

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5177326号  
(P5177326)

(45) 発行日 平成25年4月3日(2013.4.3)

(24) 登録日 平成25年1月18日(2013.1.18)

(51) Int. Cl. F 1  
**FO2D 41/38 (2006.01)** F O 2 D 41/38 B  
**FO2D 41/40 (2006.01)** F O 2 D 41/40 D

請求項の数 7 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2012-514282 (P2012-514282)	(73) 特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社 愛知県豊田市トヨタ町1番地
(86) (22) 出願日	平成23年2月4日(2011.2.4)	(74) 代理人	110000947 特許業務法人あーく特許事務所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2011/052363	(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
(87) 国際公開番号	W02012/105038	審査官	米澤 篤
(87) 国際公開日	平成24年8月9日(2012.8.9)		
審査請求日	平成24年3月19日(2012.3.19)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内燃機関の燃料噴射制御装置

(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な圧縮自着火式の内燃機関の燃料噴射制御装置において、

目標副噴射時期は、上記副噴射の噴射時期が所定の噴射時期よりも遅角側の範囲である第1領域である場合には、主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が予め設定された許容着火遅れ範囲内にあり且つその着火遅れ期間が最も長くなる副噴射の噴射時期とされ、上記副噴射の噴射時期が上記第1領域よりも進角側の範囲である第2領域である場合には、主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が予め設定された許容着火遅れ範囲内にあり且つ上記副噴射で噴射された燃料の噴霧と主噴射で噴射された燃料の噴霧との重なり量が最小となる副噴射の噴射時期とされる副噴射時期制御手段を備えていることを特徴とする内燃機関の燃料噴射制御装置。

【請求項2】

請求項1記載の内燃機関の燃料噴射制御装置において、  
 内燃機関の負荷及び回転数に応じ、低負荷低回転域を第1領域とし、高負荷高回転域を第2領域とすることを特徴とする内燃機関の燃料噴射制御装置。

【請求項3】

請求項1記載の内燃機関の燃料噴射制御装置において、  
 上記副噴射が実行された後、主噴射が開始されるまでの期間における上記副噴射で噴射

された燃料の予混合度合いに応じ、その予混合度合いが所定量未満となる副噴射の噴射期間の範囲を第1領域とし、その予混合度合いが所定量以上となる副噴射の噴射期間の範囲を第2領域とすることを特徴とする内燃機関の燃料噴射制御装置。

【請求項4】

請求項1記載の内燃機関の燃料噴射制御装置において、

内燃機関の定常運転時または減速時に副噴射の噴射時期を変更していき、それぞれにおいて主噴射が実行された際の着火遅れ期間を取得し、その取得した着火遅れ期間に基づいて上記副噴射の噴射時期が上記第1領域及び上記第2領域の何れであるかを判別することを特徴とする内燃機関の燃料噴射制御装置。

【請求項5】

請求項1記載の内燃機関の燃料噴射制御装置において、

上記副噴射時期制御手段は、上記副噴射の噴射時期が上記第1領域である場合、主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が予め設定された許容着火遅れ範囲内にある副噴射の噴射時期のうち上記着火遅れ期間が最も長くなる副噴射の噴射時期から着火遅れ期間の変動周期の一周期分だけ副噴射の噴射時期を遅角させながら上記目標副噴射時期を決定するよう構成されていることを特徴とする内燃機関の燃料噴射制御装置。

【請求項6】

請求項1記載の内燃機関の燃料噴射制御装置において、

上記副噴射時期制御手段は、上記副噴射の噴射時期が上記第2領域である場合、主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が予め設定された許容着火遅れ範囲内にある副噴射の噴射時期のうち上記着火遅れ期間が最も長くなる副噴射の噴射時期から上記副噴射で噴射された燃料の噴霧と主噴射で噴射された燃料の噴霧との重なり量の変動周期の一周期分だけ副噴射の噴射時期を遅角させながら上記目標副噴射時期を決定するよう構成されていることを特徴とする内燃機関の燃料噴射制御装置。

【請求項7】

請求項1記載の内燃機関の燃料噴射制御装置において、

上記副噴射時期制御手段は、上記副噴射の噴射時期が上記第1領域である場合、副噴射の噴射時期を遅角側に変更していきながら着火遅れ期間を取得し、その着火遅れ期間が上記許容着火遅れ範囲内から着火遅れ期間が長くなる側に逸脱した場合には、その後に着火遅れ期間が許容着火遅れ範囲内に入った際の副噴射の噴射時期を目標副噴射時期として決定するよう構成されていることを特徴とする内燃機関の燃料噴射制御装置。

【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内燃機関の燃料噴射制御装置に係る。特に、本発明は、主噴射と、それに先立って実行される副噴射との間の無噴射期間（以下、「インターバル」と呼ぶ）を適切に設定するための改良に関する。

【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が生成される（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；無噴射期間）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）。

【0003】

ところで、近年、自動車の排気エミッション規制の強化（Euro6等）に伴い、環境変化や運転過渡等に起因して燃焼室内の圧力、温度、熱伝達状態等が変化する状況になっ

10

20

30

40

50

ても、燃料噴射タイミングの適正化を図って排気エミッションを改善することが要求されている。

【0004】

この燃料噴射タイミングの適正化を図る従来技術として、下記の特許文献1～特許文献3が提案されている。

【0005】

特許文献1には、パイロット噴射からメイン噴射までの噴射インターバルを圧力脈動の周期で除算して無次元インターバルを算出し、この無次元インターバルに対する噴射時期の補正量を補正マップから求めて、最終のメイン噴射時期を決定することが開示されている。これにより、メイン噴射での噴射量の適正化を図っている。

10

【0006】

また、特許文献2には、エンジンの運転状態に応じて決定されたパイロット噴射時期が、PM(Particulate Matter)発生量の上限值を超えるものである場合には、その噴射時期から外れた時期でパイロット噴射を実行することが開示されている。

【0007】

更に、特許文献3には、気筒毎の噴射量の学習中にエンジンが不安定な状態にある場合、インターバルを変更し、安定した条件で学習を行うことが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

20

【特許文献1】

特開2003-314337号公報

【特許文献2】

特開2004-360572号公報

【特許文献3】

特開2004-19539号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

ところが、上述した各特許文献は、何れも、燃焼室内での燃焼に伴うスモークの発生を低減するのに最適で且つ燃焼室内で安定した燃焼を実現するためのインターバルを設定することはできていないのが実状であった。

30

【0010】

例えば、特許文献1及び特許文献3に開示されているものでは、スモークの発生量の低減化を図るうえで最適化されたインターバルを設定するものとはなっていない。また、特許文献2に開示されているものは、単にPM発生量を上限値以下にするためのインターバルを設定するに過ぎないものであり、メイン噴射で噴射された燃料の着火性については考慮されておらず、場合によっては、メイン噴射で噴射された燃料の失火を招いてしまう可能性があった。

【0011】

40

本発明の発明者は、上記インターバル(パイロット噴射の終了時期とメイン噴射の開始時期との間の時間間隔またはクランクシャフトの回転角度間隔)の長さスモークの発生量との間には相関があり、その相関は、インターバルの長さが短い領域と長い領域とで互いに異なっていることを見出した。そして、インターバルの長さが比較的短い領域内でインターバルを設定する場合と、インターバルの長さが比較的長い領域内でインターバルを設定する場合とでは、スモーク発生量の低減化及び燃焼の安定化を図るうえでインターバルの設定手法を互いに異なるものとする必要があることを見出し本発明に至った。

【0012】

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、メイン噴射で噴射された燃料の着火性を良好に確保しながらもスモークの発生量を十分に低減する

50

ことが可能な内燃機関の燃料噴射制御装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[ 0 0 1 3 ]

- 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、副噴射（パイロット噴射）の噴射時期として、主噴射（メイン噴射）との間のインターバルの長さを短くする第1の領域とインターバルの長さを長くする第2の領域とに分け、第1の領域内で副噴射の噴射時期を設定する場合には主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間に基づいて副噴射の噴射時期を決定する一方、第2の領域内で副噴射の噴射時期を設定する場合にはその副噴射での噴霧とその後の主噴射での噴霧との重なり量に基づいて副噴射の噴射時期を決定する

10

[ 0 0 1 4 ]

- 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な圧縮自着火式の内燃機関の燃料噴射制御装置を前提とする。この内燃機関の燃料噴射制御装置に対し、副噴射時期制御手段を備えさせている。上記副噴射時期制御手段は、目標副噴射時期を、上記副噴射の噴射時期が所定の噴射時期よりも遅角側の範囲である第1領域である場合には、主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が予め設定された許容着火遅れ範囲内にあり且つその着火遅れ期間が最も長くなる副噴射の噴射時期とし、上記副噴射の噴射時期が上記第1領域よりも進角側の範囲である第2領域である場合には、主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が予め設定された許容着火遅れ範囲内にあり且つ上記副噴射で噴射された燃料の噴霧と主噴射で噴射された燃料の噴霧との重なり量が最小となる副噴射の噴射時期とする。

20

[ 0 0 1 5 ]

