

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-137585

(P2015-137585A)

(43) 公開日 平成27年7月30日(2015.7.30)

(51) Int. Cl.	F 1	テーマコード (参考)
FO2D 41/38 (2006.01)	FO2D 41/38 B	3G301
FO2D 41/02 (2006.01)	FO2D 41/02 380A	
FO2D 41/04 (2006.01)	FO2D 41/04 385P	

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2014-9487 (P2014-9487)
 (22) 出願日 平成26年1月22日 (2014.1.22)

(71) 出願人 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 100100549
 弁理士 川口 嘉之
 (74) 代理人 100085006
 弁理士 世良 和信
 (74) 代理人 100113608
 弁理士 平川 明
 (74) 代理人 100123319
 弁理士 関根 武彦
 (74) 代理人 100123098
 弁理士 今堀 克彦
 (74) 代理人 100143797
 弁理士 宮下 文徳

最終頁に続く

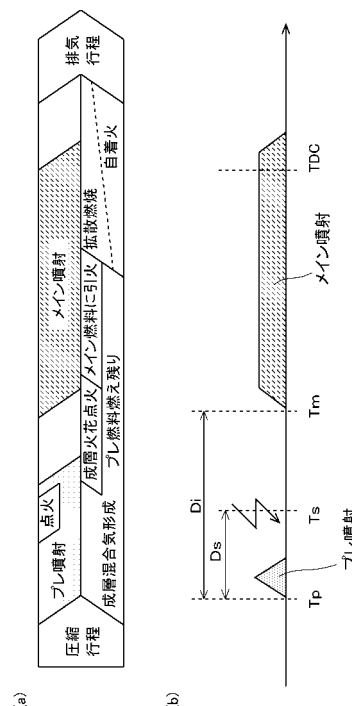
(54) 【発明の名称】 内燃機関の制御装置

(57) 【要約】

【課題】 自着火温度が比較的高い燃料を使用する内燃機関において、安定したディーゼル燃焼の実現と、その熱効率の向上を両立する。

【解決手段】 燃焼室内に燃料を噴射可能な燃料噴射弁と、噴霧に直接に点火可能となるように、燃料噴射弁に対する相対位置が決定された点火装置と、を備える内燃機関の制御装置である。当該装置は、圧縮行程中の所定プレ噴射時期に行われるプレ噴射と、点火装置による該プレ噴射によるプレ噴霧への点火とによって、プレ噴射燃料を燃焼させその燃え残りを燃焼室内に生成させる。そして、プレ噴射燃料による火炎を起点として燃焼が開始可能であって且つ圧縮行程上死点前の所定噴射開始時期にメイン噴射を開始し、プレ噴射燃料の燃え残りともメイン噴射燃料とにおいて自着火を発生させるとともに少なくとも該メイン噴射燃料の一部を拡散燃焼させて、該プレ噴射燃料の燃え残りともメイン噴射燃料を燃焼させる。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

内燃機関の燃焼室内に燃料を噴射可能な燃料噴射弁と、
前記燃料噴射弁から噴射された噴霧が点火可能領域を通過し該噴霧に直接に点火可能となるように、該燃料噴射弁に対する相対位置が決定された点火装置と、

圧縮行程中の所定プレ噴射時期に行われる前記燃料噴射弁からのプレ噴射と、該プレ噴射によって形成されるプレ噴霧への前記点火装置による点火とによって、プレ噴射燃料を燃焼させるとともに該プレ噴射燃料の燃え残りを前記燃焼室内に生成させるプレ燃焼手段と、

前記プレ燃焼手段により燃焼されたプレ噴射燃料による火炎を起点として燃焼が開始可能であって且つ圧縮行程上死点前の所定噴射開始時期にメイン噴射を開始し、前記プレ燃焼手段により生成された前記プレ噴射燃料の燃え残りとはメイン噴射燃料とにおいて自着火を発生させるとともに少なくとも該メイン噴射燃料の一部を拡散燃焼させて、該プレ噴射燃料の燃え残りとはメイン噴射燃料を燃焼させるメイン燃焼手段と、

を備える内燃機関の制御装置。

【請求項 2】

前記プレ燃焼手段は、前記プレ噴射燃料の増量に応じて該プレ噴射燃料の燃え残り量を増量させる、

請求項 1 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 3】

前記プレ燃焼手段は、前記プレ噴射燃料が増量されるほど、前記プレ噴射の時期を進角させることで、該プレ噴射燃料の燃え残り量を増量させる、

請求項 2 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 4】

前記プレ燃焼手段は、前記プレ噴射燃料が増量されるほど、前記プレ噴射時期と前記点火時期との間の点火インターバルを長くすることで、該プレ噴射燃料の燃え残り量を増量させる、

請求項 2 又は請求項 3 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 5】

前記内燃機関の機関負荷が所定第 1 負荷以上の場合には、前記プレ燃焼手段は、該機関負荷の増加に応じて前記プレ噴射燃料を増量するとともに、該プレ噴射の時期を進角する、

請求項 1 から請求項 4 の何れか 1 項に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 6】

前記内燃機関の機関負荷が前記所定第 1 負荷より大きい所定第 2 負荷以上の場合には、前記メイン燃焼手段による前記メイン噴射燃料の量が所定の上限量に維持されるように、前記プレ燃焼手段は、該機関負荷の増加に応じて前記プレ噴射燃料を増量するとともに、該プレ噴射の時期を進角する、

請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、内燃機関の制御装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

燃焼室の圧縮空気に対して燃料を直接噴射して自着火させ拡散燃焼させる、いわゆるディーゼル燃焼は、火花点火式の燃焼と比べて熱効率が良好である利点が存在する。一般に、ディーゼル燃焼には自着火温度が比較的低い軽油が燃料として使用されるが、例えば特許文献 1 には、自着火温度が比較的高い天然ガス等を燃料としてディーゼル燃焼させる技

10

20

30

40

50

術が開示されている。具体的には、燃焼室の所定の領域に圧縮行程の初期又は中期に燃料噴射を行い、当該領域に形成された混合気に対して圧縮行程上死点直前の時期に点火し、燃焼室内を天然ガスが自着火可能な高温且つ高圧の状態にする。そして、圧縮行程上死点後の高温高圧状態の燃焼室に、拡散燃焼用の燃料噴射が行われる。

【0003】

また、火花点火式のガソリンエンジンにおいても、ガソリンを自着火させ拡散燃焼させる取り組みも行われている。例えば、特許文献2に開示の技術では、圧縮行程前半までの期間に第1の燃料噴射を行い、燃焼室内全域にほぼ均質な混合気を形成し、そして、この燃料噴射で形成した混合気に対し火花点火を行う。その後第2の燃料噴射を行ってこの噴射燃料を燃焼させ、この燃焼による燃焼室内の温度圧力上昇により残りの燃料を自着火

10

【0004】

また、特許文献3には、やはり特許文献2に示す技術と同じように、ノッキングの抑制を目的としたガソリンエンジンでのディーゼル燃焼に関する技術が開示されている。具体的には、ガソリンエンジンの運転領域のうち比較的高負荷のノッキングが生じやすい領域において、圧縮行程上死点よりも前の時期に第1の燃料噴射を行い、その噴射燃料を火花点火により燃焼させるとともに、その燃焼によって燃焼室内の圧力が高くなる圧縮行程上死点後の時期に拡散燃焼用の燃料噴射が行われる。なお、当該技術では、エンジンの機関回転速度の高低に応じて、ノッキング抑制のために好適な燃焼を実現すべく第1の燃料噴射の時期が調整される。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2003-254105号公報

【特許文献2】特開2002-276442号公報

【特許文献3】特開2007-64187号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ガソリンエンジン等のように自着火温度が比較的高い燃料を使用する内燃機関においてディーゼル燃焼を実現するためには、内燃機関の出力を決定するメイン噴射が行われる時点において、燃焼室内が、噴射燃料が自着火し拡散燃焼する程度に高温高圧の状態になっている必要がある。上記の従来技術のように、圧縮行程上死点直後のメイン噴射の前に第1の噴射を行い、それを火花点火して燃焼させる場合、このような第1の噴射は圧縮行程中での燃焼になるため内燃機関の出力を低下させる要因となり、結果として内燃機関の熱効率を向上させることが困難となる。そして、これらの従来技術では、火花点火式の内燃機関におけるディーゼル燃焼実行時の熱効率向上に関して、十分な言及がなされていない。

30

【0007】

そこで、本発明は、上記したような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、自着火温度が比較的高い燃料を使用する内燃機関において、安定したディーゼル燃焼の実現と、その熱効率の向上を両立することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明において、上記課題を解決するために、本出願人は、主に内燃機関の出力を決定するメイン噴射の前にプレ噴射を行うとともに、プレ噴射によって噴射された燃料(以下、「プレ噴射燃料」という)に対して火花点火しその一部が燃え残り、メイン噴射によって噴射された燃料(以下、「メイン噴射燃料」という)とともにディーゼル燃焼に供される構成を採用した。この構成により、メイン噴射が噴射される際の燃焼室内を、メイン噴

50

射燃料のディーゼル燃焼に適した状況にするとともに、プレ噴射燃料の一部を内燃機関の出力に好適に寄与させることが可能となり、熱効率を向上させることができる。なお、本発明において使用される、「プレ」、「メイン」の用語は、両噴射の時間的な前後関係を表す表現に過ぎず、以下に示す技術意義を有するもの以外に限定解釈されるべきではない。

【0009】

詳細には、本発明は、内燃機関の燃焼室内に燃料を噴射可能な燃料噴射弁と、前記燃料噴射弁から噴射された噴霧が点火可能領域を通過し該噴霧に直接に点火可能となるように、該燃料噴射弁に対する相対位置が決定された点火装置と、圧縮行程中の所定プレ噴射時期に行われる前記燃料噴射弁からのプレ噴射と、該プレ噴射によって形成されるプレ噴霧への前記点火装置による点火とによって、プレ噴射燃料を燃焼させるとともに該プレ噴射燃料の燃え残りを前記燃焼室内に生成させるプレ燃焼手段と、前記プレ燃焼手段により燃焼されたプレ噴射燃料による火炎を起点として燃焼が開始可能であって且つ圧縮行程上死点前の所定噴射開始時期にメイン噴射を開始し、前記プレ燃焼手段により生成された前記プレ噴射燃料の燃え残りやメイン噴射燃料とにおいて自着火を発生させるとともに少なくとも該メイン噴射燃料の一部を拡散燃焼させて、該プレ噴射燃料の燃え残りや該メイン噴射燃料を燃焼させるメイン燃焼手段と、を備える内燃機関の制御装置である。

10

【0010】

上記点火装置は、燃料噴射弁から噴射され点火可能領域を通過する噴霧である通過噴霧に対して直接点火が可能となるように、点火装置と燃料噴射弁との相対的な位置関係が決定されている。一般に、燃焼目的に応じて吸気弁の開弁に伴い燃焼室内に形成される気流や、ピストンの頂部に位置するキャビティ等の形状を利用して、点火装置の点火可能領域に混合気を運ぶことで燃料噴霧に対して点火を行う場合がある。このような一般的な点火形態では、燃料噴射弁からの噴射時期は、吸気弁の開弁時期や気筒内でのピストン位置等の影響を多分に受けることになる。これに対し、本発明に係る内燃機関の制御装置では、上記の通り燃料噴射弁と点火装置の相対位置が関係付けられているため、燃料噴射時期及び点火時期の制御の自由度が極めて高くなり、故に、後述するプレ燃焼手段及びメイン燃焼手段による各燃料噴射の制御が実現可能とされる。そして、好ましくは上記点火装置は、内燃機関の吸気弁の開弁時期やピストン位置に関係なく任意の時期に、燃料噴射弁からの通過噴霧に対して直接点火が可能とされる。

20

30

【0011】

ここで、プレ燃焼手段は、圧縮行程中の所定プレ噴射時期に行われるプレ噴射と、点火装置によるプレ噴霧への点火を制御することで、プレ噴射燃料の燃え残りを燃焼室内に生成させる。すなわち、プレ噴射燃料は、点火装置による点火で全て又はその多くが燃焼されてしまうものではなく、メイン噴射燃料と作用するためにメイン噴射時においてその一部が燃え残った状態で燃焼室内に残存した状態となる。したがって、プレ噴射が行われる所定プレ噴射時期は、単に圧縮行程中の噴射時期というのではなく、メイン燃焼手段による燃焼が可能となるように、メイン噴射との相関を踏まえて設定されることになる。

