

(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2015-218614

(P2015-218614A)

(43) 公開日 平成27年12月7日(2015.12.7)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
F 0 2 D 41/34 (2006.01)	F 0 2 D 41/34 H	3 G 3 0 1
F 0 2 D 41/04 (2006.01)	F 0 2 D 41/04 3 3 0 C	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2014-101265 (P2014-101265)	(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
(22) 出願日	平成26年5月15日(2014.5.15)	(74) 代理人	110000213 特許業務法人プロスペック特許事務所
		(72) 発明者	三谷 信一 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	内田 大輔 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	金子 真也 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

最終頁に続く

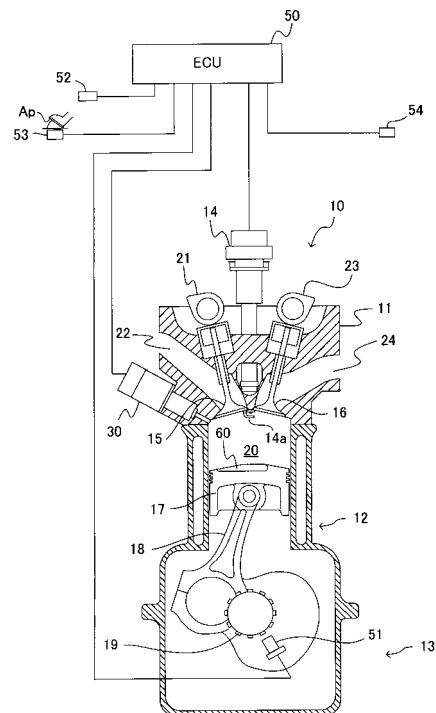
(54) 【発明の名称】 内燃機関の燃料噴射制御装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】燃料ウェットの防止と、スモーク及びPM等の発生を低減する。

【解決手段】ピストン17の冠面に形成されたキャビティ60に向けて燃料が噴射される筒内噴射式火花点火内燃機関10において、燃料を複数回に分けて噴射する分割噴射を圧縮行程中に行うとき、少なくとも第1の期間において、燃料を噴射するときの燃料噴射弁30の弁体の移動量の最大値である到達リフト量を内燃機関のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど大きい値に設定する。これにより、良好な着火性を有する可燃混合気を点火プラグ14近傍に形成し、安定的な成層燃焼を確保する。第1の期間より後は、到達リフト量を予め定められた所定の値に維持してもよい。或いは、第1の期間より後は、内燃機関のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど到達リフト量を小さい値に設定してもよい。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

冠面にキャビティが形成されたピストンを備える内燃機関に適用され、
弁座からの弁体の移動に伴って噴孔から前記キャビティに向けて燃料を噴射する燃料噴射弁と、

前記燃料噴射弁から前記燃料を噴射させるために前記弁体を移動させると共に同弁体の移動量の最大値である到達リフト量を増減可能である制御部と、

を備える筒内噴射式火花点火内燃機関の燃料噴射制御装置において、

前記制御部は、

前記内燃機関の圧縮行程の少なくとも第 1 の期間において燃料を複数回に分けて噴射する分割噴射を前記燃料噴射弁に行わせると共に同第 1 の期間における各噴射に対する到達リフト量を前記内燃機関のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど大きい値に設定する

、
燃料噴射制御装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の燃料噴射制御装置において、

前記制御部は、

前記第 1 の期間より前の第 2 の期間において前記燃料噴射弁に燃料を 1 回以上噴射させると共に同第 2 の期間における各噴射に対する到達リフト量を前記第 1 の期間における最初の噴射に対する到達リフト量よりも小さい値に設定する、

燃料噴射制御装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の燃料噴射制御装置において、

前記制御部は、

前記第 1 の期間より後の第 3 の期間において前記燃料噴射弁に燃料を 1 回以上噴射させると共に同第 3 の期間における各噴射に対する到達リフト量を予め定められた所定の値に維持する、

燃料噴射制御装置。

【請求項 4】

請求項 1 又は 2 に記載の燃料噴射制御装置において、

前記制御部は、

前記第 1 の期間より後の第 3 の期間において前記燃料噴射弁に燃料を 1 回以上噴射させると共に同第 3 の期間における各噴射に対する到達リフト量を前記内燃機関のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど小さい値に設定する、

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、ピストンの冠面に形成されたキャビティに向けて燃料が噴射される筒内噴射式火花点火内燃機関の燃料噴射制御装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

気筒内に燃料を直接的に噴射して、点火時点において良好な着火性を有する混合気を点火プラグ近傍に形成することにより、成層燃焼を実施することが知られている。成層燃焼によれば、気筒内全体としては希薄な混合気の燃焼が可能となるため、燃料消費率の改善に有効である。一般的な成層燃焼においては、圧縮行程後半に設定された燃料噴射の開始時期から必要な量の燃料を噴射するために必要な期間に亘って燃料噴射弁が開弁される。このように噴射された燃料は、ピストンの冠面に形成されたキャビティ（以降、「ピストンキャビティ」と称する場合がある）内に進入し、燃焼室壁面から熱を奪って気化しながらピストンキャビティの内壁の形状によって点火プラグ方向へ偏向され、良好な着火性を

10

20

30

40

50

有する混合気を点火プラグ近傍に形成する。

【0003】

しかしながら、例えば高負荷時等における必要燃料量の増大に応じて燃料噴射量を増大させると、噴射された燃料が燃焼室壁面からの熱によって気化して可燃混合気を形成するまでに必要な期間が長くなる。この期間を確保するためには燃料噴射の終了時期を早めなければならない、結果として圧縮行程後半に噴射可能な燃料量は必然的に少なくなる。従って、必要燃料量が一定量以上である場合には成層燃焼を実現することが困難であった。しかしながら、上述したように成層燃焼は燃料消費率の改善に有効であるので、より広い機関運転状態において成層燃焼を実施することが望まれている。

【0004】

そこで、スリット状の噴孔を有する燃料噴射弁を使用して、扇状の噴霧として燃料を噴射することが提案されている。扇状の噴霧として噴射された燃料は、ピストンキャビティの内壁のより広い範囲から熱を奪うことができるので短期間で可燃混合気を形成することができる。従って、一般的な噴孔を有する燃料噴射弁を使用して円錐状の噴霧として燃料を噴射する場合と比較して、燃料噴射終了時期を遅らせることができ、圧縮行程後半に噴射可能な燃料量を増大させることができる。かかる技術によれば、成層燃焼領域を高負荷側に拡大することができる（例えば、特許文献1を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平09-158736号公報

【発明の概要】

【0006】

前述したように、ピストンキャビティを備える筒内噴射式火花点火内燃機関において、確実な着火性を確保して成層燃焼領域を高負荷側に拡大可能とする種々の技術が提案されている。それにも拘わらず、安定的な成層燃焼を確保することが困難な場合が未だに認められる。

【0007】

成層燃焼を目的とするピストンキャビティを備える筒内噴射式火花点火内燃機関の燃料噴射弁は、ピストンの上下運動方向に対して一定の角度を有する方向において、ピストンキャビティに向けて燃料を噴射する。ピストンキャビティの内壁の形状は、このように噴射されてピストンキャビティ内に進入した燃料の噴霧が、ピストンキャビティの内壁の形状に応じて点火プラグ方向へ偏向されるように形成されている（図18の（b）を参照）。

【0008】

しかしながら、図18の（a）における矢印によって表されているように、燃料噴射弁とピストンとの距離が大きいときに高い運動量（貫徹力）を有する（即ち、速度が高い）燃料の噴霧が噴射されると、その燃料の噴霧がピストンキャビティ内に進入できない場合がある。このようにピストンキャビティ内に進入できなかった燃料の噴霧は、ピストンキャビティによって点火プラグ方向へ偏向されず、良好な着火性を有する混合気を点火プラグ近傍に形成することができない。その結果、成層燃焼が不安定となる虞がある。

【0009】

そこで、本発明者は、鋭意研究の結果、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）を燃料噴射弁とピストンとの距離に応じて調節することにより、安定的な成層燃焼を確保することができるとの考えに到った。具体的には、本発明者は、燃料噴射弁とピストンとの距離が大きい圧縮行程噴射の初期において所謂「パーシャルリフト噴射」を行うことにより、安定的な成層燃焼を確保することが可能となることを見出したのである。パーシャルリフト噴射とは、燃料噴射弁が燃料を噴射するときの弁体の移動量の最大値（即ち、到達リフト量）を通常よりも小さくして燃料を噴射することである。パーシャルリフト噴射によれば、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）を小さく

10

20

30

40

50

することができる。

【 0 0 1 0 】

かかる点に鑑み、本発明に係る燃料噴射制御装置は、冠面にキャビティが形成されたピストンを備える内燃機関に適用され、弁座からの弁体の移動に伴って噴孔から前記キャビティに向けて燃料を噴射する燃料噴射弁と、前記燃料噴射弁から前記燃料を噴射させるために前記弁体を移動させると共に同弁体の移動量の最大値である到達リフト量を増減可能である制御部と、を備える筒内噴射式火花点火内燃機関の燃料噴射制御装置において、前記制御部は、前記内燃機関の圧縮行程の少なくとも第 1 の期間において燃料を複数回に分けて噴射する分割噴射を前記燃料噴射弁に行わせると共に同第 1 の期間における各噴射に対する到達リフト量を前記内燃機関のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど大きい値に設定する。

10

【 0 0 1 1 】

上記のように、本発明に係る燃料噴射制御装置においては、内燃機関の圧縮行程の少なくとも第 1 の期間において分割噴射によって燃料を噴射すると共に、燃料噴射弁の弁体の到達リフト量を第 1 の期間の初期に近いほど小さい値に設定する。即ち、少なくとも第 1 の期間の初期における噴射はパーシャルリフト噴射によって行われる。これにより、燃料噴射弁とピストンとの距離が比較的大きい場合においては、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が小さい（図 8 の（b）を参照）。その結果、上述したようにピストンキャビティ内に進入できない燃料の噴霧の量を減らして、良好な着火性を有する可燃混合気を点火プラグ近傍に形成する燃料の噴霧の量を増やし、安定的な成層燃焼を確保することができる。

20

【 0 0 1 2 】

更に、本発明の他の態様において、前記制御部は、前記第 1 の期間より前の第 2 の期間において前記燃料噴射弁に燃料を 1 回以上噴射させると共に同第 2 の期間における各噴射に対する到達リフト量を前記第 1 の期間における最初の噴射に対する到達リフト量よりも小さい値に設定する。これによれば、第 1 の期間より前の第 2 の期間において噴射される燃料は相当に小さい運動量を有する。このような燃料の噴霧は「ピストンと燃料噴射弁との距離が大きいために大きい容積を有する状態にある燃焼室」の全体に亘って飛行せず、寧ろ、その少なくとも一部（望ましくは多く）が燃料噴射弁の近傍（燃焼室の上部）に滞留し易くなる。従って、第 2 の期間において噴射された燃料は、後にピストンが上昇したときにピストンキャビティ内に捕捉され易いので、良好な着火性を有する可燃混合気の形成に貢献させることができる。その結果、より多くの燃料を用いて可燃混合気を形成することが可能となる。

30

【 0 0 1 3 】

一方、圧縮行程における燃料噴射（以降、「圧縮行程噴射」と称される場合がある）の末期においては燃料噴射弁とピストンとの距離が小さい。そのため、燃料噴射弁から噴射された直後の高い運動量（貫徹力）を有する燃料の噴霧がピストンの冠面に衝突するので、ピストンの冠面及び／又はピストンキャビティの内壁が燃料によって濡れる所謂「燃料ウェット」と称される状態になる場合がある。かかる燃料ウェットが発生すると、例えばスモーク及び粒子状物質（PM：Particulate Matter）等が発生する虞がある。

40

【 0 0 1 4 】

そこで、本発明の別の態様において、前記制御部は、前記第 1 の期間より後の第 3 の期間において前記燃料噴射弁に燃料を 1 回以上噴射させると共に同第 3 の期間における各噴射に対する到達リフト量を予め定められた所定の値に維持する。これによれば、燃料噴射弁とピストンとの距離が小さい圧縮行程噴射の末期において到達リフト量が更に大きい値に設定されることが回避される。その結果、上述したようにピストンの冠面及び／又はピストンキャビティの内壁を濡らす燃料の量（以降、「ウェット量」と称される場合がある）の増大が防止され、例えばスモーク及び PM 等の発生が低減される。

【 0 0 1 5 】

50

或いは、本発明の更に別の態様において、前記制御部は、前記第 1 の期間より後の第 3 の期間において前記燃料噴射弁に燃料を 1 回以上噴射させると共に同第 3 の期間における各噴射に対する到達リフト量を前記内燃機関のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど小さい値に設定する。これによれば、燃料噴射弁とピストンとの距離が小さい圧縮行程噴射の末期に近いほど到達リフト量が小さい値に設定される。その結果、ウェット量の増大がより確実に防止され、例えばスモーク及び P M 等の発生がより確実に低減される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 6 】