この特定事項により、副噴射の噴射時期が上記第1領域である場合には、目標副噴射時期は、主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が予め設定された許容着火遅れ範囲内にあり且つその着火遅れ期間が最も長くなる副噴射の噴射時期とされる。これは、副噴射の噴射時期が上記第1領域である場合、燃焼室内での燃焼に伴うスモークの発生量は主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間によって大きく変動し、この着火遅れ期間が長いほどスモークの発生量が少なくなる傾向にあるからである。一方、副噴射の噴射時期が上記第2領域である場合には、目標副噴射時期は、主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が予め設定された許容着火遅れ範囲内にあり且つ上記副噴射で噴射された燃料の噴霧と主噴射で噴射された燃料の噴霧との重なり量が最小となる副噴射の噴射時期とされる。これは、副噴射の噴射時期が上記第2領域である場合、燃焼室内での燃焼に伴うスモークの発生量は、副噴射で噴射された燃料の噴霧と主噴射で噴射された燃料の噴霧との重なり量によって大きく変動し、この重なり量が少ないほどスモークの発生量が少なくなる傾向にあるからである。

30

[ 0 0 1 6 ]

このように、本解決手段では、スモークの発生量が主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間の影響を大きく受ける領域（上記第1領域）である場合と、スモークの発生量が副噴射で噴射された燃料の噴霧と主噴射で噴射された燃料の噴霧との重なり量の影響を大きく受ける領域（上記第2領域）である場合とでそれぞれ異なる手法によって目標副噴射時期を決定している。これにより、それぞれの領域に適した手法で目標副噴射時期を決定することが可能となり、主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間を許容着火遅れ範囲内にして安定した燃焼を行わせることができると共に、スモークの発生量を最小限に抑えることが可能となる。

40

[ 0 0 1 7 ]

上記副噴射の噴射時期を上記第1領域及び上記第2領域の何れとするかは、具体的には以下のように判別される。

[ 0 0 1 8 ]

50

まず、内燃機関の負荷及び回転数に応じ、低負荷低回転域を第1領域とし、高負荷高回転域を第2領域とする。

[ 0 0 1 9 ]

また、上記副噴射が実行された後、主噴射が開始されるまでの期間における上記副噴射で噴射された燃料の予混合度合いに応じ、その予混合度合いが所定量未満となる副噴射の噴射期間の範囲を第1領域とし、その予混合度合いが所定量以上となる副噴射の噴射期間の範囲を第2領域とする。

[ 0 0 2 0 ]

また、内燃機関の定常運転時または減速時に副噴射の噴射時期を変更していき、それぞれにおいて主噴射が実行された際の着火遅れ期間を取得し、その取得した着火遅れ期間に基づいて上記副噴射の噴射時期が上記第1領域及び上記第2領域の何れであるかを判別する。

10

[ 0 0 2 1 ]

特に、内燃機関の定常運転時または減速時に副噴射の噴射時期を変更していきながら領域判別を行うようにした場合には、この領域判別動作の実行に伴う内燃機関の挙動を抑制することができ、車両の乗員に違和感を与えることなしに、副噴射の噴射時期の判別（第1領域及び第2領域の判別）を行うことが可能となる。

[ 0 0 2 2 ]

上記副噴射時期制御手段として具体的には以下の各構成が挙げられる。

[ 0 0 2 3 ]

まず、副噴射時期制御手段が、上記副噴射の噴射時期が上記第1領域である場合、主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が予め設定された許容着火遅れ範囲内にある副噴射の噴射時期のうち上記着火遅れ期間が最も長くなる副噴射の噴射時期から着火遅れ期間の変動周期の一周期分だけ副噴射の噴射時期を遅角させながら上記目標副噴射時期を決定する構成とされたものである。

20

[ 0 0 2 4 ]

また、副噴射時期制御手段が、上記副噴射の噴射時期が上記第2領域である場合、主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が予め設定された許容着火遅れ範囲内にある副噴射の噴射時期のうち上記着火遅れ期間が最も長くなる副噴射の噴射時期から上記副噴射で噴射された燃料の噴霧と主噴射で噴射された燃料の噴霧との重なり量の変動周期の一周期分だけ副噴射の噴射時期を遅角させながら上記目標副噴射時期を決定する構成とされたものである。

30

[ 0 0 2 5 ]

このように一周期分（着火遅れ期間の変動周期の一周期分または噴霧重なり量の変動周期の一周期分）だけ副噴射の噴射時期を遅角させながら目標副噴射時期を決定するようにした場合、この目標副噴射時期の決定動作に要する時間の短縮化を図ることができる。特に、内燃機関の定常運転時や減速時において目標副噴射時期を決定するようにした場合には、限られた時間内（定常運転となっている時間内や減速状態にある時間内）で目標副噴射時期の決定動作を完了させることが可能となる。

[ 0 0 2 6 ]

また、副噴射時期制御手段が、上記副噴射の噴射時期が上記第1領域である場合、副噴射の噴射時期を遅角側に変更していきながら着火遅れ期間を取得し、その着火遅れ期間が上記許容着火遅れ範囲内から着火遅れ期間が長くなる側に逸脱した場合には、その後に着火遅れ期間が許容着火遅れ範囲内に入った際の副噴射の噴射時期を目標副噴射時期として決定する構成とされたものである。

40

[ 0 0 2 7 ]

これにより、主噴射で噴射された燃料の燃焼をより安定化させることができる。

発明の効果

[ 0 0 2 8 ]

本発明では、スモークの発生量が主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間の影響を大き

50

く受ける領域である場合と、スモークの発生量が副噴射で噴射された燃料の噴霧と主噴射で噴射された燃料の噴霧との重なり量の影響を大きく受ける領域である場合とでそれぞれ異なる手法によって目標副噴射時期を決定するようにしている。これにより、それぞれの領域に適した手法で目標副噴射時期を決定することが可能となり、主噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間を許容着火遅れ範囲内にして安定した燃焼を行わせることができると共に、スモークの発生量を最小限に抑えることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】図1は、実施形態に係るエンジン及びその制御系統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。

10

【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、燃焼行程時の熱発生率（クランク軸の単位回転角度当たりの熱発生量）の変化及び燃料噴射率（クランク軸の単位回転角度当たりの燃料噴射量）の変化の一例をそれぞれ示す波形図である。

【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、エンジン負荷及びエンジン回転数に応じてパイロット噴射領域を決定するためのパイロット噴射領域決定マップを示す図である。

20

【図9】図9（a）はパイロット噴射の噴射時期とメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間との関係の一例を示す図であり、図9（b）はパイロット噴射の噴射時期に応じたスモーク発生量の変化の一例を示す図である。

【図10】図10は、パイロット噴射第1領域でパイロット噴射時期を設定する場合の動作手順を示すフローチャート図である。

【図11】図11（a）はパイロット噴射第1領域でのパイロット噴射の噴射時期とメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間との関係の一例を示す図であり、図11（b）はパイロット噴射第1領域でのパイロット噴射の噴射時期に応じたスモーク発生量の変化の一例を示す図である。

【図12】図12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

30

。【図13】図13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14】図14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。

【図15】図15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16】図16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。

40

【図17】図17は、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の手順を示すフローチャート図である。

【図18】図18は、パイロット噴射開始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19】図19は、パイロット噴射第2領域でパイロット噴射時期を設定する場合の動作手順を示すフローチャート図である。

【図20】図20（a）はパイロット噴射第2領域でのパイロット噴射の噴射時期とメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間との関係の一例を示す図であり、図20（b）はパイロット噴射第2領域でのパイロット噴射の噴射時期に応じた噴霧重なり角の変化の一例を示す図である。

50

【図 2 1】図 2 1 は、パイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり領域を説明するための各噴霧の模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

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。

【0031】

- 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。

10

【0032】

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。

【0033】

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。

20

【0034】

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。

【0035】

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。

30

【0036】

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。

【0037】

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 に接続される吸気マニホールド 6 3 を備え、この吸気マニホールド 6 3 に、吸気通路を構成する吸気管 6 4 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 6 5、エアフローメータ 4 3、スロットルバルブ（吸気絞弁）6 2 が配設されている。上記エアフローメータ 4 3 は、エアクリーナ 6 5 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。

40

【0038】

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 6 6 が備えられている（図 2 参照）。具体的に、上記吸気ポート 1 5 a 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

50

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。

10

## 【0039】

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<sub>x</sub>吸蔵触媒(NSR触媒: NO<sub>x</sub> Storage Reduction触媒)75及びDPNR触媒(Diesel Particulate-NO<sub>x</sub> Reduction触媒)76を備えたマニパータ(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。

## 【0040】

20

NSR触媒75は、吸蔵還元型NO<sub>x</sub>触媒であって、例えばアルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)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。

## 【0041】

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<sub>x</sub>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<sub>x</sub>をNO<sub>2</sub>若しくはNOに還元して放出する。NO<sub>2</sub>やNOとして放出されたNO<sub>x</sub>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N<sub>2</sub>となる。また、HCやCOは、NO<sub>2</sub>やNOを還元することで、自身は酸化されてH<sub>2</sub>OやCO<sub>2</sub>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<sub>x</sub>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。

30

## 【0042】

一方、DPNR触媒76は、例えば多孔質セラミック構造体にNO<sub>x</sub>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<sub>x</sub>はNO<sub>x</sub>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<sub>x</sub>は還元・放出される。さらに、DPNR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。