【0012】

そして、メイン燃焼手段は、プレ燃焼手段によって生成されたプレ噴射燃料の燃え残りがメイン噴射燃料に作用するようにメイン噴射を実行する。すなわち、プレ噴射燃料の燃え残りが生成される燃焼過程で生じると考えられる火炎を起点としてメイン噴射燃料が燃焼開始されるタイミングである、圧縮行程上死点前の所定噴射開始時期にメイン噴射が実行される。このようにメイン噴射がプレ噴射燃料の燃え残りとの相関を考慮して実行されることで、燃焼室内での一連の燃焼が実現される。また、上記のようにプレ噴射燃料の点火燃焼によって生じた火炎によりメイン噴射燃料が引火される程度に両噴射燃料の相関が制御されることになり、以てプレ噴射燃料の燃え残りは、メイン噴射燃料とともに高温高圧の場に晒されることになる。

40

【0013】

そして、本出願人は、このようにプレ噴射燃料の燃え残りやメイン噴射燃料を高温高圧

50

の場に晒すことで、プレ噴射燃料の燃え残りをメイン噴射燃料と同じように内燃機関の機関出力に寄与させることができ、内燃機関の熱効率を極めて高く発揮させることができることを見出した。すなわち、高温高圧であってプレ噴射燃料の燃え残りが存在している燃焼室内にメイン噴射燃料が噴射されることで、プレ噴射燃料の燃え残りとのメイン燃焼燃料とが重なり合っ燃料の自着火温度を局所的に超える部分が発生し、それにより自着火が生じるとともに、少なくともメイン噴射燃料の一部が拡散燃焼し効率的な燃焼が実現されると考えられる。また、プレ噴射とメイン噴射とは、両噴射燃料の間で上述した一連の燃焼が行われるように両噴射の相関が制御されることで、すなわち、メイン噴射が所定噴射開始時期に噴射開始されることで、安定した自着火の発生と拡散燃焼とを確保することができる。

10

【0014】

ここで、上記内燃機関の制御装置において、前記プレ燃焼手段は、前記プレ噴射燃料の増量に応じて該プレ噴射燃料の燃え残り量を増量させてもよい。内燃機関の機関負荷の増加等の理由でプレ噴射燃料が増量される場合には、プレ噴射燃料の燃え残りが増量されることにより、メイン燃料とともに自着火し又は拡散燃焼される燃え残り燃料量が増加されることになる。この結果、プレ噴射量を増加しても内燃機関の熱効率を好適な状態に維持することができる。

【0015】

そして、プレ噴射燃料の燃え残りの増量のための制御の一例として、前記プレ燃焼手段は、前記プレ噴射燃料が増量されるほど、前記プレ噴射の時期を進角させることで、該プレ噴射燃料の燃え残り量を増量させてもよい。プレ噴射時期を相対的に進角させると燃焼室内でプレ噴射燃料がより進行した時点で点火されることになるため、プレ噴射燃料の燃え残りが増えることになる。また、プレ噴射時期を進角させることで、進角させない場合と比べて燃焼室内圧力が低い状態でプレ噴射を実行することになるため、燃焼室内の空気（酸素）利用が好適に行われ、スモークの発生量を抑制することができる。

20

【0016】

また、プレ噴射燃料の燃え残りの増量のための制御の別の例として、前記プレ燃焼手段は、前記プレ噴射燃料が増量されるほど、前記プレ噴射時期と前記点火時期との間の点火インターバルを長くすることで、該プレ噴射燃料の燃え残りを増量させてもよい。このように点火インターバルを調整することでも、上記と同様に点火時期における、燃焼室内でのプレ噴射燃料の進行状態を変更することになるため、好適にプレ噴射燃料の燃え残り量を制御することが可能となる。

30

【0017】

ここで、上述までの内燃機関の制御装置において、前記内燃機関の機関負荷が所定第1負荷以上の場合には、前記プレ燃焼手段は、該機関負荷の増加に応じて前記プレ噴射燃料を増量するとともに、該プレ噴射の時期を進角してもよい。ここで言う所定第1負荷は、内燃機関の1サイクルにおいて燃焼に供される噴射燃料量が比較的多くなる機関負荷の状態をいう。この場合、プレ噴射とメイン噴射との間隔が一定だと、機関負荷の増加に伴って、メイン噴射時に燃焼室内にプレ噴射燃料の燃え残りの一部とメイン噴射燃料とが重なって存在する部分が多くなる。プレ噴射燃料の燃え残りとのメイン噴射燃料とが重なると局所的に空気利用が不十分な状況が生じ、その結果、スモークが発生しやすくなる。そこで、本発明では、上記のとおり機関負荷の増加に対応して、プレ噴射量を増量しその噴射時期を進角することで、増加された機関負荷への対応とスモーク抑制の両立を図ることができる。なお、本発明は、上記のとおりプレ燃焼手段によるプレ噴射とメイン燃焼手段によるメイン噴射とを関連付けていることから、プレ噴射燃料を増量してもその一部をメイン噴射燃料とともに燃焼させることになるため、内燃機関の熱効率を好適に維持することができる。

40

【0018】

また、上記の内燃機関の制御装置において、前記内燃機関の機関負荷が前記所定第1負荷より大きい所定第2負荷以上の場合には、前記メイン燃焼手段による前記メイン噴射燃

50

料の量が所定の上限量に維持されるように、前記プレ燃焼手段は、該機関負荷の増加に応じて前記プレ噴射燃料を増量するとともに、該プレ噴射の時期を進角してもよい。ここで言う所定第2負荷は、内燃機関の1サイクルにおいて燃焼に供される噴射燃料量が更になくなることに伴ってメイン噴射燃料が増量されてしまうと、メイン噴射燃料の気化潜熱の影響により自着火拡散燃焼が不安定となったり、メイン噴射によって形成される燃料噴霧に対してその周囲の空気(酸素)が不足することによりスモークの発生量が増加したりする懸念がある機関負荷の状態を言う。したがって、このように機関負荷がより高い第2負荷以上となった場合には、メイン噴射量は所定の上限量を越えないように該所定の上限量に維持されることでスモークの発生量を抑制する。そして、機関負荷の増加に対応した噴射燃料の増加は、プレ噴射量の増加及びプレ噴射時期の進角化で対応する。このように燃焼制御を行うことで、内燃機関の高負荷の広い範囲においてプレ燃焼手段及びメイン燃焼手段による燃焼制御を適用することができる。

10

【発明の効果】**【0019】**

本発明によれば、自着火温度が比較的高い燃料を使用する内燃機関において、安定したディーゼル燃焼の実現と、その熱効率の向上を両立することができる。

【図面の簡単な説明】**【0020】**

【図1】本発明の実施例が適用される内燃機関と、その吸気系及び排気系との概略構成を示す図である。

20

【図2】図1に示す内燃機関に搭載される点火装置による点火形態を説明するための図である。

【図3】本発明に係る内燃機関の制御装置によって実行される燃焼制御(以下、「本発明に係る燃焼制御」という)を説明するための図である。

【図4】本発明に係る燃焼制御による燃焼室内での熱発生率の推移を示す第1の図である。

【図5】図1に示す内燃機関において、本発明に係る燃焼制御のプレ噴射が行われた場合のプレ噴射量と該プレ噴射燃料の燃焼効率との相関を、プレ噴射時期に応じて測定した図である。

【図6】本発明に係る燃焼制御による燃焼室内での熱発生率の推移を示す第2の図である。

30

【図7】図1に示す内燃機関に本発明に係る燃焼制御が適用された場合の、機関負荷と熱効率との相関、および機関負荷と燃焼室内の空燃比との相関の一例を示す図である。

【図8】本発明に係る燃焼制御において、内燃機関の低負荷時におけるプレ噴射量と熱効率との相関を示す図である。

【図9】本発明に係る燃焼制御において、プレ噴射量を変更した場合の気筒内圧力と熱発生率の推移を示す図である。

【図10】本発明に係る燃焼制御において、プレ噴射とメイン噴射との間の噴射インターバルを変更した場合の熱効率の推移を示す図である。

【図11】図1に示す内燃機関に本発明に係る燃焼制御が適用された場合において、プレ噴射燃料の増量とプレ噴射時期の進角化による、スモーク発生量の変化と熱効率の変化を示す図である。

40

【図12】図1に示す内燃機関に本発明に係る燃焼制御が適用された場合において、プレ噴射量に応じて測定されたスモーク発生量と熱効率との相関を示す図である。

【図13】図1に示す内燃機関において適用される本発明に係る燃焼制御のフローチャートである。

【図14】図1に示す内燃機関において適用されるプレ噴射とその点火、およびメイン噴射に関する制御マップを示す第1の図である。

【図15】図1に示す内燃機関において適用されるプレ噴射とその点火、およびメイン噴射に関する制御マップを示す第2の図である。

50

【発明を実施するための形態】**【0021】**

以下、本発明の具体的な実施形態について図面に基づいて説明する。本実施例に記載されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対配置等は、特に記載がない限りは発明の技術的範囲をそれらのみに限定する趣旨のものではない。

【実施例1】**【0022】**

図1は、本発明を適用する内燃機関およびその吸排気系の概略構成を示す図である。図1に示す内燃機関1は、複数の気筒を備えた4ストローク・サイクルの火花点火式内燃機関（ガソリンエンジン）である。なお、図1では、複数の気筒のうち1気筒のみが示されている。

10

【0023】

内燃機関1の各気筒2には、ピストン3が摺動自在に内装されている。ピストン3は、コネクティングロッド4を介して図示しない出力軸（クランクシャフト）と連結されている。また、気筒2の内部は、吸気ポート7及び排気ポート8と連通している。気筒2内における吸気ポート7の開口端は、吸気弁9により開閉される。気筒2内における排気ポート8の開口端は、排気弁10により開閉される。吸気弁9と排気弁10は、図示しない吸気カムと排気カムとにより各々開閉駆動される。

【0024】

更に、各気筒2には、筒内に燃料を噴射するための燃料噴射弁6が、気筒2内に形成される燃焼室の中央頂部に配置されるとともに、燃料噴射弁6から噴射された燃料に対して点火可能な点火プラグ5が内燃機関1のシリンダヘッド側に配置されている。具体的には、燃料噴射弁6は、図2に示すように概ね放射状に16方向に燃料を噴射可能となるように噴孔6aを有している。そして、点火プラグ5の点火可能領域である電極間の領域5aに対して、噴孔6aから噴射された燃料噴霧の少なくとも一つが通過するように、且つ、その通過した噴霧に対して領域5aに流れた電極間電流によって直接点火できるように、燃料噴射弁6に対する点火プラグ5の相対位置、特に燃料噴射弁6に対する領域5aの相対位置が決定されている。なお、点火プラグ5は、更に吸気弁9および排気弁10の動作に干渉しないように、2つの吸気弁9の間に位置している。

20

【0025】

このように構成された点火プラグ5と燃料噴射弁6は、スプレーガイド燃焼を実現可能とする。すなわち、燃料噴射弁6からの噴射燃料に対して直接点火できるように配置される点火プラグ5と、該燃料噴射弁6は、内燃機関1の吸気弁9の開弁時期やピストン3の位置にかかわらず任意の時期に、領域5aを通過する噴射燃料に対する点火を可能とする。一方で、燃料噴射弁からの噴射燃料を、吸気弁の開弁により燃焼室内に流れ込んだ空気流に乗せて点火プラグ近傍に運んで点火するエアガイド燃焼や、ピストンの頂部に形成されたキャピティの形状を利用して点火プラグ近傍に噴射燃料を運んで点火するウォールガイド燃焼では、吸気弁の開弁時期やピストン位置が所定の状態とならなければ燃料噴射や点火を行うことが困難となる。そのため、本実施例に係るスプレーガイド燃焼は、これらのエアガイド燃焼やウォールガイド燃焼と比べて、非常に自由度の高い燃料噴射及び点火