【図 1】本発明の 1 つの実施形態（第 1 形態）に係る燃料噴射制御装置が適用される内燃機関を示す模式図である。

【図 2】図 1 に示した燃料噴射弁の断面図である。

【図 3】図 2 に示した燃料噴射弁が噴射を停止しているときの同燃料噴射弁の先端部の断面図である。

【図 4】図 2 に示した燃料噴射弁が高リフト噴射を実行しているときの同燃料噴射弁の先端部の断面図である。

【図 5】図 2 に示した燃料噴射弁が低リフト噴射を実行しているときの同燃料噴射弁の先端部の断面図である。

【図 6】（ A ）は最大リフト噴射におけるニードルリフト量の時間変化を示す模式的なグラフであり、（ B ）は低リフト噴射におけるニードルリフト量の時間変化を示す模式的なグラフである。

【図 7】第 1 形態に係る燃料噴射制御装置によって機関の圧縮行程において分割噴射を行う場合における、ピストンの位置、燃料噴射弁のリフト量及び当該燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）のクランク角度に対する推移を表す模式的なグラフである。

【図 8】第 1 形態に係る燃料噴射制御装置による圧縮行程噴射の初期（ a ）並びに中期 1（ b ）及び中期 2（ c ）における燃料の噴霧及びピストンの位置の状況を示す模式図である。

【図 9】第 1 形態における燃料噴射制御フローにおいて実行される種々のルーチンの流れを説明するフローチャートである。

【図 1 0】圧縮行程において燃料の噴射量を増大させ続けた場合における初期（ a ）、中期 1（ b ）、中期 2（ c ）及び後期（ d ）における燃料の噴霧及びピストンの位置の状況を示す模式図である。

【図 1 1】本発明の第 3 実施形態（第 3 形態）に係る燃料噴射制御装置によって機関の圧縮行程において分割噴射を行う場合における、ピストンの位置、燃料噴射弁のリフト量及び当該燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）のクランク角度に対する推移を表す模式的なグラフである。

【図 1 2】第 3 形態に係る燃料噴射制御装置による圧縮行程噴射の初期（ a ）、中期 1（ b ）、中期 2（ c ）及び後期（ d ）における燃料の噴霧及びピストンの位置の状況を示す模式図である。

【図 1 3】第 3 形態における燃料噴射制御フローにおいて実行される種々のルーチンの流れを説明するフローチャートである。

【図 1 4】本発明の第 4 実施形態（第 4 形態）に係る燃料噴射制御装置によって機関の圧縮行程において分割噴射を行う場合における、ピストンの位置、燃料噴射弁のリフト量及び当該燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）のクランク角度に対する推移を表す模式的なグラフである。

【図 1 5】第 4 形態に係る燃料噴射制御装置による圧縮行程噴射の初期（ a ）、中期 1（ b ）、中期 2（ c ）、後期 1（ d ）及び後期 2（ e ）における燃料の噴霧及びピストンの位置の状況を示す模式図である。

【図 1 6】第 4 形態における燃料噴射制御フローにおいて実行される種々のルーチンの流れを説明するフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図１７】従来技術に係る燃料噴射制御装置によって機関の圧縮行程において分割噴射を行う場合における、ピストンの位置、燃料噴射弁のリフト量、及び当該燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）のクランク角度に対する推移を表す模式的なグラフである。

【図１８】従来技術に係る燃料噴射制御装置による圧縮行程噴射の初期（a）及び中期（b）における燃料の噴霧及びピストンの位置の状況を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【００１７】

前述したように、本発明に係る燃料噴射制御装置によれば、ピストンキャビティを備える筒内噴射式火花点火内燃機関において確実な着火性を確保して安定的な成層燃焼を確保することができる。より具体的には、本発明に係る燃料噴射制御装置は、燃料噴射弁とピストンとの距離が大きい圧縮行程噴射の初期においては、パーシャルリフト噴射により、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）を小さくする。その結果、良好な着火性を有する可燃混合気を点火プラグ近傍に形成することができ、安定的な成層燃焼を確保することができる。本発明を実施するための幾つかの形態につき、以下に詳しく説明する。

【００１８】

< 第１実施形態 >

先ず、本発明の第１実施形態（以降、「第１形態」と称される場合がある）は、冠面にキャビティが形成されたピストンを備える内燃機関に適用され、

弁座からの弁体の移動に伴って噴孔から前記キャビティに向けて燃料を噴射する燃料噴射弁と、

前記燃料噴射弁から前記燃料を噴射させるために前記弁体を移動させると共に同弁体の移動量の最大値である到達リフト量を増減可能である制御部と、

を備える筒内噴射式火花点火内燃機関の燃料噴射制御装置において、

前記制御部は、

前記内燃機関の圧縮行程の少なくとも第１の期間において燃料を複数回に分けて噴射する分割噴射を前記燃料噴射弁に行わせると共に同第１の期間における各噴射に対する到達リフト量を前記内燃機関のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど大きい値に設定する、

燃料噴射制御装置である。

【００１９】

上記のように、第１形態に係る燃料噴射制御装置は、冠面にキャビティが形成されたピストンを備える内燃機関に適用され、弁座からの弁体の移動に伴って噴孔から前記キャビティに向けて燃料を噴射する燃料噴射弁と、前記燃料噴射弁から前記燃料を噴射させるために前記弁体を移動させると共に同弁体の移動量の最大値である到達リフト量を増減可能である制御部と、を備える筒内噴射式火花点火内燃機関の燃料噴射制御装置である。ここで、第１形態に係る燃料噴射制御装置が適用される内燃機関、燃料噴射弁及び制御部の構成等につき、図１を参照しながら更に詳しく説明する。

【００２０】

（内燃機関の構成）

機関１０は、周知のガソリン燃料火花点火式エンジンである。機関１０は、シリンダヘッド１１、シリンダブロック１２、クランクケース１３、点火プラグを含む点火装置１４、吸気弁１５、排気弁１６、ピストン１７、コネクティングロッド１８及びクランクシャフト１９等を備える。シリンダヘッド１１の下方壁面と、シリンダブロック１２に形成されたシリンダボアの壁面と、ピストン１７の冠面と、によって燃焼室２０が形成される。上述したように、ピストン１７の冠面には、キャビティ（ピストンキャビティ６０）が形成されている。

【００２１】

前述したように、燃料噴射弁３０から噴射された燃料の噴霧がピストンキャビティ６０

10

20

30

40

50

内に適切に導かれると、その噴霧はピストンキャビティ 60 の内壁の形状に応じて点火プラグ方向へ偏向され、良好な着火性を有する混合気を点火プラグの火花発生部 14 a の近傍に形成する。これにより、成層燃焼が達成される。

【0022】

点火装置 14 は、点火プラグの火花発生部 14 a が燃焼室 20 の上面中央部に露呈するようにシリンダヘッド 11 に配設されている。吸気弁 15 は、インテークカム 21 により駆動されることによって「燃焼室 20 と、シリンダヘッド 11 に形成された吸気ポート 22 と、の連通部」を開閉するようにシリンダヘッド 11 に配設されている。排気弁 16 は、エキゾーストカム 23 により駆動されることによって「燃焼室 20 と、シリンダヘッド 11 に形成された排気ポート 24 と、の連通部」を開閉するようにシリンダヘッド 11 に配設されている。更に、機関 10 は、燃料噴射弁（筒内噴射弁）30 を備えている。燃料噴射弁 30 は、燃料を燃焼室 20 内に噴射するように、シリンダヘッド 11 の「吸気ポート 22 とシリンダブロック 12 との間の領域」に配設されている。

10

【0023】

尚、上記のように、図 1 に示されている内燃機関は、シリンダヘッドの吸気ポートとシリンダブロックとの間の領域に配設された燃料噴射弁がシリンダの中心軸に向かって燃料を噴射する所謂「サイド噴射方式内燃機関」である。しかしながら、本発明に係る燃料噴射制御装置が適用される内燃機関は、ピストンの冠面に形成されたキャビティに向けて燃料が噴射される筒内噴射式火花点火内燃機関である限り、特に限定されない。即ち、本発明に係る燃料噴射制御装置は、「サイド噴射方式内燃機関」のみならず、例えば、シリンダヘッドの中心部近傍に配設された燃料噴射弁からピストンの冠面に形成されたキャビティに向けて燃料が噴射される所謂「センター噴射方式内燃機関」にも適用することができる。

20

【0024】

（制御部の構成）

第 1 形態に係る燃料噴射制御装置は、CPU、ROM、RAM 及びバックアップ RAM 等を含む周知のマイクロコンピュータを含む ECU（電気制御装置）50 を備える。ECU 50 は、点火装置 14 及び燃料噴射弁 30 等と電氣的に接続され、これらに駆動信号を送出するようになっている。即ち、ECU 50 は制御部に該当する。加えて、ECU 50 は、クランクポジションセンサ 51、エアフローメータ 52、アクセルペダル踏込量センサ 53 及び空燃比センサ 54 等と電氣的に接続され、これらからの信号を受信するようになっている。

30

【0025】

クランクポジションセンサ 51 は、クランクシャフト 19 の回転位置に応じて信号を発生する。ECU 50 は、クランクポジションセンサ 51 からの信号に基づいて機関回転速度 NE を算出する。更に、ECU 50 は、クランクポジションセンサ 51 及びカムポジションセンサ（図示せず）からの信号に基づき、例えば、何れかの気筒における圧縮上死点を基準として、絶対クランク角度を取得する。エアフローメータ 52 は機関 10 の吸入空気の流量を表す信号を発生する。アクセルペダル踏込量センサ 53 はアクセルペダル Ap の踏込量を表す信号を発生する。空燃比センサ 54 は、排ガスの空燃比を表す信号を発生する。

40

【0026】

（燃料噴射弁の構成）

次に、燃料噴射弁 30 について詳述する。前述したように、燃料噴射弁 30 は、機関 10 の燃焼室 20 に供給される混合気を形成するための燃料を弁座からの弁体の移動に伴って噴孔から噴射する。燃料噴射弁 30 は、いわゆる内開弁型の噴射弁である。燃料噴射弁 30 は、図 2 に示されているように、ノズル本体部 31 と、弁体としてのニードル弁 32 と、スプリング 33 と、ソレノイド 34 と、を有する。

【0027】

ノズル本体部 31 には、円筒状空間 A1 と、円筒状空間 A2 と、円筒状空間 A3 と、が

50

形成されている。これらの空間は、何れも同軸的に形成され、互いに連通している。ノズル本体部 3 1 の先端部には、円筒状空間 A 1 と外部とを連通する噴孔 3 1 a が形成されている。ノズル本体部 3 1 の基端部には、円筒状空間 A 3 と燃料配管（図示省略）とを連通する燃料取込孔 3 1 b が形成されている。

【0028】

ニードル弁 3 2 は、小径の円柱形状を有する円柱部 3 2 a と、大径の円柱形状を有する鍔部 3 2 b と、を有している。円柱部 3 2 a の先端は略円錐形状を有する。円柱部 3 2 a の先端側は円筒状空間 A 1 内に収容されている。その結果、ノズル本体部 3 1 の先端側部における内周壁面と円柱部 3 2 a の先端側部の外周壁面との間に燃料通路 F P が形成されている。鍔部 3 2 b は円筒状空間 A 2 内に収容されている。ニードル弁 3 2 は、ニードル弁軸線 C L に沿って移動するようになっている。更に、ニードル弁 3 2 内部には「ニードル弁 3 2 の基端部と円柱部 3 2 a の先端側部の外周壁面とを連通する燃料通路」が形成されている。その結果、燃料取込孔 3 1 b から円筒状空間 A 3 に流入する燃料は、このニードル弁 3 2 内の燃料通路を通過して燃料通路 F P に供給される。

【0029】

スプリング 3 3 は、円筒状空間 A 3 内に配置されている。スプリング 3 3 は、ニードル弁 3 2 を噴孔 3 1 a 側に付勢するようになっている。

ソレノイド 3 4 は、ノズル本体部 3 1 の基端部側部であって、円筒状空間 A 2 の周囲に配設されている。ソレノイド 3 4 は、E C U 5 0 からの駆動信号により通電状態となり、その場合、ニードル弁 3 2 をスプリング 3 3 の付勢力に抗して燃料取込孔 3 1 b 側に移動させる磁力を発生するようになっている。