40

## 【0043】

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。

## 【0044】

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

50

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。

【0045】

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。

10

【0046】

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。

【0047】

20

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。

【0048】

30

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。

40

【0049】

吸気系6の吸気管64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61が設けられている。

【0050】

このインタークーラ61よりも更に下流側に設けられた上記スロットルバルブ62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。

【0051】

また、エンジン1には、吸気系6と排気系7とを接続する排気還流通路(EGR通路)

50

8 が設けられている。この EGR 通路 8 は、排気の一部を適宜吸気系 6 に還流させて燃焼室 3 へ再度供給することにより燃焼温度を低下させ、これによって NOx 発生量を低減させるものである。また、この EGR 通路 8 には、電子制御によって無段階に開閉され、同通路を流れる排気流量を自在に調整することができる EGR バルブ 8 1 と、EGR 通路 8 を通過（還流）する排気を冷却するための EGR クーラ 8 2 とが設けられている。これら EGR 通路 8、EGR バルブ 8 1、EGR クーラ 8 2 等によって EGR 装置（排気還流装置）が構成されている。

【 0 0 5 2 】

- 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。

10

【 0 0 5 3 】

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 のマニバータ 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。排気温センサ 4 5 は、同じく排気系 7 のマニバータ 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。

20

【 0 0 5 4 】

- 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 RAM 1 0 4 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。

30

【 0 0 5 5 】

以上の CPU 1 0 1、ROM 1 0 2、RAM 1 0 3 及びバックアップ RAM 1 0 4 は、バス 1 0 7 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 1 0 5 及び出力インターフェース 1 0 6 と接続されている。

【 0 0 5 6 】

入力インターフェース 1 0 5 には、上記レール圧センサ 4 1、スロットル開度センサ 4 2、エアフローメータ 4 3、A/F センサ 4 4、排気温センサ 4 5、吸気圧センサ 4 8、吸気温センサ 4 9 が接続されている。さらに、この入力インターフェース 1 0 5 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 4 6、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 4 7、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 4 0、外気の圧力を検出する外気圧センサ 4 A、及び、筒内圧力を検出する筒内圧センサ 4 B などが接続されている。

40

【 0 0 5 7 】

一方、出力インターフェース 1 0 6 には、上記サプライポンプ 2 1、インジェクタ 2 3、燃料添加弁 2 6、スロットルバルブ 6 2、スワールコントロールバルブ 6 6、及び、EGR バルブ 8 1 などが接続されている。また、出力インターフェース 1 0 6 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。

50

## 【 0 0 5 8 】

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。

## 【 0 0 5 9 】

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。

## 【 0 0 6 0 】

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、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。

## 【 0 0 6 1 】

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。また、上記パイロット噴射によって気筒内の予熱が十分に行われている場合には、メイン噴射で噴射された燃料は、直ちに自着火温度以上の温度環境下に晒されて熱分解が進み、噴射後は直ちに燃焼が開始されることになる。

## 【 0 0 6 2 】

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77の昇温を図るための噴射動作である。例えば、DPNR触媒76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77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 3 】

また、ECU100は、エンジン1の運転状態に応じてEGRバルブ81の開度を制御し、吸気マニホールド63に向けての排気還流量（EGR量）を調整する。このEGR量は、上記ROM102に予め記憶されたEGRマップに従って設定される。具体的に、このEGRマップは、エンジン回転数及びエンジン負荷をパラメータとしてEGR量（EGR率）を決定するためのマップである。尚、このEGR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となっている。つまり、上記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たエンジン回転数及びスロットル開度センサ42によって検出されたスロットルバルブ62の開度（エンジン負荷に相当）とをEGRマップに当て嵌めることでEGR量（EGRバルブ81の開度）が得られるようになっている。

## 【 0 0 6 4 】

更に、ECU100は、上記スワールコントロールバルブ66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66の開度制御としては、燃焼室3内に噴射された燃料

10

20

30

40

50

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 5 】

- 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ない、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 R O M 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。

10

【 0 0 6 6 】

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。

20

【 0 0 6 7 】

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 6 8 】

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、サプライポンプ 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。

30

【 0 0 6 9 】

- 目標燃料圧力の設定 -

次に、上記目標燃料圧力の設定手法について説明する。ディーゼルエンジン 1 においては、N O x 発生量やスモーク発生量を削減することによる排気エミッションの改善、燃焼行程時の燃焼音の低減、エンジントルクの十分な確保といった各要求を連立することが重要である。これら要求を連立するための手法として、燃焼行程時における気筒内での熱発生率の変化状態（熱発生率波形で表される変化状態）を適切にコントロールすることが有効である。

40

【 0 0 7 0 】

図 4 の上段に示す波形のうちの実線は、横軸をクランク角度、縦軸を熱発生率とし、パイロット噴射及びメイン噴射で噴射された燃料の燃焼に係る熱発生率波形の一例を示している。図中の T D C はピストン 1 3 の圧縮上死点に対応したクランク角度位置を示している。また、図 4 の下段に示す波形は、インジェクタ 2 3 から噴射される燃料の噴射率（クランク軸の単位回転角度当たりの燃料噴射量）波形を示している。

【 0 0 7 1 】

上記熱発生率波形としては、例えば、ピストン 1 3 の圧縮上死点（T D C）付近からメイン噴射で噴射された燃料の燃焼が開始され、ピストン 1 3 の圧縮上死点後の所定ピストン位置（例えば、圧縮上死点後 1 0 度（A T D C 1 0 °）の時点）で熱発生率が極大値（

50

ピーク値)に達し、更に、圧縮上死点後の所定ピストン位置(例えば、圧縮上死点後25度(ATDC25°)の時点)で上記メイン噴射において噴射された燃料の燃焼が終了するようになっている。このような熱発生率の変化状態で混合気の燃焼を行わせるようにすれば、例えば圧縮上死点後10度(ATDC10°)の時点で気筒内の混合気のうちの50%が燃焼を完了した状況となる。つまり、圧縮上死点後10度(ATDC10°)の時点が燃焼重心となって、膨張行程における総熱発生量の約50%がATDC10°までに発生し、高い熱効率でエンジン1を運転させることが可能となる。

#### 【0072】

また、この燃焼重心に到達した時点でのクランク角度と燃料噴射率波形との関係としては、インジェクタ23に対して燃料噴射停止信号を送信した時点から燃料噴射が完全に停止するまでの期間(図4における期間T1)に燃焼重心が位置することになる。

10

#### 【0073】

このような熱発生率波形による燃焼が行われる状況にあっては、パイロット噴射によって気筒内の予熱が十分に行われ、この予熱により、メイン噴射で噴射された燃料は、直ちに自着火温度以上の温度環境下に晒されて熱分解が進み、噴射後は直ちに燃焼が開始されることになる。

#### 【0074】

また、図4に二点鎖線で示す波形は、燃料噴射圧力が、適正值よりも高く設定された場合の熱発生率波形であり、燃焼速度及び熱発生率のピーク値が共に高くなりすぎており、燃焼音の増大やNOx発生量の増加が懸念される状態である。一方、図4に二点鎖線で示す波形は、燃料噴射圧力が、適正值よりも低く設定された場合の熱発生率波形であり、燃焼速度が低く且つ熱発生率のピークの現れるタイミングが大きく遅角側に移行していることで十分なエンジントルクが確保できないことが懸念される状態である。

20

#### 【0075】

- 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。

#### 【0076】

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63及び吸気ポート15aを経てガス(空気)が吸入され、燃焼室3内へインジェクタ23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71を経て排気マニホールド72へ排出される様子を模式的に示した図である。

30

#### 【0077】

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64からスロットルバルブ62を介して吸入された新気と、上記EGRバルブ81が開弁された場合にEGR通路8から吸入されるEGRガスとが含まれる。吸入される新気量(質量)と吸入されるEGRガス量(質量)との和に対するEGRガス量の割合(即ち、EGR率)は、運転状態に応じて上記ECU100により適宜制御されるEGRバルブ81の開度に応じて変化する。

#### 【0078】

このようにして気筒内に吸入された新気及びEGRガスは、吸気行程において開弁している吸気バルブ16を介し、ピストン13(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16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13の上昇に伴って圧縮される。そして、ピストン13が上死点近傍に達すると、上述したECU100による噴射量制御によって所定時間だけインジェクタ23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13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13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。

40

50

## 【 0 0 7 9 】

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 8 0 】

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。

10

## 【 0 0 8 1 】

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。

## 【 0 0 8 2 】

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。

20

## 【 0 0 8 3 】

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 4 】

- インターバル調整動作 -

本実施形態の特徴は、上記パイロット噴射の終了タイミングとメイン噴射の開始タイミングとの間隔（例えばクランクシャフトの回転角度間隔）であるインターバルを調整する動作にある。このインターバルの調整は、主として、メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が許容着火遅れ範囲内となるようにして安定した燃焼を行わせるようにすると共に、スモークの発生量を最小限に抑えることを目的として行われる。尚、以下に述べるインターバル調整動作は、例えばエンジン 1 の定常運転時や減速時（例えば車両のコースト走行時）に実行される。以下、インターバル調整動作について具体的に説明する。