30

40

【0026】

ここで図1に戻ると、吸気ポート7は、吸気通路70と連通している。吸気通路70には、スロットル弁71が配置されている。スロットル弁71より上流の吸気通路70には、エアフローメータ72が配置されている。一方で、排気ポート8は、排気通路80と連通している。排気通路80には、内燃機関1から排出される排気を浄化するための排気浄化触媒81が配置されている。後述するように、内燃機関1から排出される排気は、ストイキ空燃比よりもリーン側の空燃比であるため、そのようなリーン空燃比の排気中のNOx浄化が可能な選択還元型のNOx触媒や排気中の粒子状物質（PM）を捕集可能なフィルタを、排気浄化触媒81として採用することができる。

50

【0027】

そして、内燃機関1には電子制御ユニット(ECU) 20が併設されており、該 ECU 20は内燃機関1の運転状態や排気浄化装置等を制御するユニットである。 ECU 20には、上述したエアフローメータ72や、クランクポジションセンサ21及びアクセルポジションセンサ22が電氣的に接続され、各センサの検出値が ECU 20に渡される。したがって、 ECU 20は、エアフローメータ72の検出値に基づく吸入空気量や、クランクポジションセンサ21の検出に基づく機関回転数や、アクセルポジションセンサ22の検出に基づく機関負荷等の内燃機関1の運転状態を把握可能である。また、 ECU 20には、燃料噴射弁6、点火プラグ5、スロットルバルブ71等が電氣的に接続され、これらの各要素が ECU 20によって制御される。

10

【0028】

< 燃焼制御 >

このように構成される内燃機関1において実行される燃焼制御について、図3に基づいて説明する。図3(a)には、図の左側から右側に進む時系列において、内燃機関1で行われる燃焼制御に関する燃料噴射及び点火の流れ(図3(a)の上段を参照)と、その燃料噴射及び点火により燃焼室で生じると想定される燃焼に関する事象の変遷(図3(a)の下段を参照)を模式的に示したものである。また、図3(b)には、図3(a)に示す燃料噴射であるプレ噴射とメイン噴射、および点火の時間的相関が示されている。なお、図3に示す形態は、あくまでも本発明に係る燃焼制御を説明するために模式的に示したものであり、本発明をこの形態に限定して解釈すべきではない。

20

【0029】

本発明に係る燃焼制御では、1サイクルにおいて、圧縮行程の所定期間に燃料噴射弁6から行われる燃料噴射であるプレ噴射と、プレ噴射の後であって圧縮行程上死点(TDC)前の時期に同じく燃料噴射弁6から行われる燃料噴射であるメイン噴射が実行される。そして、図3(b)に示すように、プレ噴射の噴射開始時期(以下、単に「プレ噴射時期」という)を T_p とし、メイン噴射の噴射開始時期(以下、単に「メイン噴射時期」という)を T_m とする。また、プレ噴射とメイン噴射との間隔($T_m - T_p$)を噴射インターバル D_i と定義する。また、プレ噴射による燃焼は上述したスプレーガイド燃焼として実行されるものであり、プレ噴射された燃料(以下、「プレ噴射燃料」という)に対して点火プラグ5による点火が行われる。この点火時期を、図3(b)に示すように T_s とし、プレ噴射が開始されてから点火が行われるまでの間隔($T_s - T_p$)を点火インターバル D_s と定義する。

30

【0030】

次に、本発明に係る燃焼制御の流れについて説明する。

(1) プレ噴射

先ず、圧縮行程の所定期間にプレ噴射が行われる。なお、プレ噴射時期 T_p は、後述するメイン噴射との相関に基づいて決定される。プレ噴射が開始されることで、図2に示すように、燃料噴射弁6から噴射された燃料は、燃焼室内において点火プラグ5の点火可能領域5aを通過する。このようにプレ噴射が開始された直後においては、プレ噴射燃料は燃焼室内に広く拡散はせずに、噴射の貫徹力によりその噴霧先端において周囲の空気を巻き込みながら燃焼室内を進んでいく。そのため、プレ噴射燃料は、燃焼室内で成層された混合気を形成することになる。

40

【0031】

(2) プレ噴射燃料への点火

そして、そのように成層されたプレ噴射燃料に対して、プレ噴射開始から点火インターバルが D_s となる時期 T_s で、点火プラグ5による点火が行われる。上記の通り、プレ噴射燃料は成層化されているため局所的な空燃比は、当該点火による燃焼が可能な状態となっている。ここで、ピストン3の圧縮作用に加えて、点火されたプレ噴射燃料においてその燃焼が進行することで、燃焼室内の更なる温度上昇が得られることになる。その一方で、本発明では、プレ噴射燃料の一部は点火プラグ5の点火による燃焼には供されずに「燃

50

え残り燃料」として燃焼室内に存在することになる。ここで、当該燃え残り燃料は、燃焼室内で一部のプレ噴射燃料の燃焼による高温雰囲気によって晒されているため、該燃え残り燃料の少なくとも一部は燃焼には至らない状況下での低温酸化反応により燃焼性が高められた物性に改質された状態となっていることが期待される。ただし、本発明における燃え残り燃料は、プレ噴射燃料の一部が点火プラグ5の点火による燃焼に供されずに残った状態にある燃料を指すものであり、その燃え残った燃料が特定の物性を示す状態になっていることが必ずしも要求されるものではない。

【0032】

(3) メイン噴射

次に、プレ噴射開始から噴射インターバルが D_i となる時期 T_m に、換言すれば、点火プラグ5による点火時期 T_s から $D_i - D_s$ の時間が経過した圧縮行程上死点前の時期 T_m に、燃料噴射弁6からメイン噴射が実行される。なお、内燃機関1においては、後述するようにメイン噴射燃料は拡散燃焼に供され、機関出力の大部分に寄与することになる。そこで、メイン噴射の噴射開始時期 T_m は、機関負荷等によって決定される量のメイン噴射燃料によって機関出力が概ね最大となる時期（以下、「適正噴射時期」という）とされる。そして、時期 T_m に噴射開始されたメイン噴射燃料は、燃焼されたプレ噴射燃料による火炎から引火されて燃焼室内の温度が更に上昇する。更に、プレ噴射燃料の燃え残りとメイン噴射燃料がその温度上昇場において自着火するとともに拡散燃焼に供されることになる。上記のとおり、燃え残り燃料が燃焼性が高められている場合には、メイン噴射燃料に関する燃焼がより円滑に進むことが期待される。

【0033】

このように、本発明に係る燃焼制御では、プレ噴射とメイン噴射との間には、点火プラグ5による点火を挟んで上述の一連の燃焼が行われることになる。そこで、プレ燃焼は、適正噴射時期に行われるメイン噴射に対して当該一連の燃焼が可能となるように、プレ噴射の噴射時期 T_p 、すなわち噴射インターバル D_i の設定が行われる。なお、本明細書において、このようにプレ噴射燃料による火炎を起点としたメイン噴射燃料の燃焼開始、およびプレ噴射燃料の燃え残りとメイン噴射燃料とにおける自着火と拡散燃焼を生じさせる両噴射の相関を、「プレメイン相関」と称する。したがって、本発明に係る燃焼制御では、プレ噴射とプレ噴射燃料に対する点火とに対してプレメイン相関を有するメイン噴射が行われることになる。

【0034】

ここで、図4に本発明に係る燃焼制御が行われたときの燃焼室での熱発生率の推移を示す。なお、図4においては、内燃機関1の機関回転速度が2000rpmであるときの、4つの異なる制御形態(L1~L4)に対応する熱発生率の推移が示されているが、各制御形態においてプレ噴射時期 T_p 、プレ噴射量、メイン噴射時期 T_m 、点火時期 T_s は同一であるが、メイン噴射量が制御形態ごとに変更されている（すなわち、メイン噴射量は、L1、L2、L3、L4の順に増量されている）。したがって、各制御形態におけるプレメイン相関は同一であり、よって同一のプレメイン相関を条件としたときのメイン噴射量の増減に応じた熱発生率推移の変動が、図4に示されていることになる。

【0035】

ここで、図4中、点線で囲まれたZ1の部分で、熱発生率の一次ピークが表れている。これは、プレ噴射燃料が点火され燃焼することで発生した熱によるものである。そして、部分Z1では、まだメイン噴射は行われておらず、燃焼室内にはプレ噴射燃料による火炎と、燃焼していないプレ噴射燃料である燃え残り燃料が存在していることになる。ここで、図5に基づいてプレ噴射燃料の燃え残りについて説明する。図5は、図4に示す燃焼制御でのプレ噴射を想定し、そのプレ噴射量と、プレ噴射燃料の燃焼効率との相関を、3つの燃焼条件(L5~L7)ごとに示した図である。具体的には、L5、L6、L7の順で、燃焼条件であるプレ噴射時期 T_p と点火時期 T_s が、両時期の間隔である点火インターバル D_s が一定の状態に進角されていく。なお、図5においては、メイン噴射は行われておらず、プレ噴射及び点火のみが行われた場合の上記相関が示されている。

【 0 0 3 6 】

プレ噴射燃料の燃焼効率 η は、プレ噴射燃料の燃え残り率 α と以下の式 1 に示す関連性を有するものであり、燃焼効率が高くなるほど燃え残り率は低くなる関係にある。

$$\eta = 1 - \alpha \quad \text{--- (式 1)}$$

そこで、図 5 を見ると、プレ噴射量が一定の場合に、プレ噴射時期 T_p と点火時期 T_s を進角させると、プレ噴射燃料の燃焼効率は下がり、故に燃え残り率は高くなる傾向が見出せる。また、プレ噴射量と、プレ噴射時期 T_p 及び点火時期 T_s の進角量とを調整することで、プレ噴射燃料の燃焼効率、すなわち燃え残り率を一定に制御することもできる。このように本発明に係る燃焼制御では、プレ噴射量、プレ噴射時期 T_p 、点火時期 T_s を制御することで、プレメイン相関を形成する要素の一つであるプレ噴射燃料の燃え残り率を制御することができる。

10

【 0 0 3 7 】

ここで、また、図 4 に戻ると、部分 Z 1 の後であって圧縮行程上死点前の時期 T_m においてメイン噴射が実行される。このとき、メイン噴射燃料は、プレ噴射燃料による火炎によって引火されるとともに、プレ噴射燃料の燃え残りとともに自着火し拡散燃焼に供されることになる。この結果、圧縮行程上死点を過ぎた時期に熱発生率の最大ピーク（第 2 のピーク）が発生することになる。ここで、メイン噴射量が増加するにしたがって、熱発生率の第 2 のピークの最大値が大きくなるとともに、そのピーク時期が遅角化される。このことは、メイン噴射量の増加に従ってメイン噴射燃料の燃焼期間が伸びていることを意味するから、メイン噴射燃料とプレ噴射燃料の燃え残りは、拡散燃焼もしくは実質的に拡散燃焼に同一視できる燃焼に供されているものと推察される。

20

【 0 0 3 8 】

更に、図 6 に基づいて、本発明に係る燃焼制御において発生する自着火について説明する。図 6 は当該燃焼制御において、1 サイクルにおける合計噴射量（プレ噴射量とメイン噴射量との合計）が一定の場合に、プレ噴射量とメイン噴射量との比率を調整した 2 つの形態（L 9、L 10）それぞれの、燃焼室内での熱発生比率の推移を示す。なお、図 6 においては、内燃機関 1 の機関回転速度が 2000 rpm とされる。また、L 10 の形態の方が L 9 の形態に比べてプレ噴射量の比率が高くなっている。すなわち、L 10 の形態の方が L 9 の形態に比べて、プレ噴射量が多く且つプレ噴射燃料の燃え残り量も多くなっており、一方でメイン噴射量は少なくなっている。ここで、図 6 から理解できるように、L 10 の形態では、L 9 の形態に比べて、圧縮行程上死点後の熱発生率のピーク値（上記第 2 のピーク値）が大きくなっている。さらに、L 10 の形態では、L 9 の形態に比べて、熱発生率の当該ピーク値からの立ち下り速度（グラフの傾き）が大きくなっている。これらは、メイン噴射開始後のメイン噴射燃料とプレ噴射燃料の燃え残りの燃焼において、L 10 の形態では、L 9 の形態に比べて、自着火による燃焼がより促進されている（自着火によって燃焼する燃料の割合が高くなり、拡散燃焼によって燃焼する燃料の割合が低くなっている）ことを意味するものと推察される。つまり、プレ噴射燃料の燃え残りがメイン噴射後の自着火の促進に寄与していると考えられる。また、プレ噴射量以外にもプレ噴射時期 T_p や点火時期 T_s を制御することで本発明に係る燃焼制御が行われている際に自着火が促進されていることを、本出願人は確認した。以上より、本発明に係る燃焼制御においては、プレ噴射や点火に関する条件を制御することで、メイン噴射燃料とプレ噴射燃料の燃え残りとの燃焼において、自着火を促進させることが可能である。