【0030】

ソレノイド 3 4 が非通電状態であるとき、ニードル弁 3 2 の移動量（以降、「ニードルリフト量」又は単に「リフト量」と称される場合がある）は「0」であり、後に詳述するように、燃料噴射は行われない。ソレノイド 3 4 が通電状態となってニードルリフト量が「0」よりも大きくなると、燃料噴射が行われる。ニードルリフト量が所定の大きになると、鍔部 3 2 b がノズル本体部 3 1 の円筒状空間 A 2 を形成している壁部と当接する。その結果、ニードル弁 3 2 の動きが規制される。このときのニードルリフト量は「最大リフト量」と称呼される。即ち、ニードルリフト量は、「0」から「最大リフト量」までの範囲内で変化することができる。

【0031】

（燃料噴射弁の作動）

ここで、燃料噴射弁 3 0 の作動について、「燃料噴射弁 3 0 の先端部近傍の断面図である、図 3 乃至図 5」を参照しながら詳述する。前述したように、ソレノイド 3 4 が非通電状態にあるとき、ニードル弁 3 2 はスプリング 3 3 によって噴孔 3 1 a 側に付勢される。その結果、例えば、図 3 に示したように、ニードル弁 3 2 のニードルシート壁面 3 2 c が、ノズル本体部 3 1 の先端部の内側壁面であるノズルシート壁面 3 1 c に当接（着座）する。即ち、ノズルシート壁面 3 1 c は弁座に該当する。これにより、噴孔 3 1 a と連通しているサック S と、前述した燃料通路 F P とが遮断されるので、燃料は噴孔 3 1 a から噴射されない。この状態におけるニードルリフト量は「0」である。

【0032】

一方、ソレノイド 3 4 が通電状態となると、ニードル弁 3 2 は燃料取込孔 3 1 b 側に移動させられる。即ち、ソレノイド 3 4 が通電状態となると、例えば、図 4 に示したように、ニードルリフト量 L が「0」よりも大きい値 L 1（本例において最大リフト量 L max）となり、或いは、図 5 に示したようにニードルリフト量 L が「0」よりも大きい値 L 2（但し、値 L 2 は値 L 1 よりも小さい）となる。即ち、図 4 に示した例における到達リフト量は L 1 であり、図 5 に示した例における到達リフト量は L 2 である。この結果、噴孔 3 1 a と連通しているサック S と、前述した燃料通路 F P と、が連通するので、燃料が燃料通路 F P からサック S 内に流入し、次いで、噴孔 3 1 a を通して外部へと噴射される。

【0033】

10

20

30

40

50

(高リフト噴射と低リフト噴射の違い)

燃料噴射弁 30 は、燃料噴射弁 30 のソレノイド 34 への通電時間の制御によって、或いは、ソレノイド 34 への供給電流量を調整することによって、ニードルリフト量（即ち、ニードル弁 31 のリフト量）の最大値が可変に制御されるようになっている。即ち、制御部としての ECU 50 は、燃焼室 20 内に燃料を噴射するときの燃料噴射弁 30 の弁体（ニードル弁 32）の（移動量の最大値である）到達リフト量を増減可能である。ニードル弁 31 を最大リフト量（即ち、フルリフト量） L_{max} までリフトさせる噴射は、フルリフト噴射と称される。一方、ニードル弁 31 をフルリフト量よりも小さい部分リフト量（即ち、パーシャルリフト量）までの範囲でリフトさせる噴射は、パーシャルリフト噴射と称される。図 6（A）に、1 回のフルリフト噴射のニードルリフト量の時間変化を示す。図 6（B）に、3 回のパーシャルリフト噴射のニードルリフト量の時間変化を示す。

10

20

30

40

50

【0034】

前述したように、燃料噴射弁 30 によって燃料を噴射する場合、ニードルリフト量 L が「0」から到達リフト量（ L_1 又は L_2 ）まで変化するのに伴って燃料が燃料通路 FP からサック S 内に流入し、次いで噴孔 31a を通して燃料が外部へと噴射される。その後、ニードルリフト量 L が到達リフト量から「0」まで戻り、サック S と燃料通路 FP とが遮断され、燃料の噴射が終了する。この際、ニードルシート壁面 32c とノズルシート壁面 31c との間隔は、フルリフト噴射の場合の方が、パーシャルリフト噴射の場合よりも広い。従って、燃料通路 FP からサック S 内に流入する燃料の流量は、フルリフト噴射の場合の方が、パーシャルリフト噴射の場合よりも大きい。即ち、噴孔 31a を通して外部へと噴射される燃料の圧力は、フルリフト噴射の場合の方が、パーシャルリフト噴射の場合よりも高い。その結果、噴孔 31a を通して外部へと噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）もまた、フルリフト噴射の場合の方が、パーシャルリフト噴射の場合よりも高い。

【0035】

<第 1 形態に係る燃料噴射制御>

第 1 形態の作動について説明する。一般的には、第 1 形態に係る燃料噴射制御装置は、混合気の空燃比（ A/F ）が目標空燃比になるように、燃料噴射弁 30 から噴射される燃料量についてフィードバック制御を行う。前述したように、成層燃焼においては、気筒内全体としては希薄（リーン）な混合気の燃焼により燃料消費率が改善される。具体的には、本制御装置は、混合気の空燃比（ A/F ）が理論空燃比（14.7）よりも大きい（リーンな）目標空燃比となるように制御を行う。このフィードバック制御においては、触媒より上流の排気経路中に配設された空燃比センサによって得られる空燃比情報と、予め設定された目標空燃比と、の偏差をなくすような制御が行われる。空燃比フィードバック制御の詳細については当業者に周知であるので、本明細書における詳細な説明は割愛する。

【0036】

更に、第 1 形態に係る燃料噴射制御装置は、成層燃焼を実施すべく、制御部としての ECU 50 により、機関 10 の圧縮行程において燃料を複数回に分けて噴射する分割噴射（「マルチ噴射」と称される場合もある）を行う。分割噴射とは、1 機関サイクルにおいて、比較的短時間の間に燃料噴射弁を複数回開閉することによって、燃料噴射のオンとオフとを連続的に繰り返す噴射である。

【0037】

ところで、従来技術に係る燃料噴射制御装置が圧縮行程において分割噴射を行う場合、一般的には、図 17 に示されているように、分割噴射によって噴射される燃料の総量を複数回の噴射に対して均等に分割することにより、分割噴射における 1 回の噴射当たりの燃料噴射量が定められる。図 17 の下側には、このような場合におけるクランク角度（横軸）とピストンの位置（左側の縦軸）との関係を示すグラフ（曲線）と、クランク角度（横軸）と燃料噴射弁のリフト量（右側の縦軸）との関係を示すグラフ（5 つのパルス状波形）と、が示されている。

【 0 0 3 8 】

上記曲線によって示されているように、クランク角度が -180° から 0° へと増大するに伴って、ピストンの位置が圧縮下死点 (B D C) から圧縮上死点 (T D C) へと移動している。即ち、クランク角度が -180° から 0° に至るまでの期間において、当該機関は圧縮行程にある。一方、クランク角度が 0° から 180° へと増大するに伴って、ピストンの位置が圧縮上死点 (T D C) から膨張下死点 (B D C) へと移動している。即ち、クランク角度が 0° から 180° に至るまでの期間において、当該機関は膨張行程にある。

【 0 0 3 9 】

上記 5 つのパルス状波形によって示されているように、この例においては、機関の圧縮行程において分割噴射によって噴射される燃料の総量を 5 回に均等に分けて噴射する。具体的には、分割噴射を構成する 5 回の噴射における燃料噴射弁の到達リフト量を全て同じに設定する。図 17 の上側には、このような場合におけるクランク角度 (横軸) と噴霧の運動量 (縦軸) との関係を示すグラフ (5 つのパルス状波形) が示されている。上記 5 つのパルス状波形によって示されているように、この例においては、分割噴射を構成する 5 回の噴射において燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量 (貫徹力) は全て同じとなる。

10

【 0 0 4 0 】

ところで、分割噴射の 1 回目の噴射の時点 (即ち、圧縮行程における最初の噴射) においては、ピストンが燃料噴射弁から遠く離れている。そのため、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量 (貫徹力) が高い場合、前述したように、燃料の噴霧をピストンキャビティ内に進入させて点火プラグ方向へ偏向させることが難しい場合がある。

20

【 0 0 4 1 】

具体的には、例えば、サイド噴射方式内燃機関において運動量 (貫徹力) が高い燃料噴射を行う場合、圧縮行程噴射の中期においては、図 18 の (b) によって表されているように、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧がピストンキャビティ内に適切に導かれ、ピストンキャビティの内壁によって点火プラグ方向へ偏向されて成層燃焼に供される。一方、圧縮行程噴射の初期においては、燃料噴射弁とピストンとの距離が大きいために、その後、上昇してくるピストンの冠面と燃料の噴霧とが衝突するまでに燃料の噴霧が燃焼室内で移動してピストンキャビティから逸れてしまい、ピストンキャビティ内に進入できない場合がある。図 18 の (a) に示す例においては、噴射直後の燃料の噴霧はピストンキャビティの上部にあるものの、その後ピストンが上昇して、その冠面と燃料の噴霧とが衝突する頃には、黒い矢印によって表されているように、燃料の噴霧はピストンキャビティを飛び越え、向かって右側のシリンダ内壁付近まで到達してしまっている。即ち、燃料の噴霧がピストンキャビティ内に適切に導かれられない。その結果、ピストンキャビティによって点火プラグ方向へ偏向されて良好な着火性を有する混合気を点火プラグ近傍に形成する燃料が減少し、結果として成層燃焼が不安定となる虞がある。

30

【 0 0 4 2 】

一方、第 1 形態に係る燃料噴射制御装置は、E C U 5 0 により、機関 1 0 の圧縮行程の第 1 の期間 (図 7 においては約 -80° から約 -40° までのクランク角度の範囲) において 5 回の噴射によって燃料を噴射する分割噴射を行う。このとき、個々の噴射における到達リフト量は機関 1 0 のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど大きい値に設定される。図 17 と同様に、図 7 の下側には、このような場合におけるクランク角度 (横軸) とピストンの位置 (左側の縦軸) との関係を示すグラフ (曲線) と、クランク角度 (横軸) と燃料噴射弁のリフト量 (右側の縦軸) との関係を示すグラフ (5 つのパルス状波形) と、が示されている。

40

【 0 0 4 3 】

図 7 の上側には、このような場合におけるクランク角度 (横軸) と噴霧の運動量 (縦軸) との関係を示すグラフ (5 つのパルス状波形) が示されている。上記 5 つのパルス状波形によって示されているように、この例においては、分割噴射を構成する 5 回の噴射にお

50

いて燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）は、機関１０のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど大きくなっている。

【００４４】

上記により、第１形態に係る燃料噴射制御装置においては、燃料噴射弁とピストンとの距離が大きい圧縮行程噴射の初期において燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が小さい。その結果、圧縮行程噴射の初期においても良好な着火性を有する可燃混合気を点火プラグの近傍に形成することができ、安定的な成層燃焼を確保することができる。

【００４５】

具体的には、例えば、サイド噴射方式内燃機関の圧縮行程において複数回に分けて燃料を噴射する分割噴射を行う場合、ピストンの位置が低い圧縮行程噴射の初期においては、図８の（ａ）に示されているように低い運動量（貫徹力）を有する燃料の噴霧が噴射される。その結果、図１８の（ａ）に示した従来技術に係る燃料噴射制御装置におけるように燃料の噴霧がピストンキャビティを飛び越えて燃焼室の右端付近まで到達することが回避される。このように噴射された燃料の噴霧は、その後クランク角度が圧縮上死点に近くなるのに伴って上昇してくるピストンキャビティ内に捉えられ、良好な着火性を有する可燃混合気を点火プラグの近傍に形成する。一方、圧縮行程噴射の中期以降においては、図８の（ｂ）及び（ｃ）によって表されているように、ピストンが燃料噴射弁に近づくほど、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が徐々に増大される。このように噴射された燃料の噴霧は、ピストンキャビティ内に適切に導かれ、ピストンキャビティの内壁によって点火プラグ方向へ偏向されて成層燃焼に供される。尚、分割噴射の回数及び個々の噴射における燃料の噴射量等の詳細については後述する。

【００４６】

（第１形態における燃料噴射制御フロー）

第１形態の作動につき、図９のフローチャートを参照しながら説明する。ＥＣＵ５０のＣＰＵは、所定クランク角度において図９のフローチャートに示されたルーチンを実行するようになっている。従って、適当なタイミングになると、図９の処理が開始され、先ずステップ１１０１において、クランクポジションセンサ５１及びカムポジションセンサ（図示せず）からの信号に基づいてＥＣＵ５０が機関回転速度ＮＥ及び絶対クランク角度を検出する。次にステップ１１０２において、エアフローメータ５２からの信号に基づいてＥＣＵ５０が吸入空気量を検出する。そして、ＥＣＵ５０は、ステップ１１０３において、機関回転速度ＮＥ及び吸入空気量等に基づいて燃料噴射量（１サイクル当たり要求される燃料の噴射量）Ｑを算出する。前述したように、成層燃焼においては、気筒内全体としては希薄（リーン）な混合気の燃焼が可能となる。従って、ＥＣＵ５０は、混合気の空燃比（Ａ／Ｆ）が理論空燃比よりも大きい（リーンな）目標空燃比となる燃料噴射量Ｑを算出する。