30

## 【 0 0 8 5 】

（パイロット噴射領域）

先ず、現在のエンジン運転状態が、パイロット噴射の噴射時期を比較的遅角側に設定してインターバルを短くすべき運転状態であるのか、パイロット噴射の噴射時期を比較的進角側に設定してインターバルを長くすべき運転状態であるのかを判別する。例えば、パイロット噴射で噴射された燃料の予混合の進行度を考慮し、予め設定された値を境界として、それよりも遅角側でパイロット噴射を実行する噴射パターン（インターバルが比較的短く設定される噴射パターン）とすべきであるのか、それよりも進角側でパイロット噴射を実行する噴射パターン（インターバルが比較的長く設定される噴射パターン）とすべきであるのかを判別する。

40

## 【 0 0 8 6 】

より具体的には、メイン噴射の噴射タイミングを圧縮上死点（TDC）に設定した場合に、圧縮上死点前 2 5 度（BTDC 2 5 °）よりも遅角側の範囲でパイロット噴射を実行する噴射パターンであるのか、それよりも進角側の範囲でパイロット噴射を実行する噴射パターンであるのかを判別する。上記の値はこれに限定されるものではなく、パイロット

50

噴射で噴射された燃料の予混合の進行度に応じて適宜設定される。以下では、前者（上記境界よりも遅角側の範囲でパイロット噴射が実行される場合）のパイロット噴射領域を「パイロット噴射第1領域」と呼び、後者（上記境界よりも進角側の範囲でパイロット噴射が実行される場合）のパイロット噴射領域を「パイロット噴射第2領域」と呼ぶこととする。

【0087】

尚、これら「パイロット噴射第1領域」と「パイロット噴射第2領域」との境界は特定の時期に限らず、所定の遷移領域を介し、その遷移領域よりも遅角側を「パイロット噴射第1領域」とし、その遷移領域よりも進角側を「パイロット噴射第2領域」として設定するようにしてもよい。例えば、圧縮上死点前28度（BTDC28°）から18度（BTDC18°）までの範囲を遷移領域とし、圧縮上死点前18度（BTDC18°）よりも遅角側のパイロット噴射領域を「パイロット噴射第1領域」とし、圧縮上死点前28度（BTDC28°）よりも進角側のパイロット噴射領域を「パイロット噴射第2領域」として設定するようにしてもよい。この場合における上記の値もこれに限定されるものではなく、パイロット噴射で噴射された燃料の予混合の進行度に応じて適宜設定される。

10

【0088】

また、パイロット噴射の実行タイミングを上記パイロット噴射第1領域とするのかパイロット噴射第2領域とするのかの選択は、エンジン負荷及びエンジン回転数に応じて決定される。図8は、これらエンジン負荷及びエンジン回転数に応じてパイロット噴射の実行領域を決定するためのパイロット噴射実行領域決定マップである。このパイロット噴射実行領域決定マップにおいて「1」となる運転状態では「パイロット噴射第1領域」が選択され、「2」となる運転状態では「パイロット噴射第2領域」が選択されることとなる。このパイロット噴射実行領域決定マップに示すように、エンジン負荷が比較的高い場合やエンジン回転数が比較的高い場合にはパイロット噴射第2領域でパイロット噴射が実行され、それ以外（エンジン負荷が比較的低く且つエンジン回転数が比較的低い運転状態）ではパイロット噴射第1領域でパイロット噴射が実行される。つまり、エンジン負荷が比較的高い場合には燃料噴射量が多いためインターバルを長めに設定することで、パイロット噴射で噴射された燃料の拡散が図れるようにし、エンジン回転数が比較的高い場合にはパイロット噴射が実行されてからメイン噴射が実行されるまでの期間（時間間隔）が短くなるため、インターバルを長めに設定することで、パイロット噴射で噴射された燃料の拡散が図れるようにしている（領域判別手段による領域判別動作）。

20

30

【0089】

（各領域でのインターバル調整動作）

そして、本実施形態では、パイロット噴射の噴射時期を上記パイロット噴射第1領域に設定した場合におけるインターバル調整動作と、パイロット噴射の噴射時期を上記パイロット噴射第2領域に設定した場合におけるインターバル調整動作とを異なる手法により実行する。

【0090】

その理由は、パイロット噴射の噴射時期を上記パイロット噴射第1領域内の時期に設定した場合、スモークの発生量はメイン噴射の着火遅れの影響を大きく受けることになるのに対し、パイロット噴射の噴射時期を上記パイロット噴射第2領域内の時期に設定した場合、スモークの発生量はパイロット噴射での噴霧（または火炎）とメイン噴射での噴霧との重なり角度（重なり量）の影響を大きく受けることになる。このため、それぞれの場合において、異なる手法でインターバル調整動作を行うようにしている。

40

【0091】

より具体的には、パイロット噴射の噴射時期を比較的遅角側に設定した場合（上記パイロット噴射第1領域内に設定する場合）、つまり、スモークの発生量がメイン噴射の着火遅れの影響を大きく受ける場合には、予め設定された許容着火遅れ範囲内でパイロット噴射の噴射時期を変化させていき、着火遅れ期間が、その許容範囲内で最も大きくなるタイミングを、このパイロット噴射第1領域内でのパイロット噴射時期（目標パイロット噴射

50

時期；目標副噴射時期）として決定する（副噴射時期制御手段による目標副噴射時期の決定動作）。

【0092】

一方、パイロット噴射の噴射時期を比較的進角側に設定した場合（上記パイロット噴射第2領域内に設定する場合）、つまり、スモークの発生量がパイロット噴射での噴霧（または火炎）とメイン噴射での噴霧との重なり角度の影響を大きく受ける場合には、許容着火遅れ範囲内でパイロット噴射の噴射時期を変化させていき、パイロット噴射での噴霧（または火炎）とメイン噴射での噴霧との重なり角度が最小（重なり角度が「0」となる場合を含む）となるタイミングを、このパイロット噴射第2領域内でのパイロット噴射時期（目標パイロット噴射時期；目標副噴射時期）として決定する（副噴射時期制御手段による目標副噴射時期の決定動作）。以下、具体的に説明する。

10

【0093】

図9(a)は、パイロット噴射の噴射時期とメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間との関係の一例を示している。また、図9(b)は、パイロット噴射の噴射時期に応じたスモーク発生量の変化（周期的な変化；スモーク発生量の変動）の一例を示している。

【0094】

図9(a)に示すように、パイロット噴射の噴射時期が所定時期（図9(a)におけるタイミングT2）よりも進角側である場合、つまり、メイン噴射との間のインターバルが所定インターバルよりも長い場合には、パイロット噴射の噴射時期が遅角側に移行するほどメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間は略一定の割合で短くなっていく。

20

【0095】

一方、パイロット噴射の噴射時期が所定時期（図9(a)におけるタイミングT2）よりも遅角側である場合、つまり、メイン噴射との間のインターバルが所定インターバルよりも短い場合には、パイロット噴射の噴射時期の変更に伴ってメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間は周期的に変化していきながら、その振幅の中心はパイロット噴射の噴射時期が遅角側に移行していくに従って小さく（着火遅れ期間が短く）なっていく。

【0096】

また、図9(b)に示すように、パイロット噴射の噴射時期が所定時期（図中のT2）よりも進角側である場合、つまり、メイン噴射との間のインターバルが所定インターバルよりも長い場合には、パイロット噴射の噴射時期の変化に応じてスモークの発生量は周期的に変化する。また、その振幅の中心は略一定である。

30

【0097】

一方、パイロット噴射の噴射時期が所定時期（図中のT2）よりも遅角側である場合、つまり、メイン噴射との間のインターバルが所定インターバルよりも短い場合には、パイロット噴射の噴射時期の変更に伴ってスモークの発生量は周期的に変化していきながら、その振幅の中心はパイロット噴射の噴射時期が遅角側に移行していくに従って大きく（スモークの発生量が多く）なっていく。

【0098】

上述の如くパイロット噴射の噴射時期に応じてスモークの発生量が増加する理由について以下に述べる。

40

【0099】

先ず、スモークの発生量を左右する主な要因は以下の3つが挙げられる。

【0100】

- (1) メイン噴射量及び噴射圧力
- (2) パイロット噴射での噴霧（または火炎）とメイン噴射での噴霧との重なり量
- (3) メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ

上記各要素とスモークの発生量との関係について述べると、メイン噴射量が多いほど噴霧内の当量比がリッチとなってスモーク発生量は増加する傾向となる。また、噴射圧力が低いほど噴霧の拡散が制約され、噴霧内の当量比がリッチとなってスモーク発生量は増加する傾向となる。また、パイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり量が

50

きいほど当量比がリッチとなっている領域が大きいためスモーク発生量は増加する傾向となる。更に、メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が長いほど、その着火遅れ期間中におけるパイロット噴射での噴霧の拡散が進むことになり、噴霧内での酸素不足が解消されていくことでスモーク発生量は減少する傾向となる。以上のようなスモーク発生量の変動要因が存在することを踏まえ、パイロット噴射第1領域内でのインターバル調整動作と、パイロット噴射第2領域内でのインターバル調整動作とについてそれぞれ説明する。

#### 【0101】

(パイロット噴射第1領域内でのインターバル調整動作)

まず、パイロット噴射第1領域内でのインターバル調整動作について説明する。パイロット噴射の噴射時期が所定時期よりも遅角側である場合、つまり、メイン噴射との間のインターバルが所定インターバルよりも短い場合には、上記3つの要因のうち「メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ」がスモーク発生量に対して最も影響度合いが大きくなり、「メイン噴射量及び噴射圧力」、「パイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり量」の順で影響度合いが小さくなっていく。