30

40

【 0 0 3 9 】

このように本発明に係る燃焼制御では、プレ噴射とメイン噴射との間に、点火プラグ 5 による点火を挟んで上述の一連の燃焼が行われることで、図 7 に示すように従来技術では実現され得ない熱効率を達成することができる。図 7 は、内燃機関 1 の機関回転速度が 2000 rpm の場合の、機関負荷と熱効率との相関（上段（a））と、機関負荷と混合気空燃比との相関（上段（b））とを示している。そして、図 7（a）、（b）のそれぞれにおいて、線 L 11、L 13 が本発明に係る燃焼制御に対応し、線 L 12、L 14 がガソリンエンジンでの従来燃焼制御である均質ストイキ制御に対応する。この均質ストイキ

50

制御は、燃焼室内の混合気空燃比が均質にストイキ近傍の空燃比となるように制御される燃焼制御である。

【0040】

図7からも理解できるように、本発明に係る燃焼制御では、プレ噴射と点火プラグ5での点火によるスプレーガイド燃焼ののちに自着火拡散燃焼を生じさせるメイン噴射が行われるため、当該制御による燃焼はいわゆるディーゼル燃焼に類似し、又は実質的に同一視できると考えられる。そのため、燃焼室内の混合気空燃比を極めてリーン空燃比とすることができる(図7(b)の線L13に示す例では、空燃比が40~70程度である。)。そして、本発明に係る燃焼制御ではこのようにリーン空燃比での燃焼を実現するため、従来のガソリンエンジンでの均質ストイキ制御に比べてスロットル弁71の開度を大きくする
10

【0041】

<本発明に係る燃焼制御の詳細な説明>

上述のとおり、本発明に係る燃焼制御は、プレ噴射とプレ噴射燃料に対する点火、およびプレ噴射に対してプレメイン相関を有するメイン噴射を行うことで、図7に示すように従来技術では奏し得ない効果を発揮するものである。そこで、当該燃焼制御に関する3つの技術要素、すなわち(1)プレ噴射量、(2)噴射インターバル、(3)プレ噴射時期
20

【0042】

(1)プレ噴射量

本発明に係る燃焼制御では、図3に示すようにプレ噴射は圧縮行程中の時期 T_p に行われる。そのため、プレ噴射燃料が点火プラグ5による点火によって燃焼すると内燃機関1の機関出力を妨げるように作用する。しかしながら、本発明に係る燃焼制御では、点火による燃焼に供される燃料はプレ噴射燃料の一部であるため、機関出力を妨げるような作用は小さい。そして、点火による燃焼には供されないプレ噴射燃料の燃え残りはメイン噴射後においてメイン噴射燃料とともに自着火拡散燃焼に供されるため機関出力に貢献することになる。また、上記のとおり適正噴射時期に行われるメイン噴射は、内燃機関1の機関出力への影響は大きい
30

【0043】

(1-1)低負荷時

内燃機関1の機関負荷が比較的低い低負荷時においては、プレ噴射量とメイン噴射量との合計である合計噴射量も総じて少ない状態にある。ここで、このような低負荷時におけるプレ噴射量と内燃機関1の熱効率との相関が図8に示されており、この図8に示す例では、合計噴射量を一定とした上でプレ噴射量を推移した場合の当該相関が示されている。低負荷時においてプレ噴射量が少なくなると、例えば図8中の M_{p1} を下回るプレ噴射量となると、プレ噴射燃料が点火され燃焼することで生じる熱量が少なくなるため、メイン噴射燃料及びプレ噴射燃料の燃え残りでの自着火の発生及び拡散燃焼を安定に行うことが
40

難しくなる。そのため、プレ噴射量が M_{p1} より少なくなると、内燃機関1での熱効率が徐々に低下し、いずれメイン噴射燃料を着火させることができない失火状態に至ると考えられる。このように燃焼が不安定となるプレ噴射量の領域(M_{p1} より少ない領域)を、
50

図 8 では燃焼不安定領域 R 1 と表している。したがって、低負荷時において安定した燃焼を実現するためには、プレ噴射量を M p 1 より少なくするのは好ましくない。

【 0 0 4 4 】

また、低負荷時において、プレ噴射量が多くなると、例えば図 8 中の M p 2 を上回るプレ噴射量となると、点火プラグ 5 での点火による燃焼が促進され易くなるためプレ噴射燃料における燃え残り率が低下する。すなわち、機関出力に寄与するメイン噴射後の燃焼に供される燃え残り量の割合が低下する。また、プレ噴射量が増加した分、メイン噴射量が減少することになる。従って、増加されたプレ噴射量の燃え残りによる出力寄与を考慮しても、メイン噴射燃料の減少に起因した機関出力の低下が顕著となる。このような機関出力低下により熱効率も低下してしまうプレ噴射量の領域 (M p 2 より多い領域) を、図 8

10

20

30

40

50

【 0 0 4 5 】

ここで、図 9 に、内燃機関 1 が低負荷時にある場合の合計噴射量を一定とした場合に、プレ噴射量を異ならせた 3 つの形態に対応させた、燃焼室内の圧力の推移 (L 1 5 ~ L 1 7) と、燃焼室での熱発生率の推移 (L 1 8 ~ L 2 0) とを示している。具体的には、圧力推移については、L 1 5、L 1 6、L 1 7 の順でプレ噴射量が増加し、熱発生率推移については、L 1 8、L 1 9、L 2 0 の順でプレ噴射量が増加するとともに、L 1 5 と L 1 8、L 1 6 と L 1 9、L 1 7 と L 2 0 は、それぞれプレ噴射量は同じである。図 9 に示すように、プレ噴射量が少ないとその燃焼による発熱量が少ないため、燃焼室内の圧力の立ち上がりが遅くなり (L 1 5 を参照)、メイン噴射燃料に対応した熱発生も遅くなる (L 1 8 を参照)。この点から、燃焼が不安定となっていることが理解できる。一方で、プレ噴射量が多いとメイン噴射量が少なくなり機関出力が低下するため、燃焼室内の圧力も十分に上昇せず (L 1 7 を参照)、メイン噴射燃料に対応した熱発生も小さくなる (L 2 0 を参照)。

【 0 0 4 6 】

以上より、内燃機関 1 の低負荷時には、プレ噴射量は、下限が M p 1 で定義され上限が M p 2 で定義される範囲 R p 内の量 (例えば、図 9 に示す L 1 6、L 1 9 に対応するプレ噴射量) にてプレ噴射を実行するのが好ましい。なお、図 8 に示すように、範囲 R p 内において内燃機関 1 での熱効率に大きな変動がない場合には、範囲 R p 内に属する一のプレ噴射量の値を、低負荷時におけるプレ噴射量、すなわち最小プレ噴射量として代表的に用いてもよい。この場合、低負荷時において内燃機関 1 の機関負荷が増加していく場合には、プレ噴射量は上記代表値に固定したまま、メイン噴射量を増量していくことで、内燃機関 1 での熱効率を高く維持することができる。

【 0 0 4 7 】

(1 - 2) 高負荷時

内燃機関 1 の機関負荷が比較的高い高負荷時においては、その要求された機関負荷に対応するべくメイン噴射量も増量されていく。しかし、圧縮行程上死点前の適正噴射時期に実行されるメイン噴射において多量の燃料が噴射されると、その燃料の気化潜熱による影響が顕著となる。例えば、図 4 に示した部分 Z 2 を見ると、メイン噴射量が増加するほどその気化潜熱の影響により、メイン噴射時の熱発生率の立ち上がりが遅くなっているのが理解できる。このように気化潜熱が大きくなると燃焼室内の温度上昇の鈍化が顕著となり、その結果、プレ噴射燃料の燃え残りやメイン噴射燃料の自着火拡散燃焼が不安定となる虞がある。さらに、メイン噴射量が多量となると、メイン噴射によって形成される燃料噴霧に対してその周囲の空気 (酸素) が不足することによりスモークの発生量が増加する虞もある。そのため、高負荷時においてはメイン噴射量には上限を設定し、自着火拡散燃焼を安定化させるとともにスモークの発生量を抑制するのが好ましい。このとき、機関負荷の増加に対応するためには、メイン噴射燃料をその上限値に維持した状態で、プレ噴射燃料の増量を図る。上記のとおり、本発明に係る燃焼制御においては、プレ噴射とメイン噴射との間にはプレメイン相関を見出すことができ、プレ噴射燃料の燃え残りは機関出力

に寄与する。そこで、高負荷時においてメイン噴射量を増量できない場合であっても、プレ噴射燃料を増量するとともにその燃え残り量を増量させることで、機関負荷の増加要求に対応することが可能となる。

【0048】

なお、内燃機関1の機関負荷とプレ噴射燃料との相関の詳細については、後述する。

【0049】

(2) 噴射インターバル

本発明に係る燃焼制御では、図3に示すようにプレ噴射は圧縮行程中の時期 T_p に行われ、メイン噴射は圧縮行程上死点前の時期 T_m に行われる。そして、この間隔($T_m - T_p$)が、噴射インターバル D_i と定義される。本発明に係る燃焼制御では、プレ噴射燃料の燃焼による火炎とその燃え残り燃料とに対してメイン噴射が実行されることにより、燃え残り燃料とメイン噴射燃料での自着火の発生及び拡散燃焼が導き出される。したがって、メイン噴射時の、プレ噴射燃料の燃焼による火炎とその燃え残り燃料の状態を決定することになる噴射インターバルは、プレメイン相関を形作る要素の一つと考えられる。なお、本実施例では、噴射インターバルは、クランク角度で表すものとする。

【0050】

ここで、噴射インターバル D_i と内燃機関1の熱効率との相関が図10に示されており、この図10に示す例では、プレ噴射量とメイン噴射量、及び点火インターバル D_s を一定とした上で噴射インターバル D_i を変更した場合の当該相関が示されている。本発明に係る燃焼制御では、1つの燃料噴射弁6を利用して、プレ噴射に続いてメイン噴射が実行されることになる。燃料噴射弁6は、一般的にはその内部において噴射ニードルがリフトされることで噴孔から燃料が噴射される構成を有している。そのため、噴射ニードルの往復動に要する時間等、燃料噴射弁6の機械的な構造に起因して、採用し得る噴射インターバルの最小値 D_{i1} が存在することになる。このように燃料噴射弁6の機械的な要因により実現が困難である噴射インターバルの領域(D_{i1} より短い領域)を、図10では機械限界領域 R_3 と表している。なお、プレ噴射燃料量によって熱効率低下領域 R_4 の下限値(図10に示す D_{i2})は変化する。つまり、プレ噴射燃料量が増加すると、プレ噴射燃料への点火による燃焼がより長い期間継続されることとなるため、噴射インターバル D_i をより長くしてもメイン噴射燃料を燃焼させることが可能となる。

【0051】

また、噴射インターバル D_i を長くしていくと、プレ噴射燃料の点火による燃焼過程のより終端側の時期にメイン噴射が実行されることになる。この終端側の時期では、プレ噴射燃料の燃焼が収束しようとしている状態にあるため、プレ噴射燃料による火炎を起点としたメイン噴射燃料の燃焼が立ち上がりにくい状況にある。そして、噴射インターバル D_i が更に長くなると、メイン噴射燃料を燃焼させることができず失火が生じてしまう可能性がある。そこで、噴射インターバル D_i が長くなりすぎると(例えば、図10に示す D_{i2} より長い領域)、本願発明に係る燃焼制御が好適に実行されず内燃機関1の熱効率が低下していくことになる。そこで、このような熱効率の低下が顕著となる噴射インターバル D_i の領域を、図10では熱効率低下領域 R_4 と表している。

【0052】

以上より、噴射インターバル D_i については、下限が D_{i1} で定義され上限が D_{i2} で定義される範囲 R_d 内において、内燃機関1の熱効率がピーク値を示す噴射インターバル D_{i0} を利用するのが好ましい。なお、内燃機関1の機関負荷と噴射インターバル D_i との相関の詳細については、後述する。

