧力）を補正するようにしてもよい。具体的には、目標着火遅れ期間に対して総着火遅れ期間が長い場合には、燃料噴射圧力を高く設定してインジェクタ23から噴射される燃料の微粒化を促進して物理的着火遅れ期間を短くする。逆に、目標着火遅れ期間に対して総着火遅れ期間が短い場合には、燃料噴射圧力を低く設定してインジェクタ23から噴射される燃料の粒径を大きくして物理的着火遅れ期間を長くする。

【0138】

また、上記実施形態では、通電期間においてのみ全開の開弁状態となることにより燃料噴射率を変更するピエゾインジェクタ23を適用したエンジン1について説明したが、本発明は、可変噴射率インジェクタを適用したエンジンへの適用も可能である。

【0139】

加えて、上記実施形態では、マニバータ77として、NSR触媒75及びDPNR触媒76を備えたものとしたが、NSR触媒75及びDPF(Diesel Particulate Filter)を備えたものとしてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0140】

本発明は、自動車に搭載されるコモンレール式筒内直噴型多気筒ディーゼルエンジンにおいて、混合気の着火遅れ期間の適正化を図る燃焼制御に適用可能である。

【符号の説明】

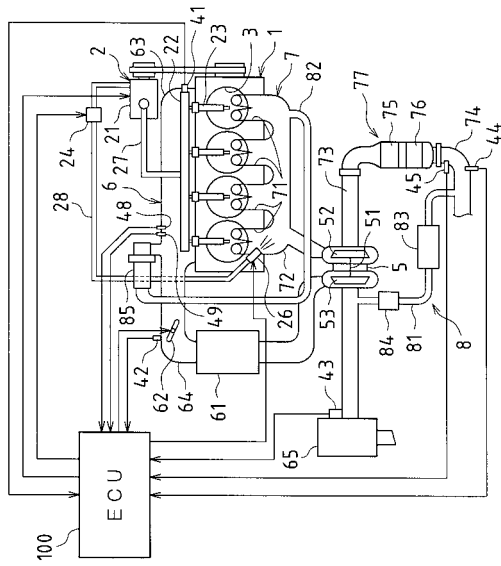
【0141】

- | | | |
|----|------------------------------------|----|
| 1 | エンジン（内燃機関） | 20 |
| 23 | インジェクタ（燃料噴射弁） | |
| 3 | 燃焼室 | |
| 67 | VVT機構（燃焼室内の温度を調整可能な制御パラメータ） | |
| 8 | 排気還流装置（燃焼室内の温度及び酸素濃度を調整可能な制御パラメータ） | |
| 81 | 低圧EGR通路 | |
| 82 | 高圧EGR通路 | |
| 84 | 低圧EGRバルブ | |
| 85 | 高圧EGRバルブ | |