#### 【0102】

このようにパイロット噴射の噴射時期を上記パイロット噴射第1領域内に設定する場合には、「メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ」の影響を大きく受けてスモーク発生量が増加することになる。具体的には、「メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ」が大きいほどスモーク発生量は減少することになる。図9(a)で示したパイロット噴射の噴射時期とメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間との関係では、パイロット噴射の噴射時期を遅角側に移行していくと「メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間」が周期的に変化しながらその期間が短くなっていく。この「メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間」が周期的に変化する要因は、上記(3)メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ以外に、上記(1)メイン噴射量及び噴射圧力、及び、上記(2)パイロット噴射での噴霧(または火炎)とメイン噴射での噴霧との重なり量の変化の影響を受けているためである。

#### 【0103】

このように「メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間」が周期的に変化しながら短くなっていくのに伴って、図9(b)に示すように、スモークの発生量は周期的に変化しながら多くなっていく。

#### 【0104】

このようなパイロット噴射の噴射時期、メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間、及び、スモークの発生量の関係を踏まえ、パイロット噴射の噴射時期をパイロット噴射第1領域内に設定する場合には、「メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間」に応じて、スモークの発生量を最小とするタイミングとなるようにパイロット噴射の噴射時期を決定することになる。

#### 【0105】

以下、パイロット噴射の噴射時期をパイロット噴射第1領域内に設定する場合におけるパイロット噴射時期を設定する動作手順について具体的に説明する。

#### 【0106】

このパイロット噴射第1領域でパイロット噴射時期を設定する場合の動作の概略としては、予め設定された許容着火遅れ範囲の中でパイロット噴射の噴射時期を変更していき、それぞれにおけるメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間を求める。そして、上記許容着火遅れ範囲の中で最も着火遅れ期間が長くなるパイロット噴射時期を、目標パイロット噴射時期として決定する。より具体的には、許容着火遅れ範囲内において最も着火遅れ期間が長くなるパイロット噴射時期から最も着火遅れ期間が短くなるパイロット噴射時期の間で、着火遅れ期間が許容着火遅れ範囲から逸脱することのない期間において最も着火遅れ期間が長くなるパイロット噴射時期を、目標パイロット噴射時期として決定する。

#### 【0107】

図10は、パイロット噴射第1領域でパイロット噴射時期を設定する場合の動作手順を示すフローチャートである。また、図11(a)はパイロット噴射第1領域でのパイロット噴射の噴射時期とメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間との関係の一例を示す図であり、図11(b)はパイロット噴射第1領域でのパイロット噴射の噴射時期に応じたスモーク発生量の変化の一例を示す図である。

#### 【0108】

このパイロット噴射第1領域内でのインターバル調整動作では、まず、上記許容着火遅れ範囲の中で最も着火遅れが大きくなるパイロット噴射時期でパイロット噴射を実行し、その後、メイン噴射を実行する(例えば圧縮上死点(TDC)でメイン噴射を実行する)。この許容着火遅れ範囲の設定手法としては、予め実験やシミュレーションにより設定される。例えば、この許容着火遅れ範囲として、着火遅れが大きくなる側の許容限界としては、メイン噴射で噴射された燃料の失火が発生する着火遅れに対して予め設定された所定期間だけ短く設定された着火遅れに設定され、着火遅れが小さくなる側の許容限界としては、スモークの発生量が予め設定された許容範囲内となるように設定された着火遅れに設定されている。また、実験やシミュレーションにより、排気ガス中のNOx量や燃焼音等が共に予め設定された許容範囲内となるような範囲として設定されていてもよい。

10

#### 【0109】

図10において、まず、ステップST1において、上記許容着火遅れ範囲の中で最も着火遅れが大きくなるパイロット噴射時期でパイロット噴射を実行し、その後、メイン噴射を実行する。そして、ステップST2において、この場合にメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間を求める。この着火遅れ期間を求めるための手法としては、燃焼室3内に備えられた上記筒内圧センサ4Bによって検出される筒内圧力の変化によりメイン噴射で噴射された燃料の着火時期を検出し、それに基づいて着火遅れ期間を求めるようにしてもよいし、後述するように、燃料の物理的着火遅れと化学的着火遅れとを算出し、これらの合算値を着火遅れ期間として求めるようにしてもよい。

20

#### 【0110】

メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れを求めた後、ステップST3に移り、着火遅れ変動の1周期分の算出が完了したか否かを判定する。この着火遅れ変動の1周期分とは、周期的に変化する着火遅れ変動の1周期分(上記許容着火遅れ範囲の中で最も着火遅れが大きくなるパイロット噴射時期でパイロット噴射が実行された際の着火遅れからの1周期分)である。図11にあっては、許容着火遅れ範囲のうちタイミングT3からタイミングT4間での範囲が着火遅れ変動の1周期分となるため、この範囲でパイロット噴射の噴射時期を変化させていきながら着火遅れ期間を求めていくことになる。

30

#### 【0111】

本パイロット噴射第1領域内でのインターバル調整動作の開始時には、未だ、着火遅れ変動の1周期分の算出が完了していないため、ステップST3でNO判定され、ステップST4に移る。このステップST4では、パイロット噴射の噴射時期を変更する。具体的には、前回実行したパイロット噴射の噴射時期(ステップST1で実行したパイロット噴射の噴射時期)に対してクランク角度で1°だけ遅角側にパイロット噴射の噴射時期を変更してステップST1に戻る。

40

#### 【0112】

そして、ステップST1では、次回の燃焼行程の開始時に、変更後のパイロット噴射時期でパイロット噴射を実行し、その後、メイン噴射を実行する。この場合のメイン噴射の実行時期は前回(前回のルーチン)での燃焼行程と同一時期とされる。そして、ステップST2において、この場合にメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れを求める。

#### 【0113】

このような動作を繰り返し、着火遅れ変動の1周期分の算出が完了した場合には、ステップST3でYES判定され、ステップST5に移る。このステップST5では、上記ステップST2において算出された各パイロット噴射時期それぞれにおけるメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間を解析してパイロット噴射の噴射時期を決定する。具体的に

50

は、上記ステップ S T 2 において算出された各パイロット噴射時期それぞれにおけるメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間のうち、最も着火遅れが大きくなっているパイロット噴射の噴射時期を抽出する。但し、図 1 1 ( a ) に示すように着火遅れ期間は周期的に変化しているため、着火遅れ期間が許容着火遅れ範囲から一時的に逸脱する可能性がある。図 1 1 ( a ) に示すものにあつては期間  $t_1$  において、着火遅れ期間が許容着火遅れ範囲から逸脱している。このような場合、その後に着火遅れが許容着火遅れ範囲となった各パイロット噴射の噴射時期のうち最も着火遅れ期間が長くなっているパイロット噴射の噴射時期を抽出し、この時期を目標パイロット噴射時期として決定する。図 1 1 ( a ) に示すものにあつてはタイミング T 5 が目標パイロット噴射時期として決定されることになる。これにより、メイン噴射で噴射された燃料の失火に対するロバスト性が確保され安定した燃焼を行うことを可能にしながら、スモークの発生量を最小限に抑えることができる。この場合のスモークの発生量は、図 1 1 ( b ) における S 1 となる。

10

## 【 0 1 1 4 】

( 着火遅れ期間の算出 )

次に、上記ステップ S T 2 における着火遅れ期間の算出手法について具体的に説明する。

## 【 0 1 1 5 】

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「総着火遅れ期間」を求めるようにしている。

20

## 【 0 1 1 6 】

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について順に説明する。

## 【 0 1 1 7 】

< 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。

30

## 【 0 1 1 8 】

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 1 1 9 】

以下、この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 1 2 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。

40

## 【 0 1 2 0 】

まず、ステップ S T 1 1 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 R A M 1 0 3 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前の燃焼行程時(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。

## 【 0 1 2 1 】

50

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 $\theta_{sp}$ 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。

10

【0122】

【数1】

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

$\Delta P$ : 噴射圧と雰囲気圧の圧力差

$t_e$ : 液滴分裂時間

$\rho_f$ : 燃料密度

$\rho_a$ : 雰囲気ガス密度

$d_0$ : インジェクタ噴孔径

20

【0123】

【数2】

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

$\mu_a$ : 空気粘性係数

30

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

【0124】

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RAM103に記憶されており、ステップST11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。

40

【0125】

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ST12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、

50

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。

【0126】

図13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13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。

【0127】

図13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13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。

【0128】

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13における波形Bを参照）、ステップST12でYES判定された場合には、ステップST14に移る。

【0129】

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13における波形Aを参照）、ステップST12でNO判定された場合には、ステップST13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13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13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ST12でYES判定されることになる。このようなパイロット噴射量の増量補正が行われる場合、図10で示したフローチャートにおけるステップST1でのパイロット噴射及びメイン噴射が再度行われた後（増量補正したパイロット噴射及びメイン噴射が実行された後）にステップST2での着火遅れ期間の算出動作に移ることになる。