【0053】

(3) プレ噴射時期 T_p

本発明に係る燃焼制御では、メイン噴射は、プレ噴射及び該プレ噴射燃料への点火が行われた後に実行される。ここで、メイン噴射燃料は、プレ噴射燃料の燃焼による火炎を起点として燃焼が開始され、プレ噴射燃料の燃え残りとともに自着火し拡散燃焼するが、このメイン噴射燃料の燃焼初期においては、プレ噴射燃料による火炎やその燃え残りが燃焼

10

20

30

40

50

室内に偏在しているため、メイン噴射燃料と燃焼室内の空気との混合が十分に促進されにくく、スモークが発生しやすい状況にある。特に、メイン噴射量が多い場合には、スモークが発生しやすくなる。また、スモークの増加は、噴射燃料の効率的な燃焼阻害を意味していることから、スモークの増加に伴い内燃機関 1 の熱効率は低下していく傾向にある。一方で、メイン噴射は内燃機関 1 の熱効率向上の観点から、圧縮行程上死点前の適正噴射時期に行われるのが好ましい。そこで、スモーク抑制の観点から、メイン噴射燃料に対する、プレ噴射燃料の燃え残りとの相互作用を調整するために、プレ噴射時期 T_p を制御することが好ましい。このようにプレ噴射時期 T_p もプレメイン相関を形作る要素の一つと考えられる。

【0054】

ここで、図 11 に、プレ噴射量とメイン噴射量の合計噴射量を同一としたときに、プレ噴射量とメイン噴射量の分配を変えた 3 つの形態 1 ~ 3 (図 11 (a) を参照) において、メイン噴射時期 T_m を圧縮上死点前の所定期間に固定し、プレ噴射時期 T_p を変動させた場合の、スモーク発生量とプレ噴射時期 T_p との相関 (図 11 (b) を参照) と、熱効率とプレ噴射時期 T_p との相関 (図 11 (c) を参照) が示されている。なお、各形態において、点火時期は、点火インターバル D_s (すなわち、プレ噴射時期 T_p から点火時期 T_s までの時間) が全て同一に設定されている。また、各形態 1 ~ 3 におけるプレ噴射量とメイン噴射量との分配は以下のとおりである。

形態 1 : プレ噴射量 = X_1 メイン噴射量 = Y_1

形態 2 : プレ噴射量 = X_2 メイン噴射量 = Y_2

形態 3 : プレ噴射量 = X_3 メイン噴射量 = Y_3

但し、 $X_1 > X_2 > X_3$ 、且つ、 $Y_1 < Y_2 < Y_3$ 、且つ、 $X_1 = Y_1$

【0055】

図 11 (b) において、形態 1 に対応するスモーク変動は L 24 で表され、形態 2 に対応するスモーク変動は L 25 で表され、形態 3 に対応するスモーク変動は L 26 で表される。また、図 11 (c) において、形態 1 に対応する熱効率変動は L 27 で表され、形態 2 に対応する熱効率変動は L 28 で表され、形態 3 に対応する熱効率変動は L 29 で表される。なお、形態 1 に対応するスモーク及び熱効率の測定点は丸で表され、形態 2 に対応するスモーク及び熱効率の測定点は三角で表され、形態 3 に対応するスモーク及び熱効率の測定点は菱形で表される。そして、各形態での、熱効率の変動において最高熱効率を示すクランク角 (プレ噴射時期 T_p) に対応するスモーク及び熱効率の測定点は、黒塗りの丸、三角、菱形で表されている。

【0056】

ここで、上記黒塗りされた測定点に注目し形態 3 から形態 2、形態 1 への変遷を想定する。プレ噴射量を増量するとともにそのプレ噴射時期 T_p を進角させると、スモーク発生量を低減又は維持させながら (図 11 (b) を参照)、内燃機関 1 の熱効率を概ね最高の状態に維持することができる。すなわち、プレ噴射量が増量されると、その背反としてメイン噴射量が減少することになる。しかしながら、プレ噴射時期 T_p を進角することで、プレ噴射燃料の燃え残り分を増加させることができる。そして、より多くの燃え残り燃料をメイン噴射燃料とともに自着火拡散燃焼に供させることで、メイン噴射量の減少に起因する出力低下を補うことが可能となる。そのため、内燃機関 1 の熱効率を良好に維持することができる。また、プレ噴射量が増加されても、プレ噴射時期 T_p を進角させることでスモークの発生量を抑制することが可能となる。これは、プレ噴射時期 T_p を進角させることで、燃焼室内の圧力がより低い時点でプレ噴射を行うことになるため、プレ噴射燃料の貫通力が相対的に上昇し、燃焼室内の空気 (酸素) を効率的に利用したプレ噴射燃料の燃焼が行われているからと考えられる。このようにプレ噴射燃料と空気との混合が効率的に行われることで、プレ噴射量を増量してもその燃え残りが燃焼室内に偏在する程度を緩和でき、スモークの発生量を抑制できる。さらに、プレ噴射時期 T_p を進角させることで噴射インターバルが長くなるため、プレ噴射燃料の燃え残りとの相互作用が重なることも抑制することができる。そのため、プレ噴射燃料の燃え残りとの相互作用が重

10

20

30

40

50

なりによって局所的に空気利用が不十分な状況が生じることでスモークが発生することも抑制することができる。

【0057】

なお、図11(c)において、例えば、プレ噴射時期 T_p を形態3において最高熱効率となる時期 T_a に固定して、形態1~3のそれぞれに沿ったプレ噴射を行ったと想定した場合、プレ噴射量の増加とともに、スモークの発生量は増加し、また、内燃機関1の熱効率は低下していくことが理解できる。この点からも、上述したプレ噴射燃料の増加とともにその噴射時期を進角させるプレ噴射に関する制御は、スモーク抑制及び熱効率向上の観点から極めて有用な制御であることが理解できる。もちろん、このプレ噴射の進角は、プレメイン相関が成立する範囲で進角させる必要があり、いたずらにプレ噴射時期 T_p を進角させると、メイン噴射燃料を良好に燃焼させることが難しくなることは言うまでもない。

10

【0058】

ここで、図11(b)、(c)に示された各形態1~3における測定点を、横軸をスモークの発生量と縦軸を内燃機関1の熱効率としたグラフ上にプロットし直すと、スモーク発生量と熱効率の相関を図12のように表すことができる。図12に示す点線R5で囲まれた測定点は、スモークの発生量が低く、且つ内燃機関1の熱効率が高い領域であり、当該領域R5には、各形態の最高熱効率に対応した測定点が含まれている。このことから、本発明に係る燃焼制御によれば、内燃機関1の熱効率を維持したまま、スモークの発生量を抑制することが可能であることが十分に理解できる。

20

【0059】

< 燃焼制御フロー >

ここで、内燃機関1での本発明に係る燃焼制御に関する具体的な処理の流れを、図13に例示する。図13に示す燃焼制御は、内燃機関1が稼働している間、ECU20に格納された制御プログラムが実行されることで、繰り返し行われている。また、当該燃焼制御がその処理において使用する制御マップの一例を図14に示している。図14の上段(a)では、内燃機関1の機関負荷とプレ噴射量の相関を線L30で示し、該機関負荷とメイン噴射量との相関を線L31で示し、該機関負荷と該機関負荷に対応した燃料噴射量である負荷対応噴射量との相関を線L32で示している。更に、図14(a)では、機関負荷に応じたプレ噴射燃料の燃え残り量をM1で示している。また、図14の下段(b)では、内燃機関1の機関負荷とプレ噴射時期 T_p の相関を線L33で示し、該機関負荷と点火時期 T_s との相関を線L34で示し、該機関負荷とメイン噴射時期 T_m との相関を線L35で示している。なお、図14(b)の縦軸は噴射時期を表すが、その値が大きくなるほど圧縮行程上死点より進角される量大きいことを意味する。

30

【0060】

まず、S101では、アクセルポジションセンサ22の検出値に基づいて、内燃機関1の機関負荷が算出される。また、別法として、吸気通路70を流れる空気流量、すなわちエアフローメータ72の検出値や、吸気通路70内の吸気圧力に基づいて、内燃機関1の機関負荷を算出することもできる。そして、その後、S102で、S101で算出された機関負荷に基づいて、負荷対応噴射量S0が決定される。具体的には、図14(a)で線L32に示す制御マップを利用して、機関負荷に応じた負荷対応噴射量S0が算出されることになる。なお、本実施例では、線L32で示すように、機関負荷が増加するに従い負荷対応噴射量S0が大きくなるように、両者の相関が制御マップ上に記録されている。S102が終了すると、S103へ進む。

40

【0061】

S103では、図14(b)で線L35に示す制御マップを利用して、メイン噴射時期 T_m が決定される。上述したように、内燃機関1の熱効率を向上させるために、メイン噴射時期 T_m は、圧縮行程上死点前の適正噴射時期に設定される。なお、この内燃機関1における適正噴射時期は、事前の実験により機関負荷ごとに測定され、その測定結果に基づいて線L35による制御マップが形成される。メイン噴射時期 T_m の一例としては、機関

50

負荷が大きくなるに従い徐々に進角されるが、高負荷領域 R 8（後述する負荷対応噴射量 S 0 が S 2 以上となる領域）では上限の進角量に維持される。これは、メイン噴射時期 T m は、メイン噴射量に応じて適正噴射時期が決定されることによるものであり、メイン噴射量は、後述するように高負荷領域 R 8 では一定の噴射量（最大メイン噴射量）に維持されるからである。S 1 0 3 の処理が終了すると、S 1 0 4 へ進む。

【0062】

次に、S 1 0 4 では、S 1 0 2 で決定された負荷対応噴射量 S 0 が所定の第 1 噴射量 S 1 以下であるか否かが判定される。この所定の第 1 噴射量 S 1 は、後述するようにプレ噴射時期 T p をメイン噴射時期 T m に連動して進角させる場合（S 1 0 6 の処理を参照）、プレ噴射燃料の燃え残りにメイン噴射燃料が重ねられ空気利用が十分でない状況になることでスモークが発生しやすい状況が生まれる機関負荷に対応する噴射量の閾値である。したがって、負荷対応噴射量 S 0 が所定の第 1 噴射量 S 1 以下である場合には、当該スモークが発生しやすい状況にはなく、一方で合計噴射量 S 0 が所定の第 1 噴射量 S 1 を超える場合には、当該スモークが発生しやすい状況にあることを意味する。S 1 0 4 で肯定判定されると S 1 0 5 へ進み、否定判定されると S 1 1 0 へ進む。

10

【0063】

ここで、S 1 0 4 で肯定判定されたことにより、すなわち負荷対応噴射量 S 0 が所定の第 1 噴射量 S 1 以下であることより、内燃機関 1 の機関負荷は低負荷領域 R 6 にある（図 1 4 を参照）。この場合、上述したように、燃焼不安定を回避しつつ内燃機関 1 の熱効率を高く維持するために、プレ噴射量は図 8 に基づいて説明された範囲 R p 内の噴射量であるのが好ましい。そこで、S 1 0 5 では、プレ噴射量 S p が、範囲 R p 内に属する一のプレ噴射量である、最小プレ噴射量 S p m i n に設定される。これにより、機関負荷が低負荷領域 R 6 に属する場合には、図 1 4（a）で線 L 3 0 に示されるようにプレ噴射量 S p は、最小プレ噴射量 S p m i n に固定される。S 1 0 5 の処理が終了すると、S 1 0 6 へ進む。

20

【0064】

S 1 0 6 では、図 1 4（b）で線 L 3 3 に示す制御マップを利用して、プレ噴射時期 T p が決定される。低負荷領域 R 6 では、プレ噴射時期 T p は、図 1 0 に基づいて説明された噴射インターバル D i と内燃機関 1 の熱効率との相関の面から、熱効率が好適な状態となる噴射インターバル D i が得られるように設定されればよい。したがって、低負荷領域 R 6 では、プレ噴射量 S p が最小プレ噴射量 S p m i n に固定されているため、低負荷領域 R 6 にわたって噴射インターバル D i が一定となるように、すなわち S 1 0 3 で決定されたメイン噴射時期 T m に連動するように、プレ噴射時期 T p が設定される。また、S 1 0 7 では、図 1 4（b）で線 L 3 4 に示す制御マップを利用して、点火時期 T s が決定される。具体的には、プレ噴射時期 T p と同じように低負荷領域 R 6 ではプレ噴射量 S p が最小プレ噴射量に固定されることに対応するべく、低負荷領域 R 6 にわたって点火インターバル D s が一定となるように点火時期 T s が設定される。