【００４７】

次いで、ステップ１１０４において、ＥＣＵ５０は、例えば、機関回転速度ＮＥ及び燃料噴射量Ｑ等に基づいて燃料噴射時期（燃料噴射を実行するクランク角度の範囲）を算出する。尚、前述したように燃料噴射量Ｑを増大させると燃焼室壁面からの熱によって燃料が可燃混合気となるのに必要な期間が長くなるので、燃料噴射時期は、この期間を確保することが可能であるように定められる。このように決定された燃料噴射時期（クランク角度の範囲）及び機関回転速度ＮＥから、燃料噴射を実行することが許容される期間の時間的長さが特定される。尚、この例においては、上記のように決定された燃料噴射時期の全てに亘って分割噴射が行われ、その間、機関１０のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど到達リフト量が増大される。即ち、この例においては、燃料噴射時期は第１の期間と一致する。

【００４８】

次に、ステップ１１０５において、ＥＣＵ５０は、このように特定された燃料噴射時期の長さ、燃料噴射弁３０の開閉速度（ＥＣＵ５０からの指示信号に対する応答速度）及び１

回の噴射によって燃料噴射弁 30 から噴射することができる燃料の量等に基づいて、圧縮行程の第 1 の期間における分割噴射の回数（第 1 期間噴射回数） n を算出する。

【0049】

ここで、ステップ 1110 において、ECU 50 は、カウンタ i を 0（ゼロ）に設定する。次のステップ 1120 において、ECU 50 は、カウンタ i に 1 を加えてカウントアップする。更に、ECU 50 は、次のステップ 1135 において、 i 回目の燃料噴射における到達リフト量を算出する。この例においては、1 回目の燃料噴射における到達リフト量を h_{ini} とし、その後、2 回目以降の燃料噴射においては等量（ h_u ）ずつ到達リフト量を増大させる。この場合、 i 回目の燃料噴射における到達リフト量 h_i は以下の式（1）によって表される。

10

【0050】

【数 1】

$$h_i = h_{ini} + (i - 1) \times \Delta h_u \quad \dots \quad (1)$$

【0051】

尚、1 回目の燃料噴射における到達リフト量 h_{ini} は、例えば、第 1 の期間における最初の噴射において燃料噴射弁 30 から噴射される燃料の噴霧がピストンキャビティ 60 を飛び越えて、向かって右側のシリンダ内壁付近まで到達してしまわない程度の到達リフト量に設定される。2 回目以降の燃料噴射における到達リフト量の増分 h_u の具体的な大きさは、例えば、燃料噴射弁 30 におけるリフト量の制御精度、個々の噴射タイミングにおけるクランク角度（燃料噴射弁 30 とピストン 17 との距離）、機関回転速度 N_E 及び燃料噴射量 Q 等に基づいて設定される。このように設定された i 回目の燃料噴射における到達リフト量 h_i （ $i = 1, 2, 3 \dots$ ）は、噴射の実行タイミングと共に、次の燃料噴射実行時に使用される設定値として、次のステップ 1160 において、例えば、ECU 50 が備えるデータ記憶装置（例えば、RAM 等）に格納される。

20

【0052】

次のステップ 1170 においては、第 1 の期間において n 回に分割して行われる燃料噴射の全てについて到達リフト量 h_i が設定されたか否かを ECU 50 が判定する。具体的には、ECU 50 は、 i が n に等しいか否かを判定する。 i が n に等しいと判定された場合（ステップ 1170：Yes）、ECU 50 は次のステップ 1180 に進む。このとき、 n 回にわたる分割噴射の全てについての到達リフト量 h_i が既に設定されており、それぞれがデータ記憶装置に格納されている。ステップ 1180 においては、ステップ 1104 において算出された燃料噴射時期（第 1 の期間）、ステップ 1105 において算出された第 1 期間噴射回数 n 及びステップ 1135 において算出されてステップ 1160 においてデータ記憶装置に格納された到達リフト量 h_i に基づいて、燃料噴射の実行が指示される。

30

【0053】

一方、ステップ 1170 において i が n に等しくないと判定された場合（ステップ 1170：No）、ECU 50 はステップ 1120 に戻り、ステップ 1120 からステップ 1170 までのフローが繰り返される。これにより、 n 回にわたる分割噴射の全てについての到達リフト量 h_i が設定されるまで、ステップ 1120 からステップ 1170 までのフローが繰り返される。

40

【0054】

ところで、機関 10 の 1 サイクルにおいて上記第 1 期間における分割噴射の他に燃料を噴射する機会が無い場合、当然のことながら、1 サイクル当たり要求される燃料噴射量 Q と上記分割噴射全体としての燃料噴射量の総量とが等しくなるように、第 1 期間噴射回数 n 及び個々の噴射における到達リフト量 h_i が設定される。即ち、以下の式（2）が成立するように、第 1 期間噴射回数 n 及び個々の噴射における到達リフト量 h_i が設定される。

50

【 0 0 5 5 】

【 数 2 】

$$\sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n f(h_i) = Q \quad \dots \quad (2)$$

【 0 0 5 6 】

上式中、 q_i は分割噴射を構成する個々の噴射における燃料の噴射量である。例えば、図 6 の (B) に示したような分割噴射を行う場合、個々の噴射における到達リフト量 h_i が大きいほど、個々の噴射における燃料の噴射量 q_i は大きい。このように、個々の噴射における燃料の噴射量 q_i は個々の噴射における到達リフト量 h_i と正の相関を有する。上式中、個々の噴射における燃料の噴射量 q_i は、少なくとも個々の噴射における到達リフト量 h_i を引数とする関数 f によって表されている。

10

【 0 0 5 7 】

尚、上記においては機関 10 の 1 サイクルにおいて第 1 期間における分割噴射の他に燃料を噴射する機会が無い場合について説明したが、例えば、第 1 の期間に行われる分割噴射のみによっては 1 サイクル当たりに要求される燃料噴射量 Q を噴射することが困難である場合等においては、第 1 の期間より前及び / 又は後に更なる燃料噴射を行ってもよい。

【 0 0 5 8 】

更に、上記フローチャートによって表される燃料噴射制御フローを構成する各ルーチンの実行順序は、矛盾を生じない範囲で入れ替えてもよい。更に、上記説明においては 2 回目以降の燃料噴射において到達リフト量を等量 (h_u) ずつ増大させたが、2 回目以降の燃料噴射における到達リフト量の増分 (h_u) は必ずしも等しい必要は無く、その都度異なってもよい。

20

【 0 0 5 9 】

以上のように、第 1 形態に係る燃料噴射制御装置によれば、第 1 の期間に行われる分割噴射を構成する個々の噴射における到達リフト量 h_i が機関 10 のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど大きい値に設定される。従って、燃料噴射弁とピストンとの距離が大きい圧縮行程噴射の初期の噴射においては、到達リフト量が小さい値に設定される。即ち、圧縮行程噴射の初期の噴射においては、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量 (貫徹力) が小さい。その結果、圧縮行程噴射の初期において噴射された燃料のうち成層燃焼に供される燃料の減少を回避することができる。更に、圧縮行程噴射の中期から後期にかけては、適度な運動量 (貫徹力) を有する燃料の噴霧がピストンキャビティ内に適切に導かれ、点火プラグ方向へ偏向されて成層燃焼に供される。その結果、良好な着火性を有する可燃混合気を点火プラグ近傍に形成することができ、安定的な成層燃焼を確保することができる。

30

【 0 0 6 0 】

< 第 2 実施形態 >

ところで、前述したように、例えば、第 1 の期間に行われる分割噴射のみによっては 1 サイクル当たりに要求される燃料噴射量 Q を噴射することが困難である場合等においては、上記第 1 の期間より前にも燃料を噴射してもよい。この噴射における到達リフト量は、第 1 の期間における最初の噴射を行うための到達リフト量よりも大きい値に設定することも、小さい値に設定することも、或いは第 1 の期間における最初の噴射を行うための到達リフト量と同じ値に設定することもできる。

40

【 0 0 6 1 】

しかしながら、機関の圧縮行程における第 1 の期間よりも前においては、第 1 の期間における最初の噴射を行うときよりも、燃料噴射弁とピストンとの距離が更に大きい。従って、前述したように燃料の噴霧がピストンキャビティから逸れることを回避するためには、機関の圧縮行程における第 1 の期間よりも前に行われる噴射における到達リフト量を、第 1 の期間における最初の噴射を行うための到達リフト量よりも小さい値に設定することが望ましい。

50

【 0 0 6 2 】

そこで、本発明の第 2 実施形態（以降、「第 2 形態」と称される場合がある）の制御部は、

前記第 1 の期間より前の第 2 の期間において前記燃料噴射弁に燃料を 1 回以上噴射させると共に同第 2 の期間における各噴射に対する到達リフト量を前記第 1 の期間における最初の噴射に対する到達リフト量よりも小さい値に設定する。

【 0 0 6 3 】

これによれば、前述したように、第 1 の期間より前の第 2 の期間において噴射される燃料は相当に小さい運動量を有するので、その少なくとも一部（望ましくは多く）が燃料噴射弁の近傍（燃烧室の上部）に滞留し易くなる。従って、第 2 の期間において噴射された燃料は、後にピストンが上昇したときにピストンキャビティ内に捕捉され易く、良好な着火性を有する可燃混合気の形成に貢献し易い。その結果、より多くの燃料を用いて可燃混合気を形成することが可能となる。

【 0 0 6 4 】

この場合、第 1 の期間及び第 2 の期間における分割噴射の他に燃料を噴射する機会が無い場合は、1 サイクル当たりに要求される燃料噴射量 Q と第 1 の期間及び第 2 の期間における分割噴射の全体としての燃料噴射量の総量とが等しくなるように、第 1 期間噴射回数 n 及び第 2 期間における噴射回数、個々の噴射における到達リフト量 h_i が設定される。

【 0 0 6 5 】

< 第 3 実施形態 >

ところで、前述したように、例えば、第 1 の期間に行われる分割噴射のみによっては 1 サイクル当たりに要求される燃料噴射量 Q を噴射することが困難である場合等においては、上記第 1 の期間より後にも燃料を噴射してもよい。この噴射における到達リフト量は、第 1 の期間における最後の噴射を行うための到達リフト量よりも大きい値に設定することも、小さい値に設定することも、或いは第 1 の期間における最後の噴射を行うための到達リフト量と同じ値に設定することもできる。

【 0 0 6 6 】

しかしながら、機関の圧縮行程においてはクランク角度が圧縮上死点に近くなるほどピストンが燃料噴射弁に近付く。従って、圧縮行程の末期に近づくほどピストンと燃料噴射弁との距離が小さくなる。それにも拘わらず、クランク角度が圧縮上死点に近くなるほど燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）を増大させ続けると、ピストンと燃料噴射弁との距離に対して燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が過大となり、燃料ウェットが発生する虞がある。燃料ウェットが発生すると、例えばスモーク及び PM 等が発生する虞がある。

【 0 0 6 7 】

ここで、上記につき、図 10 を参照しながら説明する。図 10 は、前述したように、圧縮行程において燃料の運動量（貫徹力）を増大させ続けた場合における初期（a）、中期 1（b）、中期 2（c）及び後期（d）における燃料の噴霧及びピストンの位置の状況を示す模式図である。第 1 形態に係る燃料噴射制御装置について図 8 を参照しながら説明したように、（a）初期から（c）中期 2 まではピストンの位置に対して適切な燃料の噴霧が形成されている。しかしながら、ピストンと燃料噴射弁との距離が更に小さくなる（d）後期においても燃料の運動量（貫徹力）を更に増大させると、ウェット量が増大する。

【 0 0 6 8 】

従って、圧縮行程の後期におけるウェット量の増大を防止するためには、ピストンと燃料噴射弁との距離が極めて小さくなる圧縮行程の後期において燃料噴射弁の到達リフト量を増大させないことが望ましい。より具体的には、本発明に係る燃料噴射制御装置が備える制御部は、圧縮行程の第 1 期間より後は、到達リフト量を予め定められた所定の値に維持するように燃料噴射弁を制御することが望ましい。

【 0 0 6 9 】

そこで、本発明の第 3 実施形態（以降、「第 3 形態」と称される場合がある）の制御部

は、

前記第 1 の期間より後の第 3 の期間において前記燃料噴射弁に燃料を 1 回以上噴射させると共に同第 3 の期間における各噴射に対する到達リフトを予め定められた所定の値に維持する。