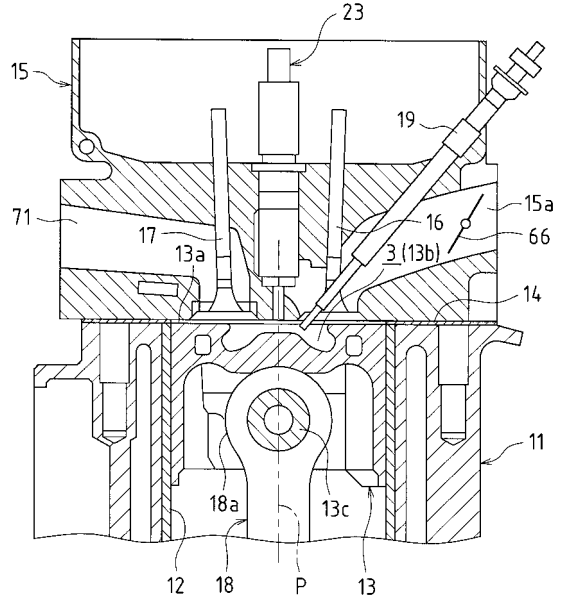
10

20

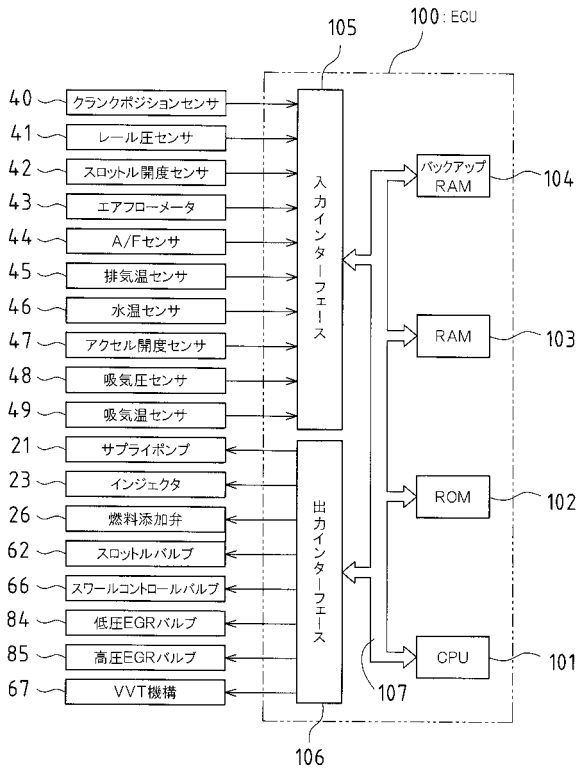
【図1】



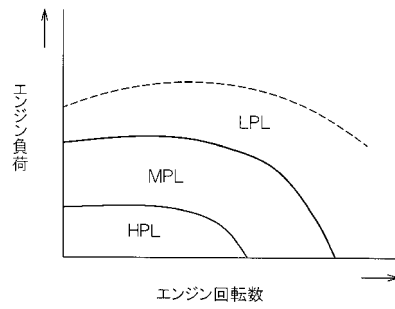
【図2】



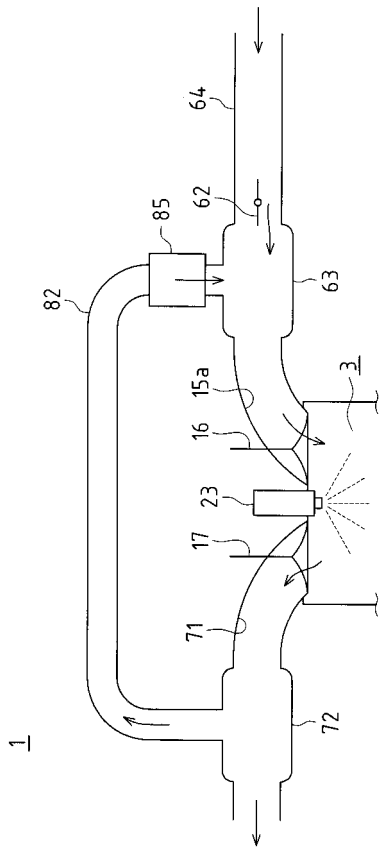
【図3】



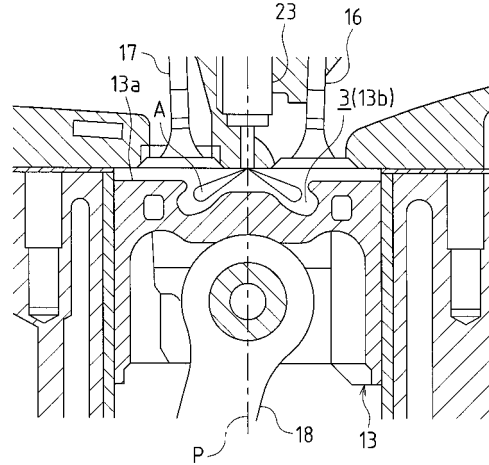
【図4】



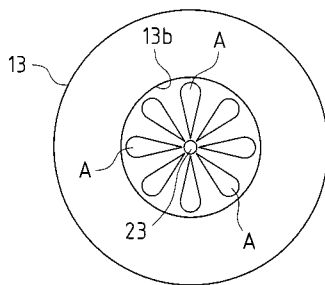
【図5】



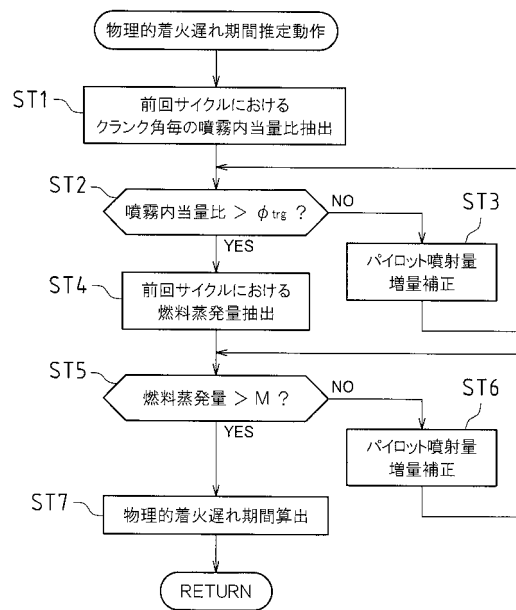
【図6】



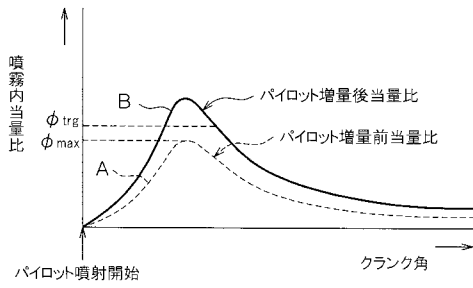
【図7】



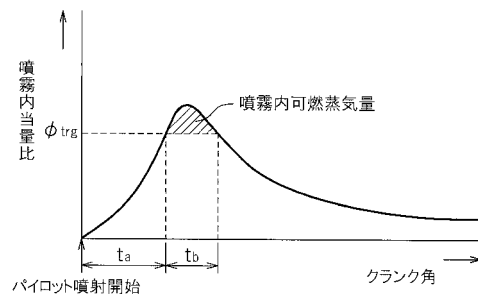
【図8】



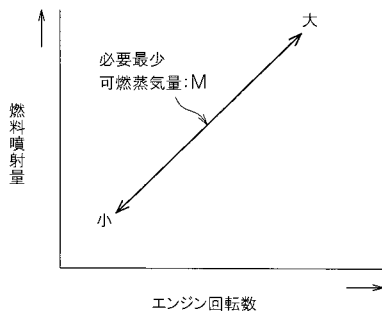
【図9】



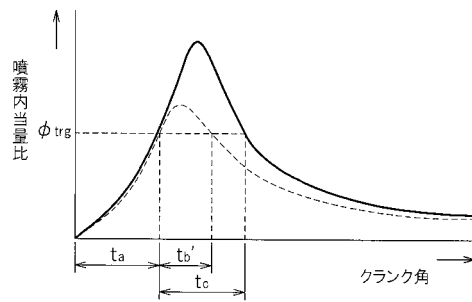
【図11】



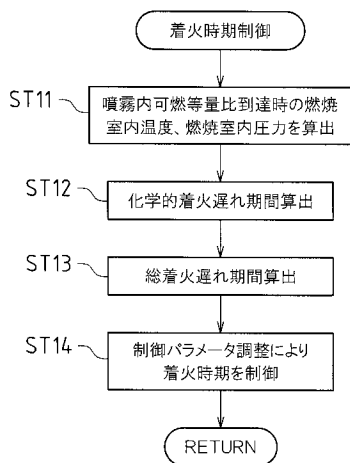
【図10】