30

【0065】

次に、S 1 0 8 では、図 1 4（a）で線 L 3 1 に示す制御マップを利用して、メイン噴射量 S m が算出される。なお、低負荷領域 R 6 では、線 L 3 1 で表される機関負荷とメイン噴射量との相関は、以下の式 2 に従う。

40

$$S_m = S_0 - S_p \times \dots \quad (\text{式 2})$$

：プレ噴射燃料の燃え残り率

上記のとおり、本発明に係る燃焼制御では、プレ噴射燃料の燃え残りはメイン噴射燃料とともに自着火し拡散燃焼に供されることで機関出力に寄与し、内燃機関 1 の熱効率の向上が図られる。すなわち、機関出力に寄与するという観点に立てば、プレ噴射燃料の一部、すなわち燃え残りはメイン噴射燃料と同等とすることができる。そこで、プレ噴射燃料の燃え残り率を示す係数を事前の実験等で測定しておき、上記式 2 に従うことで、本発明に係る燃焼制御の特徴を考慮した上でメイン噴射量 S m を算出することができる。なお、上述したように、プレ噴射燃料の燃え残り率は、プレ噴射時期、点火インターバル D s

50

、及び噴射インターバル D_i に応じて変化する。従って、係数 α はこれらに基づいて定まる値である。また、プレ噴射量の総量に対して点火プラグ 5 による点火によって燃焼する分の燃料量（すなわちスプレーガイド燃焼によって燃焼する分の燃料量）が非常に少ない場合は、制御上、係数 $\alpha = 1$ としてもよい。この場合、負荷対応噴射量 = 合計噴射量として制御することになる。S 1 0 8 の処理が終了すると、S 1 3 0 へ進む。

【0066】

このようにプレ噴射、メイン噴射、および点火に関する各パラメータが決定されることで、低負荷領域 R 6 では、プレ噴射燃料の点火後に図 1 4 (a) に M 1 で示すプレ噴射燃料の燃え残りが生成されることになる。上記のとおり、低負荷領域 R 6 では、プレ噴射量 S_p は最小プレ噴射量 S_{pmin} に固定され、点火インターバル D_s 及び噴射インターバル D_i も一定であるため、プレ噴射燃料の燃え残り量も概ね一定となる。

10

【0067】

次に、S 1 0 4 で否定判定されると処理は S 1 1 0 へ進み、S 1 1 0 では、S 1 0 2 で決定された負荷対応噴射量 S_0 が所定の第 2 噴射量 S_2 以下であるか否かが判定される。この所定の第 2 噴射量 S_2 は、ガソリンエンジンにおいて適正噴射時期に噴射された燃料が比較的多量であり、その気化潜熱の影響により自着火拡散燃焼が不安定となったり、その噴霧に対して周囲の空気（酸素）不足することでスモークが発生したりしやすい状況にある、機関負荷に対応する噴射量の閾値である。換言すれば、燃焼安定性及びスモークの観点からガソリンエンジンにおいて適正噴射時期に噴射し得る上限の噴射量である。したがって、負荷対応噴射量 S_0 が所定の第 2 噴射量 S_2 以下である場合には、当該スモークは発生しにくい状況であり、一方で負荷対応噴射量 S_0 が所定の第 2 噴射量 S_2 を超える場合には、当該スモークが発生し得る状況にあることを意味する。S 1 1 0 で肯定判定されると S 1 1 1 へ進み、否定判定されると S 1 2 1 へ進む。

20

【0068】

ここで、S 1 1 0 で肯定判定されたことにより、すなわち負荷対応噴射量 S_0 が所定の第 1 噴射量 S_1 より多く所定の第 2 噴射量 S_2 以下であることにより、内燃機関 1 の機関負荷は中負荷領域 R 7 にある（図 1 4 を参照）。この場合、処理は S 1 1 1、S 1 1 2 へ進み、S 1 1 1 では、図 1 4 (a) で線 L 3 0 に示す制御マップを利用してプレ噴射量 S_p が決定され、S 1 1 2 では、図 1 4 (b) で線 L 3 3 に示す制御マップを利用してプレ噴射時期 T_p が決定される。具体的には、中負荷領域 R 7 では、負荷対応噴射量 S_0 が所定の第 1 噴射量 S_1 より多いため、プレ噴射燃料の燃え残りとの干渉によるスモーク発生を抑制する必要がある。そこで、上述したようにプレ噴射時期 T_p が、メイン噴射時期 T_m の進角量に連動した進角量に加えて、機関負荷の増加（すなわち、負荷対応噴射量 S_0 の増加）に応じてスモーク抑制のために更に進角される。なお、プレ噴射時期 T_p は、図 1 0 に基づいて説明された噴射インターバル D_i と内燃機関 1 の熱効率との相関、及び図 1 1 に基づいて説明された進角によるスモーク抑制の両面から、熱効率とスモーク発生量のバランスを考慮して適宜設定すればよい。そして、このとき線 L 3 0 に示すようにプレ噴射時期 T_p の進角量の増加に応じてプレ噴射量 S_p を増量することにより、プレ噴射燃料の燃え残り量を増量させ、それをメイン噴射とともに燃焼させることで、内燃機関 1 の熱効率を犠牲にすることなくスモーク抑制を図ることができる（図 1 1 を参照）。

30

40

【0069】

次に、S 1 1 3 では、図 1 4 (b) で線 L 3 4 に示す制御マップを利用して、点火時期 T_s が決定される。具体的には、S 1 1 2 で決定されるプレ噴射時期 T_p の、機関負荷の増加に伴う進角量の増量と同じように、点火時期 T_s の進角量が増量される。すなわち、中負荷領域 R 7 では、点火インターバル D_s が一定とされた状態で、点火時期 T_s が、機関負荷の増加に応じて進角されていく。S 1 1 3 の処理が終了すると、S 1 1 4 へ進む。

【0070】

次に、S 1 1 4 では、図 1 4 (a) で線 L 3 1 に示す制御マップを利用して、メイン噴射量 S_m が算出される。なお、中負荷領域 R 7 でも、低負荷領域 R 6 と同じように、線 L

50

31で表される機関負荷とメイン噴射量 S_m との相関は、上記の式2に従う。これにより、S108の処理と同じように、本発明に係る燃焼制御の特徴を考慮した上でメイン噴射量 S_m を決定することができる。なお、中負荷領域R7ではプレ噴射量 S_p が機関負荷の増加とともに増量されるため、中負荷領域R7におけるメイン噴射量 S_m の増量比率（機関負荷の増加に対するメイン噴射量 S_m の増量する比率）は、低負荷領域R6の場合のメイン噴射量 S_m の増量比率よりも小さくなる。S114の処理が終了すると、S130へ進む。

【0071】

このようにプレ噴射、メイン噴射、および点火に関する各パラメータが決定されることで、中負荷領域R7では、プレ噴射燃料の点火後に図14(a)にM1で示すプレ噴射燃料の燃え残りが生成されることになる。上記のとおり、中負荷領域R7では、プレ噴射量 S_p は機関負荷の増加に応じて増量されながら、点火インターバル D_s が一定の下、プレ噴射時期 T_p 及び点火時期 T_s が進角される。その結果、燃え残り量も、機関負荷の増加に応じて、増量していくことになる。

10

【0072】

ここで、S110で否定判定されたことにより、すなわち負荷対応噴射量 S_0 が所定の第2噴射量 S_2 より多いことにより、内燃機関1の機関負荷は高負荷領域R8にある（図14を参照）。この場合、処理はS121へ進み、S121では、図14(a)で線L31に示す制御マップを利用して、メイン噴射量 S_m が決定される。具体的には、高負荷領域R8では、機関負荷の増加に伴いメイン噴射量 S_m も比較的多くなっている。そして上記のとおり、メイン噴射量がある程度多くなると、噴射の際の気化潜熱の影響により燃焼が不安定となったり、その噴霧に対して周囲の空気（酸素）不足することでスモークが発生したりしやすい状態となる。そのため、高負荷領域R8では、メイン噴射量 S_m は、安定した燃焼を確保でき且つ過剰なスモークの発生を抑制できる上限値である最大メイン噴射量 S_{max} に設定される。S121の処理が終了すると、S122へ進む。

20

【0073】

次に、S122では、図14(a)で線L30に示す制御マップを利用して、プレ噴射量 S_p が算出される。なお、高負荷領域R8では、線L30で表される機関負荷とプレ噴射量 S_p との相関は、以下の式3に従う。

$$S_p = (S_0 - S_m) / \dots \quad (\text{式3})$$

30

なお、 \dots は、式2と同じく、プレ噴射燃料の燃え残り率である。高負荷領域R8の場合は、上記の理由でメイン噴射量 S_m は最大メイン噴射量 S_{max} に固定される。そこで、上記式3に従うことで、S108やS114の処理と本質的に同じように、本発明に係る燃焼制御の特徴を考慮した上でプレ噴射量 S_p を決定することができる。S122の処理が終了すると、S123へ進む。

【0074】

S123では、図14(b)で線L33に示す制御マップを利用してプレ噴射時期 T_p が決定される。具体的には、高負荷領域R8では、合計噴射量 S_0 が所定の第2噴射量 S_2 より多いため、安定した燃焼の確保及びスモーク抑制のためメイン噴射量 S_m がS121で決定された最大メイン噴射量 S_{max} に固定されている。したがって、要求された機関負荷に対応するためにプレ噴射量 S_p は上記式3に従い、中負荷領域R7である場合と比べても、より多い値に決定されることになる。このようにプレ噴射量 S_p が多くなると、プレ噴射燃料の燃え残りとの干渉によるスモーク発生が再び懸念されるようになる。そこで、図14(b)で線L33に示すように、プレ噴射時期 T_p を、中負荷領域R7である場合と比べてより進角させることで、すなわち、高負荷領域R8での噴射インターバル D_i は機関負荷の増加に応じて拡大するようにプレ噴射時期 T_p を設定することで、スモーク抑制が図られる。なお、プレ噴射時期 T_p の進角量については、上記のとおり高負荷領域R8ではスモーク発生の懸念があるため、図11に基づいて説明された進角によるスモーク抑制の面を優先して、プレ噴射時期 T_p を適宜設定すればよい。また、仮にスモーク抑制が所望通りに実現可能であるならば、更に図10に基づいて説

40

50

明された噴射インターバル D_i と内燃機関 1 の熱効率との相関を考慮して、プレ噴射時期 T_p を適宜設定すればよい。S 1 2 3 の処理が終了すると、S 1 2 4 へ進む。

【0075】

次に、S 1 2 4 では、図 1 4 (b) で線 L 3 4 に示す制御マップを利用して、点火時期 T_s が決定される。具体的には、点火時期 T_s は、機関負荷の増加に伴い進角されるが、その進角量の増量比率（機関負荷の増加に対する進角量の増量の比率）はプレ噴射の進角量の増量比率よりも小さい。そのため、高負荷領域 R 8 では、プレ噴射時期 T_p も点火時期 T_s も機関負荷の増加に応じて進角されるが、点火インターバル D_s は機関負荷の増加に伴い拡大していくことになる。この結果、高負荷領域 R 8 では、メイン噴射燃料とともに燃焼に供される、プレ噴射燃料の燃え残り量を大きく増量させることができる（図 1 4 (a) の M 1 を参照）。上記のとおり、高負荷領域 R 8 では、メイン噴射量は上限メイン噴射量に固定されているが、このようにプレ噴射燃料の燃え残り量を増量させることで、要求された機関負荷に答えるとともに内燃機関 1 の熱効率を好適に維持することが可能となる。S 1 2 4 の処理が終了すると、S 1 3 0 へ進む。

10

【0076】

このようにプレ噴射、メイン噴射、および点火に関する各パラメータが決定されることで、高負荷領域 R 8 では、プレ噴射燃料の点火後に図 1 4 (a) に M 1 で示すプレ噴射燃料の燃え残りが生成されることになる。上記のとおり、高負荷領域 R 8 では、プレ噴射量 S_p は機関負荷の増加に応じて増量し、且つ、点火インターバル D_s が拡大しながら、プレ噴射時期 T_p 及び点火時期 T_s が進角される。また、プレ噴射量 S_p は、メイン噴射量 S_m が最大メイン噴射量 S_{max} に固定されているため、機関負荷の増加に対するプレ噴射量 S_p の増加の比率は、中負荷領域 R 7 の場合よりも大きくなる。その結果、燃え残り量も、機関負荷の増加に応じて、中負荷領域 R 7 の場合よりも、より増量していくことになる。