【 0 0 7 0 】

上記「予め定められた所定の値」は、圧縮行程における第 1 の期間より後の第 3 の期間においてウェット量の増大を伴わずに燃料噴射を行うことができる到達リフト量の上限值に対応する値である。換言すれば、上記「予め定められた所定の値」は、第 3 の期間に行われる燃料噴射において、それよりも高い値に到達リフト量を設定するとウェット量が増大する閾値に対応する値であり、例えば事前実験等によって予め定めることができる。

10

【 0 0 7 1 】

厳密には、分割噴射を構成する個々の噴射において燃料ウェットが発生するか否かは、個々の噴射における燃料噴射弁の到達リフト量のみならず、個々の噴射タイミングにおけるクランク角度（燃料噴射弁とピストンとの距離）及び機関回転速度 N E 等にも影響される。従って、上記「予め定められた所定の値」は、例えば、種々の機関回転速度 N E において種々の噴射タイミング（クランク角度）及び到達リフト量にて燃料を噴射する事前実験等によって予め定めることができる。

【 0 0 7 2 】

第 3 形態に係る燃料噴射制御装置においては、第 1 の期間より後の第 3 の期間において、上記のように定められる「予め定められた所定の値」に到達リフトが維持される。これにより、燃料噴射弁とピストンとの距離が小さい圧縮行程噴射の後期において燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が過大となることが回避される。その結果、ウェット量の増大が防止され、例えばスモーク及び P M 等の問題の発生が低減される。

20

【 0 0 7 3 】

尚、第 3 形態における内燃機関、制御部及び燃料噴射弁の構成等については第 1 形態と共通であるので、ここでは重複する説明は繰り返さない。

【 0 0 7 4 】

< 第 3 形態に係る燃料噴射制御 >

ここで、第 3 形態の作動について説明する。図 1 1 の下側には、図 7 と同様に、このような場合におけるクランク角度（横軸）とピストンの位置（左側の縦軸）との関係を示すグラフ（曲線）と、クランク角度（横軸）と燃料噴射弁のリフト量（右側の縦軸）との関係を示すグラフ（6 つのパルス状波形）と、が示されている。図 1 1 の下側に示されているように、第 3 形態に係る燃料噴射制御装置も、E C U 5 0 により、機関 1 0 の圧縮行程の第 1 の期間（図 1 1 においては約 - 8 0 ° から約 - 5 0 ° までのクランク角度の範囲）において 4 回の噴射によって燃料を噴射する分割噴射を行う。このとき、個々の噴射における到達リフト量を機関 1 0 のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど大きい値に設定する。

30

【 0 0 7 5 】

上記のように、第 3 形態に係る燃料噴射制御装置は、第 1 の期間における噴射に該当する 1 回目から 4 回目の噴射までは到達リフト量を増大させるものの、第 1 の期間より後の第 3 の期間（図 1 1 においては約 - 4 0 ° から約 - 3 0 ° までのクランク角度の範囲）における噴射（5 回目以降の噴射）においては、4 回目の噴射における到達リフト量に到達リフト量を一定に維持する。即ち、この例においては、上述した「予め定められた所定の値」は「4 回目の噴射における到達リフト量」（即ち、第 1 の期間における最後の噴射に対する到達リフト量）と同じ値である。

40

【 0 0 7 6 】

図 1 1 の上側には、上記のような場合におけるクランク角度（横軸）と噴霧の運動量（縦軸）との関係を示すグラフ（6 つのパルス状波形）が示されている。上記 6 つのパルス状波形によって示されているように、この例においては、分割噴射を構成する 6 回の噴射のうち、第 1 の期間における噴射に該当する 1 回目から 4 回目までの噴射においては機関

50

10のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が大きくなる。更に、第1の期間より後の第3の期間における噴射（5回目以降の噴射）による燃料の噴霧の運動量（貫徹力）は4回目の噴射における運動量（貫徹力）にて一定に維持される。

【0077】

上記により、第3形態に係る燃料噴射制御装置においては、燃料噴射弁とピストンとの距離が大きい圧縮行程噴射の初期において、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が小さい。その結果、例えば、サイド噴射方式内燃機関において分割噴射を行う場合、ピストンの位置が低い圧縮行程噴射の初期においては、図12の（a）に示されているように低い運動量（貫徹力）を有する燃料の噴霧が噴射される。その結果、図18の（a）に示した従来技術に係る燃料噴射制御装置におけるように燃料の噴霧がピストンキャビティを飛び越えて燃焼室の右端付近まで到達することが回避される。このように噴射された燃料の噴霧は、その運動量（貫徹力）が小さく、その後クランク角度が圧縮上死点に近くなるのに伴って上昇してくるピストンキャビティ内に捉えられ、良好な着火性を有する可燃混合気を点火プラグ近傍に形成する。

【0078】

次に、圧縮行程噴射の中期に入ると（中期1及び中期2）、図12の（b）及び（c）によって表されているように、ピストンが燃料噴射弁に近付くほど、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が徐々に増大される。このように噴射された燃料の噴霧は、ピストンキャビティ内に適切に導かれ、ピストンキャビティの内壁によって点火プラグ方向へ偏向されて成層燃焼に供される。

【0079】

更に、圧縮行程噴射の後期に入ると、図12の（d）によって表されているように、ピストンが燃料噴射弁に更に近付いても、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）は増大されない。その結果、図10の（d）に示したようなウェット量の増大が防止される。このように噴射された燃料の噴霧は、ピストンキャビティ内に適切に導かれ、ピストンキャビティの内壁によって点火プラグ方向へ偏向されて成層燃焼に供される。

【0080】

以上のように、第3形態に係る燃料噴射制御装置によれば、圧縮行程噴射の初期においても良好な着火性を有する可燃混合気を点火プラグ近傍に形成し且つ圧縮行程噴射の後期におけるウェット量の増大を防止することにより、安定的な成層燃焼を確保すると共に例えばスモーク及びPM等の問題を回避することができる。

【0081】

（第3形態における燃料噴射制御フロー）

第3形態の作動につき、図13のフローチャートを参照しながら説明する。ECU50のCPUは、所定クランク角度において図13のフローチャートに示されたルーチンを実行するようになっている。尚、図13のフローチャートによって表される第3形態における燃料噴射制御フローは、以下の3点においてのみ、図9のフローチャートによって表される第1形態における燃料噴射制御フローと異なる。

【0082】

1点目は、ステップ1506において、第1の期間より後の第3の期間における分割噴射の回数（第3期間噴射回数） m が算出される点である。2点目は、ステップ1530において圧縮行程における i 回目の噴射が「第1の期間における n 回の噴射」に該当するかが判定され、 i 回目の噴射が第1の期間における n 回の噴射に該当しない場合はステップ1545において到達リフト量が一定に維持される点である。

【0083】

3点目は、ステップ1575において、第1の期間及び第3の期間に行われる（ $n+m$ 回の）燃料噴射の全てについて到達リフト量 h_i が設定されたか否かをECU50が判定する点である。尚、各ステップに割り振られた番号の下2桁は当該ステップにおいて実行されるルーチンの内容に対応している。即ち、図13と図9とにおいて、下2桁が同じ番

10

20

30

40

50

号が割り振られたステップにおいては、同じルーチンが実行される。

【 0 0 8 4 】

従って、図 9 のフローチャートと同様に、図 1 3 のフローチャートにおいても、ステップ 1 5 0 1 から 1 5 0 5 において、機関回転速度 NE の検出、吸入空気量の検出、燃料噴射量 Q の算出、燃料噴射時期の算出及び第 1 期間噴射回数 n の算出がそれぞれ実行される。次に、ステップ 1 5 0 6 において第 3 期間噴射回数 m が算出される。上述したように、「第 3 期間噴射回数 m 」は、第 1 の期間より後の期間である「第 3 の期間」における分割噴射の回数である。尚、この例においては、上記のように決定された燃料噴射時期の全てに亘って分割噴射が行われる。そのうち、第 1 の期間における n 回の噴射については機関 1 0 のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど到達リフト量が増大され、第 3 の期間における m 回の噴射については機関 1 0 のクランク角度にかかわらず到達リフト量が一定に維持される。即ち、この例においては、燃料噴射時期は第 1 の期間と第 3 の期間との合計に一致する。

10

【 0 0 8 5 】

次に、図 9 のフローチャートと同様に、図 1 3 のフローチャートにおいても、ステップ 1 5 1 0 においてカウンタ i が 0 (ゼロ) に設定され、次のステップ 1 5 2 0 においてカウンタ i がカウントアップされる。次に、ステップ 1 5 3 0 において圧縮行程における i 回目の噴射が「第 1 の期間における n 回の噴射」に該当するか否かが判定される。ステップ 1 5 3 0 において i 回目の噴射が「第 1 の期間における n 回の噴射」に該当すると判定された場合 (ステップ 1 5 3 0 : Yes)、次のステップ 1 5 3 5 において、 i 回目の燃料噴射における到達リフト量が算出される。この際、1 回目の燃料噴射における到達リフト量を h_{ini} とし、その後、2 回目から n 回目までの燃料噴射においては等量 (Δh_u) ずつ到達リフト量を増大させる。この場合、 i 回目の燃料噴射における到達リフト量 h_i は、前述した式 (1) によって表される。

20

【 0 0 8 6 】

尚、1 回目の燃料噴射における到達リフト量 h_{ini} 及び 2 回目から n 回目までの燃料噴射における到達リフト量の増分 Δh_u は前述したように設定される。このように設定された 1 回目から n 回目までの燃料噴射における到達リフト量 h_i ($i = 1, 2, 3 \dots, n$) は、次の燃料噴射実行時に使用される設定値として、次のステップ 1 5 6 0 において、例えば、ECU 5 0 が備えるデータ記憶装置 (例えば、RAM 等) に格納される。

30

【 0 0 8 7 】

一方、ステップ 1 5 3 0 において i 回目の噴射が「第 1 の期間における n 回の噴射」に該当しないと判定された場合 (ステップ 1 5 3 0 : No)、次のステップ 1 5 4 5 において、 i 回目 ($n + 1$ 回目以降) の燃料噴射における到達リフト量が算出される。この例においては、 $n + 1$ 回目以降の燃料噴射における到達リフト量は、 n 回目の燃料噴射における到達リフト量にて一定に維持される。この場合、 i 回目の燃料噴射における到達リフト量 h_i は以下の式 (3) によって表される。

【 0 0 8 8 】

【 数 3 】

$$h_i = h_{ini} + (n - 1) \times \Delta h_u \quad \dots \quad (3)$$

40

【 0 0 8 9 】

上記のように、 $n + 1$ 回目以降の燃料噴射における到達リフト量 h_i は、 n 回目の燃料噴射における到達リフト量 h_i と同じ値に設定される。このように設定された $n + 1$ 回目以降の燃料噴射における到達リフト量 h_i ($i = n + 1, n + 2 \dots, n + m$) は、次の燃料噴射実行時に使用される設定値として、次のステップ 1 5 6 0 において、例えば、ECU 5 0 が備えるデータ記憶装置 (例えば、RAM 等) に格納される。

【 0 0 9 0 】

次のステップ 1 5 7 5 においては、第 1 の期間及び第 3 の期間に行われる $n + m$ 回の燃

50

料噴射の全てについて到達リフト量 h_i が設定されたか否かを ECU50 が判定する。具体的には、ECU50 は、 i が $n+m$ に等しいか否かを判定する。 i が $n+m$ に等しいと判定された場合（ステップ 1575：Yes）、ECU50 は次のステップ 1580 に進む。このとき、 $n+m$ 回にわたる分割噴射の全てについての到達リフト量 h_i が既に設定されており、それぞれがデータ記憶装置に格納されている。ステップ 1580 においては、ステップ 1504 において算出された燃料噴射時期（第 1 の期間及び第 3 の期間）、ステップ 1505 において算出された第 1 期間噴射回数 n 、ステップ 1506 において算出された第 3 期間噴射回数 m 、並びにステップ 1535 及びステップ 1545 において算出されてステップ 1560 においてデータ記憶装置に格納された到達リフト量 h_i に基づいて、燃料噴射の実行が指示される。

10

【0091】

一方、ステップ 1575 において i が $n+m$ に等しくないと判定された場合（ステップ 1575：No）、ECU50 はステップ 1520 に戻り、ステップ 1520 からステップ 1575 までのフローが繰り返される。これにより、 $n+m$ 回にわたる分割噴射の全てについての到達リフト量 h_i が設定されるまで、ステップ 1520 からステップ 1575 までのフローが繰り返される。