【0130】

ステップST14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燃料蒸発量を抽出するようにしてもよい。

【0131】

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。

【0132】

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

10

20

30

40

50

)によって燃料蒸発速度 ( $dm_v/dt$ ) を算出する。

【0133】

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。

【0134】

【数3】

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

10

$k$ :熱伝導率  $c_p$ :ガス比熱  $D_d$ :液滴粒径

$\text{Re}$ :レイノルズ数  $T$ :ガス比熱  $T_d$ :粒径温度

$h_{fg}$ :蒸発潜熱

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

20

$V_{sw}$ :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

【0135】

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。

30

【0136】

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  $t_{rg}$  を超えている期間  $t_b$  (図15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。

【0137】

【数4】

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

40

【0138】

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ST15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14は上記必要最少可燃蒸気量  $M$

50

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ROM102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。

【0139】

図15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ST15でYES判定された場合には、ステップST17に移る。

10

【0140】

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ST5でNO判定された場合には、ステップST16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ST15でYES判定されることになる。このようなパイロット噴射量の増量補正が行われる場合にも、図10で示したフローチャートにおけるステップST1でのパイロット噴射及びメイン噴射が再度行われた後（増量補正したパイロット噴射及びメイン噴射が実行された後）にステップST2での着火遅れ期間の算出動作に移ることになる。

20

【0141】

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ST17に移り、物理的着火遅れの算出を行う。

30

【0142】

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15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。

【0143】

より具体的に、上記ステップST13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ST16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16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ST13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ぬ。その後、ステップST16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  $t$

40

50

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 1 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。

【 0 1 4 4 】

尚、ステップ S T 1 3 及びステップ S T 1 6 においてパイロット噴射量を増量補正することに伴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。

10

【 0 1 4 5 】

< 総着火遅れ期間算出動作 >

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について説明する。

【 0 1 4 6 】

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。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するようにしている。

20

【 0 1 4 7 】

以下、具体的な動作について説明する。図 1 7 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の手順を示すフローチャートである。

【 0 1 4 8 】

まず、ステップ S T 2 1 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 ) ~ ( 1 1 ) 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。

【 0 1 4 9 】

【 数 5 】

30

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

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

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

40

$T_o$ : 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

【 0 1 5 0 】

50

式(9)は噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比  $\tau_{rg}$  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  $\tau_{rg}$  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。

【0151】

尚、噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比  $\tau_{rg}$  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。

10

【0152】

このようにして噴霧内当量比が噴霧内可燃当量比  $\tau_{rg}$  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ST22に移り、下記の式(12)によって、化学的着火遅れ期間  $\tau_c$  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。

【0153】

【数6】

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

20

$a, b, c$ : 実験定数

$[O_2]$ :  $O_2$  分圧

$[Fuel]$ : 燃料分圧

$T$ : 温度

$R$ : 気体定数

30

【0154】

以上のようにして化学的着火遅れ期間  $\tau_c$  を算出した後、ステップST23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  $\tau_p$  と上記化学的着火遅れ期間  $\tau_c$  との和から、これら物理的着火遅れ期間  $\tau_p$  と上記化学的着火遅れ期間  $\tau_c$  とが併存する期間  $\tau_x$  を減算 ( $\tau_p + \tau_c - \tau_x$ ) することで総着火遅れ期間が算出される。つまり、図18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  $\tau_x$  が存在しているため、上記物理的着火遅れ期間  $\tau_p$  と上記化学的着火遅れ期間  $\tau_c$  との和から、この同時並行期間  $\tau_x$  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。

40

【0155】

(パイロット噴射第2領域内でのインターバル調整動作)

次に、パイロット噴射第2領域内でのインターバル調整動作について説明する。パイロット噴射の噴射時期が所定時期よりも進角側である場合、つまり、メイン噴射との間のインターバルが所定インターバルよりも長い場合には、上記3つの要因のうち「パイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり量」がスモーク発生量に対して最も影響度合いが大きくなり、「メイン噴射量及び噴射圧力」、「メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ」の順で影響度合いが小さくなっていく。

【0156】

このようにパイロット噴射の噴射時期を上記パイロット噴射第1領域内に設定する場合

50

には、「パイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり量」の影響を大きく受けてスモーク発生量が変動することになる。具体的には、「パイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり量」が大きいほどスモーク発生量は増大することになる。図9(a)で示したパイロット噴射の噴射時期とメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間との関係において、パイロット噴射の噴射時期を遅角側に移行していくと「メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間」が周期的に変化しているのは、「パイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり量」が周期的に変化していることに起因する。

【0157】

このようなパイロット噴射の噴射時期、パイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり量、及び、スモークの発生量の関係を踏まえ、パイロット噴射の噴射時期をパイロット噴射第2領域内に設定する場合には、「パイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり量」に応じて、スモークの発生量を最小とするタイミングとなるようにパイロット噴射の噴射時期を決定することになる。

10

【0158】

以下、パイロット噴射の噴射時期をパイロット噴射第2領域内に設定する場合におけるパイロット噴射時期を設定する動作手順について説明する。

【0159】

このパイロット噴射第2領域でパイロット噴射時期を設定する場合の動作の概略としては、予め設定された許容着火遅れ範囲の中でパイロット噴射の噴射時期を変更していき、それぞれにおけるパイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり量を求める。そして、上記許容着火遅れ範囲の中で最も上記重なり量が小さくなるパイロット噴射時期を、目標パイロット噴射時期として決定する。

20

【0160】

図19は、パイロット噴射第2領域でパイロット噴射時期を設定する場合の動作手順を示すフローチャートである。また、図20(a)はパイロット噴射第2領域でのパイロット噴射の噴射時期とメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間との関係の一例を示す図であり、図20(b)はパイロット噴射第2領域でのパイロット噴射の噴射時期に応じて変化するパイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり角の変化の一例を示す図である。

【0161】

このパイロット噴射第2領域内でのインターバル調整動作では、まず、上記許容着火遅れ範囲の中で最も着火遅れが大きくなるパイロット噴射時期でパイロット噴射を実行し、その後、メイン噴射を実行する(例えば圧縮上死点(TDC)でメイン噴射を実行する)。この許容着火遅れ範囲の設定手法は上述の場合と同様である。そして、この許容着火遅れ範囲の中でパイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり角が最も小さくなるパイロット噴射時期を、目標パイロット噴射時期として決定する。

30

【0162】

図19において、まず、ステップST31において、上記許容着火遅れ範囲の中で最も着火遅れが大きくなるパイロット噴射時期でパイロット噴射を実行した場合におけるパイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり角を算出する。この重なり角の算出は、以下の式(13)により求められる。

40

【0163】

【数7】

$$\text{重なり角} = \text{噴孔間角度} - \text{移動角} - \theta_{pl}/2 - \theta_m/2 \quad \dots (13)$$

SR:筒内スワール比

$\theta_{pl}$ :パイロット噴霧角

$\theta_m$ :メイン噴霧角

移動角 = SR × インターバル / 360

10

【0164】

図21は、上記パイロット噴射及びメイン噴射が行われる際の気筒内における一部の噴霧（2つの噴孔から噴射された噴霧）の状態を模式的に示す平面図であって、メイン噴射終了時点での各噴霧の状態を模式的に示している。また、メイン噴射で噴射された燃料の噴霧を実線で示し、このメイン噴射の直前に実行されたパイロット噴射で噴射された燃料の噴霧（スワール流により移動したパイロット噴霧：パイロット噴射での燃焼場）を破線で示している。この図21に示すものでは、メイン噴射で噴射された燃料の噴霧は略円錐形状となっているのに対し、先行して実行されたパイロット噴射での噴霧は拡散が進み、略円錐台形状となっている。

【0165】

20

この図21に示すように、パイロット噴射で噴射された燃料の噴霧はスワール流によって周方向に流され、その後に噴射されるメイン噴射での噴霧（スワール流の下流側に位置する噴孔から噴射されたメイン噴射での噴霧）に一部が重なることになる。そして、これら各噴霧（パイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧）の重なり角度（図21における overlap）は、インターバルに応じて変化する。この重なり角度が上記式（13）により算出される。

【0166】

このようにしてパイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり角を算出した後、ステップST32に移り、噴霧重なり変動の1周期分の算出が完了したか否かを判定する。この噴霧重なり変動の1周期分とは、周期的に変化するパイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり角の変動の1周期分（上記許容着火遅れ範囲の中で最も着火遅れが大きくなるパイロット噴射時期でパイロット噴射が実行された際の噴霧の重なり角からの1周期分）である。図20にあっては、許容着火遅れ範囲のうちタイミングT6からタイミングT7間での範囲が噴霧重なり変動の1周期分となるため、この範囲でパイロット噴射の噴射時期を変化させていながら噴霧の重なり角を算出していくことになる。

30

【0167】

本パイロット噴射第2領域内でのインターバル調整動作の開始時には、未だ、噴霧重なり変動の1周期分の算出が完了していないため、ステップST32でNO判定され、ステップST33に移る。このステップST33では、パイロット噴射の噴射時期を変更する。具体的には、前回の算出で使用したパイロット噴射時期（ステップST31の算出に使用したパイロット噴射時期）に対してクランク角度で1°だけ遅角側にパイロット噴射の噴射時期を変更してステップST31に戻る。

40

【0168】

そして、ステップST31では、変更後のパイロット噴射時期とした場合におけるパイロット噴射での噴霧とメイン噴射での噴霧との重なり角を算出する。

【0169】

このような動作を繰り返し、噴霧重なり変動の1周期分の算出が完了した場合には、ステップST32でYES判定され、ステップST34に移る。このステップST34では、上記ステップST31において算出された各パイロット噴射時期それぞれにおける噴霧