20

【0077】

ここで、S 1 0 8、S 1 1 4、S 1 2 4 の何れかの処理が終了すると、S 1 3 0 の処理が行われる。S 1 3 0 では、上述までの処理で決定されたプレ噴射量 S_p 、プレ噴射時期 T_s 、メイン噴射量 S_m 、メイン噴射時期 T_m 、点火時期 T_s に従って、燃料噴射弁 6 によるプレ噴射及びメイン噴射、点火プラグ 5 による点火を実行する。S 1 3 0 の処理が終了すると、再び S 1 0 1 の処理から繰り返される。

30

【0078】

本燃焼制御によれば、プレ噴射量 S_p 、プレ噴射時期 T_s 、メイン噴射量 S_m 、メイン噴射時期 T_m 、点火時期 T_s を機関負荷に応じて適切に決定することで、スモークの発生を抑制しながら安定したディーゼル燃焼の実現と、その熱効率の向上を両立することが可能となる。また、内燃機関の低負荷領域から高負荷領域までの広い運転領域において、好適な燃焼が実現されることになる。

【実施例 2】

【0079】

図 1 3 に示す燃焼制御に適用可能な、プレ噴射、メイン噴射および点火に関する制御マップの第 2 の実施例について、図 1 5 に基づいて説明する。図 1 5 に示す制御マップの内容と図 1 4 に示す制御マップの内容に関し、同一のものについては図 1 4 における参照番号と同一の参照番号を付すことで、その詳細な説明は省略する。具体的には、図 1 5 に示す制御マップでの、機関負荷に関する領域分け、すなわち低負荷領域 R 6、中負荷領域 R 7、高負荷領域 R 8 の設定は、図 1 4 に示す制御マップと同じである。また、プレ噴射量 S_p （線 L 3 0 で表される）、メイン噴射量 S_m （線 L 3 1 で表される）、合計噴射量 S_0 （線 L 3 2 で表される）に関する制御マップ、及びメイン噴射時期（線 L 3 5 で表される）に関する制御マップは、両図において共通する。

40

【0080】

以下に、プレ噴射時期 T_p （線 L 3 6 で表される）及び点火時期 T_s （線 L 3 7 で表される）に関する制御マップについて、負荷領域ごとに説明する。

50

(1) 低負荷領域 R 6

低負荷領域 R 6 での、機関負荷とプレ噴射時期 T_p との相関、及び機関負荷と点火時期 T_s との相関は、図 14 に示す制御マップの場合と同じである。

【0081】

(2) 中負荷領域 R 7

本実施例における中負荷領域 R 7 では、低負荷領域 R 6 と同じように、プレ噴射時期 T_p は、メイン噴射時期 T_m の進角量に連動して進角される。したがって、中負荷領域 R 7 においては、噴射インターバル D_i は、低負荷領域 R 6 と同じように一定とされる。一方で、点火時期 T_s は、点火インターバル D_s が機関負荷の増加に応じて拡大するように決定される。そのため、点火時期 T_s は、機関負荷の増加とともに圧縮行程上死点に近づくように遅角されることになる。このように点火インターバル D_s が拡大されることで、点火されるまでに燃焼室内を進行するプレ噴射量が増加するため、点火後のプレ噴射燃料の燃え残り量を増加させることが可能になる。このようなプレ噴射燃料の燃え残り量増加は、内燃機関 1 の熱効率向上に有用であることは、上記のとおりである。

10

【0082】

(3) 高負荷領域 R 8

本実施例における高負荷領域 R 8 でも、安定した燃焼の確保及びスモーク抑制のためメイン噴射量 S_m が S_{121} で決定された最大メイン噴射量 S_{max} に固定されており、プレ噴射量 S_p が比較的多量となる。そのため、実施例 1 における高負荷領域 R 8 の場合と同じように、プレ噴射燃料の燃え残り量とメイン噴射燃料との干渉によるスモークを抑制するために、プレ噴射時期 T_p は、中負荷領域 R 7 である場合と比べてより進角させることで、すなわち、高負荷領域 R 8 での噴射インターバル D_i は機関負荷の増加に応じて拡大するようにプレ噴射時期 T_p を設定する。また、点火時期 T_s は、点火インターバル D_s が機関負荷の増加に応じて拡大するように、機関負荷の増加に応じて点火時期 T_s を進角してもよく、又は、機関負荷の増加にかかわらず点火時期 T_s を一定時期に固定してもよい。

20

【0083】

このようにプレ噴射時期 T_p 及び点火時期 T_s を決定することで、機関負荷の増大に応じて、プレ噴射時期 T_p を大きく進角させながら点火インターバル D_s を拡大することになるため、プレ噴射燃料の燃え残り量を効果的に増量することができる（図 15 (a) の M1 を参照）。特に、高負荷領域 R 8 では安定した燃焼の確保及びスモーク抑制のためにメイン噴射量が最大メイン噴射量 S_{max} に固定されているため、このようにプレ噴射燃料の燃え残り量を増量させることで、要求された機関負荷に答えるとともに内燃機関 1 の熱効率を好適に維持することが可能となる。

30

【0084】

このように図 15 に示す制御マップを利用して、本発明に係る燃焼制御のための、プレ噴射量 S_p 、プレ噴射時期 T_s 、メイン噴射量 S_m 、メイン噴射時期 T_m 、点火時期 T_s を機関負荷に応じて適切に決定することで、スモークの発生を抑制しながら安定したディーゼル燃焼の実現と、その熱効率の向上を両立することが可能となる。また、内燃機関の低負荷領域から高負荷領域までの広い運転領域において、好適な燃焼が実現されることになる。

40

【実施例 3】

【0085】

上述までの実施例では、点火時期 T_s はプレ噴射時期 T_p の後に設定されたが、その態様に代えて、本実施例では点火時期 T_s をプレ噴射時期 T_p の前に設定してもよい。プレ噴射時期 T_p の前の所定時期から点火プラグ 5 での点火を開始し、その点火が継続されている状態でプレ噴射が実行されることで、プレ噴射燃料への点火が実現される。このように点火プラグ 5 を事前に点火開始しておくことで、図 2 に示す領域 5a 近傍の空気を昇温させることができ、プレ噴射燃料の着火性を高めることができる。これにより、本発明に係る燃焼制御の安定性を高めることができる。

50

【 0 0 8 6 】

なお、本実施例の場合、プレ噴射燃料が点火プラグ 5 の領域 5 a に到達した時点で、プレ噴射燃料が点火されることになるため、上記実施例のように点火インターバル D_s を拡大してプレ噴射燃料の燃え残り量を増量することは困難となる。したがって、内燃機関 1 の熱効率向上のためにプレ噴射燃料の燃え残り量を増量させるためには、プレ噴射量 S_p を増量させることで対応すればよい。また、プレ噴射量 S_p の増量に伴いスモーク発生が懸念される場合には、プレ噴射量 S_p の増量とともにプレ噴射時期 T_p を進角させればよい。

【 符号の説明 】

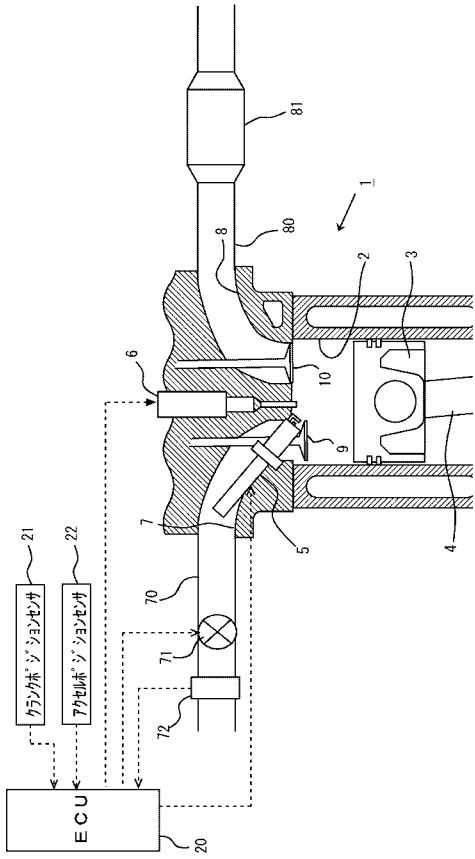
【 0 0 8 7 】

- 1 内燃機関
- 2 気筒
- 3 ピストン
- 5 点火プラグ
- 6 燃料噴射弁
- 7 吸気ポート
- 8 排気ポート
- 9 吸気弁
- 10 排気弁
- 20 ECU
- 21 クランクポジションセンサ
- 22 アクセルポジションセンサ
- 71 スロットル弁
- 72 エアフローメータ
- T_p プレ噴射時期
- T_m メイン噴射時期
- T_s 点火時期
- D_i 噴射インターバル
- D_s 点火インターバル