【0092】

ところで、機関 10 の 1 サイクルにおいて上記第 1 期間及び第 3 の期間における分割噴射の他に燃料を噴射する機会が無い場合、当然のことながら、1 サイクル当たりに要求される燃料噴射量 Q と上記分割噴射全体としての燃料噴射量の総量とが等しくなるように、第 1 期間噴射回数 n 、第 3 期間噴射回数 m 及び個々の噴射における到達リフト量 h_i が設定される。即ち、以下の式（2）が成立するように、第 1 期間噴射回数 n 、第 3 期間噴射回数 m 及び個々の噴射における到達リフト量 h_i が設定される。尚、式（2）における q_i 及び関数 f の定義は式（2）と同様である。

20

【0093】

【数 4】

$$\sum_{i=1}^{n+m} q_i = \sum_{i=1}^{n+m} f(h_i) = Q \quad \dots \quad (2')$$

【0094】

尚、上記においては機関 10 の 1 サイクルにおいて第 1 期間及び第 3 の期間における分割噴射の他に燃料を噴射する機会が無い場合について説明した。しかしながら、例えば、第 1 の期間及び第 3 の期間に行われる分割噴射のみによっては 1 サイクル当たりに要求される燃料噴射量 Q を噴射することが困難である場合等においては、第 1 の期間及び第 3 の期間以外の期間に更なる燃料噴射を行ってもよい。例えば、前述したように、第 1 の期間より前の第 2 の期間において更なる燃料噴射を行ってもよい。

30

【0095】

更に、上記フローチャートによって表される燃料噴射制御フローを構成する各ルーチンの実行順序は、矛盾を生じない範囲で入れ替えてもよい。更に、上記説明においては 2 回目から n 回目までの燃料噴射において到達リフト量を等量（ h_u ）ずつ増大させたが、2 回目から n 回目までの燃料噴射における到達リフト量の増分（ h_u ）は必ずしも等しい必要は無く、その都度異なってもよい。

40

【0096】

加えて、上記説明においては $n+1$ 回目以降の燃料噴射についてステップ 1520、1530、1545、1560 及び 1575 のルーチンが繰り返された。しかしながら、上述した例においては、 $n+1$ 回目以降の燃料噴射における到達リフト量は増大されず、 n 回目の燃料噴射における到達リフト量と同じに維持される。このように $n+1$ 回目以降の燃料噴射における到達リフト量が一定に維持される場合は、噴射回数が $n+1$ 回目に達したら、その後の噴射における到達リフト量を n 回目の燃料噴射における到達リフト量に一括して設定してデータ記憶装置に格納し、ステップ 1580 に進んで燃料噴射の実行を指

50

示してもよい。

【0097】

以上のように、第3形態に係る燃料噴射制御装置によれば、第1の期間に行われる分割噴射を構成する個々の噴射における到達リフト量 h_i が機関10のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど大きい値に設定される。従って、燃料噴射弁とピストンとの距離が大きい圧縮行程噴射の初期の噴射においては、到達リフト量が小さい値に設定される。即ち、圧縮行程噴射の初期の噴射においては、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が小さい。その結果、圧縮行程噴射の初期において噴射される燃料のうち成層燃焼に供される燃料の量の減少を回避することができる。更に、圧縮行程噴射の中期においては、適度な運動量（貫徹力）を有する燃料の噴霧がピストンキャビティ内に適切に導かれ、点火プラグ方向へ偏向されて成層燃焼に供される。加えて、圧縮行程噴射の後期においては、燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が一定に維持されるのでウェット量の増大が防止される。その結果、良好な着火性を有する可燃混合気を点火プラグ近傍に形成することができ、安定的な成層燃焼を確保すると共に、スモーク及びPM等の問題を回避することができる。

10

【0098】

< 第4実施形態 >

ところで、上述した例においては、第1の期間に行われる分割噴射においては到達リフト量が増大され、その後、第3の期間に行われる分割噴射においては到達リフト量が一定に維持された。即ち、圧縮行程噴射の末期における燃料の噴霧の運動量（貫徹力）は相対的に高い。一方、圧縮行程の末期においては燃料噴射弁とピストンとの距離が極めて小さいので、上述した燃料ウェットに起因する問題が発生する虞が高い。

20

【0099】

かかる問題を回避するためには、例えば、第1の期間（圧縮行程噴射の初期）における到達リフト量の増大幅を小さくして、圧縮行程噴射の後期における到達リフト量を小さい値に設定し、燃料の噴霧の運動量（貫徹力）を小さくすることが考えられる。或いは、例えば、圧縮上死点の近傍でのクランク角度においては燃料の噴射を禁止する等して、圧縮行程噴射の終了時期を早めることも考えられる。しかしながら、これらの対策によれば、圧縮行程噴射によって噴射され得る燃料の総量が減少するため、機関の運転に必要とされる量の燃料を噴射することが困難となる虞が高まる。

30

【0100】

そこで、本発明者は、第3の期間において到達リフト量を徐々に減少させることにより、上記問題を回避することができるとの考えに到った。より具体的には、燃料噴射弁とピストンとの距離が大きい第1の期間（圧縮行程噴射の初期）の噴射においては燃料噴射弁の到達リフト量を小さい値から徐々に増大させ、燃料噴射弁とピストンとの距離が大きい第3の期間（圧縮行程噴射の後期）の噴射においては到達リフト量を徐々に減少させる。これにより、圧縮行程噴射の初期の噴射においては燃料の噴霧の運動量（貫徹力）を小さくし、その後の噴射においては燃料の噴霧の運動量（貫徹力）を十分に増大させ、圧縮行程噴射の後期においては燃料の噴霧の運動量（貫徹力）を十分に減少させることができる。

40

【0101】

そこで、本発明の第4実施形態（以降、「第4形態」と称される場合がある）の制御部は、

前記第1の期間より後の第3の期間において前記燃料噴射弁に燃料を1回以上噴射させると共に同第3の期間における各噴射に対する到達リフト量を前記内燃機関のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど小さい値に設定する。

【0102】

厳密には、分割噴射を構成する個々の噴射において燃料ウェットが発生するか否かは、前述したように、個々の噴射における燃料噴射弁の到達リフト量のみならず、個々の噴射タイミングにおけるクランク角度（燃料噴射弁とピストンとの距離）及び機関回転速度N

50

E等にも影響される。従って、上記第3の期間に行われる噴射における具体的な到達リフト量は、例えば、種々の機関回転速度NEにおいて種々の噴射タイミング（クランク角度）及び到達リフト量にて燃料を噴射する事前実験等によって予め定めることができる。

【0103】

第4形態に係る燃料噴射制御装置によれば、第1の期間より後（即ち、第3の期間において）は、上記のように内燃機関のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど燃料噴射弁の到達リフト量が徐々に減少される。即ち、第4形態においては、圧縮行程の後期に行われる分割噴射によって噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が徐々に低減される。これにより、燃料噴射弁とピストンとの距離が小さい圧縮行程噴射の後期において燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が過大となることがより確実に回避される。その結果、ピストンの冠面及び/又はピストンキャピティの内壁が燃料によって濡れる「燃料ウェット」がより確実に防止され、例えばスモーク及びPM等の問題の発生がより確実に低減される。

10

【0104】

尚、第4形態における内燃機関、制御部及び燃料噴射弁の構成等については第1形態乃至第3形態と共通であるので、ここでは重複する説明は繰り返さない。

【0105】

<第4形態に係る燃料噴射制御>

ここで、第4形態の作動について説明する。図14の下側には、図11と同様に、このような場合におけるクランク角度（横軸）とピストンの位置（左側の縦軸）との関係を示すグラフ（曲線）と、クランク角度（横軸）と燃料噴射弁のリフト量（右側の縦軸）との関係を示すグラフ（7つのパルス状波形）と、が示されている。図14の下側に示されているように、第4形態に係る燃料噴射制御装置も、ECU50により、機関10の圧縮行程の第1の期間（図14においては約-80°から約-50°までのクランク角度の範囲）において4回の噴射によって燃料を噴射する分割噴射を行う。このとき、個々の噴射における到達リフト量を機関10のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど大きい値に設定する。

20

【0106】

上記のように、第4形態に係る燃料噴射制御装置は、第1の期間における噴射に該当する1回目から4回目の噴射までは到達リフト量を増大させるものの、第1の期間より後の第3の期間（図14においては約-40°から約-20°までのクランク角度の範囲）における噴射（5回目以降の噴射）においては、4回目の噴射における到達リフト量から到達リフト量を徐々に減少させる。

30

【0107】

図14の上側には、上記のような場合におけるクランク角度（横軸）と噴霧の運動量（縦軸）との関係を示すグラフ（7つのパルス状波形）が示されている。上記7つのパルス状波形によって示されているように、この例においては、分割噴射を構成する7回の噴射のうち、第1の期間における噴射に該当する1回目から4回目までの噴射においては機関10のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が大きくなる。更に、第1の期間より後の第3の期間における噴射（5回目以降の噴射）による燃料の噴霧の運動量（貫徹力）は4回目の噴射における運動量（貫徹力）から徐々に小さくなる。

40

【0108】

上記により、第4形態に係る燃料噴射制御装置においては、燃料噴射弁とピストンとの距離が大きい圧縮行程噴射の初期において、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が小さい。その結果、例えば、サイド噴射方式内燃機関において分割噴射を行う場合、ピストンの位置が低い圧縮行程噴射の初期においては、図15の（a）に示されているように低い運動量（貫徹力）を有する燃料の噴霧が噴射される。その結果、図18の（a）に示した従来技術に係る燃料噴射制御装置におけるように燃料の噴霧がピストンキャピティを飛び越えて燃焼室の右端付近まで到達することが回避される。このように噴射された燃料の噴霧は、その運動量（貫徹力）が小さく、その後クランク角度が圧縮上

50

死点に近くなるのに伴って上昇してくるピストンキャビティ内に捉えられ、良好な着火性を有する可燃混合気を点火プラグ近傍に形成する。

【0109】

次に、圧縮行程噴射の中期に入ると（中期1及び中期2）、図15の（b）及び（c）によって表されているように、ピストンが燃料噴射弁に近づくほど、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が徐々に増大される。このように噴射された燃料の噴霧は、ピストンキャビティ内に適切に導かれ、ピストンキャビティの内壁によって点火プラグ方向へ偏向されて成層燃焼に供される。

【0110】

更に、圧縮行程噴射の後期に入ると（後期1及び後期2）、図15の（d）及び（e）によって表されているように、ピストンが燃料噴射弁に近づくほど燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量（貫徹力）が徐々に低減される。その結果、図10の（d）に示したようにウェット量の増大がより確実に防止される。このように噴射された燃料の噴霧は、ピストンキャビティ内に適切に導かれ、ピストンキャビティの内壁によって点火プラグ方向へ偏向されて成層燃焼に供される。

【0111】

以上のように、第4形態に係る燃料噴射制御装置によれば、圧縮行程噴射の初期においても良好な着火性を有する可燃混合気を点火プラグ近傍に形成し且つ圧縮行程噴射の後期におけるウェット量の増大をより確実に防止することにより、安定的な成層燃焼を確保すると共に例えばスモーク及びPM等の問題をより確実に回避することができる。

【0112】

（第4形態における燃料噴射制御フロー）

第4形態の作動につき、図16のフローチャートを参照しながら説明する。ECU50のCPUは、所定クランク角度において図16のフローチャートに示されたルーチンを実行するようになっている。尚、図16のフローチャートによって表される第4形態における燃料噴射制御フローは、以下の1点においてのみ、図13のフローチャートによって表される第3形態における燃料噴射制御フローと異なる。

【0113】

第4形態における燃料噴射制御フローは、ステップ1830において圧縮行程におけるi回目の噴射が「第1の期間におけるn回の噴射」に該当しないと判定された場合はステップ1855において到達リフト量が減少される点である（詳細は後述）。尚、各ステップに割り振られた番号の下2桁は当該ステップにおいて実行されるルーチンの内容に対応している。即ち、図16と図13とにおいて、下2桁が同じ番号が割り振られたステップにおいては、同じルーチンが実行される。

【0114】

従って、図13のフローチャートと同様に、図16のフローチャートにおいても、ステップ1801から1806において、機関回転速度NEの検出、吸入空気量の検出、燃料噴射量Qの算出、燃料噴射時期の算出、第1期間噴射回数nの算出及び第3期間噴射回数mの算出がそれぞれ実行される。この例においても、上記のように決定された燃料噴射時期の全てに亘って分割噴射が行われる。そのうち、第1の期間におけるn回の噴射については機関10のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど到達リフト量が増大され、第3の期間におけるm回の噴射については機関10のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど到達リフト量が減少される。この例においても、燃料噴射時期は第1の期間と第3の期間との合計に一致する。