50

重なり角を解析してパイロット噴射の噴射時期を決定する。具体的には、上記ステップ S T 3 1 において算出された各パイロット噴射時期それぞれにおける噴霧重なり角のうち、最も噴霧重なり角が小さくなっている（噴霧重なり角が「0」である場合を含む）パイロット噴射の噴射時期を抽出する。図 20 に示すものにあつてはタイミング T 8 が目標パイロット噴射時期として決定されることになる。これにより、メイン噴射での噴射された燃料の失火に対するロバスト性が確保され安定した燃焼を行うことを可能にしながら、スモークの発生量を最小限に抑えることができる。

#### 【0170】

以上説明したように、本実施形態では、パイロット噴射の噴射時期として、インターバルの長さを短くするパイロット噴射第 1 領域とインターバルの長さを長くするパイロット噴射第 2 領域とに分け、パイロット噴射第 1 領域内でパイロット噴射の噴射時期を設定する場合にはメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間に基づいて目標パイロット噴射時期を決定する一方、パイロット噴射第 2 領域内でパイロット噴射の噴射時期を設定する場合にはそのパイロット噴射での噴霧とその後のメイン噴射での噴霧との重なり量に基づいて目標パイロット噴射時期を決定するようにしている。つまり、スモークの発生量がメイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間の影響を大きく受ける領域（上記パイロット噴射第 1 領域）である場合と、スモークの発生量がパイロット噴射で噴射された燃料の噴霧とメイン噴射で噴射された燃料の噴霧との重なり量の影響を大きく受ける領域（上記パイロット噴射第 2 領域）である場合とでそれぞれ異なる手法によって目標パイロット噴射時期を決定している。これにより、それぞれの領域に適した手法で目標パイロット噴射時期を決定することが可能となり、メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間を許容着火遅れ範囲内にして安定した燃焼を行わせることができると共に、スモークの発生量を最小限に抑えることが可能となる。

#### 【0171】

（変形例）

上述した実施形態では、パイロット噴射の実行タイミングをパイロット噴射第 1 領域とするのかパイロット噴射第 2 領域とするのかの選択は、エンジン負荷及びエンジン回転数に応じて決定されるものとしていた。つまり、図 8 に示すパイロット噴射実行領域決定マップに従ってパイロット噴射の実行タイミングをパイロット噴射第 1 領域とするのかパイロット噴射第 2 領域とするのかを選択していた。本変形例は、それに代えて、パイロット噴射で噴射された燃料の予混合度合いに応じてパイロット噴射第 1 領域とパイロット噴射第 2 領域とを判別するようにしている。

#### 【0172】

具体的には、上記パイロット噴射が実行された後、メイン噴射が開始されるまでの間におけるパイロット噴射で噴射された燃料の予混合度合いに応じ、その予混合度合いが所定量未満となるパイロット噴射の噴射期間の範囲を第 1 領域とし、その予混合度合いが所定量以上となるパイロット噴射の噴射期間の範囲を第 2 領域として判別するようにしている。例えば、圧縮上死点前 25 度（BTDC 25°）よりも遅角側の範囲でパイロット噴射を実行する噴射パターンである場合には、第 1 領域であるとして、メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が予め設定された許容着火遅れ範囲にあり且つその着火遅れ期間が最も長くなるパイロット噴射の噴射時期を目標パイロット噴射時期として決定する。一方、圧縮上死点前 25 度（BTDC 25°）よりも進角側の範囲でパイロット噴射を実行する噴射パターンである場合には、第 2 領域であるとして、メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が予め設定された許容着火遅れ範囲にあり且つ上記パイロット噴射で噴射された燃料の噴霧とメイン噴射で噴射された燃料の噴霧との重なり量が最小となるパイロット噴射の噴射時期を目標パイロット噴射時期として決定するようにしている。

#### 【0173】

また、パイロット噴射の噴射時期を変更していき、それぞれにおいてメイン噴射が実行された際の着火遅れ期間を取得し、その取得した着火遅れ期間に基づいて、パイロット噴射第 1 領域とパイロット噴射第 2 領域とを判別するようにしてもよい。例えば、図 9 (a

)に示すように、メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が略一定の割合で変化していく領域をパイロット噴射第2領域とし、メイン噴射で噴射された燃料の着火遅れ期間が周期的に変化していく領域をパイロット噴射第1領域として判別することが挙げられる。

【0174】

- 他の実施形態 -

以上説明した実施形態及び変形例では、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。

10

【0175】

また、上記実施形態及び変形例では、車両に搭載されたECU100においてパイロット噴射の噴射期間の領域判定、各領域での噴射時期設定動作を実行するようにしていた。本発明はこれに限らず、エンジン負荷、エンジン回転数等の運転状態に基づいたパイロット噴射の噴射時期を上記した各手法(図10及び図19で示した設定動作)によって求めておき、それをマップ化したパイロット噴射時期設定マップを上記ROM102に記憶させ、そのマップ値を読み出すことにより目標パイロット噴射時期を決定するようにしてもよい。

【0176】

また、上記実施形態及び変形例では、メイン噴射の実行タイミングを圧縮上死点(TDC)とした場合について説明した。本発明はこれに限らず、メイン噴射の実行タイミングは適宜設定される。このようにメイン噴射の実行タイミングが変化すると、それに応じて上記パイロット噴射第1領域及びパイロット噴射第2領域も変化することになる。

20

【0177】

更に、上述した実施形態では、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。

【0178】

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。

30

【産業上の利用可能性】

【0179】

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、燃焼の安定性及びスモーク発生量の低減を図るためのインターバル調整に適用可能である。

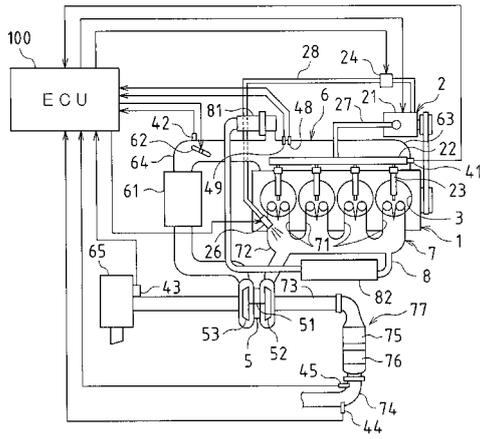
【符号の説明】

【0180】

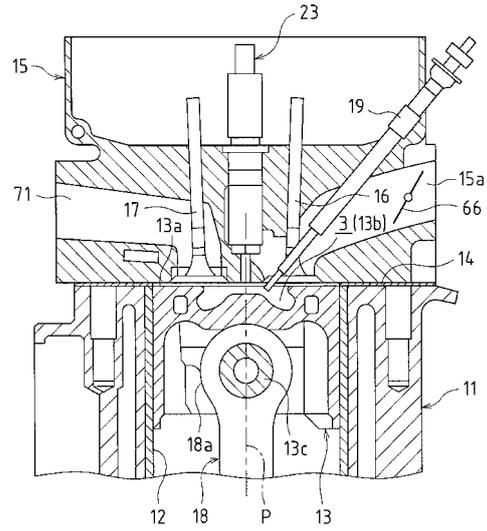
- |     |               |  |
|-----|---------------|--|
| 1   | エンジン(内燃機関)    |  |
| 2 3 | インジェクタ(燃料噴射弁) |  |
| 3   | 燃焼室           |  |