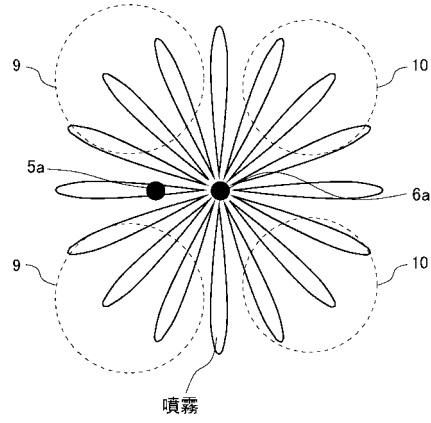
10

20

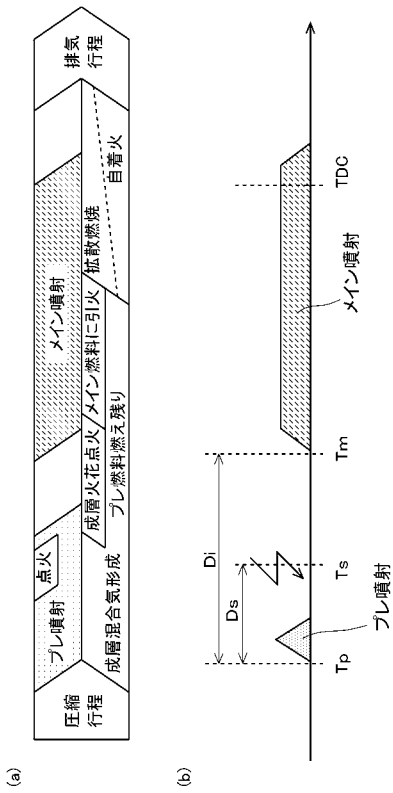
【図1】



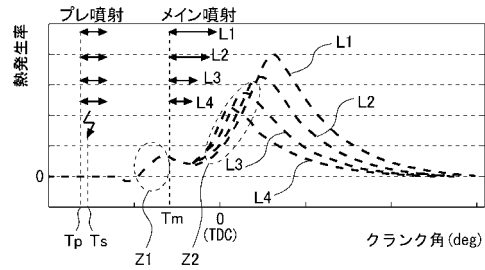
【図2】



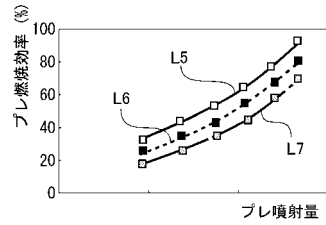
【図3】



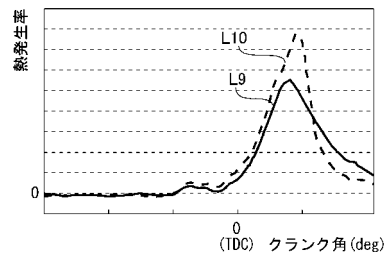
【図4】



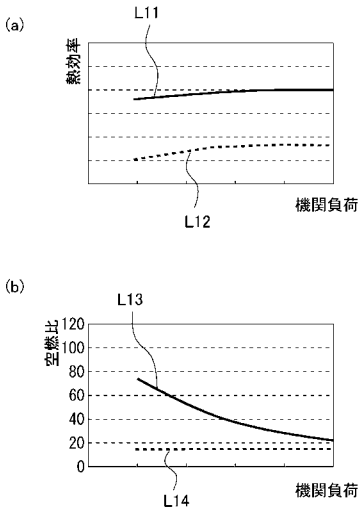
【図5】



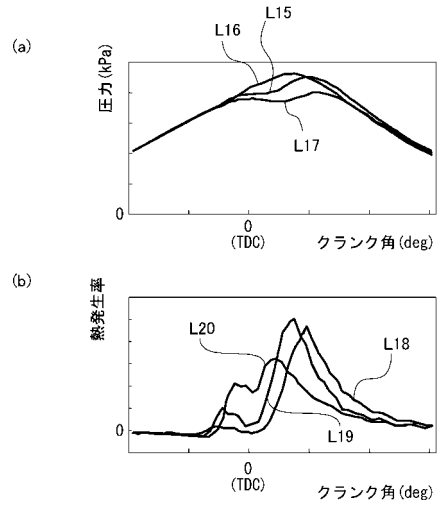
【図6】



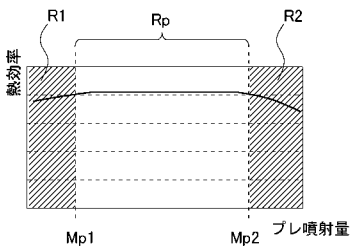
【図7】



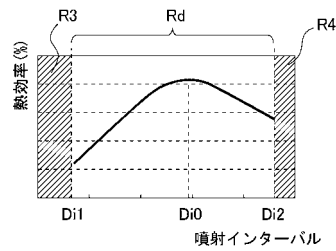
【図9】



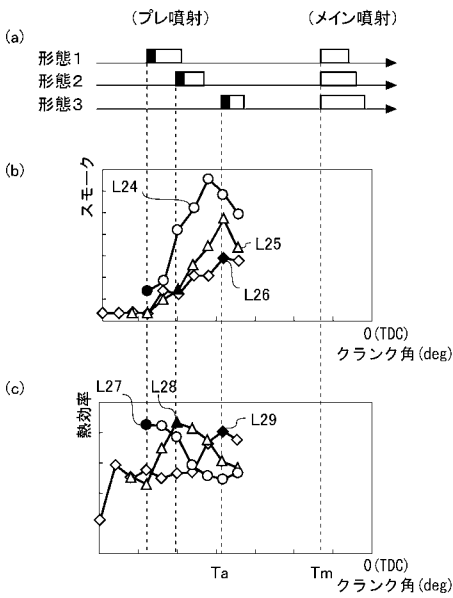
【図8】



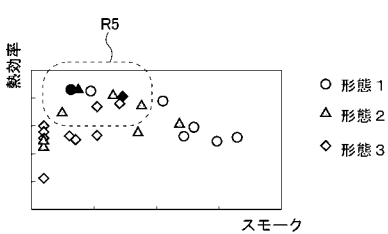
【図10】



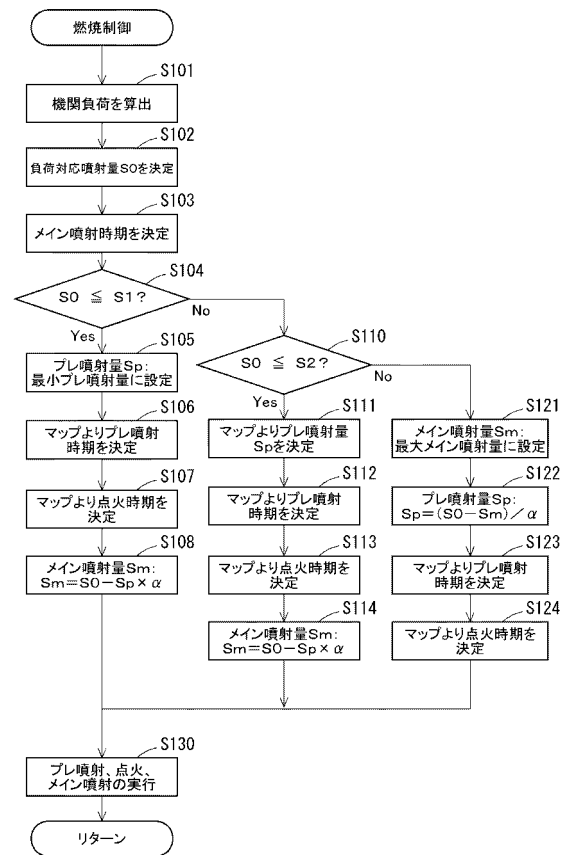
【図11】



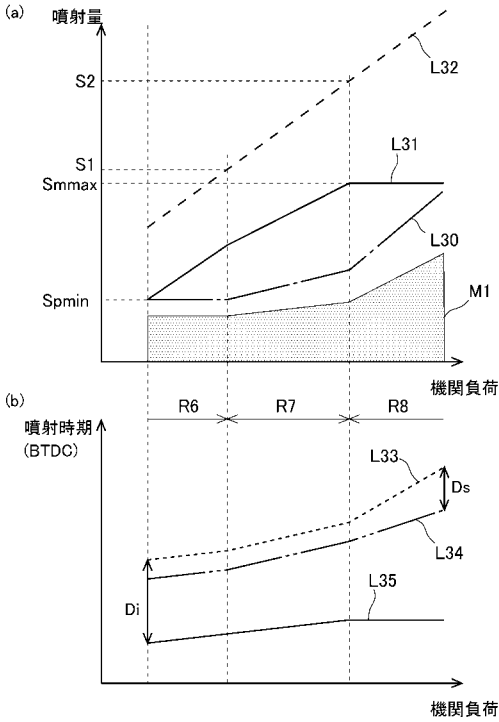
【図12】



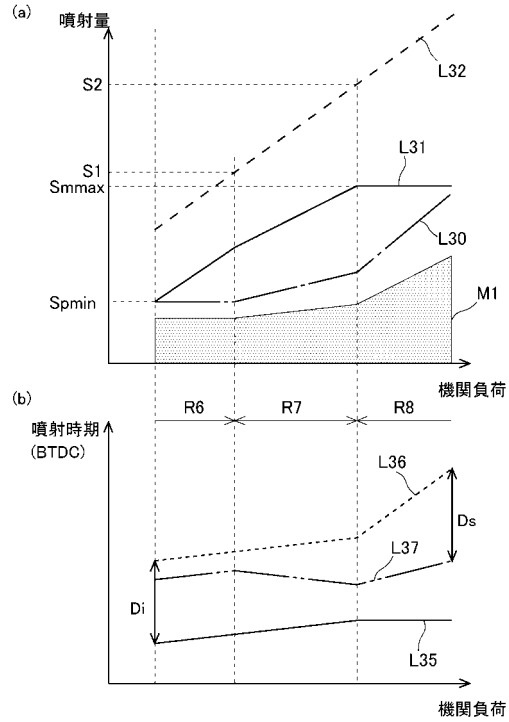
【図13】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 手続 補正 書 】

【 提出 日 】 平成 27 年 1 月 21 日 (2015.1.21)

【 手続 補正 1 】

【 補正 対象 書類 名 】 明 細 書

【 補正 対象 項目 名 】 0 0 3 0

【 補正 方法 】 変 更

【 補正 の 内 容 】

【 0 0 3 0 】

次に、本発明に係る燃焼制御の流れについて説明する。

(1) プレ 噴 射

基本燃焼制御では、1 サイクル中において、先ず、圧縮行程の所定期間にプレ噴射が行われる。なお、プレ噴射時期 T_p は、後述するメイン噴射との相関に基づいて決定される。プレ噴射が開始されることで、図 2 に示すように、燃料噴射弁 6 から噴射された燃料は、燃焼室内において点火プラグ 5 の点火可能領域 5 a を通過する。このようにプレ噴射が開始された直後においては、プレ噴射燃料は燃焼室内に広く拡散はせず、噴射の貫徹力によりその噴霧先端において周囲の空気を巻き込みながら燃焼室内を進んでいく。そのため、プレ噴射燃料は、燃焼室内で成層された混合気を形成することになる。

【 手続 補正 2 】

【 補正 対象 書類 名 】 明 細 書

【 補正 対象 項目 名 】 0 0 3 4

【 補正 方法 】 変 更

【 補正 の 内 容 】

【 0 0 3 4 】

ここで、図 4 に本発明に係る燃焼制御が行われたときの燃焼室での熱発生率の推移を示す。なお、図 4 においては、内燃機関 1 の機関回転速度が 2 0 0 0 r p m であるときの、

4つの異なる制御形態(L1~L4)に対応する熱発生率の推移が示されているが、各制御形態においてプレ噴射時期 T_p 、プレ噴射量、メイン噴射時期 T_m 、点火時期 T_s は同一であるが、メイン噴射量が制御形態ごとに変更されている(すなわち、メイン噴射量は、 $L1 > L2 > L3 > L4$ となっている)。したがって、各制御形態におけるプレメイン相関は同一であり、よって同一のプレメイン相関を条件としたときのメイン噴射量の増減に応じた熱発生率推移の変動が、図4に示されていることになる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0040

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0040】

図7からも理解できるように、本発明に係る燃焼制御では、プレ噴射と点火プラグ5での点火によるスプレーガイド燃焼ののちに自着火拡散燃焼を生じさせるメイン噴射が行われるため、当該制御による燃焼はいわゆるディーゼル燃焼に類似し、又は実質的に同一視できると考えられる。そのため、燃焼室内の混合気空燃比を極めてリーン空燃比とすることができる(図7(b)の線L13に示す例では、空燃比が20~70程度である)。そして、本発明に係る燃焼制御ではこのようにリーン空燃比での燃焼を実現するため、従来のガソリンエンジンでの均質ストイキ制御に比べてスロットル弁71の開度を大きくすることができる。そのため、内燃機関1でのポンプ損失を抑えることができる。さらに、自着火拡散燃焼により内燃機関1での冷却損失も従来のガソリンエンジンでの均質ストイキ制御時と比べて抑えることができる。その結果、図7(a)に示すように、本発明に係る燃焼制御が行われる内燃機関1の熱効率は非常に高い値となる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0050

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0050】

ここで、噴射インターバル D_i と内燃機関1の熱効率との相関が図10に示されており、この図10に示す例では、プレ噴射量とメイン噴射量、及び点火インターバル D_s を一定とした上で噴射インターバル D_i を変更した場合の当該相関が示されている。本発明に係る燃焼制御では、1つの燃料噴射弁6を利用して、プレ噴射に続いてメイン噴射が実行されることになる。燃料噴射弁6は、一般的にはその内部において噴射ノズルがリフトされることで噴孔から燃料が噴射される構成を有している。そのため、噴射ノズルの往復動に要する時間等、燃料噴射弁6の機械的な構造に起因して、採用し得る噴射インターバルの最小値 D_{i1} が存在することになる。このように燃料噴射弁6の機械的な要因により実現が困難である噴射インターバルの領域(D_{i1} より短い領域)を、図10では機械限界領域 $R3$ と表している。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0051

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0051】

また、噴射インターバル D_i を長くしていくと、プレ噴射燃料の点火による燃焼過程のより終端側の時期にメイン噴射が実行されることになる。この終端側の時期では、プレ噴射燃料の燃焼が収束しようとしている状態にあるため、プレ噴射燃料による火炎を起点としたメイン噴射燃料の燃焼が立ち上がりにくい状況にある。そして、噴射インターバル D_i が更に長くなると、メイン噴射燃料を燃焼させることができず失火が生じてしまう可能

性がある。そこで、噴射インターバル D_i が長くなりすぎると（例えば、図10に示す D_{i2} より長い領域）、本願発明に係る燃焼制御が好適に実行されず内燃機関1の熱効率が低下していくことになる。そこで、このような熱効率の低下が顕著となる噴射インターバル D_i の領域を、図10では熱効率低下領域R4と表している。なお、プレ噴射燃料量によって熱効率低下領域R4の下限値（図10に示す D_{i2} ）は変化する。つまり、プレ噴射燃料量が増加すると、プレ噴射燃料への点火による燃焼がより長い期間継続されることになるため、噴射インターバル D_i をより長くしてもメイン噴射燃料を燃焼させることが可能となる。

フロントページの続き

(72)発明者 越智 雄大

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72)発明者 柏倉 利美

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

Fターム(参考) 3G301 HA02 JA02 JA04 LB11 MA19 MA26 MA27 PB03 PB05