【0115】

次に、ステップ1810においてカウンタiが0（ゼロ）に設定され、次のステップ1820においてカウンタiがカウントアップされる。次に、ステップ1830において分割噴射におけるi回目の噴射が「第1の期間におけるn回の噴射に該当するか否かが判定される。ステップ1830においてi回目の噴射回数iが「第1の期間におけるn回の噴射に該当すると判定された場合（ステップ1830: Yes）、次のステップ1835に

において、 i 回目の燃料噴射における到達リフト量が算出される。この際、1 回目の燃料噴射における到達リフト量を h_{ini} とし、その後、2 回目から n 回目までの燃料噴射においては等量 (h_u) ずつ到達リフト量を増大させる。この場合、 i 回目の燃料噴射における到達リフト量 h_i は、前述した式 (1) によって表される。

【0116】

尚、1 回目の燃料噴射における到達リフト量 h_{ini} 及び 2 回目から n 回目までの燃料噴射におけるリフト量の増分 h_u は前述したように設定される。このように設定された 1 回目から n 回目までの燃料噴射における到達リフト量 h_i ($i = 1, 2, 3 \dots, n$) は、次の燃料噴射実行時に使用される設定値として、次のステップ 1860 において、例えば、ECU50 が備えるデータ記憶装置 (例えば、RAM 等) に格納される。

10

【0117】

一方、ステップ 1830 において i 回目の噴射が「第 1 の期間における n 回の噴射」に該当しないと判定された場合 (ステップ 1830 : No)、次のステップ 1855 において、 i 回目 ($n+1$ 回目から $n+m$ 回目まで) の燃料噴射における到達リフト量が算出される。この際、最終回から m 回分 (即ち、 $n+1$ 回目から $n+m$ 回目まで) の燃料噴射における到達リフト量は、 n 回目の燃料噴射における到達リフト量から等量 (h_d) ずつ減少される。この場合、 i 回目の燃料噴射における到達リフト量 h_i は、以下の式 (4) によって表される。

【0118】

【数 5】

20

$$h_i = h_{ini} + (n-1) \times \Delta h_u - (i-n) \times \Delta h_d \quad \dots \quad (4)$$

【0119】

尚、1 回目の燃料噴射における到達リフト量 h_{ini} 及び 2 回目から n 回目までの燃料噴射における到達リフト量の増分 h_u は前述したように設定される。第 3 の期間における m 回分の燃料噴射における到達リフト量の減少幅 h_d の具体的な大きさは、例えば、燃料噴射弁 30 におけるリフト量の制御精度、個々の噴射タイミングにおけるクランク角度 (燃料噴射弁 30 とピストン 17 との距離)、機関回転速度 NE 及び燃料噴射量 Q 等に基づいて設定される。このように設定された i 回目の燃料噴射における到達リフト量 h_i ($i = n+1, n+2 \dots, n+m$) は、次の燃料噴射実行時に使用される設定値として、次のステップ 1860 において、例えば、ECU50 が備えるデータ記憶装置 (例えば、RAM 等) に格納される。

30

【0120】

次のステップ 1875 においては、第 1 の期間及び第 3 の期間に行われる $n+m$ 回の燃料噴射の全てについて到達リフト量 h_i が設定されたか否かを ECU50 が判定する。具体的には、ECU50 は、 i が $n+m$ に等しいか否かを判定する。 i が $n+m$ に等しいと判定された場合 (ステップ 1875 : Yes)、ECU50 は次のステップ 1880 に進む。このとき、 $n+m$ 回にわたる分割噴射の全てについての到達リフト量 h_i が既に設定されており、それぞれがデータ記憶装置に格納されている。ステップ 1880 においては、ステップ 1804 において算出された燃料噴射時期、ステップ 1805 において算出された第 1 期間噴射回数 n 、ステップ 1806 において算出された第 3 期間噴射回数 m 、並びにステップ 1835 及びステップ 1855 において算出されてステップ 1860 においてデータ記憶装置に格納された到達リフト量 h_i に基づいて、燃料噴射の実行が指示される。

40

【0121】

一方、ステップ 1875 において i が $n+m$ に等しくないと判定された場合 (ステップ 1875 : No)、ECU50 はステップ 1820 に戻り、ステップ 1820 からステップ 1875 までのフローが繰り返される。これにより、 $n+m$ 回にわたる分割噴射の全てについての到達リフト量 h_i が設定されるまで、ステップ 1820 からステップ 1875

50

までのフローが繰り返される。

【0122】

ところで、機関10の1サイクルにおいて上記第1期間及び第3の期間における分割噴射の他に燃料を噴射する機会が無い場合、当然のことながら、1サイクル当たりに要求される燃料噴射量 Q と上記分割噴射全体としての燃料噴射量の総量とが等しくなるように、第1期間噴射回数 n 、第3期間噴射回数 m 及び個々の噴射における到達リフト量 h_i が設定される。即ち、前述した式(2)が成立するように、第1期間噴射回数 n 、第3期間噴射回数 m 及び個々の噴射における到達リフト量 h_i が設定される。

【0123】

尚、上記においては機関10の1サイクルにおいて第1期間及び第3の期間における分割噴射の他に燃料を噴射する機会が無い場合について説明した。しかしながら、例えば、第1の期間及び第3の期間に行われる分割噴射のみによっては1サイクル当たりに要求される燃料噴射量 Q を噴射することが困難である場合等においては、第1の期間及び第3の期間以外の期間に更なる燃料噴射を行ってもよい。例えば、前述したように、第1の期間より前の第2の期間において更なる燃料噴射を行ってもよい。

【0124】

更に、上記フローチャートによって表される燃料噴射制御フローを構成する各ルーチンの実行順序は、矛盾を生じない範囲で入れ替えてもよい。更に、上記説明においては2回目から n 回目までの燃料噴射において到達リフト量を等量(h_u)ずつ増大させたが、2回目から n 回目までの燃料噴射における到達リフト量の増分(h_u)は必ずしも等しい必要は無く、その都度異なってもよい。同様に、上記説明においては分割噴射の末期における m 回分(即ち、 $n+1$ 回目から $n+m$ 回目まで)の燃料噴射において到達リフト量を等量(h_d)ずつ減少させたが、 $n+1$ 回目から $n+m$ 回目までの燃料噴射における到達リフト量の減分(h_d)は必ずしも等しい必要は無く、その都度異なってもよい。

【0125】

加えて、上記説明においては、第1の期間における n 回分の噴射の直後に続けて第3の期間における m 回分の噴射を行う場合について説明したが、第1の期間と第3の期間との間に到達リフト量が一定に維持される期間を設けてもよい。

【0126】

以上のように、第4形態に係る燃料噴射制御装置によれば、第1の期間に行われる分割噴射を構成する個々の噴射における到達リフト量 h_i が機関10のクランク角度が圧縮上死点に近くなるほど大きい値に設定される。従って、燃料噴射弁とピストンとの距離が大きい圧縮行程噴射の初期の噴射においては、到達リフト量が小さい値に設定される。即ち、圧縮行程噴射の初期の噴射においては、燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量(貫徹力)が小さい。その後、圧縮行程噴射の後期においては、燃料噴射弁とピストンとの距離が小さくなるほど燃料噴射弁から噴射される燃料の噴霧の運動量(貫徹力)が徐々に低減される。その結果、燃料の噴霧の運動量(貫徹力)が大き過ぎると成層燃焼に供される燃料の減少が懸念される圧縮行程噴射の初期及び燃料の噴霧の運動量(貫徹力)が大き過ぎるとウェット量の増大が懸念される圧縮行程噴射の後期において燃料の噴霧の運動量(貫徹力)を小さくすることができる。加えて、圧縮行程噴射の中期においては高い運動量(貫徹力)を有する燃料の噴霧を噴射することができる。その結果、安定的な成層燃焼を確保すると共に、スモーク及びPM等の問題をより確実に回避することができる。

【0127】

尚、これまで説明してきた各種実施形態においては、本発明に係る燃料噴射制御装置を「サイド噴射方式内燃機関」に適用した場合について説明した。しかしながら、前述したように、本発明に係る燃料噴射制御装置が適用される内燃機関は、ピストンの冠面に形成されたキャビティに向けて燃料が噴射される筒内噴射式火花点火内燃機関である限り、特に限定されない。即ち、本発明に係る燃料噴射制御装置は、「サイド噴射方式内燃機関」のみならず、例えば、シリンダヘッドの中心部近傍に配設された燃料噴射弁からピストン

の冠面に形成されたキャビティに向けて燃料が噴射される所謂「センター噴射方式内燃機関」にも好適に適用することができる。

【 0 1 2 8 】

以上、本発明を説明することを目的として、特定の構成を有する幾つかの実施形態及び実施例につき、時に添付図面を参照しながら説明してきたが、本発明の範囲は、これらの例示的な実施形態及び実施例に限定されると解釈されるべきではなく、特許請求の範囲及び明細書に記載された事項の範囲内で、適宜修正を加えることが可能であることは言うまでも無い。

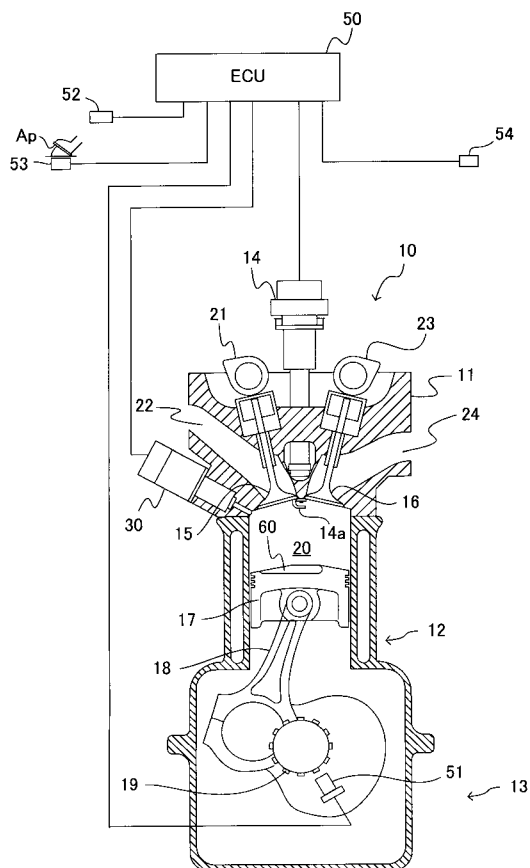
【 符号の説明 】

【 0 1 2 9 】

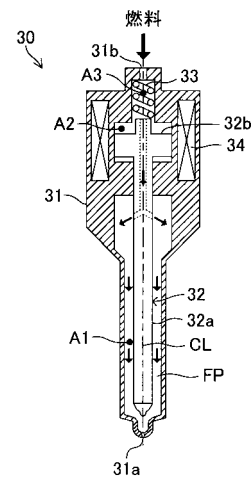
10 ... 内燃機関、14 ... 点火装置、14a ... 火花発生部、15 ... 吸気弁、16 ... 排気弁、17 ... ピストン、20 ... 燃焼室、22 ... 吸気ポート、23 ... 排気ポート、30 ... 燃料噴射弁、31a ... 噴孔、32 ... ニードル弁、50 ... ECU、51 ... クランクポジションセンサ、52 ... エアフローメータ、53 ... アクセルペダル踏込量センサ、54 ... 空燃比センサ及び60 ... ピストンキャビティ。