40

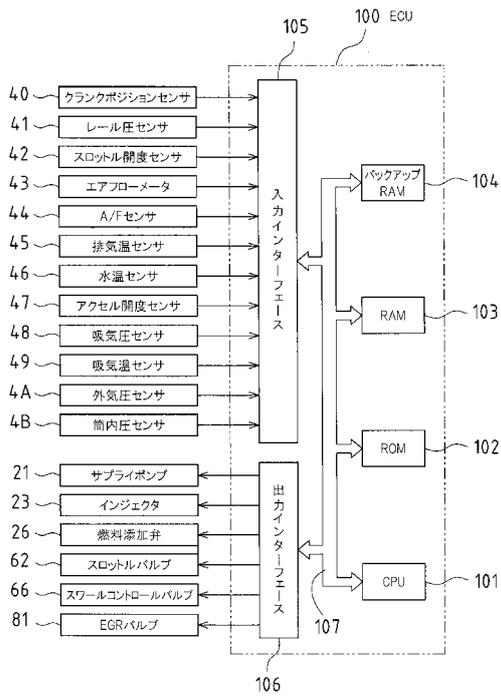
【図1】



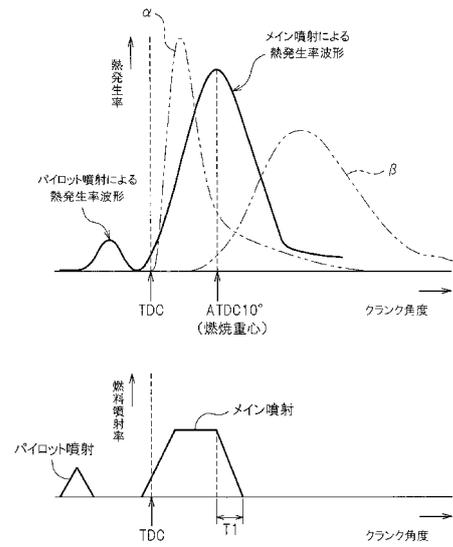
【図2】



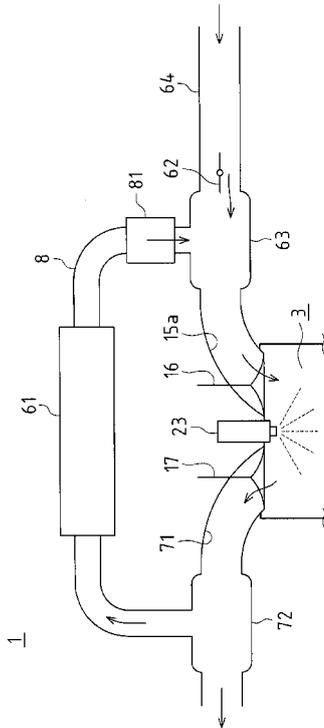
【図3】



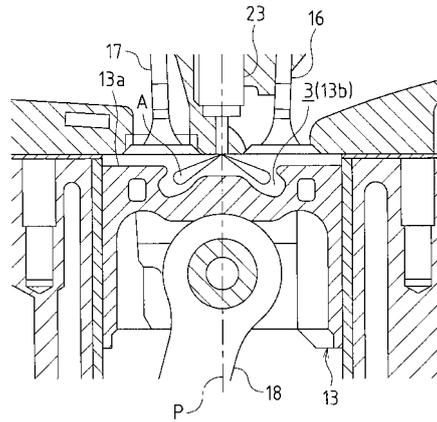
【図4】



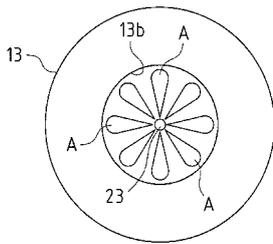
【図5】



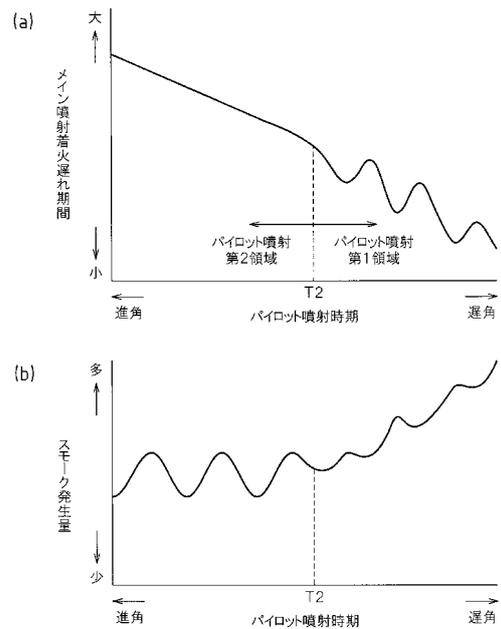
【図6】



【図7】



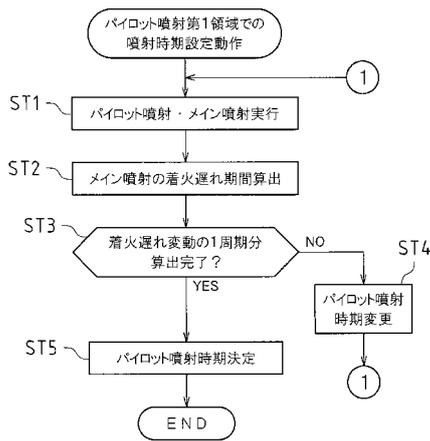
【図9】



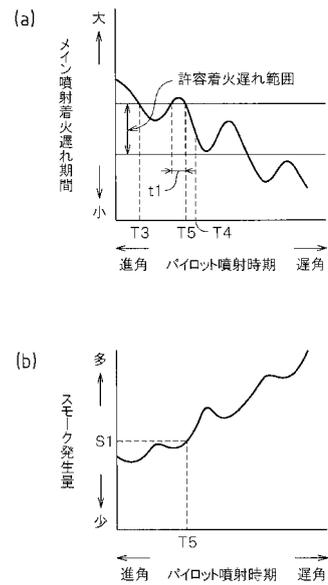
【図8】

	低 ← エンジン回転数 → 高						
高 ↑ エンジン負荷 ↓ 低	2	2	2	2	2	2	2
	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
	1	1	↑	↑	↑	↑	↑
	↑	↑	1	1	↑	↑	↑
	↑	↑	↑	↑	1	↑	↑
	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

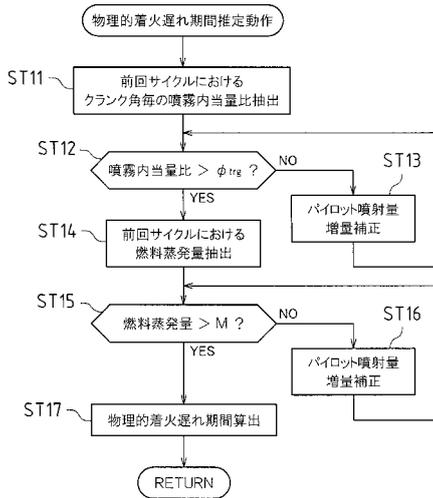
【図10】



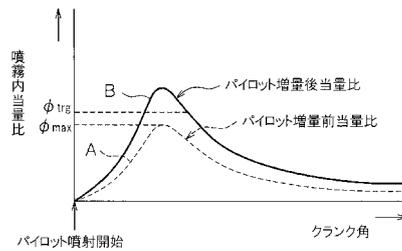
【図11】



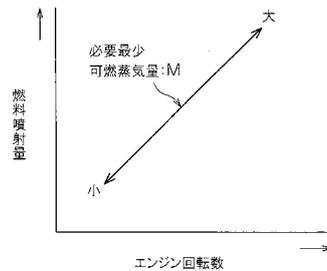
【図12】



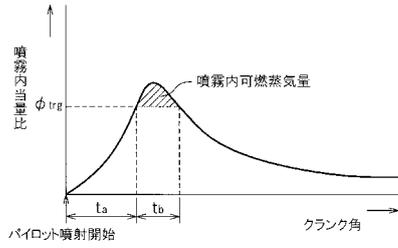
【図13】



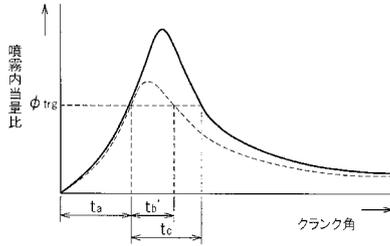
【図14】



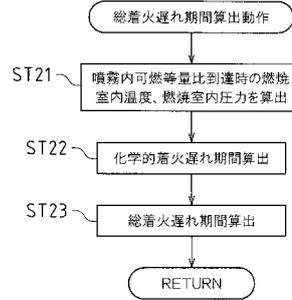
【図15】



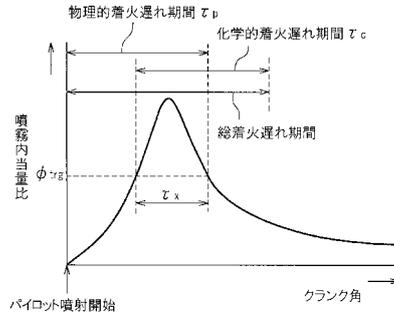
【図16】



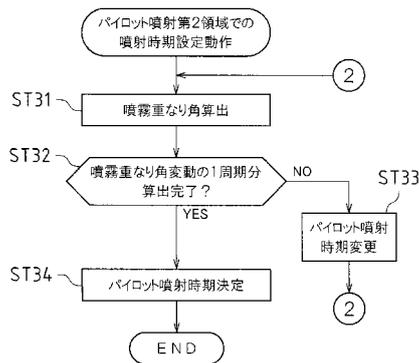
【図17】



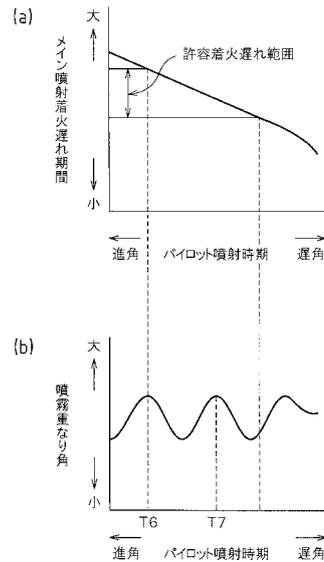
【図18】



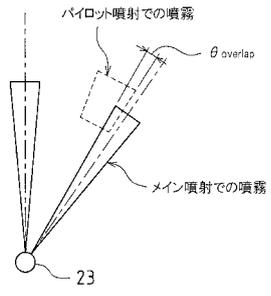
【図19】



【図20】



【図 21】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2010-180761(JP,A)  
特開2009-156153(JP,A)  
特開2005-155603(JP,A)  
特開2008-101591(JP,A)  
特開平11-082139(JP,A)  
特開平01-216015(JP,A)  
特開2007-077920(JP,A)  
国際公開第2010/140263(WO,A1)  
特開2009-121444(JP,A)  
特開2009-299490(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

- F02D 41/38  
F02D 41/40