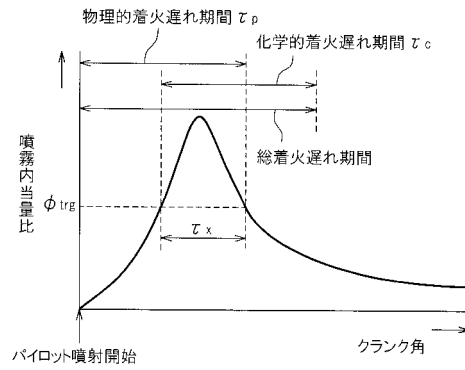
【図12】



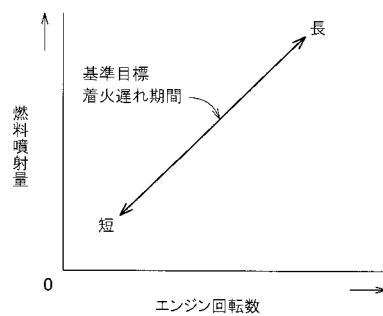
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I
F 0 2 M 25/07 (2006.01) F 0 2 D 13/02 D
F 0 2 D 41/04 3 8 0 Z
F 0 2 D 21/08 3 0 1 D
F 0 2 M 25/07 5 5 0 R

(56) 参考文献 特開 2 0 0 8 - 1 0 1 5 9 1 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 2 9 9 4 9 0 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 0 9 7 3 2 9 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 1 9 0 1 1 9 (J P , A)

(58) 調査した分野(Int.Cl. , DB名)
F 0 2 D 4 5 / 0 0
F 0 2 D 1 3 / 0 2
F 0 2 D 4 1 / 0 4
F 0 2 D 4 1 / 3 8
F 0 2 M 2 5 / 0 7