10

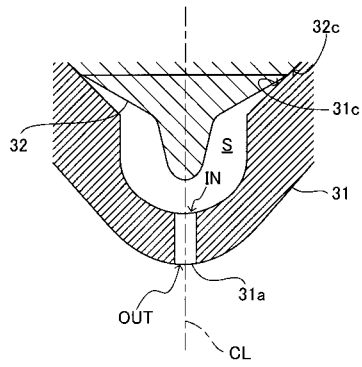
【 図 1 】



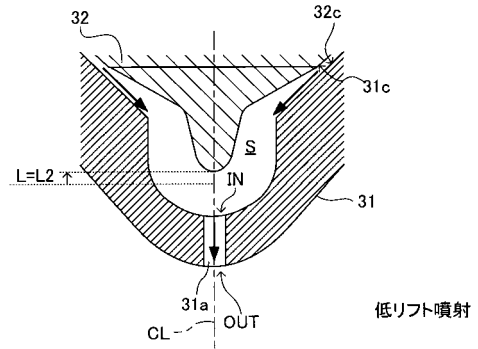
【 図 2 】



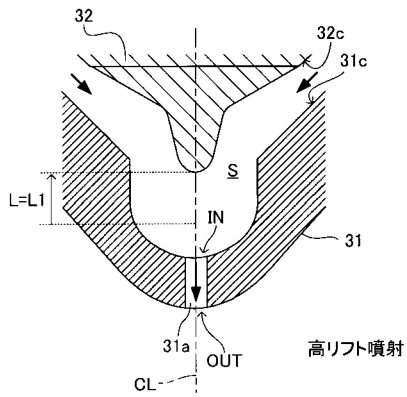
【図3】



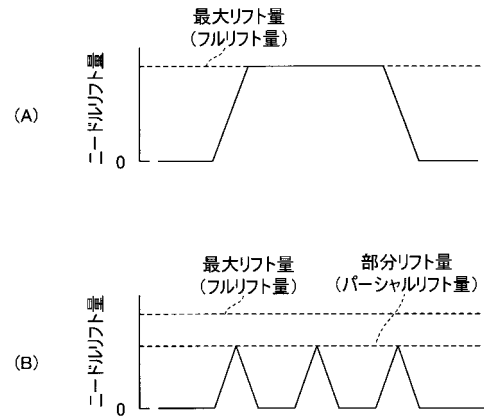
【図5】



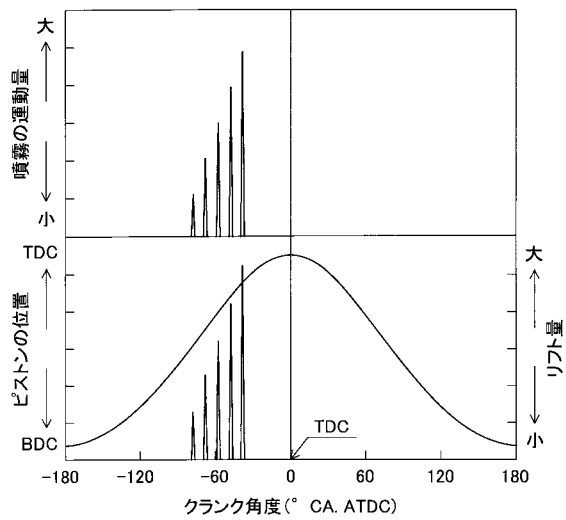
【図4】



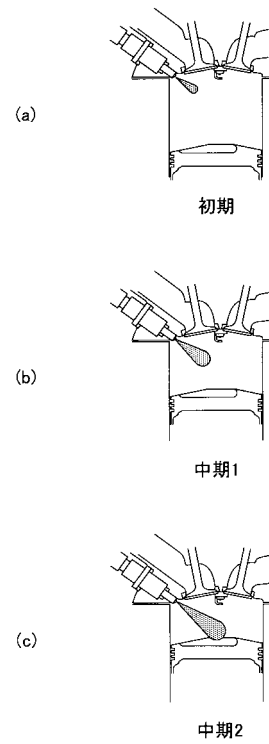
【図6】



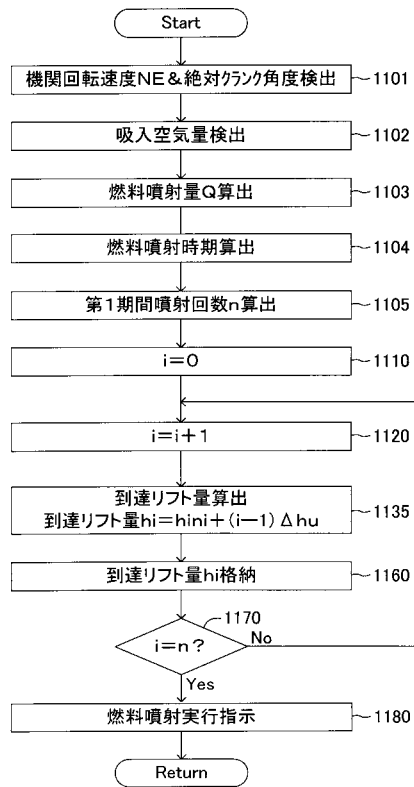
【図7】



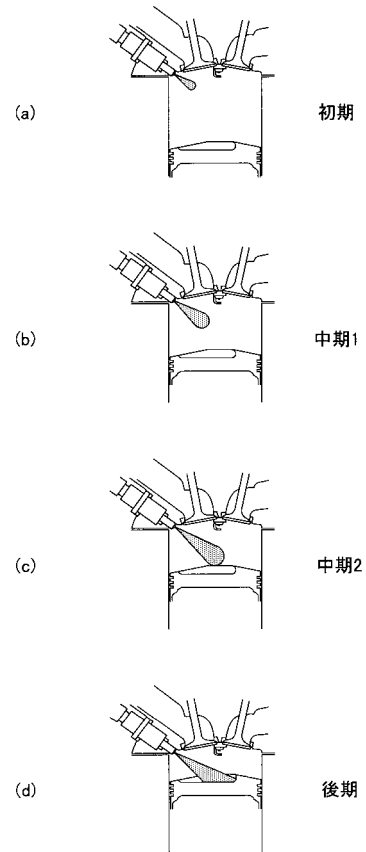
【図8】



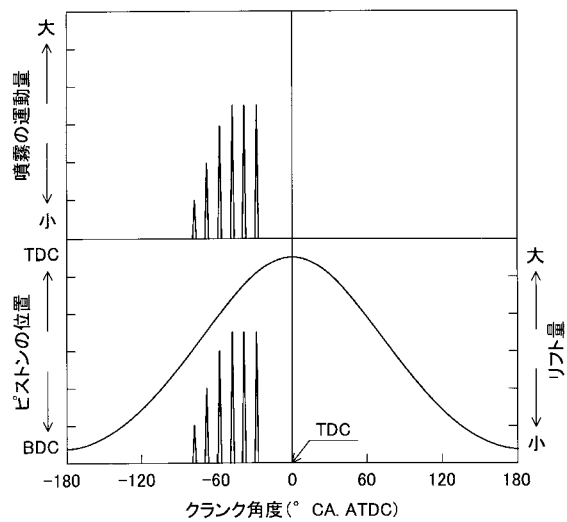
【図 9】



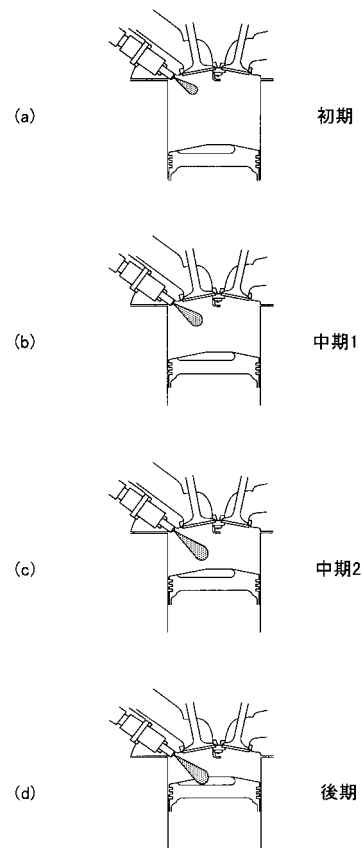
【図 10】



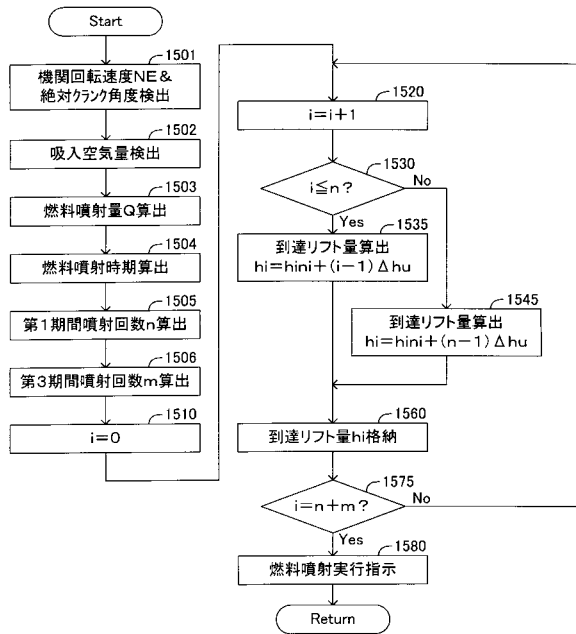
【図 11】



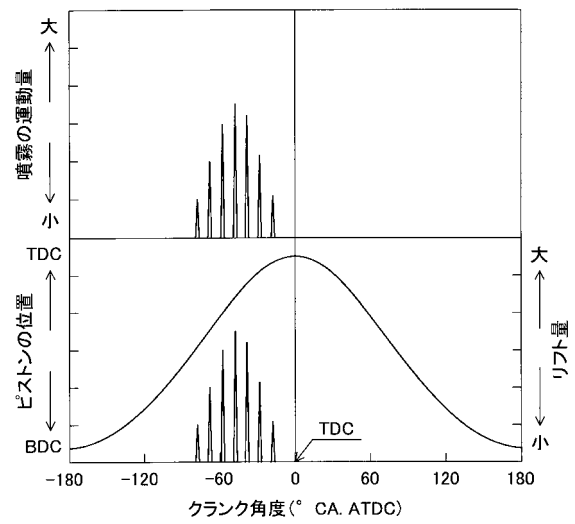
【図 12】



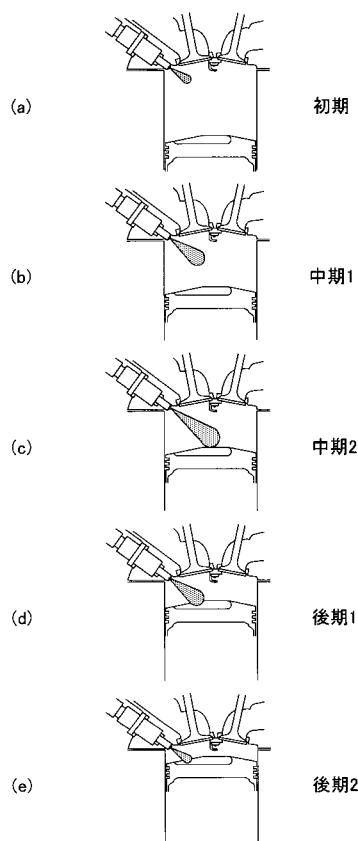
【図 13】



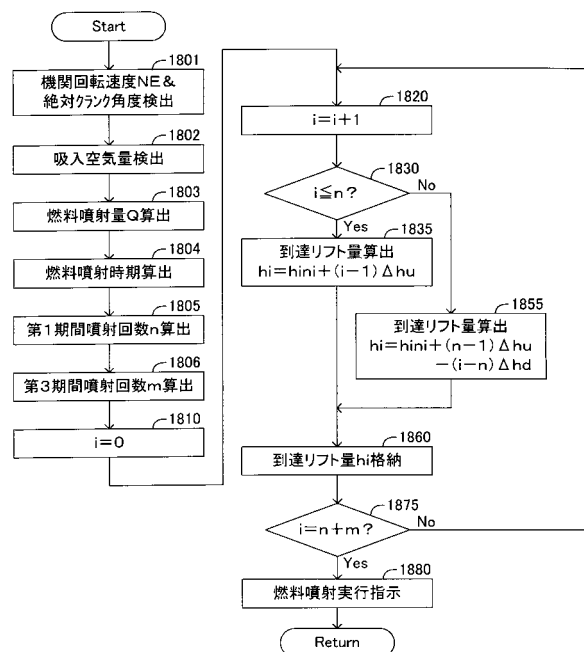
【図 14】



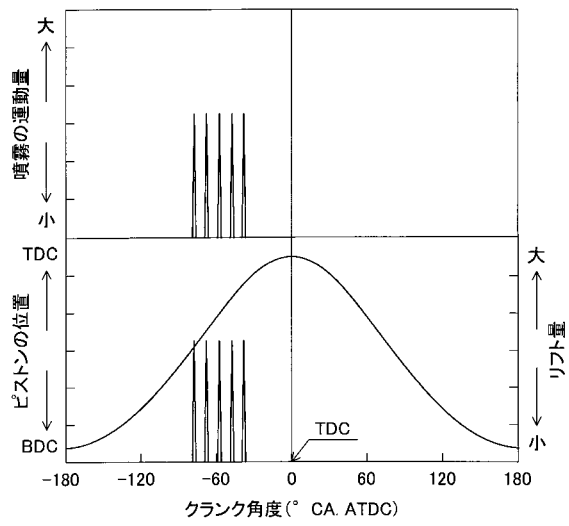
【図 15】



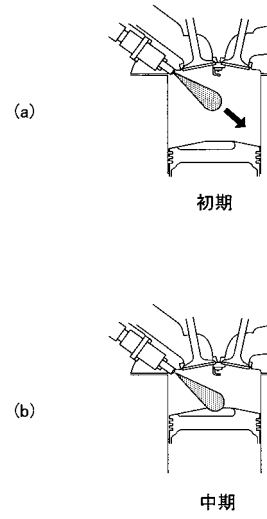
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

(72)発明者 星 賢児

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 足立 浩章

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 橋本 晋

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 HA01 HA04 JA24 JA26 JA28 KA06 LB01 LC10 MA11 NA08
NB20 PB03Z PG02